



Mühendislik Fakültesi

temiz enerji ve enerji verimliliğinde en önemli adres

MALZEME

Doç. Dr. Bülent AKTAŞ

Sekizinci Baskıdan Çeviri
Eighth Edition

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

Materials Science and Engineering

Çevirenler
Prof. Dr. Cuma BİNDAL
Prof. Dr. Kenan GENEL
Prof. Dr. Mehmet DEMİRKOL
Prof. Dr. Recep ARTIR
Doç. Dr. Mustafa BAKKAL
Yrd. Doç. Dr. S. Ahmet PARASIZ

WILLIAM D. CALLISTER

DAVID G. RETHWISCH

gözden geçirilmiş yeni basım

Çeviri Editörü: Prof. Dr. Kenan GENEL



BÖLÜM 1

MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

1.1. Malzeme Nedir?

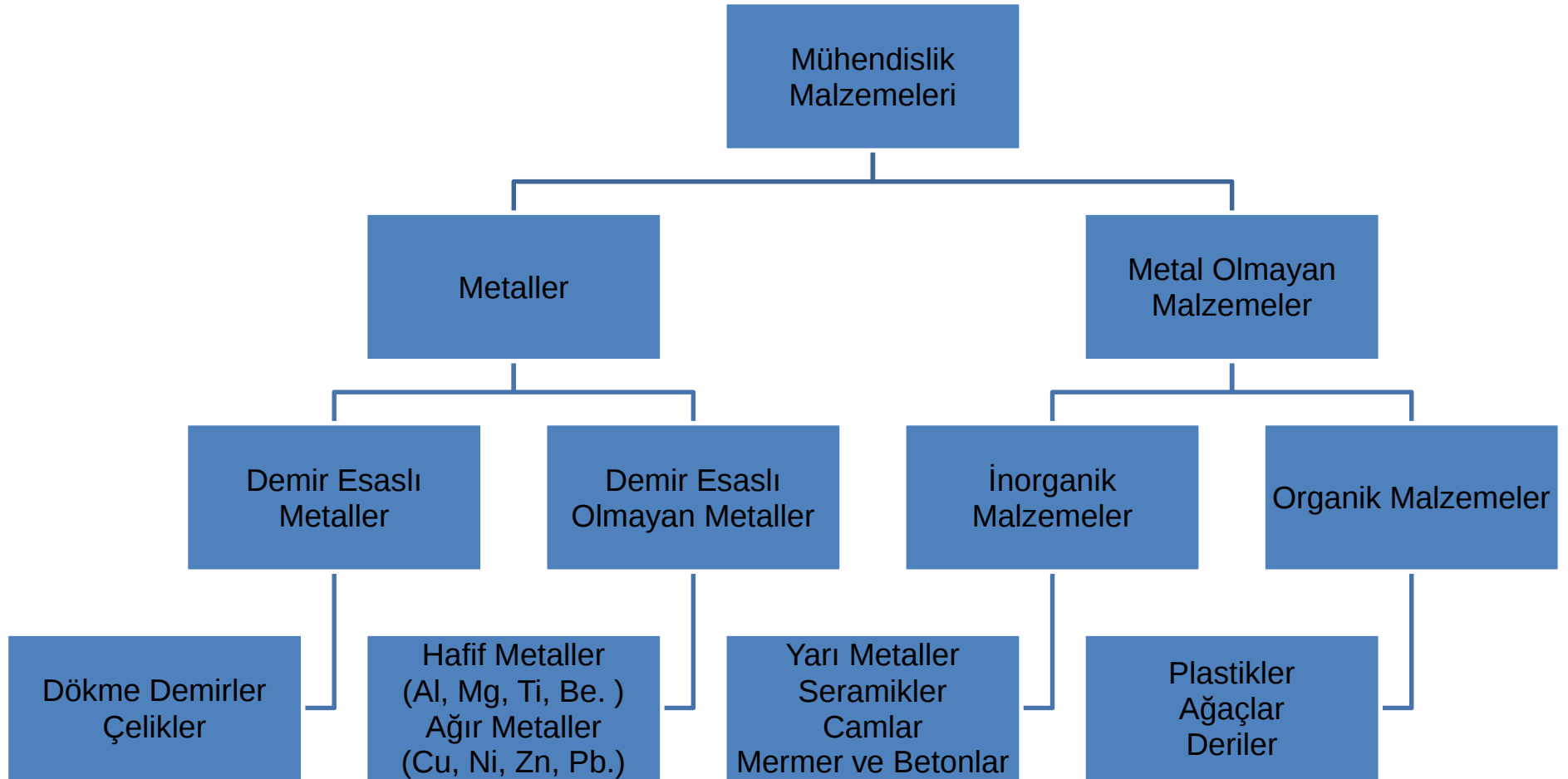
Günlük yaşantımızda kullandığımız hemen herşeyi meydana getiren temel bileşenlere malzeme denilir. Doğal olarak ve yapay olarak elde edilmiş malzemeler her türlü sanayi örn; otomotiv, havacılık, kimya, bilgisayar, elektronik, gıda, biyomedikal vb. sektörlerde kullanılmaktadır.

Malzeme Bilimi mühendisliğin temel ve en önemli konularından birisidir. Malzeme teknolojisindeki gelişim tüm mühendislik dallarını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir.

1.2. MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Endüstride çok çeşitli malzeme türleri vardır, ayrıca gün geçtikçe bunlara yenileri eklenmektedir. Bunları ayrı ayrı ele alarak incelemek olanaksızdır. Bunun yerine yapı ve özellikleri benzer olanları sınıflara ayırarak ortak yanlarını tanıtmak daha uygundur. Atomlararası bağ türlerine göre malzemeler:

- a) Metaller
- b) Seramikler
- c) Plastikler
- d) Karma Bileşikler (kompozitler)



1.2.1 Metaller

Metaller çok değişik türde üstün özellikleri nedeni ile endüstride çok geniş uygulama alanına sahiptirler. Özellikle yapı ve makine malzemesi olarak sayılırlar. Arı halde yumuşak ve düşük mukavemetli olmalarına karşılık alaşımlandırma, soğuk şekil verme ve ısıt işlemlerle sertlik ve mukavemetleri birkaç kat arttırılabilir.

Metaller, demir esaslı ve demirdışı metaller olarak iki gruba ayrılırlar. Demir esaslı metallerde ana eleman demirdir. Bunun yanında karbon daima bir alaşım elemanı olarak bulunur. Demire karbondan başka elemanlar katılarak üstün nitelikte çeşitli alaşımlı çelikler elde edilir. Demirdışı metallerden en önemli olanları alüminyum ve alaşımları ile bakır ve alaşımlarıdır.

1.2.1.1. Metallerin Alaşım Sistemleri

Metal alaşımı çoğunluğunu bir metalin oluşturduğu, karışımdaki diğer elementlerin mutlaka metal olması gerekmeyişi belli bazı özelliklerin kazanılmasının amaçlandığı karışımlardır. Metal alaşımı denilebilmesi için ana malzemenin örneğin, demir (Fe), bakır (Cu) veya alüminyum (Al) gibi metalik bir element olması gerekmektedir.

Örn:

Bakır – nikel alaşımı: metal – metal alaşımı

Alüminyum – silisyum alaşımı: metal – yarımetal alaşımı

Demir – karbon alaşımı: metal – ametal alaşımı

Alaşım elementi; bir metale belli mekanik, teknolojik veya kimyasal özellikler kazandırmak amacıyla katılan elementlere denilir.

Uygulamalarda saf metal yerine o metalin alaşımını tercih etmemizin nedenleri;

- 1) Ekonomiklik; Alaşımlar saf metallere göre daha ekonomik olabilirler.
- 2) Mukavemet; Yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir.
- 3) Teknolojik özellik; Alaşımların bazı teknolojik özellikleri saf metallere göre daha iyi olabilir.
- 4) Kimyasal özellik; Alaşım elementleriyle paslanmaz çeliklerde olduğu gibi daha iyi bir korozyon dayanımı elde edilebilir.
- 5) Fiziksel özellik; Alaşımlamayla bazı fiziki özel özellikler verilebilir:

- ☐ Renk verilerek albenisi arttırılabilme
- ☐ Isı ve elektrik iletkenliklerinin belli değerlere ayarlanabilmesi
- ☐ Sert cisimlerin çarpışmasında kıvılcım çıkarmaması
- ☐ Akustik özellik kazandırma
- ☐ Titreşim söndürme özelliği kazandırma; takım tezgahlarının gövdeleri lamel grafitli dökme demirden imal edilir ki, atölyede aşırı gürültü olmasın.

1.2.1.2. Demir Esaslı Metaller

Demir esaslı metaller demir karbon alaşımları ve alaşımlı çelikler olmak üzere ikiye ayrılır. Demir karbon alaşımlarında demir ve karbonun yanında ayrıca mangan (Mn), krom (Cr), nikel (Ni), silisyum (Si), molibden (Mo) gibi diğer alaşım elemanları da vardır.

Demir – Karbon Alaşımlarının Sınıflandırılması:

a) Demirler: $C < \% 0,1$

b) Çelikler: $\% 0,1 < C < \% 2$

I Az karbonlu çelikler $\% 0,1 < C < \% 0,2$

II Orta karbonlu çelikler $\% 0,2 < C < \% 0,5$

III Yüksek karbonlu çelikler $\% 0,5 < C < \% 2$

c) Dökme demirler

1.2.1.2.1. Demir (Fe)



Demir çağı; Taş Devri ve Bronz Çağının takibeden yıllarda başlamıştır. Her ne kadar Mısırlıların M.Ö. 3000 yıllarında demirden balta ve keski kullandıkları ve Anadolu'dan gelen Hitit savaşçıların demirden yapılmış silah kullandıkları bilinse de Demir Çağının başlangıcı M.Ö. 1000 yılları olarak düşünülmektedir. İlk dönemlerde demirciler ateş ve su kullanarak demirin kendi içerisindeki yapıyı değiştirmeyi (sertleştirmeyi) bir sihirbaz gibi sihirli bir güç ile gerçekleştirdiklerini düşünmüşlerdir.

DEMİR, yer kabuğunda en çok bulunan metaldir. Dünyada en çok bulunan elementlerden birisi olup %5 oranında bulunur. Demirin ilk kullanımına dair işaretler mızrak uçları, bıçak ve süs eşyası şeklinde olup Sümerler'e ve Mısır'a kadar uzanmaktadır. Tüm metaller içerisinde en çok kullanılanıdır ve tüm dünyada üretilen metallerin ağırlıkça %95' ini oluşturur. Düşük fiyatı ve yüksek mukavemeti demiri otomotiv, gemi gövdesi yapımı, binaların yapısal bileşimi olarak kullanımında vazgeçilmez kılar. Çelik, en çok bilinen demir alaşımı olup demirin diğer kullanım formları pik demir, dökme demir, karbon çeliği, alaşımlı çelik şeklindedir.



1.2.1.2.2. elik

ÇELİK, bir Demir (Fe) Karbon (C) alaşımıdır. C' dan başka farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite elementlerde bulunur. eliğe farklı özellikler kazandıran içerdii elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısıdır. eliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile içyapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde elik elde edilir.

Manganez (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S) ve Silisyum (Si) üretim sırasında hammaddeden kaynaklanan elementler olup, elik bünyesinde belirli oranlarda bulunur. Diğer elementler ise (Cr, Ni vs.) ferro-alyajlar halinde istenilen miktarlarda elik bünyesine ilave edilir.



Alaşım Elementlerinin eliklere Etkileri

Maksimum %2,06 karbon içeren demir karbon alaşımları elik olarak adlandırılır. Çelikler halen günümüzde en yaygın kullanılan malzeme grubunu oluşturmaktadır. Çelikler yalın karbonlu olabileceği gibi, çeşitli özelliklerin geliştirilebilmesi için bazı alaşım elementleri içerebilirler. elik bünyesinde bulunan elementler; istenerek katılan alaşım elementleri ve bunların yanında uzaklaştırılmak istenen, özelliklere kötü yönde etkili elementlerdir. Çeliklerin alaşım elementleri ve etkileri şunlardır:



Karbon (C):

Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltır. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır.

Mangan (Mn):

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir ve çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir. Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemesidir. FeS sıcak kırılganlığa neden olur.

Silisyum (Si):

Silisyum oksijen giderici olarak kullanıldığı için çelik içinde yer alır. Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki silisyum miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar.

Silisyum ucuz bir alaşım elementidir, yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır. Ayrıca elektriksel akım zayıflığını önleyen bir elementtir.

Silisyum miktarı fazla olan filmaşınlar çok küçük çaplara indirilmeleri zordur. Çünkü silisyum, malzeme tel haline getirilirken teli sertleştirir ve kopmalara neden olur. Filmaşınlerde bu yüzden düşük silisyum tercih edeler.

Tufal: Sıcak şekil verme esnasında metal üzerinde meydana gelen oksit tabakası.

Fosfor (P):

Fosfor çeliğin akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılgenlik yaratır, talaşlı şekillendirme kabiliyetini arttırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır.

Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum fosfor miktarı %0.045, asal ıslah çeliklerinde ise %0,035 dir.

Krom (Cr):

Krom paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementidir. Krom, korozyon ve oksidasyon direnci sağlar. Sertleşebilme kabiliyetini artırır. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma direncini yükseltir. Krom karbon ile tane sınırlarında biriken Cr_{23}C_6 bileşiğini oluşturur. Oluşan bu bileşik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarındaki krom miktarını paslanmazlık sınırı olan %12' nin altına çeker. Bu bileşik yüksek sıcaklıklarda karbon yayılımının hızlanması ile kolayca meydana gelir ve kaynaklı paslanmaz çeliklerde, kaynak dikişi yakınlarında kaynak bozulmalarına neden olur.

Nikel (Ni):

Nikel, darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Nikel, östenitik paslanmaz çeliklerin kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde ki nikel miktarı %7-20 arasındadır. Nikel östenit kararlaştırıcı bir elementtir ve östenitik paslanmaz çeliklerin, adından da anlaşılacağı gibi oda sıcaklığında bile kafes yapısı KYM dir. KYM kafes yapısı östenitik paslanmaz çeliklere yüksek şekillendirilebilme özelliği kazandırır.

Molibden (Mo):

Tane büyümesini önler, sertleşebilme kabiliyetini artırır. Meneviş gevrekliğini giderir. Meneviş sıcaklığından yavaş soğumalarda bazı alaşımların tane sınırlarında karbür çökmesi meydana gelir, bu da kırılganlığa neden olur. Molibden bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırır. Ayrıca molibden çeliklerin sürünme dayancına ve aşınma direncini yükseltir. Alaşımlı takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir.

Paslanmaz çeliklerde özellikle oyuklanma korozyonunu engellediği için korozyon direncini önemli ölçüde artırır.

Bazı mikro alaşımlı çeliklerde nitrür veya karbonitrür oluşturan alaşım elementi olarak molibden kullanılır.

Kobalt (Co):

Alaşımlı takım çeliklerinde kullanılan bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinin sıcakta sertliğini muhafaza etmesi için kullanılır.

Tungsten (W):

Aşınma direncini artıran, sıcakta sertliğin muhafazasını sağlayan bir alaşım elementidir. Özellikle hız çeliklerinde olmak üzere alaşımlı takım çeliklerinde yaygın olarak kullanılan bir alaşım elementidir.

Vanadyum (V):

Tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır. Ayrıca sertleşebilme kabiliyetini artırır, menevişleme ve ikinci sertleşmede olumlu etkileri vardır. Alaşımlı takım çeliklerinde kullanım yeri olan bir alaşım elementidir.

Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile, mikro alaşımlı çeliklerde niyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir. Mikro alaşımlı çeliklerde alaşım elementleri toplamı %0,25 i geçmez. Bu elementler tek, ikili ve üçlü kompozisyonlar halinde mikro yapı içerisinde oluşturdukları karbonitrür çökeltileri ile tane boyutunu inceltmelerinin yanı sıra çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla dayanımı artırır.

Titanyum (Ti):

Vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır. Ancak bu etkisi vanadyumun etkisinden daha yüksektir. Mikro alaşımlı çeliklerde mikro alaşım elementi olarak kullanılır. Ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturunca alaşım elementi olarak kullanılır.

Niyobyum (Nb):

Mikro alaşımlı çeliklerde tane küçültme etkisi en yüksek olan mikro alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde titanyumun yaptığı etkiye yapar ve titanyumla birlikte veya tek başına kullanılır.

Alüminyum (Al):

Oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu arttırıcı etki gösterir. Yüksek alüminyum miktarı sürekli dökümlerde nozul tıkanmalarına sebep olur.

Ayrıca alüminyumun tane küçültücü etkisi vardır, nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde de nitrür ve karbonitrür oluşturan mikro alaşım elementi olarak da kullanılır.

Kalay (Sn):

Akma ve çekme dayanımlarını pek etkilemez, fakat sıcak haddelermelerde sorunlar yaratır. Kalay düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler yaparak haddelme sırasında kopmalara neden olur.

Bakır (Cu):

Akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Bu yüzden filmaşinlerde ki bakır oranın olabildiğince düşük olması istenir. Korozyon dinencini yükselten etki gösterir.

Kurşun (Pb):

Haddelenebilirliği azaltır. Haddeleme esnasında kopmalara neden olur, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Sürekli dökümlerde sorunlara sebebiyet verir. Kurşun, çeliklerin talaşlı şekillendirme kabiliyetine artırır, bu yüzden otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır.

Azot (N):

İstenmeyen bir elementtir. Azot kırılğanlığına neden olur, eğme özelliklerini çok kötüleştirir.

Hidrojen (H):

Hidrojen gevrekliğine neden olur. Azottan daha tehlikelidir. Malzemenin elastikiyetini azaltır.

1.2.1.3. Demirdışı Metaller

Demirdışı metaller, demir esaslı metallere göre bazı üstün özellikleri nedeni ile endüstride önemli kullanma alanına sahiptirler. Bu özelliklerin başlıcaları hafiflik, korozyona dayanıklılık, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik, güzel görünüş ve kolay işlenebilmedir. Arı halde çok yumuşak ve mukavemetlerinin çok düşük olmasına karşın alaşımlandırma, ısı işlem ve soğuk şekil verme ile mukavemetleri önemli ölçüde arttırılabilir. Demirdışı metaller alüminyum, bakır, nikel, magnezyum, çinko, kalay ve kurşun olarak sıralanabilir.

1.2.1.3.1 Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyumun en önemli özelliği hafif olmasıdır. Özgül ağırlığı demirinkinin üçte biri kadardır. Bu nedenle alüminyum alaşımları hafifliğin önemli olduğu taşıt araçları ve uçak üretimine çok elverişlidir.

Alüminyumun diğer bir üstün özelliği korozyona dayanıklılıktır.

Yüzeyinde oluşan oksit tabakası alüminyumı korozyona karşı korur.

Alüminyum-magnezyum alaşımları deniz suyuna dayanıklıdır, kolay işlenir, pekleşme ile mukavemeti arttırılır. Denizde kullanılan teknelerin ve araçların üretimine elverişlidir.

Alüminyum-silisyum alaşımları, özellikle yüksek sıcaklık mukavemetini koruduğu için otomotiv endüstrisinde piston üretiminde kullanılır.



- × Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Bu renk, havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelmektedir.
- × Alüminyum, zehirleyici ve manyetik değildir. Kıvılcım çıkarmaz. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır.
- × Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir.
- × Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır.
- × Alüminyum aynı zamanda bir süper iletkendir.



- Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır.
- Yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü alüminyum alaşımları, uçak ve uzay araçlarının vazgeçilmez bileşenleridir.



Alüminyum ve Otomotiv Endüstrisi

Günümüzün enerji bilinci gelişmiş toplumları, taşıt araçları üretirken, yakıt tüketimini azaltmak ve yük taşıma kapasitesini arttırmak için çalışmaktadırlar. Bu sebeple yüksek mukavemeti olan, dayanıklı ve aynı zamanda hafif malzemeler tercih edilerek taşıt araçları uygulamalarında kullanılmaktadır. Alüminyum güçlü, dayanıklı ve hafif bir malzemedir. Otomobillerde hafif metal kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte alüminyum da otomotiv endüstrisine girmiştir.

Örneğin döküm yöntemiyle alüminyumdan imal edilmiş silindir kafaları, dişli kutusu gövdeleri, jantlar; ekstrüzyon yöntemiyle alüminyumdan imal edilmiş radyatörler, koltuk kızakları, darbe çubukları vb. Alüminyumdan imal edilmiş parçalar, aracın toplam ağırlığının yaklaşık %6'sini teşkil eder hale gelmiştir.

1.2.1.3.2. Bakır ve Alaşımları

Bakır, insanlar tarafından kullanılan ilk metal, ağlar boyunca kullanım açısından da demirden sonra ikinci metaldir. Tarih ncesi dönemde bulunmuştur ve yaklaşık M.. 4000'den, hatta daha önceden başlayarak kullanıldığı düşünülmektedir. Bakır-kalay bronzunun M.. 2400 yılından bu yana kullanıldığı bilinmektedir. Bakır inko alaşımı olan pirincin ise Roma İmparatorluğundan önce kullanılmaya başlandığı tahmin edilmektedir.

Arı bakırın en önemli özellikleri yüksek elektriksel ve ısı iletkenlikle korozyona dayanıklılıktır. Bakırın lehimle eklenebilmesi elektriksel iletken olarak kullanılan alüminyuma karşı önemli bir üstünlük sağlar. Haddelme ile kolayca sac, band, tel, boru ve profil haline getirilebilirler. Çoğunlukla elektriksel iletken olarak kullanılmakla beraber ısı teknolojisinde, su tesisatlarında, binalarda çatı rtlerinde, yağmur oluklarında kullanılırlar.

Endüstride kullanılan bakır alaşımları pirinçler ve bronzlardır. Bakırın inko ile oluşturduğu alaşımlara pirinç denilir. Bakırın inkodan başka diğer elemanlarla oluşturduğu alaşımların tümüne bronzlar denilir.

Roma döneminde büyük bölümü Kıbrıs adasında çıkarılan bakır, günümüzde dünyanın pek çok yerinde çıkarılsa da, dünyanın en çok bakır üreten ülkesi, Şili'dir. Onu, ABD, Kanada, Rusya, Zaire, Zambiya ve Peru izler.

Elektrik iletkenliği ile korozyon direncinin yüksekliği ve kolay işlenebilirliğinden dolayı değişik endüstrilerde kullanılmaktadır.

Saf bakırın başlıca kullanım alanları aşağıda verilmiştir :

- Bakır tel
- Motor bobini
- Jeneratörler
- Transformatörler
- Elektrikli trenlerin havai hatları
- Endüstrilere ve evlere elektrik enerjisi nakleden iletim hatlarında
- Radyatörler ve yağ soğutucuları
- Ark ocaklarının elektrod tutucu ve kollarının yapımında.

1.2.2. SERAMİKLER

Seramik kelimesi, Yunanca, pişirilmiş eşya anlamına gelen “keramos” kelimesinden gelmektedir. Seramik üretimi eski çağlardan beri gerçekleştirilmekte olup arkeolojik bulgular seramik üretiminin M.Ö. 6500 yıllarına kadar uzandığını ortaya koymaktadır.

Metal ve metal olmayan elemanların oluşturduğu iyonsal bileşiklerdir. Plastik şekil değiştiremez, sert ve gevrek olurlar. Yüksek sertlikleri dolayısıyla, aşındırıcı (abrazif) olarak kullanılmaya elverişlidirler. Ergime sıcaklıkları yüksek, ısı ve elektriksel iletkenlikleri düşüktür. Elektrikli ısıtıcılarda, fırınlarda yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Bazıları saydamdır, ışığı kötü yansıtırlar. Mühendislik uygulamalarında kullanılan seramik malzemeler iki grupta toplanır: geleneksel seramik malzemeler ve mühendislik seramik malzemeleri.

Geleneksel seramikler ikiye ayrılır:

1) Camlar:

Soda-kireç camı (saydamdır, pencere camı)

Kurşunlu cam (ışığı kırma ve yansıtma özelliği vardır)

Silis camı (sıcaklığa dayanıklı cam eşya üretiminde)

Boran silikatlar (Laboratuvar aletleri ve ateşe dayanıklı cam)

2) Pişmiş kil ürünleri:

Tuğla, kiremit, fayans, porselen ve refrakter malzeme (ateş tuğlası)

İleri teknoloji seramikleri, ergime sıcaklıkları çoğunlukla 2000 °C' nin üzerindedir. Özellikle yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklılık istenen yerlerde kullanılırlar. Kesici takım, buji izolatörü, koruyucu zırh, motor parçaları, yapay kemik, entegre devre altlığı gibi değişik amaçlarla kullanılırlar.

İleri teknolojik seramikler geleneksel seramiklerden başlıca hammadde, üretim yöntemleri ve mikro yapıları açısından bariz farklılıklar göstermektedir. Geleneksel seramikler doğal hammaddelerden üretilirken ileri teknoloji seramikler sentezleme yöntemi ile yapay olarak hazırlanmaktadır. Nedeni yapay hammaddelerin istenmeyen empüritelerden arındırılmış olarak saf halde ve istenilen fiziksel özelliklerde üretilmiş olmalarıdır.

Geleneksel Seramikler

Hammaddeler: Doğal Hammaddeler
(Kil, Silis)

Ürünler: Porselen Eşyalar,
Tuğla, Refrakterler,
Çini, Türbin Kanadı,

Maliyet: Düşük

İleri Teknoloji Seramikler

Yüksek saflıktaki Yapay
Hammaddeler

(Al₂O₃, SiC, ZrO₂, Si₃N₄)

Nükleer Reaktör,
Otomobil Parçaları,
Mekanik Aksam,
Yapay Kemik

Pahalı

1.2.3 Plastikler

Monomer denilen molekül bireyleri birbirlerine kovalent bağlarla eklenerek çok büyük, dev moleküllere dönüşürler ve dolayısıyla polimer adını alırlar. Bu tür malzemeler üretimlerinin belirli aşamasında yumuşak plastik kıvam aldıktan ve sonra bir kalıba enjekte edilerek şekil verildiklerinden plastik adını almışlardır.

Polimerlerin ısı ve elektriksel iletkenlikleri çok düşüktür, yalıtım malzemesi olarak kullanılmaya elverişlidirler.

Arı halde genellikle saydamdırlar, ışığı geçirirler, bununla beraber en kötü yansıtıcılarıdır.

Plastikler, termosetler ve termoplastikler olmak üzere ikiye ayrılırlar:



1.2.3.1 Termosetler

Termosetler, bir kez şekillendirildikten sonra ısı ile yeniden şekillendirilemeyen plastiklerdir.

Başlıca Termosetler:

Silikon Reçineler (Oto cilası/hassas kalıplar)

Fenolik Reçineler (Elektrik aksamı)

Furan Reçineler (Koruyucu metal kaplama)

Alkid Reçineler (Yağlı boya)

Polyester Reçineler

1.2.3.2. Termoplastikler

Termoplastikler ısı ile yapısal özelliklerini kaybetmeden şekil değiştirebilen plastiklerdir.

Başlıca Termoplastikler:

Asetal Plastikler (Şaft Yağı)

Akrilik Plastikler (Banyo küveti)

Selülozik Plastikler (Selofan kağıdı)

Polipropilen (Meşrubat kasası)

Polisitren (Yoğurt kabı)

PVC (Pencere doğraması, boru...)

Polikarbonatlar (Trafik lambaları)

Poliamid (Otomotiv parçaları)

1.2.4. KOMPOZİT MALZEMELER

Genel bir tanım yapacak olursak; kompozit malzeme , kimyasal bileşenleri farklı birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir.

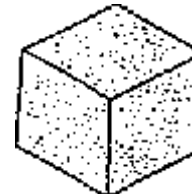
1.2.4.1 .Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama şekli aşağıda verilmektedir. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

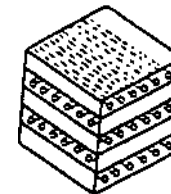
- a) Elyafli kompozitler
- b) Parçacıklı kompozitler
- c) Tabakalı kompozitler
- d) Karma kompozitler



(a)



(b)

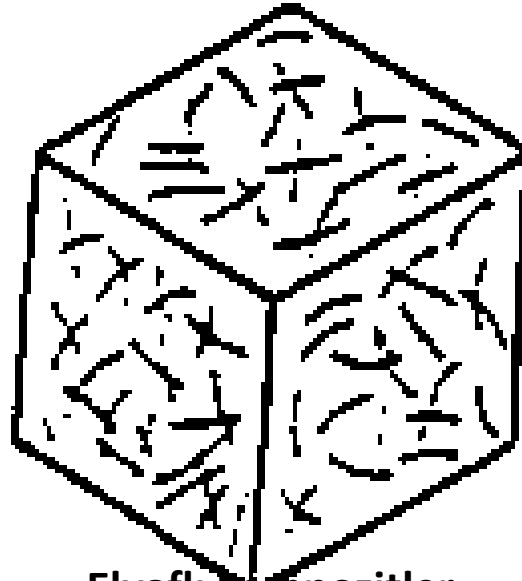


(c)



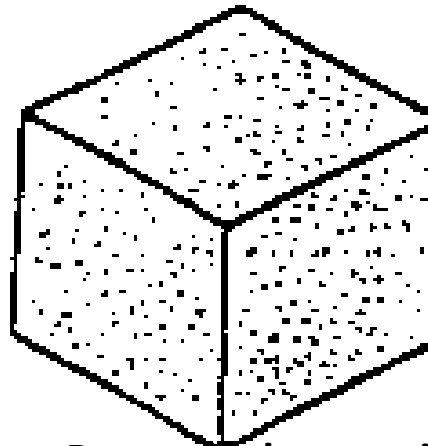
(d)

a) Elyafli kompozitler: Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyeleriyle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.



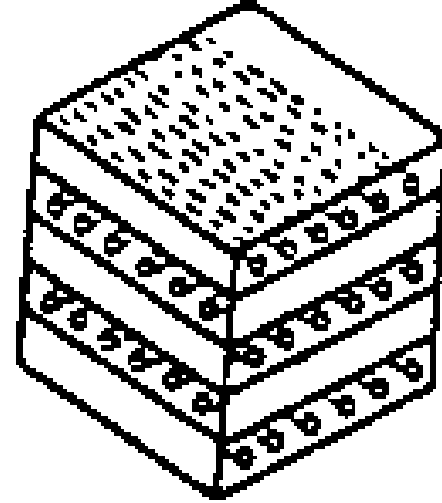
Elyafli kompozitler

b) **Parçacıklı kompozitler:** Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler .



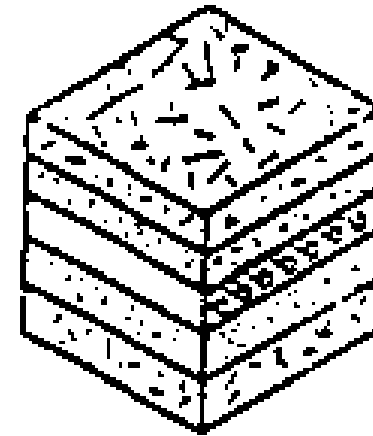
Parçacıklı kompozit

c) **Tabakalı kompozitler:** Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler.



Tabakalı kompozit

d) Karma (Hibrid) kompozitler :Aynı kompozit yapıda iki yada daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi,maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyaflı kompozitten daha yüksek olmaktadır.



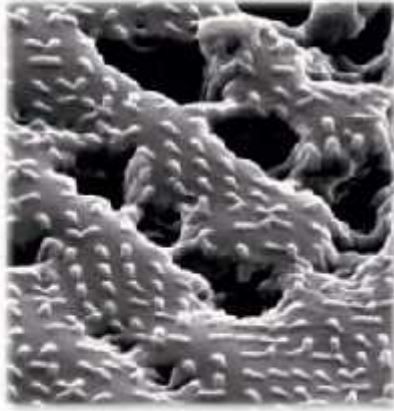
Karma (Hibrid) kompozit

BÖLÜM 2

ATOMSAL YAPI VE ATOMLARARASI
BAĞLAR (MALZEMELERİN İÇ YAPISI)

Bölüm 2

Atomal Yapı ve
Atomlararası Bağ



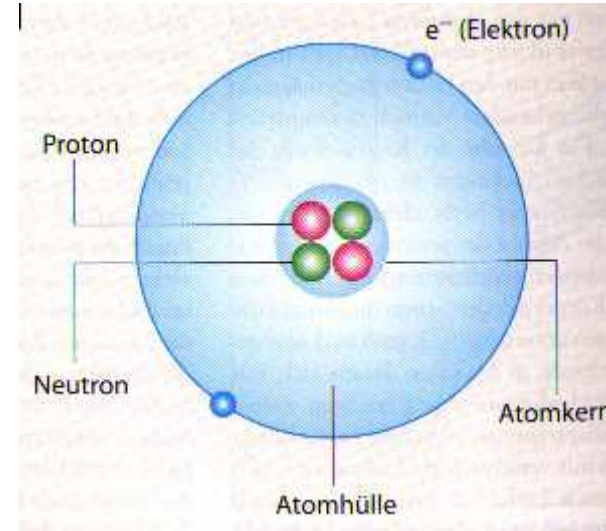
Atomların Yapıları

Atomlar başlıca üç temel atom altı parçacıktan oluşur;

Protonlar (+ yüklü)

Nötronlar (yüksüz)

Elektronlar (-yüklü)



Basit bir atom modeline göre, yaklaşık 10^{-14}m çapında bir çekirdek etrafında değişen yoğunlukta, ince, dağılmış elektron bulutu bulunmaktadır ve atom 10^{-10}m mertebesinde bir çapa sahiptir.

Çekirdek atomun hemen hemen bütün kütlesini oluşturmakta olup nötron ve protonlardan meydana gelir.

	Kütle, gram (g)	Yük, coulomb (C)
Proton	1.673×10^{-24}	$+1.602 \times 10^{-19}$
Nötron	1.675×10^{-24}	0
Elektron	9.109×10^{-28}	-1.602×10^{-19}

Elektron yükü bulutu
hemen hemen atomun bütün hacmini,
fakat çok küçük bir kütlesini oluşturur.

Elektronlar, özellikle dış yörüngedekiler, atomun

Elektriksel

Mekanik

Kimyasal

Isıl

Özelliklerini belirlediğinden atom yapısının bilinmesi
mühendislik malzemelerini incelemeye önem taşır.

Atom Sayıları

Atom numarası (sayısı) bir atomun çekirdeğindeki protonların (+yükü) sayısını verir.

Yüksüz bir atomda atom sayısı yük bulutundaki elektronların sayısına eşittir.

Her elementin kendine özgü atom numarası (sayısı) vardır, atom numarası elementi belirler.

Atom Kütleleri

Bir atomun ağırlığı çekirdeğindeki protonlarla nötronların ağırlıklarının toplamına eşittir.

Elektronların kütleleri çok küçük olduğundan ağırlığa katkıları ihmal edilebilir.

Atomların kütesini belirtmek için **atomsal kütle birimi** kullanılır.

Bir **atomsal kütle birimi (u)** kütlesi 12 u olan karbon atomunun kütesinin on ikide biridir.

Atomsal kütle birimi çok küçük olduğundan uygulamada **bağıl atomsal kütle** kullanılır ve birimi gramdır.

Bir elementin **bağıl atomsal kütlesi** o elementin 6.023×10^{23} atomunun gram cinsinden kütesine eşittir.

Uygulamada kullanılan bir mol-gr veya bir mol elemanın kütlesi bağıl atomsal kütleyle eşdeğerdir.

Örneğin;

Alüminyumun bir gram molü 26,98 g kütleyle sahiptir ve $6,023 \times 10^{23}$ atom içerir.

Atomsal ağırlıkla malzemelerin özellikleri arasında, özgül ısı hariç hiçbir ilişki yoktur.

Özgül ağırlık bir cismin birim hacimdeki atomların sayısını atom bireylerinin ağırlıkları ile çarparak elde edilir.

Atomların Elektron Yapıları

Elektronlar atom çekirdeği çevresinde belirli yörüngeler üzerinde sürekli hareket halindedirler ve belirli enerji düzeyine sahiptirler.

Elektronlar çekirdek etrafına yerleşirken önce en düşük enerji düzeyini doldururlar, sayıları arttıkça sırası ile daha dıştaki enerji düzeylerini işgal ederler.

Bir enerji düzeyinde en fazla iki elektron bulunur ve bunların eksenleri etrafında dönme yönleri zıttır.

Tablo 2.2. Atomlararası bağlar

Bağlantı Şekli	Madde	Bağ Enerjisi* (kcal/mol)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Karakteristikler
KUVVETLİ BAĞLANTILAR	İyonik	CaCl	155	Düşük elektriksel iletkenlik; saydamlık; gevreklik; yüksek ergime sıcaklığı
		NaCl	183	
		LiF	240	
		CuF ₂	617	
		Al ₂ O ₃	3618	
	Kovalent	Ge	75	Düşük elektriksel iletkenlik; çok sert; çok yüksek ergime sıcaklığı
		GaAs	≈ 75	
		Si	84	
		SiC	238	
		Elmas	170 (tekli bağlantı) 750 (üçlü bağlantı)	
	Metalik	Na	6	Yüksek elektriksel ve termal iletkenlik; opak; kolay şekillenebilme;
		Al	4	
		Cu	81	
		Fe	97	
		W	201	
ZAYIF BAĞLANTILAR	Van der Waals	Ne	0.59	Zayıf bağlantı; düşük ergime ve buharlaşma sic.; çok iyi sıkıştırılabilirlik.
		Ar	1.8	
		CH ₄	2.4	
		Kr	2.8	
		Cl ₂	7.4	
	Hidrojen	HF	7	Van der Waals bağdan daha yüksek ergime sic.; birçok molekülden oluşan gruplar oluşturma eğilimi vardır.
		H ₂ O	12	

*Bağlantı (Bağ) enerjisi, bir katının –bağ tipine bağlı olarak– atomları, iyonları veya moleküllerine ayrılması için gerekli olan enerjidir.

Atomlar Arası Bağ Türleri

1. İyonik Bağ ;

- Atomlar arası en basit bağ türüdür.
- İyonik bileşikte iyonları bir arada tutan elektrostatik kuvvettir.
- “+” yüklü iyonla (katyon) “-” yüklü iyon (anyon) arasındaki **Coulomb çekme kuvvetinden doğar.**
- Artı ve eksi yüklü iyonlar, küresel simetriden ötürü her doğrultuda elektrik alan oluşturdıkları için, elektrostatik çekme kuvveti her doğrultuda aynıdır.

- İyonik bileşiklerde ;

katyonları oluşturan elementler ► **IA** grubu
IIA grubu

anyonları oluşturan elementler ► **VIA** grubu
VIIA grubu

- Katyonlar ► dış kabuktaki elektronlarını vererek

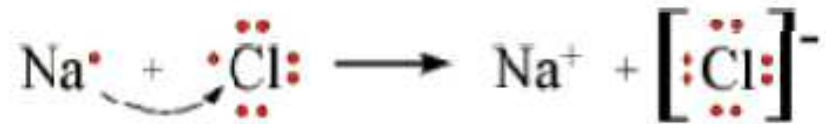
Anyonlar ► verilen elektronları alarak,

oktetlerini tamamlar, asal gaz yapısı alırlar.

Elementlerin Periyodik Tablosu

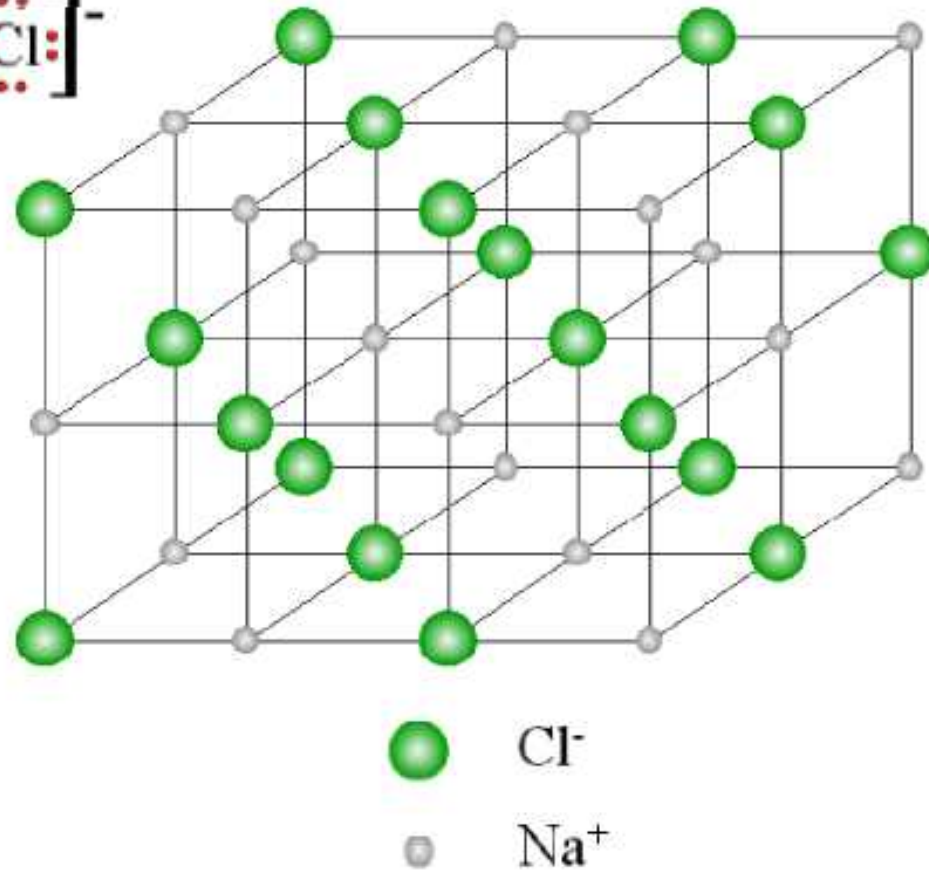
IA 1 H 1.0080 3 Li 6.930 11 Na 22.990 19 K 39.102 37 Rb 85.47 55 Cs 132.91 87 Fr (223) IIA 4 Be 9.0122 12 Mg 24.312 20 Ca 40.08 38 Sr 87.62 56 Ba 137.34 88 Ra (226) Key 29 ← Atom c number Cl ← Symbol 83.54 ← Atom c weight Metal Nonmetal Intermediate 0 2 He 4.0026 10 Ne 20.183 18 Ar 39.948 36 Kr 83.80 54 Xe 131.30 86 Rn (222)																	
IIA 5 B 10.811 13 Al 26.982 31 Ga 69.72 49 In 114.82 67 Tl 204.37 IVA 6 C 12.011 14 Si 28.086 32 Ge 72.64 50 Sn 118.69 68 Pb 207.19 VA 7 N 14.007 15 P 30.974 33 As 74.922 51 Sb 121.75 69 Bi 200.98 VIA 8 O 15.999 16 S 32.064 34 Se 78.96 52 Te 127.60 70 Po (210) VIIA 9 F 18.998 17 Cl 35.453 35 Br 79.90 53 I 126.90 71 At (210)																	
IIB 21 Sc 44.956 39 Y 88.91 57 Rare earth series IVB 22 Ti 47.90 40 Zr 91.22 72 Hf 178.49 VB 23 V 50.942 41 Nb 92.91 73 Ta 180.95 VB 24 Cr 51.996 42 Mo 95.94 74 W 183.85 VIE 25 Mn 54.938 43 Tc (99) 75 Re 186.2 VII 26 Fe 55.847 44 Ru 101.07 76 Os 190.2 VIII 27 Co 58.933 45 Rh 102.91 77 Ir 192.2 VIII 28 Ni 58.71 46 Pd 106.4 78 Pt 195.09 IB 29 Cu 63.54 47 Ag 107.87 79 Au 196.97 IIB 30 Zn 65.37 48 Cd 112.40 80 Hg 200.59																	
Actinide series 89 Ac (227) 90 Th 232.04 91 Pa (231) 92 U 238.03 93 Np (237) 94 Pu (242) 95 Am (243) 96 Cm (247) 97 Bk (247) 98 Cf (249) 99 Es (254) 100 Fm (253) 101 Md (256) 102 No (254) 103 Lr (257)																	

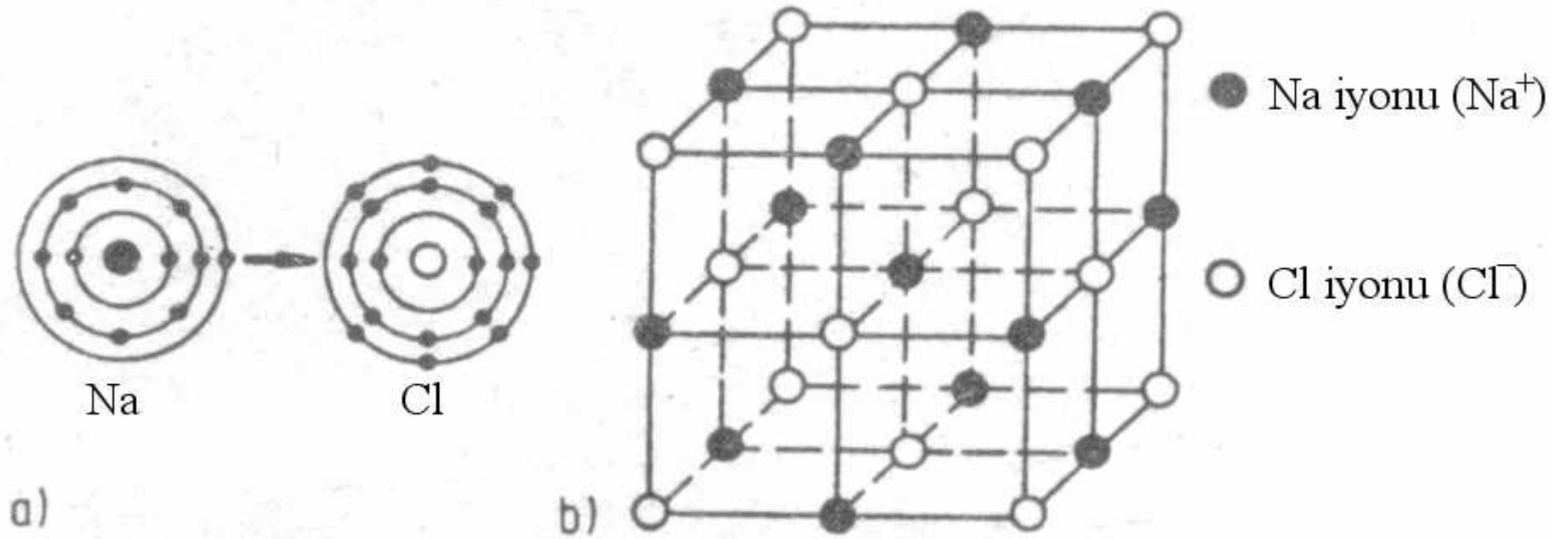
İyonik Bileşikler (NaCl örneği) :



Na (z=11) ► $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$

Cl (z=17) ► $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$





Şekil 2.1. NaCl için; (a) İyonik bağ oluşumu, (b) Kristal yapıda iyonların üç boyutlu düzeni

İyonik Bağlar (devamı)

- Bu tür katılarda elektronlar iyonlar tarafından gayet sıkı bir şekilde tutuldukları için ;
- Bağ kuvvetlidir.
- Yüksek ergime sıcaklığı vardır.
- Elektriksel iletkenlik düşüktür (ergitildikleri veya uygun bir sıvı içinde çözündükleri zaman elektriği iletmeleri elektronların akımından değil iyonların hareketinden kaynaklanır).
- Şekil değiştirme kabiliyeti düşüktür (iyonların bir kısmı ötelenirse karşı karşıya gelen aynı işaretli yükler birbirini iter, kristal yapı bozulur.
- Saydamdır.

2. Kovalent Bağ ;

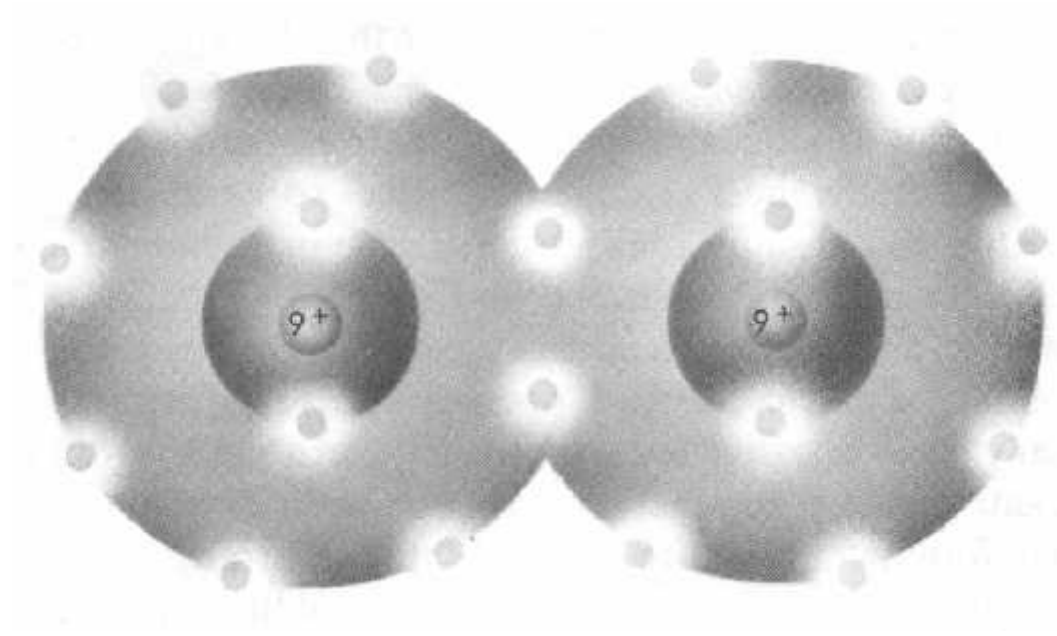
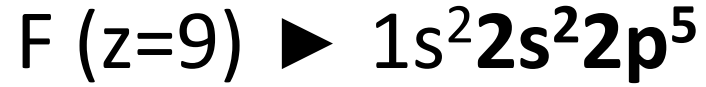
- Bazı atomların diğer atomlarla **elektronlarını paylaşıarak** son yörüngelerini 8'e tamamlaması ile oluşur.
- Periyodik tablonun sağındaki, elektronegativiteleri arasında küçük farklar bulunan elementler arasında görülür.
- Elektron çifti bağı olarak da adlandırılır. Kovalent bağ sayısı en fazla 4 olabilir ($8/2$).
- Bağ belirli iki atom arasında yönelmek zorundadır (**yönlü bağ** niteliğindedir), bağ uzunlukları ve açıları sabittir ve kütle boyunca eşittir.
- Gaz molekülleri arasında, elmasta, yarı iletkenlerde, polimer moleküllerinde görülen bağ türüdür.

Elementlerin elektronegatiflik değ erleri :

1 H 2.1																	2 He -
3 Li 1.0	4 Be 1.5											5 B 2.0	6 C 2.5	7 N 3.0	8 O 3.5	9 F 4.0	10 Ne -
11 Na 0.9	12 Mg 1.2						VIII					13 Al 1.5	14 Si 1.8	15 P 2.1	16 S 2.5	17 Cl 3.0	18 Ar -
19 K 0.8	20 Ca 1.0	21 Sc 1.3	22 Ti 1.5	23 V 1.6	24 Cr 1.6	25 Mn 1.5	26 Fe 1.8	27 Co 1.8	28 Ni 1.8	29 Cu 1.9	30 Zn 1.6	31 Ga 1.6	32 Ge 1.8	33 As 2.0	34 Se 2.4	35 Br 2.8	36 Kr -
37 Rb 0.8	38 Sr 1.0	39 Y 1.2	40 Zr 1.4	41 Nb 1.6	42 Mo 1.8	43 Tc 1.9	44 Ru 2.2	45 Rh 2.2	46 Pd 2.2	47 Ag 1.9	48 Cd 1.7	49 In 1.7	50 Sn 1.8	51 Sb 1.9	52 Te 2.1	53 I 2.5	54 Xe -
55 Cs 0.7	56 Ba 0.9	57-71 La-Lu 1.1-1.2	72 Hf 1.3	73 Ta 1.5	74 W 1.7	75 Re 1.9	76 Os 2.2	77 Ir 2.2	78 Pt 2.2	79 Au 2.4	80 Hg 1.9	81 Tl 1.8	82 Pb 1.8	83 Bi 1.9	84 Po 2.0	85 At 2.2	86 Rn -
87 Fr 0.7	88 Ra 0.9	89-102 Ac-No 1.1-1.7															

Kovalent Bağlar (devamı)

- Hidrojen dışındaki atomlar 8 valans elektronu ile çevreninceye kadar bağ oluşturma eğilimindedirler. Hidrojen için gerekli olan helyum elektron konfigürasyonuna ulaşmak ($1s^2$), yani toplam 2 elektrona sahip olmaktır.
- Atomlar farklı tiplerde kovalent bağlar yapabilirler ;
Tek bağda ► İki atom bir elektron çifti ile bir arada tutulmaktadır.
Çoklu bağda ► İki atom iki veya daha fazla elektron çifti ile bir arada tutulmaktadır.



Şekil 2.2. Flor atomlarının kovalent bağ ile oluşturdukları F2 molekülü

Bu şekilden anlaşılağı gibi kovalent bağı moleküller çevrelerindeki diğr gruplarla kuvvetli bağ kuramazlar, dolayısıyla genellikle gaz veya sıvı halinde bulunurlar (moleküller arası bağlar zayıf bağlardır).

- Kovalent bağlar özellikle gaz molekülleri arasında görülür (F_2 , H_2 , O_2 , H_2O , CH_4 , CCl_4 vb.).



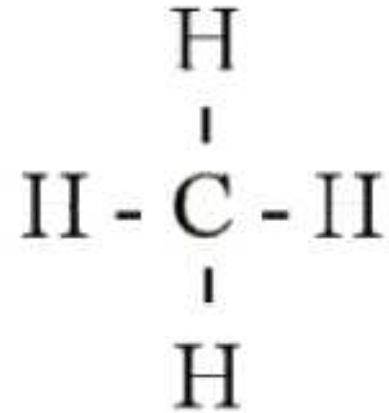
HF



H_2O
(su)



NH_3
(amonyak)

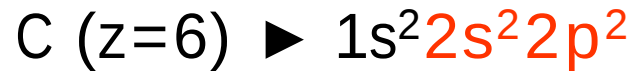


CH_4
(metan)

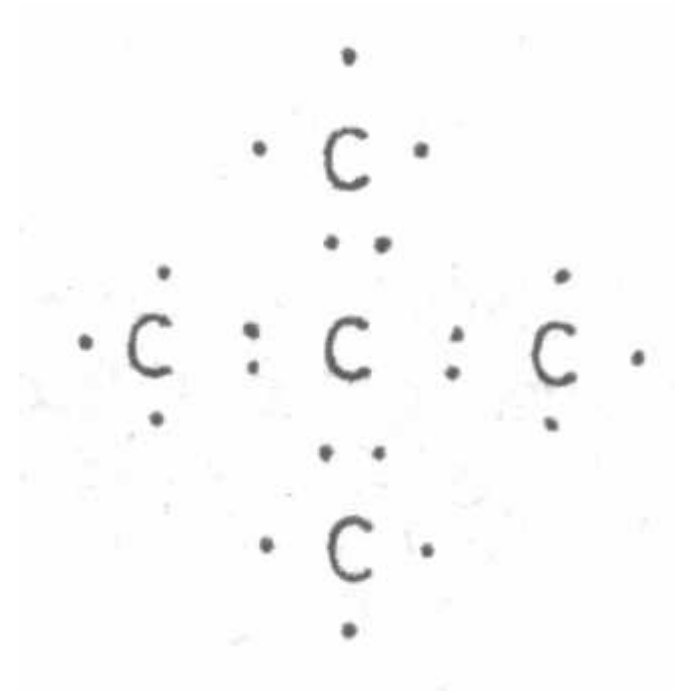
- Kovalent bağlar katılarda da görülür (4 valans elektronlu yarı iletkenler, elmas, grafit, polimer molekülleri vb.).
- Katı halde, molekül birden fazla bağ içeren en az bir çift atoma sahipse, bu bağlar açılarak kovalent bağ çok sayıda atomlar arasında sürekli hale gelir (ve 1, 2, 3 boyutta yayılır) ;
 - 1 boyutta ► lineer, dallanmış polimerler
 - 2 boyutta ► grafit
 - 3 boyutta ► elmas

Şekil 2.3. Karbonun kovalent bağ yapısı.

Her karbon atomu diğer dört karbon atomu ile birer elektron paylaşarak eşit uzunlukta kovalent bağlar oluştururlar.



Karbonun son yörüngesi s^2p^2 'dir. Ancak kovalent bağ yaparken s^1p^3 olur. Buna sp^3 hibridleşmesi denir.

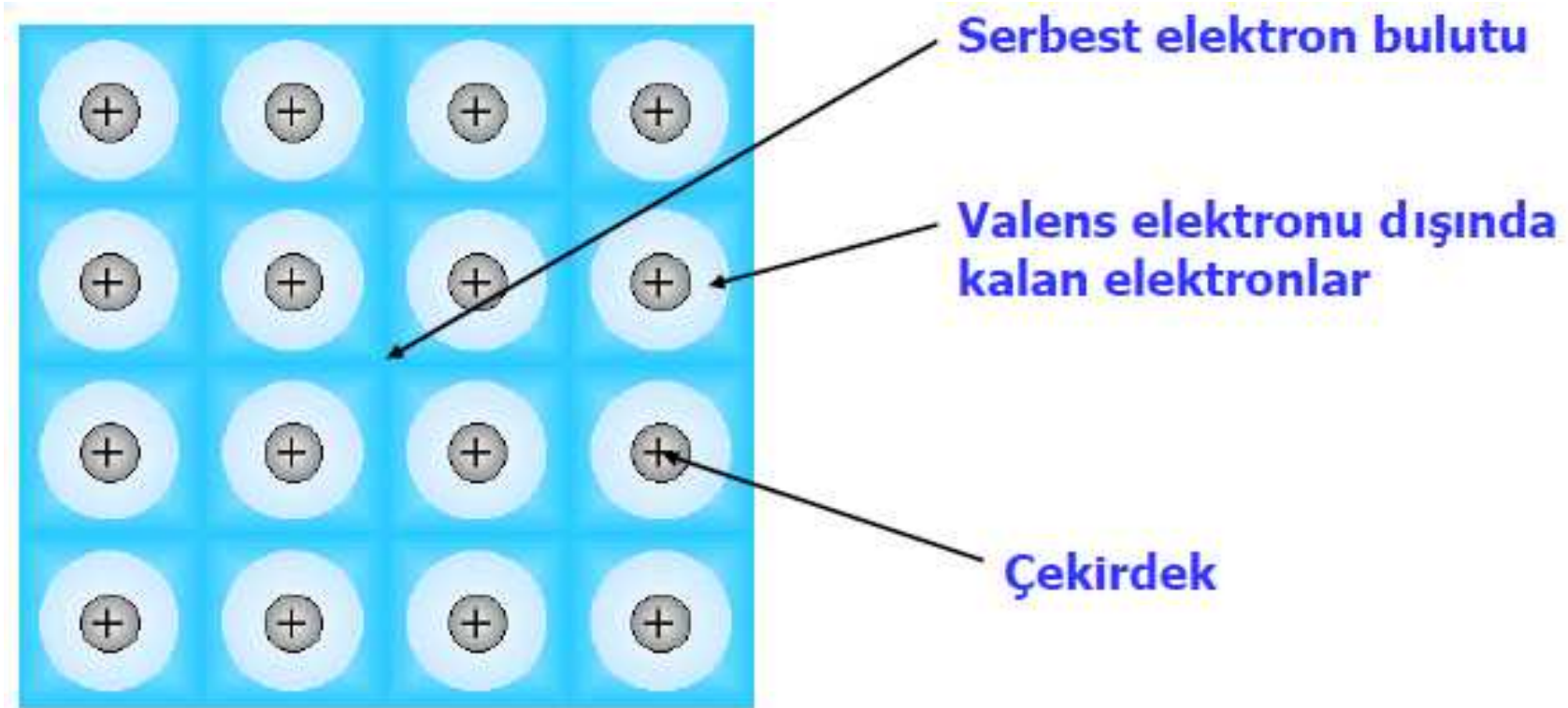


- Kovalent bağlı katılar ;
- Elektrik iletmez.
- Plastik şekil değiştirmez.
- Ergime, buharlaşma sıcaklıkları yüksektir.

3. Metalsel Bağlar ;

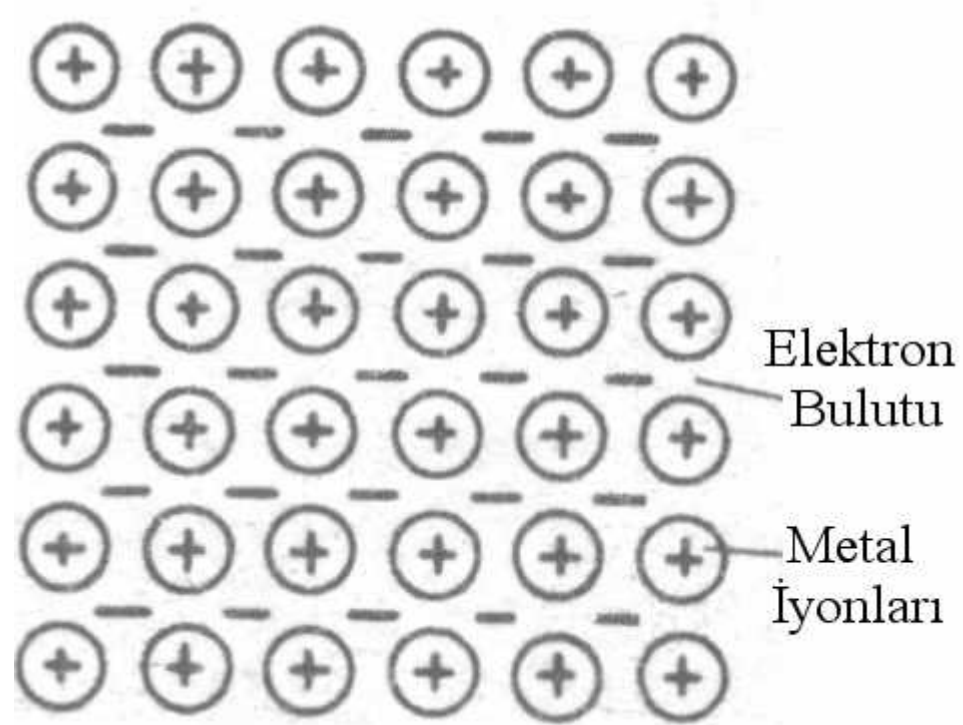
- Metallerde görülen bağ türüdür. Metal bağı veya metalik bağ diye de adlandırılır.
- Bu bağın oluşması için, valans elektronlarının sayısı 3 ya da daha az olmalı ve elementin iyonlaşma enerjisi düşük olmalıdır.
- Böylece metaller elektron vererek pozitif yüklü iyonlara dönüşürler.
- Saf metallerde elektron alabilecek türden atomlar olmadığı için serbest kalan bu elektronlara **elektron bulutu** denir.
- Bu elektron bulutu ile pozitif yüklü iyonlar arasında elektrostatik kuvvetler metalsel bağın oluşumunu sağlar.

Metalsel Bağın Yapısı :



Çekirdek ile valans elektronu dışında kalan elektronlar + yüklü iyon gibi davranır ve valans elektronlarından oluşan serbest elektron bulutu tarafından çekilir, böylece metal bağı oluşur.

Şekil 2.4. Metalsel bağın yapısı



- Metalsele bağ yönsüzdür (valans altı enerji düzeyleri tam dolu olduğunda).

- Bazı geçiş elementlerinde kısmen yönlü bağlar vardır (valans altı enerji düzeyleri dolu değil).

Bunlarda iç enerji kabukları arasında kovalent bağ oluşma ihtimali vardır. Sonuç olarak bağ enerjileri artar ve ergime sıcaklıkları yükselir (Tablo 2.4).

Metalsel Bağlar (devamı)

Element	Elektronik düzen	Valens altı enerji düzeyleri	Sonuç
Mg (z=12)	[Ne] 3s²	Dolu	Yönsüz bağ
Cu (z=29)	[Ar] 4s¹ 3d ¹⁰	Dolu	Yönsüz bağ
Fe (z=26)	[Ar] 4s² 3d ⁶	Dolu değil	Kısmen yönlü bağ
Ti (z=22)	[Ar] 4s² 3d ²	Dolu değil	Kısmen yönlü bağ

Tablo2.4. Bazı metallerin bağ enerjisi ve erime sıcaklıkları

Metaller, elektronik yapısı	Bağ enerjisi (kJ/mol)	Erime sıcaklığı (°C)
Na (...3s ¹)	108	97.9
K (.....4s ¹)	89.6	63.5
Ca (...4s ²)	177	851
Sc (...3d ¹ 4s ²)	342	1397
Ti (.....3d ² 4s ²)	473	1812

Na, K, Ca elementlerinde valans altı enerji düzeyleri doludur. Sc ve Ti elementlerinde ise valans altı enerji düzeyleri kısmen doludur, bu nedenle yüksek bağ enerjileri ve ergime sıcaklıkları vardır.

Bağ kuvvetini etkileyen diğer bir etken ise metalsel bağa katılan elektron sayısıdır. Valans elektronlarının sayısı arttıkça bağ enerjisi dolayısıyla ergime sıcaklığı da artar.

- Metalsel bağı katılar ;

- Valans elektronlarının serbest hareketliliği ile elektrik ve ısıyı iyi iletir.

- Metal iyonlarının yer değiştirmesi, bunlar ile elektron bulutu arasındaki elektrostatik kuvvetlerde önemli değişiklik meydana getirmez. Yani metalsal bağ bozulmaksızın atomlar birbirine göre ötelenebilir. Bu da metallerin plastik şekil değiştirme kabiliyetini meydana getirir.

- Opak olurlar (ışığı geçirmez, yansıtır).

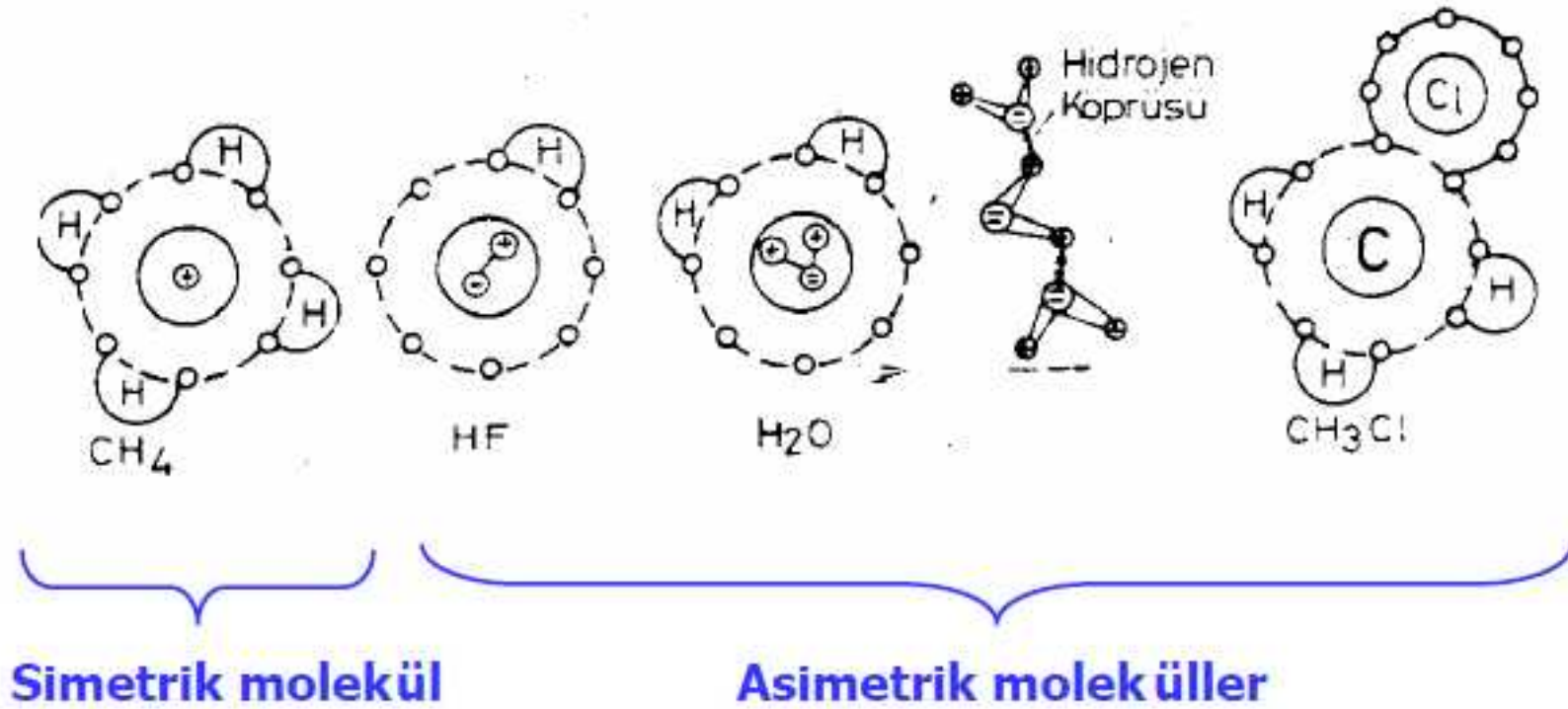
4. Zayıf bağlar (van der Waals kuvvetleri) ;

- Bazı hallerde atomlar veya moleküller arasında bağı sağlayan tek kuvvettir.
- Atomlar veya moleküller içinde elektronlar asimetric dağılırsa, artı ve eksi yük merkezleri çakışmaz. Bunun sonucu elektriksel kutuplaşma (dipol oluşumu, polarizasyon) meydana gelir.
- Elektriksel kutuplaşma süreki veya geçicidir.
- Zayıf bağlar, **zıt işaretli iki kutup arasındaki çekme kuvvetinden kaynaklanır**. Mekanizma iyonik bağa benzer.

■ Sürekli Kutuplaşma ;

- Eğer molekül asimetric ise, elektron dağılımı asimetriktir.
- Bağlar oluşurken elektron dağılımı değişir, eksi yük merkezi elektron yoğunluğunun arttığı yöne, artı yük merkezi azaldığı yöne kayar.
- Elektriksel yük merkezlerinin çakışmamasından doğan bu tür kutuplaşma sürekli dir.
- Sonuç olarak bir molekülün pozitif kısmı diğer molekülün negatif kısmı tarafından çekilir. Böylece moleküller arasında bağ oluşur.

Şekil 2.5. Sürekli kutuplaşma ile zayıf bağ oluşumu



Zayıf Bağlar (devamı)

■ Sürekli Kutuplaşma – Hidrojen Bağları ;

■ Su molekülü oluşurken H atomlarının elektronları O atomuna doğru çekilir, bu durumda artı yük merkezleri H çekirdeklerine doğru, eksi yük merkezi daha çok elektronla kuşatılan O atomuna doğru kayar.

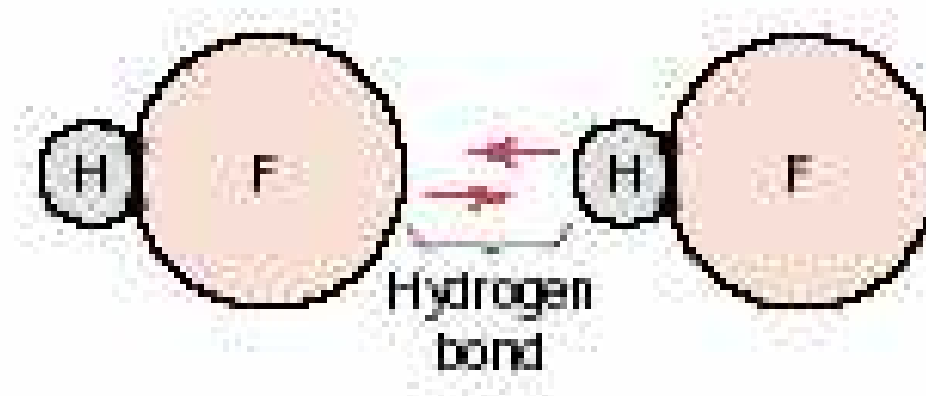
■ Eksi kutuplu O diğer bir komşu su molekülündeki artı kutuplu hidrojeni çeker.

■ Bu şekilde oluşan zayıf bağa hidrojen bağı veya hidrojen köprüsü denir.

■ Hidrojen köprüsünün bağ enerjisi diğer zayıf bağlardan daha fazladır, çünkü “+” ve “-” yük merkezi ayrışması yani kutuplaşma daha büyüktür.

■ Hidrojen Bağları (devamı) ;

- Bu özel bağ türü su molekülü dışında, H içeren diğer bazı moleküllerde de görülür.
- Hidrojen atomu küçük bir atom olduğu için başka moleküllerdeki komşu atomlara kolaylıkla yanaşabilir.
- Bu yanaşma kovalent bağ uzunluğu civarında olursa, proton transferi ile hidrojen atomu paylaşılmaya başlar.
- Burada bağ, O, N, F gibi elektronegativitesi yüksek atomlara bağlı hidrojenin, başka moleküldeki O, N, F gibi çiftlenmemiş elektronlara sahip atomlarla etkileşerek bir **hidrojen köprüsü** oluşturması şeklinde ortaya çıkar.



Zayıf Bağlar (devamı)

■ Geçici Kutuplaşma ;

■ Asal gazlar ve simetrik moleküllerde (H_2 , O_2 , CH_4 , CCl_4 vb.) elektronlar çekirdek etrafında genellikle simetrik dağılımlarına rağmen kısa bir süre için (10^{-12} - 10^{-16} saniye) dağılım simetrik olmayabilir.

■ Sonuç olarak o anda eksi ve artı yük merkezleri üst üste çakışmaz ve kısa süreli kutuplaşma olur. Böylece özellikle düşük sıcaklıklarda hissedilen zayıf bağlar ortaya çıkar.

■ Bu tür bağların enerjisi çok düşüktür (1 kJ/mol).

■ Asal gazların düşük sıcaklıklarda yoğunlaşması bu şekilde açıklanabilir.

Tablo 2.5. Asal gazların erime ve buharlaşma sıcaklıkları

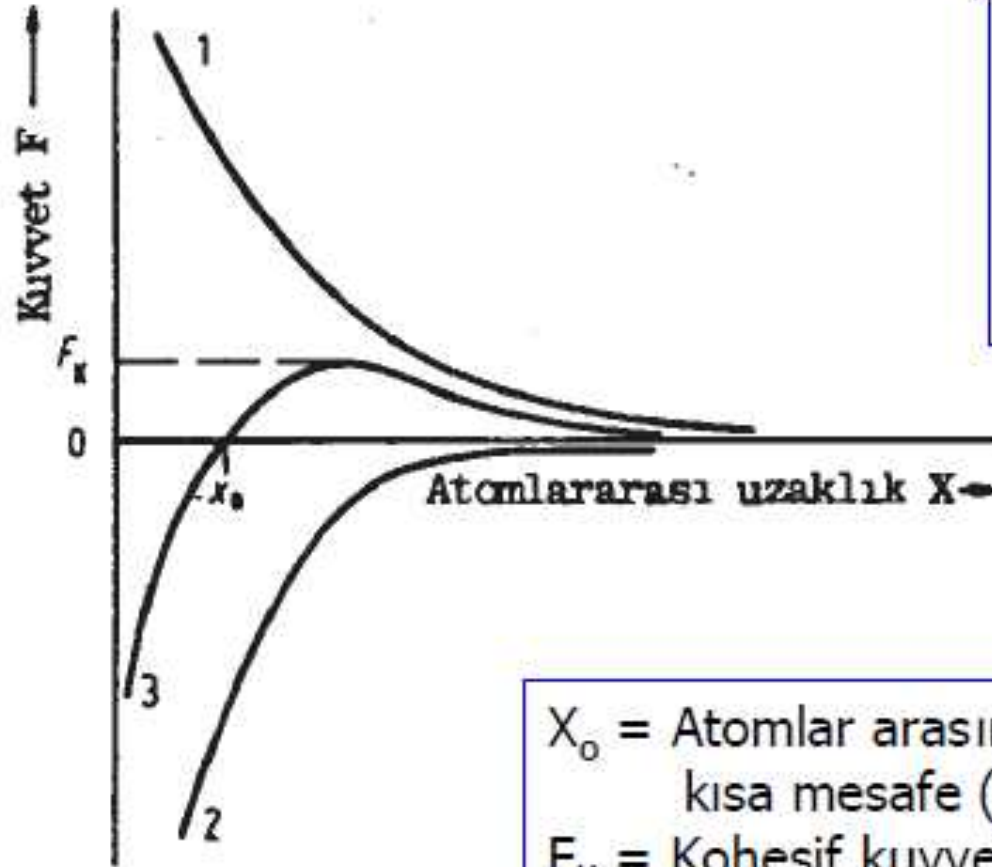
Soygaz	Erime sıcaklığı (°C)	Buharlaşma sıcaklığı (°C)
He	-272.2	-268.9
Ne	-248.7	-245.9
Ar	-189.2	-185.7
Kr	-157.0	-152.9
Xe	-112.0	-107.1
Rn	-71.0	-61.8

Atomların çevresinde elektron sayısı arttıkça geçici kutuplaşma olasılığı artar ve gaz haline geçme sıcaklığı yükselir.

Atomlararası Mesafe ve Bağ Enerjisi

- Cisimler çok sayıda atomların bağ kuvvetleri etkisi altında bir arada dizilmeleri sonucu oluşur.
- Atomlar arası itme-çekme kuvvetlerinin eşit ve potansiyel enerjisinin minimum olduğu denge konumu atomlar arası uzaklığı belirler.
- Aralarında bağ bulunan belirli bir atom çifti için bu uzaklık kesindir. Bu uzaklığı değiştirmek için enerji gerekir.

Şekil 2.8. Atomlararası mesafe oluşumu



- 1 no'lu eğri : Elektrostatik çekme kuvvetleri
- 2 no'lu eğri : Elektrostatik itme kuvvetleri
- 3 no'lu eğri : Toplam kuvvet

X_0 = Atomlar arasındaki mümkün olabilecek en kısa mesafe (denge konumu).
 F_K = Kohesif kuvvet (atomlar arası bağı koparmak için gereken maksimum kuvvet)

Atomlar Arası Mesafe ve Bağ Enerjisi (devamı)

İyonik bağ konumu için itme ve çekme kuvvetleri aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$F_{\text{çekme}} = \frac{k_0 (z_1 q)(z_2 q)}{a^2}$$

Elektrostatik kuvvet

$$F_{\text{itme}} = -\frac{nb}{a^{n+1}}$$

Deneyssel olarak saptanmıştır

z_1, z_2 = iyon oluşumu sırasında alınan veya verilen elektron sayısı

q = bir elektronun yükü

a = iyonlar arası mesafe (iyonların yarıçaplarının toplamı)

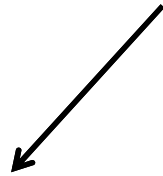
k_0, b, n = sabit

BÖLÜM 3

KRİSTAL YAPILAR

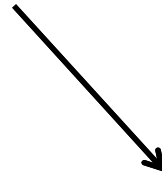
KRİSTAL YAPILAR

Malzemelerin iç yapısı atomların
diziliş biçimine bağlıdır.



Kristal yapı

Kristal yapılarda atomlar
düzenli olarak dizilirler ve
temel niteliği tekrarlılıktır.



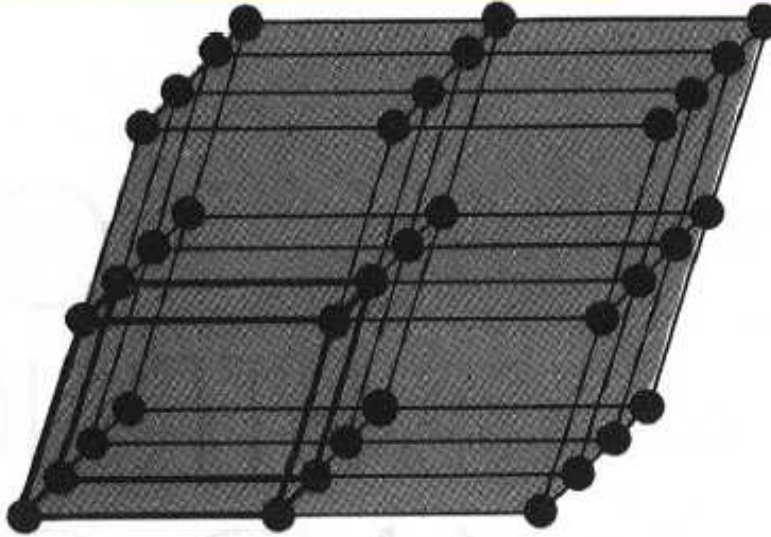
Amorf yapı

Amorf yapıda atomlar
düzensiz ve rastgele
dağılmışlardır.

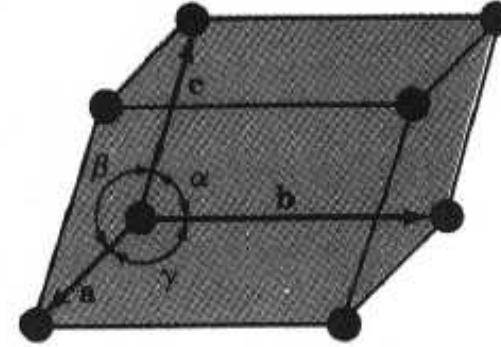
Metallerin tümü, seramiklerin önemli bir kısmı ve bazı
polimerler kısmen kristal yapılıdır.

Kristal Yapı Türleri

En küçük düzenli yapı birimine birim hücre denir



(a)

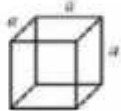
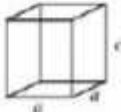
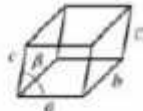
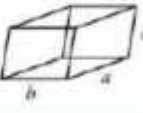


(b)

Doğadaki bütün kristal malzemeler 7 farklı kristal sisteminden birisine uyarlar.

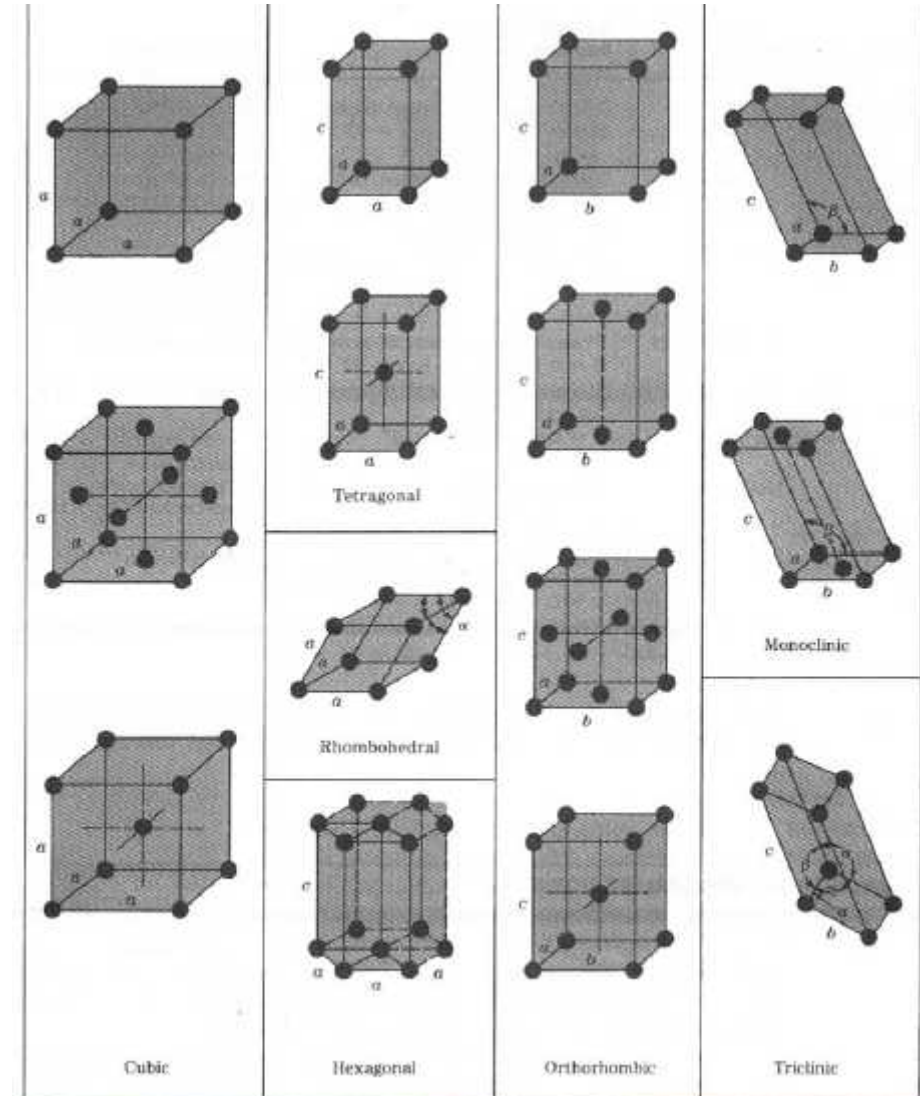
Bütün 3D hacmi dolduran kafes sistemi sadece **7 adet kafes sisteminden** biri olabilir.

1. **Kübik**
2. **Tetragonal**
(kare prizma)
3. **Ortorombik**
(dikdörtgen prizma)
4. **Rhomohedral**
5. **Hegzagonal**
6. **Monoklinik**
7. **Triklinik**

System	Axial lengths and angles ^a	Unit cell geometry
Cubic	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Rhombohedral	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

^aThe lattice parameters a , b , and c are unit-cell edge lengths. The lattice parameters α , β , and γ are angles between adjacent unit-cell axes, where α is (the angle viewed along the a axis (i.e., the angle between the b and c axes)). The inequality sign ($\neq$) means that equality is not required. Accidental equality occasionally occurs in some structures.

Toplam 14 tür kafes yapı
olasılığı vardır. 14 Bravais
birim hücresi yandaki
şekilde verilmiştir.
(Bravais kafesleri)



Doğada 7 kristal türü veya *kristal sistemi* vardır.

Uzay Kafeslerinin Kristal Sistemlerine Göre Sınıflandırılması

Kristal sistemi	Eksenel uzunluklar ve eksenler arası açılar	Uzay kafesleri
Kübik	Birbirine dik üç eşit eksen $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Basit kübik Hacim merkezli kübik Yüzey merkezli kübik
Tetragonal	Birbirine dik üç eksen, ikisi eşit $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Basit tetragonal Hacim merkezli tetragonal
Ortorombik	Birbirine dik, eşit olmayan eksen	Basit ortorombik Hacim merkezli ortorombik Taban merkezli ortorombik Yüzey merkezli ortorombik
Rombohedral	Üç eşit eksen, eş eğimli $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Basit rombohedral
Hekzagonal	İki eş eksen 120° , üçüncü eksen dik $a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Basit hekzagonal
Monoklinik	Üç eşit olmayan eksen, bir çift dik değil $a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Basit monoklinik Taban merkezli monoklinik
Triklinik	Üç eşit olmayan eksen, eşit olmayan eğimli ve dik açılı değil $a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Basit triklinik

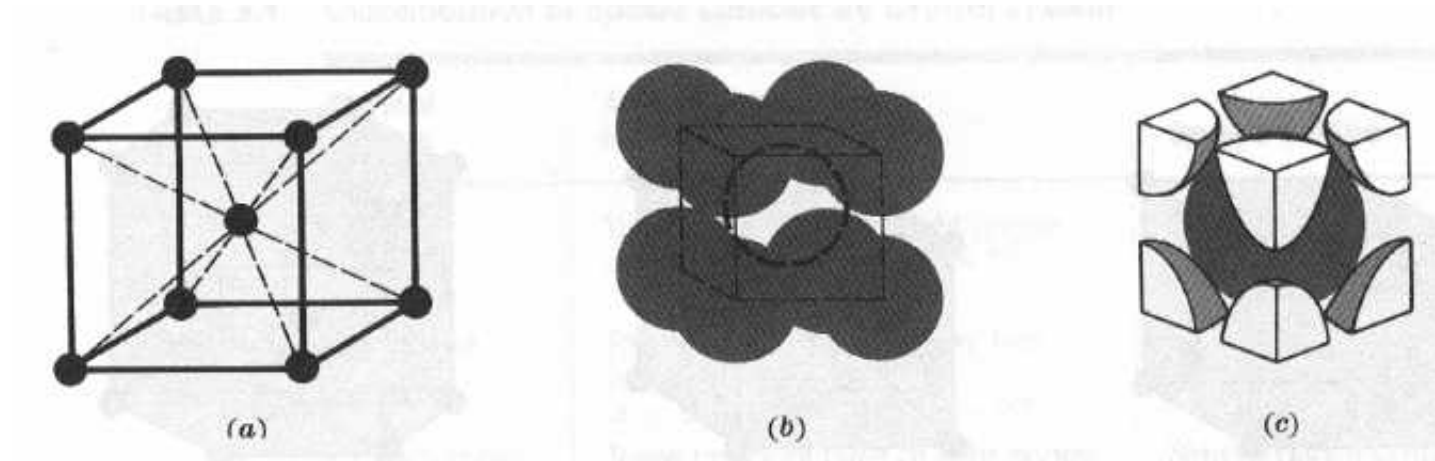
- Metallerin büyük bir çoğunluğu kübik kristal yapıya, bazıları (Zn,Mg gibi) hekzagonal kristal yapıya sahiptir.
- Çeliğin içindeki Fe_3C ortorombik yapılıdır.
- Isıl işlemle oluşan martenzit fazı tetragonal yapıya sahiptir

Kafes Yapıları

- Atomların kristal düzlemindeki diziliş biçimi **kafes yapıyı** oluşturur
- Birim hücrenin boyutlarına kafes sabiti (a) veya birim **hücre boyutu** denir.
- Atomların diziliş sıklığını ifade etmek için **Atomsal Dolgu Faktörü (ADF)** kullanılır.

$$ADF = \frac{\text{BirimHücredekiAtomlarınHacmi}}{\text{BirimHacim}}$$

Hacim merkezli kübik (HMK) kafes



Kafes Merkezinde 1 atom,
Köşelerde ise 8 adet $1/8$ hacimli atom
vardır. Birim hücredeki toplam atom
sayısı 2'dir.

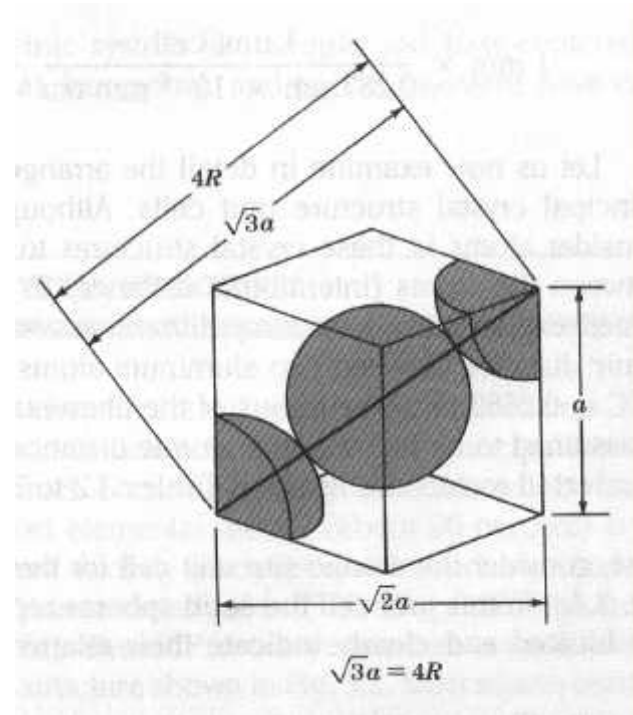
**Oda Sıcaklığında (20 °C) HMK
Kristal Yapısına Sahip Bazı Metallerin
Kafes Sabiteleri ve Atom Yarıçapları**

Metal	Kafes sabitesi a, nm	Atom yarıçapı R, nm
Demir	0.287	0.124
Krom	0.289	0.125
Molibden	0.315	0.136
Potasyum	0.533	0.231
Sodyum	0.429	0.186
Tantal	0.330	0.143
Volfram	0.316	0.137
Vanadyum	0.304	0.132

Hacim merkezli kübik kafeste atomsal dolgu faktörü

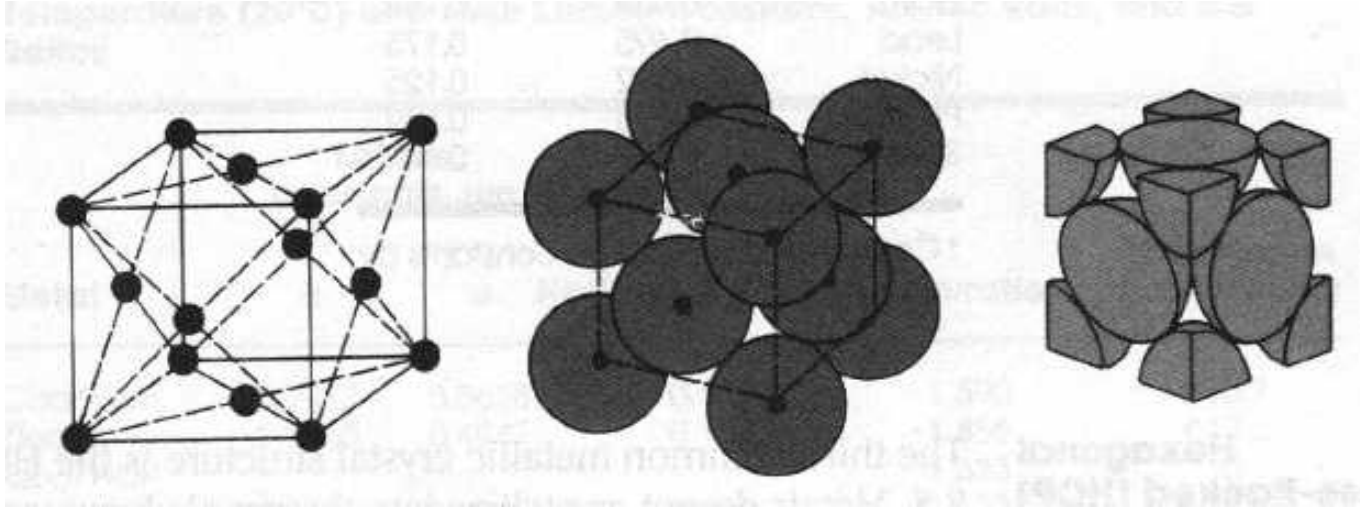
$$ADF = \frac{2 \frac{4\pi r^3}{3}}{a^3}$$

$$ADF = \frac{2 \frac{4\pi r^3}{3}}{\left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3}$$



ADF=0,68 olur; %68'i dolu, %32'si boştur.

Yüzey merkezli kübik (YMK) kafes



Kafes Yüzeylerdeki atom sayısı = $6 \times \frac{1}{2} = 3$
Köşelerdeki atom sayısı = $8 \times \frac{1}{8} = 1$ Birim
hücredeki toplam atom sayısı = 4

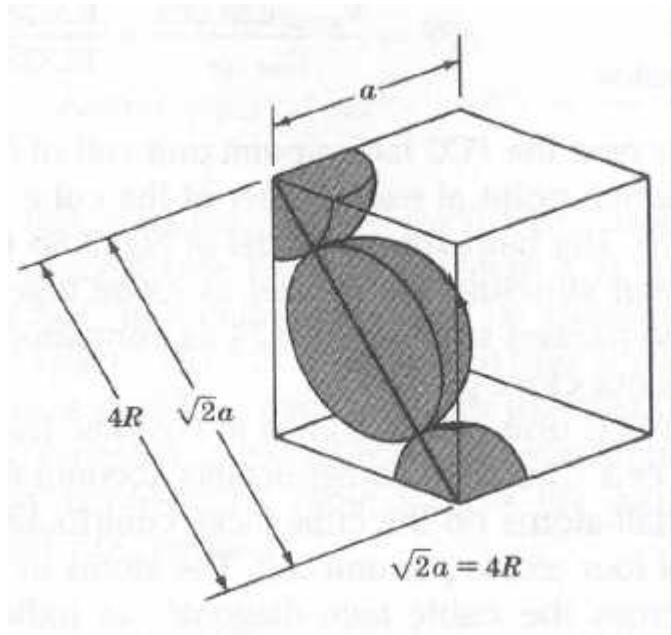
**Oda Sıcaklığında (20 °C) YMK
Kristal Yapısına Sahip Bazı Metallerin
Kafes Sabiteleri ve Atom Yarıçapları**

Metal	Kafes sabitesi a, nm	Atom yarıçapı R, * nm
Altın	0.408	0.144
Alüminyum	0.405	0.143
Bakır	0.3615	0.128
Gümüş	0.409	0.144
Kurşun	0.495	0.175
Nikel	0.352	0.125
Platin	0.393	0.139

Yüzey merkezli kübik kafeste atomsal dolgu faktörü

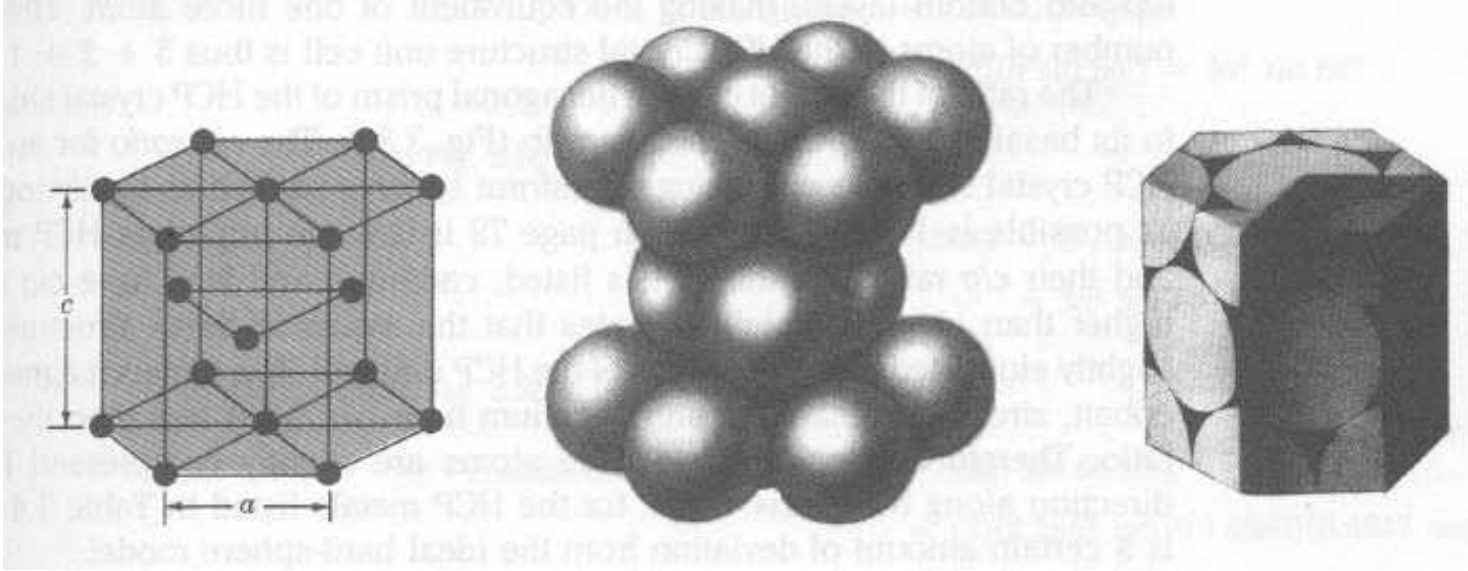
$$ADF = \frac{4 \frac{4\pi r^3}{3}}{a^3}$$

$$ADF = \frac{4 \frac{4\pi r^3}{3}}{\left(\frac{4r}{\sqrt{2}}\right)^3}$$



ADF=0,74 olur; %74'i dolu, %26'si boştur.

Hekzagonal Sıkı Düzen (HSD) kafes



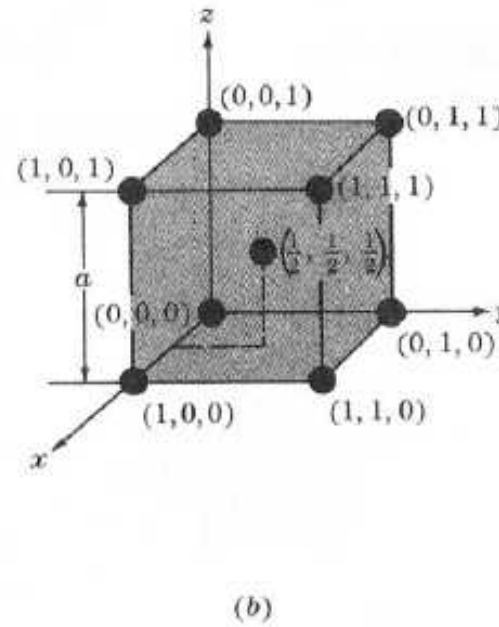
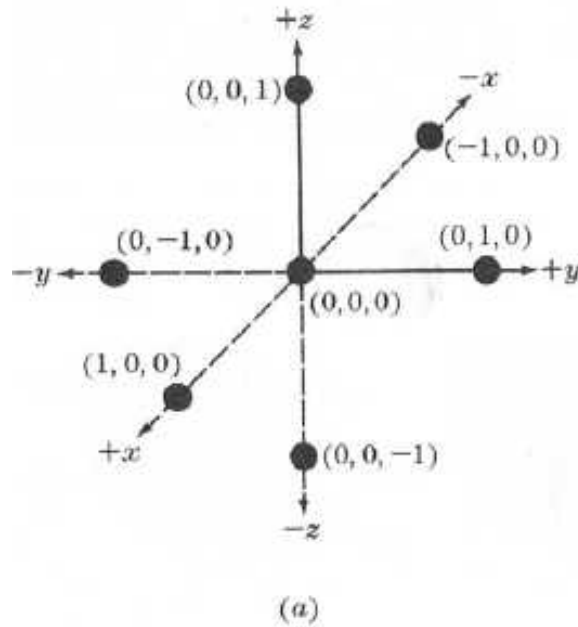
Köşelerdeki atom sayısı= $12 \times \frac{1}{6} = 2$ Alt ve
üst yüzeyde = $2 \times \frac{1}{2} = 1$ Birim hücrenin
ortasında 3 adet atom vardır. Toplam
atom sayısı = $2 + 1 + 3 = 6$

Oda Sıcaklığında (20 °C) SDH Kristal Yapısına Sahip Bazı Metaller ve Bunların Kafes Sabiteleri, Atom Yarıçapları ve c/a Oranları

Metal	Kafes sabiteleri, nm		Atom Yarıçapı R, nm	c/a oranı	İdealden % sapma
	a	c			
Kadmiyum	0.2973	0.5618	0.149	1.890	+15.7
Çinko	0.2665	0.4947	0.133	1.856	+13.6
İdeal SDH				1.633	0
Magnezyum	0.3209	0.5209	0.160	1.623	-0.66
Kobalt	0.2507	0.4069	0.125	1.623	-0.66
Zirkonyum	0.3231	0.5148	0.160	1.593	-2.45
Titanyum	0.2950	0.4683	0.147	1.587	-2.81
Berilyum	0.2286	0.3584	0.113	1.568	-3.98

Atomların Konumları

Atomların konumları şekilde görüldüğü gibi orijin esas alınarak x , y , z koordinatlarını birbirinden ayıran virgül ile üç mesafe olarak yazılır.

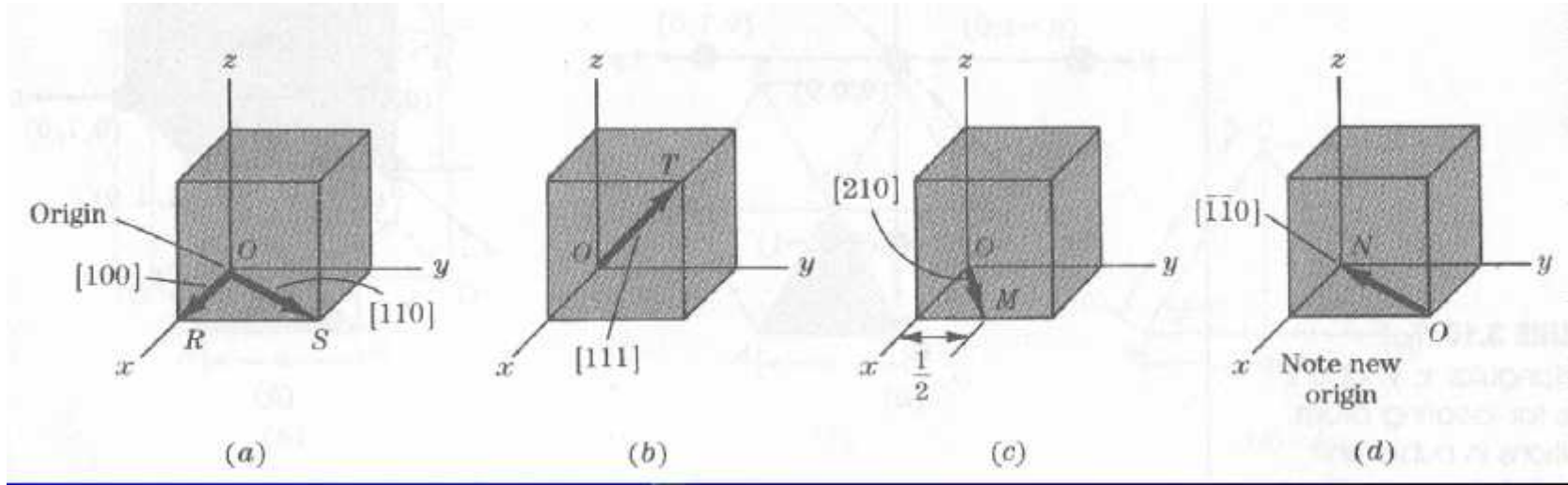


Kristal Doğrultuları (Yönleri)

- Birim hücrede belirli doğrultular özel bir öneme sahiptir.
- Metaller yakın temas halindeki atomlar doğrultusunda şekil değiştirirler. Malzemenin özellikleri kristalde özelliğin ölçüldüğü doğrultuya bağlı olarak değişebilir.
- Doğrultular için Miller indisleri bu doğruları tanımlaması için kullanılan kısa gösterimlerdir.

Doğrultuların Miller indisleri (yön işaretleri) şöyle bulunur;

1. Sağ el koordinat sistemi kullanılarak doğrultu üzerinde iki koordinat noktası belirlenir.
2. Uç noktanın koordinatlarından başlangıç noktasının koordinatları çıkarılır.
3. Elde edilen kesirler kaldırılır ve/veya azaltılarak tam sayıya çevrilir.
4. Numaralar köşeli paranteze alınır $[hkl]$. Negatif işaret çıkarsa üzerine negatif işareti konur.



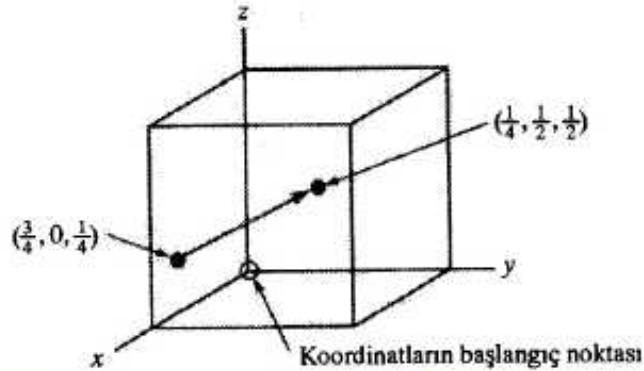
OR doğrusu'nun (1,0,0) yön indisi [100] OS doğrusu'nun (1,1,0) yön indisi [110] OT doğrusu'nun (1,1,1) yön indisi [111] OM doğrusu'nun (1,1/2,0) yön indisinde sayıların tam sayı olması için 2 ile çarpılır; $2(1,1/2,0) = [210]$ ON doğrusunun konum koordinatları (-1,-1,0), negatif yönlü olduğundan yön indisi $\bar{1}\bar{1}0$

$[h_1k_1l_1]$ ve $[h_2k_2l_2]$ doğruları arasındaki α açısı;

$$\cos \alpha = \frac{h_1h_2 + k_1k_2 + l_1l_2}{\left[\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2} \right] \left[\sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2} \right]}$$

Örnek Problem 3.6

$(\frac{3}{4}, 0, \frac{1}{4})$ ve $(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ yer koordinatları arasındaki küp yönünün yön işaretlerini belirtin.



Çözüm:

Önce Şekil ÖP 3.6'da gösterildiği gibi birim küpte yön vektörünün başlangıç ve terketme noktalarını belirleriz. Bu yön için kesirli vektör bileşenleri

$$x = -(\frac{3}{4} - \frac{1}{4}) = -\frac{1}{2}$$

$$y = (\frac{1}{2} - 0) = \frac{1}{2}$$

$$z = (\frac{1}{2} - \frac{1}{4}) = \frac{1}{4}$$

olacaktır. Buna göre, vektör yönü $-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$ kesirli vektör bileşenlerine sahiptir. Yön işaretleri kesirli bileşenlerle aynı orana sahip olacaktır. Kesirli vektör bileşenlerini 4 ile çarparak bu vektörün yönünün yön işaretleri olarak $[\bar{2}21]$ buluruz.

- Bir kafes yapıda herhangi bir doğrultuya paralel sonsuz sayıda doğru vardır.
- Paralel olan doğrultuların indisleri (yön işaretleri) aynıdır.
- Kafes yapı simetriklik özelliğine sahip olursa bazı farklı doğrultularda atomsal diziliş aynıdır. Bu doğrultulara eşdeğer doğrultular denir.
- Bir kafes yapıda eşdeğer doğrultuların tümü **eşdeğer doğrultular ailesi** oluştururlar ve ailenin miller indisleri **<hkl>** ile gösterilir.

<100> eşdeğer doğrultu ailesinin üyeleri;
[100], [010], [001], [1-00], [01-0], [001-]

Düzlemlerin Miller İndisleri (İşaretleri)

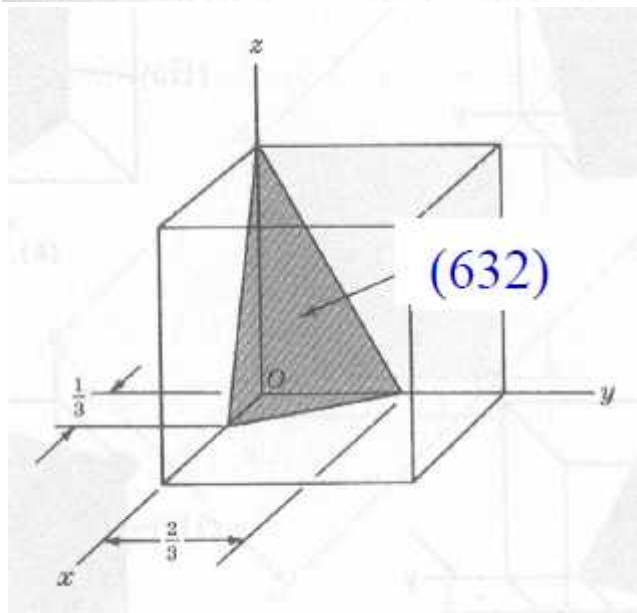
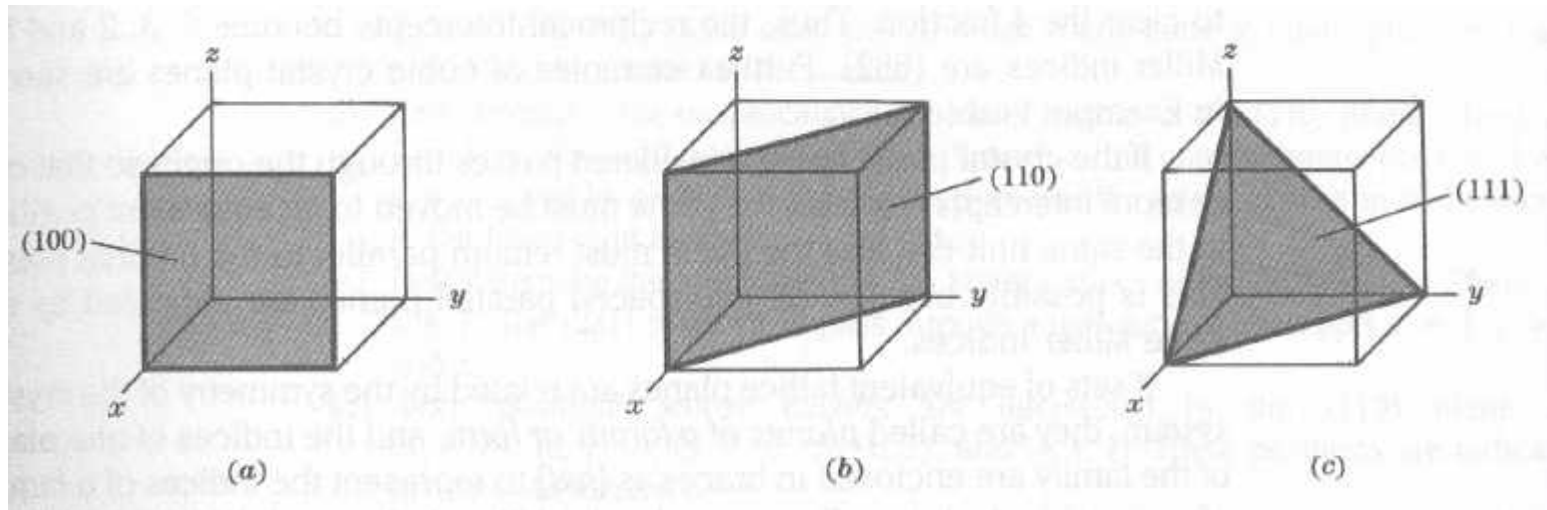
- Bir kristalde belirli atom düzlemleri özel bir öneme sahiptir.
- Metaller atomların çok sıkı paketlenildiği düzlemler boyunca şekil değiştirir.
- Bu düzlemleri tanımlamak için **(hkl)** şeklinde tam sayılardan oluşan Miller indisleri kullanılır.

Düzlemlerin Miller İndisleri şöyle bulunur;

1. Düzlemin x , y , z eksenlerini kestiği noktaların koordinatları tanımlanır
2. Bu noktaların tersi alınır
3. Bu sayılar uygun bir ortak çarpanla en küçük tam sayılar grubu haline getirilir.
4. Sonuç **(hkl)** şeklinde gösterilir, negatif numaralar üzerine **(-)** işareti konur.
5. Eşdeğer düzlemler ailesi **{hkl}** ile gösterilir.

Kübik sistemlerde bir düzlem ile aynı indislere sahip doğrultular, bu düzleme diktir.

Örneğin $[100]$ doğrultusu, (100) düzlemine diktir.



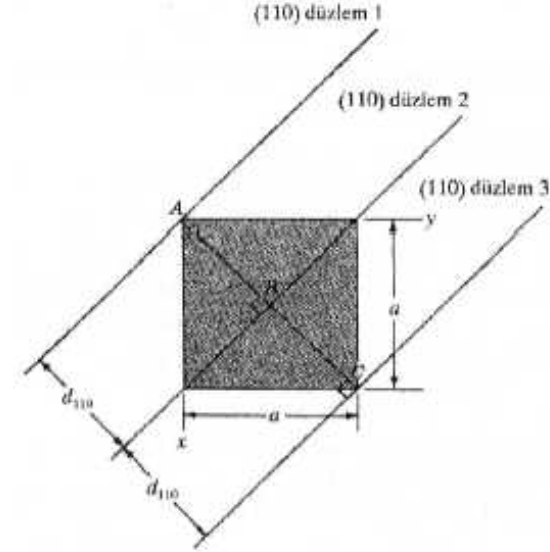
$$X=1/3 \quad y=2/3 \quad z=1$$

Tersi alınır $\rightarrow 3, 3/2, 1$

Tam sayı yapmak için 2 ile
çarpılır ve Miller indisi
(632) olur.

Düzlemler Arası Mesafe

Kübik kristal yapılarda aynı Miller indisine (işaretine) sahip, birbirine paralel en yakın iki düzlem arasındaki düzlemler arası uzaklık d_{hkl} şeklinde gösterilir.



Basit bir geometriyle, kübik kristaller için aşağıdaki bağıntının varlığı gösterilebilir:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (3.4)$$

Burada, d_{hkl} = Miller işaretleri h , k ve l olan, birbirine paralel en yakın iki düzlem arasındaki düzlemler arası uzaklık

a = kafes sabitesi (birim küpün kenarı)

h, k, l = ilgili küp düzlemlerinin Miller işaretleridir.

Doğrusal atom yoğunluğu

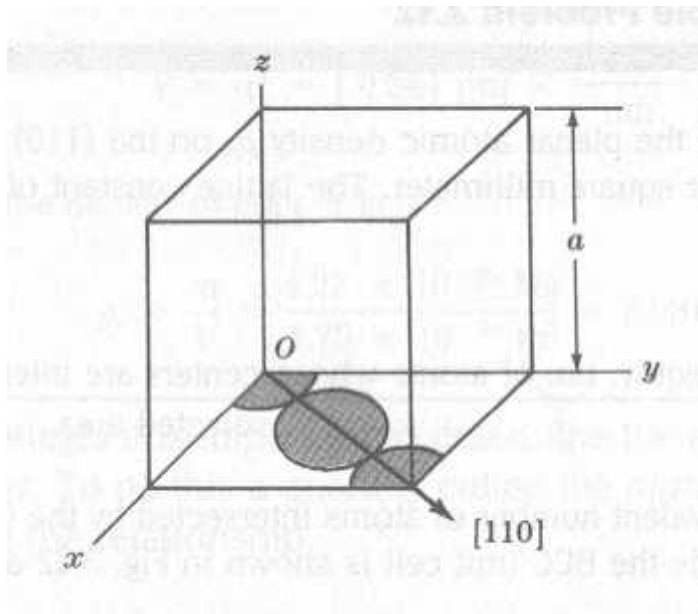
Atomların diziliş sıklığı birim boydaki atom çapları sayısı ile belirtilir.

$$\rho_{[hkl]} = \frac{\text{doğrunun kestiği atom çapları sayısı}}{\text{birim boy}}$$

[hkl] doğrultusundaki iki komşu atomun merkezleri arasındaki uzaklık b_{hkl} ise, $\rho_{[hkl]} = 1/b_{hkl}$ olur.

Uygulamada b mm olarak verilir ve doğrusal atom yoğunluğu (atom sayısı/mm) ile belirtilir.

Atomlararası uzaklık **b**'ye **Burger vektörü** de denir.



Cu (YMK) $\rightarrow a = 0,361$ nm

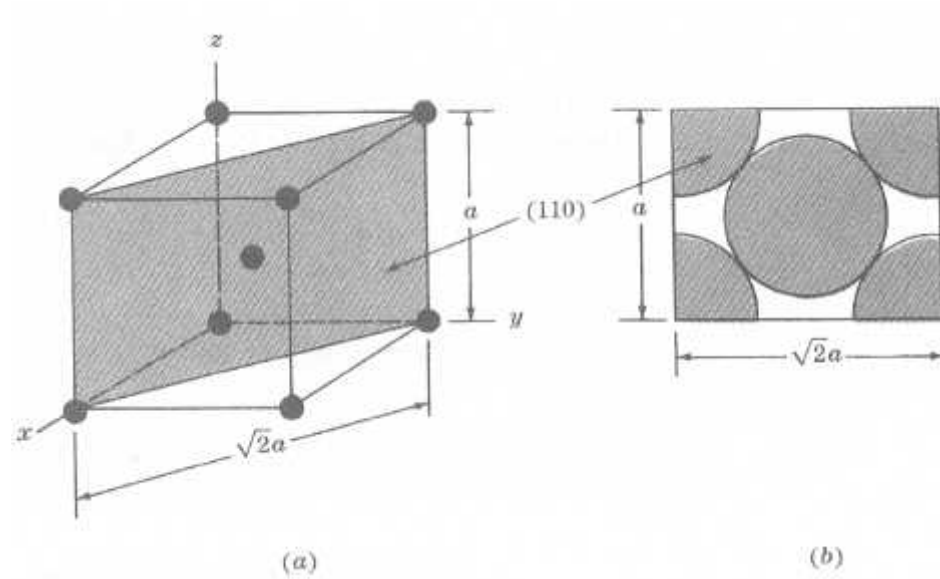
$$\rho_{[110]} = 2/(\sqrt{2} \cdot a) = 2 / (\sqrt{2} \cdot 0,361)$$

$$\rho_{[110]} = 3,92 \times 10^6 \text{ atom/mm}$$

Düzlemsel atom yoğunluğu

Atomların diziliş sıklığı düzlemden düzleme değişir ve bu da özellikleri önemli derecede etkiler. Kristal düzlemleri üzerindeki atomsal diziliş sıklığı birim alandaki atom sayısı olarak tanımlanır ve buna düzlemsel atom yoğunluğu denir:

$$\rho_{(hkl)} = \frac{\text{belirli bir alandaki atomların sayısı}}{\text{gözönüne alınan alan}} \quad \text{at/mm}^2$$



Merkezde bir atom ve köşelerde $4 \times \frac{1}{4} = 1$ atom olmak üzere toplam 2 adet atom vardır. (110) düzleminin kestiği alan = $\sqrt{2} \cdot a^2$

$$\rho(110) = \frac{2}{(\sqrt{2} \cdot a^2)} \text{ olur.}$$

Demir için Kafes sabiti = 0,287 nm dir.

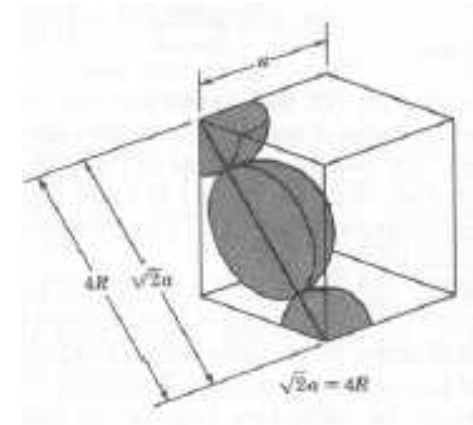
$$\rho(110) = \frac{2}{(\sqrt{2} \cdot 0,287^2)} = 17.2 \text{ atom/nm}^2 = 1.72 \times 10^{13} \text{ atom/mm}^2.$$

Hacimsel Atom Yoğunluğu

$$\text{Metalin hacimsel yoğunluğu } (\rho_v) = \frac{\text{birim hücre kütlesi}}{\text{birim hücre hacmi}}$$

Örnek : Cu atomunun yarıçapı= 0,1278 nm dir.
Atomların sert küreler olduğunu varsayarak bakırın teorik yoğunluğunu mg/m^3 cinsinden hesaplayınız (Cu'ın atomik kütlesi 63,54 g/mol).

Çözüm : YMK sistemde $\sqrt{2} a = 4R$
 $a = 4 (0,1278) / \sqrt{2} \quad a = 0,361 \text{ nm}$



YMK sistemde her bir hücrede toplam 4 adet atom vardır. Her bir atomun kütlesi $(63,54 \text{ g/mol}) / (6,02 \times 10^{23} \text{ atom/mol})$ olduğundan birim hücrenin kütlesi (m);

$$m = 4 (63,54) / (6,02 \times 10^{23}) = 4,22 \times 10^{-22} \text{ gram} = 4,22 \times 10^{-28} \text{ Mg}$$

$$\text{Birim hücrenin hacmi, } V = a^3 = (0,361 \text{ nm} \times 10^{-9} \text{ m/nm})^3 = 4,70 \times 10^{-29} \text{ m}^3$$

$$\text{Bakırın yoğunluğu} = m/V = 4,22 \times 10^{-28} / 4,70 \times 10^{-29} = 8,98 \text{ Mg/m}^3$$

$$\rho_{\text{bakır}} = 8,98 \text{ g/cm}^3$$

Poliformizm (Allotropizm)

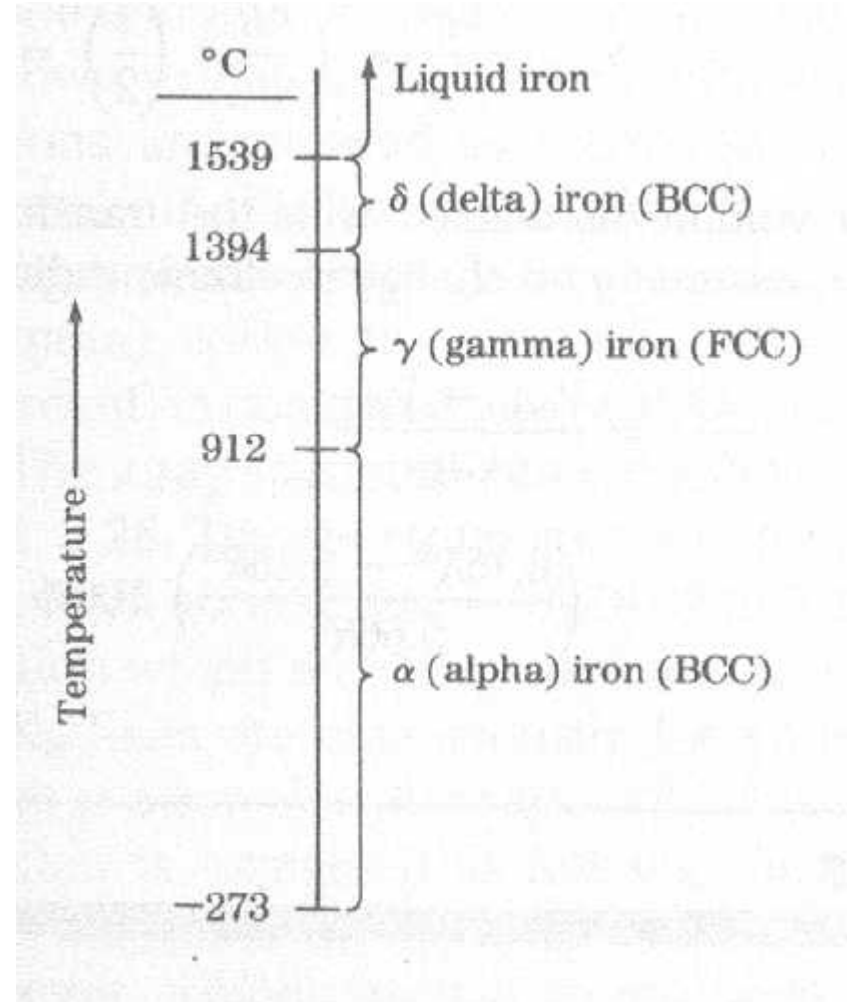
Aynı bileşimde iki molekül değişik atomsal dizilişe sahipse bunlara izomer denir.

Aynı kimyasal bileşime sahip fakat değişik kristal yapılı cisimlere polimorflar ve bu özelliğe de polimorfizm denir.

Çeliklere uygulana ısıt işlemler poliformik dönüşme olayına dayanmaktadır.

Saf Demirin Allotropik Dönüşümü

Fe 910 °C'nin altında HMK,
910 °C'nin üstünde YMK,
1400 °C'nin üstünde de
HMK kristallidir.



Bölüm 4

katı eriyikler ve kristal yapı kusurları

Giriş

- ❑ Endüstriyel metaller çoğunlukla birden fazla tür eleman içerirler, çok azı arı halde kullanılır.
- ❑ Arı metallerin yüksek iletkenlik, korozyona dayanıklılık gibi bazı üstün özellikleri olmasına rağmen genellikle yumuşak, mukavemetleri düşük ve pahalıdırlar.
- ❑ Örneğin, arı bakır yüksek elektriksel iletkenliği nedeni ile iletken tel, yüksek korozyon dayanımı sebebi ile çatı kaplama malzemesi olarak kullanılır. Yumuşak ve mukavemeti düşüktür.

Katı Eriyikler (Çözeltiler)

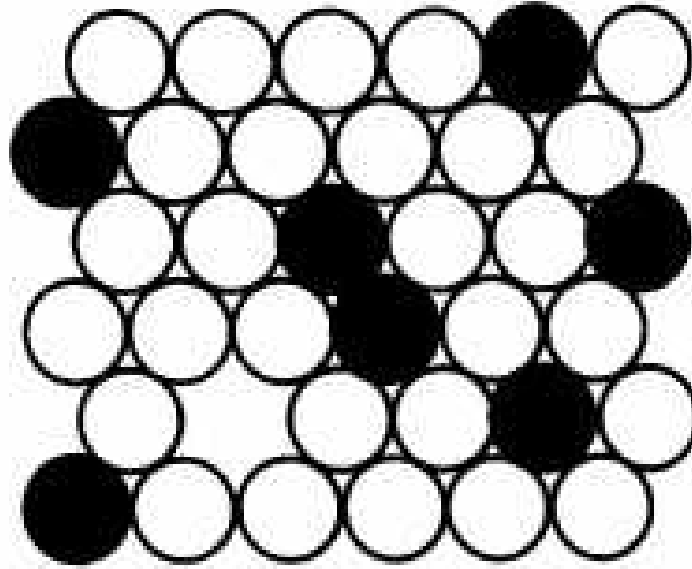
- ❑ Metallere katkı elemanları ergimiş halde katılır. Değişik tür atomlar sıvı halde kolayca karışarak homojen *sıvı eriyik* oluştururlar. Katılaşma sırasında yabancı elemanlar kafes yapıda varlığını korursa *katı eriyik* elde edilir. Bu işleme *alaşımlandırma*, elde edilen metale *alaşım* denir.
- ❑ Katkı elemanına *alaşım elemanı*, kafes yapıya sahip ana eleman *eriten*, içinde dağılmış halde bulunan eleman ise *eriyen* adını alır.

Katı eriyik oluşumunda eriyen elementin atomlarının ana kafes içerisindeki yerleşim konumlarına göre:

- 1. Yer Alan Katı Eriyikleri (Asal yer katı çözeltisi)**
- 2. Arayer Katı Eriyikleri (Arayer katı çözeltisi)**

Yer Alan Katı Eriyikler

Atom yarıçapları yakın ve elektron yapıları benzer olan elemanlar kafes yapıda birbirlerinin yerini kolaylıkla alarak yer alan katı eriyiğini oluştururlar.



Yer alan katı eriyik oluşumunda etkili olan faktörler şunlardır;

1. Kafes Sisteminin Etkisi
2. Boyut Faktörünün Etkisi
3. Elektronegatif Valans Etkisi
4. Relatif Valans Etkisi

1. Kafes Sisteminin Etkisi

- ❑ İki elementin katı eriyik oluşturabilmesi için kafes sistemlerinin aynı veya benzer olması gerekir.
- ❑ %100 katı eriyik oluşumunun gerçekleşebilmesi için kafes sistemlerinin aynı olması gerekir.
- ❑ Hekzagonal sıkı düzen (HSD) sistemlerde özel bir durum vardır.
- ❑ Bu temel yaklaşımdan farklı olarak, oldukça farklı kristal yapıya sahip olan İndium (YMT) ve Talyum (HSD) çok geniş bir katı eriyik bölgesine sahiptirler. Ancak sürekli katı eriyik oluşumu söz konusu olmamaktadır.

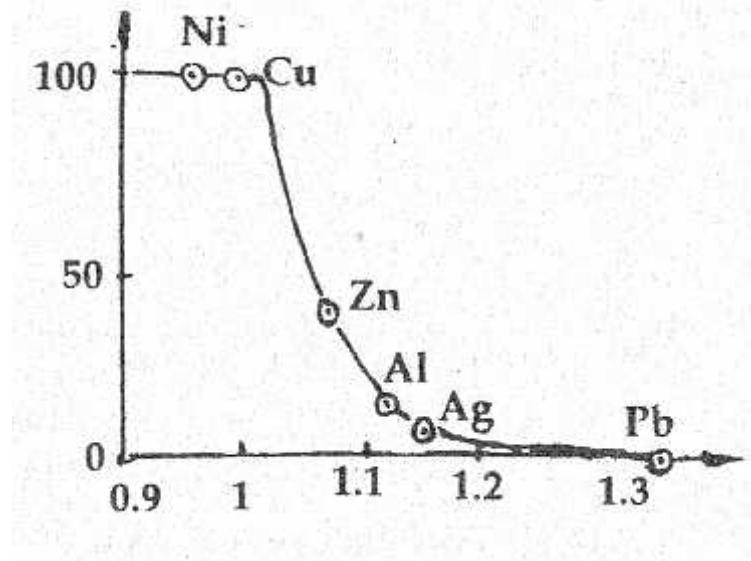
2. Boyut Faktörünün Etkisi

- ❑ Katı eriyikler kristal kafesin belirli bir distorsiyonu ile oluşabildiğine göre, iki metalin atom çapları arasında belirli bir oranın olması gerekir.
- ❑ Yapılan araştırmalar eriten ve eriyen atomların çapları arasındaki farkın, eriten atomun çapına oranının en fazla

$$\frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 = \%14 - 15$$

olması gerektiğini göstermiştir. Ancak bu diğer şartlarda önem taşır.

- ❑ Bir çok durumda boyut faktörü geniş katı eriyik bölgesi oluşumuna imkan vermeyebilir.
- ❑ Sıcaklık arttıkça sınırlı katı eriyik bölgesi genişler. Bu tür alaşımlar çökelme sertleşmesine uygundur.
- ❑ Al atomları ile Cu atomları çap farkı daha büyük olduğundan Al'un Cu içinde erime oranı %20'yi geçmez.



Şekil-Bazı metallerin atom çapları oranına bağlı olarak bakırda erime oranları

3. Elektronegatif Valans Etkisi

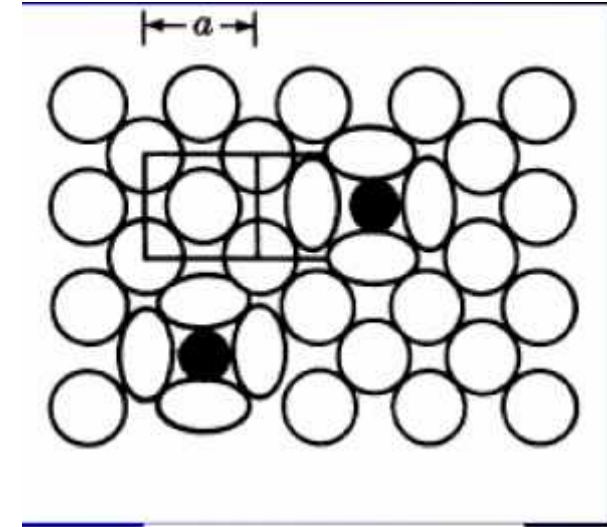
- İki elementin kafes sistemi aynı veya benzer, atom boyutları uygun ise katı eriyik oluşumunda diğer bir koşul olan elektronegatif valans etkisi ön plana çıkar.
- Bir atomun elektronegativitesi diğer atomdan bir elektronu kendine çekme gücüdür.
- Elektronegatif valans etkisi, bir araya gelen elementlerin katı eriyik veya ara kimyasal bileşik oluşturma eğilimleri olarak tanımlanabilir.
- Eriyen elementin elektronegativitesi, eriten elementin ise elektropozitivitesi attıkça (veya tam tersi) kararlı ara kimyasal bileşik oluşturma eğilimi artar.

4. Relatif Valans Etkisi

- Düşük valanslı bir metal yüksek valanslı bir metali bünyesinde daha fazla eritir.
- Bunun nedeni düşük valanslı metalin bünyesinde yüksek valanslı elementi eriterek ortalama valans değerini yükseltmek istemesidir.

Arayer Katı Eriyikler

- ❑ Arayer katı eriyiklerinin oluşumunda yer alan katı eriyiği oluşumunda geçerli olan faktörlerden sadece atomik boyut koşulunda bir farklılık vardır.
- ❑ Küçük atomlar kafes yapıdaki atomlar arası boşluğa yerleşerek arayer katı eriyiği oluşturabilirler.
- ❑ Arayer atomlarının kafes içerisinde yer alması sonucu yapının distorsiyona uğraması söz konusudur.



● Carbon
 $r = 0.075 \text{ nm}$

○ Iron
 $r = 0.129 \text{ nm}$

KRİSTAL YAPI KUSURLARI

- ❑ Gerçek kristaller hiçbir zaman kusursuz değildir.
- ❑ Tüm malzemeler atomik dizilmelerinde hatalar içermektedir.
- ❑ Bu hatalar malzeme davranışları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.
- ❑ Kristal yapı kusurları
 - Noktasal,
 - Çizgisel
 - Yüzeyselolmak üzere üç türe ayrılır.

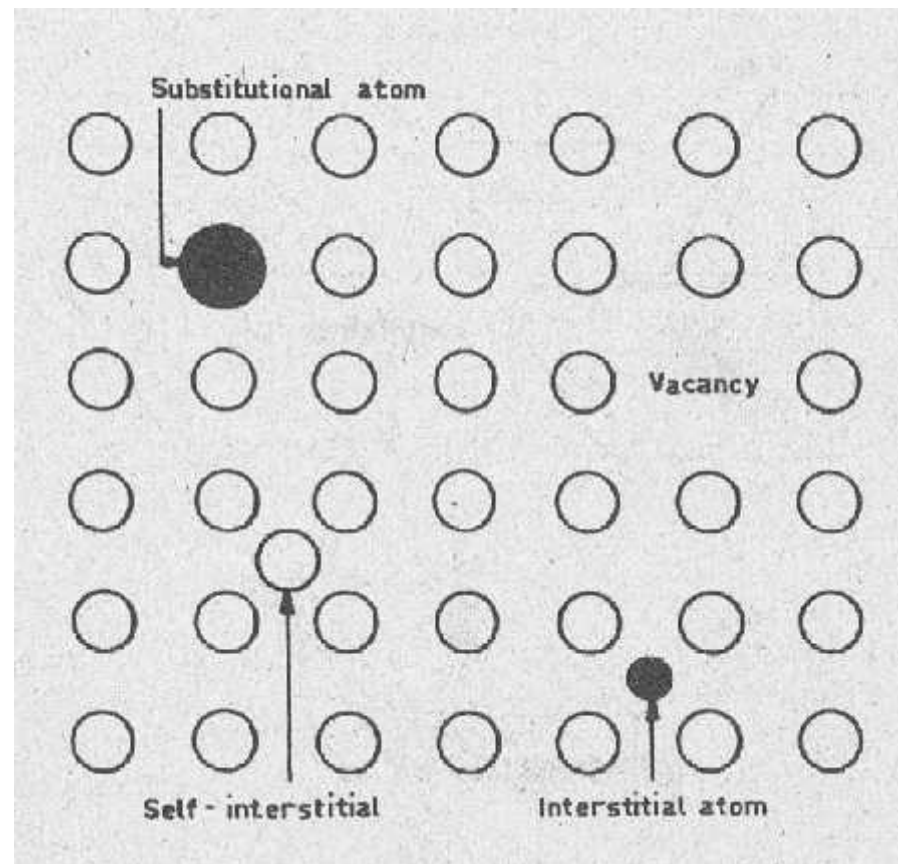
Noktasal kusurlar

Bir atomun eksik olduğu **boş kafes köşesi** () ile simgelenir. Bu tür kusur sıvı metal katılaşırken olduğu gibi plastik şekil değiştirme ve yüksek sıcaklıkta ısıl titreşimler etkisi altında atomların yer değiştirmesi sonucu da oluşabilir.

Kafes yapıda yeterli atomlararası boşluk varsa araya giren fazla atom **(arayer atomu)** noktasal kusur sayılır.

Kafes köşelerinde bulunan farklı büyüklükteki atomlarda **(yerine geçen)** birer noktasal kusur sayılır, bunlar çevrelerinde gerilme alanı yaratırlar.

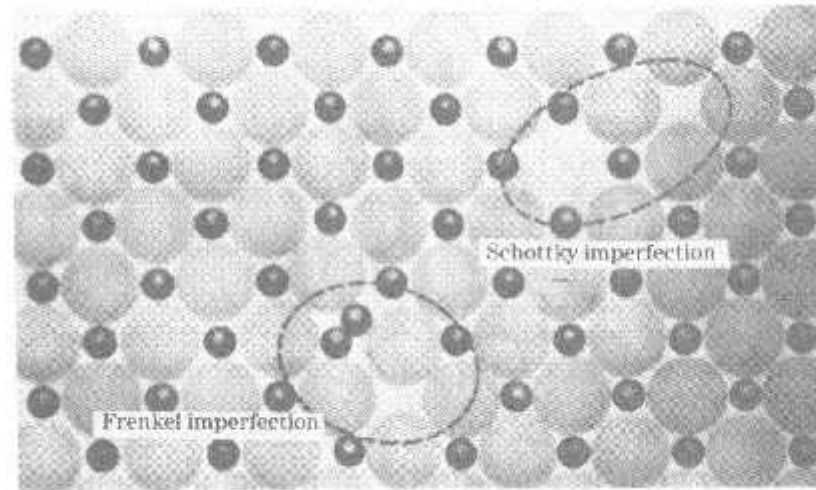
Noktasal kusurlar



İyonsal cisimlerde kararlı yapı için net elektriksel yükün sıfır olması zorunludur.

Bunlarda zıt işaretli iyon çifti eksik olursa Schottky kusuru, yer değiştirmiş iyon Frenkel kusuru olarak anılır.

Noktasal kusurların mekanik özelliklere etkisi önemsiz olmakla beraber elektriksel özellikleri büyük ölçüde etkiler, aynı zamanda atomsal yayılımı kolaylaştırır.

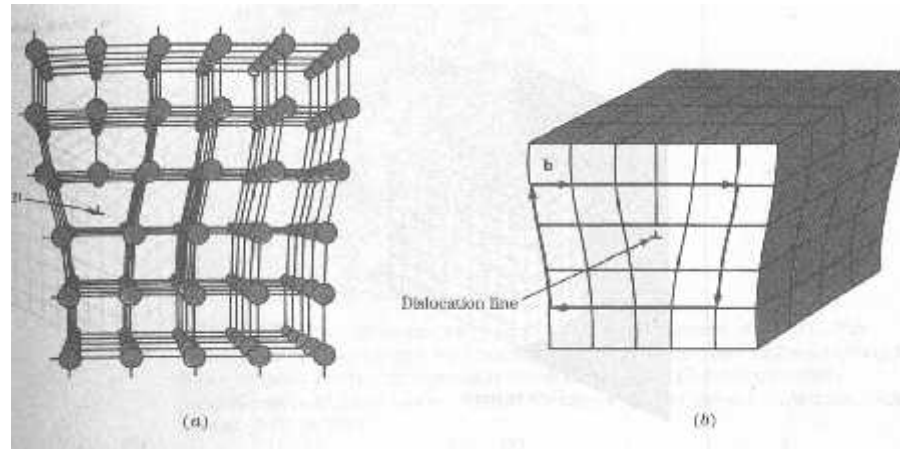


Çizgisel kusurlar (dislokasyonlar)

- ❑ Bu kusurlar kristallerde atomsal dizilişin bir çizgi boyunca bozulması sonucu oluşur.
- ❑ Atomlar denge konumundan ayrıldıklarından çizgi çevresinde artık gerilmeler doğar, dolayısıyla şekil değiştirme enerjisi depo edilir.
- ❑ Dislokasyonlar çoğunlukla katılama sürecinde oluşmakla beraber plastik şekil değiştirme sırasında sayıları artar.
- ❑ Ayrıca boş köşelerin yığılması ve katı eriyiklerde atomsal uyumsuzluk bu tür kusurların doğmasına neden olabilir.
- ❑ Başlıca iki türdür; **Kenar dislokasyonu** ve **vida dislokasyonu**.

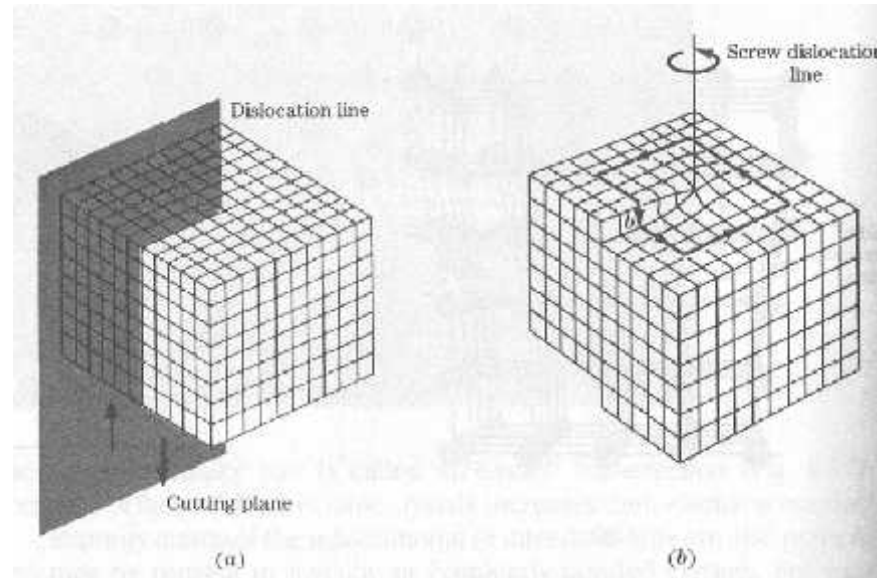
Kenar dislokasyonu

- ❑ Yarım atom düzlemi kafes yapıya girmiş bir kama gibi düşünülebilir.
- ❑ Düzlemin ucundaki atomlar sıkışık durumda olup basınç bölgesi, altındakiler de açılmaya zorlandıklarından çekme bölgesi meydana gelir.
- ❑ Kenar dislokasyonun oluşturduğu kusurun büyüklüğü ve yönü **Burger çevrimi** uygulayarak saptanır.
- ❑ 'b' burger vektörünün boyu atomlararası uzaklık kadardır.

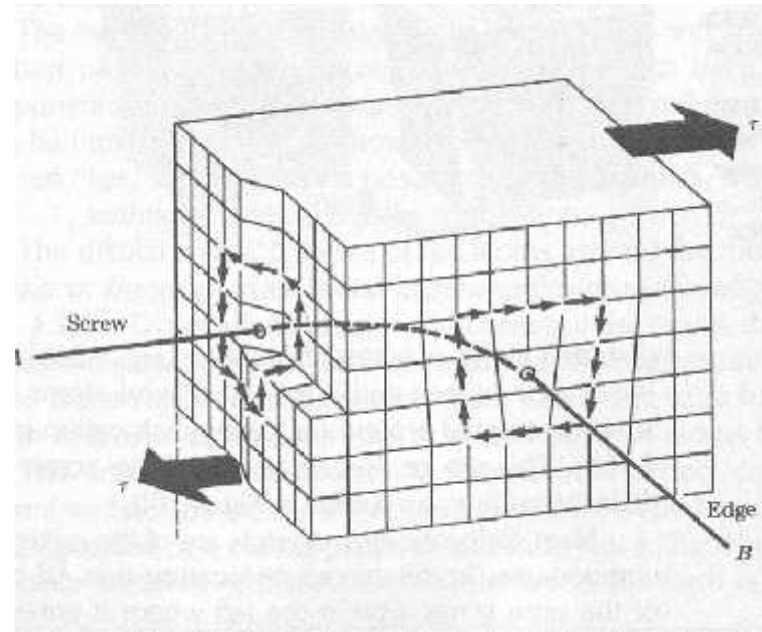


Vida dislokasyonu

- ❑ Vida dislokasyonlarının oluşturduğu kusurun büyüklüğünü ve yönünü saptamak için burgerçemberi uygulanır.
- ❑ Vida dislokasyonlarının birim boydaki enerjileri Gb^2 'dir. 'G' kayma modülü ve 'b' burger vektörüdür.
- ❑ Bir kristal içinde bulunan dislokasyonların miktarı dislokasyon yoğunluğu ile belirtilir.



- ❑ Dislokasyon yoğunluğu birim hacimde toplam dislokasyon çizgileri boyu ile tanımlanır ve birimi mm/mm^3 'tür.
- ❑ Katılaşma süresinde oluşan ortalama dislokasyon yoğunluğu 10^2 - $10^5 \text{mm}/\text{mm}^3$ kadardır.
- ❑ Plastik şekil değiştirme sonucu 10^6 - $10^{10} \text{mm}/\text{mm}^3$ 'e kadar yükselebilir.



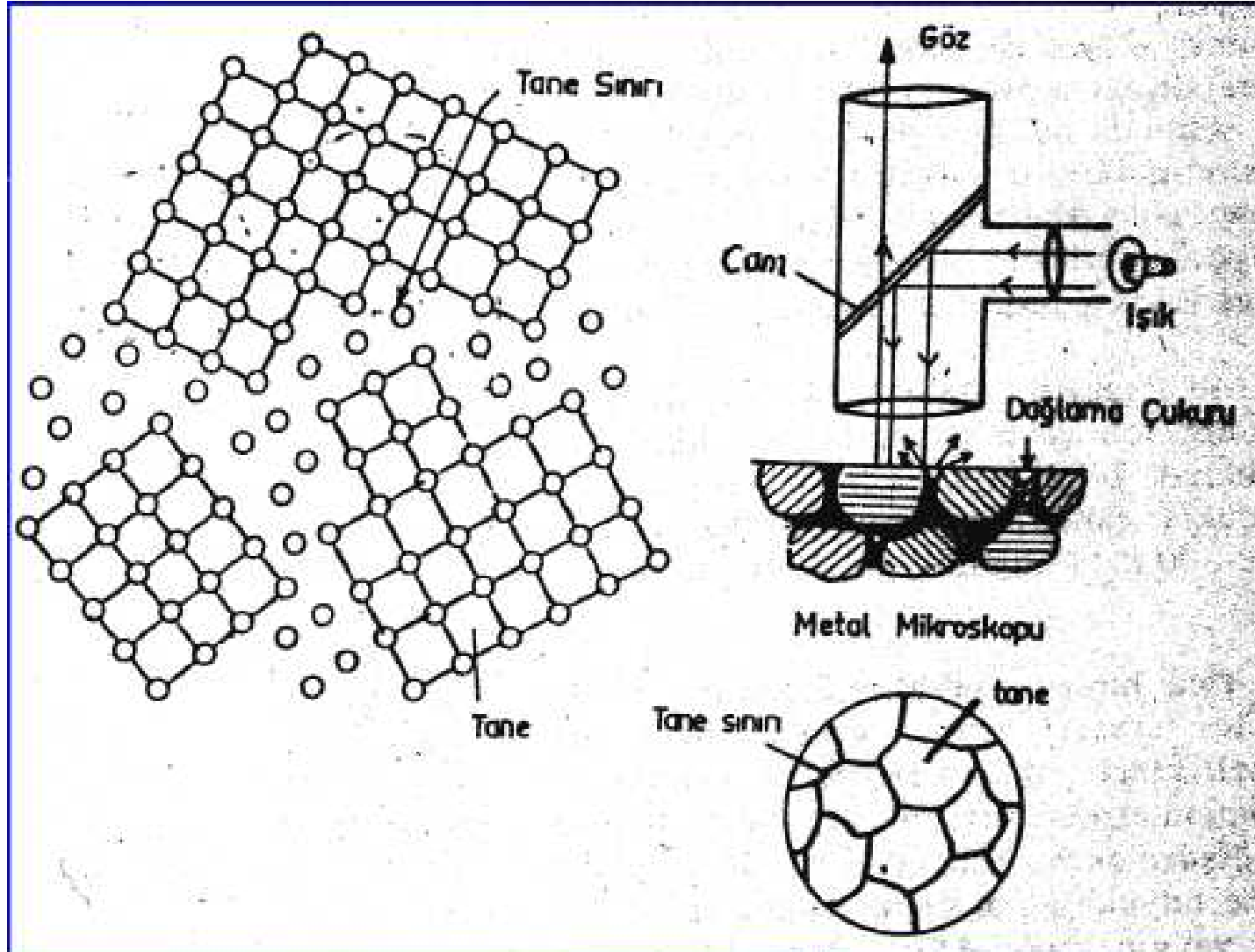
Düzlemsel Kusurlar

Kristallerin yüzeyleri ve tane sınırları iki boyutlu kusur sayılır.

Tane sınırları

- ❑ Kristal yapılı malzemeler sıvı halden katılaşıırken aynı anda birçok kristal çekirdeği oluşmaya başlar ve bunlar kütleyi doldururlar, sonuçta **çok kristalli** yapı elde edilir.
- ❑ Çok kristalli bir malzemede kristal bireylerine **tane** denir.
- ❑ Tanelerdeki kristal doğrultular rasgele dağılmışlardır.
- ❑ Taneler arasındaki düzensiz amorf bölgeye **tane sınırı** denir.
- ❑ Tane sınırlarının çapı yaklaşık 2-5 atom çapı kadardır.
- ❑ Tek kristalin **anizotrop** olmasına karşın, çok kristalli metaller kristal doğrultuları rasgele dağıldığından makro düzeyde **izotrop** sayılırlar.

Işık mikroskobu ile mikroyapının incelenmesi



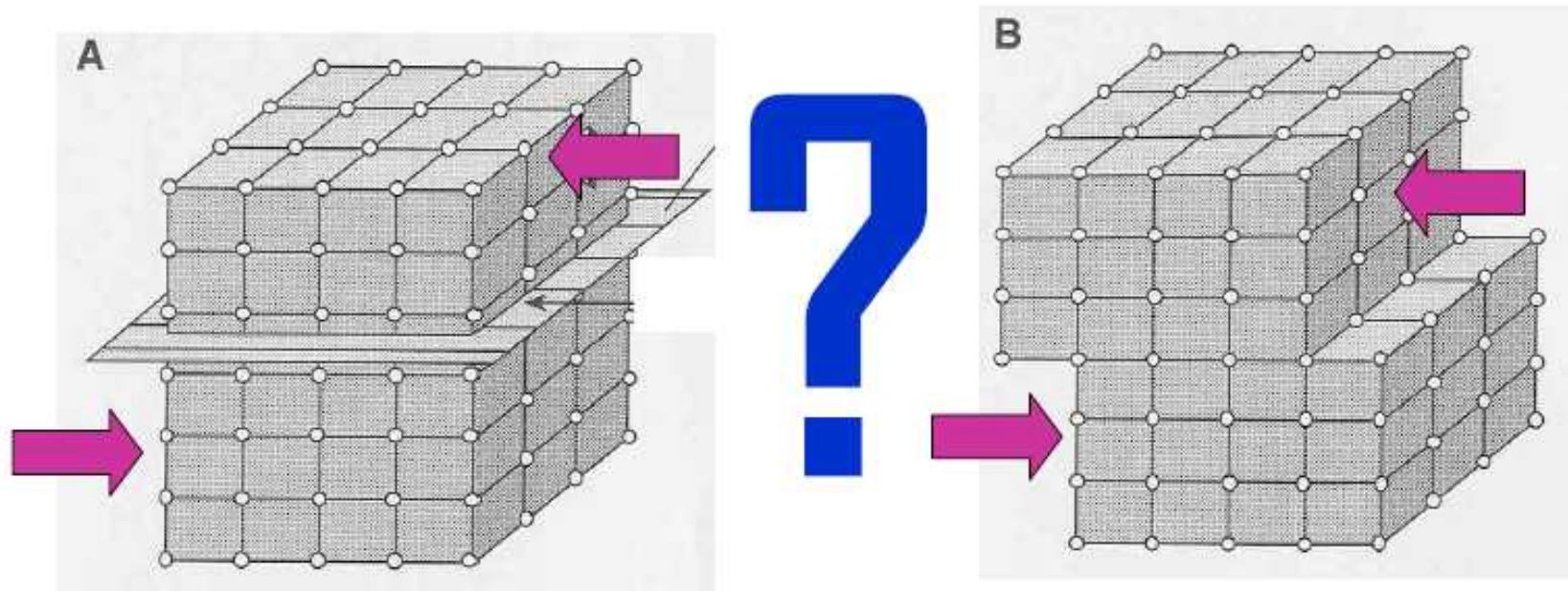
Bölüm 5

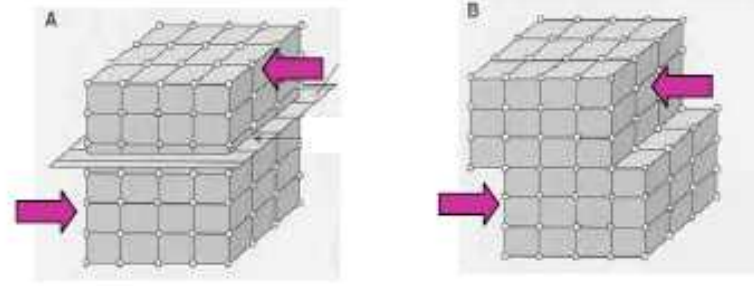
malzemelerin şekil değiştirme özellikleri

- ✓ Bir malzemeye gerilme uygulandığında şekli değişir.
- ✓ Gerilme kalkınca malzeme eski durumuna geliyor ise elastik şekil değiştirmeye, gelmiyor ise plastik şekil değiştirmeye uğramış denilir.



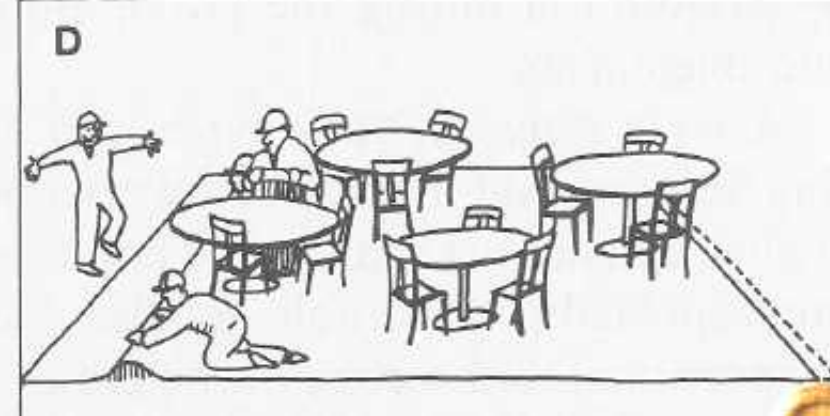
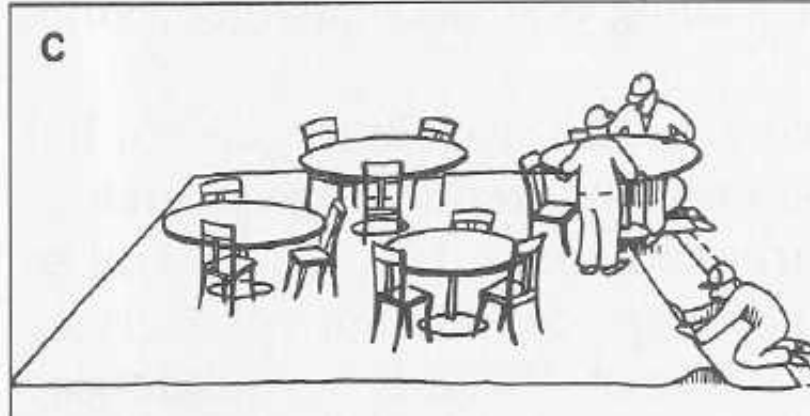
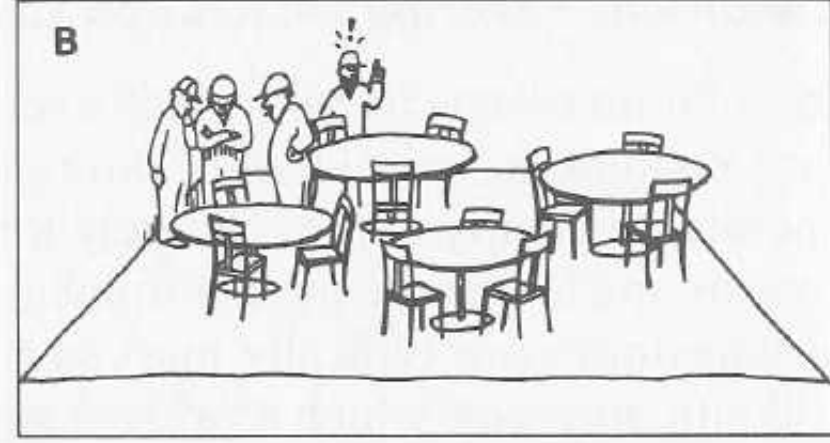
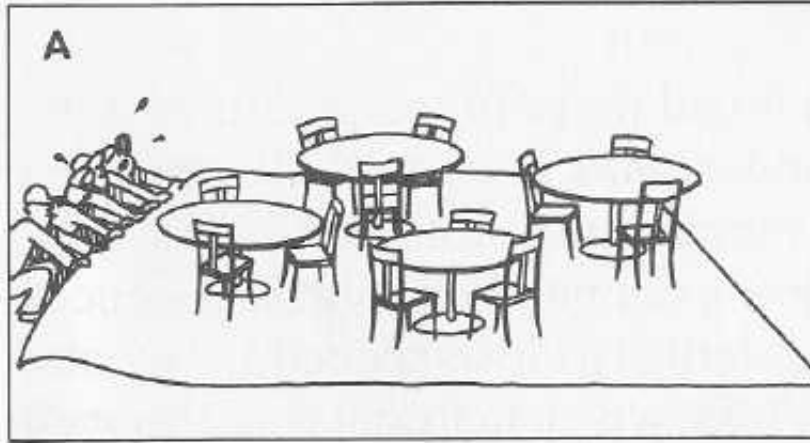
- ✓ Bir metal plastik şekil değişikliğine uğramış ise, atomların yeri değişmiş demektir.
- ✓ Atomların yer değiştirmesi nasıl olabilir?



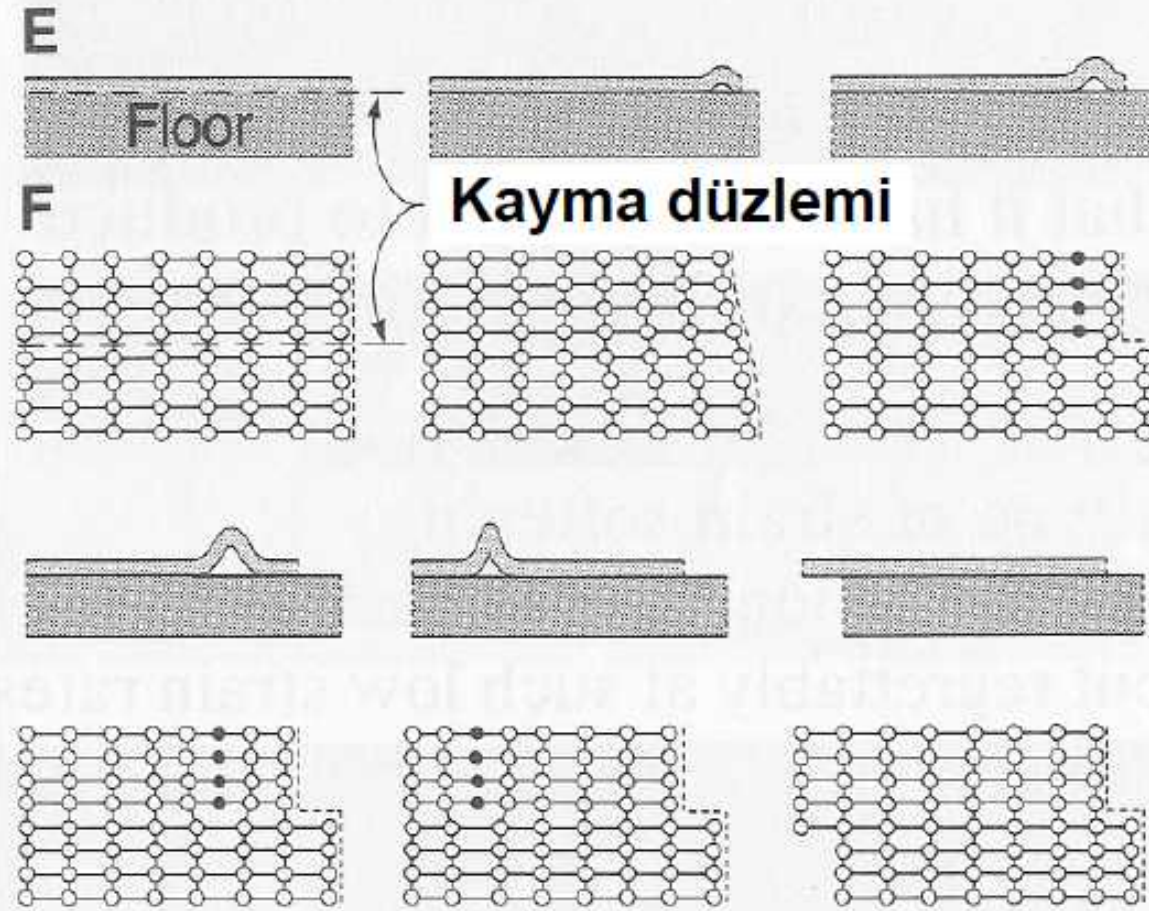


- ✓ İlk akla gelen, atom düzlemlerinin birbirinin üzerinde, atomlar arası bağlar koparılarak hareket ettirilmesidir.
- ✓ Yapılan teorik hesaplamalar, böyle bir işlemin olabilmesi için gerekli gerilmenin, malzemenin pratikte uygulananın 100 ile 10000 katı kadar olması gerektiğini göstermiştir.
- ✓ Demek ki, plastik şekil değiştirme, başka bir mekanizma ile meydana geliyor.

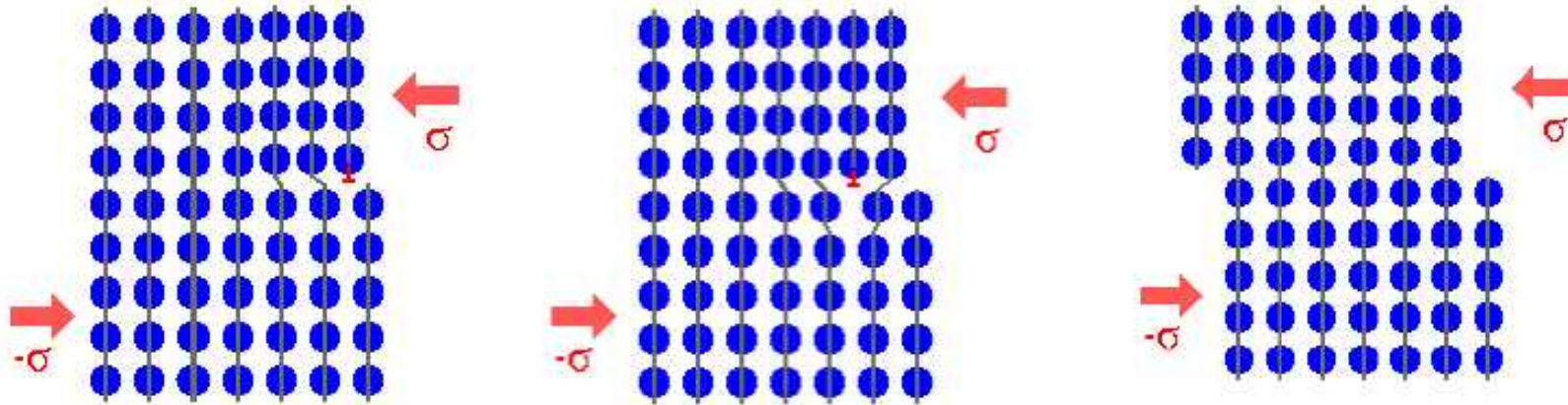
✓ Örneğin halıyı bir yüzey üzerinde kaydırmak isteyelim



✓ Örneğin halıyı bir yüzey üzerinde kaydırmak isteyelim



- ✓ Yapılan incelemeler, plastik şekil değiştirmenin dislokasyon hareketi ile meydana gelen kayma ile veya ikiz teşekkülü ile meydana geldiğini göstermiştir.

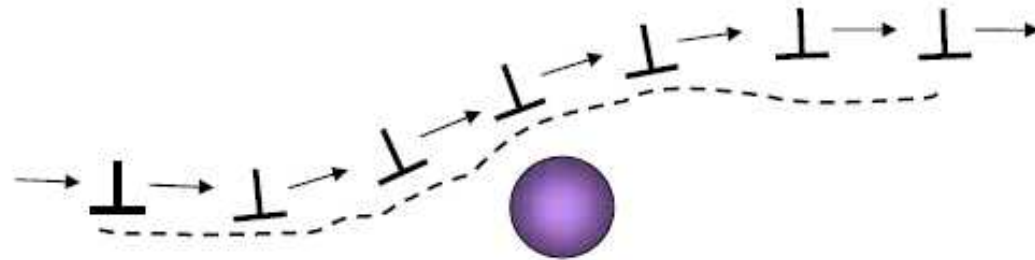


- ✓ Dislokasyonların kayma hareketi dışında
 - tırmanma ve
 - çapraz kaymahareketleri vardır.

- ✓ **Tırmanma:**
yüksek sıcaklıkta boş yerlerin yayınması ile dislokasyonunun bulunduğu düzlemi terk etmesi olayıdır.

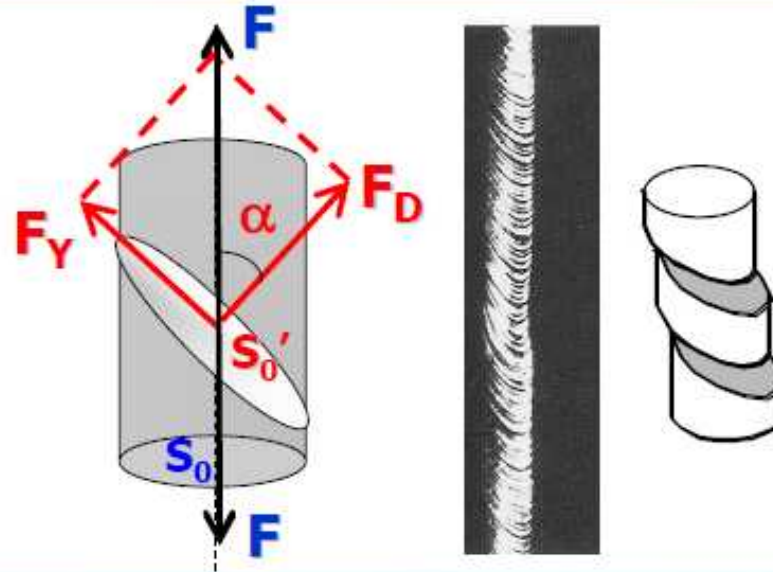
- ✓ **Çapraz kayma:**
dislokasyonların düzlem değiştirmesi olayıdır.

- ✓ **Çapraz kayma:**
dislokasyonların düzlem değiştirmesi olayıdır.

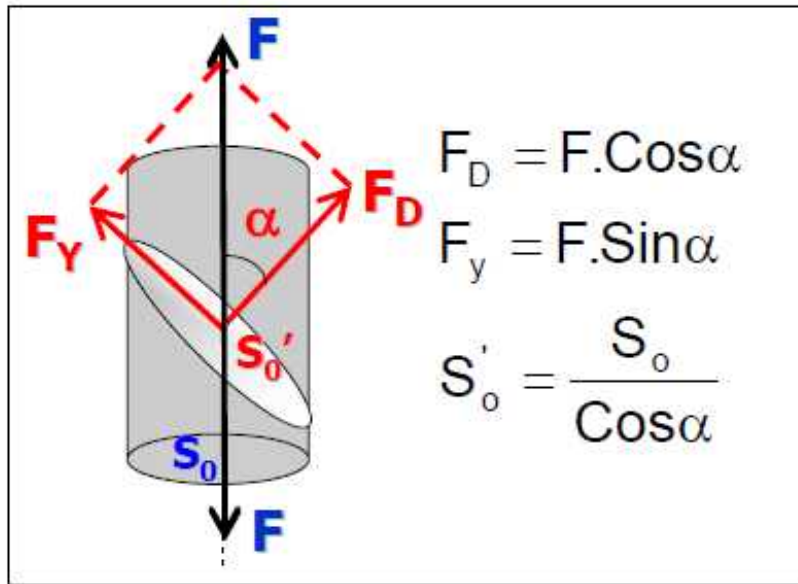


- ✓ **Genelde vida dislokasyonu yapar.**

- ✓ Dislokasyon hareketi, kayma gerilmesi ile meydana gelir. Ekseni doğrultusunda çekilen bir metalin, dik kesitinde normal gerilme meydana geldiği halde, yine plastik şekil değiştirme meydana gelir.



- ✓ Bunun sebebi, malzemenin dik kesiti ile herhangi bir açı yapan kesitinde, kayma gerilmesi oluşmasıdır



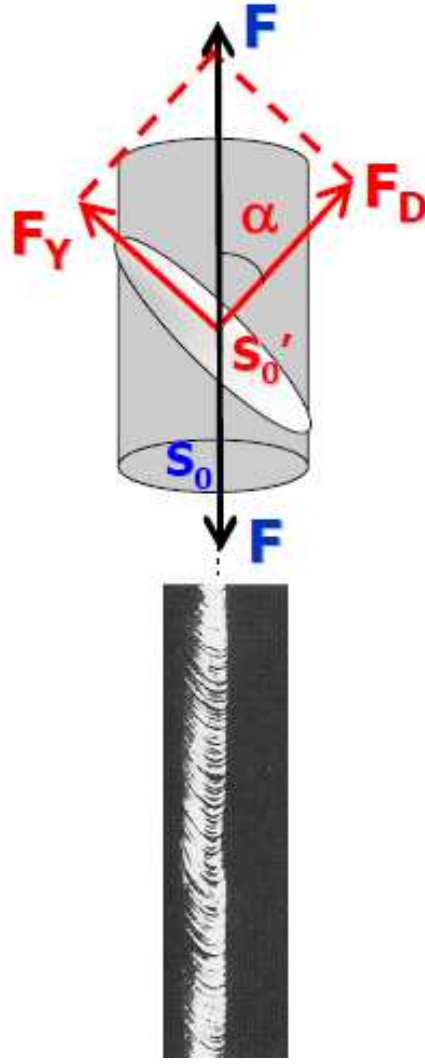
$$\tau_y = \frac{F_Y}{S_o} = \frac{F \cdot \sin \alpha}{\frac{S_o}{\cos \alpha}}$$

$$\tau_y = \frac{F}{S_o} \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\tau_y = \sigma \frac{1}{2} \sin 2\alpha$$

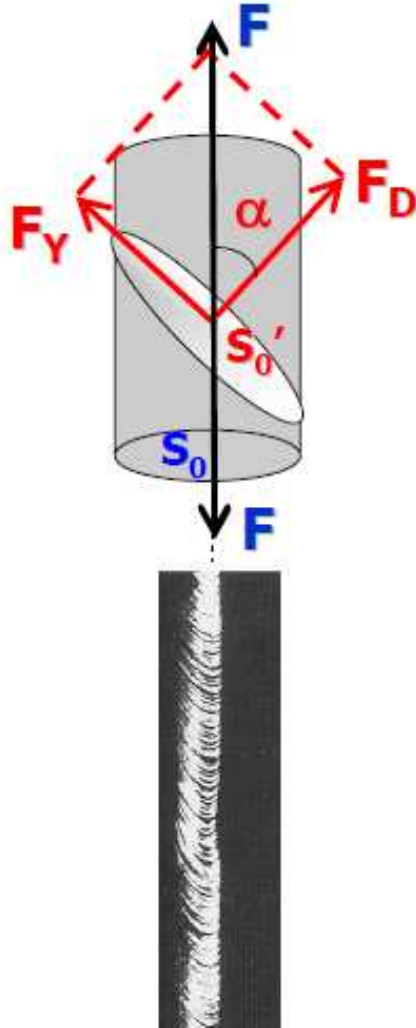
$\alpha=45^\circ$ için için en büyük değerini alır ve

$$\tau_{eb} = \frac{\sigma}{2}$$



✓ Bu bağıntıdan çıkan sonuç

- 1) Sünek metallerde meydana gelen plastik şekil değiştirme, kayma gerilmesi ile meydana gelmektedir. Metale, normal gerilme oluşturan, çekme gerilmesi, eğme gerilmesi ve basma gerilmesi de uygulansa normal gerilme ile şekil değiştirme meydana gelmez. Görünüşte metal normal gerilme ile kalıcı şekil değişikliğine uğramaktadır; esasında kalıcı şekil değişikliğini meydana getiren kayma gerilmesidir.



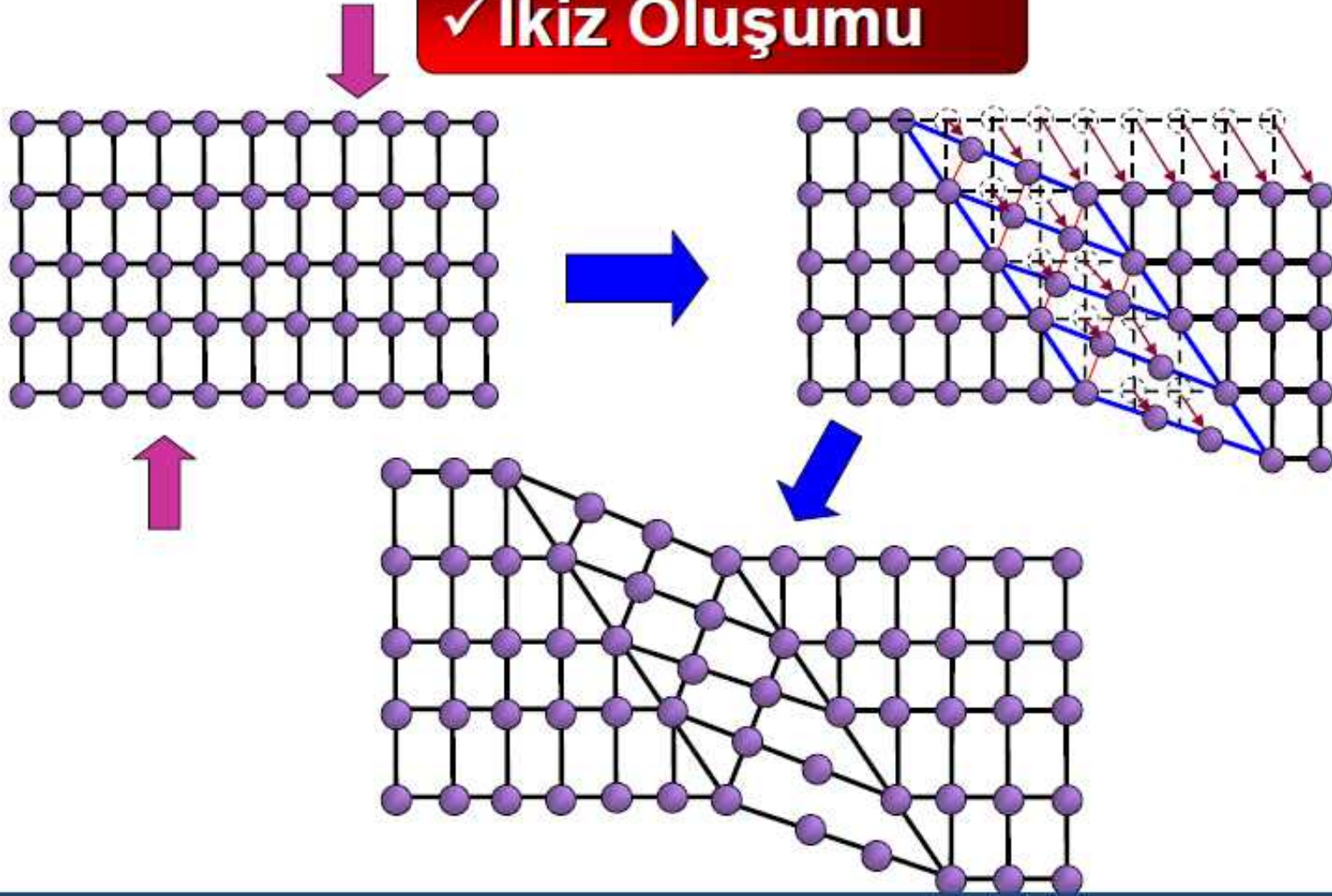
✓ Bu bağıntıdan çıkan sonuç

- 2) Sünek metale, kayma gerilmesi meydana getiren burma gerilmesi ve kesme gerilmesi uygulandığında göstereceği dayanım değeri çekme zorlamasında göstermiş olduğu dayanım değerinin yarısıdır.

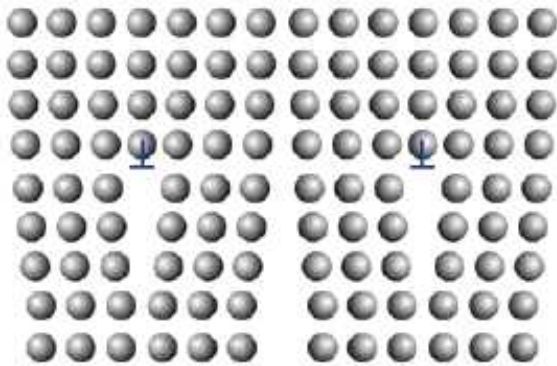
✓ İkiz Oluşumu

- ✓ Plastik şekil değiştirmenin diğer bir mekanizması ise ikiz teşekkülüdür. İkiz teşekkülünde, ikiz bölgesindeki atomlar diğer atomlar ile ayna simetrisi oluştururlar
- ✓ İkiz oluşumu, kristalleşme esnasında veya plastik şekil değiştirme esnasında meydana gelir.
- ✓ Gerilme uygulanan bir kristalde dislokasyon hareketi ile şekil değiştirme oluşmuyor ise ikiz teşekkülü ile şekil değiştirme oluşur.

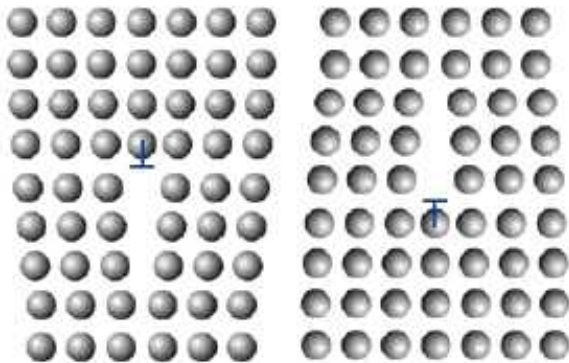
✓ İkiz Oluşumu



✓ Dislokasyonların Bazı Özellikleri



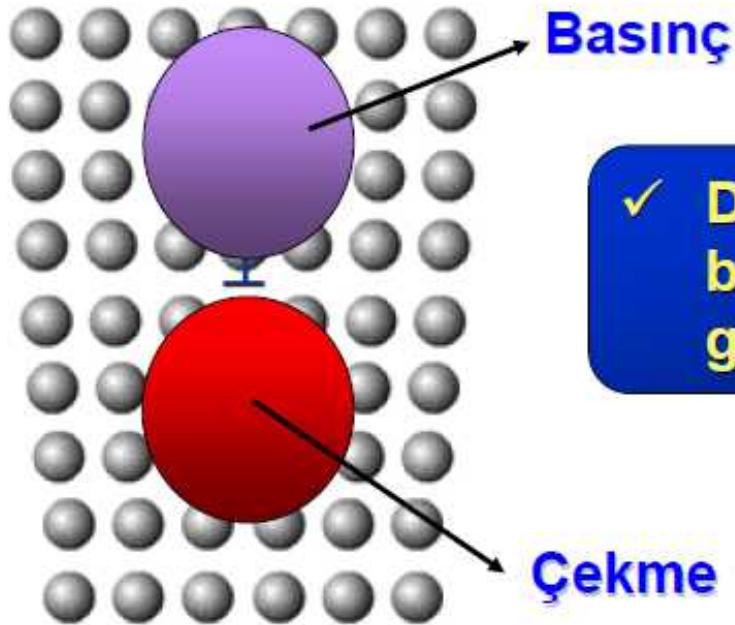
- ✓ Dislokasyonlar aynı işaretli (aynı yönde) ise birisi diğerine ancak belirli bir mesafede yaklaşabilir.



- ✓ Dislokasyonlar zıt işaretli (ters yönde) ise birbirlerini çeker ve nötrlerler.



✓ Dislokasyonların Bazı Özellikleri

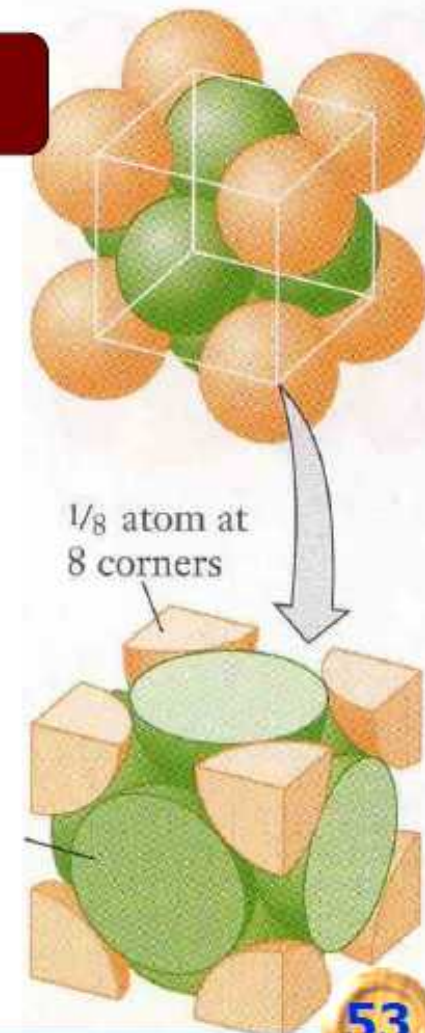


- ✓ Dislokasyonların olduğu bölgelerde çekme ve basınç gerilmeleri oluşur.

✓ Dislokasyonların Bazı Özellikleri

✓ Kayma düzlemi en yoğun dizilmiş düzlemlerde oluşur.

✓ Dislokasyonlar sonucu plastik deformasyonlar yani kalıcı deformasyonlar oluşur.
(Bağlar kopar yeni bağlar oluşur)



✓ Dislokasyonların Bazı Özellikleri

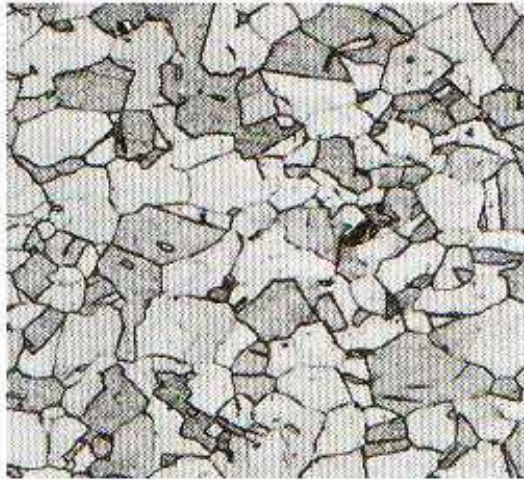
- ✓ Plastik deformasyon güçleşirse malzemelerin dayanımı artıyor.
- ✓ Başka bir deyişle; dislokasyonlar engellenirse ve/veya güçleştirilirse malzemelerin dayanımı artıyor.

✓ Soğuk Şekil Değiştirme ve Yeniden Kristalleşme

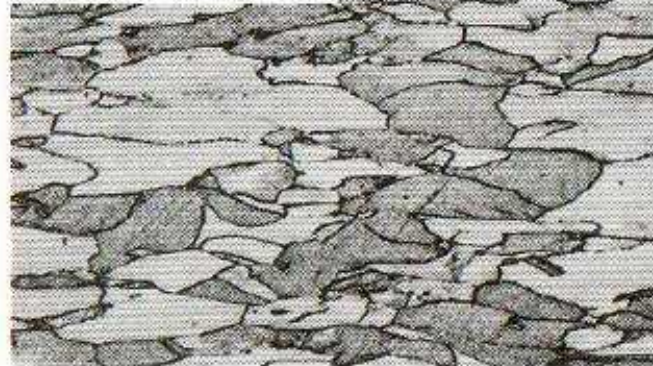
- ✓ Metale plastik şekil değiştirme uygulandığında dislokasyon yoğunluğu ve buna bağlı olarak sertliği ve dayanımı artar, sünekliliği ve tokluğu ise düşer.
- ✓ Hareket eden dislokasyonlar ya kaymayı oluşturur ya da başka dislokasyon, tane sınırı gibi engeller ile durdurulur.
- ✓ Engellerin önünde dislokasyonların yığılması (mesela tane sınırlarında) bitişik tanedeki gerilmeyi artırır. Artan gerilme, bitişik tane içindeki dislokasyon kaynaklarını harekete geçirir. Bu şekilde plastik şekil değiştirme taneden taneye geçerek, tüm malzeme plastik şekil değiştirmeye uğrar.

✓ Soğuk Şekil Değiştirme ve Yeniden Kristalleşme

- ✓ Plastik şekil değişimine uğramış metalin kristal tane yapısı bozulur; taneler şekil verme yönü doğrultusunda uzar.

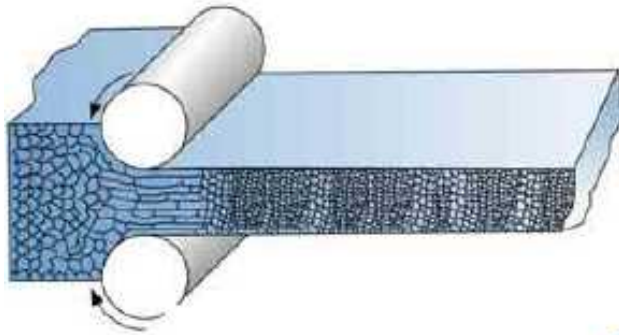


a



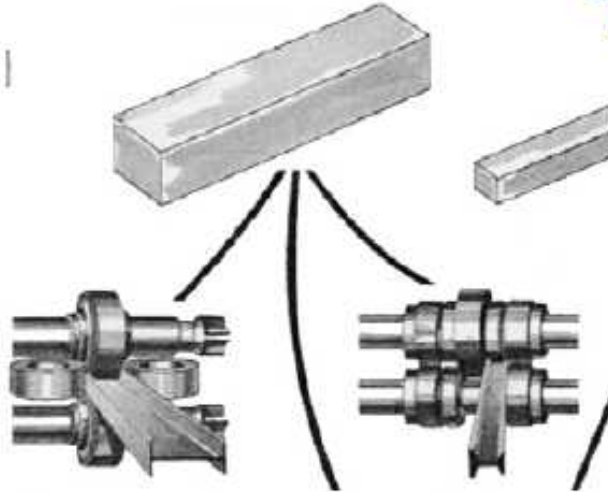
b

✓ Soğuk Şekil Değiştirme ve Yeniden Kristalleşme



✓ Plastik şekil değiştirme miktarı arttıkça dislokasyon yoğunluğu da artar.

✓ Dislokasyonlar birbirlerinin hareketini engelledikleri için dislokasyon hareketi zorlaşır.

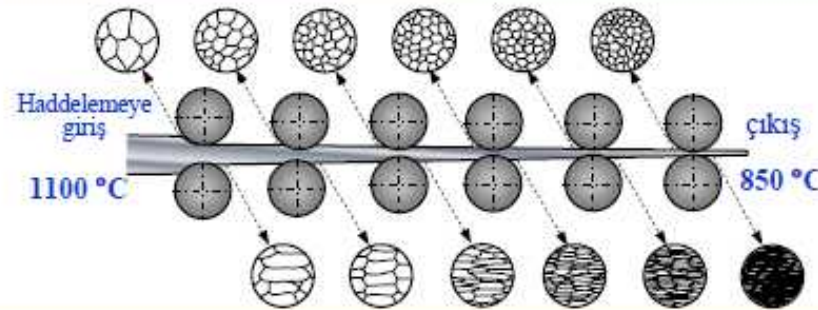


✓ Bu olaya **pekleşme veya şekil değiştirme** sertleşmesi denilir.

✓ Plastik şekil değiştirmenin artması ile öyle bir noktaya gelinir ki, artık malzeme şekil değiştirmeye uğratılamaz, çatlaklar oluşur ve kırılır.

✓ Soğuk Şekil Değiştirme ve Yeniden Kristalleşme

- ✓ Dislokasyon bölgesindeki atomlar denge durumundan uzaklaştıkları için dislokasyon yoğunluğunun artması (gerilmiş yay gibi) malzemenin iç enerjisini artırır.
- ✓ Denge durumu bozulan atomlar denge durumuna gelme eğilimindedir. Dışarıdan bir enerji (ısı) verilecek olursa, malzeme eski düzenli haline gelir.
- ✓ Bu olaya yeniden kristalleşme denilir.



✓ Yeniden Kristalleşme

✓ Yeniden kristalleşmede olaylar üç safhada incelenebilir:

1. Toparlanma ($0.1 - 0.3 T_{ergime}$)

2. Yeniden Kristal Oluşumu ($0.3 - 0.5 T_{ergime}$)

3. Tane Büyümesi ($> 0.5 T_{ergime}$)

✓ Yeniden Kristalleşme

1. Toparlanma ($0.1 - 0.3 T_{ergime}$)

- ✓ Plastik şekil değiştirmeye uğramış metale dış enerji verilince ilk önce kristal hatalarında bir azalma görülür.
 - ✓ Ara yer atomları boş yerlere yayılır,
 - ✓ ters işaretli dislokasyonlar biri birini yok eder,
 - ✓ boş yerler bir araya toplanır,
 - ✓ dislokasyonlar aynı hizaya gelerek küçük açılı tane sınırları oluşur.
- ✓ Malzemenin mekanik özelliklerinde bir değişiklik olmamıştır

✓ Yeniden Kristalleşme

2. Yeniden Kristal Oluşumu: $(0.1 - 0.3 T_{ergime})$

- ✓ Metale verilen dış enerji artırılırsa, dislokasyon yoğunluğunun çok olduğu yüksek enerjili bölgelerde yeni kristal çekirdekleri oluşur.
- ✓ Bu çekirdekler büyüyerek malzemenin yeniden kristalleşmesi tamamlanır.
- ✓ Yeniden kristalleşen malzemenin kristal tane büyüklüğü, oluşacak çekirdek sayısına, çekirdek sayısı da dislokasyon yoğunluğu fazla olan bölgelerin çokluğuna bağlı olduğu için kristal tane büyüklüğü şekil değiştirme miktarına bağlıdır.

✓ Yeniden Kristalleşme

2. Yeniden Kristal Oluşumu: $(0.1 - 0.3 T_{ergime})$

- ✓ Yeniden kristalleşme için gerekli dış enerji malzemeyi ısıtarak sağlanır.
- ✓ Bu olaya **tavlama** denilir.
- ✓ Yeniden kristalleşme sıcaklığı, malzemenin bir saat içinde kristalleşmesini tamamlayabildiği sıcaklıktır.

✓ Çok az karbonlu bir çelik için

$$T_{ykek} \approx 0,4 T_e$$

$$T_e = (1536 + 273) = 1809K$$

$$T_{ykek} \approx 0,4 \cdot 1809 = 723K = 450^{\circ}C$$

✓ Yeniden Kristalleşme

3. Tane Büyümesi ($> 0.5 T_{ergime}$)

- ✓ Malzemenin tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı artırılır ise taneler büyüyerek irileşir
- ✓ Böyle bir yapı çoğu zaman arzu edilmez.

✓ Yeniden Kristalleşme

**%33 soğuk şekil değiştirme uygulanmış pirinçte
yeniden tane oluşumu ve tane büyümesi**



a



b



c



d



e



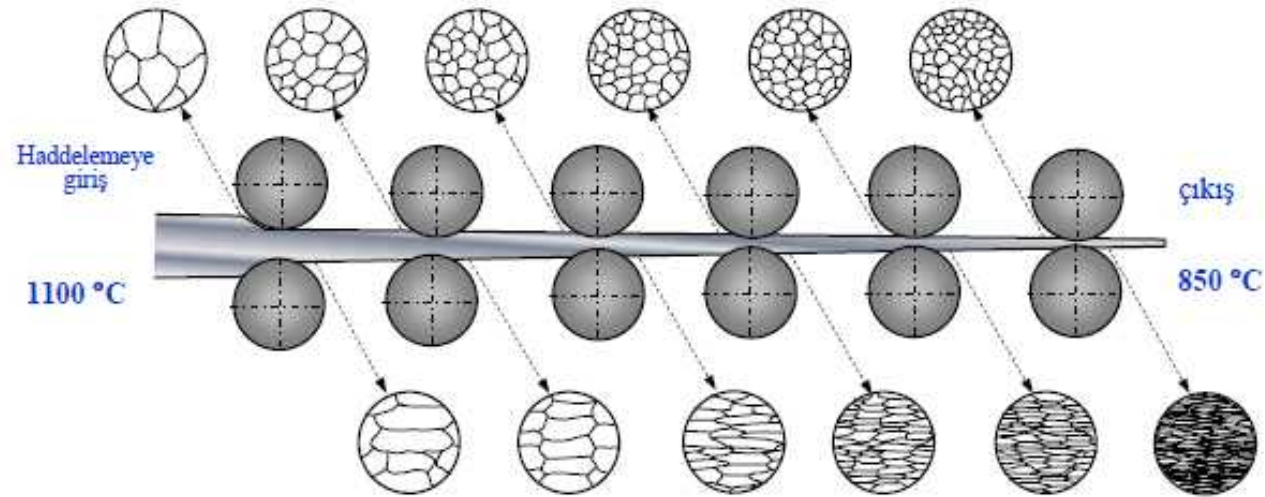
f

✓ Soğuk ve Sıcak Şekillendirme

- ✓ Malzemenin şekillendirme işlemi yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılıyor ise **soğuk şekillendirme**, üstünde yapılıyor ise **sıcak şekillendirme** denilir.
- ✓ Kurşun ve kalay oda sıcaklığında sıcak şekillendirmeye uğradığı halde demir 400°C ' de soğuk şekillendirilmiş olur.

✓ Soğuk Şekillendirme

- ✓ Soğuk şekillendirme ve yeniden kristalleştirme işlemi ile malzemelerin tane boyutları küçültülebilir. Tane boyutu küçük olan malzemenin dayanımı daha yüksek olur.



BÖLÜM 6

MALZEMELERİN mekanik özellikleri

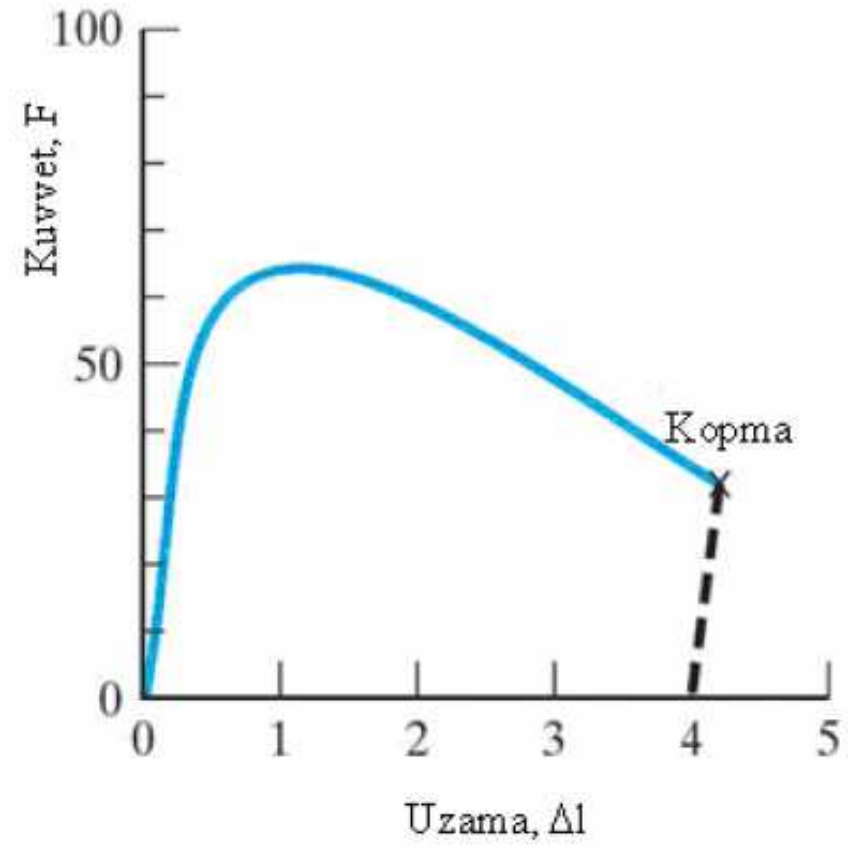
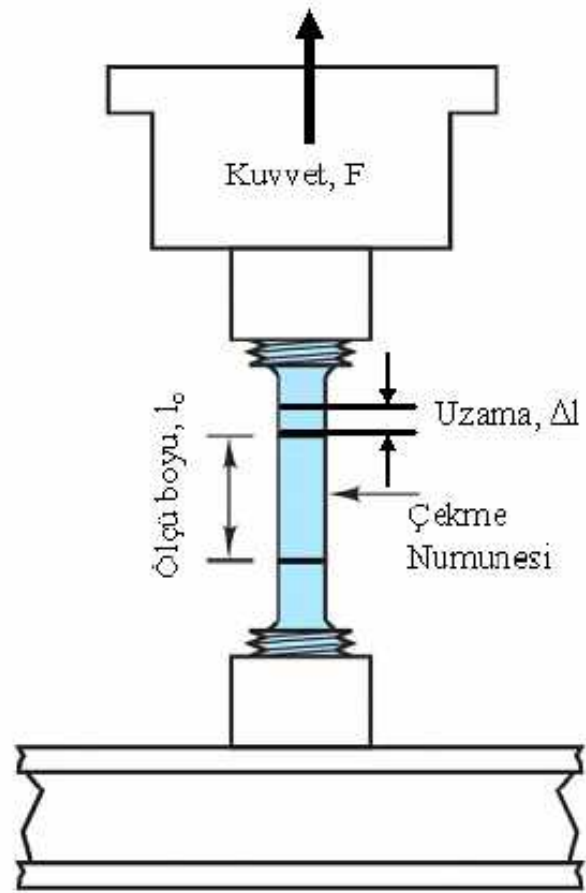
Metallerin Mekanik Özellikleri

Metaller ve metal alaşımları mekanik tasarımda en çok tercih edilen malzeme grubundandır. Metaller özellikle kuvvet taşıyan elemanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Bu nedenle malzemelerin mekanik özelliklerini bilmek büyük önem taşır. Malzemelerin mekanik özellikleri şu başlıklarda incelenecektir:

- Çekme/basma (tensile /compression)
- Sertlik (hardness)
- Darbe (impact)
- Kırılma (fracture)
- Yorulma (fatigue)
- Sürünme (creep)

ÇEKME TESTİ

Tasarımda en çok önemsenen özellikler, malzemelerin ne kadar dayanıklı oldukları ve ne ölçüde ekil değiştirebilme kabiliyetine sahip olduklarıdır. Malzemelerin dayanım ve ekil değiştirme özelliklerini belirlemede kullanılan en yaygın test; **“ÇEKME DENEYİ”** dir. Çekme deneyi, bu amaç için hazırlanan bir test numunesinin (ekme numunesi) ekme makinesine bağlanarak çekme kuvvetine maruz bırakılmasıdır. Etki eden kuvvet numune koparıłana kadar arttırılır. Bu esnada, etki eden kuvvet ve test numunesinde meydana gelen uzama sistem tarafında sürekli olarak kaydedilir.



Bu verilerin, mühendislik olarak daha anlamlı olabilmesi için geometrinin etkisinin giderilmesi gerekir. Bu nedenle **“kuvvet-uzama (F - Δl)”** diyagramının **“gerilme - birim şekil değiştirme (σ- ε)”** diyagramına dönüştürmek gerekir.

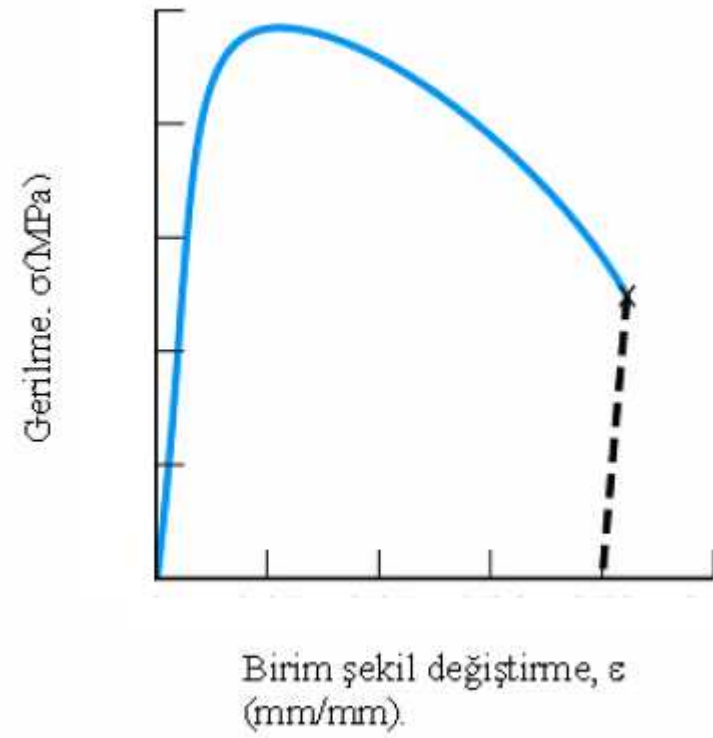
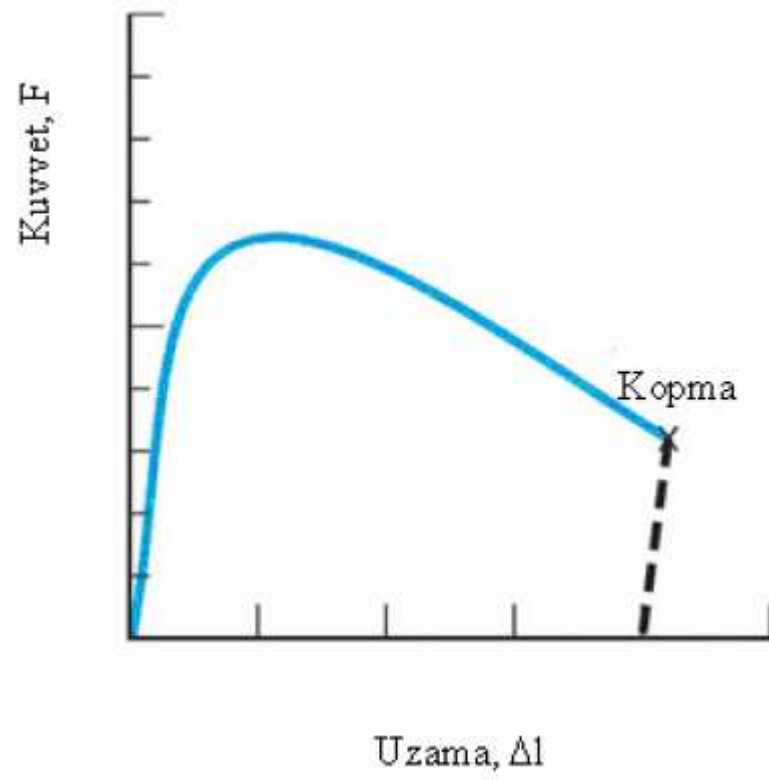
Gerilme = Çekme kuvveti / Kuvvete dik kesit alanı

$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

Birim şekil değişimi = Uzama miktarı / İlk ölçü boyu

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o} = \frac{l - l_o}{l_o}$$

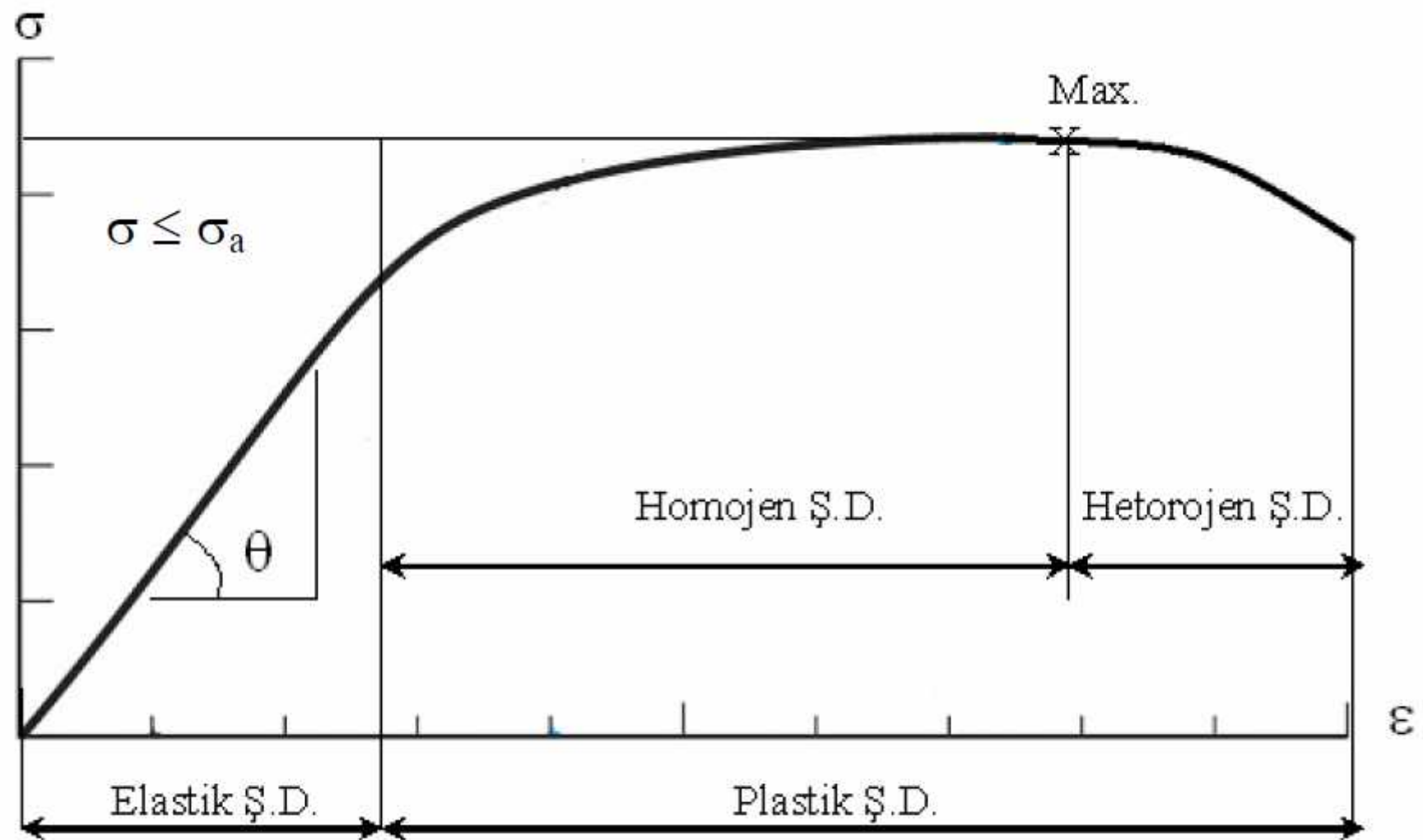
Bu şekilde nokta nokta saptanan değerlerden gerilme – birim şekil değiştirme diyagramına geçilir.



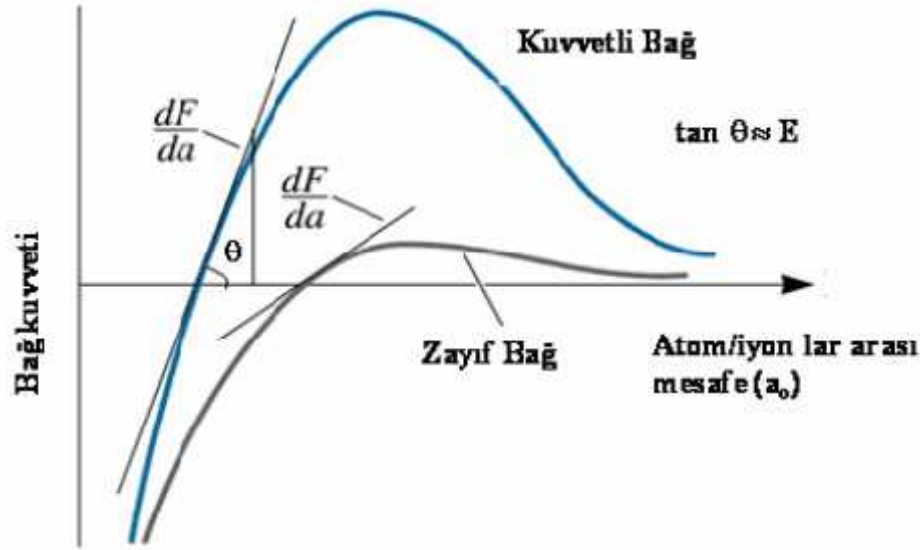
Çekme deneyi sırasında parça, önce **“ELASTİK”** şekil değişimine daha sonrada **“PLASTİK”** şekil değişimine maruz kalır. Daha sonra parça kırılarak kopar.

(a) Elastik Şekil Değişimi:

Elastik şekil değişimi, $\sigma - \epsilon$ diyagramının doğrusal olarak değiştiği ilk bölümünde gerçekleşmektedir ($\sigma \leq \sigma_a$). Burada uygulanan gerilme ve bu gerilmenin meydana getirdiği **elastik birim şekil değişimi** arasında **Hooke** kanunu geçerlidir ($\sigma = E \cdot \epsilon$). Elastik şekil değişiminde etkin olan malzeme özelliği (parametresi), **ELASTİKLİK MODÜLÜ, E**, dir.



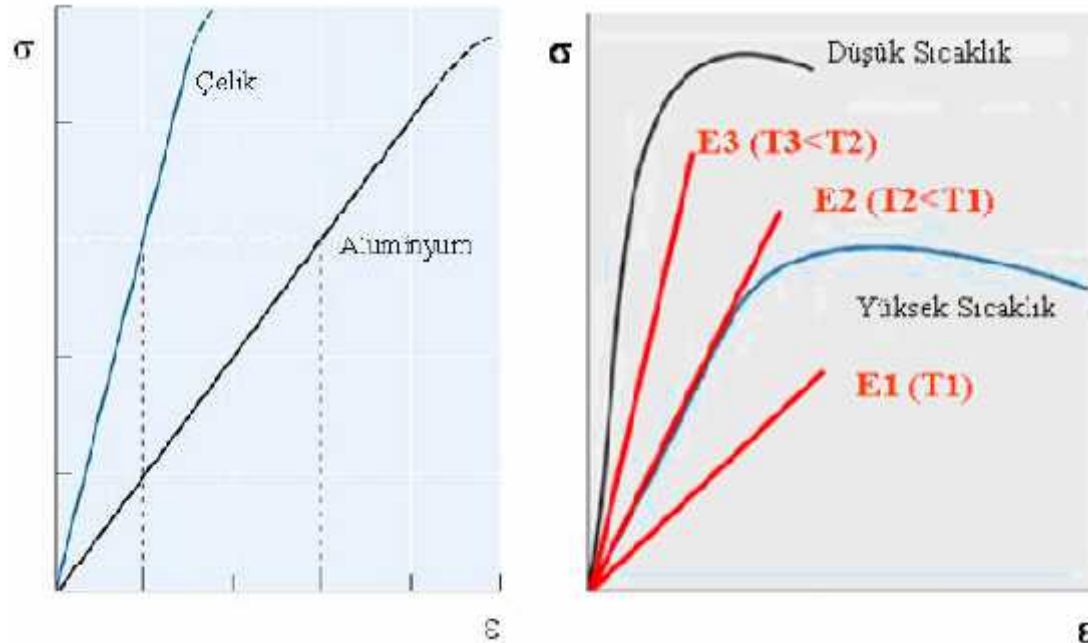
Bir malzeme özelliği olan, diğer bir deyişle malzemedan malzemeye farklı değır alan Elastiklik modülü, atomlar arası bağların kuvvet altında esnemelerinden kaynaklanır.



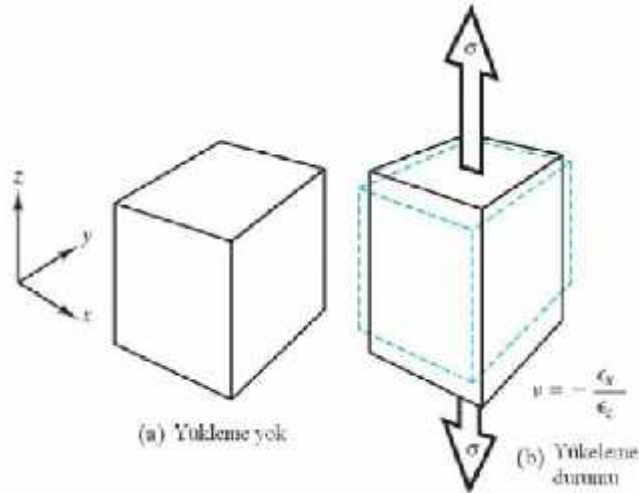
“Bağ kuvveti – atomlar arası mesafe” diyagramında $F=0$ civarında teğetin eğimi elastiklik modülünü belirlemektedir. Dolayısıyla, dik eğime sahip malzemelerin elastiklik modül değeri de büyük olacaktır. Bu malzemeler kuvvet altında daha az elastik şekil değiştirecek ve daha rijit davranacaklardır.

Malzemelerin elastiklik modülü, iki parametreden çok etkilenir: (a) Kimyasal bileşim, (b) Ortam sıcaklığı. Diğer bir deyişle atomsal arası bağları etkileyen etmenler elastiklik modülünü de etkiler.

Öte yandan aynı malzeme için malzeme dayanımı diğer bir deyişle ısı işlem elastiklik modülünü etkilemez. Örneğin, sertleştirilmiş aynı bileşime sahip çeliğin sert ve yumuşak halleri aynı elastiklik modülü değerini gösterir.



Malzemelerin elastik özelliklerini belirleyen diğer bir parametrede poisson oranıdır. Çekmeye veya basmaya maruz kalan bir malzemenin elastik şekil değiştirmesi sırasında, atomlarının birbirine yaklaşması veya uzaklaşması söz konusu olduğu için hacminde de genleşme veya sıkışma şeklinde bir değişiklik söz konusu olacaktır. Bu şekilde hacim değişikliğine uğrayan bir malzemenin, zorlanma yönüne dik yönde uzanan doğrultulardaki boyutsal değişimi poisson oranı (ν) ile hesaplanabilir. Bu değer hemen hemen tüm metaller için 0.28-0.32 arasında bulunmakla beraber bir çok uygulamada genelde 0.3 değeri aldığı kabul edilir.



Diğer yandan, plastik şekil değişimine maruz kalan bir malzemenin kafesinde genleşme veya sıkışma meydana gelmez, hacim şekil değişimi öncesi veya sonrası aynı değerdedir, diğer bir deyişle plastik şekil değişimi sırasında hacim sabit kalır. Bu durumda, poisson oranı 0.5 değeri alır (şekil değişiminin yarısı x, diğer yarısı da y yönünde gerçekleşir).

(b) Plastik Şekil Değişimi:

Malzemelerin **AKMA DAYANIM** değerinin üzerinde gerilme uygulanması durumunda plastik yani kalıcı (geri dönüşümsüz) şekil değişimi başlamış olur. Bu durumda kayma mekanizması çalışır diğer bir deyişle dislokasyonlar hareket etmeye başlar ve plastik şekil değişimi gerçekleşmeye başlar.

Ortam sıcaklık değerinin, plastik şekil değişimini mekanizmaları üzerinde çok büyük etkisi vardır.

Sıcaklık seviyelerine bağlı olarak plastik şekil değişimi **(a)** soğuk plastik şekil değişimi, **(b)** ılık plastik şekil değişimi, **(c)** sıcak plastik şekil değişimi şeklinde olur. Bu iki mekanizmadan hangisinin etkin olduğu, **T_B , BENZEŞ SICAKLIK** (Homologous temperature) kavramı ile belirlenir.

Benzeş sıcaklık değerine göre, şekil değişim tipleri;

$0 < T_B < 0.25$ Soğuk şekil değişimi

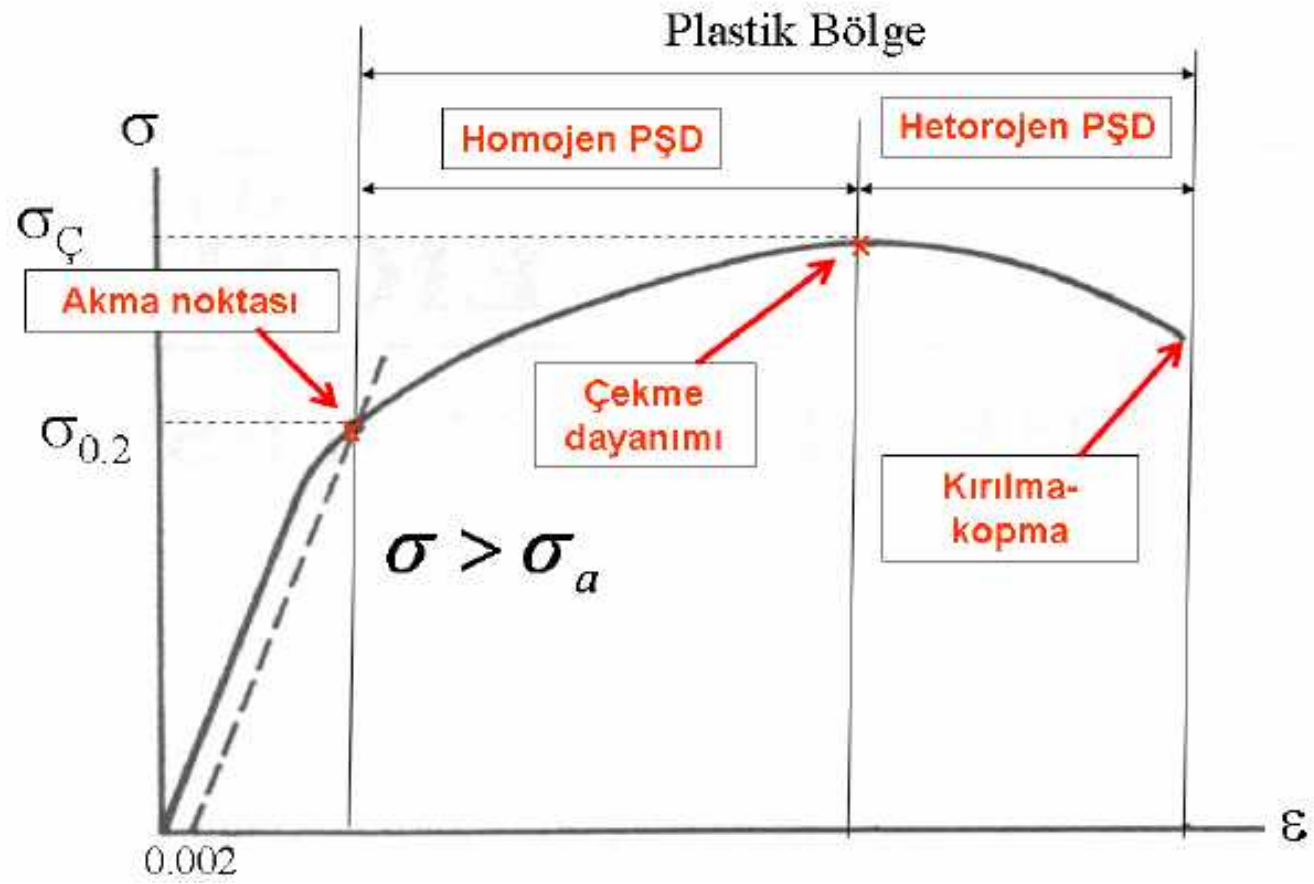
$0.25 < T_B < 0.5$ Ilık şekil değişimi

$0.5 < T_B < 1$ Sıcak şekil değişimi

$$T_B = \frac{T_{\zeta}}{T_G}$$

T_E = Malzemenin erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{K}$)
 T_{ζ} = Malzemenin çalıştığı sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$)

Benzeş sıcaklığının da tanımından anlaşılabacağı üzere herhangi bir çalışma sıcaklığı, o metalin erime sıcaklığına bağlı olarak soğuk şekil değiştirme veya sıcak şekil değiştirme olabilir. Örneğin oda sıcaklığı, Fe, Al, Cu gibi birçok metal için soğuk şekil değiştirme bölgesinde kalır. Diğer yandan, Pb, Sn gibi düşük erime sıcaklığına sahip metaller için oda sıcaklığı sıcak şekil değişimi bölgesindedir.

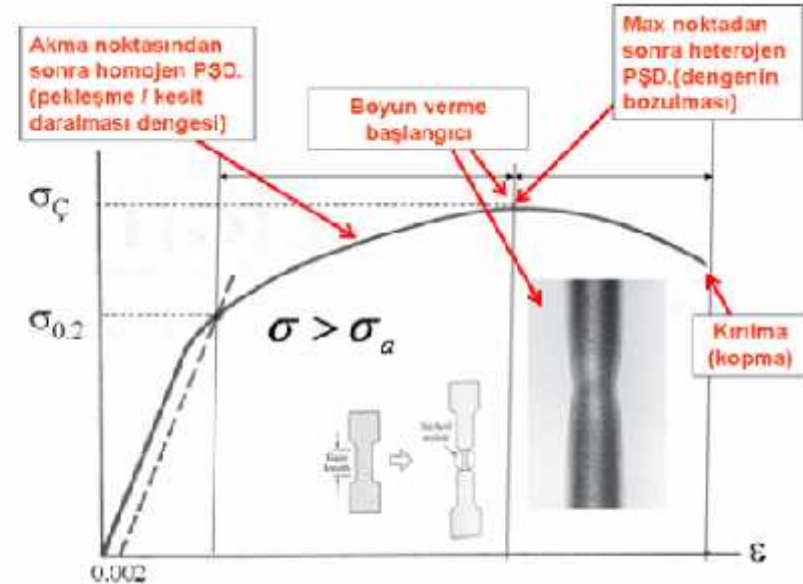
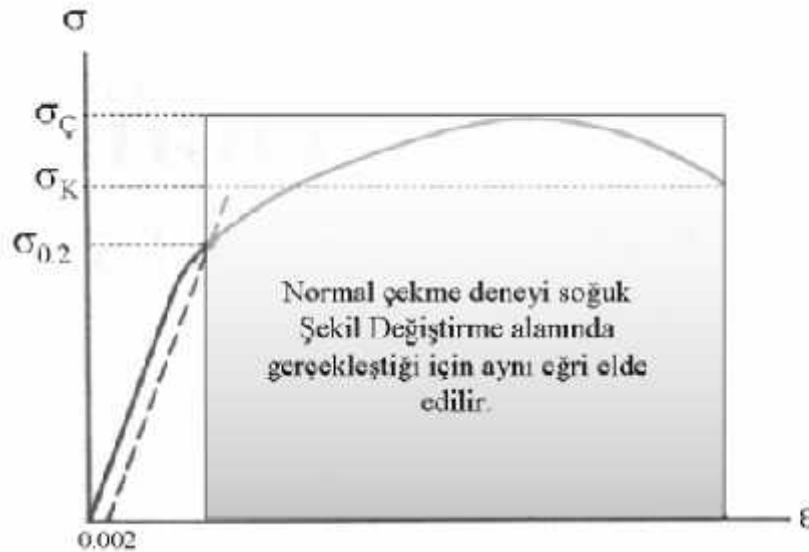


Soğuk ve Sıcak Şekil Değişiminde Etkin olan Mekanizmalar:

1. Soğuk Şekil Değişimi (Cold deformation):

Soğuk şekil değiştirme, normal bir $\sigma - \epsilon$ eğrisinin plastik şekil değiştirme kısmı kullanılarak kolaylıkla açıklanabilir. Normal olarak iki çeşit soğuk şekil değiştirme mekanizması mevcuttur.

Bunlar; (a) kayma, (b) ikizlemedir.



Soğuk şekil değişiminde en etkin deformasyon mekanizması KAYMA (Slip)'dir. Kristal yapı içerisinde, dislokasyonların kayması ile plastik şekil değişimi gerçekleşir. Kayma ile hareket eden dislokasyonlar, yeni dislokasyonlar oluşmasına sebep olurlar. Böylece, dislokasyon yoğunluğu artar. Diğer yandan, yoğunluğu artan dislokasyonların hareketi, gerek diğer dislokasyonlar gerekse boşluk, arayer, yeralan, çökelti, tane sınırı gibi diğer engeller tarafından engellenmeye başlanır. Başka bir deyişle dislokasyonların hareketlerini sürdürebilmeleri için gereken gerilme değeri gittikçe artar. Bu duruma **DEFORMASYON SERTLEŞMESİ** (strain hardening, work hardening, strain aging, etc.) veya **PEKLEŞME** adı verilir.

Bu plastik şekil değişimi sırasında boyu sürekli artan deney parçasında hacmi sabit kalacak şekilde kesiti sürekli olarak azalma gösterir. Öte yandan, pekleşme mekanizması ise şekil değişimini sürdürebilmek için gereken kuvvetin sürekli artmasını gerektirir. Pekleşmenin etkisinin baskın olması durumunda, ihtiyaç duyulan kuvvet sürekli artmaya devam edecektir. Ne var ki, plastik şekil değişimi devam ettikçe pekleşme etkisi dominantlığını kaybeder. $\sigma - \epsilon$ diyagramında öyle bir nokta vardır ki (bu nokta max. noktadır), burada pekleşmenin etkisi kesit daralmasının etkisi ile birbirini dengeler. Bu noktadan sonra kesit daralmasının etkisi pekleşmenin etkisine göre daha baskın hale gelir ve şekil değişimi için gereken gerilme sürekli olarak azalır ve parça boyun vermeye (plastik kararsızlık) başlar, diyagram aşağı doğru yönelir. Diyagram kopmanın meydana geldiği noktada son bulur. Boyun vermenin başladığı bu noktada, yani maximum noktadaki gerilme değeri **ÇEKME DAYANIMI** olarak adlandırılır. Kopmanın gerçekleştiği noktadaki gerilme değerini, **KOPMA DAYANIMI** adı verilir.

Çekme Diyagramından Elde Edilen Veriler

Malzemeler, akma noktasındaki davranışlarına göre iki şekilde ele alınabilir; (a) belirgin akma gösteren malzemeler, (b) belirgin akma göstermeyen malzemeler.



(a) Belirgin akma göstermeyen malzemeler:

Bu malzemelerde % 0.2 kalıcı (plastik) şekil değişimine sebep olan gerilme değeri **AKMA DAYANIMI** (yield strength) olarak adlandırılır ve $\sigma_{0.2}$ olarak simgelendirilir. (Bazı özel durumlarda kalıcı (plastik) şekil değişim sınırı % 0.2 yerine % 0.1 veya % 0.05 alınabilir. Fakat bu durumların belirtilmesi gerekir. Belirtilmiyorsa sınır % 0.2 dir). Diyagramda en büyük gerilme, **ÇEKME DAYANIMI** (ultimate tensile strength) olarak adlandırılır ve $\sigma_{\text{ç}}$ olarak simgelendirilir. Diyagramın elastik bölgesindeki lineer kısmın eğimi, **ELASTİKLİK MODÜLÜNÜ** (modulus of elasticity) verir ve bu değer **E** olarak simgelendirilir.

Malzemenin sünekliğini, **δ , KOPMA UZAMASI** (percent elongation) ve **ψ , KESİT DARALMASI** (reduction of area) değerleri belirler. Kesit daralması değerini diyagramdan elde edebilme imkânı yoktur. Deney sonrasında kırık kesitin alanı ölçülür ve başlangıç alanı ile kırık kesit alanı farkının, başlangıç alanına bölünmesi ile elde edilir. Kopma uzaması değeri, diyagramdan elde edilebileceği gibi kopan parçaların tekrar bir araya getirilip ölçü boyunun son uzunluğunu belirlenmesi ve daha sonra bu değer ile ilk ölçü boyu arasındaki farkın ilk boya bölünmesi şeklinde elde edilebilir.

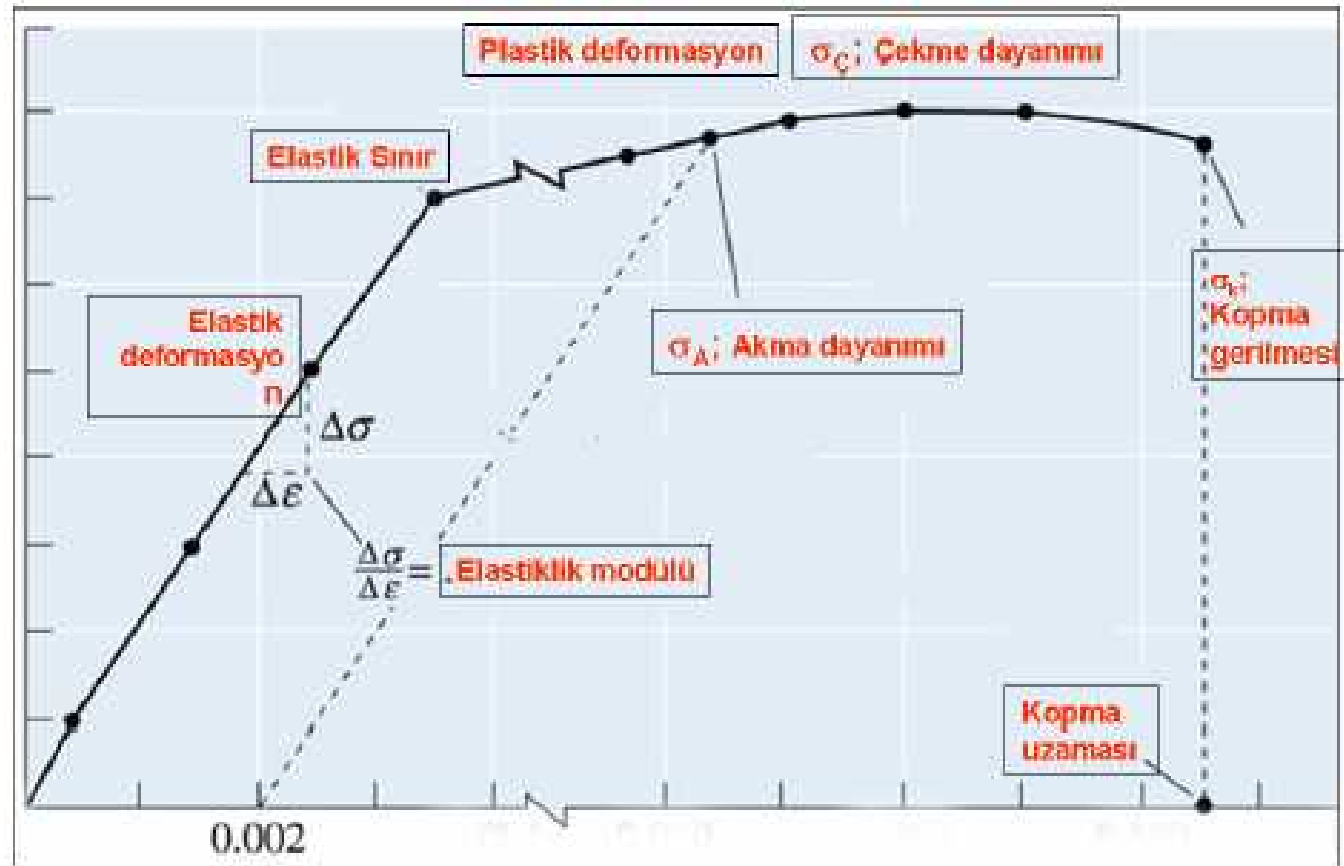
$$\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o}$$

l_k = Kopma anında ölçü boyu
 l_o = İlk ölçü boyu

$$\psi = \frac{A_o - A_k}{A_o}$$

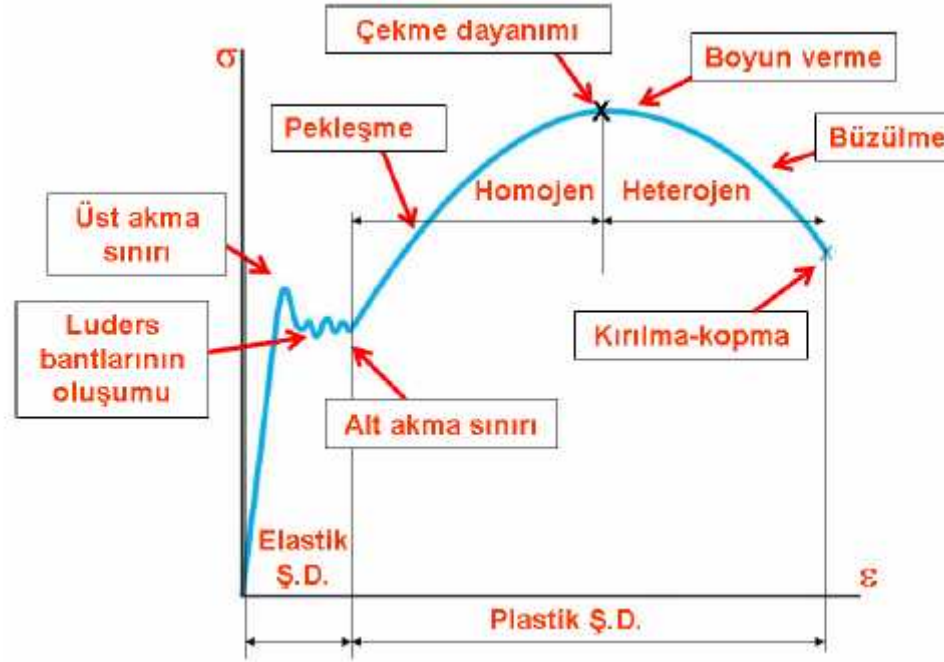
A_k = Kopmadan sonra ölçülen kesit alanı
 A_o = İlk kesit alanı

Maksimum gerilmenin olduğu, kalıcı birim şekil değişimine (o noktadaki toplam şekil değişiminden elastik kısım çıkarılmalı) üniform uzama adı verilir ve ϵ_u şeklinde simgelenir. Deney sırasında kırılana kadar malzemenin harcadığı deformasyon enerjisi **STATİK TOKLUK** (toughness) olarak adlandırılır ve **Up** ile gösterilir. Bu değer, $\sigma - \epsilon$ diyagramının altında kalan alana eşittir. Malzemenin sadece elastik bölgesinde akmaya kadar gerektirdiği enerji **REZİLYANS** olarak adlandırılır. Bu değer ise, $\sigma - \epsilon$ diyagramında elastik bölgenin altında kalan alana eşittir.



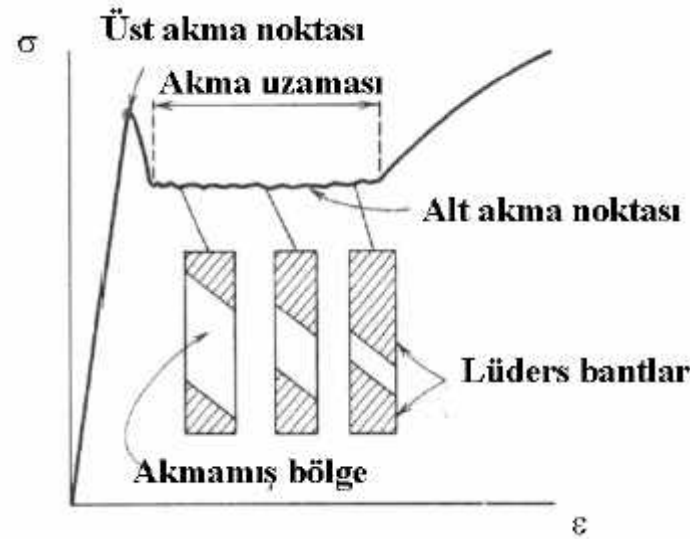
(b) Belirgin Akma Gösteren Malzemelerin σ – ϵ Diyagramı

Bazı metalik malzemeler elastik şekil değişiminden plastik şekil değişimine geçerken akma olayını belirgin bir şekilde gerçekleştirirler. Bu malzeme gurubuna en iyi örnek yumuşak durumdaki (herhangi bir sertleştirme işlemi uygulanmamış) basit ve çoğunlukla düşük karbonlu çeliklerdir. Demir dışı metaller ve yüksek sıcaklıklarda metallerin hiçbiri belirgin akma özelliği göstermezler.

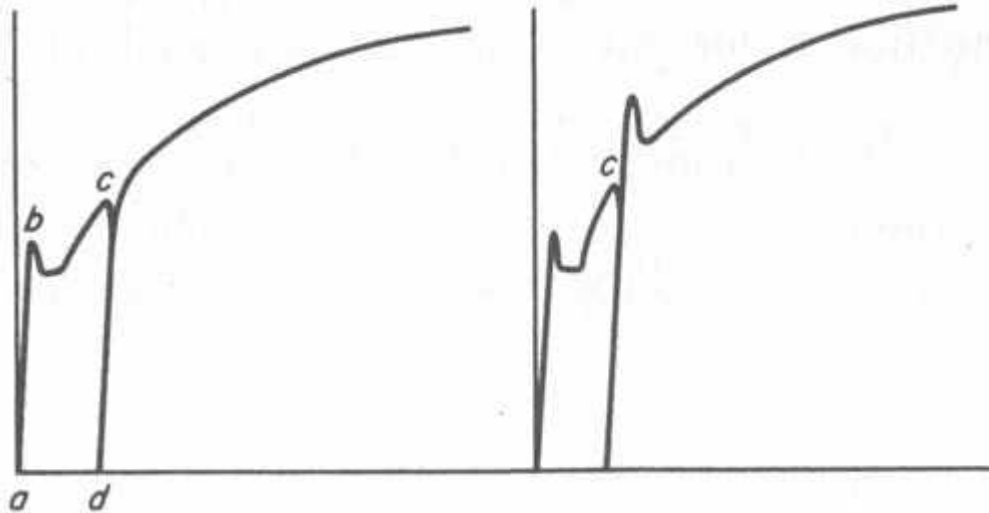


Bu olay arayer atomlarının mevcudiyeti ile açıklanmaktadır. Örneğin, karbon ve azot (nitrogen)'tan arındırılan çeliklerde belirgin akma görülmemeye başlar. Bu arayer atomlarının dislokasyonların altındaki boşluklara yerleşerek dislokasyonları kilitledikleri düşünülmektedir. Bu atom gruplarına **COTTRELL ATMOSFERİ** adı verilmektedir.

Grafikte görülen üst akma noktası, bu atmosferin dislokasyonları kilitleme etkisinin kırıldığı gerilme değerini ifade etmektedir. İlk akmanın meydana geldiği kayma bandında bu atmosfer tarafından pekleşme meydana getirilmesi ile kayma durur. Diğer bir bölgede akma olayı başlar. Üst akma noktasından sonra gelişen testere dişi görünümündeki bölge kesit boyunca tüm kayma bantlarında akmanın gerçekleştiğini gösterir. Oluşan bu bantlara **LÜDERS BANTLARI** adı verilir.



Homojen PŞD bölgesine kadar zorlanmış daha ileri zorlamalara maruz kalmamış malzemelerde ikinci bir akma olayı gözlenebilir. Bu ikinci akmanın oluşabilmesi için yukarıdan da anlaşılaacağı gibi Cottrell atmosferinin etkin rol oynaması gerekir. Bu ise ısıl aktivasyon gerektirir. Şöyle ki, soğuk plastik şekil değiştirmeye maruz kalmış, belirgin akma gösteren bir malzeme, gereken ısıl aktivasyonu sağlamak amacıyla belli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp (100-200oC) soğutulduktan sonra tekrar plastik şekil değişimine maruz bırakılırsa, daha yüksek gerilme değerlerinde belirgin akma olayı bir kez daha gerçekleşir. Bu olaya **DEFORMASYON YAŞLANMASI** (Strain aging) adı verilir.



(a): Test durduluktan hemen sonra tekrar yüklseme yapıp teste devam ediliyor.

(b): Test durduluktan hemen sonra 100-200° de ısılılıp soğutulduktan sonra teste devam ediliyor.

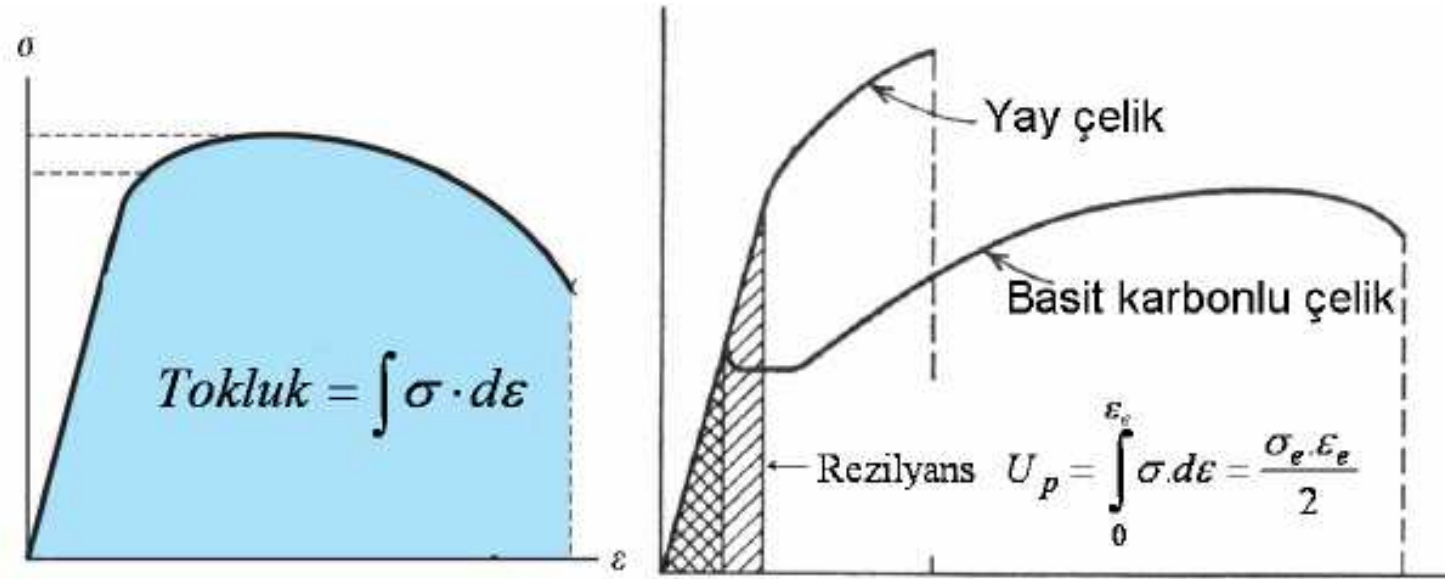
STATİK TOKLUK VE REZİLYANS:

Malzemelerin çekme diyagramlarının altında kalan alan **STATİK TOKLUK** olarak isimlendirilir. Bu değer, malzemenin plastik şekil değiştirme sırasında ne kadar enerji yutacağını göstermektedir. Bu değer birim hacim başına mekanik şekil değiştirme işine eşdeğerdir:

$$\text{Tokluk: } U_p = \int \sigma \cdot d\varepsilon$$

$\sigma - \varepsilon$ eğrisinde, elastik bölge altında kalan alana **REZİLYANS** adı verilir. Malzemenin elastik davranışı sırasında depoladığı enerjiyi ifade eder.

$$\text{Rezilyans: } U_p = \int_0^{\varepsilon_e} \sigma \cdot d\varepsilon = \frac{\sigma_e \cdot \varepsilon_e}{2}$$



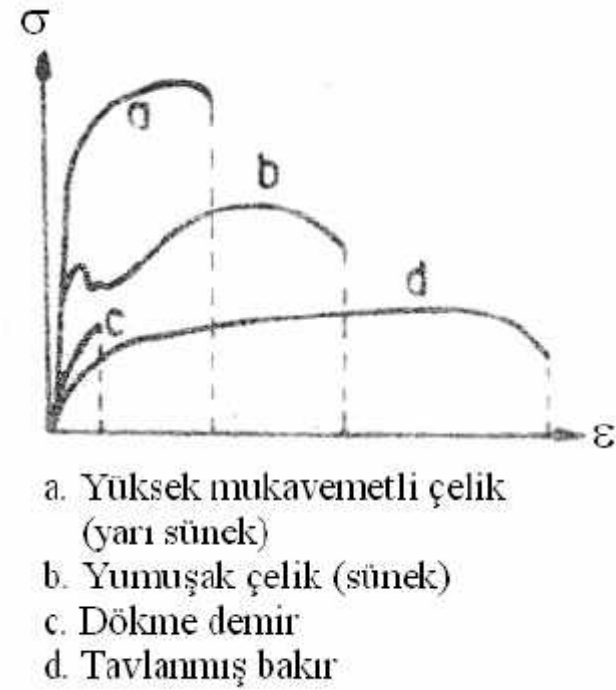
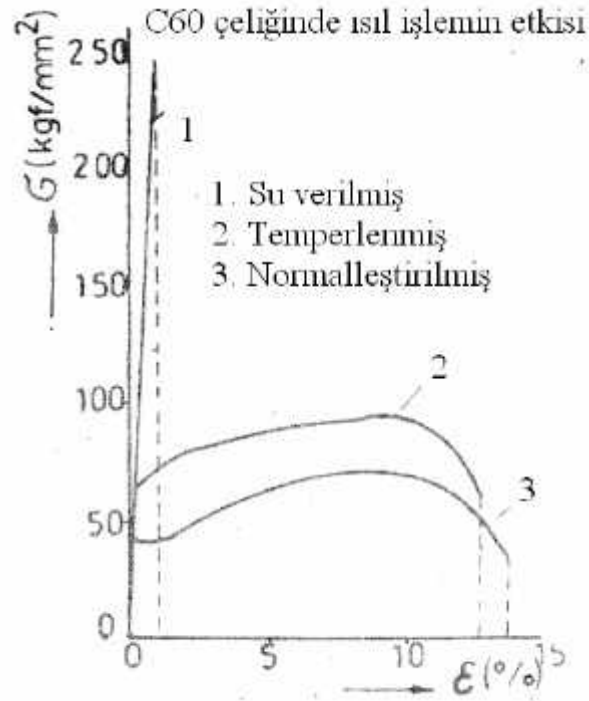
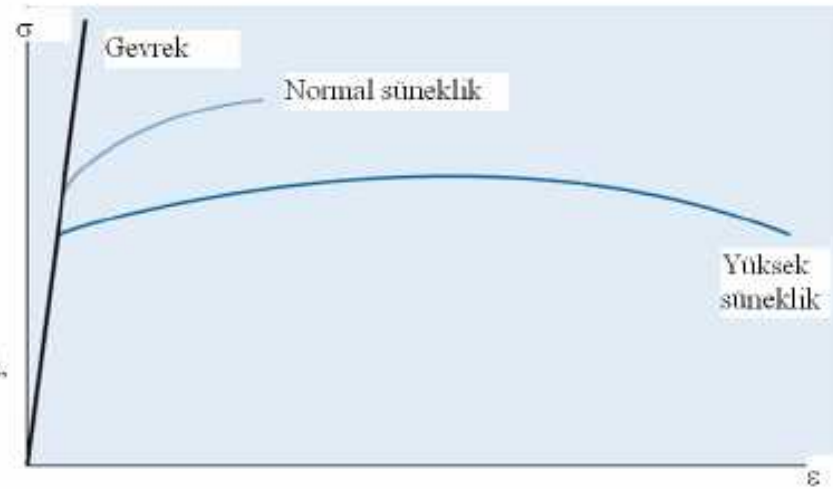
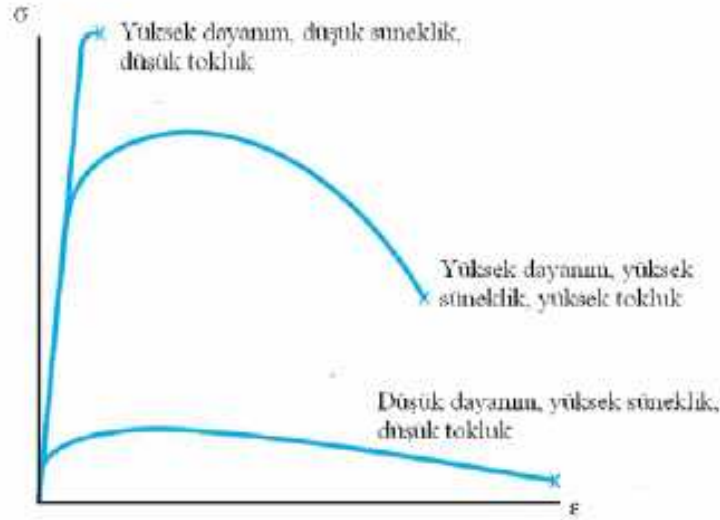
SÜNEKLİK / GEVREKLİK/TOKLUK

Süneklik: Bir malzemenin plastik şekil değiştirme kabiliyetini ifade eder. Bu değerin büyümesi, malzeme kopana kadar daha büyük plastik şekil değiştirme gerçekleştirebiliyor anlamına gelir.

Kopma uzaması ve alan daralması parametreleri ile ifade edilebilir.

Gevreklik: Plastik şekil değiştirme kabiliyetinin olmaması durumunu ifade eder. Eğri bazen elastik sınırdaki bazen de elastik sınıra çok yakın bir noktada son bulur.

Tokluk: Malzemenin kopana dek absorbe ettiği toplam enerjiyi ifade eder. Sünek malzemelerin tokluğunun daha yüksek, gevrek malzemelerin tokluğunun da düşük olduğu anlamı çıkarılabilir.



SERTLİK VE SERTLİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ:

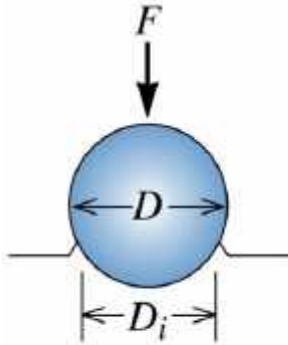
Bir malzemenin yüzeyine batırılan sert bir cisme karşı gösterdiği dirençtir. Sertlik değerleri direk olarak malzemelerin dayanımları ile alakalı olduğu için büyük önem taşır ve dolayısıyla malzemelerin dayanımları ile ilgili bağıl değerler verir.

Malzemelerin sertlik değerleri sertlik testleri ile saptanır. Bu sertlik deneyleri; batıcı ucun geometrisine ve uygulanan kuvvet büyüklüğüne göre çeşitli isimler alır. Bunlardan en yaygın olanları:

- Brinell sertlik ölçme metodu
- Vickers sertlik ölçme metodu
- Rockwell sertlik ölçme metodudur

Brinell sertlik ölçme metodu:

Yüzeyi düzgün bir şekilde hazırlanan malzemenin yüzeyine sert bir bilye (batıcı uç) belli bir kuvvetle bastırılır ve oluşan iz ölçülür. Standart Brinell testinde, 10mm çaplı sert bilye ve 3000 kgf yük kullanılır. Fakat oluşan iz büyük ve uygulanan kuvvet de nispeten yüksek olduğu için pratikte daha küçük yük/çap kombinasyonları kullanılmaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, malzemeye göre değişen yük/çap oranları seçme gereğinden kaynaklanır.



Brinell test

Malzeme	A
Demir / Çelik	30
Cu / Pirinç / Bronz	10
Al / Pb vb.	5

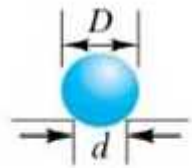
Bu deneyde uygulanacak yük şu formülle hesaplanır.

$$F(\text{kgf}) = A \cdot D^2 \text{ (mm}^2\text{)}.$$

A malzemenin türüne bağlıdır

Örneğin; 2.5mm bilye ile çelik ölçülüyorsa, 187.5 kgf, Al ölçülüyorsa 31.25kgf yük gerekir. Batıcı uç olarak sertleştirilmiş çelik bilye kullanılması durumunda 400 BSD ne kadar, sinterlenmiş karbür bilye kullanılması durumunda ise 550 BSD ne kadar ölçüm yapılabilir.

Brinell sertlik ölçümünden sonra aşağıdaki eşitlik kullanılarak sertlik değeri bulunabilir.



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

BSD = Birinell sertlik değeri

D = Bilya çapı

F = Uygulanan kuvvet

d = izin çapı.

Metallerde BSD ile σ_c arasında 400 BSD ye kadar doğrusal ilişki vardır. Aşağıdaki eşitlik kullanılarak sertlik değerinde mukavemet değerine geçilebilir.

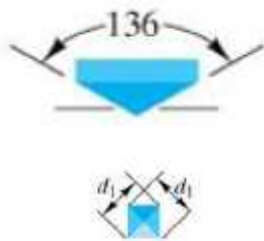
$$\sigma_c(\text{kgf} / \text{mm}^2) \cong \frac{\text{BSD}(\text{kgf} / \text{mm}^2)}{3}$$

$$\sigma_c(\text{MPa}) \cong \frac{\text{BSD}(\text{kgf} / \text{mm}^2)}{3} \times 10$$

Vickers sertlik ölçme metodu:

Bu yöntemde, batıcı uç olarak tepe açısı 136° olan elmas piramit kullanılır. Elmasın bilinen en sert malzeme olması nedeniyle, bu yöntem tüm malzemelere uygulanabilir. Kuvvet seçiminde malzeme kriteri yoktur.

Elmas piramit belli bir kuvvetle parça yüzeyine bastırıldıktan sonra yüzeyde oluşan kare şeklindeki izin köşegenleri mikroskopla ölçülür. Bu nedenle bu yöntemde mikrosertlik testi adı da verilir. Daha sonra ortalama köşegen boyu hesaplanır ve aşağıda verilen eşitlik kullanılarak Vickers sertlik değeri hesaplanır.



$$d_{ort} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$VSD = \frac{1.72F}{d_{ort}^2}$$

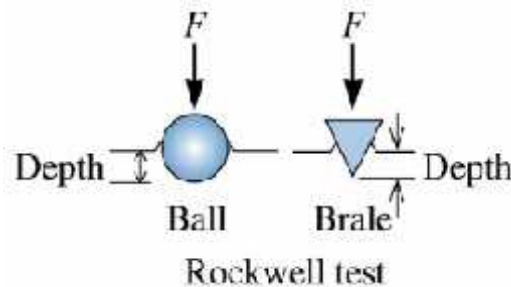
VSD = Birinell sertlik değeri

F = Uygulanan kuvvet

d_{ort} = izin köşegen ortalaması.

Rockwell sertlik ölçme metodu:

Önceki iki metottan farklı olarak bu metotta, batıcı ucun yüzeyden içeri doğru battığı derinlik dikkate alınır. Ölçüm sırasında, cihaz batma derinliğini otomatik olarak ölçebilecek ekipmanlara sahiptir. Batma derinliği, sertlik değerine cihazın kadranında çevrilir. Dolayısıyla kadrandan okunan değer, sertlik değeri olur. Bu yöntemde, sertliği ölçülen malzemeye göre değişik uç/yük kombinasyonu seçilebilir. Cihaz, bu şekilde plastik malzemelerden metallere kadar birçok malzeme çeşidinin ölçüm için farklı skalalara sahiptir. En çok C ve B skalaları kullanılır. C skalası; sert metaller için kullanılır. Bu skala, 150kgf yük ve tepe açısı 120° olan elmas koni uç için düzenlenmiştir. B skalası yumuşak metallerin ölçümüne uygundur.



Çentik darbe testi

Metallerin özellikle gevrek kırılmaya uygun şartlardaki mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek ve numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gerekli enerji miktarını (darbe direncini) belirlemek için yapılır.

Çekme deneyi ile elde edilen gerilme-genleme diyagramından bir malzemenin sünekliliği hakkında bilgi edinilebilir. İyi bir uzama gösteren metalin sünek olacağı, yani statik ve dinamik yüklemelere plastik şekil değiştirme ile karşı koyacağı tahmin

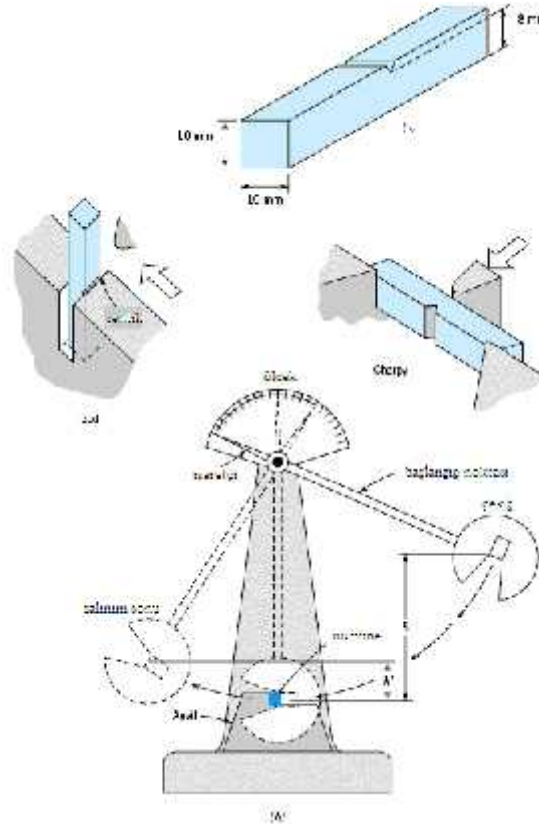
edilebilir. Bu tahmin yüzey merkezli kübik veya hegzagonal sistemdeki metaller (demir dışı metallerin çoğu ve östenitik paslanmaz çelik) için genellikle doğrudur. Oysa hacim merkezli kübik sistemdeki metallerde (ferritik çelikler) bazen çekme deneyi sonuçları ile darbe deneyi sonuçları arasında uyumsuzluk görülür. Çekme deneyinde sünek bir davranış gösteren malzeme çentikli darbe deneyinde gevrek bir hal gösterebilir. Özellikle oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bu olaya daha çok rastlanır. Darbe deneyinden elde edilen sonuçlar, o numune için bir kıyaslama değeridir. Çekme deneyi sonuçları gibi mühendislik hesaplamalarında kullanılamazlar.

Çentikli darbe deneyleri genellikle Charpy ve izod darbe deneyi olarak iki türde yapılmaktadır. Bu deney arasındaki temel fark ise: Charpy darbe deneyinde numune yatay olarak mesnetler arasına yerleştirilirken, izod darbe deneyinde numune dikey ve konsol kiris halinde bir kavrama çenesine sıkıştırılır ve belli bir yükseklikten yani sarkaçtan bir yükü numuneye çarptırılarak kırılması sağlanır.

Malzemenin mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek için yapılan darbe deneyinin sonuçlarını çentik açısı, sıcaklık, malzemenin bileşimi, haddelme yönü, malzemenin üretim yöntemi ve mikroyapısı etkilemektedir.

Deneyin Yapılışı

Sekil 1'den de görüldüğü üzere darbe deney numunesinin ortasında V seklinde çentik açılmaktadır. Çentik açılmasının amacı, malzeme bünyesinde bulunabilecek olası bir gerilim konsantrasyonunu çentik tabanında yapay olarak oluşturup, malzemenin bünyesindeki böyle bir gerilim konsantrasyonuna karşı göstereceği davranışı belirlemektir.



Sekil 1: Darbe deneyi cihazının çalışma prensibi ve standart numuneler

Numunenin kırılma anında absorbe ettiği enerji şu şekilde gösterilebilir:

$$\text{Kırılma Enerjisi} = G.(h - h_1)$$

G = Sarkacın ağırlığı (kg)

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

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m)

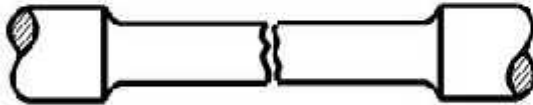
h_1 = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m)

Buradan **çentik darbe dayanımı**; absorbe edilen enerjinin numune kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır.

Yorulma dayanımı



a)



b)



→ Ancak aynı malzemeyi, zorlayan gerilmeler zaman ile değişecek olursa, malzeme çekme deneyindeki kopma değerinin altındaki bir gerilmede, sünek de olsa plastik şekil değiştirmeden kırılır.

→ Bu olaya yorulma denilir.

a) Sünek malzeme

b) Gevrek malzeme

➡ Yükleme ve boşaltmanın periyodik olarak çok sayıda tekrarı sonucunda cisim içinde oluşan karmaşık termik ve mekanik olaylar nedeniyle, cisimde çözülme, yıpranma ve ayrışmalar meydana gelir.

➡ Bu olayın nedeni yükün şiddetinden çok onun, periyodik olarak uzun bir süre değişmesidir. İç mekanizması oldukça karışık olan bu olaya kısaca malzemenin yorulması denmektedir.

➡ Uygulamada statik yüklere (zorlamalara) en ender olarak rastlanır.

➡ Özellikle metalik malzemelerin kırılmasının en önde gelen etkeni olması nedeniyle yorulma olayı çok önemlidir.

➡ Yorulma kopmasına uğrayan parçalara örnek olarak miller, bağlantı çubukları ve dişliler gibi hareketli parçalar gösterilebilir.

➡ Makinelerdeki hasarların yaklaşık % 80'nin yorulma kopmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

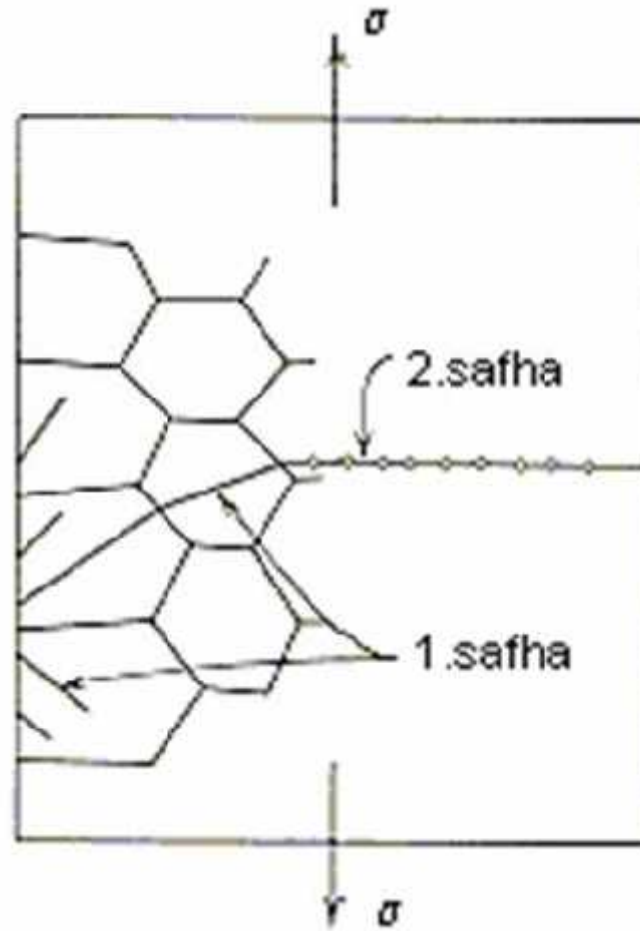
➡ Bu tür hasarlar polimer ve seramik (cam hariç) malzemelerde de ortaya çıkabilmektedir.

★Yorulma olayı üç aşamada değerlendirilebilir:

1. Çatlak Başlangıcı: Genellikle yüksek gerilme yığılmalarının olduğu bölgelerde veya kristal yapıdaki hatalı noktalardan çatlak başlar.

2. Çatlak ilerlemesi: Çatlak genellikle yüzeyden başlayıp, kayma hatları ile orta kısımlara iletilir. Ayrıca, malzeme içinde mikro çatlaklar var ise ve çatlak ucunda oluşan gerilme yığılması çatlağı ilerletebilecek seviyede ise çatlak ilerler. Uygulanan gerilme çatlağın ilerlemesi için yeterli değilse malzeme yorulmaz. Gerilme çatlağın ilerlemesini sağlayacak kadar büyük ise çatlak gevşek yerlerden ilerler. Böylece yıpranma yavaş yavaş tüm keside yayılır. Ayrıca büyük ve haber verici bir uzama veya büzülme görülmez.

Yorulmada çatlağın oluşması ve ilerlemesi:



3. Kırılma: Yıpranma nedeniyle ayrışma yeter derecede ilerledikten sonra kesidin geri kalan kısmı yükü taşıyamaz hale gelir ve malzeme aniden kopar.

➡ Yorulma olayı malzemede önemli bir plastik şekil değişimi yapmadığından ve uyarı vermeden elastik limitin altındaki gerilmelerde malzemenin ani olarak kırılması nedeniyle tehlikelidir.

➡ Bu tip gevrek kırılma olaylarına çelik köprülerde, kötü yolda giden arabalarda, uçak kanatlarında rastlanabilir.

Yorulma dayanımına etki eden faktörler:

- 1 – Malzeme Boyutu :** Malzeme boyutu arttıkça malzemelerin statik ve yorulma dayanım değerleri değişebilmektedir. Genel olarak malzemenin boyutu arttıkça (malzeme çapı büyüdükçe) malzemenin yorulma dayanımı düşer.
- 2 – Yüzey Faktörü :** Malzeme üzerindeki pürüzlülükler çentik etkisi yaptığı için yorulma dayanımını düşürür. Düşüş miktarı, pürüzlülük ve çekme dayanımı artarken artar.
- 3 – Çentikler :** Malzeme üzerindeki ve içindeki çentikler gerilme yığılmaları meydana getirir. Çentiklerden dolayı malzemelerde gerilme yığılmaları oluşur. Bu yüzden de malzemelerde yorulma dayanımı düşmektedir.

Yorulmada çatlağın oluşması ve ilerlemesi:

4 – Sıcaklık : Makine elemanları oda sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda çalışıyor ise gevrekleşme problemi vardır. Malzemenin çentik darbe geçiş sıcaklığı makine elemanlarının çalışma sıcaklığından daha düşük değerlerde olmalıdır. Sıcaklığın oda sıcaklığının üstüne çıkması durumunda malzemenin akma sınırı, çekme dayanımı ve yorulma dayanımı düşer.

5 – Kaynak Dikişleri : Kaynak dikişlerinde, çatlak ve boşluk gibi iç hatalar ve mikroyapı bozuklukları meydana gelir. Ayrıca dikişte meydana gelen girinti ve çıkıntılar gerilme yığılmaları meydana getirir. Bunlardan başka, ısınma ve soğumalardan dolayı iç gerilmeler oluşur. Bunların hepsi kaynak dayanımını dolayısıyla yorulma dayanımını düşürür.

Yorulmada çatlağın oluşması ve ilerlemesi:

6 – Korozyon : Korozyonlu ortamda kalan malzemelerin yüzey kalitesi bozulur. Yüzeyde oluşan çukurcukların etkisiyle yorulma dayanımı düşer. Gerilme ve korozyon beraber bulunursa çatlak ilerlemesi daha hızlı olur ve bu durumda süresiz yorulma dayanımından bahsedilmez.

7 – Isıl İşlemlerin Etkisi : Bilhassa çelik malzemelerin mukavemet değeri ısıtılma işlemleriyle oluşturulan iç yapılarına bağlı olarak değişmektedir. Isıl işlemlerin mukavemet arttırmaya etkisi iki şekilde olur;

Yorulmada çatlağın oluşması ve ilerlemesi:

a) Mikro yapı Değişimi : Normalize edilmiş durumda ferrit ve perlitten oluşan içyapı dönüşüm sertleştirilmesi sonucu martenzit, beynit gibi daha dayanıklı mikro yapılara dönüşür. Martenzitin içyapısı sert olmasına rağmen tokluğu az olduğu için çoğu kez tercih edilmez. Hem dayanımı yüksek hem de tok bir mikro yapı temperlenmiş martenzit ve beynitlik yapıdır. Bu yapıları elde etmek için ıslah etme ve ostemperleme işlemleri uygulanır.

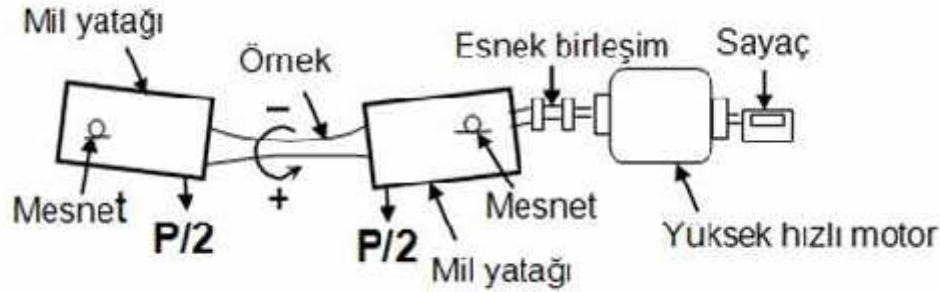
b)İç Gerilmeler : Farklı soğuma ve farklı mikroyapı oluşumu sonucunda, sertleştirilen parçalarda iç gerilmeler oluşur. Bu iç gerilmeler yüzeyde bası, çekirdekte çeki şeklinde olursa, parçanın eğilmeye ve burulmaya zorlanması durumunda faydalıdır. Yüzeyde çeki iç gerilmesi olması ise her zaman zararlıdır.

Yorulmada çatlağın oluşması ve ilerlemesi:

8 - Soğuk Deformasyon : Malzemelerin yüzeyleri soğuk deformasyona uğrarsa yüzeyin sertliği ve dayanımı artar. Ayrıca yüzeyde bası iç gerilmeleri de meydana gelir. Bu şekilde malzemenin yorulma dayanımı iyileştirilir.

9 – Yüzey Kaplamaları : Malzemelerin üzerine metalik kaplamanın amacı genellikle korozyondan koruma, aşınma dayanımı arttırma, yüzey pürüzlülüğünü azaltma, görünümünü güzelleştirmedir. Elektrolitik yöntemlerle yapılan kaplamalarda parçaya hidrojen yayındığı için hidrojen gevrekliği söz konusu olabilir. Ayrıca yüzeyde çeki iç gerilmeleri meydana geldiği için yorulma dayanımı düşer.

Wöhler eğrisi



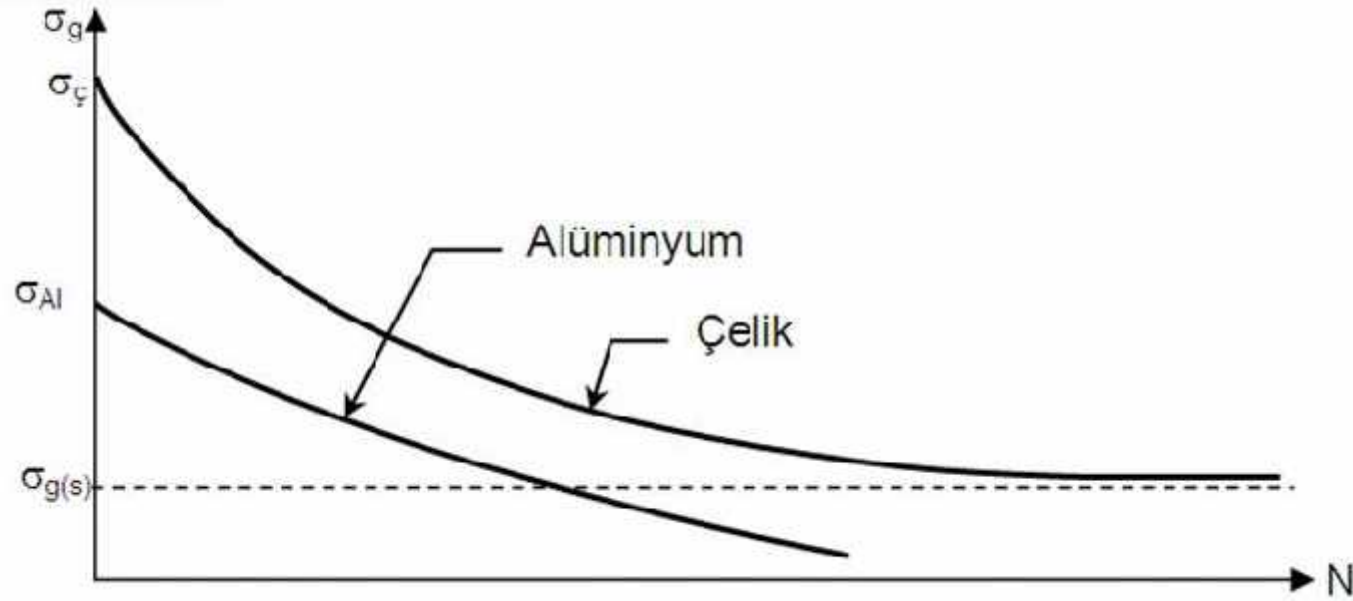
Döner mil deneyi

- ➔ Bunun yanında günümüzde kullanılan en yaygın yorulma deneyi, numunelerin dönerken birbiri arkasına, eşit genlikte çekme ve basınç gerilmelerine maruz bırakıldığı döner mil deneyidir
- ➔ Bu deneylerden elde edilen P yükünden $\sigma_m = -\sigma_a = \sigma_u$ gerilmesi hesaplanır.
- ➔ Periyodik yükleme sonucunda kırılmanın olduğu **N tekrar sayısı** ölçülür.

Wöhler eğrisi

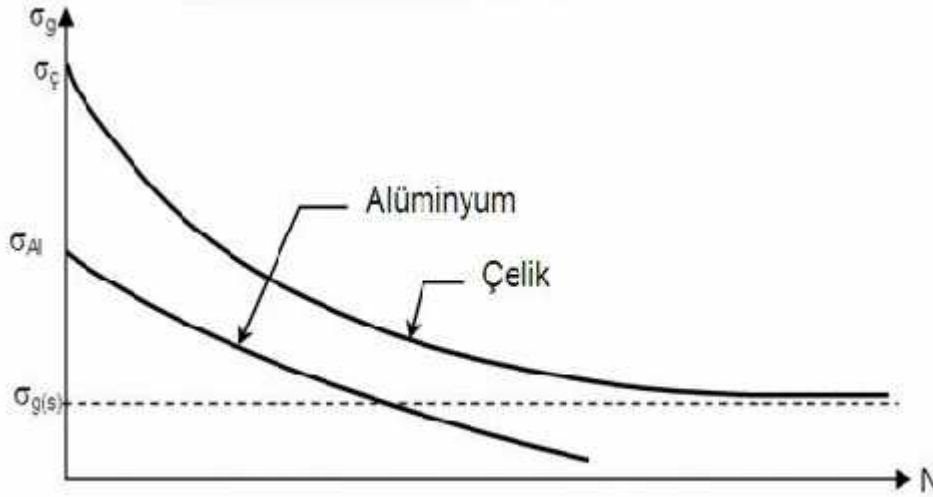
- ➡ Periyodik yükleme sonucunda kırılmanın olduğu **N tekrar sayısı** ölçülür.
- ➡ Bu şekilde P, yükü dolayısıyla σ_g değiştirilerek $\sigma_g - N$ eğrisi çizilebilir.
- ➡ Elde edilen bu eğriye Wöhler eğrisi adı verilir.
- ➡ Deneyler göstermiştir ki, **σ_g genlik gerilmesi azaldıkça, malzemenin N kırılma sayısı artmaktadır**

Wöhler eğrisi



➡ Wöhler eğrisi demir esaslı malzemelerde $10^6 - 10^7$ tekrar sayılarında yatıklaşmaya başlar.

Wöhler eğrisi

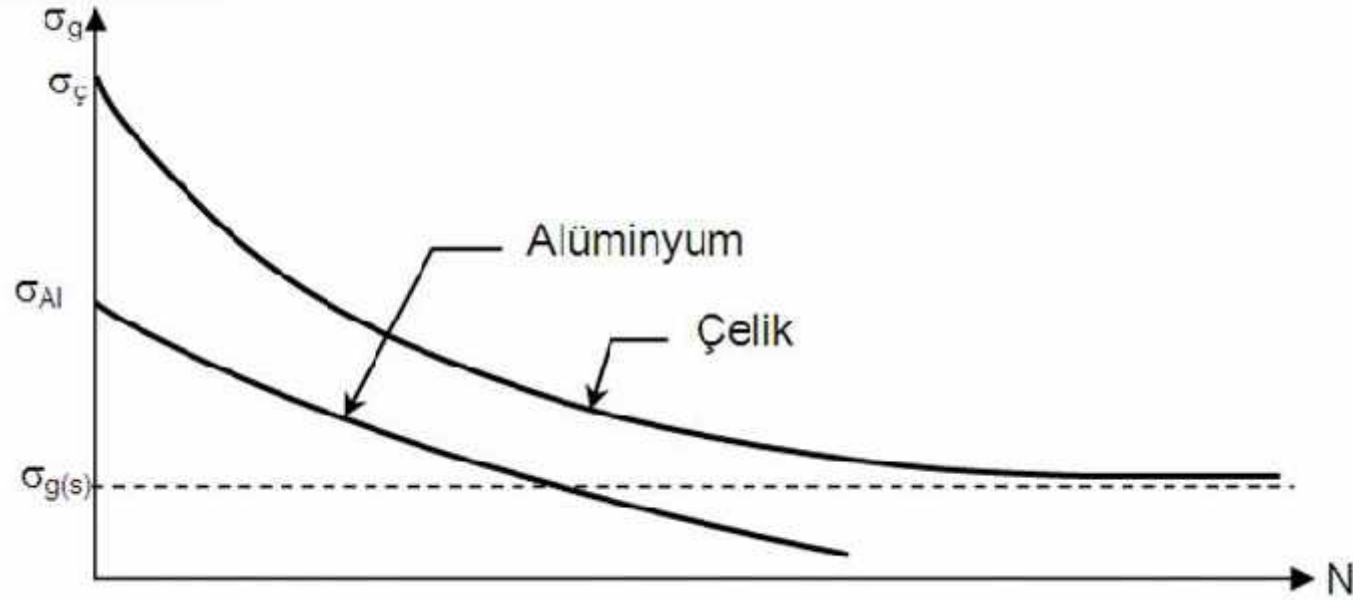


➡ Malzemenin yorulma hasarına uğramadığı bu gerilmeye **sürekli dayanım gerilmesi, yorulma limiti veya süresiz yorulma dayanımı** adları verilir.

➡ Bu gerilme değerinin altında malzeme, yükleme sayısına bağlı olmaksızın sürekli dayanır.

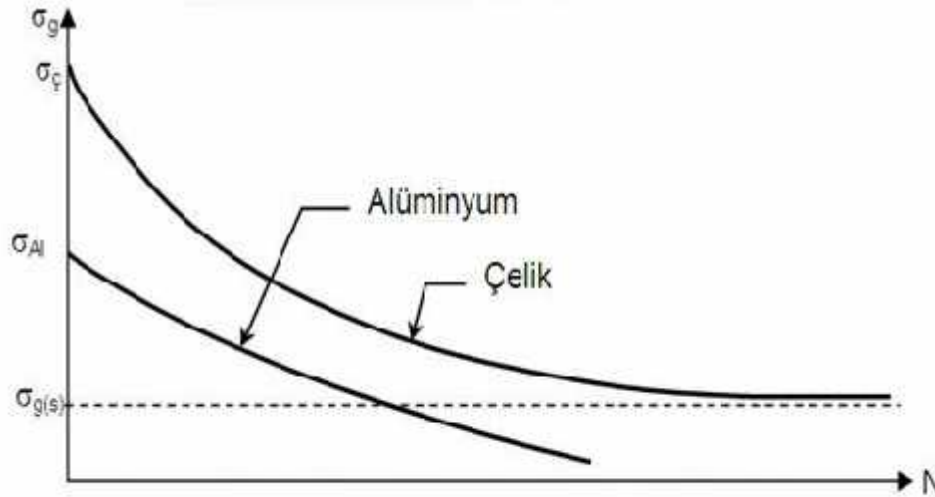
➡ Birçok demir esaslı alaşım yorulma limiti değerine sahiptir ve bu sınır yaklaşık olarak çekme dayanımının yarısıdır.

Wöhler eğrisi



➡ Hafif metallerin veya alaşımların (alüminyum alaşımları vb) yorulma eğrilerinde asimptotik değer olmayıp, sürekli düşme görülür.

Wöhler eğrisi



➡ Böyle malzemeler için **yorulma dayanımı** veya **sürelî yorulma dayanımı** tanımı yapılır.

➡ Genellikle $N = 10^8$ sayısına karşıt gelen gerilme değeri malzemenin yorulma dayanımı olarak alınır.

➡ Bu tür malzemeler için yorulma gerilmelerinin çekme dayanımlarının yaklaşık üçte biri olduğu kabul edilir.

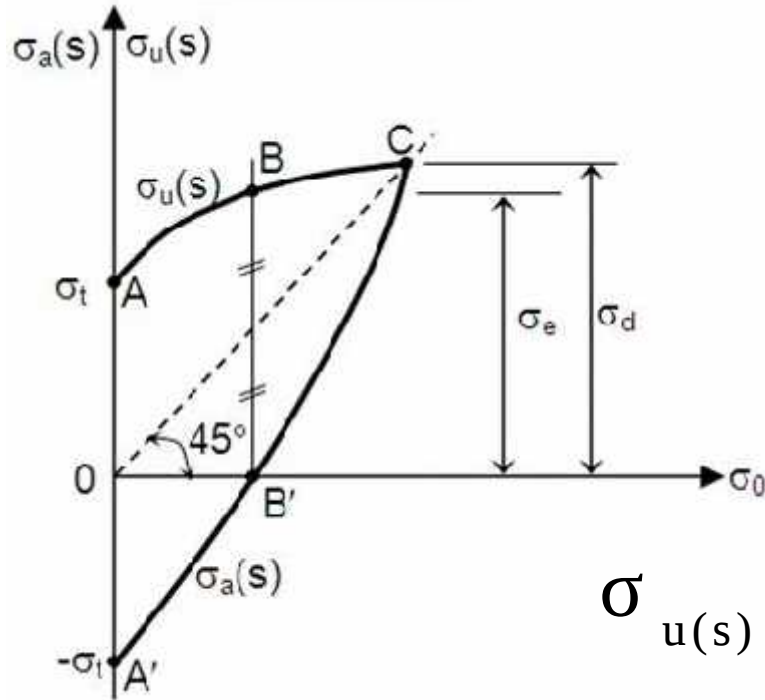
➡ Yorulma limiti göstermeyen bir diğer malzemedir betondur.

Wöhler eğrisi

$$\begin{aligned}\sigma_{u(s)} &= \sigma_o + \sigma_{g(s)} \\ \sigma_{a(s)} &= \sigma_o - \sigma_{g(s)}\end{aligned}$$

- gibi iki sınır gerilme elde edilir. Bunlara malzemenin **sürekli dayanım sınırları** denir.
- Malzemeyi bu iki sınır arasında değişen yüklerle, yükleme sayısı ne kadar fazla olursa olsun koparmanın olanağı yoktur.
- Sürekli dayanım sınırlarının dışındaki hallerde cisim sonlu bir N sayısından sonra mutlaka göçer, diğer bir deyişle cismin kuvvetlere karşı gösterdiği dayanıklılık belirli bir zaman içindir.

SMITH DİYAGRAMI



→ Bir cismin sürekli dayanım sınırlarını yanda olduğu gibi grafiksel olarak tanımlamakta yarar vardır.

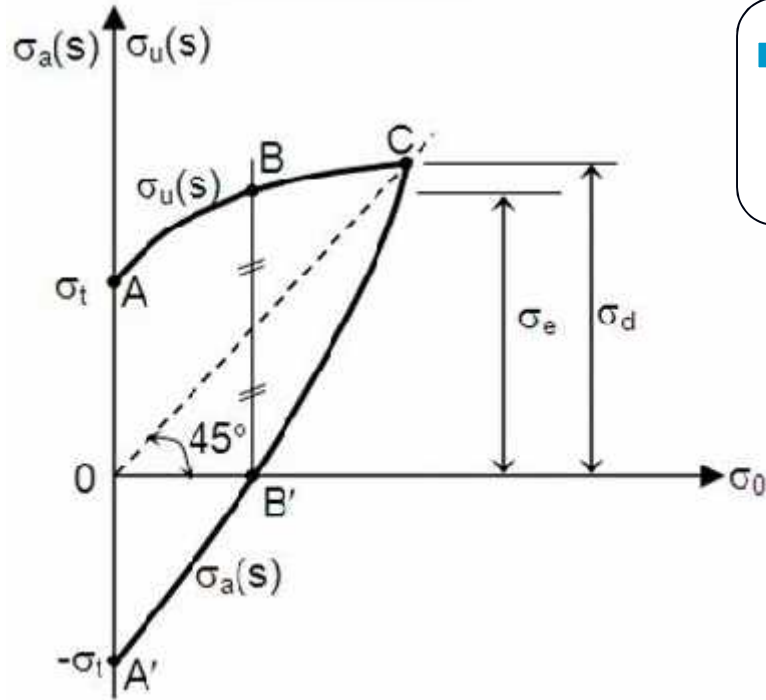
Bu sistemde

$$\sigma_{u(s)} = f_1(\sigma_o) \text{ ve } \sigma_{a(s)} = f_2(\sigma_o)$$

gibi iki eğri verilebilir.

→ Çok sayıda deney yapılmasını gerektiren bu diyagrama **Goodman diyagramı** adı verilir.

SMITH DİYAGRAMI



➡ Sürekli dayanım eğrileri üzerinde bir kaç tipik noktayı incelemekte yarar vardır.

$\sigma_0 = 0$ halinde (A, A') noktalarıyla,

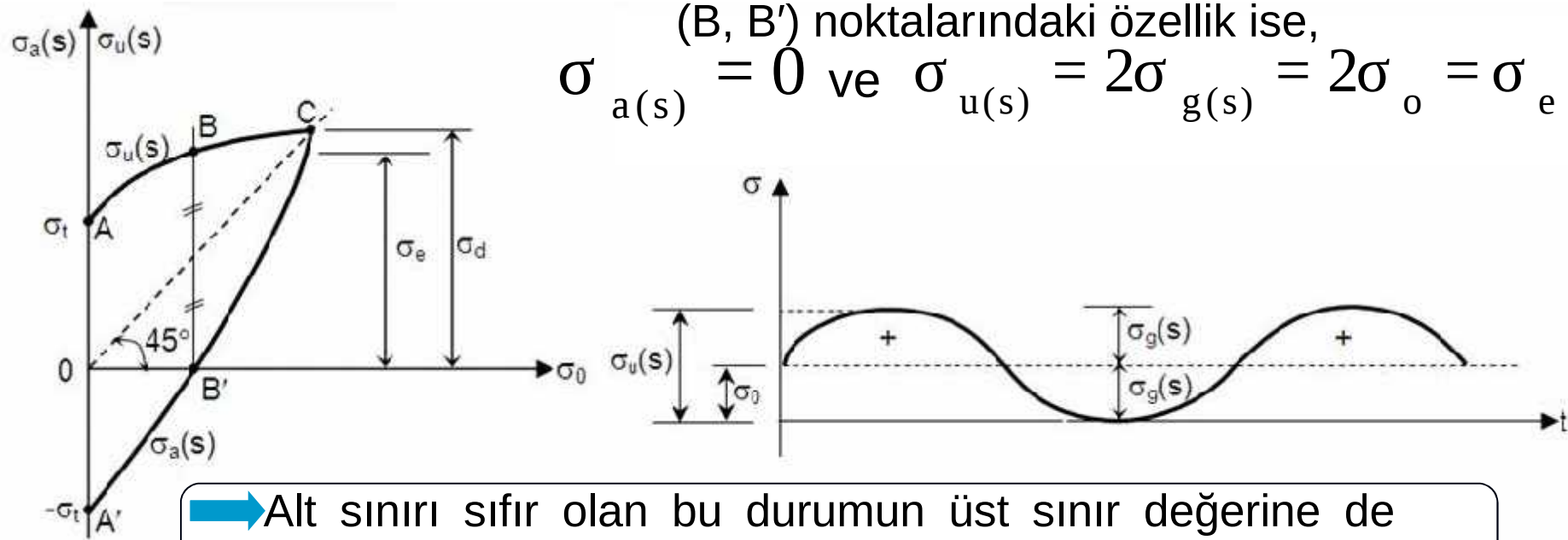
$$\sigma_{u(s)} = -\sigma_{a(s)} = \sigma_t$$

özelliğindeki sınırlar gösterilmektedir.

➡ σ_t ye cismin titreşim dayanımı denir.

➡ Çelik için bu değer akma sınırının hayli altındadır

SMITH DİYAGRAMI



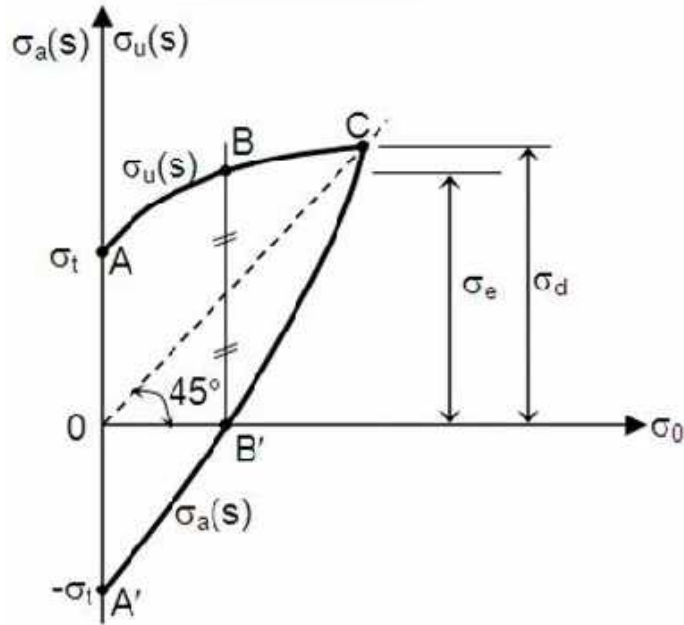
(B, B') noktalarındaki özellik ise,
 $\sigma_{a(s)} = 0$ ve $\sigma_{u(s)} = 2\sigma_{g(s)} = 2\sigma_o = \sigma_e$

➡ Alt sınırı sıfır olan bu durumun üst sınır değerine de malzemenin **eşik dayanımı** denir

➡ σ_e değeri aynı zamanda $N = \infty$ değerine de karşıt gelen $\sigma_a = 0$ halindeki yorulma dayanım değeridir.

➡ Çelikte bu değer akma sınırından küçük olmakla beraber çok yakındır.

SMITH DİYAGRAMI



➡ Son olarak iki sınır eğrisinin birbirlerini kestiği C noktasına gelince, bu durum için artık yük değişimi söz konusu değildir.

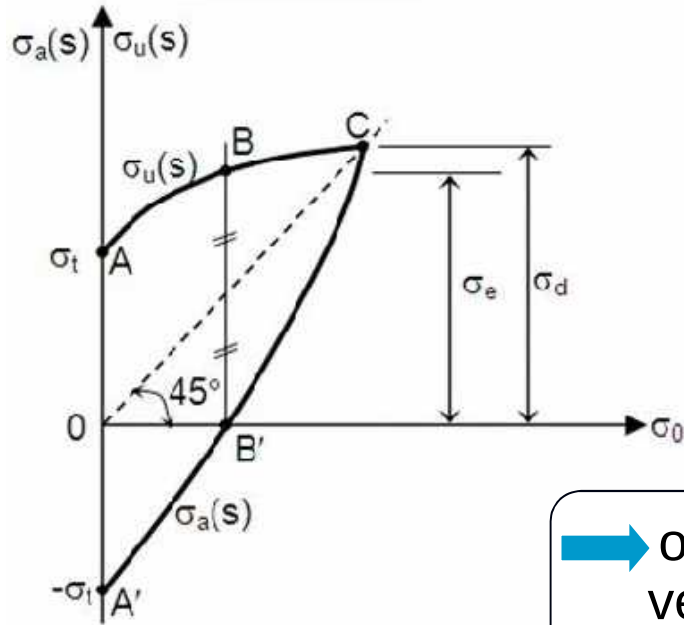
➡ Malzeme sabit gerilme altındadır.

➡ Bu gerilmeyi süresiz olarak taşıyabilir ve bu gerilmeye malzemenin **direnme sınırı** denir.

➡ Bu değer, yük altında sünme olayı yok sayılırsa cismin statik dayanımına eşittir.

➡ Sünme olayı da göz önüne alınırsa bu değer daha da düşer.

SMITH DİYAGRAMI



→ Verilen herhangi bir σ_u ve σ_a değerlerinin sürekli dayanım sınırlarını aşıp aşmadıklarını, aşağıdaki şekilde tayin edebilebilir:

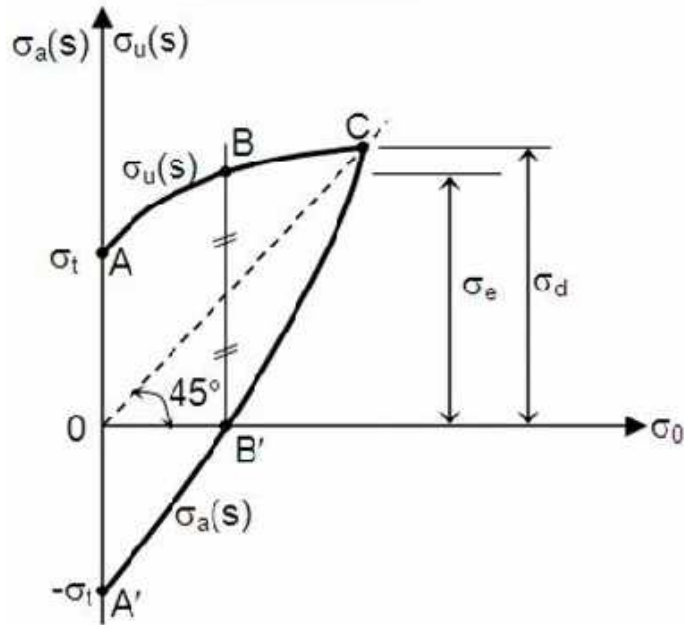
$$\frac{\sigma_u + \sigma_a}{2} = \sigma_o$$

→ olarak ortalama gerilme hesaplanır ve $\sigma_u(s)$ ve $\sigma_a(s)$ sınırları yandaki şekilden bulunur.

$$\sigma_u < \sigma_u(s) \quad \text{ve} \quad \sigma_a > \sigma_a(s)$$

→ arasında ise, bu gerilmeler etkisinde malzeme sürekli dayanım sınırları arasında olup ömrü sonsuzdur, aksi halde belirli bir süre sonra cisimde kopma görülür.

SMITH DİYAGRAMI



➡ Plastik şekil değiştirmeleri önemli olan malzemelerde, sürekli dayanım sınırlarına ait yanda verilen eğrileri biraz değiştirmek gerekir.

➡ Örneğin, çelik gibi malzemede, sınır gerilmeler akma değerine ulaştınca, çatlakların doğması yorulmadan çok plastik şekil değiştirmelerden olur.

➡ Bu gibi durumlarda sürekli dayanım sınırları akma gerilmesiyle sınırlandırılır, diğer bir deyişle akma gerilmesinden daha büyük değerler sınır olarak alınmaz.

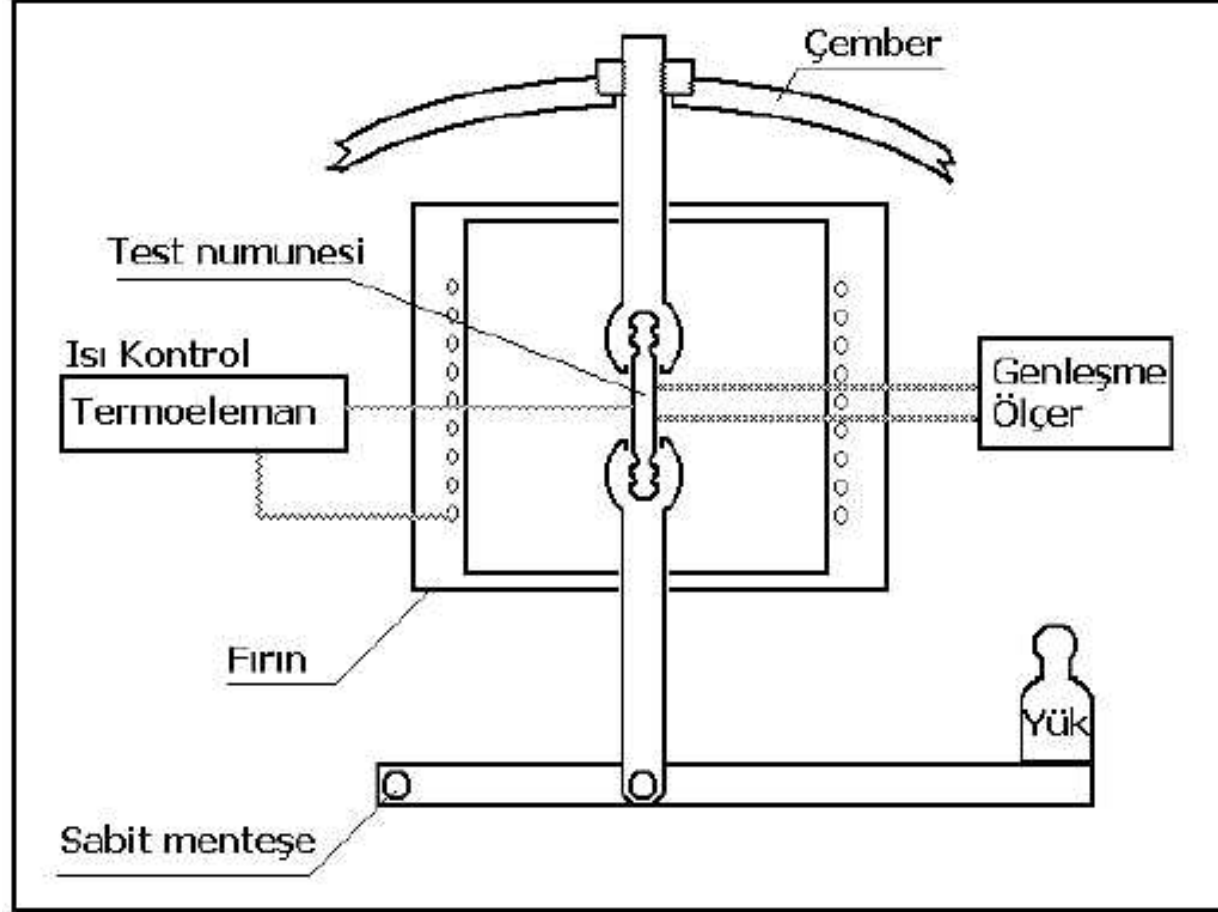
Sürünme dayanımı

Sürünme, sabit basınç veya kuvvet altında genellikle çok küçük hızlarda malzemelerin göstermiş oldukları deformasyona verilen isimdir.

Atomistik süreç sürünmenin hızını belirlediğinden farklı sıcaklıklarda sürünme hızı farklı olmaktadır. Kurşun gibi düşük ergime sıcaklığına sahip metaller hariç malzemelerin oda sıcaklığında ihmal edilebilecek oranda çok düşük sürünme gösterirler. Sıcaklığın yükselmesi ile sürünme hızı artış gösterir. Yaklaşık $0,4T_m$ ve üzeri sıcaklıklarda sürünme hızı önemli oranda artış gösterir.

Sürünme Testi

Sürünme testi genellikle sabit sıcaklıkta ve sabit yük altında yapılır. Malzemenin servis şartlarının daha iyi temsil etmesinden dolayı sabit basınç yerine sabit yük seçilir. Tipik bir sürünme test düzeneği Şekil 1`de verilmiştir [9]. Test malzemesinin her iki yanı sürünmeye dayanıklı özel malzemelerden yapılmış test çenelerine vidalanır. Sıcaklık ve gerinim ölçmek üzere termo-elemanlar (ısı ölçer telleri - thermocouples) ve genleşme ölçerler (extensometers) test edilecek numunenin üzerine bağlanır. Tüm sistem elektrik fırını içerisine alınır ve sistem arzu edilen sıcaklığa kadar ısıtılır. İstenen sıcaklığa ulaşıldığında numunenin bir ucuna sabit yük uygulanır ve zamana bağlı olarak gerinme değerleri ölçülür.



Şekil 1: Tipik sürünme test cihazının şematik görünümü [9] (ref. 859 s.).

Sürünme Eğrileri

Sürünme testi sonrası elde edilen veriler kullanılarak Şekil 2`de verilen tipik sürünme grafiği elde edilir.

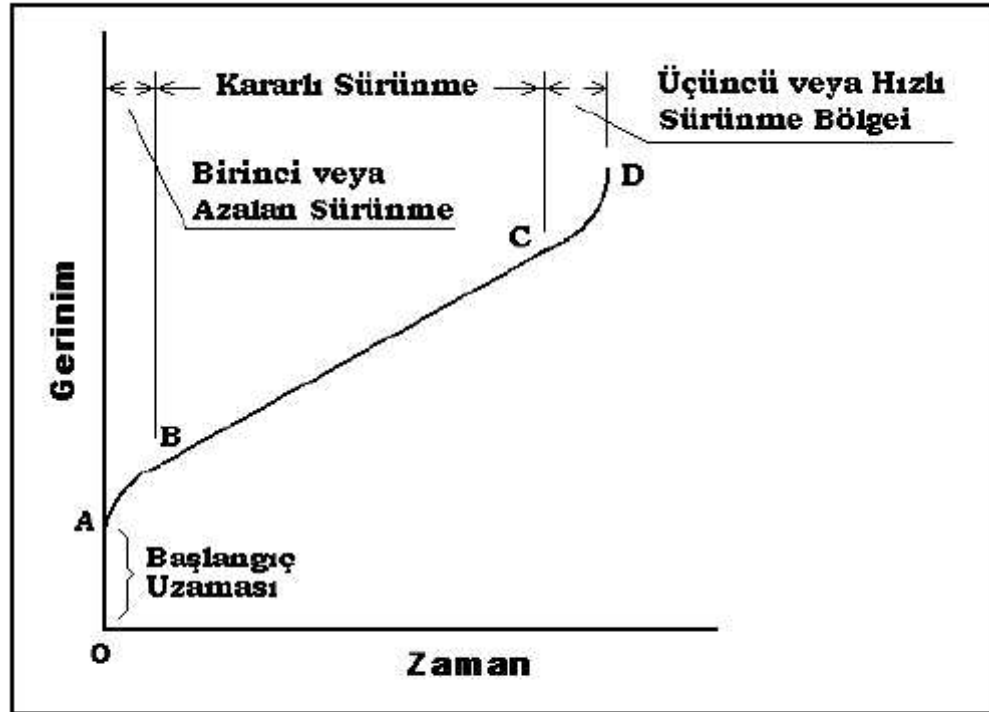


Figure 2: Tipik sürünme eğrisi.

A'dan B'ye olan birinci bölgede sürünmede dislokasyon hareketliliği çok hızlı olmaktadır. Bu bölümde çalışma sertleşmesine bağlı dislokasyon hareketliliğini engelleyen veya zorlaştıran faktörler malzeme içerisinde sürünme hızına azalan şiddete etki edecek şekilde yutabilir (absorb) edebilir. Dolayısıyla birinci bölgede sürünme gerinim artış hızı ilk etapta yüksek ve daha sonrasında hızla yavaşlayarak kararlı sürünme bölgesi olan ikinci aşamaya geçiş yapar. İkinci bölgede (B'den C'ye olan bölge) sürünme gerinim hızının zamana bağlı olarak artış oranı sabit kalmaktadır. İkinci bölgede çalışma sertleşmesi nedeni ile artan dislokasyon hareketliliği neticesi olarak dislokasyon ağları ve yığılmaları rahatlama mekanizmaları olarak ta adlandırılabilen dislokasyon tırmanması ve dislokasyon kayması ile dengelenir ve bu nedenle gerinim artış oranı sabit kalır. Birinci ve üçüncü bölge sürünme gerinmesi artış oranlarının hızlı olması nedeni ile mühendislik tasarımlarında daha çok ikinci bölge dikkate alınmaktadır. C'den D'ye olan üçüncü bölgede iç boşluk oluşumları vuku bulur. Bu ise boyun oluşumu ve buna bağlı olarak gerilim (stres) artışına neden olur ve malzeme son olarak aniden kopabilir.

bölüm 7
ATOM HAREKETLERİ ve
ATOMSAL YAYINIM

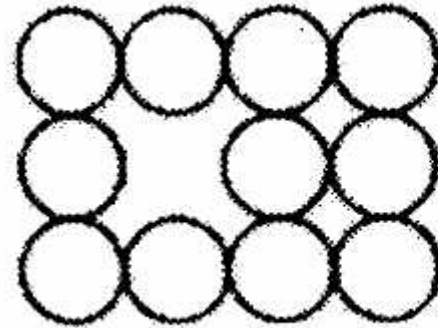
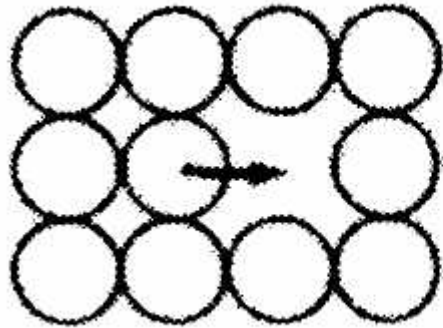
1. Giriş

- Malzemelerde üretim ve uygulama sırasında görülen katılaşma, çökelme, yeniden kristalleşme, tane büyümesi gibi olaylar ile kaynak, lehim, sementasyon gibi işlemler büyük ölçüde atomların kütle içindeki hareketlerine bağlıdır.
- Atomların hareketleri ısı enerjisi etkisinde oluşur ve iki aşamalıdır.

- Birincisi ısı ile atımların kendi denge konumları çevresindeki küçük titreşim hareketleri, ikincisi ise yine aynı etki ile bir denge konumundan diğerine atlayarak yaptıkları uzak mesafe hareketleridir. Bu sonuncuya **atomsal yayılım** veya **difüzyon** denir.
- Katı malzemelerde meydana gelen difüzyon gaz ve sıvılardaki difüzyondan çok daha yavaştır.

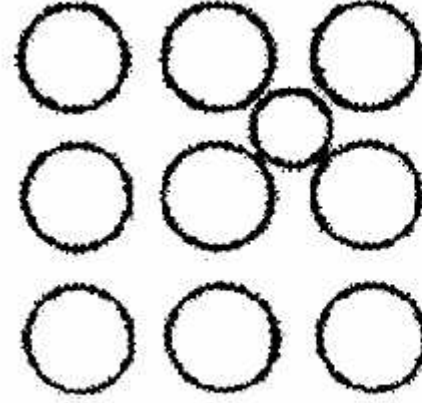
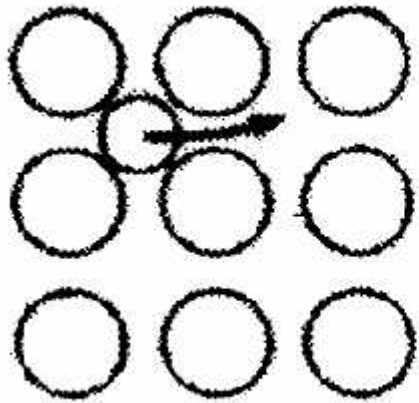
2. Yayılım Mekanizmaları

a) Boşluk yayılımı : Bir atomun yanındaki boşluğu doldurmak için kendi kafesindeki yerini terk etmesidir (bu nedenle orijinal kafes yerinde yeni bir boşluk oluşturur).



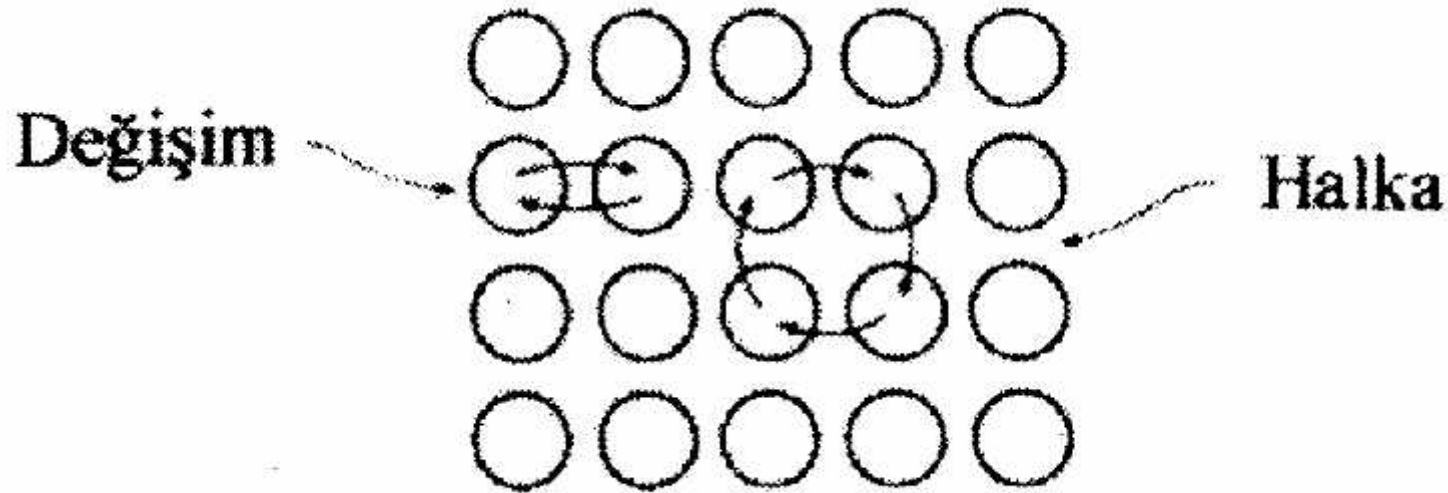
Boşluk

b) Arayer yayınımlı : Kristal yapıda mevcut bulunan küçük bir arayer atomunun bir arayer'den diğer bir arayer'e hareketidir. Bu mekanizmanın gerçekleşmesi için boşluklara gerek yoktur.



Arayer

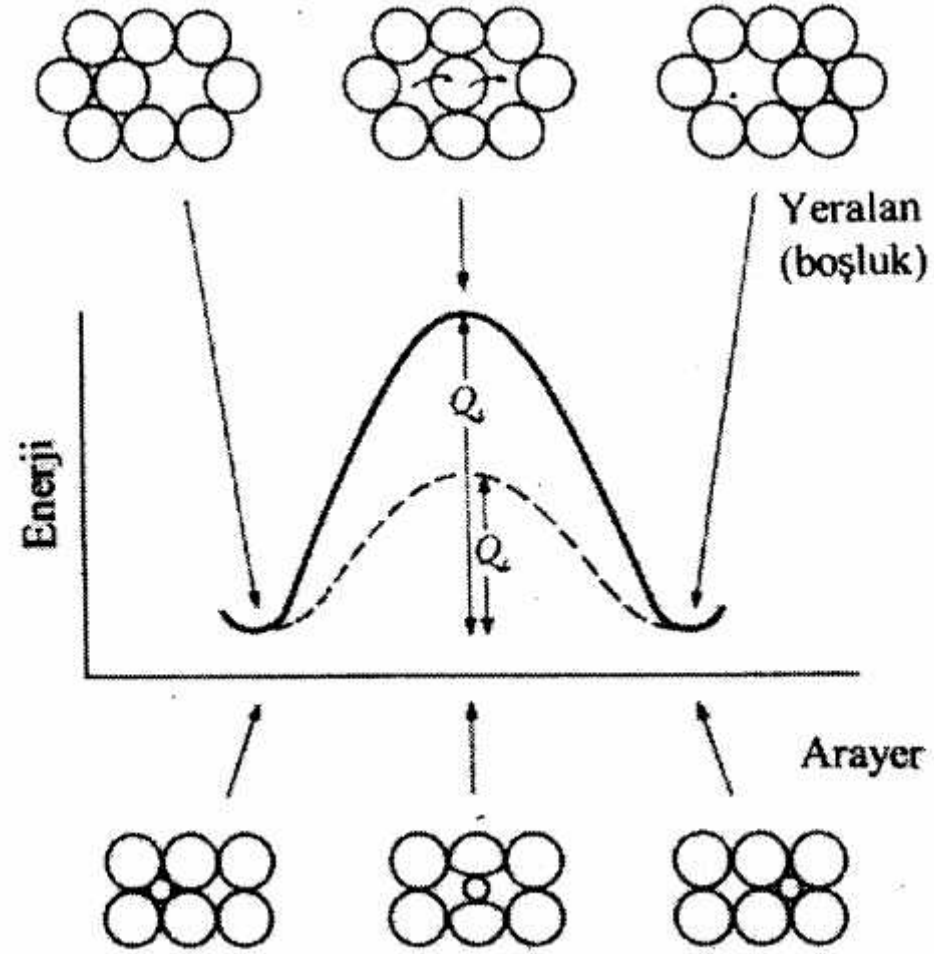
c) Halka yayınımlı : Halka yayınımlı olasılığı düşük olmakla beraber çok ilginçtir. Birbirine değen atomlar aynı anda ve aynı yönde hareket ederek birbirlerinin yerini alabilirler. Bu tür yayınımlar çok büyük enerji gerektirdiğinden ancak ergime sıcaklığına yakın bölgelerde oluşabilir.



Yayınımların çoğu **boşluk** ve **arayer** mekanizmalarıyla gerçekleşir.

3. Yayınım İçin Aktivasyon Enerjisi

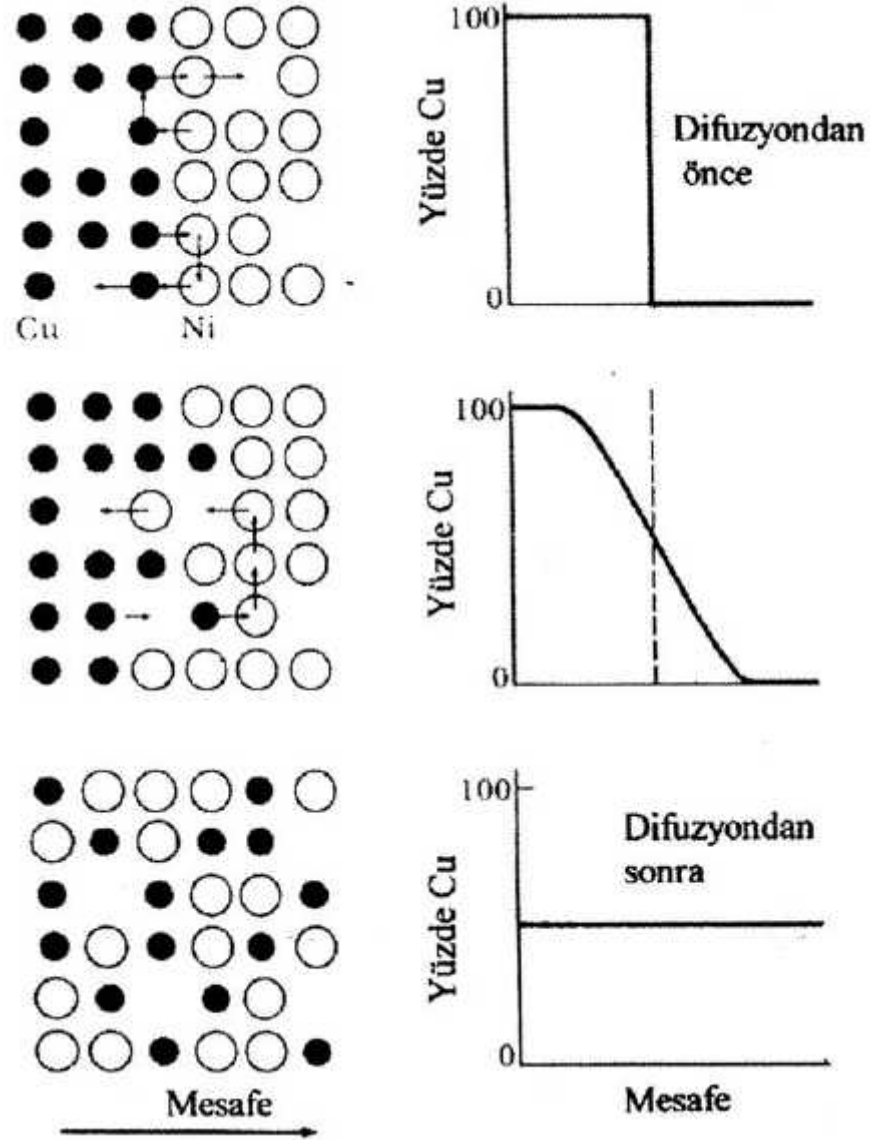
- Hareket eden bir atom yeni yerine ulaşmak için çevre atomlarını sıkıştırarak geçmek zorundadır. Bunun için enerji sağlanmalıdır.
- Yeni bir bölgeye hareket etmek için enerji engelini aşmak zorunludur. Bu enerji **aktivasyon enerjisidir**, **Q** ile gösterilir. Bu enerji sınırını aşmak için atom ısıtılır.



Genellikle yeralan atomların yayılımı için arayer atomlarından daha fazla aktivasyon enerjisine ihtiyaç vardır.

4. Atomsal Yayınım Kuralları

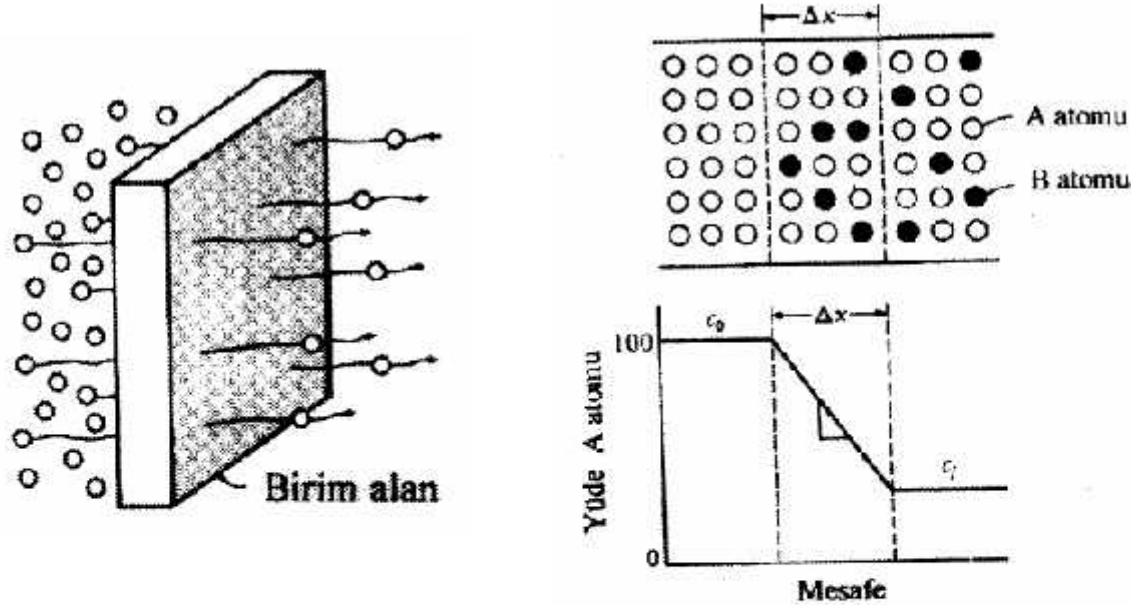
- ❑ Bir yayınım sistemi genellikle bir ana faz (eriten sistem) ile o fazın yapısında hareket eden yabancı atomlardan (eriyen sistem) oluşur.
- ❑ Şekilde Ni kaplanmış Cu kristali görülmektedir. Başlangıçtaki yüzeyde bütün atomlar Ni 'dir. Yüksek sıcaklıkta yeterince uzun beklenirse bakır ve nikel atomları bütün metal boyunca düzenli olarak dağılır.



Şekil- Cu içinde yayılan Ni atomlarının konsantrasyonunun zamanla değişimi.

4.1. Yayınım Hızı (1. Fick kanunu)

Bir malzeme içinde atomların yayılım hızı, birim zamanda birim düzlem alanı boyunca geçen atom sayısı olarak tanımlanan akı “J” ile ölçülebilir. 1. Fick kanunu net atom akısını açıklar.



$$J = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

J : Atomal yayılım akısı (atom/(m²s))

D: yayılım katsayısı (m²/s)

c: atom konsantrasyonu

$\Delta c / \Delta x$: konsantrasyon gradyanı

Konsatrasyon gradyanı yüksek iken başlangıçtaki akısı da yüksektir ve gradyan azalırken düzenli bir şekilde düşer.

- Yayınım katsayısı sıcaklığa, yayınım sisteminin türüne ve yapısına bağlıdır.
- Yayınım olayı hacim yayınımı, yüzey yayınımı ve tane sınırı yayınımı olmak üzere üç çeşittir.

Yayınım katsayısı

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q}{RT}\right)}$$

Burada Q aktivasyon enerjisi (kal/mol), R gaz sabiti (8,314 J / molK) ve T mutlak sıcaklıktır. D_0 ve Q yayınım sistemine bağlı sabitler olup deneysel yolla ölçülebilirler.

Bazı metallerde yayınım sabiti ve
aktivasyon enerjisi

Eriyen	Eriten	D_0 (m^2/s)	Q kkal/mol	Q kj/mol
C	Fe (YMK)	2×10^{-5}	34	142
C	Fe (HMK)	22×10^{-5}	29,3	122
Ni	Fe (YMK)	$7,7 \times 10^{-5}$	67	280
Mn	Fe (YMK)	$3,5 \times 10^{-5}$	67,5	282

- ❑ Küçük atomlar daha kolay yayınır.
- ❑ Belirli bir atom ergime sıcaklığı düşük dolayısıyla atomlararası bağ daha zayıf olan ortamda daha kolay yayınır.
- ❑ Atomsal dolgu faktörü düşük ortamlarda yayılım daha az enerjiyi gerektirir.
- ❑ Düzensiz yapıya sahip ve atom sıklığı tanelere göre daha az olan tane sınırları boyunca yayılım daha kolay oluşur. Bu nedenle faz dönüşümleri ve korozyon olayları tane sınırlarında başlar ve daha hızlı oluşur.

4.2. Kompozisyon Profili (İkinci Fick Kanunu)

İkinci Fick kanunu atomların dinamik veya durağan olmayan hallerini tanımlar.

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2}$$

şeklinde bir diferansiyel eşitliktir. Denklemin çözümü belirli bir durum için sınır kurallarına bağlıdır.

D terimi sabit kaldıkça değişik şartlarda aynı konsantrasyon profili elde edilebilir. Bu özellik, belirli bir ısıl işlemin uygulanması için gerekli zaman üzerine sıcaklığın etkisini belirlemeyi sağlar.

Bölüm 8

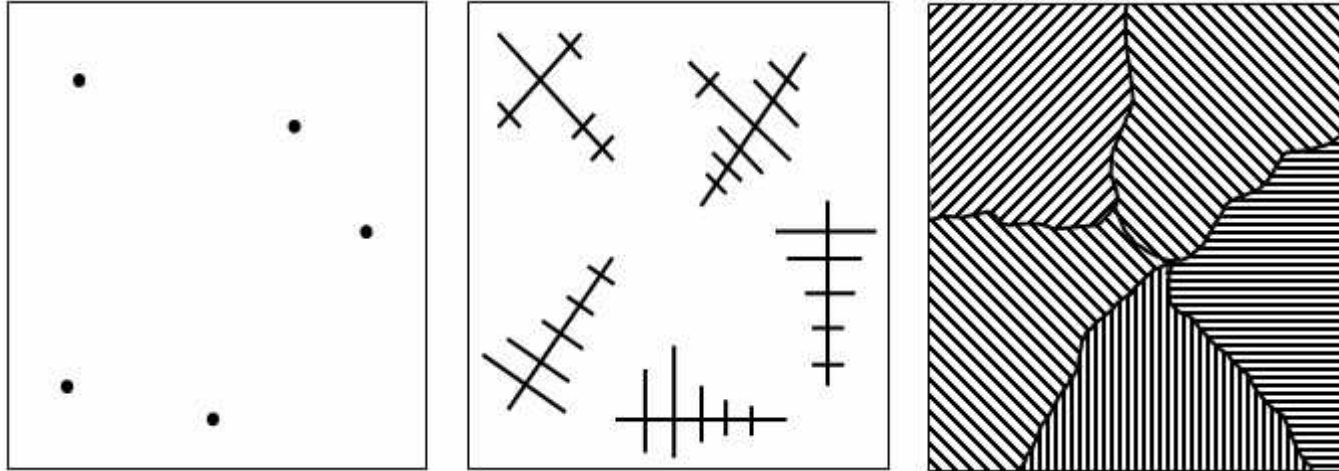
faz diyagramları

KATILAŞMA

- ☐ Alaşımlandırma yani bir metale istenen element veya elementlerin eklenmesi sıvı halde yapılır.
- ☐ Alaşım kalıplara dökülerek ya mamül parça halinde ya da daha sonra şekillendirilmek üzere kütük haline getirilir.
- ☐ Bu safhalar saf metaller için de geçerlidir.
- ☐ Döküm sonrasında malzeme katılaşma veya ergime sıcaklığında sıvı halden katı hale geçecektir.

Katılaşma Olayı

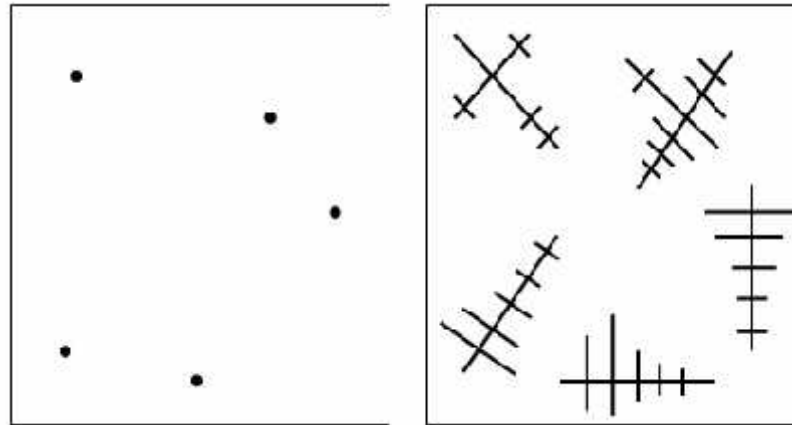
- ❑ Sıvı halde saf bir metal ya da alaşım soğutulmaya bırakılsın. İlk sıcaklık yüksek olduğu için sistem sıvı fazdadır.
- ❑ İlk katılaşma (çekirdek oluşumu) erime sıcaklığında meydana gelecektir. Bu anda ilk olarak katı tanecikler oluşacaktır.



Katılaşma Olayı (Devamı)

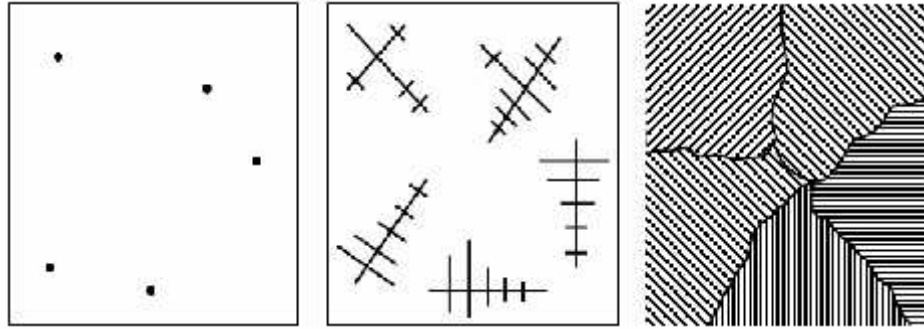
- ❑ Malzemenin bulunduğu ortamın sıcaklığı düşük olduğundan malzemenin sıcaklığının daha da düşmesi beklenir.
- ❑ Ancak katılaşma dolayısıyla sıvıdan dışarıya verilen enerji ısı şeklinde dışarıya atıldığından civarındaki katı ve sıvı ısınacaktır.
- ❑ Bundan dolayı T_{er} denge sıcaklığına kadar yükselir.
- ❑ Eğer etrafındaki sıvı homojen bir sıcaklık alanına sahipse soğuma esnasında katı her yönde homojen büyüme göstereceğinden küremsi bir şekil alır.
- ❑ Sonuç olarak, katılaşma tamamlandığında metalin taneleri küresel olur. Böyle bir yapı tam bir izotropik özellikten dolayı ideal yapı adını alır.

- ❑ Ancak pratikte katılaşma çok büyük bir genelde başka şekilde oluşur.
- ❑ Dışarıya atılan ısı, sıvıda homojen bir sıcaklık oluşturmaz. Dolayısıyla katılaşma sıvının soğuk bölgelerine doğru ilerleyerek katı iğnecikler oluşturur.
- ❑ Sonunda çam dalına benzeyen katılar oluşur ki buna dendrit adı verilir.
- ❑ Dendritler büyüdükçe aradaki sıvı, açığa çıkan ısıнын artması dolayısıyla çok çabuk soğuyamayacağından katılaşma hızı azalır.



Katılaşma Olayı (Devam)

- ❑ Bu sırada dendritler büyümüş ve birbirleri ile temas haline gelmişlerdir.



- ❑ Her bir dendrit farklı yönlerde büyüdüğünden, temas yerlerinde katılaşma tamamlandığında **tane sınırları** oluşur.
- ❑ İrileşmiş dendritlerin arasındaki dendrit boşluklarını doldurarak sonuçta taneler oluşur.

FAZ DENGİ DİYAGRAMLARI

Bir cisim bağ kuvvetleri etkisi altında en düşük enerjili denge konumunda bulunan atomlar grubundan oluşur. Koşullar değişirse enerji içeriği değişir, denge bozulur, atomlar daha düşük enerji gerektiren başka bir denge konumuna geçerek değişik biçimde dizilir ve sonuçta yeni bir faz oluşur.

❑ Maddeler belirli çevre şartlarında bir veya birden fazla faz içerebilirler. Maddenin denge halindeki faz sayısı ve miktarı, maddenin;

- a) Kimyasal kompozisyonuna,
- b) Ortam sıcaklığına,
- c) Ortam basıncına bağlıdır.

❑ Maddenin hangi çevre şartlarında ve hangi kimyasal kompozisyonda ne gibi fazları (denge hali) içerdiği, sıcaklık, kompozisyon ve basıncın değişken alındığı diyagramlarda gösterilir.

❑ Bu diyagramlara **Faz Denge diyagramları** veya **doğrudan denge diyagramları** denir.

Faz diyagramlarının çeşitleri

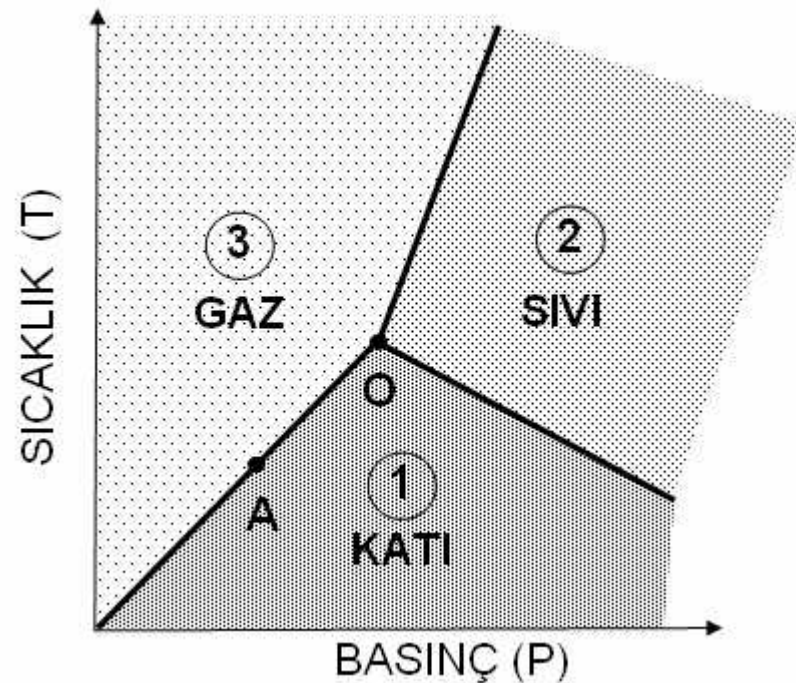
1. Sıvı halde sınırsız çözünen sistem
 - a) Katı halde sınırsız çözünen
 - b) Katı halde kısmen çözünen
 - c) Katı halde hiç çözünmez
2. Sıvı halde kısmen çözünen sistem
 - a) Katı halde kısmen çözünen
 - b) Katı halde hiç çözünmez
3. Sıvı halde hiç çözünme olmayan sistem
 - a) Katı halde hiç çözünme olmaz

Faz Denge Diyagramları (Devam)

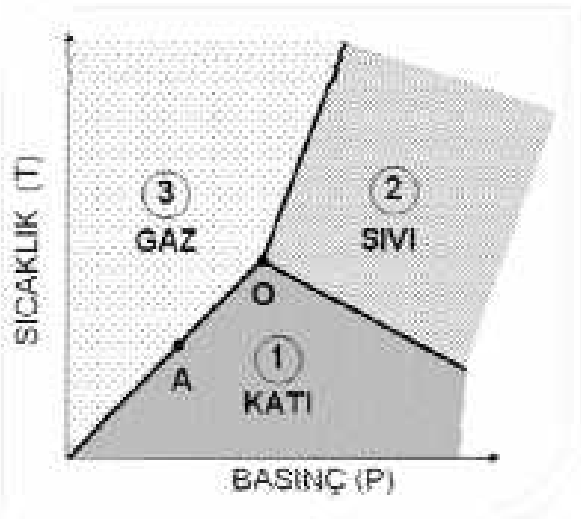
- ❑ Değişik metaller için faz diyagramları çizilip, makina ve metalurji mühendislerine çok yararlı olacak veriler elde edilebilir.
- ❑ Denge diyagramları sistemi oluşturan bileşen sayısına göre 1'li, 2'li, 3'lü ve 4'lü denge diyagramları olabilir.
- ❑ Pratikte en çok 2'li denge diyagramları kullanılır.

Bir bileşenli Denge Diyagramları

- ❑ Saf maddelere ait 1'li diyagramlardır.
- ❑ Bu tip diyagramlarda değişken sıcaklık ve basınçtır.



Bir bileşenli Denge Diyagramları (devam)



- ☐ 1 nolu bölge katı madde bölgesini gösterir.
 - ☐ Diğer bölgeler sıvı ve gaz fazlarını gösteren bölgelerdir.
-
- ☐ Bölgeleri birbirinden ayıran P ve T değerlerindeki şartlarda her iki bölge fazları beraberce denge halinde yer alır.
 - ☐ O noktasında (üçlü nokta) ise her üç faz (katı+sıvı+gaz) beraberce denge halinde bulunurlar.

İki bileşenli Denge Diyagramları

□ İkili denge diyagramları diyagramı oluşturan elementlerin birbirinde çözünme durumuna göre üçe ayrılır.

a) Sıvı ve katı halde birbirinde hiç erimeyen elementlerin denge diyagramları

Örnek: Ag-Ni, Al-Pb, K-Mg, Fe-Pb. Bu tür karışımların pratikte önemi yoktur

b) Sıvı ve katı halde birbirinde kısmen eriyen elementlerin denge diyagramları

Örnek:

Pb-Zn

c) Sıvı halde birbirlerinde tamamen eriyen elementlerin denge diyagramları

Bunları da üçe ayırmak mümkündür.

İki bileşenli Denge Diyagramları (devam)

c) Sıvı halde birbirlerinde tamamen eriyen elementlerin denge diyagramları

c1) Katı halde birbiri içinde tamamen eriyen elementlerin denge diyagramları

Örnek: Cu-Ni, Fe-Ni

c2) Katı halde birbiri içinde kısmen eriyen elementlerin denge diyagramları

Örnek: Pb-Sb, Cu-Zn, Pb-Sn, Cr-Ni

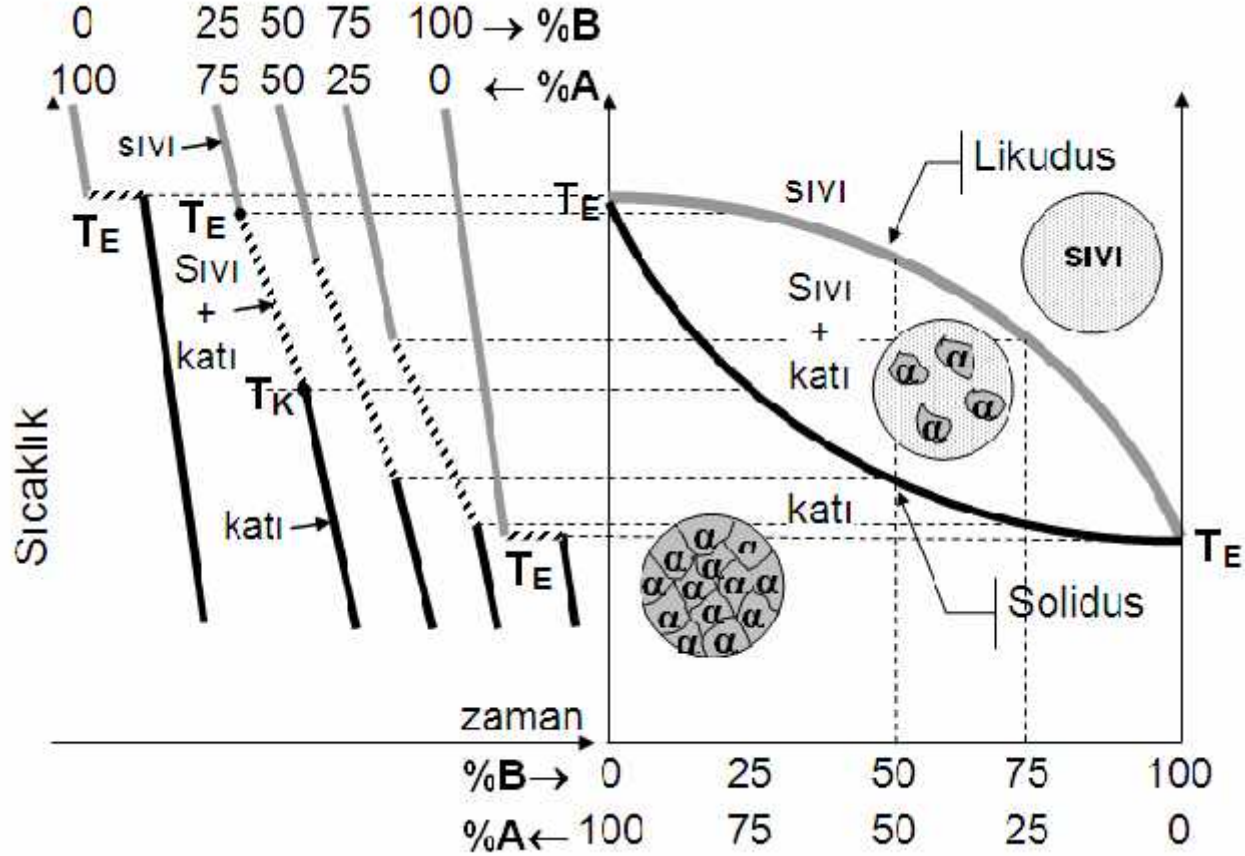
c3) Katı halde birbiri içinde hiç erimeyen elementlerin denge diyagramları

Örnek: Bi-Cd, Sn-Zn, Al-Sn, Bi-Cu

Sıvı ve Katı Halde Tam Çözünürlük

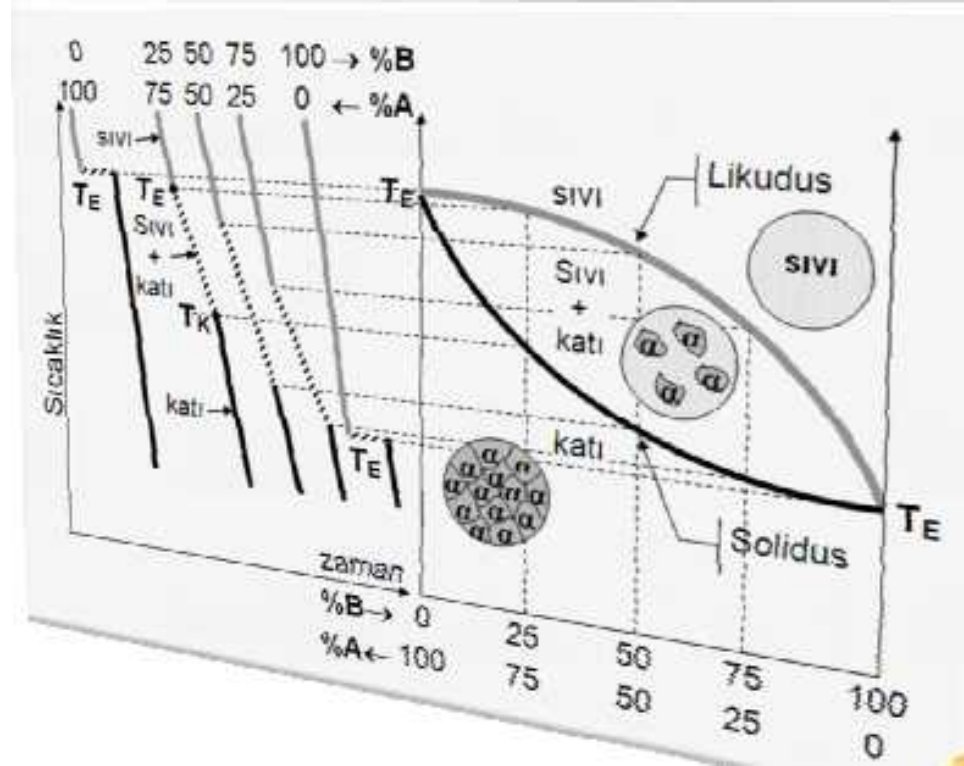
- ❑ **Alaşımları meydana getiren elementler sıvı ve katı halde birbirlerini tam olarak eritebiliyor ise bu tip denge diyagramları oluşur.**
- Normal şartlar altında saf bir madde tek bir ergime sıcaklığında (TE) erir veya katılaşır.
- Ancak birbiri içinde tamamen eriyebilen iki madde karıştırıldığında oluşan alışımda ergime ve katılaşma A elementinin ergime sıcaklığı (TEA) ile B elementinin ergime sıcaklığı (TEB) arasındaki sıcaklarda meydana gelir.
- Bu aralık karışımı oluşturan maddelerin konsantrasyonuna göre değişmektedir.
- Alışımların faz diyagramlarının belirlenmesi için değişik konsantrasyonlarda alışımlar hazırlanarak ergime ve katılaşma noktaları belirlenir.

Sıvı ve Katı Halde Tam Çözünürlük



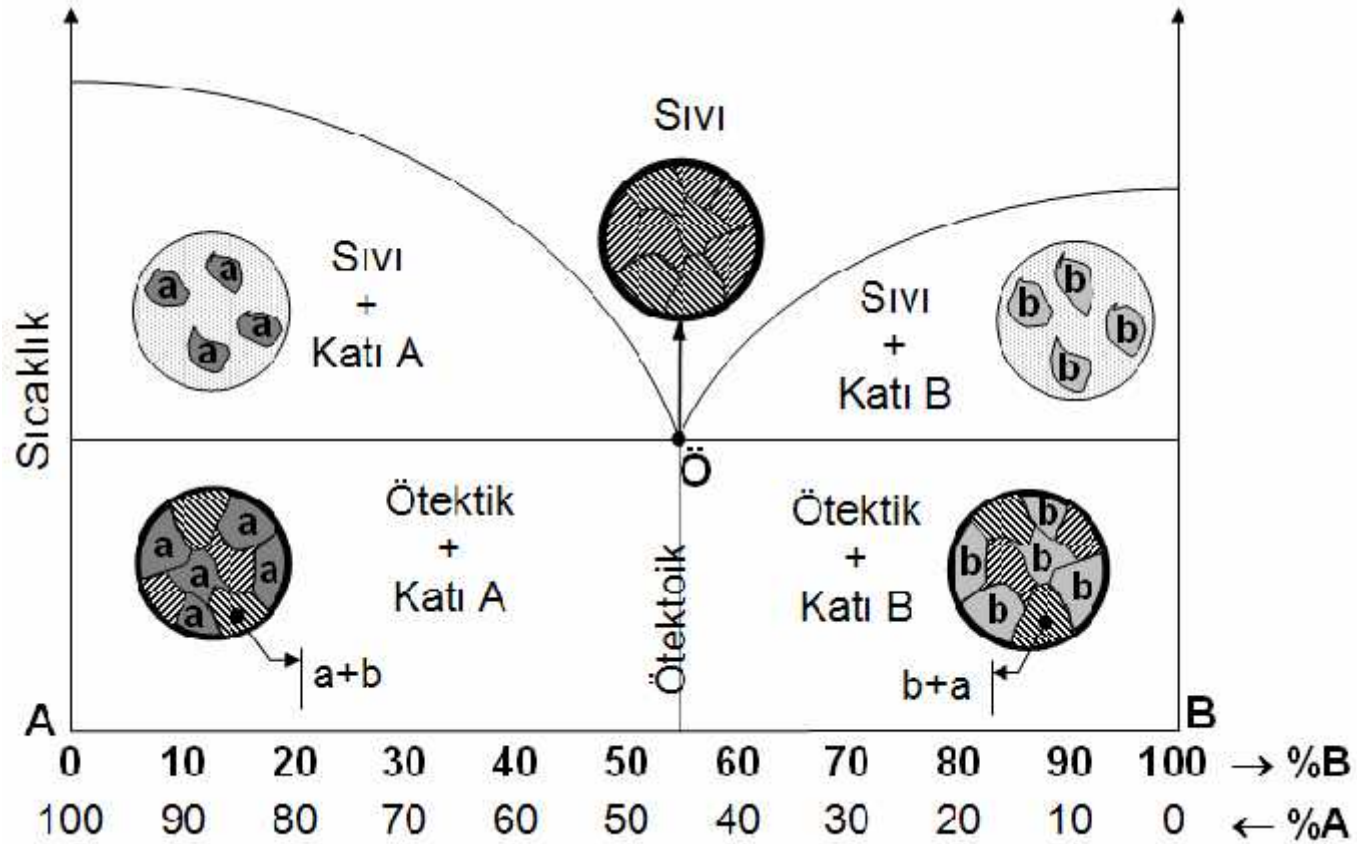
Bu denge diyagramında sıvı, katı, sıvı+katı fazlar ile bu fazlara ait sınırlar **likudus** ve **Solidus** görülmektedir.

Sıvı ve Katı Halde Tam Çözünürlük



Katı faz, birbiri içinde tamamen eriyen A ve B maddelerinin oluşturduğu katı eriyikten (α) meydana gelmiştir. Maddeler birbiri içinde tamamen eridiğinden dolayı katı (α) tanelerinde sadece tane sınırları görülebilir.

Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Tam Çözünmezlik

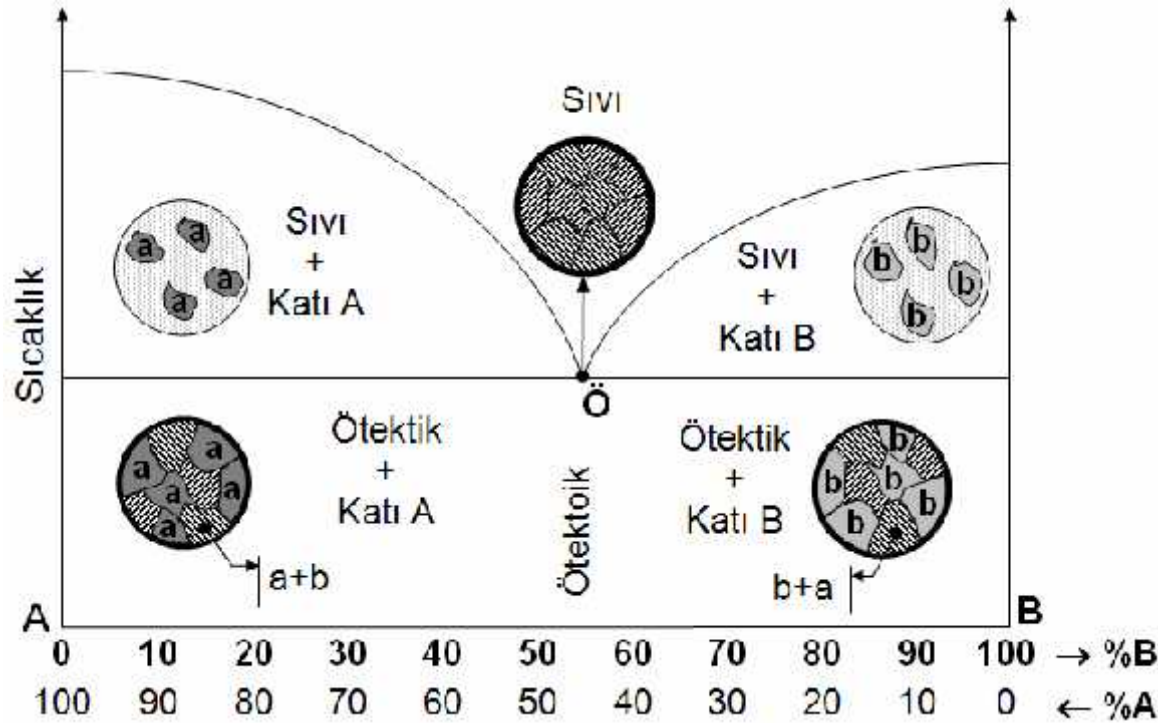


A içindeki B veya B içindeki A miktarı arttıkça katılaşma sıcaklığı düşmektedir.

Ö noktasında Likudus eğrileri kesişmektedir.

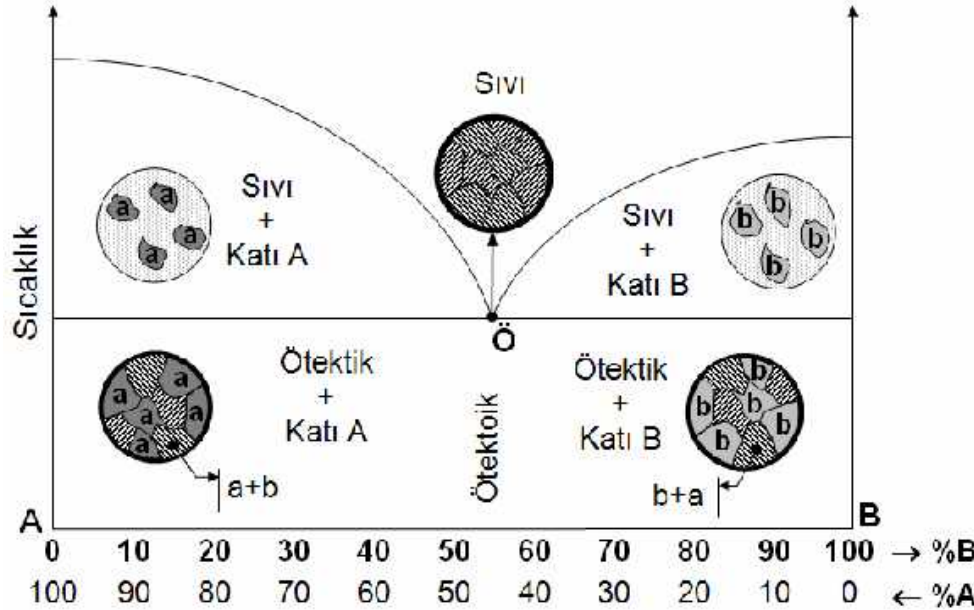
Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Tam Çözünmezlik

Bu noktada alaşım saf elementler gibi davranarak T_0 sıcaklığında katılaşmaktadır.



Bu düzen genellikle katmanlı veya spiral biçiminde yan yana dizilme şeklinde olur. Bu görünüm nedeniyle bu yapıya "**güzel şekilli**", "**iyi yapılı**" anlamında **ötektik** ismi verilmiştir. Bu alaşıma da ötektik alaşım denilir.

Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Tam Çözünmezlik



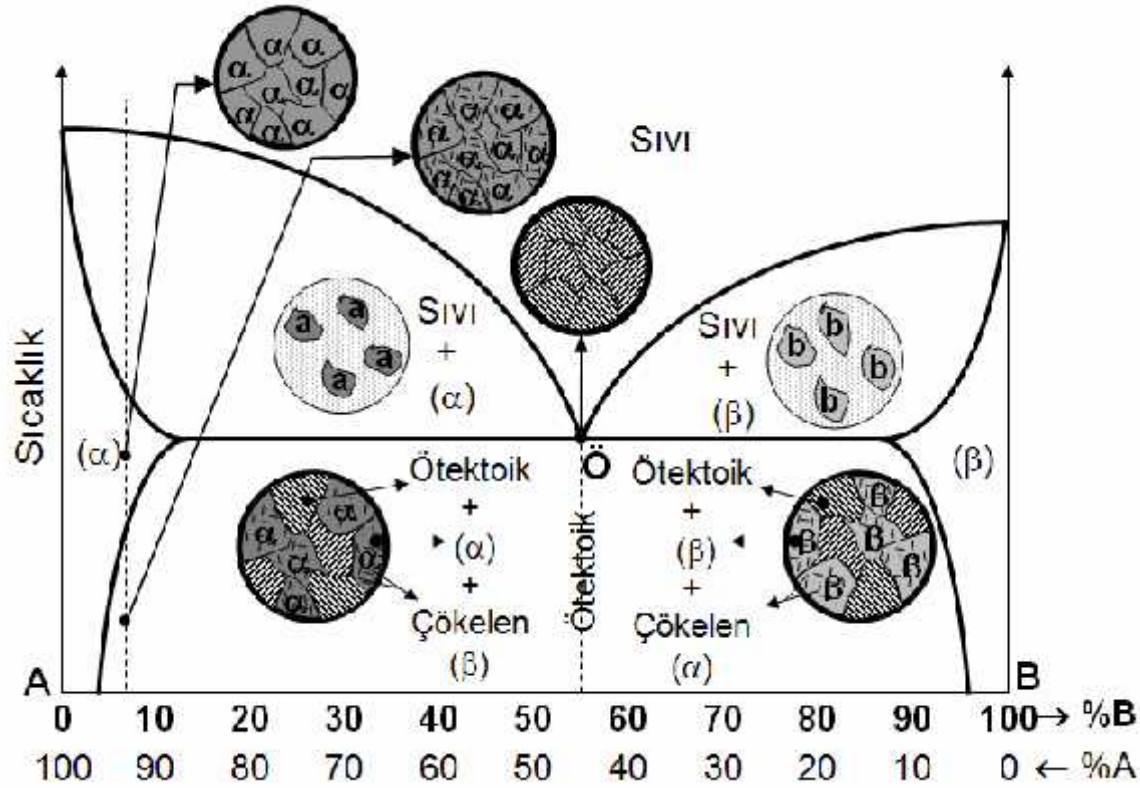
Katılaşma esnasında, ötektik alaşımın solunda kalan alaşımlarda ilk önce A, sağında kalan alaşımlarda ise ilk önce B katılaşır.

Sıvının içindeki sırasıyla B ve A miktarları da artar. Geriye kalan sıvı ötektik konsantrasyona gelince ötektik yapı oluşur.

Bu ötektik yapı, katılaşma sıcaklığı küçük olması nedeniyle çekirdeklenme hızı yüksektir.

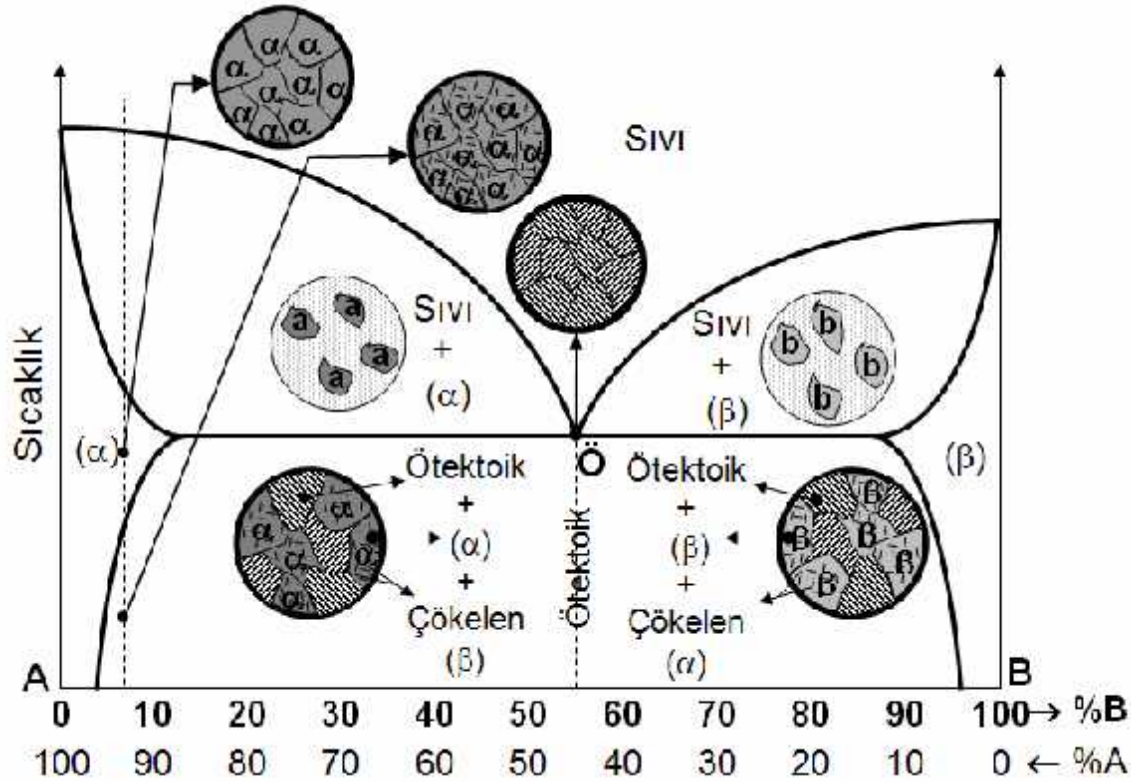
Bundan dolayı ötektik alaşım ince tanelidir.

Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük



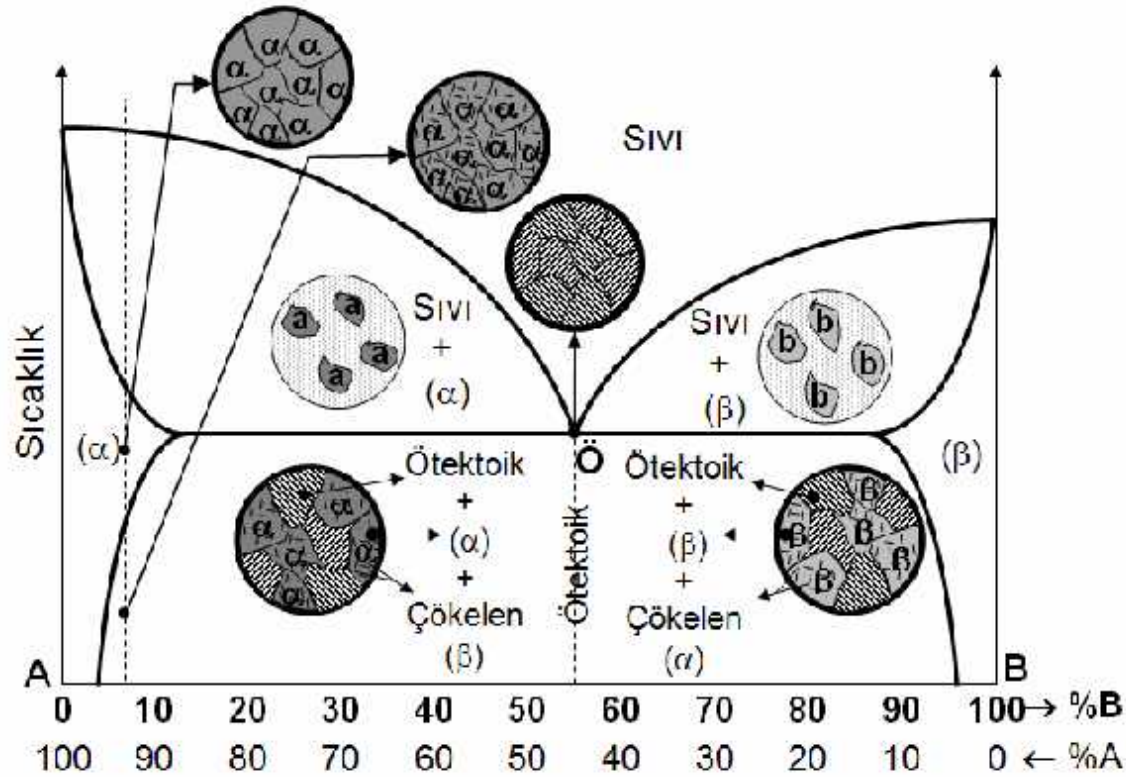
Bu denge diyagramlarının ikinci tip denge diyagramlarından farkı, A bileşenin belirli bir B çözebildiği, α bölgesi ve B bileşenin belirli bir A çözebildiği, β bölgesinin bulunmasıdır

Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük



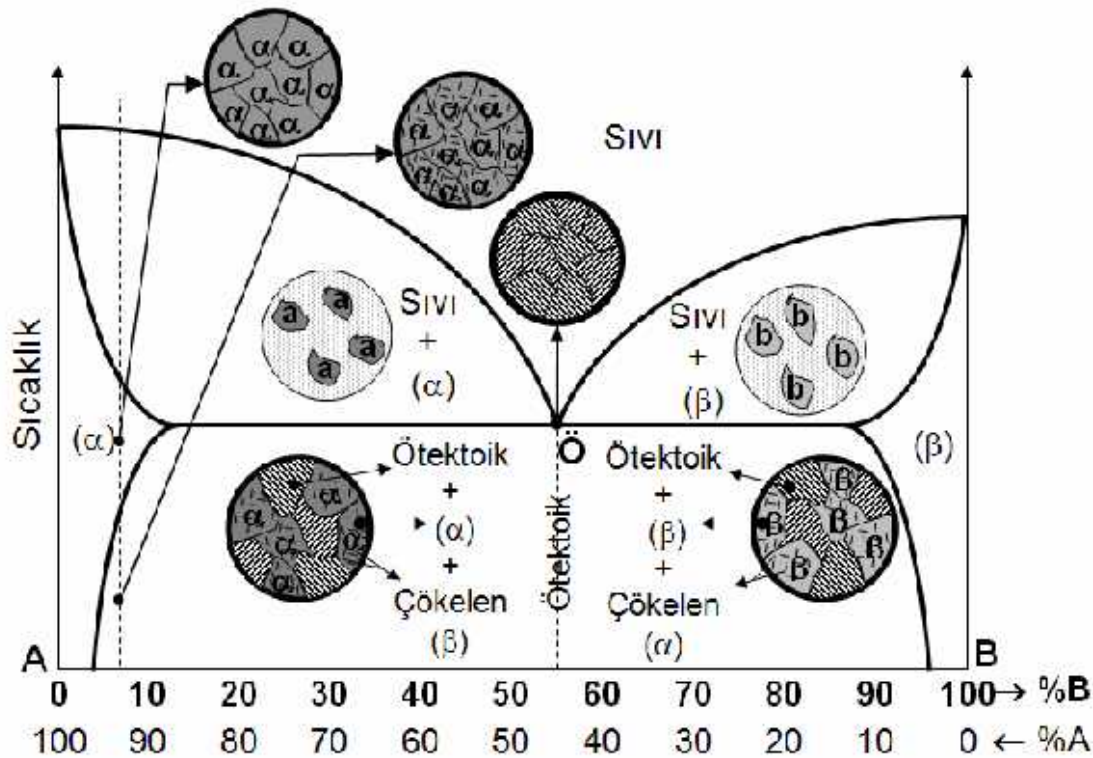
Çözünürlük, sıcaklığın artması ile arttığı için, ötektik sıcaklıkta en büyüktür.

Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük



Oda sıcaklığındaki çözünürlük sınırının üstünde A ve B içeren α ve β fazları, oda sıcaklıklarına soğur iken çözemedikleri A ve B'yi kristal dışına atarak B'ce zengin β çök ve A'ca zengin fazları α çök oluşur.

Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük



Bu ayrışma olayına çökeltme denilir.

Çökeltme olayında difüzyon söz konusudur.

Difüzyonun olması için yeterli zaman verilmeden hızlı bir soğutma yapılır ise aşırı doymuş bir kararsız yapı meydana gelir.

Bölüm 9

demir-karbon alaşım sistemi

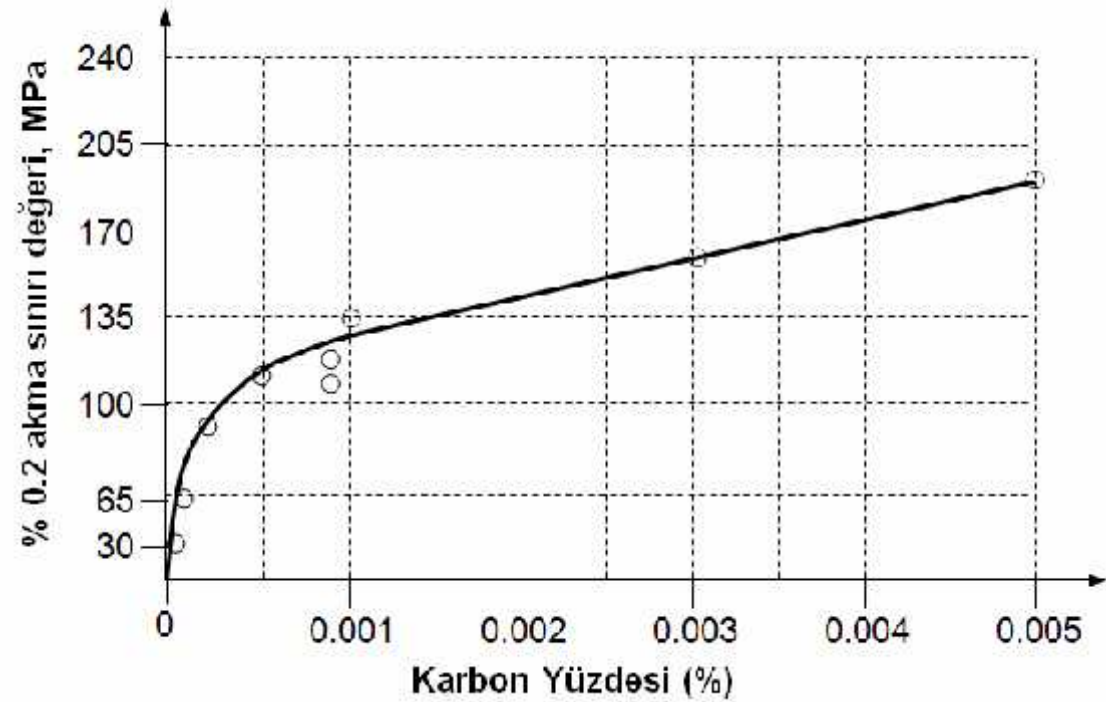
Demir – Karbon Denge diyagramı

- ❑ Mekanik özelliklerini değiştirmek amacıyla demire değişik elementlerle alaşım yapılır.
- ❑ Bu amaca yönelik olarak en çok karbon kullanılır.
- ❑ Demiri en çok etkileyen alaşım elemanı karbondur.
- ❑ Demir karbon alaşımı olan çelik, tüm demir kökenli malzemenin en çok kullanılanıdır.
- ❑ Genellikle karbon oranının belirli bir yüzdeye kadar artması ile alaşımın dayanım ve sertlik gibi özellikleri doğru orantılı olarak artar. **Ancak bazı özellikleri de örneğin duktilite ve enerji yutabilme yeteneği azalır.**

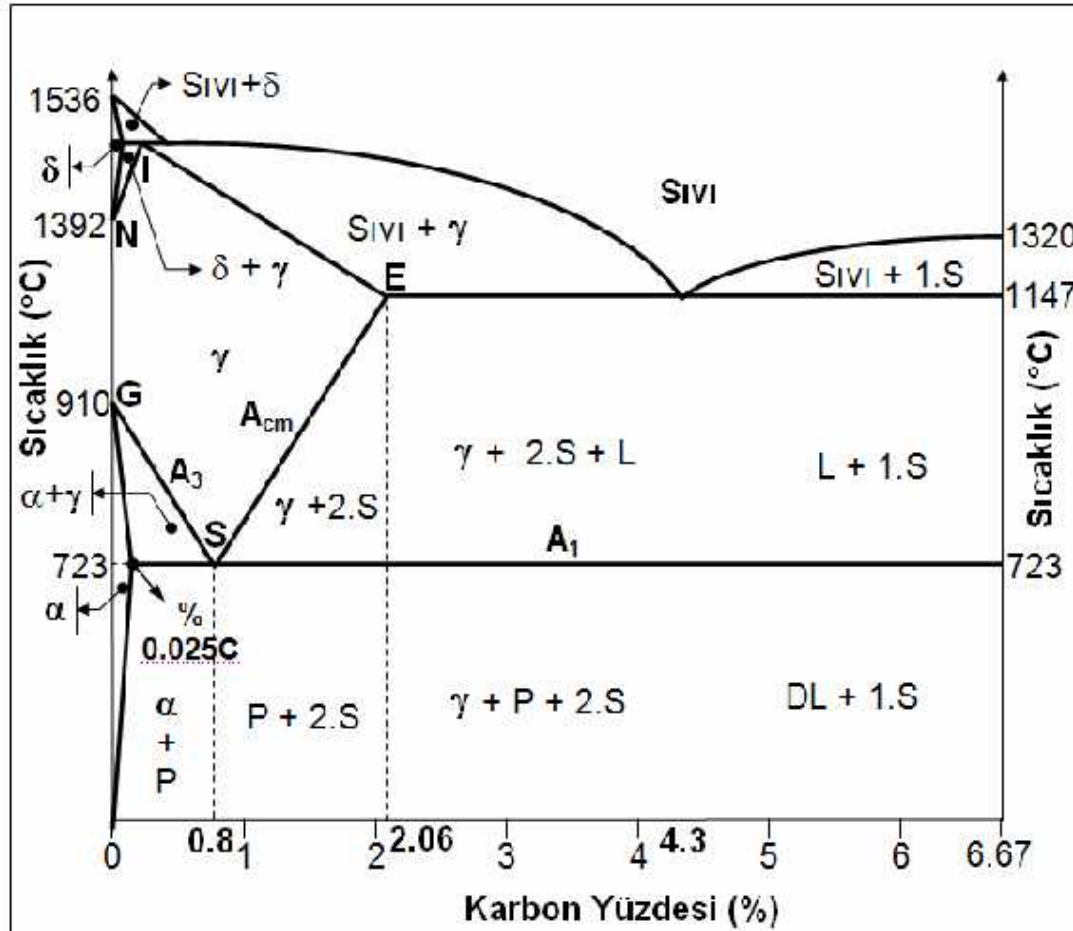
Demir – Karbon Denge diyagramı

Saf demir 30 MPa (N/mm²) gibi oldukça düşük akma dayanımı değerine sahiptir.

Demirin içersine az miktar karbon ilavesi bile akma Dayanımını değerini önemli bir şekilde artırır.



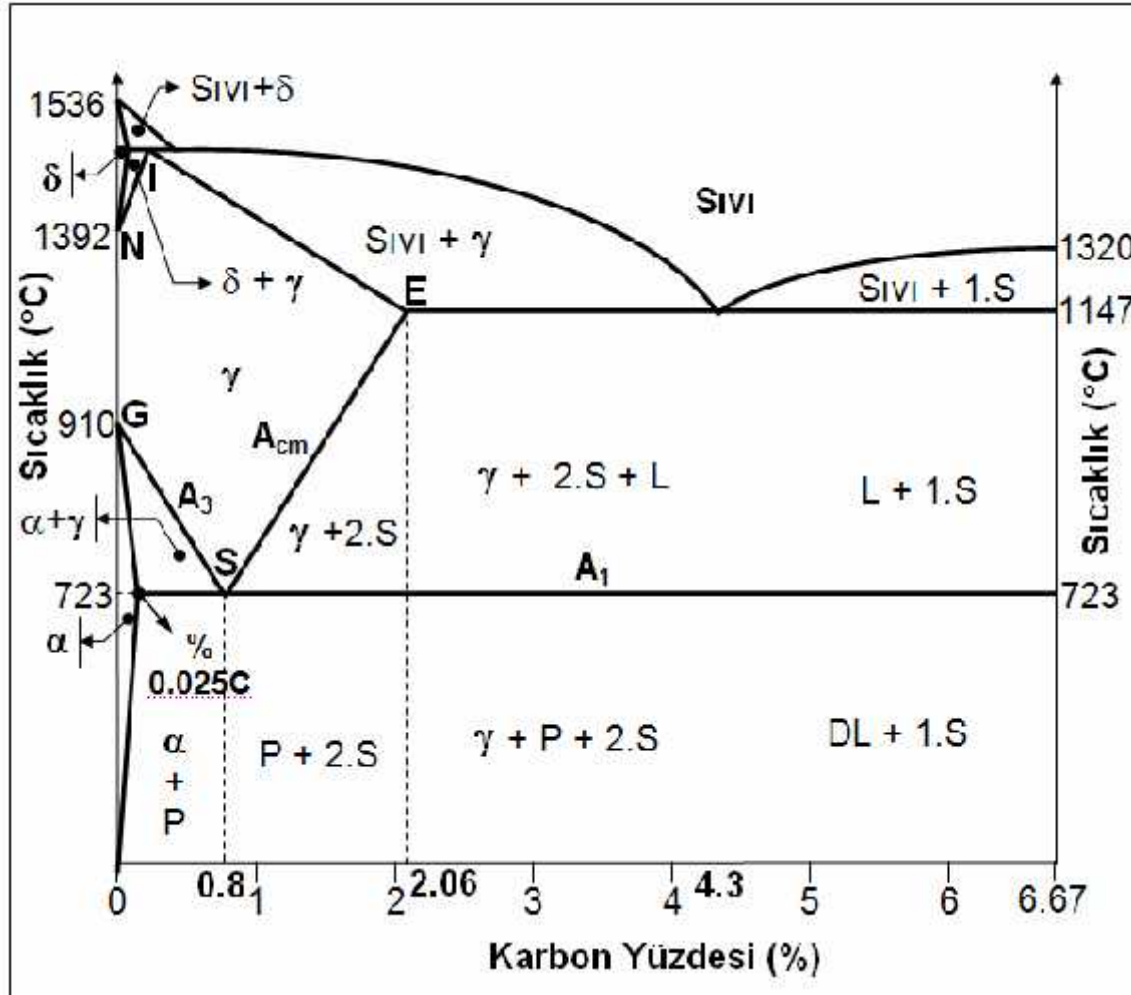
Demir – Karbon Denge diyagramı



Demir-karbon alaşımlarının değişik sıcaklıklardaki iç yapılarını gösteren faz diyagramında, sistemin sıvı halden, katı hale geçinceye kadar uğradığı değişiklikler görülmektedir.

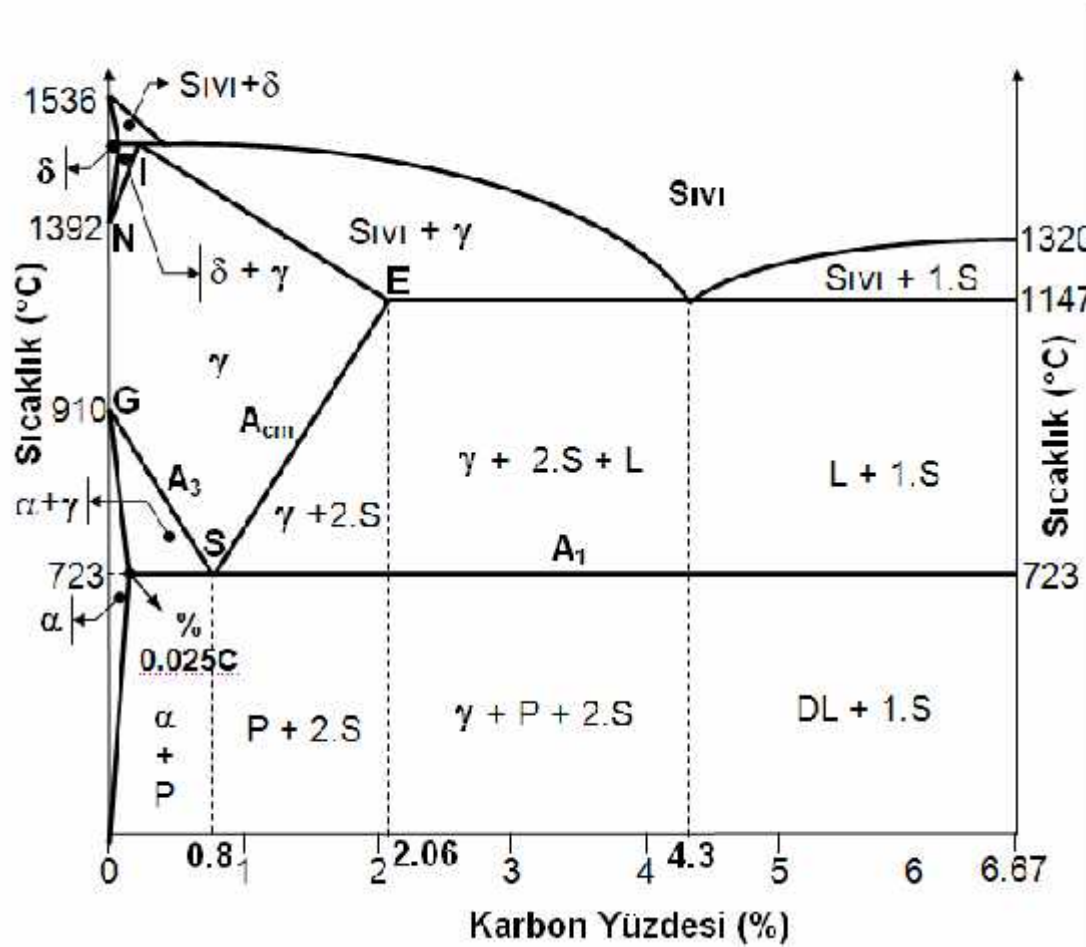
- | | | | |
|-----------------|--|-------|----------------------------|
| 1.S | : Birincil sementit | L | : Ledeburit |
| 2.S | : İkincil sementit | DL | : Dönüşmüş Ledeburit |
| GS | : A ₂ sıcaklığı | P | : Perlit |
| SE | : A _{cm} sıcaklığı | 723°C | : A ₁ sıcaklığı |
| A ₁ | : Isıtırken ostenitin oluşmaya başladığı sıcaklık | | |
| A ₂ | : Ökteoit altı çeliklerde, ısıtırken ferritin ostenite dönüşümün tamamlandığı sıcaklık | | |
| A _{cm} | : Ökteoit üstü çeliklerde, ısıtırken, sementitin ostenite dönüşümün tamamlandığı sıcaklık. | | |

Demir Karbon Denge Diyagramındaki Fazlar



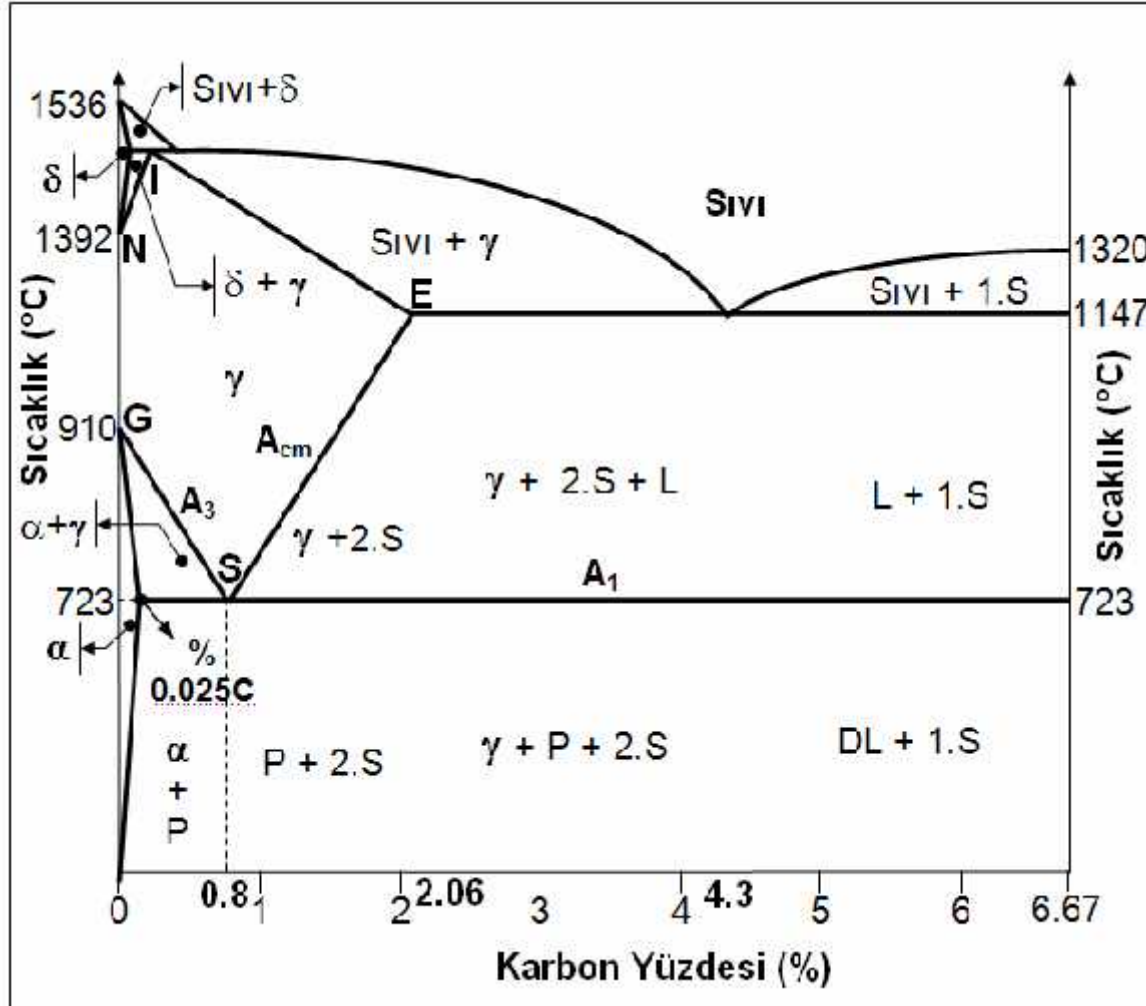
Denge diyagramları aslında alaşım bünyesinde oluşan oldukça karmaşık olayları açıklamaya yarar. Sıvı halden soğuyup katılaşıncaya kadar geçen süre içinde alaşımın bünyesinde önemli değişiklikler olur. Polimorfik veya allotropik reaksiyonlar şeklinde gelişen bu değişiklikleri faz diyagramları üzerindeki eğriler yardımıyla izlemek mümkün olabilir.

Demir Karbon Denge Diyagramındaki Fazlar



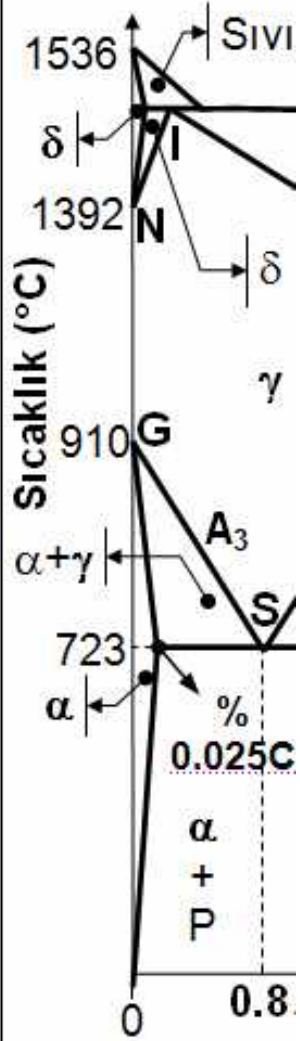
Atomların bulundukları yerlerden çok az miktarda hareket etmesi sonucu oluşan bu reaksiyonların tamamlanabilmesi için belirli bir süre gerekir. Bu süre içinde atom bağları kopar, atomlar yer değiştirir ve yeni bağlar kurulur. Bu olayların süresi ortamın sıcaklık derecesi ile yakından ilişkilidir.

Demir Karbon Denge Diyagramındaki Fazlar



Katı cisim içinde meydana gelen bu reaksiyonlarda kristal yapıda değişimler olduğundan, cismin hacmi ve yoğunluğu da değişir.

Ferrit



Ferrit: Karbonun α demiri içinde erimesi sonucu oluşan katı eriyiğe **ferrit** adı verilir.

Karbon bu eriyik içinde en fazla 723 °C'de (A₁sıcaklığı) % 0.025 kadar eriyebilir.

Sıcaklık derecesinin düşmesine bağlı olarak bu oranda azalır. Oda sıcaklığında ise bu oran % 0.005'tir.

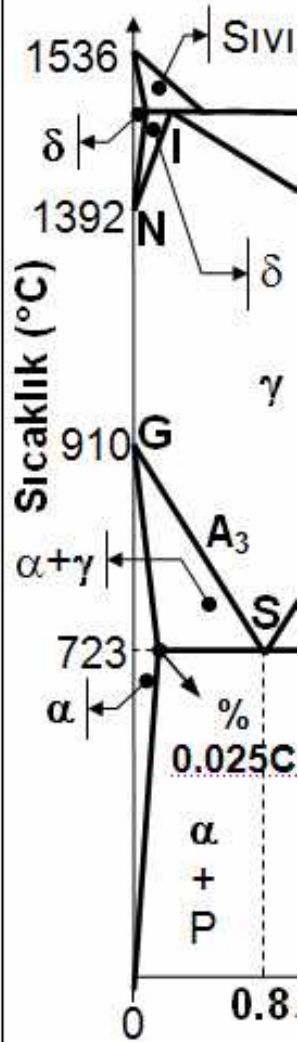
Ferritin çözemediği karbon kristalin dışına atılır ve **sementit** oluşur.

Ferritten ayrılan seментite **tersiyer seментit** denilir.



Ferritin Mikroskop altındaki görünümü

Ostenit



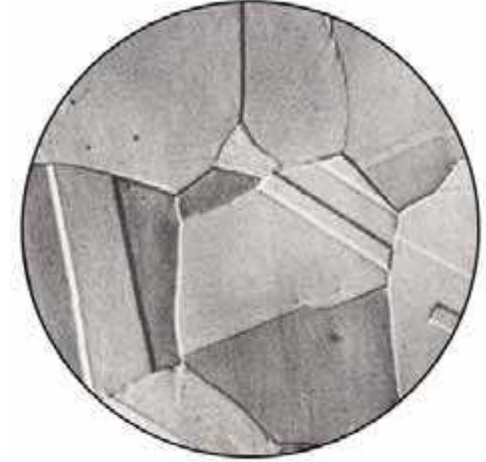
Karbonun γ demiri içinde erimesi sonucu **ostenit** oluşur.

Karbon bu eriyik içinde ötektik sıcaklık olan 1147 °C'de en fazla % 2.06 oranında eriyebilir.

Çeliğin sıcak şekillendirme ve ısıtma işlemlerin pek çoğu ostenit fazında yapılır.

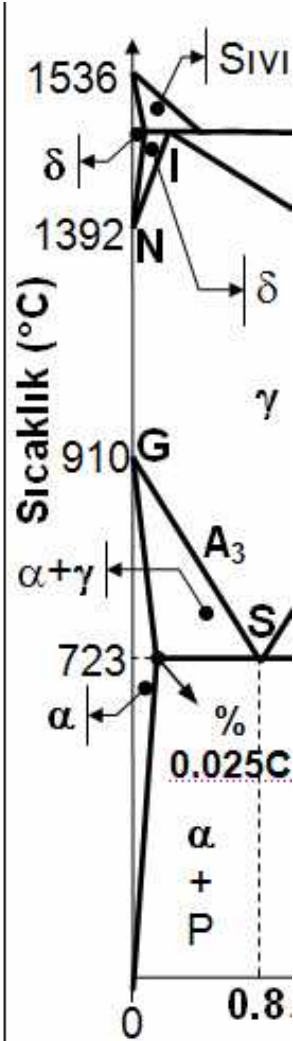
Ostenit fazından, soğuma hızına bağlı olarak çok değişik mikroyapılar meydana gelir.

Kristalin dışına atılan karbon sementit oluşturur. Ostenitten oluşan bu sementite, 2. sementit (sekonder sementit) denilir.

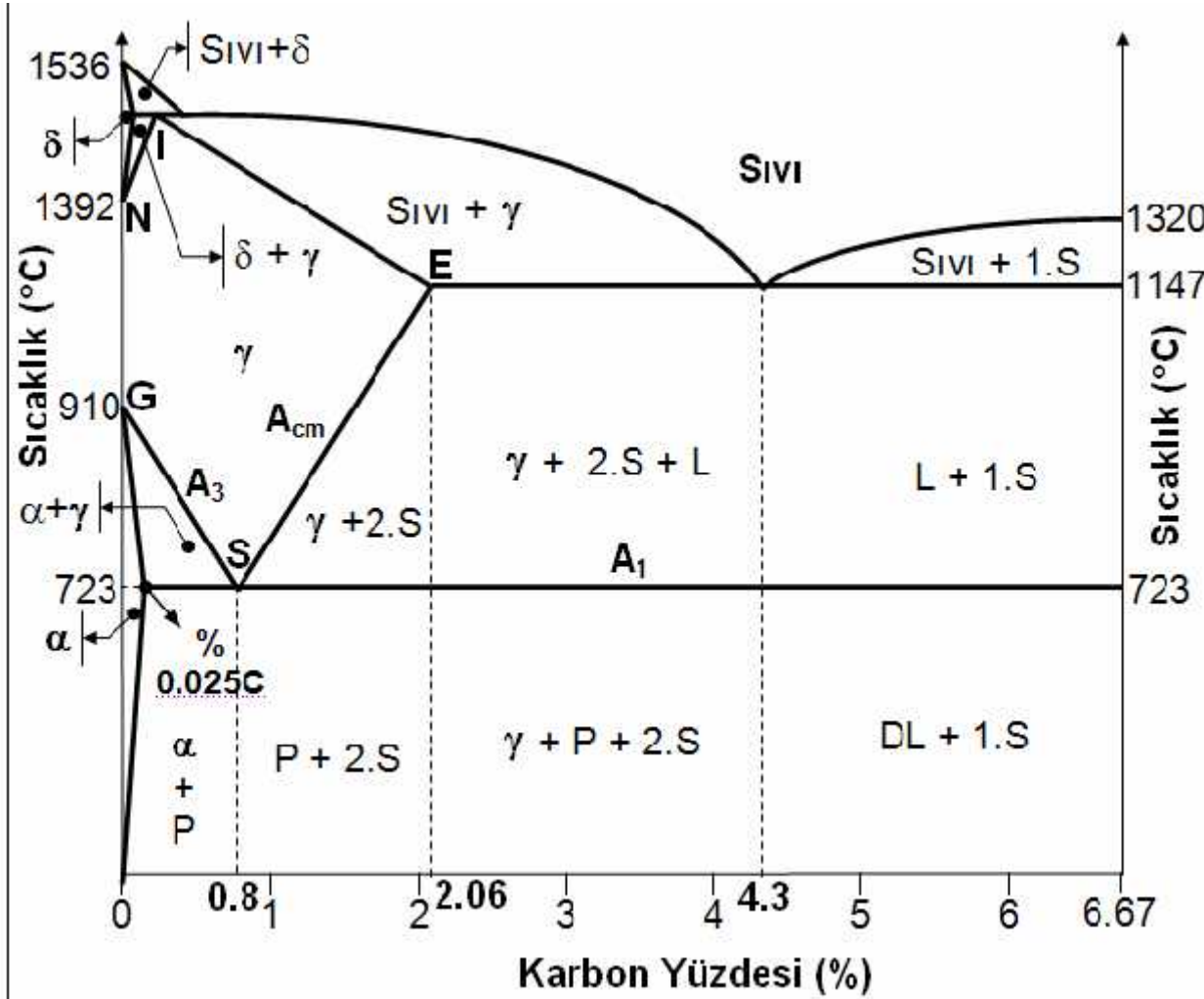


Ostenitin mikroskop altındaki görünümü

δ demiri:

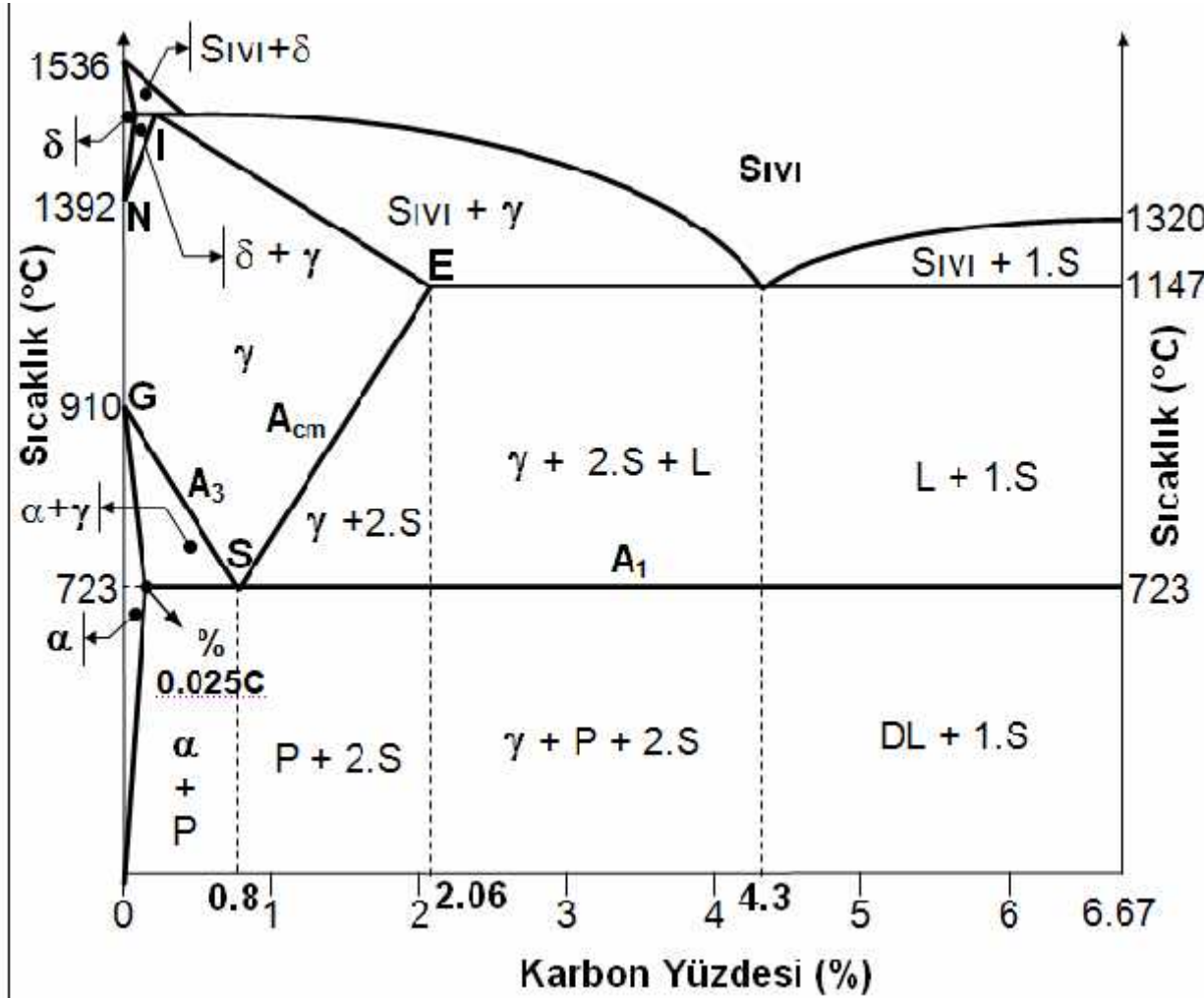


Özel bir adı ve teknik bir önemi yoktur;
en çok 1493°C de % 0.08 karbon eritebilir.

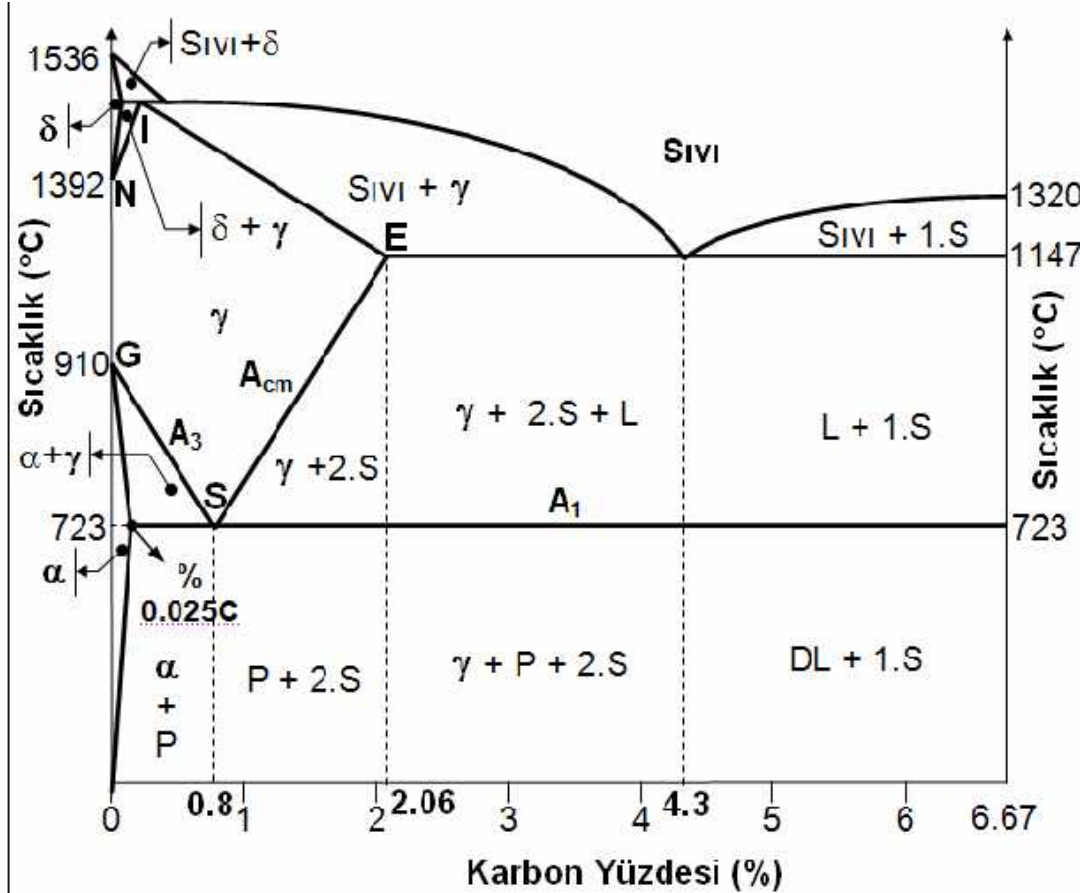


Diyagramdan görülebile-ceği gibi, NIE eğrisinin üst kısmında alaşım sıvı haldedir.

En düşük derecesi 1147°C olan bu eğriye ulaşan değerlerde alaşım katılaşmaya başlamaktadır. Soğumanın devamı halinde allotropik değişimler başgösterir.



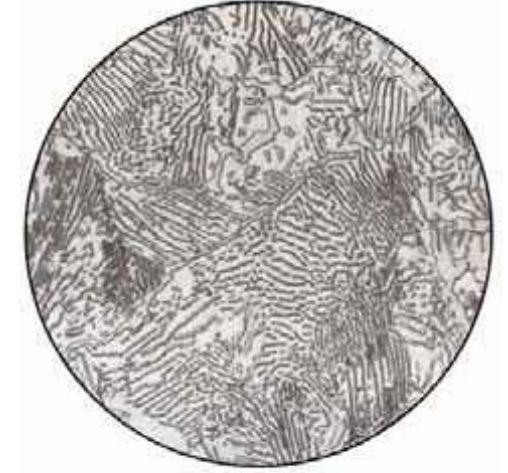
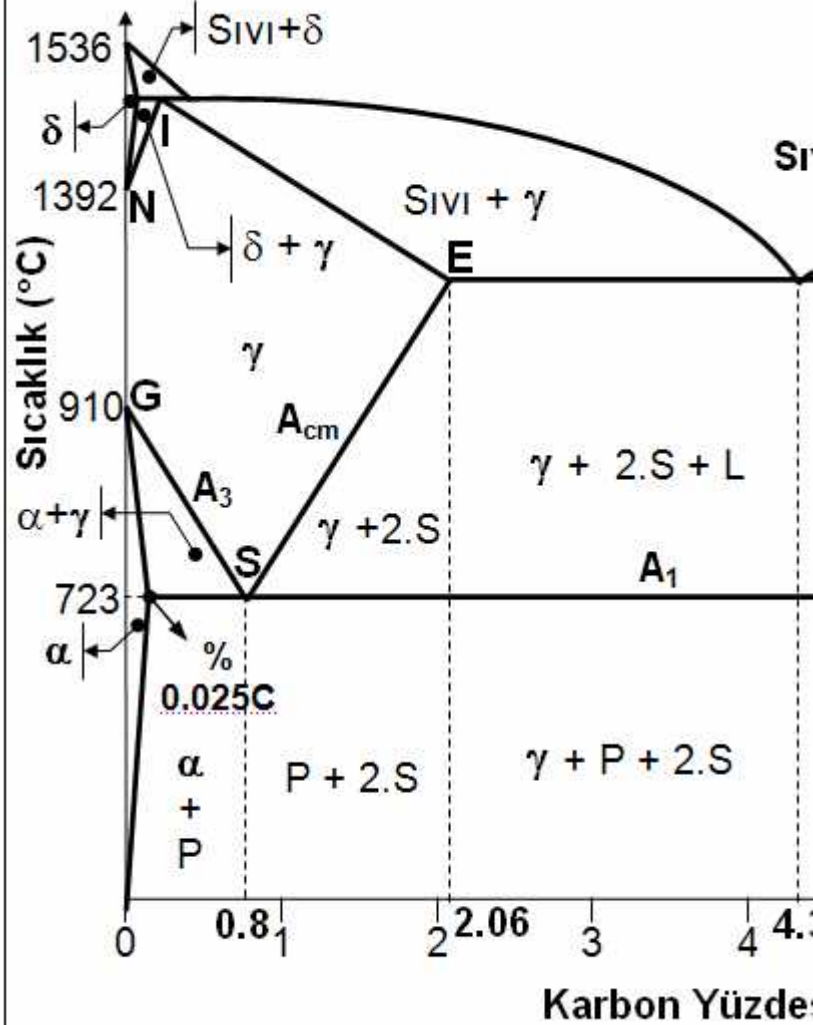
**Katılaşmanın
Başlama eğrisinin
723 °C ve
% 0.83 C
oranı için S ile
gösterilen en
düşük ordinatına
ötektoid noktası
adı verilir.**



Ötektoid en az iki fazın belirli bir sıcaklıkta katı cisim içinde, mekanik olarak gayet homojen bir şekilde karışabildiği sınır noktası olmaktadır.

Örneğin, bu noktada ferrit ve sementitin karışmasıyla elde edilen bileşime inci görünümünden **perlit** (pearlite) adı verilir.

Perlit



Perlit (% 0.45C) mikroyapısı

A₁ sıcaklığındaki karbon çözünürlük sınırı % 0.025, oda sıcaklığında %0.005'dir.

Perlit, çeliğin ötektoit sıcaklığından (723°C) soğutulması sonucu aşağıdaki reaksiyona göre oluşur. Karbon oranları bu değeri aştığında perlit adı verilen bileşen oluşur.



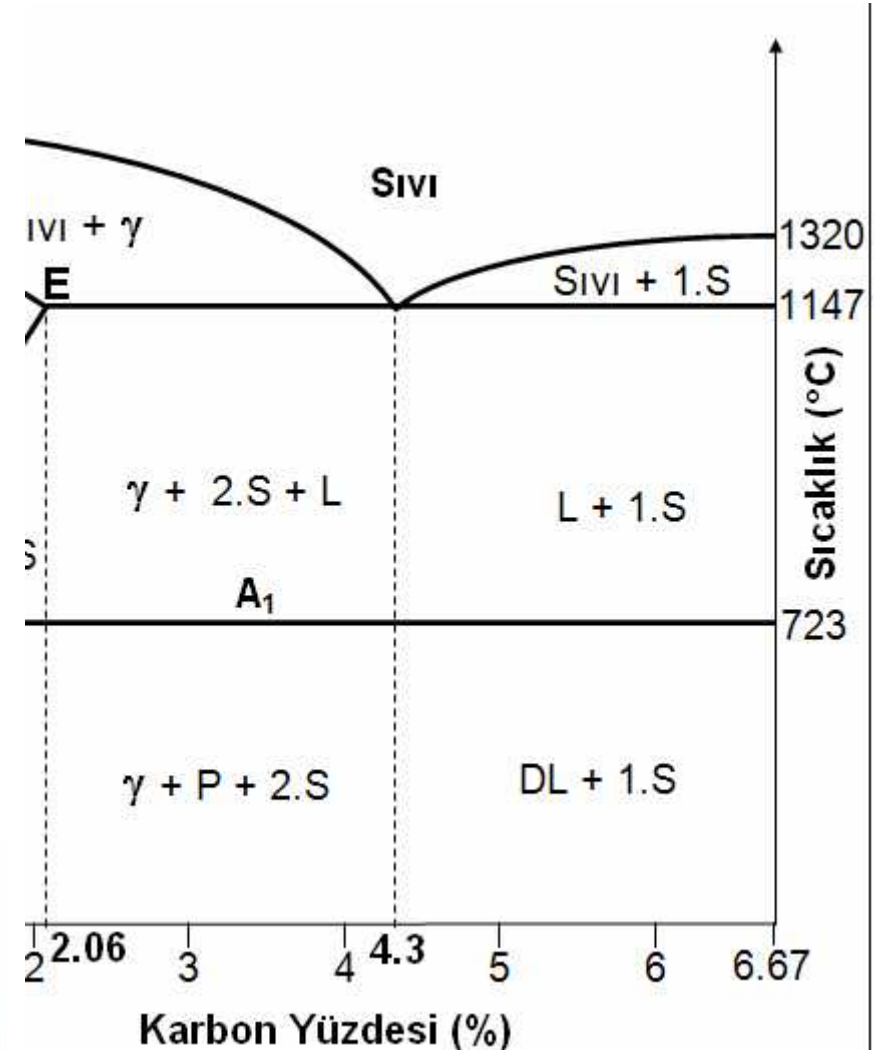
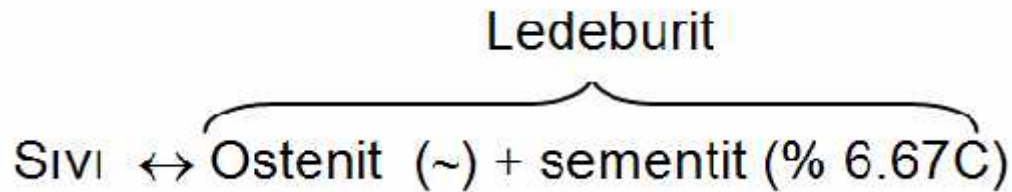
Ledeburit

Demir karbon denge diyagramındaki
ötektik alaşıma (1147°C, % 4.3 C)
ledeburit denilir.

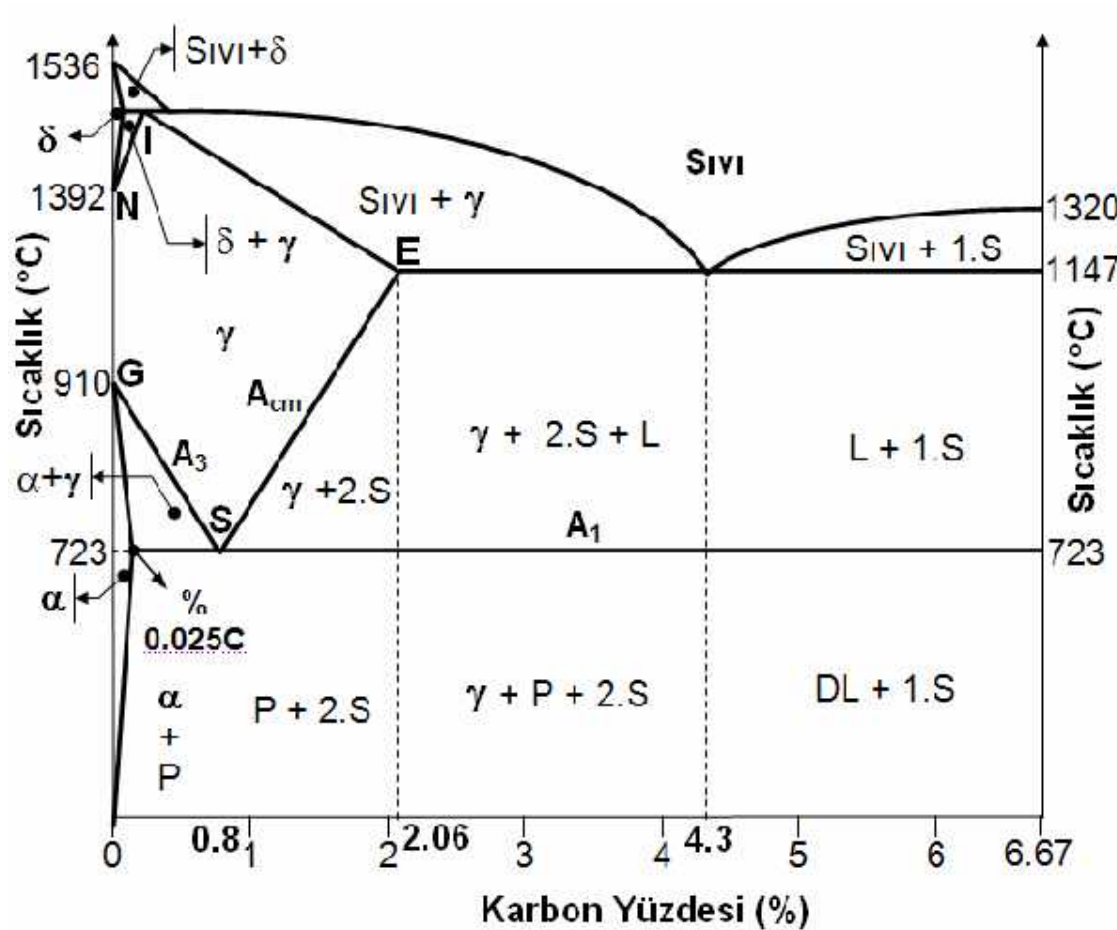
Sıvıdan ayrıışan sementite 1. sementit
(primer sementit) denilir.

Ledeburit, ostenit ve 1.sementitten
meydana gelir.

Ötektik ayrışma aşağıdaki reaksiyondaki
gibi sıvıdan iki ayrı katının oluşması
şeklinde gelişir.



Ledeburit

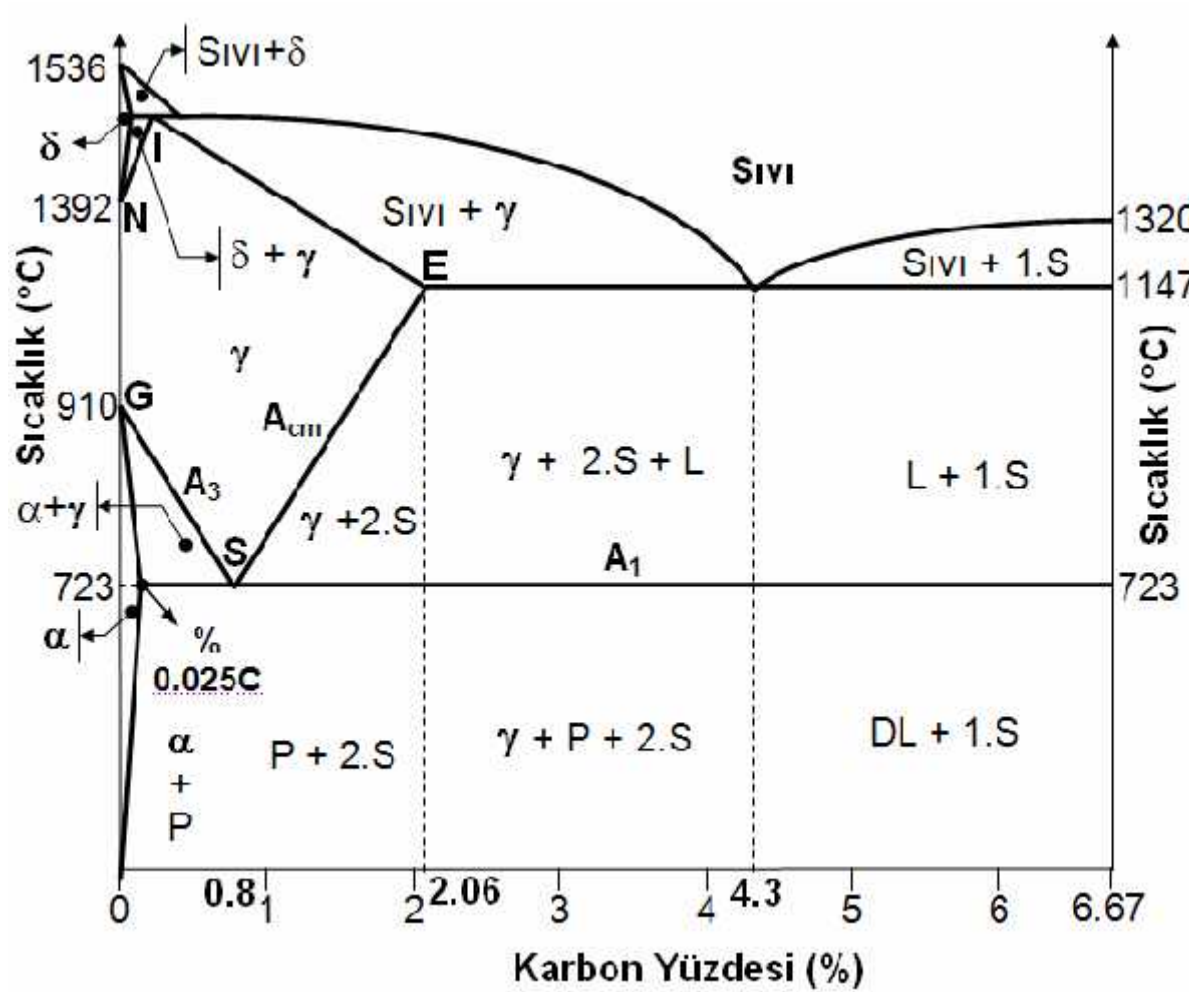


Ledeburit içindeki ostenitin karbon oranı, sıcaklık düştükçe azalır (ES eğrisi boyunca).

Ostenitin içinde ötektoit oran olan % 0,8C kalınca, perlit olarak dönüşür.

Bundan dolayı 723°C nin altındaki ledeburite dönüşmüş ledeburit denilir.

Demir-karbon alaşımlarının isimlendirilmesi



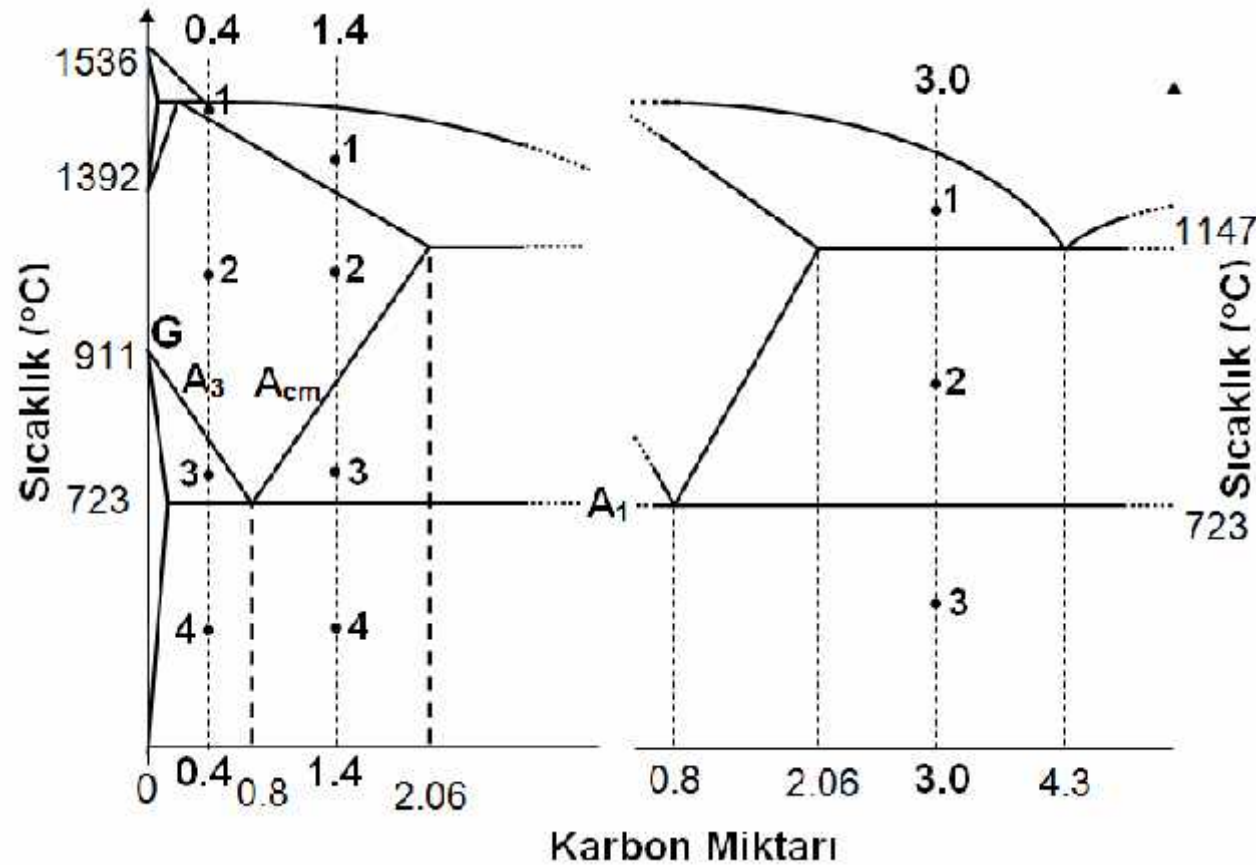
Karbon oranı % 0.2 den az olan Fe-Fe₃C alaşımlarına **yumuşak demir** adı verilir.

Karbon oranı % 0.2 - % 1.7 arasında olan Fe-Fe₃C alaşımlarına **çelik** denir.

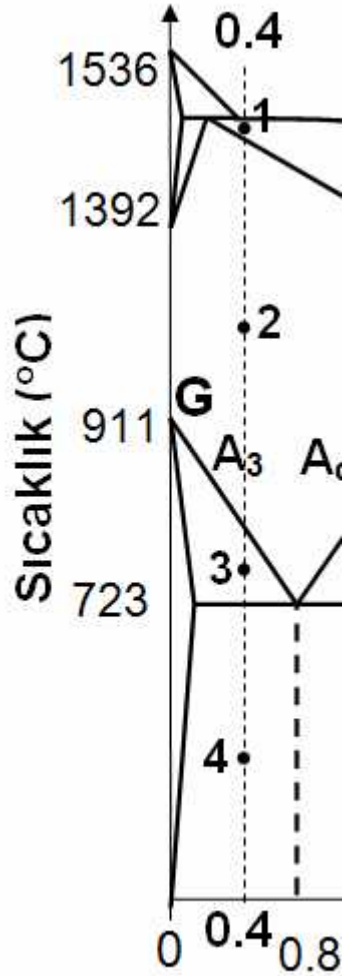
Karbon oranı % 1.7'den büyük olanlarına ise **dökme demir (Font)** denilir.

Soğuma Esnasında Çelik Ve Dökme Demirlerdeki Faz Değişimleri

Diyagram üzerinde % 0.4 ve %1.4 karbonlu çelik ile %3 karbonlu dökme demirin ergime noktasından oda sıcaklığına kadar geçirdiği değişiklikleri inceleyelim

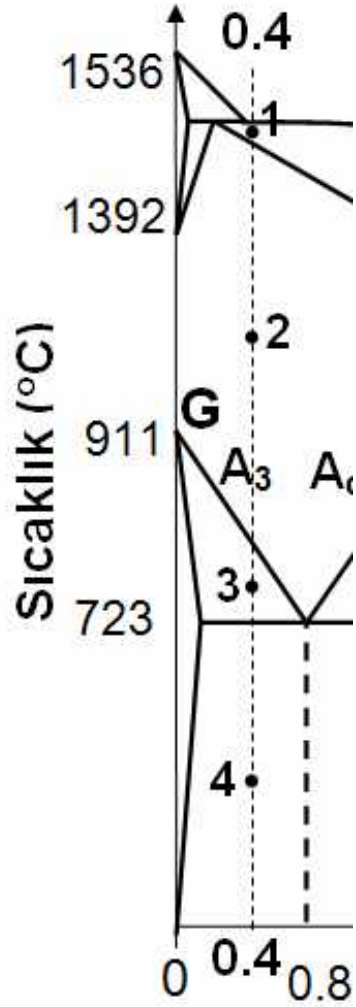


% 0.4 karbonlu alaşım

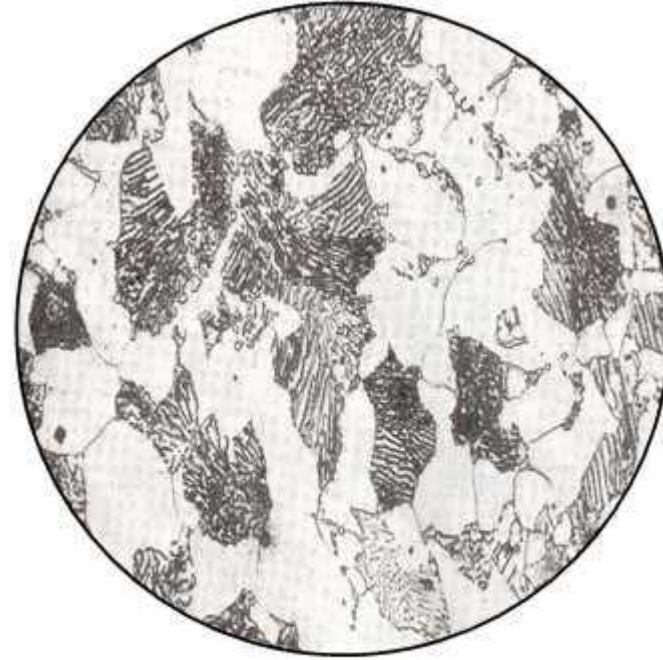


- ☐ % 0.4 karbonlu alaşım, 1 noktasına gelince katılaşmaya başlar, 2 noktasına gelindiğinde yapı tamamen ostenittir.
- ☐ 3 noktasına kadar herhangi bir değişiklik olmaz.
- ☐ 3 noktasına gelince tane sınırlarında ferritler (α) ayrışmaya başlar.
- ☐ Ostenitin karbon oranı ise A₃ eęrisi boyunca sıcaklık dūřtūkçe artar ve en son 723°C de % 0.8C oranına ulařır.
- ☐ Bu alařım 723°C nin altında (4. nokta) perlit olarak dōnūřūr.

% 0.4 karbonlu alaşım

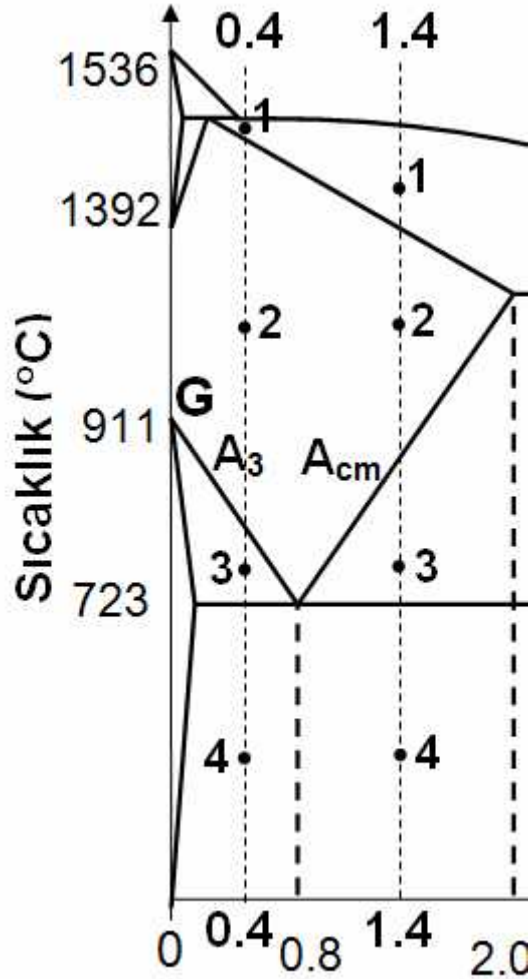


□ Oda sıcaklığında yapı ferrit ve perlitten meydana gelmiştir.



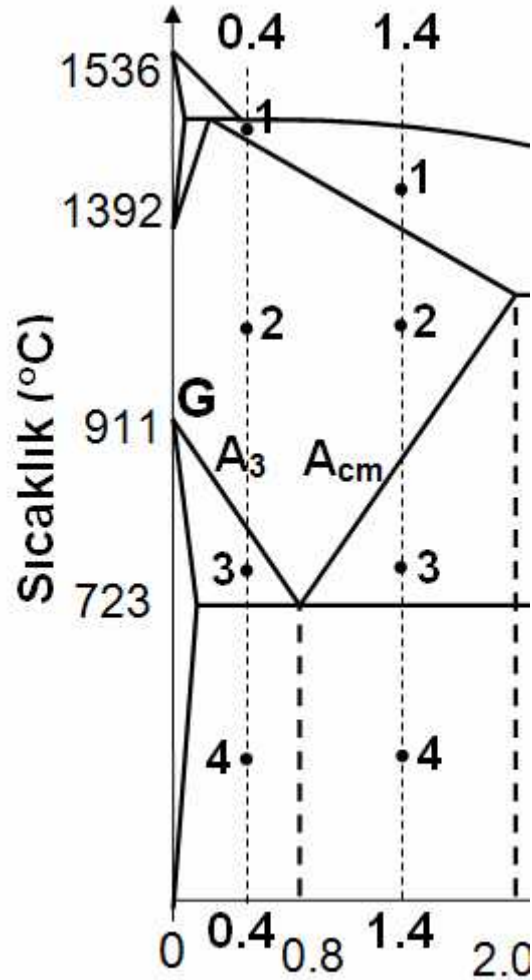
% 0.4 karbonlu ötektoitaltı çeliğin mikroyapısı.

% 1.4 karbonlu alaşım



- ❑ %1,4 karbonlu elik 1 noktasına gelince ostenit (γ) tanecikleri oluşmaya başlar.
- ❑ 2 noktasında yapı tamamen ostenitten ibarettir.
- ❑ A_{cm} eğrisinin altına inince (3 noktası) ostenitin çözebildiği karbon oranı azaldığından ikinci sementit oluşur.

% 1.4 karbonlu alaşım

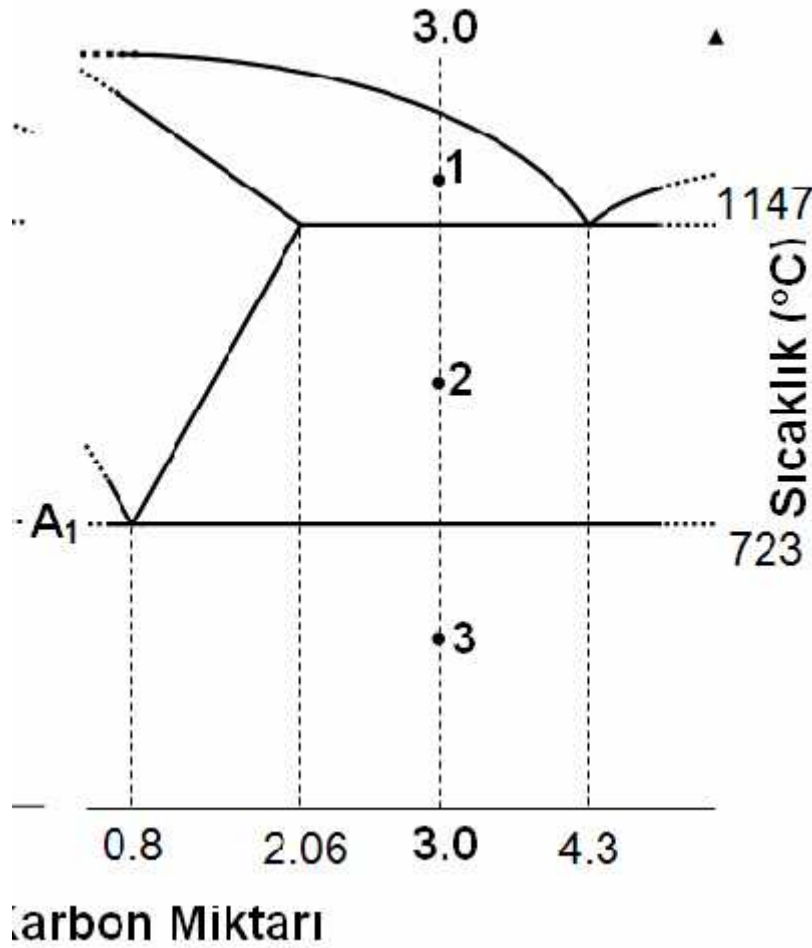


A1 sıcaklığının altına inildiğinde (4 noktası) yapı perlit ve ikinci sementitten ibarettir



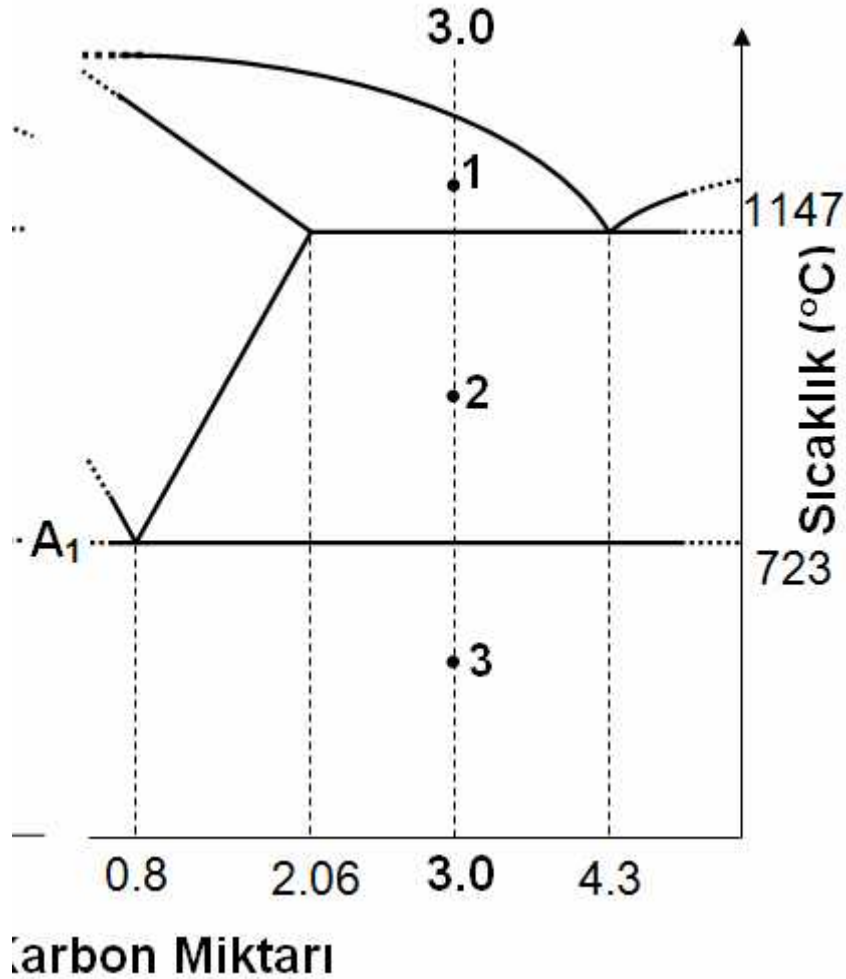
% 1.1 karbonlu ötektitüstü çeliğin mikroyapısı. Tane sınırlarında görünen beyaz bölgeler 2. Sementit fazıdır

% 3 karbonlu alaşım



- ❑ % 3 karbonlu alaşım 1 noktasına gelince, ostenit tanecikleri katılaşmaya başlar ötektik sıcaklığa gelindiğinde, ostenitin karbon oranı % 2.06, sıvı içindeki karbon konsantrasyonu % 4.3 tür.
- ❑ Geriye sıvı olarak kalan kısım ledeburit olarak katılaşır.
- ❑ Sıcaklık düşerken ostenitin karbon eritme oranı Acm eğrisi boyunca düştüğü için ostenitten karbonlar ayrışır ve 2.sementiti oluşturur.

% 3 karbonlu alaşım



- ☐ A₁ sıcaklığına gelindiğinde ostenitin karbon oranı % 0.8'e düşmüştür.
- ☐ 723°C nin altında ostenit perlite dönüşür.
- ☐ Oda sıcaklığında yapı perlit, ikinci sementit ve dönüşmüş ledeburitten ibarettir.

ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

- İçerdiği alaşım elementlerine göre;
 1. Alaşımsız (karbon) çelikler,
 2. Alaşımlı çelikler,
 - 2.1. Düşük (alçak) alaşımlı çelikler (%5'den az),
 - 2.2. Yüksek alaşımlı çelikler (%5'den fazla).
- İçerdiği karbon miktarına göre;
 1. Düşük (az) karbonlu çelikler (%0.2'ye kadar C),
 2. Orta karbonlu çelikler (%0.35 - %0.55 C),
 3. Yüksek karbonlu çelikler (%0.55'den fazla C).
- Mikro yapısına göre;
 1. Ötektoit altı çelikler (%0.8'den az C),
 2. Ötektoit çelikler (%0.8 C),
 3. Ötektoit üstü çelikler (%0.8'den fazla C)

ÇELİK TÜRLERİ

(Kullanım alanlarına göre çelikler)

1. Genel Yapım çelikleri

Minimum çekme mukavemetlerine göre adlandırılırlar. Genellikle ısıtıl işlem için öngörülmezler, karbon içerikleri %0.25'den az olan çeliklerdir. Kaynak için uygundur, örneğin, derin çekme ve karasori yapımında kullanılırlar.

2. Makine Yapım Çelikleri

Mukavemet değerleri ile birlikte, tokluğun da yüksek olması istenen durumlarda kullanılan ısıtıl edilmiş çeliklerdir. Karbon miktarı %0.35 ve daha az olan alaşımsız ve az alaşımlı çelikler suda, diğerleri yağda sertleştirilir.

3. Sementasyon Çelikleri

Alaşımlı veya alaşımsız olabilirler. Genellikle %0.2 veya daha az karbon içerirler.

ÇELİK TÜRLERİ (Devam)

4. Nitrürasyon Çelikleri

Nitrür oluşturunca alaşım elementlerini içeren çeliklerdir.

5. Otomat Çelikleri

Kısa ve kırılğan talaş vererek, yüksek kesme hızlarıyla işlenebilen ve bu sırada yüzeyi düzgün kalan çeliklerdir.

6. Civata ve somun çelikleri

Civata ve somun imalatında kullanılan çeliklerdir.

7. Kazan Çelikleri

Sıcaklığa dayanıklı ve kaynak kabiliyeti iyi olan çeliklerdir. En çok 500 °C' a kadar yeterli sürünme, yaşlanma ve tufal dayanıklılığı gösterirler.

ÇELİK TÜRLERİ (Devam)

8. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Çelikler

Genellikle 500 °C' in üzerindeki işletme şartlarında, örneğin buhar ve gaz türbinleri, tepkili motorlar, fırınlar vb. yerlerde kullanılan çeliklerdir.

9. Paslanmaz Çelikler

Yüksek krom içeriklerinden dolayı (%12'den fazla), özellikle oksitleyici ortamların korozyon etkisine dayanıklı çeliklerdir. Ferritik, ostenitik ve martenzitik olan türleri vardır.

10. Süpap Çelikleri

İçten yanmalı motorların emme süpapları için C45, 37MnSi5 vb. gibi makine yapım çelikleri genellikle yeterlidir. Egzost süpapları için yüksek sıcaklığa ve korozyona dayanıklı çelikler gerekir.

ÇELİK TÜRLERİ (Devam)

11. Rulmanlı Yatak Çelikleri

Yüksek yüzey basıncına ve aşınmaya dayanıklı, ötektoid üstü kromlu çeliklerdir.

12. Yay Çelikleri

Yüksek elastiklik veya akma sınırına ve aynı zamanda sarılabilecek kadar plastik şekil değiştirme kabiliyetine sahip çeliklerdir.

13. Takım çelikleri

Talaşlı imalatta (eğeleme, tornalama, frezeleme vb.) ya da talaşsız şekillendirmede (soğuk veya sıcak çekme, haddeleme, zımbalama, dövme, derin çekme vb.) kullanılan takımların yapıldığı çeliklerdir.

ÇELİK TÜRLERİ (Devam)

14. Elektrik Makinaları İçin Çelikler

Elektrik makinaları yapımında kullanılan manyetik çeliklerde yüksek geçirgenlik ve mümkün olduğu kadar az histerisiz kaybı istenir. Bu özellikler, karbon miktarının azaltılıp, silisyum miktarını artırmakla elde edilir (dinamo ve transformator sacları-silisli saclar).

15. Dökme Çelikler

Herhangi bir çelik, ergitilip bir kalıba dökülerek son şeklini aldığı takdirde dökme veya döküm çelik adını alır.

DÖKME DEMİRLER

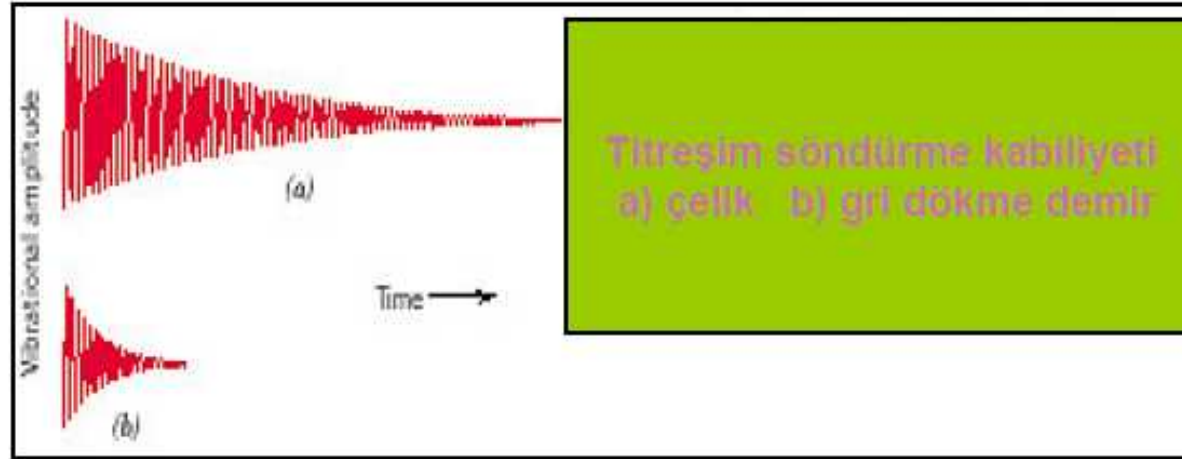
Yüksek karbon miktarı (%2 - 4) dolayısıyla, sıvı durumda **akıcılıkları yüksek** olduğu için döküme çok elverişli demir alaşımlarıdır. Ayrıca **ergime sıcaklıkları** da çeliğe göre daha düşüktür.

Dökme demirler, **ham demirin** tekrar ergitilip, **gerekli katkıları yapılarak istenilen bileşime** getirilmesiyle elde edilir.

Ergitme için çoğunlukla **kupol ocağı**, **bileşim ve sıcaklığın hassas olarak kontrol edilmesi** istendiğinde ise **alevli döner ocak** veya **elektrikli ark fırını** vb. kullanılır.

Ham demire, **dökme demir** ve **çelik hurdası** ile **ferro-silisyum** ve **ferro-manganez** katılarak, özellikle **C**, **Si** ve **Mn** miktarları ayarlanır.

DÖKME DEMİRLER (Devam)



Gri dökme demirlerin talaşlı işlenebilirliği ve titreşim söndürme kabiliyetleri çok iyidir.

Dökme demirin mekanik özellikleri büyük ölçüde mikro yapısına bağlıdır.

DÖKME DEMİRLER (Devam)

Mevcut **karbonun tümü**, demire bağlı yani **sementit** (Fe_3C) halinde bulunuyorsa **beyaz dökme demir**,

karbon, kısmen de olsa **grafit şeklinde** serbest duruma geçmişse, **grafitli dökme demir** (veya **gri dökme demir**, kır dökme demir) sözkonusudur.

Grafitler, **lamel** (yaprak) şeklinde ise **lamel grafitli dökme demir**, **küresel** biçimli ise **küresel grafitli (nodüler) dökme demir** adını alır.

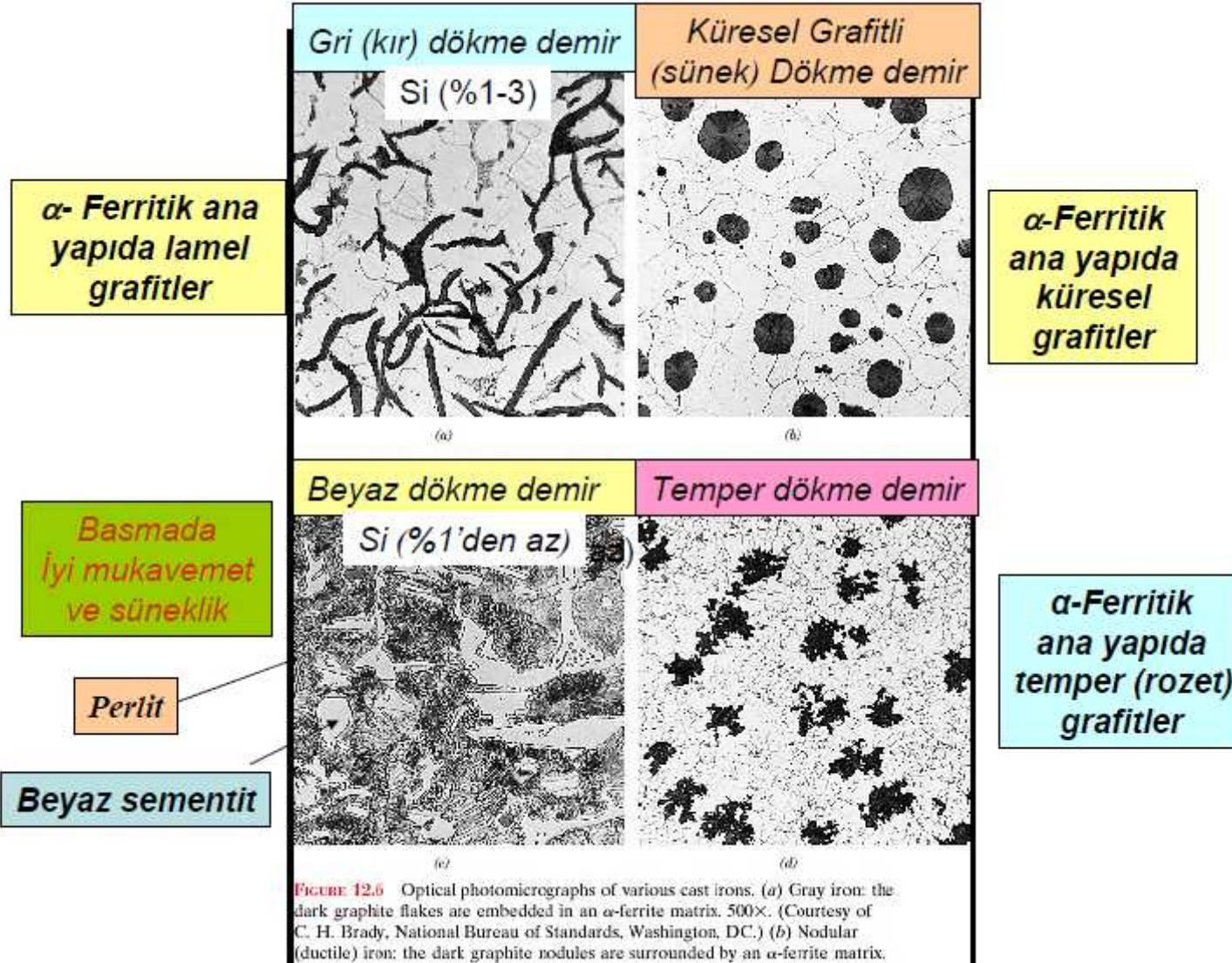
Ayrıca, **temper dökme demirlerde** de **yıldız** veya **rozet** türü grafitler bulunur.

DÖKME DEMİRLER (Devam)

Dökme demirlerde **grafit oluşumu**, **bileşim** ve **soğuma hızına** bağlıdır. **%1'den fazla Si** ve **daha yavaş soğuma** **grafit** oluşumunu hızlandırır. Çoğu dökme demirde **karbon** **grafit** olarak bulunur ve **mikroyapı** ile **mekanik özellikler**, **bileşim** ve **ısı** **işleme** bağlı olarak gelişir.

Dökme demir türleri:

1. **Gri** (**kır**) Dökme Demirler
2. **Küresel** (**nodüler**, **sfero**) Dökme Demirler
3. **Beyaz** Dökme Demirler
4. **Temper** Dökme Demirler



GRİ DÖKME DEMİRLER

%2.5-4.0 C ile **%1-3 Si** içerirler. Grafitler lamel veya yaprak şeklindedir ve bunlar **ferritik** veya **perlitik** ana yapıyla sarılmış (çevrelenmiş) yapıdadır. Kırık yapıda **grafitler** gri renkte görüldüklerinden bunlara gri dökme demir denir.

Grafitlerin **gerilme artırıcı** özellikleri nedeniyle gri dökme demirlerin **çekme dayanımları düşüktür** ve **gevrek**tirler. Basmada dayanımları ve **süneklikleri** ise **iyidir**. **Titreşim söndürme kabiliyeti iyidir**. **Aşınmaya dirençlidirler**, **döküm kabiliyeti** çok iyidir.

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

Dökümden önce gri dökme demire az miktarda ~% 0.5 Mg (mağnezyum) veya Ce (seryum) katılırsa, küresel veya nodül (sfero) şekilli grafitler oluşur. Bunlar, ısıtılma işlemine bağli olarak ferritik veya perlitik ana yapıda bulunur.

Küresel grafitli dökme demirlerin mukavemetleri ve süneklikleri, gri dökme demirlerle kıyaslandığında oldukça yüksektir.

Valfler, pompa gövdeleri, krank milleri dişliler ve diğer otomobil ve makine parçalarının üretiminde kullanılırlar.

BEYAZ DÖKME DEMİRLER

Düşük **Si** (%1'den az) miktarı ve **hızlı soğuma** şartlarında karbonun önemli bir kısmı grafit yerine, **sementit** olarak bulunur.

Bu dökme demirin kırık yüzeyi **beyaz** görüldüğünden, beyaz dökme demir denir.

Beyaz dökme demir, yapısında bulunan fazla miktardaki sementit nedeniyle **çok sert** ve **kırılgandırlar**. Taşlama dışında işlenemezler. Temper dökme demirlerin üretiminde kullanılırlar.

TEMPER DÖKME DEMİRLER

Beyaz dökme demirden **dolaylı olarak elde edilirler.**

Yıldız şekilli grafitler nedeniyle, gri dökme demire göre daha **mukavemetli** ve **sünek**tirler.

Siyah Temper Dökme Demirler: Beyaz dökme demir parçalar **nötr bir ortamda** (ör. kuvars kumu) **900-950 °C'** a ısıtılması ve bu sıcaklıkta uzun süre (**~20 saat**) beklettikten sonra **yavaş soğumayla** elde edilirler. İşlem esnasında sementit **ayrışarak**, **rozet** şekilli **temper grafitler** oluşur. Soğuma hızına bağlı olarak ana yapı **ferritik** veya **perlitik** olabilir.

BÖLÜM 10

ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

ISIL İŞLEM

- Katı haldeki metal ve alaşımlara, belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir.
- Bütün özellik değişimleri çeliğin katı haldeki dönüşümleri neticesinde mümkün olmaktadır.
- Çeliklerin ısıtma işlem sıcaklıklarını saptamak için Fe-Fe₃C faz diyagramından yararlanılabilir. Ancak bu yolla bulunan sıcaklıklar yalnız alaşımsız çelikler için yeter yaklaşıktadır.
- Alaşım çeliklerinde ise çelik üreticisinin verdiği değerlerin dikkate alınması gerekir!

Isıl işlemler üç ana gruba ayrılabilir:

1.Tavlama

2.Sertleştirme

3.Islah etme

1.TAVLAMA

Yumuşatma tavlaması

Normalleştirme tavlaması

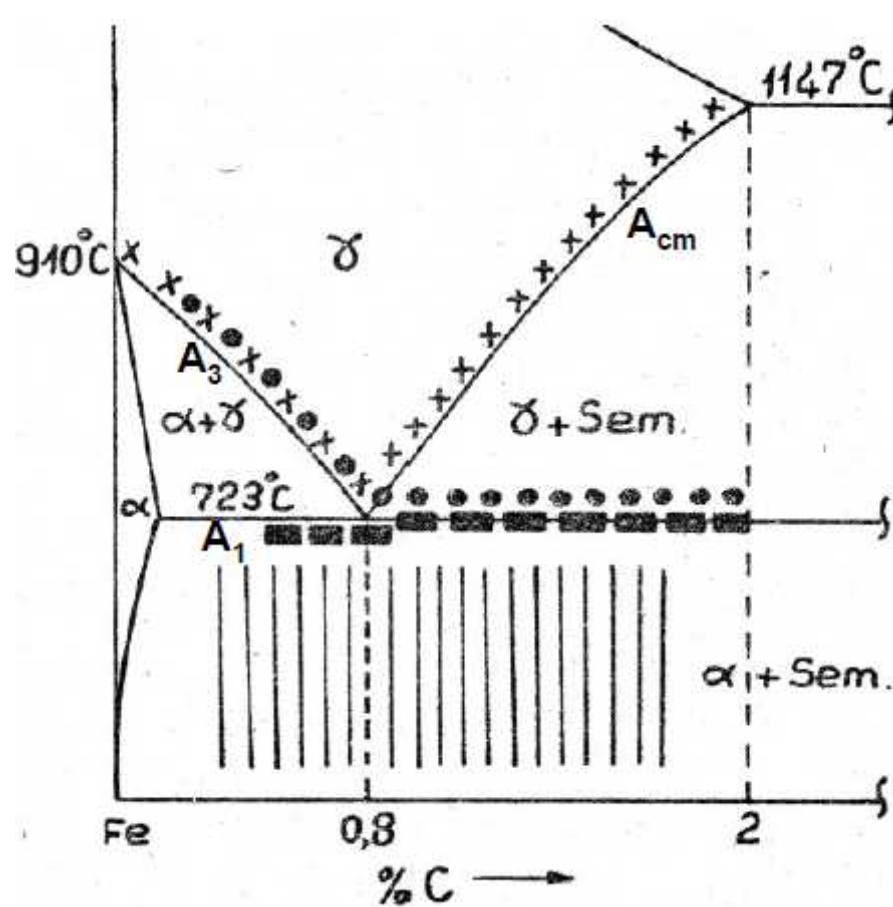
Kaba tane tavlaması

Difüzyon tavlaması

Gerilme giderme tavlaması

Yeniden kristalleştirme tavlaması

Alaşımsız çeliklere ait bazı Isıl işlem sıcaklıklarının toplu gösterilişi



Çeliklere ait (γ +sem.) alanı, (γ +2.sem.) olarak gösterilebilir.

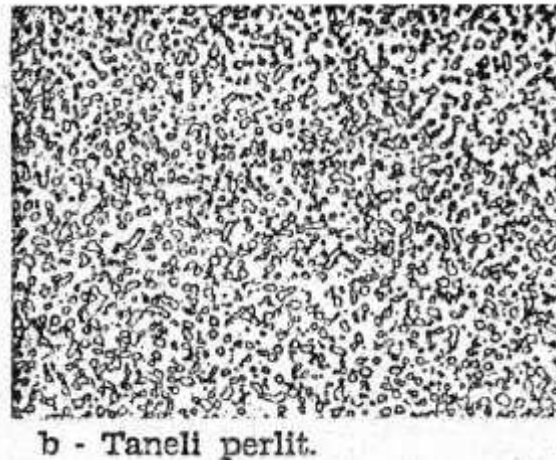
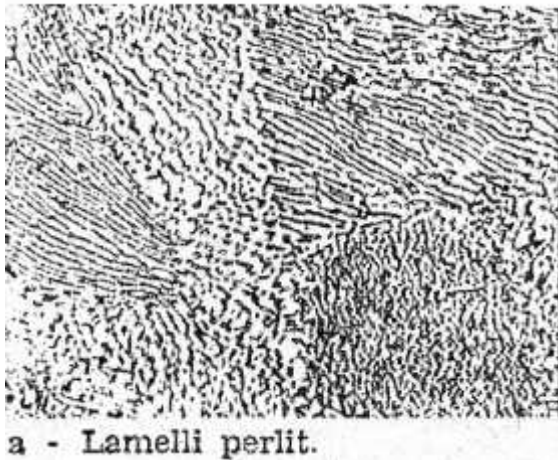
Fe-Fe₃C sisteminde sıvıdan oluşan sementite birinci, ostenitten ayrışana da ikinci sementit denilebilir.

- x x x Normalleştirme
- • • Sertleştirme
- — — Yumuşatma (Küreleştirme)
- ||||| Menevişleme (Temperleme)

A-Yumuşatma Tavlaması

Amaç: Yumuşatma, çeliklere talaşlı veya talaşsız şekil şekil verme işlemlerini kolaylaştırmak ve ötektoid üstü çelikleri gevrekleştiren sürekli 2. Sementit ağını parçalamak için yapılır.

Yöntem: tektoidaltıelikleri A1 sıcaklığının hemen altında, ötektoid üstü çelikleri ise bu sıcaklık etrafında salınım şeklinde uzun süreli ısıtma ve sonra yavaş soğutma işlemidir. Bu suretle lamel veya sürekli ađ şeklindeki sementit yüzey gerilimi etkisi ile küresel hale gelerek ferritik ana kütle içerisinde dağılır.



Yumuşatma tavlaması sonucu mikroyapı (b):ferrit ana kütle+sementit kürecikler

Uygulama:

Bütün eliklerde talaşsız işlemler için elverişli bir başlangıç içyapısı üretmek, %0,5 den fazla karbon ihtiva eden çeliklerde talaşlı işlemlere hazırlamak için uygulanır.

Malzeme birkaç saat süre ile tavlanır, ardından 600 °C 'a kadar yavaş soğuma yapıldıktan sonra parçaların şekline bağlı olarak istenilen şekilde oda sıcaklığına soğutulur.

B-Normalleştirme Tavlaması

Amaç: Malzemenin normal yapısını (eşit boydaki yuvarlak tanelerden oluşan ince taneli yapı) yeniden kazanmasıdır.

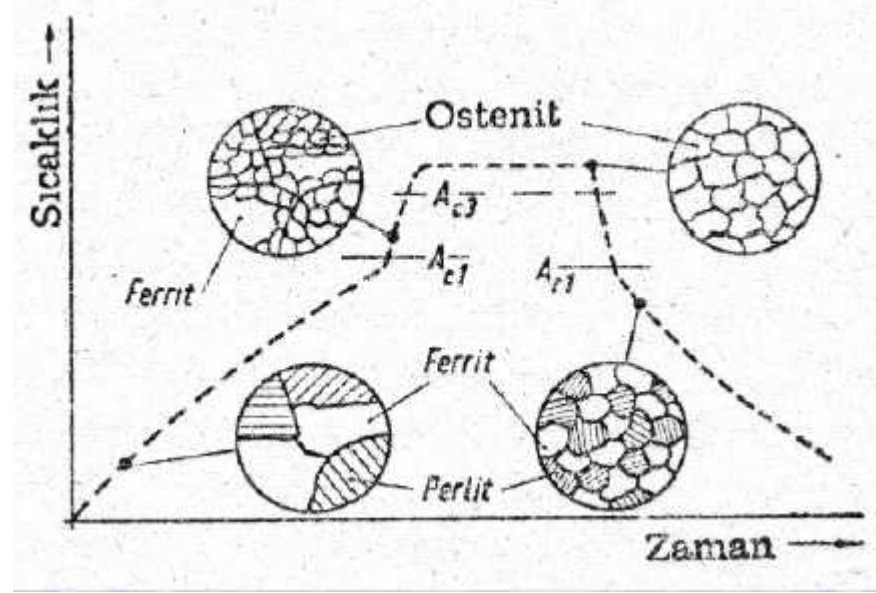
Dövülmüş, haddelenmiş, çekilmiş, dökülmüş, iri taneli ve eş yönlenmiş yapılar düzelir ve malzeme her zaman yeniden kazanabileceği özelliklere (çekme mukavemeti, süneklik, vs.) geri döner.

Yöntem: Çeliğin bileşimine göre A_3 veya A_{cm} sıcaklıklarının $30^\circ\text{-}50^\circ\text{C}$ üstüne ısıtıp sonra fırın dışında sakın havada soğutmaktır.

Böylece özellikle ötektoid altı çeliklerde, küçük taneli ve dolayısıyla mekanik özellikleri iyileştirilmiş, düzgün dağılımlı ferritik-perlitik bir yapı elde edilir.

Ötektoid üstü çeliklerde ise normalleştirme, daha ziyade sürekli sementit ağını kısmen parçalayarak, sonraki yumuşatma tavını kolaylaştırıcı bir ön işlem olarak uygulanır.

Ötektoid altı bir çelikte normalleşme sonucu küçük taneli yapının oluşması



Başlangıçtaki iri taneli yapı, ısıtma sırasında 723°C in üstünde her bir perlit bölgesinden çok sayıda küçük ytanesi meydana gelir, A_3 sıcaklığının üzerinde yapı sadece ince taneli ostenitten meydana gelir, taneler zamanla irileşmeye başlar, ince taneli ostenit soğutma sonucu yine ince taneli **ferrit+perlit** haline dönüşür.

Ötektoid üstü bir çelikte normalleşme sonucu küçük taneli yapının oluşması

Perlit üstü çelikler tamamen ostenit haline dönüşemezler. A_1 üzerine çıkıldığında sadece perlit kısmı aynı şekilde ince taneli ostenite dönüşür. Sementit ağı önceleri parçalanmaz, ancak A_{cm} sıcaklığı geçilince yavaş yavaş ostenit içinde çözünmeye başlar. Yüksek tavlama sıcaklığı nedeni ile tane irileşmesinin meydana gelmesi önlenemez. Bu nedenle perlit üstü çelikler için tavlama sıcaklığı A_1 üzerindedir.

Uygulama: Dövülmüş, dökülmüş parçalar şekil vermeden sonra kontrolsüz olarak soğuduklarından, kısmen iri taneli içyapıya sahiptirler. Kaynak edilmiş küçük parçalarda düzensiz yapıya sahip olduklarından normalizasyon işlemine tabi tutulurlar.

C-Kaba (iri) Tane Tavlaması

Amaç: Malzemenin daha iyi bir talaş kaldırma özelliğine kavuşması için uygulanır.

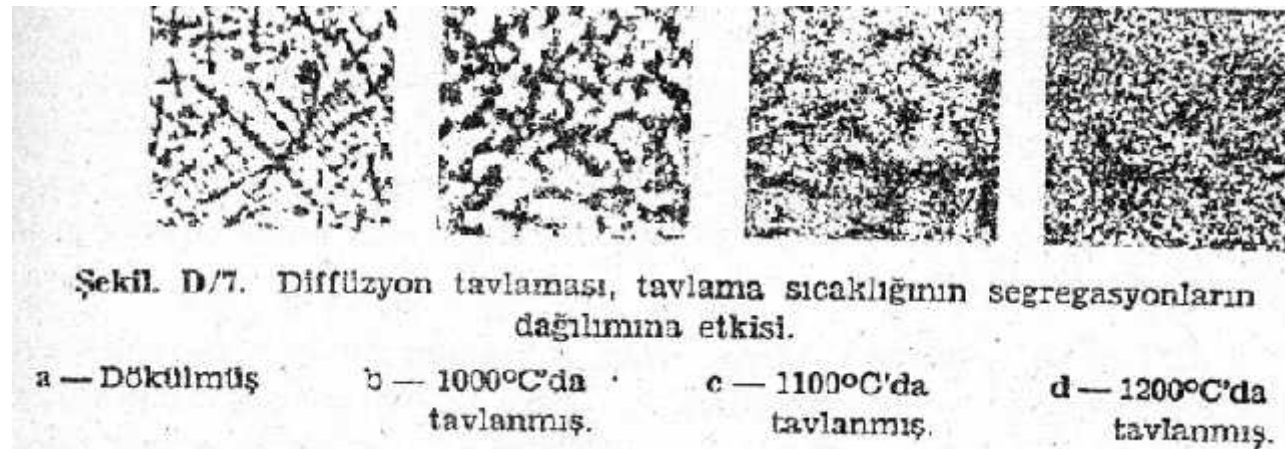
Yöntem: Malzeme ostenit alanı içerisinde normalleşme sıcaklıklarından daha yüksek sıcaklıklara (A_3+150 °C) ısıtılıp birkaç saat süre ile beklendikten sonra, A_1 sıcaklığında perlit dönüşümü tamamlanıncaya kadar çok yavaş (fırında) olarak soğumaya bırakılır.

Uygulama: Perlit altı çeliklerde (özellikle $C < 0,5$) kaba tane ve lamelli perlit elde ederek talaş kaldırmayı kolaylaştırmak için kullanılır. Yumuşak manyetik malzemelerde de (dinamo sacı) iri taneli bir içyapı arzu edilir.

D-Homojenleştirme (Difüzyon) Tavlaması

Amaç: Katılaşma sırasında tanelerin içerisinde oluşan kimyasal bileşim farklarını (mikro segregasyon) atomsal yayılım yoluyla gidermek için yapılır.

Yöntem: Malzeme ihtiva ettiği karbon miktarına göre 1000-1300 °C arasında uzun müddet tavllanır ve sonra istenilen şekilde soğutulur. Yüksek sıcaklıkta uzun süre tutma nedeniyle tane kabalaşmasına da sebep olduğundan ayrıca normalleştirme gerekir.



E-Gerilme Giderme Tavlaması

Amaç: Bir iş parçasında kaynak, döküm, haddeleme, tel çekme, sertleştirme gibi işlemler sonucu, çeşitli bölgeler arasında “farklı soğuma hızı”, “farklı şekil değiştirme miktarı” veya “içyapı dönüşümleri” nedeniyle meydana gelen iç gerilmelerin giderilmesi gerekir.

Yöntem: Parçalar 550-600 °C arasındaki bölgeye yavaş erişecek bir şekilde ısıtılır ve burada yaklaşık 4 saat süre ile tavllanır. Soğutma parçanın bütün kısımları daima aynı sıcaklıkta kalacak şekilde çok yavaş yapılır.

Gerilme giderme tavlaması sırasında içyapı değişime uğramaz. Yüksek sıcaklıklarda çeliğin akma sınırı düşer. İç gerilmeler yüksek ise, malzeme kendini bırakır. Çekme gerilmesi ihtiva eden lifler uzar; basma gerilmesi altındaki lifler ise kısalır. Bu sırada gerilmeler giderek azalır ve sonunda sadece artık bir gerilme kalır. Artık gerilme büyüklüğü çeliğin tavlama sıcaklığındaki akma sınırı kadardır.

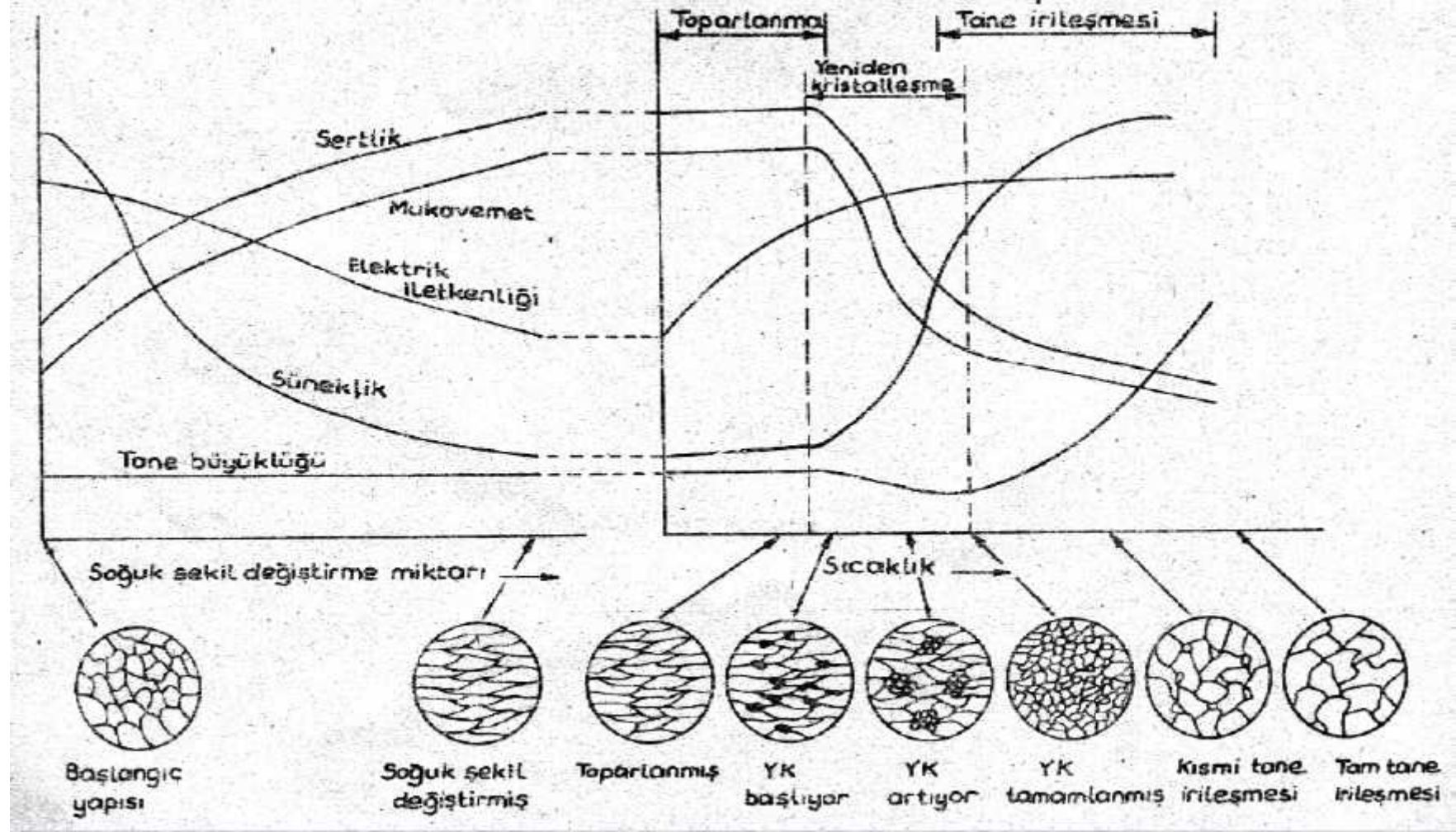
F-Yeniden Kristalleşme

Amaç: Soğuk sertleşmeyi gidermek ve soğuk şekil değiştirmeden sonra azalan uzama kabiliyetini yeniden kazanmak amacı ile uygulanır.

Yöntem: Malzeme **yeniden kristalleşme sıcaklığı** üzerindeki bir sıcaklıkta tavllanır. Bu sıcaklık her malzeme için soğuk şekil değiştirme miktarına göre değişir. Alaşımsız çelikler için 600-700 °C arasındadır.

Yeniden kristalleşme sonucu sertliğin başlangıç değerine düşmesi, soğuk şekil değiştirme sırasında oluşan dislokasyonların büyük ölçüde azalmasından ileri gelir.

Yüksek sıcaklıklarda atom hareketleri kolaylaştığından zıt işaretli dislokasyonlar birbirlerini yok ederler.



Atomlar yeniden kristalleşme esnasında pratik olarak yerlerini değiştirmezler, yalnız kendilerini yeniden düzene sokarlar. Bu sırada katettikleri mesafe kafes parametresinden daha küçüktür.

Yeniden kristalleşmenin başlayabilmesi için çekirdeğin mevcudiyeti gereklidir.

Soğuk şekil değiştirme esnasında kristallerde kayma olunca, kristal içerisinde gerilmeler oluşur. Metal ısıtılınca en fazla şekil değiştirmiş kristaller önce dağılır ve kayma düzlemleri çekirdek vazifesini görür.

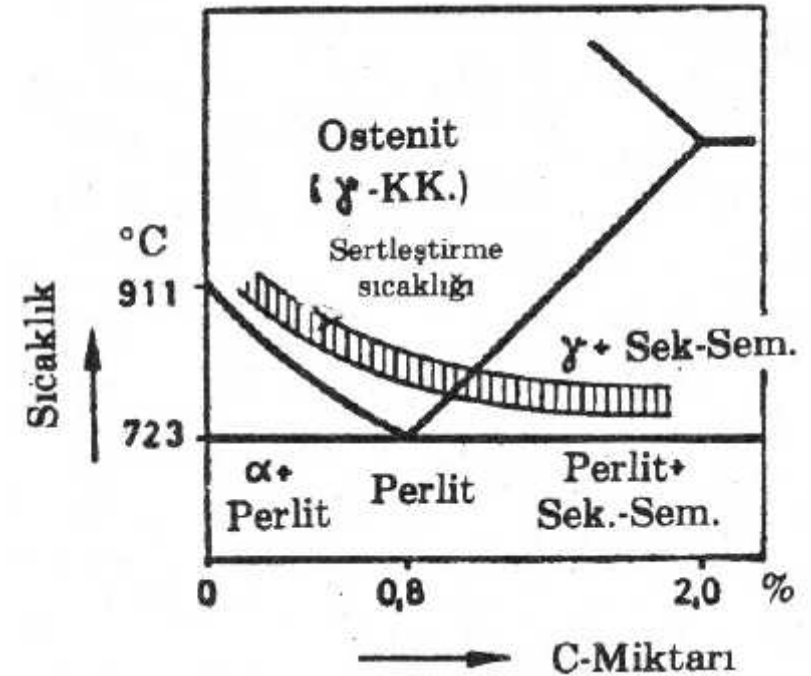
Yapının yeniden oluşması bu çekirdeklerden başlar. İç gerilmeleri ihtiva eden şekil değiştirmiş yapı yavaş yavaş kaybolur ve normal çekirdek şekilleri ihtiva eden “yeniden kristalleşmiş yapı” oluşur.

Yeniden kristalleşmeden sonra metalin pekleşmeden önceki özelliklerine sahip olmasına toparlanma denir.

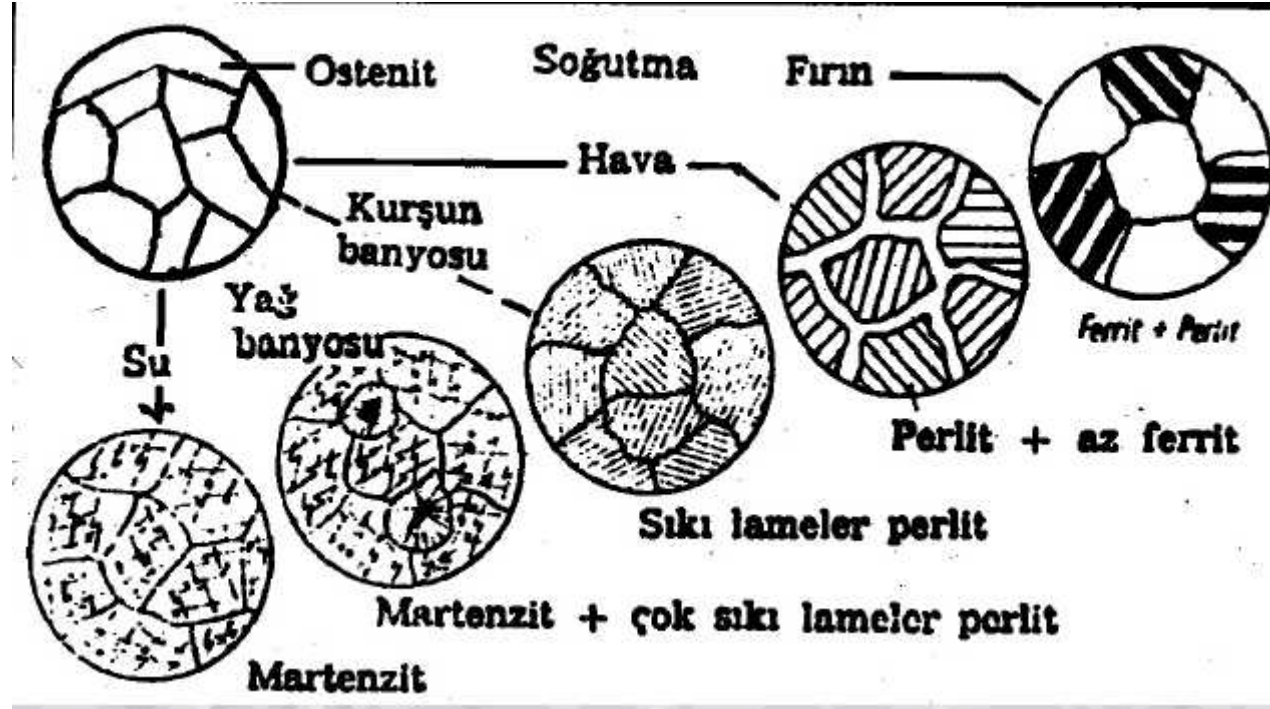
2. SERTLEŞTİRME

Amaç: Takım çeliklerin mümkün olan en yüksek sertlik derecesine ve aşınma mukavemetine sahip olması istenir. Bu arada soğuk şekil değıştirme kabiliyeti kaybolur ve süneklik çok düşer.

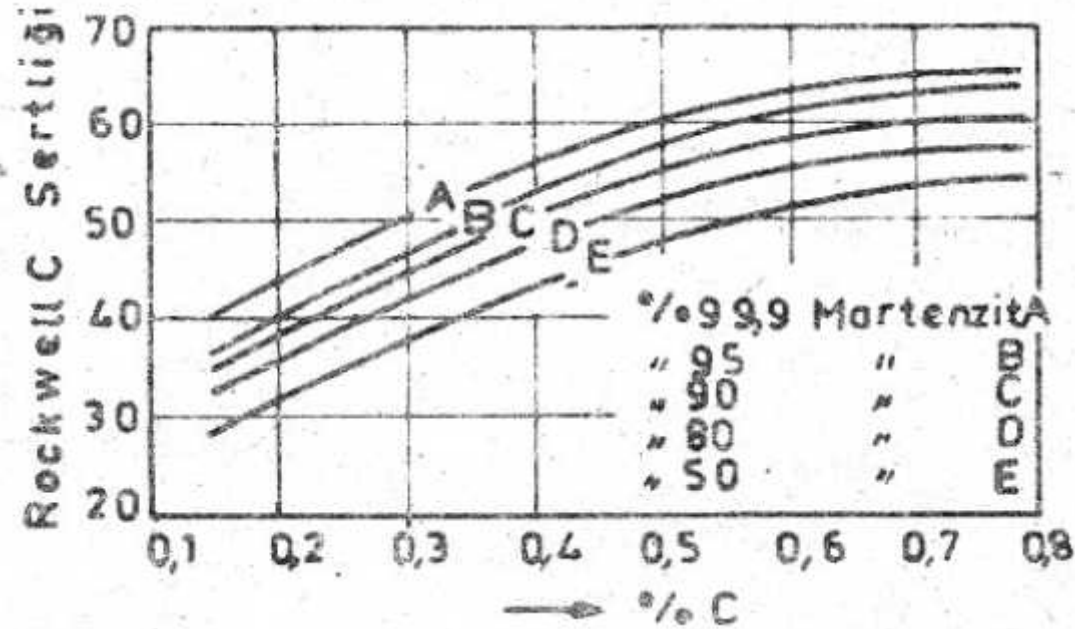
Yöntem: Ötektoid altı çelikler A_3 , Ötektoid üstü çelikler ise A_1 sıcaklığının üzerine ısıtılıp (A_3+50 veya A_1+50), hızla soğutulursa atomlar yavaş soğuma sonucu meydana getirdikleri kristal şekillerini oluşturacak zaman bulamazlar, böylece perlit oluşumu engellenmiş olur ve ostenit bütünü ile Martenzit yapıya dönüşür.



Ostenitin Soğuma Hızına Bağlı Olarak Yaptığı Dönüşümler

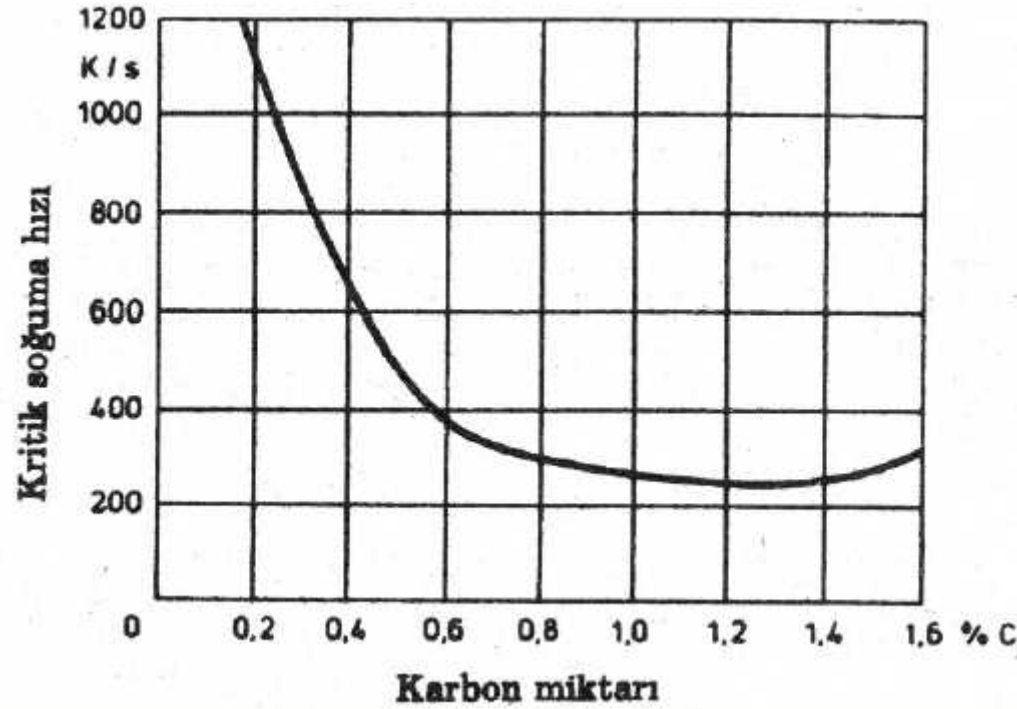


Tam bir sertleşme sağlayabilmek için mümkün olduğu kadar saf bir martenzitik içyapı oluşturulmalıdır. Bu sonuca perlit teşekkülünü tamamen önleyerek de varılır.



Sertlik Martenzit ve karbon miktarına bağlıdır.

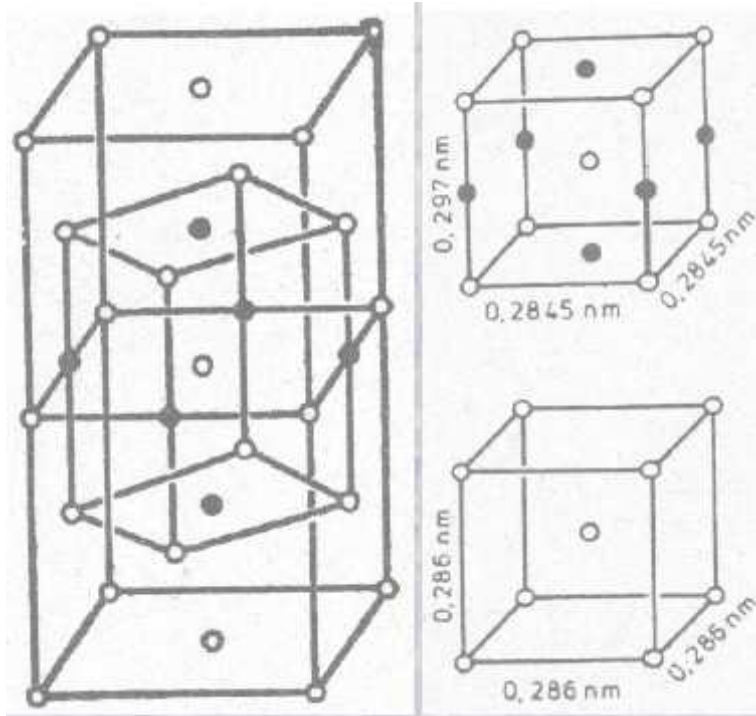
- Belli bir karbon miktarı için maksimum sertlik, ostenitin tamamen martenzite dönüşmesi halinde elde edilir.
- Bunun için gerekli minimum soğutma hızına kritik soğutma hızı denir.



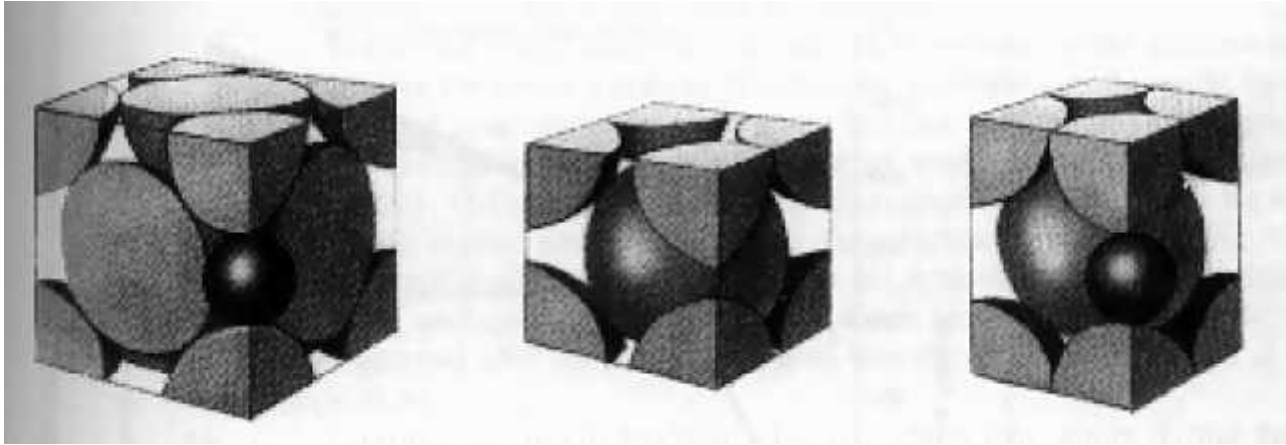
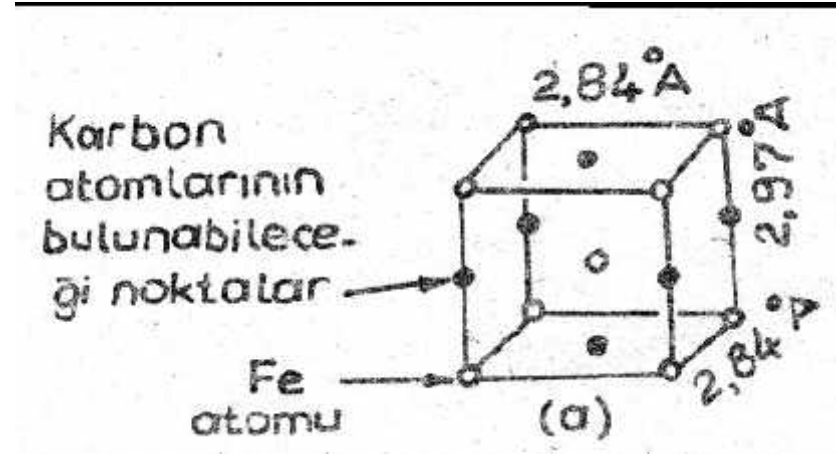
Alaşımsız çeliklerde kritik soğuma hızının karbon miktarı ile değişimi

Martenzit

Martenzit, karbon çözüldürmüş ostenitin düşük sıcaklıkta kafes dönüşümüne uğraması sonucu karbon difüzyonunun engellenmesi ile oluşur.



Dönüşüm, gerçekte basit bir sıkışma olmayıp, çok kısa bir süre içinde kafes sisteminin kayma ve dönme yapmasıdır.



HMK alfa demirin kristal kafesinde normal olarak karbon atomlarına yer yoktur. Bu nedenle kafes şekil değiştirir ve tetragonal hale gelecek şekilde uzar.

- Normal olarak içinde çok az karbon çözünebilen HMK kafes, böylece aşırı karbon atomu etkisiyle gerilir ve hafifçe uzayarak tetragonal hale gelir.
- Sertleşme birinci derecede bu olaya, ikinci derecede de kayma dolayısıyla ortaya çıkan dislokasyonlara bağlanmaktadır.
- Martenzit kristal kafesi sürekli (kesiksiz) kayma düzlemleri ihtiva etmediği için şekil değiştiremez.
- Her türlü şekil değişimine karşı yapı yüksek bir mukavemet (yüksek bir sertlik) gösterir.
- Çok büyük kuvvetler karşısında malzeme önceden şekil değiştirmeden kırılır.

Uygulama:

Sertleştirme işlemlerinde üç önemli etken dikkate alınmalıdır;

1.Isıtma

2.Bekletme

3.Sertleştirme

Uygulama çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Alaşım elementlerinin tesiri de çok büyüktür.

1. Isıtma:

- Sertleştirme için çeliğin öncelikle ostenitleştirilmesi gerekir.
- Isıtmada aşırıya kaçılırsa iri ostenit taneleri teşekkül eder. Bunun sonucunda sertleştirilmiş yapı olumsuz yönde etkilenir ve iri iğneli bir yapı meydana gelir.
- Su verme sıcaklığının altına ısıtma sonucu da hatalar doğar. Ostenit arasında su verme sırasında martenzit haline dönüşemeyen ferrit artıkları kalır.
- Perlit üstü çelikler tamamen ostenit haline getirilemezler. Bu durumda su verme sonucu sertliğin daha az olduğu görülür.
- Perlit üstü çeliklerin sertleştirilmesinde en doğru sıcaklık A_1 doğrusunun 40°C üstündedir, yani yaklaşık 760°C dir.
- Perlit üstü çelikler sertleştirilmeden önce yumuşatıcı bir tavlamaya tabi tutulursa, sementit taneli bir şekilde yapıda bulunur ve sertleşme sırasındaki ısıtma işleminde ostenit içerisinde daha kolay çözünebilir. Bunun neticesinde yüksek sıcaklıkta bekleme süreleri kısalır ve tane irileşmesi tehlikesi azalır.

2. Bekletme:

- Bekletme veya ısı emdirme adı verilen işlem, çeliklerin su verme sıcaklığında dönüşümün tamamlanması için bir süre bekletilmesi işlemidir.
- Bekletme genel olarak çeliğin her bir cm kalınlığı için 5 dakikadır (sade karbonlu çelikler için)
- Alaşımlı çeliklerde katkı elemanlarının dönüşmeleri daha geç olduğu için, daha fazla süre ile bekletme uygulanır.

3. Sertleştirme:

- Sertleştirme (su verme), çeliklerin yapısını değiştirmek için yapılan kontrollü soğutmadır.
- Su verme ortamı, çeliğin ısını parçanın kritik soğuma hızını aşacak şekilde emmelidir. Ancak bu şekilde ostenitten martenzitik bir içyapı teşekkül eder.

- Kritik soğuma hızı (V_k) çeliğin kimyasal bileşimine bağlıdır ve alaşımsız çeliklerde karbon miktarı azaldıkça bu hız yükselir.
- Alaşım elementlerinden manganez kritik soğuma hızını düşürür.

Karbon (%)	Mn	V_k (°C/s)
0,6	---	1800
0,6	0,3	750
0,9	1,1	200
0,8	1,5	80

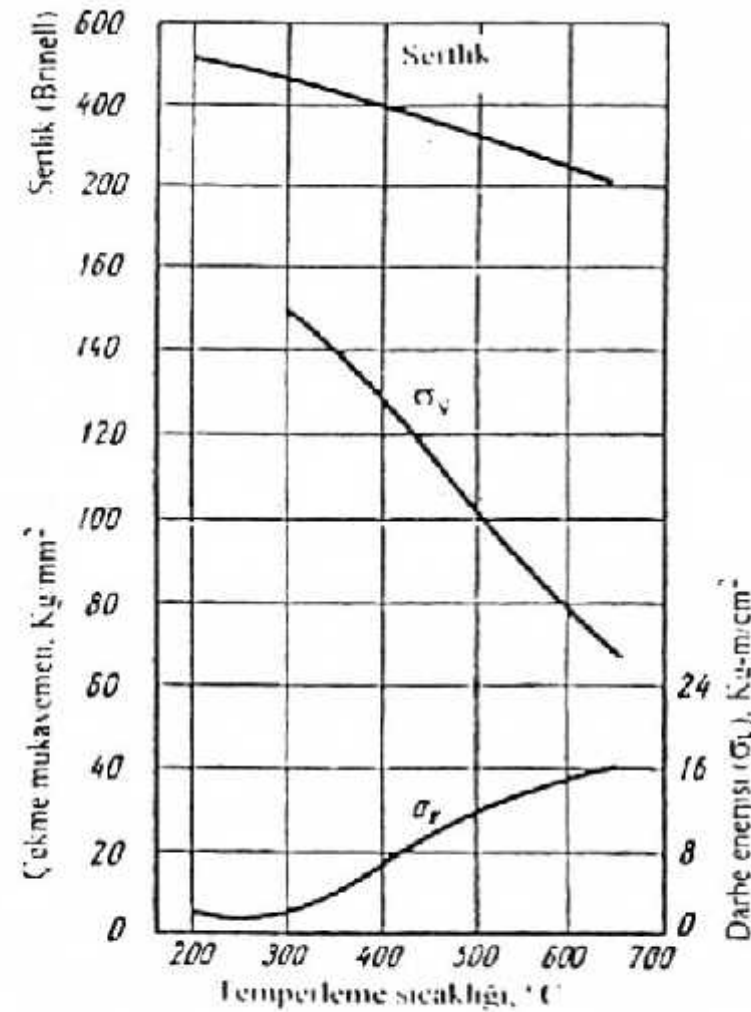
- Yüksek soğutma hızının oda sıcaklığına kadar inilinceye kadar devam etmesine gerek yoktur. Sadece ostenitin perlite dönüşmesini önlemek yeterlidir.

TEMPERLEME (MENEVİŞLEME)

- Ostenit sahasından su verilerek martensitik yapı kazandırılmış olan çelikleri yumuşatmak ve tokluğunu arttırmak amacıyla ötektoid sıcaklığın altında belli bir süre tutma işlemidir.

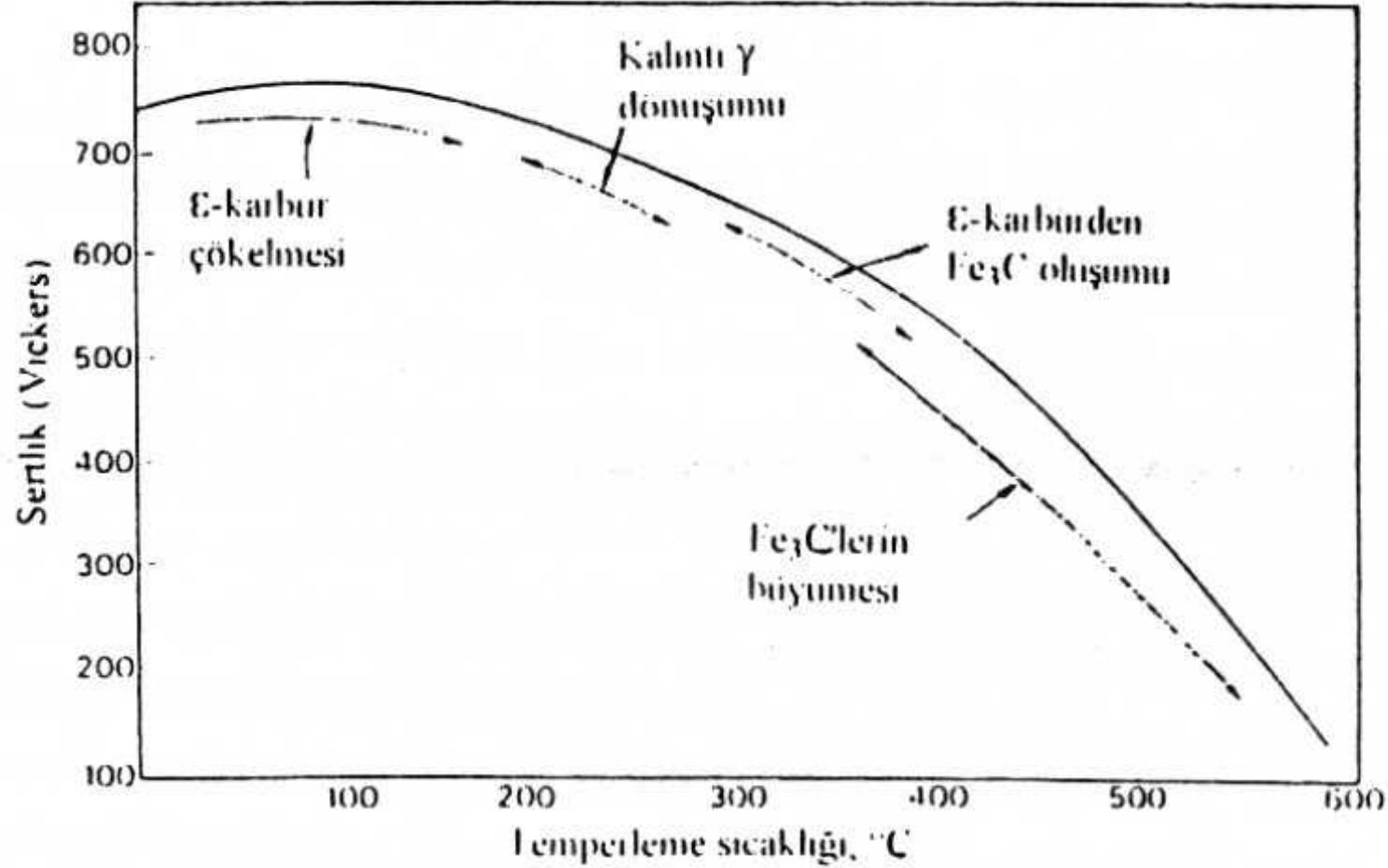
Martensit → Temperlenmiş Martensit + Sementit

Temperleme Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi



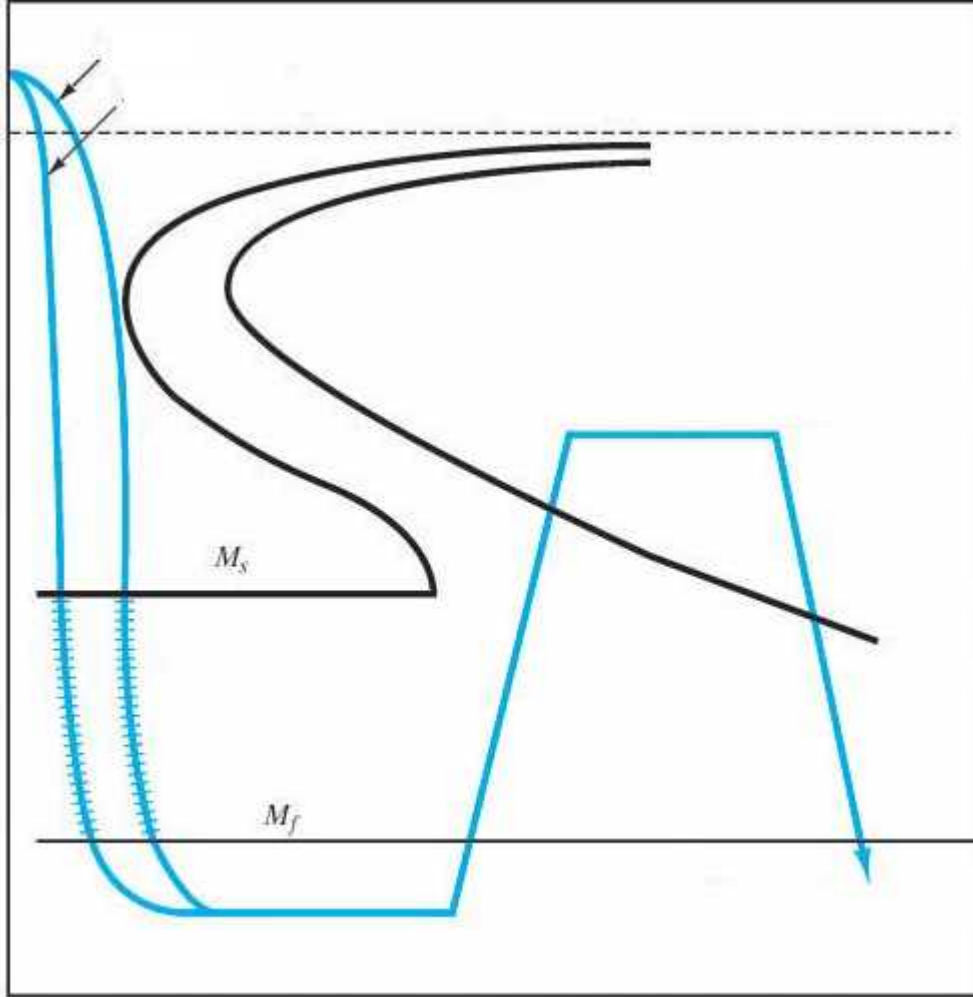
Temperleme sıcaklığının, martensitik yapıdaki sade karbonlu çeliklerin mekanik özelliklerine etkisi.

Temperleme Sırasında Martensitik Yapıdaki Değişimler



Sade karbonlu ötektit çeliklerde temperleme sıcaklığının fonksiyonu olarak çeliğin sertliği ve içyapısındaki değişikliklerin şematik gösterilimi.

Menevişleme (Temperleme)



- Kırılgan Martenzit iç yapının, **daha tok ve hala yüksek dayanımlı iç yapıya dönüştürülmesi** ısısal işlemidir.
- Ostenit sıcaklıktan su verilen iç yapıda martenzitler oluşur.
- Daha sonra bu malzeme temper sıcaklığına ısıtılarak martenzit **temper yapıya** yani **ince taneli ferritik-perlitik** bir yapı dönüştürülür.

Temperleme Sırasında Martensitik Yapıdaki Değişimler

1. Safha (38-250 °C):

- Yüksek C'lu çeliklerde SPH yapıdaki ϵ karbürün ($\text{Fe}_{2,5}\text{C}$) çökmesi ile martensitin sertliği bir miktar artar.
- Martensit tetragonelliğini kısmen kaybeder.
- $\text{C} < 0,25$ çelikte ϵ karbür oluşma şansı yoktur.
- Çeliğe Si ilavesi ϵ karbürün 200 °C'nin üzerinde kararlı olmasını sağlar.

2. Safha (230-370 °C):

- 200 °C'nin üstünde ϵ karbür çözünür ve çok ince sementit (Fe_3C) çökelir.
- Martensit tetragonel yapısını tamamen kaybederek bir nevi ferrit oluşur.
- Temperleme sıcaklığının yükselmesi ile sementitler büyür ve küreselleşir. Sertlik düşer.
- Yüksek karbonlu çeliklerin mikroyapısında martensitle birlikte bulunan kalıntı ostenit kısmen beynite dönüşerek malzemenin sertliğinde artışa neden olur.
- Bu sıcaklık aralığındaki temperleme ile sade karbonlu düşük alaşımlı çeliklerin tokluğunda düşme olur (Temper Gevrekliği). Bu nedenle bu sıcaklıkta temperleme işlemlerinden kaçınılır. Ancak temperlemeye karşı direnci arttıran alaşım elentlerinin ilavesi ile temper gevrekliği azaltılabilir

3. Safha (370-540 °C):

- Sementit büyümeye ve küreleşmeye devam eder.
- Malzemenin sertliği düşerken, tokluğu artar.
- Tokluk ve mukavemetin optimum kombinasyonu bu aralıkta elde edilir.
- Yüksek tokluk gerektiren ortamlarda kullanılan sade karbonlu ve düşük alaşımlı yapı çelikleri bu aralıkta temperlenir.

4. Safha (540-675 °C):

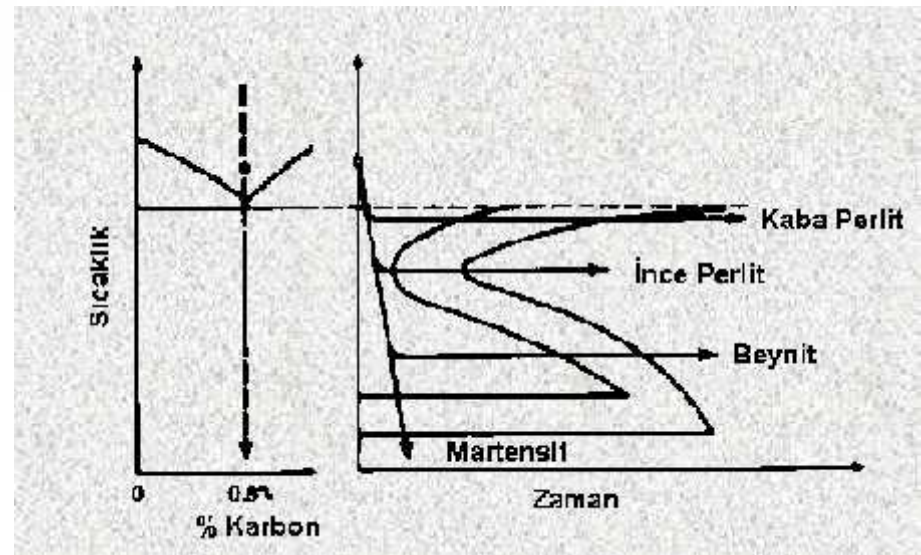
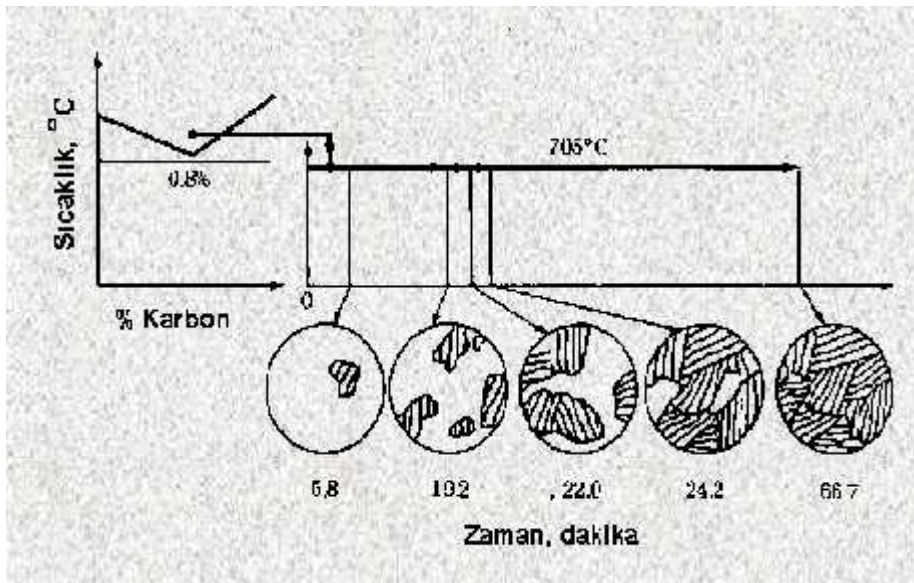
- Bu bölgede 1 saat temperleme ile aşağıdaki dönüşüm olur:
Martensit → Yeniden kristalleşmiş ferrit + Küresel Sementit
- Yeniden kristalleşme ile sınırlarında ve içinde küresel sementit içeren eş eksenli ferrit taneleri oluşur ve daha sonra bu ferrit taneleri büyür.
- Bu safhada dislokasyonlar yeniden düzenlenir ve dislokasyon yoğunluğu azalır.
- Düşük karbonlu çeliklerde yeniden kristalleşme kolay olurken, yüksek karbonlu çeliklerde sementit partiküllerinin yoğunluğu fazla olduğundan, sementitler tane sınırlarında dislokasyon hareketini ve ferrit tane sınırlarını kilitleyerek yeniden kristalleşmeyi zorlaştırır.

Demir Karbon Alaşımlarının TTT Diyagramları

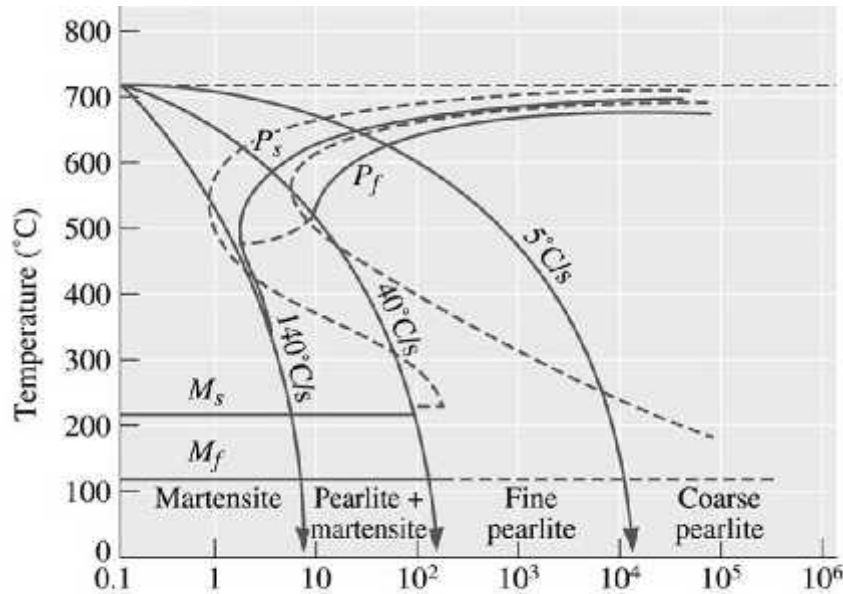
- Çeliğin ostenit bölgesinden oda sıcaklığına yavaş soğutulması sonucunda yapıda Fe-C denge diyagramında da görülen Ferrit ve Sementit fazları oluşur.
- Çeliğin değişik hızlarda dengesiz şekilde soğutulması durumunda ise Fe-C denge diyagramı fazları belirlemek yönünden yetersiz kalır.
- Dengesiz soğutma sırasında çelikte oluşan mikroyapılar TTT (Time-Temperature-Transformation) diyagramları ile etüd edilir.

TTT Diyagramlarının Çıkarılması

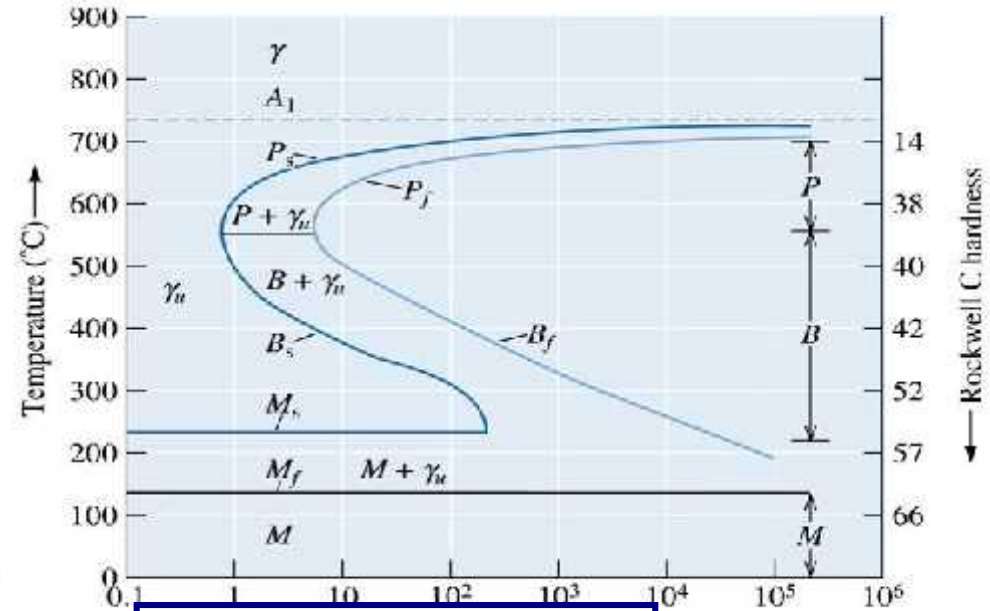
- %0,8 C içeren ötektoid bir çeliğin TTT diyagramının çıkarılması aşağıda gösterilmiştir.
- Ostenit sıcaklığındaki çelik, daha düşük sıcaklıkta bulunan bir fırına konulup bekletilerek, bu sıcaklıktaki faz dönüşümleri ve faz oranları saptanır.
- Dönüşümün başladığı ve bittiği süreler saptanarak, TTT



TTT Diagrams



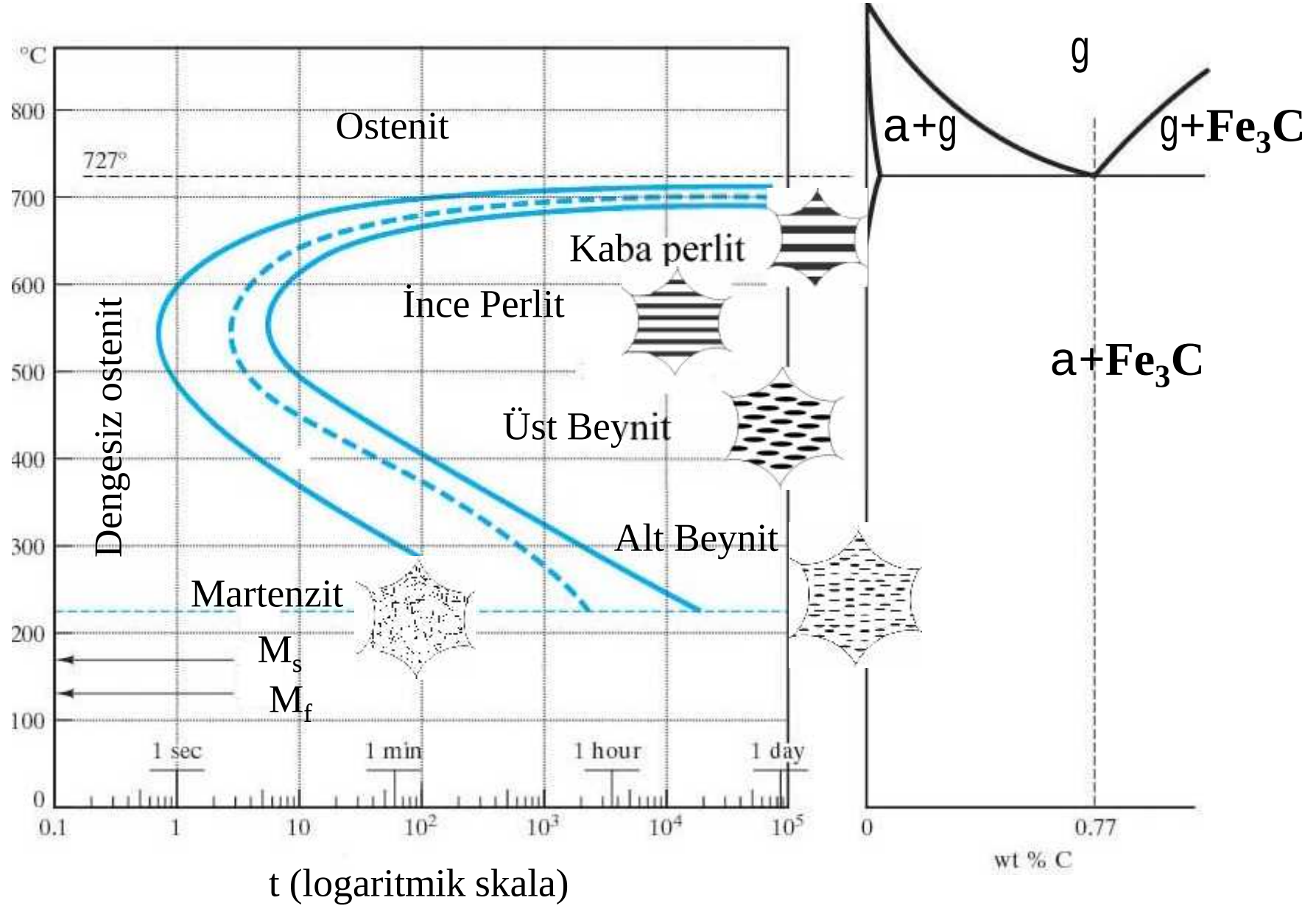
Sürekli soğutma eğrisi
boyunca dönüşüm

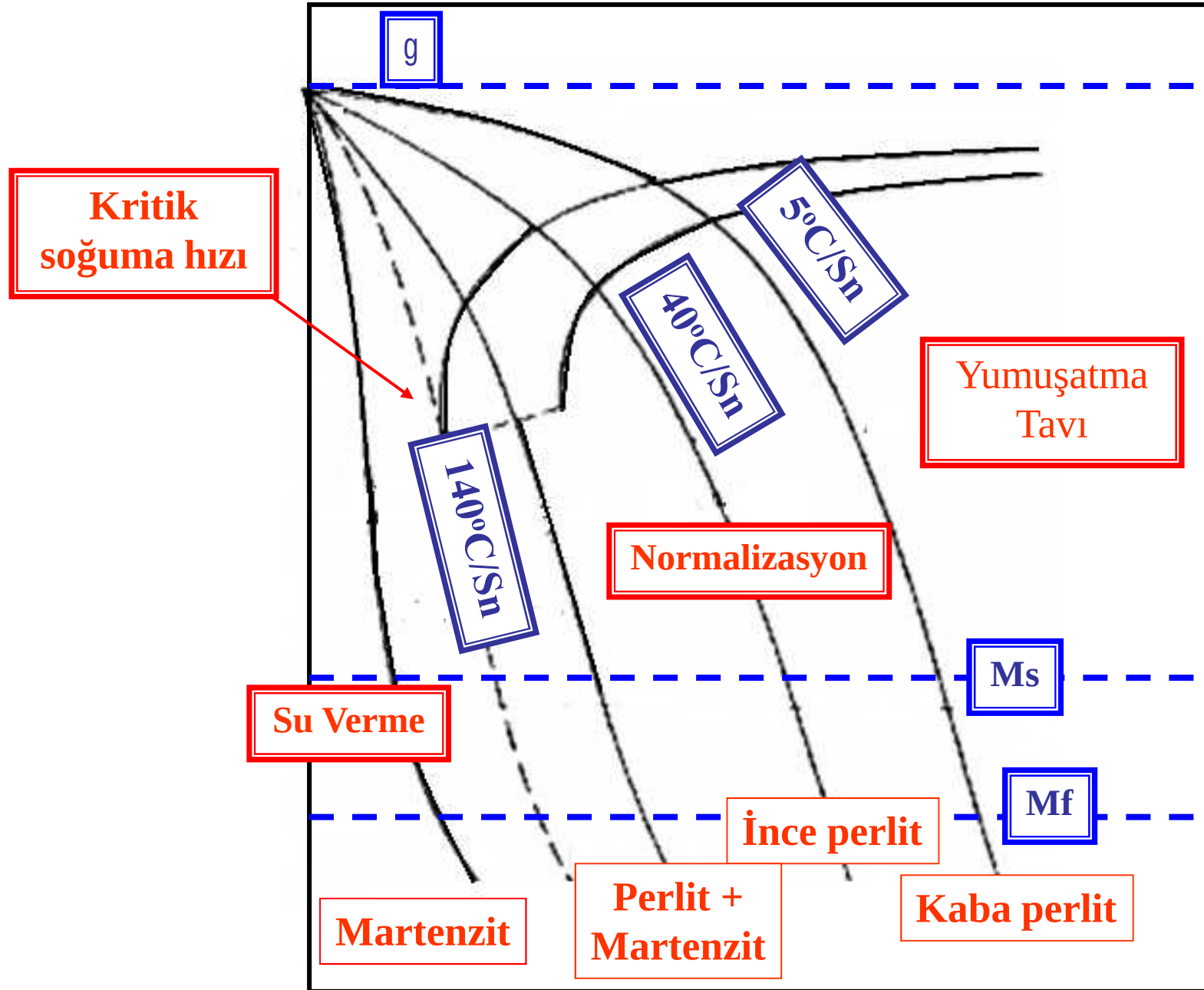


İzotermal eğri
boyunca dönüşüm

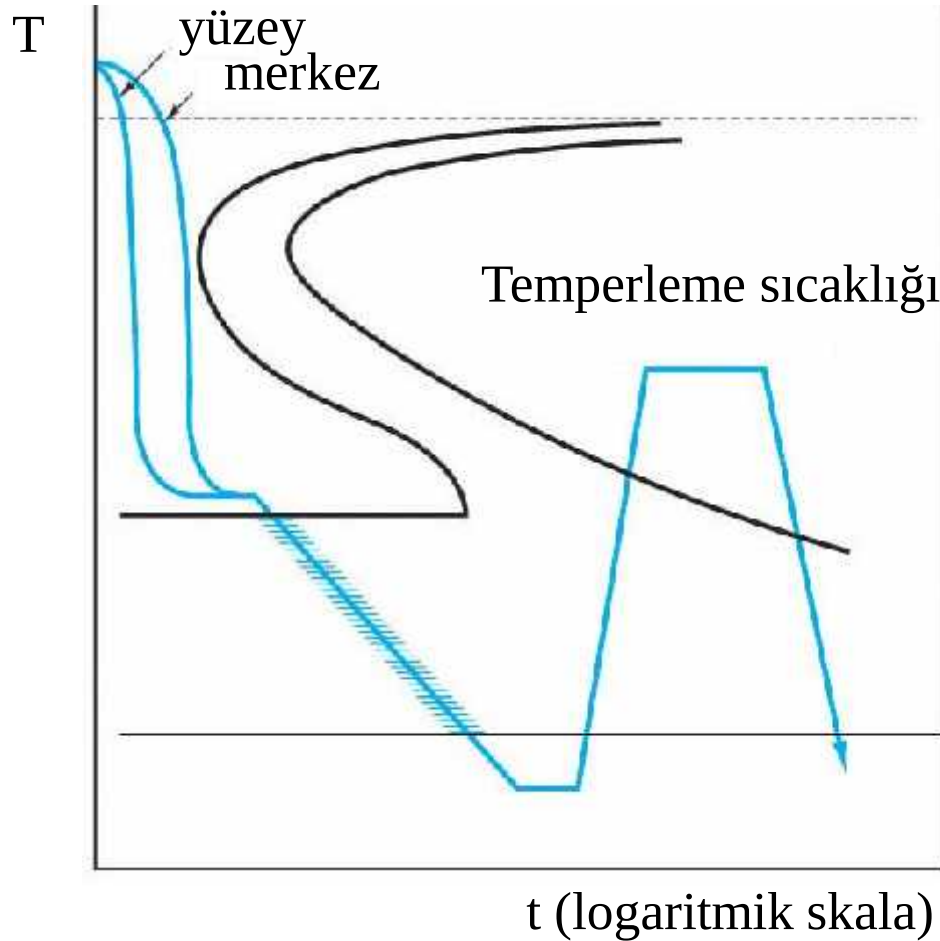
Isothermal annealing for fully pearlitic structure.
Ferrite + Pearlite for hypoeutectoid steels
 or
Pearlite + Cementite for hypereutectoid steels

Ötektoit Çelik



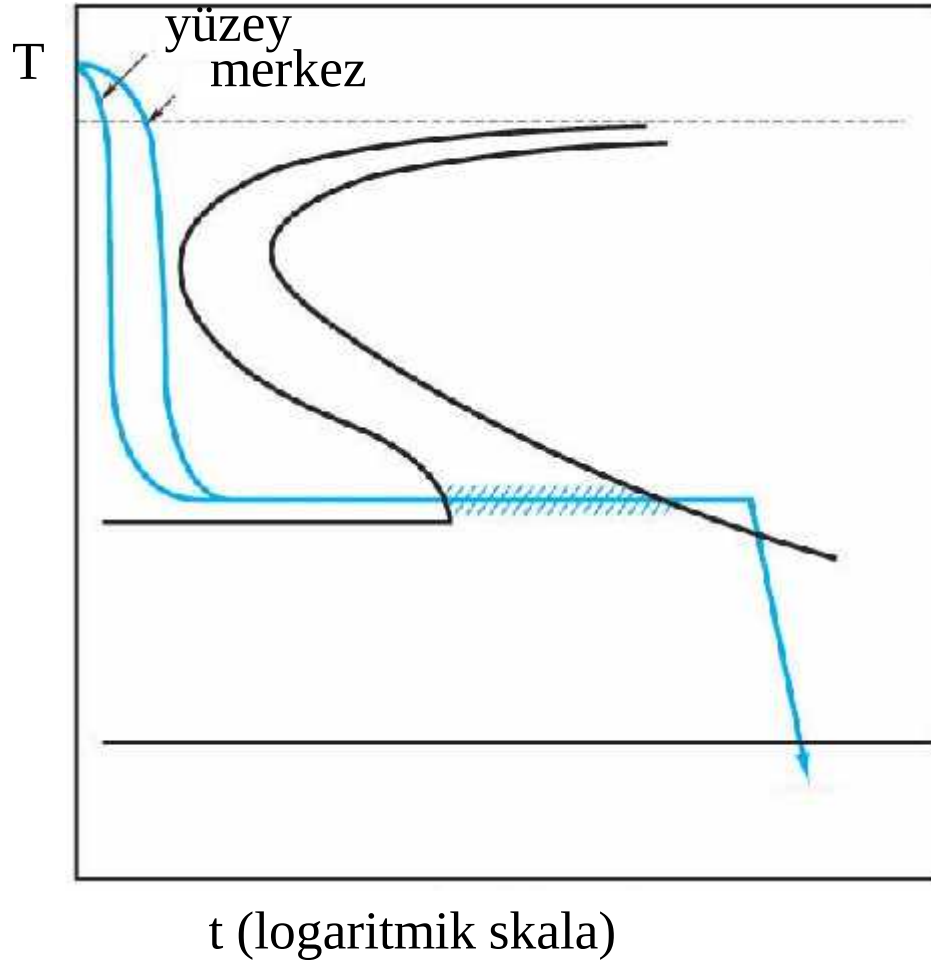


Martemperleme (Martempering)



- Martenzit oluşumu sırasında **çatlama ve kırılma risklerini azaltmak** amacıyla ostenit bölgesinden martenzit başlangıç sıcaklığının hemen üzerinde ani olarak soğutulur.
- Bu sıcaklıkta **iç ve yüzey sıcaklıkları eşitlenecek** ve beynit oluşum sıcaklığına girmeyecek şekilde bekletilir ve sonra **tekrar su verilir**.
- **TEMPERLENMİŞ MARTENZİT**

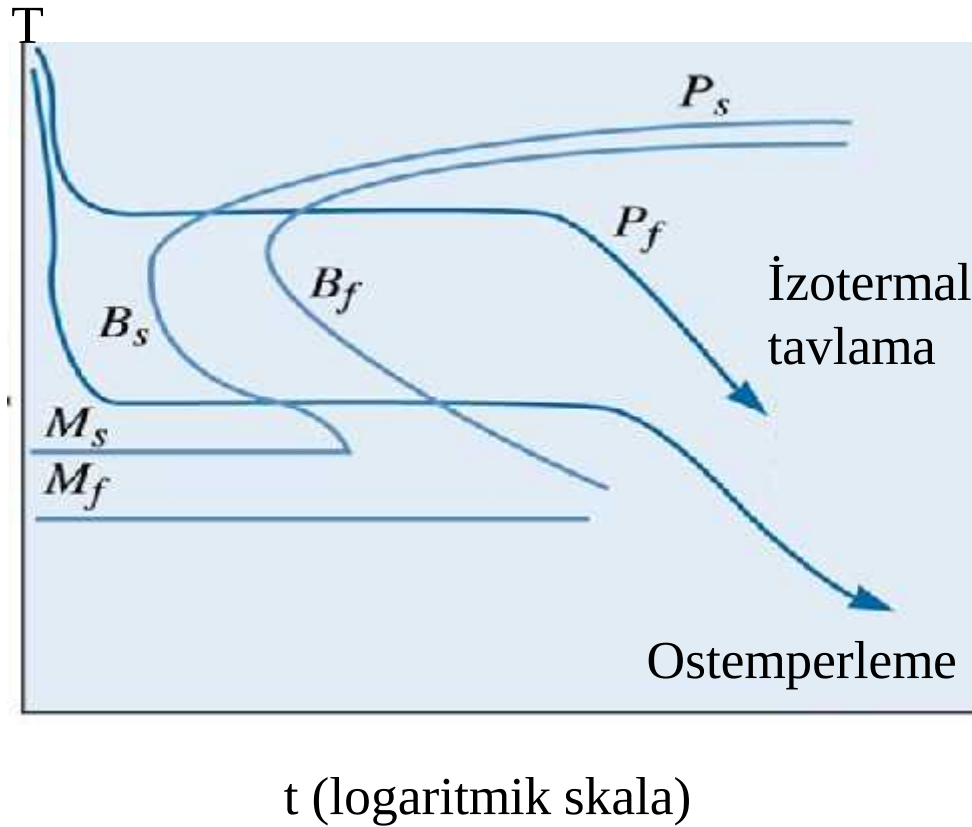
Ostemperleme (Austempering)



- Yapının **%100 alt beynite** dönüştürülmesi için yapılan ısıtma işlemidir.
- Ostenit sıcaklığına ısıtılan malzeme **martenzit oluşum sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa su verilir.**
- Daha sonra **yeterince uzun süre bekletilen** dengersiz ostenit **%100 beynite** dönüştürülür.

Not: Karbonlu çeliklerde beynit, sürekli soğutma ile elde edilemez. Beynit elde etmek için izotermal soğutma gereklidir.

İzotermal tavlama (Isothermal annealing)



- Çeliğin tamamen kaba perlitik bir yapıya dönüştürülmesi için yapılan izotermal işlemdir.
- Önce ostenit bölgesinden dönüşüm sıcaklığına ani soğutma yapılır ve bu sıcaklıkta eğriyi kesecek şekilde beklenir.
- Dönüşüm sonrası oda sıcaklığına soğutulur.