

2009 Kasım

www.guven-kutay.ch

DEMİR ve ÇELİK

04a

Özet

M. Güven KUTAY

İÇİNDEKİLER

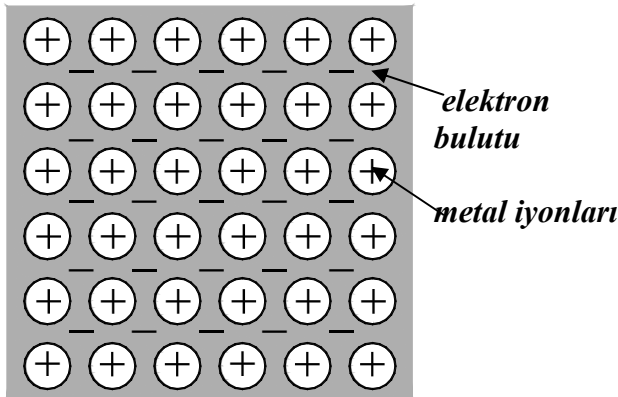
1	Giriş.....	3
1.1	Metallerin kristal yapısı	3
1.2	Kristal kafesi hataları	5
2	Demir	6
2.1	Saf demir	6
2.2	Ham demir.....	7
2.3	Demir-Karbon-Alaşımı	7
2.4	Demir-Karbon-Diyagramı.....	8
2.4.1	DKD da Isıl işlemler dağılımı	8
2.4.2	DKD da kristal yapısı dağılımı	9
2.4.3	DKD nin genel anlatımı	9
2.5	DKD nin detaylı analizi	10
2.5.1	Çelik	10
2.5.2	Dökme demir.....	11
2.5.3	P noktası	11
2.5.4	E noktası	11
2.5.5	H noktası	12
2.5.6	S noktası	12
2.5.7	C noktası	12
2.5.8	CD eğrisi	13
2.5.9	CD eğrisi	13
2.5.10	PQ Eğrisi	13
2.6	Terimlerin tanımı	14
2.7	Genel özet	14
3	Literatür.....	15

1 Giriş

Metallerin ve bu gruba dahil olan demir-karbon alaşımlarının önemli bir özelliği kristal bir yapıya sahip olmalarıdır. Sıvı halinde metallerin kristal yapısı yoktur, atomlar serbest olarak hareket ederler. Metaller katı haldeyken kristallidirler. Bu demektir ki; metali oluşturan atomlar üç boyutlu muntazam bir tertipte bulunurlar. Bu yapıda atomların oluşturduğu üç boyutlu kafese "**hacim kafesi**" (bak Şekil 2) ve bunu meydana getiren en basit geometrik şekile "**birim hücre**" denilir. Cisim kristallerden oluşmuyorsa, malzeme **amor** (düzensiz) malzeme olarak adlandırılır ve atomların sıralanışı muntazam değildir. Amorf olarak sıvıları, camı ve bazı suni malzemeyi sayabiliriz. Kristal ve amorf malzeme arasındaki farkı metal ve camın kırık yüzeyleri karşılaştırılırsa görülür. Metal ile diğer kristalli malzemelerin arasındaki fark atomların bağlantı şekillerinde görülür.

Her atom, kendi dış elektronu ile, stabil durumda olmaya çalışır. Bu durum ya elektron alınarak veya verilerek yaratılır. Böylece elektrik yönünden nötr olan atom negatif veya pozitif ion olur. Böyle bir ion elektrostatik bir alanla çevrili olur ve çevresine kuvvet etkisi gösterir.

Metal atomları genelde elektron verirler. Böylece metallerde pozitif yüklü iyonlar oluşur. Saf metalde elektron alabilecek atom olmadığına göre, verilmiş elektronlara "**valens elektron**" ları, serbest elektronlar denir. Bu valens elektronları ile "**ektron bulutu**" oluşur.



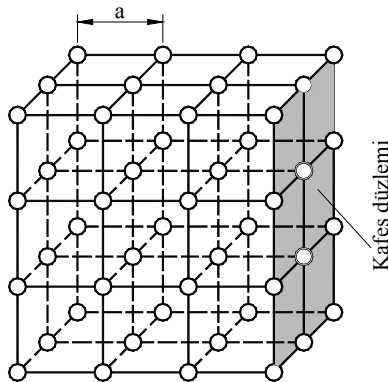
Şekil 1, Metal atomları bağlantısı

Valens elektronları bağımlı olmadan serbestçe hareket ederler. Valens elektronlarının bu özellikleri metallerin elektrik ve ısı iletmelerini sağlar. Yarı iletken metaller istisnadır.

Metallerde "**atom gövdeleri**" tamamen birbirlerinin aynısıdır ve eşit değerdendirler. Atomların bir birilerine göre kaymaları veya atomunların yerlerinin değişmesi malzemenin metal özelliğini değiştirmez. Bu özellik metallerin elastik ve plastik şekil değiştirmelerini oluşturur.

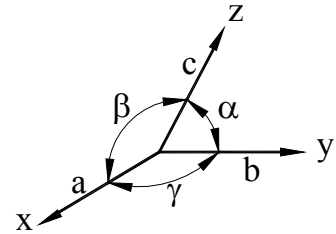
1.1 Metallerin kristal yapısı

Metal iyonları ile elektron bulutu arasında elektriki çekim kuvveti vardır. Diğer taraftan benzer elektrik yüklü atomlar arasındada itim kuvveti oluşur. Bu iki kuvvet atomlar arasındaki mesafe "a"



Şekil 2, Hacim kafesi

büyüdükçe dengelenmeye başlar ama çeşitli bağıntı kanunları halen yürürlüktedir. Belli bir " a_0 " mesafesinde kuvvetler eşitlenir. Bu mesafeye iki atomun en küçük eşitlik mesafesi denir. Bu her metalde değişiktir ve metalin karakteristik büyüklüğüdür. Bu mesafe her metalin atomlarının tertibini verir ve buna metalin "**Kristal kafesi**" denir.



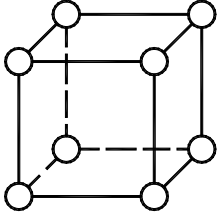
Şekil 3, Kristal eksenleri

Kristal kafesinin tam tanımlanması koordinat sistemi (x, y, z) eksenlerinin, atom uzaklıklarının (a, b, c) ve koordinat eksenleri açıların (α, β, γ) belirlenmesiyle olur (*bak Şekil 3*).

Atom uzaklıkları a, b ve c "**Kafes sabitesi**" veya "**Kafes parametresi**" diye adlandırılır.

Metallerde kafes sabitesi veya kafes parametresinin büyüklüğü genelde 0,25 ile 0,5 nm arasındadır ($1 \text{ nm} = 1 \text{ Nanometre} = 10^{-9} \text{ m}$). Buda aşağı yukarı 1 mm de 2 ile 4 milyon atom olduğunu gösterir.

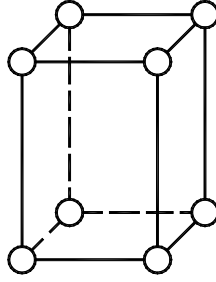
Atomlarla dolu düzleme "**kafes düzlemi**" veya "**ağ düzlemi**" denir (*bak Şekil 2*). Kafes düzlemi şekillerine göre 7 çeşit kristal sistemi vardır. Bu sistemlerden metaller için önemli olan üç sistem; **kubik sistem** (*bak Şekil 4*), **tetragonal sistem** (*bak Şekil 5*) ve **heksagonal sistem** (*bak Şekil 6*) dir.



Şekil 4, Kubik sistem

$$a = b = c$$

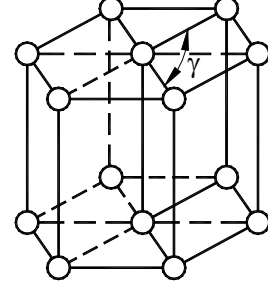
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Şekil 5, Tetragonal sistem

$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



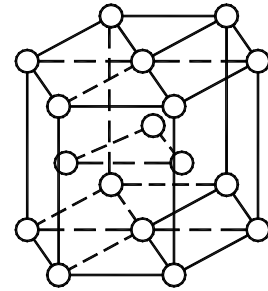
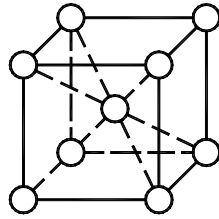
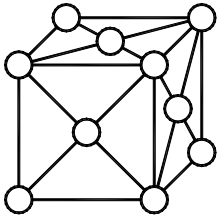
Şekil 6, Heksagonal sistem

$$a = b \neq c$$

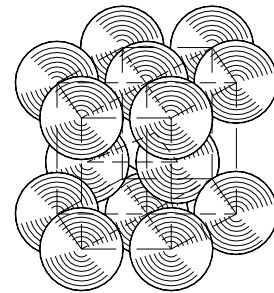
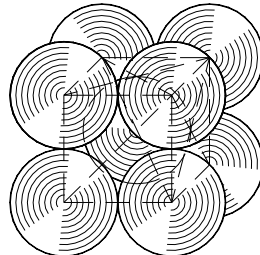
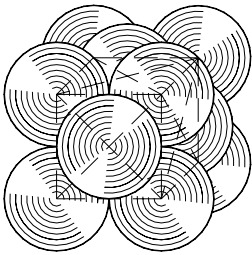
$$\alpha = \beta = 90^\circ ; \gamma = 120^\circ$$

Bunlara ya **basit kafes** veya **primitiv kafes** denir. Çoğu zaman **birim hücrelerinin** ya köşegenlerinin kesit noktalarında veya içlerinde ek atomlar bulunur. Metallerde en çok rastlanan kafes şekilleri, temel kafes şekillerinin değişmesiyle oluşur. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz: **Kubik yüzey merkezli** (*kym*) (*bak Şekil 7*), **Kubik hacim merkezli** (*khm*) (*bak Şekil 8*), **Heksagonal sık merkezli** (*hsm*) (*bak Şekil 9*). Kristaller bilye veya çizgi modeliyle gösterilir. Bilye modelinde atomlar bilye, çizgi modelinde atomlar, orta noktasını gösteren birer nokta ile gösterilirler.

Noktalı modeller



Bilyeli modeller



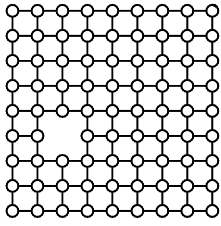
Şekil 7, Kubik yüzey merkezli

Şekil 8, Kubik hacim merkezli

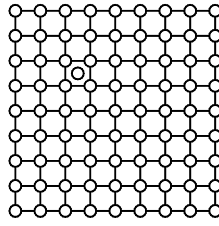
Şekil 9, Heksagonal sık

1.2 Kristal kafesi hataları

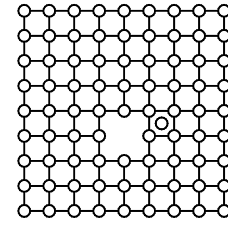
Eriyik katılaşmaya başlayınca, sıvı içerisinde kristal taneleri meydana gelir, bu tanelerin etrafında atomlar toplanmaya ve kristal kafesini oluşturmaya başlarlar. Tanelerin birbirine deyme yüzeylerinde kafes tam olarak oluşmaz. Tane sınırları adını taşıyan bu yüzeyler, kristal yapısının bir hatası olarak kabul edilir. Bunun yanı sıra kristal kafesinin oluşması ve büyümesi sırasında, atom boşlukları denilen atomların işgal edemedikleri noktalar, serbest atomlar ve dislokasyon adı verilen kaymalar gibi kafes hataları bulunur. Bu hatalar malzemenin özelliklerini ve bilhassa mekanik özelliklerini ters şekilde etkilerler. Katılaşma sırasında eriyikte çok sayıda kristal taneleri meydana gelirse, bir çok yerde kristal kafesleri oluşur ve metal ince taneli olarak katılaşır. Aksine kristal taneleri az olan eriyikte, malzeme iri taneli olarak katılaşır. Malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen tane yapısı, pratikte eriyik içersine katık maddeleri ilave edilerek kontrol edilir. Şekil 10 dan Şekil 14 e kadar kristal hataları gösterilmiştir.



Şekil 10, Boş atom yeri



Şekil 11, Kafes arası atomu



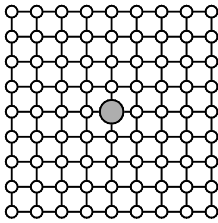
Şekil 12, FRENKEL çifti

Şekil 10 Kafeste boş atom yerleri kristal kafesinin hatasıdır. Boş yerlerin çokluğuna "**Boş yerler yoğunluğu**" denir ve sıcaklığa bağlıdır. Boş yerler yoğunluğu oda sıcaklığında 10^{-12} dir. Bu da; bir milyar kafes yerlerinden yalnız birinin boş olduğudur (takriben 1 mm^2 alan). Sıcaklık metalin erime ısısına geldiğinde boş yerler yoğunluğu 10^{-4} olur. Buda 1 mm^2 kafes alanında 100 milyon boş yerin bulunduğunu gösterir. Boş yerler yoğunluğu termik aktiviteleri etkiler. Örneğin; Difüzyon gibi.

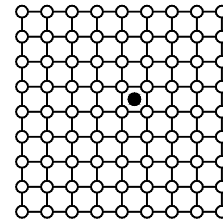
Boş yerler yoğunluğu sıcaklığa bağlı olmasına rağmen, kristal termodinamik dengesini koruyabilir. Bu özellik diğer kafes hatalarında yoktur.

Şekil 11 Bütün kafes noktaları atomlarla dolu iken eğer bir atom kafes arasına yerleşmişse buna "**Kafes arası atomu**" denir.

Şekil 12 Kafes arası atomu çoğu zaman bir atomun yerini terk ederek kafes arasına yerleşmesiyle olur. Buna "**FRENKEL çifti**" denir. FRENKEL çifti çoğu zaman enerji dolu radyoaktif ışınlamalar sonucu oluşur.



Şekil 13, Değiş-Tokuş atomu



Şekil 14, Yerleşme atomu

Şekil 13 Yabancı atomlarda kristal kafesinin hatasıdır. Yabancı atom kristal kafesinin içine karışmış ve kafese ait olan bir atomun yerini almıştır. Bu atoma "**Değiş-Tokuş atomu**" veya "**Substitusiyon atomu**" denir.

Şekil 14 Yabancı atom kristal kafesinin içine karışmış ve kafes atomlarını yerlerinden etmeden kafes arasında bir yer almıştır. Bu atoma "**Yerleşme atomu**" denir.

2 Demir

Demir dünyamızı oluşturan ana elementlerden biridir. Ancak doğada demir saf halde bulunmaz. Demir genellikle cevher halinde başka elementlerle karışım halinde bulunur. Önemli demir cevherleri olarak şunları sayabiliriz:

- **Manyetit** (manyetik demir taşı, Fe_3O_4)
- **Hematit** (kırmızı demir taşı, Fe_2O_3)
- **Limonit** (esmer demir taşı, $Fe_2O_3 \cdot H_2O$)
- **Siderit** (spat demir taşı, $Fe CO_3$).

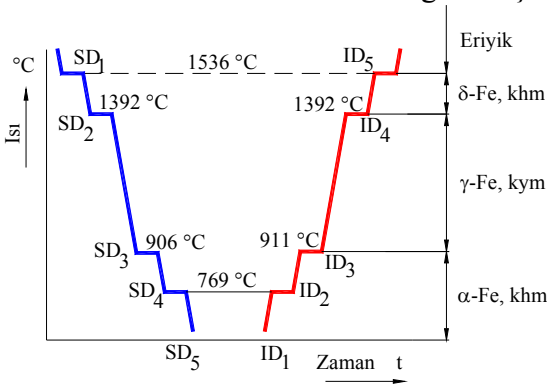
Demir cevherleri kullanılmadan önce bir takım ön hazırlama işlemlerinden geçirilir. Çeşitli kullanım amaçları için yapılan önemli ön hazırlama işlemleri olarak şunları sayabiliriz:

- **Zenginleştirme;** yani cevheri yabancı maddelerden ayırma,
- **Tanelendirme;** çeşitli işlemler için cevherin tanelerini uygun bir büyüklüğüne getirme,
- **Senterleme** ince taneli cevheri $900-1350^\circ C$ arasında ısıtarak işlemleri yapılan cevherin kısmi ergimesi sonucu, tanelerin birbirine yapışarak gözenekli bir yapı meydana getirme işlemidir.

Ön işlemleri yapılan ham demir çelik üretmek için, **Bessemer** konvektörüne, açık ocak **Simens-Martin** fırınına veya **elektrik fırınına** gönderilir. Simens-Martin ve elektrik fırınında, ham demirin yanı sıra çelik hurdaları da ilave edilir. Burada elde edilen çelik, **pota** denilen taşıma kapları ile, **kokil** denilen madeni kalıplara dökülerek **ingot** adını taşıyan katı çelik külçeler elde edilir. Ingotlar buradan ilk olarak dinlendirme yerlerine ve sonrada yassı demir, çubuk gibi yarı mamul üretmek için haddehaneye gönderilir. Daha sonra bunlardan çeşitli ürünler elde edilir.

2.1 Saf demir

Saf demir çok yumuşak ve kolay şekil verilebilir özelliğe sahiptir. Saf demirin özellikleri; sertliği 60HV, kopma uzaması $A = \%50$ ve kopma büzülmesi $Z = \%80$ dir. Saf demirin elde edilmesinin çok pahalı olması yanı sıra mekanik mukavemet değerinin çok küçük olması konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılmasını imkansız hale getirmiştir. Fakat saf demir elektro teknikte aranılan ve kullanılan malzemedir. Saf demirin ısınma ve soğuma diyagramı Şekil 15 ile gösterilmiştir.



Şekil 15, Saf demirin ısınma/soğuma diyagramı

Isınma ve soğuma diyagramı Şekil 15 ile gösterilmiştir.

Erimiş demirin ısı $1536^\circ C$ nin altına (SD_1) düşürüldüğünde, δ demiri denilen, kubik hacim merkezli ($kym \delta-Fe$) kristal yapısına sahip demir oluşur.

$1392^\circ C$ nin altında (SD_2) demir, γ demiri denilen, kubik yüzey merkezli ($kym \gamma-Fe$) kristalli yapıya sahip olur. Bu değişimle oluşan kym Demir-Karbon-Karışık kristalleri "**ostenit**" malzeme olarak adlandırılır.

Üçüncü durak (SD_3) $906^\circ C$ dir.

Burada kubik yüzey merkezli γ demiri ($kym \gamma-Fe$), tekrardan kubik hacim merkezli α demirine ($kym \alpha-Fe$) dönüşür. Bu oda sıcaklığında kym fazıyla oluşan alışımlı çeliğe; "**ferrit**" denir. $769^\circ C$ deki dördüncü durak (SD_4) "**Curie noktası**" olarak adlandırılır. Burada demir kristal şeklini değiştirmeyip, ferromanyetik özellik alır. Saf demir SD_5 noktasına ulaşmaz.

Durak noktaları diyagramda "D" harfiyle (D =Durma) gösterilmiştir.

ID = Isıtmada durak noktası,

SD = Soğutmada durak noktası

Burada verilen ısı sınırları:

- Isıtma veya soğutma hızıyla,
- Bileşime katılan malzemelerin çeşidi ve miktarı

ile çok değişikliğe uğrar.

2.2 Ham demir

Ham demir yüksek fırında üretilir. Yüksek fırından: ham demir, cüruf, fırın gazları ve demir tozları elde edilir. Yüksek fırının ana ürünü olan ham demir, belirli aralıklarla fırın delinerek boşaltılır. Çelik elde etmek için özel arabalarla çelikhaneye gönderilir. Dökme demir elde etmek için ilkin döküm yerlerine taşınır ve burada kütükler halinde dökülür. Dökme ve soğutma koşullarına göre beyaz ve kır ham demir olmak üzere iki çeşit ham demir vardır. Çelik üretiminde kullanılan "**beyaz ham demir**"; ergime sıcaklığı 1000-1130 °C, özgül ağırlığı 7'600 - 7'700 kg/m³ olan gevrek, sert ve kırılğan bir malzemedir. Yavaş soğuma sonucu elde edilen "**kır ham demir**"; ergime sıcaklığı 1200-1250 °C, özgül ağırlığı 7'000 - 7'400 kg/m³ olan daha yumuşak bir malzemedir.

2.3 Demir-Karbon-Alaşımı

Karbon (kömür) demirin en önemli alaşım malzemesidir. Karbon miktarını çok az değişmesine karşılık çeliğin mekanik değerinde büyük değişiklikler olur.

Karbon α -, γ - ve δ -demiri kristallerinin ara yerlerine yerleşirler. Buda muayyen bir miktar karbonun demir kristallerine yerleşebileceğini gösterir. Demir çeşitlerinde α -demirinin kafes yapısı γ -demiri kafes yapısından daha sıkı olmasına rağmen, γ -demiri α -demirinden daha fazla karbon alır. Katılmış haldeki α -demirine "**ferrit**", γ -demirine "**ostenit**" denir. Ferritin yumuşak, kolay şekil verilen ve manyetik özelliğe sahip bir özelliği vardır. Ferrit katılırken demirkarbür (Fe₃C) yapılı "**sementit**" kristali oluşturur. Sementitin sert ve gevrek bir yapısı vardır. Çeliklerde α -demiri sementitle birlikte "**perlit**" yapısını oluşturur. Burada sementit ferrit içinde lamel (çubuk) şeklinde bulunur. Karbon miktarı %0,8 e kadar α -demiri perlit taneleriyle beraber bulunur (*bak Şekil 16*). Karbon miktarı tam %0,8 olunca doku yalnız perlitten oluşur. DKD için daha bir çok anlatımlar yapılabilir. Bunları ilerde detaylı göreceğiz.

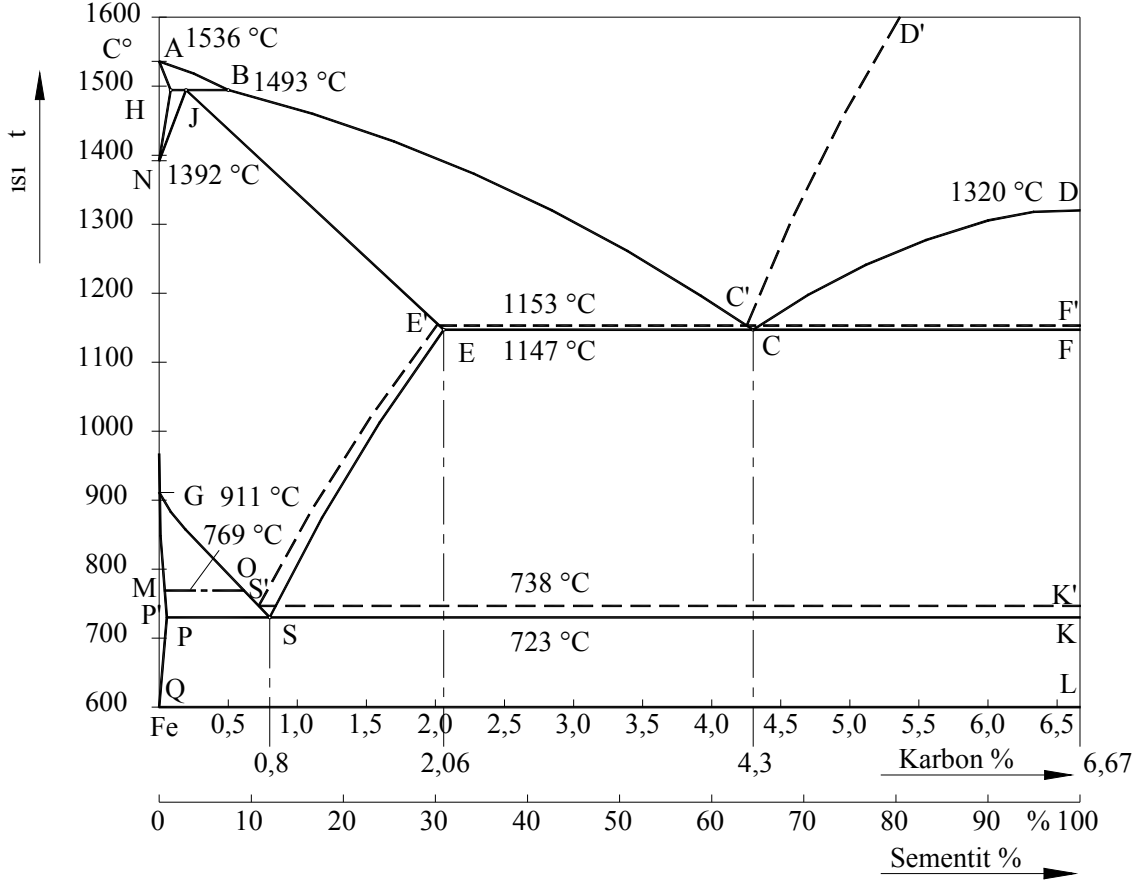
Teknikte kullanılan demir alaşımları karbonun yanında bir sürü başka metallerinde katılmasıyla elde edilir. Bu elementler çeliğin özelliklerini ve doku yapısını çok değiştirirler.

Butun bu etkilere rağmen DKD dan mühim ve temel özellikler okunabilir. DK diyagramının belirli demir alaşımı için vereceği değerler alaşımın oluşum anındaki;

1. soğuma veya ısınma hızıyla,
2. alaşımdaki elemanların çeşidi ve miktarıyla

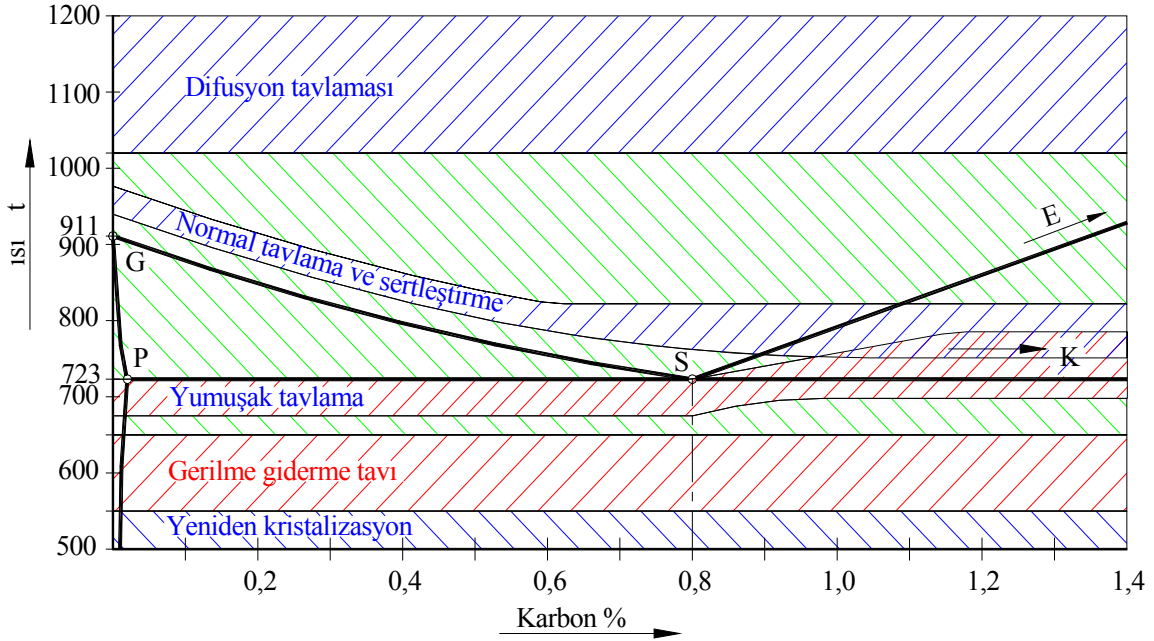
bağıntılıdır.

2.4 Demir-Karbon-Diyagramı



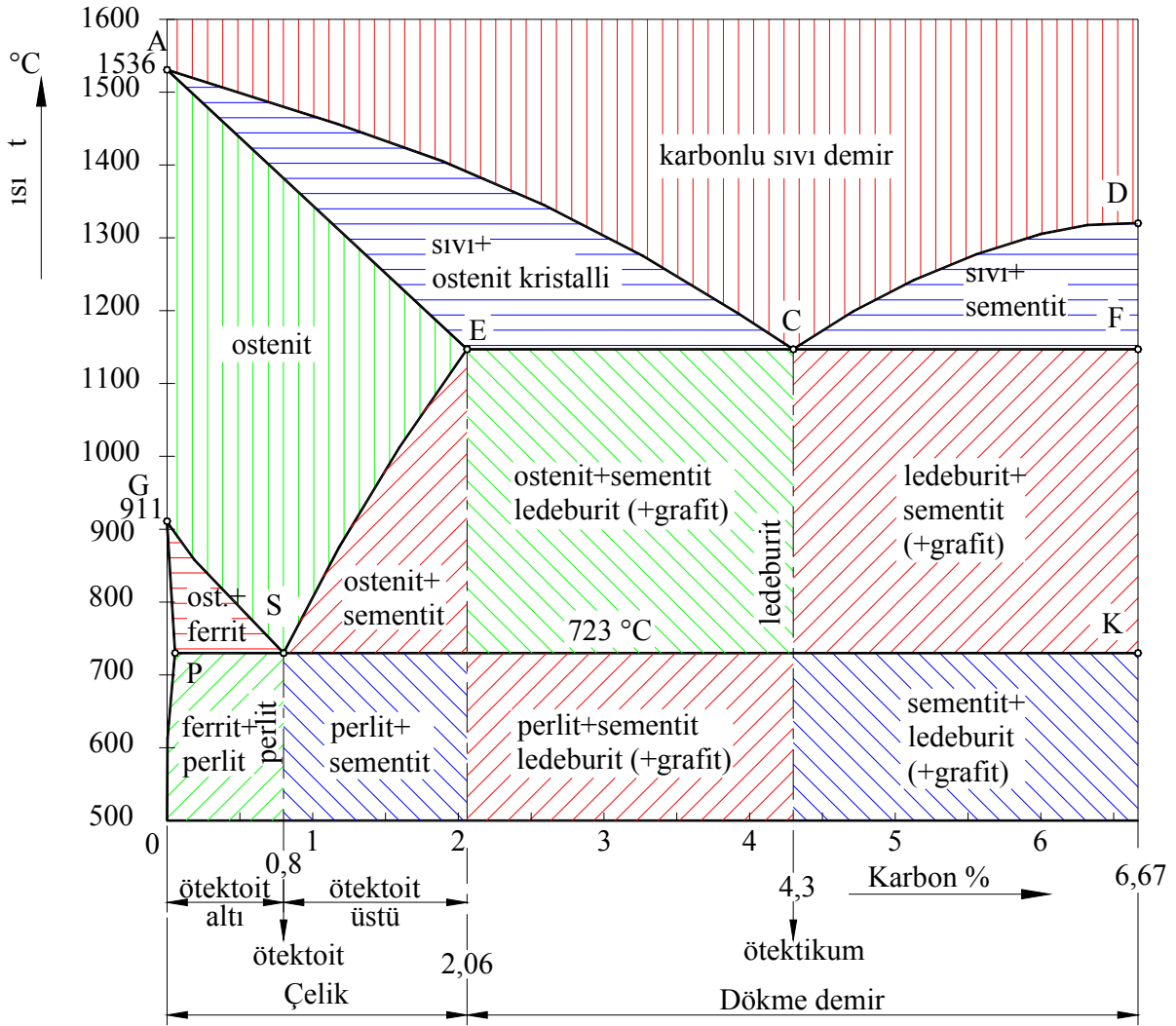
Şekil 16, Stabil (Fe-C) ve Metastabil (Fe-Fe₃C) için **Demir-Karbon-Diyagramı** (DKD)

2.4.1 DKD da Isıl İşlemler Dağılımı



Şekil 17, DKD da ısıl işlemler dağılımı

2.4.2 DKD da kristal yapısı dağılımı



Şekil 18, DKD da kristal yapısı dağılımı

2.4.3 DKD nin genel anlatımı

Demir Karbon Diyagramına (DKD) veya diğer adıyla Fe-C diyagramına genel olarak bakacak olursak, sıcaklığa bağlı olarak üç çeşit kristal kafesi görürüz. Sıvı halindeki Fe-C soğumaya başladığında;

1. 1536°C de adına δ -demiri denilen kübik hacim merkezli (*k_{hm}*) kristalleri,
2. 1401°C de adına γ -demiri (ostenit) denilen kübik yüzey merkezli (*k_{ym}*) kristalleri,
3. 911°C de adına α -demiri (ferrit) denilen kübik hacim merkezli (*k_{hm}*) kristalleri

görürüz.

α -demirin, γ -demirine göre daha sıkı bir kafes yapısı vardır. Ferrit yumuşak, kolay şekil verilen ve manyetik özelliğe sahip bir yapıdır. Katılma sırasında karbon, demirkarbür (Fe_3C) yapısında sementit denilen ayrı bir kristal oluşturur. Sementit gevrek ve kırılgan bir malzemedir. Çeliklerde, α -demiri yalnız bulunmaz. Sementitle birlikte perlit denilen yapıyı oluşturur. Bu yapıda sementit, ferrit içinde lamel şeklinde bulunur.

Dökme demirde karbon miktarı normal olarak %2 ile %4 arasındadır. Dökme demir alaşımlarında çelikten daha fazla manganez, silisyum, kükürt vardır. Ham demirden çelik elde etmek için, karbon

miktarının istenilen yüzdeye indirilmesi, kükürtün tamamı yakın alaşımdan çıkartılması ve şartlara göre diğer alaşım elementlerinin katılması gerekir. Ham demirden karbon ve diğer elementlerin çıkartılması veya azaltılması oksidasyon olayına dayanır. Oksidasyon olayı eriyik elementlerinin oksijenle birleşerek ayrılmasıdır. Örneğin; iki oksijen atomunun bir karbon atomu ile birleşmesi karbondioksiti ($2O + C = CO_2$) meydana getirir. Böylece ham demir eriyiğine oksijen vererek karbon ve diğer elementler ayrılır. Ham demir eriyiğine hava ile oksijen verme yöntemine "**redüksiyon**" denir. Redüksiyon yöntemlerine göre çeşitli çelik üretme yöntemleri vardır. Bu çelik üretme yöntemlerine "**Thomas ve Bessemer yöntemi ni**", "**Siemens Martin yöntemi ni**" sayabiliriz. Bessemer yönteminde fırın içi silikatlı tuğlalarla örülüdür ve asit bazlı çelik elde edilir. Thomas yönteminde, fırın içi dolomit tuğlaları ile örülüdür ve bazik bazlı çelik elde edilir.

Her çeşit alaşımlı ve en kaliteli çelik elektrikli ocaklarda üretilir. Bu yöntemin ark ve endüksiyon ocakları olmak üzere iki uygulaması vardır. Fakat bu yöntemle çelik elde etmek çok pahalıdır. Bu yöntem elde edilmiş çelikleri daha kaliteli çelik haline getirmekte kullanılır. Böylece daha ekonomik olarak kaliteli çelik elde edilir.

Çeliklerin üretiminde ham demirin oksidasyonu için verilen oksijen, yanma sırasında tam olarak kullanılmaz. Oksijenin bir kısmı demiroksit (FeO) olarak çeliğin içinde kalır. Demiroksit dökümden önce alaşımdan uzaklaştırılırsa çeliğe "**dinlendirilmiş**", uzaklaştırılmamışsa "**dinlendirilmemiş**" çelik denir.

Sıvı çelikte ve daha sonra katılma sırasında içinde çok küçük boşluklar oluşturan çeşitli gazlar ve bilhassa hidrojen bulunur. Bu gazları yok etmek için çeliğin dökümü vakum ortamında yapılabilir veya vakum işlemi ile gazlar çıkarılır. Bu yöntemle elde edilen çeliklere "**vakum çeliği**" denilir.

Elde edilen çeliği, içindeki hava boşluklarından veya istenmeyen maddelerden temizlemek için "**yeniden ergitme**" yöntemi uygulanır. Çelik bloğunu yeniden ergitmek için, elektrot olarak çelik bloğunun kendisi kullanılır. Sıvı haldeki yeniden ergitilen çeliğe verilen elektrik akımıyla ısınan kütledeki hava kabarcıkları yukarı çıkarak yok olur ve muayyen bir zaman sonra sıvı çelik su ile soğutulan "**kokillere**" (çelik kalıplar) dökülerek istenilen özellikteki çelik üretilmiş olur.

Kokillere dökülmüş çeliğe "**ingot**" adı (*Almancadan*) verilir. İngotlar daha sonra çelik kütükleri haline getirilir. Çelik kütükleri daha sonra istenilen amaçlarda kullanılması için çeşitli şekillere sokulur. Örneğin; profiller, sac levhalar, yuvarlak çubuklar, v.b.

Kullanılacak yarı mamül çelik veya üretimi bitmiş çelik parçalar "**ısıt işlemlere**" tabi tutulurlar. Isıt işlemlerle çeliğin mekanik özellikleri; akma ve kopma sınırı, sertliği, tokluğu değiştirilir. Diğer taraftan ısıt işlemlerle malzemenin işlenme kabiliyetini artırmak ve artık gerilmeleri gidermek içinde kullanılır.

2.5 DKD nın detaylı analizi

2.5.1 Çelik

Hiç bir işlem yapmadan dövme ile şekillendirilen Fe-C alaşımına "**çelik**" denir. Bu alaşımda karbon miktarı %0,2 ile %1,7 ye kadar karbon içeren bir demir karbon alaşımıdır. Karbon miktarı bazı özel durumlarda %2,06 ya kadar çıkabilir. Karbonun yanı sıra standartların kabul ettiği miktarda manganez (normal olarak % 0,8 den daha az), silisyum (%0,5 ten daha az) ve çok az miktarda fosfor ve kükürt bulunur. Çelikler genel olarak karbonlu ve alaşımlı olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Alaşımlı çeliklerde belirli miktarlarda krom (Cr), nikel (Ni), molibden (Mo) v.b. gibi alaşım elementleri vardır. Ayrıca çelik sıcak halde dövülerek şekillendirilir ve çok düşük karbon miktarı olan çelikler soğuk olarak dövülerek şekillendirebilirler.

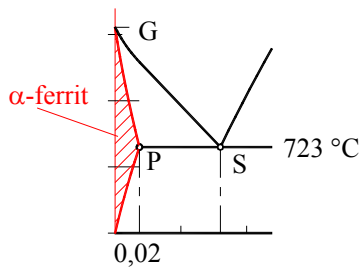
2.5.2 Dökme demir

Karbon miktarı %2,06 dan daha fazla olan Fe-C alaşımlarına "**dökme demir**" denilir. Karbon ya sementit (Fe₃C) veya grafit halinde saf karbon olarak görülür. Genelde karbon miktarı %0,8 in üzerinde ise karbonun çoğu alaşımın içinde grafit lameli olarak oluşur ve diğer kısmı lamel sementit olarak kristalleşir. Böylece alaşımın dokusu perlit veya ferrit-perlit temel yapısı ve tane aralarında grafit lamellerinden oluşur. Dökme demir genelde gevrek ve kırılıgandır. Dövülerek işlenmeleri imkansızdır. Genelde ya döküm olarak veya talaşlı işleme şekillendirilirler. Dökme demir gurubunda;

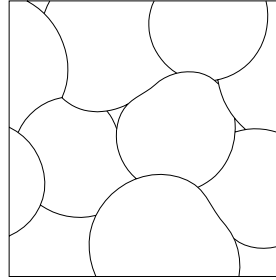
- **Kır dökme demir** (lamel grafitli)
- **Sfero dökme demir** (küresel grafitli),
- **Temper dökme demir**
- **Beyaz (sert) dökme demir**

demir çeşitleri vardır.

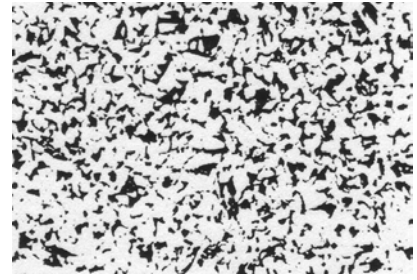
2.5.3 P noktası



Şekil 19, DKD da P noktası



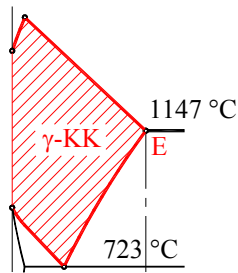
Şekil 20, P noktasında ferrit dokusu



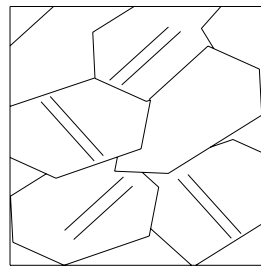
Şekil 21, Perlit altı çeliği,

P noktasındaki demir hemen hemen karbonsuzdur. Karbon miktarı maksimum % 0,02 kadardır. Kristal cinsi "α-karışık kristal (α-KK), α-ferrit olarak görülür.

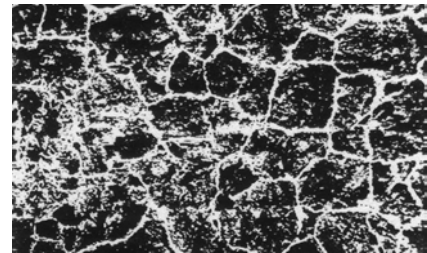
2.5.4 E noktası



Şekil 22, DKD da E noktası



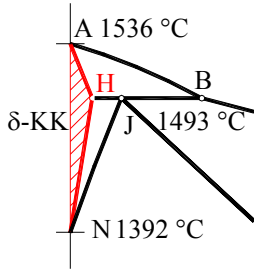
Şekil 23, E Noktasında ferrit-perlit dokusu



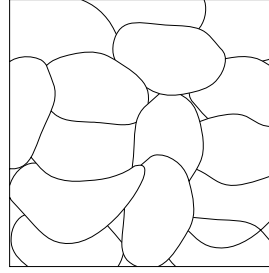
Şekil 24, Perlit üstü çeliği, %1,4 C

E noktasındaki Fe-C alaşımında maksimum C miktarı % 2,06 dır. Kristal cinsi γ-karışık kristal (γ-KK), ostenit olarak görülür.

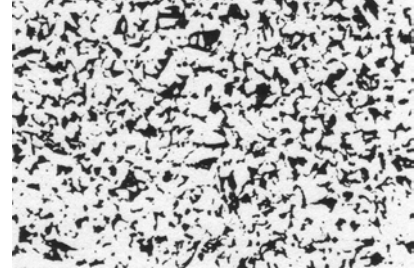
2.5.5 H noktası



Şekil 25, DKD da H noktası



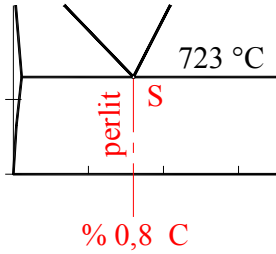
Şekil 26, H Noktasında kesit resmi



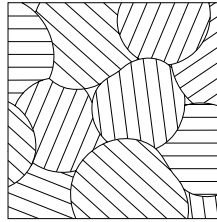
Şekil 27, Perlit altı çeliği, %0,1 C

H noktasındaki Fe-C alaşımında maksimum C miktarı % 0,1 dir. Kristal cinsi; δ-karışık kristal (δ-KK), ; δ-ferrit olarak görülür.

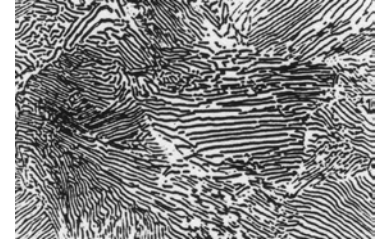
2.5.6 S noktası



Şekil 28, DKD da S noktası



Şekil 29, S Noktasında perlit dokusu



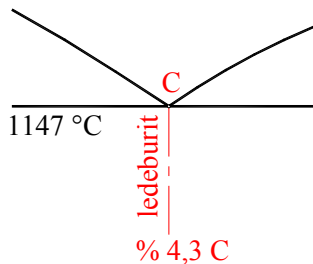
Şekil 30, Perlit çeliği, %0,8 C

Karbon miktarı %0,8 den az olan Fe-C alaşımına "**ötekoit altı**" denir ve yapısı **perlit** ve **ferrit** tanelerinden oluşur. Bu **perlit-ferrit** dokusudur. Eğer sıcaklık 723 °C in üzerine çıkarsa yapı **GSP** üçgeni içinde ostenit+ferrit olur.

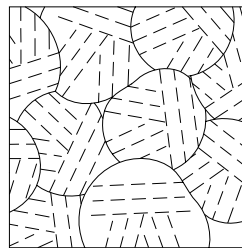
Karbon miktarı tam %0,8 olan Fe-C alaşımına "**ötekoit**" denir ve tüm yapı **perlit**'tir. Bu ferrit çekirdeği içinde sementit çubuklarından (% 88 ferrit + % 12 Sementit) oluşur. Yapının şekli sedef görünümlü olduğu için "**perlit**" denilir. Eğer sıcaklık 723 °C in üzerine çıkarsa S noktası üstünde perlit "**ostenit**" olur.

Karbon miktarı %0,8 den fazla olan Fe-C alaşımına "**ötekoit üstü**" denir. Burada karbon miktarı göreceli olarak çok fazla olduğundan, karbon perlit tanelerinin içindeki sementit çubuklarının yanında tane sınırlarında da "**tane sınırı sementiti**" olarak görülür. Sementit miktarı ne kadar çok olursa malzeme o kadar sert ve kırılgan olur. Eğer sıcaklık 723 °C in üzerine çıkarsa SK-doğrusu üzerinde doku yapısı "**perlit+sementit**" yapıdan "**ostenit+sementit**" yapısını oluşturur.

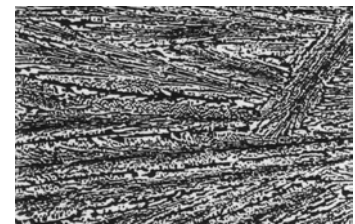
2.5.7 C noktası



Şekil 31, DKD da C noktası, %4,3 C hattı



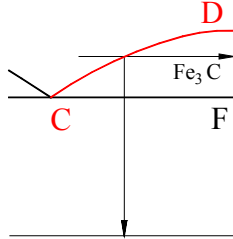
Şekil 32, C Noktasında kesit resmi



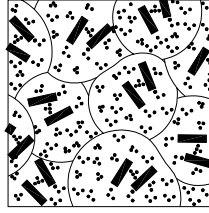
Şekil 33, Ledeburite demir, %4,3 C,

Karbon miktarı tam %4,3 olan Fe-C alaşımına "**ledeburit**" denir ve yapısı % 51,4 ostenit + % 48,6 sementit ten oluşur. C noktasındaki yapının adına "**ötektikum**" denir. Bu özelliklerin oluşması için ısı değişikliğinin (ısınma veya soğuma) çok yavaş olması gerekir.

2.5.8 CD eğrisi



Şekil 34, DKD da CD eğrisi



Şekil 35, CD eğrisinde kesit resmi

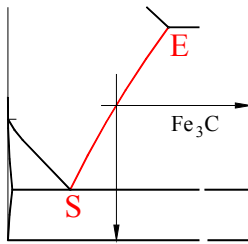


Şekil 36, Eutektik üstü demir, %5 C

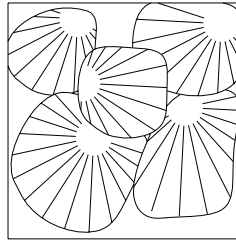
Primer sementit + ledeburit.

Bu özelliklerin oluşması için ısı değişikliğinin (ısınma veya soğuma) çok yavaş olması gerekir.

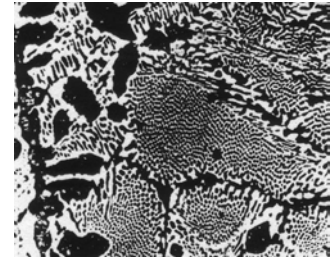
2.5.9 CD eğrisi



Şekil 37, DKD da ES Eğrisi



Şekil 38, ES Eğrisinde kesit resmi

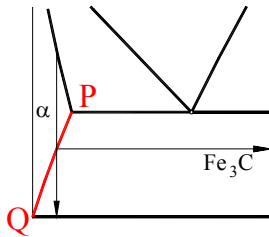


Şekil 39, Eutektik altı çelik, %2,8 C

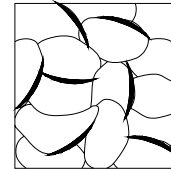
sekunder sementit + perlit

Bu özelliklerin oluşması için ısı değişikliğinin (ısınma veya soğuma) çok yavaş olması gerekir.

2.5.10 PQ Eğrisi



Şekil 40, DKD da PQ Eğrisi



Şekil 41, PQ Eğrisinde kesit resmi

triter sementit + α -KK

Bu özelliklerin oluşması için ısı değişikliğinin (ısınma veya soğuma) çok yavaş olması gerekir.

2.6 Terimlerin tanımı

Terim	Tanımlama
Çelik	Karbon miktarı % 2,06 dan az olan demir karbon alaşımına denir.
Dökme demir	Karbon miktarı % 2,06 dan çok olan demir karbon alaşımına denir.
Metastabil sistem	Ferrit + Sementit
Stabil sistem	Stabil sistemde karbon grafit olarak heksagonal kafes kristalinde bulunur. Bu dengeli duruma yalnız çok uzun tavlama zamanı ile erişilir. Diğer ısı işlemlerde karbon demir karpit Fe_3C (sementit) şeklinde görülür.
Metastabil sistem	Teknik alaşımlar genel olarak metastabil sistem olarak oluşurlar. Metastabil denince belirli bir termodinamik durum akla gelir. Bu deyim " stabil olmayan " veya " az dayanır " anlamına alınmamalıdır.
Ferrit	Genelde α -karışık kristalli (α -KK) demire denir. Ferrit kristalleri kubik hacim merkezlidir. Ferritte karbon karışımı çok azdır, maksimum %0,2 C vardır. Ferrit demiri düşük ısı sahasında gevrekleşir. Malzeme $768^\circ C$ nin altında manyetikleştirilir.
Ostenit	Genelde γ -karışık kristalli (γ -KK) demire denir. Ostenit kristalleri kubik yüzey merkezli olup karbon demirin kristal kafesi içinde yer alır. Bünyesinde $1147^\circ C$ de maksimum %2,06 C vardır.
Sementit	Demir karpitin (Fe_3C) metalografik adıdır. Sementitte %6,69 karbon bulunur. Sementitin ayrılması primer veya sekonder olabilir. Sertliği ortalama $1100 HV$ dir.
Ledeburit	Metastabil sisteminin ötektikumudur. Ledeburit $1147^\circ C$ ile $723^\circ C$ arasında demir karpitten (Fe_3C) ve γ -karışık kristalli demirden oluşur. $723^\circ C$ nin altında demir karpitten (Fe_3C) ve perlitte oluşur. Döküme çok elverişlidir. Düşük erime sıcaklığında da akışkandır.
Perlit	Aynı zamanda ötektoit diyede adlandırılır. Aralarında sementit lamelleri bulunan ferrit demiridir. Saf perlit $723^\circ C$ nin altında tam % 0,8 karbonlu demirdir. Perlitte ötektoit olarak ötektikumun bütün karakteristik özelliklerine haizdir. Perlit sıvı demirden oluşmayıp γ -karışık kristalinin dağılmasından oluşur.
Grafit	Heksagonal kafesli yapısı vardır. Stabil sistemdir.
Redüksiyon	Ham demir eriyiğine hava ile oksijen verme yöntemi

2.7 Genel özet

Teknikte kullanılan Fe-C alaşımları karbondan başka birçok elementin karışımı ile yapılmaktadır. Karışımda bulunan diğer elementler çelik veya dökme demirin özelliklerinin çok farklı olmasını sağlarlar. DKD dan edinilen bilgiler genel teoriye göre prensip bilgilerdir ve pratite kullanılacak temel verileri göstermezler. Burada görülen değerler;

- Malzemenin soğuma veya ısınma ısısının hızına,
- Alaşımın karışımında bulunan elementlerin cinsi ve miktarına

bağlıdır.

Alaşımın karışımında bulunan elementleri ayrı bir fasikülde "**Alaşım elementleri ve etkileri**" adı altında göreceğiz.

3 Literatur

- Bargel/Schulze Werkstoffkunde, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf
- Dietmann, H. Einführung in die Elastizitäts- und Festigkeitslehre,
Kroner-Verlag, Stuttgart 1992
- Domke Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung,
Cornelsen Verlag, Berlin 1994, 10. Auflage
- Dubbel, H. Taschenbuch für den Maschinenbau,
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 14. Auflage 1981
- Europa-Lehrmittel Tabellenbuch Metall, 42. Auflage,
Verlag Europa Lehrmittel
- Koller, H. Werkstoffe und Arbeitsverfahren, 2. Auflage,
Sauerländer Verlag, 1983
- Matek, W. / Muhs, D. /
Wittel, H. ROLOFF / MATEK MASCHINENELEMENTE
Verlag Fried. Vieweg & Sohn, Braunschweig / Wiessbaden,
14. Auflage 2000
- Niemann, G. MASCHINENELEMENTE, Band I
Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2. Auflage 1981
- Wellinger, K. / Dietmann, H. Festigkeitsberechnung, Grundlagen und technische Anwendung,
Alfred Kröner Verlag, Stuttgart 1976