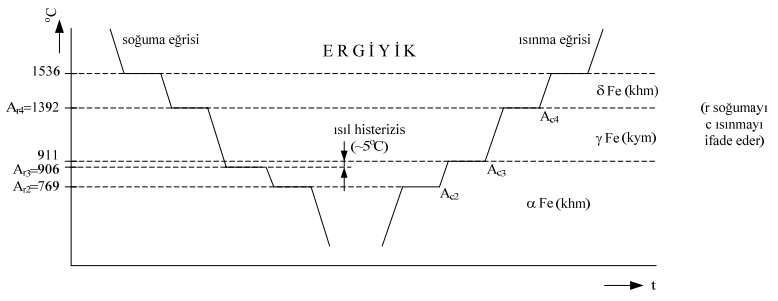
Demir – Karbon Denge Diyagramı

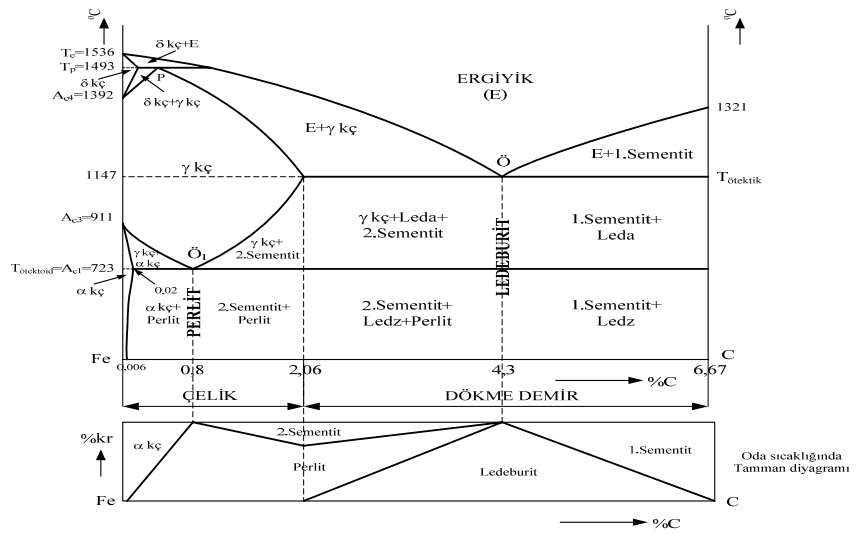
Saf Demirin Soğuma ve Isınma Eğrileri

- *769°C Curie noktasıdır. Bu sıcaklığın altında Fe manyetik özellik gösterir.*

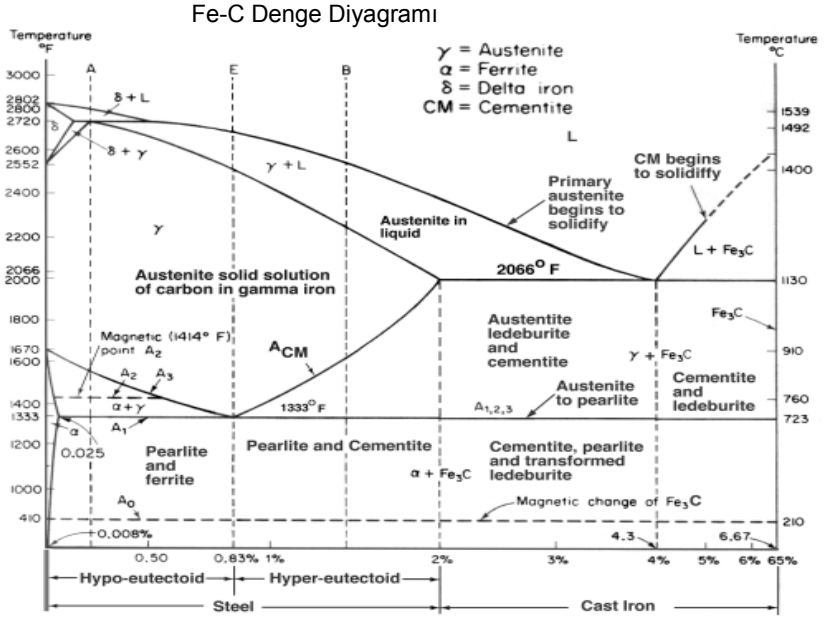


Şekil: Saf demirin soğuma ve ısınma eğrileri

Fe-C Denge Diyagramı

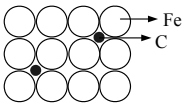


Fe-C Denge Diyagramı



Fe-C Denge Diyagramı

- Östenit kym
- Ferrit khm
- Sementit (intermedial bileşik)



Arayer katı çözeltisi

Ferrit; çok az miktarda C içeren, ancak pratikte saf demir (Fe) olarak kabul edilen khm, şekil alabilen, kısmen sünek, manyetik kristallerdir. Yaklaşık 60 VSD sertliğindedir $\%uzama = \%A \cong \%50$

Östenit; kym, kolaylıkla şekillendirilebilen, manyetik olmayan katı çözeltidir

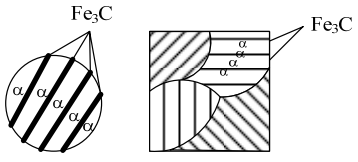
Sementit; sert, kırılgan, şekillendirilemeyen bir ara bileşiktir. Yaklaşık 800 VSD sertliğindedir. İki türdür. 1.Sementit ergiyikten ilk katılaşan sementittir. 2.Sementit ise Υ-kç den 'den çökelen sementittir

Çeliğe Ni ilavesi ile oda sıcaklığında östenit yapısı elde edilerek plastik şekil değiştirme kabiliyeti arttırılabilir

Ötektoid Dönüşüm (Perlitik Dönüşüm

- Ötektoid dönüşüm

$$K \rightarrow K_1 + K_2 \qquad \gamma\, kç_{(0,8C)} \xrightarrow{723^\circ C} \underbrace{\alpha\, kç_{(0,02C)} + Fe_3C_{(6,67C)}}_{Perlit\,(P)}$$



Perlit tanesi

Perlitik yapı (Ötektoid çelik)

723°C'de ayrışan 2.Sementit yüzdesi

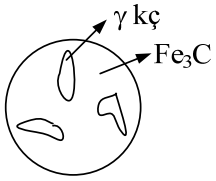
$$\frac{2,06 - 0,8}{6,67 - 0,8} x100 = \%21,5$$

Ötektik Dönüşüm (Ledeburitik Dönüşüm)

- Ötektik dönüşüm

$$E \rightarrow K_1 + K_2$$

$$E_{(4,3C)} \xrightarrow{1147^{\circ}C} \underbrace{\gamma\, kç_{(2,06C)} + Fe_3C(1.Sem)_{(6,67C)}}_{Ledeburit\,(Led_a)}$$



Leda

Dönüşmüş ledeburit (Ledz): 723°C'nin altında, ledeburit içindeki östenitlerin bir kısmının perlite dönüşmesi durumudur.

Ledz

PERİTEKTİK DÖNÜŞÜM

- **Peritektik Dönüşüm**

$$E + K \rightarrow K_1$$

$$E + \delta\, kç \xrightarrow{1493^{\circ}C} \gamma\, kç$$

PERİTEKTİK DÖNÜŞÜM

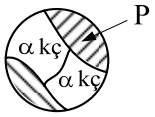
- **Peritektik Dönüşüm**

$$E + K \rightarrow K_1$$

$$E + \delta\, kç \xrightarrow{1493°C} \gamma\, kç$$

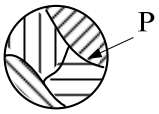
KARBON ORANLARINA GÖRE ÇELİKLER

- Ötektoidaltı çelik %0,006 C - %0,8 C



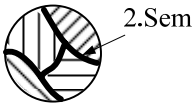
α kç+P

•Ötektoid (Perlitik) çelik (%0,8 C'li)



Perlitik yapı

•Ötektoidüstü çelik %0,8 C - %2,06 C



P+2.Sem

ÖTEKTİK ALAŞIM

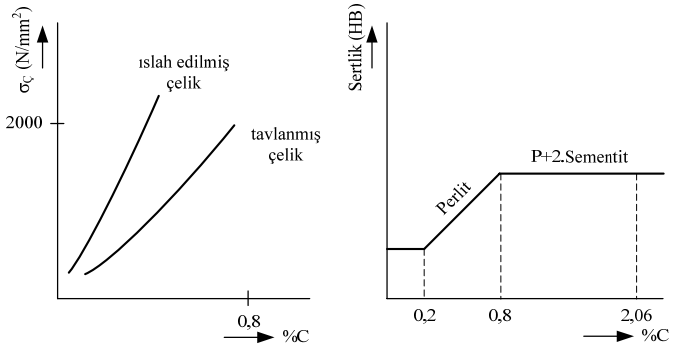
- Ötektik Alaşım (Ledeburitik Alaşım %4,3 C'li)
- %2,06 C - %4,3 C Ötektikaltı alaşım
- %4,3 C - %6,67 Ötektiküstü alaşım

ÇELİK

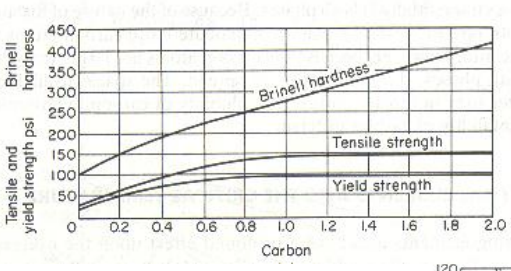
- Maksimum %2,06 C içeren ve ek işlem gerektirmeksizin şekillendirilebilen Fe-C alaşımıdır. Genellikle sünek malzemelerdir.
- Uygulanan ısıl işlemlerle mekanik özellikleri örn. sertlikleri, dayanımları ve tane boyutları değiştirilebilir.
- Çeliğin özelliklerinin değişimine en fazla etki eden element karbondur.
- Çelik, demir-karbon alaşımı olup diğer alaşım elementlerini de belli oranda içerebilir. Binlerce farklı kompozisyonda ve/veya farklı ısıl işleme sahip çelik çeşidi mevcuttur. Mekanik özellikler, çeliğin bileşimine ve uygulanan ısıl işleme bağlı olarak değişmektedir.

KARBON ORANININ ETKİSİ

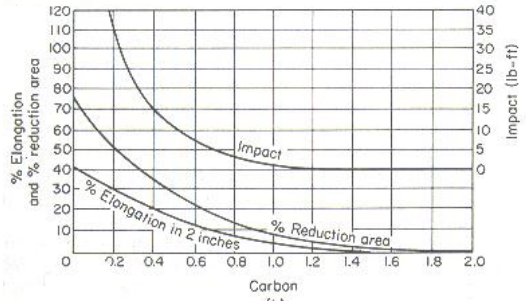
Çelik içersine ilave edilen karbon oranı, çeliğin dayanımını sertliğini etkiler.



KARBONUN ÇELİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ



Çeliğin çekme ve akma dayanımı ve sertliği üzerine karbonun etkisi



Çeliğin darbe dayanımı ve sünekliği üzerine karbonun etkisi

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

- Karbonlu çeliklerden normal olarak sağlanamayan kendine has özellikleri sağlayabilmek amacıyla, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımlı çeliklerdir.
- Alaşım elemanlarının etkisi, diğer metallere nazaran en çok çelik yapısında etkili olmaktadır.
- Ayrıca alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir olmadığından, çok sayıda alaşım elementinin birlikte bulunması halinde beklenen özellik değişmeleri ancak genel çerçevede ele alınabilir ve bu konuda kesin bir yaklaşım yapılamaz.
- **Alaşımlı çelikler, alaşım elemanların (karbon ve arıtılamayan elemanlar dışında kalan diğerleri) toplam miktarı % 5 den az olanlar düşük alaşımlı çelikler ve alaşım elemanlarının toplamı % 5 den fazla olanlar yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere, iki ana gruba ayrılırlar**..

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

- Alaşımsız çeliklere benzer davranışa sahip olan düşük alaşımlı çeliklerin en belirgin özelliği, sertleşme kabiliyetlerinin daha yüksek olmasıdır.
- Ayrıca, sertlik, çekme dayanımı, akma sınırı, elastiklik modülü gibi dayanım özellikleri ile sıcağa dayanıklılık, meneviş dayanıklılığı, gibi karakteristikler yükselirken, genellikle kopma uzaması, kesit daralması, çentik darbe dayanımı gibi değerlerde azalma olur.
- Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde istenilen özelliklerin bulunmaması veya yetersiz olması halinde yüksek alaşımlı çelikler kullanılır.
- Bu tür alaşımlama, normal sıcaklıklardaki mekanik dayanımın artırılması yanısıra, özellikle sıcağa, tufallaşmaya ve korozyona dayanım, sıcaklıkta sertlik ve manyetlenmeme gibi bazı istenen özelliklerin elde edilmesini amaçlar

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

- KARBON
  Çelik için temel alaşım elementidir. Karbon miktarının artmasıyla sertlik ve dayanım önemli ölçüde artar. % 0.8 karbona kadar çekme gerilmesi ve akma sınırı değeri artar. Bu değerden sonra kırılganlık artar, ısıl işlem sonu sertlik kalıntı östenit sebebiyle daha fazla artmaz. Çeliğin alabileceği max sertlik 67 HRC olup bu değer 0.6 karbon miktarı ile elde edilir. Karbon miktarının artması aynı zamanda sünekliği, dövülebilirliği, derin çekilebilirliği ve kaynak kabiliyetini düşürür. Yüksek karbonlu çeliklerin ısıl işleminde çatlama riski de fazladır.
- MANGAN
  Yapıya genellikle cevher halinde iken girer. Mekanik özellikleri iyileştirmesi dolayısıyla ayrıca da ilave edilir, temel alaşım elementi olarak da kendisini gösterebilir. Genel olarak sünekliği azaltmakla birlikte çeliğin dayanımını artırır özelliğe sahiptir. % 3 Mn miktarına kadar, her % 1 Mn için çekme dayanımı yaklaşık 100 MPa kadar artar. % 3 - 8 arası artış azalır. % 8 den itibaren düşüş görülür. Çeliğin dövülebilirliği ve sertleşebilirliğini iyileştirici özelliktedir. Kaynak kabiliyetini etkilemez ve kaynaklanabilir malzemeler içinde % 1.6 oranına kadar yükseltilebilir. Manganın iyi yöndeki etkisi karbon oranının artmasıyla birlikte artar.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

- SİLİSYUM
  Çelik üretimi esnasında deoksidan olarak kullanılır. Döküm çeliklerde, döküme akıcılık sağlamak için ilave edilebilir. Ferrit içerisinde çözünebilme özelliğine sahip olduğu için malzemenin süneklik ve tokluğunu düşürmeden, dayanımı ve sertliği artırır. Yüksek silisyum içeren çeliklerin ısı dayanımı da yüksektir. Genel olarak sertleşebilirliği, aşınma dayanımını, ve elastikiyeti yükseltmesine karşın yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler.
- KÜKÜRT
  Demir ile birlikte Fe-S bileşiği oluşturarak, tane sınırlarında birikir ve malzemenin gevrekleşmesine yol açar.
  800° C - 1000° C arasında şekil değiştirme esnasında "kızıl sıcaklık kırılganlığı" 1200° C üzerindeki sıcaklıklarda "akkor sıcaklık kırılganlığı" meydana getirir.
  Bu sebeplerle çelik için zararlı bir element olarak kabul edilerek, giderilmesi yönünde çalışılır. Ancak otomat çeliklerinde iki katı kadar Mn ilave edilerek kullanılmak suretiyle, talaşlı işlenebilirlik kabiliyetini artırmak amacıyla kullanılır. Genel olarak kaynak kabiliyeti ve sertleşebilirliği olumsuz etkiler.
- FOSFOR
  Çelik içinde fosfor bulunması ile malzeme tokluğunu düşüren, zararlı etkiye sahip bir elementtir. Çeliğin dayanımını ve sertliği artırıcı özelliği olmasına karşın süneklik ve darbe dayanımını düşürür. Bu etki yüksek karbonlu çeliklerde daha net görülür. Çelik içerisinde mümkün olduğunca düşük olmasına çalışılır ve kükürtle birlikte fosfor azlığı malzeme kalitesinde birinci kriterdir.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

- KROM

  Çeliklere en fazla ilave edilen alaşım elementidir. Çeliğe ilave edilen krom Cr7C3 ve Cr23C6 gibi sert karbürler oluşturarak sertliği direkt olarak artırır. Dönüşüm hızlarını da yavaşlatarak sertlik derinliğini de aynı oranda artırır. Krom %25 varan değerlerde ilave edilmesi halinde malzeme yüzeyinde bir oksit tabakası oluşturarak paslanmaya karşı direnç sağlar ve malzemeye parlak bir görüntü kazandırır. Çekme dayanımını ve sıcağa dayanımı da artırır özelliğe sahiptir. Bazı alaşımlarda meneviş kırılganlığına sebep olabilir veya sünekliği düşürebilir. Bu etkileri azaltmak amacıyla daha çok Ni ve Mo ile birlikte kullanılır.
- NİKEL

  Nikel %5 e varan oranlarda, alaşımlı çeliklerde geniş bir biçimde kullanılır. Nikel malzemenin mukavemetini ve tokluğunu artırır. Özellikle paslanmaz çeliklerde daha geniş yer alır. Nikel aynı zamanda tane küçültme etkisine de sahiptir. Alaşım elemanı olarak nikelin tek başına kullanımı son yıllarda azalmış Ni-Cr alaşımı başta olmak üzere Ni - Mo yahut Ni - Cr - Mo alaşımları yaygınlaşmıştır. Sıcağa ve tufalleşmeye karşı iyileştirici özelliğe sahip olmasının yanı sıra, krom ile birlikte kullanılarak sertleşmeyi, sünekliği ve yüksek yorulma direncini artırır.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

- MOLİBDEN

  Molibden düşük nikel ve düşük krom içeren çeliklerde temper gevrekliği eğilimini gidermek için kullanılır. % 0.3 civarında molibden ilavesi bunu sağlar. Molibden ilavesi yapılan nikel ve krom çeliklerinin temper sonrası darbe dayanımları da önemli ölçüde yükselir. Aynı zamanda akma ve çekme dayanımını artırır.
- VANADYUM

  Nikel gibi vanadyum da çelikler için önemli bir tane küçültücüdür. % 0.1 gibi bir oranda kullanılması bile, sertleştirme prosesi esnasında tane irileşmesini önemli ölçüde engeller. Vanadyum sertlik derinliğini artırmakla beraber sıcaklık dayanımını da artırır. Özellikle kesmeye çalışan parçalarda, darbe dayanımının artmasını sağlayarak kesici kenarların formunun uzun süre muhafaza edilmesinde etkilidir.
- WOLFRAM

  Çeliğin dayanımını artıran bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinde, kesici kenarın sertliğinin muhafazasını, takım ömrünün uzamasını ve yüksek ısıya dayanımını sağlar. Bu sebeple özellikle yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak kullanılır. Yüksek çalışma sıcaklıklarında, çeliğin menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

- NİOBYUM
  Tane inceltici ve karbür yapıcı etkiye sahip olduğundan akma sınırının yükselmesine ve sertliğin artmasına sebep olur.
- TİTANYUM
  Kuvvetli karbür yapıcı özelliği vardır ve sertliği artırır. Çelik üretimi esnasında deoksidan olarak da kullanılır. Tane inceltici yapıya sahiptir.
- KOBALT
  Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini yavaşlatır bu nedenle daha çok hız çeliklerine ve sıcağa dayanıklı çeliklere ilave edilir.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

- ALÜMİNYUM
  En güçlü deoksidandır. Çeliğin ısıtılması durumunda tane kabalaşması ve yaşlanmayı azaltır. Tane inceltici özelliğe sahiptir.
- BOR
  Düşük ve orta karbonlu çeliklerde sertleşebilme özelliğini arttırır. Sakinleştirilen diğer bir deyişle durgunlaştırılan çeliklere 0.0005 - 0.003 kadar düşük oranda katılırlar.
- BAKIR
  Sıcak şekillendirmede kırılganlık yaratan bakır için % 0.5 oranı pek aşılmaz. Sünekliği ciddi oranda düşürür. Buna rağmen korozyon dayanımını ve sertliği arttırır.
- AZOT
  Yapı içinde nitrürlü bileşikler oluşturularak çeliğin sertliğini artırır. Mekanik dayanım ve korozyona karşı direnci artırır.

ÇELİĞİN SINIFLANDIRILMASI

Kimyasal bileşimine göre:

- Alaşımsız çelik
- Alaşımlı çelik (düşük alaşımlı, yüksek alaşımlı)

%C oranına göre

- < %0,1 C — Saf demir
- %0,1 C - %0,2 C — Az (Düşük) karbonlu çelik
- %0,2 C - %0,5 C — Orta karbonlu çelik
- %0,5 C - %2,06 C — Yüksek karbonlu çelik
- Aşağı doğru inildikçe

Kullanım yerinde istenen özelliğe göre:

- Kütle çeliği (alaşımsız)
- Kalite çeliği (alaşımsız/alaşımlı)
- Soy çelik

Kullanım Yerine Göre

- İmalat çeliği (yapı çeliği, ıslah çeliği, sementasyon çeliği, nitrasyon çeliği, paslanmaz çelik, yay çeliği)
- Takım çeliği
  - Alaşımsız takım çeliği
  - Soğuk iş takım çeliği (alaşımsız/alaşımlı)
  - Sıcak iş takım çeliği
  - Hız çeliği

24.11.2008 Prof.Dr.Ayşegül AKDOĞAN EKER

- ***Düşük Karbonlu Çelikler***

- Tüm çelikler arasında en büyük miktarda üretilen çelikler bu guruba girer. Genellikle % 0.25'den daha az karbon içerirler.
- Bu tip çeliklerde ısıl işlemle martenzit yapısı elde edilemediği için mukavemetlerinin artırılması ancak soğuk işleme ile mümkündür.

- ***Orta Karbonlu Çelikler***

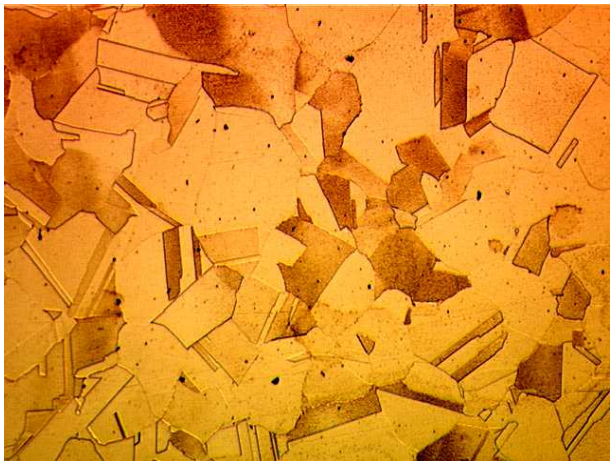
- Orta karbon çelikleri % 0.25 - % 0.60 arasında karbon oranı içeren çeliklerdir. Bu alaşımlar ısıl işleme (östenitleme, hızlı soğutma ve menevişleme) tabi tutularak mekanik özellikleri iyileştirilebilir.
- Alaşımsız orta karbonlu çelikler düşük sertleştirilebilirliğe sahiptirler bundan dolayı sadece çok ince kesitleri uygun bir şekilde sertleştirilebilir.

- ***Yüksek Karbonlu Çelikler***

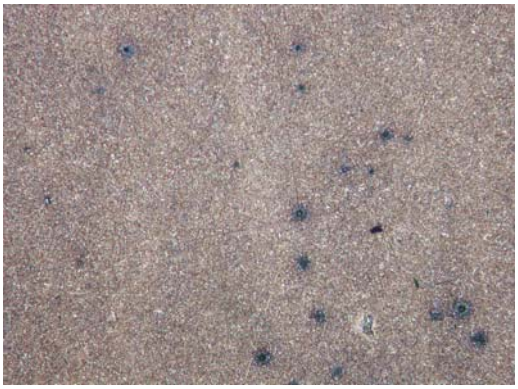
- Yüksek karbon çelikleri % 0.60 - % 1.4 arasında karbon içeren en sert, en dayanıklı ve en düşük sünekliğe sahip karbon çelikleridir.
- Bu çelikler yüksek aşınma dayancına sahip olup neredeyse tamamı sertleştirilmiş menevişlenmiş halde kullanılırlar.
- Takım ve kalıp çelikleri yüksek karbon alaşımları olup, genellikle krom, vanadyum, tungsten ve molibden içerirler.

- ***Paslanmaz Çelikler***

- Paslanmaz çelikler değişik ortamlarda korozyona (paslanmaya) karşı oldukça yüksek direnç gösteren çeliklerdir.
- Bu malzemelerin temel alaşım elemanı krom olup çelikteki ağırlık oranı en az % 10.5 olmalıdır.
- Korozyon direnci çeliğe, nikel ve molibden eklenerek artırılabilir.



Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı



Yüksek mukavemet düşük alaşım çeliğinin
temperlenmiş martenzit mikroyapısı

DÖKME DEMİR

- %2,06-%6,67 oranında karbon içeren Fe-C alaşımıdır. Gevrektirler. İstenilen parça üretimi sadece döküm ve talaşlı şekillendirme ile gerçekleştirilir. Dayanım yükseltici ısıl işlemlerin uygulanması, çeliklere kıyasla daha sınırlıdır. Piyasada kullanılan dökme demirlerin karbon oranı maksimum %5-%5,5'tir.

Dökme demirler kendi içinde sınıflandırılırsa;

- Kır (Gri) DD
  - Lamel grafitli DD
  - Küresel grafitli DD (sfero DD, nodüler DD)
- Beyaz DD
- Temper DD

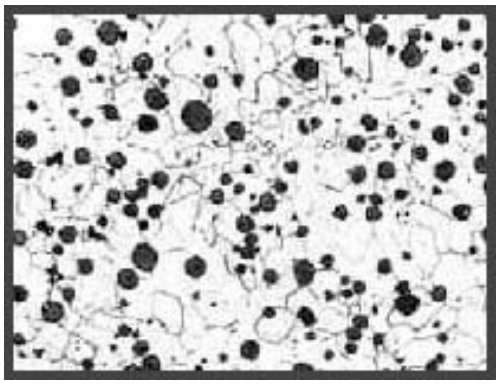
  -Beyaz temper DD

  - Siyah temper DD

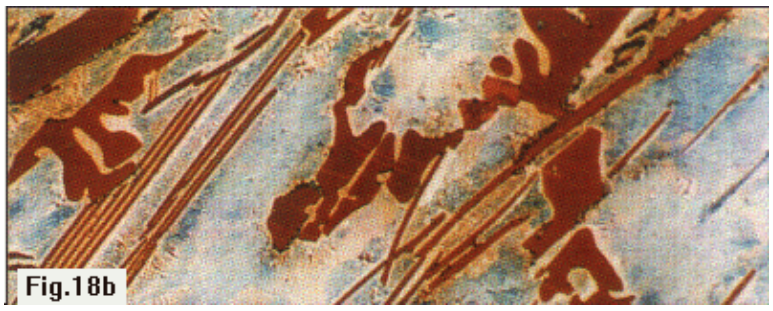
Bazı dökme demirlerin mekanik özellikleri

Kod No	Kompozisyon	Matris Yapı	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Süneklik (% Uzama)
Gri Dökme Demir					
SAE G1800	3.4-3.7C, 2.55Si, 0.7Mn	Ferrit + Pörlit	124	-	-
SAE G4000	3.0 – 3.3C, 2.20Si, 0.8Mn	Pörlit	276	-	-
Sünek Dökme Demir					
ASTM A536 60-40-18	3.5-3.8C, 2.0-2.8Si, 0.05Mg	Ferrit	414	276	18
ASTM A536 60-40-18	3.5-3.8C, 2.0-2.8Si, 0.05Mg	Menevişlenmiş martensit	827	621	2
Temper Dökme Demir					
32510	2.3-2.7C, 1.0-1.75Si <0.55Mn	Ferrit	345	224	10
45006	2.4-2.7C, 1.25-1.55Si <0.55Mn	Ferrit + Pörlit	448	310	6

Gri dökme demirin mikroyapısı



küresel dökme demirin mikroyapısı



Beyaz dökme demirin mikroyapı görünümü

Kaynakça:

- Ş.Güleç-A.Aran, ‘’ Malzeme Bilgisi’’ Cilt 2
- S.Z.Elgun, ’’MET205 Material Science’’
- M.Yüksel.’’Malzeme Bilimleri Serisi’’ Cilt 1
- Prof.Dr.Bülent Eker. ‘’Ders Notları