



Dokuz Eylül Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü



İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I

MÜHENDİSLİK METAL VE ALAŞIMLARI

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA
www.caglaryalcinkaya.com

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



GİRİŞ



Limonit

- ✓ Metaller ve alaşımlar polikristal yapılı, inorganik cisimlerdir.
- ✓ Metaller homojen yapılı, katı veya sıvı halde özelliklerini değiştirmeyen; demir, bakır, alüminyum gibi yapı malzemeleridir.
- ✓ Metaller doğada çoğunlukla oksit, kükürt ve karbonatlı cevherler halinde bulunur.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



GİRİŞ

- ✓ Mühendislik malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler, ana metale başka element veya elementlerin eklenmesi ile elde edilen alaşımlardır.

✓ Saf metaller (+)

+korozyona karşı büyük bir dayanıklılığı vardır.

+ İletkenliği yüksektir.

✓ Saf metaller (-)

- mekanik özellikleri düşük,
- yumuşak
- pahalıdır.

Bu nedenle uygulamada saf metaller genellikle kullanılmaz.

- ✓ Özelliklerin iyileştirilmesi veya istenen özelliklerde malzeme elde etme amacıyla alaşımlar geliştirilmiştir.

- ✓ Alaşımlar saf metallerden daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



ALAŞIM

Alaşım;

bir metale belirli özellik sağlamak için en az bir başka elementin (metal veya ametal) eklenmesi ile elde edilen metal karakterli malzemedir.

- ✓ Örneğin, çelik (demir ve karbon) metal olmayan bir elemanı içeren bir alaşımdır.
- ✓ Alaşımda fazla miktarda olan metale **asıl metal** adı verilir.
- ✓ Alaşımı elde etmek için bu metale karıştırılanlara da **alaşım elemanları** denir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



KATI ERİYİKLER:

- ✓ Uygun sıcaklıklarda, gaz ve sıvı çözeltilerinde olduğu gibi, katı cisimler de homojen bir eriyik olan çözelti haline dönüşebilirler. Katı eriyikler sıcaklık ve içeriklerine göre değişik fazlarda bulunabilirler.
- ✓ **Faz**, üniform fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren bir sistemin homojen bir parçasıdır. Aynı ortamda değişik fazlar bulunabilir.
- ✓ İlave edilen element, kristal içinde ya katı çözelti veya ara bileşikler halinde bulunur.
- ✓ Genellikle çözücü bir cismin içinde ancak sınırlı bir miktar çözünen madde çözünebilir. Örneğin, bir bardak suda ancak belirli bir miktar şeker çözülebilir.
- ✓ Benzer şekilde metal eriyiklerinde de çözülebilirlik sınırları vardır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



KATI ERİYİKLER:

- ✓ Örnek olarak su-şeker karışımını dikkate alınırsa; sabit bir sıcaklıkta şekerin su içinde çözünebileceği maksimum miktar vardır. Buna “**çözünürlük sınırı**” denir.
- ✓ Sıcaklık artıkça bu sınır artar.
- ✓ Bu sınırdan daha fazla şeker konursa, fazla şeker su içinde çözünmez ve karışımın dibinde katı parçacıklar çöker.
- ✓ Bu durumda ortamda iki faz vardır:
 - ✓ 1- Çökelmiş şeker fazı
 - ✓ 2- Şekerli su fazı (şerbet)

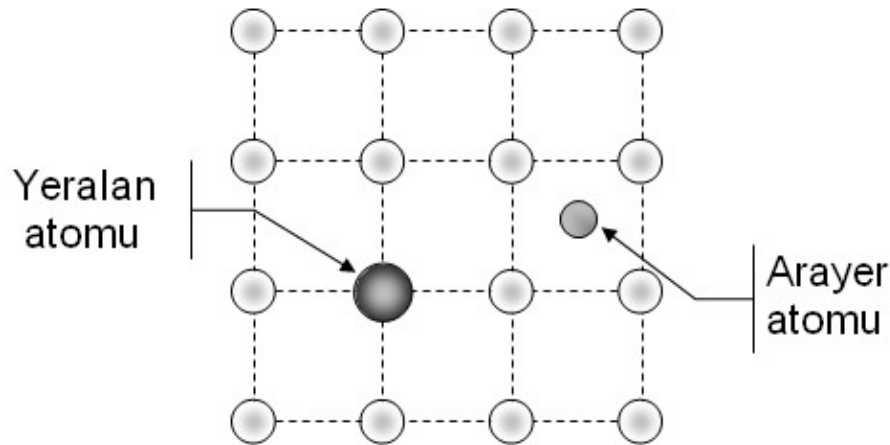
MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



KATI ERİYİKLER:

- ✓ Metallerin büyük çoğunluğu kafes yapısı içinde belirli sayıda yabancı atom barındırabilirler.
- ✓ Yabancı atomların asıl metalin kafes sistemindeki yerleşimlerine göre, metalik katı eriyiklerin iki türü vardır:

- ✓ 1. Ara-yer Katı Eriyiği
- ✓ 2. Yeralan Katı Eriyiği (Asal Yer Katı Eriyiği)



- ✓ Yabancı atom esas metalin atomu yerine yerleşiyor ise **Yeralan Katı Çözeltisi**, kafes aralarındaki boşluklara yerleşiyor ise **Arayer Katı Çözeltisi** meydana gelir

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



- ✓ Eriyen elementin (yabancı elementin) atomlarının kafesteki dağılımı düzenli ya da düzensiz olabilir.
- ✓ Belli bir kritik sıcaklığın altında, eriyen atomlar tüm birim kafeslerde aynı pozisyonlara yerleşerek düzenli katı eriyik oluştururlar. Bu tür kafeslere “**süper kafes**” adı verilir.
- ✓ Ancak düzenli katı eriyikleri, sert ve kırılgan bir yapıya sahip olduklarından dolayı mühendislik malzemesi olarak uygun olmayan özelliklere sahiptir.
- ✓ **Düzensiz katı eriyikleri ise tok ve düktil olduklarından uygulamada daha çok tercih edilirler.**

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Hume-Rothery Kuralları

✓ Yer alan katı eriyiğinin oluşabilmesi için bazı şartların sağlanması gerekmektedir.

- a) Atom boyut faktörü
- b) Kimyasal Faktör
- c) Rölatif Valans Faktörü

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



ATOM BOYUT FAKTÖRÜ

- ✓ Alaşıma giren atomların çapları birbirine ne kadar yakın ise bu elementlerin birbirini çözme olasılığı o kadar yüksektir.
- ✓ Bu tip eriyiklerde atomların çapları arasındaki fark % 14-15' den fazla ise iki elementin birbiri içinde çözülmesi çok sınırlı kalır.
- ✓ Örneğin kurşun ve alüminyumun atom çapları arasındaki bağıl fark % 16 olduğundan, eritilmiş bu iki metal karıştırılıp soğumaya terkedilince, sonunda birbirleriyle birleşmemiş ve karışmamış kurşun ve alüminyum katı metalleri elde edilir.
- ✓ Buna karşın atom çapları arasındaki fark % 7'yi geçmiyor ise bunların her oranda birbiri içinde çözünmesi olanaklıdır.
- ✓ Örneğin, nikelin atom çapı $1.245 \text{ \AA}$, bakırın ise $1.278 \text{ \AA}$ olduğundan, bu iki metal her oranda birleşip farklı karakterde alaşımlar oluşturabilirler.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



KİMYASAL FAKTÖR

- ✓ Eriyen ve eriten atomların birbirine olan kimyasal ilgisi ne kadar az ise katı eriyik oluşturma eğilimleri o kadar fazladır, aksi takdirde kimyasal bileşik oluştururlar.

RÖLATİF VALANS FAKTÖRÜ

- ✓ Bir atoma düşen valans (değerlik) elektronu sayısı demektir.
- ✓ Bu sayının artması katı eriyik bölgesinin genişlemesine yol açar, yani düşük valanslı bir metal, içerisinde yüksek valanslı metalleri daha fazla eritir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Hume-Rothery Kuralları

- ✓ İki metal üç şartı da sağlıyor ise her bileşim oranında katı eriyik oluştururlar.
- ✓ Hume-Rothery tarafından belirlenen bu kurallara göre bakır grubu, gerek atom boyutu gerekse kimyasal bakımdan metallerin ortasında yer aldığından en iyi eritici olarak bilinir. Gümüş de aynı özelliklere sahiptir.
- ✓ Geçiş elementlerinden olan **demir de birçok metali geniş oranda eritebilir** (Al, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pt, Sn, V, W, vb.).
- ✓ **Periyodik tablonun aynı sırasında bulunan ve atom çapları birbirine uyan geçiş elementleri birbirini geniş oranlarda eritirler.**
- ✓ Çok değerlikli, geçiş metalleri grubundan olmayan metallerin (Mg, Al, Sn) ise, gerek atom boyutlarının ve gerekse kimyasal duyarlılıklarının artması dolayısıyla eritebilirlik sınırları daralır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



KATILAŞMA

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

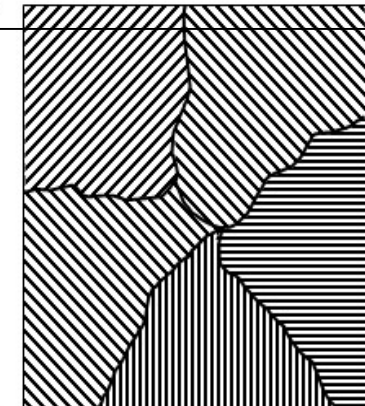
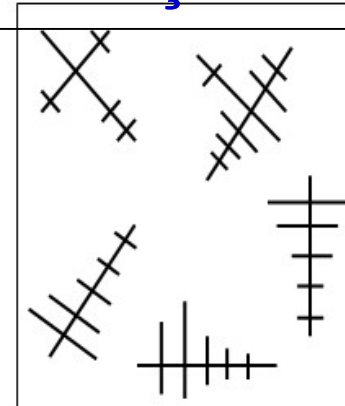
MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



KATILAŞMA OLAYI

- ✓ 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.
- ✓ Sonra çam dalına benzeyen katılar oluşur ki buna **dendrit** adı verilir.
- ✓ Bu sırada dendritler büyür ve birbirlerine temas eder.
- ✓ Her bir dendrit farklı yönlerde büyüdüğünden, temas yerlerinde katılaşma tamamlandığında **tane sınırları** oluşur.

- ✓ İrileşmiş dendritlerin arasındaki dendrit boşlukları dolar sonuçta taneler oluşur.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



DENGE DİYAGRAMLARI

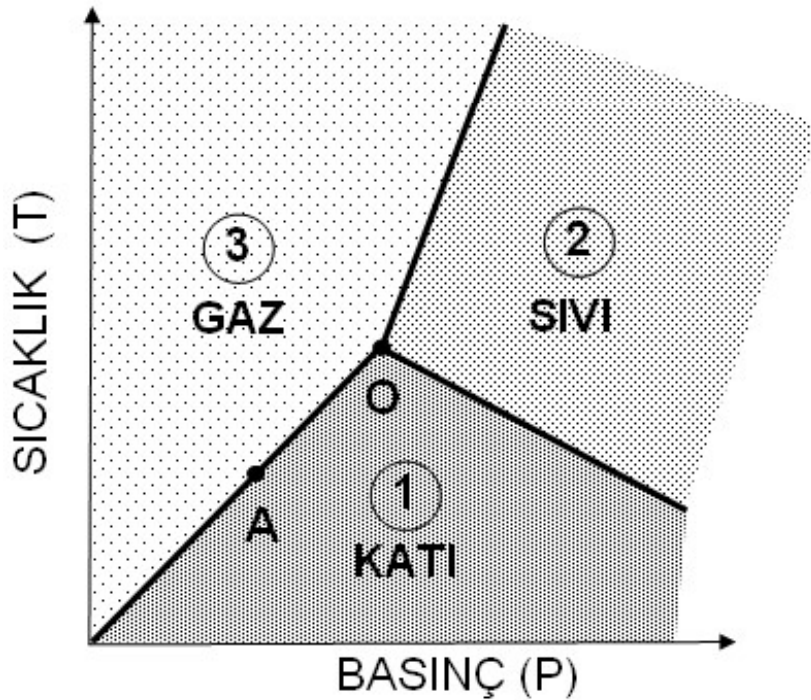
- ✓ Maddeler belirli çevre şartlarında bir veya birden fazla faz içerebilirler. Denge halindeki faz sayısı ve miktarı, maddenin;
 - a) Kimyasal kompozisyonuna,
 - b) Ortam sıcaklığına,
 - c) Ortam basıncına bağlıdır.
- ✓ Maddenin hangi çevre şartlarında ve hangi kimyasal kompozisyonda ne gibi fazları (denge hali) içerdiği, sıcaklık, kompozisyon ve basıncın değişken alındığı **Faz Denge diyagramlarında (denge diyagramları)** gösterilir.
- ✓ 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.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



BİR BİLEŞENLİ DENGİ DİYAGRAMLARI

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



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

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



İKİ BİLEŞENLİ DENGİ DİYAGRAMLARI

✓ 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
 - 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)

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



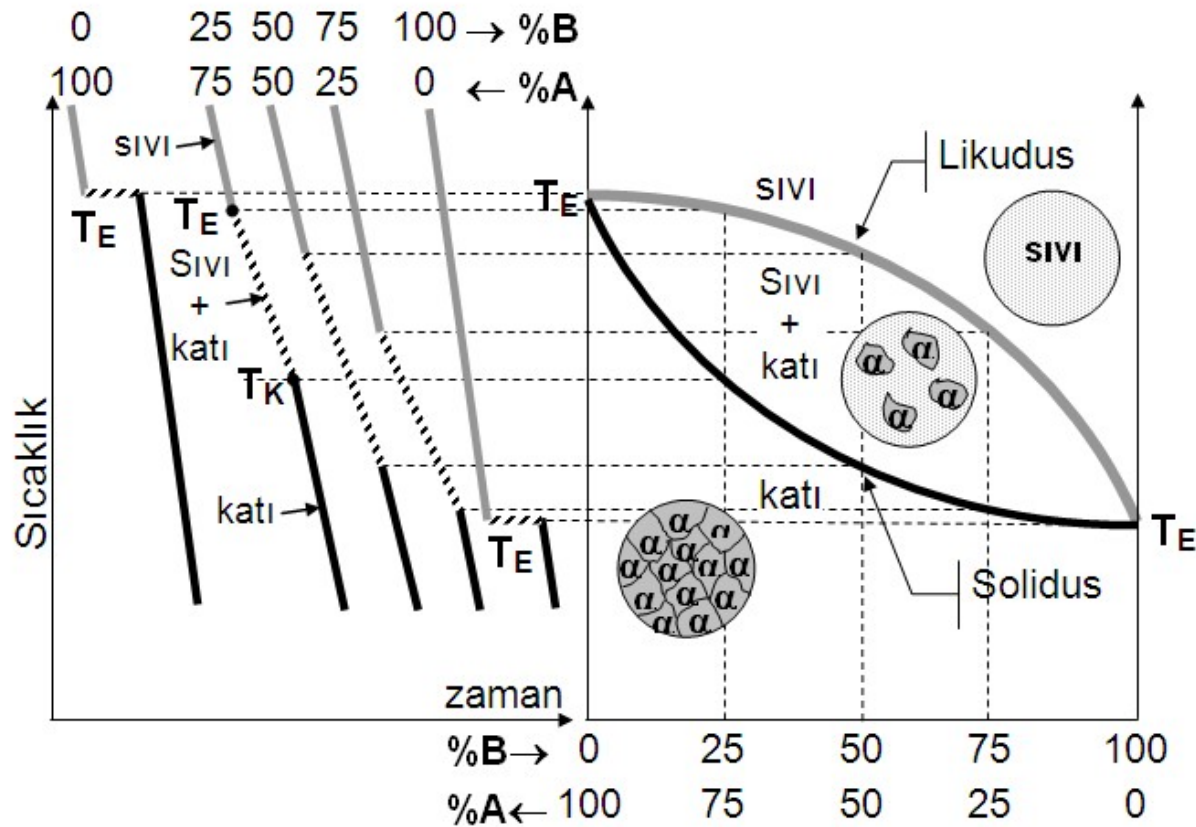
Sıvı ve Katı Halde Tam Çözünürlük

- ✓ Alaşımı 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 (T_E) ergir veya katılaşır.
- ✓ Ancak birbiri içinde tamamen eriyebilen iki madde karıştırıldığında oluşan alaşımda ergime ve katılaşma A elementinin ergime sıcaklığı (T_{EA}) ile B elementinin ergime sıcaklığı (T_{EB}) arasındaki sıcaklarda meydana gelir.
- ✓ Bu aralık karışımı oluşturan maddelerin konsantrasyonuna göre değişmektedir.
- ✓ Alaşımların faz diyagramlarının belirlenmesi için değişik konsantrasyonlarda alaşımlar hazırlanarak ergime ve katılaşma noktaları belirlenir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Sıvı ve Katı Halde Tam Çözünürlük



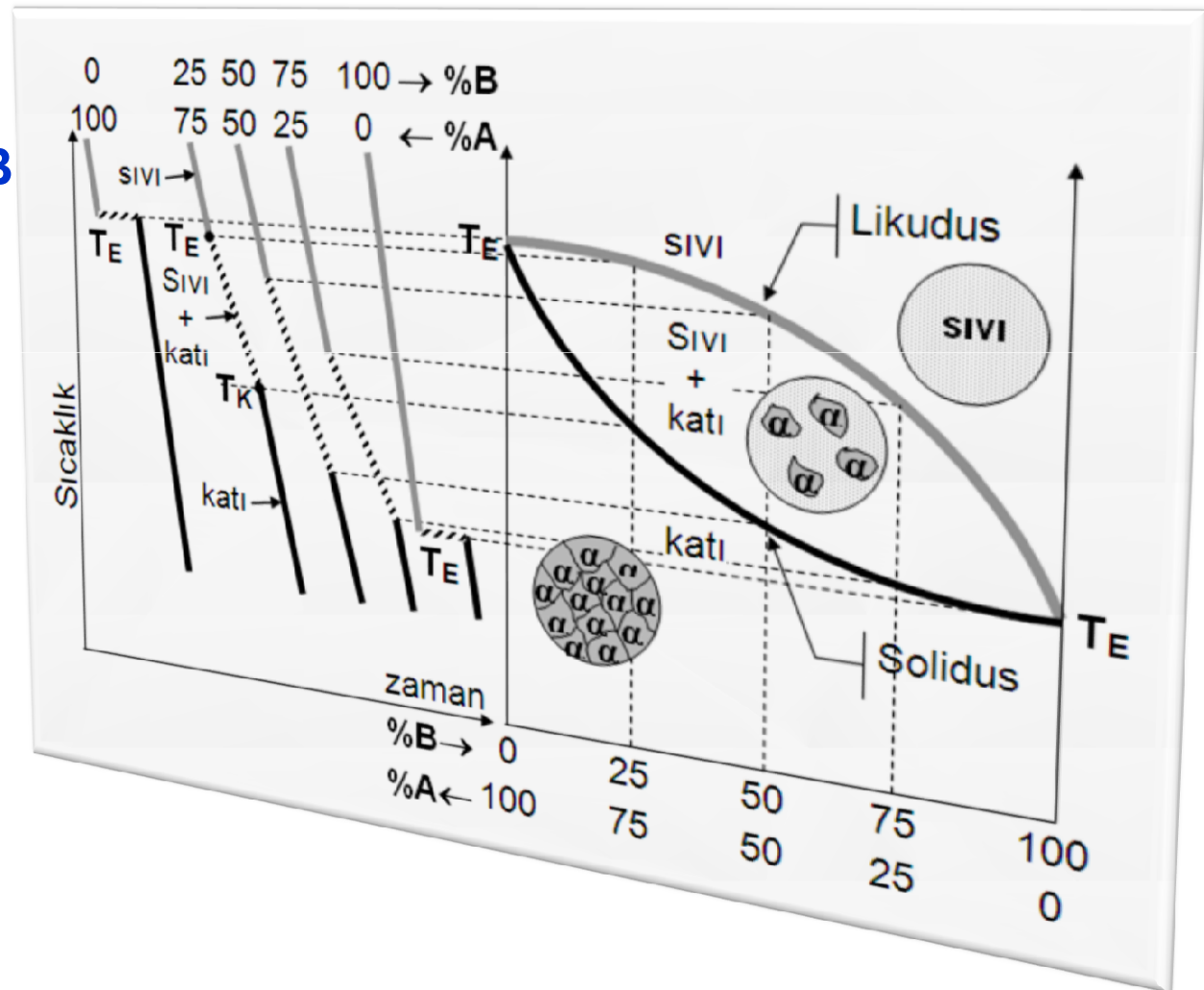
- ✓ Bu denge diyagramında sıvı, katı, sıvı+katı fazlar ile bu fazlara ait sınırlar **likudus ve solidus** görülmektedir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Sıvı ve Katı Halde Tam Çözünürlük

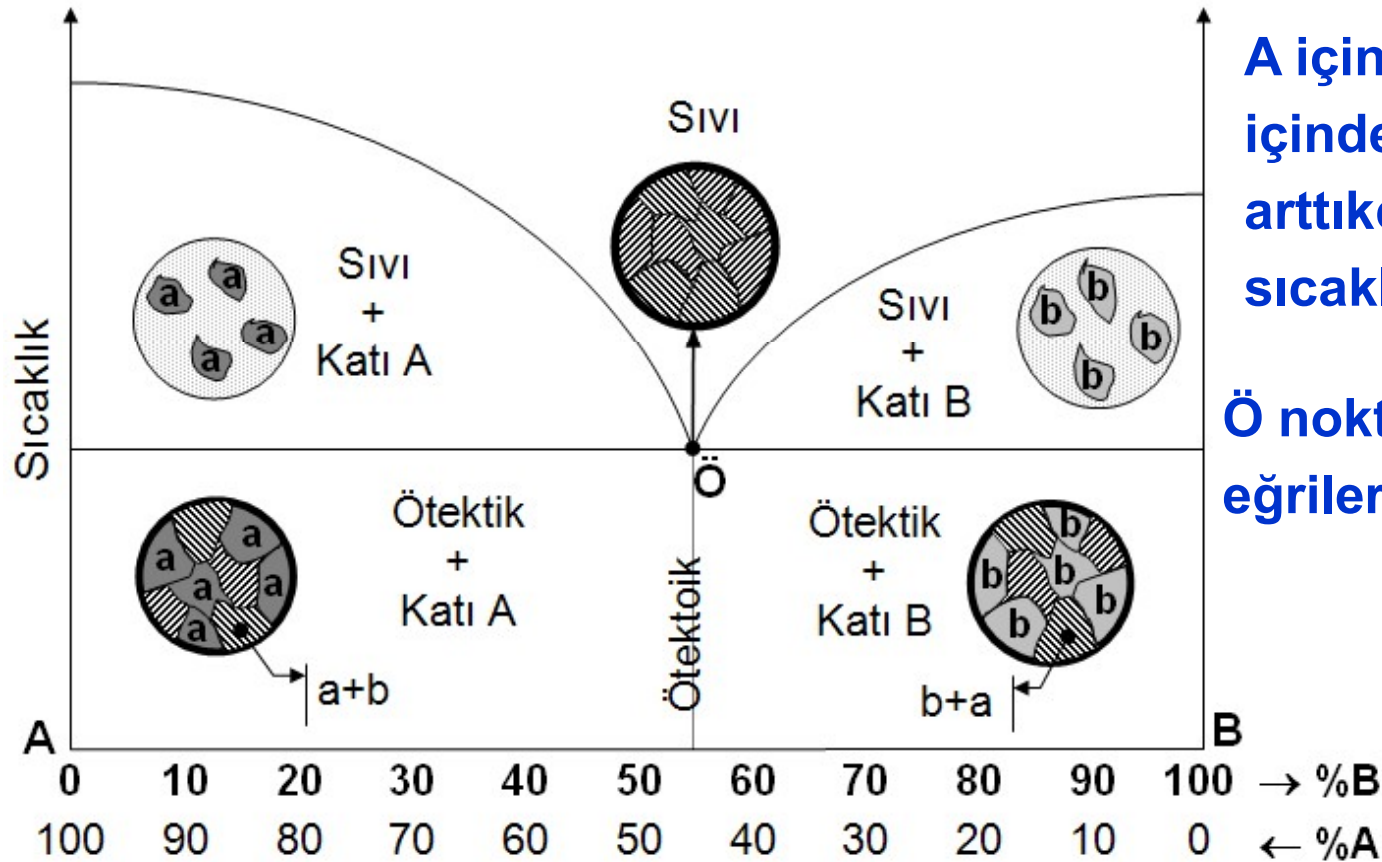
Katı faz, birbiri içinde tamamen eriyen A ve B maddelerinin oluşturduğu katı eriyikten (α) meydana gelmiştir. Maddeler birbiri içinde tamamen eridiğinden dolayı katı (α) tanelerinde sadece tane sınırları görülebilir.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



→ Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Tam Çözünmezlik



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

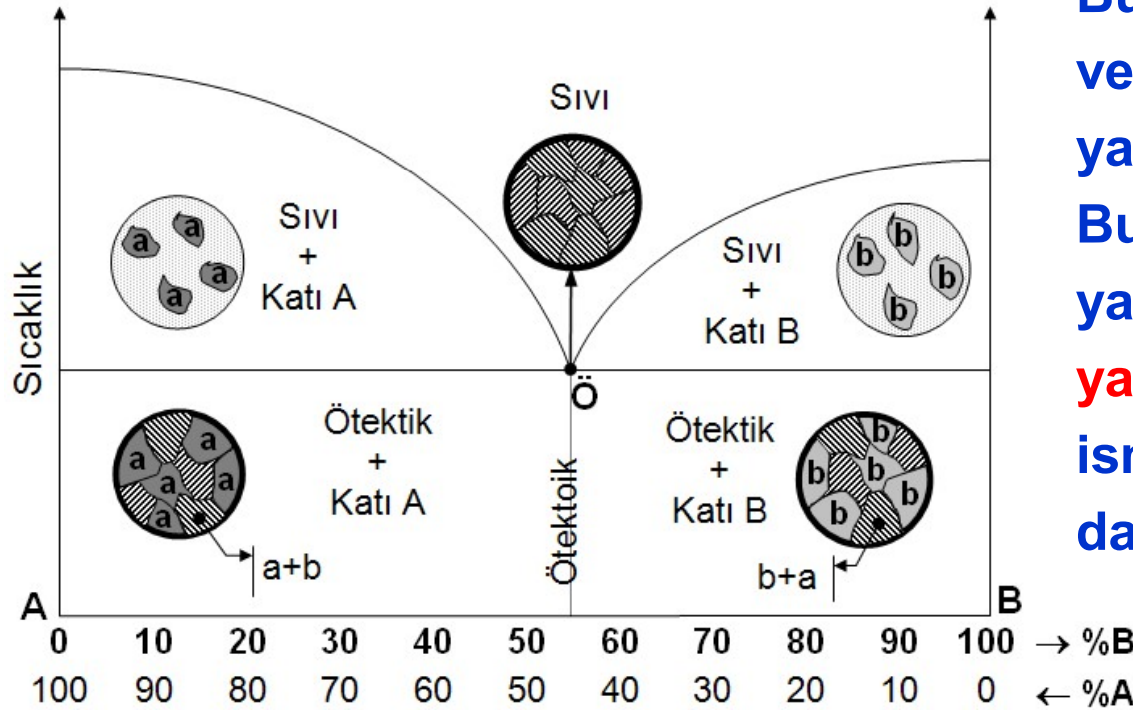
Ö noktasında Likudus eğrileri kesişmektedir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



→ Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Tam Çözünmezlik

Bu noktada alaşım saf elementler gibi davranarak T_0 sıcaklığında katılaşmaktadır.

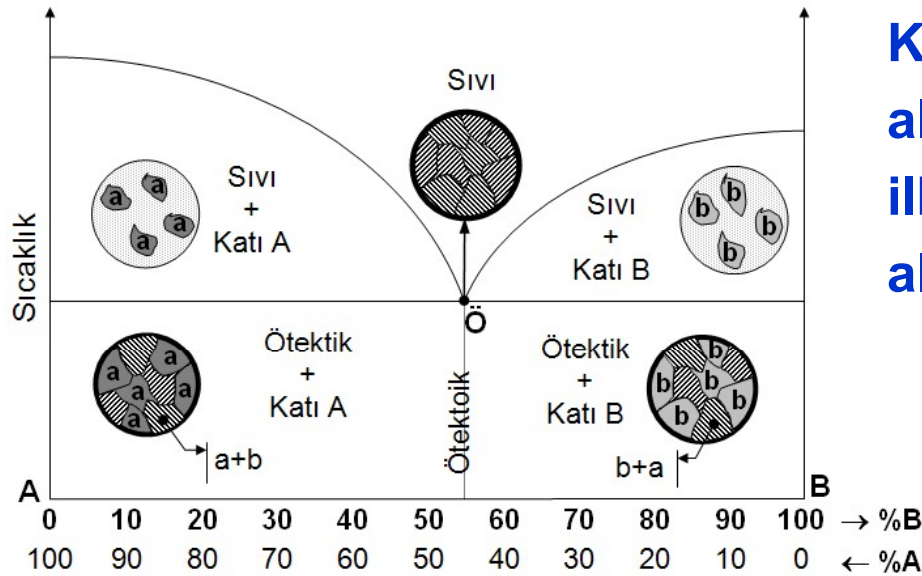


Bu düzen genellikle katmanlı veya spiral biçiminde yan yana dizilme şeklinde olur. Bu görünüm nedeniyle bu yapıya "güzel şekilli", "iyi yapı" anlamında **ötektik** ismi verilmiştir. Bu alaşıma da **ötektik alaşım** denilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



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.

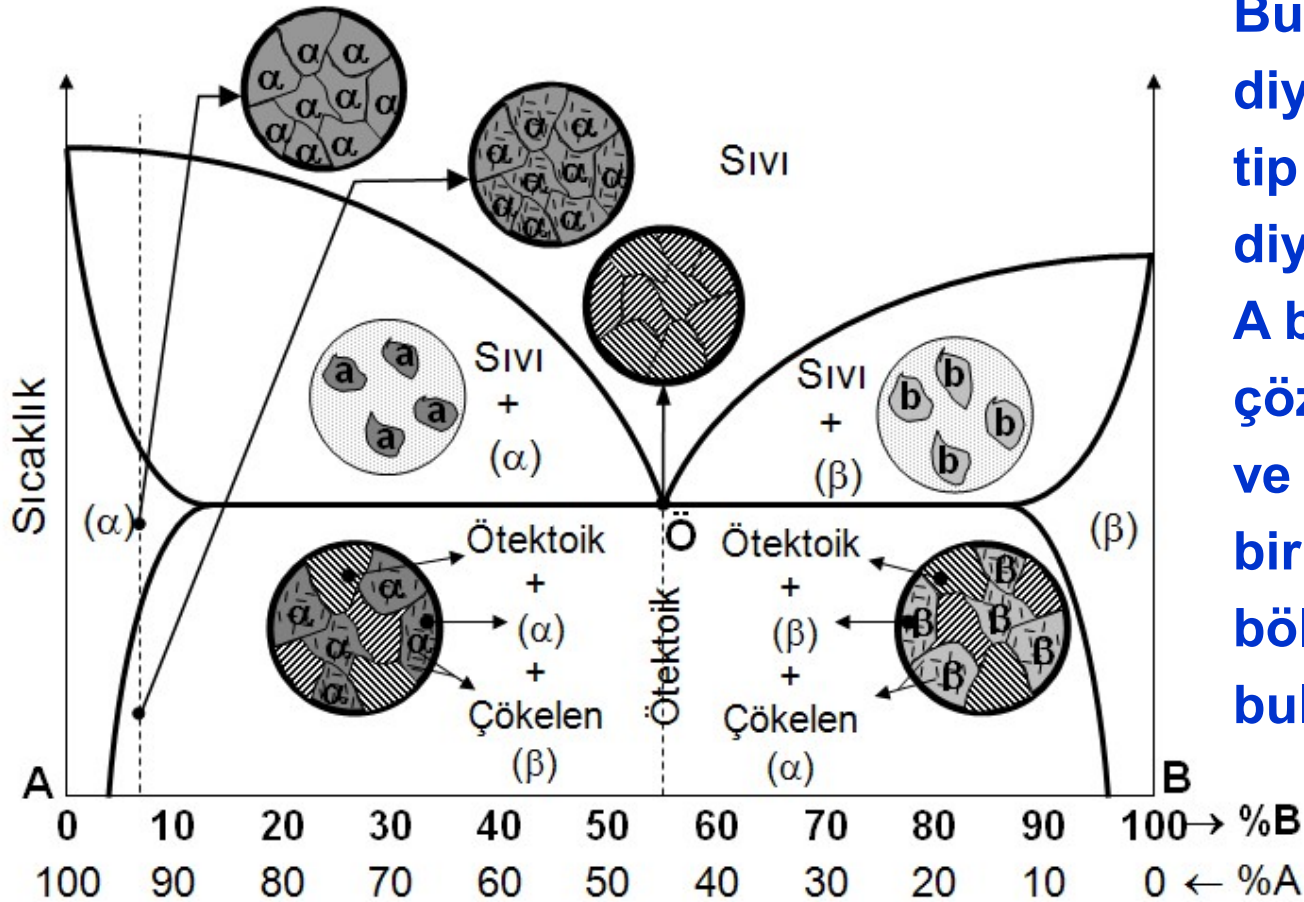
Bu ötektik yapı, katılaşma sıcaklığı küçük olması nedeniyle çekirdeklenme hızı yüksektir.

Bundan dolayı ötektik alaşım ince tanelidir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük

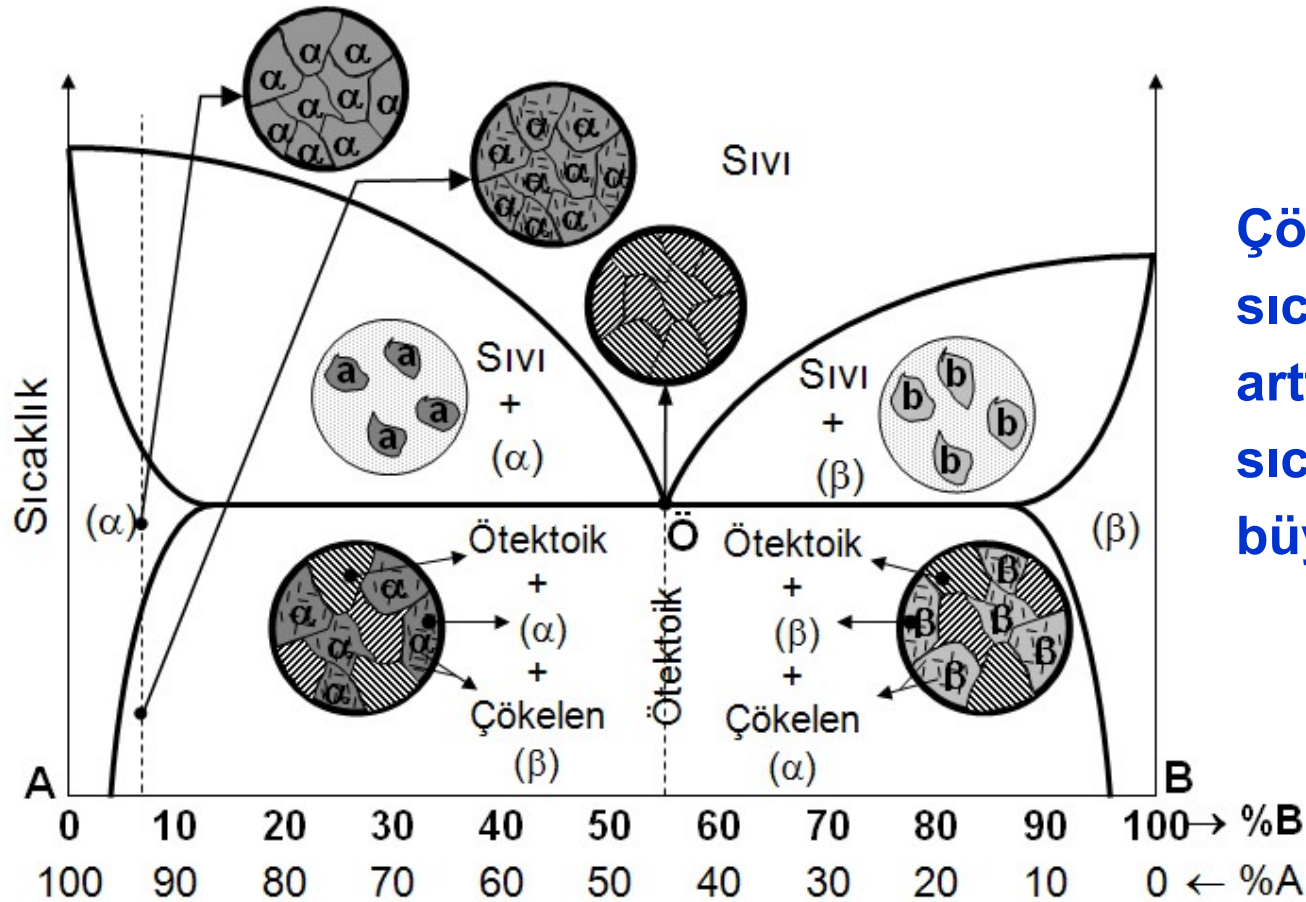


Bu denge diyagramlarının ikinci tip denge diyagramlarından farkı, A bileşenin belirli bir B çözebildiği, α bölgesi ve B bileşeninin belirli bir A çözebildiği, β bölgesinin bulunmasıdır

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük

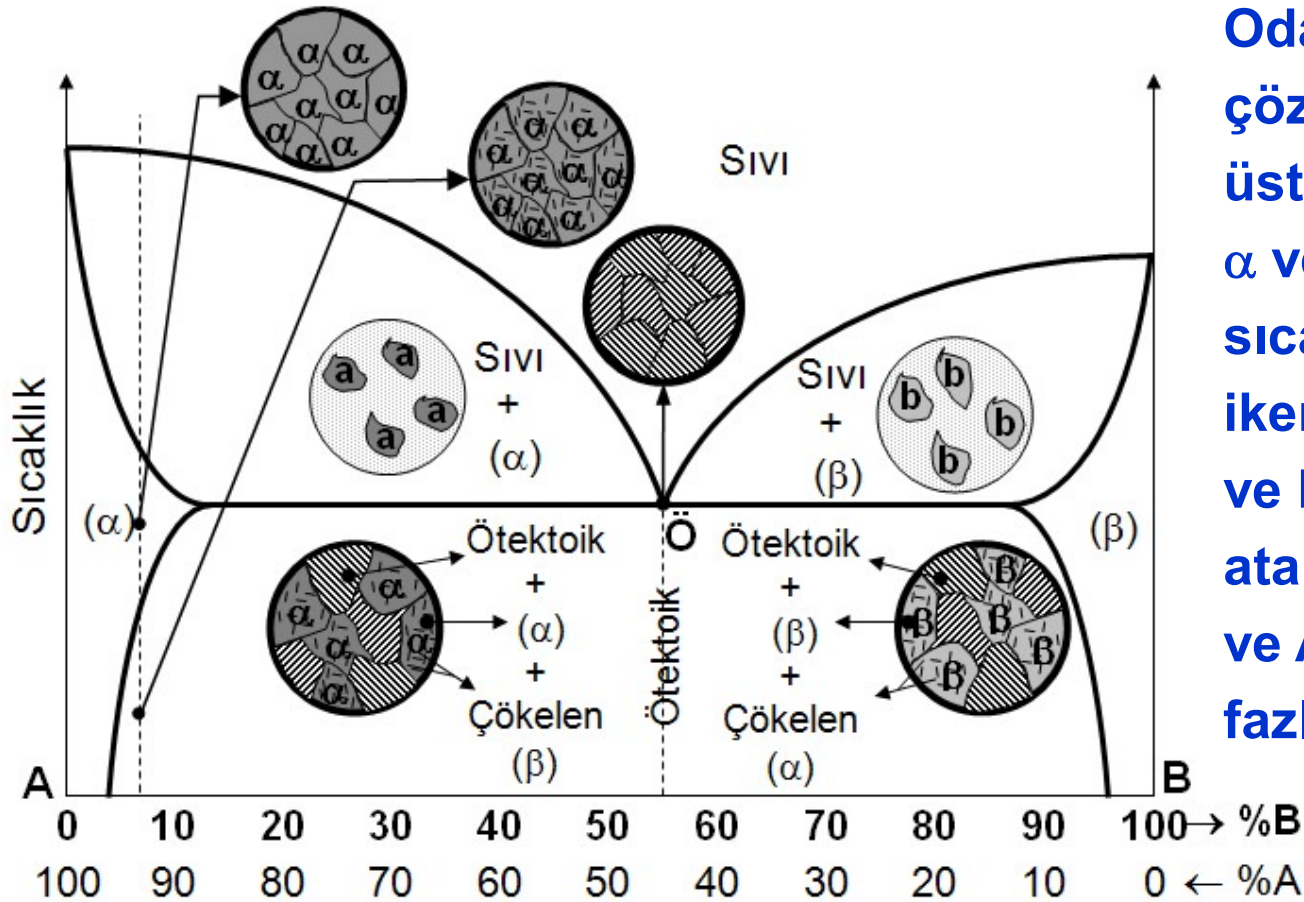


Çözünürlük, sıcaklığın artması ile arttığı için, ötektik sıcaklıkta en büyüktür.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük

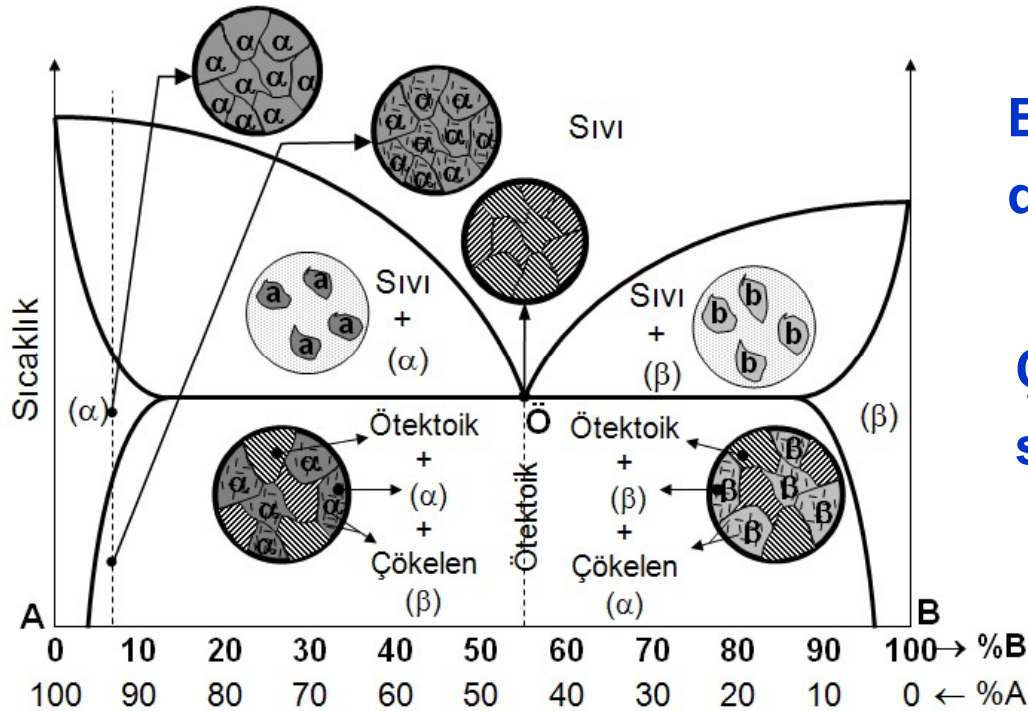


Oda sıcaklığındaki çözünürlük sınırının üstünde A ve B içeren α ve β fazları, oda sıcaklıklarına soğur iken çözemedikleri A ve B'yi kristal dışına atarak B'ce zengin $\beta_{\text{çok}}$ ve A'ca zengin $\alpha_{\text{çok}}$ fazları oluşur.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük



Bu ayrışma olayına **çökeltme** denilir.

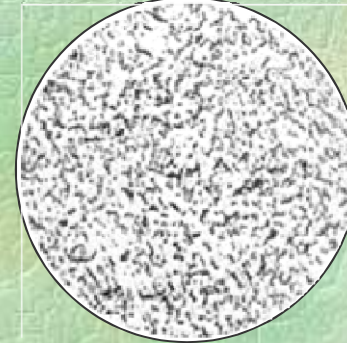
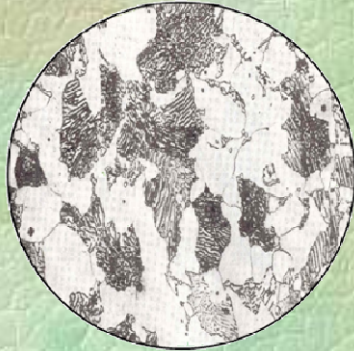
Çökeltme olayında difüzyon söz konusudur.

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

MALZEME BİLGİSİ

8

DEMİR ve ALAŞIMLARI



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Demir ve Alaşımları

- ✓ Sanayi ve yapılarda en çok kullanılan metalik malzeme, demir ve karbonlu alaşımları olan font (dökme demir, pik) ve çelik türleridir.
- ✓ Demir grimsi esmer bir metal olup, özgül ağırlığı 7.85-7.87 dir.
- ✓ 1536°C'de erir, serttir ve fazla elastik değildir.
- ✓ Demir doğada 4. yaygın bulunan bir metaldir (% 4.2).
- ✓ Demir, doğada en çok oksit cevherleri (Magnetit, Fe_3O_4), kükürtlü cevher (Pirit, FeS_2) ve karbonatlı cevher (Spathik demir, FeCO_3) şeklinde rastlanır.
- ✓ Yurdumuzda en zengin demir cevheri limonittir ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) ve Divriği'de bulunur (% 60-69 Fe).

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Demir ve Alaşımları

- ✓ Demir kökenli alaşımların değişik özellikleri olan çeşitli türleri vardır. Demir ve karbon alaşımından oluşan çeliğe, krom, nikel, tungsten gibi metaller katılarak bir takım özellikler kazandırılabilir.
- ✓ Demire alaşım malzemesi olarak katılan karbon veya diğer metallerin oranı, alaşımın kimyasal yapısını değiştirmekle kalmayıp, metalin mekanik davranışını da etkiler.
- ✓ Alaşımların davranışları, ayrıca geçirdiği dayanımı artırma yöntemlerine de (ısıt işlemleri vb.) bağlıdır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Demir – Karbon Denge diyagramı

- ✓ **Mekanik özelliklerini değiştirmek amacıyla demire değişik elementlerle alaşım yapılır.**
- ✓ **Demiri en çok etkileyen alaşımlama 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 artar. Ancak bazı özellikleri de örneğin düktilite ve enerji yutabilme yeteneği azalır.**

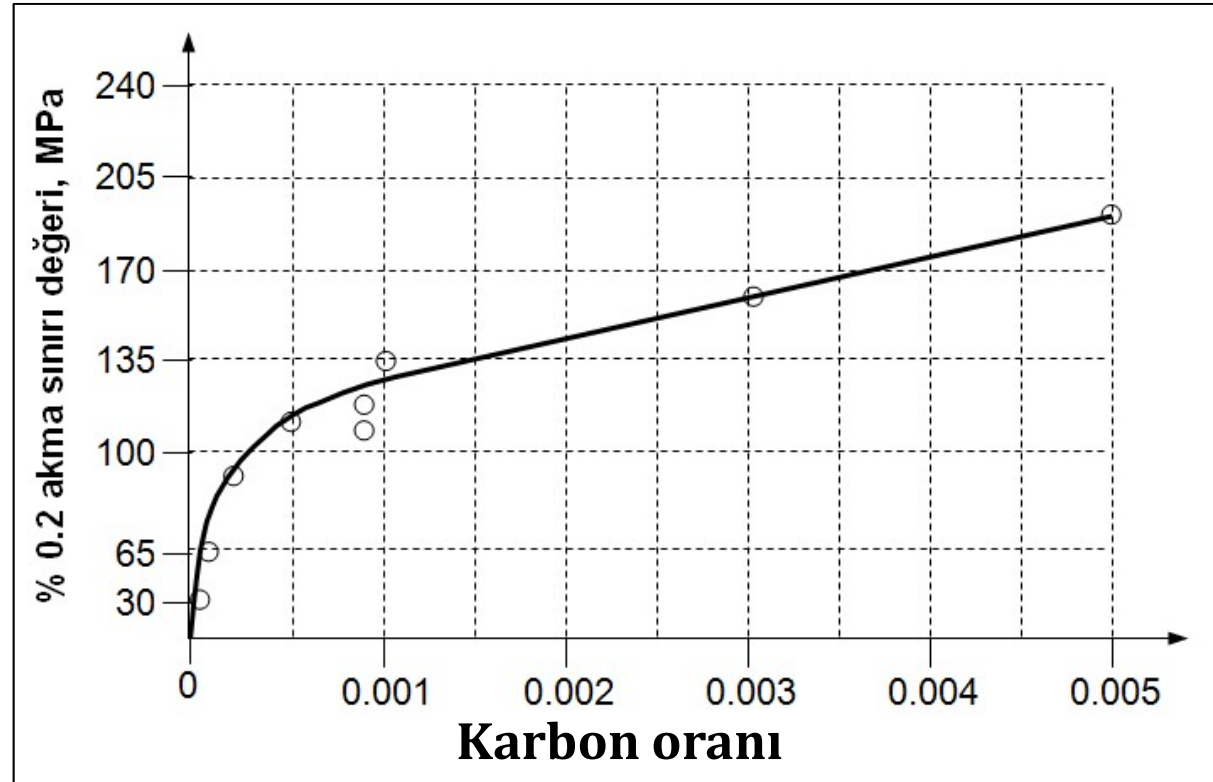
MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Demir – Karbon Denge diyagramı

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

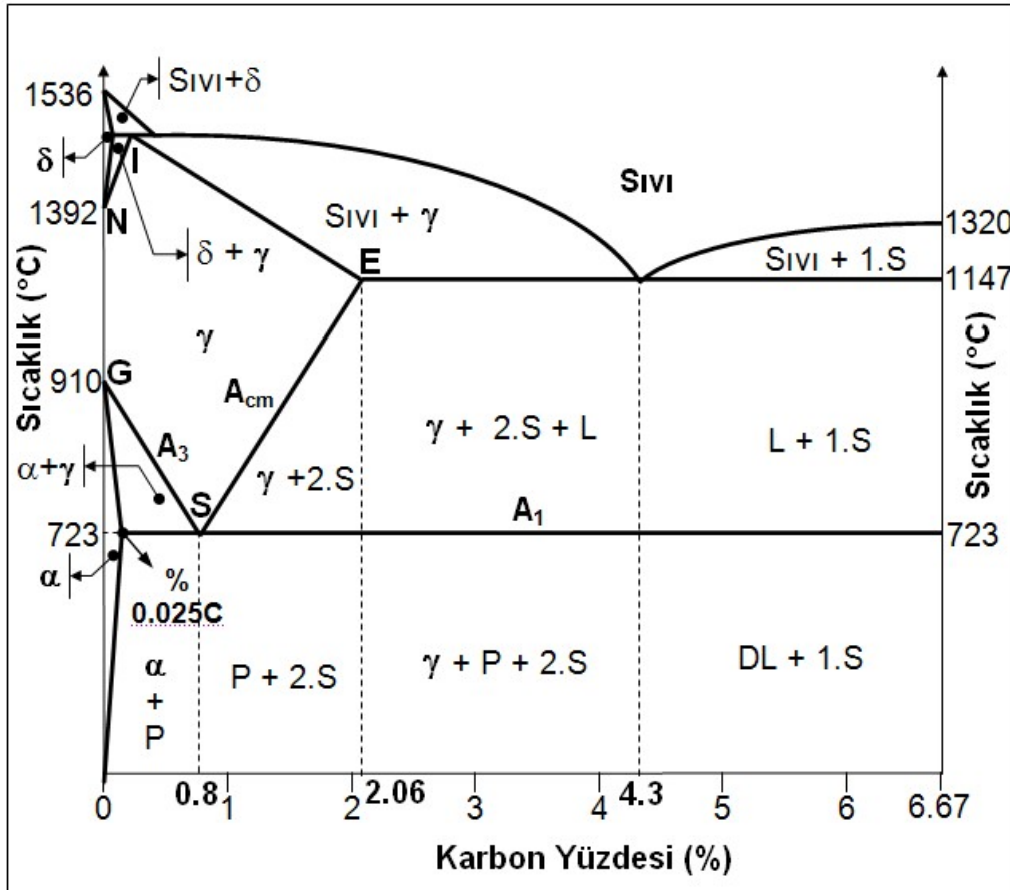
- ✓ Demirin içerisine az miktar karbon ilavesi bile akma dayanımını önemli bir şekilde artırır.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Demir – Karbon Denge diyagramı



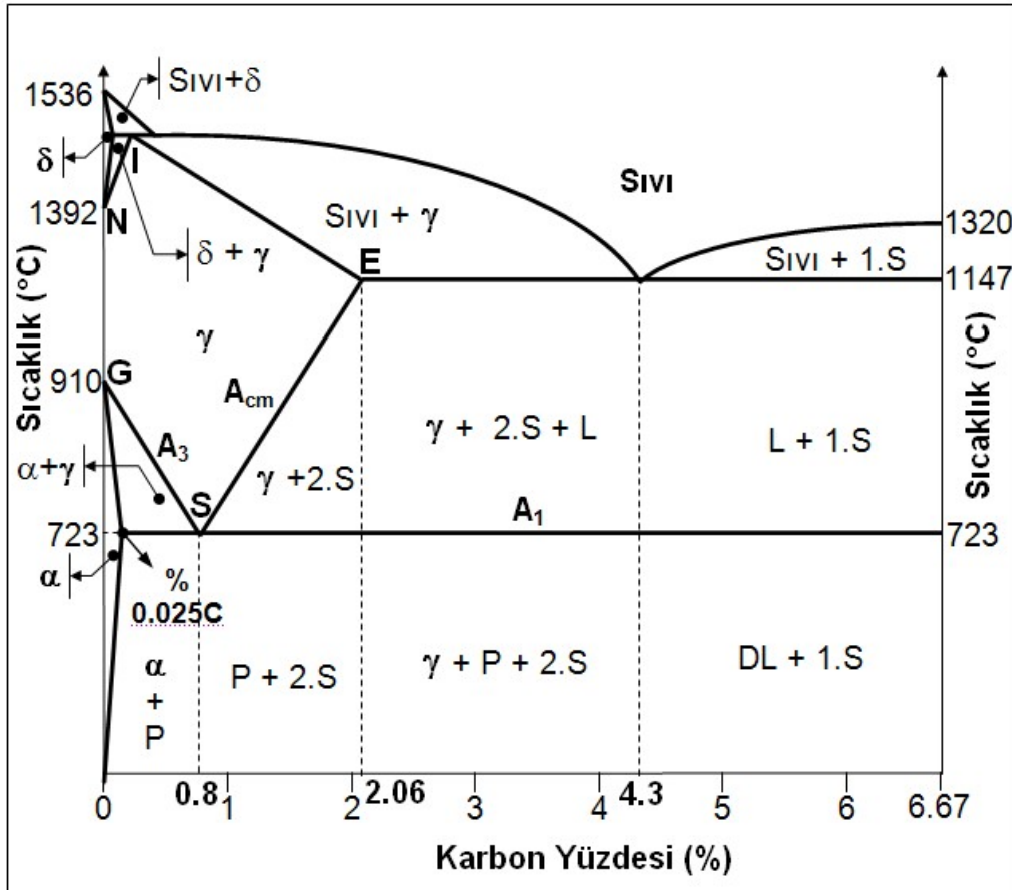
Demir-karbon alaşımlarının değişik sıcaklıklardaki iç yapılarını gösteren faz diyagramında, sistemin sıvı halden, katı hale geçinceye kadar uğradığı değişiklikler görülmektedir.

- | | | | |
|-----------------|--|-------|----------------------------|
| 1.S | : Birincil sementit | L | : Ledeburit |
| 2.S | : İkincil sementit | DL | : Dönüşmüş Ledeburit |
| GS | : A ₃ sıcaklığı | P | : Perlit |
| SE | : A _{cm} sıcaklığı | 723°C | : A ₁ sıcaklığı |
| A ₁ | : Isıtırken ostenitin oluşmaya başladığı sıcaklık | | |
| A ₃ | : Ötektit altı çeliklerde, ısıtırken ferritin ostenite dönüşümün tamamlandığı sıcaklık | | |
| A _{cm} | : Ötektit üstü çeliklerde, ısıtırken, sementitin ostenite dönüşümün tamamlandığı sıcaklık. | | |

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Demir Karbon Denge Diyagramındaki Fazlar



Atomların bulundukları yerlerden çok az miktarda hareket etmesi sonucu oluşan bu reaksiyonların tamamlanabilmesi için belirli bir süre gerekir.

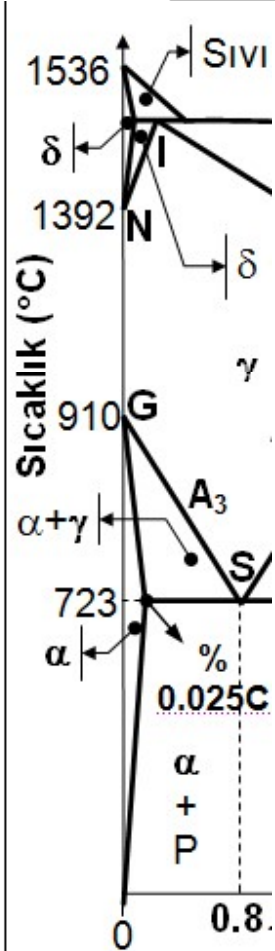
Bu süre içinde atom bağları kopar, atomlar yer değiştirir ve yeni bağlar kurulur. Bu olayların süresi ortamın sıcaklık derecesi ile yakından ilişkilidir.

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

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Ferrit



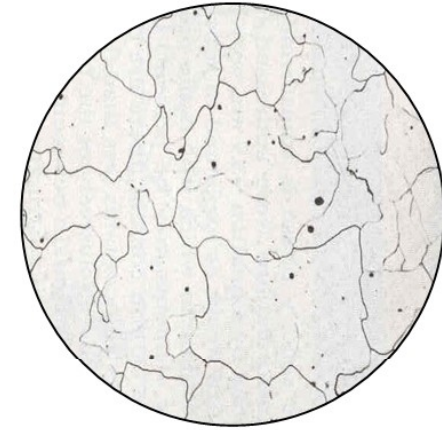
Ferrit: Karbonun α demiri içinde erimesi sonucu oluşan katı eriyiğe **ferrit** adı verilir.

Karbon bu eriyik içinde en fazla 723 °C'de (A1 sıcaklığı) % 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.

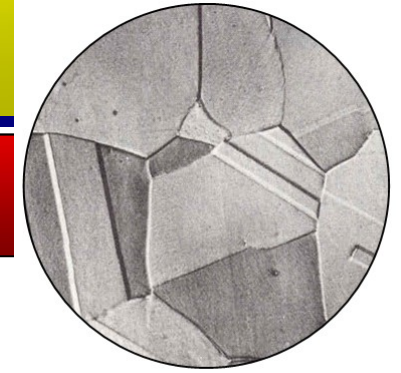
Ferritten ayrıışan sementite **tersiyer sementit** denilir.



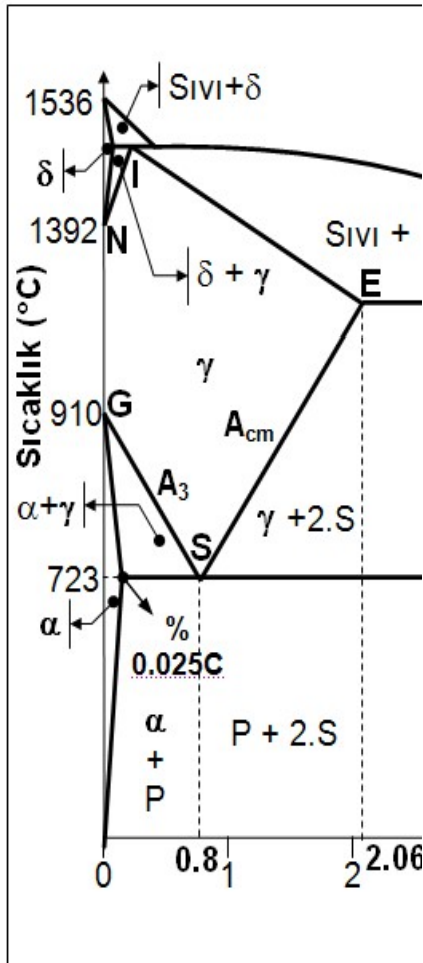
Ferritin Mikroskop altındaki görünümü

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI

Ostenit



Ostenitin mikroskop altındaki görünümü



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 işlemlerinin pek çoğu ostenit fazında yapılır.

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

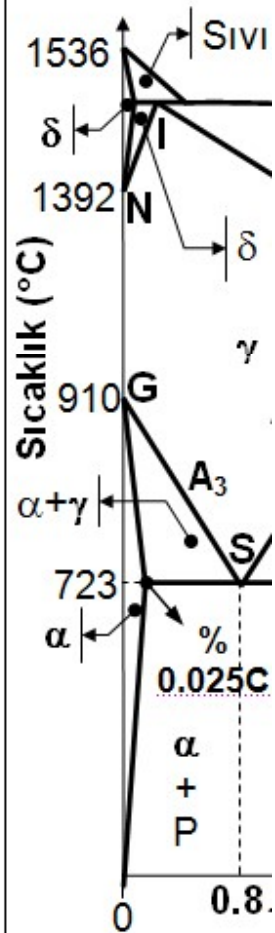
Kristalin dışına atılan karbon sementit oluşturur.

Ostenitten oluşan bu sementite, 2. sementit (sekonder sementit) denilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI

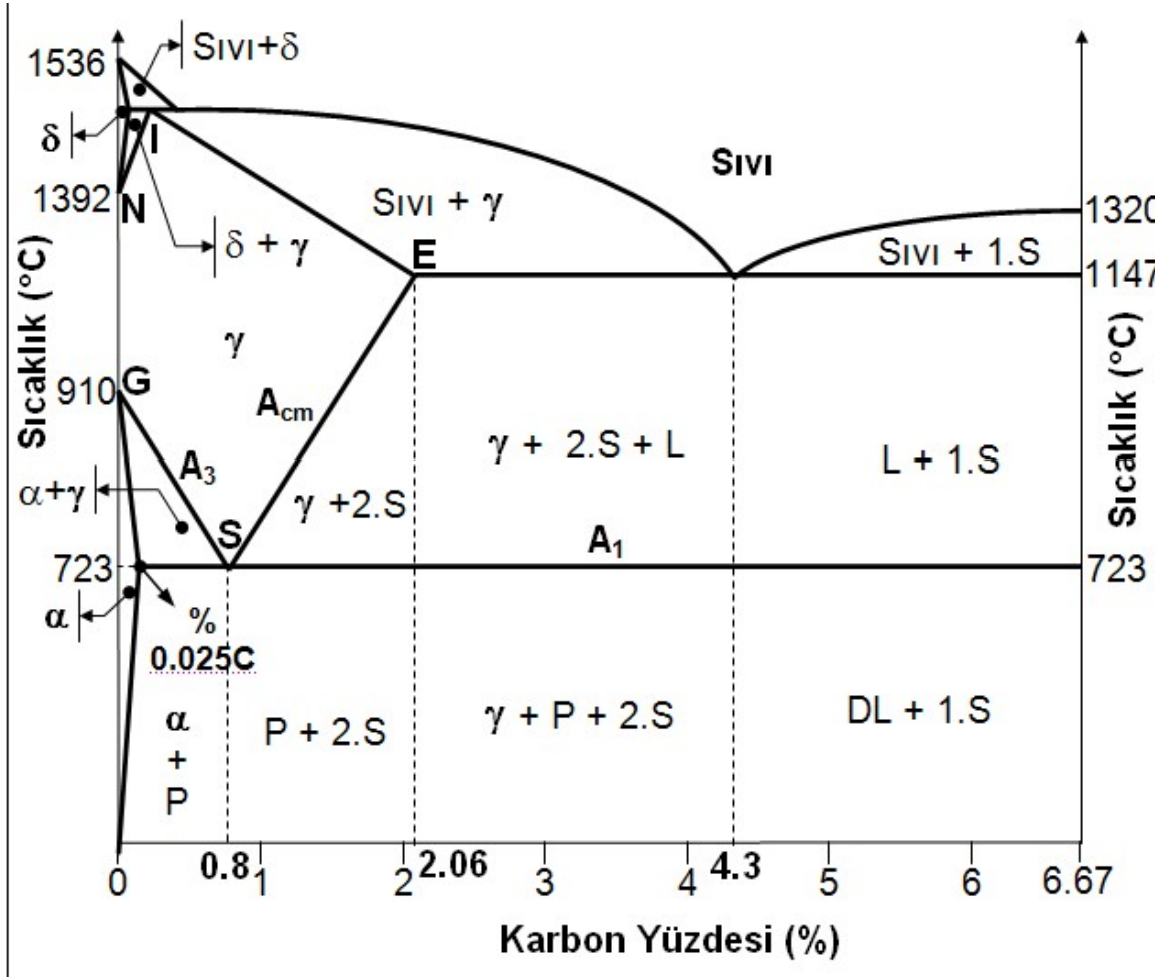


➡ **δ demiri:**



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

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI

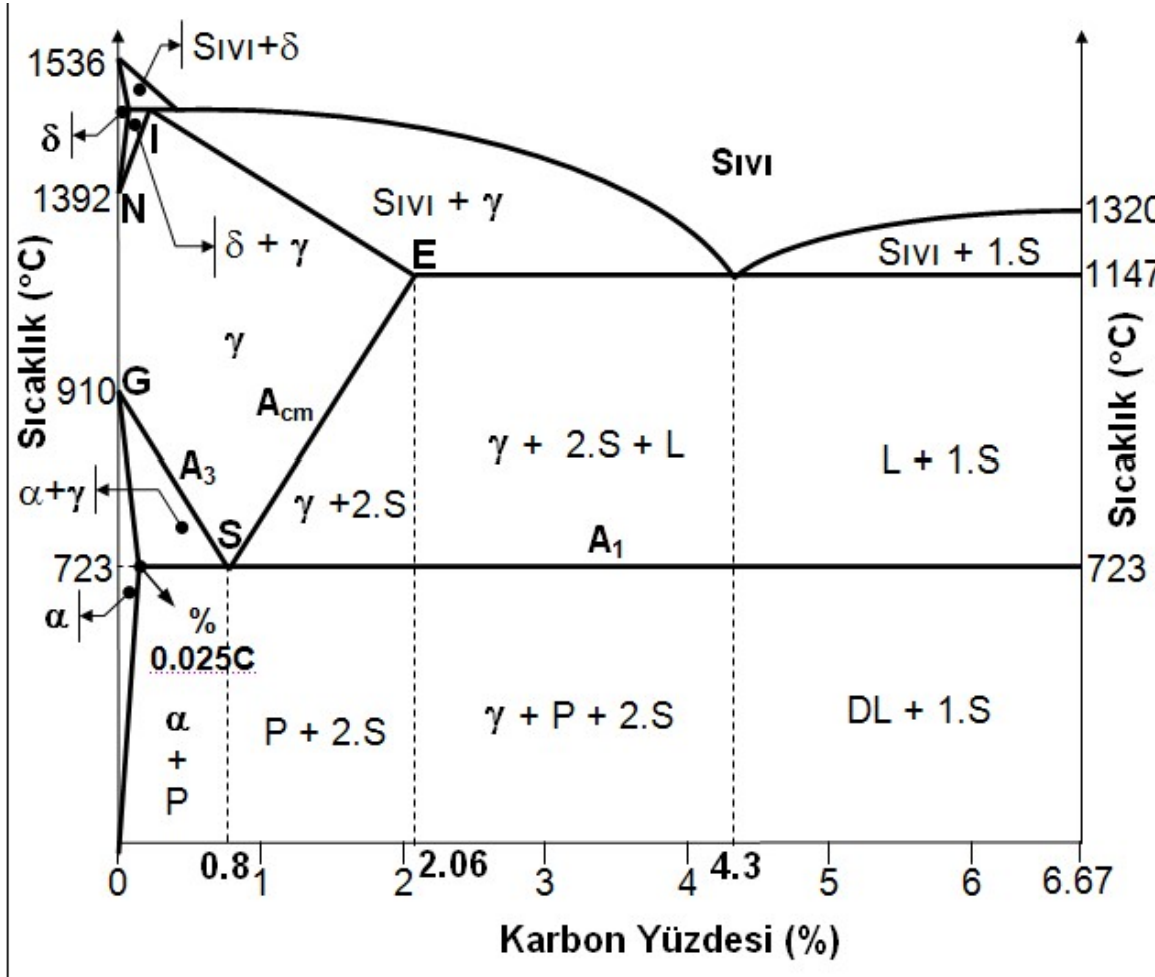


Diyagramdan görülebileceği gibi, NIE eğrisinin üst kısmında alaşım sıvı haldedir.

En düşük derecesi 1147°C olan bu eğriye ulaşan değerlerde alaşım katılaşmaya başlamaktadır.

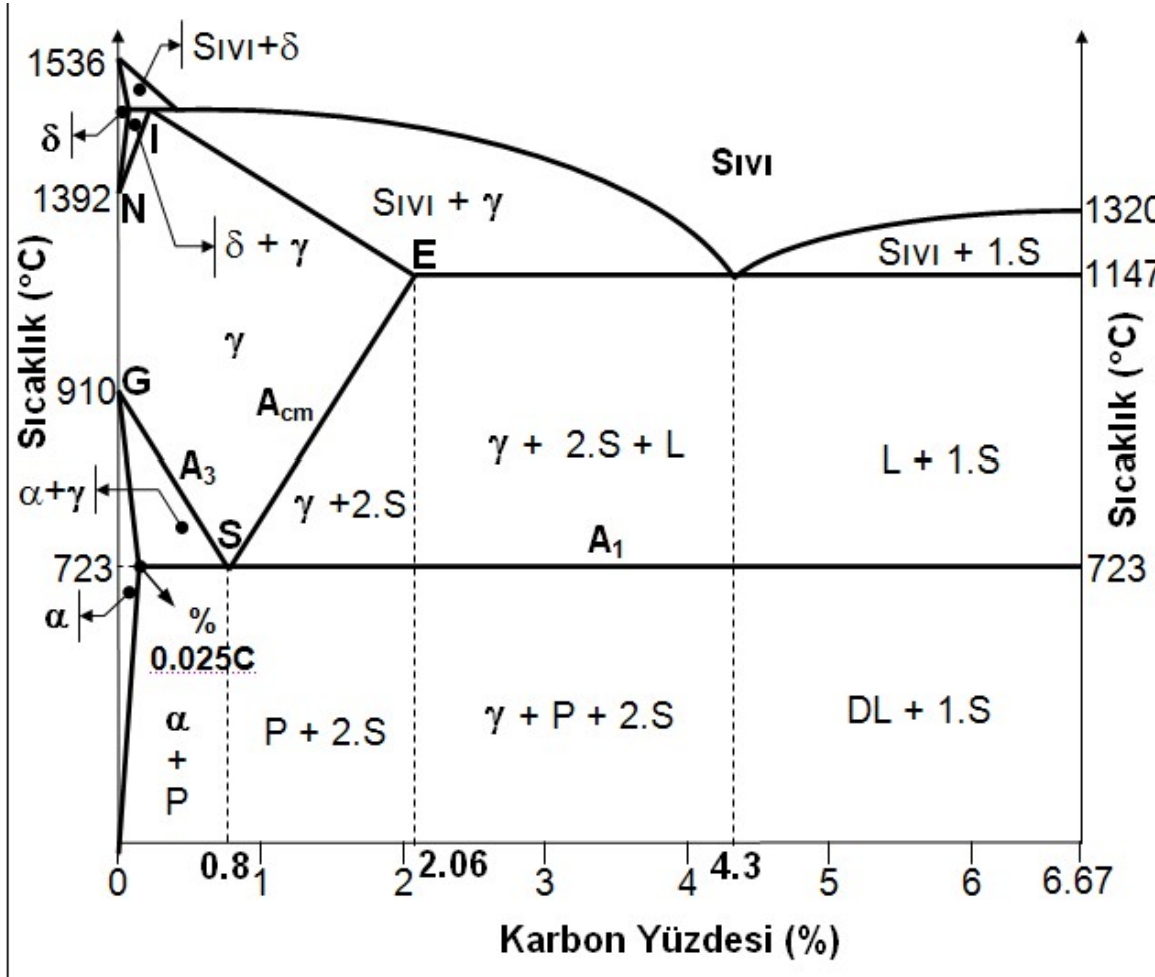
Soğumanın devamı halinde allotropik değişimler başgösterir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



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

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



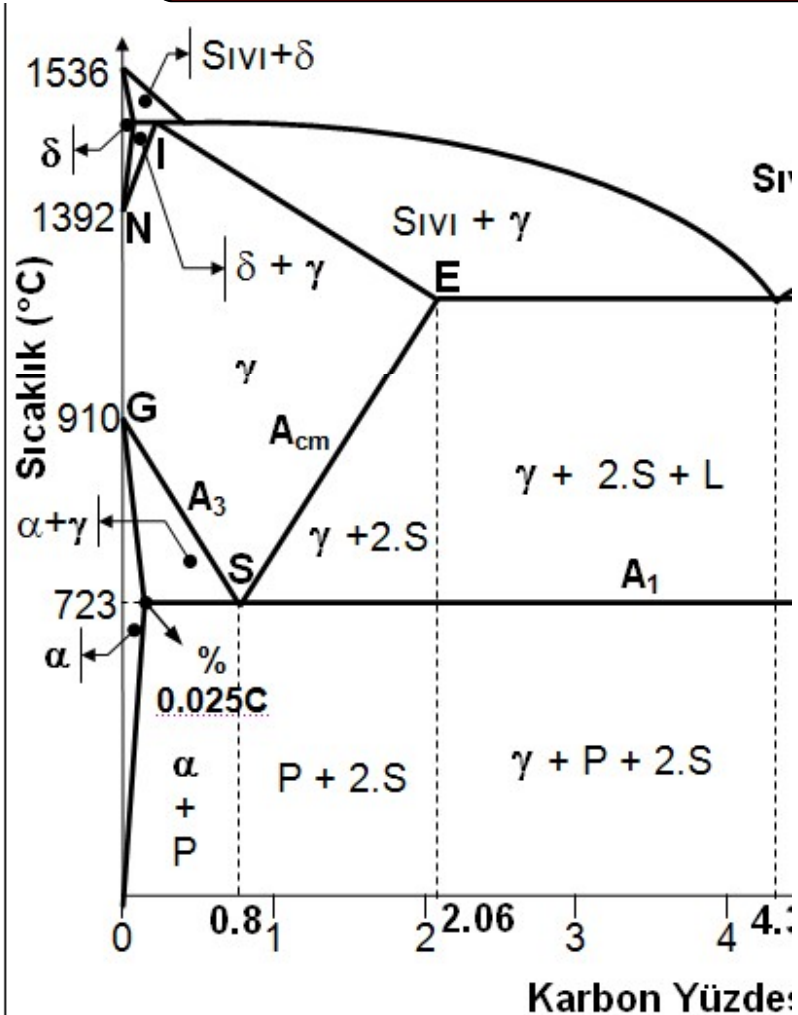
Ötektoid en az iki fazın belirli bir sıcaklıkta katı cisim içinde, mekanik olarak gayet homojen bir şekilde karışabildiği sınır noktası olmaktadır.

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

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Perlit



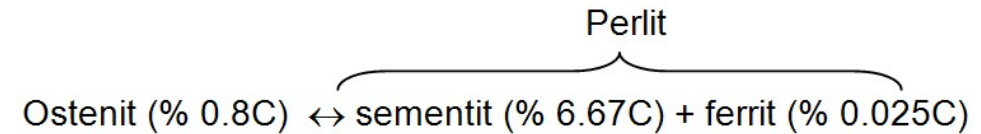
A1 sıcaklığındaki karbon çözünürlük sınırı % 0.025, oda sıcaklığında % 0.005'dir.

Karbon oranları bu değeri aştığında perlit adı verilen bileşen oluşur.

Perlit, çeliğin ötektoit sıcaklığından (723°C) soğutulması sonucu aşağıdaki reaksiyona göre oluşur.



Perlit (% 0.45C) mikroyapısı



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



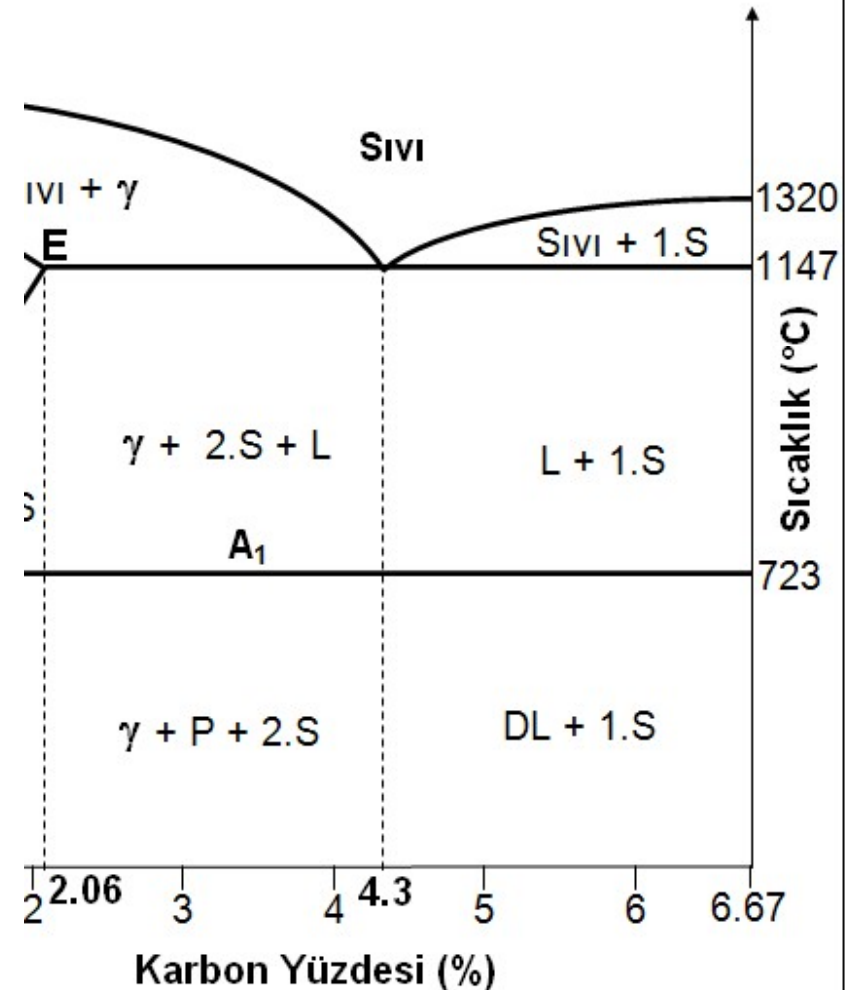
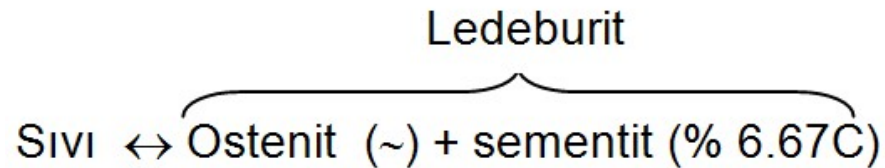
Ledeburit

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

Ledeburit, ostenit ve 1.sementitten meydana gelir.

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

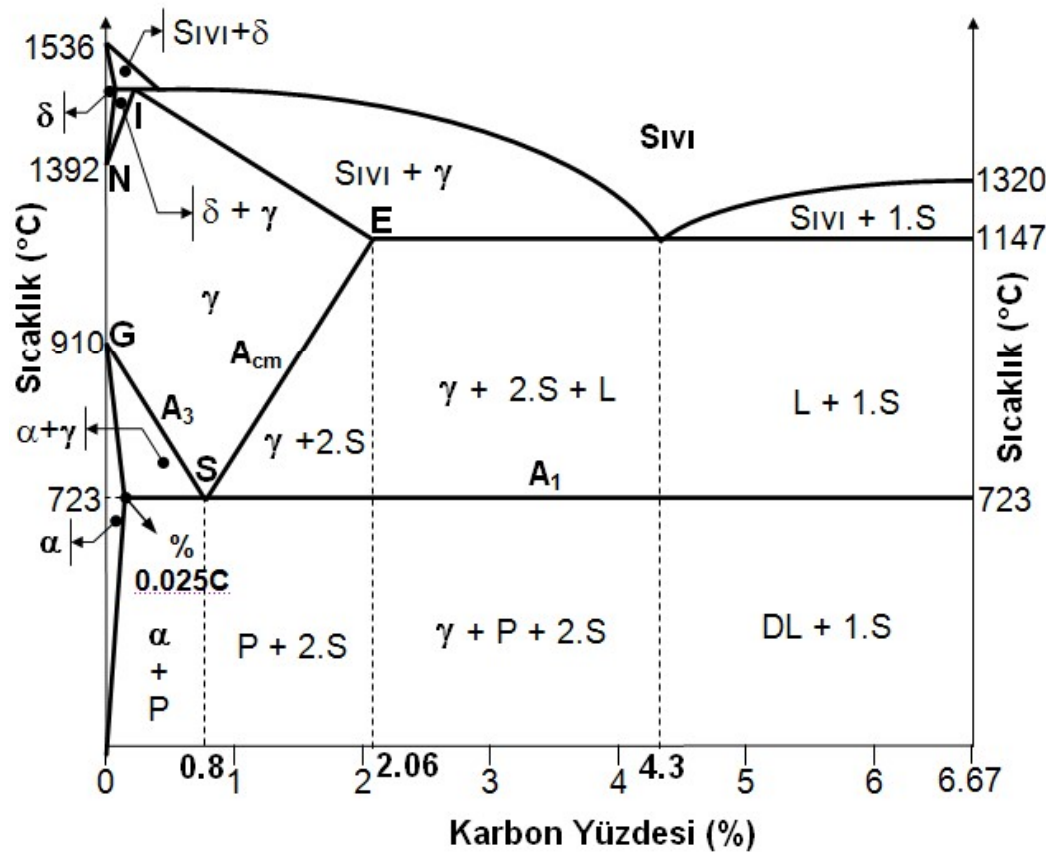
Ötektik ayrışma aşağıdaki reaksiyondaki gibi sıvıdan iki ayrı katının oluşması şeklinde gelişir.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Ledeburit



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

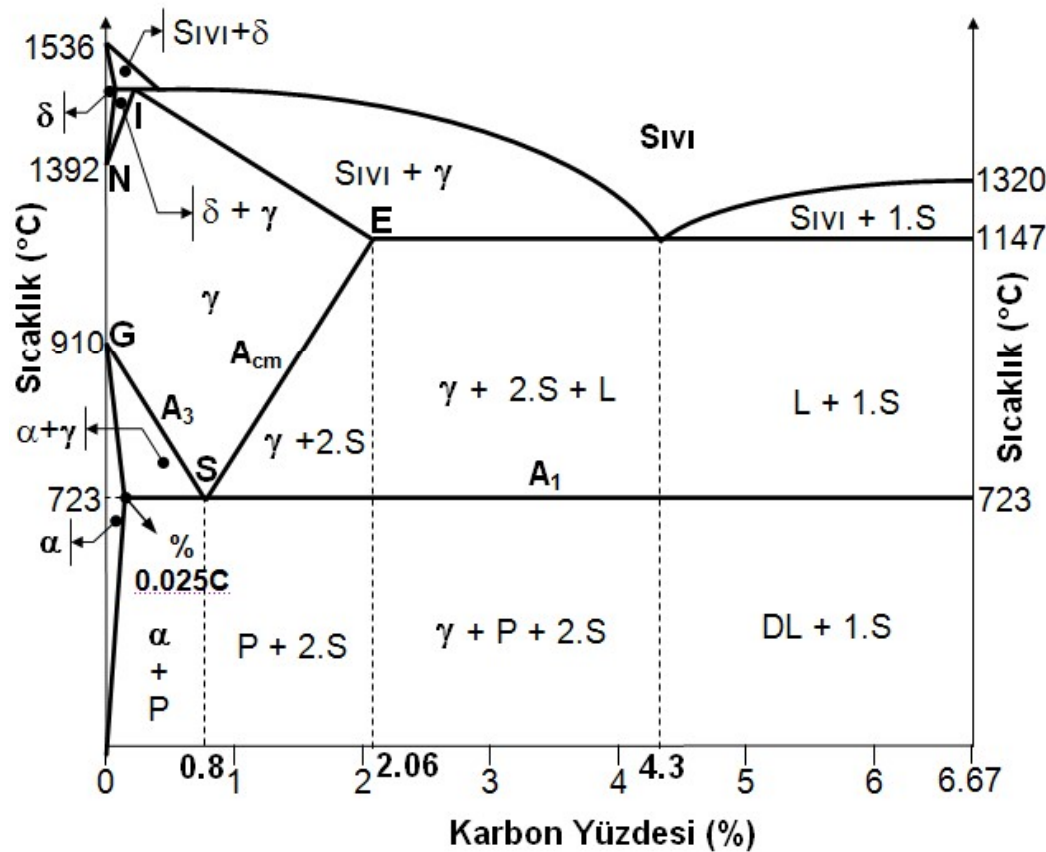
Ostenitin içinde ötektoit oran olan % 0,8C kalınca, perlit olarak dönüşür.

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

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Demir-karbon alaşımlarının isimlendirilmesi



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

Karbon oranı % 0.2 - % 2 arasında olan Fe-Fe₃C alaşımlarına **çelik** denir.

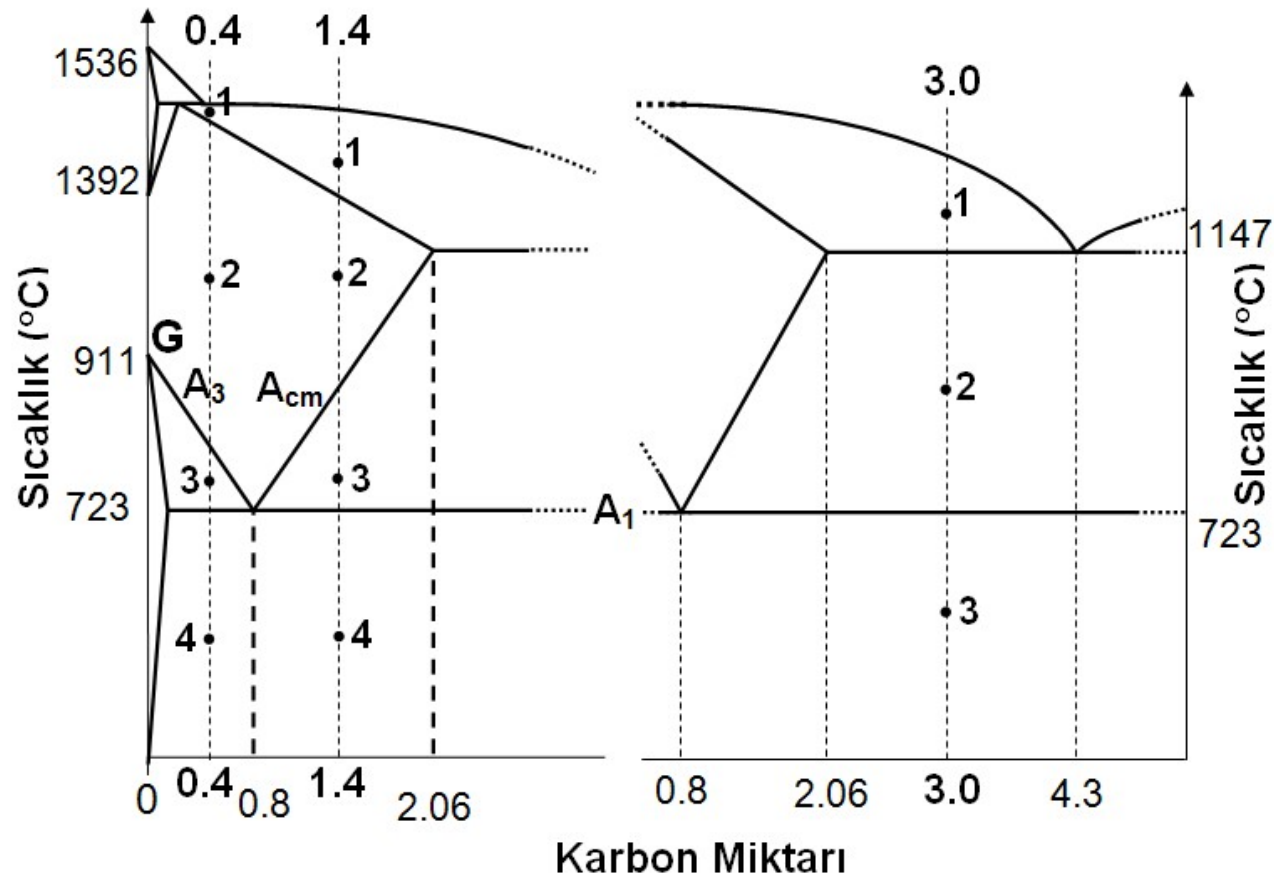
Karbon oranı % 2'den büyük olanlarına ise **dökme demir (Font)** denilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Soğuma Esnasında Çelik ve Dökme Demirlerdeki Faz Değişimleri

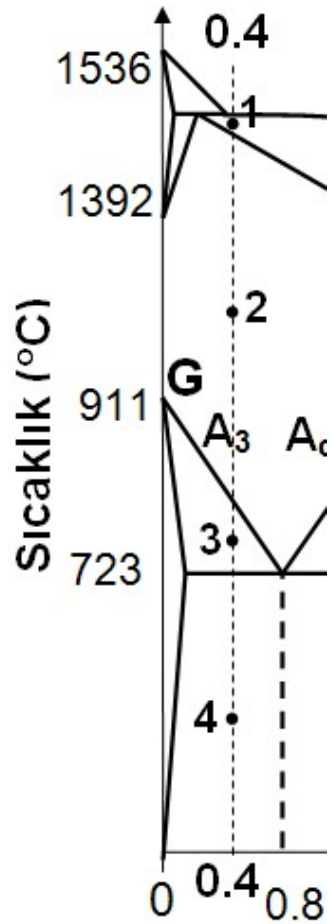
Diyagram üzerinde % 0.4 ve %1.4 karbonlu çelik ile %3 karbonlu dökme demirin ergime noktasından oda sıcaklığına kadar geçirdiği değişiklikleri inceleyelim



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



% 0.4 karbonlu alaşım



✓ % 0.4 karbonlu alaşım, 1 noktasına gelince katılaşmaya başlar, 2 noktasına gelindiğinde yapı tamamen ostenittir.

✓ 3 noktasına gelince tane sınırlarında ferritler (α) ayrılmaya başlar.

✓ Ostenitin karbon oranı ise A_3 eğrisi boyunca sıcaklık düştükçe artar ve en son 723°C de % 0.8C oranına ulaşır.

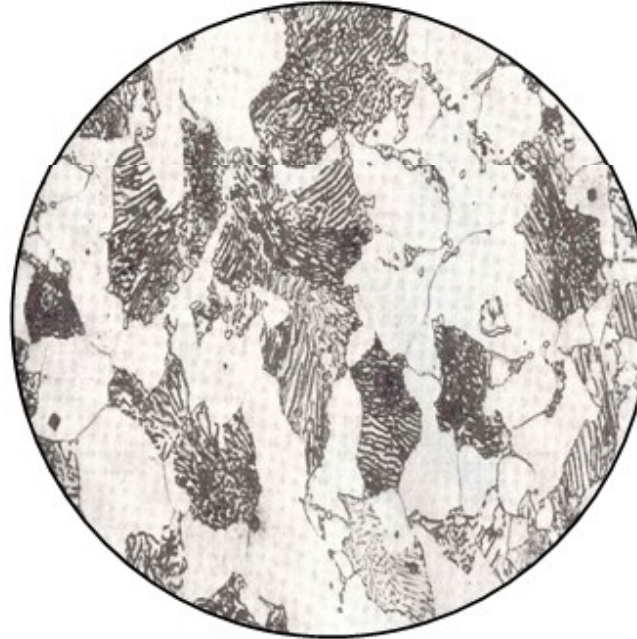
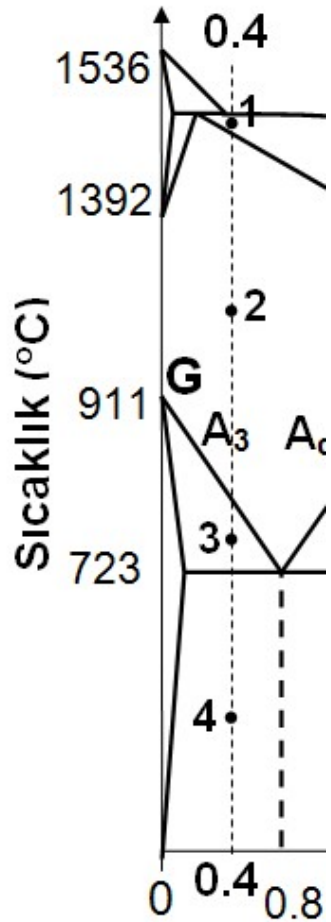
✓ Bu alaşım 723°C nin altında (4. nokta) perlit olarak dönüşür.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



% 0.4 karbonlu alaşım

✓ Oda sıcaklığında yapı ferrit ve perlitten meydana gelmiştir.

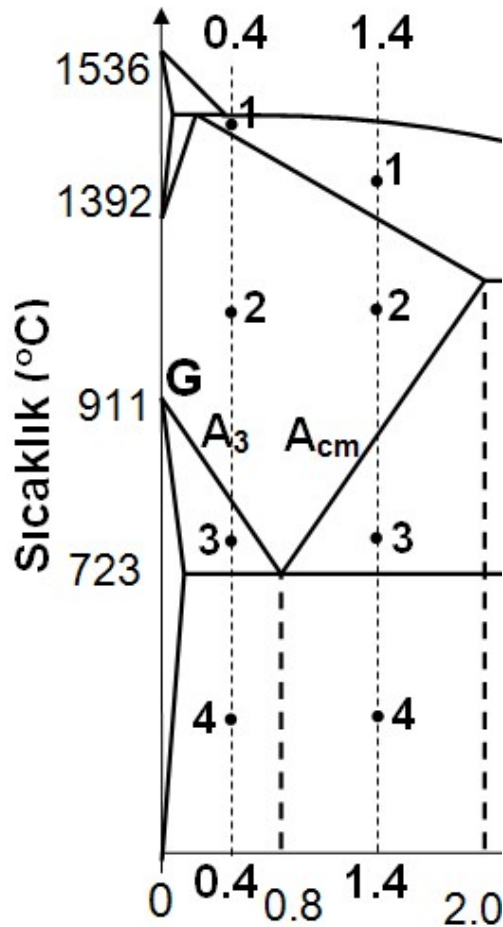


% 0.4 karbonlu ötektoitaltı çeliğin mikroyapısı.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



% 1.4 karbonlu alaşım



✓ %1,4 karbonlu çelik 1 noktasına gelince ostenit (γ) tanecikleri oluşmaya başlar.

✓ 2 noktasında yapı tamamen ostenitten ibarettir.

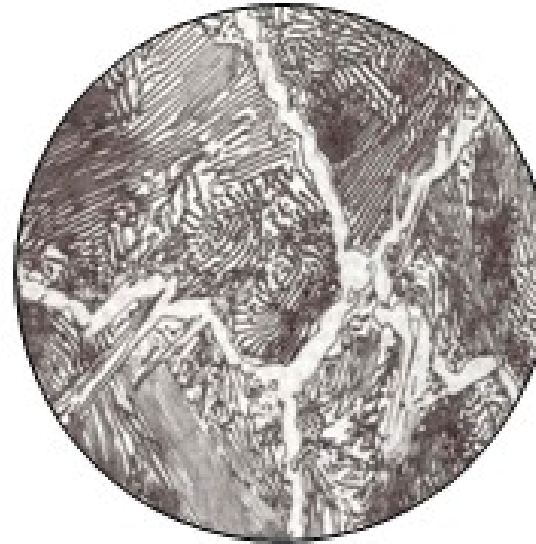
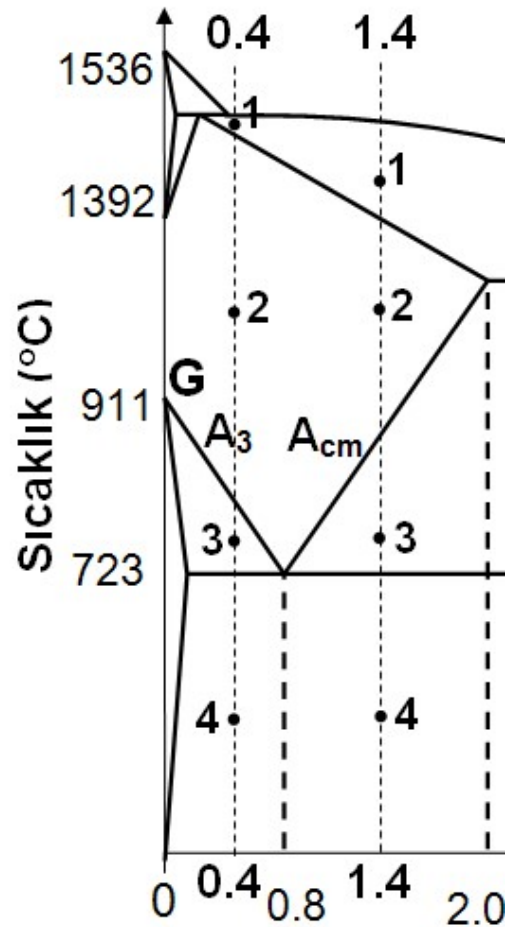
✓ Acm eğrisinin altına inince (3 noktası) ostenitin çözebildiği karbon oranı azaldığından ikinci sementit oluşur.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



% 1.4 karbonlu alaşım

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

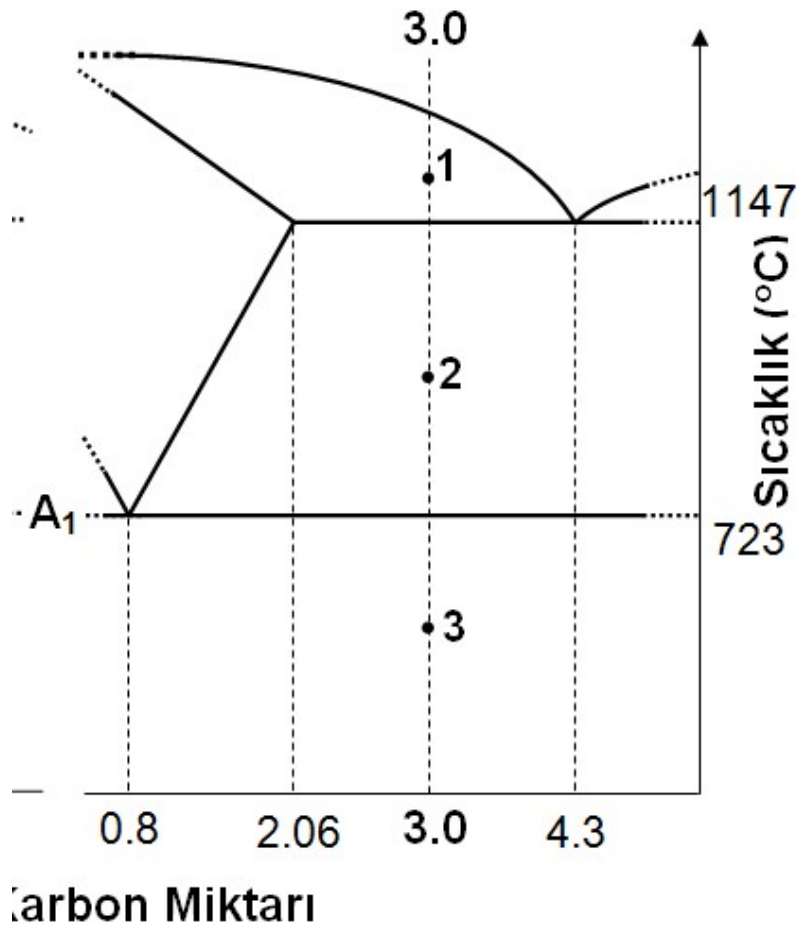


% 1.1 karbonlu ötektitüstü çeliğin mikroyapısı. Tane sınırlarında görünen beyaz bölgeler 2. Sementit fazıdır

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



% 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.

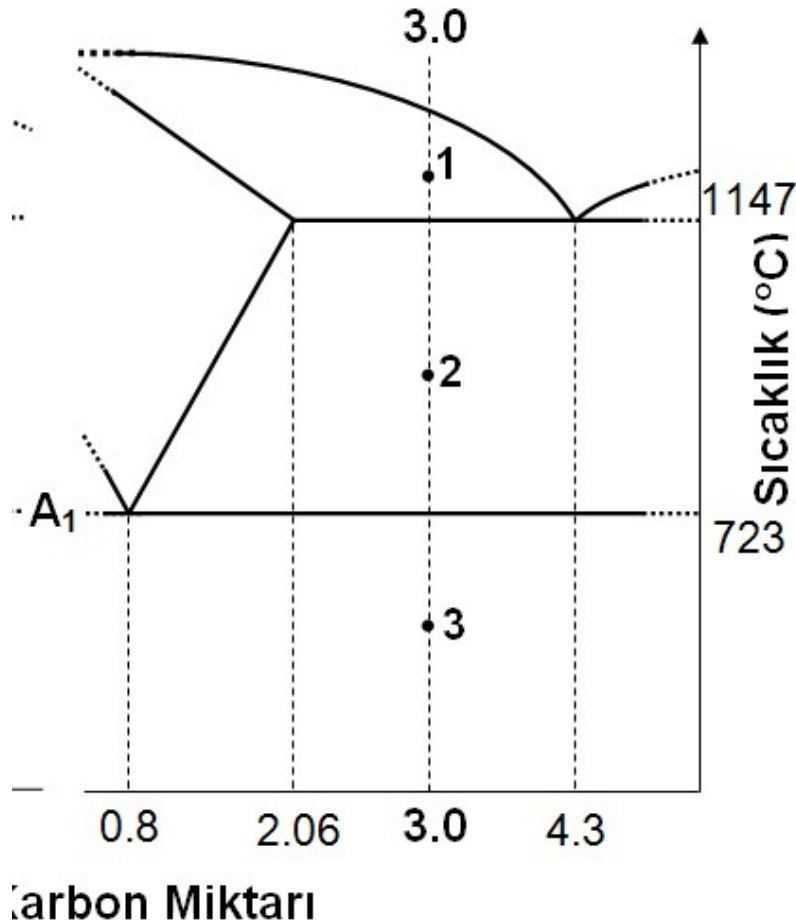
✓ Geriye sıvı olarak kalan kısım ledeburit olarak katılaşır.

✓ Sıcaklık düşerken ostenitin karbon eritme oranı Acm eğrisi boyunca düştüğü için ostenitten karbonlar ayrışır ve 2.sementiti oluşturur.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



% 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.

İnşaat çeliği içyapısı



Ferrit + Perlit

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Düşük Karbonlu Çelikler

- ✓ Düşük karbonlu çelikler en fazla % 0.25 mertebelerinde karbon içerirler.
- ✓ Bunlar diğer türlere kıyasla en fazla duktıl, buna karşın en düşük dayanım ve sertliktedirler.
- ✓ Bu tip çelikler, büyük düktilite ve işlenebilirlik gerektiren yerlerde kullanılırlar.
- ✓ Örneğin, otomobil gövdesi, ince saç levha, çivi, perçin, betonarme donatısı, profil eleman malzemesi üretiminde kullanılırlar.
- ✓ **SU VERME YARDIMIYLA SERTLEŞTİRİLEMEZLER.**

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Orta Karbonlu Çelikler

- ✓ % 0.3 - % 0.5 oranında karbon içerirler.
- ✓ Demiryolu rayları, tren ve tekerlekleri, dingil şaftları ve yüksek nitelikli betonarme donatısı gibi sertlik ve yüksek dayanım gerektiren yerlerde kullanılır.
- ✓ Karbon içerikleri MARTENSİT OLUŞUMUNA İZİN VERMESİ NEDENİYLE ISIL İŞLEM VE TAVLAMA yoluyla özellikleri düzeltilebilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Yüksek Karbonlu Çelikler

- ✓ % 0.55 - % 0.95 arasında karbon içerirler.
- ✓ En sert, en dayanıklı ancak en az düktil olan türdür.
- ✓ Isıl işlemlere en iyi bu tür yanıt verip, gereken işlemlere tabi tutulduktan sonra istenen niteliğe getirilebilir. Bu tür çelikler, değişik özellikli tellerin, savaş araçlarının, keskin bıçakların vb. yapımında kullanılır.
- ✓ **KAYNAK İŞLEMİ** bu tip çeliklerde **LOKAL SERTLEŞME VE DÜKTİLİTE KAYBINA** yol açabildiğinden kaynaklama sırasında dikkatli olunması gerekir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



- ✓ Çeliklerin içinde doğal olarak bazı yabancı maddeler bulunabilir (En çok Mn % 0.6-% 0.7, Si % 0.05 - % 0.45, S % 0.02 - % 0.04, P % 0.011-0.032 oranlarında bulunabilir).
- ✓ Bunlar yukarıda belirtilen sınırlar içinde kalırsa, alaşımın mekanik davranışını pek etkilemezler. Ayrıca Mn oranının artması dayanımı olumlu yönde etkiler.
- ✓ Ancak KÜKÜRT ÇELİĞİN KIRILGANLIĞINI ARTTIRIR, bu nedenle iyi bir çelikte oranı % 0.04'ü geçmemelidir.

MALZEME BİLGİSİ

8

ÇELİK ÜRETİMİ



ÇELİK ÜRETİMİ



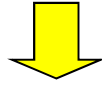
DEMİR (Fe) }
KARBON (C) } ÇELİK

Σ Fe ($\approx\%$ 99,7)
C (0,25-0,4) $\neq$ ÇELİK

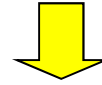
ÇELİK ÜRETİMİ



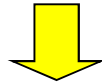
CEVHER+ERİTİCİ



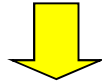
KIRMA, UFALAMA, YAKMA



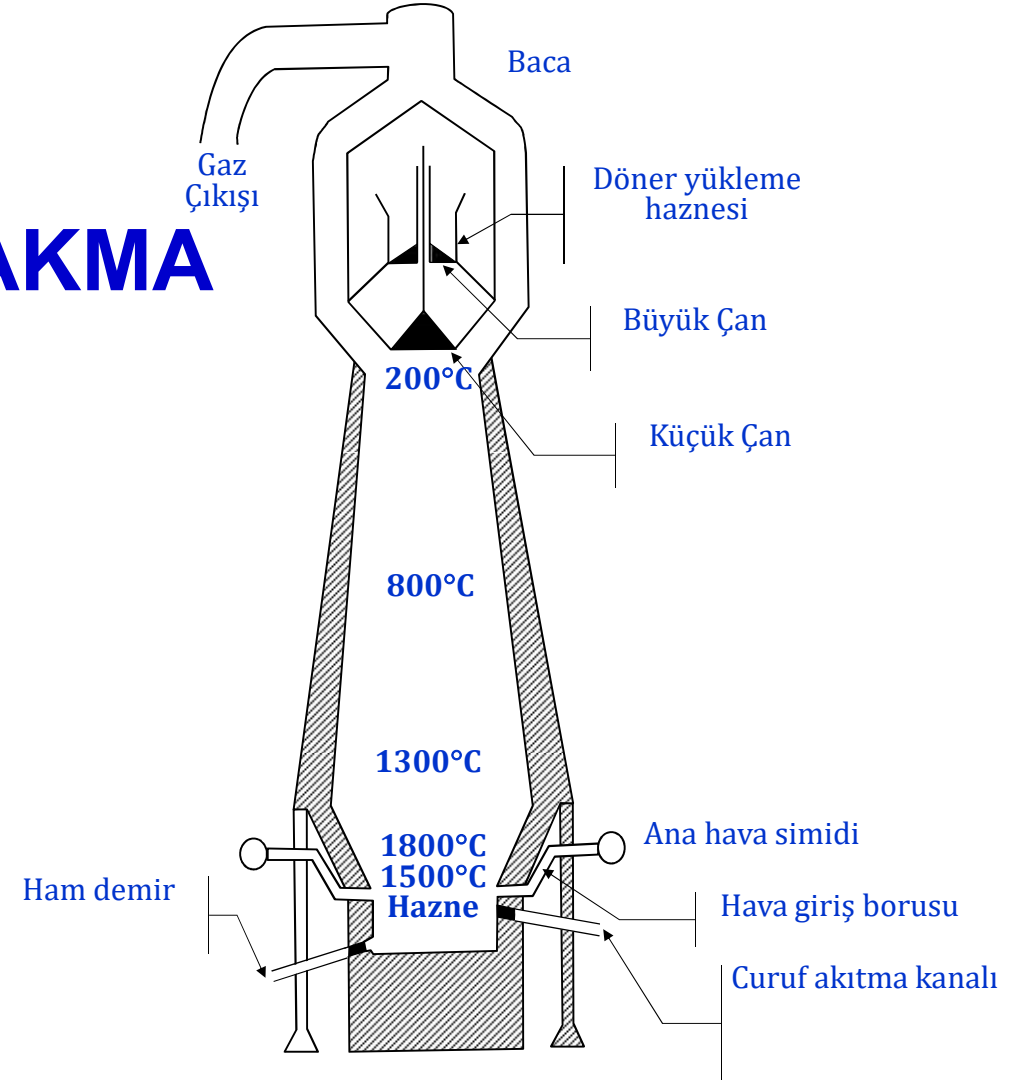
YAKMA (1900 °C)



SOĞUTMA



**BEYAZ FONT
ESMER FONT**

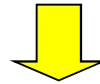


ÇELİK ÜRETİMİ



HAM DEMİRİN ARINDIRILMASI

karbon, silisyum, mangan, fosfor, kükürt gibi maddelerin kısmen veya tamamen yok edilip, çeşitli çelik ve endüstriyel demirlerin edilmesi



PİYASAYA ARZ EDİLEBİLİR HALE GETİRME

piyasada görülen saç, değişik boy ve şekillerdeki çubuk, profil elemanlar olarak yarı mamul

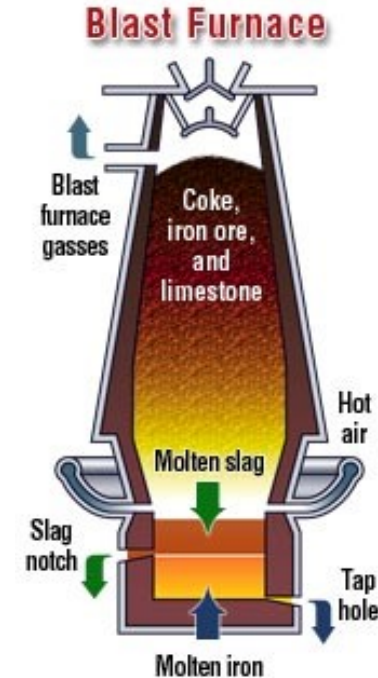
MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Üretimi

- ✓ Demir ve alaşımlarının elde edilişi, düzeltimi, değişimi ve yarı işlenmiş eşya haline dönüştürülmesi ile uğraşan endüstri ve teknik bölümüne "**siderurji**" adı verilir.
- ✓ Siderurji tekniği dört büyük gruba ayrılır :

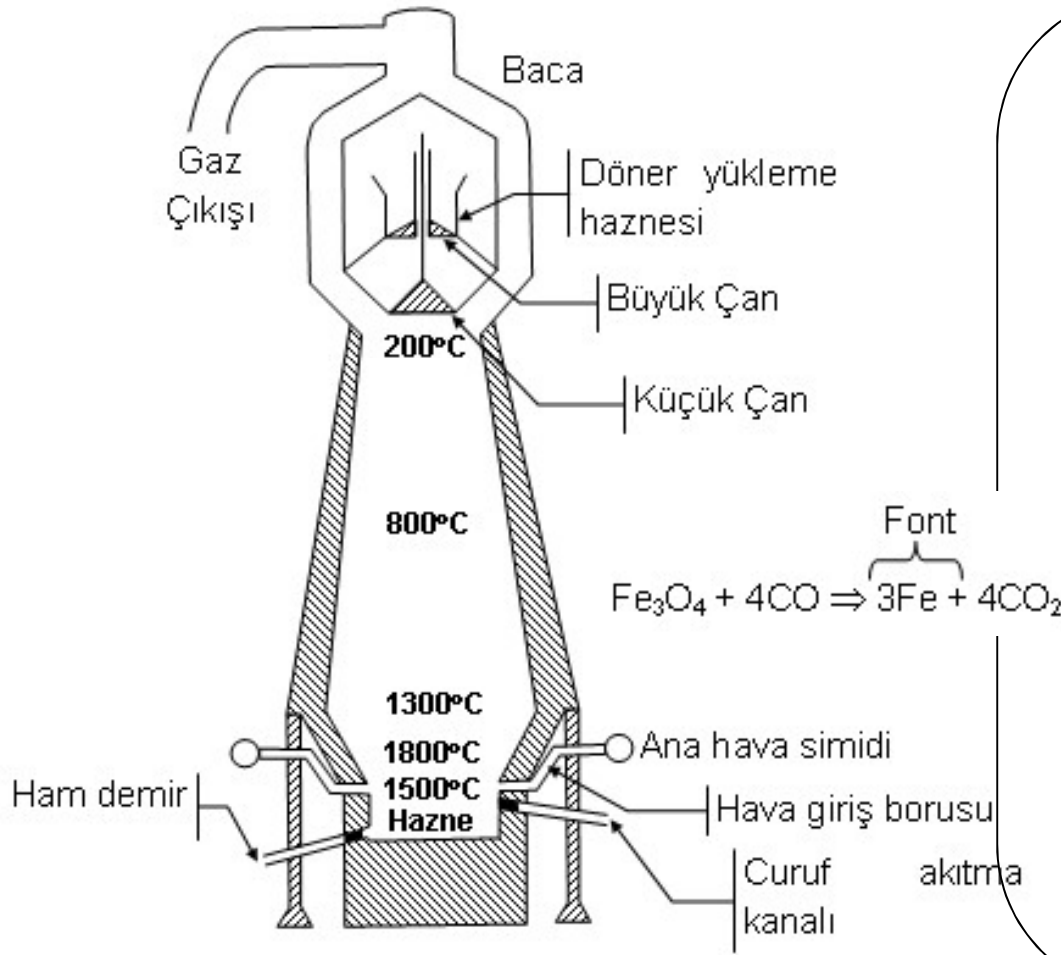
1. Cevher, eritici ve kömürden oluşan ham maddeleri; kırma, ufalama, yakma (Piritlerin yakılması), kok yapımı vb. ilk işlemlerden geçirerek yüksek fırına atılabilecek şekle dönüştürme aşaması.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Üretimi

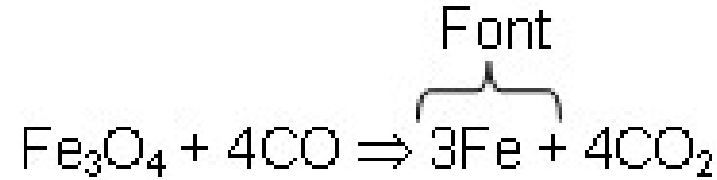
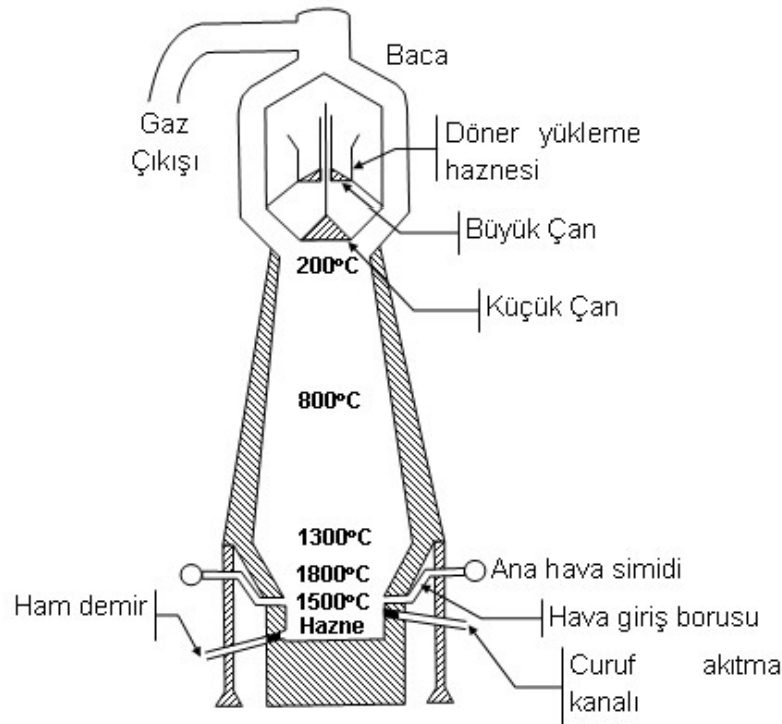


2. Ham demir (pik) veya font elde edilişi ve iri döküm ürünlerinin elde edilişi; Demir metalürjisinde kullanılan yüksek fırında cevher, kömür ile beraber 1900°C civarında yakılmakta ve 1300°C'de çabuk soğuma sonucu **beyaz font** üretilir. Yavaş soğuma sağlanırsa **esmer font** elde edilir. Artık maddeye **letiyе(curuf)** adı verilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Üretimi

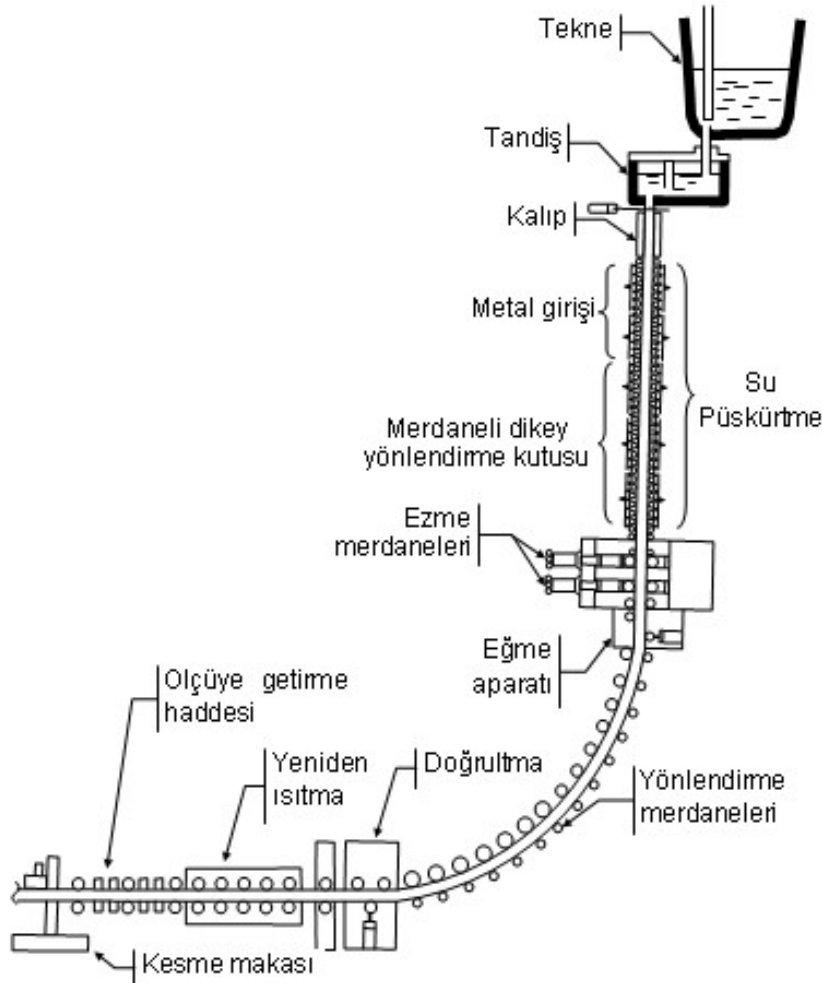


- ✓ Yukarıdaki reaksiyonla elde edilen font'a hava ve demir oksit etki ettirilerek **yumuşak demir** üretilir (Puddling Yöntemi).
- ✓ Çelik üretiminde ise beyaz fontun yakılarak fazla karbonun alınması (**Martin-Siemens Yöntemi**) veya yumuşak demire hava üflenerek karbonlanması (**Bessemer veya Thomas**) yöntemi gibi işlemler uygulanır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



SÜREKLİ DÖKÜM



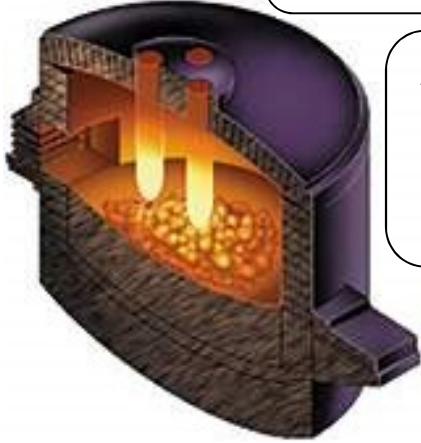
4. Üçüncü aşamanın ürünü olan kütüklerin ya ingot kalıplara dökülerek veya su ile soğutulan bakır kokil ile bir uçtan akıtılırken öteki uçtan katılaşmış şekilde dışarı çekilerek sürekli olarak (sürekli döküm) dökülerek piyasada görülen saç, değişik boy ve şekillerdeki çubuk, profil elemanlar olarak yarı işlenmiş eşya durumuna getirilmesi.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Üretimi

- ✓ Demir ve çelik ürünleri aynı zamanda hurda malzemeleri değerlendiren **ark ocağı** sistemi ile de elde edilir.



- ✓ Temin edilen hurda demir, alaşıma karbon sağlamak amacıyla pik demir (yüksek karbon oranlı dökme demir) ile birlikte elektrik ark ocaklarında eritilir.

- ✓ Eritme için gerekli olan yaklaşık 1600°C sıcaklık yarım metre çaplı üç adet büyük elektrot ile sağlanır.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Üretimi



✓ Elektrotlardan geçen yüksek elektrik akımı sonucunda doğadaki yıldırım düşmesine benzer şekilde elektrik arkı oluşur.

✓ Oluşan ark yüksek ısı yaydığından dolayı demir ve içerisindeki diğer elementler erir.



✓ Eriyik üzerine oksijen verilerek istenmeyen elementlerin aktiflik sırasına göre oksitlenerek eriyikten ayrışması sağlanır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Üretimi



✓ Bu oksitler curuf adı verilen karışımı oluştururlar. Bu curufun özgül ağırlığı demirden oldukça düşük olduğundan dolayı (yaklaşık 2.5–3.0), curuf eriyiğın yüzeyine çıkar ve yüzeyden dışarıya atılır.

✓ Eriyikten curuf alındıktan sonra; eriyik daha küçük elektrotları olan potaya boşaltılır.

✓ Burada eriyikten örnek alınarak kimyasal bileşimine bakılır ve gerekli işlemler yapılarak istenen kimyasal kompozisyon elde edilir.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Üretimi



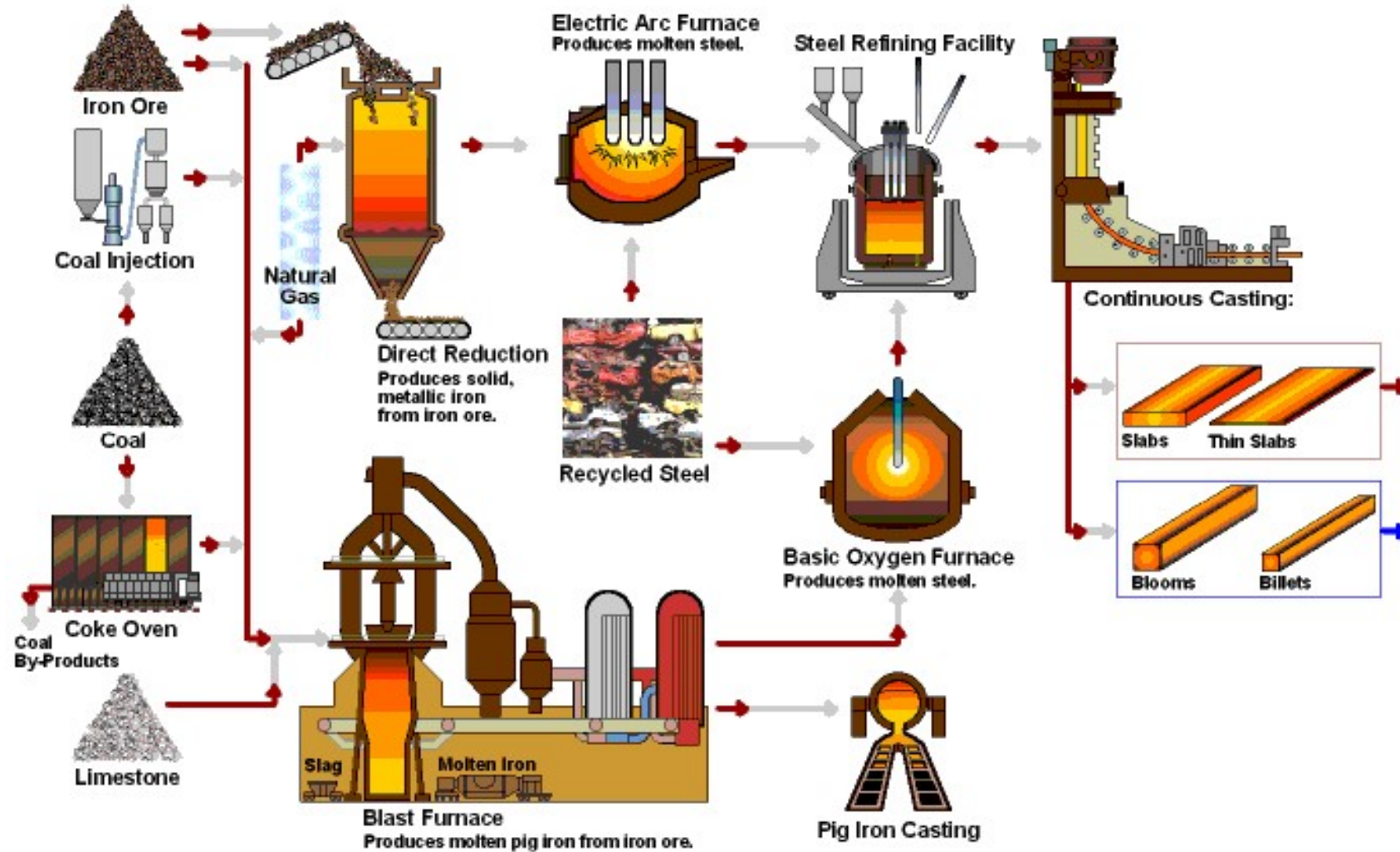
✓ En son elde edilen alaşım sürekli döküm işlemine tabi tutulur.

✓ Burada sıvı haldeki demir-karbon alaşımının sıcaklığı bakır kokillerde su ile soğutulup 1200°C 'ye kadar düşürülerek katılaşma sağlanır.

✓ Daha sonra katılaşan malzeme istenen formda kütükler haline getirilerek ya kendi halinde soğumaya bırakılır ya da fazla soğumadan istenen boyut, şekil, sertlik ve dayanımda çelik üretilmek üzere haddelemeye geçilir.

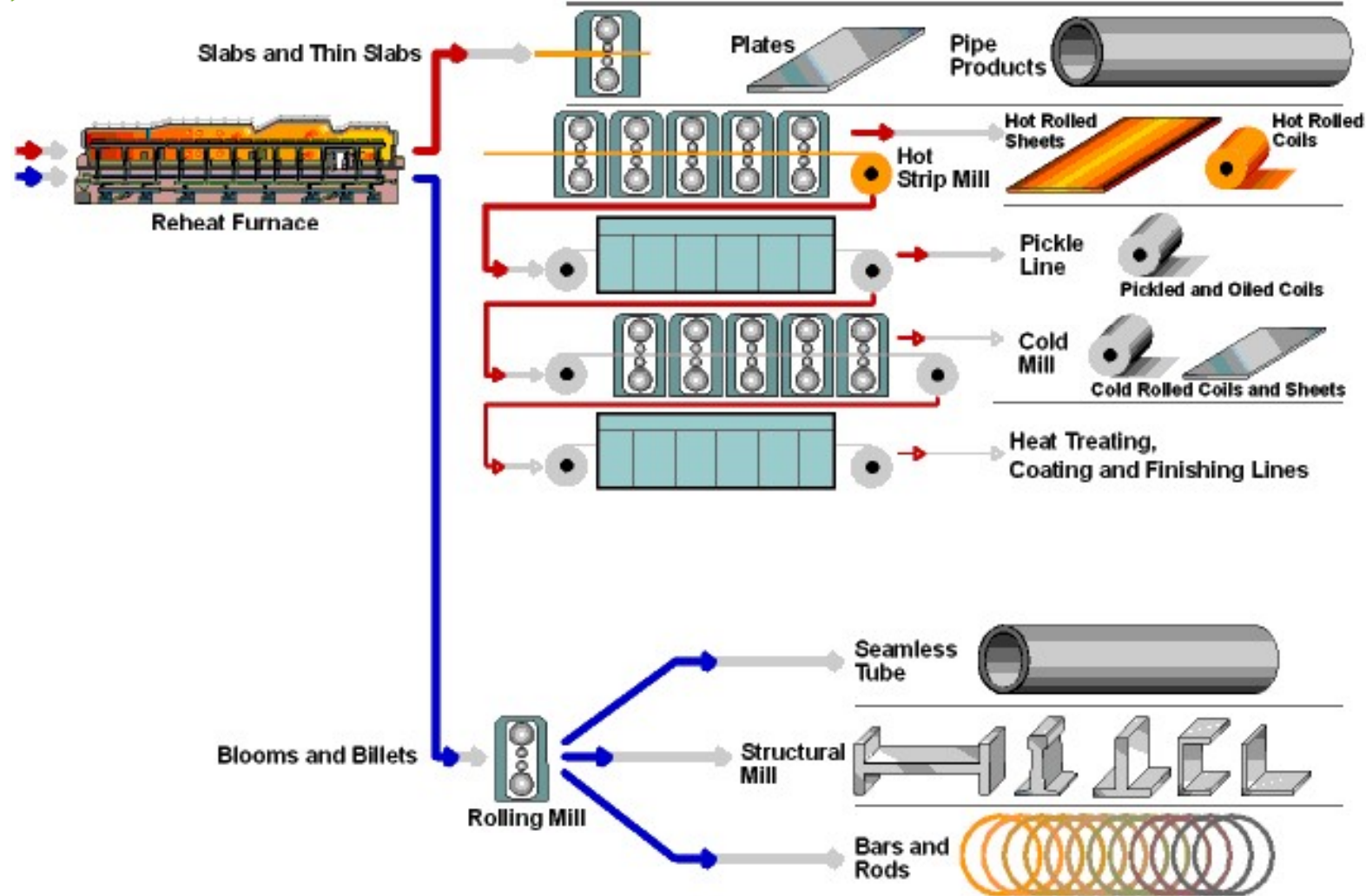
MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI

Çelik Üretimi



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI

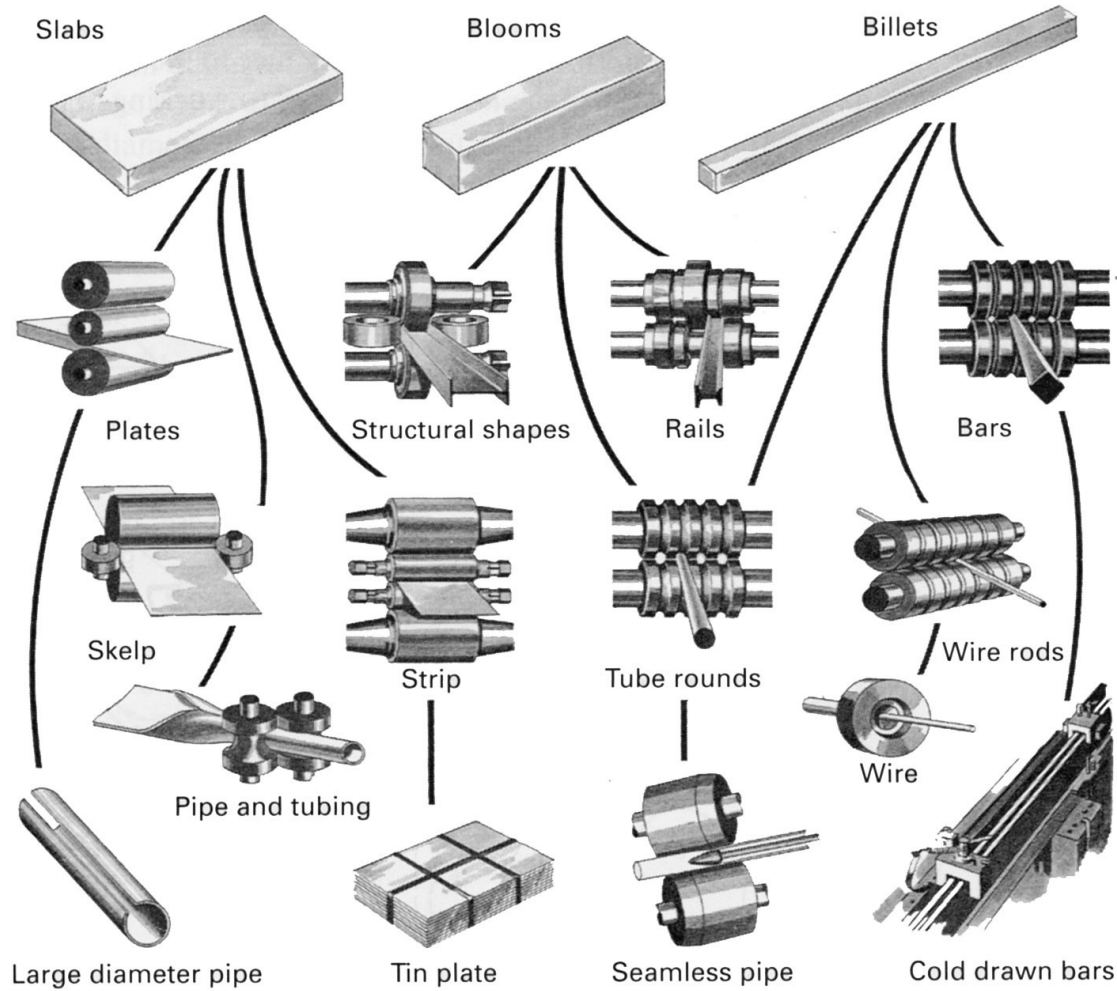
Çelik Üretimi



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Üretimi



YAPI MALZEMESİ I

12

**Metallerin Mekanik
Özelliklerini Değiştirme
Yöntemleri**

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



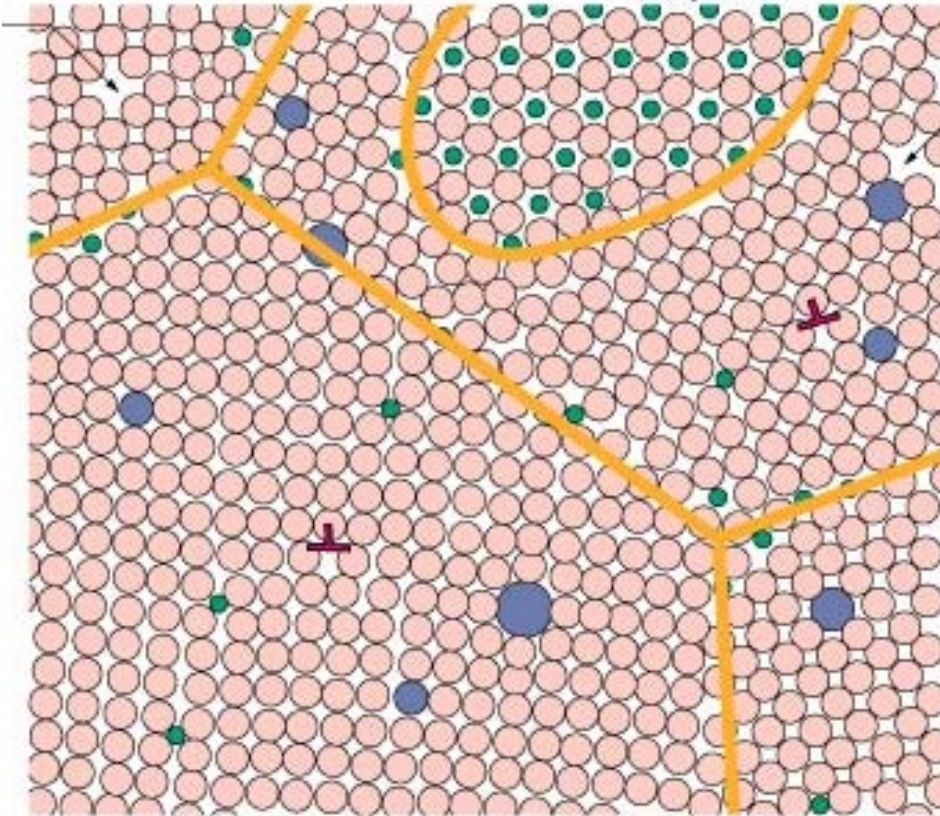
Metallerin Mekanik Özelliklerini Değiştirme Yöntemleri

- ✓ Metallerin mekanik özellikleri kullanım amacına göre yeterli olmayabilir. Bazı yöntemler kullanarak metallerin mekanik özellikleri geliştirilebilir.
- ✓ Malzeme kopmadan önce belirli bir kopma uzaması (yaklaşık % 5) gösteriyor ise böyle malzemelere **sünek malzeme**, belirgin bir uzama göstermeden koparsa (plastik şekil değiştirmeden) **gevrek malzeme** denir.
- ✓ SÜNEK MALZEMELER DİSLOKASYON HAREKETLERİ İLE ŞEKİL DEĞİŞTİRDİKLERİ İÇİN, DİSLOKASYON HAREKETİNİ ZORLAŞTIRAN HER ETKİ MALZEMENİN DAYANIMINI ARTIRIR.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Metallerin Mekanik Özelliklerini Değiştirme Yöntemleri



✓ Tane Ufaltma

✓ Katı eriyik
Alaşımlandırılması

✓ Deformasyon
Sertleştirilmesi

✓ Isıl İşlem

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



1. Tane Ufaltma

- ✓ Kristal kayması tane sınırları ile engellenir. Tane boyutu daha küçük olunca daha fazla miktarda tane sınırı oluşacağından, malzemenin tane boyutu küçülürken, mukavemeti artar.
- ✓ Bu nedenle malzemenin tane çaplarını incelten işlemler malzemenin dayanımını artırır.
- ✓ Bu işlemler daha ziyade eriyiklerin dondurulması ile gerçekleşir.
- ✓ EĞER SIVI DAHA HIZLA DONDURULUYORSA İNCE YAPILI TANELER, YAVAŞ DONARSA DAHA KABA YAPILI TANELER OLUŞUR.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



1. Tane Ufaltma

- ✓ Donma hızı genellikle dökümün yapıldığı kalıbın cinsine göre değişir. Metal kalıplarda, kum kalıplardan daha hızlı donma oluşur. Metal kalıpları su ve yağ ile soğutmak bu işlemi daha da hızlandırır.
- ✓ Özellikle iri taneli yapı istenirse sıcak kum kalıplar kullanılır.
- ✓ Tane boyutları mekanik işlemlerle (form ve şekil verme) ve ısı işlemler (tavlama) ile ayarlanabilir.
- ✓ Gelişen metalurji teknikleri ile bu işlemler değişik şekillerde düzenlenebilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



2. Basit Alaşım Etkileri

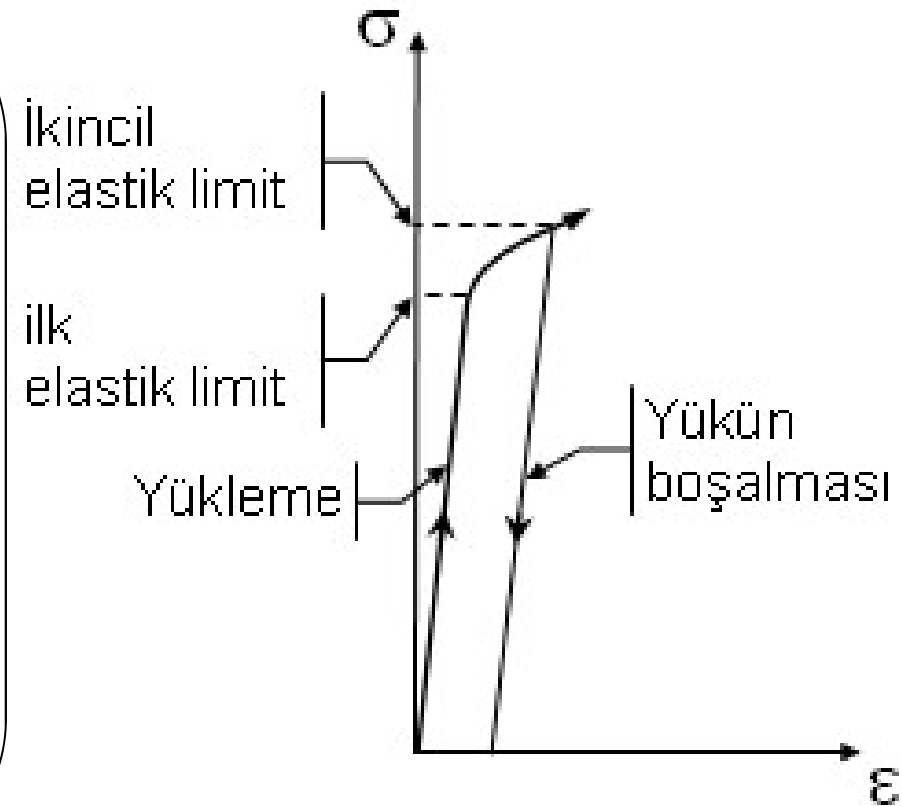
- ✓ Alaşımı oluşturan atomlar yarıçapları farklı olduğu için kristal hatası oluştururlar.
- ✓ Elementlerden biri diğerine göre ya arayer atomu ya da yeralan atomu oluşturur. Her iki halde de dislokasyon hareketi zorlaşır.
- ✓ Dislokasyon hareket ederken bu nokta hatalarına ulaşırsa veya nokta hataları yayınma ile dislokasyon bölgesine ulaşırlarsa, dislokasyon bölgesinin enerjisini azaltarak hareketini zorlaştırır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



3. Deformasyon Sertleştirilmesi

- ✓ Bir malzemeye elastik limitin üzerinde bir statik gerilme uygulanıp sonra kaldırılırsa ve bu işlem aynı şekilde tekrarlanırsa, orijinal elastik limitten büyük yeni bir elastik limit belirir.



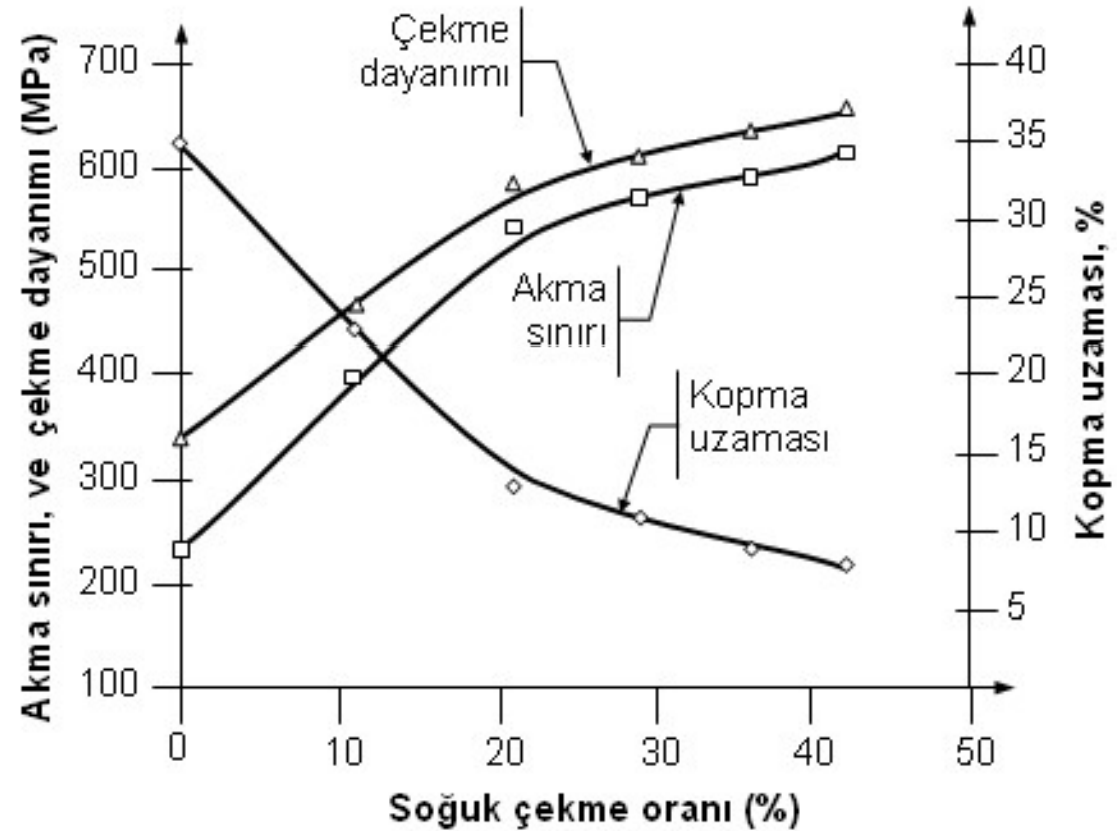
Elastik limitin artması

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



3. Deformasyon Sertleştirilmesi

✓ Bu işleme
soğuk işlem
adı da verilir.



% 0.2 karbonlu çelikte soğuk çekme oranlarına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4. Isıl işlem

- ✓ İstenilen mikroyapı ve özellikleri elde etmek için çelik katı fazda iken ısıtılıp, soğutulma işlemlerine **Isıl işlem** denir.
- ✓ Isıl işlemler **tavlama** ve **sertleştirme** olarak iki grupta incelenebilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.1. Tavlama

- ✓ Çeliklerin ısıtılıp soğutulma işlemlerine **tavlama** denilir.
- ✓ Soğuk işlemin etkileri (iç gerilmeler) tavlama denilen metal işlendikten sonra yapılan bir ısıtma işlemi ile giderilir.
- ✓ Tavlama sonucu, elastik dayanım biraz azalabilir ancak enerji yutma kapasitesi ve düktilite büyük ölçüde artar ve yassılaştan taneler birbirleri ile kaynaşırlar.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.1. Tavlama

Tavlama adı	Uygulanması	Elde edilen özellik
Homojenleştirme (Yayınma)	Çelik 1100-1300°C arasında 50 saat gibi uzun bir süre bekletilir.	Tane sınırlarında biriken ve gevrekleşmeye neden olan katışkılar ve kalıntılar tane içine doğru yayınır. Yayınamayanlar ise küreleşir, tokluk artar.
Tane irileştirme	Çelik 950–1100°C arasında bekletilir.	Taneler irileşerek çeliğin talaşlı işleme özelliği artar

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.1. Tavlama

Tavlama adı	Uygulanması	Elde edilen özellik
Tam	Ötektoit altı çeliklerde A3, ötektoit üstü çeliklerde A1 sıcaklığının yaklaşık 30°C üstünde tutularak genellikle fırında, en az A1 sıcaklığının 30 °C altına kadar yavaşça soğutularak yapılır	İnce taneli yapı elde edilir, aynı zamanda yumuşama meydana gelir, elektrik ve manyetik özellikler ve işlenebilirlik iyileşir. Soğuma kontrollü yapıldığı için homojen bir mikro yapı elde edilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.1. Tavlama

Tavlama adı	Uygulanması	Elde edilen özellik
Normalizasyon	Bozulan tane yapısının normal hale getirilmesi için ötektoit altı çeliklerde A3 sıcaklığının, ötektoit üstü çeliklerde ise Acm veya A1 sıcaklığının yaklaşık 55°C üstünde tavlama yapılır. Soğutma oda sıcaklığında, havada yapılır.	Çelik döküm parçaları genellikle çentik darbe mukavemetini artırmak için normalizasyon işlemine tabi tutulur. Parça havada soğutulduğu için, soğuma homojen olmaz. Parçanın kalınlığı, ortam sıcaklığının farklılığı mikroyapıyı değiştirir. Kalın parçalarda yüzey mikroyapısı ile iç kısmın mikroyapısı farklı olur. Normalizasyon tavlamasında soğuma daha hızlı olduğu için mikroyapı daha sert ve daha dayanıklı olur.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.1. Tavlama

Tavlama adı	Uygulanması	Elde edilen özellik
Küreselleştirme (Yumuşatma)	Sementitleri parçalamak için, ötektoit altı çelikler A1'in altında tutulur, ötektoit üstü çeliklerde A1 sıcaklığının altında ve üstünde salınım yaptırılır.	Ötektoit üstü çeliklerdeki sementit lamellerinin parçalanması çeliğin işlenmesini kolaylaştırır, tokluğunu artırır. Çelik içindeki sementitlerin küreselleştirilmesi çeliğin sünekliği, yorulma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin iyileşmesine neden olur.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.1. Tavlama

Tavlama adı	Uygulanması	Elde edilen özellik
Yeniden kristalleşme	Çelik 650°C'ye ısıtılıp bir süre bu sıcaklıkta bekletildikten sonra soğumaya bırakılır.	Soğuk şekillendirme neticesi kristal yapısı bozulan çeliği yeniden kristal yapılı hale getirmek için yapılır. Soğuk şekillendirme işlemi genellikle karbon oranı % 0.25 ve daha küçük olan çeliklere uygulandığı için yeniden kristalleştirme tavlama bu çelikler için söz konusudur.
Gerilme Giderme	Malzeme 550-650°C'ler arasına ısıtılıp bir süre bu sıcaklıkta bekletildikten sonra soğumaya bırakılır.	Makine parçalarının farklı bölgelerinin farklı zamanlarda soğuması veya farklı plastik deformasyona uğramasından dolayı iç gerilmeler meydana gelir. Bu tavlama sayesinde iç gerilmeler iyice azalır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.2. Sertleştirme

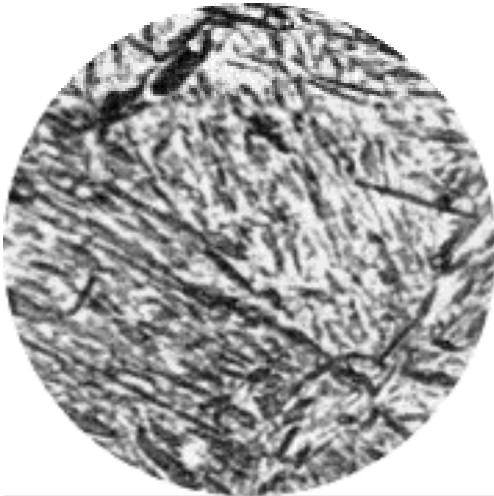
- ✓ Çeliğin ostenitleme sıcaklığından martenzit oluşacak şekilde hızlı bir şekilde soğutulmasına **sertleştirme (su verme)** denilir.
- ✓ Demir-karbon denge diyagramı çok yavaş soğutma ile elde edilir. Soğuma hızının artması ile mikroyapılar ve denge diyagramı değişir. Farklı faz dönüşümleri ve mikroyapılar meydana gelir.
- ✓ Mekanik şekil verme işlemi her zaman deformasyon sertleştirilmesi sonucunda olmaz.
- ✓ Yapı metal ve alaşımları genellikle soğuk işleme cevap verirler ancak düşük sıcaklıkta eriyebilen kurşun gibi metaller soğuk işleme cevap vermezler.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI

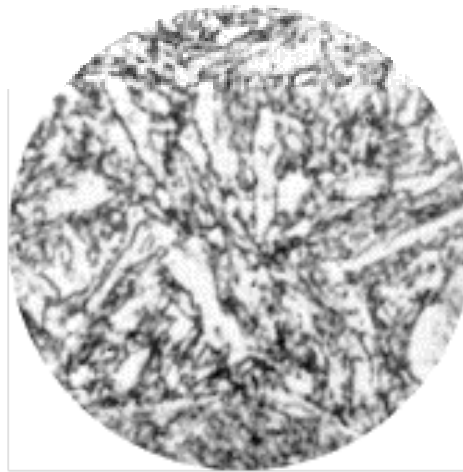


4.2. Sertleştirme

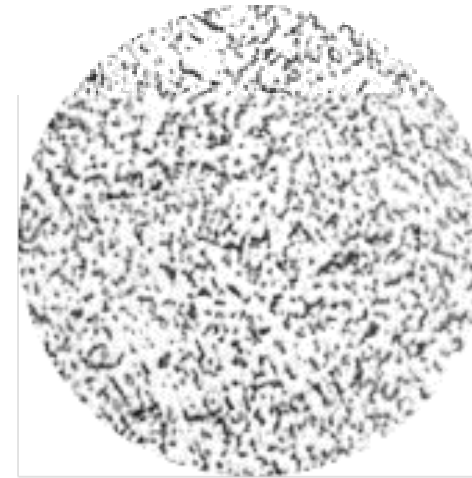
- ✓ Isıl işlemler neticesi meydana gelen **martenzit**, **beynit**, **temperlenmiş martenzit** mikroyapıları veya oluşturulan çökeltiler, dislokasyon hareketini zorlaştırır.



Martensite



Tempered Martensite



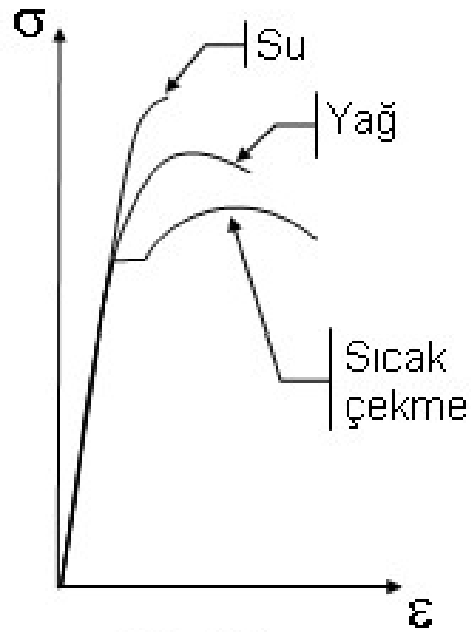
Heavily Tempered

- ✓ Bu yöntem özellikle çeliklerin dayanım artırma işlemleri için sıkça uygulanmaktadır.

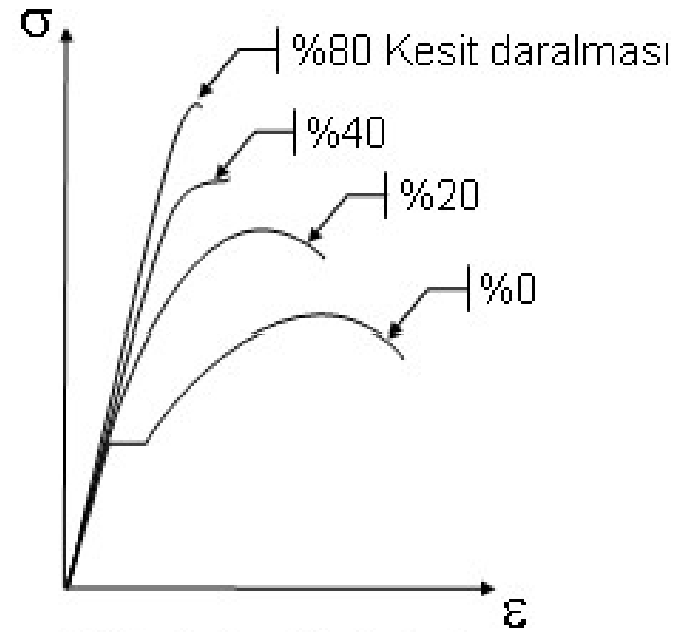
MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.2. Sertleştirme



(a) Isıl işlem



(b) Soğuk şekil değiştirme

- ✓ Bu işlemler sonucu malzemenin mekanik özelliklerini istenen yönde değiştirmek mümkündür. Isıl işlemin ve soğuk şekil değiştirmenin aynı malzemenin mekanik özelliklerine etkisi yukarıda görülmektedir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.2. Sertleştirme

✓ Çeliğin tipik bir ısıt işleminin şöyle özetlenebilir:

- 1) Uygun bir dereceye kadar ısıtma (Örneğin 845°C),
- 2) Su veya yağa ani daldırıp soğutma,
- 3) Tekrar 650°C altındaki bir dereceye kadar ısıtmak.

✓ Alüminyum'un buna benzer daha düşük derecede ısıt işlemleri vardır.

✓ Saf metallerde ısıt işleminin bir yararı yoktur. Ancak alaşımlara büyük yararı vardır.



4.2. Sertleştirme

- ✓ Uygulamada **su verme, daldırma** terimi ile adlandırılan soğutma işlemi, çeliğin iç yapısını etkilemek amacıyla yapılır.
- ✓ Bu işlem yalnızca metali suya daldırmak suretiyle yapılmaz. **Yağa hatta erimiş kurşuna** batırmak suretiyle yapıldığı gibi, **adi sıcaklıklarda** havanın etkisine bırakarak da yapılabilir.
- ✓ Yağda soğutulan çeliklere **yağ çeliği**, havada soğutulanlara **hava çeliği** adı verilir.
- ✓ Daldırma işlemi daha çok % 0.2'den fazla karbon içeren çeliklere uygulanır, amacı genellikle sertliği arttırmaktır.
- ✓ Bu işlemlerin amacı çeliklerin yüksek sıcaklıklarda edindikleri iç yapıyı kısmen veya tamamen **adi sıcaklıklarda** tutabilmelerini sağlamaktır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.2. Sertleştirme

- ✓ Örneğin, % 0.5 C içeren bir çelik 800°C yi geçen bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında yalnızca ostenitten oluşan homojen bir sistemdir.
- ✓ Bu çelik ara duraklardan (ferrit, perlit) geçmeye vakit bulamadan ani olarak soğutulursa homojenliğini korur
- ✓ Sıcaklığın ani düşüşü nedeniyle karbonun eriyebilirliğinin azalması sonucu demir aşırı doymun hale dönüşür.
- ✓ Böylece **martenzit** yani çözelti halinde bulunmayan karbon içeren α demiri oluşur.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI

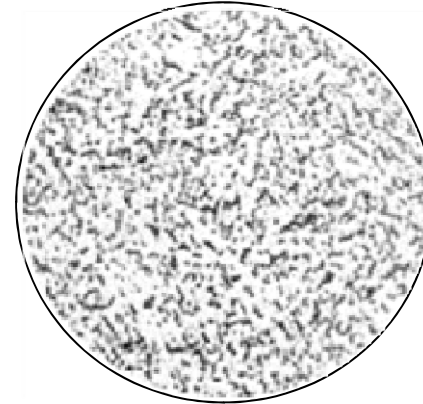


4.2. Sertleştirme

- ✓ Martenzit homojen bir kütledir ve ostenite kıyasla çok daha serttir.
- ✓ Aynı bileşimdeki alaşım daha yavaş soğutulacak olursa, süreye bağlı olarak ferrit ve perlit kısmen veya tamamen oluşur.



Ferrit + Perlit



Temperlenmiş Martenzit

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



4.2. Sertleştirme

- ✓ Soğuma olayını hızlandırmak için, % 10 tuz ve nişadır içerikli banyolar kullanılır.
- ✓ Daha az hızlı soğutmalar için tatlı su veya % 2'lik H_2SO_4 ve HCl çözeltileri, ağır soğutmalar için gazyağı, kolza yağı, madeni yağlar, iç yağı ve yoğun kireç banyoları kullanılır.
- ✓ Soğuk işlemde taneler yassılaşır.
- ✓ Sıcak işlemde ise tanelerde ani düzensizlik olur, sonra tekrar düzene girerler.
- ✓ Sıcak işlem ısısının kontrolü, tane boyutu ve dayanımı etkiler.
- ✓ Örneğin, çelik ve alüminyum alaşımları bu işleme şaşılacak derecede cevap verirler.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Yüzey sertleştirme işlem çeşitleri ve özellikleri

Tavlama adı	Uygulanması ve Elde edilen özellik
Karbonlama (sementasyon)	Çelik aktif karbon içeren ortamda ısıtılır (800 °C). Karbon yayınır. Yüzeyde ince tabaka boyunca yüksek karbonlu yapı (karbon oranı yaklaşık % 0.8) oluşur. Su verilir ise yüzeyi sert, aşınmaya dayanıklı yapı oluşur. İç kısmı ise sertleşmemiş bu nedenle tok bir malzeme üretilmiş olur. Sonuçta, <u>hem aşınmaya, hem de darbeye dayanıklı malzeme</u> elde edilir. Çeliğin, karbonlama ve sertleştirme işlemlerine <u>sementasyon</u> denilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Yüzey sertleştirme işlem çeşitleri ve özellikleri

Tavlama adı	Uygulanması ve Elde edilen özellik
Azotlama	Karbonlamaya benzer şekilde çeliğin yüzeyine azot difüzyonu yapılır. Azot, nitrürasyon çeliklerinde bulunan Al, Cr, Ti gibi elementlerle sert nitrürleri oluşturur. Nitrürleme işlemi 500–570 °C’de gerçekleştirilir. Sertlik derinliği sementasyona göre daha azdır; fakat sertlik değeri fazladır. Sementasyon ile elde edilen yüzey sertliği 850–900 VSD ise Nitrürasyon ile 1200 VSD’ne ulaşılır ki bu da daha iyi aşınma dayanımı oluşturur.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



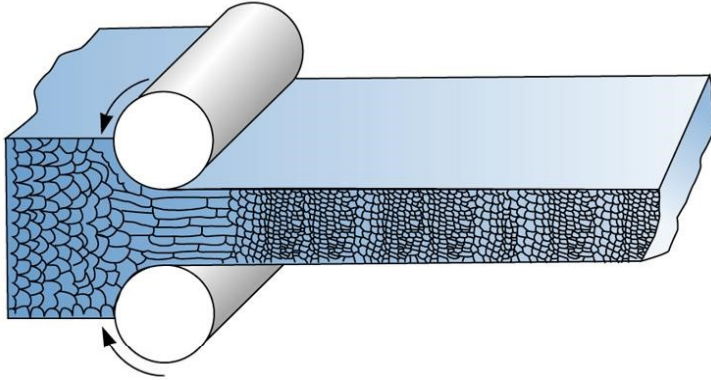
Yüzey sertleştirme işlem çeşitleri ve özellikleri

Tavlama adı	Uygulanması ve Elde edilen özellik
Borlama	Karbonlama ve azotlamaya benzer bir termokimyasal ısıtılma işlemidir. Çeliğe bor elementinin difüzyonu sağlanır. Oluşan FeB ve bileşikler çok sert (2000 VSD) ve kararlı bileşiklerdir. 900–1000°C’ler arasında bor verici katı, sıvı ve gaz ortamlarında tutularak yapılır.
Alevle ve İndüksiyonla sertleştirme	Sertleşme kabiliyeti olan bir çelikten yapılmış olan parçanın sadece yüzeyi ostenitlenir ve su verilir ise yüzeyi sert içi yumuşak bir yapı elde edilir. Yüzeyin ısıtılma işlemi alevle sertleştirmede oksijen–yanıcı gaz üfleci ile, indüksiyonla sertleştirmede ise indüksiyon akımı ile sağlanır. Alev ve indüksiyon ile sertleştirilmiş parçanın yorulma özellikleri sementasyondaki gibidir.

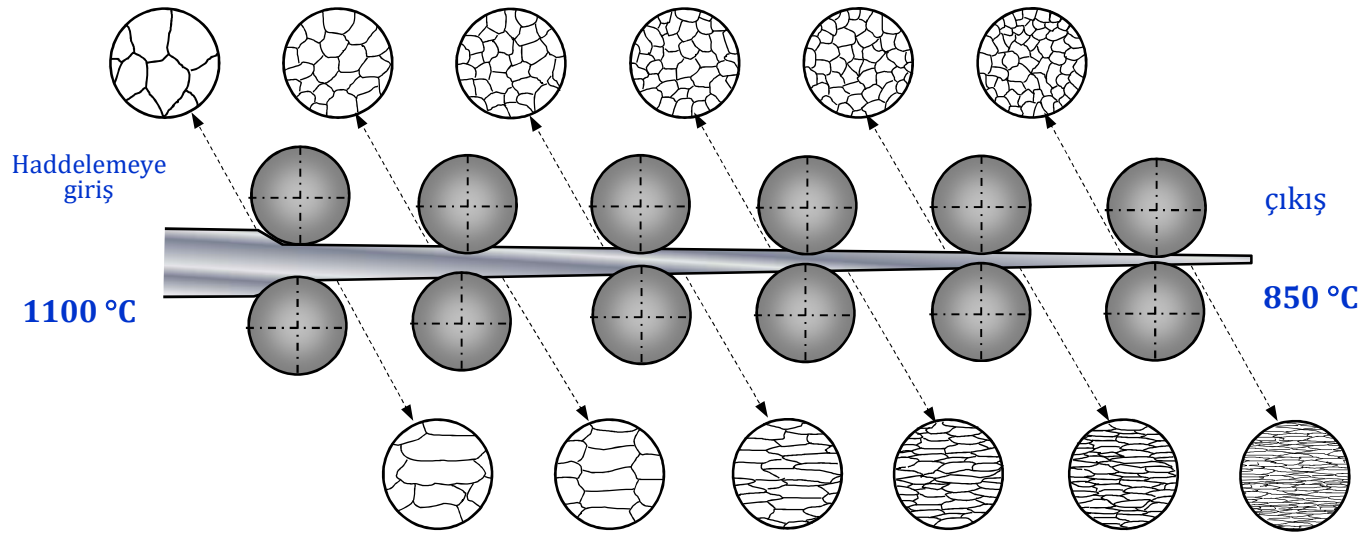
MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Termomekanik İşlemler



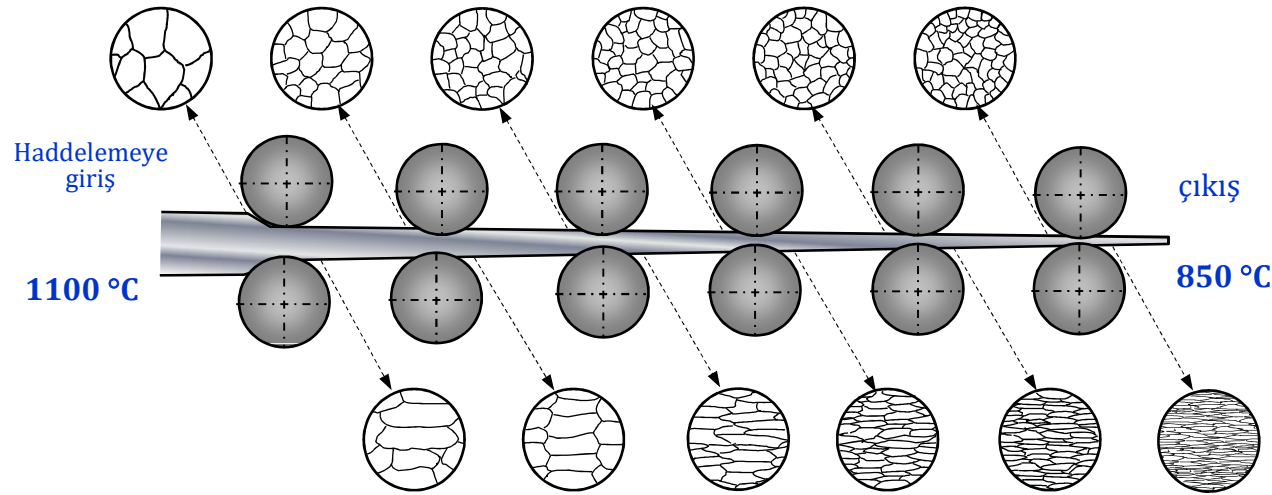
- ✓ Çeliğin haddelenmesi esnasında, plastik deformasyon ve hemen ardından yeniden kristalleştirme olayının meydana gelmesinden dolayı tane boyutu küçülür



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



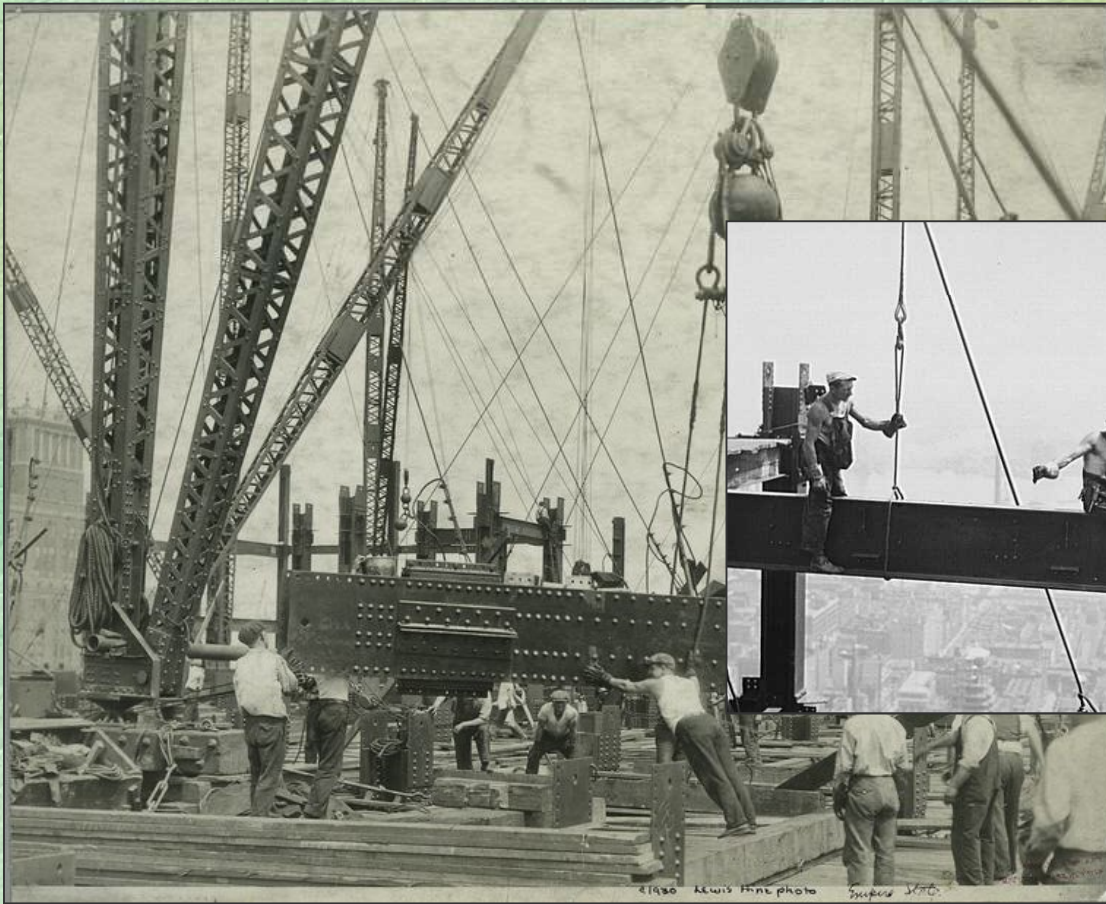
Termomekanik İşlemler



✓ Şayet haddelemenin hemen ardından sertleştirme işlemi yapılırsa; metalde dislokasyon yoğunluğu fazla, tane boyutu küçük ve hızlı soğuma neticesi daha dayanıklı mikroyapılar elde edilir.

✓ Bu şekilde üç çeşit dayanım artırma yöntemi olan plastik deformasyon, tane boyutunu küçültme ve ısıtma işlemi uygulanmış olur.

Yapılarda Kullanılan Çelikler



EMPIRE STATE BUILDING (Yapımı : 1929-1931)

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Yapılarda Kullanılan Çelikler

- ✓ Yapılarda çelik, genellikle betonarme yapılarda donatı olarak veya çelik yapılarda taşıyıcı malzeme (profil) olarak iki şekilde kullanılır.
- ✓ Betonarme yapılarda;
 - beton basınç gerilmelerini,
 - çelik donatı çekme gerilmelerinikarşılamaktadır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Yapılarda Kullanılan Çelikler

- ✓ Yapılan çalışmalarda betona en uygun çekme donatısının çelik olduğu görülmüştür.
- ✓ Betonla çeliğin bu uyumunu çeliğin aşağıda sıralanan özellikleri sağlamaktadır:
 - a) Çeliğin çekme dayanımının betona oranla çok daha yüksek olması,
 - b) Çeliğin betonla çok iyi aderans sağlaması,
 - c) Çeliğin termik genleşme katsayısının betonunkine yakın olması dolayısıyla farklı sıcaklıklarda hemen hemen aynı şekil değişimini yapmaları.

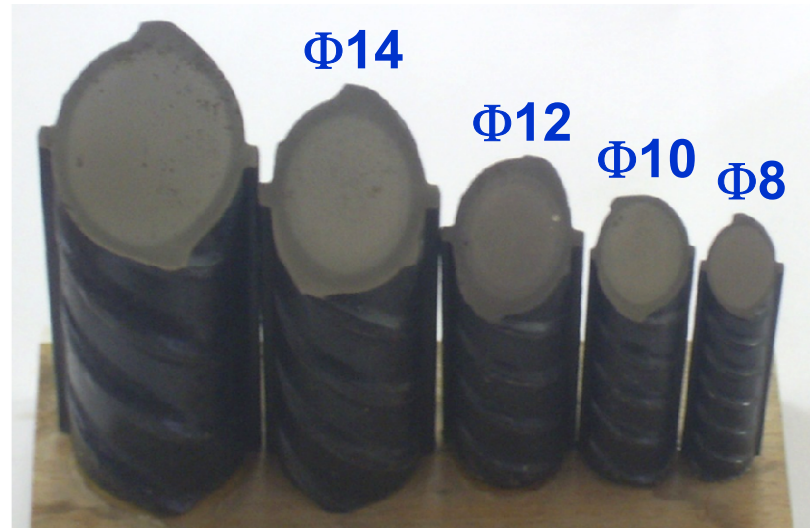
MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Yapılarda Kullanılan Çelikler

- ✓ Betonun içine bu amaçla yerleştirilen çelik çubuklar değişik türlerdedir.
- ✓ Ülkemizde ϕ donatı çapını tanımlar. Örneğin, $\phi 16$, çapı 16 mm olan betonarme çeliğidir.

$\Phi 16$

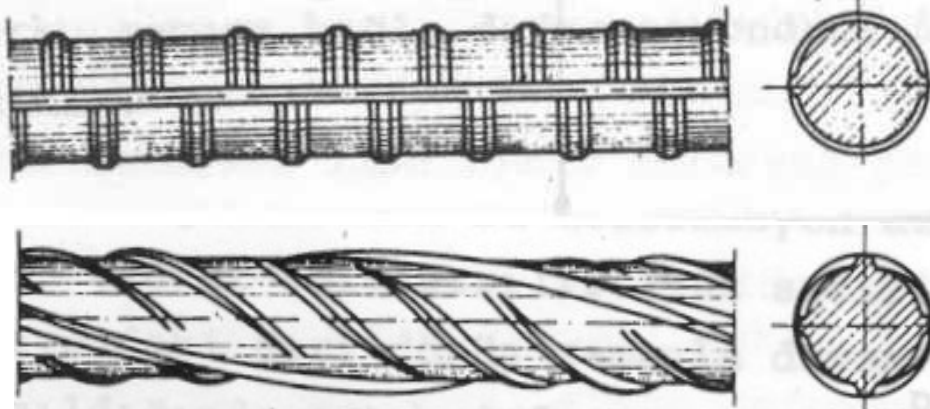


MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Yapılarda Kullanılan Çelikler

- ✓ Betonarme yapılarda donatı ve beton arasında yeterli bir yapışmanın (aderansın) sağlanmaması halinde, donatı beton içinde kayarak kuvvetleri aktaramaz ve bu durum da yapının yıkılmasına yol açabilir.
- ✓ Donatının aderans yeteneğini arttırmak amacıyla, çelik çubukların yüzeyinde çıkıntı ve girintiler yapılır.

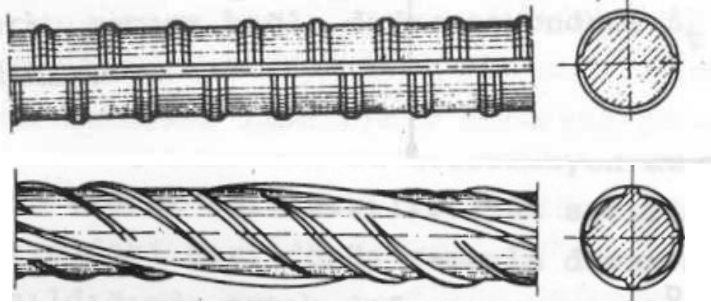


- ✓ Beton kütlesine takılarak yapışmayı arttıran bu çıkıntılar genelde **nervürler** vasıtasıyla meydana getirilir.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Yapılarda Kullanılan Çelikler



- ✓ Bu çıkıntılar çubuk eksenine dik olabileceği gibi, eksene belirli bir açı yapan sürekli helezonlardan da oluşabilir.

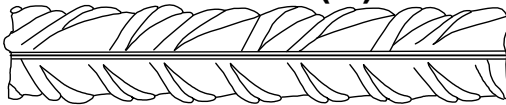
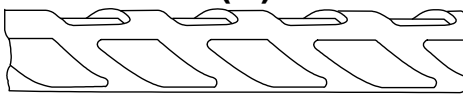


- ✓ Bu nervürlerin değişik tipleri vardır. En çok kullanılan nervür tipleri yanda görülmektedir.

- ✓ Enine ve boyuna nervürlü olan bu çelikler kendi eksenleri etrafında burularak **TOR** adı verilen, çelikler elde edilmektedir.

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



Tipler	Düz Yüzeyli (D)	Nervürlü (N)		Profilli (P)		
						
Sınıflar	Sıcak haddeleme işlemi ile imal edilen (a)		Termo-mekanik işlemle imal edilen (a)	Soğuk mekanik işlem uygulanarak imal edilen (b)		
Sembol	I-a (S220a)	III-a S(420a)	IV-a (S500a)	III-b (S420b)	IV-bs (S500bs)	IV-bk (S500bk)
Anma çapı (d) (mm)	6-50	6-50	6-50	6-12	14-18	4-16
Min. Akma day. (MPa)	220	420	500	420	500	
Min. çekme day. (MPa)	340	500	550	500	550	
Çekme/akma min. day. Oranı	1.20	1.10	1.08	-	-	
Min. kopma uzaması (%)						
Ø≤28	18	12	12	10	8	5
32≤Ø<50 (%)	18	10	10			

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



AFBYYHY- MALZEME DAYANIMLARI

- ✓ Kirişli sistemlerin döşemelerinde, kirişsiz döşemelerde, dişli döşeme tablalarında, bodrum katların çevresindeki dış perde duvarlarının gövdelerinde, deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca perdeler tarafından taşındığı bazı yapılar ve prefabrike binalarda öngerme çeliği olarak **S420'den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği** kullanılabilir.
- ✓ Diğer tüm betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında **S420'den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği** kullanılmayacaktır.

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



AFBYYHY- MALZEME DAYANIMLARI

- ✓ Kullanılan donatının kopma birim uzaması %10'dan az olmayacaktır.
- ✓ Ortalama akma dayanımı, öngörülen karakteristik akma dayanımının 1.3 katından fazla olmayacaktır.
- ✓ DeneySEL olarak bulunan ortalama kopma dayanımı, deneySEL olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1.25 katından az olmayacaktır.

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



TS708 (Mart 1996)'ya göre Beton Çelik Çubuklarının Kimyasal Bileşimleri

Sembol	$\leq C$ %	$\leq P$ %	$\leq S$ %	$\leq N$ %	$\leq C_{ed}^*$ %
I-a	0.25	0.050	0.050	-	-
III-a	0.40	0.050	0.050	-	-
IV-a	0.22	0.050	0.050	0.012	0.50

(1) Yeterli oranda azot bağlayıcı elementler(Alüminyum gibi) bulunduğu takdirde daha fazla azot (N) kabul edilebilir.

*Karbon eşdeğeri:

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

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



- ✓ Kaynak yapılacak beton çeliklerinin karbon eşdeğeri % 0.4 değerini geçmemelidir (TS 500 Şubat 2000).
- ✓ Bu sınırın konulmasının nedeni yüksek karbon oranlı çeliklerin yüksek sıcaklıkta *kaynak yapılması durumunda oluşan martenzitik yapının çok sert ve kırılgan* olmasıdır. Ayrıca yüksek sıcaklığa çıkan çeliğin *ani soğuması nedeniyle, kaynak yapılan bölgede hacim sabitliğinin bozularak çatlamlar oluşabilmektedir.*
- ✓ Yüksek karbonlu çeliklerde bu oluşumların engellenebilmesi için ya ani soğuma önlenmesi ya da kaynak yapılan bölgeye daha sonra ısı işlem uygulanması gerekmektedir.
- ✓ Ayrıca kaynaktan sonra oluşacak olumsuzlukları engelleyecek özel kaynaklama yöntemleri de uygulanmaktadır. Ancak bu tür kaynaklama yöntemleri oldukça pahalı yöntemler olup hayati önem taşıyan işlerde kullanılmaktadır.

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



- ✓ TS708 (Mart 1996)'ya göre betonarme yapılarda 4 tip beton çeliği kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Bunları da birinci grup dışında (a) ve (b) olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür.
- ✓ (a) grubundaki alaşımlar yüksek fırında kütükler halinde üretildikten sonra hemen sıcakta çekilerek (haddeleme) doğal bir sertlikte kullanıma hazır duruma getirilmişlerdir.
- ✓ (b) grubundaki alaşımlar soğukta deformasyon işlemine maruz bırakılmak suretiyle gerilmeler ile ilgili özelliklerinde artışlar oluşturulmuştur. Bu çelikler yaklaşık olarak 900°C'ye kadar ısıtılınca kazandıkları dayanım artışlarını yitirirler.

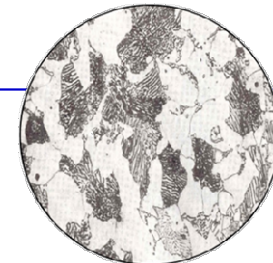
YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



Ia çeliği (yumuşak çelik) S220

- * minimum akma dayanımı: 220 MPa
- * Karbon oranı : %0.15 - 0.25

- ✓ TS 708 (Mart 1996)'ya göre Ia çeliği olarak adlandırılan çelik türü minimum akma dayanımı 220 MPa olan yumuşak ve nervürsüz çeliktir.
- ✓ Bu çelik Karbon oranı % 0.25'den daha küçük olan demir-karbon alaşımının kütükler halinde imal edilmesinden sonra haddeleme için yaklaşık 1200°C'ye kadar tekrar ısıtılır.
- ✓ Isıtılan bu çelik soğuma esnasında merdaneler arasından geçirilerek kademeli olarak boyut küçültülmesi sağlanır ve sıcaklık yaklaşık 1000°C'ye düştüğünde istenen form elde edilir.
- ✓ Bu sıcaklıktan sonra malzeme havada soğumaya bırakılır. Oluşan çeliğin mikroyapı ferrit+perlit'ten oluşmaktadır.



Ferrit + Perlit

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



IIIa çeliği - S420

- * **minimum akma dayanımı: 420 MPa**
- * **Karbon oranı : $< \%0.4$**

- ✓ **IIIa çelikleri ise Ia çeliklerine göre daha yüksek karbon oranlı, daha yüksek dayanımlı ve sert çeliklerdir.**
- ✓ **IIIa çelikleri karbon oranı $\% 0.4$ 'den daha düşük olan demir-karbon alaşımlarından elde edilir.**
- ✓ **Üretiminde Ia çeliklerinden farklı olarak en son haddelenmeden sonra yaklaşık 1000°C 'de nervürlene haddesi yapılır.**
- ✓ **Ia çeliklerine göre daha sert olan bu çeliklerin işlenebilirlikleri daha az ve kırılganlıkları daha fazladır.**
- ✓ **Ayrıca bu tip çelikler kaynak işleri için uygun değildir.**

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



Son yıllarda IIIa çeliklerinin üretiminde %0.25'den daha düşük karbon oranlı demir-karbon alaşımları da kullanılmaktadır.

IIIa çeliklerinin sünekliğini, çentik darbe tokluğunu artıran ve çentik darbe tokluğu geçiş sıcaklığının düşmesine neden olan bu yöntem, çeliğin yüzeyinde belirli kalınlıkta daha sert ve dayanımı yüksek temperlenmiş martenzit mikroyapısının oluşturulması esasına dayanır.

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



Termeks Tempeks, tempcore, vb. isimler verilen bu yöntemle göre en çok % 0.25 karbon oranlı çelik 1000°C'de nervürlendikten sonra ani soğutma işlemine tabi tutulur.



Bu işlem sırasında malzemenin yüzey sıcaklığı 250°C'ye kadar düşer, ancak merkezinin sıcaklığı 900°C civarındadır.

YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



Malzeme kendi haline bırakıldığında ise tüm yüzeyde sıcaklık 650°C olur. Sıcaklığın yüzeyde 250°C'ye düşmesi ile martenzitik yapı oluşur.

Bu yapı kırılgan bir özelliğe sahip olup ısıtılma işlemi uygulanması gerekmektedir.

Bu ısıtılma işlemi de sıcaklığı 650°C çıkaran çekirdek bölgesi sağlamaktadır.



Daha sonra kontrollü bir şekilde soğumaya bırakılan çelik dış yüzeyinde temperlemiş martenzit çekirdek bölgesinde ferrit-perlitten oluşan yapı oluşmaktadır.



Yüksek dayanımlı bölge
(~900 MPa) Kalınlığı
yarıçapın %10-20 si kadar

Düşük dayanımlı
bölge (St-I
370 MPa)

TERMEKS

St I KÜTÜĞÜNDE
ANİ SOĞUTMA

DIŞ KABUĞU
YÜKSEK
DAYANIMLI
İÇ KISMI St I
KALİTESİNDE

TORNALAMADAN
ÇEKME DENEYİ

SONUÇ St III
KALİTESİNDE

KOROZYON
(PASLANMA)
DURUMUNDA

KÜÇÜK KESİT
KAYIPLARI BÜYÜK
DAYANIM KAYIPLARINA
YOL AÇABİLİR

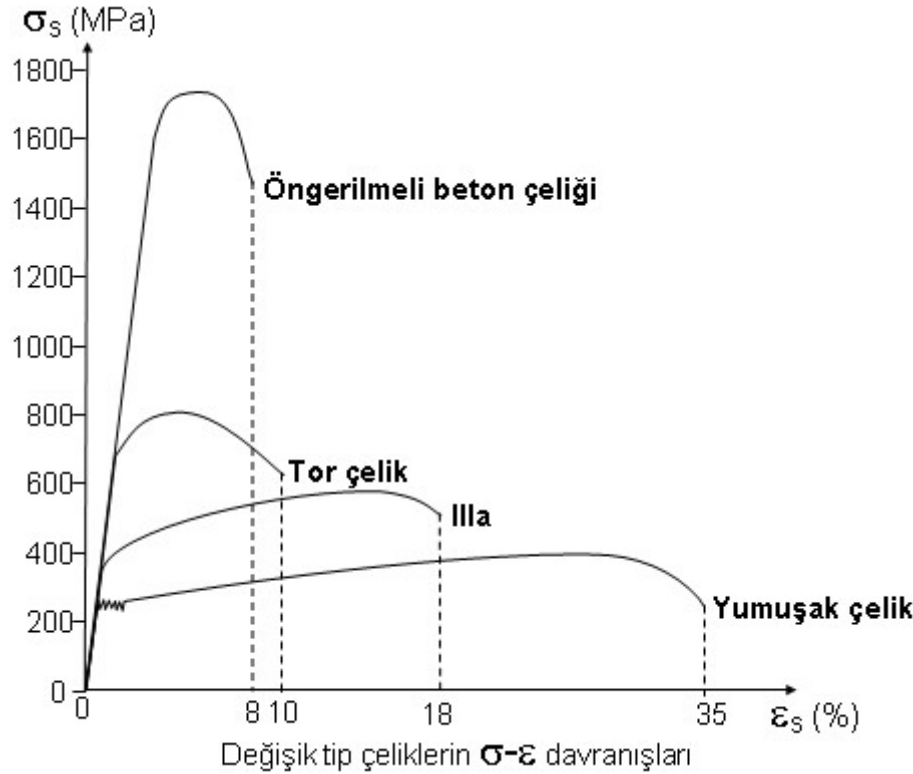
YAPILARDA KULLANILAN ÇELİKLER



Öngerilmeli beton çeliği

- ✓ Öngerilmeli beton yapılarda yüksek dayanımlı çeliklerin kullanılması gerekmektedir.
- ✓ Bu tip özel çelikler % 0.7 karbonlu Martin çeliklerine su verilmek suretiyle elde edilirler.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



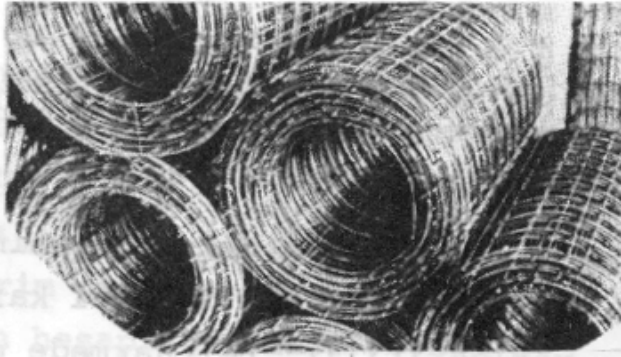
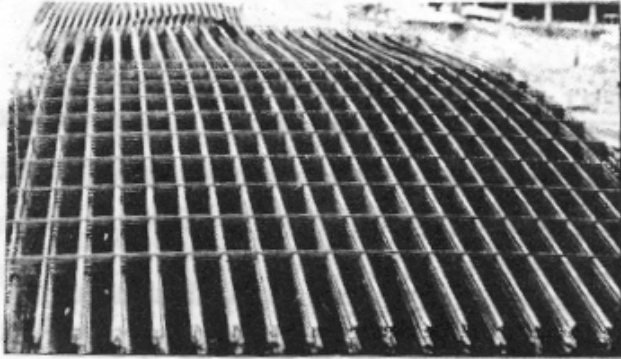
✓ Değişik tiplere ait mekanik özelliklerin farklı olmasının sonucu, bunların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri de önemli ölçüde fark eder.

- ✓ Ancak elastisite modülleri önemli derecede farketmeyip, 2.1×10^5 MPa mertebesinde kalmaktadır.
- ✓ Aynı şekilde yapı çeliklerinde Poisson oranı 0.26-0.30 arasında kalmaktadır.

MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Hasır Donatı



✓ Bazı betonarme elemanlarda, örneğin döşemelerde , donatı yerleştirilmesini kolaylaştırmak amacı ile, birbirine dik ve paralel çubuklardan oluşan hasır donatı kullanılır

- ✓ Hasırı oluşturan çubuklar, düz yüzeyli veya nervürlü olabilir.
- ✓ Hasırda iki dik yöndeki donatının üst üste bindiği noktalardaki bağlantı, kaynak veya özel kelepçelerle sağlanır.

ÇELİKTE KALİTE KONTROLÜ



- **BOYUT KONTROLÜ**
- **AKMA DAYANIMI**
- **ÇEKME DAYANIMI**
- **MİNİMUM KOPMA UZAMASI**
- **ENERJİ YUTABİLME KAPASİTESİ**
- **SERTLİK, İŞLENEBİLİRLİK**
- **DARBEYE DAYANIKLILIK**
- **DİĞER FİZİKSEL ve KİMYASAL DENEYLER**
- **GÜVENİLİR ÜRETİCİ**

ÇELİKTE KALİTE KONTROLÜ



BOYUT DENETİMİ

Çap Kontrolü

(1000 mm uzunluktaki parçalar en az 0,5 g duyarlıkta tartılır)

$$d_s = 12,74 \sqrt{\frac{G}{l}}$$

G : Çubuk kütlesi (g)
l : Çubuk boyu (mm)

Kesit Alan

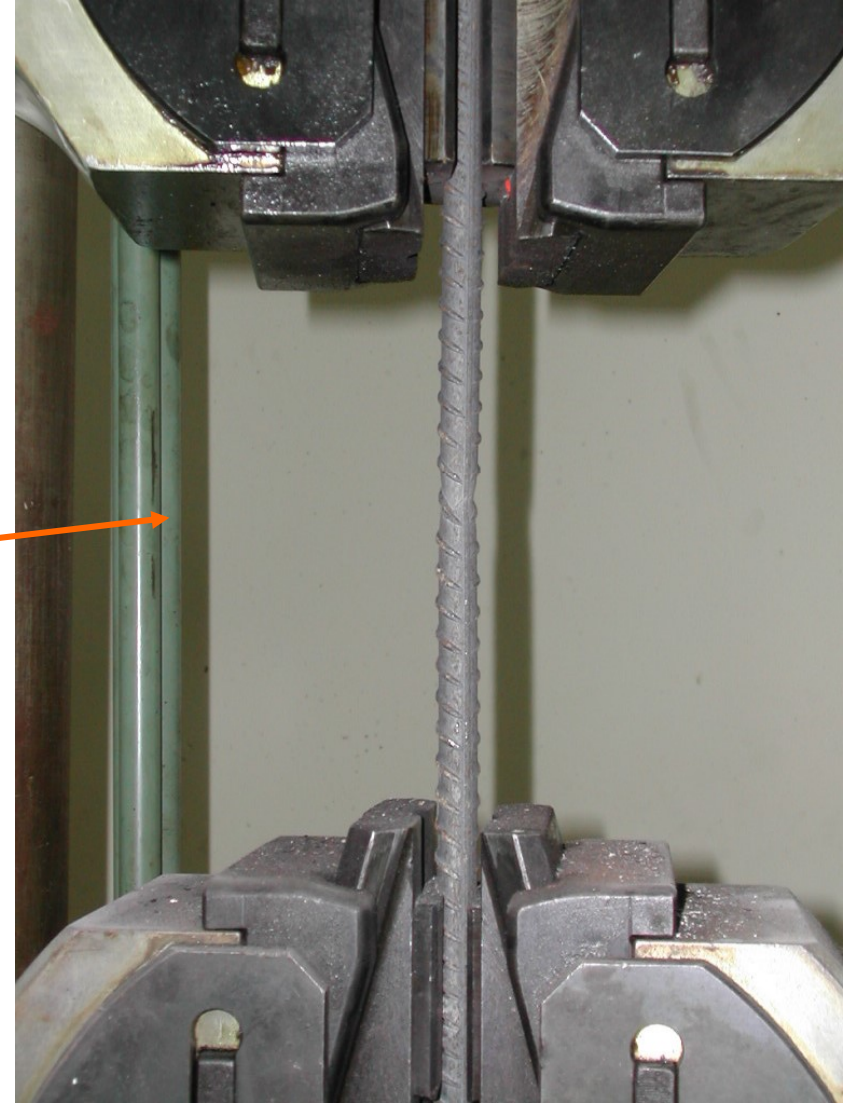
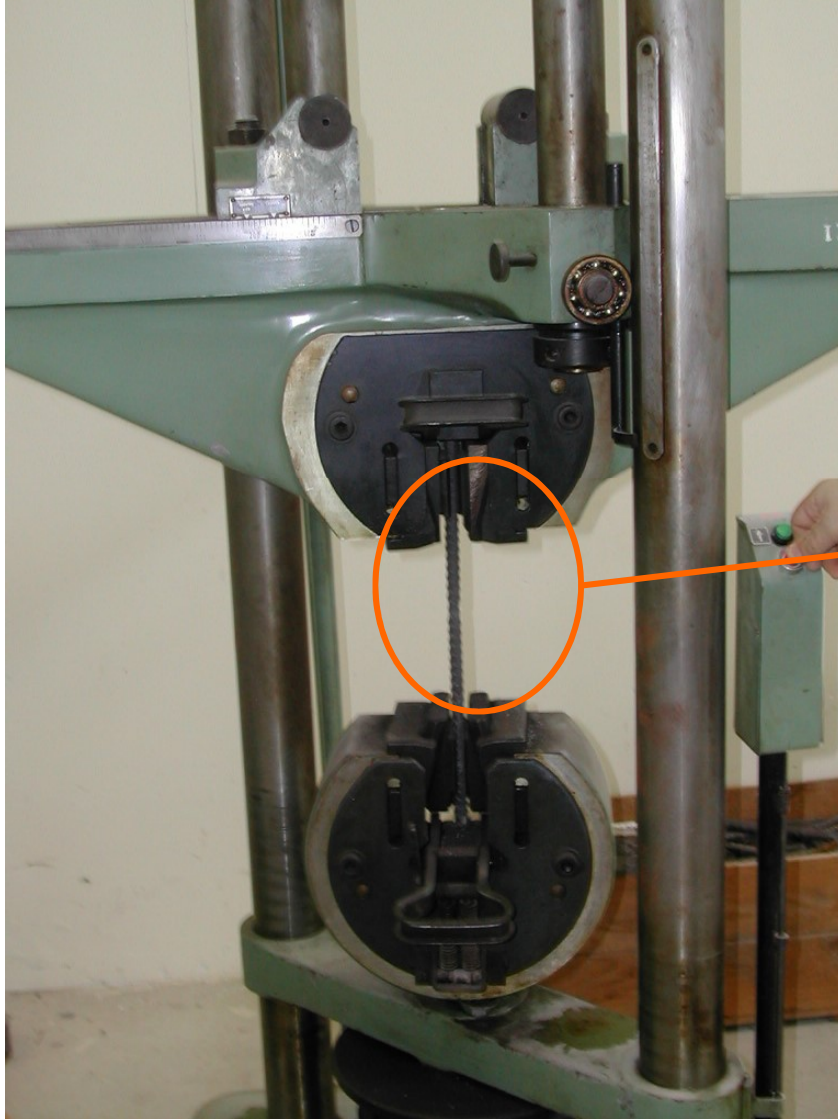
$$A = 12,74 \frac{G}{l}$$

ÇELİKTE KALİTE KONTROLÜ



Anma Çapı (d)	III-IVa a	IIIb	IVb	Anma kütlesi kg/m	Kesit Alan mm ²
4,0			X	0,099	12,6
4,5			X	0,125	15,9
5,0			X	0,154	19,6
5,5			X	0,187	23,8
6,0	X	X	X	0,222	28,3
6,5			X	0,260	33,2
7,0			X	0,302	38,5
7,5			X	0,347	44,2
8,0	X	X	X	0,395	50,3
8,5			X	0,445	56,7
9,0			X	0,499	63,3
9,5			X	0,556	70,9
10,0	X	X	X	0,617	78,5
10,5			X	0,680	86,6
11,0			X	0,746	95,0
11,5			X	0,815	103,0
12,0	X	X	X	0,888	113,0
14,0	X	X	X	1,210	154,0
16,0	X	X	X	1,580	201,0
18,0	X	X		2,000	254,4
20,0	X	X		2,470	314,0
22,0	X	X		2,985	380,0
24,0	X	X		3,550	452,3
25,0	X	X		3,850	491,0
26,0	X	X		4,168	531,0
28,0	X	X		4,830	616,0
30	X	X		5,550	706,5
32	X	X		6,310	804,0
40	X	X		9,860	1256,0
50	X	X		15,410	1963,5

ÇEKME DENEYİ



ÇEKME DENEYİ



Örnek boyu: 600 mm

Kopma uzaması ilk ölçüm boyu: 10 d

$$\text{Uzama \%} = \frac{\text{son boy} - \text{ilk boy}}{\text{ilk boy}} \times 100$$

ÇEKME DENEYİ



TS708

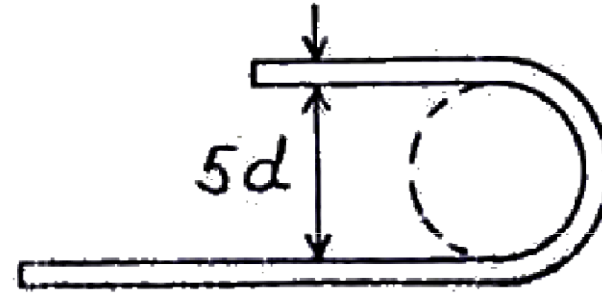
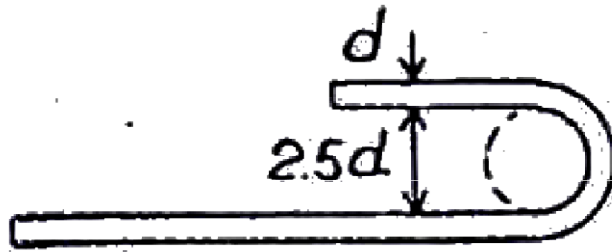
Deneyler, çelik çubuklara haddeleme işlemi sonrasında herhangi bir tornalama işlemi yapılmadan uygulanmalıdır. Yalnızca $d = 32$ mm ve üzerindeki çaplarda, sıcak haddeleme işlemi yapılmış çubuklar için (IIa, IVa) çekme cihazının kapasitesi yetersiz ise numuneler $d = 28$ mm den daha küçük olmamak üzere cihaz kapasitesinin izin verdiği en büyük çapta tornalanarak deneye tabi tutulur.



İŞLENEBİLME ÖZELLİĞİ



PLİYAJ DENEYİ



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Yapılar



✓ Çeliklerin ikinci geniş kullanım alanı çelik yapılardır.

✓ Çelik köprüler, çerçeveler ve çatı makasları gibi yapılar çelik levha ve profil çubuklarından imal edilir.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Yapılar

- ✓ Profil çubuklar kesit şekline göre korniyer (L), (T), putrel (I) veya U profili şeklinde adlandırılırlar .



- ✓ Türk Standartlarına göre (Çelik Yapılar Standardı, TS 648) yapılarda akma noktası 220 MPa olan yumuşak çeliğin kullanılması öngörülür.



MÜHENDİSLİK METAL ve ALAŞIMLARI



Çelik Yapılar

- ✓ Klasik yapıların dışında olan bazı özel mühendislik yapılarında kullanılan çelik malzemelerden bazı farklı özellikler istenebilir.
- ✓ Örnek olarak, asma köprülerin taşıyıcı halatlarını meydana getiren 6 mm çapında örgü şeklindeki çelik tellerin çok yüksek dayanıma sahip olması istenir.



- ✓ İstanbul Atatürk asma köprüsünde kullanılan çelik tellerin çekme dayanımının değeri en az 1600 MPa'dır.

ÖZEL ÇELİKLER

- ✓ Çeliklere nikel, mangan, silisyum, tungsten, krom gibi maddeler eklenerek alaşımin özellikleri değiştirilir. Sayıları gün geçtikçe artan bu tür çeliklerin en önemlileri şunlardır :

ÖZEL ÇELİKLER



1. Nikelli çelikler :

- ✓ % 2 - % 46 nikel içeren çelikler en çok kullanılan özel çeliklerdir.
- ✓ Alaşımda nikelin varlığı **çeliğin dayanımını, sertliğini, düktilitesini ve korozyona dayanıklılığını** olumlu yönde etkiler.
- ✓ Motorlarda, kama çivilerinde, türbin, savaş aletlerinde yüksek dayanımı nedeniyle bu tip çelik kullanılır.
- ✓ % 36 oranında nikel içeren türü piyasada “invar” adı ile satılır ve ölçü aletleri yapımında kullanılır.
- ✓ Yüksek oranda nikel aynı zamanda alaşımın termik genleşme katsayısını düşürdüğünden, bu tür alaşımlar platin yerine teknik işlerde kullanılırlar.

ÖZEL ÇELİKLER



2. Nikel kromlu çelikler :

- ✓ % 1.5 – 2 oranında krom varlığı nikelli alaşımın **sertlik ve çekme dayanımını** artırır.
- ✓ Mermi, zırh, bilya ve bilya yatakları, köprü askı zincirleri ve değişik aletlerin yapımında kullanılır.
- ✓ Daha yüksek oranlarda krom varlığı alaşımın **korozyona dayanıklılığını** artırır. “Stainless steel (Paslanmaz çelik)” denilen bu tür alaşım gün geçtikçe daha fazla kullanılmaktadır.
- ✓ % 18 Cr, % 8 Ni ve % 15 C içeren bir tür çelik, mimari uygulamalarda mobilyacılıkta, kaplama işlerinde her tür korozyon ortamında ve yüksek sıcaklıklarda ($T > 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) bozulmadıklarından sık kullanılır.

ÖZEL ÇELİKLER



3. Molibdenli çelikler:

- ✓ Mo az oranda Ni ve Cr gibi elementlerin yardımıyla tanelerin incelmesine yaradığından **alaşımın kırılganlığını azaltır.**
- ✓ Bu tür çelikler **sıcakta bile sertliklerini ve keskinliklerini korurlar.** Perçin ve kaynak işlerinde kullanılırlar.
- ✓ Aynı özellik krom-vanadyumlu çeliklerde de vardır. Bu tip çeliklere çok keskin çelikler (ekstra çelik) adı verilir.

ÖZEL ÇELİKLER



4. Kromlu çelikler:

- ✓ Krom alaşımın **korozyona dayanıklılığını artırır.**
- ✓ Bu arada **çekme dayanımı ve sertlikte artar, ancak düktilite azalır.**
- ✓ Krom oranı % 12-15 arasındaki kromlu çeliklerin Brinell sayısı 750 mertebesinde bulunur.

ÖZEL ÇELİKLER



Ayrıca;

- ✓ kesme, delme aletlerinde kullanılan sert ve keskin olan tungstenli çelikler;
 - ✓ yay, zemberek yapımında kullanılan silisyumlu çelikler (silisyum metalin elastisite özelliğini artırır) ve
 - ✓ ray yapımında kullanılan aşınmaya dayanıklı manganlı çelikler vardır.
-
- ✓ % 12 - % 15 Mn çarpmalara karşı dayanımı büyük ölçüde arttırdığından, tren parçaları, kırıcı ve ezici makine parçaları yapımında manganlı çelik alaşımları kullanılır.

ÖZEL ÇELİKLER



FONT

- ✓ **% 2 - % 6.67** karbon içeren demir alaşımlarına font veya dökme (pik) demir denir.
- ✓ Bu doğrudan doğruya yüksek fırın ürünü olan ham demirden başka bir şey değildir.
- ✓ Bu tür alaşımlar genelde fazla sert olduklarından yapılarda kullanılmaya uygun değildir.

ÖZEL ÇELİKLER



BEYAZ FONT

- ✓ Kömür (kok) oranı ve dolayısıyla fırının sıcaklığı düşük olup (1300°C) metal çabuk soğursa adi beyaz font elde edilir.
- ✓ Sementit ve perlitten oluşan iç yapısında birleşik halde % 3-3.5 C ve % 0.5-1 Si vardır.
- ✓ Adi fontların sertliği ve basınç dayanımları fazladır. Ancak darbelere karşı dayanıksız ve kırılgandır.
- ✓ İşlenmeğe, döküm, kalıp işlerine uygun değildir. Bu nedenle daha çok arıtılarak demir ve çelik elde edilmesinde kullanılır.

ÖZEL ÇELİKLER



ESMER FONT

- ✓ Kok miktarı fazla olursa buna bağlı olarak fırının altındaki sıcaklık artar (1900°C).
- ✓ Yavaş soğuma sağlanırsa karbonun önemli bir kısmı sementitten grafitte dönüşerek pul pul ince yapraklar şeklinde kütlenin içine yayılır ve esmer font elde edilir.
- ✓ Bu font beyaz fonta kıyasla daha hafif, darbeye çok daha dayanıklı ve yumuşaktır.
- ✓ Yüksek fırından çıkarken kalıplara dökülür ve işlenmeğe elverişlidir

ÖZEL ÇELİKLER



- ✓ Beyaz font 770°C civarında bir sıcaklıkta bir süre ısıtılarak yani bir tür tavlama işlemine sokularak yumuşatılabilir.
- ✓ Bu işlem sonucunda yapıda grafit oluşur ve font esmerleşir.
- ✓ Ancak bu grafit adi esmer fontun yapısındaki pul pul olan grafitten farklı olarak ince tanecikler halindedir.
- ✓ Bu nedenle bu tür font en az kırılgandır ve işlenmeğe en elverişlidir.



Dokuz Eylül Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü



İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I

MÜHENDİSLİK METAL VE ALAŞIMLARI

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA
www.caglaryalcinkaya.com