

Isıl İşlemler

Metal ve alaşımlarının bazı özellikleri, üretildiği halde, kullanım için yeterli olmayabilir

İlave işlemlerle bazı özelliklerin geliştirilmesi mümkündür

Mühendislikte kullanılan metal ve alaşımlarının bir çoğu ancak bir veya daha fazla ısıl işlem uygulandıktan sonra kullanılabilir hale gelir

En genel anlamda **ısıl işlem** “metal ve alaşımlarına sahip olmadıkları özellikleri kazandırmak için yüksekçe sıcaklıklarda yapılan işlem”dir.

Kazandırılmak istenen özellik genellikle alaşımda vardır, fakat yetersizdir

Bazı durumlarda ise alaşıma neredeyse tamamen yeni bir özellik kazandırılır

Bazı hallerde, bir özellik geliştirilirken diğeri gerileyebilir

Isıl işlem genellikle oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda yapılır

Ancak, bazı işlemler oda sıcaklığında (doğal yaşlandırma) veya daha düşük sıcaklıklarda (sıfırlama işlemleri) uygulanabilir

Isıl işlemde sıcaklık kadar önemli diğer bir faktör **zaman**dır. **Ortam** da ısıl işlem ile kazanılan özellikleri etkiler.

Metal ve alaşımlarına şekil vermek için şu işlemler uygulanır:

- Döküm
- Plastik şekil verme
- Talaşlı imalat
- Toz metalurjisi
- Kaynak

Tüm şekillendirme işlemlerinde, işlemten önce ve/veya sonra, **ısıl işleme** gerek vardır

Döküm tekniği

- Kaba tane yapısı
- Mikro ve makro-segregasyon (göbeklenme)
- (Yüzey gerilmeleri)

Homojenleştirme

(Gerilim giderme)

(Tane inceltme)

Plastik şekil verme

- Soğuk deformasyon
- Dislokasyon yoğunluğunda artış (10^6 'dan 10^{10-12} çizgi/cm²'ye)
- Deformasyon sertleşmesi ve
- Gevrekleşme

Yeniden kristalleşme tavlama

Tavlama

(Gerilim giderme)

Talaşlı imalat

Talaşlı imalattan önce

- Normalizasyon
- Tavlama
- Küreselleştirme

Talaşlı imalattan sonra

- Gerilim giderme

Kaynak

- Ön ısıtma
- Tavlama
- Gerilim giderme

Toz metalurjisi

- Gerilim giderme

Metallerin Isıl İşlemi

Çelik, esasen bir Fe-C alaşımıdır, fakat içerisinde başka elementler de bulunur

Her çelikte Fe ve C dışında Mn ve Si vardır

Bunlar, belirli miktarlarda kullanıldıklarında alaşım elementi sayılmazlar. Ancak, Mn %1'i ve Si %0,6'yı aştığı zaman alaşım elementi sayılır.

Çelik içerisinde, her zaman, istenmemekle beraber, S ve P da bulunur. Bunlar çok ender durumlarda kasten (istenerek) katılır

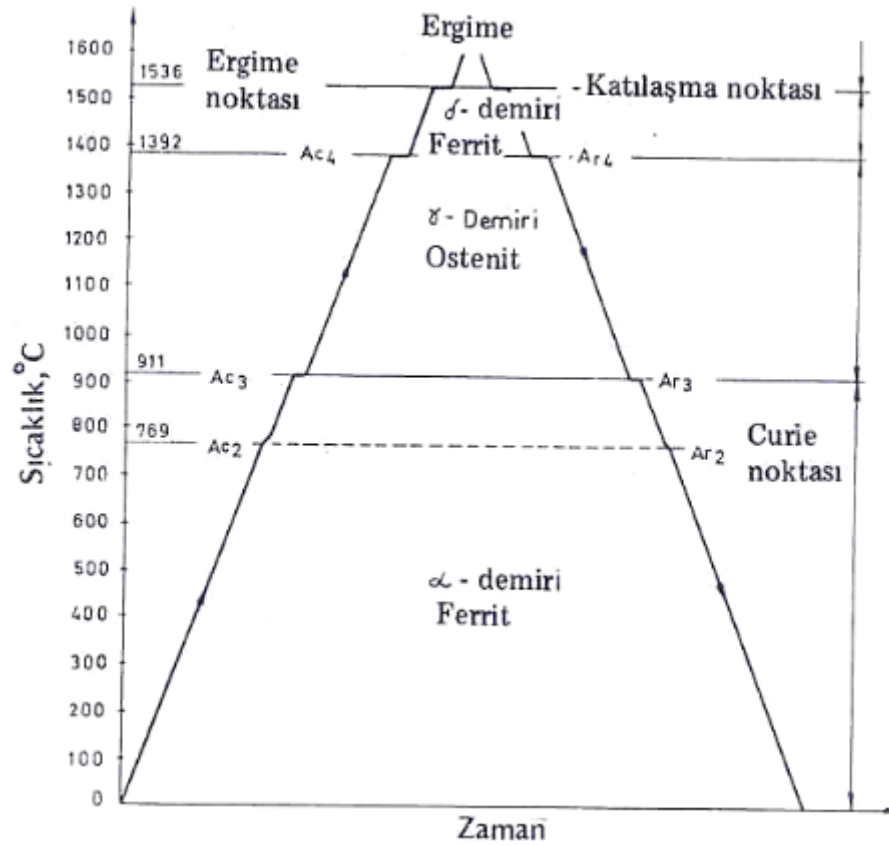
Diğer alaşım elementleri çeliğin özelliklerini geliştirmek için bilinçli olarak katılırlar

DÖNÜŞÜMLER ve DEMİRİN KRİSTAL YAPISI

Bir saf demir parçası oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar ısıtıldığında, çok sayıda kristalografik dönüşümlere uğrar ve iki farklı allotropik dönüşüm gösterir. Demirin allotropik değişim olayına karışan ısıya dönüşüm gizli ısı adı verilir. Eğer bir demir numune kararlı bir hızla ısıtılırsa, sıcaklıktaki artış dönüşümün başlamasıyla kesilir ve sıcaklık dönüşüm tamamlanmasına kadar sabit olarak kalır. Ergimiş demirin oda sıcaklığına soğutulması sırasında, dönüşümler ısıtmadakine yakın bir sıcaklıkta ters olarak meydana gelir. Bu dönüşümler sırasında ısı serbest hale geçer ve soğuma hızının azalmasına neden olur. Soğuma hızındaki bu değişiklik dönüşüm devam ettiği sürece devam eder.

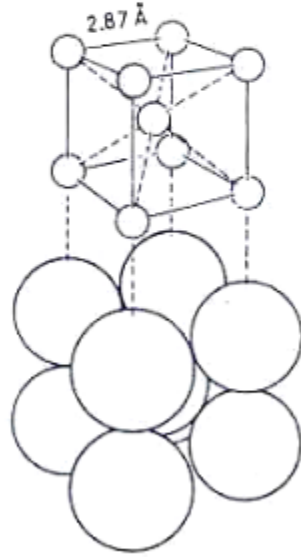
Ferrit ve Ostenit adı verilen demire ait iki faz ile bunların ısıtma ve soğutma sırasındaki dönüşüm sıcaklıkları ve kararlılık bölgeleri, şekil 2.1'de gösterilmektedir. Bu şekilde A harfi Fransızca arreter (gecikme), C harfi chauffer (ısıtma), R harfi ise refroi (soğutma) anlamlarını ifade eder. Ferrit 1392°C ile ergime sıcaklıkları arasında olduğu gibi 911°C'nin altında da kararlıdır. Ferritin kararlı yapıda olduğu bu iki halinden ilkinde δ demiri, ikincisine α demiri adı verilir. Ostenit adı verilen γ demiri 911°C ile 1392°C arasında kararlıdır. Demir, oda sıcaklığında ferro manyetik olup bu özelliği sıcaklık arttıkça azalır ve Curie sıcaklığı adı verilen 769°C'de tamamen yok olur.

Atomların metaller içerisinde oluşturdukları düzenli 3 boyutlu paterne kristal yapı adı verilir. Bu kristal yapı demir için küplerin yan yana veya üst üste dizilmeleri şeklindedir. Her bir kübün köşesinde yer alan 8 atom, 8 adet birim hücre tarafından paylaşılmaktadır. Köşe atomlarının yanı sıra, birim hücrede demirin allotropik durumuna bağlı olarak ilave atomlarda bulunabilir.

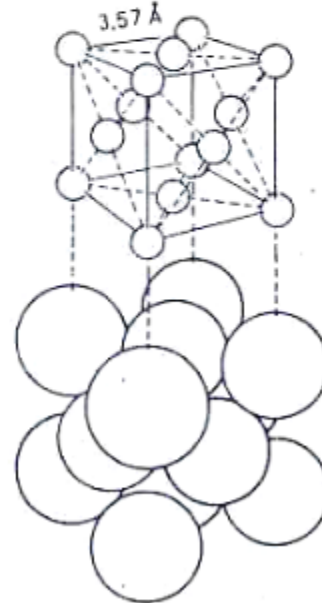


Saf demir için ısıtma ve soğutma eğrileri.

Hacim merkezli kübik yapıda (HMK) olan ferritin birim hücrelerinin köşelerinde birer atom ve köşegenlerinin kesim noktasında (yani merkezde) bir atom mevcuttur. Birim hücrenin kenar uzunluğu veya latis parametresi oda sıcaklığında (20°C) 2.87 Å'dır (Angström = 10^{-8} cm). Ostenit yüzey merkezli kübik yapıya sahip olup latis parametresi 3.57 Å'dır. α demiri ile γ demirinin birim hücreleri şekil 2.2'de gösterilmiştir. γ demirinin birim hücrelerinin latis parametresi, α demirine oranla daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Örneğin 20°C'daki yoğunluklar, γ demiri için 8.14 gr/cm³, α demiri için 7.87 gr/cm³ olarak gerçekleşir.



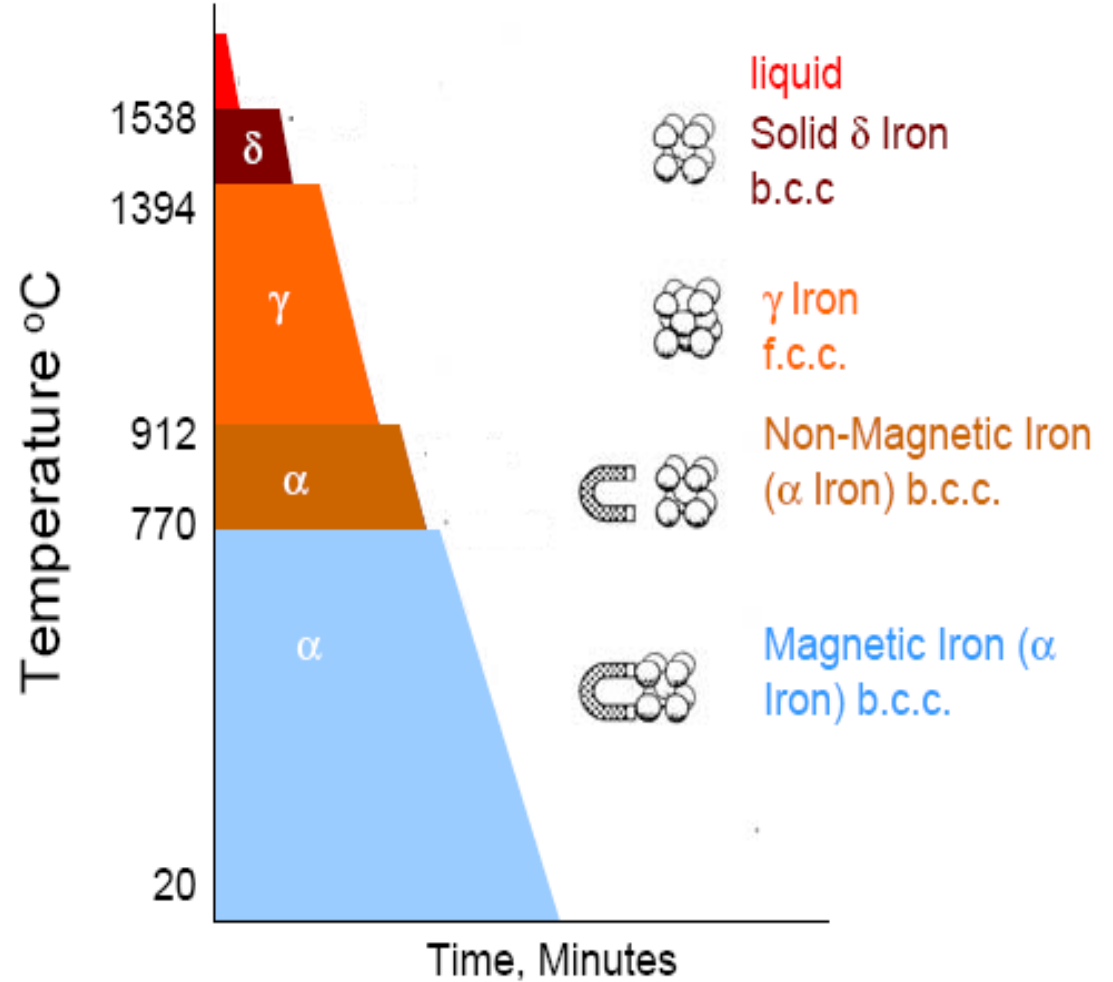
Ferrit



Ostenit

Üç katı çözelti

- **Ferrit (α)**
HMK yapılı,
ferromanyetik
723°C'de %0,022 C
- **Ostenit**
YMK yapılı,
manyetik değil
1135oC'de %2C
- **Delta ferrit**
HMK yapılı,
ferromanyetik
1498oC'de %0,1C



- Üç reaksiyon

1498°C'de %0,15 C

1135°C'de %4,3 C

723°C'de %0,8 C

- Peritectic reaction:



- Eutectic reaction:



- Eutectoid reaction:



- Bir bileşik

%6,67 C bileşiminde Fe₃C (sementit)

Ortorombik yapılı, en sert faz

- Fazlar

Ferrit

Ostenit

Delta ferrit

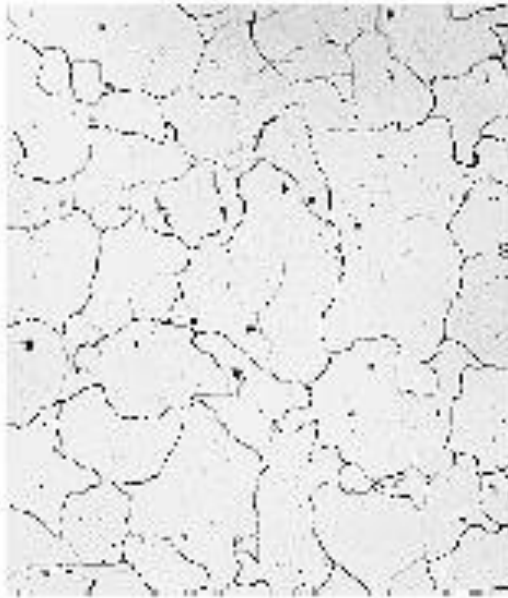
Sementit

Sıvı

- Karışımlar

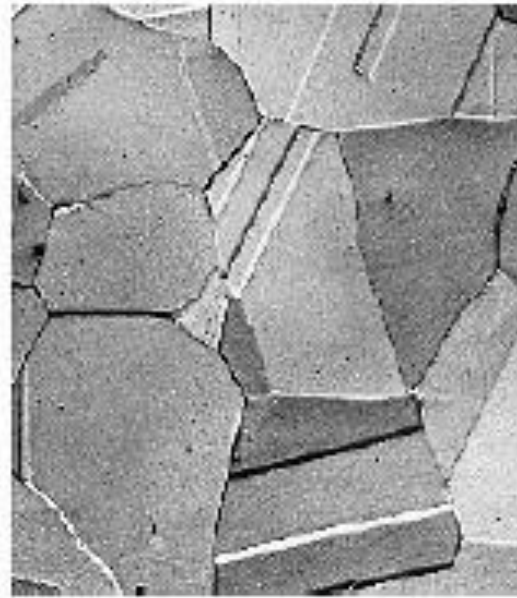
Perlit (ferrit + sementit) --> Ötektoid reaksiyon ürünü

Ledeburit (ostenit + sementit) --> Ötektik reaksiyon ürünü



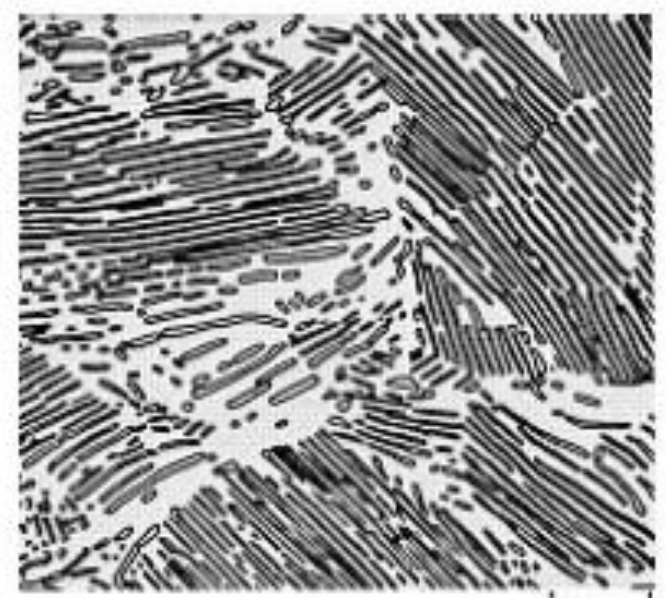
Ferrite(**a**)

100-150 HV



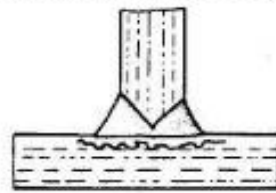
Austenite (**γ**)

100-150 HV



Pearlite (**P**)

300-350 HV



Şekil 4.23-Bir kaynak bağlantısında tabakalı kırılmanın oluşumu ve ilerlemesi

şulları altında gerçekleşir. Ortaya çıkan içyapı, dönüşüm sıcaklığı ve bu sıcaklıktaki yayınma hızı ile yakından ilişkilidir. Böylece alotropluk ve kuvvetli aşırı soğuma eğilimi, özellikleri değiştirebilecek ısı yöntemlerinin demirdışı metal malzemelere göre daha çeşitli ve etkin olmasını sağlar.

İçyapı ve özellikler bakımından belirli bir durumu elde etmek üzere, malzemenin solidüs sıcaklığının altında uygun sıra ve süre ile ısıtılıp soğutulmasına ısı işlemi denir. İşlem sırasında ortamın etkisiyle, örneğin karbonlama ve nitrürlemede olduğu gibi, çeliğin kimyasal bileşimi de değişebilir*.

Çeliklerin ısı işlemleri başlıca şu amaçlarla uygulanır:

- Talaşlı işlenebilme özelliği iyileştirilir (yumuşatma, tane irileştirme),
- Dayanım artırılıp azaltılabilir (sertleştirme, normalleştirme, yumuşatma),
- Soğuk şekil vermenin etkisi yok edilebilir (yeniden kristalleştirme, normalleştirme),
- Mikro segregasyon ortadan kaldırılabılır (homojenleştirme),
- Tane büyüklüğü değiştirilebilir (normalleştirme, yeniden kristalleştirme, tane irileştirme),
- İç gerilmeler azaltılabilir (gerilme giderme),
- Belirli içyapılar elde edilebilir (normalleştirme, yumuşatma, sertleştirme).

Söz konusu ısı işlemler genel olarak iki ana grupta toplanabilir:

- Tavlama
- Sertleştirme

Tavlama ile içyapının kararlı denge durumuna yaklaşması sağlanır (soğutma yavaş yapılır). Sertleştirmede ise ostenit, çeliğin bileşimine bağlı bir minimum hızın altına inilmeyecek şekilde soğutulmuş yarı kararlı bir içyapı (martenzit) oluşturulur*.

Tav işlemleri de kendi aralarında tekrar iki gruba ayrılır:

4.5.Çeliklerin Isıl İşlemleri

4.5.1.Genel Amaçlar ve Sınıflandırma

Demir esaslı malzemeler sıcaklığa bağlı olarak, çok farklı özellikte değişik kristal yapıya sahiptirler (alotropluk). Ayrıca ostenit sıcaklığından hızlı soğutulmaları halinde aşırı soğuma görülür; yani ostenitin dönüşümü düşük sıcaklıklarda, karbon ve diğer alaşım elementleri için güçleşen yayınma ko-

- **Çeliklerin Isıl İşlemi**

- Alaşımın hazırlanmasından sonra, çeliğin özellikleri mekanik ve/veya ısıl işlemlerle geliştirilebilir. Isıl işlem, çeliğin, genellikle, oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklık aralığında (100-1300°C) faz dönüşümlerini/yeni faz oluşumlarını içeren maksatlı ısıtma/soğutma periyotlarıdır. Isıl işlem süreleri, iş parçasının boyutlarına bağlı olarak saniye ölçeğinden günler/haftalar ölçeğine değişir. Bu ısıl işlemler sonucunda elde edilen yapılar demir-karbon denge diyagramında bulunan denge fazları dışında denge diyagramında olmayan martenzit, beynit gibi dengedışı fazları da bulundurulur. Dolayısı ile, arzu edilen özelliklerin elde edilebilmesi için çok sayıda yol olabilir. Her durumda, en uygun yol (parça güvenliği, çalışan güvenliği, maliyet, kullanım ömrü açısından) aranmalı ve takip edilmelidir.

Isıl işlemler

- Çeliklere sıklıkla tatbik edilen bazı ısıl işlemler şunlardır:
- **Homojenleştirme:** Hemen hemen bütün döküm parçalara uygulanır. Döküm ürünlerinin yapısını rafine etmeyi ve de özellikle, segregasyonun şiddetini azaltmayı (alaşım bileşimini homojen hale getirmeyi) hedefler.
- **Normalizasyon:** İş parçasının yüksek sıcaklıktan (ostenit bölgesi) oda sıcaklığına havada soğuması işlemi olup, yapıyı normalize etmeyi hedefler. Normalizasyon, yüksek hız çelikleri için sertleştirme işlemi yerine geçer.

Isıl işlemler

- **Tavlama:** Isıl işlem teknolojisinde iki farklı şekilde kullanılır. Birincisi, mekanik olarak soğuk şekillendirilmiş parçaların tokluğun artırmayı amaçlar (proses tavlama). İkinci durumda, iş parçasının ostenit sıcaklığından oda sıcaklığına fırın içerisinde soğutulması işlemidir (tam tavlama); hedef, talaş kaldırmak veya döverek şekillendirmek için en yumuşak yapıyı elde etmektir.
- **Gerilme giderme:** Özellikle talaş kaldırma ve kaynak işlemi sırasında oluşabilecek fazla gerilmeleri azaltmak için uygulanan bir işlemdir.
- **Su verme (sertleştirme):** Martenzitik yapı elde etmek için çeliğin ostenit sıcaklığından oda sıcaklığına çok hızlı bir şekilde soğutulması işlemidir. Soğutma su, yağ, polimer katkılı sıvı, tuz banyoları, hava gibi çeşitli ortamlarda yapılabilir. Sonuçta sert ve gevrek martensit yapısı oluşur

Isıl işlemler

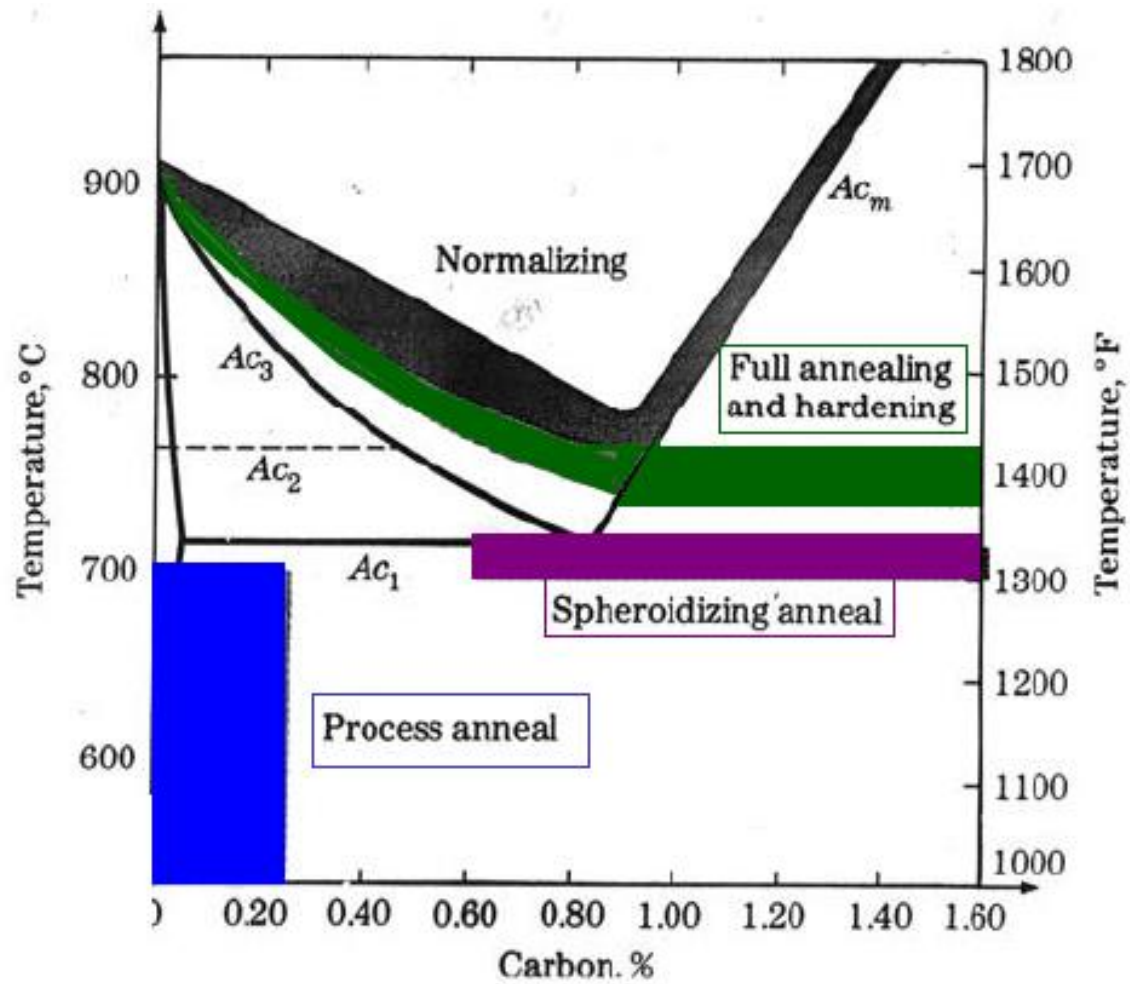
- **Temperleme (menevişleme):** Su verme ile oluşan martenzitik yapının gevrekliğini azaltmak ve iş parçasının sertliğini ayarlamak için dönüşüm sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta uzun olmayan bir süre tutulması işlemidir.
- **Karbürleme:** Düşük karbonlu az alaşımlı sertleştirilebilmesi için yüzeyinin karbonca zenginleştirilmesi işlemi olup ostenit bölgesinde yapılır.
- **Nitrürleme:** Çelik yüzeyinin azotca zenginleştirilmek suretiyle sertliğinin artırılması işlemidir ve 500-580oC arasındaki sıcaklıklarda uygulanır.
- **Alevle veya indüksiyonla sertleştirme:** Sertleşebilen bir çeliğin yüzeyinde belirli bir kalınlıktaki bölgenin alevle veya indüksiyonla ostenit sıcaklığına ısıtılması ve sertleştirilmesi işlemidir

Isıl işlemler

- **Küreselleştirme:** Çelik yapısını yumuşatmak, talaş kaldırma kabiliyetini artırmak için çeliğin ostenit (A1) sıcaklığının hemen altındaki sıcaklıklarda uzun süre tutulması (ve bu sırada sementitin küreselleşmesi) işlemidir.
- **Patentleme:** Yüksek karbonlu yüksek mukavemetli çelik tellere uygulanan bu işlemin amacı çekilebilirliği yüksek ince perlitik yapı elde etmektir. 900oC'deki fırından gelen çelik teller erimiş kurşun banyosu içerisinden geçirilip izotermal dönüşüm sağlanır.

Isıl işlemler

- Bazı ısıl işlemler ise yüksek sıcaklıkta değil, tam tersine düşük sıcaklıkta gerçekleşir. Bu tür işlemler **sıfıraltı (sub-zero) işlemler** adını alırlar ve dönüşme sonucu oluşan martenzitin miktarını artırmayı hedeflerler. Sıfıraltı işlemler katı karbon dioksit (-80°C), sıvı azot (-196°C) veya metilalkol (-97°C) veya pentan (-129°C) sıcaklığında yapılabilir.
- Bir çelik için hangi ısıl işlemin uygun olduğu (işlem sıcaklığı, süresi, soğutma ortamı, temperleme sıcaklığı, vb) çeliğin bileşimi ve kullanım amacına bağlı olarak değişir.



Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler

Genel anlamda ısıl işlem, metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır.

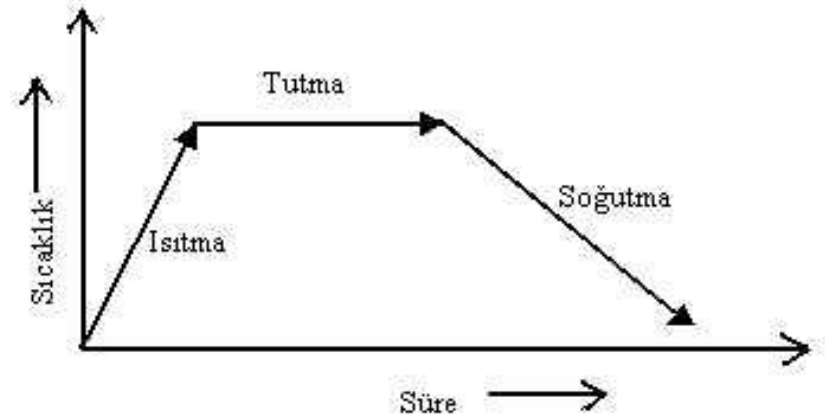
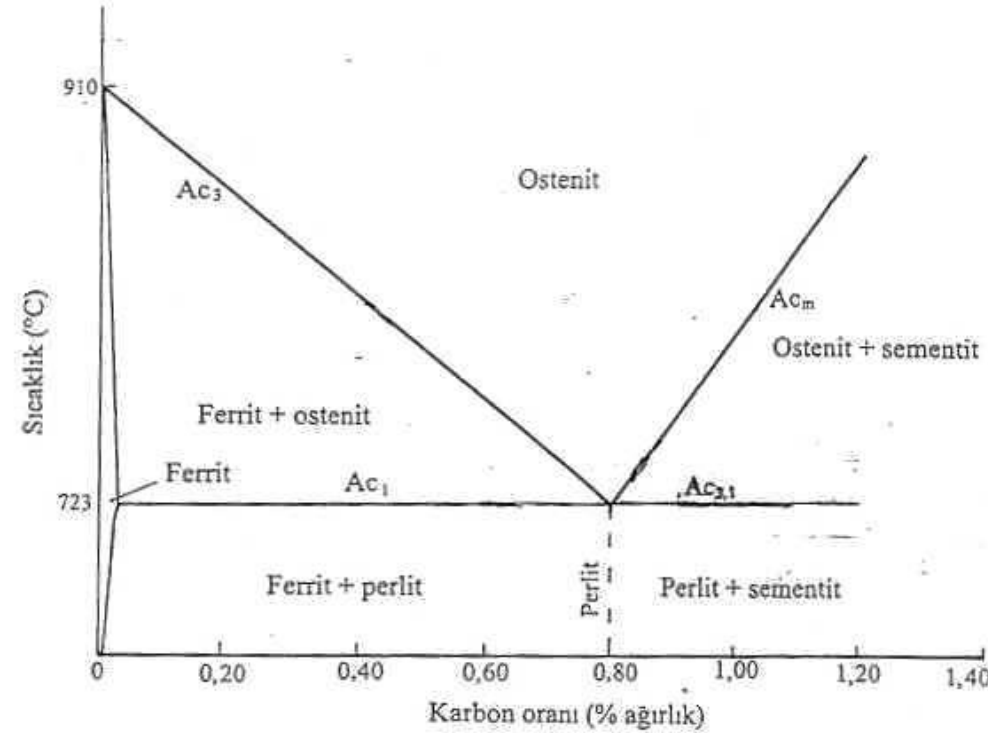
Isıl işlemin Türk Standartlarındaki (TS 1112 EN 10052:2002) tanımı ise; katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri olarak verilmektedir.

Çeliklere uygulanan bütün temel ısıl işlemler, iç yapının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Başka bir deyişle; bir çeliğin fiziksel ve mekanik özellikleri içerdiği dönüşüm ürünlerinin cinsine, miktarına ve metalografik yapısına bağlıdır.

Çeliğin ısıtılma işlemine ostenitleştirme (ostenizasyon) ile başlanır. Ostenitleştirme, çeliğin alt kritik sıcaklık çizgisinin (A_{c1}) üzerindeki bir sıcaklığa kadar yavaşça ısıtılıp, yapısının tamamen ostenite dönüşmesine kadar tavlama anlamına gelir.

1-Ötektoid altı çelikler ($\%C < 0,8$), $A_{c3}+40-50\text{ }^{\circ}\text{C}$

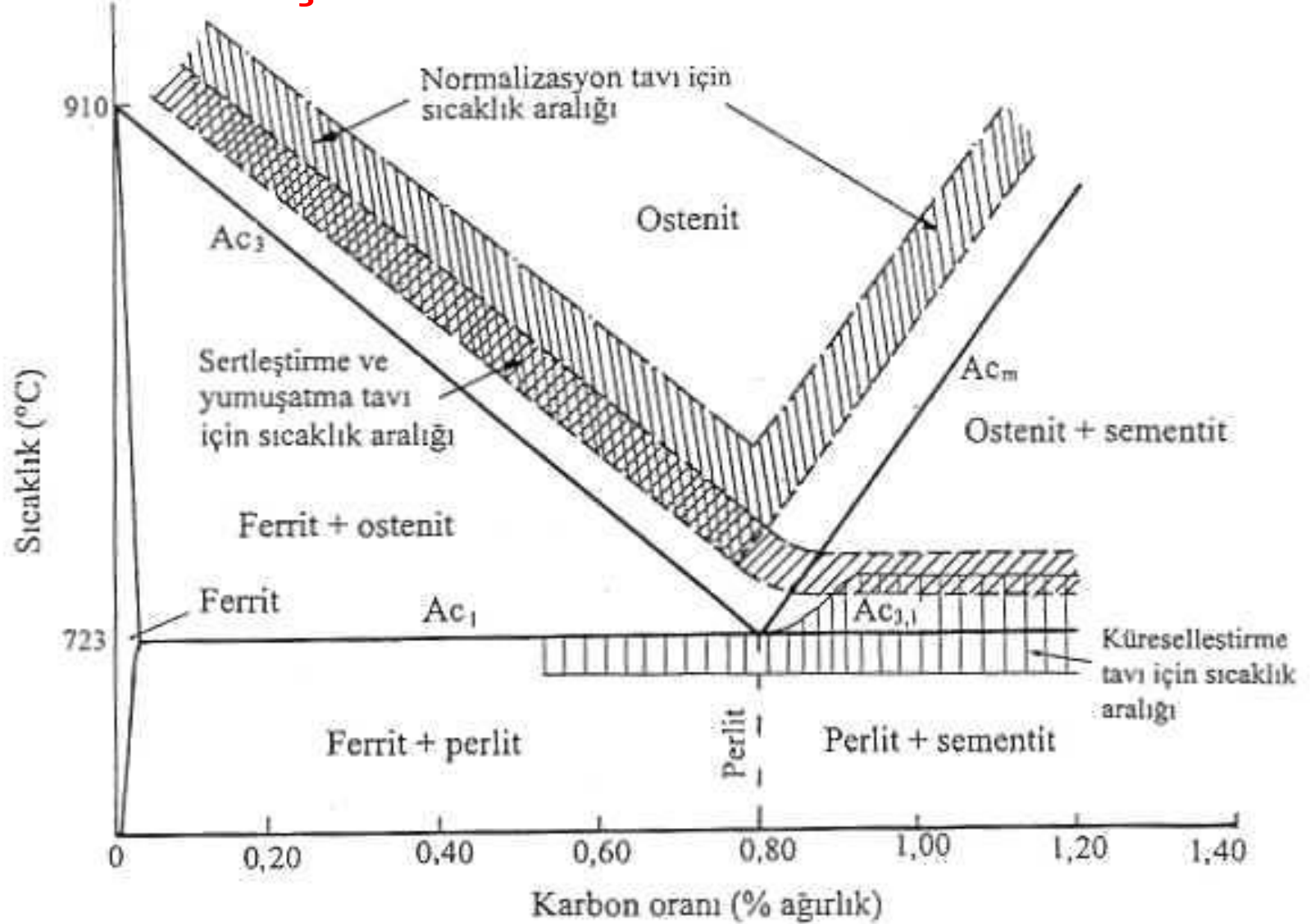
2-Ötektoid üstü çelikler ($\%C > 0,8$), $A_{cm}-A_{c1}$



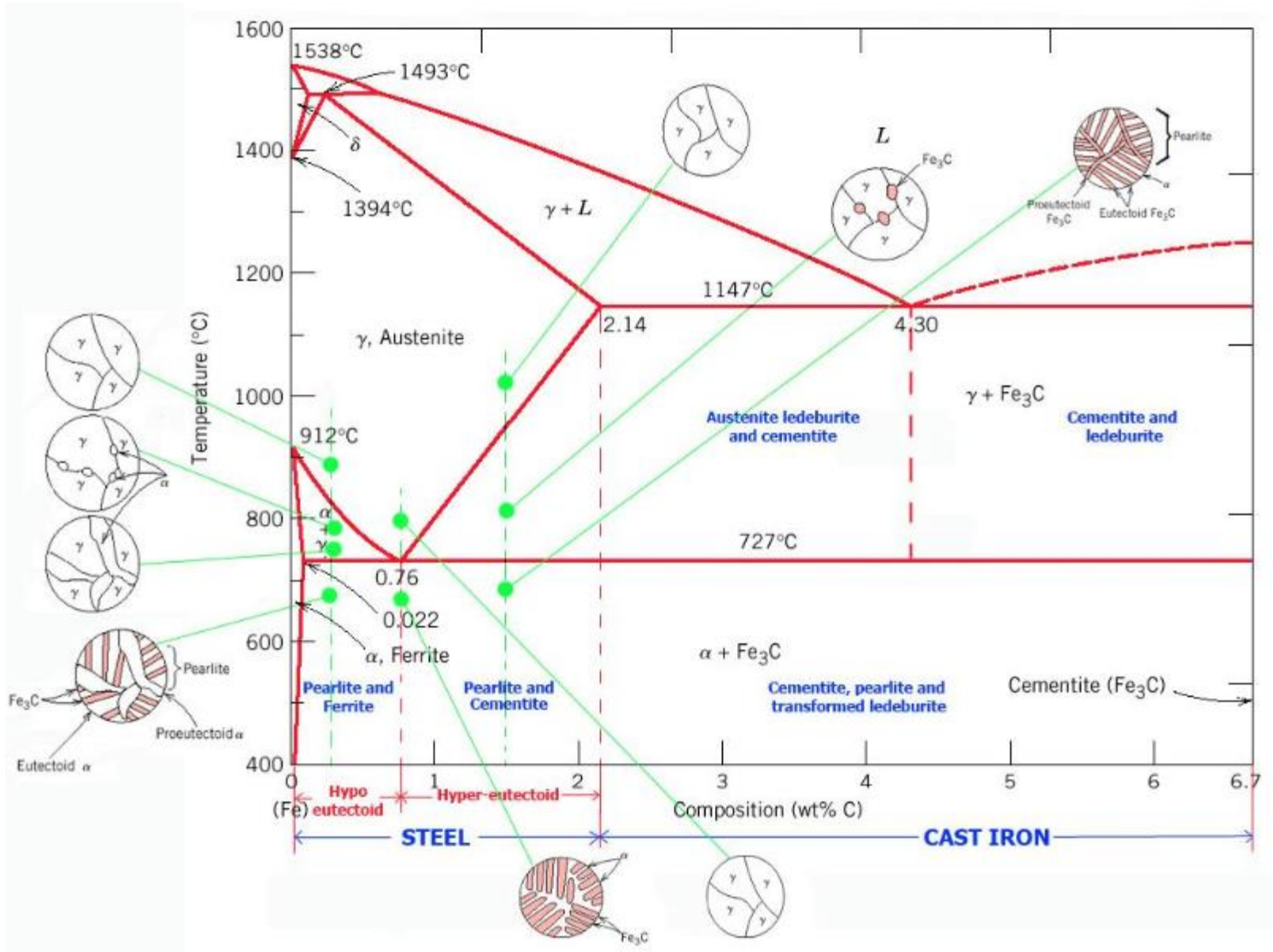
Tavlama işleminin şematik gösterimi

Demir – Karbon denge diyagramı

Temel Isıl İşlemler



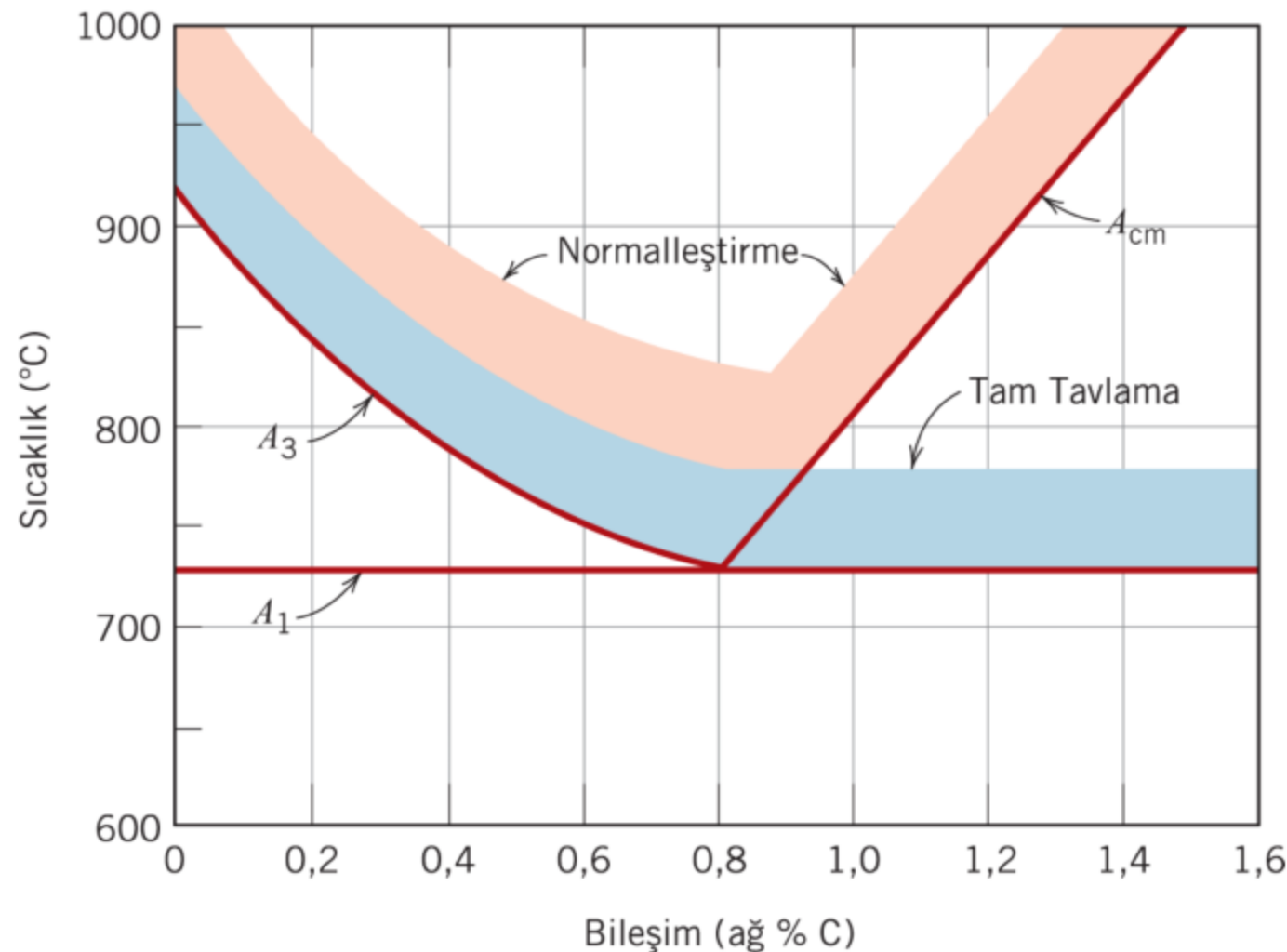
Alaşım-sız çeliklere uygulanan yumuşatma, normalizasyon, küreselleştirme ve sertleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları



- **Tavlama** terimi metallere uygulanan bir tür ısıtma işlemi ifade eder; metal veya alaşımın yüksek sıcaklıklarda uzun süreyle tutulması, daha sonra oda sıcaklıklarına yavaş soğutulması işlemlerini kapsar.
- Normal olarak tavlama işleminden (1) artık gerilmelerin giderilmesinde, (2) sünekliği ve tokluğu artırıp dayanımı düşürmede ve (3) özel iç yapıların oluşturulmasında yararlanır.

Demir Alaşımlarına Uygulanan Tavlama İşlemleri

Basit karbonlu çelikler için demir-sementit faz diyagramının, ısıl işlem sıcaklık aralıklarını veren ötektoid nokta civarındaki bölgesi. [Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1990, p.108.]

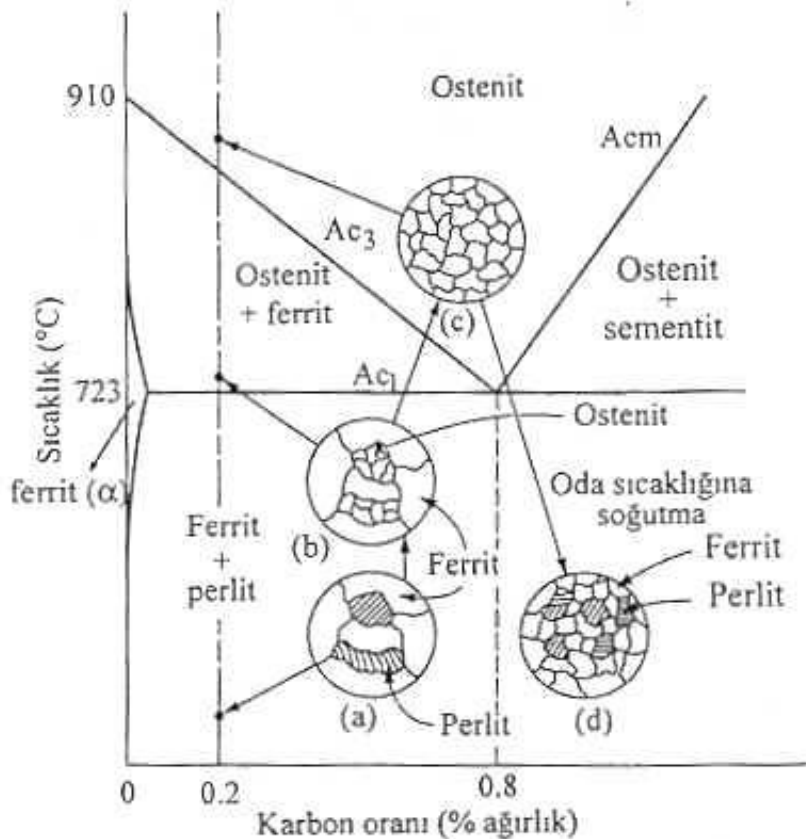


Ötektoid sıcaklıktan geçen yatay çizgi A_1 ile belirtilip **alt kritik sıcaklık** olarak tanımlanır. Bu sıcaklığın altında ve denge şartlarında tüm ostenit fazı ferrit ve sementit fazlarına dönüşür. A_3 ile ve A_{cm} ile belirtilen faz sınır çizgileri sırasıyla ötektoid altı çelikler ve ötektoid üstü çelikler için **üst kritik sıcaklık** çizgileridir. Bu çizgilerin üzerindeki sıcaklıklarda ve bileşimlerde, sadece ostenit fazı yer alır.

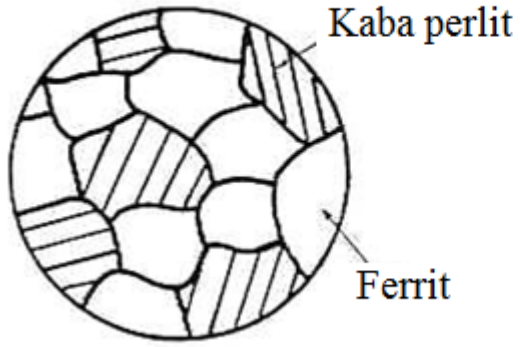
3. Hafta

Yumuşatma Tavı (Tam Tavlama)

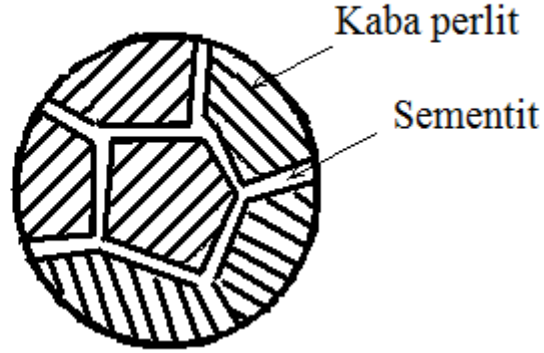
Yumuşatma tavı, sertliği azaltmak, talaş kaldırmayı kolaylaştırmak ve döküm ve dövme parçalarındaki iç gerilmeleri gidermek amacıyla ötektoid altı çelikleri Ac_3 , ötektoid üstü çelikleri de Ac_1 çizgilerinin üzerindeki belirli sıcaklıklara kadar ısıtıp, iç yapılarını ostenite dönüştürdükten sonra fırın içerisinde tutarak çok yavaş soğutulması işlemidir. Tam yumuşatma tavlaması olarak bilinen bu işlem tane boyutunu küçültmek ve bazı çeliklerin elektrik ve manyetik özelliklerini iyileştirmek amacıyla da yapılır.



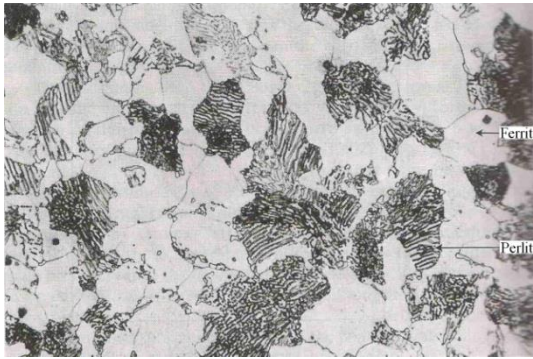
%0,2 C içeren çeliğin iç yapısında tavlama işlemi sırasında meydana gelen değişimlerin şematik gösterimi



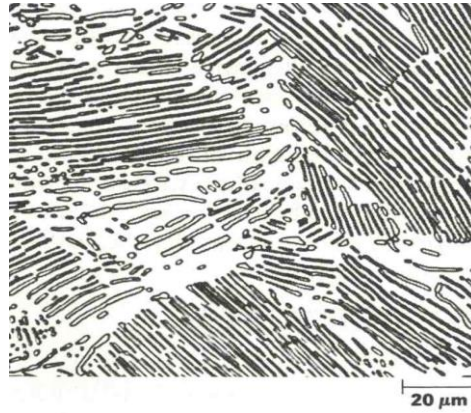
Yumuşatma tavına tabi tutulan ötektoid altı çeliğin iç yapısı



Yumuşatma tavına tabi tutulan ötektoid üstü çeliğin iç yapısı



Yumuşatma tavına tabi tutulan ötektoid altı çeliğin iç yapısı



Yumuşatma tavına tabi tutulan ötektoid bileşime sahip çeliğin iç yapısı



Yumuşatma tavına tabi tutulan ötektoid üstü çeliğin iç yapısı

Birincil kristalleşme sonucunda oluşan kimyasal bileşim farklılıklarını (mikrosegregasyonu) gidermek için yaklaşık 1100 °- 1300 ° arasında 6-12 h veya 50 h süre ile uygulanır.

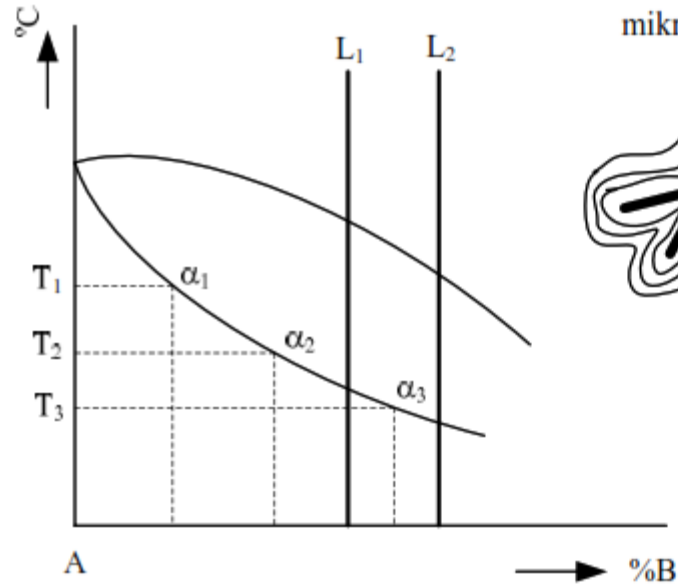
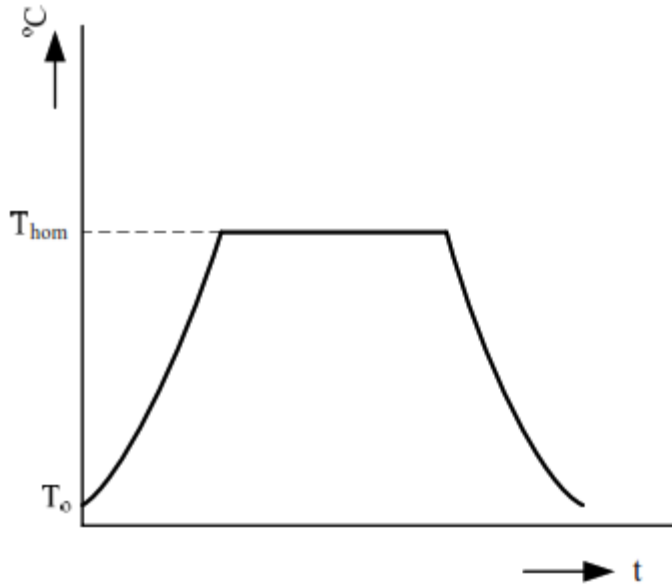
Böylelikle ikincil kristalleşmede (örneğin sıcak şekillendirmede) ortaya çıkacak bantlı içyapının oluşması önlenir.

Genellikle haddeleme öncesinde tav çukurlarında ingotlara uygulanan ısı işlemidir. Malzeme içerisinde bulunan gevrekleştirici katışıklardan bazıları çözünebilir ve tane sınırlarından tane içine yayılır. Oksitler, karbürler, nitrürler vb . gibi katışıklardan ise çözünemez ve küresel bir şekil alırlar. Isıl işlem sonucunda , yassı mamullerin yarı mamulü olan ingotların şekillendirilmesi iyileştirilmiş olur .

Sıcaklığın yüksek ve işlem süresinin uzun olması nedeniyle, pahalı bir işlemdir.

İşlem sonunda genellikle tane büyümesi meydana geldiğinden gerektiğinde uygulanan bir yöntemdir.

Mikrosegregasyon



İki bileşenli alaşımın denge diyagramı ve mikrosegregasyon

Tam Tavlama

- **Tam tavlama** ısıtma işlemi, daha çok önemli miktarda plastik şekil değişimine veya talaşlı imalat işlemine tabi tutulacak olan düşük veya orta karbonlu çeliklere, söz konusu işlemler öncesinde uygulanan bir ısıtma işlemidir.

Normalleştirme Tavı

- Haddemeleme gibi plastik şekil değişimine uğratılmış çeliklerin mikroyapıları perlit ve çoğunlukla bir ötektoid öncesi faz (karbon miktarına göre ferrit veya sementit) içerir. Bu faz veya fazlar düzensiz, nispeten büyük ve de farklı boyutlara sahip taneler halinde iç yapıda bulunur. **Normalleştirme** (veya normalizasyon) adı verilen bu tavlama ısı işleminden, tanelerin inceltilmesi, daha homojen bir iç yapı ve dağılımın sağlanması amacıyla yararlanır.

Normalleştirme işlemi [Şekil 11.10](#)'da gösterilmiş olan çeliklerin üst kritik sıcaklık değerlerinin, yani ötektoid altı çelikler için A_3 sıcaklığının ve ötektoid üstü çelikler için A_{cm} sıcaklığının en az 55°C üzerindeki sıcaklıklara kadar ısıtılmasıyla gerçekleştirilir. Bu sıcaklıkta yeteri kadar tutulan çeliğin iç yapısı tamamen ostenit fazına dönüşür. Bu işlem aynı zamanda **ostenitleme** olarak da isimlendirilir.

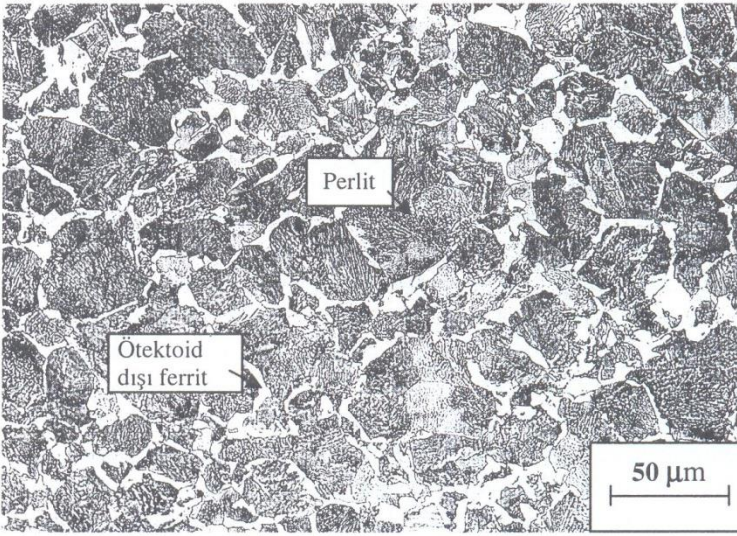
Normalizasyon (Normalleştirme)(Östenitleme) Tavı

Normalizasyon tavı genelde tane küçültmek, homojen bir iç yapı elde etmek ve çoğunlukla mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri Ac_3 ve ötektoid üstü çelikleri Ac_m dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık olarak 40-50°C üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtıp, tavlandıktan sonra fırın dışında sakin havada soğutma işlemidir .

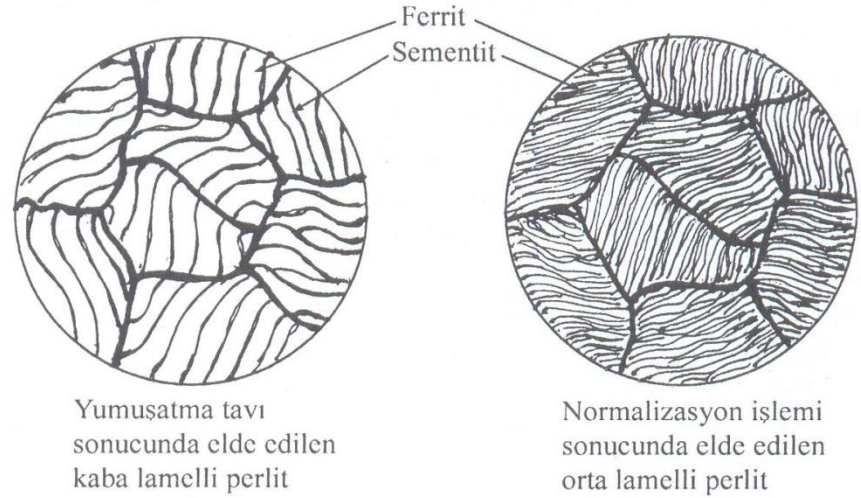
Normalizasyon tavının belli başlı amaçları;

- a) tane küçültmek,
- b) homojen bir iç yapı elde etmek,
- c) ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak,
- d) çeliklerin işleme özelliklerini iyileştirmek,
- e) mekanik özellikleri iyileştirmek ve
- f) yumuşatma tavına tabi tutulmuş çeliklerin sertlik ve mukavemetlerini artırmak

şeklinde sıralanabilir. Bu nedenlerle normalizasyon tavı, çeliklere uygulanan son ısıl işlem olabilir.



%0,5 C içeren çeliğin normalize edilmiş durumdaki içyapısı.



Yumuşatma tavlama ve normalizasyon işlemi sonucunda ötektoid bileşime sahip çelikte elde edilen perlitik yapılar arasındaki farkların şematik gösterimi

Ferrit çok yumuşak, sementit ise çok sert bir fazdır. Normalize edilen çeliğin yapısında bulunan sementit katmanlarının birbirine yakın veya sık olarak dizilmeleri nedeniyle çeliğin sertliği artar. Bu nedenle, normalize edilen çeliklerin sertlik ve mukavemeti, yumuşatma tavına tabi tutulan çeliklerin söz konusu değerlerinden önemli ölçüde yüksek olur. Tablo 1’de bazı çeliklerin yumuşatma tavına tabi tutulmuş ve normalize edilmiş durumlardaki mekanik özellikleri verilmektedir.

Normalleştirme tavlamaşı sonunda , kk ve eş eksenli tanelerden oluşan perlitik-ferritik içyapı elde edilir.

Normalleştirme Tavlamaşı şu amaçlarla yapılır:

Soğuk şekil verme sonrasında uzamış taneleri başlangıç yapısına döndürmek,

Döküm iyapışı olan Widmanstatten yapışını iyileştirmek,

Widmanstatten yapışında yumuşak ferrit levhaları ile sert perlit kolonileri birbiri içine girdiğinden malzeme olduğundan daha çok perlit içeriyormuş gibi davranır. Diğer bir deyişle, malzeme aynı kimyasal bileşimde ve içinde perlit odacıkları bulunan ferritik içyapıya sahip çelikten daha sert ve gevreklerdir.

Sıcak haddeleme sonucunda oluşan bantlı iyapıının giderilmesi ,

Kaynaklı parçalarda, (tane büyüklüğü farklı olan hadde yapışı ve döküm iyapışının bir arada olduğu durumlarda)

Difüzyon tavlamaşı sonucunda irileşmiş tanelerin inceltilmesi,

Tavlama işlemi sonucunda, malzemenin mekanik özelliklerinde, özellikle de toklukta artış sağlanır.

Tav süresi, et kalınlığına göre 30-60 dak arasındadır.

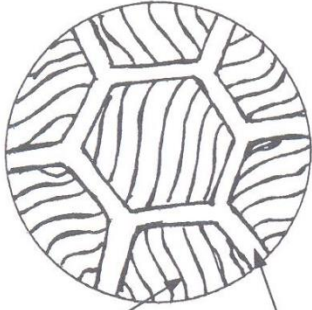
Basıncılı kaplara mutlaka bu tavlama işlemi uygulanmalıdır.

Tablo 1- Çeliklerin yumuşatma tavına tabi tutulmuş ve normalize edilmiş durumlardaki mekanik özellikleri

İşlem	Karbon oranı (%)	Akma mukavemeti (N/mm ²)	Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)	Sertlik (BSD)
Yumuşatma Tavı	0.01	124	283	47	90
	0.20	148	407	37	115
	0.40	303	517	30	145
	0.60	338	667	23	190
	0.80	359	793	15	220
	1.00	359	745	22	195
	1.20	352	703	24	200
	1.40	345	683	19	215
Normalizasyon Tavı	0.01	179	310	45	90
	0.20	310	441	35	120
	0.40	352	586	27	165
	0.60	414	752	19	220
	0.80	483	924	13	260
	1.00	690	1048	7	295
	1.20	690	1055	3	315
	1.40	662	1021	1	300

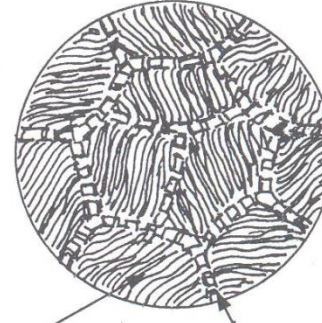
Yumuşatma tavına tabi tutulan ötektoid üstü çeliklerin yapısında oluşan sementit ağının, bu çeliklerin mukavemetini düşürdüğü bilinmektedir. Normalizasyon tavi, ötektoid üstü çeliklerdeki sementit ağının parçalanmasını ve bazı durumlarda da büyük ölçüde giderilmesini sağlar. Bu nedenle, normalize edilen çeliklerin mukavemetinde artış görülür.

Fırında soğutulan parçanın içyapısı



Kaba perlit + sementit ağı

Havada soğutulan parçanın içyapısı



İnce perlit + parçalanmış sementit

%1.2 C içeren çeliğin yumuşatılmış ve normalize edilmiş durumdaki iç yapısı

Normalizasyon tavisinde, parçanın havada soğutulması nedeniyle nispeten yüksek soğuma hızı elde edilir. Genelde, soğuma hızı arttıkça ostenitin dönüşüm sıcaklığı düşer ve daha ince perlit elde edilir.

Küreselleştirme Tavı

- Küreselleştirilmiş çelikler en yüksek yumuşaklığa, şekil değişimi veya talaşlı işlemeye elverişli yüksek süneklik değerine sahip olur. Sementitlerin birleşmesiyle iç yapıda küresel formu oluşturmalarını sağlayan **küreselleştirme tavı** birkaç farklı şekilde uygulanabilir.

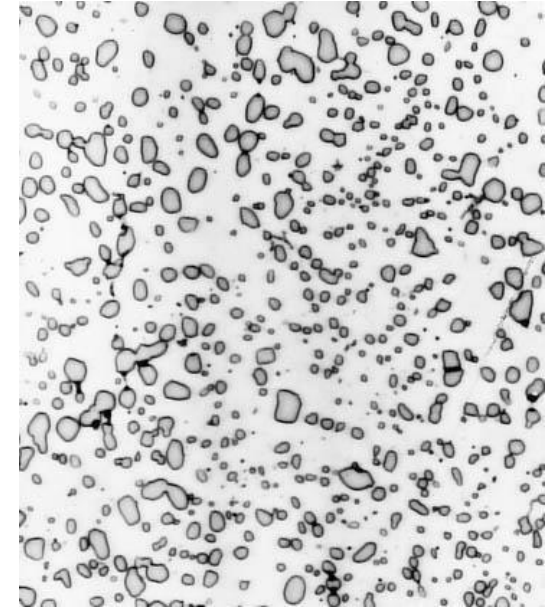
Küreselleştirme Tavı

Küreselleştirme tavı, çelikleri A_{c_1} sıcaklık çizgisi civarında uzun süre tuttuktan ve bu bölgede salınımlı olarak tavladıktan sonra, yavaş soğutma ile karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlem, ostenitleştirmeden sonra kontrollü soğutma ile de yapılabilir. Yumuşatma tavı işleminde belirtildiği gibi, tavllanmış durumdaki ötektoid üstü çelikler iç yapılarında sert ve gevrek sementit tanelerinin bulunması nedeniyle işlenmeye elverişli değildir. Bu tür çeliklerin işlenmesini kolaylaştırmak ve sünekliğini artırmak amacıyla da küreselleştirme tavı yapılır.

Küreselleştirme tavı aşağıdaki yöntemlerden biri ile gerçekleştirilir.

- a) Çelik malzeme A_{c_1} çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklığa (örneğin 700°C) uzun süre (15-25 saat) tavllanır.
- b) Çelik malzeme, düşük kritik sıcaklık çizgisinin (A_{c_1}) hemen altında ve üstündeki sıcaklıklar arasında ısıtılıp soğutulur, yani salınımlı olarak tavllanır.
- c) Malzeme A_{c_1} kritik sıcaklık çizgisinin üzerindeki bir sıcaklıkta tavlandıktan sonra ya fırında çok yavaş soğutulur, ya da A_{c_1} çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklıkta uzunca bir süre tutulur.

Yüksek sıcaklıktaki tavlama işlemi, çeliğin içersindeki perlitik yapı ile sementit ağının parçalanarak dağılmasına neden olur. Küreselleştirme tavlı sonucunda, ferritik bir matris ile bunun içersinde dağılmış durumda bulunan küre biçimindeki karbürlerden oluşan bir iç yapı elde edilir. Küreselleştirme tavlı sonunda çeliğin sertliği azalır, buna karşılık sünekliği artar. Bu işlem sonucunda, ötektoid üstü çelikler işlenmeye elverişli hale gelir.



Küreselleştirme tavlına tabi tutulmuş ötektoid üstü bir çeliğin yapısında bulunan küreselleşmiş sementitlerin görünümü

Gerilme Giderme ve Ara Tavlı

Gerilim giderme tavlı şekil verme, döküm veya kaynak işlemlerinden doğan iç gerilmeleri azaltmak amacı ile çelik parçaları, genellikle 550-630°C arasında ısıtma ve sonra yavaş yavaş soğutma işlemidir.

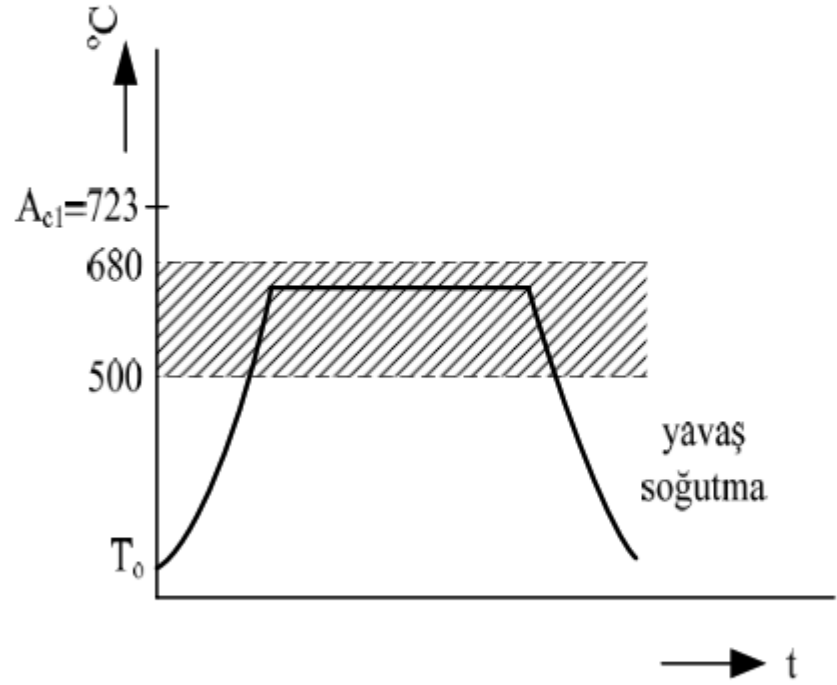
Ara tavlı ise gerilme giderme tavlına benzer olup sac veya tel üretiminde soğuk şekillendirmeye devam edebilmek için ötektoid altı çelikleri 550-680°C arasındaki sıcaklıklara kadar ısıtıp yeniden kristalleşme sağlandıktan sonra yavaş soğutulma işlemidir.

Gerilme Giderme Tavrı

- Artık iç gerilmelerin giderilmemesi durumunda, parçalarda zamanla deformasyon ve çarpılmalar meydana gelir. Ayrıca artık iç gerilmeler, parçaların çalışmaları sırasındaki performanslarına olumsuz yönde etki yapabilir. **Gerilme giderme** tavrından parçalardaki artık iç gerilmelerin giderilmesinde yararlanır.

Gerilme Giderme Tavlaması

- Üniform olmayan ısıtma-soğutma işlemleri (döküm, kaynak, sertleştirme), üniform olmayan şekil değişimi (eğme, soğuk şekillendirme), talaşlı işleme (frezeleme, planyalama, tornalama vb) ve dönüşüm olayları sırasında parça içinde oluşan gerilmelerin giderilmesi amacıyla uygulanır.
- İşlem sıcaklığı malzemenin kimyasal bileşimine göre, alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerde 500-680°C arasındadır.
- Tav süresi ise 0,5-1 h arasındadır.
- İşlemin başarılı sonuç verebilmesi için, soğuma işleminin yavaş yapılması gerekir. Aksi takdirde soğuma farkı nedeniyle, malzeme içinde tekrar iç gerilmeler oluşabilir.

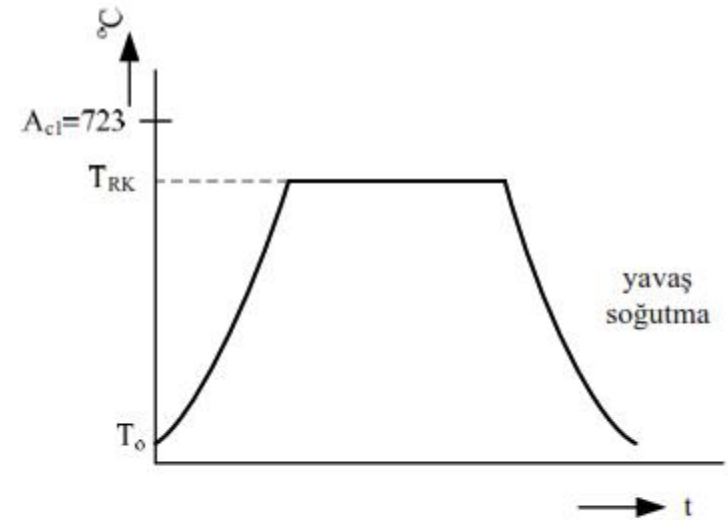


Yeniden Kristalleşme Tavı

- **Yeniden kristalleşme** tavı, metal veya alaşımın daha önce gördüğü soğuk şekil değişiminin olumsuz etkilerini gidermeye yönelik bir ısıtma işlemidir. Bu işlem sayesinde pekleşmiş durumdaki malzeme yumuşatılıp sünekliği artırılır.

Yeniden Kristalleştirme Tavlaması (Rekristalizasyon Tavlaması)

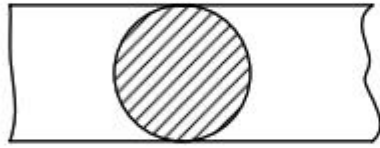
- Soğuk şekil verme sonucunda pekleşen malzemenin özelliklerini (örneğin yüksek dayanım, düşük süneklik ve tokluk gibi) başlangıç durumuna getirmek amacıyla yapılır.
- Tavlama sıcaklığı 600-700°C'dir.
- Yaklaşık 1 h'lik sürede gerçekleşir.
- Bu tavlamanın uygulanabilmesi için malzemenin en az %10 oranında soğuk şekillendirilmiş olması gerekir.
- *Böylece metalik malzemenin, katı halde bozulmadan yeniden kristalleşmesi sağlanır ve soğuk şekillendirme sonucunda oluşan pekleşme, sertleşme giderilerek malzemeye daha sonraki soğuk şekillendirme işlemleri için gerekli olan süneklik kazandırılır.*



Yeniden Kristalleştirme Tavlaması (Rekristalizasyon) Tavlaması

- Teknik saflıktaki metallerde rekristalizasyon sıcaklığı;

$$T_{RK} = T_{YK} \cong 0,4T_e \quad (K)$$



Şekil vermeden önce
parça kesiti



Şekil verdikten sonra
parça kesiti



Soğuk şekil vermeden
önce içyapı



Soğuk şekil verdikten
sonra içyapı



Tavlamadan sonraki
içyapı

Soğuk şekil verdikten sonra içyapı

İç gerilme yüksek

Taneler uzamış

Yapıda homojenlik yok

Dislokasyon yoğunluğu yüksek

Tavlamadan sonraki içyapı

İç gerilme azalmış

Taneler küçük ve eş eksenli

Yapıda homojenlik var

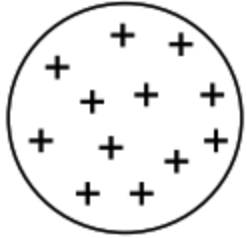
Dislokasyon yoğunluğu azalmış

- Tavlama sonrasında oluşan tane boyutu, malzemeye uygulanan soğuk şekil değiştirme oranına bağlıdır.
- Soğuk şekil değiştirme oranı fazla ise ince taneli, az ise iri taneli içyapı oluşur.
- Tane büyüklüğünü, tav sıcaklığı da etkiler; rekristalizasyon sıcaklığı yüksek tutulursa kaba taneler oluşur.
- Yeniden kristalleşmede tav süresi, tavlama sıcaklığı ve şekil değiştirme oranına uygun olarak seçilir.
- Tavlama sonucunda, malzemenin dislokasyon yoğunluğu azaldığından, malzeme başlangıç sünekliğine kavuşur.
- Yüksek alaşımlı çelikler gibi dönüşüm göstermeyen çeliklerde tane boyutu küçültme işlemi rekristalizasyon tavlaması ile yapılır

Sertleştirme

- **Sertleştirme** ile metastabil (yarı kararlı) bir içyapı elde edilir.
- Östenit, çeliğin bileşimine bağlı olarak, minimum bir hızın altına inilmeyecek şekilde soğutulur ve yarı kararlı tetragonal hacim merkezli martenzit yapısı oluşur.
- Diğer bir deyişle, çeliklerin mümkün olan en yüksek sertlik ve aşınma dayanımına sahip olması istendiğinde sertleştirme işlemi yapılır.
- Sertleştirme sonucunda soğuk şekil değiştirme kabiliyeti azalır, süneklik düşer. Bu işlem daha çok dönüşüm sertleşmesinde geçerlidir.

γ kç: östenit



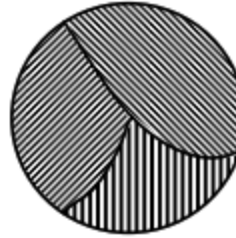
Martenzit
(tetragonal
hacim merkezli)

suda soğutma



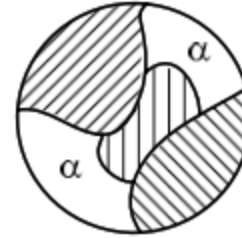
Martenzit+
sıkı lamelli
perlit

yağda soğutma
(200°-250°C)



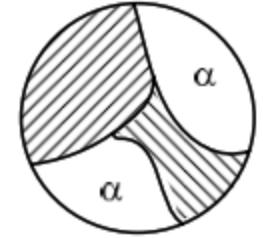
Sıkı lamelli
perlit

ergimiş Pb'de
soğutma



Az ferrit+perlit

havada soğutma



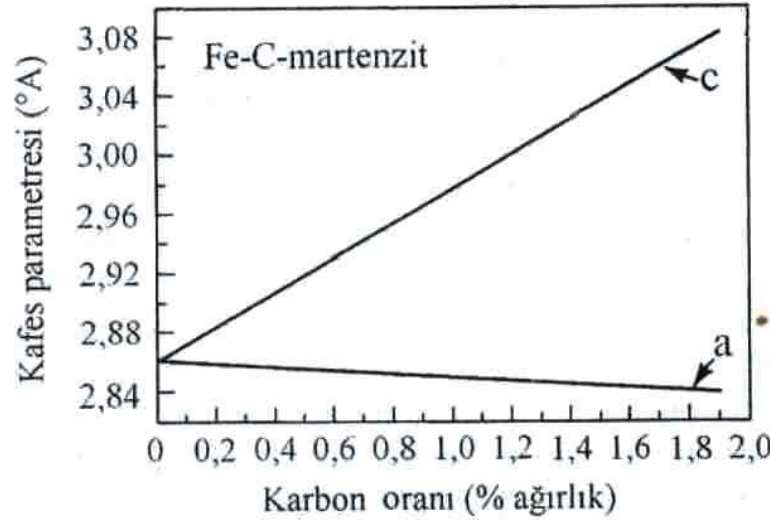
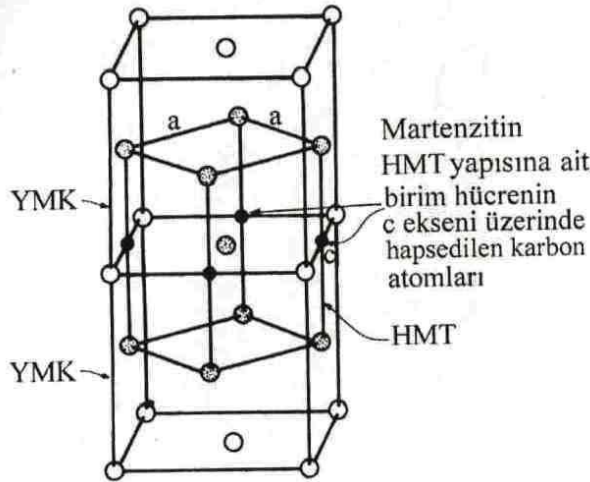
Ferrit+perlit

fırında soğutma

Östenitin soğuma hızına bağlı olarak yaptığı dönüşümler

Su Verme Sertleştirilmesi

Tavlama işleminden sonra, çelikler yavaş ya da orta seviyedeki bir hızla soğutulduklarında, ostenit içerisinde çözülmüş durumda bulunan karbon atomları difüzyon ile ostenit yapıdan ayrılırlar. Soğuma hızı arttırıldığında, karbon atomları difüzyon ile katı çözültiden ayrılmak için yeterli zaman bulamazlar. Demir atomları bir miktar hareket etseler bile, karbon atomlarının çözülti içerisinde hapsedilmeleri nedeniyle farklı bir yapı oluşur. Hızlı soğuma sonucunda oluşan bu yapıya “martenzit” adı verilir. Martenzit karbonla aşırı doymuş hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıya sahip bir katı çözültidir.



Birim hücrenin c uzunluğunun a uzunluğuna oranı (c/a) artan karbon oranıyla artarak en fazla 1.08 değerine ulaşır.

Martenzitik dönüşüm sırasında ostenitin YMK yapılı birim hücrelerinden martenzitin HMT yapılı birim hücrenin oluşumu

Su verme işleminden sonra oluşan martenzit mikroskop altında iğne veya diken biçiminde gözükür ve bazen saman demetini andıran bir görünüm sergiler. Çeliklerin çoğunda martenzitik yapı belirsiz ve soluktur, bu nedenle kolayca ayırt edilemez. Yüksek karbonlu çeliklerde ise kalıntı ostenit arka fonu oluşturduğundan, martenzitin iğne veya diken biçimindeki yapısı daha belirgin bir görünüm kazanır.



Çeliklerde oluşan tipik bir martenzitik yapının görünümü. İğne biçimindeki taneler martenzit fazını, beyaz bölgeler ise kalıntı osteniti göstermektedir.

Martenzitik dönüşüm yalnız soğuma sırasında meydana gelir. Bu nedenle, söz konusu dönüşüm zamandan bağımsız olup, yalnız sıcaklığın azalmasına yani soğumaya bağlıdır. Martenzitin en önemli özelliği, çok sert bir faz olmasıdır. Çeliklerde, sementitten sonra gelen en sert faz martenzittir. Yüksek sertlik değerleri, ancak yeterli oranda karbon içeren çeliklerde elde edilir.

Martenzit yüksek sertliğe sahiptir. Martenzitin sertliğinin yüksek olmasının en büyük nedeni kafes yapısının aşırı ölçüde distorsiyona uğraması, yani çarpıtılmış olmasıdır. Martenzitin atomsal dolgu faktörünün ostenitin atomsal dolgu faktöründen daha düşük olması nedeniyle, martenzitik dönüşüm sırasında çelikte bir miktar hacimsel büyüme meydana gelir. Söz konusu hacimsel büyüme matris yapısını plastik deformasyona uğratabilecek büyüklükte yerel gerilmeler oluşturur. Bir başka deyişle, martenzitin oluşumu sırasında meydana gelen hacimsel büyüme çok yüksek düzeyde yerel gerilmeler oluşturarak çeliklerin matris yapısının aşırı ölçüde çarpılmasına veya plastik şekil değişimine uğramasına neden olur. Kafes yapısının çarpılması da dislokasyon hareketini zorlaştırarak veya engelleyerek su verilen çeliklerin sertlik ve mukavemetini artırır.

Sertleştirme

Sertleştirme işlemi içinde alt gruplara ayrılır:

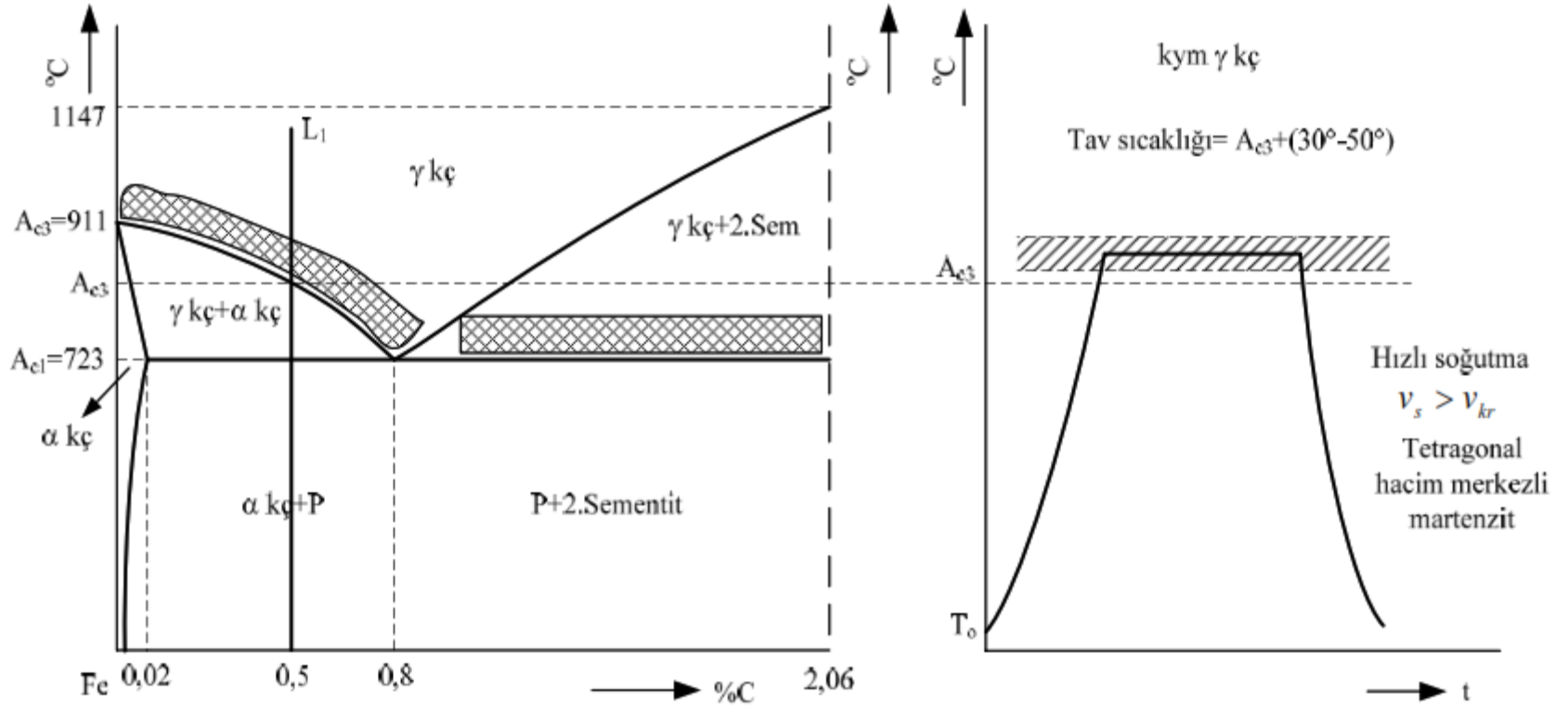
- Dönüşüm sertleşmesi (çekirdeğe kadar sertleştirme)
- Yüzey Sertleştirilmesi
- Çökelme sertleşmesi

1. Dönüşüm Sertleşmesi (Çekirdeğe kadar sertleştirme)

Çelik malzemeye dönüşüm sertleşmesi uygulanabilmesi için;

- %C > %0.2 olması gerekir.
- Ötektoidaltı çeliklerde $T_{tavlama} = A_{c_3} + (30^\circ - 50^\circ C)$
- Ötektoidüstü çeliklerde $T_{tavlama} = A_{c1} + (30^\circ - 50^\circ C)$
- Soğuma hızı $v_s > v_{kritik}$

1. Dönüşüm Sertleşmesi (Çekirdeğe Kadar Sertleştirme)



Ötektoidaltı ve Ötektoidüstü Çeliklerde

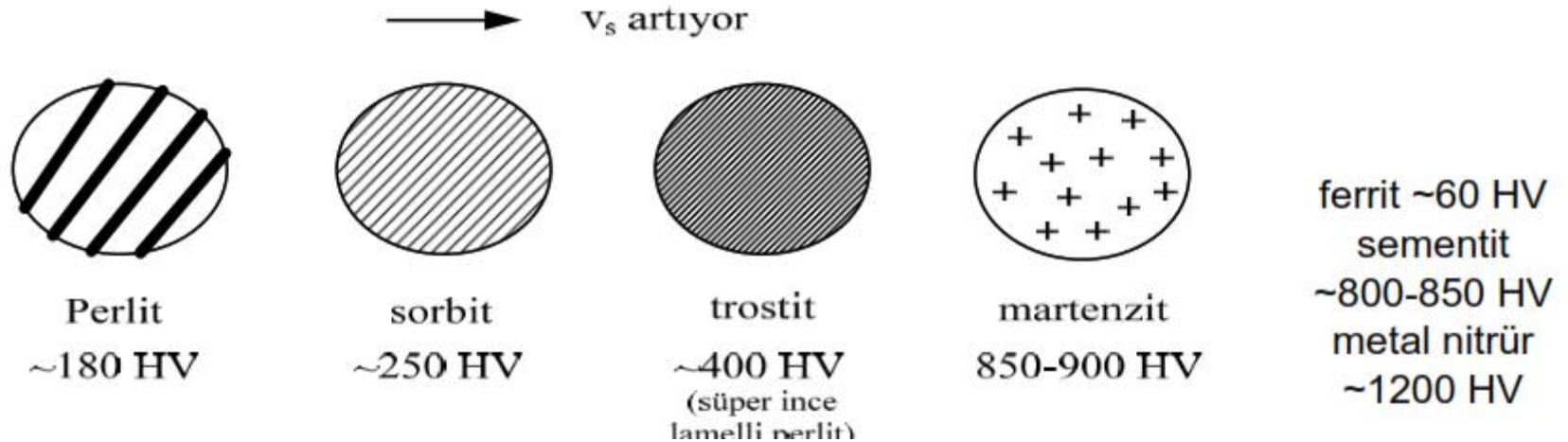
Aşırı Soğumuş Östenit Dönüşümleri

- Hızlı soğuma sonucu elde edilen içyapı, büyük ölçüde dönüşüm sıcaklığına, yani karbonun ve diğer alaşım elementlerinin yayınmasına bağlıdır.
- Aşırı soğumuş östenit, üç temel sıcaklık kademesinde dönüşüme uğrar:

Aşırı Soğumuş Östenit Dönüşümleri

1. Perlit Kademesinde Dönüşüm

- Soğuma hızı arttıkça karbon ve diğer alaşım elementlerinin yayınma süresi azalır.
- Sementit lamellerinin genişliği azalarak, ince veya çok ince lamelli perlitik bir içyapı meydana gelir.
- Lameller arası mesafe ne kadar kısa ise, içyapıda karbon dağılımı o kadar homojendir. Bu nedenle de sertlik ve dayanım değerleri artar.



Aşırı Soğumuş Östenit Dönüşümleri

2. Beynit Kademesinde Dönüşüm

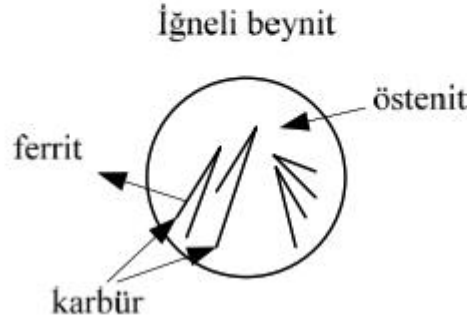
- Fe atomu yayınamaz, C atomu yayınması ise güçleşir.

Beynit, elektron mikroskobunda iki şekilde görülebilir.

- İğneli beynit: Ferrit içerisine gömülmüş karbon parçacıkları olarak tanımlanır. Sürekli soğuma veya sabit sıcaklıkta (izotermik) dönüşüm ile elde edilir.
- Taneli beynit: Sürekli soğuma ile elde edilir.

Soğuma hızına bağlı olarak iğneli beynit, kaba ve ince taneli beynit olarak ikiye ayrılır.

- İnce taneli beynit, Ms'nin hemen üzerindeki sıcaklıklarda oluşur.



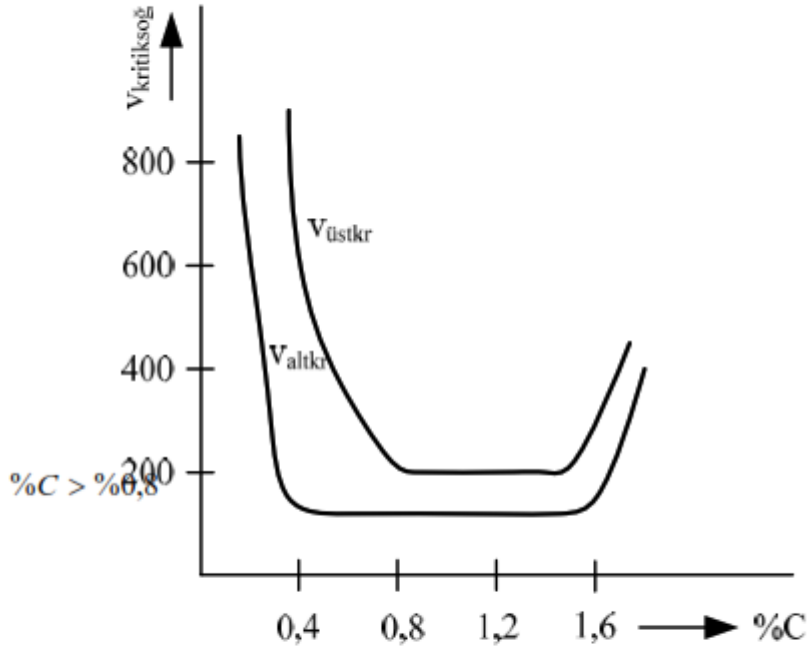
- Beynitik içyapı, alaşımlı çeliklerin karakteristik içyapısıdır.
- Alaşımsız çeliklerde beynitik yapı elde edilmek isteniyorsa sabit sıcaklık dönüşümü gerekir.

Aşırı Soğumuş Östenit Dönüşümleri

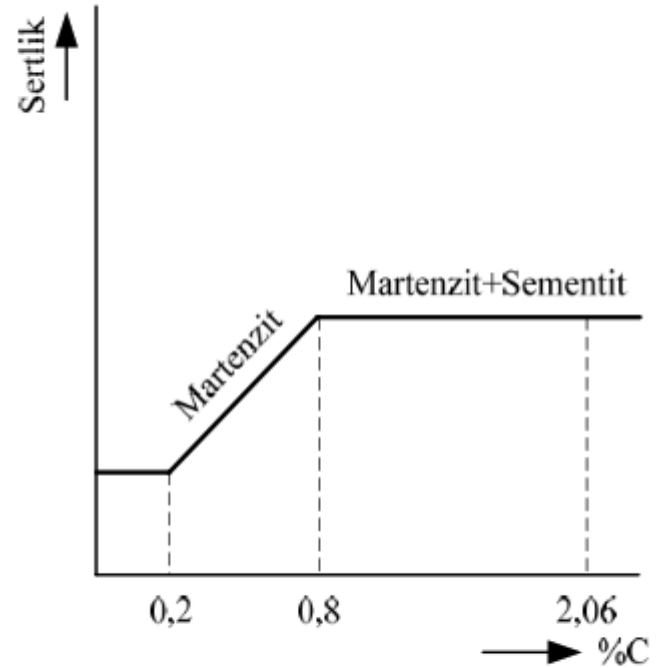
3. Martenzit Kademesinde Dönüşüm

- C ve Fe atomu yayınamaz. Bu nedenle de karbür oluşamaz.
- Karbon (C), martenzit kafesi içerisinde zorunlu olarak çözünmüş durumdadır.
- Martenzit, sıvı azot gibi çok yüksek soğuma hızı sağlayan soğuma ortamlarında saf demir içinde dahi oluşturulabilir.
- Ancak martenzitin sertliği, kafes içerisinde zorla çözünmüş olarak bulunan, karbon miktarına bağlı olarak değişir.

3. Martenzit kademesinde dönüşüm



$\%C > \%0.8$ olan çeliklerde dönüşüm sertleşmesi sonucunda, martenzitin yanı sıra sementit de oluştuğundan, sertlik ve aşınma dayanımı daha yüksektir



$M_s = f(C, Mn, diğer alaşım elementleri)$
(Martenzit oluşumu başlangıç sıcaklığı)
 $M_f = f(C, Mn, diğer alaşım elementleri)$
(Martenzit oluşumu bitiş sıcaklığı)

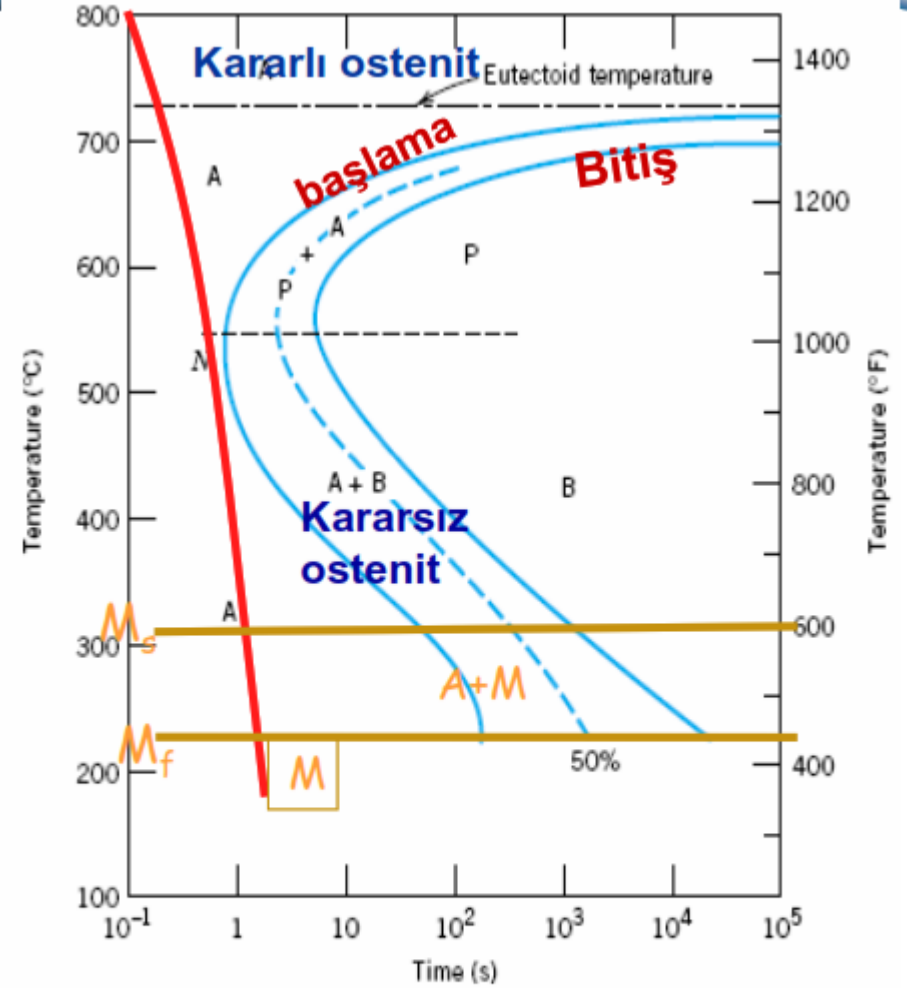
Katı hal ve sıvı-katı dönüşümleri:
Çekirdekleşme + büyüme
kademeleri

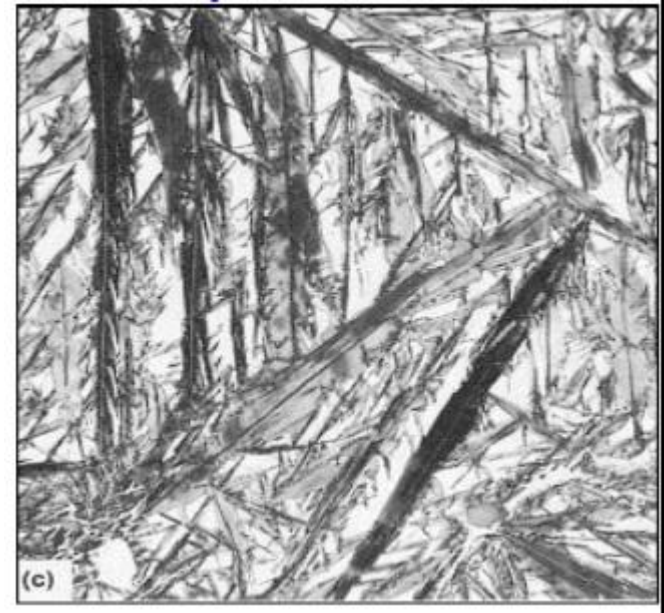
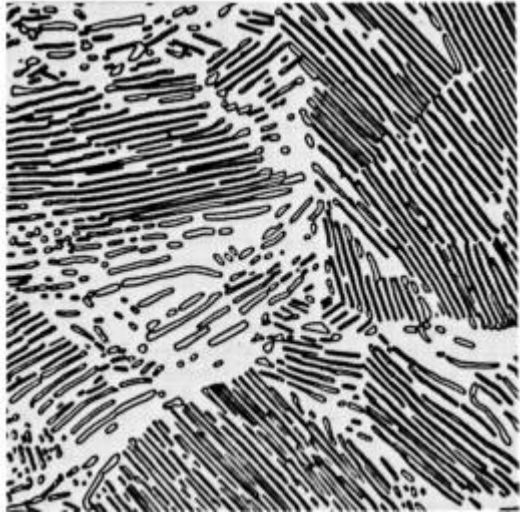
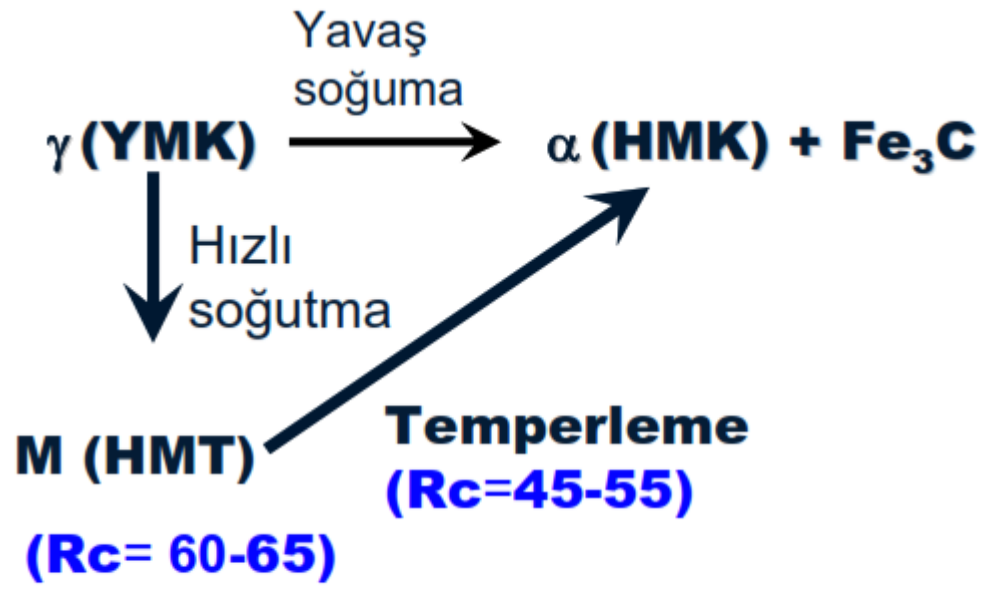
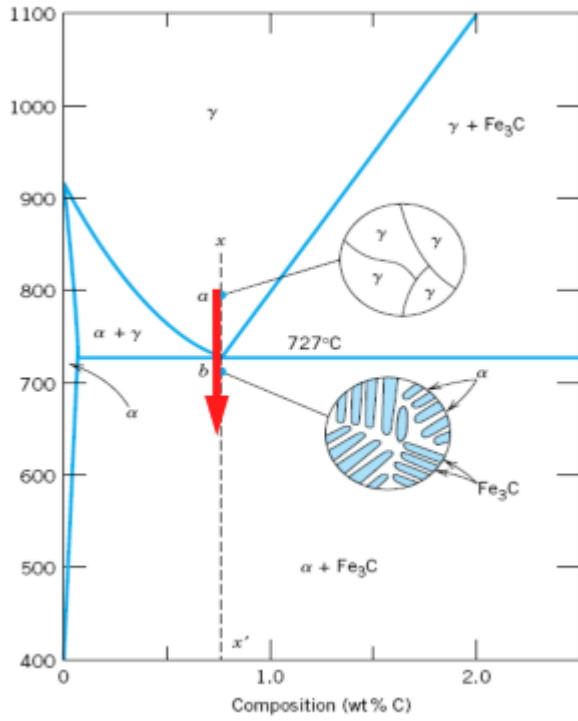
Çelik γ bölgesine ısıtılıp hızlı
soğutma = **martensitik dönüşüm**
% C > 0.6 çelikte
YMK ostenit \rightarrow HMT (yarı kararlı) ;
levhalar halinde büyüme

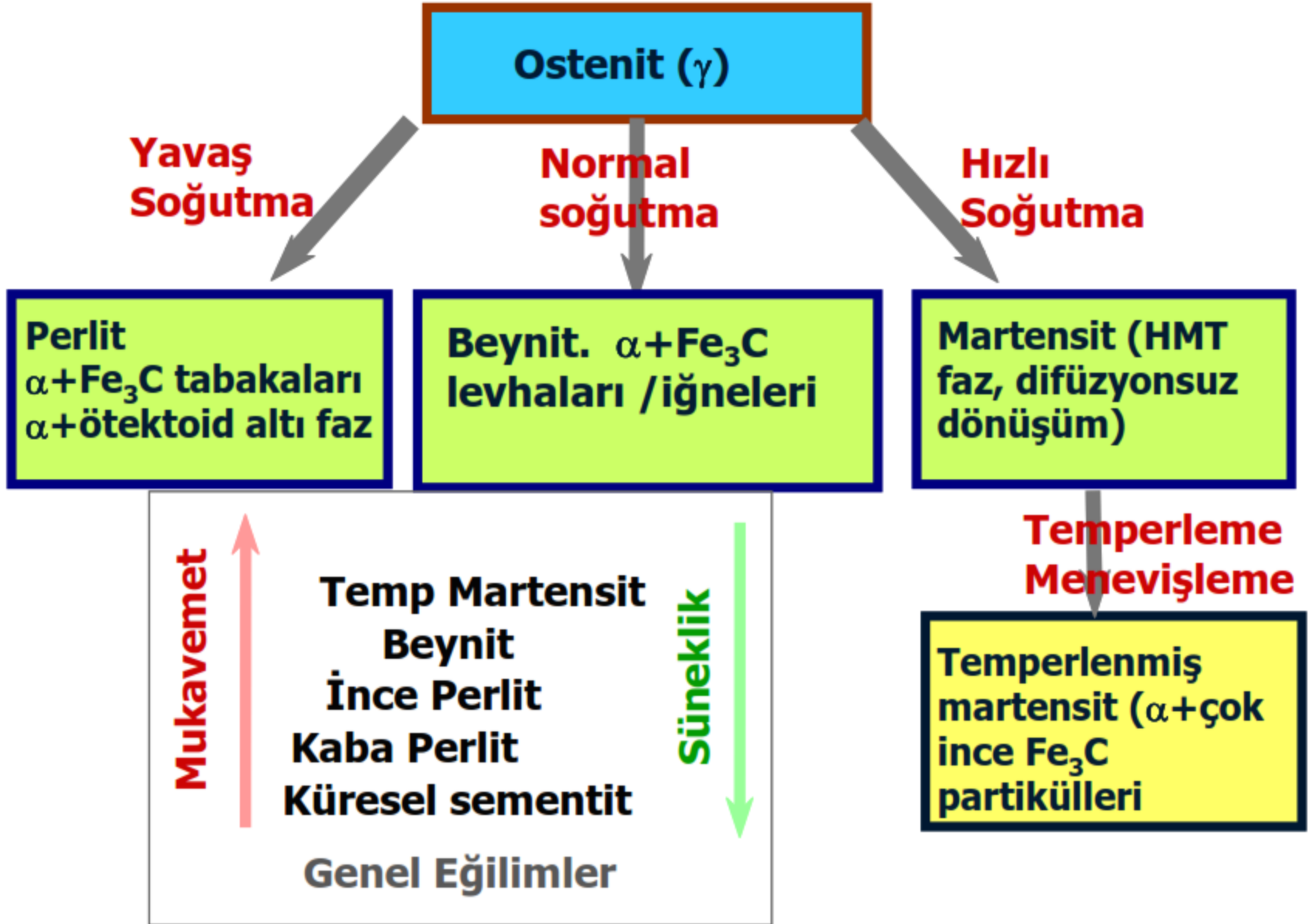
Büyüme, 0.0001 sn den daha az
bir zamanda tamamlanır.
Martensit çok hızlı soğutmalarda
oluşur,

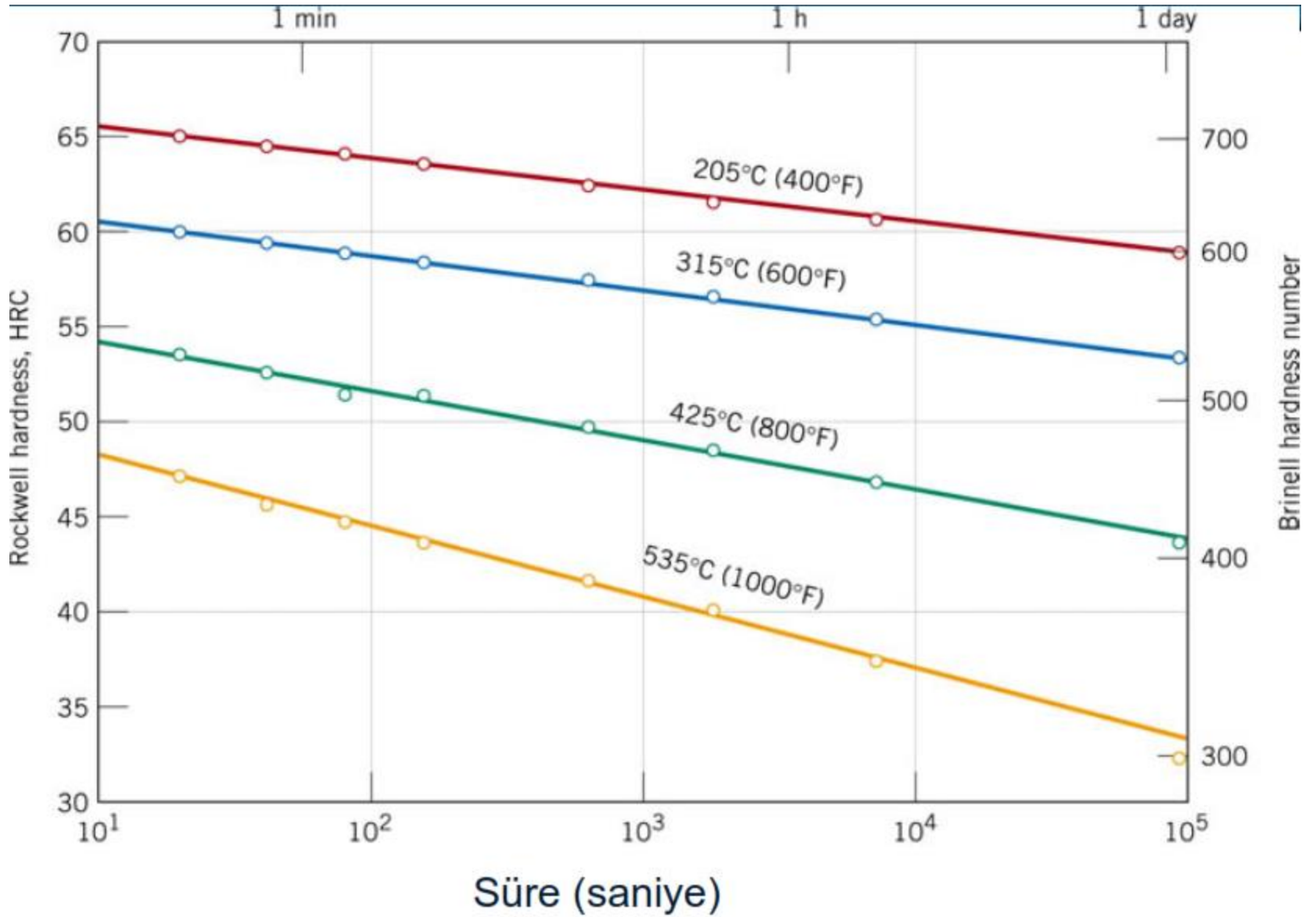
Düşük sıcaklıklarda tavlama, HMT martensitin \rightarrow α + sementit
(dengesel fazlar)

Au-Cd ve In-Tl sistemlerinde doğal olarak martensitik yapı meydana
gelir.

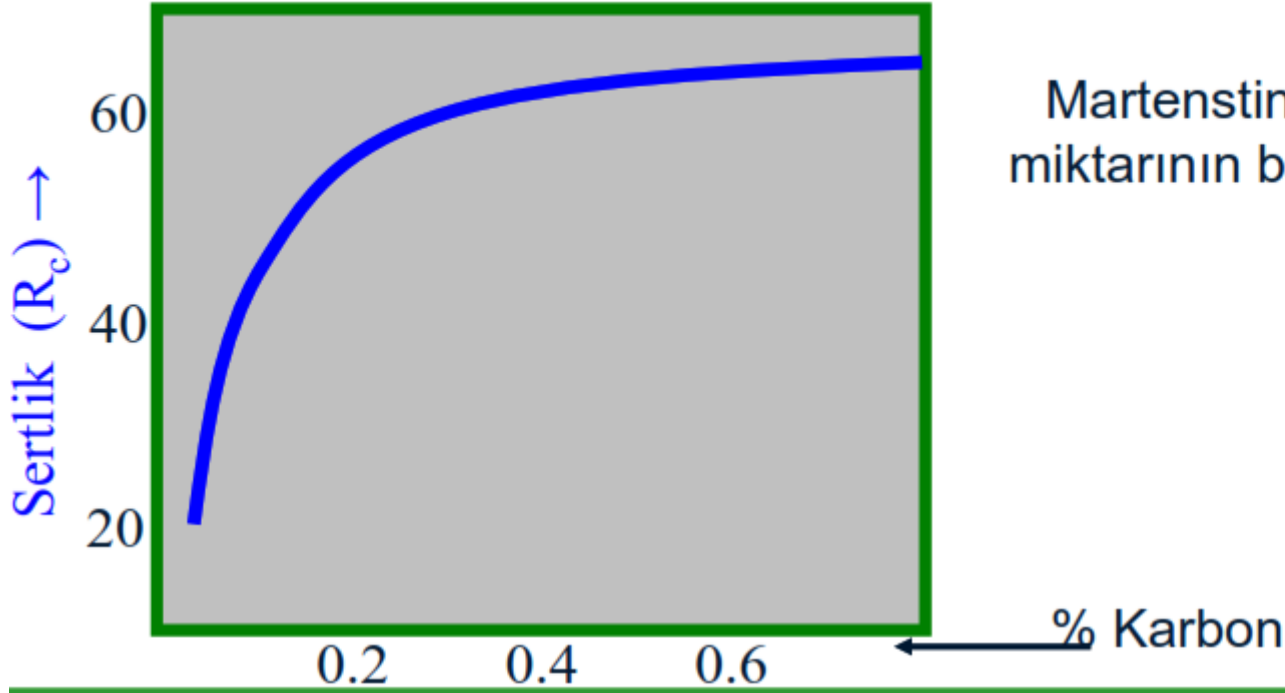






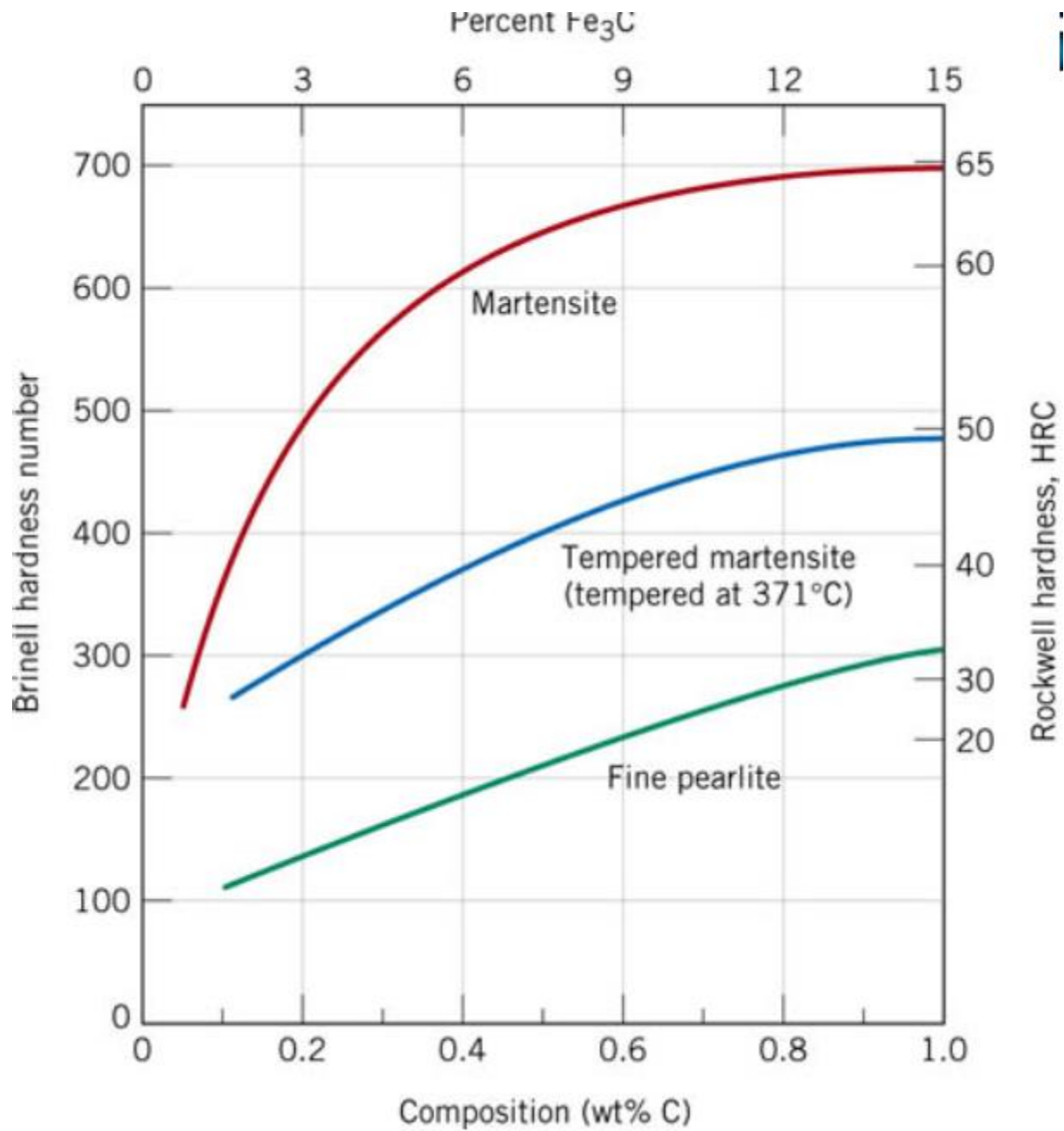


Temperleme sıcaklığının değişimine göre sertlik değişimi

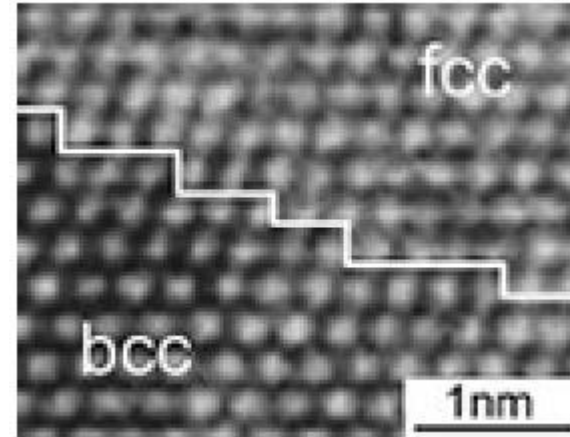


% 0.8 C Çeliğinin Özellikleri

Bileşen	Sertlik (R_c)	Çekme Muk. (MPa)
Kaba perlit	16	710
İnce perlit	30	990
Beynit	45	1470
Martensit	65	-
Temperlenmiş Martensit (250 °C)	55	1990



Martensitik dönüşümde atomlar hareket etmez, oryantasyon değiştirir



Martensit

- Martensitik dönüşüm kompozisyonda değişme olmadan olur.
- Difüzyona gerek olmadan dönüşüm kayma ile meydana gelir.
- Atomik hareket sadece atomlararası mesafe ölçeğinde oluşur.

Metallerde iki farklı martensit morfolojisi;

i) Levhasal martensit

Levha tek kristal değil, alt levhalar ve içinde ikizler bulunur

ii) Dilimli Martensit

Birbirine paralel beğli dilim kümesi, Dilimli martensitte ikiz yok, çok yüksek dislokasyon

■ Mikroskobik seviyede martensit levhaları çok ince ikizler olarak üst üste birikir Dilimli martensit çok yüksek dislokasyon yoğunluğu içerir.

$C < \% 0.6$ dilimli martensit, $C > \% 0.6$ levhasal martensit

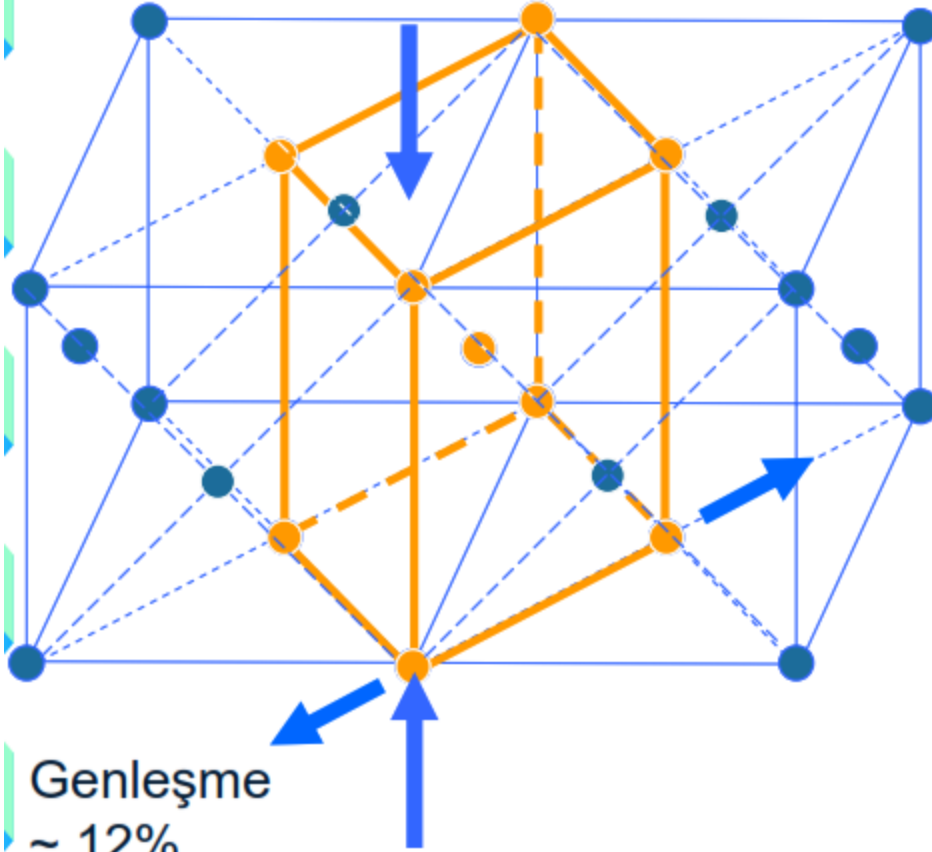
Dilimli martensit 500-1000 büyütme optik mikroskopta ince ve tüylü görüntü

Paketler = makas bıçağı = bloklar = 2x10 mm ve 50-200 mm arasında

Alt dilimler, kalınlık = 0.1 mm, uzunluk = 0.2 mm civarı

Martensitin Kristallografik İlişki Teorisi

YMK ostenit → HMT (1924 E.C. Bain)



Ostenitin HMT birim hücresi

$$\frac{c}{a} = \sqrt{2} = 1.414$$

α' (martensit) in HMT birim hücresi

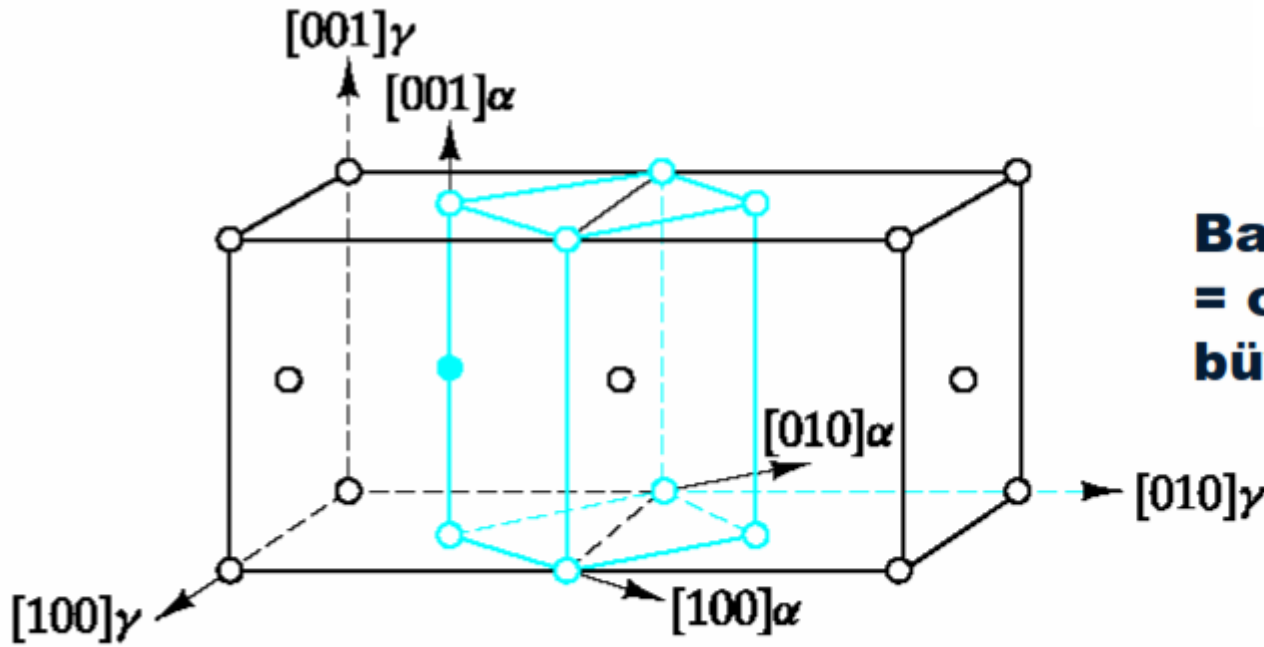
$$\frac{c}{a} = 1.00 - 1.08$$

0% C (HMK) 1.2 % C

Genleşme
~ 12%

Büzülme~
18%

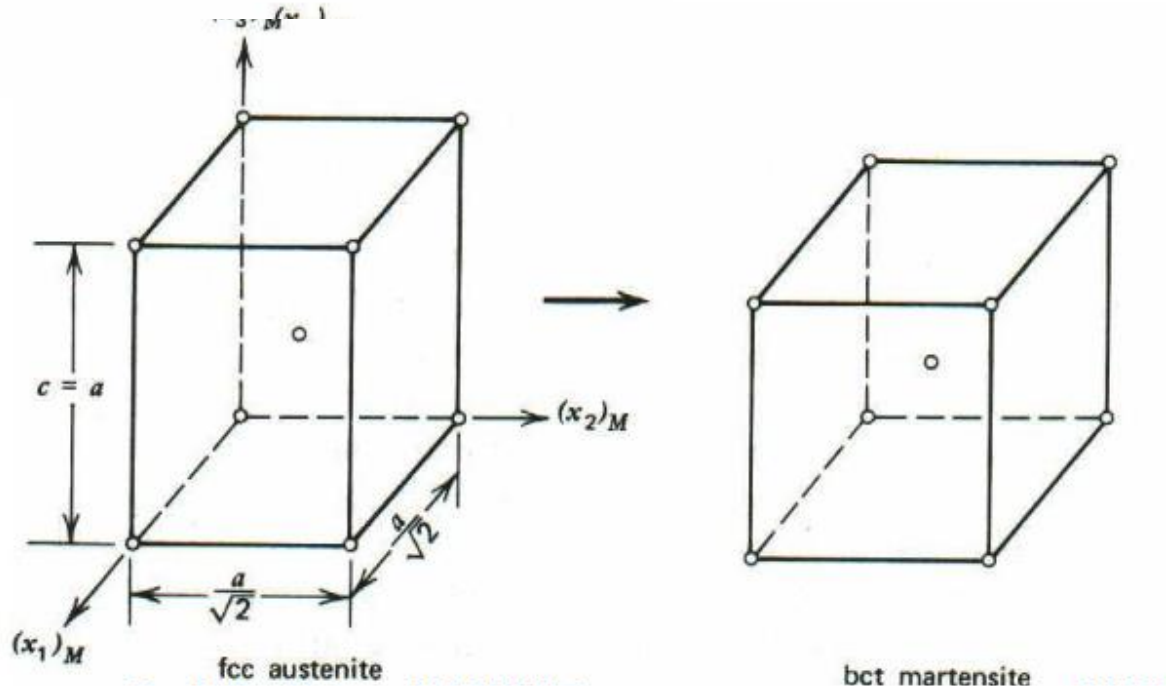
Şekil: Bain tarafından ileri sürülen HMT martensit oluşumu.



(a)

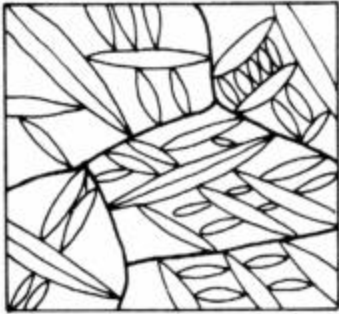
**Bain distirsiyonu
her zaman
geçerli değil:
Örnek: % C < 0.6**

**Şekil. Bain
distirsiyonu.**





(a)



(b)

(d)



(c)

100 μm

(e)

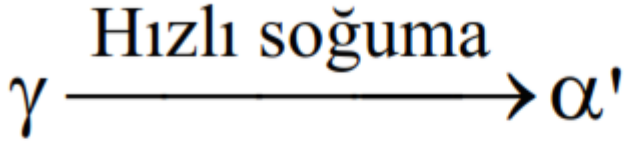


Ms sıcaklığı altına soğutma sıcaklığının artmasına göre martensit büyümesi (a ve b). Demire farklı martensit morfolojileri (c:düşük karbonlu dilimli, d:orta karbonlu levhasal, e:Fe-Ni alaşımı levhasal



Şekil: a) Fe-0.09 C çeliğinde dilimli (x500), b) Fe-22.5 Ni-0.4 C alaşımında levha martensit

Martensit Oluşum Kinetiği



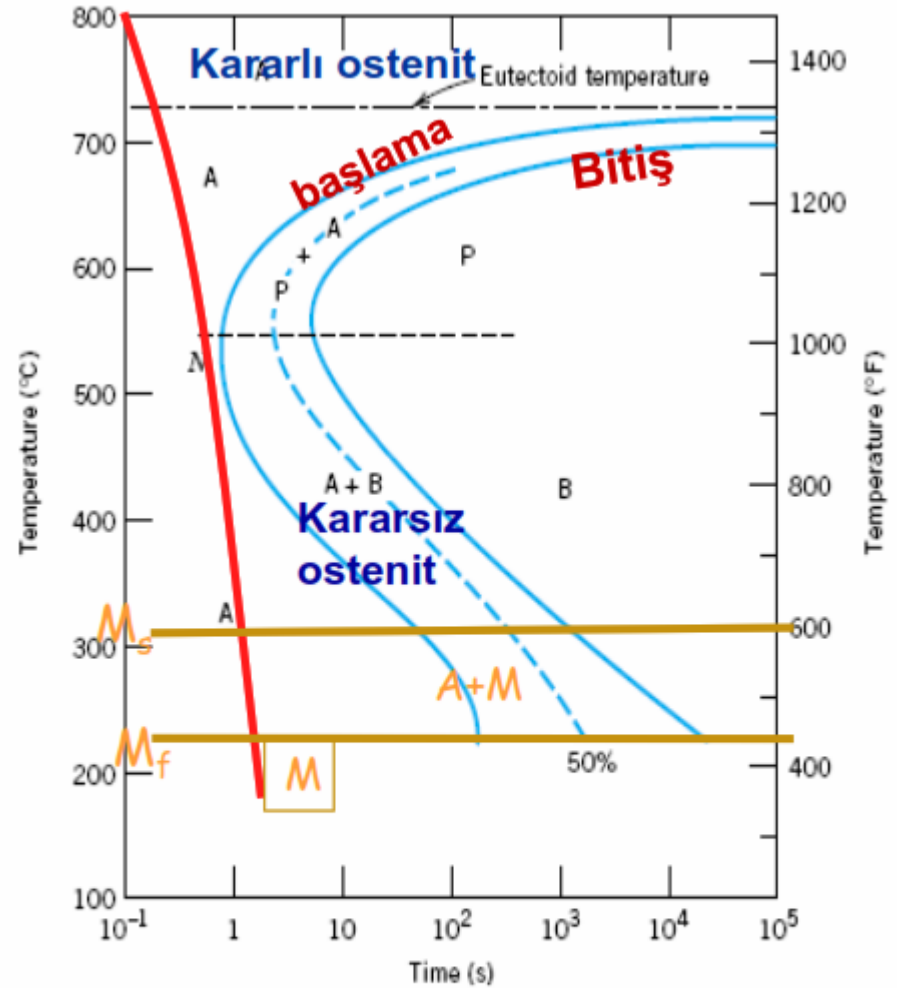
Martensitin oluşmaya başladığı sıcaklık = M_s

Martensit dönüşüm tamamlanma sıcaklığı = M_f

Martensit ve ostenit fazları arasında termodinamik denge sıcaklığı = T_E

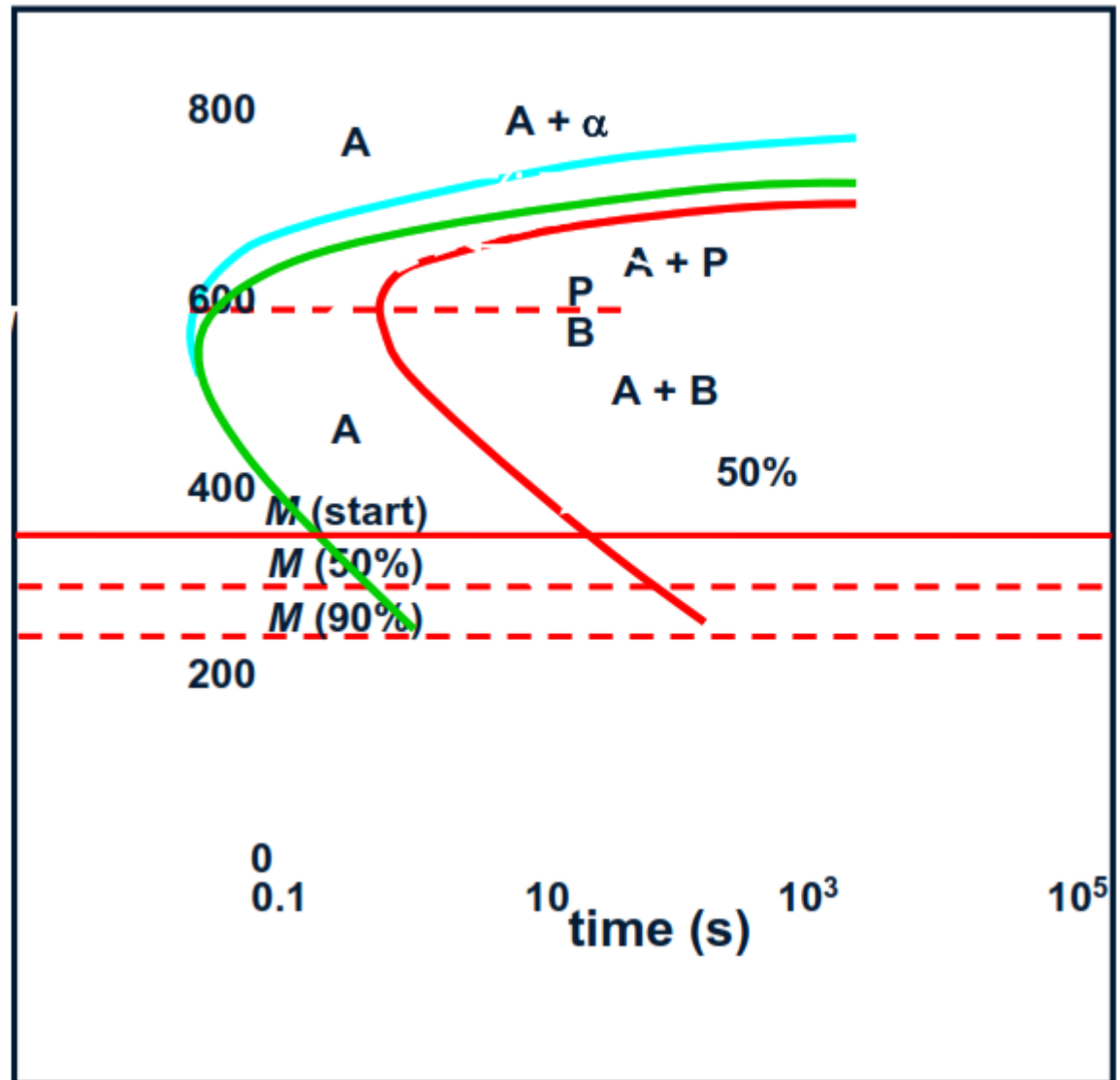
Arayer elementleri + yer alan elementleri M_s sıcaklığını düşürür.

Steven ve Haynes eşitliği



Örnekler:

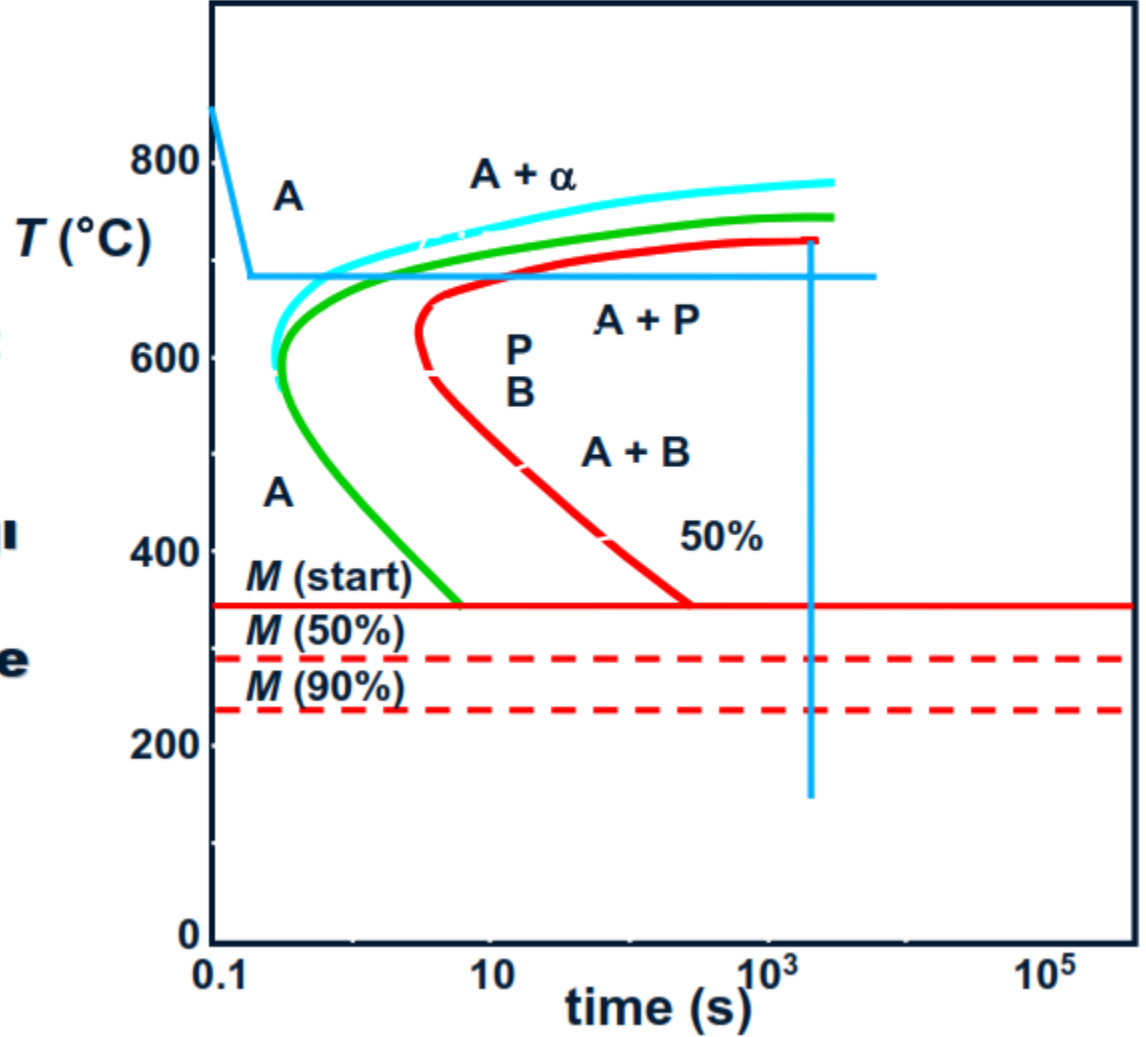
**% 42 ötektoid altı
ferrit ve % 58
kaba perlit**



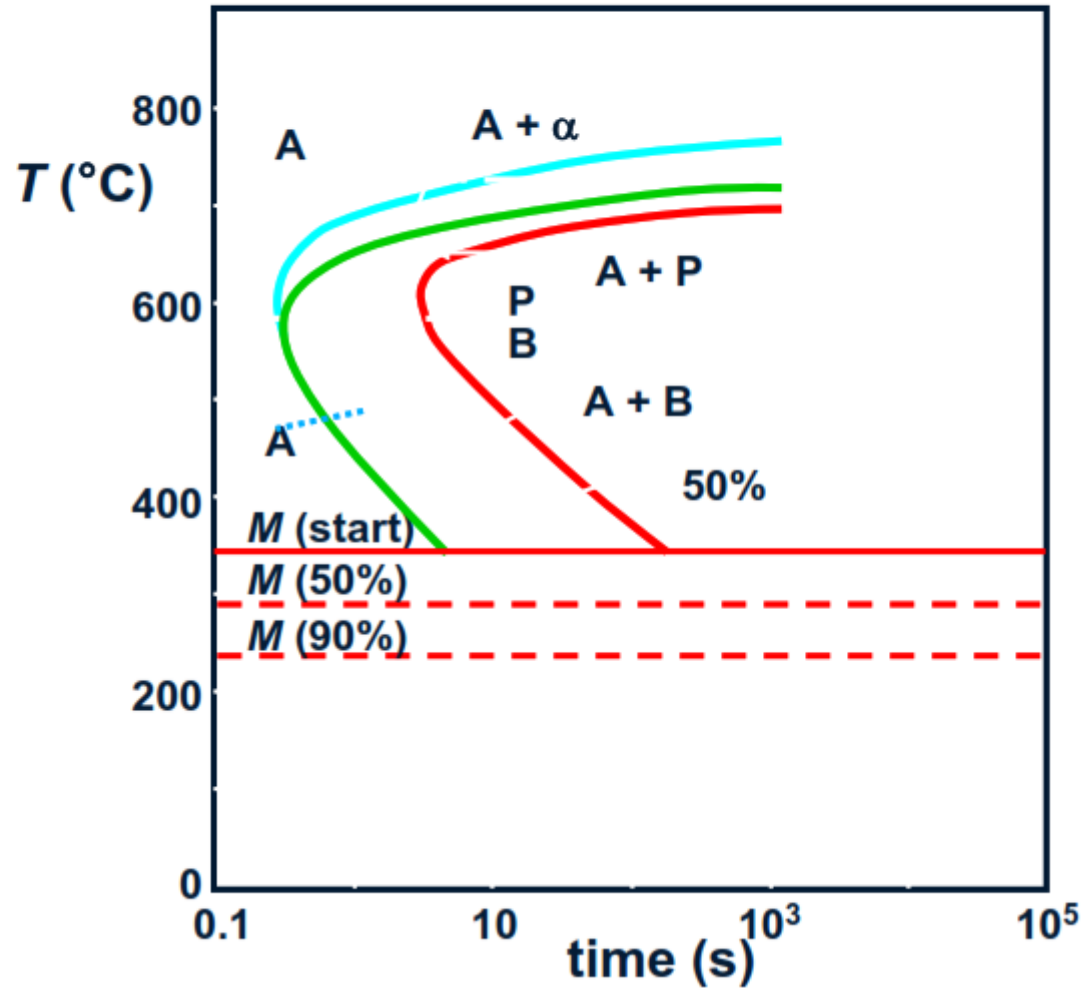
**% 42 ötektoid altı
ferrit ve % 58
kaba perlit**

**Önce ferrit,
ardından perlit
oluşur**

**Bekletme sıcaklığı
artarsa daha
kaba perlit elde
edilir**



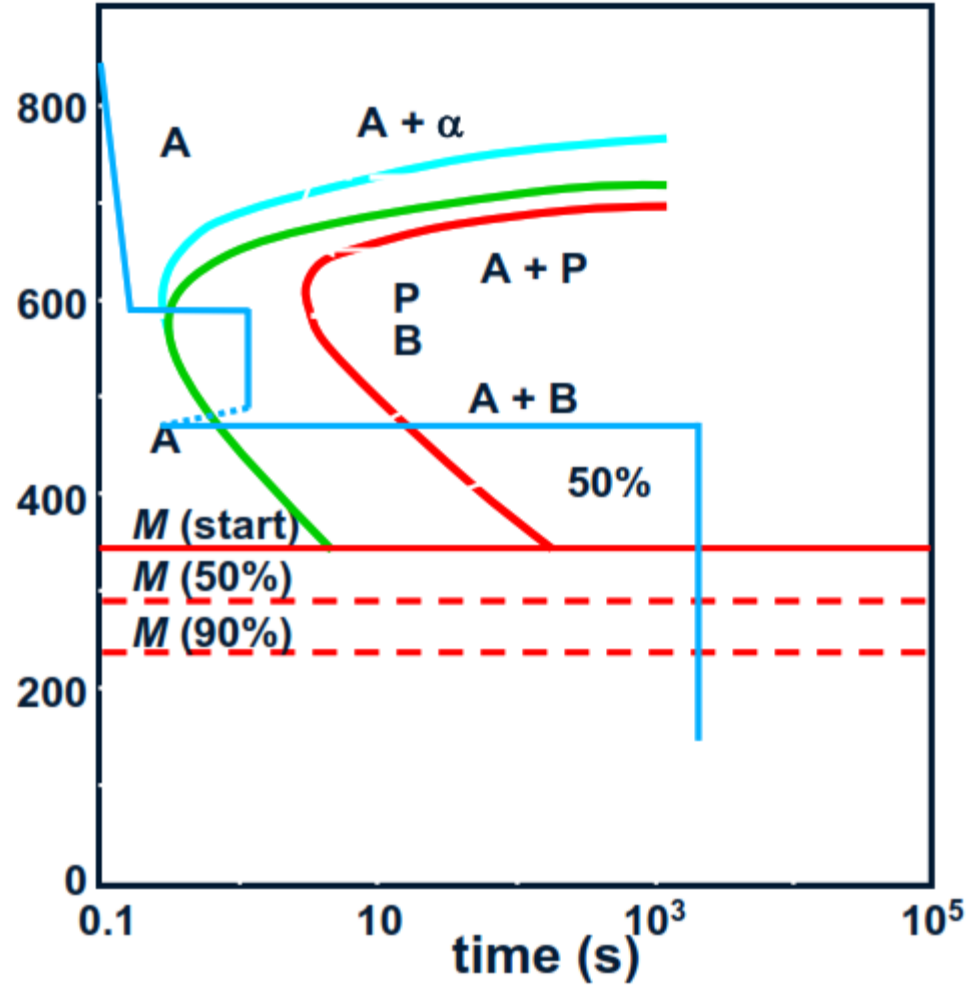
% 50 ince perlit % 50 beynit nasıl elde edilir?



% 50 ince perlit % 50 beyzit

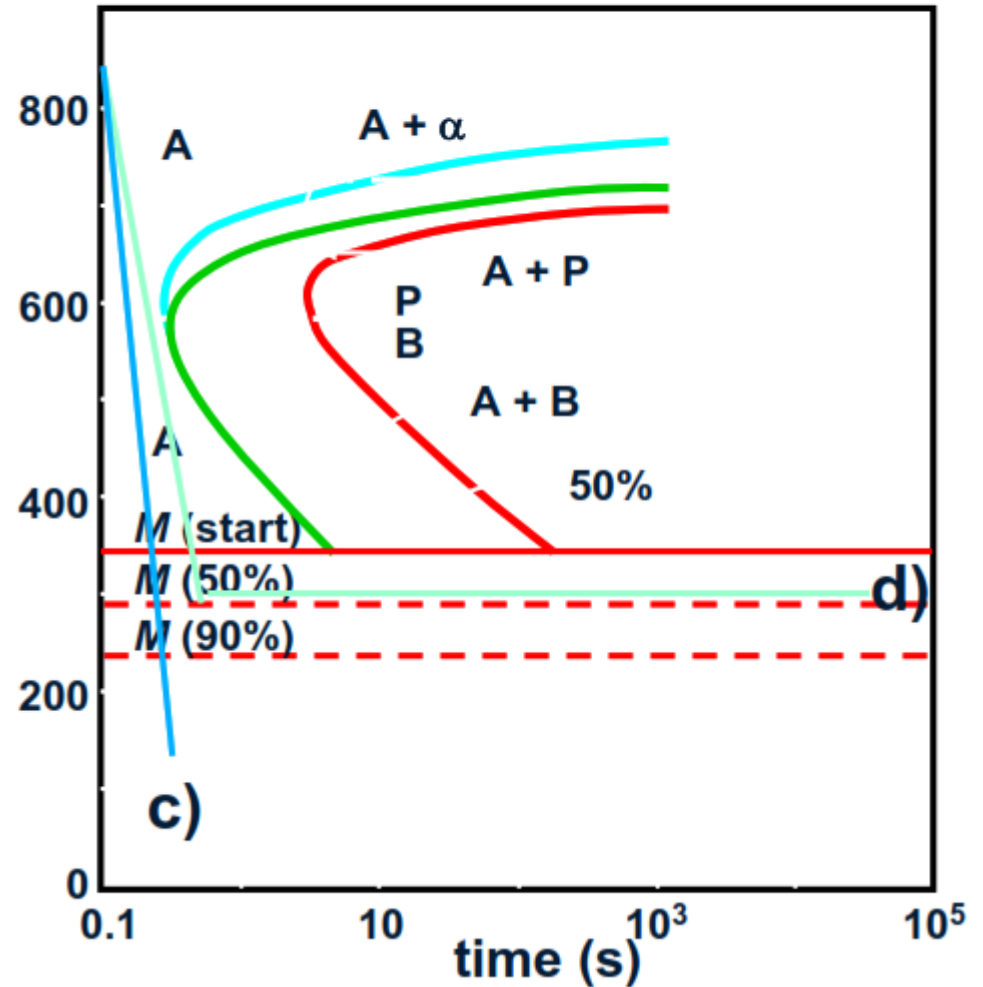
**Önce perlit,
ardından beyzit
oluşur.**

**Sıcaklık düştükçe
daha ince perlit
elde edilir.**



c) % 100 martensit – Su verme = hızlı soğutma

**d) 50 % martensit
ve 50 % ostenit**



KAYNAKLAR

- Callister 8. baskı online versiyon
- Prof. Dr. Sakin Zeytin Isıl işlemler ders notları
- K.T.Ü. Isıl İşlemler dersi slaytları
- Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER Isıl İşlemler Ders Notları
- Prof. Dr. Hatem AKBULUT Faz Dönüşümleri Ders Notları