

KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

METALURJİ ve MALZEME
LABORATUVARI

I

İÇİNDEKİLER

DENEY ADI	SAYFA
1. METALOGRAFİ ve METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA DENEYİ	8-25
2. NUMUNELERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ-DEMİR ESASLI	26-45
3. NUMUNELERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ-DEMİR DIŞI	46-72
4. ÇEKME – BASMA DENEYİ	73-87
5. SERTLİK DENEYİ	88-104
6. DARBE DENEYİ	105-115
7. KAYNAKLI BAĞLANTILARIN MİKROYAPI VE SERTLİK DENEYİ	116-120
8. TANE BOYUTUNUN BELİRLENMESİ DENEYİ	121-131

DEĞERLENDİRME

VİZE NOTU : Vize Öncesi Quiz Not Ortalaması (%20) + Vize Öncesi Rapor Not Ortalaması (%40) + Vize Sınavı (%40).

FİNAL NOTU: Vize Sonrası Quiz Not Ortalaması (%20) + Vize Sonrası Rapor Not Ortalaması (%30) + Final Sınavı (%50)

LABORATUVARLARDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR VE UYULMASI GEREKEN KURALLAR

- Deneye gelmeden önce yapılacak deneyle ilgili föy çalışılarak deneye gelinmelidir.
- Deneylerde önlük giyilmesi zorunludur.
- Laboratuvarlarda hiç bir şey yemeyiniz ve içmeyiniz.
- Cep telefonlarınızı kapatmanız gerekmektedir.
- Deney bitiminde deney ortamını düzenli bırakınız.
- Tüm ekipmanlar kullanıldıktan sonra alındığı yere konulmalıdır.
- Tezgah ve lavaboları temiz kullanınız, laboratuvarı kirli ve dağınık terk etmeyiniz.
- Cam ekipman ve diğer kaplar dikkatlice yıkanmalı ve dizilmelidir. Kırık camlar ivedi olarak uzaklaştırılmalı ve çöp bidonlarına atılmalıdır. Kırılma olayları laboratuvar sorumlusuna bildirilmelidir.
- Öğrencilerin %80 oranında laboratuvara devam zorunluluğu vardır (devamsızlık hakkı 1 deneydir).

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUVAR-I DENEY RAPORU

Öğrenci Adı-Soyadı: Demir Çelik

NOT:100/

Öğrenci No: 091219099

Deney Adı: METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA

DENEYİN AMACI

Her deney belirli bir bilgiyi test etmek, yorumlamak ve geliştirmek için yapılır.

Gerçekleştirilecek deneye ait bu amaç deneyin amacı bölümünde belirtilir.

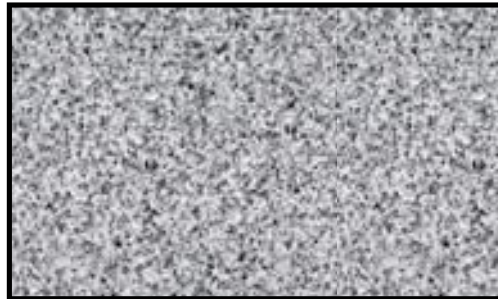
Metalografik numune hazırlama deneyi bilimsel ve endüstriyel amaçlı olarak.....(tek paragrafta deneyin ne amaçla yapıldığının anlatımı, 12 punto, 1.5 satır aralığı)

TEORİK BİLGİ/GİRİŞ

Deneyin kendine özgü teorik bilgisinin derlendiği ve yazıma geçirildiği bölümdür.

Deneyle ilgili kitap, makale gibi kaynaklardan alıp kendi cümlelerinizle yazacağınız, en fazla bir sayfa, 12 punto, 1.5 satır aralığı literatür bilgisi veriniz. Tablo, Şekil ve referanslarınızı aşağıda verilen şekilde kullanınız. Yazacaklarınızı, birbirini takip ederek tamamlayan paragraflar şeklinde veriniz. Tek blok bir paragraf kullanmayınız. Literatür/teorik bilgi bir bütünü takip eden paragraflardan oluşmalıdır.

Metalografik numune hazırlama süreci beş basamaktan oluşmaktadır [1]. Bu basamaklar şematik olarak Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1: Metalografik numune hazırlama basamakları [2]

Demir ve demir dışı alaşımlar için kullanılan dağlayıcılar Tablo 1’de verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü üzere.....

Tablo 1: Demir ve demir dışı alaşımlar için yaygın olarak kullanılan dağlayıcılar [3]

.....

Metalografik inceleme malzeme bilimi için temel karakterizasyon yöntemlerinden birisi olup, bilgi, beceri, tecrübe özelliklerini birlikte gerektiren bilimsel ve endüstriyel çalışmalarda önemli yere sahip bir yöntemdir.

DENEYSEL PROSEDÜR

Deneyde hangi aşamalarda neler yapıldığı ve bunların neden gerçekleştirildiğinin farkında olabilmek için deneyin yapılışına hakim olmak gerekmektedir.

Metalografik numune hazırlama deneyi metalografik incelemesi yapılacak olan numunelerin uygun şekilde hazırlanması basamaklarını içermektedir.

Bu deneyde 310 paslanmaz çelik parçalar kullanılmıştır. Kullanılan 310 paslanmaz çelik numunenin kompozisyonu Tablo 2’de verilmektedir....

1 cm çapında çubuk şeklinde temin edilen 310 paslanmaz çelik numuneler 2 cm yükseklikte Keser marka kesici ile SiC diskler kullanılarak uygun boyutlarda kesilmiştir..... .Kullanılan kesici Şekil 3’de gösterilmektedir.

Bakalit kalıba alınan numuneler, 1200-800....60 kabalıkta zımpara kağıtlarında her seferinde 90°’lik açı ile döndürülerek zımparalanmıştır.....

Nikon marka stereo mikroskopta 10X büyütmede yüzey kontrolü yapılan numuneler 1 µm’lik Al₂O₃ solüsyonla parlatılmıştır

Numunelerin dağlanması ASTM standartlarında önerilen yöntem kullanılmıştır [4]. Dağlama işleminde kullanılan Nital dağlayıcı hacimce %10 X - %90 Y içermektedir.

Numuneler 5 sn boyunca dağlayıcıya maruz bırakılmış ve daha sonra saf su ile yıkanmıştır.....

SONUÇLAR

Deney föylerinde eğer mevcutsa verilen sorularda istenilen; hesaplamaların yapılması, grafiklerin çizilmesi, tabloların hazırlanması gerekmektedir. Bu hesaplamaların beklenen sonuçlarla uyuşup uyuşmadığının, uyuşmuyor ise nedenlerinin yorumlandığı bölümdür. Sonuç bölümü deneyin ne amaçla yapıldığını ve sonuçta neler çıkarıldığını kısa ve tam olarak verir. Uygun koşullar altında hazırlanan 310 paslanmaz çelik numuneler ile yapılan inceleme sonucunda(tamamen kendi cümlelerinizden oluşan, elde edilen sonuçları anlatan, şekil ve tabloların kullanılabileceği bölümdür)

Raporu okuyan kişi amaç ve sonuç bölümlerini okuduğunda birbirini tamamlayan bir anlatım bulmalıdır. Dolayısı ile amaç, teorik bilgi, deneysel kısım ve sonuçlar belli bir hikayeyi takip etmelidir.

KAYNAKÇA

Deney raporu hazırlanırken kullanılan kaynakların sıralandığı bölümdür. Metin içerisinde hangi kaynaktan yararlanıldığının gerekli yerlerde belirtilmesi gerekir. Kaynaklara metin içerisinde yazar soyadı ve tarih sırasıyla ya da yukarıda verildiği şekilde köşeli parantez şeklinde atıfta bulunulmalıdır. İlk bahsedildiği tarzda atıf yapılıyorsa; kaynak üç ya da daha fazla yazarın çalışmasıysa **birinci yazarın soyadı ve diğ.** şeklinde; aynı yazarın aynı tarihli birden fazla eserine atıfta bulunulmuşsa, yıldan sonra a,b,c vs. yazılmalıdır. Kaynaklar alfabetik sıraya göre aşağıdaki formatta verilmelidir.

Kaynak bir makale ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, yıl, “Makalenin Tam Başlığı”, *Derginin adı* (varsa uluslararası kısaltmaları), cilt no, sayı no, makalenin başlangıç ve bitiş sayfa no.

Örnek:

Bilir, Ş., 1995, “Laminar Flow Heat Transfer in Pipes Including Two Dimensional Wall and Fluid Axial Conduction”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 38, No. 9, pp. 1619-1625.

Kaynak bir kitap ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, yıl, *Kitabın Adı*, cilt no, varsa editörü, yayınevinin adı, yayın no, yayınlandığı yer.

Örnek:

Kenneth L. Carper., 2001, *Forensic Engineering SE*, CRC Press, Washington, D.C., A.B.D.

Kaynak kongreden alınmış bir tebliğ ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, “Tebliğin Adı”, *Kongrenin Adı*, Yapıldığı yer, tebliğin başlangıç ve bitiş sayfa no, kongrenin tarihi.

Örnek:

İmrek, H., Bağcı, M., Khalfan, O.M., “Experimental Investigation of Effects of External Loads on Erosive Wear”, *12th International Materials Symposium*, PAU, Denizli, 446-453, 15-17, October 2008.

Kaynak internet veya uygulama notları ise: Hazırlayan kurumun veya biliniyorsa hazırlayan kişinin adı, *Dökümanın Adı*, alındığı internet kaynağının adresi, ziyaret tarihi.

Örnek:

Zor, M., Güzenge, O., *Örneklerle ANSYS-WORKBENCH'e Giriş*, <http://web.deu.edu.tr/ansys/ansysgiris/workbenche-giris.pdf>, ziyaret tarihi: 15 Eylül 2012.

Kaynak bir standart ise: Standart adı, numarası, yılı, İlgili bölüm adı, yayınevinin adı, yeri, DOI numarası

Örnek:

ASTM Standard B 783-04, 2003, "Metallographic Sample Preperation, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/C0033-03

Eğer atıflar köşeli parantez şeklinde verildiyse;

[1] Katırcıoğlu Z., *Metalografinin Esasları*, 3. Baskı, Mevlana Yayınları, 2012, Sayfa; 3

[2] Uludağ M., *Metalografi ve Numune Hazırlama*, Turkish Metal. J., 5, 12-18, 2011

[3] Brown A., Maria S., *New Trends in Sample Etching*, Metall. Trans. A., 7 (12), 354-358, 2009

[4] ASTM Standard B 783-04, 2003, "Metallographic Sample Preperation, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/C0033-03

Yukarıda ki değinilenlere ek olarak aşağıda verilenlere de dikkat ediniz; **Raporlar hazırlanırken yapılan temel hatalar:**

- Raporlar kişisel olarak hazırlanmaması,
- Sadece konu başlığını okuyup araştırmaya başlamak,
- Kaynak araştırmasında sadece interneti kullanmak,
- Bulunan bir internet sitesini daha okumadan aynen kopyalamak,
- Konu başlığı taramasında bulunan her türlü gerekli gereksiz bilginin verilmesi,
- Raporu sadece bir zorunluluk olarak görmek.

Yazım kuralları:

- Deney raporu yukarıda açıklanan başlıkları içerecek şekilde oluşturulmalıdır.
 - Deney raporunun kapak sayfasında deneyin adı ve veren Araştırma Görevlisinin Adı, öğrencilerin ad, soy-ad, numarası ve laboratuvar grubu bulunmalıdır.
 - Sayfa düzeni, yukarıdan, aşağıdan, sağdan ve soldan 2.5 cm şeklinde düzenlenecektir.
 - Başlık; laboratuvar adı ve deney adından meydana gelecek ve ortalı bir şekilde yazılacaktır.
 - Times New Roman Türkçe yazı tipi kullanılacaktır.
 - Başlıklarda dâhil bütün metin 12 punto, iki yana yaslanmış olarak yazılacaktır.
 - Şekil ve tablolar sayfaya ortalı ve şekillerde başlık alt satıra, tablolarda ise üst satıra gelecek şekilde düzenlenecektir. Şekil ve tabloların başlıkları haricinde metin içerisinde tariflenmesi referans edilmesi şarttır.
 - Şekiller elektronik devre çizim gereçleri veya Word çizim gereçleri ile çizilecektir.
 - Şekiller, çıktı alındığında seçilecek kadar net boyutlandırılmalıdır.
- Denklemler, denklem düzenleyicisi (Equation Editor, Math Type...vb) kullanılarak hazırlanacak, sayfaya ortalı olacak şekilde düzenlenecektir.

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-1 DERSİ

METALOGRAFİ ve METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA
DENEY FÖYÜ

2019-2020 Güz Yarıyılı

1. GİRİŞ ve KAPSAM

Metalografi en genel anlatımla malzemelerin içyapısını inceleyen bilim dalıdır. Metaller için konuşulduğunda, içyapılarını inceleyerek onların özelliklerini belirlemeye, tarihçesini açığa çıkarmaya ve gelecekte ona ne gibi işlemler uygulanabileceğini anlatmaya yani imalatı yönlendirmeye çalışır. Dolayısı ile metalografik incelemede mm-µm arasında ki boyutlar önemlidir. Öte yandan nanometre boyuttan cm veya m'ye kadar tüm karakteristikler, toplamda malzeme özelliklerini belirlediğinden, metalografik inceleme için sınır; kullanılan ekipmanlardan kaynaklanmaktadır.

Yeri geldiğinde malzemelerin özelliklerini etkileyen yapısal öğelerin ve kusurların incelenmesi gerekir. Bazı yapı öğeleri makro (makroskobik) boyuttadır, yani gözle görülebilecek kadar büyüktür. Örneğin, çok kristalli numunenin yapısında bulunan tanelerin şekli ve ortalama boyutu veya çapı önemli yapısal özelliklerdendir. Alüminyumdan imal edilmiş cadde ışıklandırma direklerine ve yol kenarlarındaki metal bariyerlere yakından bakıldığında, makro boyutlarda taneler bariz şekilde görülebilir. Şekil 1'de gösterilen bakır ingotun kesit yüzeyinde farklı dokulara sahip nispeten büyük taneler açık olarak görülebilir. Ancak, malzemelerin çoğu, ayrıntılarının bazı mikroskopların kullanılması durumunda incelenebileceği, mikron mertebelerinde veya mikro boyutlarda tanelerden meydana gelir.



Şekil 1: Merkezden dışarı doğru uzanan iğne şeklinde tanelerin görüldüğü silindirik bir bakır ingot kesiti.

Mikroskobik inceleme, malzemelerin incelenmesi ve karakterizasyonu için son derece faydalı bir araçtır. Mikroskobik incelemelerin; özellikler ve yapı ve kusurları arasındaki ilişkilerin doğru bir şekilde anlaşıldığından emin olunması, bu ilişkilerin ortaya konulması durumunda malzeme özelliklerinin tahmin edilmesi, yeni özellik kombinasyonlarına sahip alaşımların tasarlanması, bir malzemenin doğru bir şekilde ısıtılma işlemi görüp görmediğinin belirlenmesi ve malzemelerin mekanik kırılma türünün tespit edilmesi gibi önemli uygulamaları vardır.

Optik mikroskop ile yapılan incelemelerde, ana elemanları görüntüleme ve ışıklandırma sistemleri olan ışık mikroskobu kullanılır. Mikroskop ile bakıldığında, mikroyapıdaki çeşitli bölgelerin ışığı farklı yansımalarından dolayı, içyapı görüntülerinde farklı tonlarda (kontrastlarda) bölgeler görülür.

Önemli mikroyapı detaylarının ortaya çıkarılması için, dikkatli ve özenli yüzey hazırlama faaliyetleri yapılmalıdır.

Mikroyapı incelemesi ile malzeme özellikleri hakkında edinilebilecek pek çok bilgi vardır. Bunların bir kısmını şu şekilde sıralayabiliriz.

-Malzemenin tane boyutu, malzemenin tarihçesi (ne tür işlemlere maruz bırakıldığı), ne tür işlemlerin uygulanabileceği, deformasyon miktarı, mikro yapısı, inklüzyon dağılımı, türü ve yoğunluğu, segregasyon durumu, tane boyutu, çatlak, katlama, karbürizasyon/dekarbürizasyon, sertleşme derinliği, nitrasyon, kaplama kalınlığı, gaz boşlukları, döküm boşlukları, grafit türü ve dağılımı, kırılma türü ve mekanizması.

2. METALOGRAFİDE KULLANILAN ARAÇ-GEREÇ VE MALZEMELER:

Mikroyapı incelemesi, numune hazırlama yönelik cihaz ve malzemelerinin kullanılmasını gerekli kılar. Normal bir metalografi laboratuvarında bulunması gereken temel ekipmanlar şunlardır;

- Kesme makinesi
- Kalıba alma sistemleri
- Zımpara ve parlatma makinesi
- Mikroskop
- Markalama kalemi

Kullanılan başlıca metalografi sarfları ise;

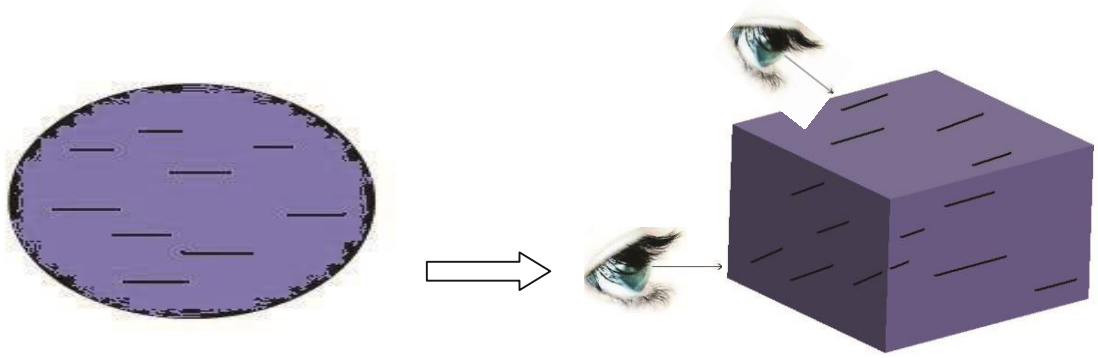
- Kesme diskleri
- Kesme sıvıları
- Kalıplama tozları ve reçineleri
- Soğuk kalıplama kalıpları, klips, işkence, kalıp ayırıcı
- Zımpara kâğıtları
- Aşındırıcı toz, sprej ve ya pastalar
- Kumaşlar
- Yağlayıcılar
- Dağlama çözeltisi için kimyasallar, beherler, saat camları
- Desikatör
- Silika jel
- Pas sökücüler

3. NUMUNE HAZIRLAMANIN ESASLARI

Metalografik hazırlamada esas olan noktalardan ilki uygun numunenin alınmasıdır. Numune almada genel olarak önemli noktalar şunlardır;

- Numunenin tarihçesinin bilinmesi
- Numunenin fiziksel ve kimyasal bileşim açısından esas malzemeyi tam olarak temsil etmesi
- Numunenin inceleme amacına imkân verecek özellikte olması (sadece mikroskop incelemesi ya da tane boyutu incelemesi, vb...)
- Numunenin izotropik mi anizotropik mi olduğunun bilinmesi

Enine kesit hazırlaması; sementasyon tabakası, dekarbürizasyon, korozyon, kaplama, katlama türü hataların incelenmesinde, inklüzyon değerlendirmesinde, kesit boyunca mikroyapı incelemelerinde geçerlidir.



Şekil 2: Malzemede ki yönlenmeye bağlı olarak farklı bakış açlarına bağlı farklı görüntülerin elde edilmesi

Boyuna kesit hazırlaması; Kalıntı değerlendirmelerinde, deformasyon yapılarının incelenmesinde, katlama incelemelerinde gereklidir. Numune seçimi, işlemin başarısı açısından çok önemlidir. Haddelenmiş bir parçadan numune alınırken haddeme doğrultuları dikkate alınmalıdır, Şekil 2. Hasar incelemesi yapılacaksa hasarlı bölge ve hasarsız bölgeden numune alınarak karşılaştırma yapılmalıdır,.

3.1. Numune Alma (Kesme)-(Sectioning);

Malzemenin neresinden ne tür bir numune alınacağına karar verildikten sonra kesme makinesinde numune kesilir. Dikkat edilecek nokta kesme ve ya koparma sırasında malzemede meydana gelecek yapı değişikliğinin minimum olmasıdır. Malzeme kaybı mümkünse olmamalı, en az ısınma ve deformasyon ile işlem tamamlanmalıdır. Bu amaçla, kesme sırasında numune sürekli özel bir sıvı ile soğutulur. Sıvı ısınmayı engeller, kesici ile malzeme arasında ki sürtünmeyi azaltır ve korozyonu engelleyen organik sıvıların karışımlarından elde edilir. (örn; bor yağı). Kesme sonrası çapaklar

alınmalı, kalıplama ya da sonrasında ise kesme sırasında oluşan deformasyon tabakası kaba zımpara ile alınmalıdır.



Şekil 3: Metalografik numune kesme cihazı

Metalografik kesme makineleri ile gerçekleştirilen numune almada işlem özel disklerle yapılır. Bu diskler metalografik kesit alma diski denir ve genelde Al_2O_3 , SiC, c-BN ve elmas aşındırıcı partiküllerinin, metalik ve ya polimerik bağlayıcılarla birlikte şekillendirilmesi ile üretilirler. Sert bağlayıcılı diskler yumuşak malzemelerin, yumuşak bağlayıcılı diskler ise sert malzemelerin kesimine daha uygundur. Elmas emdirilmiş disklerde yaygın olarak kesme işlemlerinde kullanılmaktadır. Malzemeye uygun disk kullanmak en verimli sonucu verecektir. Genelde malzeme boyutu uygunsa 25 mm çapında ve elle tutulacak boyda numune kesilir. Daha küçük numuneler kalıba alınır. Şekil 3 metalografik numune kesme cihazını göstermektedir.

3.2. Kalıba Alma (Mounting)

Kalıplamanın esas amacı elle tutulamayacak kadar küçük ve ya düzgün şekli olmayan numunelerin sonraki işlemlerde kolay tutulabilir ve incelenebilir hale getirilmesidir. Bir polimer içine numunenin gömülmesi ile yapılan kalıplama, zımparalama esnasında numunenin kenarlarının yuvarlaklaşmasını ve numunenin paslanmasını engeller, mikroskopik inceleme için düz yüzey elde edilmesini sağlar, elimizi kimyasallardan bir miktar uzaklaştırmış olur ve saklama için işaretlemeyi/markalamayı kolaylaştırır.

Numune boyutu ve geometrisi uygunsa numunenin kalıba alınması zorunlu değildir. Ancak ince teller, yaprak şeklinde metaller klipsler yardımı ile tutturulup kalıba alınmalıdır. Kalıplama işlemi sıcak ve soğuk olmak üzere iki ayrı şekilde yapılabilir. Her iki yöntem için kullanılan plastikler (reçineler) farklıdır. Kalıplama öncesi numunenin kaba zımparadan geçirilmesi, alkol ve ya asetonla temizlenip kurutulması faydalıdır.

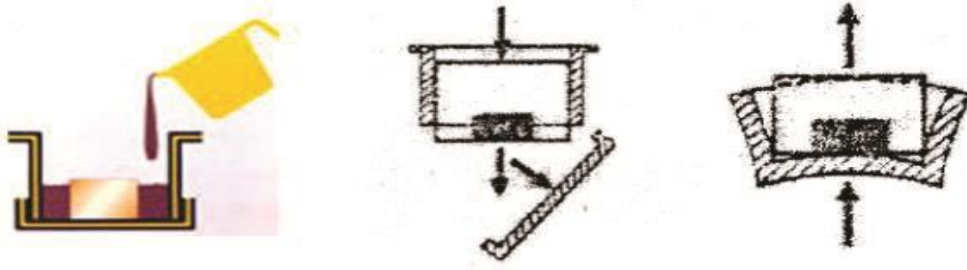
Sıcak kalıplama için özel kalıplama cihazı kullanılır. Numune, yüzeyi alt zımba yüzeyi ile temas edecek şekilde kalıplama makinesi haznesine yerleştirilir ve üzerine yeteri kadar termoset polimer tozu dökülür. Sistemin kapağı kapatılır ve yük altında 150-160 °C'de polimer pişirilir. Polimerizasyonun tam olarak elde edilmesi önemlidir. Soğutma sonrası kalıba alınmış numune aletin dışına çıkartılır. Bu işlem için en çok bakalit, sonra akrilik ve epoksi reçineleri kullanılır. Fakat bakalit çok yaygın olduğundan işleme bakalite alma da denir. Polimer tozuna bakır ve ya demir eklenerek iletkenlik sağlamak, cam tozu ilave edilerek bakalitin sertliğini artırma gibi işlemler mevcuttur..

Sıcak kalıplamada kullanılan polimerler genellikle birçok dağlama çözeltilisine dayanıklıdır fakat yine de çözünebilecekleri unutulmamalıdır. Şekil 4 yarı-otomatik bakalite alma cihazı ve bakalite alınmış numune örneklerini göstermektedir.

Soğuk kalıplama yine polimer esaslı malzemelerle oda sıcaklığında yapılır. Basınç ve sıcaklık yoktur. Poliester, akrilik ve epoksi reçineler kullanılır. Bu işlemde reçine sertleştirici ile sıvı halde karıştırılır ve kalıba konulan numunenin üzerine dökülür. Soğuk kalıplama genelde standart şekilli, örneğin silikon kalıplara döküm ile yapılır. Şekil 5 soğuk kalıplama sürecini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 4: Bakalite alma cihazı ve bakalite alınmış numuneler



Şekil 5: Soğuk kalıplama işlemi

Soğuk kalıplamanın avantajı sıcak kalıplama sırasında ki ısı ve deformasyondan etkilenen örneğin; Al, Sn, Pb, lehim gibi malzemelere uygulanabilirliği ve seri halde kalıplamaya imkân vermesidir. Önemli olan nokta kalıp sıvısı karışımlarının reçetelere uygun hazırlanmasıdır.

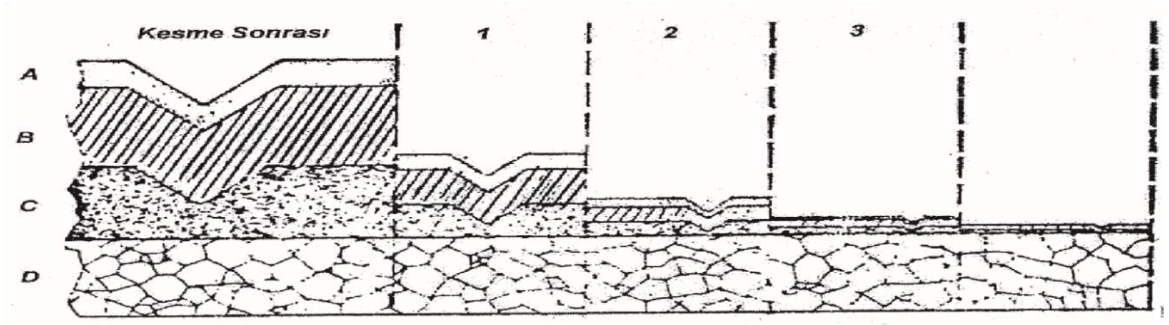
Aksi halde sertleşme sırasında ekzotermik reaksiyon sonucu ısı çıkışı, polimerizasyonun yetersiz ya da çok hızlı olması gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Hazırlanan numuneler muhakkak kodlanmalı, kalıp kenarları yuvarlatılmalı ve desikatörde muhafaza edilmelidir. Şekil 6 soğuk kalıplama için kullanılan kalıpları ve kalıba alınmış numune örneklerini göstermektedir.



Şekil 6: Soğuk kalıplama kalıpları ve kalıba alınmış numuneler

3.3. Zımparalama ve Parlatma

İncelenecek olan parçadan kesilerek alınan numunenin yüzeyi son derece pürüzlü, ayrıca yüzeyde deformasyon ve çoğu zamanda oksitlenmeyle birlikte bir tabaka oluşmaktadır. Mikroskopta inceleme yapabilmek için numune yüzeyinin son derece düzgün ve ters/çevrik mikroskop kullanılmıyorsa yüzeylerin paralel olması gerekir. Orijinal içyapının ortaya çıkarılabilmesi için yüzeyde ki deforme olmuş ve oksitlenmiş tabakanın uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için önce zımparalama işlemi uygulanır. Çünkü yüzeyde ki derin pürüzler ancak zımparalama ile hızlı bir şekilde ortadan kaldırılabilir.



Şekil 7: Testere ile kesme sonrası numune yüzeyinde meydana gelen deformasyon tabakası ve bu tabakanın zımparalama sırasında, giderek azalan zımpara kalınlığı ile giderilmesi (A,B,C deformasyona uğramış bölge, C orijinal içyapı)

Şekil 7 şematik olarak kesme sonrası numune yüzeyini ve zımparalama basamağı ile yukarıda bahsedilen deforme olmuş ve ya oksitlenmiş tabakanın giderilerek orijinal içyapının ortaya çıkarılmasını göstermektedir.

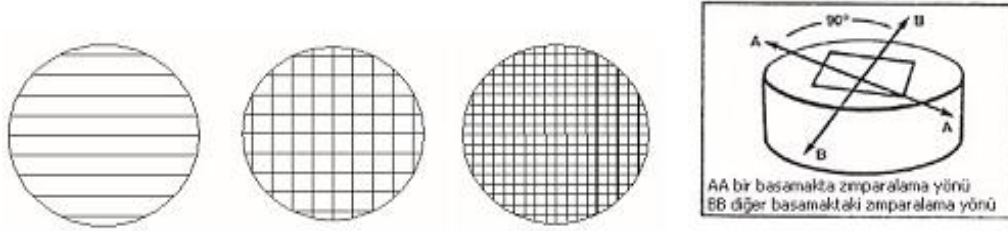
Zımparalar sert ve aşındırıcı nitelikte SiC ve ya Al_2O_3 taneciklerinin suya dayanıklı kâğıt ve ya kumaş üzerine yapıştırılması ile üretilmiştir. Zımparalar bu aşındırıcı taneciklerin boyutuna göre numaralandırılır. Numaralar, aşındırıcı tanelerin elendiği mesh sayısını göstermektedir yani 1 inç uzunlukta kaç delik olduğunu gösterir. Bu nedenle zımpara numarası arttıkça toz boyutu küçülür ve zımpara incelir. Tablo 1, zımpara kâğıtlarının numaralarını ve buna bağlı olarak aşındırıcı partiküllerin tane boyut aralıklarını vermektedir.

Zımparalama genelde akan su altında yapılarak numunenin ısınması engellenir, ayrıca numuneden kopan parçacıklar da uzaklaştırılır. Zımparalama işlemi kalın zımparadan ince zımparaya doğru olacak şekilde yapılır. Zımparalama dönen diskler üzerinde otomatik sistemlerde ya da sabit camlar üzerine yerleştirilmiş zımpara kâğıtları ile elle sürtülerek gerçekleştirilir.

Tablo 1: Zımpara kâğıtlarının numaralanması ve tane boyutu

Zımpara Tane Numarası	Uzun Yazılış Şekli	Kısaltılmış Yazımı	Tane Boyutu (µm)
80	4	-	210-177
150	3	-	105-88
180	2	-	88-74
240	1	-	53-45
320	0	1/0	37-31
400	00	2/0	31-27
600	000	3/0	22-18
800	0000	4/0	15-11

Kaba zımparalama 80-150 numaralı zımparalarla yapılır. Genelde bir önceki zımparalama basamağının izleri kaldırılıncaya kadar zımparalamaya devam edilir. Elle yapılan zımparalama da, zımparalama izlerinin ortadan kaldırılmasını kolay izleyebilmek için bir sonraki basamak için numune 90° döndürülerek zımparalanır. İşlem şematik olarak Şekil 8’da gösterilmektedir.



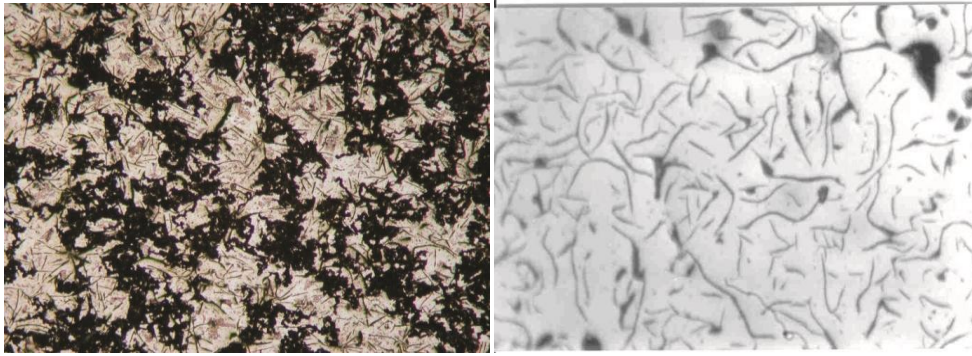
Şekil 8: Zımparalama sırasında her basamakta bir önceki izlerin silinmesi

İnce zımparaların aşındırma kapasitesi daha az olacağından bir önceki basamağa göre daha uzun zımparalama yapılır. Zımparalama numunenin hafifçe zımpara yüzeyine bastırılması şeklinde uygulanmalıdır. Aşırı yük özellikle yumuşak numunelerde zımparanın numune yüzeyine batması ile teması artırarak zımparalanma süresini uzatır ve ayrıca zımparanın çabuk yıpranmasına neden olur. İnce zımparalama sonrası yüzey pürüzlülüğü yaklaşık 1µm’ye kadar düşer. Saf Cu numune ile uygun şekilde yapılan zımparalama basamakları Şekil 9’da gösterilmektedir. Görüldüğü üzere her basamakta bir önceki basamakta oluşan zımpara izleri tamamen yok edilerek numune yüzey pürüzlülüğü azaltılmaktadır. İnce zımparalama numune yüzeyinin pürüzlülüğünü azaltırken bir anlamda da parlatma işlemine ön hazırlık olarak düşünülebilir. Zımparalama basamağında yapılan hatalar daha sonra giderilemeyeceğinden zımparalama esnasında dikkatli olunmalıdır. Şekil 10, zımparalama sırasında oksit tabakası düzgün şekilde giderilemeyen bir numunenin incelenmesi sırasında yüzeyinin mikroskop altında nasıl görüldüğünü açık şekilde ortaya koymaktadır.

Parlatma işleminin temel amacı, ışığı iyi yansıtan ayna benzeri bir yüzey elde etmektir. Parlatma mekanik, elektrolitik, otomatik parlatma yöntemlerinden biriyle yapılır. Mekanik parlatma yönteminde 50-600 devir/dak hızla dönebilen disklerden faydalanılır, Şekil 11. Parlatma diskleri örneğin plastik malzemeden yapılmış olup üzerleri parlatma aşamasına göre çadır bezi, sert çuha, poplin, kadife, naylon vb kumaşlarla kaplanır. Parlatma işlemi de zımparalama gibi kaba ve ince parlatma olarak ikiye ayrılabilir. Kaba parlatmada çadır bezi gibi tüysüz kumaşlar kullanılırken, ince parlatmada kısa tüylü çuha ya da kadife kumaşlar tercih edilir.



Şekil 9: Cu numune ile başarılı şekilde yürütölmüş zımparalama işlemleri



Şekil 10: Solda ki resim düzgün şekilde zımparalanmadan parlatılmış gri dökme demir numuneyi göstermektedir. Sağdaki resim aynı numunenin düzgün şekilde zımparalama sonrası, dağlanmamış yapısını göstermektedir.



Şekil 11: Mekanik parlatma diskleri

Parlatma aşındırıcı partiköller içeren bir solösyonun, parlatma bezi üzerine dökölmesi ile yapılır. Kaba parlatma da aşındırıcı boyutu 15-1 µm arasındadır. İnce parlatmada ise 0,250-05 µm boyut

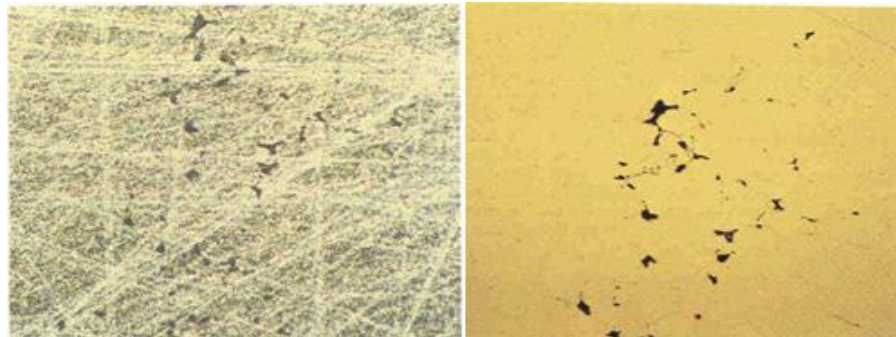
aralığında partiküller kullanılır. Aşındırıcı olarak çoğunlukla α - Al_2O_3 ya da Cr_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 ve ya elmas tozu kullanılır, Tablo 2. Elmas tozu genelde macun ya da sprey şeklinde uygulanırken diğerleri damıtık solüsyonlar halinde uygulanır. Elmas kullanılması halinde yağ bazlı yağlayıcılar, alümina ve diğerlerinde ise su türü yağlayıcılar kullanılır. Zor parlatılabilen, çok sert numunelerin parlatılmasında elmas tozu daha verimlidir.

Parlatma sırasında süspansiyon belirli aralıklarla disk üzerine dökülür. Dökme zamanı aralığı, numune disk üzerinden kaldırıldıktan sonra birkaç saniye içinde kuruyacak şekilde ayarlanmalıdır. Numune disk üzerinde dönme yönüne ters istikamette hareket ettirilmeli ve arada kendi etrafında sağa ya da sola çeyrek tur döndürülmelidir. Parlatmanın yeterli olup olmadığını kontrol etmek için tecrübeli kişilerde çıplak gözle ya da mikroskopta 100X büyütme de bakılmalıdır. Gözle bakıldığında yüzey ayna gibi olmalı ve ya mikroskopta bakılınca çiziksiz olmalıdır. Şekil 12 aynı numunenin yetersiz ve yeterli parlatma sonrası mikroskop altında ki görüntülerini vermektedir. Parlatılan numune önce su ile sonra alkol ile yıkanarak saç kurutma makinesi ile kurutularak dağlanmaya hazır hale getirilir.

Tablo 2: Zımparalama ve Parlatma işleminde yaygın olarak kullanılan aşındırıcılar ve kullanım alanları

Zımparalama		En ince zımparalama	İnce zımparalama	Kaba zımparalama
Parlatma	Son parlatma	İnce parlatma	Kaba parlatma	
Sünger taşı				
Alçı taşı				
SnO_2				
MgO				
Fe_2O_3				
Cr_2O_3				
Zımpara				
Doğal korund				
Sentetik korund				
BeO				
Al_2O_3				
SiC				
B_4C				
Elmas				

Parçacık boyutu (μm) 0 0.1 1 10 100



Şekil 12: Yetersiz parlatma yapılmış numune yüzeyi (zımpara izleri hala yüzeyde belirgin) ve aynı numunenin düzgün parlatılması sonrası yüzeyi

Parlatma sonrasında daşlamaya geçmeden de bazı incelemeler yapmak mümkündür. Örneğin;

- Dökme demirlerde grafitlerin yapısı ve dağılımı
- İnkzyonlar
- İçyapıda ki gözenekler
- Çatlaklar
- Taneler arasında meydana gelmiş korozyon

Mekanik parlatma ile pek çok malzemede tatminkr sonuçlar elde edilebilir, öte yandan bakır, alüminyum, östenitik paslanmaz elik gibi tek fazlı ve yumuşak malzemelerin mekanik parlatılması zordur. abuk izilme ve aşırı yükleme ile deformasyon, sorunlara yol açabileceğinden elektrolitik parlatma bir seçenek olarak dşnlmelidir. Özel elektrolitik parlatma cihazlarında belirli akım ve voltajda belirli kimyasal çözeltiler içinde yapılan elektrolitik parlatma işlemi sonucunda, son derece düzgün ve temiz bir yüzey elde edilir. Öte yanda bu işlemlle elde edilen yüzeyle mikroskopta inceleme sırasında fokus problemi yaşanabilir, çünkü elektrolitle parlatma sırasında farklı fazların çözeltiden etkilenmeleri farklı olacaktır. Benzer problem farklı sertlikte fazlar içeren alaşımlarda da mekanik parlatma sırasında farklı aşınma miktarları sebebiyle yaşanabilir. Parlatılmış bir numune yüzeyi kirlenme ve izilmelerden uzak tutulmalıdır. Bilhassa ıplak parmak ile numune yüzeylerine dokunulmamalıdır.

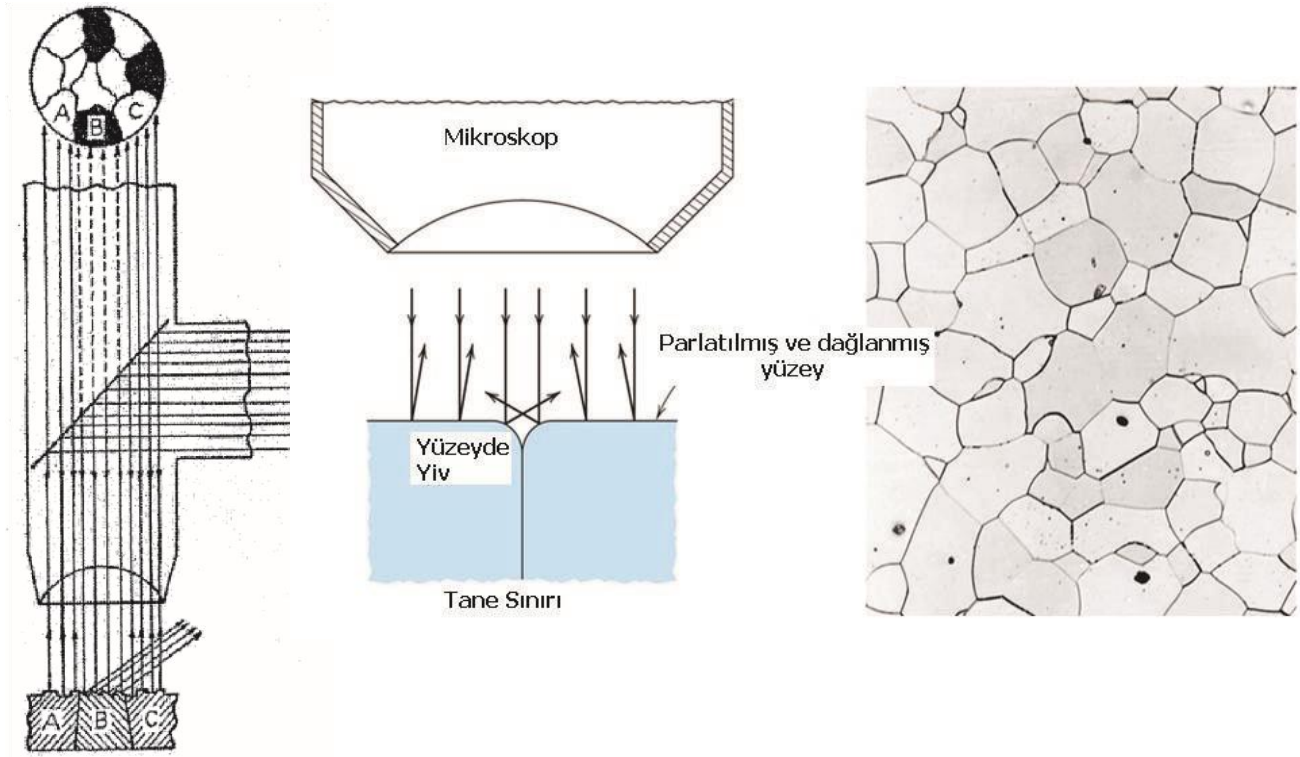
İçyapıda bulunan fazların ve tane sınırlarının metal mikroskobunda görülebilmesi için parlatma işleminden sonra dağlama yapılması gerekir. Dağlama kimyasal, elektrolitik ve ya fiziksel olabilir. Kimyasal ve elektrolitik dağlama en yaygın kullanılan dağlama çeşitleridir.

3.4. Dağlama

Yukarıda da bahsettiğimiz üzere parlatılmış numunelerde dağlama yapılmadan bazı incelemeler yapılabilir. Öte yandan parlatılmış yüzeyler, her noktada ışığı eşit miktarda yansıttığından yapının detaylarını görmemiz zorlaşır. Bunu engellemek için yapıda kontrast oluşturmak gerekir ki bu da dağlama ile yapılır. Metalografik incelemelerin çoğu, parlatılmış yüzeylerin uygun bir kimyasal çözeltiye maruz bırakılması sonrasında gerçekleştirilir. Tane boyutu, deformasyon yapısı, keltiller, mikroyapı sementasyon-nitrasyon derinlikleri, dekarbürizasyon gibi pek çok parametrenin incelenmesi için dağlama işlemi gereklidir.

Numune yüzeyi dağlama çözeltisine maruz bırakıldığında, malzeme yapısında bulunan fazlar ve tane sınırları/tane içi arasında mikro düzeyde piller oluşarak, enerjisi yüksek olan tane sınırları ve

fazlar anot, diğer bölgeler ise katot gibi davranır. Anot olan bölgeler aşınır yani çözünür. Aşınan kısımlar mikroskop altında ışığı farklı yönlere yansıtıklarından koyu, aşınmayan bölgeler ise ışığı geri yansıtıklarından açık renkte görünürler. Böylece yapıda kontrast oluşturulmuş olur. Yani daha açıkçası, fazların dağlama çözeltisi içinde ki korozyon hızları farklıdır, Şekil 13.



Şekil 13: Dağlama işlemi ile tane sınırlarının ortaya çıkarılması

Dağlama sonrası numune su ya da alkol ile hemen yıkanır ve reaksiyon durdurulur. Daha sonra ise kurutma işlemi uygulanır.

Burada anlatılan dağlama kimyasal bir olaydır. Parlatma kısmında sözü edilen elektrolitik usul, dağlama içinde kullanılmaktadır. Bu özellikle Al, Ti, Mg ve alaşımları için kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca özellikle seramiklerin inert olmaları nedeniyle, bu malzemeler için ısı yolları mevcuttur. Farklı dağlama yöntemleri Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 3: Dağlama Yöntemleri

YÖNTEM	TANIM VE ÖNERİLER
Daldırma	Numune dağlama reaktifine daldırılır
Damlatma	Dağlama reaktifinden birkaç damla numune yüzeyine damlatılır. Çok pahalı reaktiflerde uygulanır.
Yıkama	Numunenin yüzeyi dağlama reaktifi ile çalkalanır. Genellikle büyük numunelerde uygulanır.
Alternatif Daldırma	Numune alternatif olarak iki farklı dağlama reaktifi ile dağlanır. İkinci dağlamada, birinci dağlama sonucu bozulan tabakalar çözünür.
Silme	Numunenin yüzeyi dağlama reaktifine daldırılmış bir pamuk veya bezle silinir.
Temperleme	Numune ısıtılır. Faz yapısına göre renklenme meydana gelir.
Sıcak Dağlama	Numune ısıtılmış dağlama reaktifi içerisine daldırılır.
Çifte Dağlama	Farklı fazlar, farklı renklere karşı duyarlı olduğunda kullanılır.
Tesbit Dağlaması	Belirli fazların tayini için özel reaktiflerin kullanılması
Elektrolitik Dağlama	Numune elektrolitik içerisinde anot durumundadır, dağlama belirli bir akım yoğunluğu ve voltajın uygulanması ile gerçekleştirilir.

Dağlama işlemi gözle, ışık ve ya stereo mikroskopta düşük büyütmelerde (50X, 100X) inceleme yapmak amacıyla yapılırsa bu tür dağlamaya makro dağlama, daha yüksek büyütmeler, tane ve faz yapısı belirlenmek istendiğinde uygulanan dağlamaya mikro dağlama denir.

Çelikler için mikro dağlama çözeltileri Tablo 4'te verilmektedir. Dağlama çözeltileri patlama, yanma, soluma ya da temas ile zarar verme olasılıkları olan çözeltilerdir. Bu sebepten çözeltiler hazırlanırken ve uygulanırken, çözeltilerin hazırlandığı asitler saklanırken dikkatli olunmalıdır. Mümkün ise dağlama çözelti hazırlaması ve uygulanması çeker ocakta ve kimyasal koruyuculuğu yüksek eldiven ile gerçekleştirilmelidir.

Tablo 4: Çelikler için mikro dağlama çözeltileri

Çözelti	Yöntem	Dikkat	Uygulama Alanı
Nital Çözeltisi Etanol (%95) 100 ml Nitrik asit 1-10 ml	1 san-1 dak	% 10'luk çözelti aşılmamalıdır, <i>PATLAYICIDIR</i>	Düşük karbonlu çelikler, saf ferrit, alaşımlı çelikler ve gri dökme demir. Segregasyonlara etkisi düzensiz olabilir.
Etanol/Metanol (%95) 100 ml Hidroklorik asit 20 ml	5-30 dak.	Çözelti hemen kullanılmalı, mümkünse % 30 hidrojen peroksit ilavesi yapılmalıdır.	Kübik ve tetragonal martenzitik farklılıklar Ni'li Cr çelikleri, yüksek sıcaklık çelikleri
Etanol (%96) 100 ml Pikrik asit 2-4 gr	1 san-1 dak	Fe ₃ C açık sarı renkte görünür	Ferritik ve ısıtılmış işlem görmüş çelikler,
Etanol/Metanol (%96) 100 ml Nitrik asit 0.2 ml Pikrik asit 0.3 ml	1 san-1 dak		Isıl işlem görmüş çelikler
Etanol/Metanol (%96) 100 ml Hidroklorik asit 1-5 ml Pikrik asit 1-4 gr Hidrojen Peroksit % 3	1 san-1 dak	Tane sınırlarını meydana çıkartmak için numune dağlama öncesi 10 dak 300-500 °C'ye çıkartılır	Cr-Ni'li çeliklerde tane sınırlarında kök çökeltileri görünür hale getirir
Etanol/Metanol (%95) 85 ml Hidroklorik asit 1-10 ml Nitrik asit 1-4 gr	1-3 dak		Isıl işlem görmüş takım çeliklerinde tane sınırlarını ortaya çıkarır, alaşımlı Crçelikleri için uygundur

Demir ve demir-dışı metal ve alaşımlar için kullanılan dağlayıcılar ile ilgili çok daha geniş bilgiyi ASM Handbook 9. Cilt, Metallography and Microstructures bölümünde bulabilirsiniz.

3.5. Replika Uygulaması

Bazı malzemeler laboratuvara getirilemez ve ya bazı malzemelerden numune alınması sakıncalı olabilir ve ya mümkün olmayabilir. Büyük merdaneler, petrol depolama tankları, çeşitli yüksek sıcaklığa dayanan reaktörler bu tür malzemeler örnek olarak verilebilir. Bu malzemeler için numuneler olduğu yerde hazırlanabilir. Bunun için özel portatif- taşınabilir parlatma cihazları

geliştirilmiştir. Bu cihazlarda, özel bir kafaya zımpara ve parlatma kumaşları yerleştirilerek malzemenin incelenecek bölgesi parlatılabilir. Parlatılmış bölge uygun çözelti ile dağlanır. Alüminyum folyo üzerinde ki bir çözücü yardımıyla yumuşatılmış selüloz asetat filmi bu bölgeye yerleştirilip bir süre beklenir. Film katılaşınca dikkatlice koparılıp bir lam üzerine yerleştirilir, yerine ya da laboratuvara getirilip mikroskop ile incelenir. Replikalardaki görüntüler esas görüntüye göre terstir.

4. KAYNAKLAR

- E. Geçkinli, Metalografi, İTÜ Yayınları, İstanbul, 1982
- ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM International, 1992
- S. Salman, G. Özkan, Metalografi Bilimi, Kısım-I, Nobel Yayıncılık, Ankara, 2004
- Metkon, Temel Metalografi Esaslar

5. DENEYİN YAPILIŞI:

1. Çubuk numuneden yaklaşık 1cm boyunda numuneler kesilir,
2. Zımpara ve ya taşla çapakları alınır,
3. Bakalite alma cihazında kalıplanır,
4. Taşlama ve ya kaba zımpara ile bakalitin kenarları yuvarlatılır ve numune markalanır,
5. Sırası ile 80, 150, 320, 400, 600, 800 ve 1200 nolu zımpara kâğıtlarıyla zımparalama yapılır,
6. Zımparalama kademesinden sonra el ve numune bol su ile yıkanır,
7. Parlatma kademesinde numune parlatma diskine tutulur ve parlatma süspansiyonu kullanılır,
8. Parlatma sonunda el ve numune bol su ile yıkanır,
9. Numune alkolle yıkanıp kurutulur,
10. Numuneye mikroskopta 100x büyütmede bakılarak parlatmanın yeterli olup olmadığına karar verilir (parlatma yeterli değilse, parlatma işlemine devam edilmelidir),
11. Bir parça pamuk maşa ile tutularak dağlayıcı çözeltisine batırılır ve yüzeyin parlaklığının kaybolup matlaştığı görülene kadar sürülür. Dağlama numunenin direk saat camı içersinde ki dağlayıcıya teması ile de yapılabilir.
12. Dağlama görülünce numune derhal bol su ile yıkanır, ardından alkolle yıkanıp kurutulur, 13- Mikroskopta dağlama durumuna bakılır. Eğer yeterli değilse, dağlama işlemi tekrarlanır.
13. 14-Aşırı dağlama durumunda parlatma kademesine dönülmelidir.

Ek-1: DAĞLAYICI ÖRNEKLERİ

Sıra No	Çözeltilinin İsmi	Çözeltilinin Bileşimi	Dikkat Edilecek Konular	Uygulama Sahası
1	Sodyummetabisülfat (I)	1g. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 100 ml H_2O	Numuneyi solüsyon içinde 2 dk. veya üzeri mavimsi kırmızı renk alıncaya kadar beklet.	Fe-C alaşımları için.
2	Aseton-sodyum bisülfat	30g. Aseton-sodyumbisülfat 100 ml H_2O	Numuneyi solüsyon içinde 2 dk. veya üzeri mavimsi kırmızı renk alıncaya kadar beklet.	Fe-C alaşımları için.
3	Klemm solüsyonu (I)	50 g. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 'in soğuk suda doydurulmuş solüsyonu 1g. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	Dağlama süresi 40-120s. Ferrit siyah-kahverengi renk alır, buna karşılık karbit, nitrat ve fosfatlar beyaz kalırlar. Aynı zamanda fosfat dağılımını ortaya çıkarmak mümkündür.	Ferrit, Perlit yapısı, aynı zamanda sertleştirilmiş alaşımsız çelikler ve dökme demirler için.
4	Sodyummetabisülfat (II)	a) 25 ml. HNO_3 75 ml. Etil veya metil alkol ve bundan sonra aşağıdaki solüsyonla (b) dağlanır. b) 15-30 g. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 100 ml. damıtık H_2O	Önce 10 S'lık bir dağlama tane sınırlarını ve aynı zamanda biraz yapıyı açığa çıkarır. (Dikkat bu konsantrasyonlarda HNO_3 ve $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ tehlikelidir.) Sıra No. 1'de olduğu gibi	%5-15 Nikel ihtiva eden, Fe-Ni alaşımları için, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 'in konsantrasyonu alaşımdaki nikel miktarıyla değişir. Değişik yöndeki martenzit taneleri değişik renk alırlar.
5	Beraha Solüsyonu (I)	3 g. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 10 g. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 100 ml damıtık H_2O	Önce %4'lik pikrat'da 1-2 dk. dağlanır, sonra numune Beraha solüsyonunda 2 dk. veya yüzey mavimsi kırmızı renk alıncaya kadar bekletilir.	%5-15 Mangan ihtiva eden Fe-C alaşımları için. Aynı zamanda Fe-C alaşımlarında fiziksel ve kimyasal homojensizleri gözlemede kullanılır. Fe-C alaşımlarında ferrit renk alır, sementit hiçbir değişikliğe uğramaz. Mn, Mn-C ve Mn-Cr çelikleri bu solüsyonla renk alırlar.
6	Klemm solüsyonu (II)	50 ml. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 'in soğuk damıtık suda doydurulmuş solüsyonu 5g. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	α, θ, γ fazları arasındaki kontrastı gösterir. Bu kontrast kromca zengin çeliklerde donmuş asetik asit ilavesiyle artırılabilir.	Mn, Mn-C ve Mn-Cr çelikleri için.
7	Sodyumhiposülfat'ın sudaki solüsyonu	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 'in soğuk damıtık suda doydurulmuş solüsyonu	Ferrit tanelerinde sarımtırak kahverengi rengini verir. Dağlama süresini azaltmak için 1-2 g. Na veya K metabisülfat ilave edilebilir. Sementit beyaz kalır.	Ferrit çelikleri (Armco Iron) ve düşük C çelikleri için.
8	Groesbeck solüsyonu	4 g KMnO_4 4 g Na_2O_2 100 ml. damıtık H_2O	Dağlama 60-80 °C sıcaklıktaki solüsyonla yapılır.	Fe-Cr çelikleri için.
9	Asitik amonyum molybdate (veya amonyum uranote)	$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 15 g. $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 100 ml. damıtık H_2O 100 ml. HNO_3 2 ml. $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ solüsyonu. 100 ml. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Önce $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ suda çözülür ve sonra HNO_3 ilave edilir. 4 günlük bir dinlendirmeden sonra solüsyon kuru asbestte filitrelenir. $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ yerine $(\text{NH}_4)_2\text{VO}_4$ kullanılabilir. Numune 1,5-4,5 dk. dağlanır. Ferrit mor veya mavi veya sarımtırak yeşil veya kırmızı renkte görülür, sementit ise beyaz kalır.	C çelikleri için
10	Murakami Solüsyonu (I)	10 g. KOH 10 g. $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 100 ml. damıtık H_2O	Dağlama sıcak veya soğuk, fakat taze solüsyonda yapılır. Dağlama 3-10 dk. sürerse, ferrit sarımtırak- kahverengi renkte görülür, östenit ise beyaz kalır. 10-60 sn. dağlamadan sonra ferrit sarımtırak- kahverengi, östenit beyaz,- fazı pas veya koyu kahverengi renkte görülür.	Cr-Ni çelikleri için
11	Murakami Solüsyonu (II)	30 g. KOH 30 g. $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 60 ml. damıtık H_2O	Kaynama noktasındaki solüsyon kullanılır. Fazı 20-40 sn. içinde mavi renk alır, östenit değişmez, ferrit ise sarımtırak- kahverengi bir renk alır. Aynı şekilde M_{23}C_6 karbitleri renkli görülürler.	Cr, Cr-Ni, CrMn çelikleri için

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

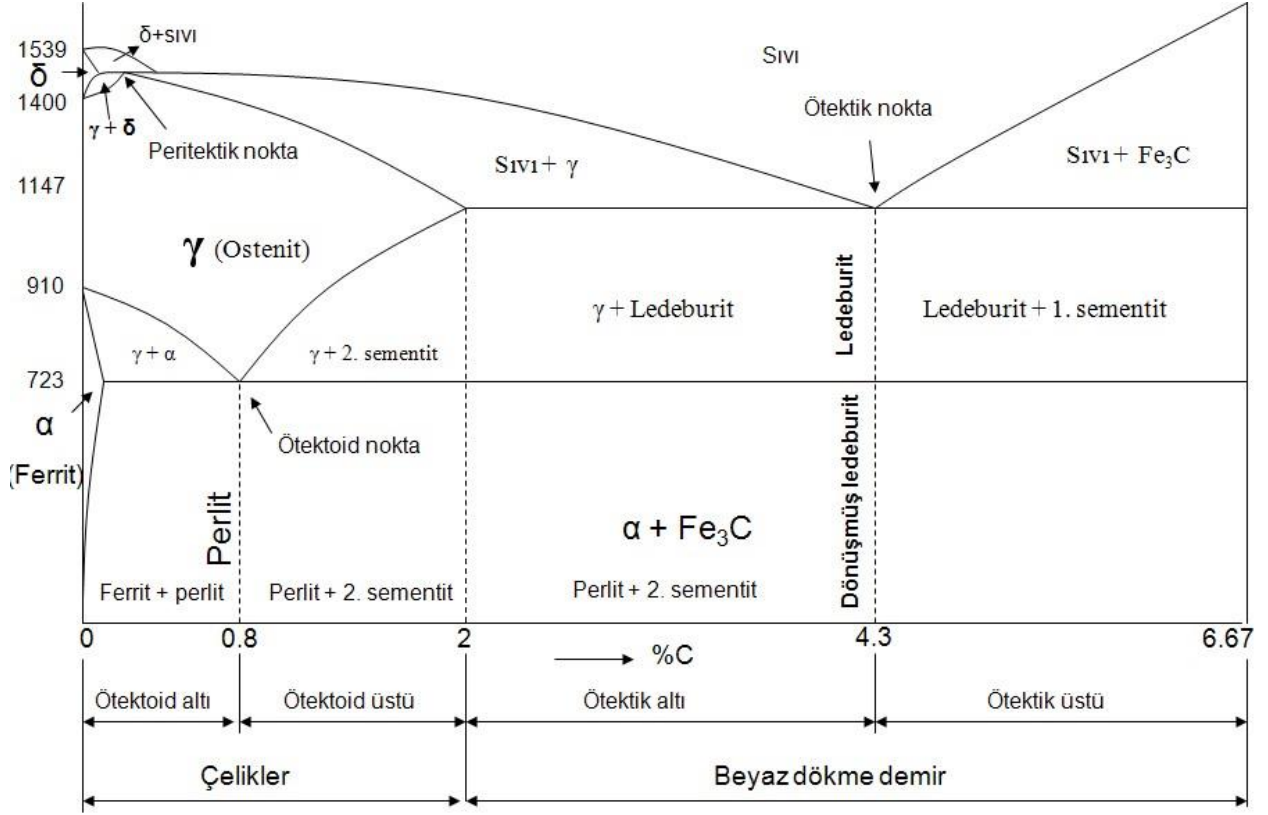
LABORATUAR-1 DERSİ

NUMUNELERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ
DENEY FÖYÜ

2019-2020 Güz Yarıyılı

BÖLÜM 1. ÇELİK YAPILARININ MİKROYAPI İNCELEMESİ

1. ÇELİKLERDE DENGE YAPILARI



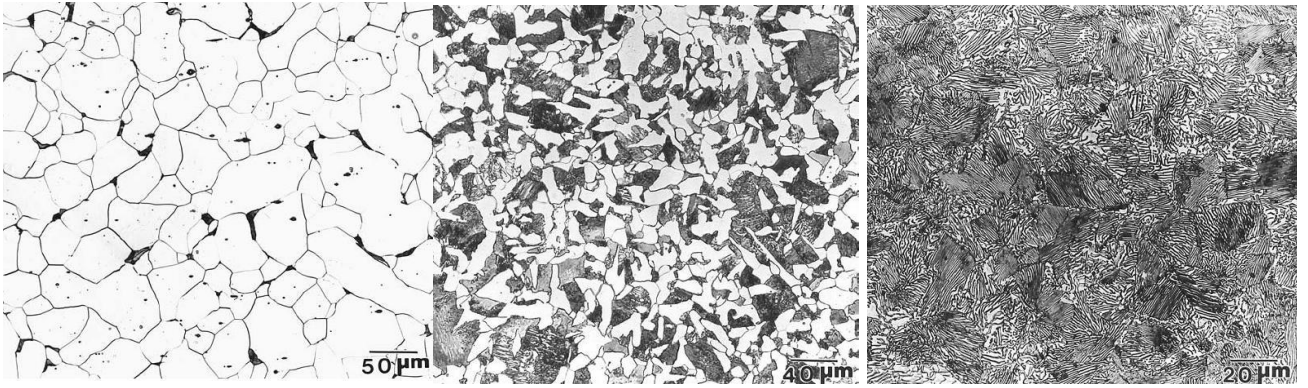
Şekil 1: Fe-Fe₃C faz diyagramı

Çelikleri sınıflandırma yöntemlerinden birisi de, kompozisyonları kullanmaktır. Çelik türlerinden bir olan yalın karbon çelikleri de aşağıda verilen alt sınıfları içerirler.

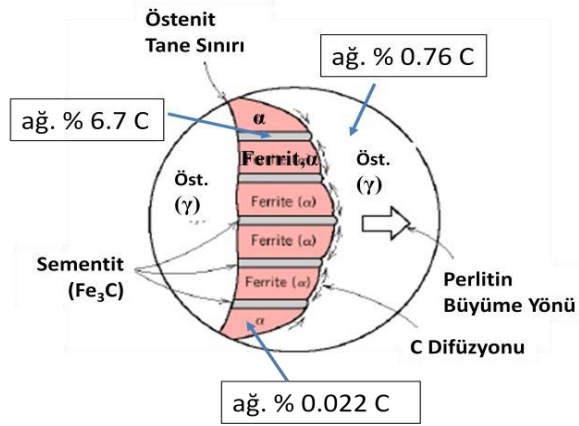
Tablo 1: Yalın karbonlu çeliklerin karbon miktarlarına göre sınıflandırılması

Alt Sınıf	Karbon İçeriği (ağ.%)
Düşük karbonlu çelikler	< 0.2
Orta-karbonlu çelikler	0.2-0.5
Yüksek karbonlu çelikler	>0.5

Sade karbonlu çeliklerde, karbon içeriklerinin yanında % 1'in altında Mn, % 0.1'in altında S ve P'de bulunur.



Şekil 2: Düşük, orta ve yüksek karbonlu çeliklerde mikroyapılar; % 0.1 C’lu çelik, beyaz faz ferrit, siyah bölge perlit, % 0.4 C’lu çelik, beyaz faz ferrit, siyah bölge perlit, % 0.95 C’lu çelik, perlit matris ve az miktarda tane sınırı sementiti



Şekil 3: Perlitin büyümesi

Ötektoid kompozisyonda, 0.8 % C, östenit (demir-karbon katı çözeltisi) tamamıyla perlit diye adlandırılan ferrit-sementit fazları karışımına dönüşür.



(a) Ötektoid Alaşım

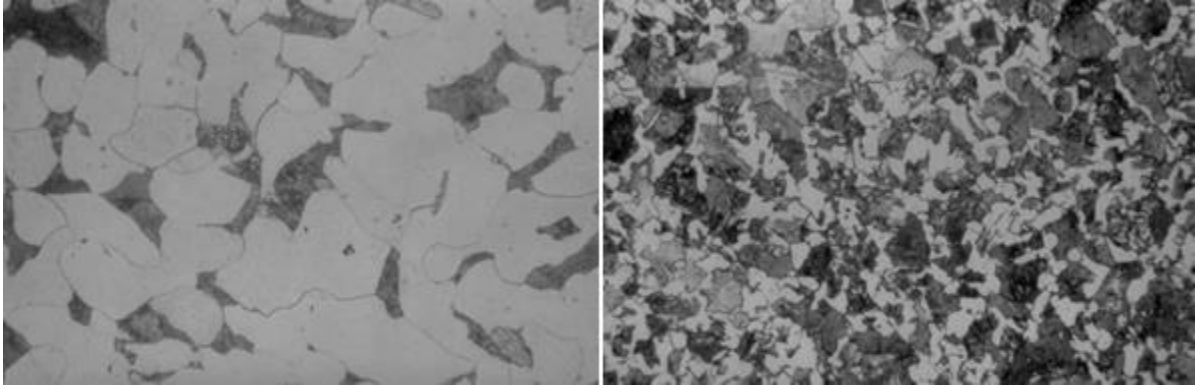
Östenitin lameller şeklinde ferrit ve sementit olarak dekompoze olması ile oluşur. Bu iki faz karışımına perlit denir. Çeliklerde ötektoid reaksiyon;



(b) Ötektoidaltı (Hypoeutectoid) Alaşım:

Östenitten ilk çökecek olan faz ötektoid öncesi ferrittir. Ferrit ilk olarak östenit tane sınırlarında çekirdeklenir ve tane içine doğru büyür. 727°C’de kalan tüm östenit perlite dekompoze olur.

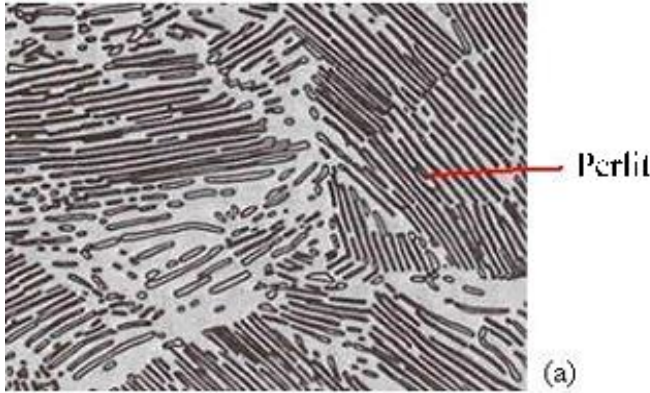
Ötektoid öncesi ferrit miktarı alaşımın karbon içeriğine bağlıdır. Düşük karbonlu çeliklerde ferrit miktarı tabii ki fazla olacaktır.



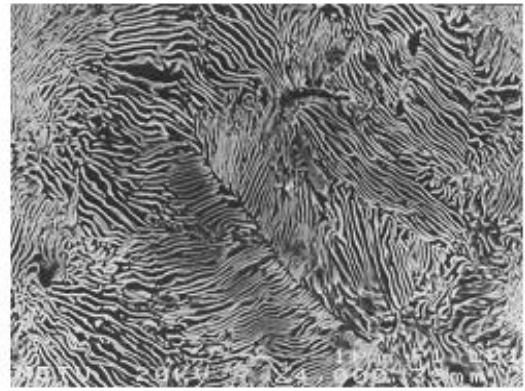
Şekil 4: Karbon miktarının ötektoid altı çeliklerde yapıya etkisi (düşük-yüksek karbonlu)

(c) Ötektoidüstü (Hypereutectoid) Alaşım:

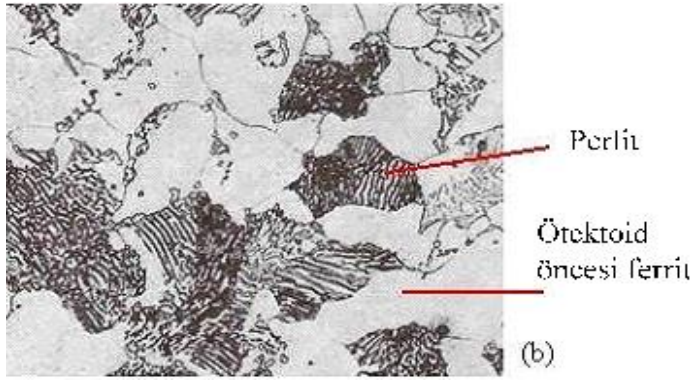
Ötektoidüstü çeliklerde öncelikli çökelen faz ötektoid öncesi sementittir. Sementit aynı ferrit gibi östenitin tane sınırlarında çekirdeklenir fakat tane içine değil, yapıda ki tane sınırları boyunca bir ince film tabakası gibi büyüyerek bir ağ yapısı meydana getirir. Bu durum çeliğin kırılganlığını artırarak mühendislik uygulamaları için onu uygunsuz hale getirir. Daha fazla soğutma ile birlikte 727°C’de kalan östenit perlitte dönüşür.



Ötektoid Çeliği (OM)



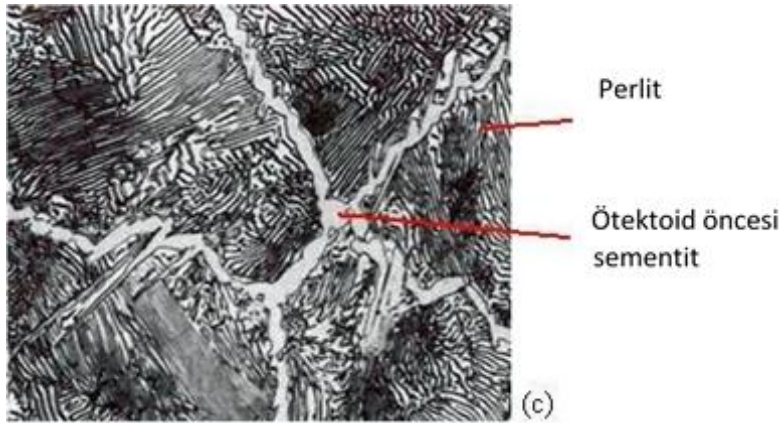
Ötektoid Çeliği (SEM)



Ötektoidaltı Çelik (OM)

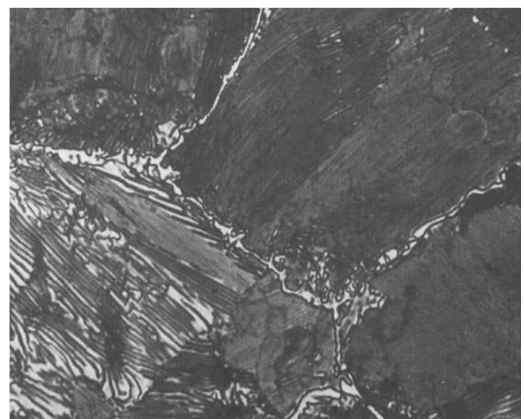
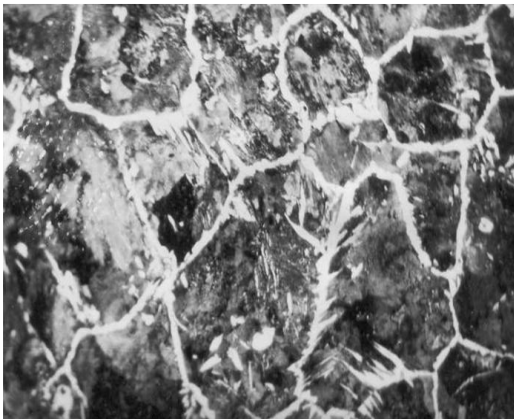


Ötektoidaltı Çelik (SEM)



Ötektoidüstü Çelik

Şekil 5: Çelik denge yapılarının optik mikroskop ve elektron mikroskobu görüntüleri



Şekil 6: Yüksek karbonlu ötektoid altı çelikler ile ötektoid üstü çeliklerin mikroyapıları

2. İZOTERMAL (EŞ-ISIL) DÖNÜŞÜMLER SONUCU OLUŞAN MİKROYAPILAR

Faz dönüşümleri (yani mikro-yapının değişmesi) üç kategoride incelenebilir:

-Difüzyona-bağımlı, mevcut fazların sayılarında yada kompozisyonlarında herhangi bir değişimin olmadığı dönüşümler:

Saf metalin ergimesi, katılaşması, allotropik dönüşümleri rekristalizasyon

-Difüzyona-bağımlı, mevcut fazların kompozisyonlarında ve/ve ya sayılarında değişimin yaşandığı dönüşümler:

Ötektoid dönüşümler

-Difüzyondan-bağımsız faz dönüşümleri, Martenzitik dönüşümde olduğu gibi yapıda ki tüm atomların bir arada küçük hareketleri ile oluşan yarı-kararlı fazların oluştuğu dönüşümlerdir.

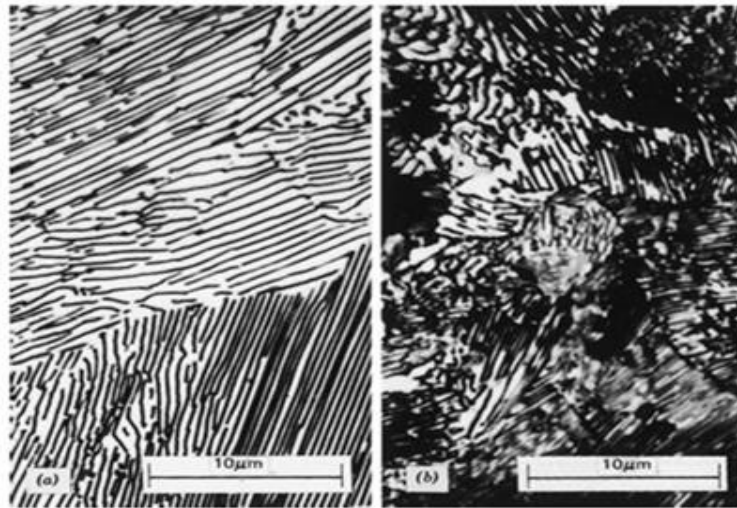
Difüzyon-bağımlı faz dönüşümleri çok yavaş gerçekleşebilir ve genelde son mikroyapı soğutma/ısıtma hızına bağlıdır. Dolayısı ile faz dönüşümlerinin zamana bağımlılığı yani kinetiğinin incelenmesi gerekir.

Faz dönüşümü prosesi aşağıda ki basamakları içerir.

- -Yeni fazın çekirdeklenmesi; yeni fazın kararlı küçük partiküllerinin (çekirdeklerin) oluşması.
- Çekirdekler genelde tane sınırları yada diğer hata bölgelerinde oluşurlar. - Orijinal fazın harcanarak, yeni fazın büyümesi

Azalan dönüşüm sıcaklıklarında ise difüzyon hızı düşer ve tabakalarda daha ince şekilde oluşur.

540 °C civarlarında üretilen ince tabakalı yapı ince perlit olarak adlandırılır, Şekil 7.



Kaba Perlit, yavaş soğutma
(3000X)

İnce Perlit, hızlı soğutma,
(3000X)

Şekil 7: Kaba ve ince perlit yapıları

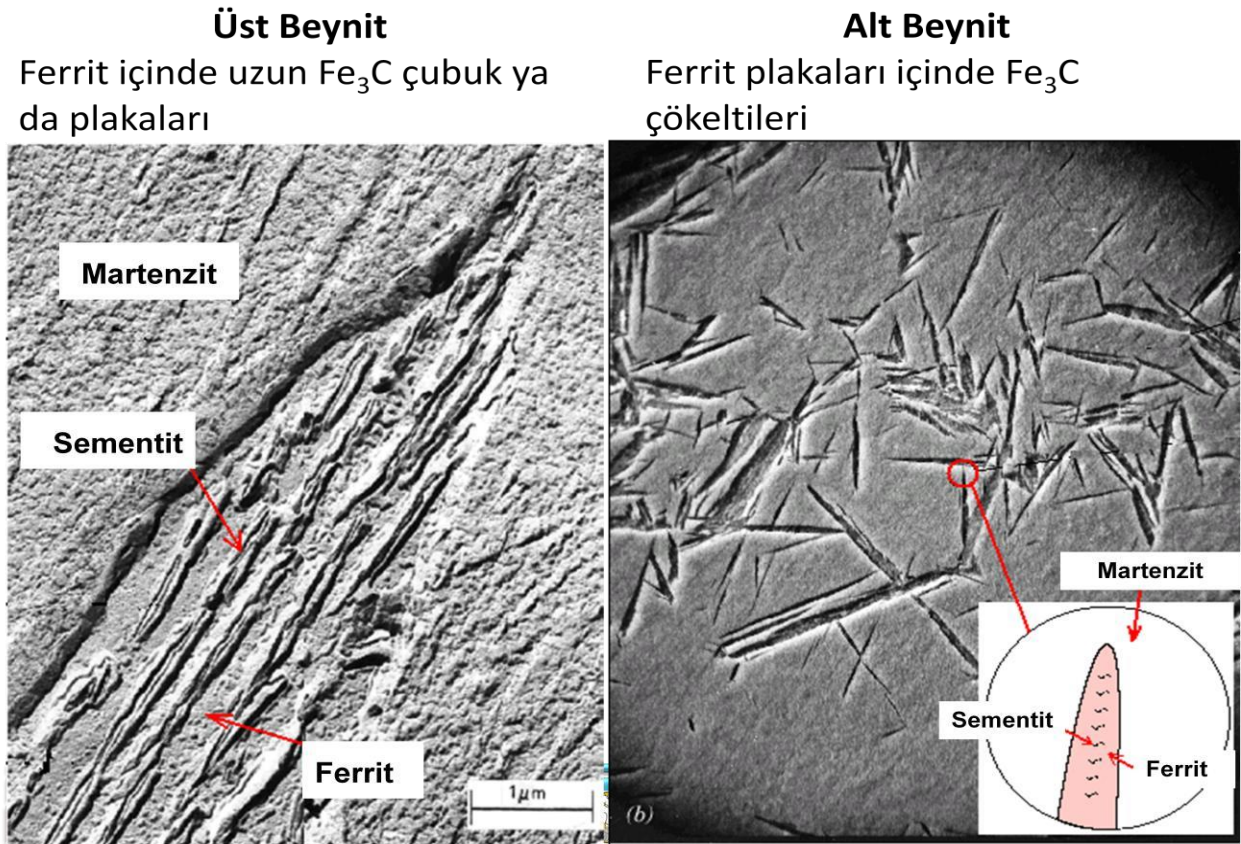
Daha önceden bahsettiğimiz üzere ötektoid kompozisyonunun dışındaki diğer kompozisyonlarda ötektoid öncesi faz (ferrit ve ya sementit) perlitte bir arada bulunur.

2.1 BEYNİT

Soğutma şartlarına bağlı olarak görülen östenit dönüşümü mikro yapılarından birisi de beynittir. Beynit de yapısında ferrit ve sementit içerir ve oluşumunda difüzyon gereklidir. Beynit, yapısında, dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak iğneler ya da plakalar içerir ve oldukça *ince mikro yapısı ancak elektron mikroskobu ile ayırt edilebilir*.

Beynit oluşum bölgesinde dönüşüm çekirdeklenmeden çok difüzyon tarafından kontrol edilir.

Difüzyon düşük sıcaklıklarda az olduğundan yapı çok incedir.



Şekil 8: Üst ve alt beynit yapıları, (elektron mikroskobu görüntüleri)

2.2. DENGESİZ YAPILAR

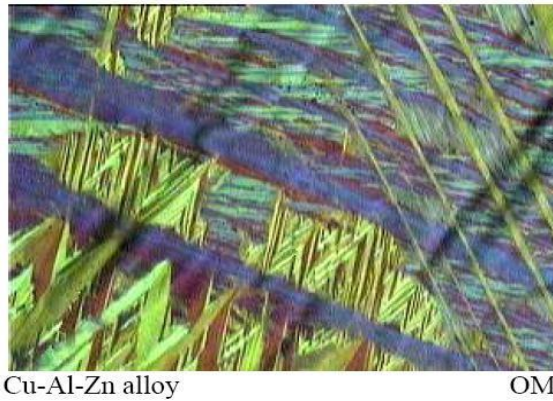
Bir yüksek sıcaklık kararlı fazı, hızlıca soğutulduğunda alaşım genelde denge faz diyagramlarına göre hareket etmez. Karşılaşılabilecek sonuçlar:

- Yüksek sıcaklık kararlı fazı oda sıcaklığına donup kalabilir. Bu durumlarda yüksek sıcaklıkta kararlı olan faz oda sıcaklığında aşırı doymuş katı çözelti haline gelir ve kararsızdır (örnek: β -pirinç, kalıntı- γ)
- Düşük sıcaklık fazının miktarı değişkendir
- Düşük sıcaklık fazının morfolojisi değişkendir
- Tamamıyla yeni fazlar oluşabilir (martenzitik dönüşüm)

2.2.1. Martenzitik Yapılar

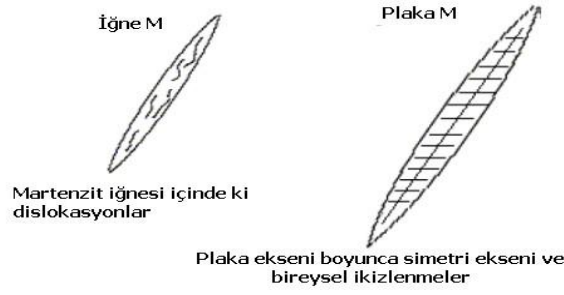
Martenzit, jenerik bir terimdir ve difüzyonsuz kayma dönüşümleri ile oluşan mikroyapılar için kullanılır. Martenzitik dönüşüm demir alaşımlarında ve pek çok demir-dışı alaşımda örneğin CuAl, Au-Cd görülür.

Demir dışı alaşımların martenzitlerinde optik mikroskopla incelemede metal ya da alaşımdan bağımsız olarak hemen hemen her zaman plakalar şeklinde bir görünüm mevcuttur. Şekil 9, örnek olarak Cu-Al-Zn alaşımının optik mikroskop görüntüsünü vermektedir.



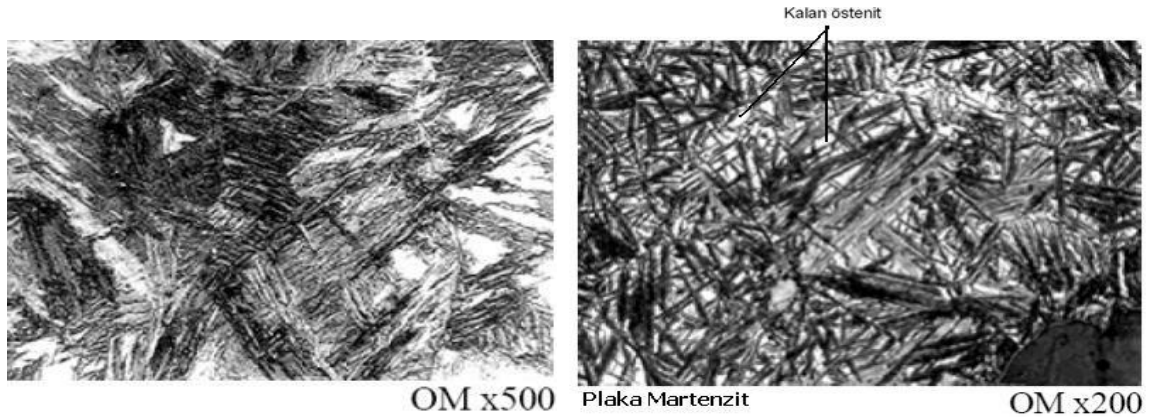
Şekil 9: Martenzitik dönüşüme uğramış Cu-Al-Zn alaşımının optik mikroskop görüntüsü

Kristallografik ve metalografik açıdan düşünüldüğünde iki tipte martenzit yapısı mevcuttur. Plaka (ve ya ikizlenmiş) martenzit ve lath (ve ya iğne) martenzit, Şekil 10. Hangisinin oluşacağı temel olarak östenitin karbon içeriğine bağlıdır ve mikroyapı detayları ancak TEM ile görülebilir.



Şekil 10: İğne ve plaka martenzitin şematik gösterimi

Eğer östenitte bulunan karbon miktarı; $\% C \leq 0.3$ ise lath (iğne) martenzit oluşur. 100-200 iğne paralel olarak dizilirler ve paketleri oluştururlar. Bu paketlerin ve tek tek iğnelerin incelenebilmesi ancak elektron mikroskobu yardımı ile gerçekleştirilebilir. $0.3 \leq C\% \leq 0.5$ sahip östenit ile hem iğne hem plaka martenzit oluşabilir. Eğer karbon miktarı $0.5 \leq C\%$ ise plaka (ikizlenmiş) martenzit oluşur. Martenzit plakaları ayrı ayrı oluşurlar, her birinin yönelimi farklıdır bazen de zig-zag düzeninde oluşum sergilerler. Tek büyük plakalar optik mikroskopta ayırt edilebilir. Her iki yapı da Şekil 12’de verilmektedir. M_s ve M_f sıcaklıkları östenitteki karbon miktarından çok fazla etkilenir. Matriste $> 0.6 \%C$ ile M_f $0^\circ C$ altına iner. Eğer oda sıcaklığı M_s ile M_f arasında ise bu sıcaklığa soğutma ile plakalar arasında dönüşemeyen östenit kalacaktır. Buna kalıntı östenit adı verilir. Bu kalıntı östenit sıfır derece altına sıcaklıklara tekrar inme ile martenzite ya da temperleme sırasında beynite dönüşebilir. Dolayısı ile Şekil 11’de verilen mikroyapılarda görülen beyaz faz kalıntı östenittir.

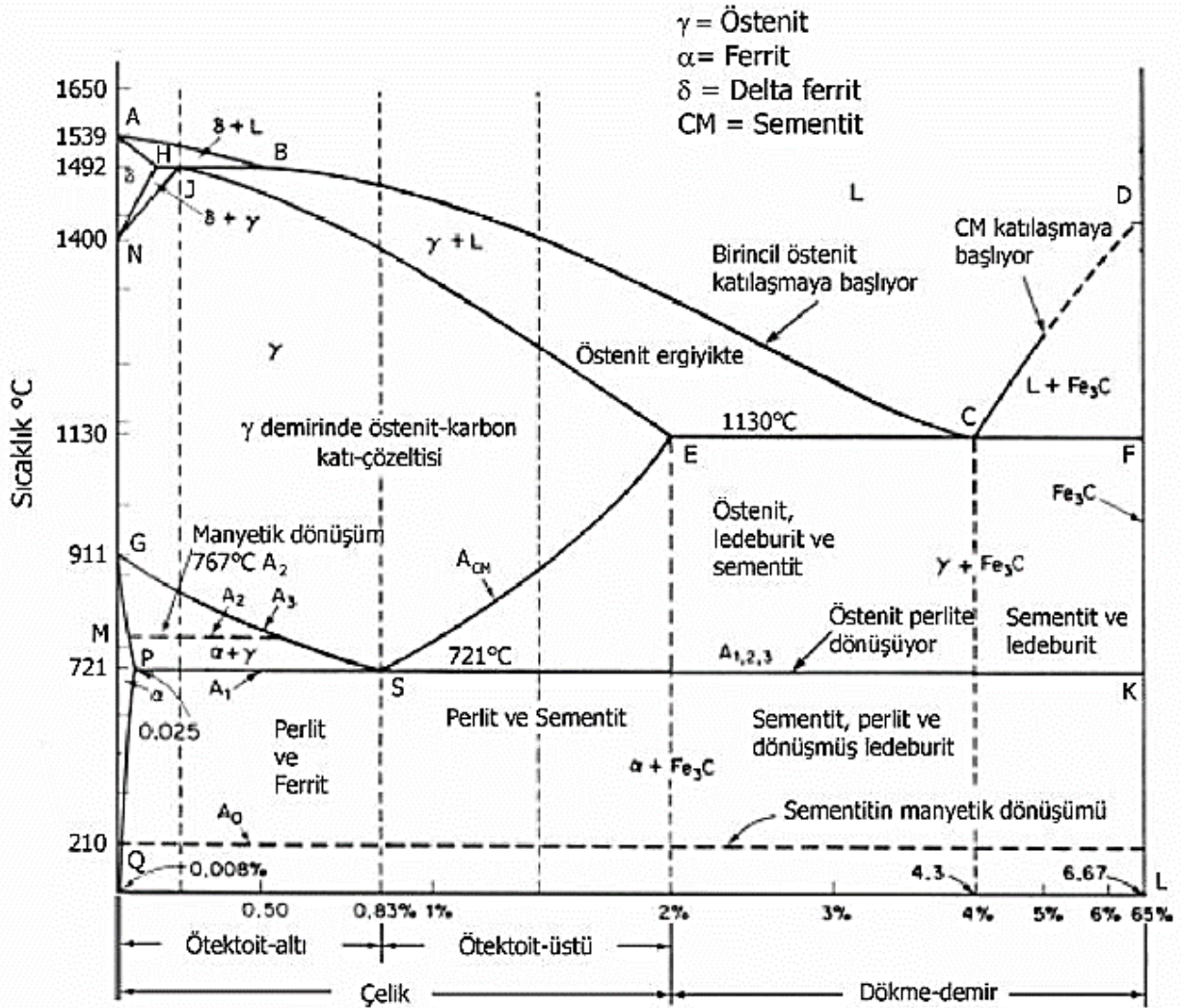


Şekil 11: İğne ve plaka martenzit yapılarının optik mikroskop görüntüleri

BÖLÜM 2. DÖKME DEMİRLERİN MİKROYAPI İNCELEMESİ

1.GİRİŞ

Yüksek fırından elde edilen sıvı ham demirin; kalıplara dökülerek katılaşmasından elde edilen yarı-mamule "PİK", pikin ergitme fırınlarında tekrar ergitilerek ve gerekirse bileşimini de değiştirmek suretiyle, belirli bir modele göre önceden hazırlanmış bir kalıp içerisine dökülmesi ve kalıp boşluğunun şeklini alarak katılaşmasıyla meydana gelen malzemeye ise "DÖKME DEMİR" denilir. Dökme demirler Şekil 1'de gösterildiği gibi genel olarak %2'den fazla C ve %1-3 Si içerirler. Belirli özellikleri kontrol etmek ve değiştirmek için diğer metalik ve metalik olmayan alaşım elementleri de ilave edilir. Kimyasal kompozisyonun yanında özellikleri etkileyen diğer önemli faktörler, katılaşma işlemi, katılaşma hızı ve uygulanan ısıl işlemlerdir.



Şekil 1. Demir-karbon denge diyagramı

2. DÖKME DEMİRLERİN SINIFLANDIRILMASI

Dört temel tip dökme demir, mikroyapılarındaki karbonun dağılımına göre birbirinden ayrılır. Kimyasal kompozisyonları üst üste geldiği için bunlar kimyasal analiz ile ayırt edilemezler. Bu temel metalurjik tipler, gri/esmer dökme demir (lamel grafitli dökme demir), beyaz dökme demir, temper dökme demir ve küresel grafitli dökme demirdir. Bu dökme demirlere ait kimyasal kompozisyonlar Tablo 1’de verilmiş ve yaklaşık olarak karbon ve silisyum değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Dört temel dökme demir tipinin kimyasal bileşimleri

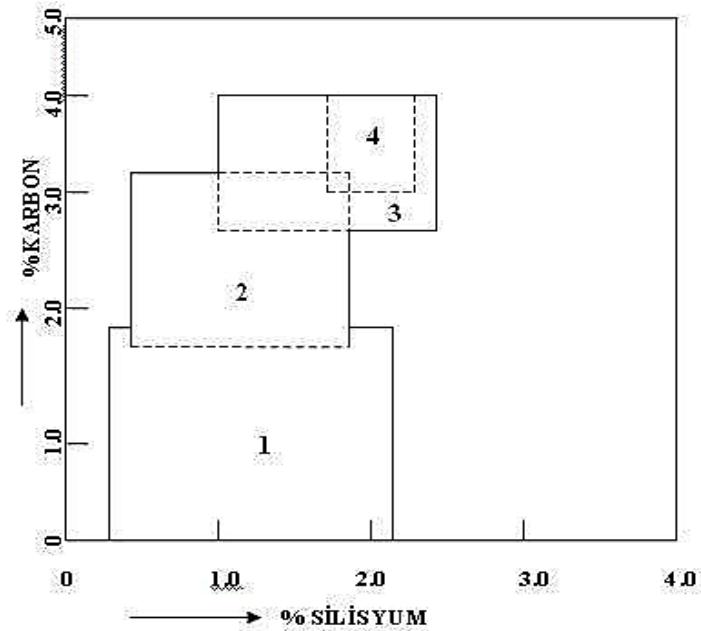
Elementler	Gri Dökme Demir %	[*] Beyaz Dökme Demir %	Yüksek Dayanımlı Esmer Dökme Demir %	[**] Küresel Grafitli Dökme Demir %	[***] Temper Dökme Demir %
Karbon	2,50–4,00	1.80–3,60	2,80–3,30	3,00–4,00	2,00–3,00
Silisyum	1,00–3,00	0,50–1,90	1,40–2,00	1,80–2,80	1,00–1,80
Manganez	0,40–1,00	0,25–0,80	0,50–0,80	0,15–0,90	0,20–0,50
Fosfor	0,05–1,00	0,06–0,18	0,15 Max.	0,10 Max.	0,01–0,10
Kükürt	0,05–0,25	0,06–0,20	0,12 Max.	0,03 Max.	0,02–0,17

[*] Isıl işlem ile temper dökme demire dönüştürülür.

[**] Bileşiminde % 0,01–0,10 magnezyum bulunmaktadır.

[***] Bileşiminde % 0,0005–0,0050 bor ve % 0,0005–0,0150 alüminyum bulunmaktadır.

1. Çelik döküm
2. Beyaz dökme demir (Temper)
3. Gri dökme demir
4. Küresel grafitli dökme demir

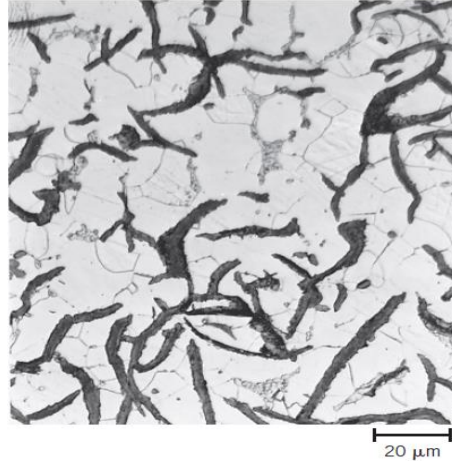


Şekil 2. Demir alaşımlarında yaklaşık karbon ve silisyum içerik aralıkları

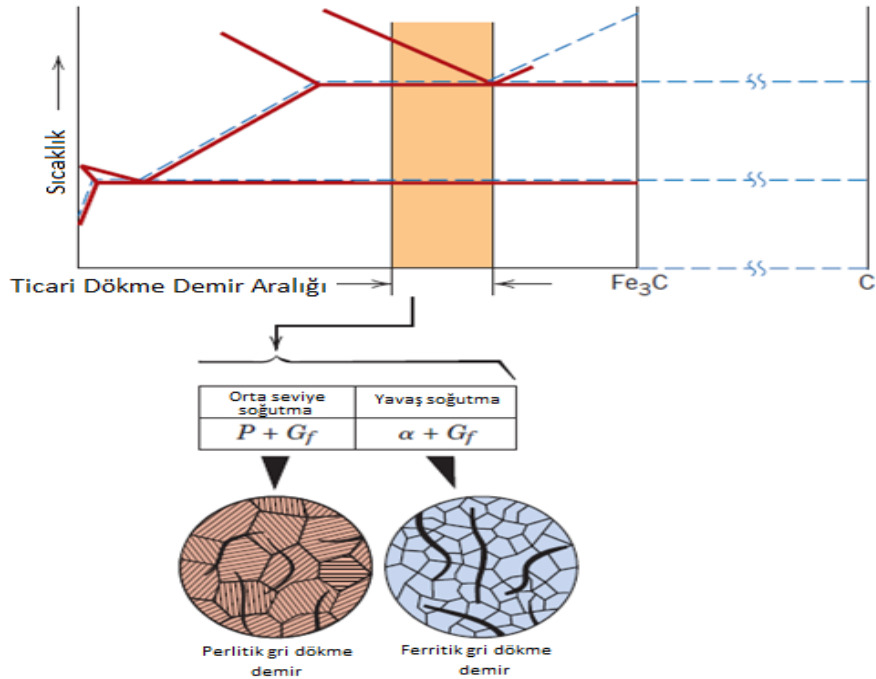
2.1. Dökme Demir Çeşitleri

2.1.1. Gri Dökme Demir

Dökme demirin kimyasal kompozisyonu gri dökme demir aralığında (Tablo 1) ve katılaşma hızı uygun ise sıvı alaşımdaki karbon, katılaşma sırasında ayrı grafit lameller oluşturmak üzere ayrılır (Şekil 3). Gri dökme demirler demir alaşımlarının en akışkanıdır ve sonuç olarak karmaşık ve ince kesitli parçalar üretilebilir. Gri dökme demirin kırık yüzey görüntüsü gerçek bir gri renge sahiptir. Soğutma hızına bağlı olarak matris yapısı perlitik ve/veya ferritik olabilir. Soğutma hızını attırarak ve/veya Si miktarını azaltarak; ferrit matrisinin yerini kısmen ya da tamamen perlit matrisi alabilir (Şekil 4).



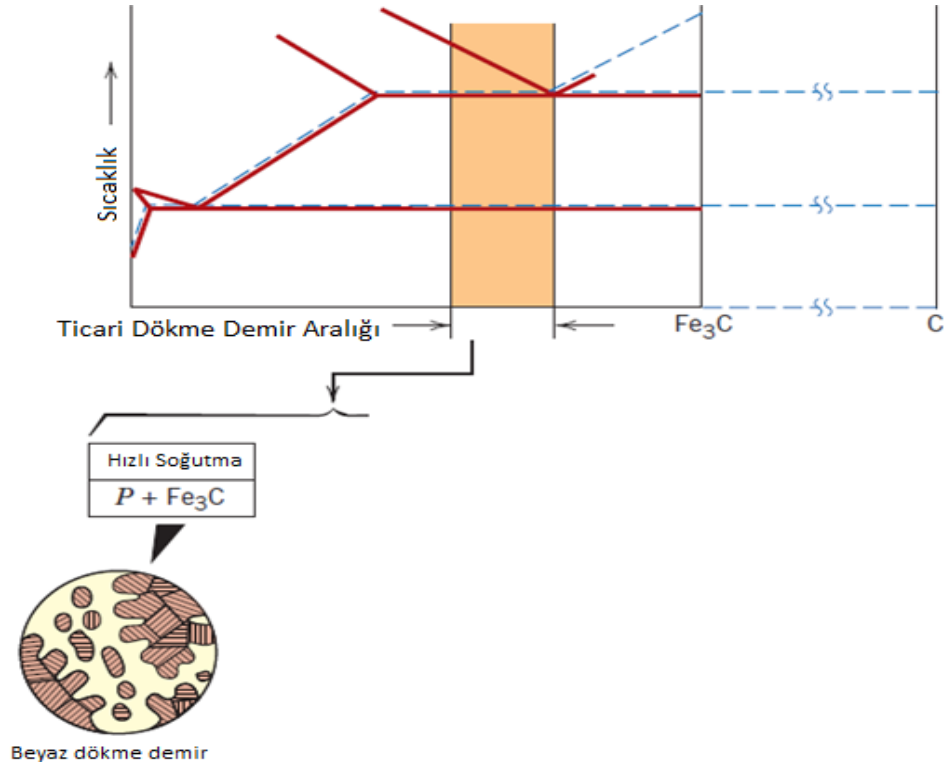
Şekil 3. Gri dökme demir mikroyapısı (x500): α -ferrit matrisi içinde koyu renkli grafit plakaları



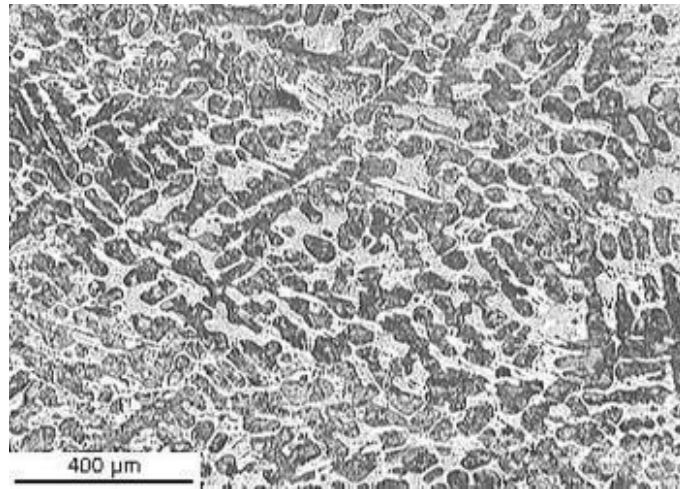
Şekil 4. Ticari dökme demir için demir-karbon faz diyagramındaki kompozisyon aralığı ve farklı ısıt işlemler ile elde edilen gri dökme demir mikroyapıları. (P: Perlit, α : Ferrit, G_f : Grafit plakalar (Graphite flakes))

2.1.2. Beyaz Dökme Demir

Dökme demirin kimyasal kompozisyonu beyaz dökme demir aralığında (Tablo 1) ve soğuma hızı yeterince hızlı ise beyaz dökme demir oluşacaktır (Şekil 5). Beyaz dökme demirde eriyikteki karbon, demirle birleşerek sert, gevrek bileşik olan demir karbür (veya sementit) olarak kalır (Şekil 6-8). Beyaz dökme demir bu nedenle sert ve kırılgandır ve beyaz görünümlü kristal kırılma yüzeyi sergiler.



Şekil 5. Soğutma hızına bağlı olarak elde edilen beyaz dökme demir mikroyapısı



Şekil 6. Beyaz dökme demire ait mikroyapı görüntüsü. Koyu kısımlar dendritik ağ yapısındaki perlit, beyaz kısımlar ise sementit oluşumunu göstermektedir



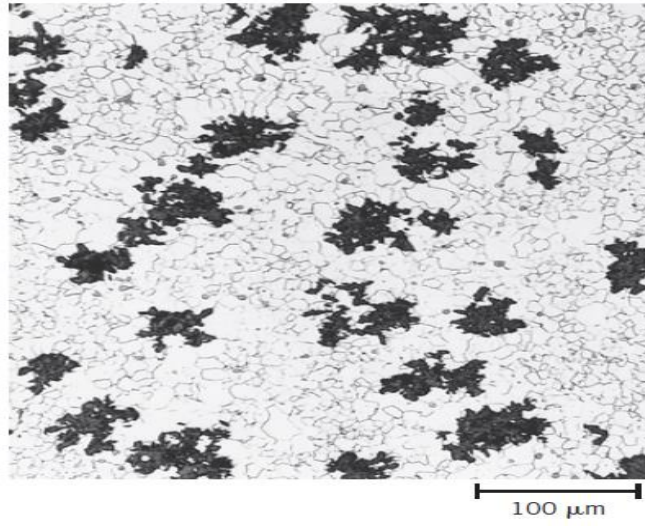
Şekil 7. Ötektik-üstü (hiperötektik) beyaz dökme demir mikroyapısı(x100). Sementit ve perlitten oluşan ötektik yapı içerisinde beyaz renkli primer sementit kristalleri



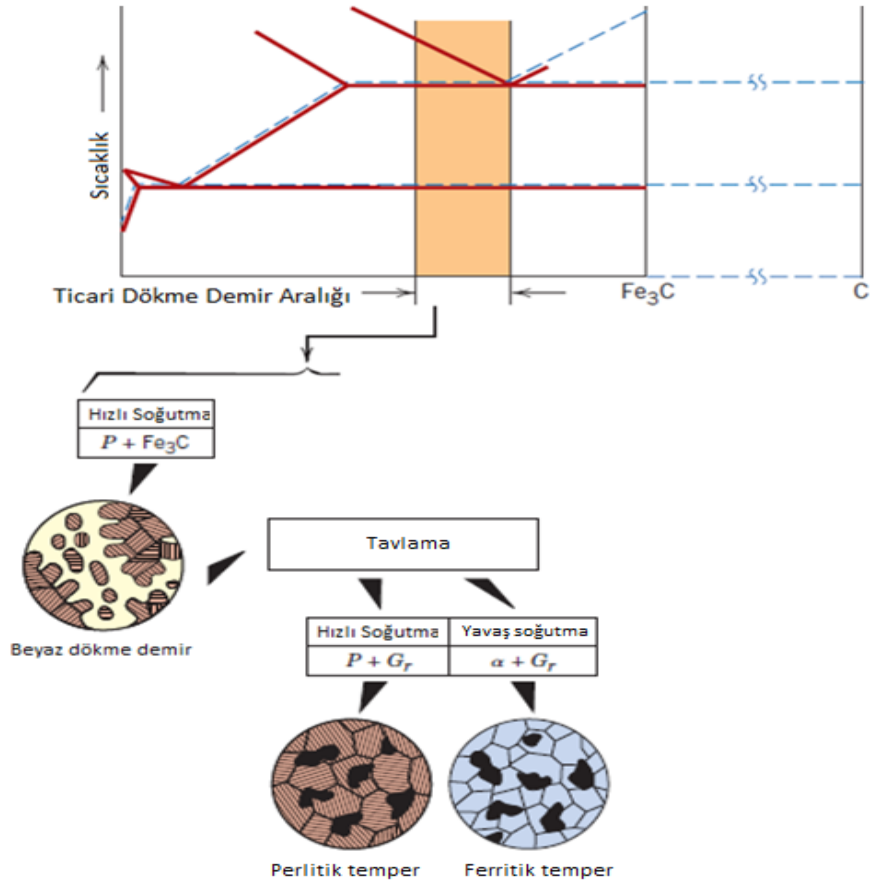
Şekil 8. Ötektik-altı (hipoötektik) beyaz dökme demir (x100). Sementit ve perlitten (siyah) oluşan mikroyapı

2.1.3. Temper Dökme Demir

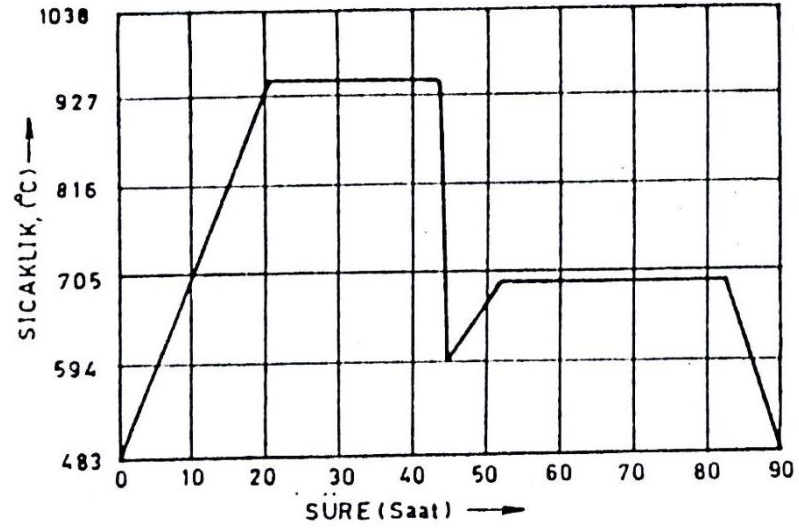
Bu dökme demir tipinde karbonun çoğu düzensiz şekilli rozetler biçimindedir. Temper dökme demirin ilk dökümü uygun kompozisyonda beyaz dökme demir olarak yapılır. Daha sonra genellikle temperleme olarak adlandırılan tavlama işleminde grafitler çekirdeklenir ve rozetler oluşturmak üzere beyaz dökme demirde karbürlerin parçalanması ile büyür (Şekil 9-10). Temper dökme demir için uygulanan tavlama işlemi Şekil 11’da verilmiştir. Temper dökme demirde tavlama ısıl işlemini değiştirmekle çok geniş bir aralıkta özellikler elde edilebilir. Buna karşın ilk olarak beyaz dökme demir oluşturmak için hızlı soğutma gerektiğinden temper dökme demirin kalınlığı sınırlıdır.



Şekil 9. Temper dökme demir mikroyapısı (x150): ferrit matrisi içinde grafit rozetleri (temper karbon)



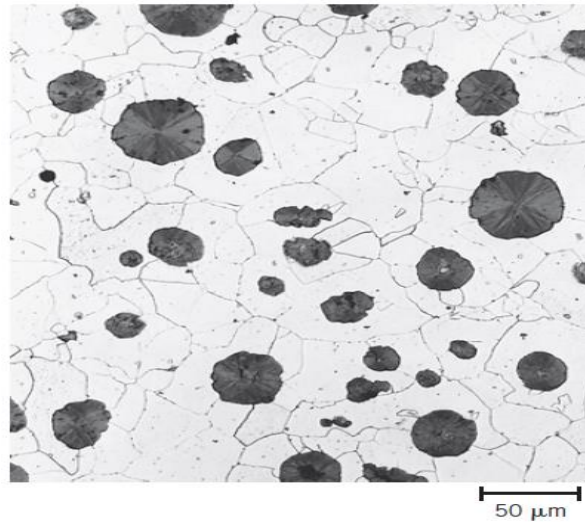
Şekil 10. Isıl işleme ve soğutma hızına bağlı olarak elde edilen temper dökme demir mikroyapıları. (G_r : Grafit rozetler)



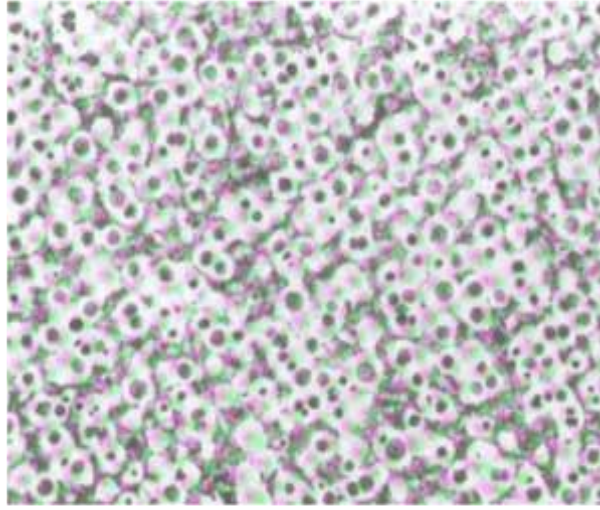
Şekil 11. Temper döküm için tavlama çevrimi

2.1.5. Küresel Grafitli Dökme Demir (Nodüler/Sfero)

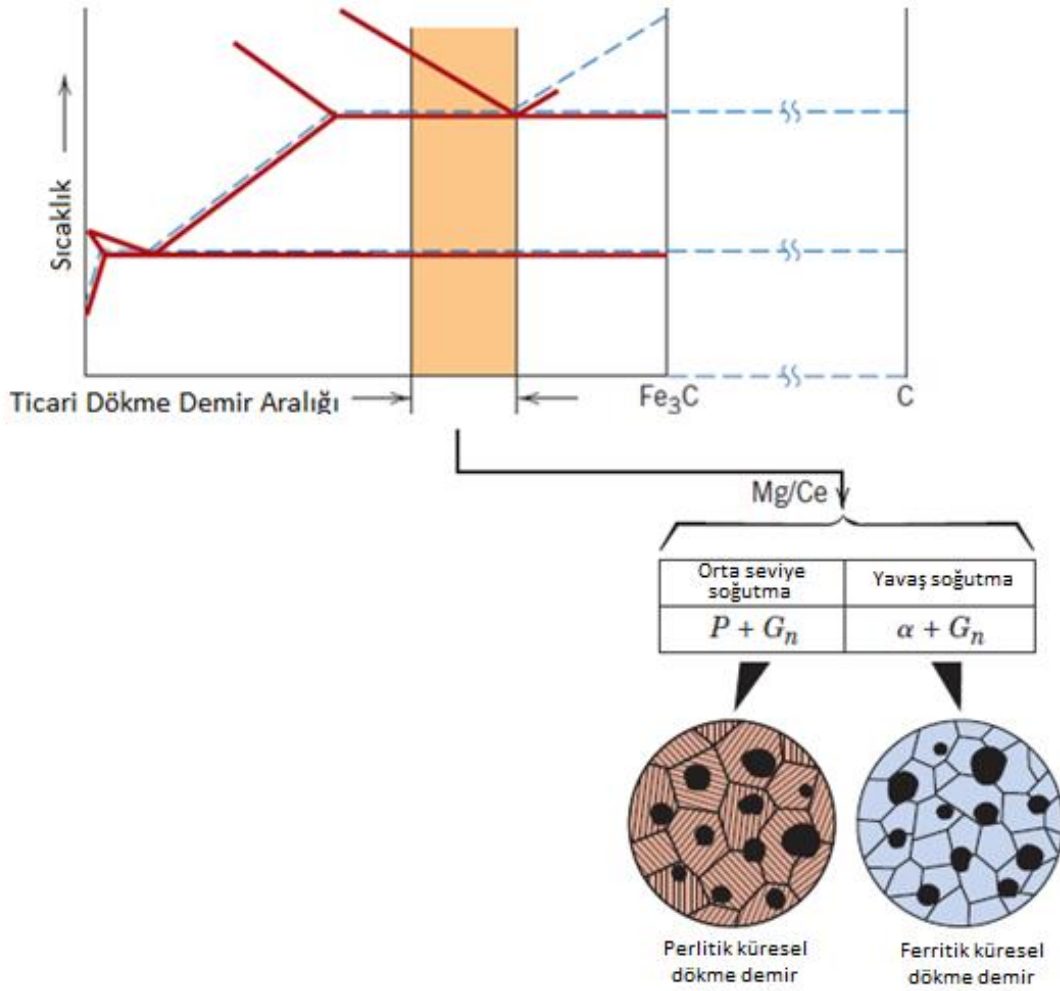
Küresel grafitli dökme demirin (sünek dökme demir) serbest karbonu lamel yerine küre şeklindedir (Şekil 12-13). Bu dökme demirdeki küresel grafit, dökümden önce sıvı alaşıma çok az miktarda magnezyum ilavesi ile elde edilir. Grafitin küre şeklini almasını sağlayan elementler sayıca çok fazla olmasına rağmen, pratik uygulamada genellikle Mg, Ca, Ce ve diğer toprak alkali metaller kullanılır. Küresel grafitli dökme demirin kimyasal kompozisyonu gri dökme demire benzer. Ancak, kükürt ve fosfor gibi elementlerin miktarları çok azdır. Küresel grafitli dökme demirler uygun sünekliklerinin yanında iyi bir akma dayanımı aralığına sahiptir ve temper dökme demirin aksine ince ve kalın kesitli büyük bir aralıkta dökülebirlirler.



Şekil 12. Sünek dökme demir mikroyapısı (x200): α -ferrit matrisi içinde koyu renkli grafit nodülleri



Şekil 13. Perlitik küresel grafitli dökme demirin mikro yapısı (x200)



Şekil 14. Soğutma hızı ve katkı maddelerine bağlı olarak elde edilen küresel dökme demir mikroyapıları. (G_n : Grafit nodülleri)

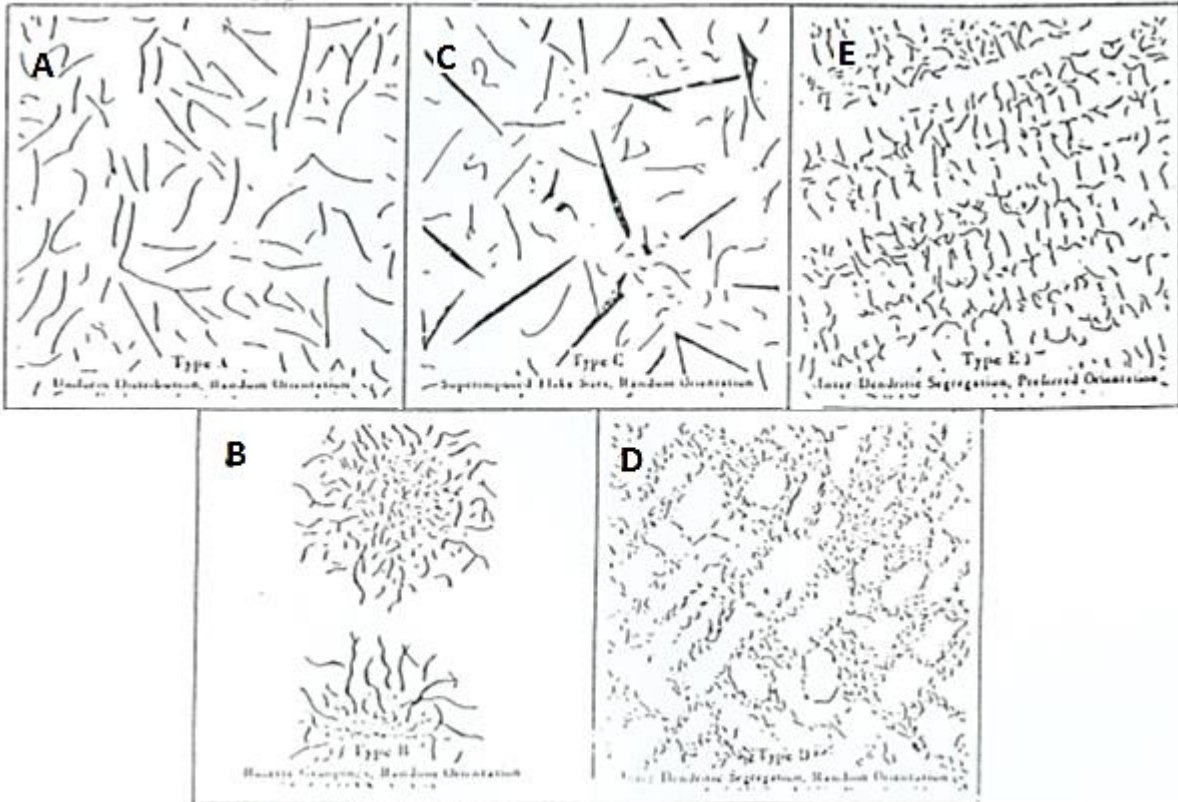
3. DÖKME DEMİRLERDE MİKROYAPI

Dökme demirlerin mekanik özellikleri büyük ölçüde metallografik yapıya bağlı olarak değişir. Dökme demirin yapısal bileşenleri ayrı tipte dökme demirlerin ve değişik şekilli grafitlerin oluşumuna neden olur. En önemli yapı ve bileşen türleri aşağıda verilmektedir:

5.1. Grafit

Dökme demirlerde karbon, bileşik veya serbest halde bulunabilir. Gri dökme demirlerin katılaşmasıyla beraber grafit lamelleri de oluşur ve düşük yoğunlukları nedeniyle toplam hacmin %6 ila %17sine erişebilirler. Dökme demirde lamelden farklı şekilde de grafitler oluşabilir; örneğin beyaz dökme demirin ısıtılma işlemi ile temper karbonu veya rozet şekilli grafit agregatları oluşabilir.

Dökme demirlerdeki grafit şekil ve boyut dağılımının özellikler üzerinde önemli etkisi vardır (Şekil 15). Gri dökme demirlerdeki grafit şekil ve boyut karakteristikleri AFS ve AST tarafından kabul edilen standartlarla tarif edilmiştir. Gri dökme demirde süneklik özelliğinin çok düşük seviyelerde oluşu lamel grafitlerin şekillerinden kaynaklanır. Temper dökme demir yapısındaki rozet şekilli grafitler veya küresel grafitli dökme demirlerdeki küre şekilli grafitler sünekliğe lamel grafitler kadar kötü etki etmez.



Şekil 15. Gri dökme demir yapısında oluşan grafit lamel çeşitleri

Gri dökme demir yapısında genel olarak gelişigüzel yönlenmiş ve uniform dağılmış A tipi lameller tercih edilir. B tipi grafitler daha çok ferrit matris içinde oluşan rozet grupları şeklinde ve gelişigüzel yönlenmiştir. C tipi grafitler ötektiküstü bileşimde oluşur, termal şoka dayanıklıdır, ancak düşük mukavemet ve işlendikten sonra kaba yüzey verir. D tipi grafitler daha yüksek silisyum içeren kompozisyonlarda ve hızlı soğuma şartlarında oluşur. İyi işlenebilme özelliği vermesine karşılık, düşük mukavemet ve düşük aşınma direncine neden olur. Hücresel şekilde oluşan D tipi grafitlerin oluşumuna katılma esnasındaki aşırı soğumanın neden olduğu ileri sürülmektedir. Son olarak E tipi grafitlere daha çok karbon %si düşük ötektikaltı bileşimlerde rastlanır. Grafitler tercihli yönlenme gösterir.

5.2. Sementit

Dökme demirlerde karbon tamamen veya kısmen Fe_3C (sementit) halinde kimyasal olarak birleşmiş durumda bulunabilir. Sementit çok sert ve kırılkan olup, ana bileşenini teşkil ettiği dökme demir tiplerine de bu özelliğini yansıtır. Serbest halden başka perlit ve ledeburit içinde de bulunur. Karbon, dökme demir bileşimindeki %sinin 15 katı civarında Fe_3C meydana getirebilir. Buna göre %2.5 C içeren bir beyaz dökme demirde yaklaşık %37.5 semendi bulunacak ve dolayısıyla çok sert ve kırılkan olacaktır.

5.3. Ferrit

Oda sıcaklığında kübik hacim merkezli yapıda, demir ile az miktarda karbonun oluşturduğu nispeten yumuşak, sünek ve orta derecede mukavemetli bir katı eriyik olarak tarif edilebilir. Dökme demirlerde ferrit bileşimindeki silisyumu içeren fazdır. Silisyum ferriti sertleştirir ve mukavemetini artırır. Silisyum miktarına bağlı olarak ferrit sertliği 100-140 Brinell, uzaması %20-30 ve mukavemeti 35-49 kg/cm² değerlerinde olabilir. Yapısal açıdan, dökme demirlerde ferrit ya serbest halde veya perlit içinde oluşur. Dökme demirin karbonu serbest olarak oluşabiliyorsa, bileşiminde grafitleştiriciler varsa ve soğuma yavaş ise serbest ferritin oluşma şansı yüksektir.

5.4. Perlit

Yan yana sıralanmış ferrit ve sementit tabakalarından oluşmuş iki faz karışımıdır. Dökme demirlerde perlit mukavemetli (84 kg/cm² civarında çekme mukavemeti), orta sertlikte (120-300 Brinell) ve bir dereceye kadar sünektir. Oluşan perlit miktarı grafitleşme mertebesine bağlıdır. Perlitik gri dökme demir yaklaşık olarak %0.5-0.9 birleşik karbon içerir. Birleşik karbonun daha düşük % l llerde oluşu ise genellikle serbest ferritin bulunduğu işaret eder.

5.5. Steadit

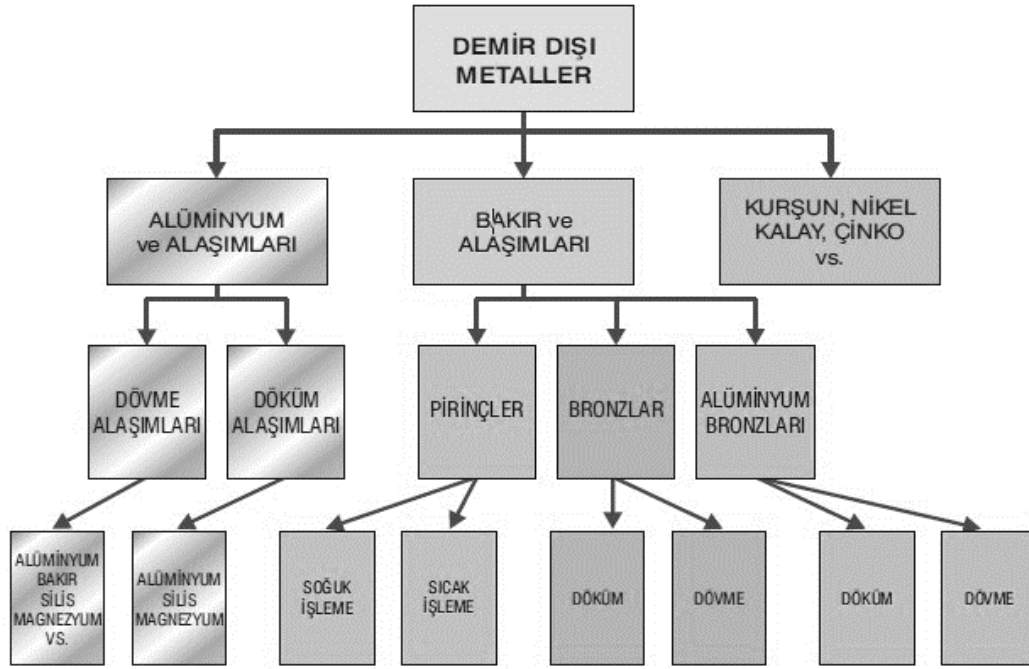
Dökme demirlerde, özellikle gri dökme demirde, mevcut fosfor, düşük ergime dereceli(954-982 °C) bir demir-demir fosfür ötektiği olan “Steadit” şeklinde bulunur. Steadit%10.2 fosfor içerir. Fosfor, katılaşmada en son katılan bölgelere toplandığından mikroyapıda steadit bölgeleri çoğunlukla hücrel bir görünüme sahiptir. Demir fosfür de demirkarbür gibi çok sert ve kırılgandır.

5.6. Östenit

Demirin yüksek sıcaklıklardaki allotropik şekli olan kübik yüzey merkezli demir ile karbonun meydana getirdiği, katılaşmada esnasında oluşan ve yavaş soğuma ile perlit veya ikisinin karışımına dönüşen bir katı eriyik olarak tanımlanabilir. Oda sıcaklığındaki mikroyapıda östenitin bulunuşu, ancak dökme demirin özel olarak östeniti bu sıcaklıkta kararlı hale getiren nikel ile alaşımlandırılması halinde mümkündür.

BÖLÜM 3. DEMİR DIŞI METAL VE ALAŞIMLARININ MİKROYAPI İNCELEMESİ

GİRİŞ



Şekil 1: Demir dışı metal ve alaşımların sınıflandırılması

Saf metallerin gösterilişinde yaygın olarak kimyasal sembolden sonra saflık derecesi ağırlık yüzdesi cinsinden ifade edilir; örneğin Zn 99.99 gibi. Bundan farklı olarak bakırda saflık derecesi, A' dan F' ye kadar olan harfler vasıtasıyla işaretlenir. Bu işaretlemeye göre F-Cu, ACu' dan daha saftır. E-Cu (elektrolitik bakır) için, sadece elektrik iletim kabiliyeti ölçü olarak alınır. Oksijensiz bakır cinsleri ise, sembolün önüne yazılacak bir S harfi ile gösterilir. Örneğin SF-Cu, %99.9 saflık derecesine sahip olan bir oksijensiz bakırdır.



Şekil 2: Bir döküm alaşımının işaretlenmesi

1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Alüminyum tabiatıta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyum alaşımları bu özelliklerinden dolayı, özellikle hafiflik istenen uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Mekanik özelliklerindeki dayanım düşüklüğü (zayıflık) nedeniyle uygulamalarda saf Al kullanımı yaygın değildir.

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikroyapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur.

Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısıtıl işlem uygulanabilmektedir.

Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır.

Bu sınıflandırma şu şekildedir:

- 1XXX: Saf alüminyum. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır.
- 2XXX: Al-Cu alaşımları. Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir, yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- 3XXX: Al-Mn alaşımları. Esas alaşım elementi mangandır. Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.
- 4XXX: Al-Si alaşımları. Esas alaşım elementi silisyumdur. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde kullanılmaktadır.
- 5XXX: Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar fakat süneklik azalır. Denizel korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır.
- 6XXX: Al-Mg-Si alaşımları. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır.
- 7XXX: Al-Zn alaşımlar. Bakır esas alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.

- 8XXX: Al-Li alaşımları: Esas alaşım elementi lityum olup, kalay eklentisinde yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir.

Alüminyum döküm alaşımları ise şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

- 1XX.X: Saf alüminyum.
- 2XX.X: Esas alaşım elementi bakırdır.
- 3XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur. Bakır ve magnezyum gibi başka alaşım elementleri de bulunabilir. Sanayide kullanılan döküm alaşımlarının % 90'ı 3XX.X serisidir.
- 4XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur.
- 5XX.X: Esas alaşım elementi magnezyumdur.
- 6XX.X: Bu seri numarası kullanılmamaktadır.
- 7XX.X: Esas alaşım elementi çinkodur.
- 8XX.X: Esas alaşım elementi kalaydır

1.2. Dağlama Ayıraçları

Alüminyum ve alaşımları için en çok kullanılan dağlama ayıraçları Tablo 1' de gösterilmiştir. İnce yapı incelemeleri ve görüntü alımı için dağlama, dağlama ayıracının yüzeye sürülmesi ile yapılır. Kaba dağlama için ise daldırma yöntemi tercih edilir.

Her dağlama işleminde olduğu gibi önerilen dağlama ayıracından, ürünün bileşiminden ve uygulama sıcaklığından sapmaların olmamasına özen gösterilmelidir.

Tablo 1: Alüminyum ve Alaşımları için Dağlama Ayıraçları

Sıra No.	Ayıraç	Bileşim	Uygulama yöntemi	Uygulama Amacı
1.	Flick ayıracı	HF 10 ml HCl 15 ml Su 90 ml	10-20 sn daldır ve ılık su ile yıkadıktan sonra HNO ₃ içine daldırıp çıkar.	Kabadağlama
2.	Tucker ayıracı	HF 15 ml HCl 45 ml HNO ₃ 15 ml H ₂ O 25 ml	Daldırarak dağla	Kabadağlama
3.	Sodyum hidroksit,1.	NaOH 10 g Su 90 ml	70°C'de 5 sn dağla ve soğuk su ile yıka.	Kabadağlama
4.	Vilella ayıracı	HF 2 kısım HNO ₃ 1 kısım Glişerin 3 kısım	-	Genel amaçlar için
5.	Hidroflorik asit	HF 0.5 ml Su 99.5 ml	15 sn pamuk ile yüzeye sür.	İncedağlama
6.	Sodyum hidroksit,2.	NaOH 1 g Su 99 g	10 sn sür.	Genel amaçlar için incedağlama.
7.	Keller ayıracı	HF 1 g HCl 1.5 g HNO ₃ 2.5 g Su 95 ml	10-20 sn daldır, su ile yıka.	Duralumin türü alaşımlar için.

8.	Çift Dağlama	A) HNO ₃ Su	25 ml 75 ml	60 sn. 70°C da tutulan A çözeltisine daldır. ve soğuk suya batır. Sonra 15-30 sn B çözeltisine daldır ve ılık suda yıka.	Duralumin türü alaşımların ısıtılma işlem görmüş yapıları için; tane sınırlarında CuAl ₂ çökeltilerini görmek için.
		B) NaF HNO ₃ HCl H ₂ O	0.5 g 1 ml 2 ml 97 ml		
9.	Sülfürik Asit, 1	H ₂ SO ₄ Su	20 ml 80 ml	70°C'da, 30 sn dağla ve soğuk suya batır.	Al-Si dışındaki alaşımlar için.
10.	Sülfürik Asit, 2	H ₂ SO ₄ Su	10 ml 90 ml	60-70°C da dağla.	FeAl ₃ çökeltilerini belirlemek için.
11.	Nitrik Asit	HNO ₃ Su	25 ml 75 ml	70°C da 40 s dağla ve soğuk suya daldır.	(AlFeSi) fazını FeAl ₃ den ayırtmak için
12.	Bossert ayırıcı	NaOH Na ₂ CO ₃ Su	1 g 1 g 94 ml	3-5 dk. yüzey siyah bu çökeltili ile iyice kaplanınca ya dek dağla. HNO ₃ içinde bu çökeltiliyi gider ve yüzeyi su ile yıka.	Haddelenmiş ve tavllanmış duralumin türleri için.

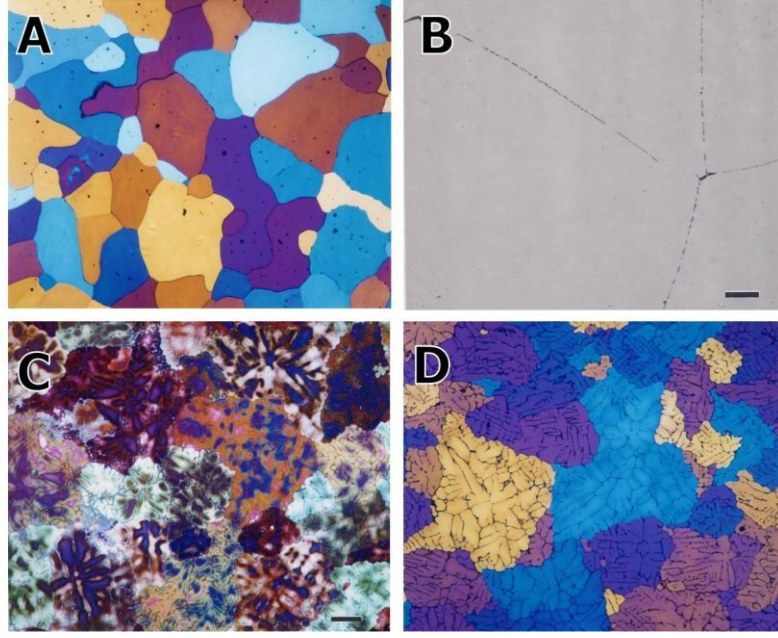
1.5. Kaba Dağlama Ayırıcıları

Alüminyum ve alaşımları için en uygun kaba dağlama ayırıcıları Tablo 2' de gösterilmiştir. Alaşım türü ve uygulama amacına bağlı olarak en uygun ayırıcı seçilir ve belirtilen uygulama yöntemi uygulanır.

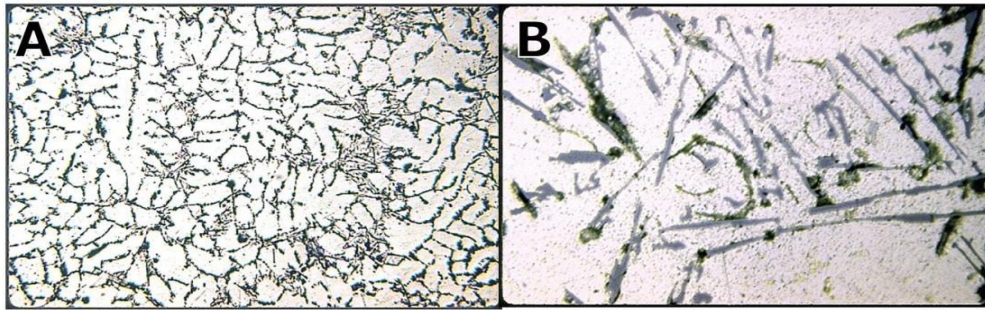
Tablo 2: Alüminyum ve Alaşımları için Kaba Dağlama Ayırıcıları

No.	Alaşım	Bileşim	Uygulama Yöntemi	Uygulama Amacı
1)	Tüm alaşımlar	NaOH 10 g	60-70°C'a ısıtılmış ayıraca 5-15 dk. daldır. Su ile yıka; derişik HNO ₃ çözeltisinde temizle, Gerekliyse işlemleri yinele.	Tümüne uygulanabilir. İnce taşlama gerektirmez.
2)	3 XXX 4 XXX 5 XXX 6 XXX Yüksek silisli dökümler.	HCl(derişik) 75 ml HNO ₃ (derişik) 25 ml HF (% 48) 5 ml	Uygulama öncesi taze hazırla ve oda sıcaklığında daldırma ya da sürme yoluyla uygula. Ilık suyla yıka ve kurut. Dağlama hızını azaltmak için % 25 oranında su ile seyreltilebilir.	Tane yapısını belirlemek için kullanılır.
3)	Arı Al 1 XXX 3 XXX 4 XXX 5 XXX 6 XXX	HCl(derişik) 45 ml HNO ₃ (derişik) 15 ml HF (% 48) 15 ml H ₂ 25 ml	İstenilen yapı görüntünceye kadar oda sıcaklığında daldırma yoluyla uygulanır; ılık su ile yıkanıp kurutulur.	Tucker ayırıcı-İnceyapıyı belirlemek için en uygun ayırıcı; döküm ve işlem görmüş tüm alaşımlara uygulanır.
4)	Yüksek silisli dışı tüm alaşımlar.	HCl(derişik) 15 ml HNO ₃ (derişik) 5 ml HF (% 48) 5 ml H ₂ O 75 ml	3. ile eşdeğer; dağlama hızı daha yavaş.	1-2 Tucker ayırıcı.
5)	2 XXX Yüksek bakırlı alaşımlar.	HCl(derişik) 15 ml HF (% 48) 10 ml H ₂ O 90 ml	Daldırma ya da sürme yoluyla uygulanabilir. Su ile yıkanıp, derişik HNO ₃ ile temizlenir. Ilık su ile durulanıp, kurutulur.	Flick ayırıcı -En iyi sonuçlar taşlanmış yüzeylerle elde edilir.

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ MİKROYAPI ÖRNEKLERİ



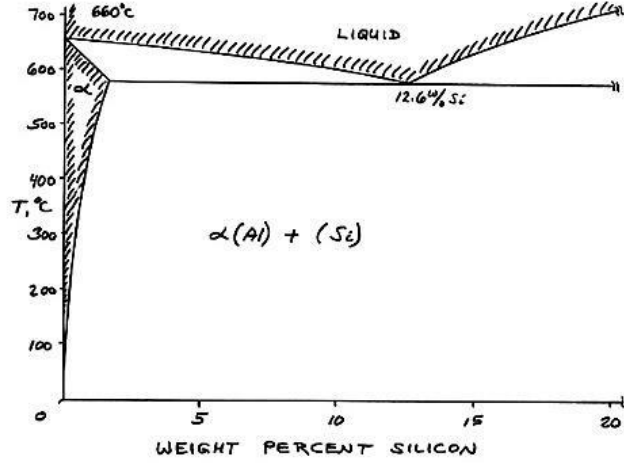
Şekil 3: (A,B,C,D) Tüm şekiller alüminyum mikro yapısını göstermektedir. A) Ultra saf Alüminyum mikroyapısı (200 μm)içerisinde eş eksenli α taneleri olup 30 V doğru akım ile 2 dakika süre dağlanmış olup (Beaker's reagent) polarize ışık ve hassas renklendirme yapılmıştır. Siyah noktalar intermetalik fazlardır. B) Ultra saf Alüminyum mikro yapısında (20 μm) %0,5 HF dağlama çözeltisi uygulandığında tane sınırlarında meydana gelen çökelti. C) Döküm yapılmış 1100 Al (> %99 Al) (Weck's reagent) hassas olarak dağlandıktan sonra dendiritik katılaşma yapısı gözlenmiştir; 200 μm büyütme, polarize ışık ve hassas renklendirme yapılmıştır. D) Döküm yapılmış 1100 Al (> %99 Al) 30 V doğru akım ile 2 dakika süre dağlanmış olup (Beaker's reagent) polarize ışık ve hassas renklendirme yapılmıştır. 50X büyütmede, dendiritik katılaşma yapısı gözlenmiştir.



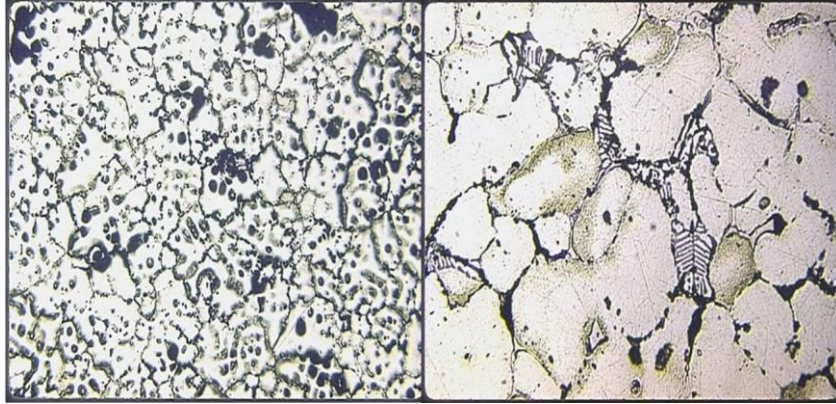
Şekil 4: Her iki şekilde alaşımlı alüminyum döküm mikroyapısını göstermektedir. A, B) %5Si-Al alaşımlı döküm mikroyapısıdır. Ötektik faz mikro bileşiminin alışımlışın dışındaki dağılımını göstermektedir. A; 50X' de, B; 500X' de yapılmış büyütmedir. Dağlama %1 HF' lik çözeltisi suda hazırlanarak uygulanmıştır. Ancak HF oldukça tehlikeli bir çözelti olduğundan temastan kaçılmalıdır.

Alüminyumun bu alaşımı alfa fazı ve kaba (iri) ötektik yapısını da içermektedir. Sırasıyla alfa (α) ve metalik silisyum eklenerek karışımda ötektik yapının oluşumunu sağlamıştır. Çok fazla bulunan

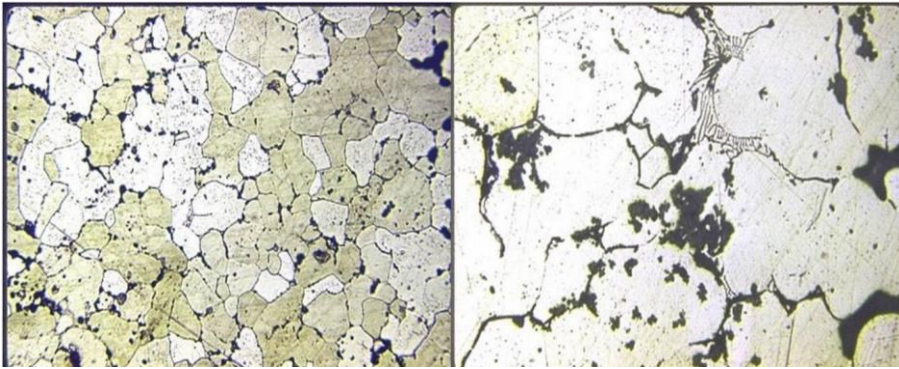
birincil α yapının kompozisyonunu belirlemektedir ki bu oluşan ötektik ayrimıdır (Şekil 5), burada birincil α formunun üzerinde daha sonra oluşan α formu birikmiştir. Sonuç olarak, ötektik yapı klasik birleşme durumunu oluşturmuştur (Şekil 5). Şekil 4de gösterilen alüminyum alaşımı, %4,5-6 Si, %0,6 Cu ve %1 Fe içermektedir. Silisyum çökeltilerinin hepsi ötektik yapıdadır (Şekil 4.B). Gözlenen çökeltilerden bazıları ise α Al dan meydana gelmiştir.



Şekil 5: Al-Si alaşımlarının faz diyagramı gösterimi.



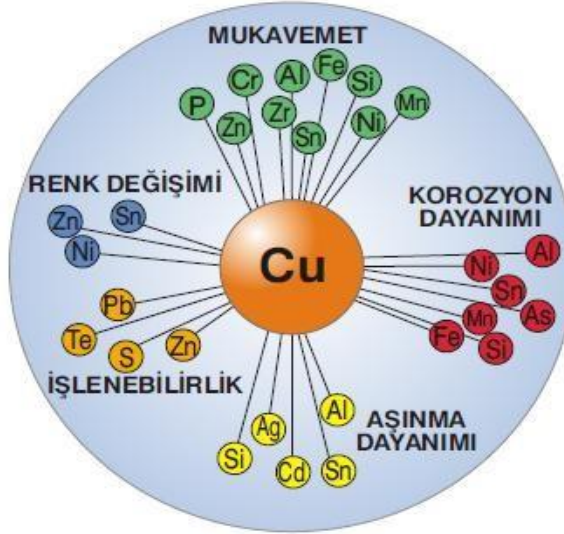
Şekil 6: Alüminyum döküm alaşımlarının kompozisyonu; %4,5 Cu, max. %1 Fe, %1 Si, %0,3 Mn, %0,3 Zn. Soldaki mikroyapı 50X, sağdaki mikroyapı 200X büyütmede çekilmiştir. Dağlayıcı ise Keller oranlarında hazırlanmıştır.



Şekil 7: Şekil 1.4'te verilen aynı kompozisyondaki alaşımların ısıtma işlemi uygulandıktan sonra hazırlanmış olan mikroyapı analizleridir. Soldaki mikroyapıya 50X, sağdakine ise 200X büyütme yapılmıştır.

2. BAKIR VE ALAŞIMLARI

Saf bakıra ilave edilebilen elementler şunlardır: Alüminyum, arsenik, berilyum, kadmiyum, krom, kobalt, demir, kurşun, manganez, nikel, oksijen, fosfor, silisyum, gümüş, kükürt, tellür, kalay, çinko ve zirkonyum. Bu alaşım elementlerinin saf bakıra olan etkileri ise aşağıdaki şematik resimde gösterilmiştir (Şekil 8)



Şekil 8: Bakıra alaşım elementlerinin etkisi

Bakır ve Alaşımlarının Sınıflandırılması:

Bakır Geliştirme Derneğine göre (CDA), bakır ve bakır alaşımları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

Dövme Bakır ve Alaşımları: Soğuk ve sıcak durumda, haddeleme veya dövme yoluyla talaşsız olarak biçimlendirilirler. Çubuklar, saclar, borular, teller ve profiller bu gruptaki bakır ve alaşımlarından üretilir.

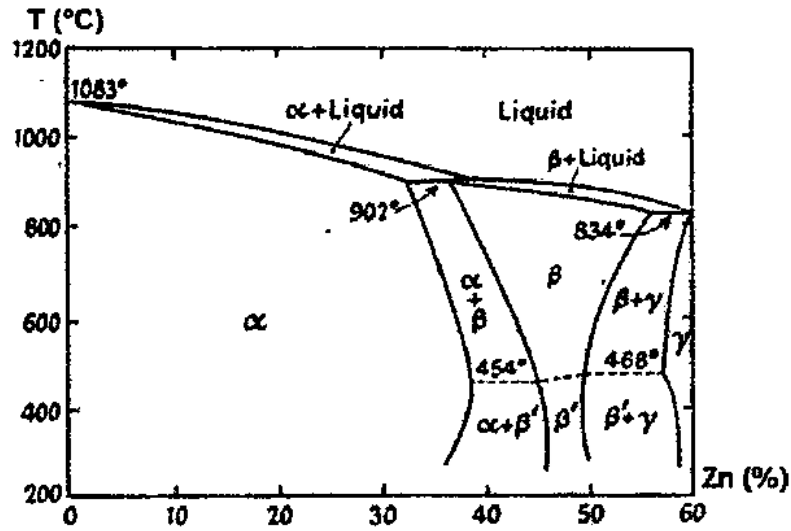
- Saf bakır
- Bakır çinko alaşımları (pirinçler)
- Bakır çinko kurşun alaşımları (kurşunlu pirinçler)
- Bakır çinko kalay alaşımları (kalay bronzları)
- Fosfor Bronzları
- Bakır alüminyum alaşımları (alüminyum bronzları)
- Bakır silisyum alaşımları (silisyum bronzları)
- Bakır nikel ve bakır nikel çinko alaşımları (nikel gümüşü)

Döküm Bakır ve Alaşımları: Uygun Döküm niteliklerine sahiptir. Bu alaşımlar döküm parçalar için kullanılır.

- Döküm bakır
- Değişik türde döküm pirinçleri
- Döküm manganez bronz alaşımları
- Döküm bakır çinko silisyum alaşımları
- Döküm bakır kalay alaşımları □ Döküm bakır kalay kurşun alaşımları
- Döküm bakır alüminyum alaşımları
- Döküm bakır nikel ve bakır nikel çinko alaşımları

2.1 Pirinçler

Genel anlamda Cu-Zn alaşımlarına pirinç denir. Mukavemeti ve korozyon dayanımı oldukça yüksektir. Bu özellikler Zn miktarı ile orantılıdır. Derin çekilmeye, sıcak ve soğuk işlenmeye, sıcak dövülmeye ve preslenmeye oldukça uygundur. Pirinçler, çinko arttıkça kırmızıdan sarıya doğru renk değiştirir.



Şekil 9. Cu-Zn denge diyagramı

Pirinçler iki gruba ayrılır:

1. %61'den fazla Cu içeren α alaşımları
2. %54-61 Cu içeren β alaşımları

2.1.1 α – Pirinçler

Kızıl Pirinçler: %5-20 Zn içeren pirinçlerdir. Korozyon direnci çok iyi olup çinkosuzlaşma ve gerilme korozyonuna karşı dayanıklıdır.

70/30 : Üstün işlenme özelliğinden dolayı kovan pirinci olarak da bilinir. Alaşım Fe, Be, Bi vs. içermemesi gerekir. Soğuk haddeleme sonrası tavlama tane yapısını iyileştirir. Tavlama sıcaklığı 600-650 °C'dir.

85/15 : Derin sıvanmış kaplar, mermi kovanı ve ucuz mücevherat yapımında kullanılır.

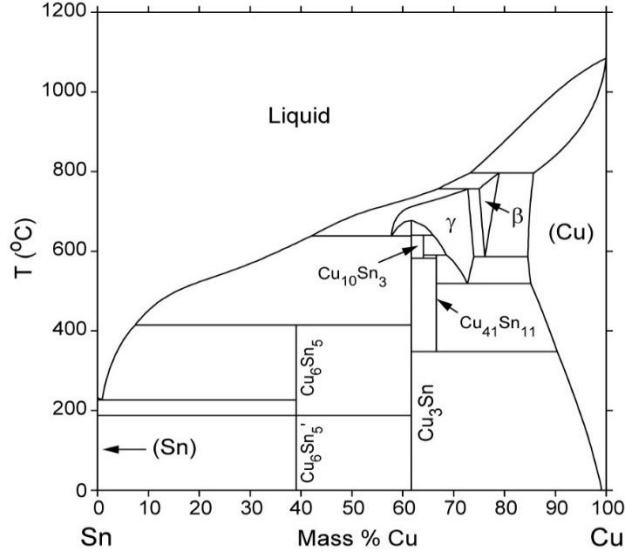
2.1.2 β – Pirinçler

60/40 : Üstün özelliklere sahip pirinçtir. $\alpha + \beta$ kristallerinden oluşur. Muntz olarak da bilinir.

Kurşunlu Pirinç: Kurşun ilavesi pirincin işlenebilirliğini kolaylaştırır. Sıcak şekillendirme için %56-61 Cu, %1,5-3,5 Pb ve kalan kısmı Zn'dan oluşan alaşımlar kullanılır. Mukavemet olarak Muntza yakın değerlere sahiptir.

2.2 Bronzlar

Esas olarak Sn içeren Cu alaşımlarıdır. Kalay bronzu çoğunlukla fosfor ile deokside edildiğinden fosfor bronzu olarak da bilinir. %87 Cu - % 13 Sn alaşımı haddelemeye ve soğuk prese uygundur. α fazında bulunur. $\alpha + \beta$ alaşımları %78-87 Cu - %13-22 Sn içerir.



Şekil 10. Cu-Sn denge diyagramı

Atmosferik korozyona ve su korozyonuna dayanıklıdır. Aşınmaya karşı dirençli ve mükemmel yağlama kabiliyetleri vardır. Sn miktarının artması mukavemeti artırır.

Al Bronzlar: %14'e kadar Al ihtiva eden Cu alaşımlarıdır. Üstün sertlik gösterirler (40-42 HRC). Aşınma dayanımları yüksek olduğundan kalıpcılıkta ve makine imalatında kullanılırlar.

α – alaşımları: %8'den az Al içerir.

İki fazlı alaşımlar: %8 – 11 Al içerir. Yüksek mukavemet için Fe ve Ni katılır. B fazı oluşumu sonucu mukavemet artar.

Cu-Al-Si alaşımları: %2 Si - %6 Al içerir. Al-Si bronzları olarak da bilinir.

Cu-Mn-Al alaşımları: İyi döküm özelliği gösterir. %13 Mn içerir. Al miktarı %8-9'dur. Kaynak edilebilme özelliği iyidir.

2.3. Dağlama Ayıraçları

Bakır ve alaşımları için uygulanan dağlama ayıraçları Tablo 3'te gösterilmiştir. Bakır alaşımlarında gözlemlene amacına bağlı olarak birkaç dağlama ayırıcı peş peşe kullanılabilir. Örneğin, alfa ve beta fazlarının birlikte bulunduğu yapılarda $\text{NH}_4\text{OH}-\text{H}_2\text{O}_2$ ayırıcı ile yapılan dağlamadan sonra FeCl_3 ayırıcı kullanılırsa beta fazı hemen kararır. Benzer biçimde bakır ve fosfor-tuncu numunelere $\text{NH}_4\text{OH}-\text{H}_2\text{O}_2$ dağlamasından sonra birkaç saniye elektrikli dağlama uygulanırsa çok farklı renklenmeler görülür. Bakır-Berilyum alaşımlarına da potasyum dikromat dağlamasından sonra 10-15 sn elektrikli dağlama uygulanır.

Tablo 3: Bakır ve Alaşımları için Dağlama Ayıraçları

Sıra No.	Ayıraç	Bileşim	Uygulama Yöntemi	Uygulama Amacı
1.	Amonyum hidroksit-hidrojen peroksit	NH_4OH 5 kısım H_2O 5 kısım H_2O_2 (Z3) 2-5 kısım	Alaşımdaki %Cu arttıkça H_2O_2 artırılır. Taze H_2O_2 katımı gereklidir. 1 dk.daldırma ya da yayarak sürme.	Bakır ve alaşımları için. Alüminyum tuncu üzerindeki film Grard çözeltisi ile giderilir.
2.	Amonyum hidroksit-amonyum persulfat.	NH_4OH 1 kısım Su 1 kısım $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (Z2.5) 2 kısım	Daldırma	Bakır ve bazı alaşımları.
3.	Amonyum persulfat	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 10 g Su 90 ml	Soğuk ya da kaynar daldırma	Bakır, pirinç, tunç, Al-tuncu.
4.	Kromik asit	Su içindeki derişik çözeltileri.	Daldırma ya da sürme.	Bakır, pirinç, tunç.
5.(E)	Kromik asit	Su içindeki çözeltisi (% 1)	6 V'da 3-6 sn Al-kotot	Al-tuncu, Be-Cu
6.	Kromik asit-hidro-klorik asit	CrO_3 (Z10-15) 50 ml HCl 1-2 damla	HCl, kullanılacağı zaman katılır.	5.nolu ayıraç ile eşdeğer. Renklendirme elektrolikli dağlama ya da FeCl_3 ayıraçları ile yapılabilir.
7.	Kromik asit-nitrik asit.	HNO_3 50 ml ya da 5 ml CrO_3 20 g ya da 20 g Su 30 ml ya da 75ml	Daldırma	Al-tuncu. Yüzeydeki film % 10 HF ile giderilir.
8.	Nitrik asit	Değişik derişimlerde (konsantrasyon)	Daldırma ya da sürme % 50 HNO_3 çözeltisine (% 0.15-Z0.30) AgNO_3 katılırsa koyu mavi dağlama sağılar.	Derin dağlama.
9.	Potasyum dikromat	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 2 g H_2SO_4 8 ml NaCl (doymuş) 4 ml Su 100 ml	Daldırma NaCl yerine 25 ml ayıraca 1 damla HCl katılabilir.	Bakır;(Cu-Be-Mn-Si) tunç; (Cu-Cr) FeCl_3 ayıraçları ile görüntü zıtlığı artırılır.
10.	Bakır amonyum klorür-amonyum hidroksit.	Bakır amonyum klorürün sudaki % 10'luk çözeltisi - yansızlaşınca dek NH_4OH katımı.	Daldırma ve iyice yıkama.	Bakır,pirinç,Alfa-beta yapılarda beta fazını en iyi karartan ayıraç.
11.	Elektrikli dağlama	FeSO_4 30 g NaOH 4 g H_2SO_4 100 ml Su 1900 ml	8-10 V; 0.1 A. Genellikle 15 sn'yi geçmez.	Pirinçler. Beta fazını karar-tır. Zıtlığı artırmak için 1 no.lu ayıracda gereklidir.
12.	Demir üçklorür	A) FeCl_3 5 g Etanol 96 ml HCl 2 ml B) FeCl_3 HCl Su 5 ks 50 ks 100 ks 19 ks 6 ks 100 ks 5 ks 10 ks 100 ks 25 ks 25 ks 100 ks 1 ks 20 ks 100 ks 8 ks 25 ks 100 ks 10 ks 1 ks 100 ks 3 ks 10 ks 100 ks.	Daldırma ya da sürme 1-sn-birkaç dk. Daldırma ya da sürme. Hafifce ve deneyerek bakarak istenilen sonuca ulaşıncaya dek dağla.	Cu-Al-Mg-Ni-Zn alaşımları Bakır, pirinç, tunç; Al-tuncu Beta fazını karartır.

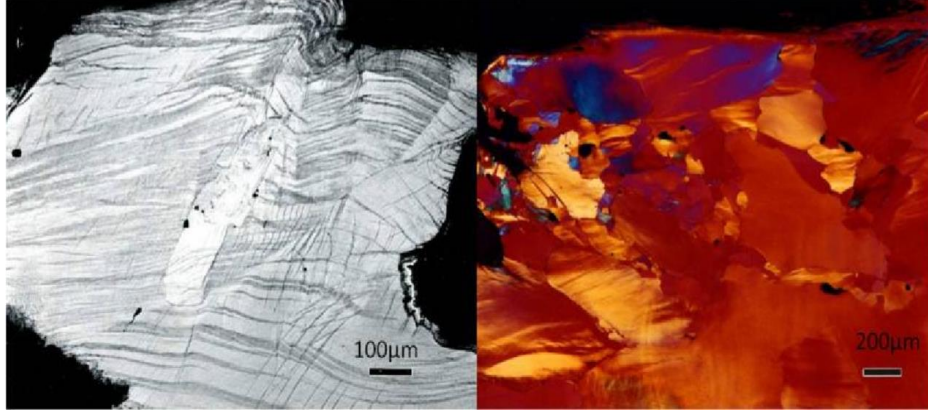
2.4. Kaba Dağlama Ayıraçları

Bakır ve alaşımları için en çok kullanılan kaba dağlama ayıraçları Tablo 4' te gösterilmiştir.

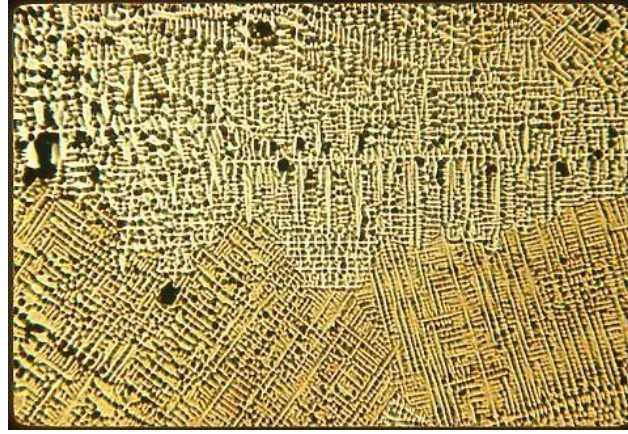
Tablo 4 : Bakır ve Alaşımları için Kaba Dağlama Ayıraçları

No.	Alaşım	Bileşim	Uygulama Yöntemi	Uygulama Amacı
1)	Bakır ve tüm pirinçler	HNO ₃ 10 ml H ₂ O 90 ml	Oda sıcaklığında birkaç dakika daldır, su ile durula ve kurut.	Taneler ve çatlakları belirler.
2)	Bakır ve tüm pirinçler	HNO ₃ 50 ml H ₂ O 50 ml	1 numaralıya benzer. Uygulama sırasında karıştırılmalıdır.	Tanelerini belirler. Yüzeyde çökelme olursa, derişik HNO ₃ ile temizlenmelidir.
3)	Bakır ve tüm pirinçler	HCl 30 ml FeCl ₃ 10 g H ₂ O yada etanol 120 ml	1 numaralıya benzer	Taneleri belirler.
4)	Bakır, fosfor ve kalay tunçları	K ₂ Cr ₂ O ₇ ile doyurulmuş NaCl çözeltisi 2 g H ₂ SO ₃ H ₂ O	15-30 dk. oda sıcaklığında ki daldırma ile dağlamadan sonra taze yapılmış çözeltiden yüzeye ayrıca sürülür. Ilık su ile yıkayıp, kurutulur.	Tane sınırları ile oksit kalıntıları belirler.
5)	Tüm alaşımlar	HNO ₃ 50 ml AgNO ₃ 5 g H ₂ O 50 ml	Daldırarak uygula; ılık su ile durula ve kurut.	Derin dağlama.
6)	Pirinçler	Asetik asit(Z20) 20 ml Kromik asit(Z5) 10 ml FeCl ₃ (Z 10) 5 ml	5 numaralıya benzer.	Gerinim çizgileri
7)	Silis pirinci ya da tuncu.	CrO ₃ 40 g NH ₄ Cl 75 g HNO ₃ (derişik) 50 ml H ₂ SO ₄ (derişik) 8 ml H ₂ O 100 ml	6 numaralıya benzer	

BAKIR VE ALAŞIMLARININ MİKROYAPI ÖRNEKLERİ



Şekil 11: Doğal bakırın mikroyapısı (112 HV). Soldaki mikro yapıyı dağlamak için 1:1 $\text{NH}_4\text{OH}-\text{H}_2\text{O}_2$ (%3), sağdaki mikroyapı için Klemm III dağlayıcısı kullanılmıştır. Polarize ışık ve hassas renklendirme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 12: 50X büyütmede dökümü yapılmış alfa (α) pirinçtir.

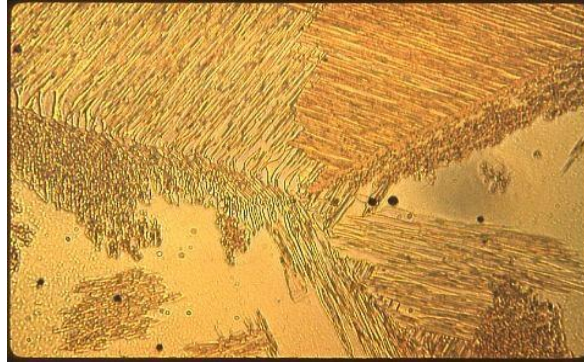
%30 Zn içermektedir. Dendritik yapılar görülmektedir. Her tane tektir, oldukça yakın boşluklardan oluşmuş ikincil kol dendritik yapıları birbirinden ayrıdır. Birincil uzun dendritik yapılar ile ikincil kısa dendritik yapılara dikkat edilmelidir.

Bakır-çinko faz diyagramı bize beta (β) fazının oda sıcaklığında stabil olmamasına rağmen daha yüksek çinko alaşımlı mikrobileşenler de normal durumdadır. Beta (β) fazı bu mikroyapıda (şekil 12) bulunmamaktadır. Çünkü çinko oldukça hızlı bir şekilde bakırın içine nüfuz olur (yayılır).



Şekil 13: 200X büyütmedeki **Muntz metali** (dövülebilir pirinç) yaklaşık %40 Çinko (Zn) içeren bir pirinçtir.

825 °C’ de beta bölgesindeki Muntz metali havada soğutulmuştur. α çökeltiler β tanelerinin içerisinde ve β tane sınırları üzerinde bulunmaktadır. α yapısı β matriksinin içerisinde uzun, kalın iğneler halinde görülmektedir. Eğer daha az α yapısı isteniyor ise numune suda soğutularak, daha çok yuvarlak çökeltiler isteniyor ise daha yavaş soğutularak elde edilebilir.

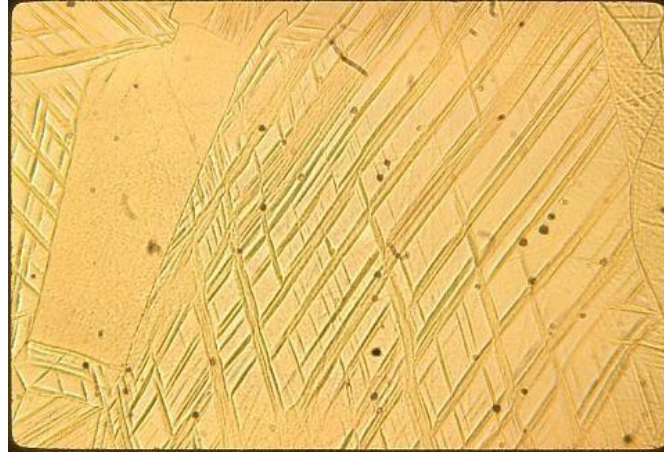


Şekil 14: 500X büyütmedeki su verilmiş Muntz metalidir.

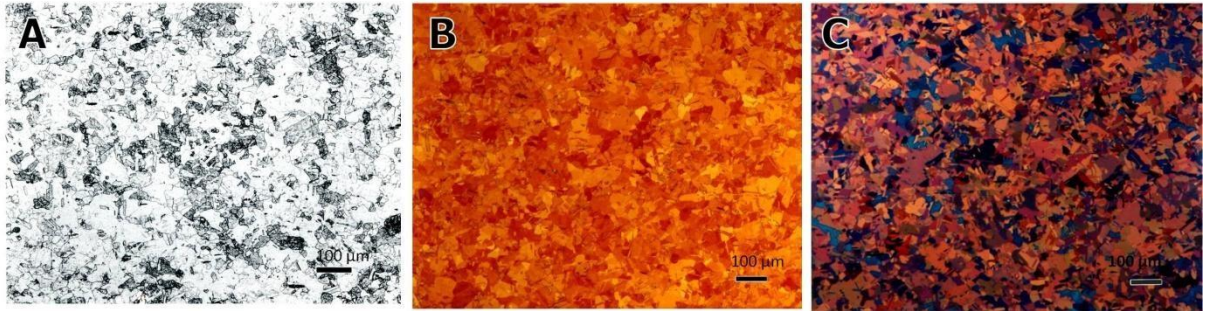


Şekil 15: 200X büyütmedeki fosfor bronzudur.

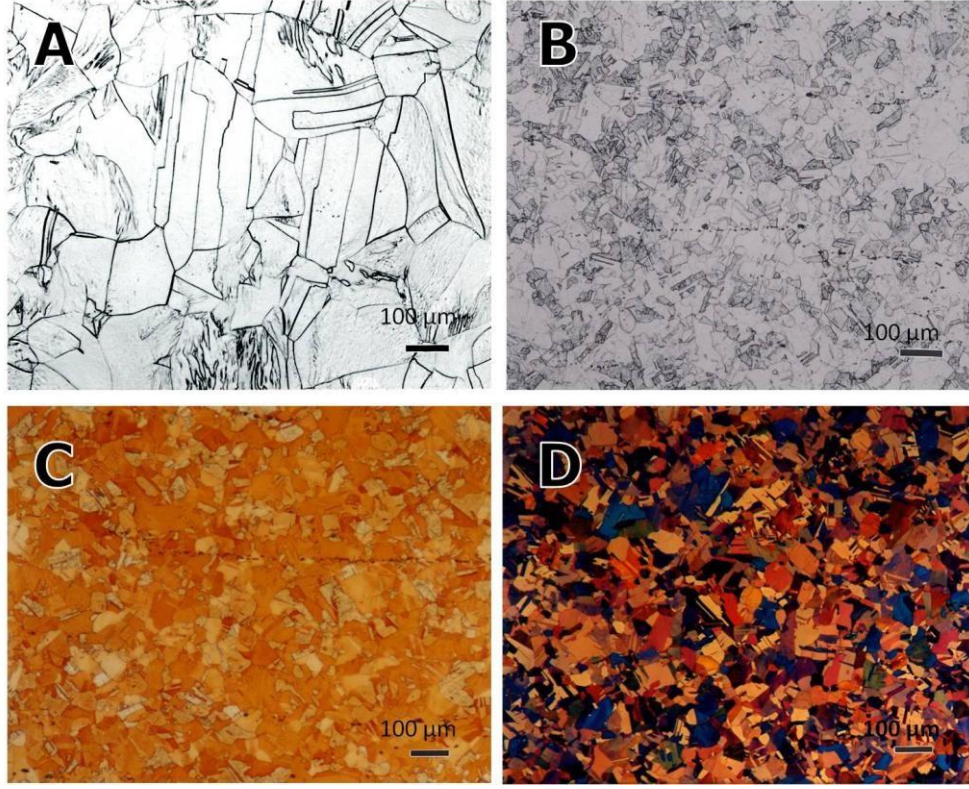
Fosfor bronzu bakırın fosfor ile deoksidasyona uğraması ile elde edilmektedir. Fosfor bronzu saf bakıra göre daha sert ve mukavemetlidir. Çünkü harcanmamış (tükenmemiş) fosfordan kaynaklı bir durumdur. Mikroyapı soğuk işlenmiş alfa yapıları içermektedir. Gerilmeler, eşeksenli yapılar ve tavlama ikizlenmeleri dikkat çekmektedir. Kesişen ve iğnemi yapıda görülen bazı deformasyon ikizlenmeleri de bulunmaktadır.



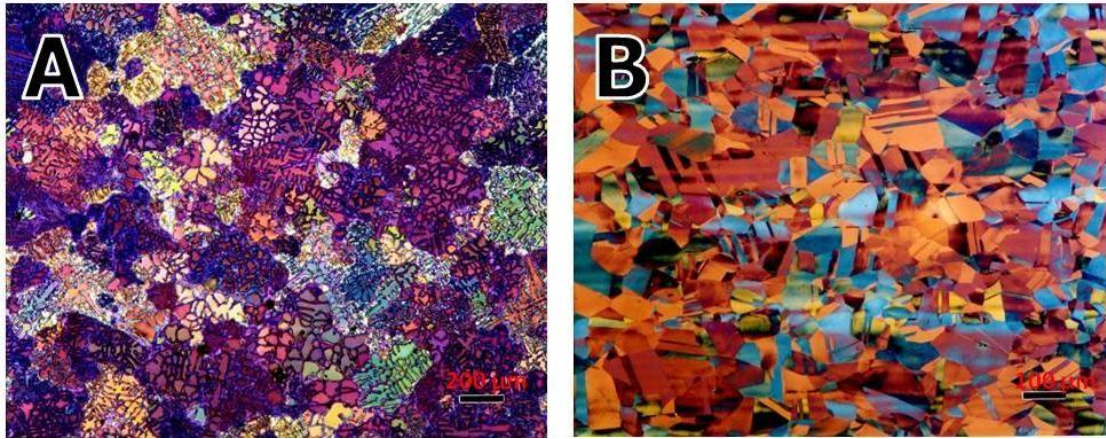
Şekil 16: 500X büyütmedeki fosfor bronzudur.



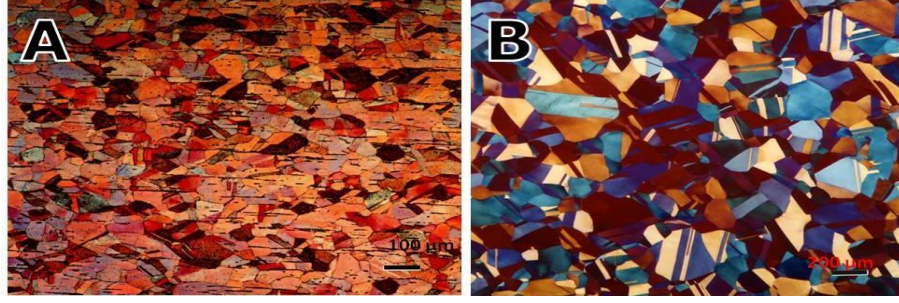
Şekil 17: Elektriksel uygulamalar (elektrolitik) için kullanılan yüksek saflıkta bakır mikro yapılarıdır (A, B ve C %99,89 saflıktadır). Sıcak ekstrüzyon, soğuk işlem ve tavlama (500 °C) uygulanmış bakır yapılar eş oranda amonyum hidroksit ve hidrojen peroksit ile (%3 konsantrasyonda) dağlanmışlardır. Sertlik değeri 46 HV dir.



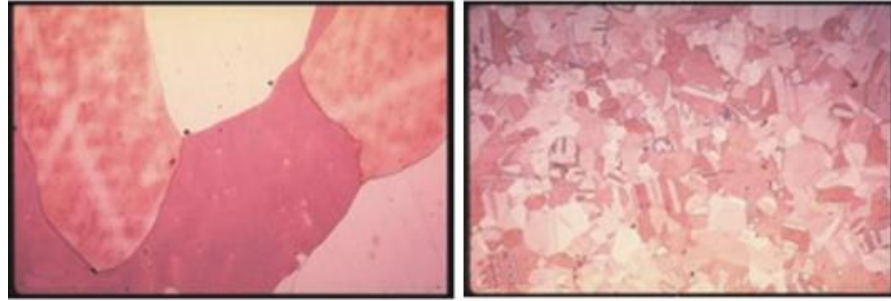
Şekil 18: Tüm mikroyapılar 100 µm büyütmede çekilmiştir. A ve B aynı dağlayıcı ile dağlanmış (Amonyum hidroksit ve hidrojen peroksit (%3) eş kısımlarda). A) Oksijensiz elektrolitik bakırın mikroyapısıdır. Sertlik değeri 100 HV dir. B) Oksijensiz yüksek iletkenlikte bakır, sertlik değeri 85 HV, C) Amonyum hidroksit ve hidrojen peroksit (%30) eş kısımlarda dağlanmış. Sertlik değeri 85 HV dir. Renklendirme için dağlamada Klemm I kullanılmıştır. D) Renklendirme dağlamasında Breha PbS kullanılmıştır. Sertlik değeri 85 HV dir.



Şekil 19: (A) Tavlanmış ve soğuk çekilmiş, (B) dövülmüş Posforlu Oksijensiz Bakır, Cu - %0,04 P içermektedir. Renklendirme dağlaması Klemm II (A), Breha PbS (B) ile yapılmıştır (200X (A), 100X (B) büyütme, polarize ışık ve hassas renklendirme yapılmıştır).



Şekil 20: A) Cu- %0,5 Te içeren bu mikroyapının malzemesine sıcak ekstrüzyon uygulanmıştır. Boylamasına yönlerdeki partiküller uzamıştır. Renklendirme dağılaması için Klemm III kullanılmıştır. B) Tavlanmış, soğuk çekilmiş dövülmüş (işlenmiş) fosforlu oksijensiz arsenikli bakır, Cu- %0,4 As, %0,04 P yapı içermektedir. Eşeksenli tam olarak yeniden kristalizasyon yapılmış YMK taneli yapı ile tavlama ikizlenmeleri bulunmaktadır. Renklendirme dağılaması Klemm I ile yapılmıştır.



Şekil 21: (soldaki)500 µm boyutunda döküm yapılmış pirincin mikroyapısı, %97-98 Cu, %1,9-3 Zn, (sağdaki) 125 µm boyutunda dövme işlemi uygulanmış pirincin mikroyapısı, %89-90 Cu, %8,9-11 Zn.

3. ÇİNKO VE ALAŞIMLARI

Çinko alaşımları çok yönlü bir mühendislik malzemesidir. Başka hiçbir alaşım sistemi; güç kombinasyonu, sertlik, sağlamlık, mukavemet performansı ve ekonomik döküme elverişlilik gibi özellikleri sağlayamaz. Alaşım halindeki çinkonun çekme dayanımı değeri yükselir, sertliği artar. Kum döküm, kokil döküm ve basınçlı dökümü mümkündür. Maksimum mukavemet basınçlı döküm yöntemiyle üretilmesi durumunda sağlanır.

Kapı kolu, karbüratör gövdeleri gibi otomobil parçaları, akülerde kuru hücrelerin kaplanması, elektrikli süpürge parçaları vb. aletlerin imali gibi tipik kullanım alanları vardır.

Çinkonun genel olarak 3 tane alaşımı vardır:

1. **Pirinç:** Çinko – bakır alaşımı. Ayrıntılı bilgi Cu ve alaşımları kısmında verilmiştir.
2. **Tombak:** %85-88 bakır, %12-15 oranında çinko içeren, altın sarısı renkli pirinçtir. Bileşiminde çinko oranı yükseldikçe alaşımın rengi soluklaşır. Oldukça sünek ve dövülgen bir malzemedir.
3. **Zamak:** Ana bileşenlerini çinko alüminyum, magnezyum ve bakır oluşturur. Bu metaller değişik zamaklarda değişik oranlarda bulunur. Zamak 3- zamak 5 gibi değişik sertlikte alaşımlarında bu maddeler değişik oranlarda bulunur.

Zamak, Almanca çinko (Zink), alüminyum (Aluminium), magnezyum (MAgnesium) ve bakırın (Kupfer) baş harflerinden oluşturulmuş bir isimdir. Son derece sağlam kopmaya, esnemeye, kırılmaya dayanıklı bir alaşımdır.

3.2. Dağlama Ayıraçları ve Uygulama

Çinko ve alaşımları için en çok kullanılan dağlama ayıraçları Tablo 3.1’ de gösterilmiştir.

Bunlar arasında en çok uygulanan Palmerton ayıracıdır; lekelenmeyi önlemek için uygulama sonunda numune kromik asit çözeltisinde durulanır.

Genellikle, parlatma işlemi sonunda numune yüzeyi üzerinde kalmış aşındırıcılar alkole daldırılmış parmak ucu ile temizlenir. Dağlama işleminden önce de bu numune sırası ile alkol, eter, alkol ve su ile iyice temizlemelidir. Dağlama işleminden hemen sonra ise yine sırasıyla su, alkol ve eter ile yıkanıp ılık hava ile kurutulmalıdır. Böylece hazırlanmış numuneler kullanılıncaya dek desikatörde saklanmalıdır. Parlatılmış ve dağlanmış yüzeye hiçbir biçimde dokunulmamalıdır.

Tablo 5: Çinko ve Alaşımları için Dağlama Ayıraçları

No.	Ayıraç	Bileşim	Uygulama Yöntemi	Uygulama Amacı
1.	Palmerton	CrO ₃ (% 99,95) 200 g Na ₂ SO ₄ 15 g H ₂ O 1000 ml	Karıştırılarak daldır; sonra 1000 ml sudaki 200 g CrO ₃ çözeltisiyle durula.	Genel-Bakır içeren alaşımlarda tane sınırı belirlemesi için Na ₂ SO ₄ = 7.5 g al.
2.	Seyreltik Palmerton	CrO ₃ 50 g Na ₂ SO ₄ 4 g H ₂ O 4 g	2-3 sn. daldır; sonra ayıraç No: 1 gibi.	Pres dökümlerin yapıları.
3.	Hidroklorik asit	HCl		Arı çinkonun kabayapısı.
4.	% 0.5 lik Nital	HNO ₃ 1 damla alkol (% 95) 10 ml ya da HNO ₃ 3 damla amil alkol 50 ml	Çeliğe uygulanır gibi uygulanır. Hazırlandıktan sonra 1 saat içinde kullanılmalıdır.	Galvanizli çelik ve demirlerde Zn-Fe bileşiklerini belirleme.

3.3. Kaba Dağlama Ayıraçları

Çinko ve alaşımları düşük sıcaklıklarda çok çabuk soğuk işlem sertleşmesine ve yeniden kristalleşmeye uğradıklarından kolaylıkla yanılıcı yapılar oluştururlar. İri taneli çinko ve alaşımları birçok ince taneli pres döküm alaşımlarından daha kolayca soğuk işlem sertleşmesine uğrarlar. Soğuk işlem sertleşmesinin ilk belirtisi dağlanmış yapıda görülen ikizlenmelerdir.

Bu etkileri azaltmak için numuneler keskin uçlu kesiciler ile kesilmeli ve iyice yağlanmış SiC kâğıtlar üzerinde çok yavaşça ve özenle zımparalanmalıdırlar. [1]

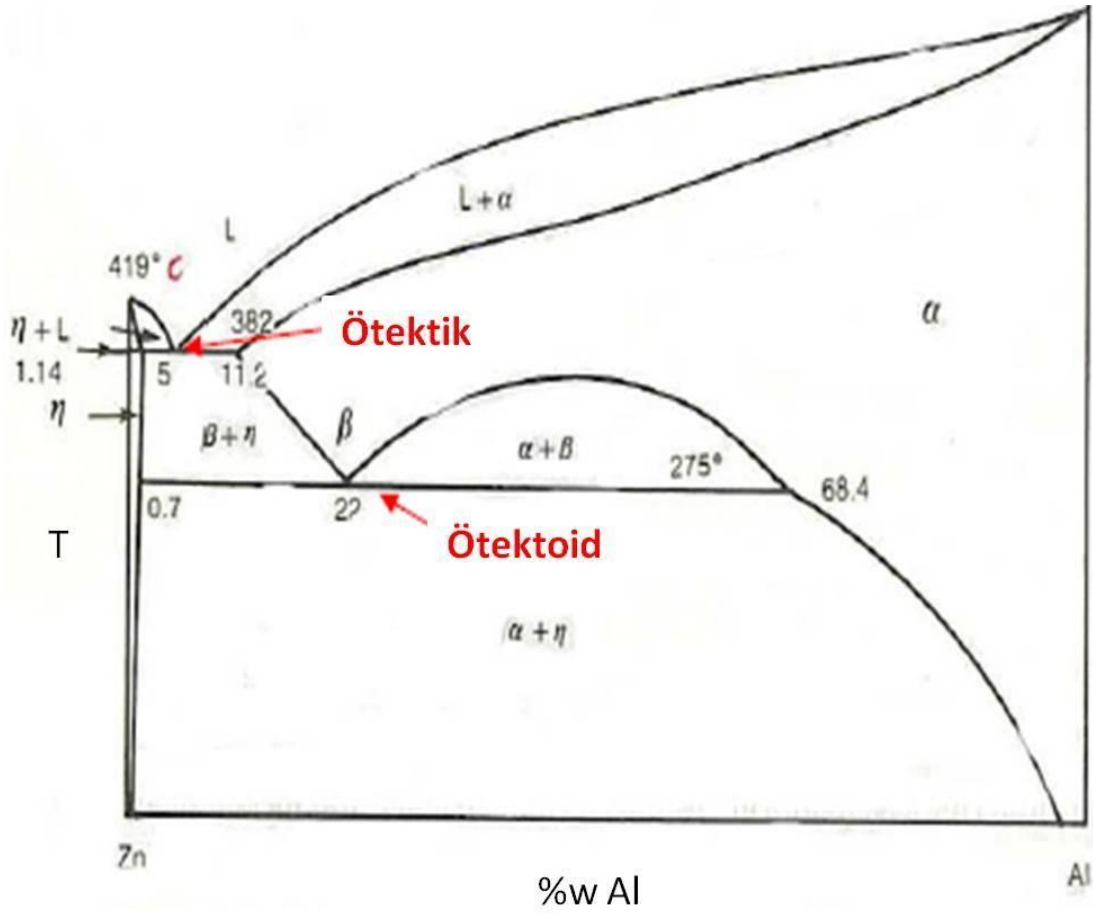
3.4. Kaba Dağlama Ayıraçları

Çinko ve alaşımları için en çok kullanılan iki ayıraç Tablo 6' de gösterilmiştir.

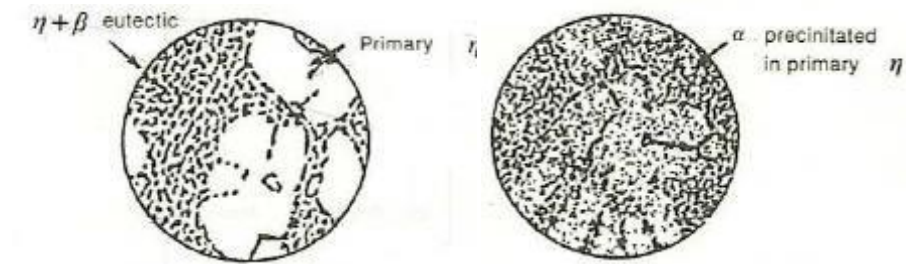
Tablo 6: Çinko ve Alaşımları için Kaba Dağlama Ayıraçları

No.	Alaşım	Bileşim	Uygulama Yöntemi	Uygulama Amacı
1.	Bakırsız Çinko Alaşımları	HCl (derişik) 50 ml	15 sn daldır, su altında yıka. İstenilen yapı görüncüye kadar yinele ve kurut.	Tane yapısı
2.	Bakırlı Çinko Alaşımları	CrO ₂ 20 g Na ₂ SO ₄ 1.5 g ya da Na ₂ SO ₄ 10 H ₂ O 3.4 g H ₂ O	İstenilen görüntü oluşuncaya dek daldırarak dağladıktan sonra yıka ve kurut.	Tane yapısı

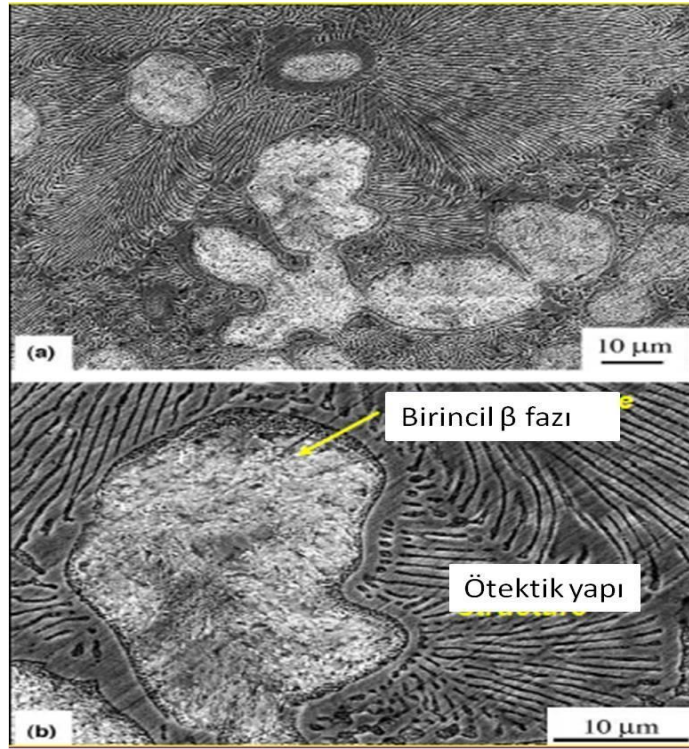
ÇİNKO VE ALAŞIMLARININ MİKROYAPI ÖRNEKLERİ



Şekil 22: Çinko-Alüminyum faz diyagramı



Şekil 23: Zn-Al faz diyagramındaki ötektik,pirimer ve peritektik fazların mikroyapıları



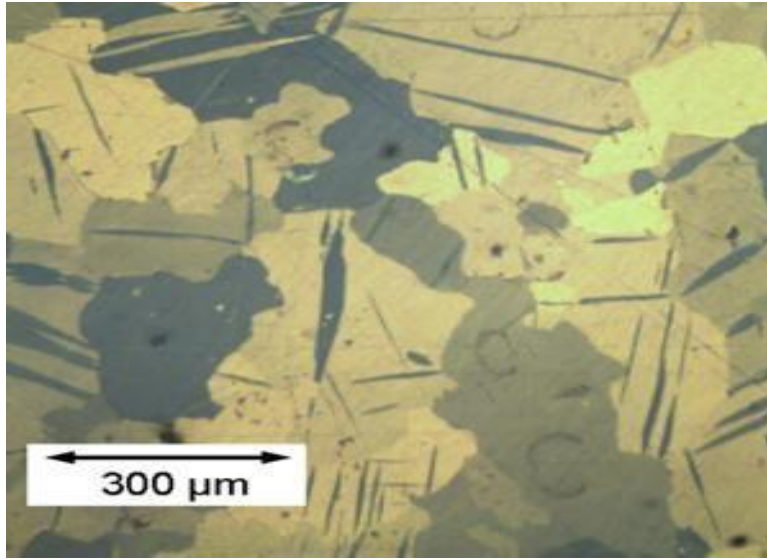
Şekil 24: Birincil β fazı ve ötektik yapının mikroyapıda gösterimi



Şekil 25: Zn-Al renkli dağlama yapılmış mikroyapı gösterimi



Şekil 26: 100X büyütmedeki saf çinkonun mikroyapısı, dağlayıcısı NaOH ve saf sudur.



Şekil 27: Zn deformasyon ikizlenmeleri

EK-1

DAĞLAYICILAR

Bu deneyde bahsi geçen dağlayıcılar ve bunların renklendirme dağlayıcıları anlatılacaktır.

1. KLEMM RENKLENDİRME DAĞLAYICILARI

Heinz Klemm tarafından $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ temelli renklendirme dağlayıcısı 1950 yılında keşfedilmiştir.

Tablo 1: Klemm renklendirme dağlayıcıları, kompozisyonları ve kullanımı

Dağlayıcı	Kompozisyon	Kullanımı
I	50 ml stok solüsyondan*, 1 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	Dökme demir, Çelikler, β Pirinç, Bakır alaşımları, Zn alaşımları
II	50 ml stok solüsyondan, 5 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	α Pirinç, Kalay, Mangan çelikleri
III	5 ml stok solüsyondan, 45 ml Saf su 20 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$	Bronz, Monel**

Stok Solüsyon*: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ile doygün saf su

Monel**: Nikel ve bakır içerikli, aşınmaya karşı dayanıklı bir metal alaşımıdır.

2. KLEMM I' İN BİR ÇEŞİDİ - BREHA “10/3” DAĞLAYICISI -

Oda sıcaklığında daldırarak dağlama işlemi yapılmalıdır.

- 100 ml saf su
- 10 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
- 3 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$

3. %10 SODYUM METABİSÜLFİT DAĞLAYICISI

Çelikler için oda sıcaklığında daldırarak dağlama işlemi yapılmalıdır.

- 100 ml saf su
- 10 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

4. BREHA' NIN SÜLFAMİK ASİT DAĞLAYICISI

1. Dağlayıcı; Dökme demirler, karbon ve alaşımlı çelikler için temel bir solüsyondur.

2. ve 3. Dağlayıcı; Dağlamayı hızlandırmak içindir.

4. Dağlayıcı; Martenzitik paslanmaz çelikler, manganlı çelikler ve takım çelikleri içindir.

Tablo 2: Breha'nın sülfamik asit dağlayıcısı [4]

Dağlayıcı	H ₂ O (ml)	K ₂ S ₂ O ₅ (g)	NH ₂ SO ₃ H (g)	NH ₄ FHF (g)
1	100	3	1	0
2	100	6	2	0
3	100	3	2	0
4	100	3	1	0,5-1

5. BREHA' NIN CdS ve PbS DAĞLAYICILARI

Tablo 3: Breha'nın CdS ve PbS dağlayıcılarının kompozisyonları ve kullanımları

Dağlayıcı	Kompozisyon	Kullanımı
PbS	1000 ml saf su 240 g Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O 24 g Kurşun Asetat 30 g Sitrik Asit	Bakır ve alaşımları
CdS	1000 ml saf su 240 g Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O 20-25 g Kadmiyum Kloride* 30 g Sitrik Asit	Dökme demir, çelikler, ferritik ve martenzitik paslanmaz çelikler

*Kadmiyum Asetat veya kadmiyum kloride kullanılabilir.

6. BAKIR İÇİN BREHA' NIN SELENİK ASİT DAĞLAYICISI

Koyu renkli cam şişede saklanmalıdır. Daldırarak dağlanmalıdır.

- 300 ml etanol
- 2 ml HCl
- 0,5-1 ml selenik asit

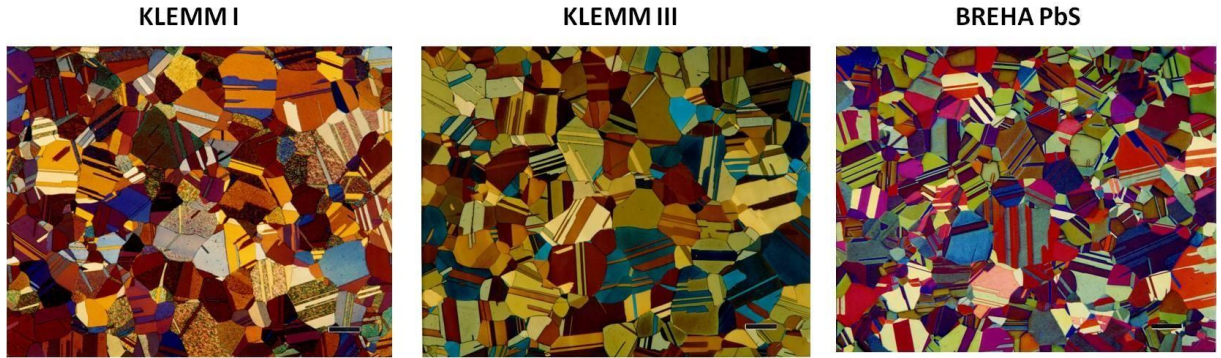
7. ALÜMİNYUM İÇİN WECK' İN DAĞLAYICISI

- 4 g Potasyum permanganat (KMnO_4)
- 1 g NaOH
- 100 ml saf su

Oda sıcaklığında saklanmalıdır. Döküm yapılmış alaşımlar için kullanımı uygundur.

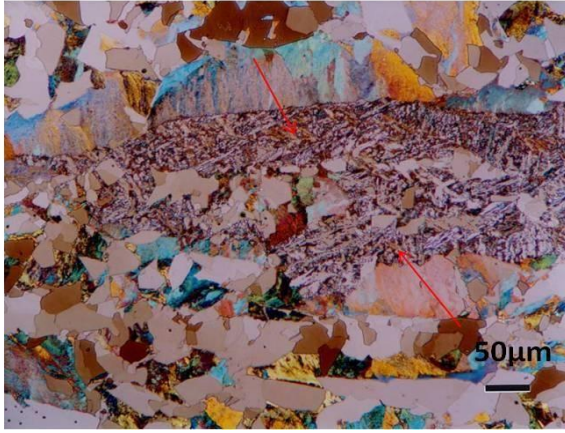
RENKLENDİRME DAĞLAYICILARININ MİKROYAPI ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI

İşlenmiş pirinç, Cu-%30Zn, 704°C ' de 30 dakika tavllanmış, kaba taneli, eşeksenli YMK tane yapısı ile tavlama ikizlenmeleri görülen bir malzemedir. Şekil 1' de bulunan tüm mikroyapılar 200 μm büyütmededir. KLEMM I ve III dağlayıcısı 3 dakika, KLEMM II dağlayıcısı 2 dakika nüfuz ettirilmiştir. Tüm mikroyapılar dağlanırken polarize ışık altında ve hassas renklendirme işlemi yapılmıştır.

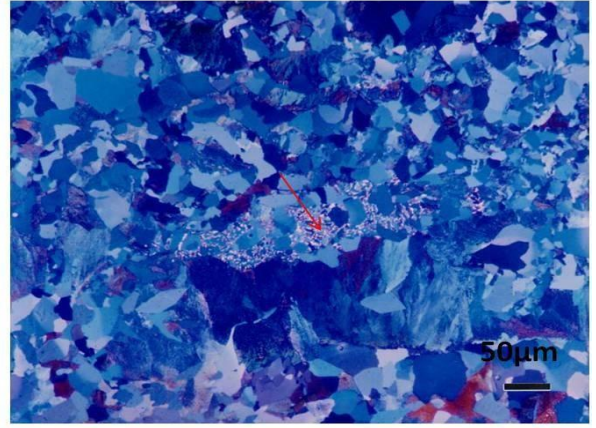


Şekil 1: Cu-%30Zn alaşımlı metalin farklı renklendirme dağlayıcıları kullanılmıştır. Mikroyapılar 200 μm büyütmededir.

Sulu ortamda 10% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ + 3% $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$



KLEMM I



Şekil 2: Sürekli döküm yapılmış segregasyonlu HSLA çeliğinin mikroyapısıdır. Her iki mikroyapıda 50 μm ' de görüntülenmiştir. Soldaki mikroyapı Breha' nın 10/3 dağılayıcısı, sağdaki ise KLEMM I ile dağılanmıştır. Normal olarak yapı ferrit ve beynittir fakat segregasyon bölgesinde beynit bulunmaktadır (kırmızı okların işaret ettiği alanlar).

4. KAYNAKLAR

- [1] W.D. Callister, Materials Science and Engineering: An Introduction, 6. Edition, John Wiley & Sons, New York, 2001, ISBN 0-471-39551-X
- [2] ODTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Metalografi Ders ve Laboratuvar Notları - T. Savaşkan, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, 5. Baskı, Seçkin Yayınları, Trabzon, 2009.
- [3] “Materials Science and Engineering: An Introduction”, W.D. Callister, Jr., D.G. Rethwisch, 2010, Wiley.
- [4] “Döküm Prensipleri ve Teknikleri” Ders Notları, Muzaffer Zeren, Kocaeli Üniversitesi, 2009.
- [5] “Metalürji Teknolojisi”, M.E.B., 2011, Ankara.
- [6] <http://www.haddemetal.com/tr/Download/Dokmedemirler.pdf> (son erişilen tarih: 30/11/2012).
- [7] “Metal ve Alaşımlarında Katılaşma” Ders Notları, Mümin Tutar, Uludağ Üniversitesi, 2012.
- [8] Koçak H., 2006, Bakır ve Alaşımları El Kitabı, 6, İstanbul.
- [9] Tekin E., 1984, Demirdışı Metaller ve Alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü (SEGEM), 101, Ankara.
- [10] Basement G., Non-ferrous alloys metallography, M.I.T. Cambridge, MA, USA, 2005.
- [11] Vander Voort G. F., 2005, Color Metallography, Buehler Ltd., Illinois, USA.
- [12] <http://www.pearson-studium.de/books/3827370597/cd01/Gallery/Images/OM.html>, [Ziyaret Tarihi: 25 Ekim 2012].
- [13] www.metallographic.com, Suranaree University of Technology, 2007, Zinc and Alloys, [Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2012].
- [14] ASM Handbook, 2004, ASM International, Metallography and Microstructures Chapter 09, USA.
- [15] <http://www.kuark.org/2014/07/bakir-uretimi-ve-alasimlari/> [Ziyaret Tarihi: 14 Eylül 2015].
- [16] http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimlari.pdf [Ziyaret Tarihi: 14 Eylül 2015].

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-1 DERSİ

ÇEKME – BASMA
DENEY FÖYÜ

2019-2020 Güz Yarıyılı

ÇEKME DENEYİ

1.1 DENEYİN AMACI

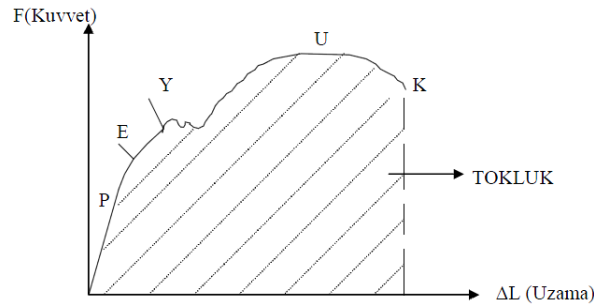
Mühendislik tasarımlarının en önemli özelliklerinin başında öngörülebilir olmaları gelmektedir. Öngörülebilirliğin birincil şartı ise tasarlanan sistemin maruz kaldığı tüm yükler altındaki davranışlarının önceden belirlenmesidir. Bir parçanın yük altındaki davranışını belirleyen unsurlar seçilen malzemenin mekanik özellikleri, geometrisi ve maruz kaldığı yüklerden oluşmaktadır. Parçanın maruz kaldığı yüklerin tasarım aşamasından önce belirli olması dikkate alındığında, tasarımcının dizayn sırasında üzerinde değişiklik yapabileceği unsurlar geometri ve malzeme tipidir. Bu durumda tasarımcı ya tasarladığı geometri için uygun malzemeyi (veya malzemeleri) seçmeli ya da elinde bulunan malzemelerin mekanik özelliklerini göz önüne alarak uygun geometriyi tasarlamalıdır. Her iki durumda da kullanılacak mühendislik malzemelerinin mekanik özelliklerinin bilinmesi zorunluluğu ortadadır.

Mühendislik malzemeleri iç yapılarına bağlı olarak üç temel gruba ayrılmaktadır: İzotropik, ortotropik ve anizotropik. Lisans eğitimi boyunca üzerinde durduğumuz ve deneylerimiz sırasında da kullanacağımız izotropik malzemelerin mekanik özelliklerinin yönden bağımsız olarak homojen dağıldığı kabul edilir. Üretici firmalar kataloglarda her malzemenin mekanik özelliklerini (elastiklik modülü, Poisson oranı, kayma modülü, sıcaklık- uzama katsayısı vb.) verirler. Öte yandan yapılan çalışmalar aynı yöntemle üretilen malzemelerin dahi mekanik özelliklerinin tamamen aynı olmadığını göstermiştir. Bu durumun sebebi ise malzemenin mikro yapısındaki kusurlardan kaynaklanmaktadır (atomik dislokasyonlar, mikro çatlaklar, vb.). Dolayısıyla katalog değerlerini her zaman doğru kabul etmek doğru bir mühendislik yaklaşımı olmamaktadır. Bu durumdan yola çıkarak, gerekli durumlarda malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için deneyler yapılması gerekir. Tüm deneyler çeşitli kurumlar (ASTM-American Society of Testing and Materials, ISO- International Organization of Standardization, TSE-Türk Standartları Enstitüsü, vb.) tarafından ilan edilen test standartları dikkate alınarak yapılmalıdır.

Mühendislik malzemeleri rijit olmadığından kuvvet altında deforme olup, şekil ve boyut değişiklikleri gösterirler. Malzeme özelliklerini anlamak üzere mekanik testler yapılır. Bunlardan en önemlisi çekme deneyidir.

Çekme deneyinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, eksenel ve değişken kuvvetler uygulanır.

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.



Şekil 1.1 Bir çekme deneyinde uzama-kuvvet diyagramı

Şekil 1.1 i inceleyelim. 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 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 sertleşmesine uğrar ve daha mukavim hale gelerek daha fazla kuvvet alabilir hale gelir.

Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da arttırılarak 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 enerjiye 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 gerilme hesaplanır ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilir.

Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona uğradıysa sünek, az deforme olmuşsa gevrek yapıya sahiptir.

1.2. TANIMLAMALAR ve TEORİK BİLGİ

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

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

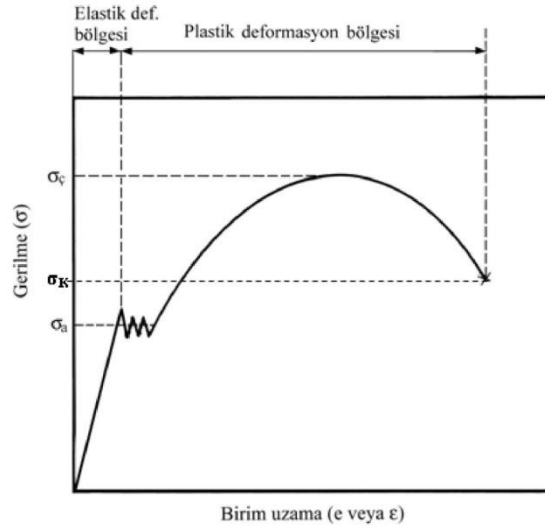
Birim Şekil Değiştirme (ϵ): Malzemeye kuvvet uygulandığı zaman oluşan boy değişiminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya oranıdır.

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

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:

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

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

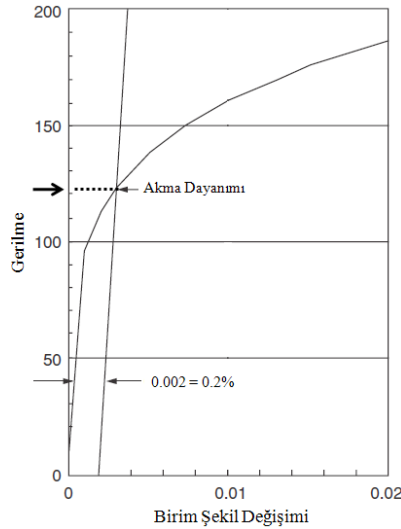


Şekil 1.2. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı

Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünsüzlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir (Şekil 1.2).

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

Alüminyum alaşımlarında, akma gerilmesi diyagram üzerinde tam belirli olmadığından, Şekil 1.3’ teki yöntem uygulanarak akma gerilmesi bulunur. Bu yöntemle göre, % 0.2 birim şekil değişiminden başlayarak eğrinin elastik bölgesine paralel çizilen doğrunun eğriyi kestiği nokta akma gerilmesi değerini verir.



Şekil 1.3. Gerilme-birim şekil değişimi diyagramı

Çekme dayanımı (σ_c): 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.

$$\sigma_c = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

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

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

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.

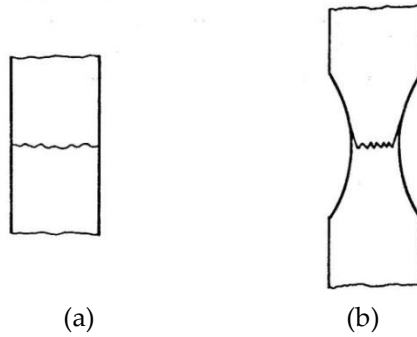
Yüzde Kesit Daralması (KD): Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

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

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 1.4'te gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Gevrek ve sünek malzemelerin kırılma şekilleri. (a) Gevrek malzemenin kırılması (büzülme yok)
(b) Sünek malzemenin kırılması (büzülme var)

1.3 ELASTİKLİK MODÜLÜNÜN TESPİTİ

Uygulanan yük ile malzeme uzaması arasındaki ilişki ilk olarak Robert Hooke tarafından 1678 yılında şu sözlerle ortaya konmuştur: “Ut tensio, sic vis” (Türkçe anlamıyla “Ne kadar uzama, o kadar kuvvet”). Hooke, bilinen ilk sistematik çekme deneylerini yaparak bazı malzemelerin yük altındaki uzamalarının yüklerle doğru orantılı (lineer) olduğunu ortaya koymuştur ki elastik sınırlar içinde bu yaklaşım doğrudur. Fakat plastik deformasyonun gerçekleştiği durumlarda bu yasa geçerli değildir.

Bu deney sırasında amacımız malzemeye çekme gerilmesi uygulayarak elastiklik modülünün Hooke yasasına göre tespit edilmesidir. Hooke yasası şu şekilde ifade edilir:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

$$E = \frac{P \cdot L}{A \cdot \Delta L} \quad (4)$$

P: Yük (N)

E: Elastisite modülü (MPa)

A: Yükün uygulandığı kesit alanı (mm²)

σ : Gerilme(MPa)

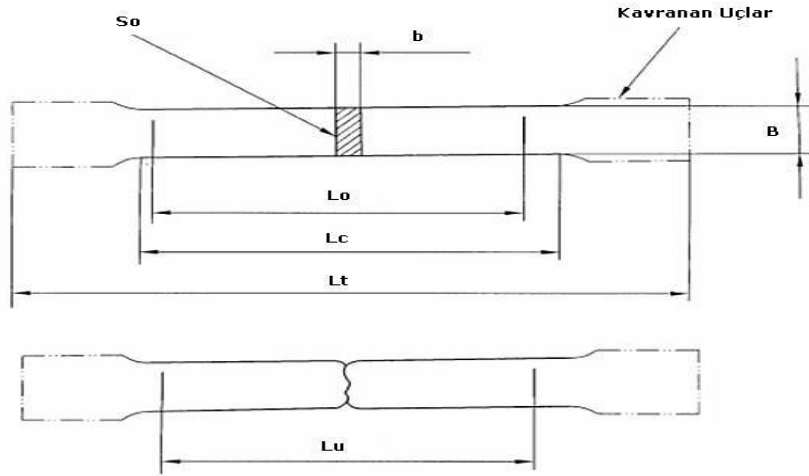
L: Uzunluk (mm)

ε : Birim şekil değiştirme

ΔL : Uzama miktarı (mm)

1.4 Deney Numunesi

Deney parçasının şekli ve boyutlandırılması Şekil 1.5 ve Tablo 1.1’ de gösterilmiştir. Orantısız deney parçası kullanıldığından, TS 138 EN 10002-1 standardı ile belirtildiği şekilde ilk ölçü uzunluğu, ilk kesit alanından bağımsız olarak alınır.



Şekil 1.5. Dikdörtgen kesitli deney parçası

Tablo 1.1 Deney parçası boyutlandırılması

Sembol	Değer	Anlam
B	2 mm	Kalınlık
B	20 mm	Genişlik
Lc	110 mm	Paralel Uzunluk
Lt	180 mm	Toplam Uzunluk
So	40 mm ²	İlk Kesit Alanı

1.5 Deney Cihazı

INSTRON Universal Test Cihazı, havacılık ve uzay teknolojilerinde kullanılan metal, seramik ve kompozit malzemelerin çekme, basma, eğilme ve yorulma testlerini yapmak amaçlı kullanılmaktadır. Servo-hidrolik çalışan makine, -40 ile +177 °C aralığında 100 kN’ a kadar statik ve dinamik kapasiteli deneylerde kullanılabilir. Minimum ±10 Hz ve minimum ±1 mm. dinamik test yeteneğine sahiptir. Farklı numunelerin analizi için farklı tipte çeneler kullanılmaktadır. Ayrıca çoklu uzama yeteneğine sahip ekstansometreler, -129°C ve +315°C aralığında çalışabilen iklimlendirme odası mevcuttur.

1.6 Deneyin Yapılışı

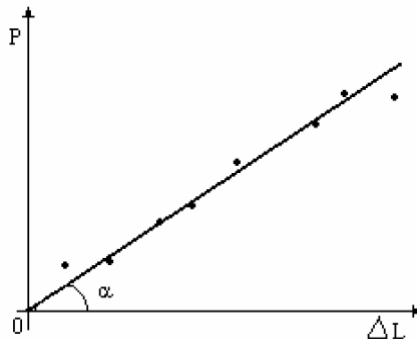
Aksi belirtilmedikçe deney 10 °C ile 35 °C arasındaki bir sıcaklıkta yapılır. Kontrollü şartlarda yürütülen deneyler 23 °C $\pm$ 5 °C sıcaklıkta yapılabilir. Cihaz yazılımı çalıştırılır ve aşağıdaki işlemler uygulanır:

Deney, INSTRON Universal Test Cihazı' nın hidrolik basınç kademelerinin çalıştırılması ile başlar.

- Numune, düzenekteki çenelere iki ucundaki genişleyen bölümlerinden sıkıştırılarak yerleştirilir. Dikkat edilecek husus, sıkıştırma için kullanılan basıncın uygun olması ve çenelerin, numune başlarını ezip, bu kısımlardan kopmaya yol açmamasıdır.
- Daha sonra, cihazın yazılımının içinden programlama yapılır.
- Otomatik ofset işlemi yapılarak, sinyal yoluyla gelen kuvvet ve uzama değerleri sıfırlanır.
- Deneye başlanır. Yazılım yardımıyla bilgisayardan uzama ve kuvvet değişimleri izlenir. Şeffaf koruma paravanlarını kullanarak çıplak gözle de numune izlenebilir.
- Numune kopana kadar deney devam eder.
- Kopmanın ardından deney dataları incelenir ve kuvvet-uzama ve gerilme-birim şekil değişimi diyagramları çizilir. Mekanik özellikler hesaplanır.

1.7 Sonuçların Değerlendirilmesi

Elde edilen sonuçlar neticesinde her yüklemeye karşılık bir uzama değeri elde edilir. Verilerden faydalanılarak yük (P) ve uzama (ΔL) arasında bir grafik oluşturulur (Şekil 1.6). Grafik üzerinde elde edilen noktalar uygun bir eğriyle birleştirilir. Şekil değişimi elastik sınırlar içerisinde kaldığından çizilecek grafik eğrisi lineer bir doğru olur.

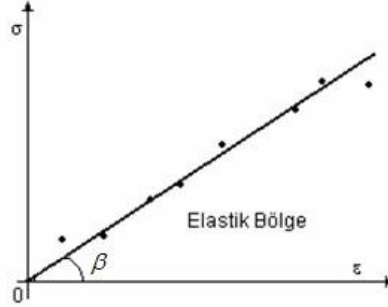


Şekil 1.6. Yük-uzama grafiği

A)- Elastisite modülünün tayini için elde edilen deney sonuçları Hooke Kanunu 'na uygulanır (Denklem 4). Deney sırasında numunenin uzunluğunun ve kesitinin diğer değerler yanında sabit kaldığı kabul edilebilir. Denklem 4'e dikkat edilirse değişken olan değer $P/\Delta L$ oranıdır, bu oran ise

P - ΔL grafiğindeki doğrunun eğimini vermektedir. Bulunan eğim Denklem 4' de yerine yazılarak numune için elastisite modülü tayin edilmiş olur. Bulunan elastisite modülü değeri literatürdeki değerlerle karşılaştırılarak hata oranı yüzde olarak bulunur.

B)- Çizilecek olan ikinci grafik ise gerilme–şekil değiştirme, (σ - ϵ) grafiğidir (Şekil 1.7). Bu grafiğin eğimi Hooke Kanununa göre elastisite modülüne eşittir. Bu grafiğin çizimi, yük-uzama grafiğinde olduğu gibi, deney sonucu elde edilen değerler yardımıyla ortalama lineer bir doğru çizilerek gerçekleştirilir. Bulunan E değerinin literatürle karşılaştırması yapılır.



Şekil 1.7. Gerilme-şekil değiştirme grafiği

1.8 İlgili Standartlar

1. Türk Standardı TS 138 EN 10002-1 Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi Bölüm 1:Ortam Sıcaklığında Deney Metodu
2. Türk Standardı TS EN ISO 7500-2 Metalik Malzemeler - Tek Eksenli Statik Deney Makinelerinin Doğrulanması - Bölüm 2: Çekme Sürünme Deney Makineleri - Uygulanan Yükün Doğrulanması
3. ISO 6892 Metallic Materials - Tensile Testing at Ambient Temperature Second Edition
4. European Standard EN 2002-001 Aerospace Series - Metallic Materials - Test Methods - Part 1: Tensile testing at Ambient Temperature

KAYNAKLAR

1. Türk Standardı TS 138 EN 10002-1 Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu, TSE, Nisan 2004
2. Hibeler R.C., Mechanics of Materials, Fourth Edition, Prentice Hall, 2000
3. INSTRON User's Manual Volume 1, INSTRON Systems Corporation, 2012

2. METALİK MALZEMELERİN BASMA DENEYİ

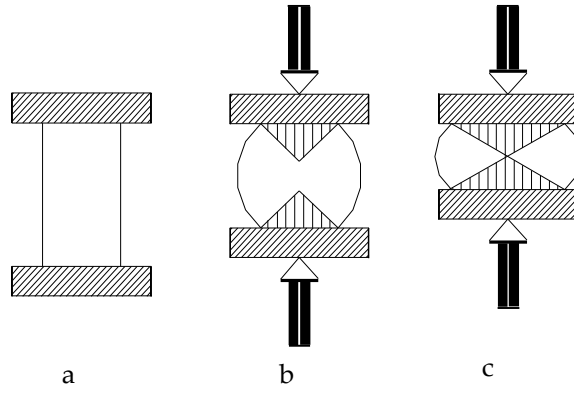
2.1. Giriş

Malzemelerin yüzeyinden içeriye doğru etkiyen dış kuvvetlere basma kuvvetleri denir ve basınç gerilmeleri oluşturur. Çekme deneyinin tersi olarak kabul edilir. Basma deneyi de çekme deneyi cihazlarında yapılır. Basma kuvvetlerinin etkin olduğu yerlerde kullanılan malzemeler genellikle gevrek malzemelerdir ve özellikleri basma deneyi ile belirlenir. Gri dökme demir, yatak alaşımları gibi metalik malzemeler ile tuğla, beton gibi metal dışı malzemelerin basma mukavemetleri, çekme mukavemetlerinden çok daha yüksek olduğu için bu gibi malzemeler basma kuvvetlerinin etkin olduğu yerlerde kullanılır ve mekanik özellikleri basma deneyi ile belirlenir.

Basma deneyinde homojen bir gerilim dağılımı sağlamak amacıyla yuvarlak kesitli numuneler tercih edilir. Fakat kare veya dikdörtgen kesitli numuneler de kullanılmaktadır. Basma deneyi numunelerinde, numune yüksekliği (h_0) ile çapı (d_0) arasındaki h_0/d_0 oranı oldukça önemlidir. Numunenin h_0/d_0 oranının çok büyük olması, deney sırasında numunenin bükülmesine ve homojen olmayan gerilim dağılımına sebep olur. Bu oran küçüldükçe numune ile basma plakaları arasında meydana gelen sürtünme deney sonuçlarını çok fazla etkilemektedir. Bu sebeple numunenin h_0/d_0 oranının $1.5 \leq h_0/d_0 \leq 10$ aralığında olması önerilir. Metalik malzemelerin basma numunelerinde ise genellikle $h_0/d_0=2$ oranı kullanılır.

Basma deneyinde silindirik veya küp şeklindeki numuneler iki paralel tabla arasına yerleştirilir ve uygulanan kuvvetle oluşan şekil değiştirmeler ekstansometre yardımı ile ölçülür.

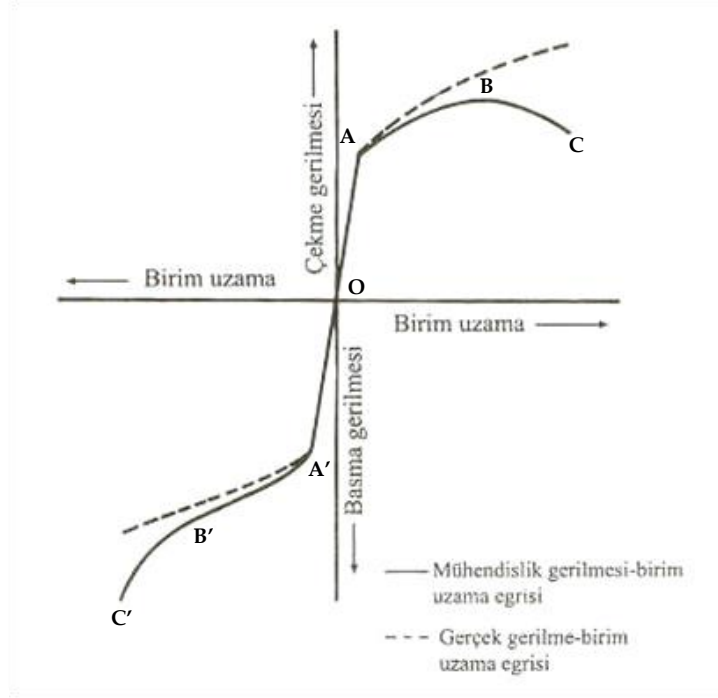
Basma çenelerinin düz, temiz ve deney numunesine oranla sert olması gereklidir. Basma deneyinde kesit alanı sürekli arttığından çekme deneyinde oluşan boyun verme olayı meydana gelmez. Bu deney özellikle gevrek malzemelerin sünekliğini ölçmede çok faydalıdır. Çünkü bu tür malzemelerin çekme deneyi ile belirlenen % uzama değerleri hemen hemen sıfır olduğu için süneklikleri hassas olarak ölçülemez. Sünek malzemelerin deneyinde fiçılama olarak adlandırılan şişme oluşur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Basma deneyi uygulanan bir sünek malzemede oluşan fiçılama, a) Basma kuvveti yok, b) Uygulanan kuvvetin etkisiyle fiçılamanın ilk aşaması, c) Fiçılamanın tamamlanması

Basma deneyi, uygulanan yükün ters yönde olması nedeniyle çekme deneyinin tamamen tersidir. Uygulanan basma yüküne karşılık numune boyundaki azalma grafik olarak kaydedilir ve çekme deneyindeki benzer hesaplamalarla mühendislik basma gerilmesi-basma birim şekil değişimi diyagramı elde edilir. Basma deneyinde de, çekme deneyinde olduğu gibi gerçek ve mühendislik gerilme ve birim şekil değişimleri arasında benzer bağıntılar geçerlidir.

Basma diyagramı genel olarak çekme diyagramına benzer (Şekil 2.2). Basma diyagramının elastik deformasyon bölgesini gösteren kısmı ile çekme diyagramının elastik deformasyonu gösteren kısmı çok benzemektedir. Basma diyagramında da akma sınırından hemen sonra plastik deformasyon oluşmaktadır ancak çekme diyagramında maksimum noktadan sonra gerilme değerinde bir azalma meydana gelirken, basma diyagramında gerilmede artış meydana gelir. Bu durum, kesit alanının devamlı artmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.2’de OA’ bölgesi uygulanan basma gerilmesi ile % birim şekil değiştirmenin orantılı olduğu elastik bölgedir. A’ noktası elastik sınır olarak tanımlanır. A’C’ bölgesi plastik deformasyon bölgesidir. Basma diyagramında plastik deformasyon bölgesinin ilk kısmı olan A’B’ bölgesinin eğimi, çekme diyagramındaki AB bölgesinin eğimine benzerdir. Fakat daha sonra basma eğrisinin eğimi artar, çünkü bu sırada numune kesitindeki artmaya bağlı olarak eğim sürekli artmaktadır.



Şekil 2.2: Bir metal malzemenin çekme ve basma diyagramları

2.2. Basma Gerilmesi Hesabı

Mühendislik basma gerilmesi σ_b , basma yükünün (P_i), başlangıçtaki kesit alanına bölünmesiyle elde edilir:

$$\sigma_b = P_i / A_0$$

burada,

σ_b : Mühendislik basma gerilmesi (MPa)

P_i : Herhangi bir andaki basma yükü (N)

A_0 : Başlangıç kesit alanı (mm²)

Malzemenin basma mukavemeti maksimum basma gerilmesine karşılık gelen değerdir. Akma mukavemeti (σ_a), belirli akma gösteren malzemeler için akma yükünün başlangıçtaki kesit alanına bölünmesiyle elde edilir.

Gerçek basma gerilmeleri, çekme deneyine benzer şekilde hesaplanır:

$$\sigma_{b,g} = P_i / A_i$$

burada A_i , P_i yükünün uygulandığı andaki numune kesiti (mm²) dir.

Mühendislik gerilme degerleri ($\sigma_{b,m}$) kullanılarak, basmadaki gerçek gerilme degerleri ($\sigma_{b,g}$) hesaplanabilir:

$$\sigma_{b,g} = \sigma_{b,m} \cdot (1 + e_b)$$

burada

$\sigma_{b,g}$: Gerçek basma gerilmesi (MPa)

$\sigma_{b,m}$: Mühendislik basma gerilmesi (MPa)

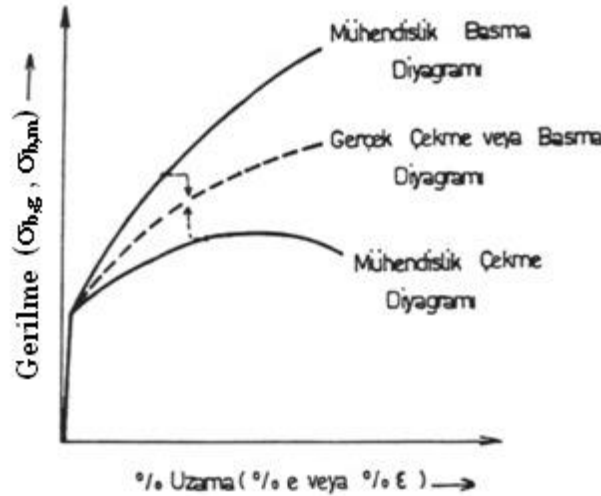
e_b : Basmada mühendislik birim sekil degistirmesi.

Yukarıdaki bağıntıda e_b degerinin negatif olduğu göz önüne alınmalıdır. e_b 'nin mutlak değeri alınarak, gerçek gerilme

$$\sigma_{b,g} = \sigma_{b,m} \cdot (1 - e_b)$$

olarak hesaplanır.

Metalik malzemelerin gerçek çekme ve basma diyagramlarında, gerçek gerilme değerleri birbirine eşittir. Oysa mühendislik çekme ve basma diyagramlarında, plastik bölgedeki mühendislik basma gerilmesi değeri, mühendislik çekme gerilmesi değerinden daha büyüktür (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Gerçek ve mühendislik çekme-basma diyagramları

2.3. Ezilme (Yığılma, e_b)

Ezilme, parçanın deneyin herhangi bir anındaki boyunun ilk boyuna oranına göre tespit edilir. Çekme deneyindeki uzamanın tersi şeklinde düşünülebilir. Basma deneyinde % birim şekil değiştirme, numunenin yüksekliğindeki azalma miktarının numunenin başlangıçtaki yüksekliğine oranının yüzde olarak ifadesidir. Basma deneyinde numunenin yüksekliği sürekli olarak

azaldığından, % birim şekil değişimi negatif bir değerdir. % birim şekil değiştirme, % yığılma olarak da belirtilmektedir. % yığılma,

$$\% e_b = 100 \times (h_0 - h_1) / h_0$$

Burada,

% e_b : Yığılma dayanımı (Ezilme)

h_0 : Malzemenin ilk boyu

h_1 : Malzemenin kısalan boyu

2.4. Kesit Büyümesi Hesabı (Şişme)

Deney parçasının ulaşacağı en büyük kesit A_1 , ilk kesit A_0 ve bunlara ait çaplar d_1 ve d_0 ise, kesit büyümesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\Psi = 100 \times (A_1 - A_0) / A_0$$

veya çaplar cinsinden

$$\Psi = 100 \times (d_{12} - d_{02}) / d_{02}$$

Raporda istenilenler:

- 1) Deney sırasında kullanılan malzemenin yük–yığılma eğrisinden yararlanarak ilgili malzemenin gerilme–% yığılma grafiğinin çizilmesi.
- 2) Deney sırasında kullanılan malzemenin basma mukavemetinin, % yığılmasının ve % kesit alan değişiminin hesaplanması.

KAYNAKLAR

1. Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ Yayınları, Sayı: 1262, 1990.

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-1 DERSİ

SERTLİK –
DENEY FÖYÜ

2019-2020 Güz Yarıyılı

1. MALZEMELERDE SERTLİK DENEYİ

Amacı:

Malzemelerin sertliğinin ölçülmesi ve mukavemetleri hakkında bilgi edinilmesi.

Teorik Bilgi:

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.

Çeliklerde akma gerilmesi ve çekme mukavemeti sertlikle doğru orantılıdır. Bu yüzden basit sertlik deneyi önemli bu iki özellik hakkında da fikir edinmeyi mümkün kılar.

Sertlik Deneyleri

Sertlik deneylerini iki genel gruba ayırmak mümkündür. Bunlar;

1. Statik sertlik ölçme deneyleri;
 - a) Rockwell sertlik deneyi,
 - b) Brinell sertlik deneyi,
 - c) Vickers sertlik deneyi,
 - d) Mikrosertlik deneyi.
2. Dinamik sertlik deneyleri;
 - a) Darbe etkisiyle sertlik ölçme deneyleri,
 - b) Sıçrama etkisiyle sertlik ölçme deneyleri.

İz bırakıcının oluşturduğu izin derinliğini veya alanını ölçme esasına dayanan yöntemler statik ölçme yöntemleri olarak bilinmektedir. Genel olarak Brinell sertlik deneyi yumuşak ve orta sert, Vickers sertlik deneyi, yumuşak, orta sert ve sert, Rockwell B yumuşak ve orta sert, Rockwell C ise orta sert ve sert malzemeler için kullanılır. Bunların dışındaki endüstriyel deney yöntemleri dinamik sertlik ölçme yöntemleri olarak tanımlanırlar.

1. Rockwell sertlik ölçme yöntemi: Rockwell sertlik deneyi, sabit yük altında, malzeme üzerinde oluşturulan iz derinliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Ölçümü yapılacak malzemenin cinsine göre, iz bırakıcı olarak ucu çok az yuvarlatılmış 120^0 'lik konik elmas uç veya 1/16" ve 1/8" çapında çelik bilyalar kullanılır. Yük ise 60, 100 veya 150 kg olarak uygulanır. Her yük-iz bırakıcı kombinasyonu farklı bir Rockwell skalasını oluşturur ve her skala farklı malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılır. Bu skalalardan en çok kullanılanlar Rockwell B ve Rockwell C skalasıdır. Rockwell B skalası yumuşak ve sünek malzemelerde 100 kg yük ve 1/16" çapında çelik bilya kullanılarak uygulanır. Sertliği 35100 HRB arasında olan malzemelerin sertliğinin ölçümü için uygun sonuçlar verir. Rockwell C skalası serleştirilmiş çeliklere 150 kg yük ve konik elmas uç kullanılarak uygulanır. Sertliği 20-70 HRC arasında olan malzemelerin sertliğinin ölçümü için uygun sonuçlar verir.

Tablo 1.1: standart Rockwell sertlik skalaları

Skala	Uç	Ön Yük (kg)	Toplam Yük (kg)	Uygulama
HRA	120^0 Elmas	10	60	İnce sertlik tabakalı, yüzeyi serleştirilmiş parçalar
HRB	1/16" Bilya	10	100	Cu ve Al alaşımları, yumuşak çelikler ve temper döküm
HRC	120^0 Elmas	10	150	Merkeze kadar sertleştirilmiş çelikler ve HRB değeri 100 den fazla olan malzemeler
HRD	120^0 Elmas	10	100	Orta seviyede sertleştirilmiş çelikler, perlitik dövülebilir demir
HRE	1/8" Bilya	10	100	Dökme demir, Al, Cu ve Mg alaşımları, sentetik malzemeler
HRF	1/16" Bilya	10	60	Tavlanmış bakır alaşımları, yumuşak ince sac malzemeler
HRG	1/16" Bilya	10	150	Orta sertlikte temperlenmiş döküm, fosforlu bronz, berilyumlu bakır
HRH	1/8" Bilya	10	60	Al, Zn, Pb ve taşlama taşları
HRK	1/4" Bilya	10	150	Yatak metalleri, çok yumuşak veya ince malzemeler
HRL	1/4" Bilya	10	60	Sert lastik ve plastikler
HRM	1/4" Bilya	10	100	HRK ve HRL ile benzer malzemeler ve kontraplak
HRP	1/4" Bilya	10	150	HRK ve HRL ile benzer malzemeler

HRR	1/2" Bilya	10	60	HRK ve HRL ile benzer malzemeler
HRS	1/2" Bilya	10	100	HRK ve HRL ile benzer malzemeler
HRV	1/2" Bilya	10	150	HRK ve HRL ile benzer malzemeler

2. Brinell Sertlik Deneyi: Brinell sertlik deneyi, malzeme yüzeyine belirli bir yükün (F), belirli bir çaptaki (D) sert malzemeden yapılmış bir bilya yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz meydana getirmek esasına dayanır. Daha sonra oluşan kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir. Deney sonrası sertlik sonucu ifade edilirken BSD işaretinin yanında diğer deney şartları bilya çapı/yük/uygulama süresi sırasına göre bir bilgi eklenir.

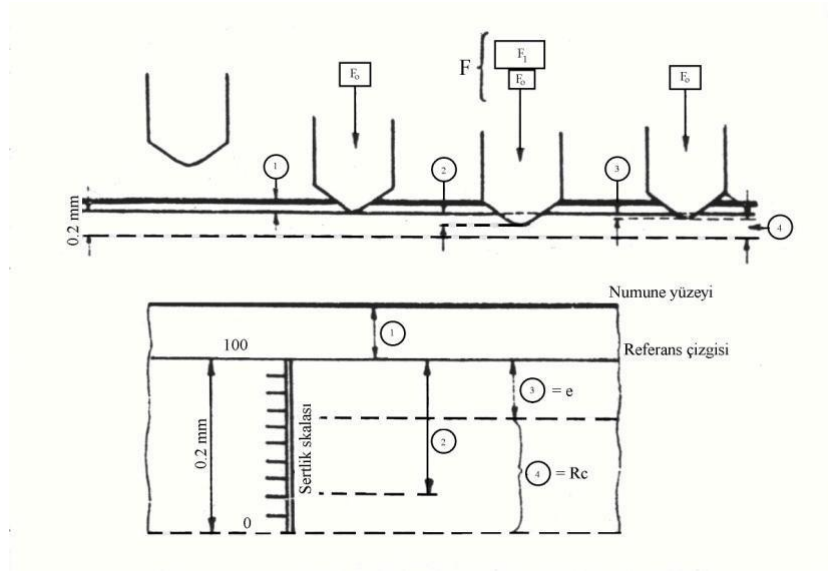
3. Vickers Sertlik Deneyi: Vickers sertlik deneyinin kullanım alanı çok geniştir. Çok yumuşak ve çok sert malzemeler için uygundur. Vickers sertlik deneyi, tabanı kare ve tepe açısı 136° olan standartlaştırılmış piramit şeklinde bir elmas ucun, değişken yükler altında numune yüzeyine batırılması sonucu bir iz oluşturma esasına dayanır. Deney yükü F=1 kg ile 100 kg arasında seçilebilir. Deneyden sonra Vickers sertlik değerini bulmak için kare şeklindeki izin köşegenleri mikroskop yardımı ile hassas bir şekilde ölçülür.

Deneyin Yapılışı :

Rockwell Sertlik:

Rockwell sertlik deney prensibi Şekil 1.1' de verilmiştir. Rockwell sertlik deneyi yapılırken numune üzerine önce 10 kg'lık bir ön yük (F_0) uygulanır. Bu ön yük numune ile uç arasındaki 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.

$F_{toplam} = F_{ana} + F_{ön}$ olduğuna göre; toplam yük Rockwell B deneyi için 100 kg ve Rockwell C deneyi için 150 kg olur.



Şekil 1.1: 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).

Fön kuvvetinden en az dört kat büyük olması gereken Fana deney yükünün numune üzerine uygulanmasından ve kaldırılmasından sonra, referans düzleminden itibaren kalıcı bir tb batma derinliği elde edilir. Söz konusu işlemlerin gerçekleştirildiği Rockwell cihazında, ölçülen kalıcı tb batma derinliği yerine, sertlik değeri göstergeden doğrudan okunur.

Rockwell sertlik ölçme cihazının göstergesi 100 bölmeye ayrılmıştır. Gösterge üzerindeki her bölme iz bırakıcı ucun 0,002 mm' lik bir tb batma derinliğini gösterir. Dolayısıyla

Rockwell sertlik deneyinde batıcı ucun malzemeye her 0,002 mm' lik batışı Rockwell sayısını bir sayı düşürür. Numune üzerinde oluşturulan bu batma derinliği, 0,002 mm değerine bölünürse, ana yük kaldırıldığında batma derinliğini skala üzerindeki bölmeler cinsinden veren “e” gibi bir değer elde edilir. ($e = t_b / 0,002$). Daha sonra numunenin Rockwell B sertlik değeri;

$$HRB = 130 - e$$

Rockwell C sertlik değeri ise;

$$HRC = 100 - e$$

bağıntısı ile elde edilir.

Rockwell Yüzey Sertlik Deneyi

Bu deney prensip olarak Rocwell deneyinin aynısıdır. Fakat bu deneyde iz bırakıcı ucun her 0,001 mm' lik batışı Rockwell sertliğini bir sayı düşürür.

Bu deney jilet gibi ince sacların, yüzeyleri az miktarda karbürize veya dekarbürize edilmiş veya nitrasyonla yüzeyi sertleştirilmiş çeliklerin sertliklerini ölçmede kullanılır. Standart Rockwell yüzey sertlik deneyinde kullanılan skalalar Tablo 1.2' de verilmiştir.

Rockwell yüzey sertliğini verirken ucun cinsini ve yükün miktarını vermek gerekir. Örneğin 80 HRN 30 şeklinde bir gösterim, 30 kg'lık ana yük ve elmas uç kullanılarak yapılan yüzey sertlik deneyinde malzemenin sertliğinin 80 olarak bulunduğunu gösterir.

Deney yapılacak yüzeyin normal Rockwell deneyindeki numune yüzeyine nazaran daha iyi parlatılmış olması gerekir.

Tablo 1.2 : Rockwell yüzeysel sertlik skalası

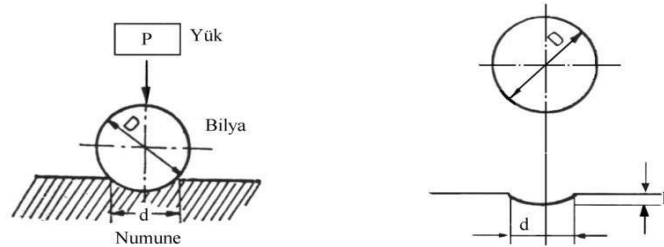
Skala	Uç	Ana Yük (kg)	Skala	Uç	Ana Yük (kg)
15 N	Elmas	15	45 W	1/8" Bilya	45
30 N	Elmas	30	15 X	1/4" Bilya	15
45 N	Elmas	45	30 X	1/4" Bilya	30
15 T	1/16" Bilya	15	45 X	1/4" Bilya	45
30 T	1/16" Bilya	30	15 Y	1/2" Bilya	15
45 T	1/16" Bilya	45	30 Y	1/2" Bilya	30
15 W	1/8" Bilya	15	45Y	1/2" Bilya	45
30 W	1/8" Bilya	30			

Deneyin Yapılışı Sırasında Dikkat Edilecek Hususlar

1. Sertliği ölçülecek malzeme yüzeyi düzgün ve temiz olmalıdır.
2. Yük numune yüzeyine dik olarak gelmelidir.
3. Numune kalınlığı, iz bırakıcının sertliği ölçülecek yüzeyin arka kısmında bir tümsek ya da iz oluşturmayacak şekilde olmalıdır. Buna göre numune kalınlığının, oluşan batma derinliğinden en az 10 kat fazla olması önerilir.
4. Numunenin aynı yüzü üzerinde en az üç farklı noktadan sertlik ölçülmeli ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmalıdır.
5. Rocwell sertliğinin belirlenmesi sırasında meydana getirilen iz kenara çok yakın olamayacağı gibi iki iz arasındaki mesafe de çok yakın olmamalıdır. İzlerin kenardan ve birbirlerinden uzaklığı en az 3 mm olmalıdır.
6. Numune kalınlığı ne olursa olsun, sertlik bir tek kalınlık üzerinde ölçülmelidir. Kalınlığı artırmak amacıyla üst üste konulmuş malzemeler üzerinde ölçülen sertlik değerleri güvenli sayılamazlar.
7. Çapı 5 mm'den küçük silindirik parçaların sertliği Rockwell B skalası ile ölçülmelidir.
8. 35-100 HRB sertlik değeri Rockwell B skalası için sınır değerlerdir. Sertliği bu sınırlar arasında olan ya da 200 BHN'den daha yumuşak malzemelerin sertliği Rockwell B skalası ile ölçülür. Benzer şekilde 20- 70 HRC sertlik değerleri de Rockwell C skalası için sınır değerlerdir. Sertliği bu sınır değerler arasında bulunan ya da 200 BHN' den daha sert malzemelerin sertliği Rockwell C skalası ile ölçülür.

Brinell Sertlik:

Şekil 1.2' de gösterildiği gibi belirli bir yükün (F), belirli bir çaptaki (D) sert malzemeden yapılmış bir bilya yardımıyla malzemenin yüzeyine belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz meydana getirilir.



Şekil 1.2: 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 ;

$$BSD = \frac{2 P}{\pi . D . [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

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

Standart deney şartlarında bilya çapı 10 mm, uygulanan yük 3000 kg ve yükün uygulanma süresi 10-15 sn kadardır. Diğer deney şartları için BSD işaretinin yanına bilya çapı/yük/uygulama süresi sırasına göre bir bilgi eklenir.

Örneğin, 62 BSD 5/500/30 şeklinde bir gösterme, 5mm çapında bir bilyanın 500 kg'lık bir kuvvetle numune üzerine 30 sn süre ile uygulanması sonucu elde edilen Brinell sertlik değerinin 62 olduğunu belirtir. Eğer BSD değerin yanında hiçbir işaret yoksa deney menevişlenmiş çelik bir bilya kullanılarak yapılır. Brinell sertliği 630' dan yukarı olmayan bir malzemede ise metal karbürden bir bilya kullanılabilir. Brinell sertlik değerleri 630' un üstünde olan bir malzeme için Brinell deneyinin yapılması tavsiye edilmez. Genel olarak 200 Brinell sertlik değerinin üstündeki değerler için kullanılan bilyanın tipi raporda belirtilmelidir.

Güvenli bir sertlik değeri elde edebilmek için numune kalınlığı, sertliği ölçülecek yüzeyin arka tarafında bir tümsek veya bir çıkıntı oluşturmayacak şekilde olmalıdır. Buna göre önerilen numune kalınlığı oluşan iz derinliğinin 8 katından az olmamalıdır. Tablo 1.3 farklı sertliklere sahip malzemelerde Brinell sertlik değerlerinin doğrulukla yapılabilmesi için kullanılacak numunelerin minimum kalınlıklarını göstermektedir.

Tablo 1.3 : Brinell Sertlik Deneyi için minimum kalınlık değerleri

	Brinell sertlik deneyinin güvenle yapılabileceği minimum sertlik		
Minimum numune kalınlığı (mm)	500 kg	1500 kg	3000 kg
1,5	100	301	602
3,0	50	150	301
4,5	33	100	201
6,0	25	75	150
7,5	20	60	120
9,0	17	50	100

Standart Brinell deneyinde kullanılan yükler 500, 1500 veya 3000 kg' dır. Yük malzemeye yavaş yavaş artacak şekilde uygulanmalı, darbeli yüklemeler önlenmelidir. Ayrıca yükün numuneye dik olarak gelmesine dikkat edilmelidir. Yükün uygulanma süresi, yumuşak metallerde ortalama 30 saniye diğer metaller için ise 10-15 saniye kadardır.

Belirli bir malzemenin farklı sertliklerini kıyaslamak için o malzemeye ait sertlik değerlerinin tavsiye edilen sınırlar içerisinde olabilecek şekilde, tek bir yük kullanılarak ölçülmesi tavsiye edilir (Tablo 1.4).

Tablo 1.4 : Standart Brinell Deneyinde uygulanan yüke göre tavsiye edilen sınır değerleri

Bilya Çapı (mm)	Yük (kg)	Tavsiye edilen sınır Brinell Sertlik
10	3000	96-100
10	1500	48-300
10	500	16-100

Genel olarak bir malzemenin Brinell sertlik değeri yük ve bilya çapına bağlı olarak değişir. Ancak değişen şartlara karşın aynı Brinell sertlik değerlerinin elde edilmesi istendiğinde, numune yüzeyinde meydana getirilen kalıcı izlerin geometriksel benzerliği sağlanmalıdır. Bu benzerliğin sağlanabilmesi için d/D oranının sabit tutulması başka bir deyimle,

$$\frac{F_1}{D_1^2} = \frac{F_2}{D_2^2} = \frac{F_3}{D_3^2} = \dots \dots \dots \text{eşitliğinin sağlanması gerekir. Buna göre;}$$

$$3000 \text{ kg yük ve } 10 \text{ mm bilya çapı için } F/D^2 = 30,$$

$$1500 \text{ kg yük ve } 10 \text{ mm bilya çapı için } F/D^2 = 15,$$

$$500 \text{ kg yük ve } 10 \text{ mm bilya çapı için } F/D^2 = 5,$$

$$125 \text{ kg yük ve } 10 \text{ mm bilya çapı için } F/D^2 = 5 \text{ olarak sabittir.}$$

Sertlik ile $\sigma_{\max}$ arasında şu bağıntı vardır.

$$\sigma_{\max} = X \cdot \text{HRB}$$

Çeşitli malzemeler için X katsayıları ise;

- Alaşimsız çelik $X = 0,34$
- Alaşımlı çelik $X = 0,36$
- Dökme demir $X = 0,9-0,11$
- Alüminyum alaşımları $X = 0,34-0,36$
- Bakır alaşımları $X = 0,55$

Brinell Sertlik Ölçüsünde Mayer Bağıntısı

Brinell sertlik deneyinde kullanılan F yükünün deney sonucu elde edilen d çapı ile nasıl değiştiğini gösteren bir bağıntıdır.

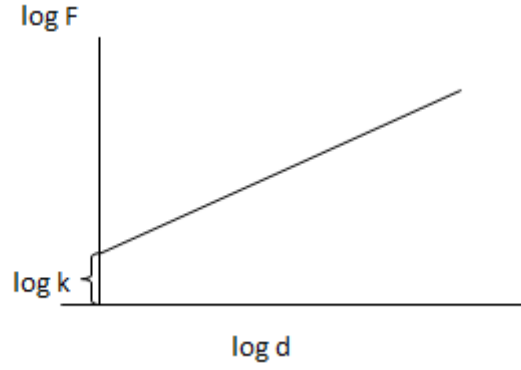
$$F = \frac{b \times d^n}{r^{n-2}} \text{ şeklinde tanımlanır. Burada;}$$

F = Uygulanan yük (kg), **b,n** = Sabit, **d** = İz çapı (mm), **r** = Bilya çapı (mm).

r, bilya çapı, sabit tutulduğunda;

$F = k \times d^n$ ve $k = b / (r^{n-2})$ elde edilir. Dolayısıyla; $\log F = \log k + n \cdot \log d$ şeklinde yazılabilir.

Log F ordinat, log d apsis eksenine konularak aşağıdaki gibi bir grafik elde edilir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3: Brinell sertlik ölçümünde Mayer bağıntısının kullanımını gösteren grafik

İşlenmiş malzemelerde $n = 2$,

Tavlanmış malzemelerde $n = 2,5$ olarak alınır.

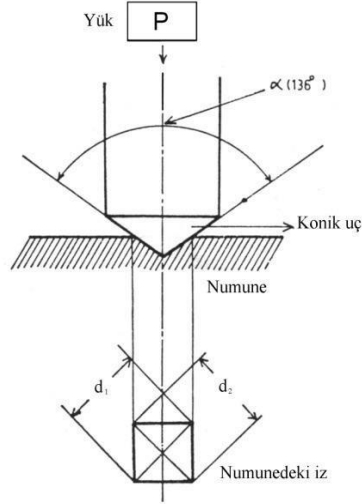
Deneyde Dikkat Edilecek Hususlar

Kürenin basıncı ile malzeme plastik olarak şekil değiştirir ve meydana gelen iz yüzeyinin hemen altına rastlayan kısımlarda soğuk sertleşme olmasına neden olur. Elde edilen sertlik değerlerinin karşılaştırılabilmesi ve gerektiğinde tekrar sağlanması için çeşitli ölçme şartlarına uyulmalıdır.

1. Sertliği ölçülecek yüzey düzgün ve temiz olmalıdır.
2. Yüzeyde işleme nedeniyle soğuk sertleşme ve baskı neticesi parça tabanında bir şekil değişimi oluşturmamalıdır (numune kalınlığı bilya çapına eşit ya da büyük olmalıdır).
3. Yükün numuneye dik gelmesine dikkat edilmelidir.
4. Yükleme deney parçası üzerine darbesiz ve sürekli olarak uygulanmalıdır. Yükleme süresi belirtilen sınırlar içerisinde (10-30 sn) kalmalıdır.
5. İzler orta noktalarına göre birbirinden ve numunenin kenarlarından en az $2d$ (d , iz çapı) kadar uzak olmalıdır.
6. D çaplı iz bırakıcı ile, deney parçası üzerinde elde edilen en az 3 farklı sertlik değerinin ortalaması alınır.
7. $d/D = 0,2-0,7$ oranı sağlanmalıdır.
8. Brinell sertliği 400°C 'ye kadar olan yüksek sıcaklıklarda da uygulanabilir.

Vickers Sertlik

Sertliği ölçülecek malzemeye Şekil 1 . 4’ de gösterildiği gibi piramit elmas uç belirli bir süre ve yükle kalıcı kare tabanlı iz oluşturur. Oluşan simetrik izin köşegen ortalaması belirlenerek aşağıda verilmiş olan bağıntı yardımıyla malzemenin Vickers sertlik değeri hesaplanır.



Şekil 1.4: Vickers Sertlik Deneyi

Buna göre Vickers Sertlik Değeri (VSD) şu şekilde hesaplanır:

$$VSD = \frac{2 P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,8544 F}{d^2}$$

F = Uygulanan deney yükü (kg) , d= iz köşegeni (mm), α = tepe açısı (136°)

Yapılan tüm sertlik yöntemlerinde her numuneden en az üç tane sertlik değeri ölçülerek ortalama değeri ve standart sapma hesaplanır.

Deney yükü F =0,2 kg ile 100 kg arasında seçilebilir. 5-100 kg arasındaki yükler normal bölge, 0,2-5 kg arasındaki yükler ise küçük yük bölgesi olarak adlandırılırlar. İzler her batma derinliği için geometrik bakımdan benzer olduklarından saptanan sertlik değeri normal bölgede deney yükünden bağımsızdır. Küçük yük bölgesinde ise şekil değişimi içindeki elastik kısmın payı arttıkça (yük arttıkça), sertlik değeri arttığı görülür.

Vickers sertlik deneyinin kullanım alanı çok geniştir. Çok yumuşak ve çok sert malzemeler için olduğu gibi ince tabakalar içinde uygundur. Sertliğin sayısal değeri 3 VSD (örneğin kurşun) ve 1500 VSD (sert metal) arasında değişir.

Deneyden sonra Vickers sertlik değerini bulmak için kare şeklindeki izin köşegenlerini hassas bir şekilde ölçmek gerekir. Bu ölçme sertlik cihazına ilave edilmiş bir Metalurji mikroskobu ile yapılır. Numune üzerinde meydana getirilen izin görüntüsü mikroskop yardımıyla ölçme ekranına aktarılır. Ölçme ekranındaki hareketli iki cetvel yardımıyla köşegenlerin uzunlukları hassas bir şekilde ayrı ayrı ölçölüp ortalamaları alınır.

Vickers sertlik değeri bazen uygulanan yükün miktarını ve uygulanma süresini veren sayısal işaretlerle beraber yazılır. Örneğin VSD 390/20 şeklinde bir gösterme 390 kg' lık yükün 20 saniye süre ile numune üzerine uygulanması sonucu elde edilen Vickers sertliğini gösterir.

Bu deneyde yük düşük olduğu için genellikle ince parçalarda ve sadece yüzeyi sert olan özel işlem görmüş (karbürizasyon veya nitrasyon gibi) malzemelerde tercih edilir.

Deney Sırasında Dikkat Edilecek Hususlar

1. Sertliği ölçülecek numune kalınlığı, piramit uç numunenin arka yüzeyinde bir çıkıntı oluşturmayacak şekilde olmalıdır.
2. İzin oluşturulacağı yüzeyin, köşegenlerin uçlarını tam olarak gösterecek şekilde parlatılmış olması gerekir. Metalografik parlatma tavsiye edilir.
3. Bombeli yüzeylerden kaçınmak gerekir.

Mikrovickers Ölçme Deneyi

Bu yöntem özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliklerini ölçmede elverişlidir. Karbürize, dekarbürize veya azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deney ile tespit edilebilir. Ayrıca metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılgan malzemelerin sertliklerini ölçmede kullanılır.

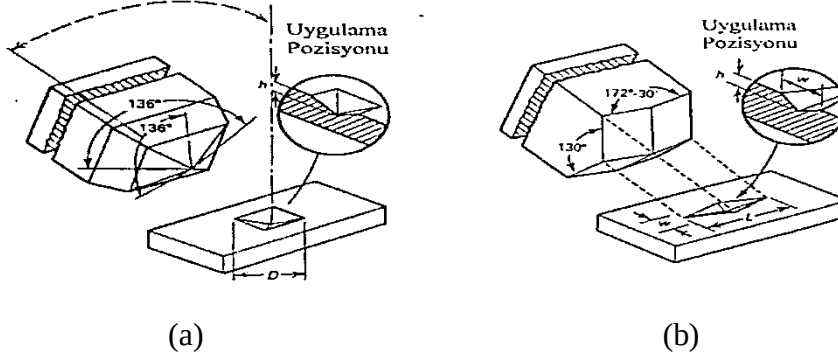
Mikrosertlik ölçme yöntemleri

1. Knoop ve Vickers Mikrosertlik ölçüm yöntemi,
2. Ultrasonik Mikrosertlik Yöntemi olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilirler. Bu yöntemlerin her ikisinde de iz derinliği 19 mm' den fazla olamaz.

Mikrosertlik aleti hassas bir alet olup otomatiktir. Diğer sertlik ölçme aletlerinden farklı olan yanı aletin komple metal mikroskobu içermesidir.

Knoop ve Vickers Mikrosertlik ölçüm yöntemi

Bu mikrosertlik deneyi için iki standart uç kullanılmaktadır. Vickers ucu tabanı kare olan ve 136^0 açılıya sahip piramit uç, diğeri $172^0 30'$ açılıya sahip Knoop ucu olarak bilinen piramit uçtur (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 : Vickers ve Knoop mikrosertlik deney uçları

Vickers ucu malzeme üzerinde kare şeklinde bir iz bırakmasına rağmen, Knoop ucu eşkenar dörtgen şeklinde bir iz bırakır. Oluşan işlere göre;

Knoop Sertlik Değeri;

$$HK = P/A = P/ CL^2$$

P = Uygulanan yük (kg), **A** = İzin izdüşüm alanı (mm^2), **L** = İzin dikey uzunluğu (mm), **C** = İzin her iki köşegeni arasındaki geometrik ilişkiye bağlı bir sabit ($C= 0,07028$).

Vickers Mikrosertlik Değeri;

$$HV = 2P(\sin a/2)/D^2$$

P= Uygulanan yük (kg), **D** = İz köşegenlerinin ortalaması (mm), **a**= Elmas uç tepe açısı (136^0)

Knoop ucu geometrisi cam gibi sert ve gevrek malzemelerin sertliğini ölçmeye imkan verir. Diğer yandan Vickers skalası aynı iz bırakıcı uç kullanılarak makrosertlik skalasına kadar genişletilebileceği için oldukça kullanışlıdır.

Ultrasonik Mikrosertlik Ölçme Yöntemi

Ultrasonik mikrosertlik deneyi, yük kaldırıldığında oluşan izin alanının mikroskopla ölçülmesi esasına dayanan mikrosertlik ölçme metotlarına alternatif olarak geliştirilmiştir.

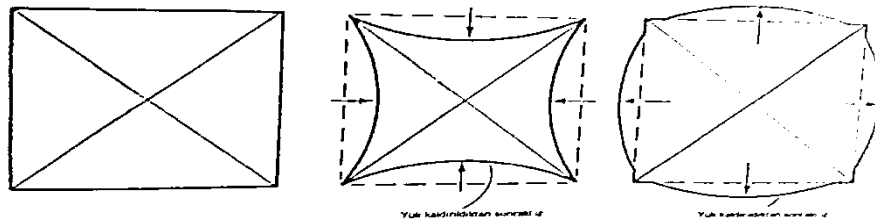
Ultrasonik mikrosertlik deneyinde maksimum iz yükü olarak yaklaşık 800 gr'lık bir kuvvet kullanılır. Bu nedenle diğer mikrosertlik deneylerinde olduğu gibi oluşan iz derinliği oldukça küçüktür (4-18 mm).

Ultrasonik mikrosertlik deneyinde magnetik bir metal çubuğun bir ucunda Vickers elmas uç bulunmaktadır. Elmas uçlu bu çubuk piezoelektrik bir parça tarafından çubuğun doğal frekansında uyarılır. Çubuğun titreşen frekansı, çubuğun serbest ucu metal yüzeyi ile temas ettiği andan itibaren değişir ve bu değişim çubuğun metal içerisindeki derinliğine bağlı olarak devam eder.

Cihaz devresi elastisite modülü bilinen bir deney malzemesi ile kalibre edilir. Çubuğun ucu ile metal yüzeyi arasındaki alan, ölçülen frekans değişimlerinden çıkarılabilir. Temas yüzeyi, sertliği bilinen malzemenin sertliği ile ters orantılıdır. Yüzeye bastırılan kuvvet sabittir. Cihazın ölçülen frekansı, sertlik numarasına çevrilebilir. Sertlik değeri doğrudan dijital bir gösterge üzerinde Rockwell C veya Vickers skalasında okunabilir.

Bu tip cihazlar oldukça küçük ve güç kaynağı olarak da pil kullanıldığı için taşınabilirler.

Ultrasonik metot dışındaki diğer mikrosertlik ölçme yöntemlerinde ucu kaldırılmasından sonra elastik toparlanmadan kaynaklanan bir miktar şekil değişimi gözlenir. Örneğin, mükemmel bir Vickers izinin şekli şekil 1.6.a' daki gibi bir karedir. Oysa tavlanmış metallerde Vickers izi şekil 1.6.b'deki gibi bir hal almaktadır. Bu durumda iz köşegenleri olduğundan fazla ölçülmekte ve buna bağlı olarak sertlik değeri de gerçek sertlik değerinden daha küçük çıkmaktadır. Soğuk işlenmiş metallerde karşılaşılan şekil 1.6.c' deki durumda ise iz köşegenleri olduğundan küçük ölçülerek malzeme sertliği gerçek sertlik değerinden daha yüksek hesaplanmaktadır. Diğer yandan ultrasonik mikrosertlik deneyinde elastik etki sonuçları etkilemez.



Şekil 1.6: a) Kare şeklindeki mükemmel iz, b) Tavlanmış metallerde iz kenarlarının çukurlaşması, c) Soğuk işlenmiş metallerde iz kenarlarının dışa doğru açılması.

Sertlik ile Çekme Özellikleri Arasındaki Bağlılıklar

Bazı malzemelerin sertlik değeri ile çekme özellikleri arasında ampirik bağılıklar sağlanmış bulunmaktadır. En basit ilişki %0,2 akma gerilmesi ile Vickers sertlik değeri (VSD) arasındadır.

$$\sigma_{akma} = \frac{VSD}{3} (0,1)^n \quad n = \text{pekleşme üssü}$$

Isıl işlem görmüş düşük ve orta karbonlu çeliklerin çekme dayanımları ile Brinell sertlik ölçümleri arasında ise;

$$\sigma_{max} = \frac{lb}{in^2} = 500 \text{ (BHN)} \quad \text{bağıntısı vardır.}$$

Sertlik Değerleri Arasındaki İlişkiler

Rockwell B (HRB), Rockwell C ve Brinell (BHN) sertlik değeri arasında PETRANKO tarafından geliştirilmiş ampirik bağılıklar mevcuttur.

Rockwell B ve Brinell sertlik değeri arasında;

$$7300/ \text{BHN} = 130 - \text{HRB}$$

bağıntısı 35-100 HRB arasındaki sertlik değeri için geçerlidir.

Rockwell C ve Brinell sertliği arasında;

$$11920/ \frac{\text{BHN}}{2} = 100 - \text{HRC}$$

bağıntısı 20-40 HRC arasındaki sertlik değeri için geçerlidir.

$$2500/ \text{BHN} = 100 - \text{HRC}$$

bağıntısı ise 40 HRC' den daha yüksek sertlik değeri için geçerlidir.

KAYNAKLAR

1. Kayalı, E.S., Ensari,C., Dikeç, F., "Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri", İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
2. Kısakürek, Ş .E.,"Malzeme Teknolojisinde Sertlik Deneyi", Malzeme Teknolojisinde Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi Semineri, Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 1984.
3. Rawlings, R., "Practical Physical Metallurgy", University Colege of South Wales and Monmoutshire, London,1961.
4. Davies, D.E., "Practical Experimental Metallurgy", Department of Metallurgy University College of Svansea University of Wales, Elseiver Publishing Co.Ltd., 1966.

EK 1: Kullanılan Cihazlar (Şekil 1.7)



Şekil 1.7 : Sertlik (solda) ve mikrosertlik (sağda) ölçme cihazları (Bulut Makine)

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-1 DERSİ

DARBE
DENEY FÖYÜ

2019-2020 Güz Yarıyılı

2. METALİK MALZEMELERİN DARBE DENEYİ

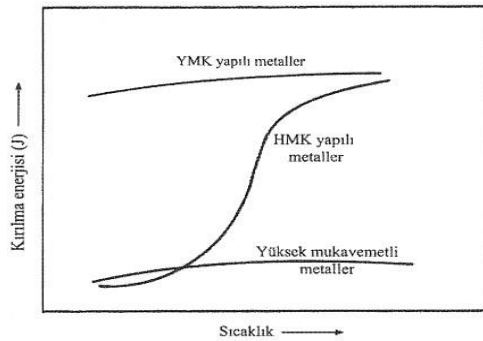
2.1. Giriş

Literatürde darbe deneyi, bazı kaynaklarda darbe deneyi bazı kaynaklarda da çentik darbe deneyi olarak geçmektedir. Darbe deneyinden, metallerin kırılma davranışının belirlenmesinde yararlanılır. Metallerin özellikle gevrek kırılmaya elverişli şartlardaki mekanik özellikleri hakkında sağlam bir fikir elde etme amacıyla uygulanır.

Çoğu kez, metallerin mekanik özellikleri hakkında fikir edinebilmek için çekme deneyi sonuçlarından faydalanılır. Çekme deneyi ile elde edilen gerilme-şekil değiştirme (% uzama) diyagramında iyi bir uzama gösteren metalin sünek olacağı, yani statik veya dinamik yüklere plastik şekil değiştirme ile karşı koyacağı tahmin edilir. Bu tahmin yüzey merkezli kübik (YMK) veya hegzagonal sistemdeki metaller (demir dışı metallerin çoğu, ostenitik çelikler vs.) için genellikle doğrudur. Ancak, hacim merkezli kübik (HMK) sistemindeki metallerde (ferritik çelikler) bazen çekme deneyi sonuçları ile darbe deneyi sonuçları arasında uyumsuzluk görülür. Çekme deneyinde sünek davranış gösteren bir malzeme, çentik darbe deneyinde gevrek davranış gösterir. Bu olaya özellikle oda sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde çok rastlanmaktadır.

Bu tip olaylar, çentik darbe deneyinin metalik malzemelerin mekanik özelliklerini tayin etmedeki önemini açıklamaktadır. Çentik darbe deneyinden elde edilen sonuçlar, o numune için bir karşılaştırma değeridir. Bu sonuçlar, çekme deneyi sonuçları gibi mühendislik hesaplamalarda kullanılmazlar.

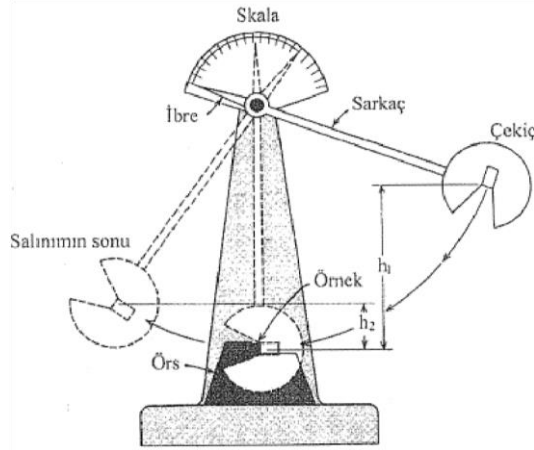
Şekil 2.1' de YMK ve HMK yapıları ile yüksek mukavemetli metallerin değişik sıcaklıklarda yapılan darbe deneylerine ait kırılma enerjisi-sıcaklık değişimi eğrileri verilmektedir.



Şekil 2.1. Çeşitli metallerin kırılma enerjisi-sıcaklık eğrileri.

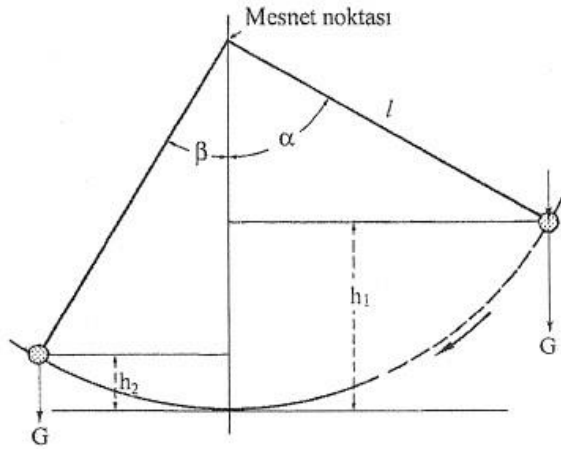
2.2. Deneyin Prensibi

Darbe deneyinde, standart çentik içeren numunenin dinamik bir yük (darbe etkisiyle) altında kırılması için gereken enerji tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır. Bu deneylerde, yaygın olarak kullanılan sarkaçlı bir darbe deney makinesinin şematik resmi Şekil 3.2' de verilmektedir.



Şekil 2.2. Darbe deney makinesinin şematik resmi.

Çalışma prensibi Şekil 4.3'te verilen darbe deneyinde, ağırlığı G olan sarkaç, h_1 yüksekliğine çıkartıldığında potansiyel enerjisi Gxh_1 mertebesinde dir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette h_2 yüksekliğine çıkar. Böylece, numunenin kırılmasında sarkaçta kalan potansiyel enerji Gxh_2 olur.



Şekil 2.3. Darbe deneyi cihazının çalışma ilkesi.

Sarkacın ilk konumundaki potansiyel enerjisi ile son durumdaki potansiyel enerjisi arasındaki fark numunenin kırılması için gereken enerjiyi, yani darbe direncini verir.

Sürtünme kayıpları ihmal edildiğinde, sarkacın ilk enerjisi ile son enerjisi arasındaki farka eşit olan kırılma enerjisi aşağıdaki formülle belirlenir.

$$Kırılma\ enerjisi = G(h_1 - h_2) = G.l.(cos\alpha - cos\beta)$$

Burada;

G: Sarkacın ağırlığı (N) l: Sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m) h_1 : Sarkacın ağırlık merkezinden düşme yüksekliği (m) h_2 : Sarkacın ağırlık merkezinden çıkış yüksekliği (m)

α : Düşme açısı (derece)

β : Yükselme açısı (derece)

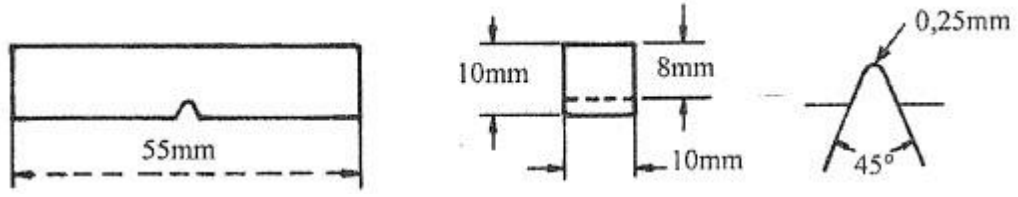
Darbe direnci birimi genellikle joule (J) olarak verilir, ancak bazı durumlarda J/m^2 , $kg.m$ veya $kg.m/cm^2$ cinsinden ifade edilebilir. Kırılma enerjisi yüksek olan malzemelerin kırılma tokluğu da yüksek olur.

2.3 Darbe Deneyleri

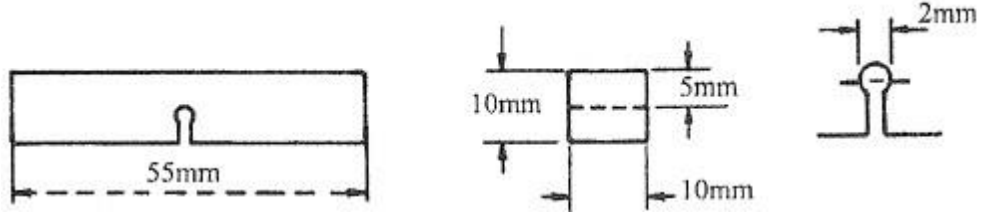
Darbe deneylerinde kullanılan numunelere genellikle Şekil 2.4' de gösterilen şekillerde çentikler açılmaktadır. Bu tip deneylerde gaye, malzemenin yapısında muhtemelen bulunacak gerilme yığılması darbe esnasında çentik tabanında suni (yapay) olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir. Gri dökme demir numunelerinde, malzemenin bünyesindeki grafit tanecikler çentik gibi etki yapacaklarından, ayrıca çentik açmaya gerek yoktur.

Çentikli bir numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanına dik bir gerilme meydana gelir. Kırılmanın başlaması, bu gerilmenin etkisi ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilmenin, kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaymasına karşı koyan koheziv (yapışma) dayanımından fazla olması gerekir. Numune, plastik şekil değiştirmeye fırsat bulamadan kırılma meydana geliyorsa, buna gevrek kırılma denir. Kırılan yüzey, düz bir ayrılma yüzeyidir. Kırılma yüzeyi; parıltılı ve tanelidir.

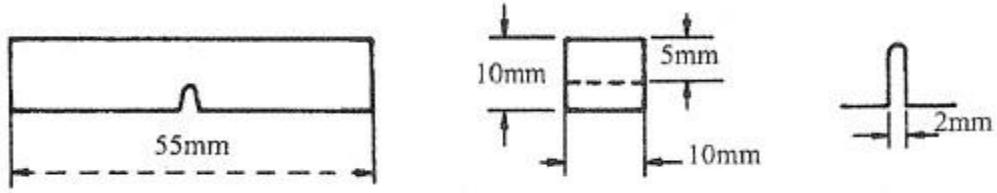
Deney esnasında, numune kırılmadan önce çoğu zaman plastik şekil değiştirme meydana gelir. Uygulanan kuvvet etkisi ile normal (dik) gerilmeye ilaveten, bununla yaklaşık olarak 45° farklı bir kayma gerilmesi etki etmeye başlar. Kayma gerilmesi, kayma dayanımını (kritik kayma (σ_{kr})) aştığı an, elastik şekil değiştirme sona erer ve plastik şekil değiştirme başlar. Bu durumda önce plastik şekil değiştirme, daha sonra kırılma meydana gelir. Buna sünek kırılma hali denir. Kırılma yüzeyi, girintili çıkıntılı ve liflidir.



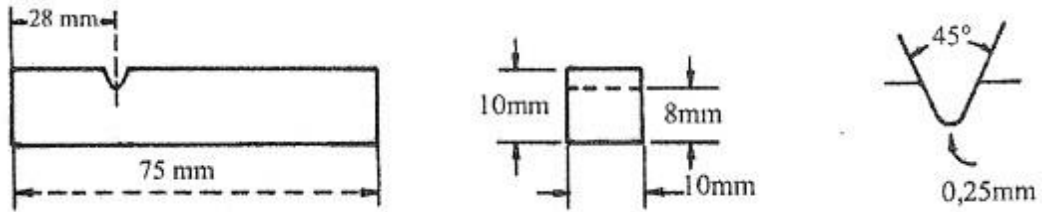
(a) V çentikli Charpy deney örneği



(b) Anahtar deliği çentikli Charpy deney örneği



(c) U çentikli Charpy deney örneği



(d) V çentikli Izod deney örneği

Şekil 2.4. Çeşitli standartlara göre değişik darbe deneyi numuneleri. a) V-çentikli Charpy deney numunesi (ASTM, DIN, TS), b) Anahtar deliği çentikli Charpy deney numunesi (ASTM), c) U-çentikli Charpy deney numunesi (ASTM, DIN, TS), d) V- çentikli Izod deney numunesi (ASTM, DIN, TS).

Uygulamada yaygın olarak kullanılan iki çeşit darbe deneyi vardır. Bunlardan biri Charpy, diğeri de Izod darbe deneyidir.

2.4. Deneyin Yapılışı

2.4.1. Cihazın Deney Öncesi Kontrolü

Deneylere başlamadan önce cihazın bir iki defa boşta çalıştırılıp, deney esnasında cihazın enerji kayıplarına sebebiyet verip vermediği kontrol edilmelidir. Enerji kayıpları genellikle yataklardaki sürtünmeden, sarkacın hareket esnasında yanlara doğru oynaması ile meydana gelen sürtünmelerden ve hava direncinden ileri gelir.

Ayarlı bir cihazda, cihaz boşta çalıştırılırken, ikinci salınım sonunda meydana gelecek enerji kaybı, ilk potansiyel enerjinin %1'inden daha düşük mertebededir. Enerji kaybı bu değeri aşarsa cihaz bakımdan geçirilmelidir.

2.4.2. Numunenin Yerleştirilmesi

Bu deney tamamen ampirik olduğu ve şartlar değiştikçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi, doğru sonuç alma yönünden önemlidir.

Deney esnasında önce sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune, uygun bir şekilde yerleştirilir. Örneğin; en çok kullanılan Charpy deneyinde numune, mesnetlere tam yaslanacak şekilde ve çekicinin salınım düzlemi ile çentiğin simetri düzlemi 0.5 mm içinde birbirine çakışacak şekilde yerleştirilir. Bu durum cihaza bağlı, yardımcı bir aletle sağlanabilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç, deneyden sonra kadrandan okunur.

2.4.3. Deney Sıcaklığı

Bazı malzemelerde darbe değeri, sıcaklıkla değişir. Kırılma anında deney numunesinin sıcaklığı, başka bir tolerans üzerinde anlaşmaya varılmadığı takdirde, belirtilen sıcaklıktan ± 2 °C'dan daha fazla fark göstermemelidir. Şayet deney sıcaklığı malzemenin kendi standardında belirtilmemişse deney ılıman iklimlerde $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, tropikal iklimlerde $27\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ sıcaklıkta yapılmalıdır. Belirtilen herhangi bir sıcaklıkta yapılan deneylerde, numunenin cihaza nakli sırasında kullanılan tutma düzeninin numune ile değen aksamı da deney numunesi ile aynı sıcaklıkta olmalıdır.

Sıfırın altındaki sıcaklıklarda deney yapıldığı zaman doğru sonuçlar elde edebilmek için aşağıdaki yöntem tavsiye edilir:

Derinliği yaklaşık olarak 100 mm olan elverişli bir kabın içine bir sıvı (alkol, aseton, v.b.) doldurulur. Kabın tabanından en az 25 mm yukarıda bir ızgara bulunur ve sıvının içine daldırılan numune, sıvının üst seviyesinden en az 25 mm altta bulunmalıdır. Banyonun sıcaklığını ölçmek için hangi düzen kullanılırsa kullanılsın bu, deneyi yapılacak numunelerin merkezine yerleştirilmelidir. Bütün numuneler banyoda belirtilen sıcaklıkta en az 15 dakika tutulmalıdır. Son 5 dakikada sıcaklık toleransı toleransı +0 °C ve -1 °C olmalıdır. Havada soğutulmuş olan numunelerde ise, son 15 dakikadaki sıcaklık toleransı +0 °C ve -1 °C olmalıdır. Soğutucudan numuneyi çıkarıp cihaza yerleştirmek için kullanılan düzenin numuneye değen aksamı da soğutucu sıvı içinde bırakılır. Soğutucudan ıkarılan numuneler 5 saniye içinde kırılmalıdır.

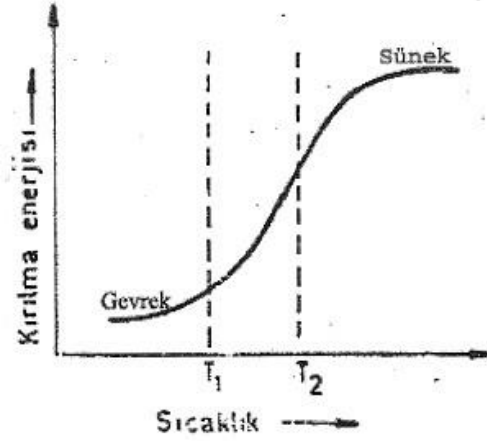
200 °C'a kadar olan sıcaklıklarda yapılan deneylerde numune bir yağ banyosuna daldırılır ve deney için belirtilen sıcaklıkta ± 2 °C toleransla 15 dakika süre ile tutulur.

200 °C'ın üstündeki sıcaklıklarda yapılan deneylerde numune bir fırında veya tuz banyosunda ısıtılır. Belirtilen sıcaklıkta ± 2 °C toleransla bir saat süre ile tutulur. Deney numunesi, banyo veya fırından çıkarıldığı andan itibaren 5 saniye içinde kırılmalıdır.

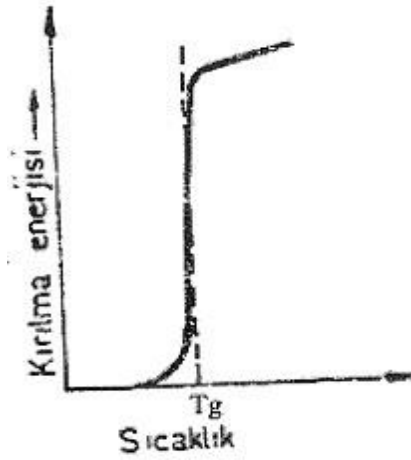
Oda sıcaklığından ayrı sıcaklıklarda Izod darbe deneyinin yapılışı zor olduğu için, düşük ve yüksek sıcaklıklarda Izod deneyi yapılmaz.

2.5. Darbe Direncinin Sıcaklıkla Değişimi

Belirli bir malzeme için değişik sıcaklıklarda yapılan darbe deneyleri, o malzemenin darbe direnci hakkında daha anlamlı bir netice sunar. Değişik sıcaklıklarda yapılan bir seri deney, şekil 4.7' deki ne benzer bir eğri verir. Bu eğriden de anlaşılacağı gibi, sıcaklık düştükçe, malzemenin darbe direnci de düşmektedir. Darbe direncinde düşme aniden olabildiği gibi (şekil 4.8) belirli bir sıcaklık aralığında da olabilir (şekil 4.7). Darbe direncinin aniden düştüğu sıcaklığa geçiş (transition) sıcaklığı adı verilir. şekil 4.7' deki ne benzer bir eğri üzerinde bu sıcaklığı tayin etmek oldukça güçtür. Bu durumlarda tek bir sıcaklık yerine, T_1 ve T_2 gibi sıcaklıklar arasında kalan bir geçiş aralığı tarif edilir. Bu eğriler yardımıyla malzemelerin sünek-gevrek geçiş sıcaklığı (T_g) belirlenebilir. Sünek-gevrek geçiş sıcaklığı bir malzemenin %50 gevrek (klivaj) ve %50 sünek kırılma davranışı gösterdiği sıcaklık olarak tanımlanabilir. Bu sıcaklık sünek ve gevrek durumda ölçülen enerji değerinin ortalaması olan enerjiye karşı gelen sıcaklık değeri olarak alınır.



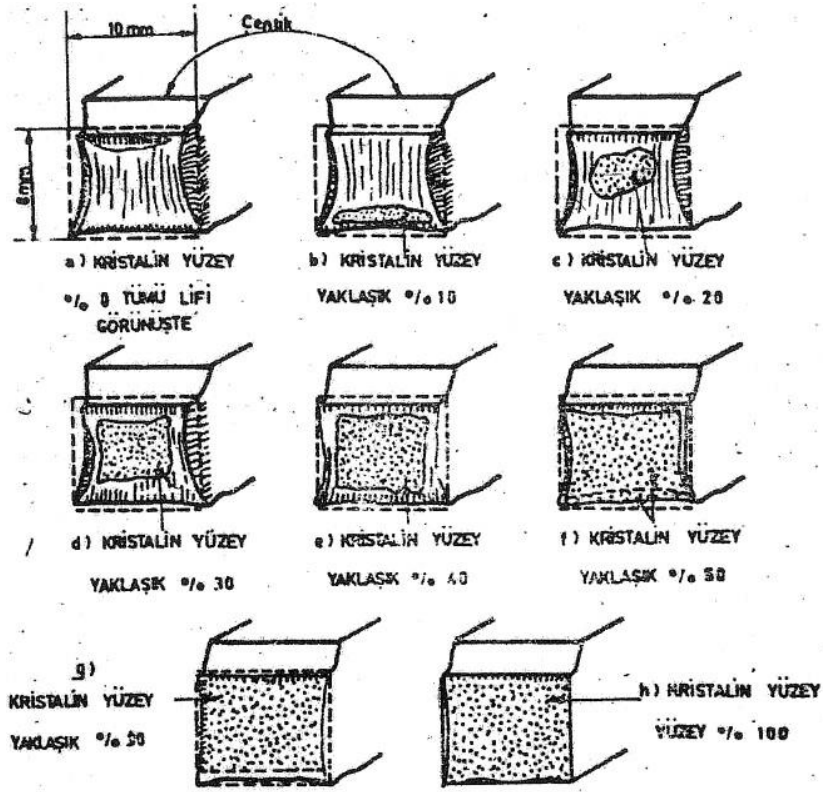
Şekil 2.7. Darbe direncinin sıcaklık ile değişimi eğrisi.



Şekil 2.8. Tipik bir darbe direnci- sıcaklık eğrisi.

T_1 sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda malzeme gayet gevrek bir davranış gösterir. Kırılma, klivaj düzlemleri boyunca olup, kırılma yüzeyi kristalin (granüler: ince taneli) bir görünüştedir (Şekil 4.9. (g) ve (h)). Bu sıcaklıklarda, darbenin tesiri ile ilk çatlak kolayca meydana gelir ve çatlak, malzeme içinde büyük bir hızla yayılır.

T_2 sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda ise malzeme, önce bir plastik şekil değiştirme ve daha sonra kopma meydana gelir. Sünek davranıştan dolayı malzemede çatlak teşekkülü güçleşir ve çatlak yayılma hızı da yavaşlar. Bu durumlarda kopma, yırtılma şeklinde olup kopma yüzeyi lifli bir görünüş arz eder.



Şekil 4.9. Geçiş sıcaklığı (transition) aralığında oluşan kırılma yüzeylerinin değişik görüntüleri.

2.5.1. Geçiş Sıcaklığının Belirlenmesi

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi geçiş sıcaklığı (transition) T_1 ve T_2 gibi sıcaklıklar arasında gerçekleşiyorsa, gevrek ve sünek davranışların her ikisi birden bu aralıkta görülür. Deney sıcaklığı T_1 sıcaklığına yaklaştıkça, gevrek davranış duruma hakim olur. Mühendislik uygulamalarında T_1 sıcaklığı T_2 'ye nazaran daha büyük önem taşır. Çünkü deneyi yapılan malzeme bu sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda kullanılmaz. Geçiş sıcaklığı olarak da, genellikle bu T_1 sıcaklığı alınır. T_1 sıcaklığının belirlenmesinde ise, genellikle aşağıdaki üç kriterden faydalanılır:

- Kırılma enerjisi,
- Kırılma yüzeyinin görüntüsü,
- Kırılmadan sonra çentik tabanında meydana gelen enlemesine büzülme miktarı.

2.5.1.1. Kırılma Enerjisi

Kırılma enerjisi kriter olarak seçildiğinde, genellikle 2-3 kg.m (15-20 ft.lb)'lik kırılma enerjisine tekabül eden sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak kabul edilir.

2.5.1.2. Kırılma Yüzeyinin Görünüşü

Kırılma yüzeyi görünüşü kriter olarak alındığında, kırılma yüzeyinde kristalin (granüler) şekilde gözüken alanın tüm kesit alanına oranı, yaklaşık olarak tespit edilmeye çalışılır. Şekil 4.9'da geçiş aralığından kırılma yüzeylerinin değişik görüntüleri verilmektedir. Şekil 2.9. (a) şekli sünek davranışa, (h) şekli ise çok gevrek davranışa ait görüntüyü yansıtmaktadır. Kesitte %50 kristalin (granüler) görünüşü veren sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak alınabilir (Şekil 2.9. (f)).

2.5.1.3. Kırılmadan Sonra Çentik Tabanında Oluşan Enlemesine Büzülme Miktarı

Şekil 2.9 incelendiğinde, sünek davranış ((a) ve (b) şekilleri) halinde, çentik tabanında belirli miktarda enlemesine büzülme görülür. Gevrek davranış halinde ise ((h) şekli) plastik şekil değiştirme olmadığından, çentik tabanında enlemesine büzülme görülmez. Bu büzülme miktarı kriter olarak seçildiğinde, %1 mertebesinde büzülme gösteren sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak kabul edilebilir.

2.5.2. Geçiş Sıcaklığına Etki Eden Faktörler

Malzemelerin geçiş sıcaklığı, mühendislik uygulamasında, özellikle malzeme seçimi esnasında oldukça önemli bir kriter olur. Geçiş sıcaklığı metallerde mutlak ergime sıcaklığının %10-20'si arasında, seramiklerde ise mutlak sıcaklığının %50-70'i arasında yer alır. Geçiş sıcaklıkları düşük olan malzemelerin tokluğu yüksek olduğundan mühendislik uygulamalarında daha çok tercih edilirler. Düşük sıcaklıklarda çalışacak malzemelerde, bu özellik oldukça bu yük önem taşır. Buna göre geçiş sıcaklığı kimyasal bileşime, kristal yapıya, tane boyutuna, mikro-yapıya, uygulanan ısı işleme, soğuk deformasyona vb. faktörlere bağlıdır.

KAYNAKLAR

1. Dieter, G.E., Mechanical Metallurgy, SI Metric Edition, Mc Graw Hill Book Comp., Inc., London, 1988.
2. Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ Yayınları, Sayı: 1262, 1990.
3. Callister, W.D., Materials Science and Engineering, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, 2007.
4. Avner, S.H., Introduction to Physical Metallurgy, International edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York, USA, 1974.
5. Savaşkan, T., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Dördüncü Baskı, Celepler Matbaacılık, Trabzon, 2007.

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-1 DERSİ

KAYNAKLI BAĞLANTILARIN MİKROYAPI VE SERTLİK DENEYİ

2019-2020 Güz Yarıyılı

KAYNAK NEDİR?

Kaynak, malzemelerin kaynak bölgesinde ısı ve/veya basınç yardımıyla ilave malzeme kullanarak veya kullanmadan birleştirilmesidir. Kaynaklı yapı elemanlarının imalat amacı, mümkün olan en düşük maliyetle imal edilmesi, fonksiyonunu tam olarak yerine getirmesi ve işletmede uzun süreli kullanılmasıdır. Kaynakta, kaynak bölgesinin yerel özelliklerinin ve birleştirilen parçaların tüm yapıya etkilerinin önceden belirlenmiş koşulları sağlaması gerekir.

Kaynak işlemi üretim sürecinde optimize edilmiş malzeme yapısına, sürekli olarak müdahale edilmesi demektir; çünkü termik olarak sınırlı içyapı dönüşümü, atmosferden gaz kapma, birleştirme yüzeyindeki katışıklar nedeniyle malzemenin mekanik-teknolojik özellikleri değişir.

Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Yapı çeliklerinin kaynağında en önemli problem, sertlik artışı ve buna bağlı çatlama eğilimidir. Sertlik artışı öncelikle yapıdaki karbon içeriğine bağlıdır. Isıl çevrimin sonucu olarak ITAB'ta farklı mekanik özelliklere sahip malzeme bölgeleri ortaya çıkar. Kaynak dikişi geçiş bölgesinde martenzit oluşumu nedeniyle sertleşme ve dolayısıyla soğuk çatlaklar görülebilir. Bu durumu etkileyen en önemli faktörler:

- Karbon içeriği
- Alaşım elemanlarının içeriği
- Kaynak dikişi geçişindeki ısı çevrim
- Hidrojen içeriği

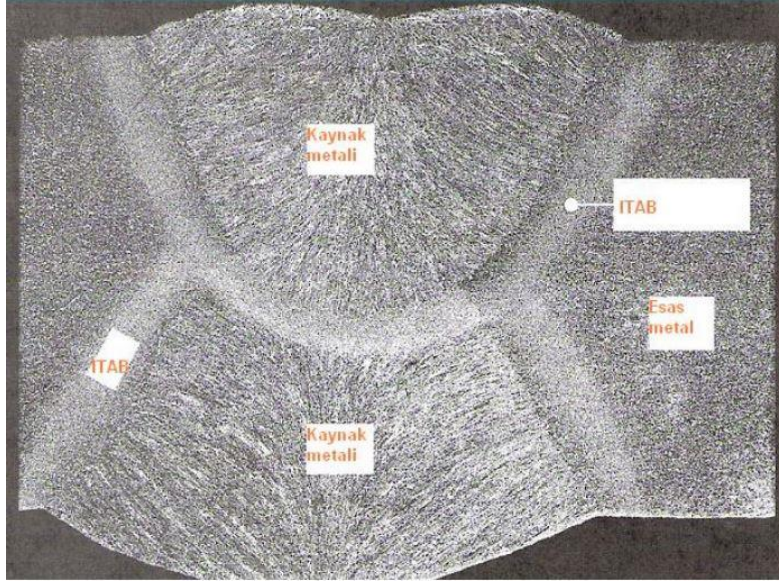
Yapı çeliklerinin kaynağında, kaynağın sonucuna etki eden en önemli faktör esas metalin bileşimidir. Özellikle bileşimindeki karbon ve manganez oranı kaynak yeteneği bakımından çok önemli olup maksimum karbon oranı %0,25 olarak tavsiye edilmiştir.

Manganez ve diğer alaşım elemanlarının kaynak yeteneği üzerindeki etkileri, karbon cinsinden ifade edilerek “karbon eşdeğeri” terimi ortaya atılmıştır.

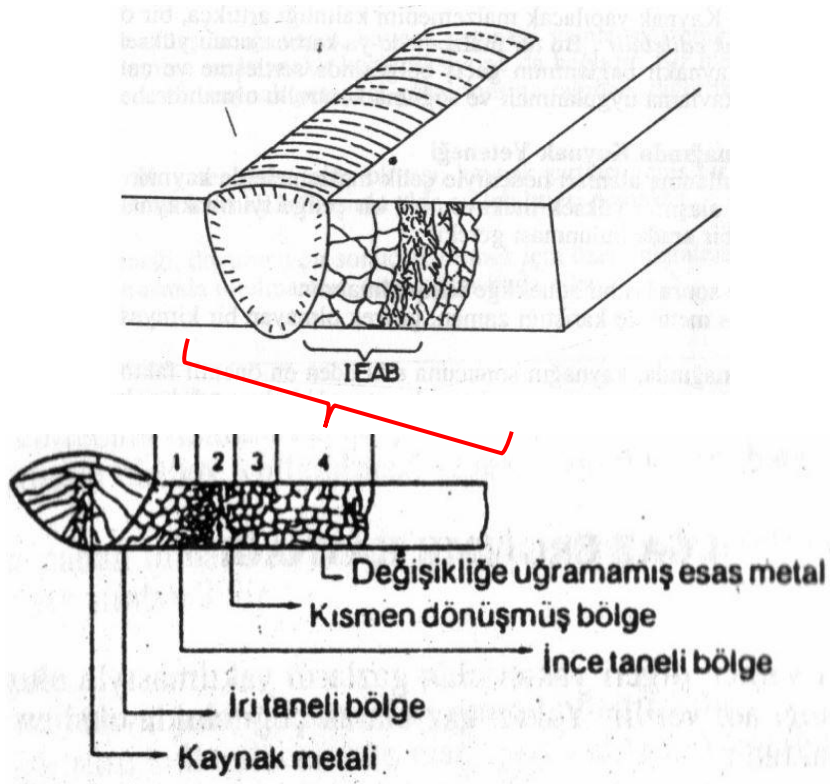
$$\%C_{eş} = \%C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Kaynak Bölgesinin Yapısı

Eritme kaynaklı bir birleştirmede oluşan yapı, eriyen metalden, eriyen ilave metalden ve esas metalin sınırlı bir ısının tesiri altındaki bölgesinden (ITAB) meydana gelir.



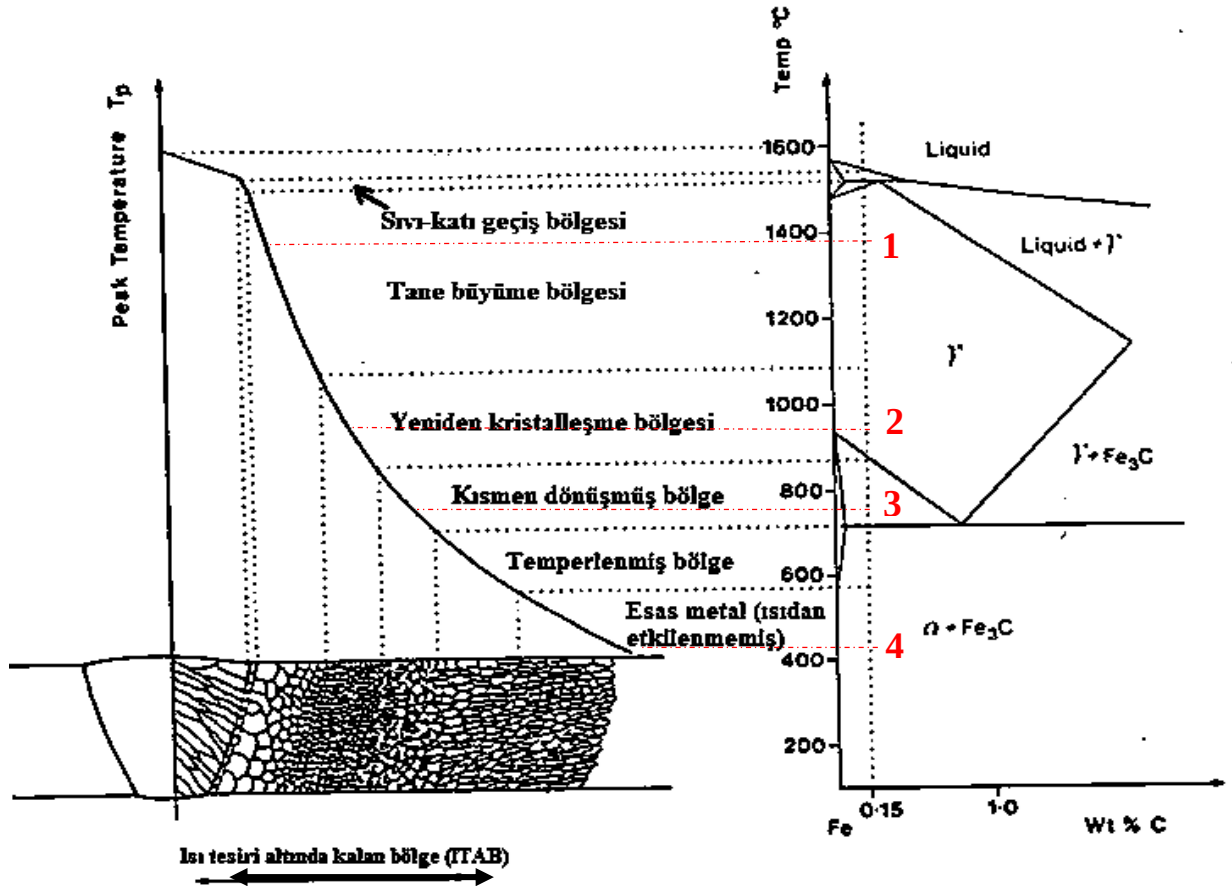
Şekil 1. Bir eritme kaynağında tane yapısı ve değişik bölgeler



Şekil 2. Eritme kaynağında tane yapısının şematik gösterimi

Kaynak işleminde, birleştirilecek metalin ergime sıcaklığının biraz üzerine çıkılarak birleştirme gerçekleştirilir. Yapılan deneyler sonunda, bu sıcaklığa kadar ısıtılan metalin soğumasının çok hızlı olduğu tespit edilmiştir. Adeta metal, yüksek sıcaklığa kadar ısıtılıp, sonra suya daldırılarak soğutulmuş gibi bir durum söz konusu olmaktadır. Bu nedenle kaynak bölgesinde karbon ve alaşım elementi miktarına bağlı olarak sert ve kırılgan bir yapı meydana gelir.

Kaynak bölgesi incelendiğinde, ısının farklı bir şekilde dağıldığını ve bu dağılıma bağlı olarak farklı özelliklere sahip bölgelerin oluştuğunu görürüz. Isı dağılımının parça üzerinde farklılık göstermesi elbette o bölgelerdeki mikroyapı özelliklerini değiştirecektir. Farklı mikroyapı özelliklerine sahip kaynak bölgesi, ana metal özellikleri ile karşılaştırıldığında değişik mekanik ve korozyon özelliklerini sergilediği görülecektir. Dolayısıyla iyi bir kaynak birleştirmesi arzu ediliyorsa kaynak bölgesi özelliklerinin ana metal özelliklerine yakın olması gerekir. Bunu sağlamanın ilk kuralı kaynak işlemindeki ısı girdisinin düşük tutulması ve ITAB genişliğinin mümkün olduğunca dar olmasının temin edilmesidir.



Şekil 3. Alaşımsız bir çelikte tek pasolu kaynak işleminde kaynak bölgesinin yapısı

Bölge 1, hemen kaynak dikişinin yanı olup iri taneli bölgedir. Sıcaklık ergime noktası yakınına ulaştığı bölge olması nedeniyle hızlı ostenitik tane büyümesi meydana gelir. Geniş tane boyutu sertleşme eğilimini artırır ve bu bölge kaynak işleminden sonra soğuma ile birlikte kolayca martenzit dönüşüme uğrar.

Bölge 2, ostenit hale gelmiştir ancak burada sıcaklık önemli ölçüde tane büyümesi yapabilmesi için oldukça düşüktür. Bölge 2'nin sertleşme kabiliyeti tane büyümesine bağlı olarak önemsenmeyecek derecede artar ancak bu bölge soğuma hızı yeterli derecede fazla ise veya alaşım miktarı yeterli kadar fazla ise kaynak işleminden sonra kaynak işleminden sonra martenzit dönüşümü olabilir.

Bölge 3 de, bazı tanecikler ostenite dönüşebilirse de diğerleri dönüşemez.. Ostenit tanecikleri oldukça incedir.

Bölge 4'de ostenite dönüşemeyen tanecikler vardır ancak kaynak işleminden sonra ferrit tanecikleri kaynak ısı etkisiyle temperlenebilir.

Kaynaklar

1-Sakarya Üniversitesi, Prof.Dr. Hüseyin UZUN, Kaynak Bölgesinin Sınıflandırılması

2-İmalat Teknolojileri Dersi Ders Notları. Dr.-Ing. Rahmi Ünal.

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-1 DERSİ

TANE BOYUTUNUN BELİRLENMESİ DENEY FÖYÜ

Dr. MEHMET YILDIRIM

2015-2016 Güz Yarıyılı

1. GİRİŞ ve KAPSAM

Çok kristalli malzemelerin mekanik özellikleri açısından genellikle tane boyutunun bilinmesi gerekmektedir. İnce taneli (küçük tane çaplı) bir malzemenin dislokasyonları engelleyen toplam tane sınırı alanı kaba taneli (büyük çaplı) malzemeye göre daha fazla olduğundan, sertliği ve akma dayanımı kaba taneli malzemeye oranla kıyasla daha yüksektir. Birçok malzemede akma dayanımı (σ_y veya σ_{ak}) ile tane boyutu arasında Denklem 1.1'de gösterilen bir ilişki vardır.

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{D}} \quad (1.1)$$

Hall-Petch denklemi adı verilen bu ifadede D, ortalama tane çapını, σ_0 ve k malzemeye özgü sabitleri belirtmektedir. Bu denklem gerek çok büyük taneli, gerekse çok küçük taneli malzemeler için geçerli değildir.

Bu amaçla tane boyutu, tane hacmi, tane alanı veya tane çapı gibi özelliklerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Ortalama tane boyutunun hesaplanması için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler arasında en fazla kullanılan yöntem, ASTM (American Society for Testing and Material) tarafından geliştirilmiş yöntemdir. ASTM farklı ortalama tane boyutu mertebeleri için birkaç adet karşılaştırma tablosu hazırlamıştır. Her bir tabloda, tane boyutlarına, **tane boyutu numarası (G)** adı verilen, 1'den 10'a kadar numaralar vermiştir. Tane boyutu numarası (G), tane sınırları ortaya çıkacak şekilde hazırlanan bir numunenin x100 büyütmede çekilen bir mikroyapı fotoğrafındaki tanelere karşılık gelen en yakın tane boyutu numarası ile belirtilir. Bu yöntemle, tane boyutu numarasının nispeten basit ve pratik bir biçimde görsel olarak belirlenmesi mümkündür.

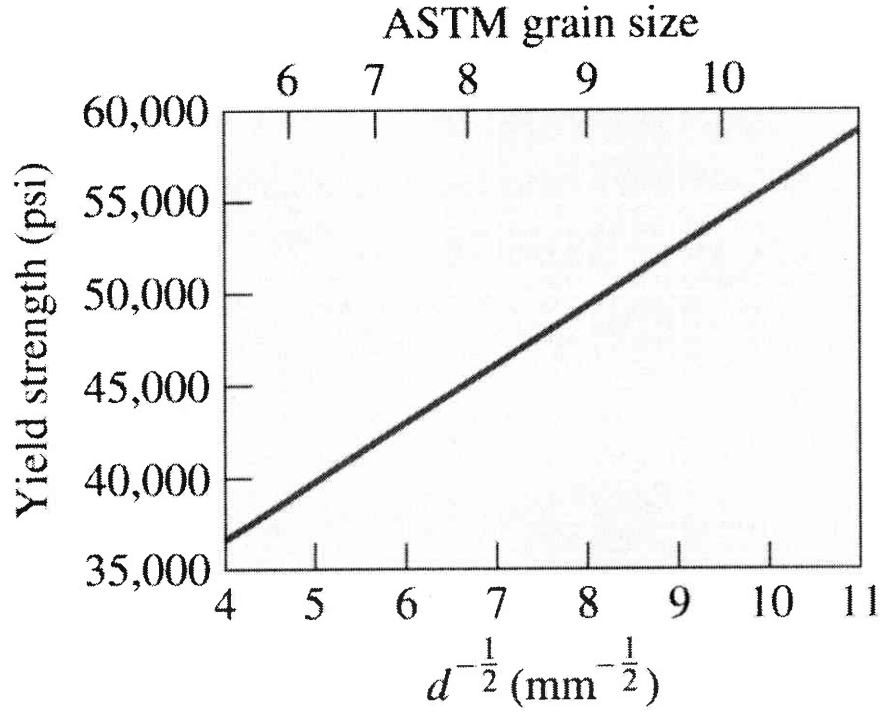
ASTM tane boyutu numarasının belirlenmesi için aşağıdaki ifade kullanılır.

$$N = 2^{G-1} \quad (1.2)$$

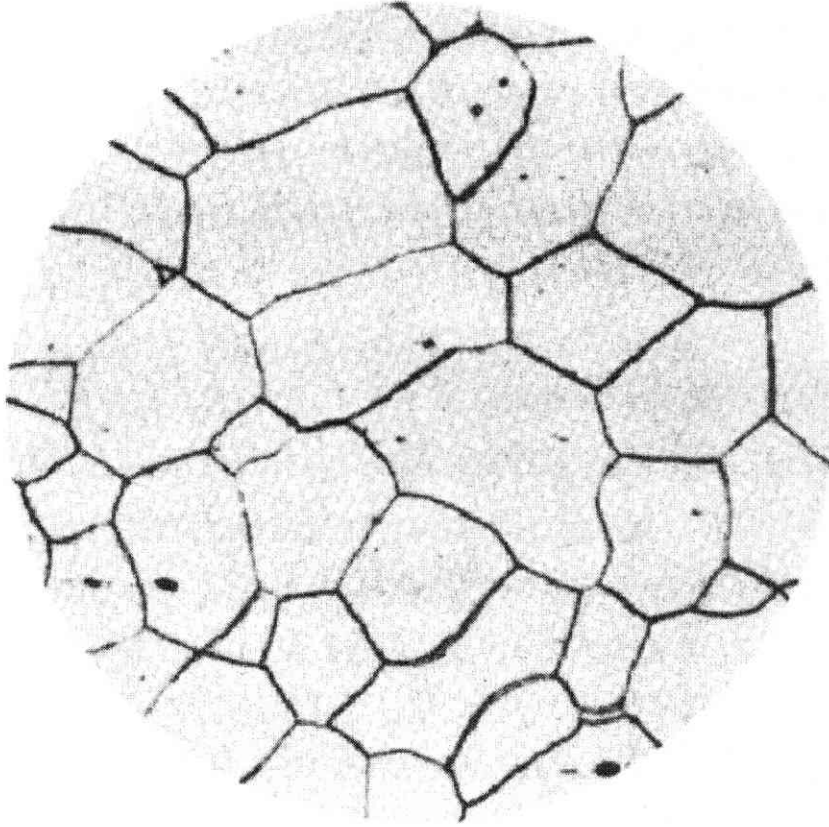
Bu ifadede;

N: büyütme oranı x100 olan bir mikroyapı fotoğrafının bir inç karesinde (inç²) bulunan ortalama tane sayısını gösterir. Alan sınırını kesen taneler yarım tane olarak sayılır.

G: tane boyutu numarası. 1 ile 10 arasında değişir. G=1 ise çok iri (büyük) taneli malzeme, G=10 ise çok ufak (küçük) taneli malzeme olduğunu gösterir.



Şekil 2. Çelikte tane büyüklüğünün dayanıma olan etkisi.



Şekil 3. Tek fazlı bir metale ait x100 büyütme mikroyapı fotoğrafı.

Örnek1: Şekil 3'te tek fazlı bir metale ait x100 büyütme mikroyapı fotoğrafı verilmektedir. Daire çapı 2.25 inç verilmiştir.

$$\text{Daire alanı: } A = \pi r^2 = 3.98 \text{ in}^2$$

$$\text{Tane Sayısı: } 21 + 22/2 = 32 \text{ tane}$$

$$N = 32/3.98 = 8.05 \text{ tane/in}^2$$

$$N = 2^{G-1} \text{ ve } G = \ln N / \ln 2 + 1 = 4$$

➤ Eğer inç² yerine m² kullanılıyorsa bu defa formül $N=2^{G+3}$ şeklinde olacaktır.

Örnek2: Bir metalin 100 kez büyütülmüş fotoğrafında, her metre karede 256 tane sayıldığı kabul edilsin. Bu durumda ASTM tane boyutu numarasını belirleyiniz.

$$N = 256 = 2^{G+3} \text{ ve } G = \ln N / \ln 2 - 3 = 5$$

Örnek3: 250 kez büyütülerek çekilmiş bir fotoğrafta her metre karede 256 tane sayıldığı kabul edilsin. Bu durumda ASTM tane boyutu numarası nedir?

250 kez büyütmede, her metre karede 256 tane sayılırsa;

$$N = (250/100)^2 (256) = 1600 = 2^{G+3}$$

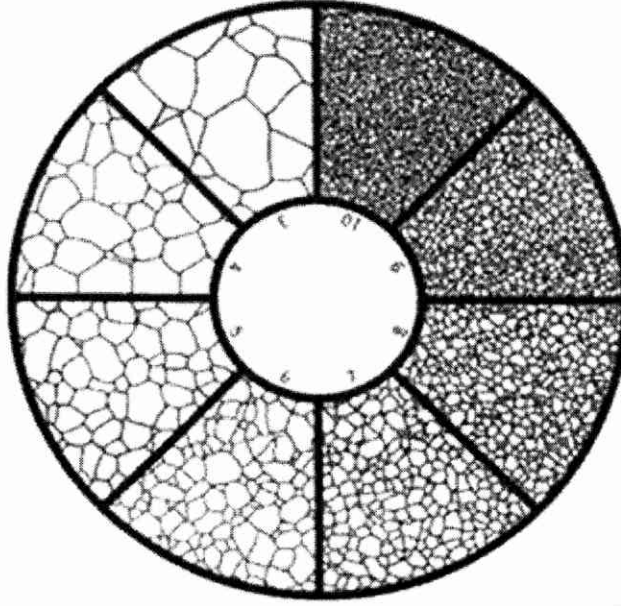
$$G = \ln N / \ln 2 - 3 = 7.64 \text{ bulunur.}$$

2. TANE BOYUTU ÖLÇME YÖNTEMLERİ:

2.1 Kıyaslama Yöntemi:

Geçmişte ve günümüzde hala sıklıkla kullanılan karşılaştırma yönteminde çoğu laboratuvarlar taneleri “Kıyaslama Çizelgeleri” yöntemi kullanarak analiz etmektedirler.

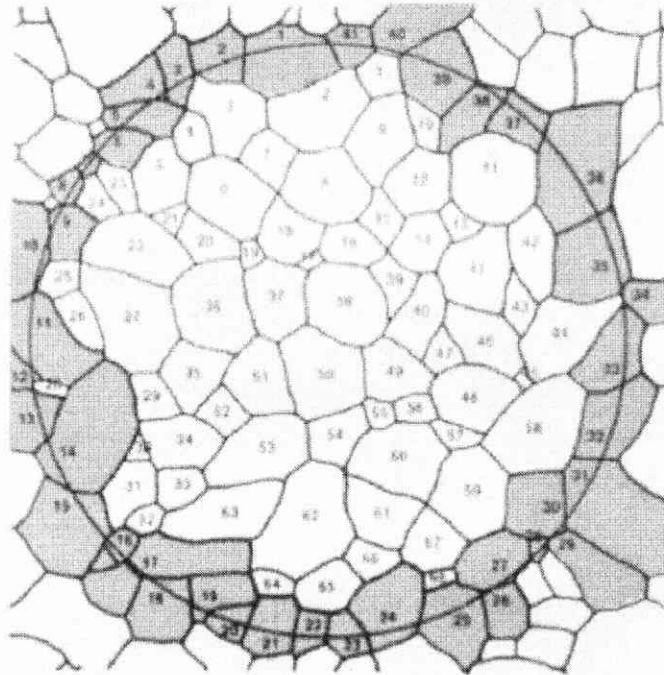
Bu yöntemde, operatör (laborant) mikroskop altında incelediği tanelerin yaklaşık büyüklüğünü Şekil 4'te verilen çizelgelerle kıyaslayarak tahmin etmeye çalışır. Çizelgede ASTM tane büyüklük numarasına göre büyüklükleri kademeli olarak değişen mikrograflar mevcuttur.



Şekil 4. x100 büyütmede ASTM tane büyüklük numaralarına göre hazırlanmış kıyaslama çizelgesi.

2.2 Planimetrik (Alanölçüm, Jeffries) Yöntemi

Bu yöntemde kesit alanı bilinen dikdörtgen veya daire mikrograf üzerine çizilerek ortalama tane boyutu hesap edilmektedir. Mikroskop büyütmesi öyle seçilmelidir ki en az 50 adet tane çizilen daire veya dikdörtgenin içerisinde kalmalıdır. Daire veya dikdörtgenin içerisinde kalan tanelere ilave olarak çizgilerin kestiği tane sayısı $\frac{1}{2}$ ile çarpılarak toplam tane sayısı hesap edilir.



Şekil 5. Jeffries yöntemine göre toplam tane sayısını gösteren x100 büyütmeli örnek mikrograf üzerine çizilmiş 80 mm yarıçaplı daire.

Ortalama tane alanı Eşitlik 1.3 kullanılarak hesap edilmektedir.

$$N_A = f \left(n_1 + \frac{n_2}{2} \right) \quad ve \quad f = \frac{M^2}{A} \quad (1.3)$$

Bu eşitlikte;

- **N_A**: Ortalama tane alanı (mm⁻²)
- **f**: Jeffries çarpanı
- **M**: Büyütme
- **A**: Daire alanı (mm²)
- **n₁**: Daire içerisinde kalan tane sayısı
- **n₂**: Daireyi kesen tane sayısını göstermektedir.

Şekil 5'te verilen örneğe göre daire içerisinde toplam 68 adet ve daireyi kesen 41 adet tane bulunmaktadır. Bu verilere göre Jeffries çarpanı ve ortalama tane alanı

$$f = \frac{100^2}{\pi 80^2} = 0.497 \quad ve \quad N_A = 0.497 \left(68 + \frac{41}{2} \right) = 44.02 \text{ mm}^{-2}$$

olarak hesap edilmektedir. ASTM tane büyüklük numarası, G, ise Eşitlik (1.4)'te ortalama tane alanından hesap edilmektedir.

$$G = (3.32198 \log N_A) - 2.954 \quad (1.4)$$

$$G = (3.32198 \log 44.02) - 2.954 = 2.51$$

Ayrıca, **f**, Jeffries çarpanı 5000 mm²'lik alan için büyütmeyle ilgili olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Jeffries çarpanının 5000 mm²'lik alan için büyütmeyle ilgili değişimi.

Magnification Used, <i>M</i>	Jeffries' Multiplier, <i>f</i> , to Obtain Grains/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^A	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

2.3 Çizgisel Kesişim Yöntemi

Ortalama tane boyutunu hesaplamakta kullanılan yöntemlerden biri de çizgisel kesişim yöntemidir. Bu yöntemde $\pm$ tane büyüklüğü değerine hassas tahminler yapılmaktadır. Aynı hassasiyette planimetrik metottan daha hızlı ve daha basit ölçüm yapılmaktadır. Özellikle, eş eksenli olmayan taneler için çok uygun bir hesaplama yöntemidir.

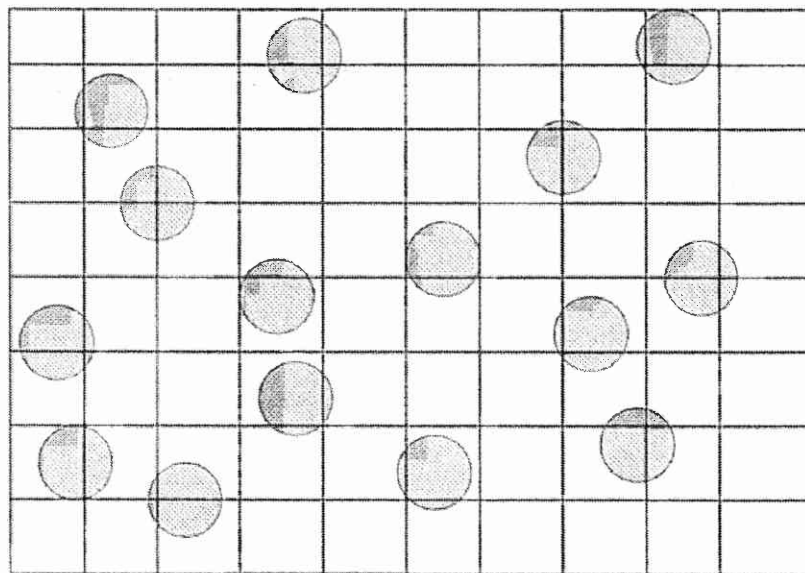
- x100 büyütmede mikroyapı fotoğrafı alınır
- üzerine bir doğru çizilir
- doğrunun fotoğraf içerisinde kalan kısmı ölçülür (L)
- doğrunun kestiği tane sayıları hesap edilir (n)
- bu sayı doğru parçası boyutuna bölünerek n_L ($n_L=n/L$) bulunur
- $d_{ort} = \frac{C}{n_L M}$ formülünden ortalama tane çapı hesap edilir. (C=1.5 ve M=100)
- Bu işlem farklı 3 doğru daha çizilerek tekrarlanır ve daha kesin sonuç elde edilir.

3. Birden fazla mikroyapılarda miktar hesabı

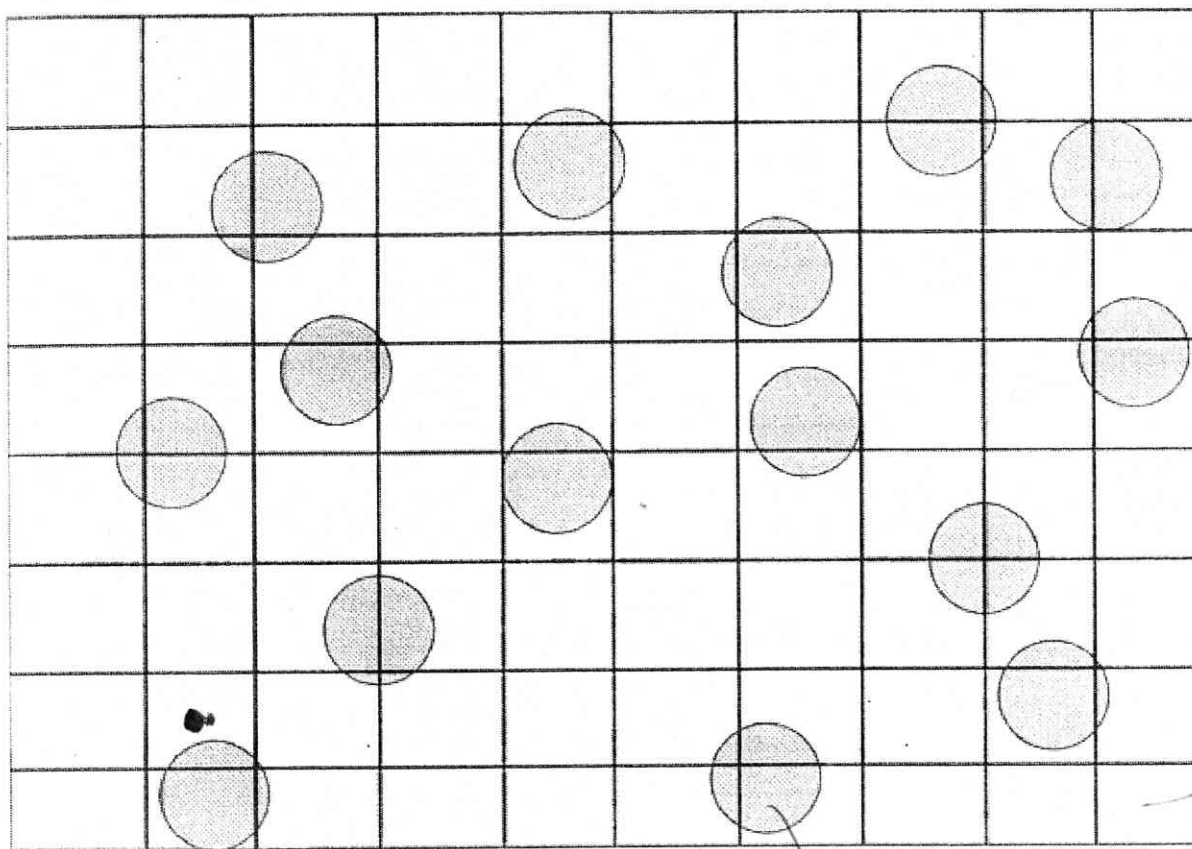
Çift veya daha fazla faza sahip mikroyapılarda fazların birbirine göre oranları ASTM E 562 numaralı (Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count) fazların hacim oranlarının sistematik elle nokta sayma metodu kullanılarak hesap edilmesi yöntemi adlı standarda göre yapılmaktadır.

Bu yöntemde mikrogram üzerine fazla sayıda noktaya sahip grid (ızgara) yerleştirilir. Hesap edilmesi istenen fazın içinde yeralan noktalar sayılır ve toplam nokta sayısına bölünerek o fazın hacim oranı hesap edilir.

Şekil 6'da verilen mikrogramda beyaz matris üzerinde toplam 15 tane 17 μ m çapında parçacık bulunmaktadır. Grid üzerinde toplam 63 tane kesişim noktası bulunmaktadır. Toplam 10 nokta gridler üzerinde yer aldığından gri parçacıklara ait hacimsel oran $10/63 \times 100 = \%15$ olarak hesap edilmektedir. Daha hassas analizler için daha sıkı gridler tercih edilmelidir.

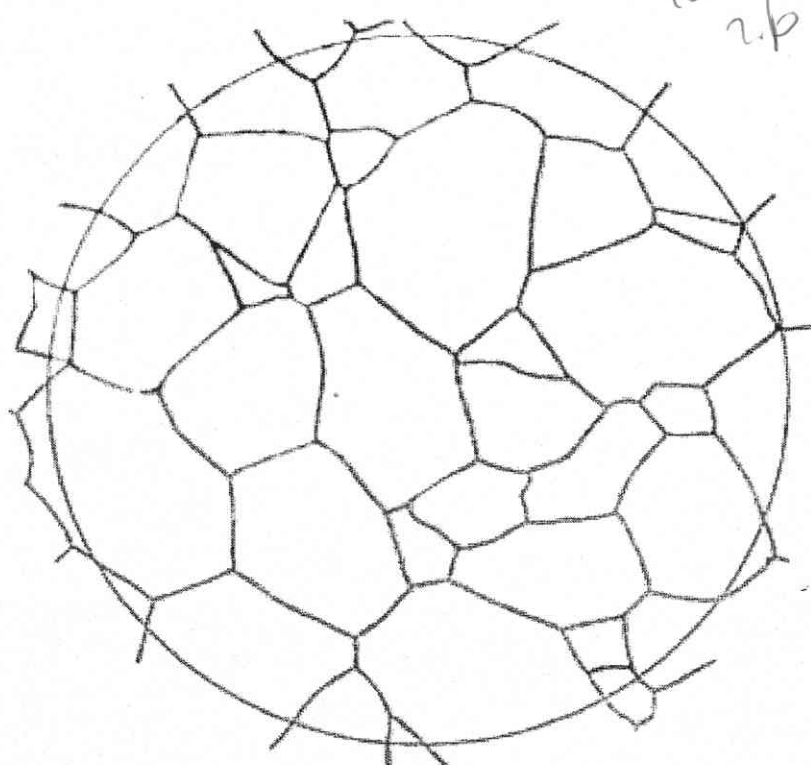


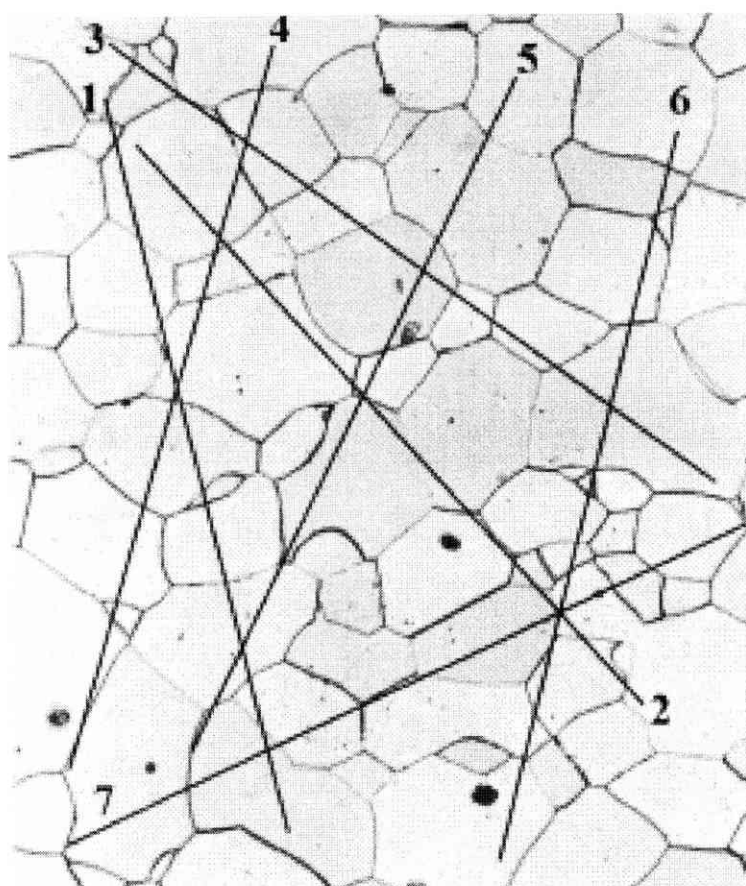
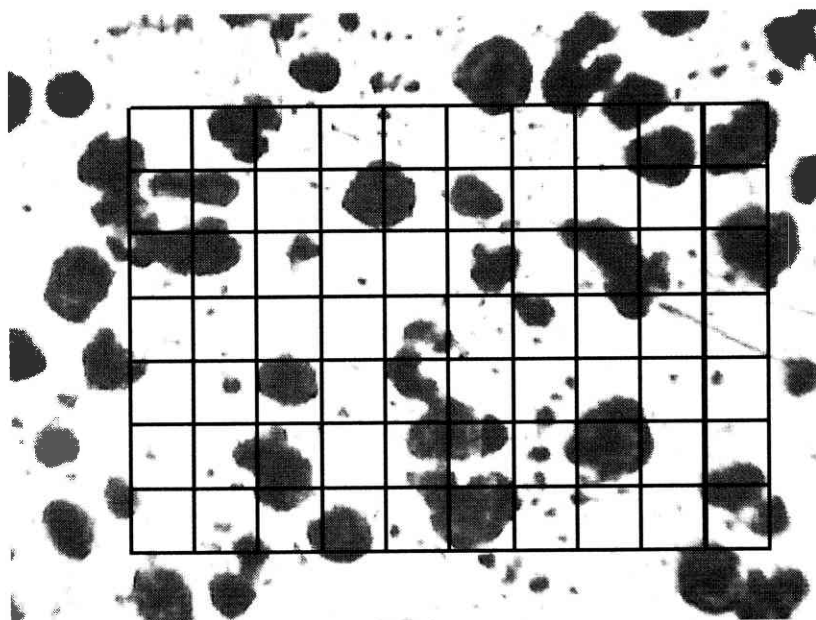
Şekil 6. Elle nokta sayma yöntemine göre 17 μ m çapındaki parçacıklara ait grid.



→ matrix

→ Talrige
z. b. z

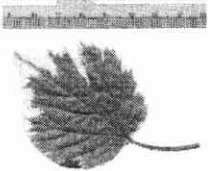




Examples of Image Analysis Using ImageJ

Area Measurements of a Complex Object

Problem: Determine the photosynthetic (i.e., green) portion of a variegated leaf.
(Open leaf image via Select **File** → **Open Samples** → **Leaf**)

	- Convert scanned color image of leaf to grayscale: <i>Image</i> → <i>Type</i> → <i>8-bit</i> - Set measurement scale: Draw a line over a 50 mm section of the ruler then <i>Analyze</i> → <i>Set Scale</i> In <i>Set Scale</i> window enter 50 into the 'Known Distance' box and change the 'Unit of Measurement' box to mm, check 'Global' - Draw a new line and confirm that the measurement scale is correct.
	Threshold the leaf image using the automated routine: <i>Process</i> → <i>Binary</i> → <i>Make Binary</i> The automated threshold includes only the dark green areas.
	Calculate area of green portion: Surround the leaf with the rectangular selection tool <i>Analyze</i> → <i>Analyze Particles</i> Enter 50 as the minimum particle size, toggle 'Show Outlines', check "Display Results" and click 'OK' Outline of analyzed area will be drawn. Data window gives an area of about 2000 mm² depending on the calibration setting.
<i>(See bottom of page for an alternative method for measuring areas.)</i>	
	Threshold new image of leaf using manual settings: <i>Image</i> → <i>Adjust</i> → <i>Threshold</i> and play with sliders to include all of leaf in red and click 'Apply' The manual threshold setting includes all of the leaf area.
	Calculate area of entire leaf: Enclose the leaf with the rectangular selection tool <i>Analyze</i> → <i>Analyze Particles</i> Use previous window settings and click 'OK' Outline of entire leaf is automatically drawn. Data window gives an area of about 2450 mm².

This analysis suggests that about 82% of leaf surface is dark green. These values should be manually confirmed before beginning a 'production run' of measurements.

An alternative procedure for measuring areas:

Analyze → *Set Measurements*, check 'Limit to Threshold'. After converting to a binary image, select *Analyze* → *Measure*

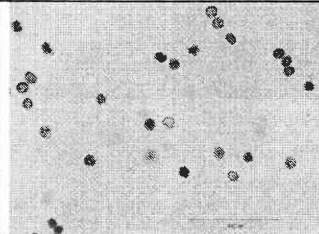
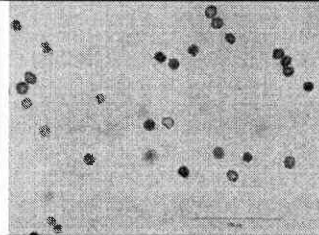
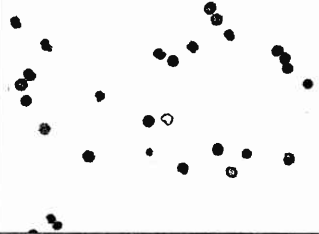
This procedure is simpler but does not draw an outline of the measured area.

(more on reverse side)

Examples of Image Analysis Using ImageJ (continued)

Particle Counting and Analysis.

Problem: Count and determine the size distribution of a collection of echinoderm embryos.
(Open embryos image via Select **File** → **Open Samples** → **Embryos**)

	◆ Draw line over the scale bar and select Analyze → Set Scale In <i>Set Scale</i> window enter 100 into the 'Known Distance' box and Change the 'Unit of Measurement' box to μm, check 'Global' ◆ Confirm that the measurement scale is correct.
	◆ Convert the image to grayscale: Image → Type → 8-bit
	◆ Threshold the image using the automated routine: Process → Binary → Make Binary ◆ Surround the scale bar with the rectangular selection tool and clear the contents (Edit → Clear)
	◆ Analyze Particles: Analyze → Analyze Particles Enter 20 as the minimum particle size, toggle 'Show Outlines', check 'Display Results', 'Summarize' and 'Record Stats' and click 'OK' Twenty five embryos are counted, numbered and outlined. The data window lists the area (in μm^2) for each embryo. These data could be copied to a spreadsheet.
Threshold: 0-0 Count: 25 Total Area: 3177.6 μm^2 Average Size: 127.1 μm^2 Area Fraction: 3.72%	A summary of the particle count is also shown in another data window.

As mentioned in the previous example, this technique should be manually validated before collecting experimental data.



KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ



METALURJİ ve MALZEME **LABORATUVARI**

II

İÇİNDEKİLER

DENEY ADI	SAYFA
1. ISIL İŞLEM DENEYİ	8-15
2. JOMINY SERTLEŞEBİLİRLİK DENEYİ	16-23
3. ÇÖKELME SERTLEŞMESİ DENEYİ	24-32
4. KUM KALIP HAZIRLAMA DENEYİ	33-40
5. DÖKÜM DENEYİ	41-50

DEĞERLENDİRME

VİZE NOTU : Vize Öncesi Quiz Not Ortalaması (%20) + Vize Öncesi Rapor Not Ortalaması (%40) + Vize Sınavı (%40).

FİNAL NOTU: Vize Sonrası Quiz Not Ortalaması (%20) + Vize Sonrası Rapor Not Ortalaması (%30) + Final Sınavı (%50)

LABORATUVARLARDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR VE UYULMASI GEREKEN KURALLAR

- Deneye gelmeden önce yapılacak deneyle ilgili föy çalışılarak deneye gelinmelidir.
- Deneylerde önlük giyilmesi zorunludur.
- Laboratuvarlarda hiç bir şey yemeyiniz ve içmeyiniz.
- Cep telefonlarınızı kapatmanız gerekmektedir.
- Deney bitiminde deney ortamını düzenli bırakınız.
- Tüm ekipmanlar kullanıldıktan sonra alındığı yere konulmalıdır.
- Tezgah ve lavaboları temiz kullanınız, laboratuvarı kirli ve dağınık terk etmeyiniz.
- Cam ekipman ve diğer kaplar dikkatlice yıkanmalı ve dizilmelidir. Kırık camlar ivedi olarak uzaklaştırılmalı ve çöp bidonlarına atılmalıdır. Kırılma olayları laboratuvar sorumlusuna bildirilmelidir.
- Öğrencilerin %80 oranında laboratuvara devam zorunluluğu vardır (devamsızlık hakkı 1 deneydir).

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUVAR-I DENEY RAPORU

Öğrenci Adı-Soyadı: Demir Çelik

NOT:100/

Öğrenci No: 091219099

Deneysel Adı: METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA

DENEYİN AMACI

Her deney belirli bir bilgiyi test etmek, yorumlamak ve geliştirmek için yapılır.

Gerçekleştirilecek deneye ait bu amaç deneyin amacı bölümünde belirtilir.

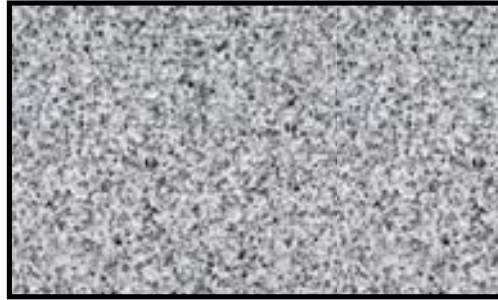
Metalografik numune hazırlama deneyi bilimsel ve endüstriyel amaçlı olarak.....(tek paragrafta deneyin ne amaçla yapıldığının anlatımı, 12 punto, 1.5 satır aralığı)

TEORİK BİLGİ/GİRİŞ

Deneyin kendine özgü teorik bilgisinin derlendiği ve yazıma geçirildiği bölümdür.

Deneyle ilgili kitap, makale gibi kaynaklardan alıp kendi cümlelerinizle yazacağınız, en fazla bir sayfa, 12 punto, 1.5 satır aralığı literatür bilgisi veriniz. Tablo, Şekil ve referanslarınızı aşağıda verilen şekilde kullanınız. Yazacaklarınızı, birbirini takip ederek tamamlayan paragraflar şeklinde veriniz. Tek blok bir paragraf kullanmayınız. Literatür/teorik bilgi bir bütünü takip eden paragraflardan oluşmalıdır.

Metalografik numune hazırlama süreci beş basamaktan oluşmaktadır [1]. Bu basamaklar şematik olarak Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1: Metalografik numune hazırlama basamakları [2]

Demir ve demir dışı alaşımlar için kullanılan dağlayıcılar Tablo 1’de verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü üzere.....

Tablo 1: Demir ve demir dışı alaşımlar için yaygın olarak kullanılan dağlayıcılar [3]

.....

Metalografik inceleme malzeme bilimi için temel karakterizasyon yöntemlerinden birisi olup, bilgi, beceri, tecrübe özelliklerini birlikte gerektiren bilimsel ve endüstriyel çalışmalarda önemli yere sahip bir yöntemdir.

DENEYSEL PROSEDÜR

Deneyde hangi aşamalarda neler yapıldığı ve bunların neden gerçekleştirildiğinin farkında olabilmek için deneyin yapılışına hakim olmak gerekmektedir.

Metalografik numune hazırlama deneyi metalografik incelemesi yapılacak olan numunelerin uygun şekilde hazırlanması basamaklarını içermektedir.

Bu deneyde 310 paslanmaz çelik parçalar kullanılmıştır. Kullanılan 310 paslanmaz çelik numunenin kompozisyonu Tablo 2’de verilmektedir....

1 cm çapında çubuk şeklinde temin edilen 310 paslanmaz çelik numuneler 2 cm yükseklikte Keser marka kesici ile SiC diskler kullanılarak uygun boyutlarda kesilmiştir..... .Kullanılan kesici Şekil 3’de gösterilmektedir.

Bakalit kalıba alınan numuneler, 1200-800....60 kabalıkta zımpara kağıtlarında her seferinde 90°’lik açı ile döndürülerek zımparalanmıştır.....

Nikon marka stereo mikroskopta 10X büyütmede yüzey kontrolü yapılan numuneler 1 µm’lik Al₂O₃ solüsyonla parlatılmıştır

Numunelerin dağlanmasında ASTM standartlarında önerilen yöntem kullanılmıştır [4]. Dağlama işleminde kullanılan Nital dağlayıcı hacimce %10 X - %90 Y içermektedir.

Numuneler 5 sn boyunca dağlayıcıya maruz bırakılmış ve daha sonra saf su ile yıkanmıştır.....

SONUÇLAR

Deney föylerinde eğer mevcutsa verilen sorularda istenilen; hesaplamaların yapılması, grafiklerin çizilmesi, tabloların hazırlanması gerekmektedir. Bu hesaplamaların beklenen sonuçlarla uyuşup uyuşmadığının, uyuşmuyor ise nedenlerinin yorumlandığı bölümdür. Sonuç bölümü deneyin ne amaçla yapıldığını ve sonuçta neler çıkarıldığını kısa ve tam olarak verir. Uygun koşullar altında hazırlanan 310 paslanmaz çelik numuneler ile yapılan inceleme sonucunda(tamamen kendi cümlelerinizden oluşan, elde edilen sonuçları anlatan, şekil ve tabloların kullanılabileceği bölümdür)

Raporu okuyan kişi amaç ve sonuç bölümlerini okuduğunda birbirini tamamlayan bir anlatım bulmalıdır. Dolayısı ile amaç, teorik bilgi, deneysel kısım ve sonuçlar belli bir hikayeyi takip etmelidir.

KAYNAKÇA

Deney raporu hazırlanırken kullanılan kaynakların sıralandığı bölümdür. Metin içerisinde hangi kaynaktan yararlanıldığının gerekli yerlerde belirtilmesi gerekir. Kaynaklara metin içerisinde yazar soyadı ve tarih sırasıyla ya da yukarıda verildiği şekilde köşeli parantez şeklinde atıfta bulunulmalıdır. İlk bahsedildiği tarzda atıf yapılıyorsa; kaynak üç ya da daha fazla yazarın çalışmasıysa **birinci yazarın soyadı ve diğ.** şeklinde; aynı yazarın aynı tarihli birden fazla eserine atıfta bulunulmuşsa, yıldan sonra a,b,c vs. yazılmalıdır. Kaynaklar alfabetik sıraya göre aşağıdaki formatta verilmelidir.

Kaynak bir makale ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, yıl, “Makalenin Tam Başlığı”, *Derginin adı* (varsa uluslararası kısaltmaları), cilt no, sayı no, makalenin başlangıç ve bitiş sayfa no.

Örnek:

Bilir, Ş., 1995, “Laminar Flow Heat Transfer in Pipes Including Two Dimensional Wall and Fluid Axial Conduction”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 38, No. 9, pp. 1619-1625.

Kaynak bir kitap ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, yıl, *Kitabın Adı*, cilt no, varsa editörü, yayınevinin adı, yayın no, yayınlandığı yer.

Örnek:

Kenneth L. Carper., 2001, *Forensic Engineering SE*, CRC Press, Washington, D.C., A.B.D.

Kaynak kongreden alınmış bir tebliğ ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, “Tebliğin Adı”, *Kongrenin Adı*, Yapıldığı yer, tebliğin başlangıç ve bitiş sayfa no, kongrenin tarihi.

Örnek:

İmrek, H., Bağcı, M., Khalfan, O.M., “Experimental Investigation of Effects of External Loads on Erosive Wear”, *12th International Materials Symposium*, PAU, Denizli, 446-453, 15-17, October 2008.

Kaynak internet veya uygulama notları ise: Hazırlayan kurumun veya biliniyorsa hazırlayan kişinin adı, *Dökümanın Adı*, alındığı internet kaynağının adresi, ziyaret tarihi.

Örnek:

Zor, M., Güzenge, O., *Örneklerle ANSYS-WORKBENCH'e Giriş*, <http://web.deu.edu.tr/ansys/ansysgiris/workbenche-giris.pdf>, ziyaret tarihi: 15 Eylül 2012.

Kaynak bir standart ise: Standart adı, numarası, yılı, İlgili bölüm adı, yayınevinin adı, yeri, DOI numarası

Örnek:

ASTM Standard B 783-04, 2003, "Metallographic Sample Preperation, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/C0033-03

Eğer atıflar köşeli parantez şeklinde verildiyse;

[1] Katırcıoğlu Z., *Metalografinin Esasları*, 3. Baskı, Mevlana Yayınları, 2012, Sayfa; 3

[2] Uludağ M., *Metalografi ve Numune Hazırlama*, Turkish Metal. J., 5, 12-18, 2011

[3] Brown A., Maria S., *New Trends in Sample Etching*, Metall. Trans. A., 7 (12), 354-358, 2009

[4] ASTM Standard B 783-04, 2003, "Metallographic Sample Preperation, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/C0033-03

Yukarıda ki değinilenlere ek olarak aşağıda verilenlere de dikkat ediniz; **Raporlar hazırlanırken yapılan temel hatalar:**

- Raporlar kişisel olarak hazırlanmaması,
- Sadece konu başlığını okuyup araştırmaya başlamak,
- Kaynak araştırmasında sadece interneti kullanmak,
- Bulunan bir internet sitesini daha okumadan aynen kopyalamak,
- Konu başlığı taramasında bulunan her türlü gerekli gereksiz bilginin verilmesi,
- Raporu sadece bir zorunluluk olarak görmek.

Yazım kuralları:

- Deney raporu yukarıda açıklanan başlıkları içerecek şekilde oluşturulmalıdır.
 - Deney raporunun kapak sayfasında deneyin adı ve veren Araştırma Görevlisinin Adı, öğrencilerin ad, soy-ad, numarası ve laboratuvar grubu bulunmalıdır.
 - Sayfa düzeni, yukarıdan, aşağıdan, sağdan ve soldan 2.5 cm şeklinde düzenlenecektir.
 - Başlık; laboratuvar adı ve deney adından meydana gelecek ve ortalı bir şekilde yazılacaktır.
 - Times New Roman Türkçe yazı tipi kullanılacaktır.
 - Başlıklarda dâhil bütün metin 12 punto, iki yana yaslanmış olarak yazılacaktır.
 - Şekil ve tablolar sayfaya ortalı ve şekillerde başlık alt satıra, tablolarda ise üst satıra gelecek şekilde düzenlenecektir. Şekil ve tabloların başlıkları haricinde metin içerisinde tariflenmesi referans edilmesi şarttır.
 - Şekiller elektronik devre çizim gereçleri veya Word çizim gereçleri ile çizilecektir.
 - Şekiller, çıktı alındığında seçilecek kadar net boyutlandırılmalıdır.
- Denklemler, denklem düzenleyicisi (Equation Editor, Math Type...vb) kullanılarak hazırlanacak, sayfaya ortalı olacak şekilde düzenlenecektir.

T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-II DERSİ

ISIL İŞLEM DENEYİ

2018-2019 Bahar Yarıyılı

ISIL İŞLEM DENEYİ

Isıl işlem, malzemenin belli bir sıcaklığa ısıtılıp, o sıcaklıkta belli bir süre bekletildikten sonra belli bir hızla soğutularak, malzemeyi oluşturan fazların miktarını, türünü, tanelerin büyüklüğünü ve mikroyapıdaki dağılımını değiştirmek suretiyle malzemeye istenen fiziksel ve mekanik özelliklerin verilmesi amacıyla gerçekleştirilen işlemdir.

1) Tavlama

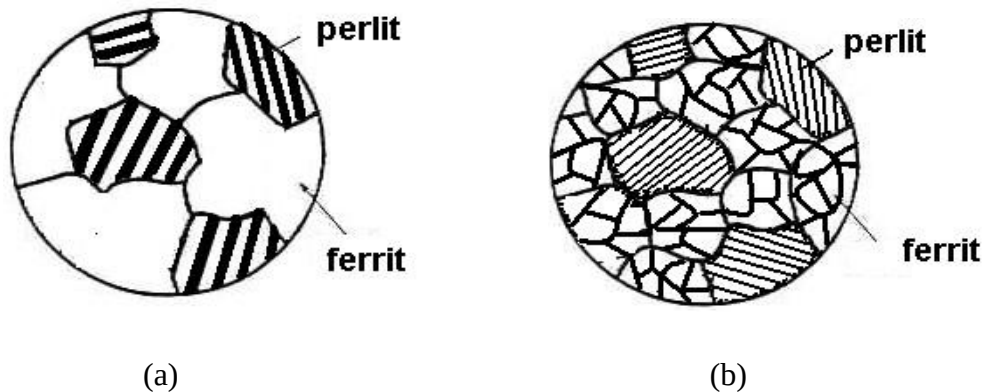
Tavlama işleminde iş parçası uygun bir tavlama sıcaklığında uygun bir süre bekletildikten sonra fırında soğumaya terk edilir (yavaş soğutma). Tavlama işleminin amacı:

- sertliği ve gevrekliği azaltmak, tokluğu ve sünekliği artırmak,
- tanelerin büyüklüğünü ve mikroyapıdaki dağılımını değiştirerek, malzemeye istenen mekanik özellikleri vermek,
- malzemeyi yumuşatarak işlenebilirliğini ve plastik şekil değiştirme kabiliyetini artırmak,
- soğuk plastik şekil verme (çekme, derin çekme, haddeleme, ekstrüzyon) işlemleri sonucunda bozulan tane şeklini yeniden kristalleşme ile düzeltmek, artan sertliği ve gevrekliği azaltmak,
- soğuk şekil verme işlemi sonucunda malzemede oluşan kalıntı gerilmeleri gidermek

Tavlama sıcaklığına, soğutma hızına ve malzemeye bağlı olarak farklı tavlama çeşitleri vardır.

1.1 Tam Tavlama

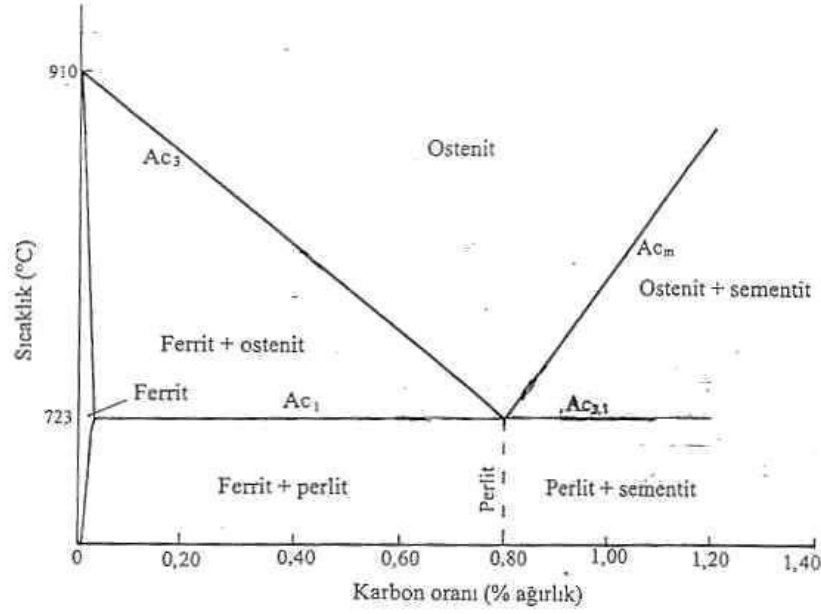
Genellikle düşük ve orta karbonlu çeliklere uygulanır. Çelik östenit (γ) bölgesine ısıtılıp tam östenitleşme sağlandıktan sonra fırında yavaş soğumaya terk edilir. Sonuçta iri taneli ferrit (α) ve kaba perlitten oluşan bir yapı elde edilir.



Şekil 1. (a) Tam tavlama sonrası mikroyapı, (b) normalleştirme sonrası mikroyapı

1.2 Normalleştirme (Normalizasyon)

Çeliklere uygulanan bir ısıtıl işlemidir. Çelik östenit bölgesine ısıtılıp tam östenitleşme sağlandıktan sonra, fırından alınıp oda sıcaklığında soğumaya terk edilir (orta hızda soğutma). Sonuçta tam tavlama kısıyasla daha küçük taneli ferrit ve ince perlitten oluşan bir yapı ortaya çıkar. Tam tavlama kısıyasla kıyaslandığında normalleştirilmiş çeliğin sertlik ve mukavemeti daha yüksek, sünekliği daha düşüktür.



Şekil 2. Fe – Fe₃C faz diyagramı

1.3 İşlem Tavlaması

Tavlama ile aynıdır. Soğuk plastik şekil verme işlemine maruz kalmış bir malzemeye tekrar soğuk plastik şekil verme işlemi uygulanacaksa, 1. işlem sonucunda malzemenin sertlik ve mukavemeti arttığından 2. işlemi yapmak zor olur. 2. işlem öncesinde malzemeyi yumuşatmak amacıyla uygulanan tavlama *İşlem Tavlaması* denir.

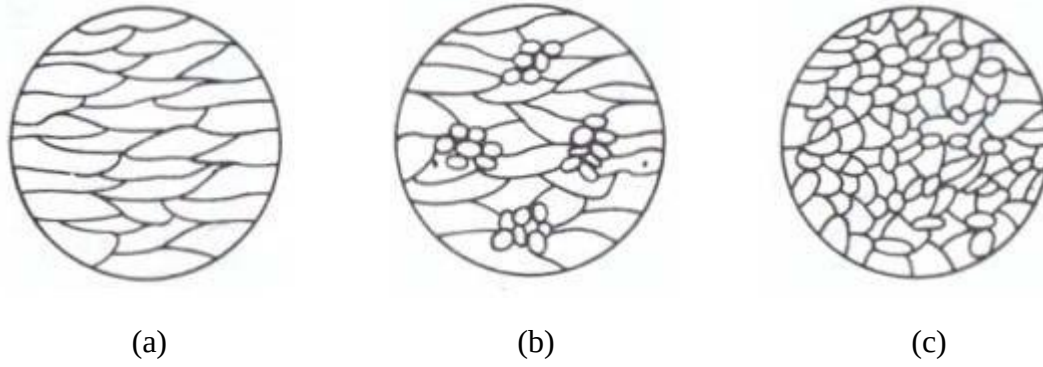
1.4 Toparlanma Tavlaması

Soğuk plastik şekil verme işlemi sonucunda bozulan tane şeklini tamamen düzeltecek şekilde yeni tanelerin oluşturulmasına *yeniden kristalleşme* denir.

Kısmi yeniden kristalleşmeye neden olan tavlama işlemine *toparlanma tavlaması* adı verilir. Bu tavlama soğuk plastik şekil verme sonucu artan sertlik ve mukavemette fazla bir azalmaya neden olmaz ancak tokluğun artmasını sağlar.

Kısmi yeniden kristalleşme hem sıcaklığa hem de süreye bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta kısa sürede elde edilen sonucun aynısı, düşük sıcaklıkta daha uzun sürede elde edilebilir.

Kural olarak yeniden kristalleşme sıcaklığı, 1 saat içinde **%50'sinin** yeniden kristalleşmenin sağlandığı sıcaklık olarak tanımlanır.



Şekil 3. (a) soğuk plastik şekil değiştirme sonrası mikroyapı, (b) kısmi yeniden kristalleşme, (c) yeniden kristalleşme

<u>Malzeme</u>	<u>Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (°C)</u>
Cu (saf)	120
Cu + %5 Zn	320
Al (saf)	80
Al (% 99 saflık)	290
Ni (% 99.99 saflık)	370
Düşük karbonlu çelik	550

1.5 Gerilme Giderme Tavlaması

Soğuk plastik şekil verme sonucunda, plastik deformasyon miktarının parçanın her noktasında aynı olmaması nedeniyle kalıntı gerilmeler ortaya çıkar. Bu da boyutsal değişikliklere ve şekil bozulmalarına yol açar. Ayrıca döküm ve kaynak işlemlerinde parçanın farklı kısımlarının farklı hızlarda soğuması ve soğuma esnasında parçada sıcaklık gradyanının oluşması nedeniyle yine kalıntı gerilmeler ortaya çıkabilir. Kalıntı gerilmeleri gidermek amacıyla uygulanan ısıtma işlemine *gerilme giderme tavlaması* denir. Esas olarak toparlanma tavlamasına benzer. Ancak ondan daha düşük sıcaklıkta ya da daha kısa sürede yapılarak yeniden kristalleşmeye fırsat vermeden sadece kalıntı gerilmeleri gidermek amacıyla uygulanır. Yüksek sıcaklıkta difüzyon kabiliyetleri artan atomların doğru kafes noktalarına yerleşmeleriyle kalıntı gerilmelerin giderilmesi sağlanmış olur.

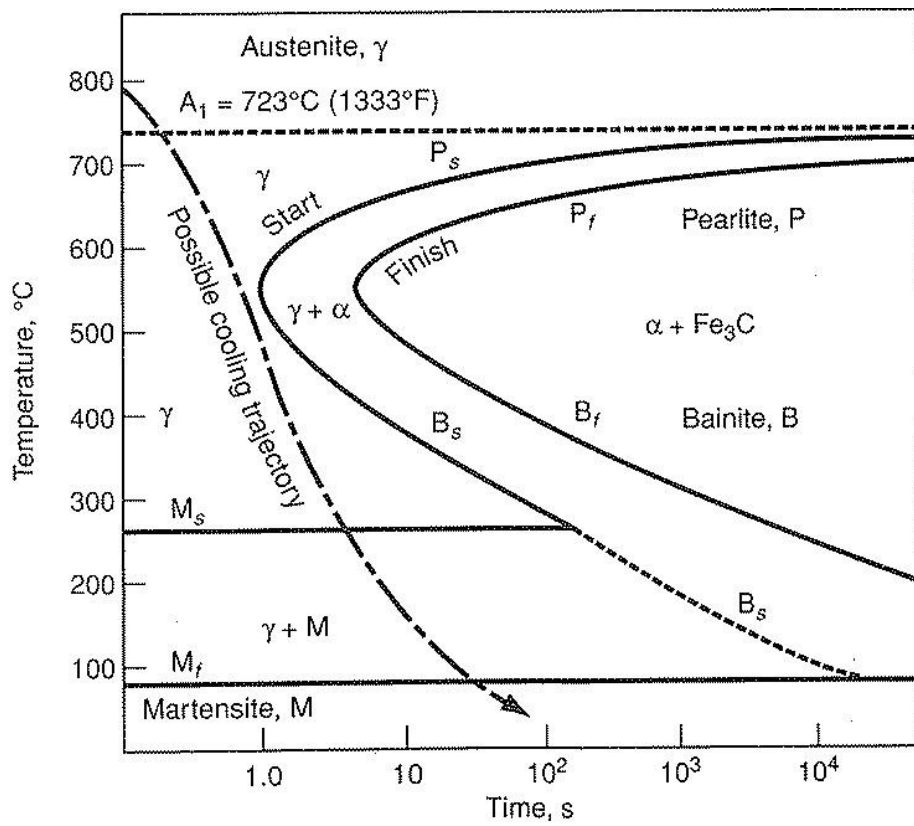
2) Çeliklerde Martenzit Oluşumu

Fe-Fe₃C faz diyagramı denge şartları altında, yani çok yavaş soğutma durumunda ortaya çıkan faz dönüşümlerini gösterir. Soğutma denge şartlarında gerçekleştirildiğinde östenit (γ), ferrit (α) ve sementitin (Fe₃C) karışımına dönüşür. Bu dönüşüm atomların difüzyonuna bağlı olduğundan ancak çok yavaş soğutma şartlarında gerçekleşebilir. Hızlı soğutma şartlarında ise

difüzyon için yeterli süre olmaz ve östenit kararsız bir faz olan martenzite dönüşür. Martenzit çok sert ama gevrek bir fazdır.

2.1 Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm (ZSD) Eğrisi

Şekil 4 ötektoid çeliğinin (% 0.8 C) ZSD eğrisini vermektedir. ZSD eğrisi, östenitin soğutma hızına bağlı olarak hangi fazlara dönüştüğünü gösterir. Zaman yatay ekseninde logaritmik ölçekte, sıcaklık ise dikey ekseninde gösterilir. Soğuma eğrisi östenit bölgesinde $t=0$ 'da başlar ve soğuma hızına bağlı olarak eğimi ortaya çıkar. İçerdiği karbon ve diğer alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak her çeliğin farklı bir ZSD eğrisi vardır.



Şekil 4. Ötektoid çeliğinin ZSD eğrisi

Yavaş soğuma hızlarında, soğuma eğrisi perlit veya beynit bölgelerine girer. Perlit ve beynit farklı formlarda $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ karışımlarıdır. Perlit α ve Fe_3C 'in ince paralel katmanlar şeklindeki karışımıdır. Beynit ise α ve Fe_3C 'in çok daha incelmış (iğne veya tüye benzer) karışımıdır. ZSD diyagramı dönüşümün başlamasını ve bitmesini ifade eden iki eğriden oluşur. Başlama eğrisi “s” alt indisiyle, bitiş eğrisi “f” alt indisiyle gösterilir. Perlit, γ 'in yavaş soğumasıyla ortaya çıkar. Perlit oluşabilmesi için soğuma eğrisinin, ZSD eğrisinin burnunun üstünde bir yerde P_s çizgisini kesip perlit bölgesine girmesi gerekir. Beynit oluşumu için ise başlangıçta hızlı bir soğuma gerçekleştirilip soğuma eğrisinin burnun solundan geçerek M_s sıcaklığının üstünde bir

sıcaklığa gelinmesi, sonrada yavaş soğutma yapılarak B_s çizgisinin kesilmesi ve beynit bölgesine girilmesi gerekir.

Martenzit elde etmek için soğuma eğrisinin ZSD burnunun solundan geçmesi ve hızlı bir şekilde soğutmaya devam edilerek M_s çizgisini kesmesi ve martenzit bölgesine girmesi gerekir.

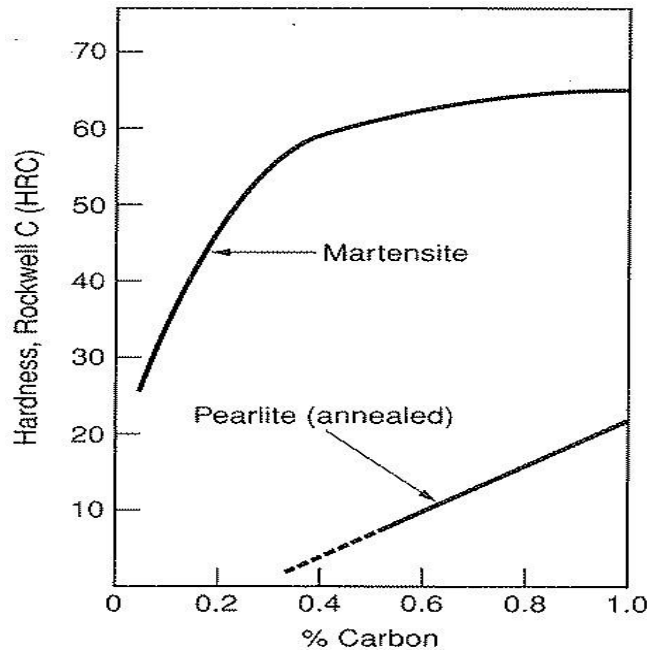
M_s : martenzit dönüşümünün başladığı sıcaklık

M_f : martenzit dönüşümünün bittiği sıcaklık

Martenzit aynı γ gibi Fe-C katı eriyiğidir. Hızlı soğutmada YMK yapıya sahip γ , α ve Fe_3C 'e karışımına dönüşümü için gerekli olan difüzyona fırsat verilmeden ani olarak hacim merkezli tetragonal yapıya sahip olan martenzite dönüşür.

Çelik M_s ve M_f sıcaklıkları arasında γ ve martenzitin karışımı halindedir. Eğer bu aralıkta soğutma durdurulursa, bir süre sonra B_s eşiği geçilir ve γ , beynite dönüşür. Böylece beynit ile martenzitin karışımı bir yapı elde edilir.

Martenzitin yüksek sertlikte olmasının nedeni, γ martenzite dönüşürken difüzyona izin verilmediği için oluşamayan Fe_3C 'ye (% 6.7 C) gidecek olan C atomlarının, martenzitin HMT birim hücrelerinde sıkışıp kalarak, kafes şeklini önemli ölçüde bozmasıdır. Kafes şeklinin bozulması, kafes gerinimine sebep olarak sertliğin ve mukavemetin artmasına sebep olur. Martenzitin sertliği C oranına bağlı olarak 65 HRC'ye kadar çıkabilir.



Şekil 5. Karbon oranına bağlı martenzit sertliği

2.2 Sertleştirme Isıl İşlemi İki

aşamadan oluşur:

- 1) Östenitleştirme
- 2) Su verme

Östenitleştirme işlemi çeliğin Fe-Fe₃C diyagramında Ac₃ çizgisinin 30-50°C kadar üstüne ısıtılıp uygun bir süre beklenmesiyle gerçekleştirilir (iş parçasının her 25 mm kalınlığı için 1 saat)

Su verme işlemi çok hızlı soğutma anlamına gelir. Amaç soğuma eğrisinin ZSD diyagramının burnunun solundan geçmesini sağlayarak östenitin tamamen martenzite dönüşmesidir. Soğuma hızı su verme ortamının çeşidine ve sıcaklığına bağlıdır. En yaygın su verme ortamları:

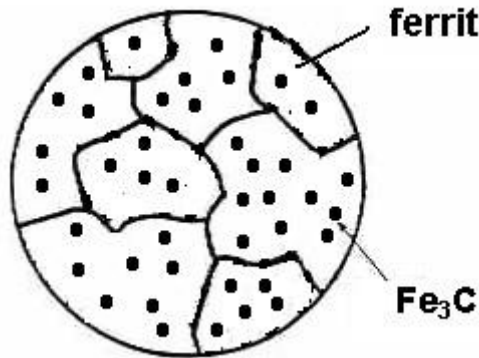
- Tuzlu su
- Su
- Yağ
- Hava

En hızlı soğutma tuzlu suda elde edilir. Ancak çok hızlı soğutma kalıntı gerilmelere, şekil bozulmalarına ve çatlaklara neden olabilir.

Soğutma hızında su verilen parçanın kütlesi ve geometrisi de etkindir. Örneğin küre şeklindeki bir parçanın soğuma hızı, aynı kütleye sahip ince levha şeklindeki parçanın aynı şartlar altındaki soğuma hızından çok daha yavaştır.

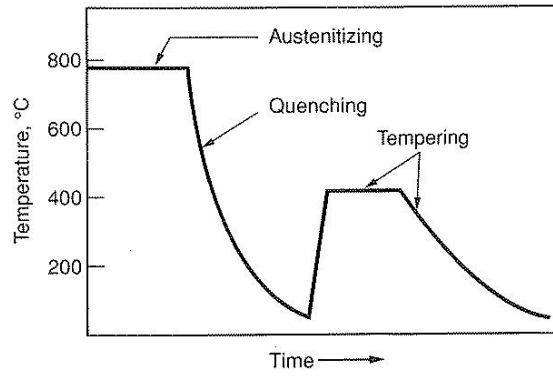
Menevişleme (temperleme)

Martenzit sert ve gevrek olmasının yanı sıra oluşumu esnasında kafes şeklinin bozulması kalıntı gerilmelere neden olur. Martenzitik yapıya sahip çelikteki bu kalıntı gerilmeleri gidermek, gevrekliği azaltıp tokluk ve sünekliği artırmak amacıyla *menevişleme* ısıl işlemi uygulanır. Menevişlemede parça ötektoid sıcaklığının altında bir sıcaklıkta bir süre bekletilir, sonra yavaş soğutulur. Bunun sonucunda martenzit, ferrit matrisi içine dağılmış küçük Fe₃C taneciklerinden oluşan bir yapıya dönüşür. Bu yapıya *temperlenmiş martenzit* adı verilir.



Şekil 6. Temperlenmiş martenzit

Menevişleme işlemi sünekliği ve tokluğu artırır, ancak sertlik ve mukavemeti azaltır. Mekanik özelliklerdeki bu değişimin miktarı menevişleme sıcaklığına ve süresine bağlıdır.



Şekil 7. *Sertleştirme + menevişleme*

T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-II DERSİ

JOMINY SERTLEŞEBİLİRLİK DENEYİ

2018-2019 Bahar Yarıyılı

JOMINY DENEYİ

1. DENEYİN AMACI: Bu deney ile incelenen çelik alaşımın su verme davranışı belirlenmektedir. Bunlardan ilki su verme sonrası elde edilebilecek maksimum sertlik değeri olup, ikincisi ise sertleşme derinliğidir (sertleşme kabiliyeti). Detayları Türk Standartları 1381’de verilmiştir.

2. TEORİK BİLGİ:

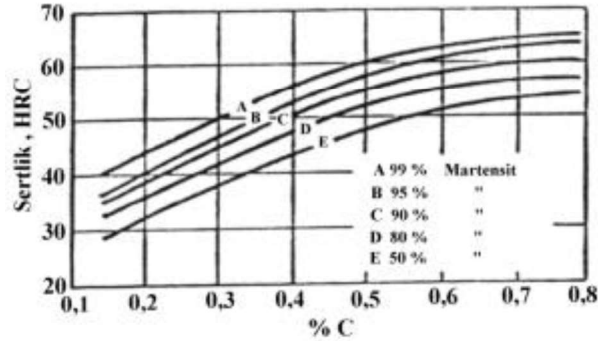
2.1.Sertleşebilirlik

Aşırı yüksek ve dinamik yükler altında ve/veya soğukta çalışan çelik makine elemanlarının bu koşullarda başarıyla çalışabilmesi için kübik martenzit (ıslah) yapısında olması gerekir. Çeliğin bu yapıya ulaşabilmesi önce martenzitik bir yapıya kavuşturulması ardından da ıslah edilmesi ile mümkündür.

Çelik malzemenin martenzite dönüştürülebilmesi için malzemenin östenit sahasından belirli bir kritik hızın üzerinde soğutulması gerekir ki bu işlem su verme olarak adlandırılır. İnce kesitli parçalarda alaşımsız çelikler suda soğutularak bu hız değerleri yakalanabilmektedir. Ancak kalın kesitli parçalarda parça suya dahi atılsa iç kesimlerin soğuması yavaş olmakta ve kritik soğutma hızını yakalamak zorlaşmaktadır. Bu durum özellikle büyük boyutlu makine parçalarının tüm kesitine su verme işleminin zorlaşmasına hatta imkansızlaşmasına yol açmaktadır.

Kritik soğuma hızı, TTT diyagramlarında burun noktasını kesmeden sağlanan en düşük soğuma hızıdır. Su verme işleminde uygulanan soğuma hızı, kritik soğuma hızından daha yüksek ise, perlit ve beynit dönüşümü tamamen engellenerek martenzit yapısı oluşur. Eğer soğuma hızı kritik soğuma hızından daha düşük ise en son yapıdaki martenzitin miktarı ve buna bağlı olarak da sertlik azalır. Bu yolla sağlanan sertlik değeri çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Ostenitleme işleminden sonra karbür olarak kalan karbon, martenzit reaksiyonunda yer almadığı için sertliğe etki etmez. Şekil 1, martenzit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

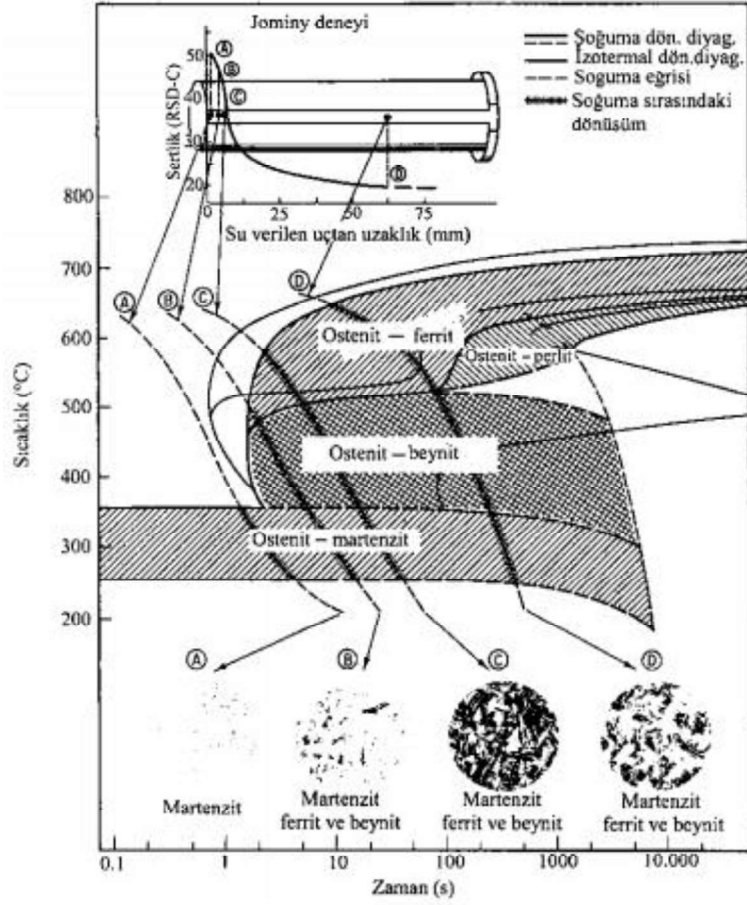
JOMINY DENEYİ



Şekil 1. Martenzit miktarı, sertlik ve karbon miktarı ilişkisi.

Çeliklerin yüzeyden derinlere kadar martenzite dönüştürülebilmeye yatkınlığı malzemenin sertleşebilirliği olarak adlandırılır. Sertleşebilirlik deneyleri su verme ile elde edilen sertlik derinliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Bu derinlik, martenzit miktarının yüzeyden itibaren yarıya indiği ya da % 50 martenzit ve beyritin var olduğu mesafe olarak ifade edilmektedir. Yüksek sertleşebilirliğe sahip bir çeliğin karakteristik özelliği, yüksek sertleşme derinliği göstermesi veya büyük parçalar halindeyken bile tam olarak sertleşebilmesidir. Sertleşebilirlik ile sertlik farklı kavramlardır. Maksimum sertlik çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Sertleşebilirlik ise çeliğin kimyasal bileşimine (karbon ve alaşım elementleri) ve su verme sırasında ostenit tane boyutuna bağlıdır. Çelik parçanın boyutları arttıkça zaman soğuma hızı düşer ve çekirdek sertliği, ferrit ve perlit gibi fazların oluşumuna bağlı olarak azalır (Şekil 2).

JOMINY DENEYİ



Şekil 2. AISI 8630 çeliği için Jominy deneyinden elde edilen verilerle sürekli soğuma eğrileri ve sürekli zaman dönüşüm diyagramı arasındaki ilişkilerinin gösterimi

2.2.Sertleşebilirliğe etki eden faktörler

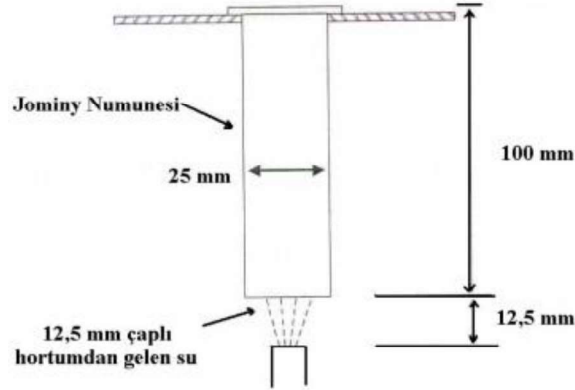
Alaşım elementlerinden sertleşebilirliği en fazla C, B, Cr, Mn, Mo, Si ve Ni etkiler. Karbon, martenzitin sertliğini kontrol eder. Çelikte % 0,6'ya kadar C içeriği arttığında çeliğin sertliği artar. Daha yüksek seviyelerdeki karbon içeriği olduğu durumda, ostenitten martenzite dönüşüm tamamlanamaz. Bu da yapıda kalıntı ostenit bulunmasına sebep olur. Bu durumda yapıda martenzitin yanında ostenit bulunacağından sertlik daha düşük seviyelerde kalır. Karbon miktarının yüksek olması malzemenin daha gevrek bir davranış göstermesine neden olur ve daha sonra yapılacak olan işlemlerde sorunlar yaratabilir. Bu yüzden % 0,4 C'a kadar olan çeliklerde sertleşebilirlik kontrolü daha kolaydır. Çeliğin martenzitin sertliğine karbonun etkisi

JOMINY DENEYİ

su verme sonrası karbon atomunun yapı içerisine zoraki olarak sıkışması ile izah edilebilir. Diğer alaşım elementleri ise kafes yapısında zoraki kalmadıklarından karbonun etkisini yapmazlar. Bor, % 0,002 - 0,003 oranında çeliğe ilave edildiğinde % 0,5 Mo ilavesindeki etkiyi gösterir. Bor düşük karbonlu çeliklere ilave edildiğinde sertleşebilirlikte en büyük etkiyi gösterir. Cr, Mo, Mn, Si, Ni ilaveleri çelikte ostenitten ferrit ve perlite dönüşümü geciktirir. Bu elementler ara yüzeyde tane büyümesini engelleyerek sertleşebilirliği artırırlar. Ostenit tane boyutunun artması ile sertleşebilirlik artar. Ferrit ve perlitin çekirdeklenmesi ostenit tane sınırında heterojen çekirdeklenme ile gerçekleşir. Ostenit tane boyutunun artması çekirdeklenme için gereken bölgenin daha az olmasını sağlar ve faz dönüşümü gecikir. Bu yüzden ostenitleme sıcaklığı yüksek seçilerek tane boyutunun büyük olması sağlanabilir.

3. DENEY MALZEMELERİ VE EKİPMANLAR:

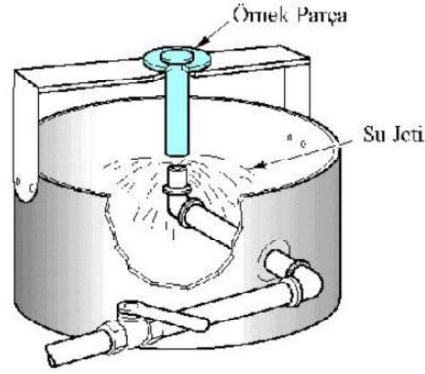
- Deney numunesi ve boyutları: Jominy deneyi için 25,4 mm çapında ve 101,6 mm uzunluğunda silindirik bir çelik çubuk kullanılır (Şekil 3).



Şekil 3 : Jominy uçtan su verme deney numunesi şekil ve boyutları

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

JOMINY DENEYİ



Şekil 4. Jominy deney düzeneği

4. DENEYİN YAPILIŞI:

Sertleşebilirliğin belirlenmesi amacıyla en yaygın kullanılan deney Jominy deneyidir. Bu deneyde 25 mm çapındaki 100 mm boyundaki silindirik bir numune Şekil 4'te gösterilen düzeneğe alın kısmından su ile soğutulur. Parça boyunca farklı soğuma hızları elde edilir.

Numune su hortumundan 12,5 mm mesafede olacak şekilde yatay bir yüzey üzerine oturtulur. Su sıcaklığı 24-28 °C dir. Deney numunesi önce normalize edilir, verilen boyutlarda işlendikten sonra bileşimine göre uygun su verme sıcaklığına (ostenitleme sıcaklığı) kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta en az 30 dakika tutulur. Bu sürenin sonunda fırından çıkarılan numune süratli bir şekilde deney düzeneğine yerleştirilir ve bir ucundan su püskürtmek suretiyle soğutulur.

Soğuma hızı, çelik çubuk boyunca su verilmiş uçtan itibaren kademeli olarak azalır. Çubuk soğutulduktan sonra eksenine paralel ve yüzeyden itibaren 0,4-0,5 mm derinliğinde talaş kaldırma işlemi yapılarak düzgün bir yüzey elde edilir. Daha sonra bu yüzey kullanılarak, su verilmiş uçtan itibaren belli aralıklarla çubuğun sertliği ölçülür. Sertlik ölçümleri su vermenin yapıldığı alından başlanarak 1,5-1,5-2-2-2-2-2 mm olan mesafelerde yapılır. Toplam 15 mm'yi bulan bu noktalardan sonra 5'er mm aralıklarla ölçümler yapılır. Elde edilen sertlik değerleri mesafeye bağlı olarak bir grafik üzerinde belirtilerek, Jominy eğrileri elde edilir.

JOMINY DENEYİ

5. SONUÇLAR VE YORUMLAMA:

Çeliğin sertleşebilirlik özelliklerinin tarifi için, aşağıdaki metotlardan birisi kullanılır:

a) Sertlik-su verme ucundan uzaklık değişim eğrisinin çizilmesi veya eğriye ait verilerin tablo halinde sunulması.

b) Çeliğin alaşım miktarına bağlı olarak, su verme ucundan ve belirtilen bir mesafedeki sertlik değerleri üzerinden sertleşmenin sayısal olarak tanımı yapılabilir.

Su verme ucundan artan uzaklıkla sertliğin azalması yapıda dönüşüme uğrayan martenzitin miktarıyla ilişkili olarak değişmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Jominy deneyi sonucu elde edilen, sertliğin su verilen uçtan uzaklığa göre değişimini veren sertleşebilirlik eğrisi

7. KAYNAKLAR

- Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Jominy Sertleşebilirlik Testi Deney Föyü
- Ondokuz Mayıs Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Malzeme Üretim Laboratuvarı I Deney Föyü
- Sakarya Üniversitesi Deney Föyü
- Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Deney Föyü
- Malzeme Bilgisine Giriş, Mehmet Yüksel, Cemal Meran

T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-II DERSİ

ÇÖKELME SERTLEŞMESİ DENEYİ

2018-2019 Bahar Yarıyılı

ÇÖKELME SERTLEŞMESİ DENEYİ

Mukavemet Artırıcı İşlemler

Malzemenin mekanik özellikleri malzemenin metalurjik yapılarına bağlıdır. Metalurjik yapı ise kimyasal bileşim ile malzemeye uygulanan mekanik ve ısı işlemlerle değiştirilebilir. Yani malzemenin mukavemetini arttırmak malzemenin kimyasal bileşimini veya metalurjik yapısını değiştirmekle mümkündür.

Yapılan işlemlerle malzemenin mukavemetinin artmasının başlıca nedenleri;

- Dislokasyon yoğunluğunun artması,
- Dislokasyonların zorlanarak hareket etmesidir.

Genel olarak mukavemet arttırıcı işlemler;

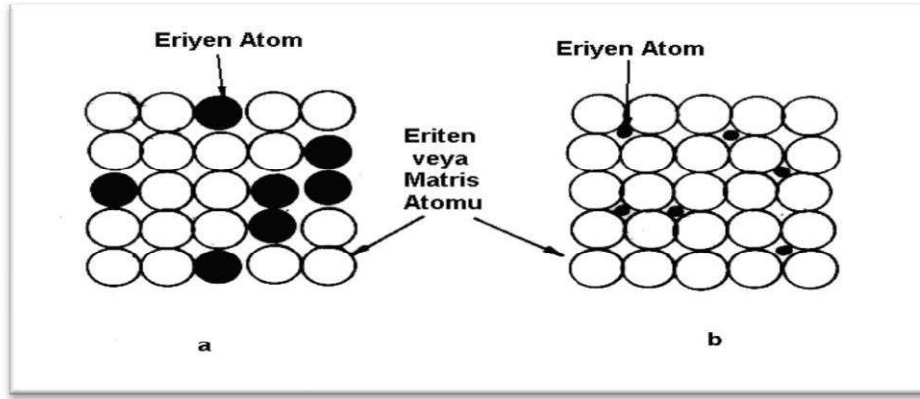
1. Alaşım Sertleşmesi
2. Dispersiyon Sertleşmesi
3. Soğuk İşlem
4. Tane Boyutunu Küçültme
5. Deformasyon Yaşlanması
6. Martenzitik Dönüşüm
7. Radyasyonla Sertleştirme
- 8. Çökelme Sertleşmesidir.**

1. Alaşım Sertleşmesi:

Alaşım sertleşmesi kimyasal bileşimin değiştirilmesi ile mukavemet arttırılması işlemidir.

Alaşım elementinin saf metal içinde eriyip, tek fazlı bir yapı oluşturması halinde katı eriyik sertleşmesi, ikinci bir faz oluşturması halinde ise ikinci faz sertleşmesi olarak isimlendirilir. Katı eriyik de kendi içinde,

- a. Yer alan katı eriyik
- b. Arayer katı eriyik olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 1. Arayer ve yer alan atomların şematik gösterilişi.

Saf metal atomları ile ilave edilen alaşım elementi atomlarının boyutları birbirlerine uygunsa, kristal içinde eriyen atomlar eriten atomların yerini alabilirler. Bu çeşit katı eriyiğe yer alan katı eriyiği denir.

Eğer kristal içinde eriyen atomlar, eriten atomlardan çok küçükse bu durumda eriyen atomlar, eriten atomların oluşturduğu kristalin matris içindeki atomlararası boşluklar yerleşirler. C, N, O, H ve B bu cins eriyen atomlar olup, söz konusu elementlerin saf metallerle yaptığı katı eriyik, arayer katı eriyiği olarak isimlendirilir.

Yer alan ve arayer atomları distorsiyona neden olup dislokasyon hareketini engellediklerinden mukavemetin artmasına yardımcı olurlar.

İkinci faz sertleşmesi, genellikle katı eriyik sertleşmesine eklenebilir. İki fazlı alaşımlarda, ikinci faz matris fazı içinde bölgesel iç gerilmeler oluşturması nedeniyle alaşım mekanik özelliklerini etkilemektedir.

2. Dispersiyon Sertleşmesi:

Dispersiyon sertleşmesinde ise ikinci fazın ince tanecikler halinde matris fazı oluşturan malzeme içinde fiziksel olarak dağıtılmasıdır.

Matris içerisinde çok küçük taneler halinde ikinci fazın bulunması durumunda malzemenin mukavemetinin artmasının nedenleri, ikinci faz tanelerinin dislokasyonların hareketini engellemeleri ve de malzemede dislokasyon yoğunluğunun artmasına sebep olmalarından kaynaklanmaktadır.

3. Soğuk İşlem:

Soğuk işlem malzemeye plastik şekil verme yöntemleriyle uygulanır. Plastik şekillendirme hem dislokasyonların hareketini sağlar, hem de yeni dislokasyonların oluşumuna sebep olur. Soğuk işlem sonunda mukavemetin artması deformasyon sertleşmesi sebebiyledir. Deformasyon sertleşmesi, dislokasyonların birbirleriyle ve dislokasyonların hareketini zorlaştıran çeşitli engellerle etkileşimi sonucunda olur.

4. Tane Boyutunu Küçültme

Tane boyutunu küçülterek bir malzemenin mukavemeti arttırılabilir. Bunun sebepleri;

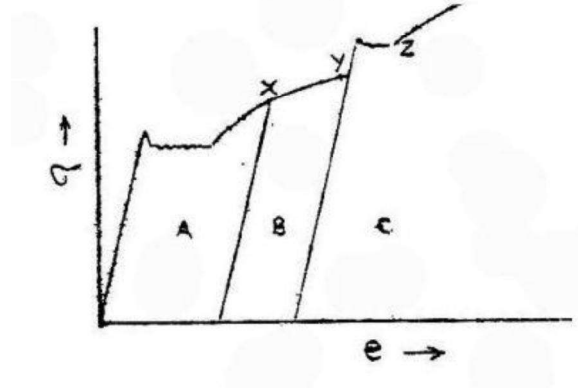
- a. Tane sınırlarının hareket halindeki dislokasyonların hareketini engellemesidir. Dislokasyonlar tane sınırı engeli ile karşılaştığında hareket edemez ve bunun sonucu tane sınırlarında dislokasyon yığılmaları olur.
- b. Deformasyon sırasında taneler arasında uyum sağlamak, yani bir tanedeki şekil değişimine bağlı olarak komşu tanelerin şekil değişimine zorlanması, her tane içinde kompleks deformasyon gerilmeleri doğurur. Dolayısıyla birden fazla kayma sistemlerinin çok kristalli malzemelerde çok çabuk meydana gelmesi tane sınırlarının etkisiyle olmaktadır. Bu sebeplerle çok kristalli bir malzeme, aynı malzemenin tek kristalinden genellikle daha yüksek mukavemete sahiptir

Diğer sertleşme mekanizmaları içinde mukavemetle birlikte tokluğu da arttıran tek mekanizmadır. Tane küçültmenin tokluğu arttırmasının nedeni; darbe geçiş sıcaklığını düşürmesidir.

5. Deformasyon Yaşlanması

Deformasyon yaşlanması malzemenin soğuk deformasyondan sonra genellikle düşük sıcaklıklarda tavlama veya oda sıcaklığında uzun süre bekletilmesi sonucunda akma ve çekme mukavemetlerinin artması, sünekliğinin azalması olayıdır. Bir başka ifade ile soğuk plastik şekil değiştirmeye maruz kalmış, belirgin akma gösteren bir malzeme, belli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp (100-200 °C) soğutulduktan sonra tekrar plastik şekil değişimine

maruz bırakılırsa, daha yüksek gerilme değerlerinde belirgin akma olayı bir kez daha gerçekleşir. Bu olaya deformasyon yaşlanması adı verilir.



Şekil 2.Düşük karbonlu bir çelikte deformasyon yaşlanmasının çekme diyagramına etkisi

A:Sürekli akma olayı gösteren orijinal malzeme herhangi bir X noktasına kadar çekilmiş.

B:X noktasında bekletmeden tekrar Y noktasına kadar çekilmiş.

C:400 °C 'da tavlanoğ tekrar çekilmiş.

6. Martenzitik Dönüşüm

Martenzitik dönüşüm, genellikle mühendislik malzemelerinden çeliklere uygulanan sertleştirme işlemlerinden birisidir. Martenzitik dönüşümün mukavemet artırma etkisi en belirgin olarak Fe-C esaslı alaşımlarda görülür. Çeliğē su verme ile östenitten (YMK) yayınmasız kayma tipi bir dönüşüm ile martenzit (hacim merkezli tetragonal) oluşur. Martensitin mukavemetinin ve sertliğinin yüksek olması yapısında dislokasyon hareketine karşı büyük engellerin olduğunu gösterir. Bu engellerde martensitin yapısının büyük önemi vardır. Martensit yapısı iğnesel ve masif (dilim) olmak üzere ikiye ayrılır. Masif martensite % 0,6'ye kadar C içeren sade karbonlu veya az alaşımlı çeliklerde rastlanır. İğnesel martensit ise yüksek karbonlu çeliklerde veya az karbonlu yüksek alaşımlı çeliklerde görülebilir. Bu yapılardaki yüksek dislokasyon yoğunluğunun dislokasyon hareketine engel olması sebebiyle mukavemet yüksektir.

7. Radyasyonla Sertleştirme

Radyasyonla sertleştirme, esasında malzemenin kristal yapısında radyasyonla nokta hataların oluşumu sonucudur. Radyasyonla sertleştirme, çok hızlı hareket eden atomik parçacıkların metalik malzemenin atomları ile çarpışarak atom boşlukları ve arayer atomları

oluşturması esasına dayanır. Mukavemetin artması ise oluşan hataların dislokasyon hareketini engellemesiyle sağlanır.

8. Çökelme Sertleşmesi

Metallerde dengeli soğuma süresinde oluşan yapılar kararlı olup belirli özelliklere sahiptirler. Denge diyagramları bileşim ve sıcaklığa bağlı olarak oluşan kararlı fazları ve faz dönüşüm sıcaklıklarını gösterirler. Bu durumda soğuma süresinde faz dönüşümleri zorlayıcı etki olmaksızın spontane tamamlanır. Ancak kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri ile sağlanan aşırı koşullar altında denge hali faz dönüşümleri kısmen veya tamamen önlenir. Bu koşullarda elde edilecek bazı denge dışı kararlı fazlar üstün özelliklere sahip olabilirler. Bu ilkelere dayanarak endüstride çeşitli ısı işlemleri geliştirilmiştir. Çeliklere uygulanan su verme sertleşmesi ile bazı alüminyum alaşımlarına uygulanan çökelme veya yaşlanma sertleşmesi bunlara örnek olarak verilebilir.

Çökelme sertleşmesi ikinci fazın küçük tanecikler halinde matris fazı içinde çökelmesinin sağlandığı alaşım sistemlerinde mukavemet arttırmada kullanılan en önemli yöntemlerden birisidir.

Çökelme sertleşmesi üç temel aşamayı izleyen işlem gerektirir:

1. Çözeltiye alma
2. Su verme (Hızlı soğutma)
3. Yaşlandırma

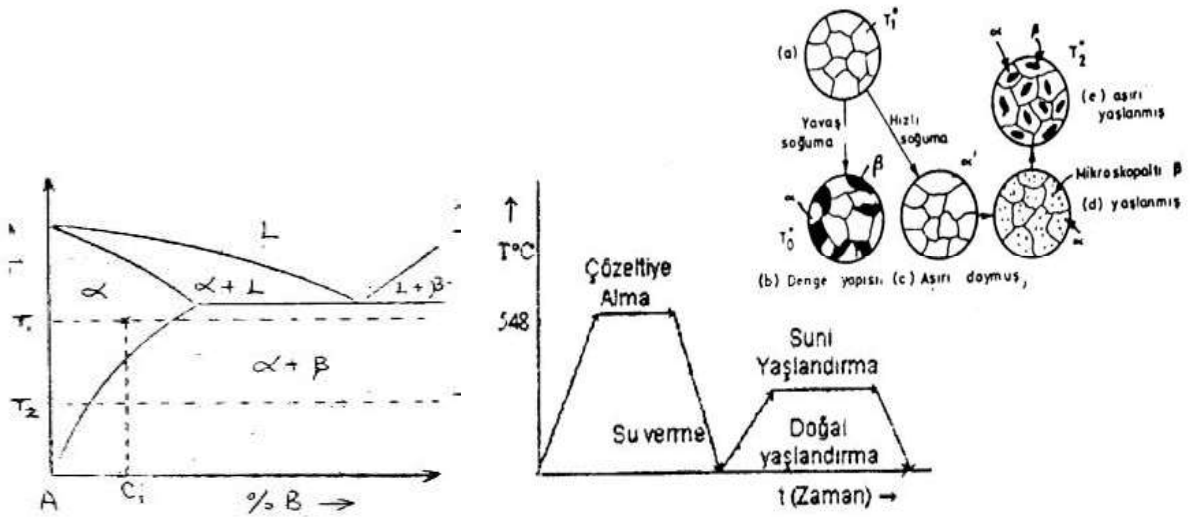
1. **Çözeltiye alma:** ($\sim 500^{\circ}\text{C}$) Alaşım önce tek fazlı yapı elde etmek amacı ile T_1 sıcaklığına kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta β fazı tamamen çözününceye kadar tutulur. Isıtmada seçilen sıcaklık ve zaman alaşımın kompozisyonuna ve malzemenin kalınlığına bağlıdır. Fazla miktarda empürite ihtiva eden alaşımlarda sıcaklık düşük tutulabilir. Fakat düşük bir sıcaklıkta çalışıldığında tam bir homojen katı eriyik elde etmek için ısıtma müddetini arttırmak gerekir.

Alaşım söz konusu sıcaklık aralıkları dışındaki düşük bir sıcaklıkta ısıtılırsa tam bir homojenizasyon sağlanamaz. Bu durumda sertlik ve mukavemet beklenen değerden düşük

çıkır. Benzer şekilde belirtilen sıcaklığın üstüne çıkılırsa malzemede tane sınırlarında sıvı faz teşekkül edecektir. Bu fazın olması sebebiyle malzeme kırılğan olur.

2. **Su verme:** (1-3sn) T_1 sıcaklığında yapı tamamen α' ya dönüştükten sonra alaşım genellikle oda sıcaklığına ani soğutulur. Ani soğuma β fazının çökmesine imkân vermez ve aşırı doymuş α katı eriyiği elde edilir.

3. **Yaşlandırma:** Yaşlandırma işlemi, sertlik ve dayanımda arzu edilen artma meydana gelinceye kadar, malzemeyi uygun sıcaklıkta tutmayı gerektirir. Çökme sonucu su verilmiş yapının sertliği artar. Oda sıcaklığında ya da biraz daha yüksek sıcaklıklarda sertliğin süreye bağlı olarak artmasına yaşlanma ya da çökme sertleşmesi, yapılan ısıtılma işlemine de yaşlandırma denir. Alaşımda ince dağınık çökeltinin teşekkülü, çökme sertleşmesi işleminin amacıdır. Aşırı doymuş çökelti kararsız olduğundan, ikinci fazın çökmesi için kesin eğilim vardır. Su verilmiş numune doğal olarak oda sıcaklığında soğutulursa bu tür yaşlanmaya doğal yaşlanma denir (20°C ve 6 gün). Eğer su verilmiş parça $150-180^\circ\text{C}$ arasında ısıtılırsa yaşlanma prosesine hız kazandırılır ve buna suni yaşlanma denir.

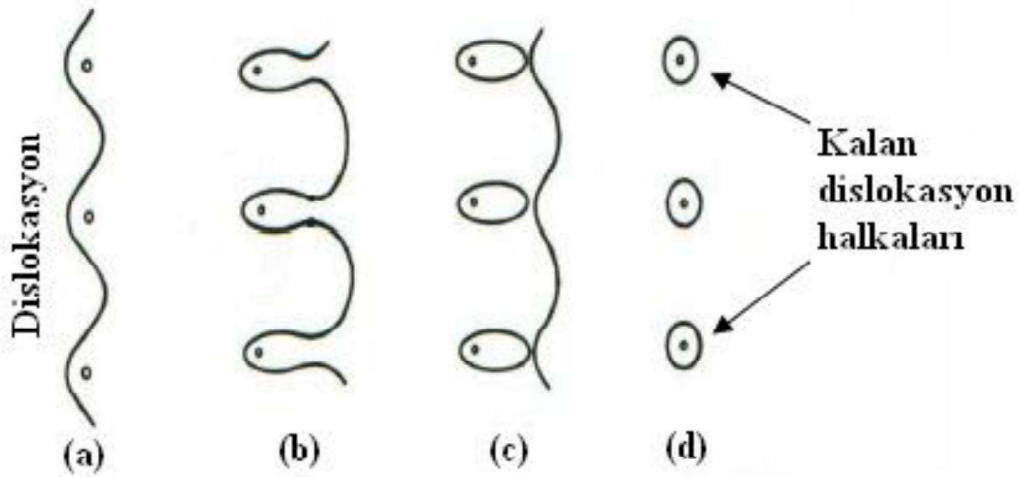


Şekil 3. Al – Cu alaşımlarında çökme sertleşmesi

Şekil 3'te görüldüğü gibi alaşım T_1 sıcaklığında C_1 bileşiminde tek fazlı α katı eriyiği halindedir (a). Dengeli soğuma sırasında T_d sıcaklığında α fazı B atomlarının doymuş hale gelir ve α' dan β fazı çökmeye başlar. T_0 oda sıcaklığında iki fazlı yapı elde edilir (b). β' nın α' dan çökmesi bir katı hal reaksiyonudur, dolayısıyla atomların yayınması belirli bir

süreyi gerektirir. Eğer α fazı T_1 sıcaklığından hızla soğutulursa çökelme oluşamaz ve oda sıcaklığında aşırı doymuş α fazı elde edilir (c). Aşırı doymuş fazı yeterli bir T_2 sıcaklığına kadar ısıtılırsa atomsal yayılım başlar ve mikroskopaltı boyutta küçük β parçacıkları çökelmeye başlar (d). Isıtma süresi uzun, özellikle T_2 sıcaklığı da yüksek olursa β parçacıkları birleşerek büyür ve (e) de görüldüğü gibi mikroskopik düzeyde iki fazlı yapı oluşur ve çökelme tamamlanır. Dengeli soğuma sonucu oluşan (b) yapısı ile tavlama sonucu oluşan tam çökelmiş (e) yapısı yumuşaktır. Aradaki (d) yapısı mikroskopaltı β parçacıkları dislokasyonların hareketini çok etkin bir şekilde kısıtlar, dolayısıyla sertlik çok artar. Bu nedenle bu işleme çökelme veya yaşlanma sertleşmesi denir. Sonuncu (e) yapısına ise aşırı yaşlanmış yapı denir ve bu yapı yumuşaktır.

Dislokasyon hareketini engelleyen her şey malzemenin mukavemetini artırır. Tane içindeki ince çökelti genellikle matriksden daha sert oldukları için deformasyon sırasında dislokasyon hareketine birer engel teşkil ederler. Çökelti arasında kalan dislokasyon parçası şekil 4' de görüldüğü gibi çökelti partiküllerini aşmak için uygulanan gerilime bağlı olarak hareket ederek çökelti partiküllerinin çevresini sarar. Dislokasyonlar her yönde hareket ettiğinde çökelti etrafındaki halka sayısı o nispette artar ve çökelti partikülleri çevresinde adeta bir dislokasyon yumağı oluşur. Böylece malzemenin dislokasyon yoğunluğu artar.



Şekil 4. Çökelti fazı içeren malzemede dislokasyonların ilerlemesi.

Çökelme Sertleşmesi Oluşum Şartları:

- a) Sistem karışabilirlik aralığı içermeli
- b) Alaşım denge diyagramı solvüs eğrisi içermeli
- c) Yüksek sıcaklıkta yüksek, düşük sıcaklıkta düşük çözünürlük olmalı
- d) Çözen ve çözünenin atom çapları yakın olmalı
- e) Çözen ve çözünenin kristal sistemleri benzer olmalı
- f) Alaşım su alabilmeli, yani hızlı soğutma (suverme) sonrası oda sıcaklığında, yüksek sıcaklık fazı elde edilebilmeli

İlk iki şart mutlaka olmalıdır. Diğer şartlar çökelme sertleşmesinin etkisini artırır.

Deneyin Yapılışı:

Deneyde Al-%4Cu alaşımı kullanılmıştır. Numune sıcaklığı 500°C olan bir fırında, tutma süresi numunenin et kalınlığına bağlı olarak 20-90dk arasında çözeltiye alma ısı işlemine tabi tutulur. Daha sonra fırından çıkarılıp ani soğutulur. Su verilmiş numunenin sertliği her gün ölçülerek kaydedilir. Zamana bağlı olarak numunenin sertliğindeki değişim gözlemlenir.

T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-II DERSİ

KUM KALIP HAZIRLAMA DENEYİ

2018-2019 Bahar Yarıyılı

DENEY 1: DÖKÜM KALIBI HAZIRLAMA TEKNİKLERİ DENEYİ

1. Amaç

Harcanan kalıp yöntemlerinden kum ile kalıplama işleminin öğrenilmesi

2. Teorik bilgi

2.1.Döküm Yöntemleri

2.1.1. Harcanan kalıp kullanılan yöntemler

- Kum kalıba döküm Ucuz + Refrakter özellikte
- Kabuk kalıba döküm
- Seramik kalıba döküm
- Alçı kalıba döküm
- Hassas döküm

2.1.2. Kalıcı kalıp kullanılan yöntemler

- Metal kalıba döküm
- Basınçlı döküm
- Merkezkaç döküm
- Sürekli döküm

2.1.3. Kum dökümünde kalıplama yöntemleri

- ◇ Yaş kum kalıplama
- ◇ Kuru kum kalıplama
- ◇ Toprak kalıplama
- ◇ Çukur kalıplama
- ◇ CO₂ kalıplama
- ◇ Kabuk kalıplama
- ◇ Çimentolu kalıplama
- ◇ Maça kalıplama
- ◇ Atmosferde kendiliğinden sertleşen kalıplama
- ◇ Vakumlu kalıplama

3. Kum Kalıplama

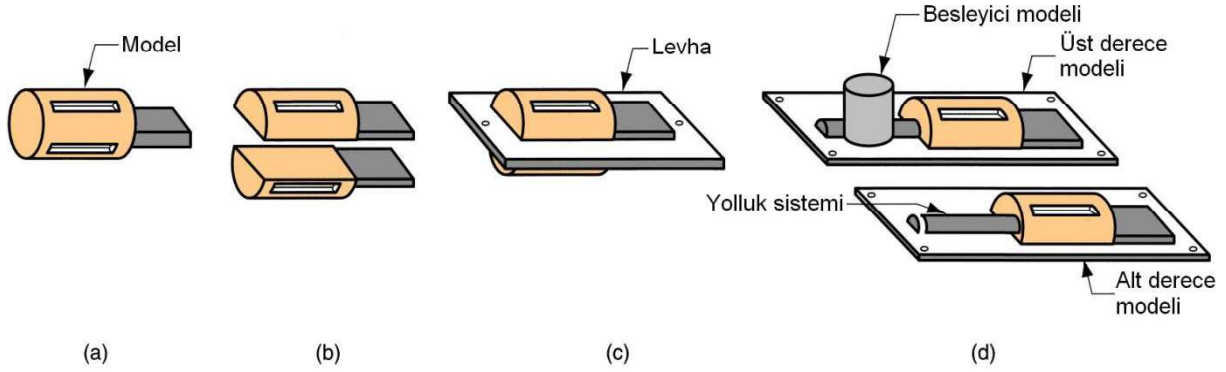
3.1.Kalıp Bileşenleri

3.1.1. Modeller

Dökümden sonraki soğuma esnasında meydana gelen büzülme ve işleme toleranslarını hesaba katmak için hafifçe büyütülmüş, parçanın şekli ile aynı, 3 boyutlu bir model gereklidir

Model malzemeleri:

- Ahşap – işleme kolaylığı nedeniyle en yaygın malzeme, ancak deforme olabilir
- Metal – yapması daha pahalı, ancak daha uzun ömürlü
- Plastik – ahşap ve metal arasında özelliklere sahip



Kum dökümünde kullanılan model türleri:

- (a) Serbest model
- (b) Ayrık serbest model
- (c) Çift taraflı Levhalı model
- (d) Tek taraflı Levhalı modelleri

Bazı döküm malzemelerinin yaklaşık çekme payları

DÖKÜM MALZEMESİ	ÇEKME PAYI (MM/M)
Kır dökme demir	10
Beyaz dökme demir	20
Temper dökme demir	15
Basit karbonlu çelik	23
Mangan çeliği	30
Aluminyum alaşımları	15
Bakır alaşımları	17
Magnezyum alaşımları	15
Kurşun	26
Çinko	14

3.1.2. Maça

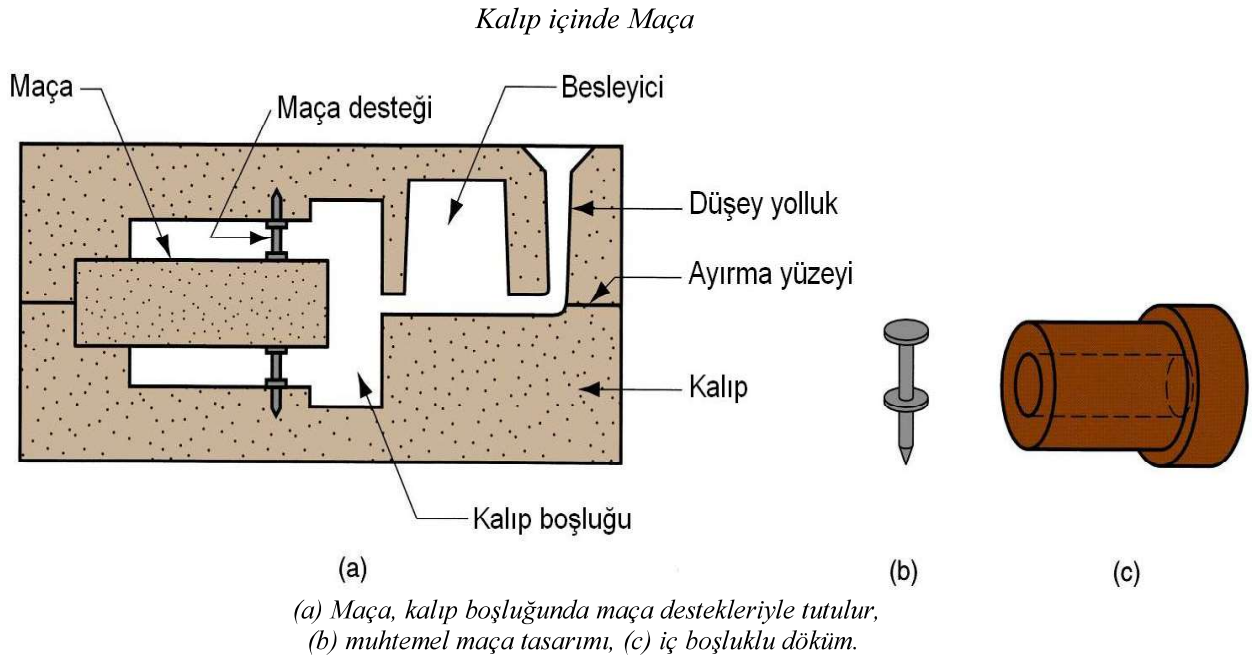
*Kum esaslı maçalar

- Yaş kum,
- Kuru kum,
- Kabuk (shell),
- CO₂ yöntemi ile üretilen ve
- Bağlayıcılı maçalar

**Bağlayıcılar

- Organik bağlayıcılar
 - Reçine
 - Maça yağı
 - Tahıl unları (Mısır unu, nişasta, vs.)
- İnorganik bağlayıcılar
 - Kil
 - Sodyum silikat
 - Çimento, vb.

- Parçanın iç yüzeylerinin tam ölçekli modeli dökmeden önce kalıp boşluğuna yerleştirilir
- Sıvı metal, dökümün iç ve dış yüzeylerini oluşturmak üzere, kalıp cidarı ile maça arasına akar ve katılaşır
- Dökme sırasında konumunun bozulmaması için maça desteği denilen parçalar gerekebilir.
- Sadece iç boşluk oluşturmak için değil, kalıbın dayanım yönünden zayıf bölgeleri ile kalıplama zorluğu olan girinti ve çıkıntılı kısımlarda da maça kullanılır. Maçalar daha fazla bağlayıcı ile ve pişirme işlemi uygulanarak üretildiklerinden daha dayanıklıdır.



3.1.3. Alt ve üst derece

Çeşitli malzemelerden üretilen, kalıbın alt ve üst parçalarını ayrı ayrı içine alarak kalıp kumu, model ve maçanın belli bir form almasını sağlayan çerçeveyi ifade eder.

3.1.4. Besleyici

Sıvı ve katılaşma çekmelerini beslemek için kalıba ilave edilen sıvı metal kütlesini ifade eder.

3.1.5. Çıkıcı

Döküm sırasında gazlarının kalıptan çıkışını sağlayan kanal sistemini ifade eder.

3.1.6. Elleçleme

Hammadde, malzeme, yarı mamul ve mamullerin belli kısıtlara göre ayrılarak istiflenmesi işlemini ifade eder.

3.1.7. Geri kazanım

Malzemeleri doğrudan veya işlemiden geçirdikten sonra tekrar kullanıma sunmayı ve ilgili süreçleri yönetmeyi ifade eder.

3.1.8. İşkence

İki parçayı sıkıştırarak birbirine bağlamak amacıyla kullanılan mengene türü el aletini ifade eder.

3.1.9. Koller (mikser)

Kalıp kumlarını kullanıma hazır hale getirilmesi için karıştırma işlemlerinde kullanılan makineleri ifade eder.

3.1.10. Mala yüzeyi

Kalıbın ayrılma yüzeyini ifade eder.

3.1.11. Şiş çekmek

Döküm sırasında ve sonrasında, kalıpta meydana gelen gazların, kalıba zarar vermeksizin dışarı atılmalarını sağlamak amacıyla maça ve kalıp üzerinde hava kanalı açma işlemini ifade eder.

3.1.12. Takalamak

Kum kalıba döküm yönteminde, kalıpta çevresi kum ile sıkıştırılmış modelin kontrollü çekiç (metal, plastik, ağaç vb.) darbeleri ile kumdan ayırma işlemini ifade eder.

3.1.13. Yarı ürün

Belirli imalat aşamalarından geçmiş ancak üzerinde yapılması gereken işlemler henüz tamamlanmamış ürünü ifade eder.

3.1.14. Yolluk

Sıvı metalin kalıp boşluğunu uygun şekilde doldurulmasını sağlayan kanallar sistemini ifade eder.

3.1.15. Kalıp kumu

Kalıcı olmayan kum kalıba döküm yönteminde kalıpları üretmek için kullanılan refrakter özellikli kum (silis, olivin, zirkon ve kromit vb.) ve bağlayıcı karışımını ifade eder.

Kalıp kumu 3 bileşenden meydana gelir:

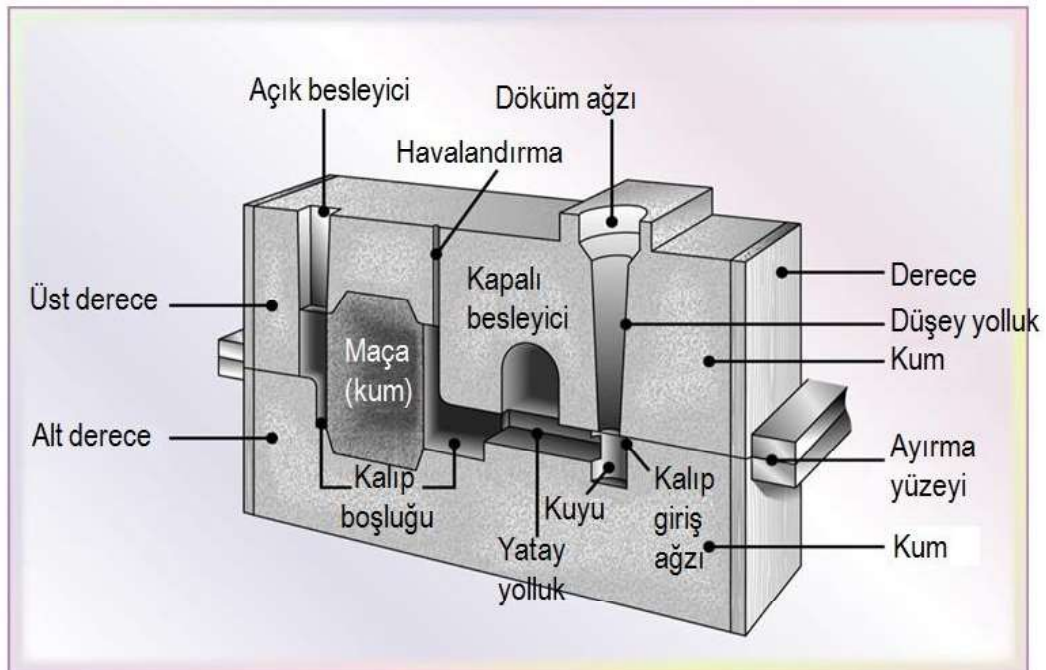
- Kum tanecikleri,
- Bağlayıcı ve
- Nem

Kum Kalıplar ve Kum Maçalardan Beklenen Özellikler

- **Dayanım** - şeklini koruması ve sıvı metal erozyonuna direnmesi için-kum tane yapısı-bağlayıcı tipi ve miktarı vs
- **Geçirgenlik** - sıcak hava ve gazların, kumdaki boşluklardan geçerek kalıp boşluğunu kolayca terketmesine izin vermek-bağlayıcı-nem mik. tane yapısı
- **Isıl kararlılık** - kalıp cidarlarının sıvı metalle temasta kırılmaya çatlamaya ve erimeye dayanması
- **Genleşme** - döküm parça kalıp içinde soğurken çatlamadan serbestçe büzülmesine izin verme kabiliyeti
- **Tekrar kullanılabilirlik** - bozulan kalıptan çıkan kumların diğer kalıpların yapımında kullanılabilirliği

Döküm Kumları

- Silika (SiO_2) veya diğer minerallerle karışmış silika
- Yüksek refrakter özellikler - yüksek sıcaklıklara dayanma kapasitesi, düşük ısı genleşme özelliği
- Küçük tane boyutları, döküm parça üzerinde daha düzgün yüzey oluşturur
- Büyük tane boyutları, döküm sırasında gazların geçişine izin vererek, daha iyi geçirgenlik gösterir
- Yuvarlak tanelere göre düzensiz tane boyutları, ara kilitlenmeler sayesinde kalıbın dayanımını yükseltir
 - Zayıflığı: ara kilitlenmeler, geçirgenliği düşürür
 - Kumun tane biçimi, tane büyüklüğü ve dağılımı, geçirgenlik ve dayanımı belirler



Döküm Kumlarıyla Kullanılan Bağlayıcılar

- Kum, su ve bağlayıcı kil karışımıyla birarada tutulur

- Tipik karışım: % 90% kum, % 3% su ve % 7 kil
- Diğer bağlayıcılar da kum kalıplarda kullanılır:
 - Organik reçineler (örn. Fenolik reçineler)
 - İnorganik bağlayıcılar (örn. sodyum silikat ve fosfat)
- Dayanımı ve/veya geçirgenliği dışındaki özellikleri arttırmak için bazen karışıma katkılar ilave edilir, kömür tozu, kağıt talaşı, katran vb

Kum Kalıp Türleri

- Yaş-kum kalıpları – kum, kil ve su karışımı;
“Yaş” terimi, döküm sırasında nem içermesi anlamındadır. Nem dökümde geçirgenliği kötüleştirerek ve ilave buhar oluşumuna neden olduğundan birtakım sorunlara neden olur (porozite)

- Kuru-kum kalıp – 350-400°C de bir fırında kurutulduktan sonra döküme geçilir. Yaş kum kalıplardaki nemin olumsuzlukları ortadan kalkar.
- Kuru kabuk kalıp – üfleç veya ısıtıcı lambalar kullanarak, yaş kum kalıbın yüzeyinden 10-25 mm derinliği kurutmak
- Döküm sırasında dökümün hatalı olmasına neden olabilecek şekilde, sıvı metalin kaldırma kuvveti, maçaları yerinden oynatabilir
- Maçayı kaldırmaya çalışan kuvvet = Yer değiştiren sıvının ağırlığı - maçanın kendi ağırlığı

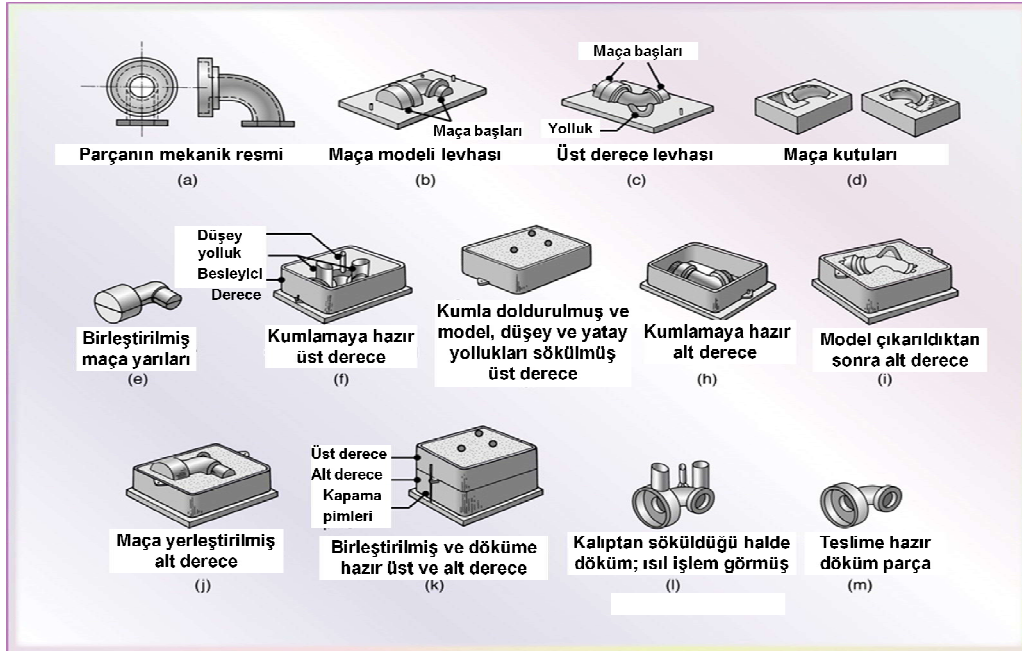
$$F_b = W_m - W_c$$

F_b = yüzdürme kuvveti;

W_m = yer değiştiren erimiş metal ağırlığı; ve

W_c = maça ağırlığı

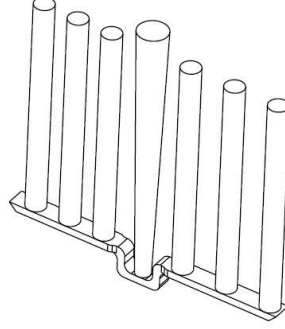
Maça başı dizaynı, maça destekleri kullanımı ile maça yüzmesi önlenmeye çalışılır.



4. Deneyin yapılışı

Deneyde, aşağıda şekli verilen altılı çekme çubuğu numunesinin kum kalıp modeli kullanılmıştır. Dikey kalıplama prensibine göre hazırlanmış modelin CO₂ ile sertleştirilmek üzere kum ve reçine ile

kalıbı hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıplar dikey konuma getirilerek işkenceler yardımıyla döküm yapılmak üzere uygun konuma getirilmiştir.



Kum kalıbı hazırlanan model

Kaynaklar:

1. *Aran, A., Döküm Teknolojisi İmal Usülleri Ders Notları, İTÜ, İstanbul, 2007*
2. *Kalem, V., Döküm Prensipleri ve Tekniği Ders Notları, Selçuk Üniv., Konya, 2012*
3. *Sönmez, H., Kalıplama Yöntemleri, Y.T.Ü., İstanbul, 1991*
4. *Bozulabilir Döküm Kalıpcısı Ulusal Meslek Standardı, Ankara, 2012*
5. *Gürdrama, S., İmalat Bilgisi Ders Notları, Sakarya Üniv., Sakarya*
6. *Gülmez, T., İmal Usülleri Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul*
7. *İstanbul Üniversitesi Deney Föyü, İstanbul*

T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

LABORATUAR-II DERSİ

DÖKÜM DENEYİ

2018-2019 Bahar Yarıyılı

DENEY 2: KUM VE METAL KALIBA DÖKÜM DENEYİ

1. Amaç:

Kum ve Metal Kalıba Döküm Deneyi

2. Teorik Bilgi

2.1. Dökümün Tanımı ve Avantajları

Döküm yöntemi , sıvı halde akıcı olan metallerin , üretilmek istenen parçanın biçiminde bir boşluk içeren kalıplara dökülerek biçimlendirildiği bir yapım tekniğidir. Sıvı metalin içine döküldüğü kalıp olarak her dökülen parçadan sonra bozulan (örneğin kum) kalıplardan yararlanıldığı gibi , birden fazla parçanın üretimine imkan veren kalıcı (örneğin metal) kalıplar da kullanılabilir. Metalin katılaşmasından sonra kum kalıplar da kullanılabilir. Metalin katılaşmasından sonra kum kalıplar bozularak , kalıcı kalıplar ise açılarak dökülen parça çıkarılır.

Döküm yoluyla üretimin diğer yapım yöntemlerinden üstünlükleri şöyle sıralanabilir :

- Yöntemin sınırları çok geniş olup , hem çok küçük parçaların hem de tonlarca ağırlıktaki büyük parçaların üretimine uygun değişik teknikler bulunmaktadır.
- Çok karmaşık biçimli ve içi boş parçaların üretimi mümkündür.
- Bazı malzemeler (örneğin dökme demir) sadece döküm yoluyla elde edilebilir.
- Seri üretime uygun ekonomik bir yöntemdir.

Dökme metallerde bazı mühendislik özellikler daha iyi elde edilebilir. Bazıları şunlardır:

- a. Dökme demirde işlenebilme ve titreşime karşı koyma kabiliyeti yüksektir.
- b. Dökümde özellikler her yönde aynıdır.
- c. Bazı hafif metal alaşımlarında mukavemet ve hafiflik ancak dökümle sağlanır.
- d. Aşınmaya daha iyi özellikler dökümle elde edilebilir.
- e. Döküm ekonomik avantaj sağlar.

Döküm yönteminin sınırları ise şunlardır :

- a. Çok ince kesitlerin elde edilmesi güçtür.
- b. Az sayıda parça üretimi için genellikle ekonomik değildir.
- c. Aynı malzemenin plastik şekil verme yöntemi ile elde edilmiş olanı , dayanım bakımından genellikle daha üstündür.

Kalıp malzemeleri , kalıplama yöntemleri , ergitme ocakları , döküm malzemeleri gibi alanlarda sürekli geliştirilen döküm teknolojisi , günümüzde yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemi haline gelmiştir.

Döküm yoluyla biçimlendirilen metallerin en önemlileri kır dökme demir , temper dökme demir , beyaz dökme demir , çelik , bakır ve alüminyum alaşımlarıdır. Günümüzün dökümhaneleri mekanizasyon ve otomasyon yöntemlerinin yaygın olarak uygulandığı modern üretim tesisleridir.

2.2. Döküm Usulleri

Döküm, kalıp için kullanılan malzeme ve ergimiş metalin kalıp içerisinde sevk edilme şekline göre sınıflandırılabilir. Buna göre döküm usulleri aşağıdaki gibidir.

1. Kum kalıba döküm
2. Kokil kalıba döküm
3. Basınçlı döküm
4. Hassas döküm
5. Savurma döküm
6. Alçı kalıba döküm
7. Seramik kalıba döküm
8. Dolu kalıba döküm

2.3. Kum Kalıba Döküm

Kum dökümü, kum kalıplara yapılan ve en çok kullanılan döküm usulüdür. Kalıplama işleminin ekonomik olması ve farklı ağırlıktaki parçaların dökülebilmesi sebebiyle tercih edilmektedir. Kum kalıp metodunun esası, üretilecek parçanın şeklinde olan model vasıtasıyla kum sıkıştırılarak oluşturulan kalıp boşluğu içerisine ergitilmiş metalin yolluklardan doldurulmasından ibarettir.

Kalıplamada kullanılacak model, daha önce de belirtildiği gibi tek parçalı, çok parçalı, yolluklu veya levhalı tipte olabilir. Tek parçalı modellerle kalıplamada yolluk ve çıkıcılar model üzerinde bulunmaz, elle veya mala ile kalıp üzerinde yapılırlar. Ayrıca, tek parçalı modeller makine ile kalıplamaya elverişli değildir. Yolluklu modeller, tek ve çok parçalı modellere göre kalıplama yönünden daha pratiktir. Modellerin imalatında çekme ve işleme payları, boyut toleransları, koniklik düzenlemeleri göz önüne alınmalıdır.

Kum dökümde kullanılan modeller genel olarak ağaç malzemeden yapılır.

Seri imalatla döküm parça modelinin uzun müddet devam edecek kalıplama işlemine dayanması icap eder. Bu sebepten, böyle hallerde modeller metalden yapılır.

Büyük, fakat az sayıda dökülecek iş parçaları için ağaç malzemeden ucuz olan seramik malzemeler kullanılır. Mühendislik özellikleri aranmayan heykel ve süs eşyası gibi parçaların dökümünde, genel olarak alçı modeller tercih edilir.

2.4. Kum Dökümünde Kalıplama Yöntemleri

- ◇ Yaş kum kalıplama
- ◇ Kuru kum kalıplama
- ◇ Toprak kalıplama
- ◇ Çukur kalıplama
- ◇ CO₂ kalıplama
- ◇ Kabuk kalıplama
- ◇ Çimentolu kalıplama
- ◇ Maça kalıplama
- ◇ Atmosferde kendiliğinden sertleşen kalıplama
- ◇ Vakumlu kalıplama

2.5. Kokil Döküm

Kalıp malzemesi olarak çelik veya dökme demirin kullanıldığı döküm usulüne kokil döküm adı verilir. Kum kalıplarda bir defa döküm yapıldıktan sonra kalıp bozulmakta veya kumun kalıplama özelliği kaybolmaktadır. Metal kalıplarda ise, binlerce döküm yapılabilir. Kokil döküm için hazırlanacak kalıp maliyeti kum kalıba göre çok yüksektir. Fakat kokil döküm kalıpları çok sayıda döküm için kullanıldığından ekonomik olmaktadır.

Metalsel kalıbın ısı iletkenliği kum kalıba göre yüksek olduğundan, dökülen metal hemen soğur ve kendini çekme sebebiyle kalıba yapışmaz. Metalin kalıba yapışma ihtimalini azaltmak için, grafit veya kil ihtiva eden bir sıvı kalıp cidarlarına püskürtülür veya sürülür. Bu malzeme sıcak metal ile temas ettiği zaman, gaz haline geçerek yapışmayı önler. Kokil ve kum döküm ile elde edilen döküm parçaları mukayese ettiğimizde, kokil döküm parçaları aşağıdaki üstünlüklere sahip olduklarını görürüz.

- a) İş parçasının yüzeyi daha düzgün olup, talaş kaldırmayı dahi gerektirmez.
- b) Mekanik özellikler daha yüksektir.
- c) Toleranslar daha dar tutabilir ve boyutları daha hassas parçalar elde edilir.
- d) Temizleme masrafı daha azdır.
- e) Karmaşık şekilli parçalar kolaylıkla dökülebilirler.

Yukarıda sayılan avantajlara rağmen kokil dökümün tatbikini sınırlayan bazı haller mevcuttur. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Bir boyut sınırlaması olmamasına rağmen kokil döküm genellikle çok ufak boyutlu parçalara tatbik edilir.
- b) Bütün alaşımlar metal kalıpta döküme elverişli değildir. Metal kalıpta alüminyum, bakır, magnezyum, çinko esaslı alaşımlar ve ötekoit-üstü gri dökme demir dökülebilir.
- c) Az sayıda parça için çok pahalı hale gelir.
- d) Kalıptan çıkarma zorlukları sebebiyle, bazı parçaların dökümü imkansızdır.

Metal kalıp yüksek ergime sıcaklıkları sebebiyle, çelik malzemeden yapılacak malzemelerin dökümü için uygun olmamaktadır. Ayrıca dökülecek malzeme cinsine göre metal kalıp ömrü değişmektedir. Bunun sebebi malzemelerin ergime sıcaklıklarının farklı olmasıdır.

2.6. Basınçlı Döküm (Püskürtme döküm)

Sıvı metalin basınç altında metal kalıba doldurulmasıyla elde edilen dökme işlemidir. Bu döküm usulünün kokil dökümden farkı, sıvı metalin kalıba basınçla sevk edilmesidir. Her iki usulde de metalik kalıp kullanılmaktadır. Püskürtme dökümde basınç kullanılması sebebiyle, yüksek hızda sıvı metalin kalıba çık hızlı bir şekilde doldurulması sağlanmış olur. Böylece çok karışık şekilli parçaların dökümü mümkün olur. Genellikle dökülecek malzemenin ergime sıcaklığı 1000°C'nin altındadır. Püskürtme döküm ile çok küçük ve hassas hepsi aynı özellikte ve seri halde parça dökülebilir. Kullanılan basınç 10-80 atmosfer arasındadır. Elde edilen parçalara genellikle talaşlı işleme uygulamaya lüzum kalmaz. Ayrıca parçaların yüzeyleri hızlı soğuma sebebiyle ince yapılı ve yüksek mukavemetlidir. Dökülecek malzemenin cinsine göre 5.000-100.000 adet döküm yapılabilir. Kalıplar karışık şekilli olduğundan pahalıdır. Bu sebepten dökümün ekonomik olabilmesi için dökülecek parça sayısının 5.000 den az olmaması lazımdır. Püskürtme dökümde, dökülecek malzeme kalıp malzemesine zarar vermemelidir. Kurşun, kalay, çinko, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının bu usul ile dökümü yapılabilir.

Püskürtme dökümde kalıp malzemesi olarak dökme demir, karbonlu çelik, alaşımlı çelik ve bazen de demir dışı malzemeler kullanılabilir. Döküm sıcaklığı düşük alaşımlar için karbonlu çelik, yüksek alaşımlar için ise alaşımlı çelik kalıplar kullanılır.

Ergimiş metalin kalıba sevk edilmesi pistonlu püskürtme makineleri veya basınçlı hava püskürtme makineleriyle gerçekleştirilir. Kalay, kurşun ve çinko gibi düşük sıcaklıkta ergiyen alaşımlar için pistonlu püskürtme makineleri kullanılır. Çoğunlukla mazotla ısıtılan alaşım, piston ve kanallar vasıtasıyla kalıba gönderilir. Basınçlı hava püskürtme döküm makineleri, alüminyum ve bakır alaşımları gibi oldukça yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemeler için kullanılır. Bu makinelerde pistonun vazifesini hava yapmaktadır. Piston kullanılırsa, yüksek sıcaklığın tesiri ile piston silindire kaynar ve demirden yapılan piston alüminyumun kimyasal etkisi altında kalır.

2.7. Düşük Basınçlı döküm

Bu yöntemde, küçük parçalar için endüksiyon fırınında eritilen metale, basınç altında soygaz uygulanmasıyla kalıp boşluğunun sıvı metal tarafından dolması sağlanır.

2.8. Savurma (Merkezkaç) Döküm

Merkezkaç döküm de denilen bu usulde, ergimiş malzeme dönel bir hareket ile şekillendirilir. Genel olarak diğer döküm usullerinde ergimiş metal yerçekiminin etkisi altında da kalmaktadır. Döküm sırasında kalıp dönel bir hareket yapmaktadır. Kalıp eksenli düşey ve yatay olabilir. Buna göre, yatay eksenli ve düşey eksenli döküm adını alır. Savurma döküm sayesinde boru, halka gibi dönel şekilli parçalar maçasız olarak dökülebilir. Döküm kalıpları, metalden veya kalıp kumundan yapılabilir. Döküm esnasında merkezkaç kuvvetin tesiri ile

gazlar sıvı haldeki malzemeden kolayca atılır ve hatasız, yüksek mukavemetli bir döküm elde edilir. Merkezkaç kuvvetin gaz giderici ve temizleyici tesiri, devir sayısı arttıkça büyür.

Savurma dökümde maçıya gerek olmaması son zamanlarda bu usulle boru imalini yaygınlaştırmıştır.

Savurma dökümün avantajları şöyle sıralanır:

- ◇ Düşük yoğunluklu metalik olmayan enklüzyonlar iç yüzeye doğru taşınacağından, basit bir talaş kaldırma işlemi ile temiz bir döküm elde edilebilmesi,
- ◇ Yöntem oldukça yüksek bir döküm basıncı sağladığından ve dolayısıyla iyi beslenme nedeniyle dökümün sağlamlık derecesinin yüksek olması,
- ◇ Sıvı metalin kalıba yüksek hızla beslenebilmesinin döküm sıcaklığının ise gaz absorpsiyonunu azaltması ve tana boyutunun küçülmesine neden olması

2.9. Alçı Dökümü

Ana kalıplama malzemesinin alçı olduğu bir döküm usulüdür. Altın, gümüş, alüminyum, magnezyum, bakır gibi demir dışı metallerin dökülmesinde kullanılır. Boyut hassasiyetinin çok iyi, yüzeylerin düzgün olması ve çok detaylı parçaların dökülebilmesi bu usulün üstünlükleridir. Fakat kum kalıba göre pahalıdır. Ağır metal alaşımlarından 30 kg'a, alüminyumdan ise iki tona kadar ağırlıktaki parçalar bu usul ile dökülebilir. Kalıplama malzemesi olan alçı CaSO_4 olup, çeşitli oranlarda su ihtiva eder.

2.10. Kuyumcu (Hassas Döküm) Dökümü

Bu usüle, hassas ve prezisyon döküm de denir. Başlangıçta kuyumcu ve dişçiler tarafından kullanılmakta iken, daha sonraları küçük endüstriyel parçaların dökümünde de kullanılmıştır. Bu usulde evvela dökülecek parçanın mumdan bir modeli yapılır. Bu model üzerine yolluk ve çıkıcılar yerleştirilir. Daha sonra bu model sıvı haldeki seramik malzeme içerisine yerleştirilir ve seramik malzeme kalıp etrafında bir kabuk teşkil edecek şekilde katılaşması sağlanır. Bundan sonra içerisine mum model bulunan seramik kabuk ısıtılır. Böylece mum eriyerek dışarı akar ve seramik içerisinde dökülmesi istenilen parçanın şeklinde bir boşluk elde edilmiş olur. Ergitilmiş metal bu boşluğa dökülür ve katılaşmadan sonra seramik kalıp kırılarak parça çıkarılır. Son derece karışık parçalar temiz ve tam bir şekilde bu usulün tatbikiyle elde edilebilir. Bilhassa talaş kaldırılarak işlenmesi veya dövülebilmesi mümkün olmayan alaşımlardan yapılacak hassas parçalar bu usülle imal edilir. Ayrıca son derece karışık şekilli parçaların dökümü kolayca yapılabilir. Çünkü bu usulde koniklik verme mecburiyeti yoktur. Kuyumcu dökümde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, dökülecek metalin karakterine uygun seramik malzemenin ve bağlayıcının seçimidir. Bu dökümün avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- ◇ Konvensiyonel döküm yöntemleri ve makineyle işleme yolundan imali zor veya bazen imkansız olan kompleks şekilli parçaların kitle üretimi bu yöntemle mümkün olmaktadır.
- ◇ Diğer döküm yöntemlerine nazaran daha yüksek boyutsal hassasiyet daha düzgün yüzey ve ince detay kısımların daha hassas elde edilmesi imkanı verir.
- ◇ Yöntem ergitilip dökülebilen bütün metallere uygulanabilir.
- ◇ 25 kg ağırlığına kadar dökümler ve bazen de 400 kg ' a kadar parçalar bu yöntemle üretilebilir.

- ◇ Hassas döküm yolu ile elde edilen parçaları hemen hemen hiç ilave iş gerektirmemesi, < kolay işlenebilir metal seçimi > faktörünü ortadan kaldırmaktadır.

2.11. Sürekli Döküm

Sürekli döküm usulü, ergimiş metalin su ile soğutulan, iki ucu açık bir kalıptan geçirilerek katı hale dönüştürülmesi metodudur. Genellikle şekilsiz veya az şekilli uzun parçaların dökümü yapılmaktadır. Daha çok düşük ergime sıcaklıklı malzemeler ve bakır alaşımlarına tatbik edilir.

Sürekli döküm sayesinde aşağıdaki üstünlükler sağlanmaktadır :

- ◇ Düzgün olmayan teşekküller ve bozulmalar önlenmektedir.
- ◇ Randıman %100 ‘ dür.
- ◇ Ingotlara göre daha düzgün bir yüzey elde edilmektedir.
- ◇ Segregasyonların azalması sebebiyle, yüksek kalitede malzeme elde edilmektedir.
- ◇ Soğutma hızı kontrol edilerek, tane büyüklüğü ve yapının ayarlanma imkanı vardır.
- ◇ İşlem ekonomiktir.

2.12. Demir Dökümü

Dökme demir genel olarak demir, karbon, mangan, kükürt ve fosfor ihtiva eden bir demir-karbon alaşımıdır. Bazı hallerde dökme demir içerisindeki Ni, Cr, Mo, Ti, Al ve Cu gibi elementler de kullanılabilir. Dökme demirlerin çok geniş bir aralıkta değişen mukavemet, sertlik, korozyon direnci, kolay işlenebilme, aşınmaya dayanıklılık ve titreşimleri yutma gibi özellikleri vardır. Bu özellikler dökme demirlere çok geniş bir kullanma alanı açmıştır.

2.13. Döküme Uygun Parça Tasarımı

Bir parçanın döküm yöntemiyle imali kararlaştırıldıktan sonra, parçanın geometrik şeklinin, malzemesinin ve taşıyacağı zorlama seviyesinin, hangi döküm yöntemine uygun olduğunun belirlenmesi gerekir. Her parça, her döküm yöntemiyle imal edilemez. Çok karışık bir şekle sahip parça ile basit bir şekle sahip parçanın aynı döküm yöntemiyle imal edilmesi, hem imalat tekniği açısından ve hem de ekonomiklik açısından uygun değildir.

Bir parçanın belirli bir döküm yöntemine uygun olup olmadığına karar verilebilmesi için, parçanın aşağıdaki kriterler bakımından incelenmesi gerekir.

- ◇ Zorlamalar
- ◇ Malzeme
- ◇ Enerji
- ◇ Süre
- ◇ Maliyet

Döküm parçalarının tasarımı, genel imalat tekniği prensipleri yanında, özel döküm tekniği prensiplerinin de göz önünde tutulması gerekir.

Döküm parçalarının tasarımında, muhtemel problemleri en aza indirmeye yönelik beş tasarım kural aşağıda verilmiştir.

1. Doldurma işleminin, türbülans oluşturmeyecek şekilde yapılması ve döküm sırasında oluşan gazların ve havanın kalıptan tam olarak çıkması sağlanmalıdır.
2. Parçanın her tarafının mümkün olduğunca aynı hızla soğuması ve katılaşması sağlanmalıdır.
3. Bükmeyi sınırlayıcı nedenler en aza indirilmelidir.
4. Döküm kalıbının şekli, mümkün olduğu kadar basit olmalıdır.
5. Sonradan kesilerek uzaklaştırılmaları gereken yolluk, çıkıcı ve besleyici gibi döküm çapakları, kolayca ulaşılabilecek şekilde yerleştirilmelidir.

Başlıca Döküm Alaşımları

Alaşım Grubu	Ana Alaşım Tipleri	Önemli Bazı Alaşım Elementleri
Dökme Demirler	Gri Dökme Demir Temper Dökme Demir Küresel Grafitli Dökme Demir	C, Si, P, Ni, Cr
Çelikler	Karbon çelikleri ve az alaşımlı çelikler Yüksek alaşımlı çelikler (Paslanmaz, ısıya dayanıklı)	C, Mn Cr, Ni, Mo
Bakır esaslı alaşımlar	Pirinçler (Yüksek mukavemetli pirinçler) Çeşitli Bronzlar (Al ve Si bronzları)	Zn, Sn, P Pb, Ni, Al, Fe, Mn, Si
Alüminyum esaslı alaşımlar	Kum kalıba, metal kalıba ve basınçlı döküme uygun alaşımlar	Si, Cu, Mg, Mn, Zn, Ni
Magnezyum esaslı alaşımlar	Kum kalıba, metal kalıba ve basınçlı döküme uygun alaşımlar.	Al, Zn, Zr, Mn ve Nadir Toprak elementleri
Çinko esaslı alaşımlar	Basınçlı döküme uygun alaşımlar	Al, Mg, Cu
Nikel esaslı alaşımlar	Yüksek sıcaklığa dayanıklı korozyon direnci yüksek alaşımlar	
Diğerleri	Kurşun ve Kalay esaslı alaşımlar (özellikle yatak alaşımları) Isı, korozyon ve aşınma direnci için kobalt esaslı alaşımlar Daimi mıknatıs alaşımları Diğer yüksek sıcaklık ve korozyon direnci gösteren alaşımlar	Sn, Pb, Sb, Cu Cr, Ni, Mo, Co, W, Nb Fe, Co, Ni, Al Ti, Cr, Mo

3. Deneyin Yapılışı

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

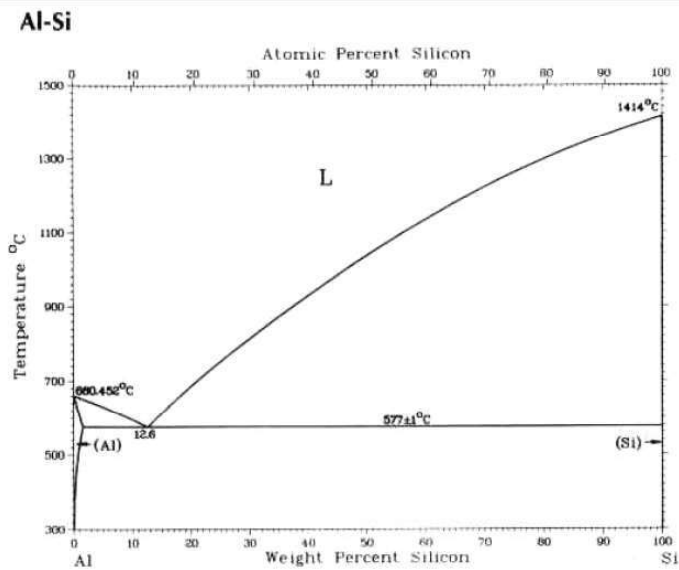
Deney Al-Si alaşımlarından aşağıda bileşimi verilen Al₁₂Si ötektik alaşımı ile yapılmıştır. Deney Kum ve Metal kalıba döküm yöntemleri kullanılmıştır.

Element	Oran (%)
Al	84,05
Si	11,99
Cu	1,055
Ni	0,9954
Mg	0,9646
Fe	0,632
Zn	0,1141
Mn	0,1123
Ti	0,0595
Cr	0,0271

3.2. Alaşım Hazırlama

Al-Si denge diyagramına göre deneyde kullanılan alaşım ötektik alaşıma sahiptir ve ergime derecesi yaklaşık 577 °C civarındadır. Ergitilecek alaşım SiC pota içerisine yerleştirilir ve 600 °C sıcaklığın üzerinde bir sıcaklığa ısıtılır.

Alüminyum alaşımlarında gaz gidermede kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Dökümhane uygulamalarında en çok kullanılan yöntem heksakloreten (C₂Cl₆) tabletlerinin kullanımıdır. Bu tabletler ergimiş alüminyum içerisinde çözünerek AlCl₃ gazını oluşturur. AlCl₃ gaz taneciklerinin ergimiş alüminyum içerisinde yükselirken alüminyum içerisindeki hidrojen gazını toplar ve bunları metal yüzeyinde serbest hale geçirir.



Al-Si denge diyagramı

3.3. Döküm İşlemleri

Döküm işlemleri daha önceden hazırlanmış olan dikey çekme çubuğu kum ve kokil kalıplarına yapılmıştır. Elektrikli direnç ocağında ergitilen alaşım fırından çıkarılarak üzerine bir miktar gaz giderici konulmuş ve sıvı metal bir grafit çubuk ile karıştırılmıştır. Oluşan cüruf bir kaşık ile metal yüzeyinden toplanarak döküm işlemine geçilmiştir.

Kaynaklar:

1. *Aran, A., Döküm Teknolojisi İmal Usülleri Ders Notları, İTÜ, İstanbul, 2007*
2. *Kalem, V., Döküm Prensipleri ve Tekniği Ders Notları, Selçuk Univ., Konya, 2012*
3. *Sönmez, H., Kalıplama Yöntemleri, Y.T.Ü., İstanbul, 1991*
4. *Bozulabilir Döküm Kalıpçısı Ulusal Meslek Standardı, Ankara, 2012*
5. *Gürdrama, S., İmalat Bilgisi Ders Notları, Sakarya Univ., Sakarya*
6. *Gülmez, T., İmal Usülleri Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul*
7. *İstanbul Üniversitesi Deney Föyü, İstanbul*