



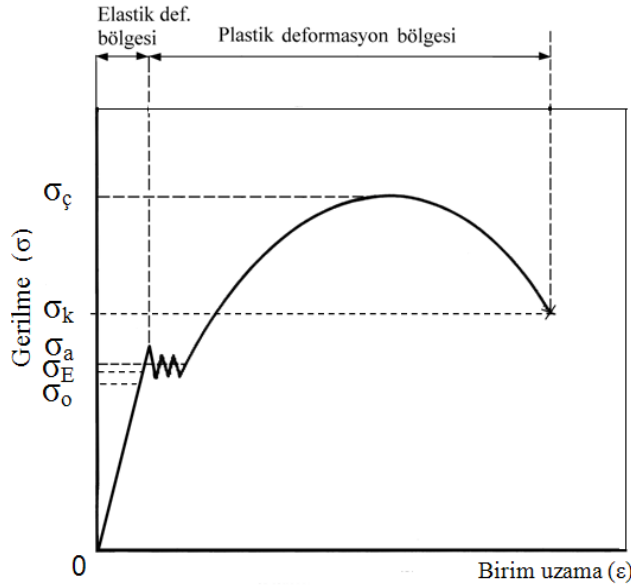
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

DENEYİN ADI: Çekme Deneyi

DENEYİN AMACI: Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi, mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması ve malzeme seçimi amacıyla yapılır. Bu deneyde standard çekme numunelerinin mukavemet değerleri ölçülür. Elde edilen değerler karşılaştırılarak, malzemelerin mekanik özellikleri değerlendirilir.

TEORİK BİLGİ: Bu deney sonucunda, kuvvet (F)-uzama (Δl) eğrisi elde edilir. Ancak bu eğri ile birlikte kullanılan numunenin boyutlarını da vermek gerekir. Bu nedenle, bu eğri yerine daha evrensel olan gerilme-şekil değiştirme (birim uzama) eğrisi kullanılır. Gerilme-birim uzama eğrisine çekme diyagramı adı verilir. Şekil 1’de normalize edilmiş durumdaki az (düşük) karbonlu bir çeliğin gerilme-birim uzama eğrisi verilmiştir (σ - ϵ eğrisi, $\epsilon = \Delta l/l_0$).



Şekil 1. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı.

Çekme deneyi sonucunda malzemenin orantı sınırı, elastiklik sınırı, akma sınırı ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk ve süneklik değerleri belirlenir. Malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlı olan bu özellikler aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

a) Orantı sınırı (σ_0): Gerilme-birim uzama diyagramında Hooke yasasının, yani $\sigma = E \cdot \epsilon$ bağıntısının geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlayan gerilme değeridir. Bu bağıntıdaki orantı



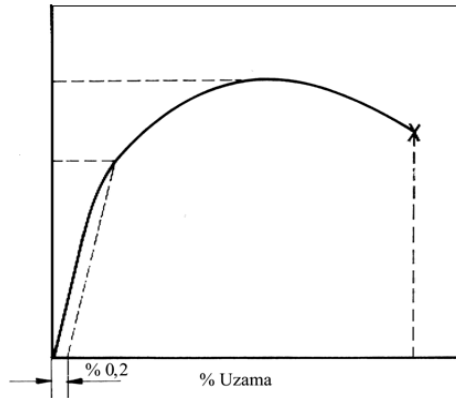
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

katsayısına (E) elastiklik modülü denir ve bu katsayı çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan doğrunun eğimini gösterir. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, o malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o ölçüde büyük olur.

b) Elastiklik sınırı (σ_E): Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin meydana geldiği en yüksek gerilme değeridir. Genellikle, elastiklik sınırı oranlı sınırına eşit kabul edilir. Pratikte σ_e yerine %0,01 veya %0,005'lik plastik uzamaya karşı gelen gerilme (%0,01 veya %0,005) değerleri alınır.

c) 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). Bu değer akma kuvvetinin (F_a) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle ($\sigma_a = F_a/A_0$) bulunur. Düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler, deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler. Malzemelerin belirgin akma göstermemesi durumunda, genelde %0,2'lik plastik uzamaya ($\epsilon_{\text{plastik}} = 0,002$) karşı gelen çekme gerilmesi akma sınırı veya akma dayanımı olarak alınır (Off-set kuralı). Şekil 2'de belirgin akma göstermeyen bir malzemenin çekme diyagramı ile bu malzemenin akma dayanımının nasıl belirlendiği görülmektedir.



Şekil 2. Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram.

d) Çekme dayanımı (σ_{ϵ}): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, $\sigma_{\epsilon} = F_{\text{maks}}/A_0$ formülü ile bulunur. Burada F_{maks} malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti, A_0 ise malzemenin ilk kesit alanını gösterir.

e) Kopma dayanımı (σ_k): Çekme deneyi esnasında, numune kesiti çekme kuvvetini artık karşılayamadığı anda kopma meydana gelir. Çekme diyagramı çiziminde kaydedilen bu son gerilme değerine, malzemenin kopma dayanımı adı verilir.

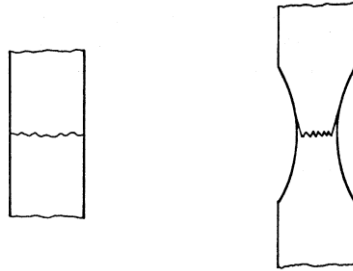


ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

f) 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; $KU (\%) = (\Delta l / l_0) \times 100$ bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir.

g) Kopma büzülmesi (KB): Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup, $KB (\%) = ((A_0 - A_k) / A_0) \times 100$ bağıntısı ile hesaplanır. Burada A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, A_k ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. Kopma büzülmesi, kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. Şekil 3'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.



(a) Gevrek malzemenin

(b) Sünek malzemenin

kırılması (büzülme yok)

kırılması (büzülme var)

Şekil 3. Gevrek ve sünek malzemelerin kırılma şekilleri.

h) Rezilyans: Malzemenin yalnız elastik şekil değiştirmesi için harcanan enerji veya elastik şekil değiştirme sırasında malzemenin depoladığı enerji demektir. Bu enerji, gerilme (σ)-birim uzama (ϵ) eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan ($\sigma_e \cdot \epsilon_{el} / 2$) ile belirlenir ve numune kırılınca geri verilir.

i) Tokluk: Malzemenin birim hacmi başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılincaya kadar enerji depolama veya soğurma yeteneğini gösterir.

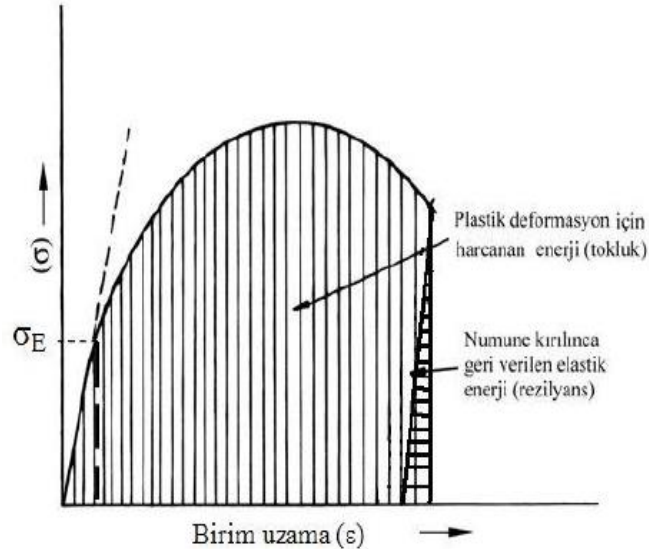
Tokluk, genellikle $\sigma - \epsilon$ eğrisinin altında kalan alanın $\left(\int_0^{\epsilon_k} \sigma \cdot d\epsilon \right)$ hesaplanması ile bulunur. Bu formüldeki ϵ_k malzemede kırılincaya kadar meydana gelen en yüksek veya toplam birim şekil



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

değiştirme miktarıdır. Tokluğun gerilme–birim uzama eğrisi yardımıyla belirlenişi Şekil 4’de gösterilmiştir.



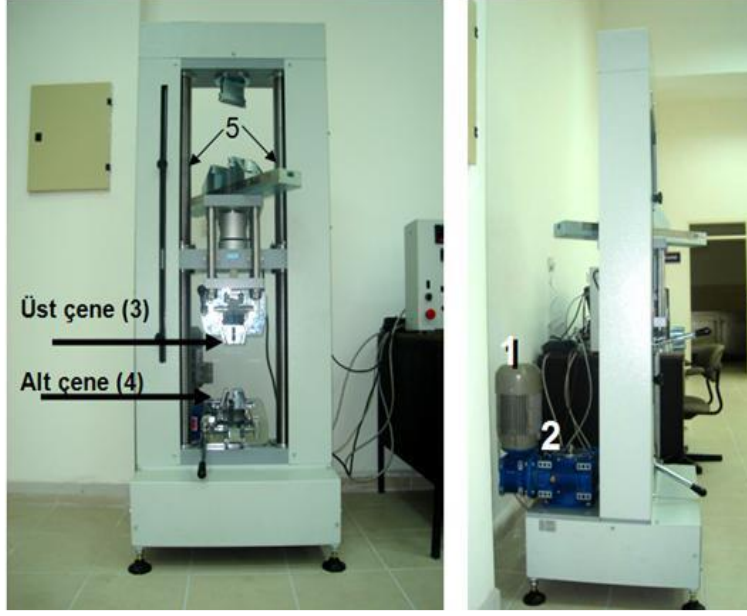
Şekil 4. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi.

DENEY DÜZENEGİ: Çekme deneyi, universal çekme test cihazlarında gerçekleştirilir. Bu cihazlarda çekme kuvveti, mekanik veya hidrolik güç aktarım organları vasıtası ile uygulanır. Şekil 5’de çekme deney düzeneği verilmiştir. Düzenek, genel olarak, elektrik motoru(1), redüktör(2), deney numunesini tutmayı sağlayan üst çene(3) ve alt çene(4) den ibarettir. Alt çene sabit (hareketsiz); üst çene ise yukarı/aşağı hareket edebilmektedir. Üst çenenin hareketi, sağ ve sol tarafta düşey konumlu simetrik iki adet sonsuz vida mekanizması (5) ile sağlanır. Bu hareket, elektrik motoru ile tahrik edilen dişli redüktörden vida mekanizmasına iletilen döndürme momenti ile gerçekleşir. Alt çene sabit olduğundan, üst çenenin yukarı hareketi ile çekme kuvveti, deney numunesine tatbik edilir. Deney esnasında, kuvvet değeri, yük hücresinden (load cell); uzama değeri ise; üst çenenin hareketini sağlayan vidanın adımına (hatve) göre ölçülür. Deney sırasında çekme numunesine sürekli olarak artan çekme kuvveti uygulanır ve kırılma anına kadar hem uygulanan kuvvet hem de numunede meydana gelen uzama, bilgisayara kaydedilir.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

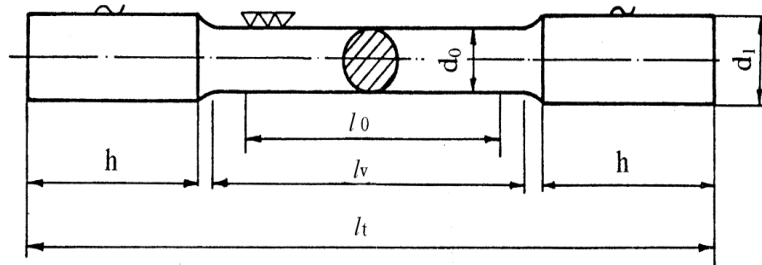


a) Ön görünüş

b) Yan görünüş

Şekil 5. Çekme/eğme deney düzeneği

DENEYİN YAPILIŞI: Çekme deneyinin yapılışı çeşitli standart ve kaynaklarda ayrıntılı biçimde verilmiştir. Numune tipi büyük ölçüde malzemenin biçimine göre seçilir. Çekme deney numuneleri, içi dolu çubuk, boru, profil, köşebent, levha veya inşaat demirinden ilgili standartlara göre talaşlı işleme ile hazırlanır. Şekil 6'da TS 138 A normuna göre hazırlanmış içi dolu, daire kesitli (yuvarlak) silindirik başlı bir çekme numunesi görülmektedir.



Şekil 6. Daire kesitli silindirik başlı çekme numunesi



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Bu şekilde d_0 numunenin çapını, d_1 baş kısmının çapını ($1,2d_0$), l_v inceltilmiş kısmın uzunluğunu ($l_0 + d_0$), l_0 ölçü uzunluğunu ($5d_0$), h baş kısmının uzunluğunu ve l_t numunenin toplam uzunluğunu göstermektedir. Çapı 10 mm ve ölçü uzunluğu 50 mm olan çekme numunesi 10 x 50 TS 138A şeklinde gösterilebilir. Deneyin yapılış aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Deney numunesi iki ucundan çenelere yerleştirilir.
- 2) Numunedeki esnekliği gidermek için 2-5 N civarı ön yük uygulanır.
- 3) Numunenin ilk ölçü boyu (gauge length) ve çapı kumpasla ölçülüp kaydedilir.
- 4) Çekme hızı istenen değere ayarlanır. (Genellikle 10 mm/dakika)
- 5) Gösterge ekranından okunan kuvvet ve uzama değerleri sıfırlanır.
- 6) Deney başlatılır ve numune kopuncaya kadar kuvvet-uzama değerleri kaydedilir.
- 7) Deney numunesi koptuktan sonra tekrar bir araya getirilerek, kopma uzunluğu ve kesit çapı kumpasla tekrar ölçülür.
- 8) Çekme diyagramı çizilir ve deney yorumlanır.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Deneyin Adı: Isıl İşlem

Deneyin Amacı: Çeliklerde ısıl işlem yoluyla mikroyapı ve mekanik özelliklerin değişiminin incelenmesi

Teorik Bilgi

➤ **Çeliklerin Isıl İşlemi**

Metal ve alaşımlarının, faz diyagramlarına bağlı olarak ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklara uygulanan farklı işlemlerle istenilen mekanik özellik ve içyapıların elde edilmesine ısıl işlem denir. Demir, titanyum, kobalt, krom ve zirkonyum gibi metallerde, farklı sıcaklıklarda farklı kristal yapıları görülür. Sıcaklığa bağlı olarak metalin kristal yapısının değişimine allotropi denilmektedir. Isıl işlemler ile malzemenin özelliğinin değiştirilmesinde allotropik özelliğin önemi büyüktür. Katı fazda çeliklere uygulanan ısıl işlemler ile geniş sınırlar içinde özellikler değiştirilmekte ve böylece çeliklerin kullanımları daha geniş bir sahaya yayılmaktadır. Bu durum, her şeyden önce demirin γ / α allotropik dönüşümü ile mümkündür. Bu nedenle, γ / α allotropik dönüşümü göstermeyen östenitik veya ferritik çeliklerde, normalleştirme (normalizasyon) veya sertleştirme gibi ısıl işlemler yapılamamaktadır. Çeliklere uygulanan bütün ısıl işlemlerde prensip olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir.

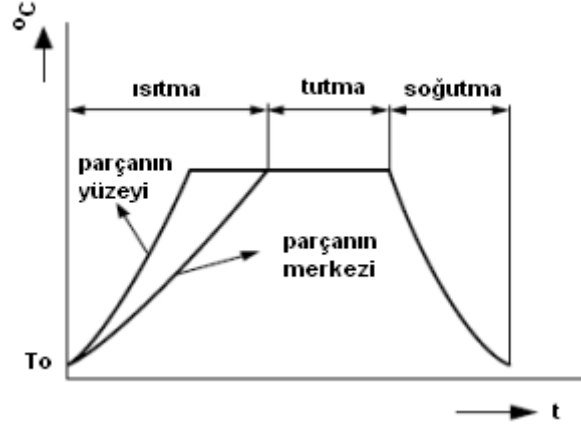
- Oda sıcaklığından tavlama sıcaklığına ısıtma: Isıtma hızı ve tavlama sıcaklığı malzemeden istenen özelliklere göre belirlenerek uygulanmaktadır.
- Bekletme: Gerçekleştirilecek ısıl işlemin amacına uygun bir süreç içinde malzeme bekletilerek tavllanır.
- Soğutma: Malzemeden istenen özellikleri sağlamak amacıyla, fırında, havada, yağda veya suda soğutma gerçekleştirilir. Ayrıca, amaca uygun olarak sürekli veya kademeli olarak soğutma işlemleri de yapılmaktadır.

Isıl işlemlerden beklenen özellikleri sağlayabilmek için, bekletme sıcaklığı (tav sıcaklığı) ve soğutma şekli birinci derecede önemli olan etkenlerdir. Çeliğin kullanım yerine, başka bir ifade ile çelikten istenen özelliklere bağlı olarak, tavlama sıcaklığında en uygun sürede bekletilen malzeme, durgun havada, yağda veya suda soğutulabilir.

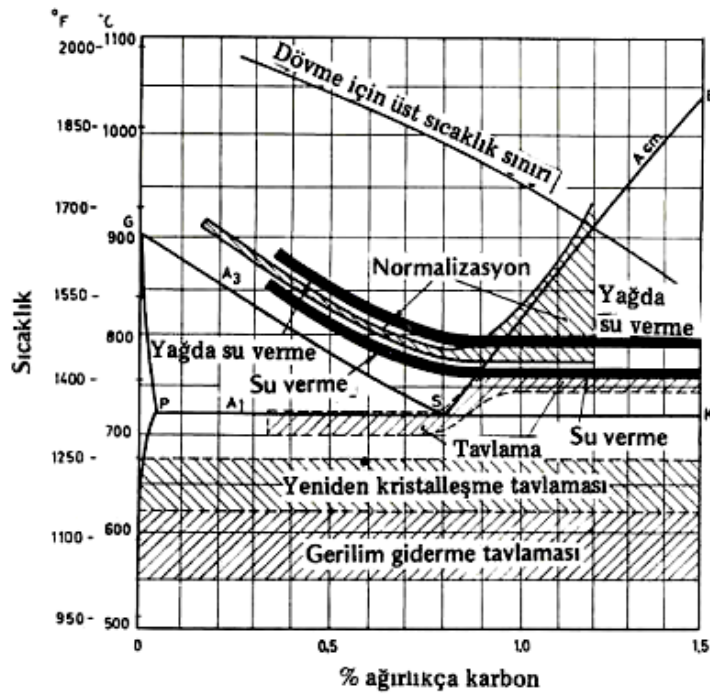


ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü



Şekil 1. Isıl işlem için uygulanan aşamalar; ısıtma, bekletme, soğutma



Şekil 2. Fe-C diyagramının çelik bölgesi ve uygulanan ısıt işlemlerin sıcaklık bölgeleri

➤ Karbonun Çeliğe Etkisi

Özellikle düşük karbonlu ve yumuşak çeliklerde karbonun α -demirinde sıcaklığa bağlı olarak çözünübilirliği büyük önem taşımaktadır. α -demiri 723 °C'de en fazla %0,02 si çözümlenebilmektedir. Karbon atomları, demir kafesinde demir atomlarının arasında bulunur. 700 °C'nin üzerindeki sıcaklıklardan hızlı soğutma gerçekleştirilirse, dengeli soğutma şartları bozulur



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

ve oda sıcaklığında ferrite %0,02 C karbon çözünür. Böylesi bir durumda oda sıcaklığında elde edilen doku, karbonca aşırı doymuş ve homojen ferrit kristallerinden oluşmaktadır.

PQ doyma eğrisi, aslında tipik ayrışma (çökelme-yaşlanma) sertleşmesi gösteren alaşımlar için karakteristiktir. Bu nedenle, %0,02C içeren bir çelik 700 °C'den suda ani soğutulur ve oda sıcaklığında bekletilirse, çeliğin sertliği, çekme dayanımı ve akma dayanımı zamana bağlı olarak artar. Bu mekanik özelliklerin artışına bağlı olarak da, uzama değeri, büzülme değeri, eğilebilirlik ve darbeye karşı dayanım değerleri düşer. Ani soğutulmuş ve böylece aşırı doymun faz olarak elde edilmiş ferritin dayanım değerlerindeki bu değişimin nedeni, soğutma sonrası dokunun dengede olmayışındandır. Böylesi denge dışı bir yapıya sahip olan dokuda, tekrar denge durumuna dönmek için demir kafeslerinde bulunan karbon atomları dislokasyon (aykırı yerleşim) bölgelerine yayılmaya başlarlar. Bu yayınma oda sıcaklığında gerçekleştiğinden, yayınma hızı oldukça düşüktür. Ani soğutmanın hemen sonrasında homojen yapıya sahip olan ferrit mikroskobik boyutta olmayan çökeltilerin oluşumu ile atomal ölçekte bozunmaya başlar. Buna bağlı olarak C atomlarının demir kafeslerinde gerçekleştirmiş olduğu iç gerilmeler, dayanım değerlerinin değişmesine yol açar. Ani soğutulmuş ve aşırı doymun olarak elde edilmiş ferrit yapısına sahip çeliğin, oda sıcaklığında bekletilmesi yerine, sıcaklık 50-200 °C aralığına yükseltirse, C atomlarının yayınma hızı artacağından, istenen dayanım değerlerine çok daha kısa sürede ulaşılır. Bu sıcaklık aralığında bekleme süresi, olması gereken zamandan daha uzun tutulursa, çekme dayanımı ve sertlik gibi mekanik özelliklerde ulaşılan maksimum değerlerde tekrar bir düşüş görülür. Bu değerlerin düşmesine bağlı olarak süneklikte ulaşılan minimum bir değerde de tekrar bir yükselme görülür. Aynı durum, seçilen sıcaklığın arttırılmasıyla da ortaya çıkar. Suda soğutulmuş yumuşak çeliğin özelliklerinin değişimi ani soğutma yaşlanması olarak adlandırılır.

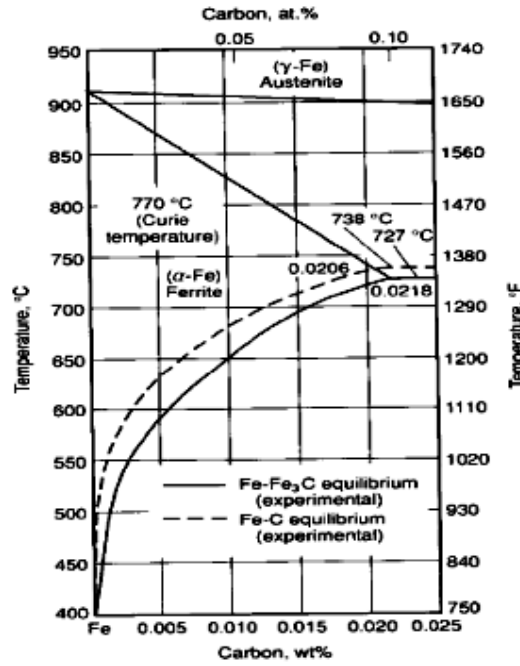
Ani soğutulmuş çelik oda sıcaklığında bekletilirse özelliklerin değişimi, doğal yaşlanma 50-200 °C gibi daha yüksek sıcaklıklarda bekletilirse özelliklerin değişimi, yapay yaşlanma olarak adlandırılır. Bir çeliğin yaşlanma işlemi ile değişen dokusu ve buna bağlı taşıdığı özellikler, teknikte çok fazla arzu edilmez. Çünkü; alaşım elementlerinin, çeliğin özelliklerinde sağladığı ve kontrol edilemez tarzda gerçekleştirdikleri değişimler söz konusudur. %0,02-0,3 C aralığında karbon içeren çeliklerin çok yavaş ve özellikle A₁ noktasında kademeli soğutma ile dejenere perlit dokusu elde edilir. Perlitin ferrit lamelleri mevcut birincil ferrit tanelerinde kristalleşirken, perlitin



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

sementit lamelleri de ferritlerin tane sınırlarında band formunda yer alırlar. Bu dokunun oluşumu ile çelik gevrekleşir. Çünkü; sünek ferrit kristalleri, daha gevrek seimentit kabuğu ile birbirinden ayrılmışlardır. Ferrit tane sınırlarında oluşan bu seimentit kabuğu çeliğin gevrekleşmesine yol açmaktadır.



Şekil 3. Fe-C faz diyagramında ötektoid altı çelik bölgesi, α -demirin karbonu çözündürebilirliği

➤ Martenzitik Dönüşüm

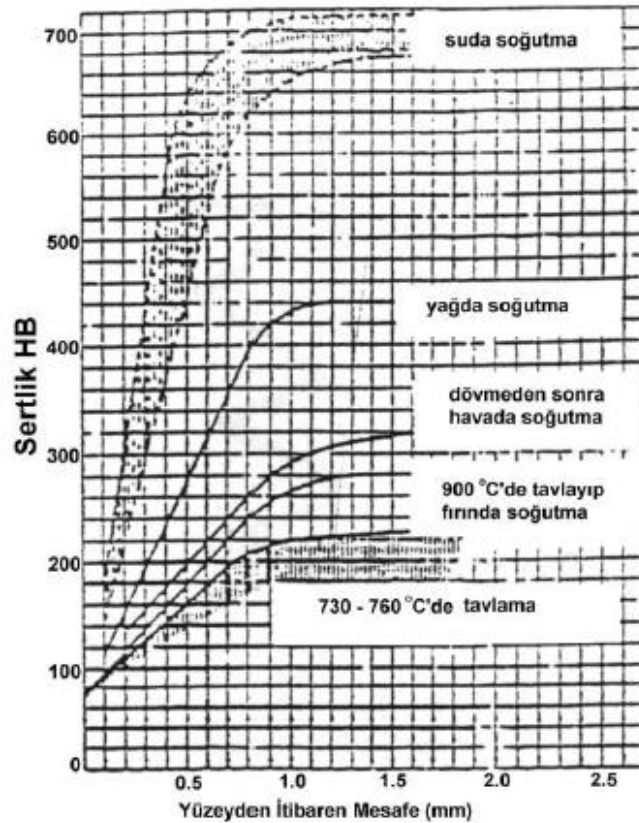
Kullanım şartlarında çeliklerin belirli bir sertlik değerine sahip olmaları istenir. Çeliklerin sertleştirilmesi için uygulanan ısıl işlem ise su verme ısıl işlemi olarak bilinir. Genel olarak bir çeliğin su verme ısıl işlemi ile sertleştirilmesi üç safha içerir. Bunlar; östenitleme, östenitleme sıcaklığında bekletme ve su verme işlemleridir. Östenitleme, çeliğin γ -Fe (östenit) faz bölgesine ısıtılması işlemidir. Bu işlemle çeliğin bünyesindeki seimentitin parçalanarak, karbonun YMK östenit yapı içerisinde tamamen çözünmesi sağlanır. Çeliklerde östenitleme sıcaklığı çeliğin ötektoid altı, ötektoid veya ötektoid üstü olmasına göre değişmektedir. Östenitleme sıcaklığında bekletme, çelik yapısının tamamen östenit olması yani seimentitin parçalanarak karbonun yapı içerisinde tamamen çözünmesi için gereken süredir. Bu süre genel olarak 1 inç (25,4 mm) kalınlık için 1 saat olarak kabul edilir. Uygulamada çelik üreticisinin vereceği süreye uyulmalıdır. Su



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

verme, östenitleme bölgesinde belirli bir süre bekletilerek yapısı tamamen östenitleştirilmiş bir çeliğin soğutulması olayıdır. Su verme sözü her ne kadar çeliğin su içerisine daldırılarak soğutulması gibi bir anlam içeriyorsa da, çeliğin soğutulmasını ifade eden genel bir terimdir. Buna göre çelik östenitleştirme sıcaklığında tutulduktan sonra, su içerisine daldırılarak, yağ banyosu içerisine daldırılarak, havada bırakılarak sertleştirilebilir (Şekil 2). Çelikler ister suda, ister yağda veya havada sertleştirilsin, sertleşmeyi sağlayan mekanizma, östenitleme sıcaklığında beklemeyle oluşan östenitin soğuma sonrası hacim merkezli tetragonal (HMT) kristal kafes yapısına sahip martenzite dönüşmesidir. Martenzit Fe-C denge diyagramında olmayan bir fazdır. Çeliğin hızlı soğuması sonucunda oluşan martenzitik dönüşüm TTT (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı ile gösterilebilir.

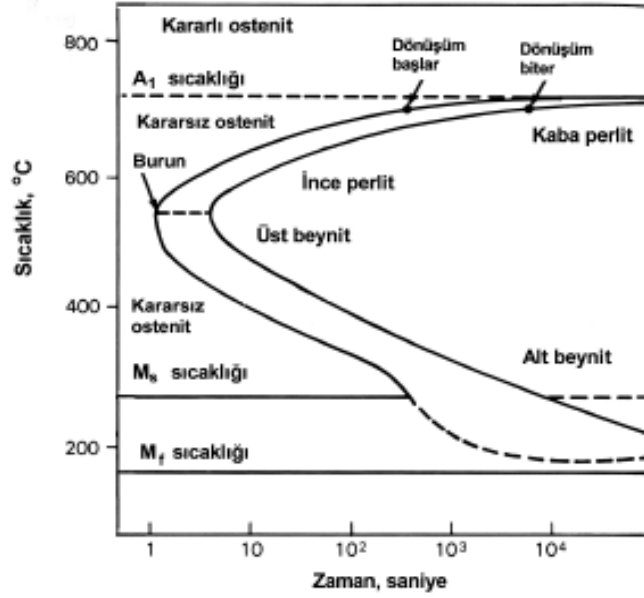


Şekil 4. Çeliklerin sertleştirilmesi sonunda C içeriği ve soğutma banyosu türüne göre erişilebilecek maksimum sertlik



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü



Şekil 5. TTT diyagramı

Deneyin Yapılışı:

- % 0.2 C içeren ötektoid altı çelik numune 850 °C ye kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta 60 dk bekletilir.
- Numuneye su verilerek martenzit yapı oluşturulur.
- Metalografik işlemler yapılarak numune mikroyapı karakterizasyonu için hazır hale getirilir.
- Sertlik ölçümü yapılır.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Deneyin Adı: Metalografik İnceleme

Deneyin Amacı: Metalografik muayene ile malzemenin mikroyapısının tespit edilmesi ve malzemenin mikroyapısına bakılarak malzeme özellikleri hakkında bilgi edinilmesi.

Teorik Bilgi

Metal atomları düzgün geometrik yapılar oluşturarak dizilirler. Aynı doğrultudaki geometrik yapılar tane adı verilen gruplar halinde bir araya gelirler. Atmosferik şartlar altında metal yüzeyinde kir, pas ve nem tabakaları oluşur. Bu tabakalar gerçek yüzeyin görülmesini engeller. Bu yüzden muayene parçasının herhangi bir yüzeyinin parlatılması gerekir. Parlatma işlemine SiC su zımparası ile zımparalama yapılarak başlanır. Daha sonra çok küçük boyutlardaki (0.01-1µm) aşındırıcı alumina tozu (Al_2O_3) keçe üzerine dökülerek küçük dairesel hareketlerle yüzey ayna görünümüne getirilir. Parlatma işleminden sonra dağlama işlemi uygulanır. Dağlama işlemi malzeme yüzeyine kimyasal enerji verilerek, tane sınırlarındaki yüksek enerjili atomların koparılması işlemidir. Bu işlem sonrası malzemenin mikroyapı görünümünde renk farkı oluşturulur.

Metalografik Numune Hazırlama

Malzemelerin performansları ve özellikleri metalografik incelemelerle kontrol edilir.

Metalografik incelemeler ile

- Malzemenin hikâyesi,
- Özellikleri,
- Gelecekte uygulanabilecek işlemler hakkında bilgi edinilebilir.

Metalografik karakterizasyon (yapı ve özellikler arasındaki ilişkiden dolayı) ise;

- Malzemelerin gruplandırılması,
- Kalite kontrolü,
- Proses kontrolü ve
- Hasar analizlerinde kullanılır.

Metalografik ya da mikroyapısal analiz ile aşağıdaki birkaç özellik incelenebilir:

- Tane boyutu



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

- Porozite
- Dendritik büyüme
- Faz analizi
- Çatlak ve diğer kusurlar
- Korozyon
- İnküzyon boyutu, şekli, dağılımı
- Grafit şekli, boyutu, dağılımı
- Karbürizasyon kalınlığı
- Dekarbürizasyon
- Nitrür kalınlığı
- Dövme akış çizgileri.

Metalografi ile iki tür inceleme yapılabilir;

- Makroyapı (makroskobik) inceleme: Büyük boyutlu numunelerde, göz ya da büyüteçle yapılır (50 X'den daha düşük büyütme oranlarında yapılan inceleme).
- Mikroyapı (mikroskobik) inceleme: Mikroskop kullanılarak yapılır (50X ve daha yüksek büyütme oranlarında yapılan inceleme).

Numune Hazırlama Adımları:

1. Numune seçimi
2. Numune alma (kesme)
3. Kalıplama (gerekliyse)
4. Zımparalama ve parlatma
5. Dağlama

1. Numune Seçimi



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Metalografik incelemede başarılı sonuçlar elde edilmesi öncelikle uygun numunenin alınmasına bağlıdır. Numunenin her yönden (fiziksel, kimyasal bileşim yönlerinden) esas malzemeyi tam olarak temsil etmesi gerekir. Ana kriter, numunenin inceleme amacına uygun olmasıdır; yani numune, ya genel mikroyapı incelemesine ya da belirlenmiş bir veya birkaç parametrenin (tane boyutu, kırılma veya çatlama türü vb.) incelenmesine imkan verecek şekilde alınmalıdır. Ayrıca incelemenin mahiyetine göre esas malzemenin kenar ve ortasından, ince ve kalın yerlerinden, bozuk ve sağlam kısımlarından ayrı ayrı numune alınmalıdır. Özelliklerin yönle değişmediği (izotropi) kesin olarak biliniyorsa veya incelenecek parametre için tek bir yön yeterli ise, bir kesitten numune alınması uygun olabilir. Çoğu durumda, malzemelerin özellikleri yöne bağlı olarak değiştiği için (anizotropi) iki veya üç doğrultuda (genişlik, kalınlık ve uzunluk yönlerinde) kesit hazırlanması gerekir.

2. Numune Alma (Kesme)

İncelenecek mikroyapı elemanlarına göre, malzemenin hangi bölgesinden ne tür bir numunenin alınacağı tespit edildikten sonra uygun kesici aletle numune kesilir ya da kırılır. Kesik yüzeyde genellikle bir miktar hasar oluşur, ancak bu hasarın boyutu minimize edilebilir. Hasar derinliği kullanılan teknik ve kesilen malzemeye bağlı olarak değişir. Bu maksatla testere, torna, oksiasetilen torku, kesici taş, çekiç gibi alet ve cihazlar kullanılabilir. Beraber çoğu kesme işlemleri sırf bu iş için geliştirilmiş kesme makinelerinde yapılmaktadır.

Her durumda, kesme veya koparma esnasında malzemede en az yapı değişikliğinin meydana gelmesi sağlanmalıdır. Prensip olarak kesme işlemi numunede en az ısınma ve en az deformasyon meydana getirmeli ve malzeme kaybını minimumda tutmalıdır (özellikle küçük parçalarda önemli). Büyük boyutlu ve hasarlı parçalardan incelenmek istenen alanı içeren bir kesit yakma işlemi ile alınır. Elle tutulabilen küçük boyutlu numuneler metalografi laboratuvarlarında bulunan makas, şerit, testere ve aşındırıcı disk ile kesilebilir.

Aşındırıcı disk yardımı ile kesme

Aşındırıcı (abrasiv) ile kesme mikroskopik ve diğer malzeme incelemelerinde en yaygın kullanılan kesme metodudur. Kolay ve ekonomiktir. Doğru sonuçlar verir. Kesme yüzeyinin kalitesi diğer kesme yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha iyidir ve işlem adımları daha azdır. Bu makinelerde harcanır (sarf) ve harcanmayan (sarf olmayan) kesici diskler kullanılır.

Sarf aşındırıcı diskler

- Yumuşak diskler



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

- Sert diskler olmak üzere iki gruba ayrılır.

Bu terimler aşındırıcı tanelerin sertliği ile ilgili değil diskin nasıl hasara uğradığı ile ilgilidir. SiC ve Alumina sertliği birbirine çok yakındır. Sert ya da yumuşak terimi bağlayıcıdaki mevcut porozite miktarını gösterir. Sert kesme diskleri, aşındırıcı tanelerini yumuşak disklerden daha iyi tutarlar. Yumuşak kesme diskleri sert ve kırılğan malzemeleri kesmek için kullanılırken, sert bağlayıcılı kesme diskleri, yumuşak ve sünek malzemelerin kesme işlemi için kullanılmaktadır.

Uzun ömürlü aşındırıcı kesme diskleri

Elmas/CBN (kübik bor nitrür) kesme disklerinin uzun ömürlü olmaları, aşındırıcı parçacıkların çok yüksek sertliğe sahip olmasına ve bu parçacıkları tutan bağlayıcının dayanıklılığına bağlıdır. Metal diskin sadece dış çevresine ince bir aşındırıcı tabaka yerleştirilmiştir. Elmas ya da CBN bir metal diske, metal veya reçine bağlayıcı ile tutturulmuştur.

3. Kalıplama

Numuneler iki şekilde kalıplanabilir:

- Sıcak ve basınç altında kalıplama (bakalite alma)
- Soğuk kalıplama

Sıcak ve basınç altında kalıplama (compression mounting)

Toz halinde polimerik esaslı malzeme kullanılır;

- Termoset (phenolic, diallylphthalate ve epoxy),
- Termoplastik (acrylic) olmak üzere iki türdür.

Numune yüzeyi kalıp yüzeyi ile temas edecek şekilde yerleştirilir ve üzerine polimerik toz dökülür. Kalıbın ağzı kapatılır ve yük uygulanarak (17-28 MPa) 150-160 °C' de pişirilir. Kalıplama parametreleri (sıcaklık, basınç, süre) seçilen polimerik malzemeye göre değişir.

Soğuk kalıplamaya göre elde edilen kalıbın sertliği ve kalitesi daha iyidir, kalıp çapı kesin toleranslar içinde kalır.

Soğuk kalıplama (Cold mounting)



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Basınç altında ve sıcak kalıplama esnasında özellikleri değişebilen malzemelere uygulanan ve seri numune hazırlanmasına imkân veren bir yöntemdir. Vakum altında kalıplama yapımına uygundur. Her şekilde kalıp hazırlanabilir ve bir defada çok sayıda numune hazırlamak mümkündür, ancak kullanılan reçineler sıcak kalıplamadakilerden daha pahalıdır.

Soğuk kalıplamada iki sıvı ya da bir sıvı ve bir tozdan oluşan karışım kullanılır. Bunlardan bir tanesi reçine (polimerik esaslı) diğeri ise sertleştiricidir. Reçine ve katılaştırıcı uygun oranlarda karıştırılmalıdır. Aksi takdirde kalıp sertleşmez.

Kullanılan reçineler: Epoxy, polyester ve acrylic'dir. Katılma süresi, acrylic için 10 dakika iken epokxy için 4-6 saattir.

Kalıplama işlemi sonrası;

- Numune deformasyonsuz ve hasarsız olmalı,
- Numunede hiçbir yapısal değişiklik olmamalı,
- Uygun bir kenar düzgünlüğü sağlanmalı,
- Yaygın dağılayıcılara dirençli olmalı.

Birçok uygulamada, polimer tozuna başka ilaveler de yapılmaktadır (uygulamada, bu ilaveler üretici firmalarca yapılmış haldedir). Bu tür katkıların yapılması şu faydaları sağlar:

- İletkenlik sağlanır (iletken metal tozları ile),
- Bakalitin sertliği artırılır (numune ile aynı hızda aşınması istenir),
- Kenar etkisi (kenarlardaki netlik bozukluğu) azaltılır.

Numunelerin kodlanması (markalama)

Numune sayısının çok olduğu çalışmalarda ya da arşivleme için numune üzerine gerekli notlar alınır.

4. Mekanik zımparalama ve parlatma

Numunenin yüzeyinde, kesmekte kullanılan aletin izleri bulunur, ayrıca kesme esnasında numunenin yüzeyi bir miktar deforme olur. Numune orijinal yapıyı temsil ettiğinden deformasyona uğramış tabakanın kaldırılması gerekmektedir. Bu nedenle numuneler kesildikten ve kalıba alındıktan sonra, mikroskobik inceleme için zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutulurlar. Zımparalama ve parlatma işleminin temel amacı, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak suretiyle, ışığı iyi yansıtan bir yüzey elde etmektir.

Zımparalama ve parlatma işlemleri çeşitli kademeleri içerir ve aşındırıcılar yardımı ile yapılır. Her kademede bir evvelki kademede kullanılan aşındırıcılardan daha ince aşındırıcılar kullanılır ve böylece her kademenin numune yüzeyinde oluşturduğu deformasyon miktarı minimum seviyeye



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

indirilir. Aşındırıcılar; sert olmalı ve kesme özelliğini uzun süre koruyabilmeli ve sert malzemeleri koparmak yerine tamamen kesebilmeli.

Zımparalama

Manuel ya da otomatik olarak sulu ortamda yapılır. Zımparalamada kullanılan aşındırıcılar; SiC (en çok kullanılan), Al_2O_3 , B_4C ya da elmadır. Aşındırıcılar kâğıda tutturulmuşlardır (elmas dışında). Bunlar disk, plaka ya da bant şeklinde olabilir. Zımpara kâğıtları birim alandaki aşındırıcı partikül sayısına göre numaralandırılmıştır. Partikül boyutu küçüldükçe birim alandaki partikül sayısı artar ve zımparanın numarası yükselir.

Tablo 1: Zımpara tane numaraları ve mikron olarak tane boyutları

Zımpara tane numarası	Mikron olarak tane boyutu
80	210-177
150	105-88
180	88-74
240	53-45
320	37-31
400	31-27
600	22-18
800	15-11
1200	6,5-2,5

150 numaralı zımparalamaya kadar olan zımparalarla yapılan işlemlere kaba zımparalama, daha ince zımparalarla yapılan işlemlere ince zımparalama denir. Zımparalama işlemine testere ile kesimden sonra 80, aşındırıcı disk ile kesimden sonra 180, tel erozyon ve düşük hızda elmas ile kesimden sonra 320 ya da 400 gritten başlanabilir.

Otomatik cihazlar dışında, el ile zımparalama yapıldığında;

- Numunenin zımpara yüzeyine üniform basmasına,
- Yüzeyde sadece o zımparaya ait çiziklerin bulunmasına,
- Bu çiziklerin tek bir doğrultuda olmasına,
- İşlemin akan su altında yapılmasına,
- Numunenin zımparaya tek yönlü olarak sürülmesine,
- Zımpara değiştirirken numunenin, ellerin ve zımparanın iyice yıkanarak bir sonraki adıma kaba zımpara tozunun taşınmamasına,
- Sonraki zımparanın 90° dik doğrultuda uygulanmasına dikkat edilmelidir.

Zımparalama sırasında, numunenin uzun süre ıslak bırakılmasından kaçınılmalıdır. Belirli bir zımparadaki zımparalama süresi, bir evvelki zımparalama esnasında meydana gelen çizikleri



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

tamamen yok edinceye kadar geçen süredir. Zımparalama esnasında numune yüzeyinde oluşan çizikler ve deformasyon tabakası bir sonraki zımparalama ile ortadan kalkar.

Parlatma

Zımparalama işleminden sonra zımpara çizgilerini yok ederek mümkün olduğu kadar çizik bulunmayan, düz, iyi yansıtıcı olan bir yüzey elde etmek amacı ile yapılır. Parlatma, zımparalanmış yüzeyin bir döner disk üzerindeki kumaş üzerine uygulanan aşındırıcı partiküller vasıtası ile aşındırılarak yapılır. Sürtünmeyi azaltmak için yağlayıcı da kullanılır. Aşındırıcı partikül boyutuna göre iki gruba ayrılır.

Kaba parlatma: Aşındırıcı partikül boyutu 15-3 mikron,

İnce parlatma: Aşındırıcı partikül boyutu 1 mikron ve aşağısıdır.

Kullanılan aşındırıcılar; alumina (Al_2O_3) ve elmas, krom oksit (Cr_2O_3), magnezyum oksit (MgO), demir oksit (Fe_2O_3), seryum oksit (CeO) ile yumuşak malzemelerin son parlatma kademesinde kolloidal silika (SiO_2) önemli yer tutar.

Aşındırıcılar, genellikle pirinçten mamul diskler üzerine yapıştırılmış veya tutturulmuş özel parlatma kumaşları üzerine tatbik edilir. Parlatma sırasında numune ile aşındırıcı (kumaş) arasında sürtünmeden ileri gelebilecek ısınmayı engellemek için su, yağ gibi yağlayıcılar kullanılır. Parlatma kumaşı numuneye karşı aşındırıcıyı tutabilmelidir, tüylü (nap) ya da tüysüz (napless) kumaşlar kullanılır. Kaba parlatma kademesinde yüksek kesme hızı, maksimum aşındırıcı teması ve düşük rölyef için çadır bezi, naylon ve ipek gibi tüysüz ya da kısa tüylü kumaşlar tercih edilir. İnce parlatma kademesinde keçe, kadife gibi tüylü kumaşlar tercih edilir (kısa, orta ya da uzun tüylü olabilir, farklı sertlikte fazlar içeriyor ise kısa tüylü kumaşlar tercih edilir). Parlatma işleminde numune, tavsiye edilen kumaşlarla kaplı parlatma diskinde tutturulur ve zaman zaman alümina solusyonu (veya diğerleri) parlatma kumaşına tatbik edilir.

Numune diskin dönme yönüne ters yönde hareket ettirilmeli ayrıca diskin merkezinden dışa doğru ileri-geri gezdirilmelidir. Bu şekilde;

- Aşındırıcının disk yüzeyine homojen bir şekilde dağılımı ile parlatma kumaşının homojen yıpranması sağlanır.
- Özellikle kalıntı, porozite ve ince çökelti fazı içeren numunelerde görülen ve yönlendirilmiş parlatmadan kaynaklanan "**kuyruklu yıldız**" görünümü engellenir.

Başarılı parlatma işleminden sonra numunenin yüzeyi ayna gibi görünür. Parlatma işlemi sonunda yüzey deterjanlı su ile yıkanır, alkolle temizlenir ve hava püskürtülerek kurutulur.

Parlatma işlemi sonucunda incelenebilecek bazı parametreler:

- Dökme demirlerin türünün belirlenmesi ve grafit yoğunluğu sınıflandırılması,
- Çatlak incelemeleri,



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

- Porozite incelemeleri,
- Metalik olmayan inklüzyonlar (MnS , FeS , Al_2O_3 gibi),
- Bazı kaplamaların incelenmesi,
- Polarize ışık aydınlatmasında bazı anizotrop metaller.

Fakat parlatılmış yüzeyler ışığı eşit miktarda yansıttığından yapının detayları gözlenemez; bunu sağlamak için yapıda kontrast oluşturmak gerekir; bunun için dağlama yapılır.

Dağlama (etching)

Numune yüzeyinde kontrast oluşturulmasıdır.

Dağlama ile

- Tane ve tane boyutu,
- Faz ve fazların dağılımı,
- Deformasyon,
- Segregasyon,
- Yüzey işlem ve derinlikleri (sementasyon, nitrasyon, dekarbürizasyon gibi),
- Kaplama tabakaları gibi mikroyapı ayrıntıları ortaya çıkarılır.

Dağlama fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki türlüdür:

- Fiziksel dağlama; ısı veya voltaj uygulanması ile gerçekleştirilir.
- Kimyasal dağlama; en çok uygulanan yöntemdir, parlatılmış yüzeylerin uygun bir kimyasal çözelti ile muamele edilmesidir.

Kimyasal dağlama malzemelere ve incelenecek parametrelere göre değişen çok sayıda kimyasal çözelti (dağlayıcı, reaktif ayıraç) ile yapılır. Bir tek tür malzemenin dağlanması için dahi çok sayıda çözelti mevcuttur. Malzeme ve kimya bilgisi kullanılarak yeni çözeltiler de hazırlanabilir.

Dağlama çözeltileri

- Çözücü: Su, alkol, gliserin, glikol veya bunların karışımı
- Çözünen: Organik (oksalik, asetik, laktik ve sitrik asit gibi) ve inorganik asitler (hidroklorik, nitrik, sülfürik asit gibi) ile çeşitli alkali ürünlerdir.

Dağlama işlemi çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir:

Daldırma



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Numune, bir paslanmaz maşa yardımı ile çözeltiye daldırılır ve tavsiye edilen süre kadar (numune yüzeyini gözle dikkatle takip ediniz) beklenir; çıkartılıp, su ile yıkanır, alkollenir ve kurutulur. Bu usulün uygulanabilmesi için, kalıplama malzemesinin çözeltiden etkilenmemesi gereklidir.

Sürme

Çözeltiye daldırılan pamuk parlatılmış yüzeye bastırılmadan sürülür ve yüzeydeki renk değişimi izlenir. Yüzeyin matlaşması dağlamanın tam olduğuna işaret eder. İşlem sonunda, numune su ile yıkanır, alkollenir ve kurutulur.

Damlatma

Bazı hallerde ise, bir iki damla çözelti numune yüzeyine damlatılır ve yüzeyin gelişimi izlenir; numune yıkanır, alkollenir ve kurutulur. Numune yüzeyine el veya başka bir maddenin temasına izin verilmemelidir. Dağlama çözeltilerinin taze olarak kullanılması tavsiye edilir.

Tablo 2. Bazı dağlama çözeltileri

Alaşım	Dağlama Çözeltisi
Çelik ve dökme demir	Nital (1-10 ml HNO_3 +90-99 ml metanol veya etanol)
Çelik ve dökme demir	Beraha (3 gr $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ +10 gr $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ +100 ml H_2O)
Çeliklerde karbür	Murakami (10 gr $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ +10 gr KOH +100 ml Su)
Ag-Cu alaşımları	25 ml NH_4OH +25 ml Su+50 H_2O_2
Cr ve alaşımları	Altın suyu (20 ml HNO_3 +60 ml HCl)

Dağlama çözeltisinin, numunenin mikroyapısının detaylarını ortaya koyabilmesi;

- Tek fazlı malzemelerde tane sınırlarının tane içerisine nazaran aktif davranmasının
- Çok fazlı malzemelerde fazlar arasındaki elektronegativite farkının (fazların o çözeltideki korozyon hızlarının farklı olmasının) sonucudur.

Aşırı dağlama, numunenin dağlayıcı ya da reaktif içerisinde gereğinden fazla bekletilmesi sonucunda katodik fazın anodik faz karakterinde davranması sonucu oluşur. Bu durumda yeniden parlatma bazen de ince zımpara kademesi gerekebilir.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Yönlenmiş tane parlaklığı tek fazlı yapılarda, aynı kimyasal yapıları tanelerin nispeten farklı renklerde görülmesidir (ton farkı). Bunun sebebi ise; her tanedeki atomların farklı doğrultularda dizilmiş olmalarıdır (yönlenme farkı).

Demir-Karbon Alaşımlarında Mikroyapı Tanımlaması

Dünyada en çok üretilen metalik malzeme demir-çelik grubu malzemelerdir ve 2011 yılında toplam demir-çelik üretimi 1.650 milyon ton mertebesinde olmuştur. Bunun içerisinde Türkiye'nin payı 34 milyon ton civarındadır ve Türkiye dünyanın en büyük onuncu demir-çelik üreticisi konumundadır. Demir çelik ürünlerinin bu derece yüksek üretimi ve rakipsizliği yanında önemli bir avantajı da çok sayıda farklı kalitede üretilebilmesidir. Demir çelik grubu malzemeler belirli standartlara uygun olarak ve belirli kalite gruplarında üretilmektedir.

Demir-çelik grubu malzemeler alaşımlı ve alaşımsız olarak iki sınıfa ayrılabilir. Alaşımlı-alaşımsız ayrımı için kabul edilen alaşım elementi miktarı ağırlık % 5'tir. Yani %5'in altında alaşım elementi içeren çelikler alaşımsız sınıfına girer. Bu grup içerisinde de karbon çelikleri ve az alaşımlı çelikler bulunur. Karbon çelikleri Fe, C, Mn, Si gibi elementleri bulundurmaz. Manganez ve silisyum her çelikte bulunan elementlerdir ve Mn %1,5'i ve Si % 1'i aşmadığı sürece alaşım elementi sayılmaz. Alaşım elementleri çeliğin niteliklerini artırmak için katılan elementlerdir. Bunlar Cr, Ni, Mo, Al, Cu, Ti, W, Co, Nb, V, N gibi elementlerdir ve alaşım elementi sayılabilmeleri için çelikte en az bulunmaları gereken ve her element için değişen bir alt sınır değerleri vardır.

Çeliğin yapısı alaşım elementlerinin eklenmesiyle değiştiği gibi soğuma hızı, uygulanan termal ve mekanik işlemler ile de değişir. Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, çok sayıda farklı yapının oluşacağı ve bu yapıların tanımlamasının oldukça zor olduğu anlaşılabılır. Burada yapı tanımlaması için ana faktörler göz önüne alınacak ve temel bir tanımlama yapılacaktır.

Çeliğin yapısını tanımlayabilmek için Fe-C denge diyagramı tam olarak bilinmelidir ancak yeterli değildir. Zira Fe-C denge diyagramı sadece demir ve karbon içeren alaşımların yapılarını çok yavaş soğuma şartlarında göstermektedir. Gerçek çelikler, Fe ve C' a ilave olarak, her zaman Mn ve Si ile S ve P da içerirler. Ayrıca katılan alaşım elementleri de yapıda bulunur. Bunun dışında, denge diyagramları çok yavaş soğuma şartlarında elde edilmiştir.

Ancak endüstriyel alaşımlar genellikle hızlı soğuma ile üretilirler. Bu değişkenler ve daha fazlası alaşımların yapılarının denge diyagramında gözükenden farklı olmasına yol açar. Bu bakımdan, katılan alaşım elementlerinin Fe-C denge diyagramını nasıl değiştirdiğini ve yüksek sıcaklıktan soğuma sırasında hangi fazların oluştuğunu bilmek de en az denge diyagramını bilmek kadar önemlidir. Dolayısıyla, Fe-C denge diyagramı, alaşım elementlerinin etkilerini gösteren



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

diyagramlar ile yüksek sıcaklıktan soğuma sırasında yapı değişimlerini gösteren diyagramlar (TTT diyagramları ve SS diyagramları) yapı tanımlamalarında göz önünde bulundurulmalıdır.

Fe-C denge diyagramı

Çelik temelde bir Fe ve C alaşımıdır. Demir 1535 °C’de ergiyen bir metalik elementtir. Oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar 3 farklı kristal yapıya sahip olur. Oda sıcaklığı ile

912 °C arasında HMK yapılı, 912 ile 1398 °C arasında YMK yapılı ve 1398 ile ergime sıcaklığı olan 1535 °C arasında ise tekrar HMK yapılı demir bulunur. Yani, demir allotromorfik dönüşüm gösterir. Demir saf halde düşük mekanik özelliklere sahiptir ve önemli bir mühendislik malzemesi değildir. Demire karbon ilavesi demirin mekanik özelliklerini çok etkiler ve demir böylece dünyanın en mukavemetli malzemelerinden biri haline gelir.

Şekil 1’de Fe-C denge diyagramı verilmiştir. Bu denge diyagramı üzerinde α (alfa), γ (gama), δ (delta), sıvı ve sementit (Fe_3C) fazları ile ledebürit ($\gamma + \text{sementit}$) ve perlit ($\alpha + \text{sementit}$) karışım yapıları bulunur. Ayrıca 3 dönüşüm reaksiyonu meydana gelir:

Peritektik Reaksiyon: 1494 °C’de ağı. %0,15 C miktarında gerçekleşir.

Peritektik reaksiyon, $\delta + \text{Sıvı} \rightarrow \gamma$ şeklindedir ve osteniti oluşturur.

Ötektik Reaksiyon: 1145 °C’de % 4,3 C miktarında oluşur.

Ötektik reaksiyon, $\text{sıvı} \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ şeklinde olur ve ledebürit ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$) yapısını oluşturur.

Ötektoid reaksiyon: 727 °C’de 0,8 C miktarında oluşur ve $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ile perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) yapısı oluşur.

Fe-C sisteminde bulunan fazlardan üç tanesi (alfa, gama ve delta) katı çözelti fazlarıdır:

α (alfa): Ötektoid reaksiyon sırasında oluşur. 727 °C’de en çok % 0,022 kadar karbon çözündürür.

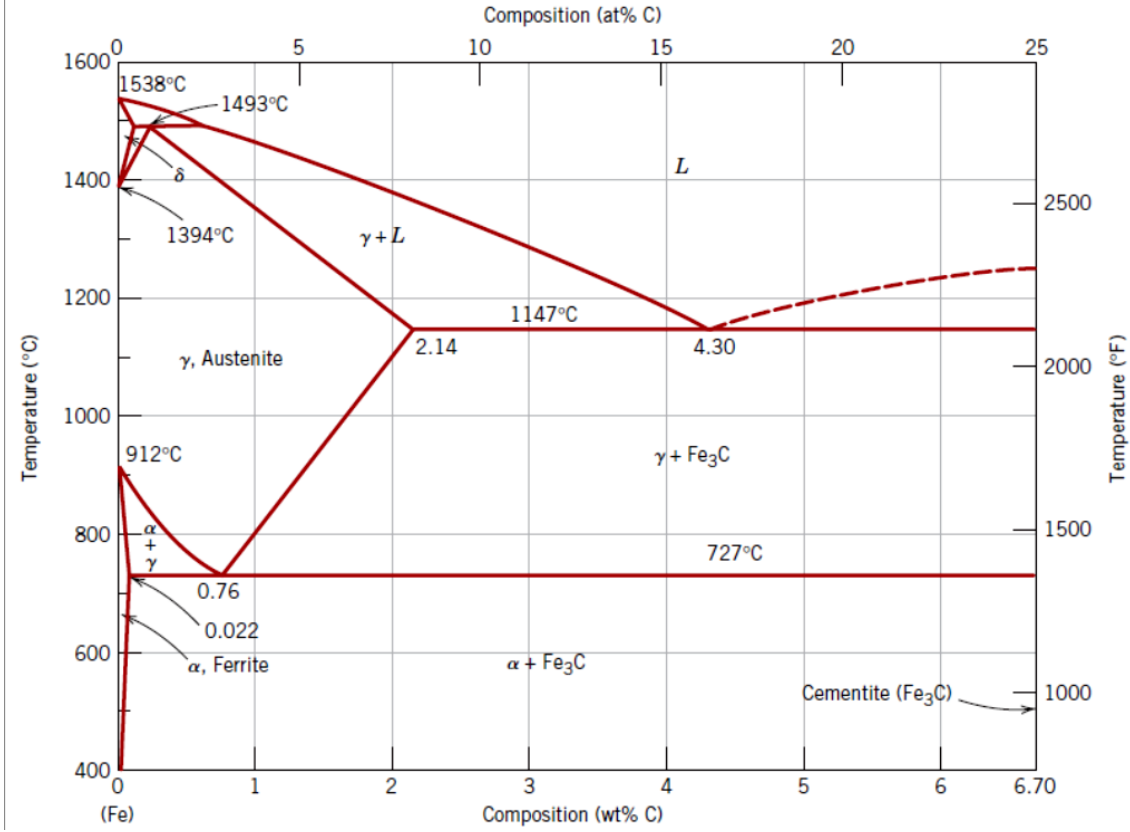
γ (gama): Ötektik reaksiyon sırasında oluşur. 1145 °C’de en çok % 2,1 kadar karbon çözündürür.

δ (delta): Peritektik reaksiyona katılır. 1493 °C’de en çok % 0,1 C çözündürür.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü



Şekil 1. Fe-C denge diyagramı.

Fe-C alaşımları yavaş soğutulduğu takdirde Fe-C denge diyagramındaki yapılar oluşacaktır. Alaşım elementi ilavesi başka fazların da yapıda bulunmasını sağlayabilir. Alaşımın karbon içeriğine bağlı olarak oranları değişmekle birlikte Fe-C denge diyagramına göre, oda sıcaklığında $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ bileşenlerinden oluşacak yapıya sahip bir malzeme bulunacaktır. Ancak biraz daha ayrıntıya girildiğinde yapılar daha belirgin hale gelir.

% 0,022-0,76 C arasında: $\alpha + \text{P}$, $\text{P}=(\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$

% 0,76 C: $\text{P} = (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$

% 0,76 C üzerinde (2,1'e kadar): $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}$ γ

Ağ. % 2,1 C içeriğinin üzerinde yapı oluşumuna ötektik reaksiyonun da etkisi vardır. Bu bakımdan önce ötektik reaksiyon ile ledebürit ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$) oluşur, takiben sıcaklık 727 °C'ye yani ötektik reaksiyon sıcaklığına düşünce, ledebüritteki ostenitten perlit meydana gelir. Nihai yapı

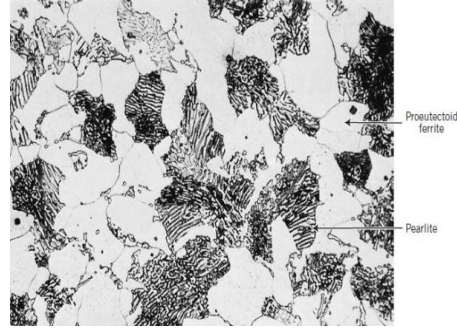
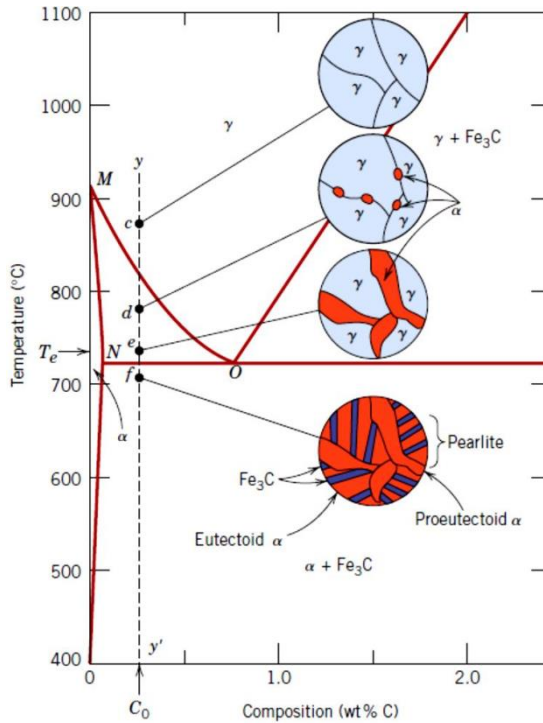


ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

yine α ve sementitten ibaret olacaktır, fakat katılaşma yolu farklıdır. Şekil 2-4’de alaşımın karbon miktarına bağlı olarak oluşacak yapılar gösterilmiştir.

Her üç bileşime ait yapıların oluşumunda başlangıç noktası olarak ostenit (γ) faz alanı alınmıştır. Ostenit katılaşma sırasında peritektik reaksiyon sonucu oluşmaktadır. Ötektoidaltı bölgede, sıcaklığın düşmesiyle ostenit + ferrit bölgesine girilir. Yani ostenit tane sınırlarında ferrit tanecikleri çekirdekler ve sıcaklık A1 yani 727 °C’ye düşünceye kadar büyürler. Bu sıcaklığa gelindiğinde, yapıdaki ferrite dönüşmemiş ostenit ötektoid reaksiyon ile perlite dönüşür; 727 °C’ni hemen altında yapı ferrit ve perlitten ibarettir. Bu sıcaklıktan oda sıcaklığına kadar başka bir faz dönüşümü olmayacağı için oda sıcaklığındaki yapı da aynıdır. Ötektoid bileşimde ise, alfa + ostenit bölgesi yoktur. Alaşımın soğuması ile ötektoid sıcaklıkta ostenit doğrudan perlite dönüşür. Yapının tamamı perlit olur (Şekil 3). Ötektoidüstü bileşimde, alaşım önce ostenit faz alanından ostenit + sementit faz alanına girer. Yani tane sınırlarında sementit çekirdekler ve büyür. Sementite dönüşmeyen ostenit ise ötektoid sıcaklıkta perlite dönüşür. Nihai yapı sementit ve perlitten ibarettir (Şekil 4).

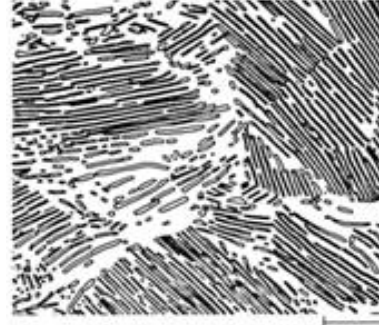
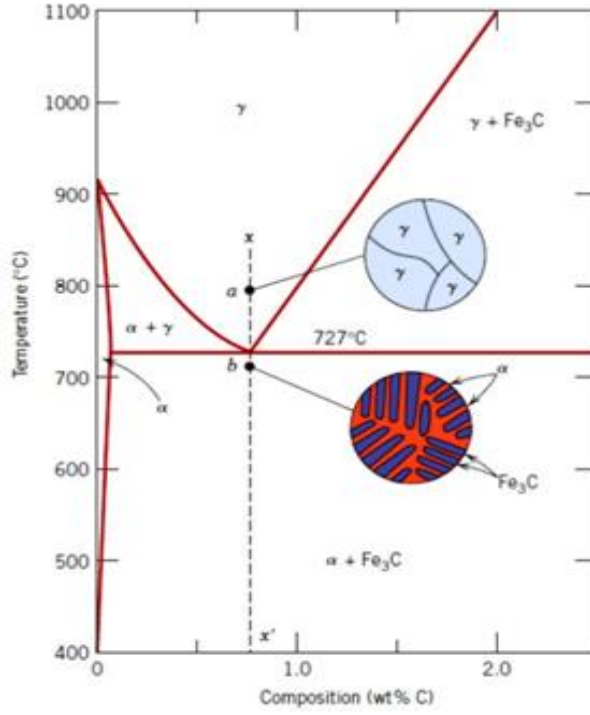


Şekil 2. Ötektoidaltı bileşime sahip Fe-C alaşımının oda sıcaklığındaki yapısı



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

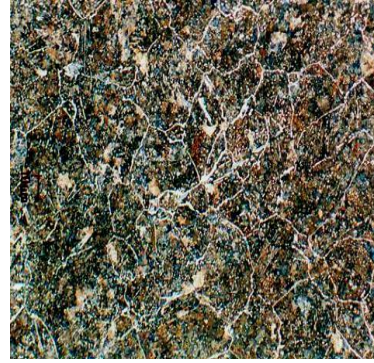
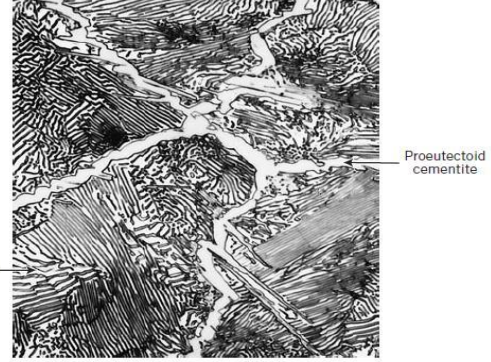
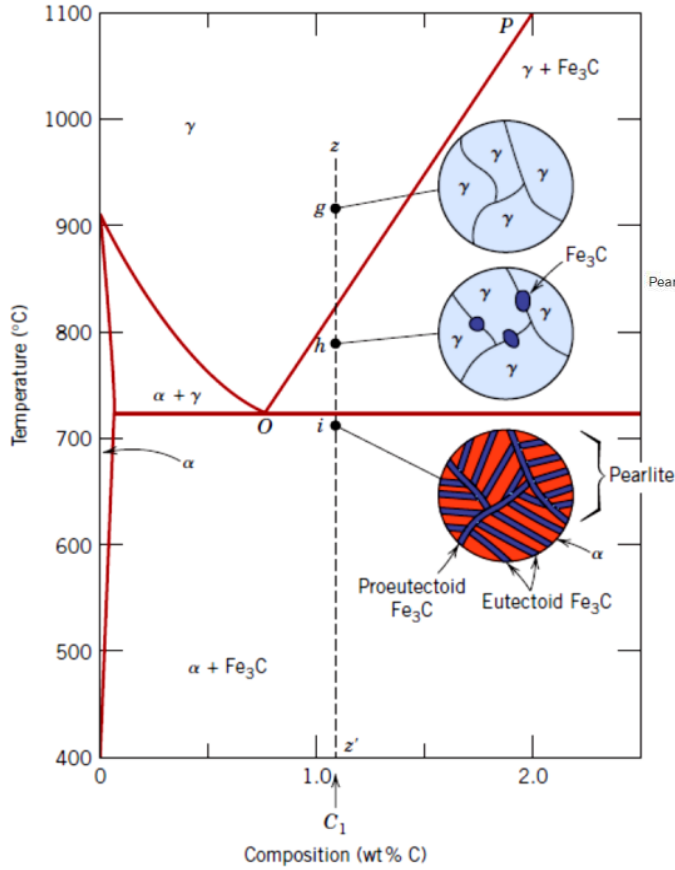


Şekil 3. Ötektoid bileşime sahip Fe-C alaşımının oda sıcaklığındaki yapısı



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü



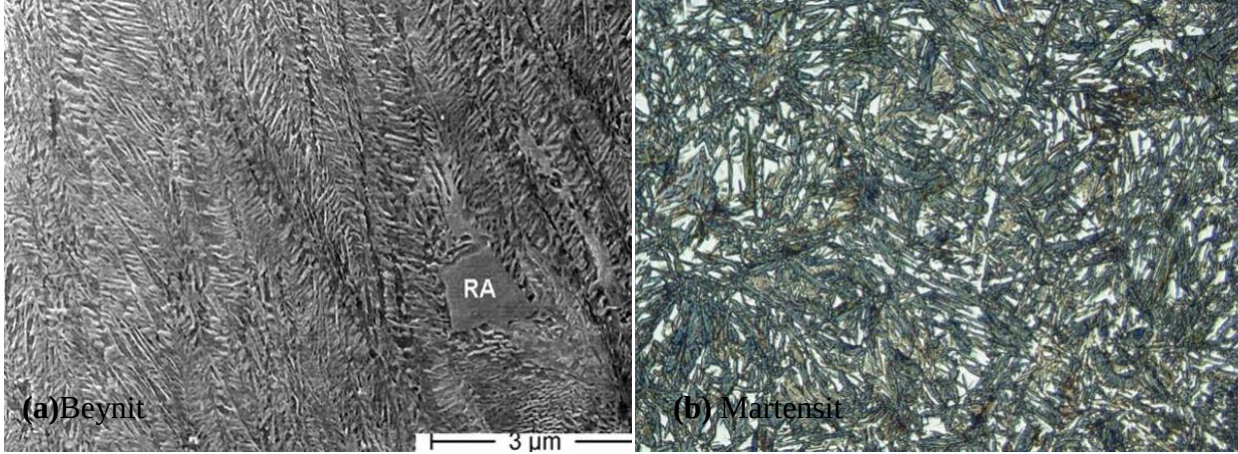
Şekil 4. Ötektoidüstü bileşime sahip Fe-C alaşımlarının oda sıcaklığındaki yapısı

Yukarıda anlatılan yapı oluşumu yavaş soğuma şartlarında gerçekleşir (dengeli soğuma) ve oluşan yapıların hepsi denge diyagramı üzerinde görülür. Ancak endüstriyel alaşımlar genellikle hızlı soğutulurlar. Bu şekilde oluşan yapılar ise denge diyagramında bulunmazlar. Fe-C alaşımları için denge dışı yapılar martensit ve beynit adları ile bilinirler (Şekil 5).



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü



Şekil 5. Fe-C alaşım sisteminde hızlı (denge dışı) soğuma ile oluşan yapılar.

Fe-C alaşımının C miktarı ağı. %2,1'i aşınca malzeme artık çelik olarak isimlendirilmez. Bu malzemeler dökme demir adını alır. Gerçekte dökme demirlerin karbon içeriği ağı. % 2,5-4,5 C arasında bulunur. Bu malzemelerin yapısı çeliklerden farklıdır.

Dökme demirlerde çeliklerden daha fazla karbon vardır. Döküm yoluyla elde edilmeleri kolaydır. Ancak plastik şekillendirilmeleri mümkün değildir. Karbonla birlikte silisyum ve manganez de bileşimde önemli bir yer tutar.

Dökme demirler, esas itibarıyla 3 gruba ayrılabilir:

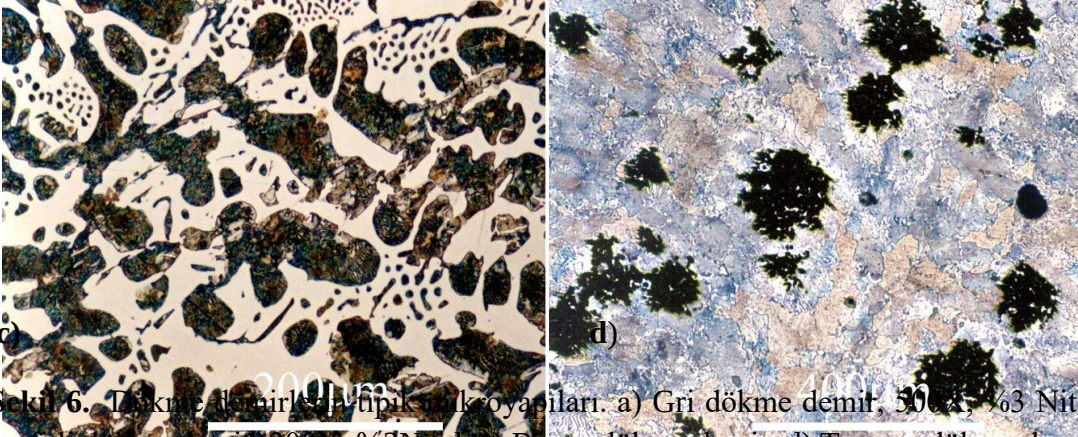
Gri dökme demirler (lamel grafitli dökme demir ve kır dökme demir adıyla da bilinir): Dökme demirlerin özellikleri en zayıf olan fakat tonaj olarak en çok üretilen grubudur. Karbon, yapıda lamel şekilli grafitler olarak (serbest halde) bulunur. Matris ferritik, perlitik veya bunların karışımı şeklinde olabilir. Mukavemet ve sertlik ferrit oranı arttıkça düşer, perlit oranı arttıkça artar. Gri dökme demirler DIN (DIN 1691) normunda GG, TS-552 normunda DDL olarak adlandırılır. Bu tanımlamayı takiben 15-20-25-30 ve 35 uzantıları kullanılır. Bu uzantılar malzemenin minimum çekme mukavemetini gösterir. Örneğin GG-25 demek çekme mukavemeti en az 25 kg/mm² olan gri dökme demir demektir. Bunlardan DDL-15 ferritik-perlitik, DDL-20 perlitik- ferritik, diğer üç grup en az %90 perlitik yapılıdır.

Genel bileşimleri C:%2,5-4, Si:%1-3, Mn:%0,4-1,0, P:max. %1 ve S: max. % 0,25 şeklindedir. Şekil 6a'da perlitik lamel grafitli dökme demirin mikroyapısı görülmektedir. Lamellerin dağılımı ve boyutları dökme demirin özelliklerini etkiler. Zayıf mekanik özelliklerine karşılık gri dökme demirler birçok mühendislik uygulamasında başarı ile kullanılmaktadır. Bunun sebebi gri dökme demirlerin titreşim absorbe etme kabiliyetlerinin yüksekliği ve grafitli yapısı nedeniyle sürtünmelerinin düşük olmasıdır.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü



Şekil 6. Dökme demirlerin tipik mikroyapıları. a) Gri dökme demir, 50X, %3 Nital, b) Küresel grafitli dökme demir, 200X, %3Nital, c) Beyaz dökme demir, d) Temper dökme demir

Küresel grafitli dökme demir (sünek dökme demir, sfero dökme demir, nodular dökme demir): Gri dökme demirde olduğu gibi, karbon yapıda grafit halinde bulunur. Farklı olarak grafitler küresel formdadır (Şekil 6b). Matris yine ferritik, ferrit + perlitik veya perlitik olabilir. Grafitin küresel formda olması bu dökme demir grubunun tokluğunun çok yüksek olmasına neden olmuştur. Çeliğe yakın özellikleri vardır ve her geçen gün kullanım alanı genişlemektedir.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Isıl işlemle özellikleri geliştirilebilir. Bu tür dökme demirler GGG (DIN 1693) veya DDK (TS 526) olarak kodlanır. 40-50-60-70-80 uzantıları ise malzemenin mukavemetini gösterir. Bunlardan 40 ve 50 kaliteler ferritik ağırlıklı, 60-70 kaliteler daha çok perlitik ve 80 kalite perlitik yapılıdır. Son yıllarda az alaşım ilavesi ile 90 uzantılı yüksek mukavemet uygulamalarında kullanılabilen kaliteler geliştirilmiştir. Şekil 6b'de ferritik-perlitik küresel grafitli dökme demirin yapısı görülmektedir. Tipik bir küresel grafitli dökme demir bileşimi şöyledir: C:%3-4, Si:%1,8-2,8, Mn:%0,15-0,9, P: max.%0,010, S: max.% 0,03.

Beyaz dökme demir: Gri ve küresel grafitli dökme demirden farklı olarak, yapıdaki karbon serbest halde (grafit şeklinde) bulunmaz. Karbon bileşik (sementit) halindedir (Şekil 6c). Sementit (demir karbür) çok sert bir fazdır. Bu nedenle beyaz dökme demirler çok sert olurlar ve aşınma direncinin gerekli olduğu yerlerde kullanılırlar (değirmen astarları, ekskavator tırnakları, vb). Esasen bileşimi beyaz dökme demirin bileşimine benzer, ancak hızlı soğutulduğu için grafit oluşumu gerçekleşmez ve karbon karbür şeklinde bileşik yapar. Nihai yapıda serbest haldeki sementit ile birlikte ötektik ledebürit ve perlit de bulunur. Ötektikaltı karbon bileşimine sahip alaşımlarda yapı perlit + ledebürit şeklinde iken, ötektiküstü alaşımlarda ledebürit ve sementit şeklindedir. Şekil 6c'de beyaz dökme demirin mikroyapısı gösterilmiştir. Beyaz dökme demirlere Cr katmak suretiyle hem aşınma direnci hem de korozyon direnci çok yüksek olan kromlu beyaz dökme demirler yapılmakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Tipik bir beyaz dökme demir bileşimi: C:%1,8-3,6, Si:%0,50-1,90, Mn:%0,25-0,80, P: %0,06-0,18 ve S: %0,06-0,20.

Temper dökme demir: Bu tür dökme demirin doğrudan üretimi yoktur, esasen beyaz dökme demirin ısıtılması ile elde edilir. Beyaz dökme demir yüksek sıcaklıkta uzun süre tutulursa yapıdaki sementit $Fe_3C \rightarrow Fe + C$ şeklinde dekompoze olur. Ayrışan karbonlar bir araya gelerek temper karbonu adı verilen karbon bölgeleri oluştururlar (Şekil 6d). Matris perlitik, perlitik/ferritik veya ferritik olabilir. Temper dökme demirin özellikleri beyaz dökme demire benzemez. Temper dökme demirler TSE normunda (TS 519) DDTS ve DDTB olarak gösterilmektedir.

Deneyin Yapılışı



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

- Üretimi yapılmış olan deneysel numune (çelik çubuk) yaklaşık 1 cm boyunda numune kesilir.
- Taşa tutularak çapaklar alınır,
- Bakalite alma yöntemiyle kalıplanır,
- Taşlama ile bakalitin kenarları yuvarlatılır ve numune markalanır,
- Sıra ile 80, 150, 320, 400, 600, 800 ve 1200 numaralı zımpara kâğıtlarıyla zımparalama yapılır,
- Zımparalama kademesinden sonra el ve numune bol su ile yıkanır ve alkol ile yüzeydeki oksit giderilir.
- Parlatma kademesinde numune parlatma diskine tutulur ve parlatma süspansiyonu kullanılır,
- Parlatma sonunda eller ve numune bol su ile yıkanır,
- Numune alkolle yıkanıp kurutulur,
- Numuneye mikroskopta 100x büyütmede bakılarak parlatmanın yeterli olup olmadığına karar verilir (parlatma yeterli değilse, parlatma işlemine devam edilmelidir),
- Bir parça pamuk, maşa ile tutularak Nital dağılayıcı reaktifine batırılır ve numune yüzeyinde parlak yüzeyin matlaştığı görülene kadar sürülür (aşırı dağlamaya dikkat edilmelidir),
- Nital = % 1-5 Nitrik asit (HNO_3) + % 95- 99 Alkol (CH_3OH),
- Dağlama görölünce numune derhal bol su ile yıkanır, ardından alkolle yıkanıp kurutulur,
- Mikroskopta dağlama durumuna bakılır. Eğer yeterli değilse, dağlama işlemi tekrarlanır. Aşırı dağlama durumunda parlatma kademesine dönülmelidir.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Deneyin Adı: Malzemelerde Sertlik Deneyi

Deneyin 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.

Deneyin Prensibi

Sertlik ölçme standart bir batıcı ucun malzemeye batırılmasına karşın malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Batıcı uçlar bilye, piramit veya koni biçiminde olup sertliği deney malzemesinin sertliğinden çok daha yüksektir. Uygun olarak seçilen batıcı uç, tatbik edilen bir yük altında malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Genel deyimle malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır.

Makrosertlik Ölçme Yöntemleri

Brinell Sertlik Deneyi

Bu deney prensip olarak sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbürden yapılmış bir bilyenin belirli bir yük ile malzeme yüzeyine bastırılarak malzeme yüzeyinde oluşan izin çapının ölçülmesi esasına dayanır. Brinell sertlik değeri;

$$BSD = \frac{F}{A}$$

şeklinde ifade edilir.

Burada F (kg) uygulanan yük ve A(mm²) malzeme yüzeyinde oluşan küresel alanı olup

$A = \pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$ formülü ile ifade edilir (D: Bilye çapı, d: iz çapı).



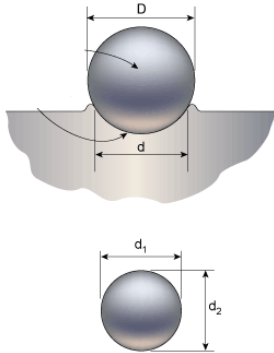
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Brinell sertlik değerinin birimi kg/mm^2 olarak ifade edilir. Standart deney şartlarına göre bilye çapı 10 mm ve uygulama süresi 10–15 saniye arasında değişir. Ancak bazı durumlarda çapları 10 mm'den daha küçük olan (örneğin 1.25, 2.5, ve 5 mm) bilye biçimindeki uçlarda kullanılabilir. Malzemenin üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilye çapına göre seçilmektedir. $d/D = 0.2 - 0.7$ oranı sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir. Deneyi yükünün saptanmasında $F=CD^2$ bağıntısı kullanılır. Burada F deney yükü, C malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesidir.

- Demir esaslı malzeme (Çelik, DD) için $C=30$,
- Cu ve Al alaşımlı malzeme için $C=10$,
- Yumuşak malzeme için $C=5$

Pratikte 10 mm çapındaki bilye için uygulanan yükler bakır, pirinç gibi metaller için 500 kgf, dökme alüminyum için 1500 kgf ve demir, çelik gibi sert metaller için 3000 kgf'dir.



Şekil 1: Brinell sertlik deneyi

Brinell sertlik ölçme yönteminin sağlıklı yapılabilmesi için şunlara dikkat edilmelidir;

- Sertliği ölçülecek malzemenin kalınlığı minimum olarak iz derinliğinin sekiz katı olmalıdır. ($k=8h$)



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

- Ölçüm yapılacak bölgenin kenardan uzaklığı minimum bilye çapının 2,5 katı kadar olmalıdır. Ayrıca iki iz arasında bilye çapının 4 katı kadar mesafe bırakılmalıdır.
- Sertlik ölçümünde en az üç ölçüm yapılarak aritmetik ortalama alınmalıdır.
- İnce saçlar üst üste konularak ölçüm yapılmalıdır.
- Sertliği ölçülecek parçanın yüzeyi düz, parlatılmış olmalıdır. Eğer parlatma pratik olarak mümkün değilse hassas işleme veya taslama yapılmış yüzeyler tercih edilebilir.
- Isıl işlem görmüş parçaların yüzeyinden talaş kaldırıldıktan sonra ölçüm yapılmalıdır.

Rockwell Sertlik Deneyi

Bu yöntemde standart bir batıcı uç genelde 10 kg gibi küçük bir yük malzeme yüzeyine bastırılır. Oluşan izin dip noktası başlangıç noktası olarak alınır. Daha sonra yük yüksek bir değere çıkartılıp tekrar önceki değerine indirilir. Uzun batma derinliğinde meydana gelen artışa göre Rockwell sertlik değeri belirlenir. Bu yöntemde ön yük ve esas yük olmak üzere iki ayrı yük uygulanır. Burada ön yükü uygulamadaki amaç parça yüzeyindeki düzgünsüzlüklerin ve dalma bölgesinde meydana gelecek uygunsuz deformasyonun ölçüm sonuçlarına olan etkisini ortadan kaldırmaktır. Uygulanan yük sabit olup 10 kgf'dir. Bu yöntemde elmas koni ya da çelik bilye olmak üzere iki çeşit batıcı uç kullanılır. Bilye tipindeki batıcı uçların çapları yaklaşık 1.6mm, 3.2mm, 6.35mm ve 12.7mm olup elmas koninin tepe açısı 120° ve tepe noktası yarıçapı 0,2 mm olan bir küreden oluşmaktadır.

Rockwell sertlik değeri standart skalalardan birine göre ölçülür ve batma derinliğine karşı gelen birimsiz bir sayı ile gösterilir. Bir malzemenin Rockwell cinsinden ölçülen sertlik değeri 100 rakamını aşarsa batıcı uç olarak bilye kullanılmamalıdır. Benzer şekilde ölçülen sertlik değeri 20 rakamının altında ise batıcı uç olarak koni biçimindeki elmas uç tercih edilmemelidir. Rockwell sertlik skalalarından en fazla kullanılanları B ve C skaları olup B skalası dökme demiri, sertleştirilmiş çelik, pirinç, bronz ve alüminyum alaşımlarının sertliklerinin ölçümünde, C skalası ise sertleştirilmiş çelik ve karbürlerin sertliklerinin ölçümünde kullanılırlar. Rockwell sertlik ölçme yönteminin sağlıklı yapılabilmesi için şunlara dikkat edilmelidir:



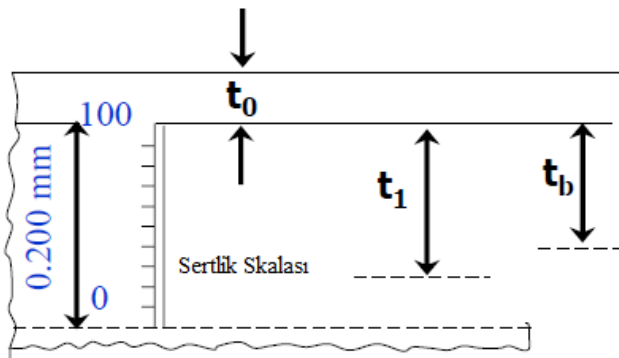
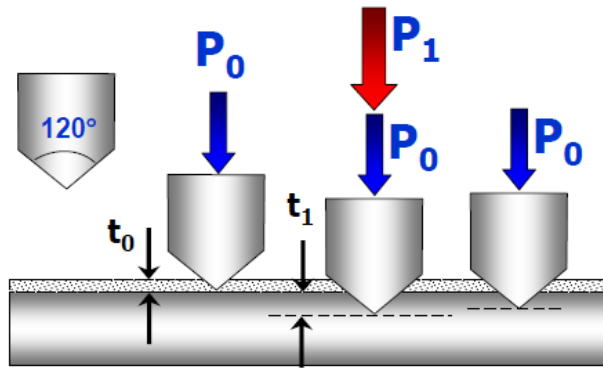
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

- Yük parça yüzeyine dik uygulanmalıdır.
- Numune sağlam olarak temiz yüzeyli basma tepesine yerleştirilmelidir.
- Numunenin minimum kalınlığı kalıcı dalma derinliğinin 10 katı olmalıdır.
- Ölçüm bölgesinin numune kenarından uzaklığı iz çapının 2,5 katı olmalı ve izler arası mesafe 3 iz genişliğinde olmalıdır.

Rockwell sertlik deney prensibi şekil 1' de verilmiştir. Rockwell sertlik deneyi yapılırken numune üzerine önce 10 kg'lık bir ön yük (F_0) uygulanır. F_0 ön yükünün uygulanmasıyla t_0 derinliğine erişilir. Bu konum sertlik skalası için referans düzlemi olarak alınır.

Ön yükün uygulanmasından sonra 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.





ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

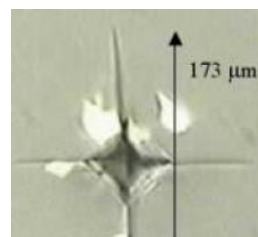
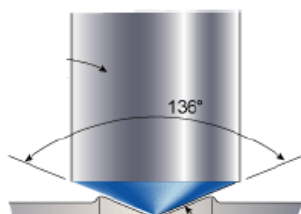
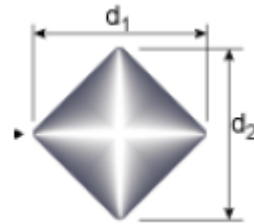
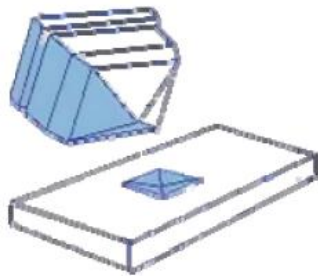
MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Şekil 2: Rockwell sertlik deneyi prensibi

- Ön yüklemede (10 kg) ucun t_0
- Ana yüklemede (90 kg veya 140 kg) ucun batma derinliği t_1
- Ana yük kaldırıldığında ucun batma derinliği t_b
- Rockwell sertliği ($100 - t_b$)

Vickers Sertlik Deneyi

Bu yöntem prensip olarak Brinell sertlik ölçme yöntemi ile benzerdir. Bu yöntemdeki tek fark batıcı uçtur. Vickers sertlik ölçme yönteminde 136° tepe açılı, tabanı kare olan elmas piramit batıcı uç kullanılır. Vickers sertlik ölçme deneyinin uygulanışı piramit şeklindeki batıcı ucun malzemenin yüzeyine, malzemenin cinsine göre seçilen yük altında belli bir süre bastırılması sonucu oluşan izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi şeklindedir. Vickers sertlik değeri (VSD) uygulanan yükün (F) oluşan izin alanına bölünmesi anlamına gelen, $VSD \left(\frac{kgf}{mm^2} \right) = (1,8544F)/d^2$ bağıntısıyla bulunur. Burada d izin ortalama köşegen uzunluğu olup $d = (d_1 + d_2)/2$ formülü ile hesaplanır.





ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Şekil 3: Vickers sertlik deneyinin şematik gösterimi

Vickers sertliğinin avantajı, oldukça doğru okumalar yapması ve tüm metal ve işlem görmüş yüzeyler için sadece bir tip batıcı ucun kullanılmasıdır. Vickers sertliği metallerin yanında seramik malzemelerin sertliğinin ölçümünde de güvenilir bir sertlik ölçüm metodudur.

Mikrosertlik Ölçme Yöntemleri

Bu yöntem özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliklerinin ölçmede elverişlidir. Karbürize veya azotla sertleştirilmiş yüzeyler ile elektrolit olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deneyle tespit edilir. Ayrıca metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen gibi çok sert ve kırılgan malzemelerin sertliklerini ölçmede kullanılır.

Mikrosertlik yöntemleri Vickers ve Knoop mikrosertlik ölçme yöntemleridir.

Knoop Sertlik Deneyi

Bu yöntem daha çok mikro sertlik ölçümü amacıyla kullanılır. Bu yöntemde genel olarak 10-1000 kg arasında değişen yük kullanılır. Knoop sertlik ölçme deneyinde uzun köse uzunluğu kısa köşegen uzunluğunun 7 katı olan piramit şeklindeki elmas uçlar kullanılır. Bu piramit ucun tepe açısı 172° 'dir. Ayrıca bu ucun batma derinliği büyük köşegen uzunluğunun $1/30$ 'u kadardır. Knoop sertlik değeri, deneyden elde edilen izin uzun köşegen uzunluğunun optik



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

mikroskobunun mikrometresi yardımıyla ölçülerek uygulanan yükün iz alanına bölünmesiyle elde edilir. Ya da knoop sertlik değeri;

$$KSD = \frac{14,2F}{l^2}$$

formülü ile elde edilir.

Burada F uygulana yük, l ise uzun köşegen uzunluğunu göstermektedir.

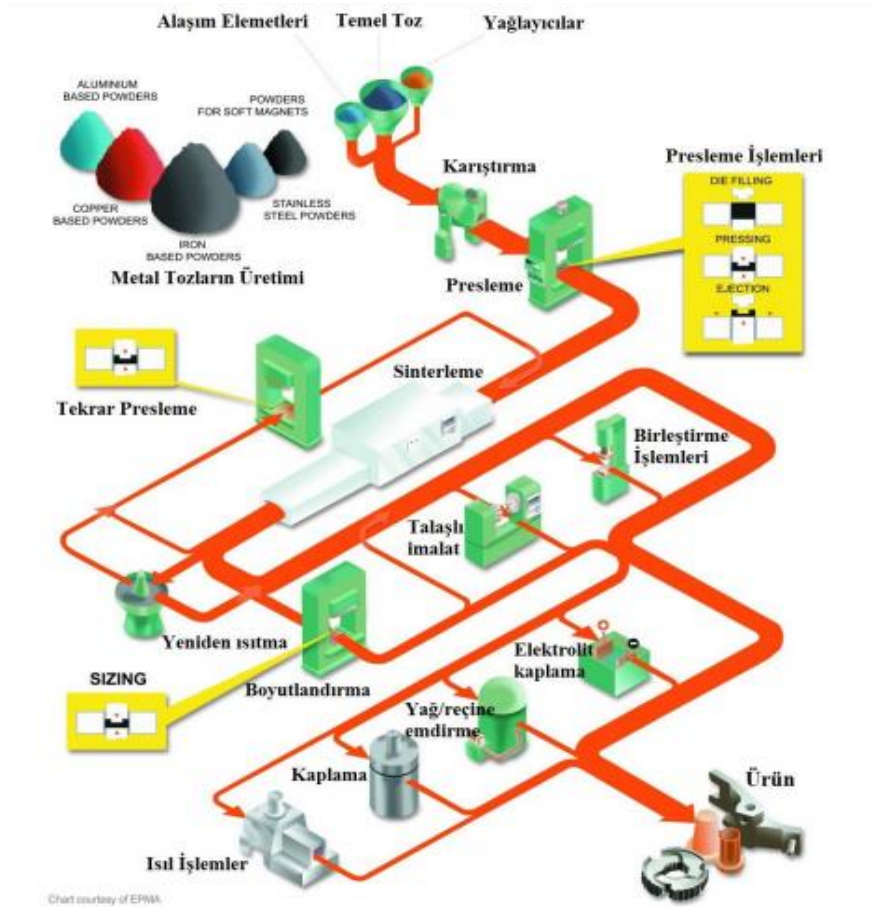


Deneyin Adı: Toz Metalurjisi

Deneyin Amacı: Toz metalurjisi üretim işlemlerinin ve uygulama alanlarının öğrenilmesi

1. Teorik Bilgi

Toz metalürjisi, metal tozlarının belirli oranda karıştırılarak, oda sıcaklığında hassas kalıplarda istenilen teknik değerlere uygun basınçlarda sıkıştırılması ve sonrasında kontrollü atmosfer şartlarında sinterlenmesiyle parça üretme yöntemidir. Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb.) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur. Bu yönetime ait imalat basamakları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1. Toz metalurjisi yöntemiyle parça üretim akış şeması



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

1.1. Toz Hazırlama Prosesi

1.1.1. Toz Üretimi

Tozlar, akışkan benzeri davranış gösteren, genellikle 1 mm'den küçük ve üretim yöntemine göre küre, küp, tel, yassı, disk, kar tanesi gibi düzenli ya da tamamen düzensiz şekillere sahip, saf ya da alaşım halinde özel olarak hazırlanan malzeme grubu olarak tanımlanabilir. Toz oluşumunda amaç daha fazla yüzey alanına sahip küçük boyutlu partiküllerin oluşturulmasıdır. Metalik malzemelerin ergime sıcaklarının, reaksiyon, tutuşma ve soğuma hızlarının, özgül ağırlıklarının, ısı iletkenliklerinin farklı olması farklı toz üretim yöntemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Metalik tozların üretimleri;

- Mekanik yöntemler,
- Kimyasal yöntemler,
- Elektroliz yöntemi,
- Atomizasyon yöntemleri

1.1.2. Tozların Kompozisyon Tayini:

Nihai malzemenin sahip olması istenen özelliklere göre ilgili kompozisyon sistemini gösteren diyagramlar üzerinden kompozisyon tayini yapılır. Aynı şekilde sıvı faz sinterleme metodu kullanılacaksa kullanılacak katkı sistemi de (ör: $\text{SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$) faz diyagramlarında oluşum sıcaklığı ve tane sınırı camı fazının özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenir.

1.1.3. Karıştırma:

Toz metalurjisi yoluyla üretiminde karıştırma prosesi temelde iki amaç içindir. Birincisi eğer varsa çok düşük fraksiyonlarda ilave edilen sinterlemeye yardımcı katkıların homojen dağılımı, ikincisi ise eğer ana malzeme farklı fazlardan oluşuyorsa bu fazlarının homojen karışımı amaçlarını gerçekleştirmek için karıştırma işlemi yapılır. Karıştırma farklı yöntemleri kullanılarak yapılabilir. En bilinenleri bilyalı değirmen, titreşimli değirmen, atritör değirmen, halkalı değirmendir. Bu yöntemlerin farklı avantaj ve dezavantajları vardır. Kuru karıştırma ve yaş karıştırma olmak üzere 2 şekilde karışım gerçekleştirilir. Sıvı karıştırma özellikle çok düşük yüzdelerde karışım oranları kullanılıyorsa gerekli bir yöntem olup daha etkili homojen bir karışım verir.

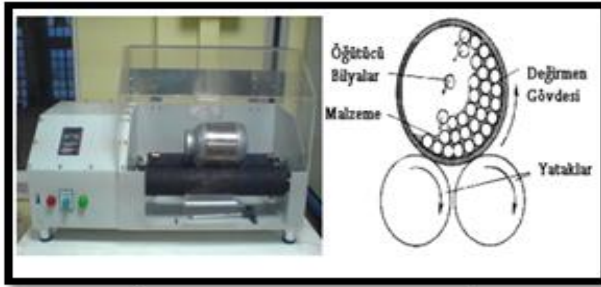


ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

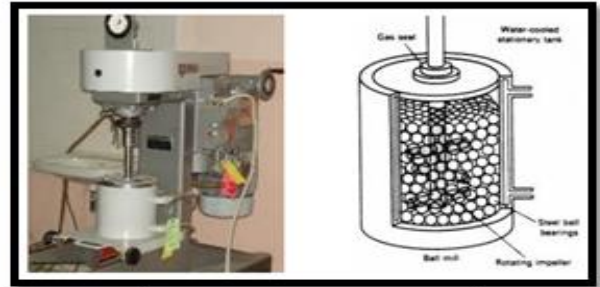
MALZEME ANA BİLİM DALI Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Karıştırma Prosesinde İşlem Parametreleri

- Öğütme kabı
- Öğütme hızı
- Öğütme zamanı
- Öğütücü malzeme (bilya) tipi
- Bilya-Toz oranı
- Öğütme atmosferi
- Öğütme sıcaklığı
- Kullanılan solvent türü



BİLYALI DEĞİRMEN



ATRİTÖR DEĞİRMEN



TİTREŞİMLİ DEĞİRMEN



HALKALI DEĞİRMEN

Şekil 2. Değirmen Çeşitleri

1.1.4. Şekillendirme



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Sıkıştırma bir yük altında serbest yapıdaki toz partiküllerinin istenilen şekle dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir. Tozların sıkıştırılmasındaki ana amaç ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 70 ila 700 MPa arasındadır ve pratikte kullanılan basınç değerleri ise genellikle 145 – 450 MPa arasındadır. Birçok halde preslemeden önce tozlar 400 – 800 °C arasında bir ısıtmaya tabi tutulur. Böylece oksitler, rutubet, karbon, kükürt ve fosfor mümkün mertebe ortamdan uzaklaştırılmış olur. Ayrıca ısıl işlem tozların sertliklerini de azaltır. Böylece tozların sıkıştırılabilme imkânı artar. Sıkıştırılabilme tavlama sıcaklığı arttıkça, oksijen azaldıkça artar.

Basınçsız Teknikler

- Bulamaç (çamur) döküm
- Gevşek sinterleme veya yerçekimi ile şekil verme
- Sürekli basınçsız şekillendirme

Basınçlı Teknikler

- Kalıpta sıkıştırma
 - Tek yönlü presleme
 - Çift yönlü presleme
 - Çift yönlü yüzen kalıpta presleme
 - Çok hareketli kalıpta presleme
 - Çok hareketli yüzen kalıpta presleme
- İzostatik şekillendirme
 - Sıcak izostatik presleme
 - Soğuk izostatik presleme
- Yüksek enerjili şekil verme
- Toz dövme
- Ekstrüzyon
- Titreşimli şekillendirme



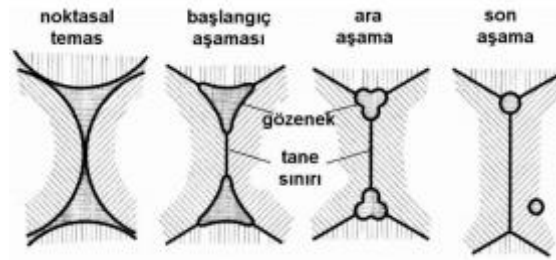
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

- Sürekli şekillendirme
- Toz enjeksiyon kalıplama

1.1.5. Sinterleme

Sinterleme, parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlayarak önemli ölçüde mukavemet artısına ve özelliklerin iyilesmesine yol açan ısıtma işlemidir. Bu bağlanma, ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle olur. Bazı durumlarda az miktarda sıvı faz oluşumu sinterlemeyi kolaylaştırır. Sinterleme, yüksek sıcaklıklarda atomların yayınımlı ve küçük parçacıkların yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir. Hatırlanacağı gibi, toz üretimi malzemeye enerji vererek yüzey alanı veya yüzey enerjisi yaratma işlemidir. Sinterleme ile bu yüzey enerjisi giderilir. Birim hacimdeki yüzey enerjisi parçacık boyutu azaldıkça arttığından küçük boyuttaki parçacıklar daha hızlı sinterlenir.



Şekil 3. Gözenek yapısındaki değişim

1.2. Toz metalurjisi yönteminin diğer üretim yöntemlerine göre üstünlükleri

- Talaş kaldırma işlemleri azaltılarak veya ortadan kaldırılarak hurda kayıpları azaltılır. Ergitme kayıpları yoktur.
- Dar toleranslarda ve düzgün yüzeyli parçalar üretilebilir.
- Yoğunluk ve ergime noktasındaki farklılıklar nedeniyle başka yöntemlerle imali mümkün olmayan alaşım veya karışımlar (kompozitler) imal edilebilir.
- Aşınma dayanımını arttırmak için gözeneklere yağ emdirilebilir.
- Hızlı katılaştırılmış toz üretilebilir.
- Seri imalata uygundur.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

1.3. Toz metalurjisi yönteminin diğer üretim yöntemlerine göre zayıflıkları

- Tozların kalıp içindeki akışı sınırlıdır. Bu nedenle üretilecek parça şekli kısıtlayıcı bir faktör olabilir.
- Karmaşık şekilli parçaların yoğunluğu her yerde aynı olmayabilir.
- Üretilen parçaların mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için ek işlemler gerekebilir.
- Metal tozları n g o t halindeki malzemelerden daha pahalıdır.
- Seri üretim yapılmazsa üretim ekonomik değildir.
- Boyut toleransları talaşlı işleme göre biraz daha kabadır.

1.4. Toz metalurjisi Uygulamaları

- Tungsten karbür parçalar
- Pompa ve kompresör levha ve gömlekleri
- Matkap uçları
- Biyomalzemeler (Kalça protezi, diz protezi)
- Türbin kanatları
- Valf ve vanalar
- Dişli çarklar



Şekil 2. Toz metalurjisi uygulama örnekleri

2. Deney Malzemesi Ve Teçhizatlar

- Alüminyum tozu
- Hassas terazi



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

- Kalıp
- Hidrolik pres
- Soğuk İzostatik Pres

3. Deneyin Yapılışı

- Toz kompozisyonu belirleme ve tartma
- Tozların karıştırılması
- Kuru preslenmesi
- Soğuk İzostatik Preslenmesi



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

Deneyin Adı: Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Deneyin Amacı: Malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün ölçümü, önemi ve nerelerde kullanıldığının belirlenmesi.

Teorik Bilgi

Yüzey dokusu, yüzeyin üç boyutlu topoğrafyasının olduğu nominal yüzeyden rastgele veya tekrarlı olarak meydana gelen sapmalar şeklinde tanımlanabilir. Yüzey dokusu ;

- Pürüzlülüğü (mikropürüzlülük),
- Dalgalanmayı (makropürüzlülük),
- Yüzey paternini,
- Yüzey hatalarını içerir.

Şekil 1’de tek yönde yüzey paternine sahip bir yüzeyin, yüzey dokusu görülmektedir. Mikropürüzlülük, moleküler boyutlardaki girinti ve çıkıntıların malzeme yüzeyinde ufak dalga boylarında oluşturdukları dalgalanmalar şeklinde görülürken, makro pürüzlülük daha büyük boyutlardaki girinti ve çıkıntıların büyük dalga boylarında oluşturdukları dalgalanmalar şeklinde görülür. Yüzey paterni ise üretim sistemine bağlı olarak oluşan, yüzey yapısı şeklinde açıklanabilir. Yüzey hataları ise üretim sırasında oluşan ve yüzey topoğrafyasında kesintilere sebebiyet veren hatalardır. Malzemelerin içerdikleri yüzey pürüzlülüklerinin belirlenmesi amacıyla birtakım cihazlar geliştirilmiştir. Bu amaçla geliştirilen cihazlar;

- Mekanik profilometreler,
- Optik profilometreler,
- Atomik kuvvet mikroskobu,
- Taramalı elektron mikroskobu şeklinde sıralanabilir.

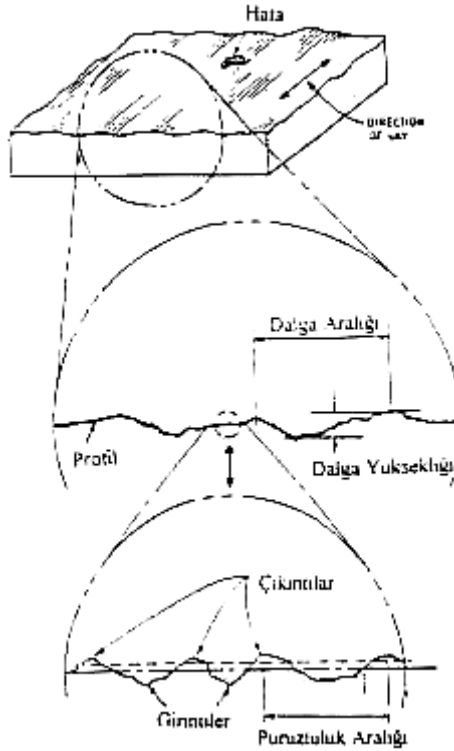
Sayılan bu cihazlardan mekanik profilometre ve atomik kuvvet mikroskobu, temaslı olarak yüzey pürüzlülüğünü belirlerken optik ve taramalı elektron mikroskobu ile temassız olarak 2 yüzey pürüzlülükleri belirlenebilir. Yumuşak ve yüzeyleri hassas olarak işlenmiş malzemelerin yüzey incelemelerinde, temassız olarak ölçüm



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

yapabilen cihazlar kullanılır. Mekanik ve optik profilometreler, yüzey araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Tek yönde yüzey paternine sahip bir yüzeyin görünüşü

Mekanik profilometreler, elmas sivri bir ucun malzeme yüzeyinde gezdirilmesi sırasında sivri ucun, malzeme yüzeyindeki girinti ve çıkıntılardan geçerek malzemenin yüzey profilinin çıkarılması prensibine dayalı olarak çalışır. Şekil 2' de mekanik bir profilometrenin yapısı ve kullanılan elmas ucun özellikleri şematik olarak verilmiştir. Şekil üzerinde görüldüğü gibi kullanılan elmas uç, 850 'lik açığa ve 5 μ m eğrilik yarıçapına sahiptir. Elmas uç, belirli bir eğrilik yarıçapındaki bir destek ile desteklenmiştir. Tutucu kol sürücü ünitesine bağlıdır. Sivri elmas ucun malzeme yüzeyinde gezdirilmesi sırasında çıkıntı ve girintilerden geçerken dikey eksen boyunca hareket eder. Meydana gelen dikey yer değişimleri elektro-mekanik dönüştürücüler ile elektrik sinyallerine dönüştürülürler. Üretilen elektrik sinyalleri güçlendiricilerden geçirilir. Güçlendiricilerden geçirilen elektrik sinyalleri, pürüzlülük ve dalgalılık sonuçlarının elde edilmesi için üç farklı işlemci ile beslenir. Pürüzlülük işlemcisine



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

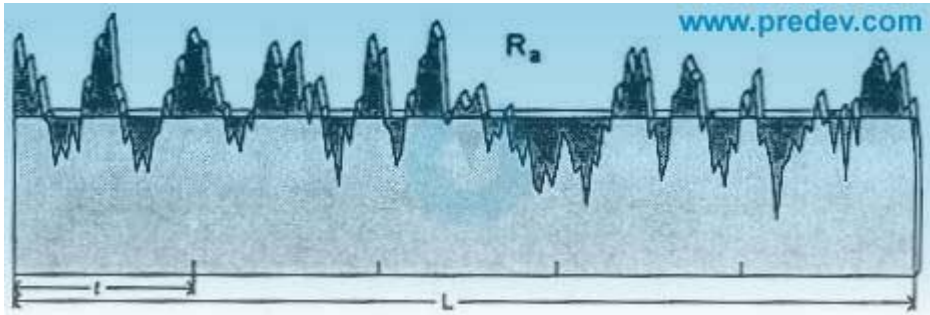
beslenen sinyaller yüksek geçirimli filtrelerden geçirilirken, dalgalılık belirleme işlemcisine beslenen elektrik sinyalleri düşük geçirimli filtrelerden geçirilir. Sonuçta elde edilen bütün değerler kayıt edici tarafından saklanır. (Alpdoruk, 1996)

Kullanım Alanları: Temaslı veya temassız olarak değişik şekilli sert veya yumuşak malzemelerin yüzey pürüzlüklerinin saptanması amacıyla kullanılabilir. Şekil 2 'de deneyler sırasında kullanılan yüzey profilometresi cihazı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2. Yüzey Profilometresi

Ra - Average Roughness (Ortalama Pürüzlük)



Ortalama pürüzlük yüzey profilinin mutlak değerinin integralidir. Tatalı alanın L uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir. En çok kullanılan pürüzlük parametresidir

Rt, Rp (Rz), and Rv



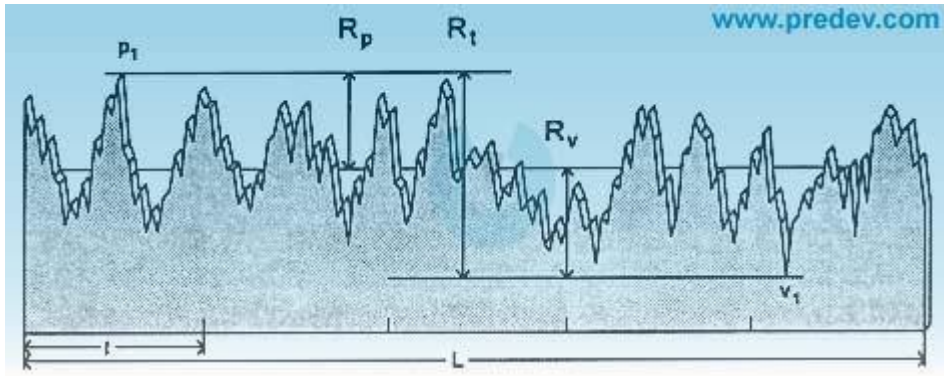
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

R_p (R_z) pik pürüzlülüktür, yüzey profilinde yeralan en yüksek piktir.

R_v en derin piktir.

R_t her ikisinin toplamıdır.



3. Deney Malzemesi Ve Teçhizatlar

⊗ Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

⊗ Çeşitli yüzey pürüzlüklerine sahip numuneler

4. Deneyin Yapılışı

- Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için gerekli şartlar belirlenir (ölçüm yapılacak standart, pürüzlülük profili, örnekleme mesafesi, ölçüm yapılacak toplam mesafe, ölçüm hızı gibi)
- Algılayıcı uç (stylus) malzeme üzerine temas ettirilir. Uç malzeme üzerinde iken malzemenin hareket etmemesine özen gösterilmelidir.
- Algılayıcı uç, incelenecek yüzey üzerinde belirlenen ölçüm mesafesi boyunca hareket ettirilerek tarama yapılır.
- Yüzeydeki girinti ve çıkıntılar uç vasıtasıyla tespit edilir. Ucun dik yöndeki hareketleri bir dönüştürücü aracılığıyla elektrik işaretine çevrilir. Daha sonra bu işaretler yükseltici ile büyütülür ve bir kalem vasıtasıyla çizilerek yüzey pürüzlülüğü grafiği hazırlanmış olur.



ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MALZEME ANA BİLİM DALI
Malzeme Laboratuvarı Deney Föyü

5.Değerlendirme

Deney sonucunda çeşitli koşullarda hazırlanmış numuneler için yüzey pürüzlük değerleri elde edilir. Malzemelerin nihai işlem koşullarının yüzey pürüzlüğüne etkisi belirlenmiş olur.