



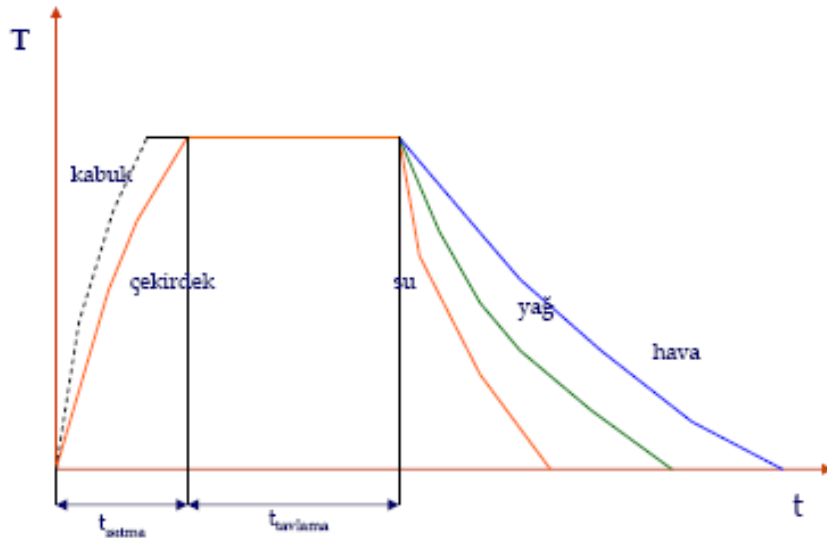
# Isıl İşlem

Isıl işlem, metal veya alaşımlarına istenen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Çeliğe uygulanan temel ısıl işlemler ostenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Çeliğin fiziksel ve mekanik özellikleri içerdiği dönüşüm ürününün cinsine miktarına ve metalografik yapısına bağlıdır. Isıl işlem esnasında başlangıçta, ostenitleştirme işlemi için çelik malzeme alt kritik sıcaklık çizgisinin ( $Ac_1$ ) üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Burada tamamen iç yapı dönüşümü gerçekleşene kadar bekletilir ve uygun bir hızla soğutma işlemi yapılır. Ötektoid altı çelikler üst kritik sıcaklık çizgisinin ( $Ac_3$ ) 40-60°C üzerindeki sıcaklıklarda, ötektoid üstü çelikler ise  $Ac_1$  ile bu çeliğe ait üst kritik sıcaklık çizgisi ( $Ac_m$ ) arasındaki sıcaklıklarda ostenitlenir.

Isıl işlemler, kırılabilirliği (gevrekliği) azaltmak, darbe direnci (tokluğu), aşınma direnci, sertlik, çekme ve akma mukavemetini artırmak, plastik şekil vermeyi kolaylaştırmak, soğuk şekil verilmiş parçalarda tane yapılarını düzeltmek gibi amaçlar için yapılır. Bu amaçları gerçekleştirmek için martenzit ve beynit fazı oluşturma, difüzyonla alaşım elementi ekleyerek karbür tanecikleri oluşturma, tane boyutlarını küçültme yada büyütme, tane biçimlerini değiştirme, gibi yöntemler kullanılır.

Isıl işlem;

1. Tavlama
  - Normalizasyon
  - Yumuşatma
  - Küreselleştirme
  - Gerilme giderme
  - İri tane tavlaması
  - Difüzyon tavlaması
2. Sertleştirme
3. Islah etme
4. Yüzey sertleştirme
  - Karbürleme
  - Nitrürleme
  - Alevle yüzey sertleştirme
  - İndüksiyonla sertleştirme

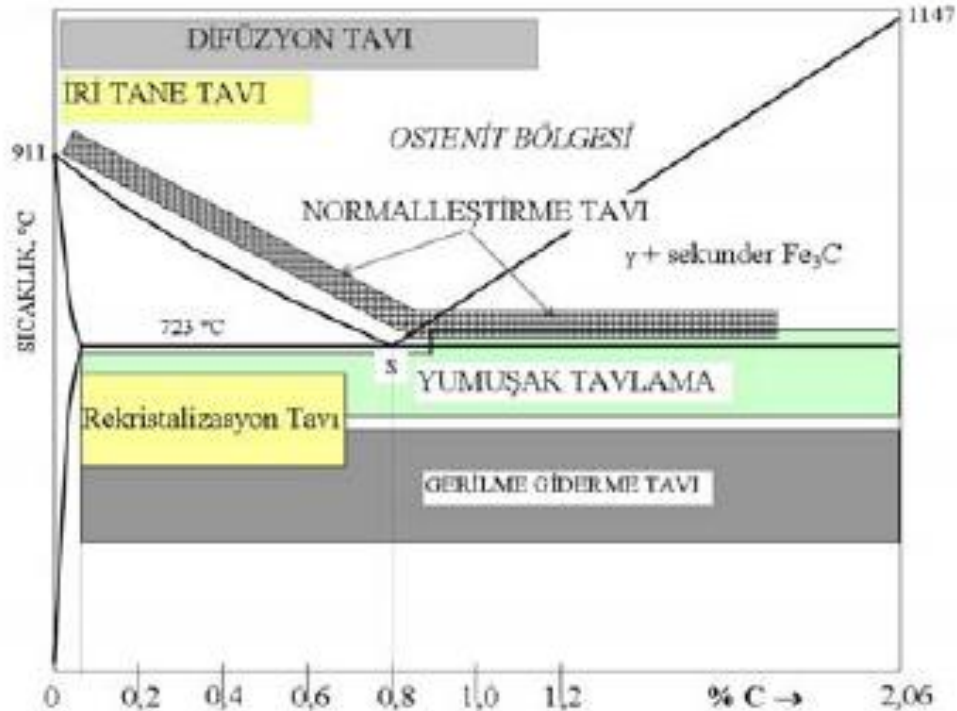


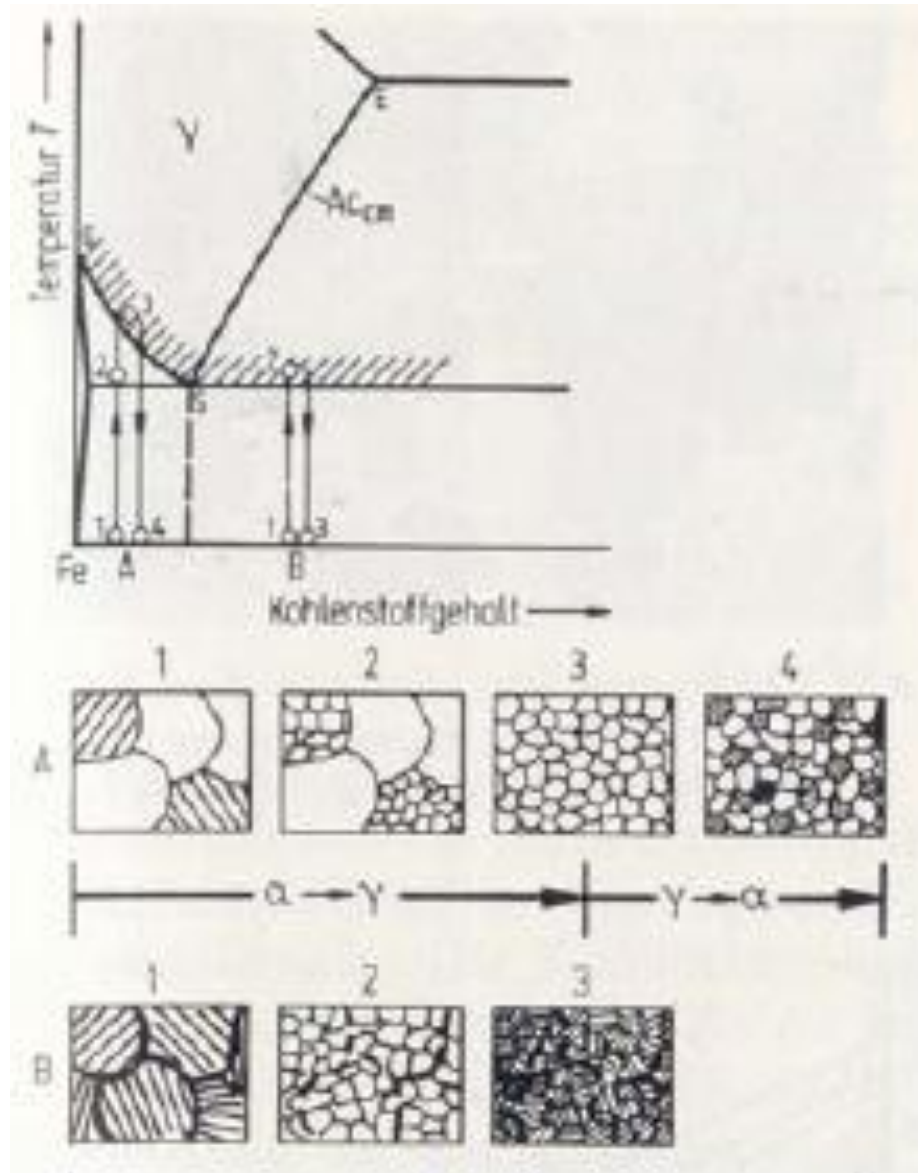
### Isıl işlemlerin yapılma nedenleri;

1. Talaşlı işlenebilme özelliği iyileştirilebilir (yumuşatma, tane irileştirme tavrı)
2. Dayanım artırılıp azaltılabilir (sertleştirme, normalleştirme, yumuşatma tavrı)
3. Soğuk şekil vermenin etkisi yok edilebilir (rekristalizasyon, normalleştirme tavrı)
4. Mikro segregasyonlar ortadan kaldırılabilir (difüzyon tavrı)
5. Tane büyüklüğü değiştirilebilir (normalleştirme, kristalizasyon, iri tane tavrı)
6. İç gerilmeler azaltılabilir (gerilme giderme)
7. Belirli iç yapılar elde edilebilir (normalleştirme, yumuşatma, sertleştirme)

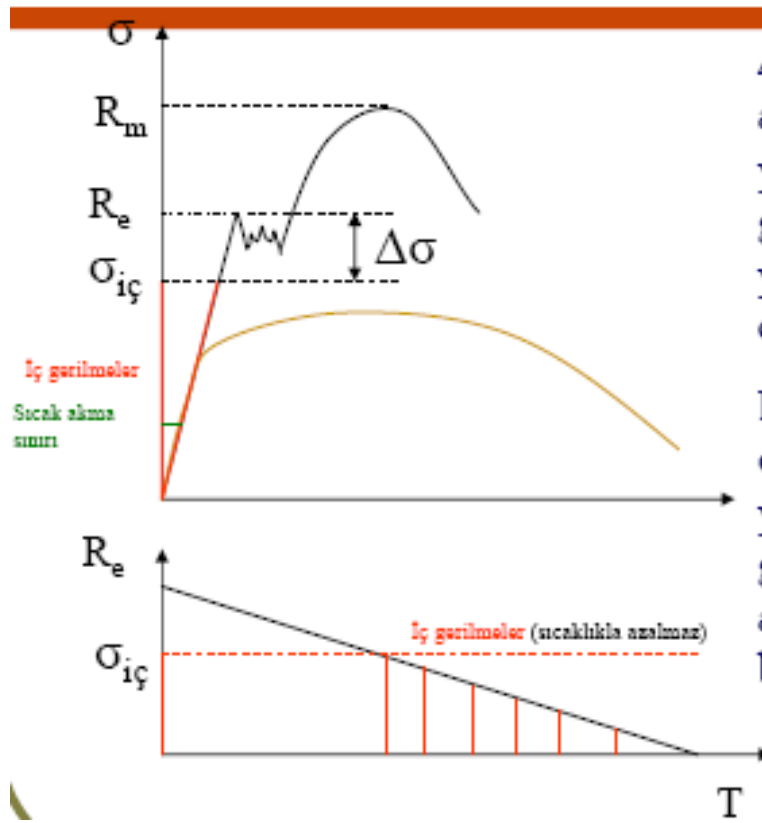
**1. Tavlama:** Çeliğin katılaşıma eğrisinin altındaki sıcaklığa kadar ısıtılıp, orada bekletilmesi ve soğutulması işlemidir. Yani malzeme daima katı haldedir.

- **Normalizasyon:** Tane küçültmek, homojen bir yapı elde etmek, mekanik özellikleri iyileştirmek ve ötektik üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak için yapılır. Ötektoid altı çelikler  $A_{c3}$ , ötektoid üstü çeliklerde  $A_{cm}$  eğrisinin yaklaşık  $40-50^{\circ}\text{C}$  üstünde sıcaklığa kadar ısıtılıp, fırın dışında sakin havada soğutma işlemidir. Normalizasyon işlemi sonrası dövülmüş, haddelenmiş, iri taneli ve eş yönlendirilmiş yapılar düzelir ve malzeme her zaman kazanabileceği özelliklere (çekme mukavemeti, süneklik gibi) geri döner.





- **Gerilme giderme:** Dökülmüş, sıcak dövülmüş, kaynak edilmiş parçalar ve soğuk çekilmiş malzemelere uygulanır. Yani üretim esnasında malzemede oluşacak iç gerilmeleri azaltma amacıyla uygulanır. Gerilme giderme tavlaması 550-650°C sıcaklığa kadar yavaş ısıtılıp, burada yaklaşık olarak 4 saat bekletilip ve yavaş soğutulularak yapılır. Tavlama işlemi hiçbir zaman 723°C nin üzerine çıkmaz.



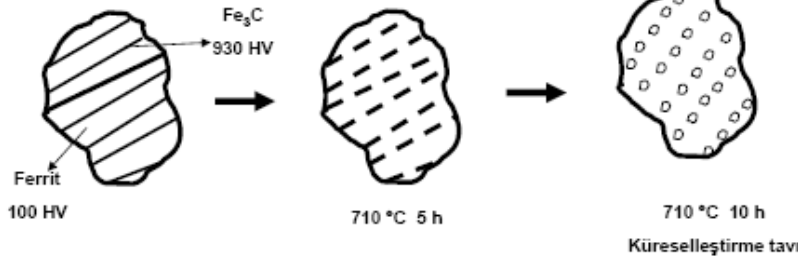
$\Delta\sigma$ : Normalde akma sınırı  $R_e$  ama biz bu değere kadar yükleyeceğimizi sanarken iç gerilmelerden dolayı yükleyebileceğimiz değer oldukça düşmüştür.

Bu sebeple akma sınırı düşürülürse iç gerilmelere iş yaptırmış oluruz ki bu da iç gerilmeleri azaltır. İç gerilmeler açığa çıktıkça malzemenin boyutlarında değişimler olur.

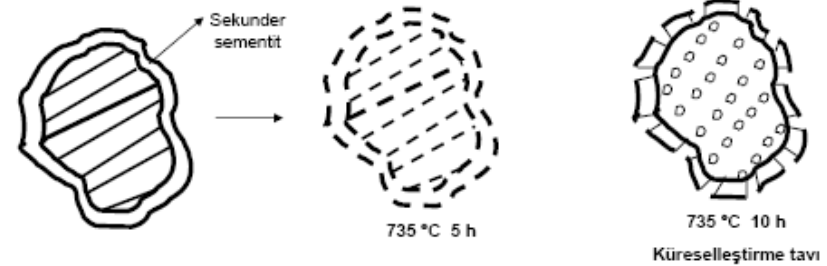
• **Yumuşatma tavlaması:** Çeliğin sertliğini azaltmak, talaş kaldırmayı iyileştirmek veya döküm ve dövme parçaların iç gerilmelerin azaltmak amacıyla yapılır. Ötektoid altı çelikler  $A_{c3}$ , ötektoid üstü çeliklerde  $A_{c1}$  eğrisinin üstünde belirli sıcaklığa kadar ısıtılıp, iç yapı ostenite dönüştükten sonra fırın içinde soğutma işlemidir. Ötektoid altı çelikler,  $A_{c3}$  çizgisinin en az  $10^{\circ}\text{C}$  üzerinde tavllanır ve yapıda ötektoid dışı ferrit ile kaba lamelli perlitten oluşan bir yapı oluşur. Ötektoid altı çelikler ise  $A_{c1}$  sıcaklığının en az  $10^{\circ}\text{C}$  üzerine tavllanır ve yapı kaba lamelli perlit alanı ile bunu çevreleyen ötektoid dışı sementitten oluşur. Yapıda sementitin bulunması talaş kaldırma işlemini zorlaştırır. Bu nedenle ötektoid üstü çeliklerde son işlem olarak yumuşatma tavlaması uygulanmaz.

Tavlama süresi uzun olup, 5 saatin altında uygulanmaz.

723 °C'nin altında



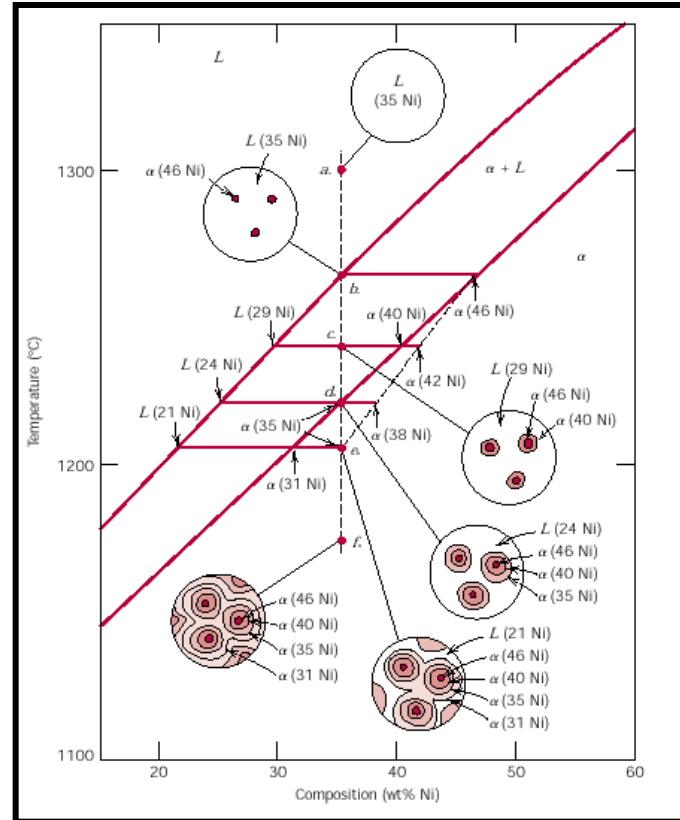
723 °C'nin üzerinde



Sekünder sementit, yumuşatma tavlama sırasında zaman zaman  $A_{c1}$  Sıcaklığının üzerine çıkılmasının sebebi bu sekünder lamellerini de kırabilmektir.

Sert sementit lamellerinin kırılması ile çelik yumuşar.

- **İri tane tavlaması:** Çoğunlukla az C lu çeliklere talaş kaldırma özelliğini iyileştirmek için uygulanır. Malzeme birkaç saat süre ile  $Ac_3$  sıcaklığının  $150^\circ\text{C}$  sıcaklığına kadar tavllanır ve yavaş olarak soğumaya bırakılır.
- **Difüzyon tavlaması:** Çözünebilir bileşenlerin iç yapıda düzenli bir şekilde dağılması amacıyla yapılır. Parça içerdiği C miktarına göre  $1000\text{-}1300^\circ\text{C}$  arasına kadar ısıtılır. Gerekli tedbirler alınmazsa tane büyümesi, dekarbürizasyon ve oksidasyon meydana gelebilir.

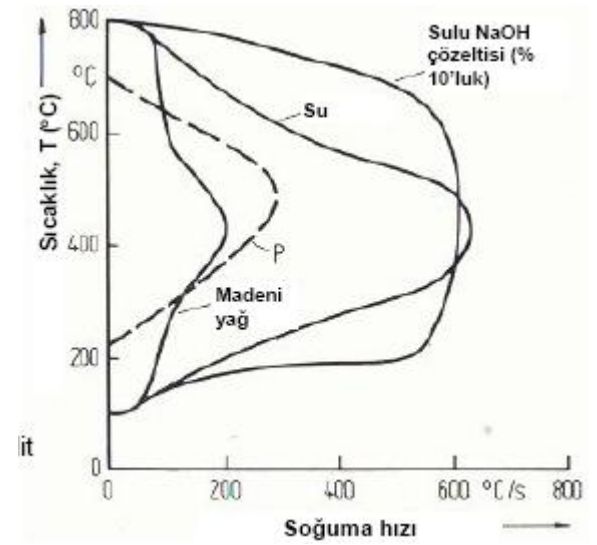
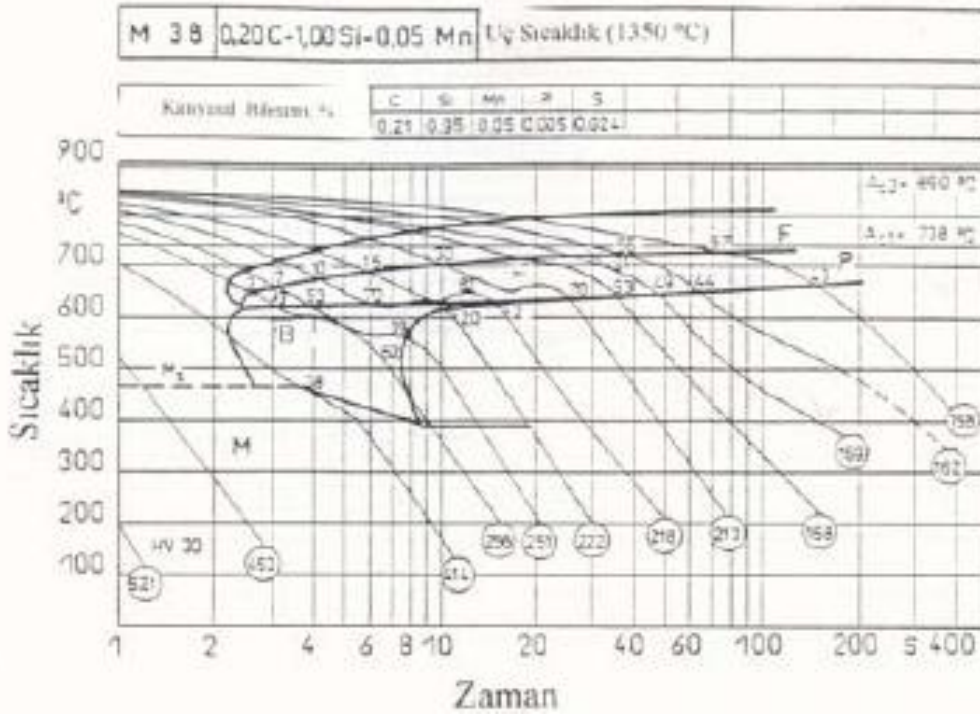


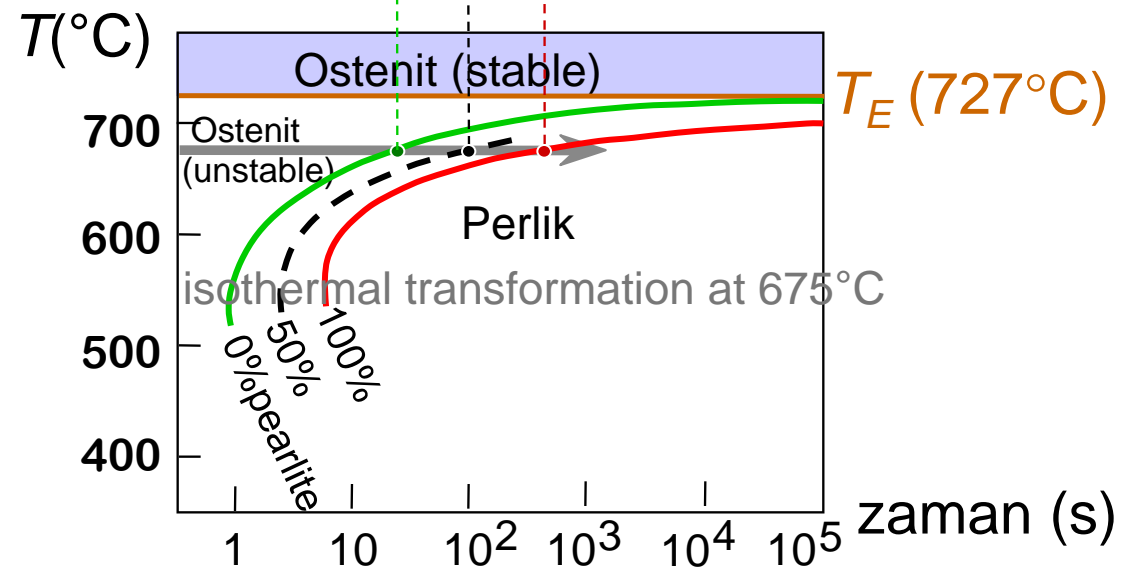
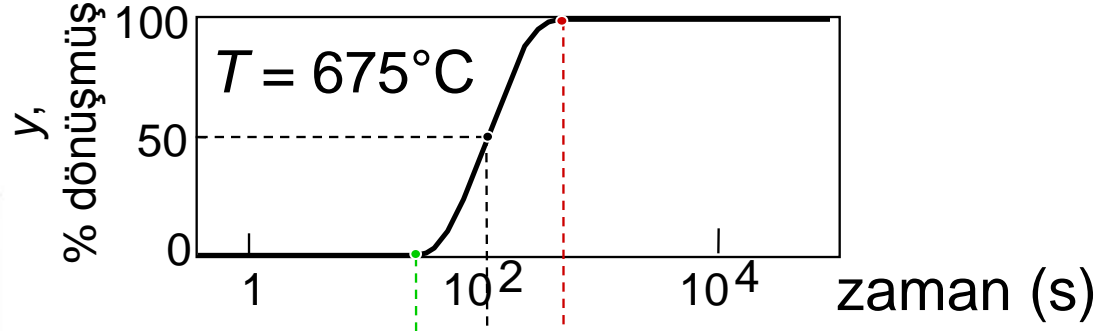
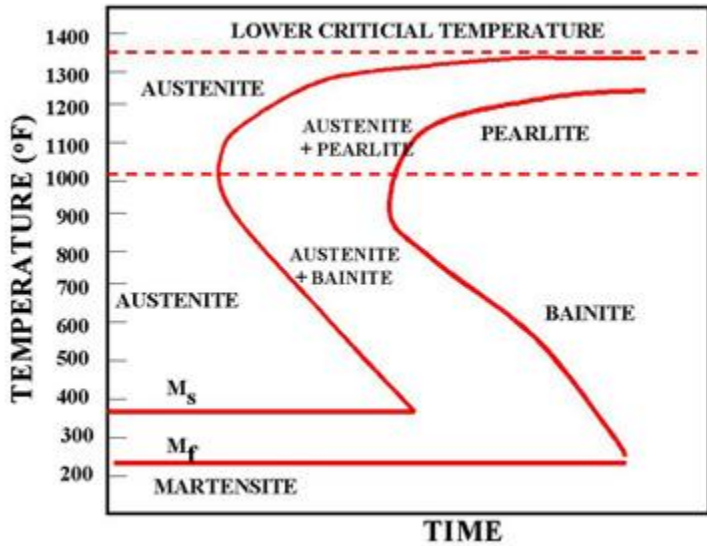


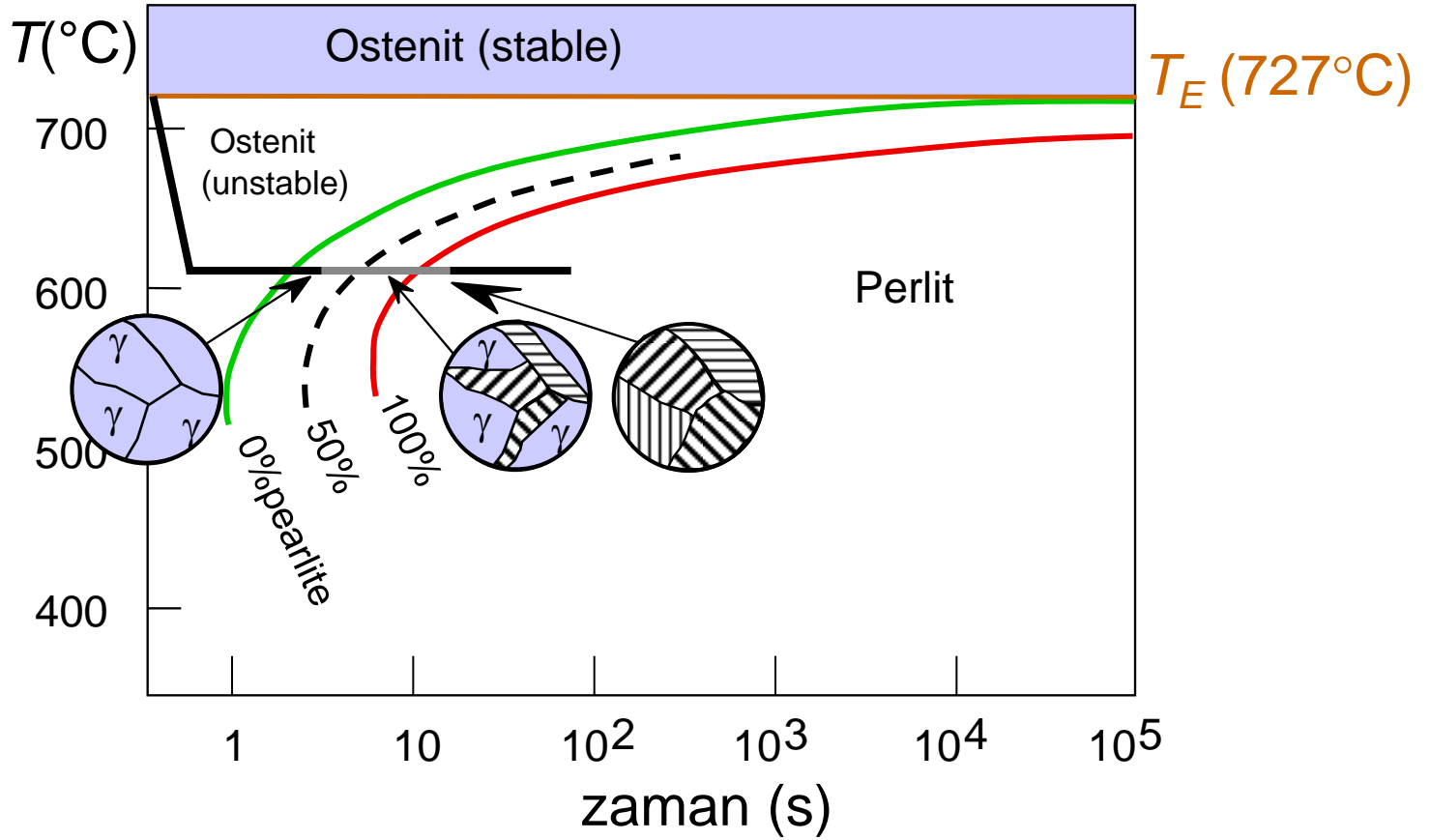
İzotermal dönüşüm sabit sıcaklıkta meydana gelen faz dönüşümü demektir. Demir-karbon denge durumu yalnız denge durumu için geçerlidir. Bu nedenle denge durumunun dışındaki (hızlı soğuma gibi) geçerli değildir. İzotermal dönüşüm diyagramlarının çıkarıldığı için en kolay örnek %0.8C içeren perlitik dönüşümdür. İşlem adımları:

1. %0.8 C içeren çok sayıda örnek 775°C'de yeterli bir süre tutularak yapılarının tamamen ostenit olması sağlanır.
2. Ostenitleştirme işleminden sonra Ac1 den daha düşük bir sıcaklıkta erimiş tuz veya yağ banyosunu bu numuneler daldırılır.
3. Bu banyoda belirli bir süre (5, 10, 15 saniye gibi) bekletilen numuneler soğuk su veya tuzlu suda soğutulur.
4. Soğutulan numunelerden hem sertlik ölçümü alınır hem de iç yapı incelenmesi yapılır.

Bu işlemler Ac1 çizgisinin altındaki farklı dönüşüm sıcaklıklarında tekrarlanarak izotermal dönüşüm eğrileri çizilir.





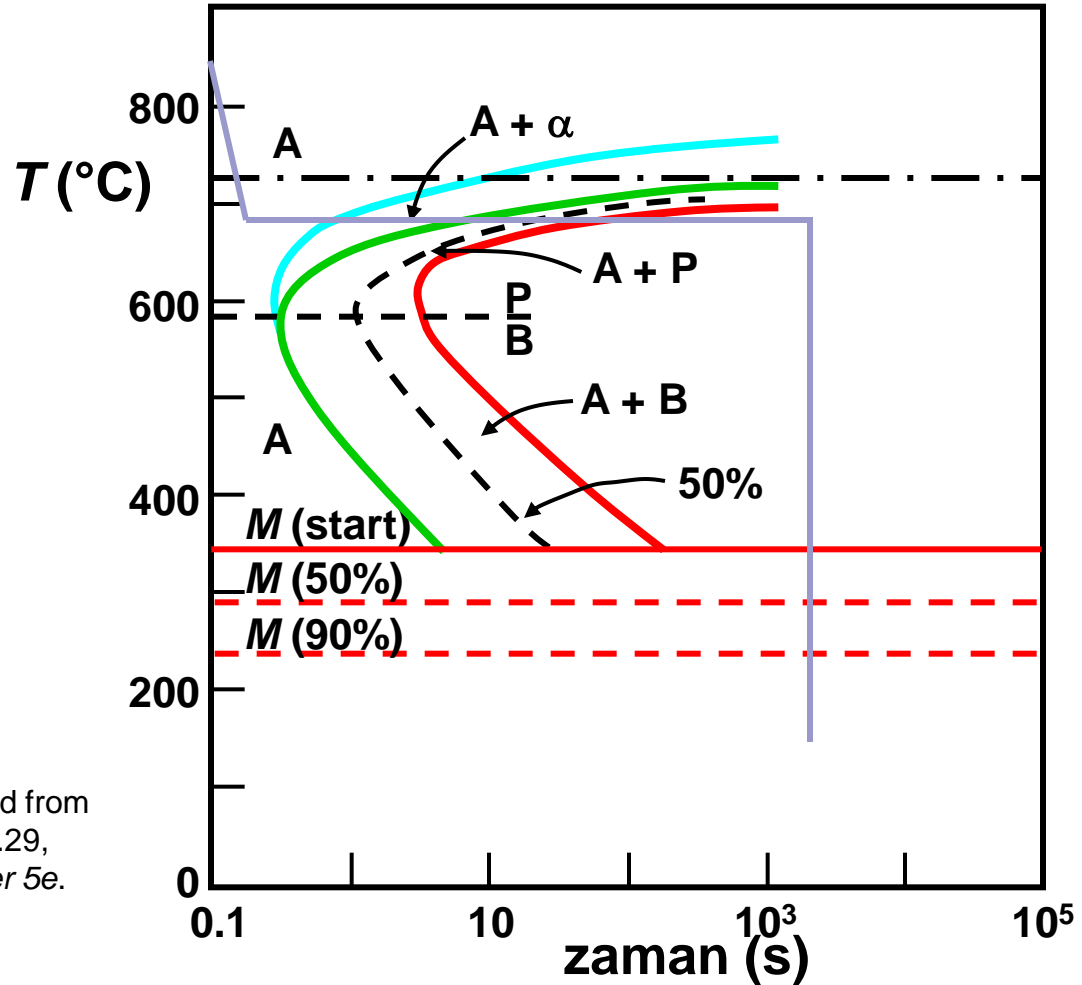


# $C_o = 0.45 \text{ wt\%}$ için örnek

a) 42% ötektik ferrit and 58% kaba taneli perlit

ilk olarak ferrit  
daha sonra perlit

Kaba taneli perlit  
∴ daha yüksek  $T$



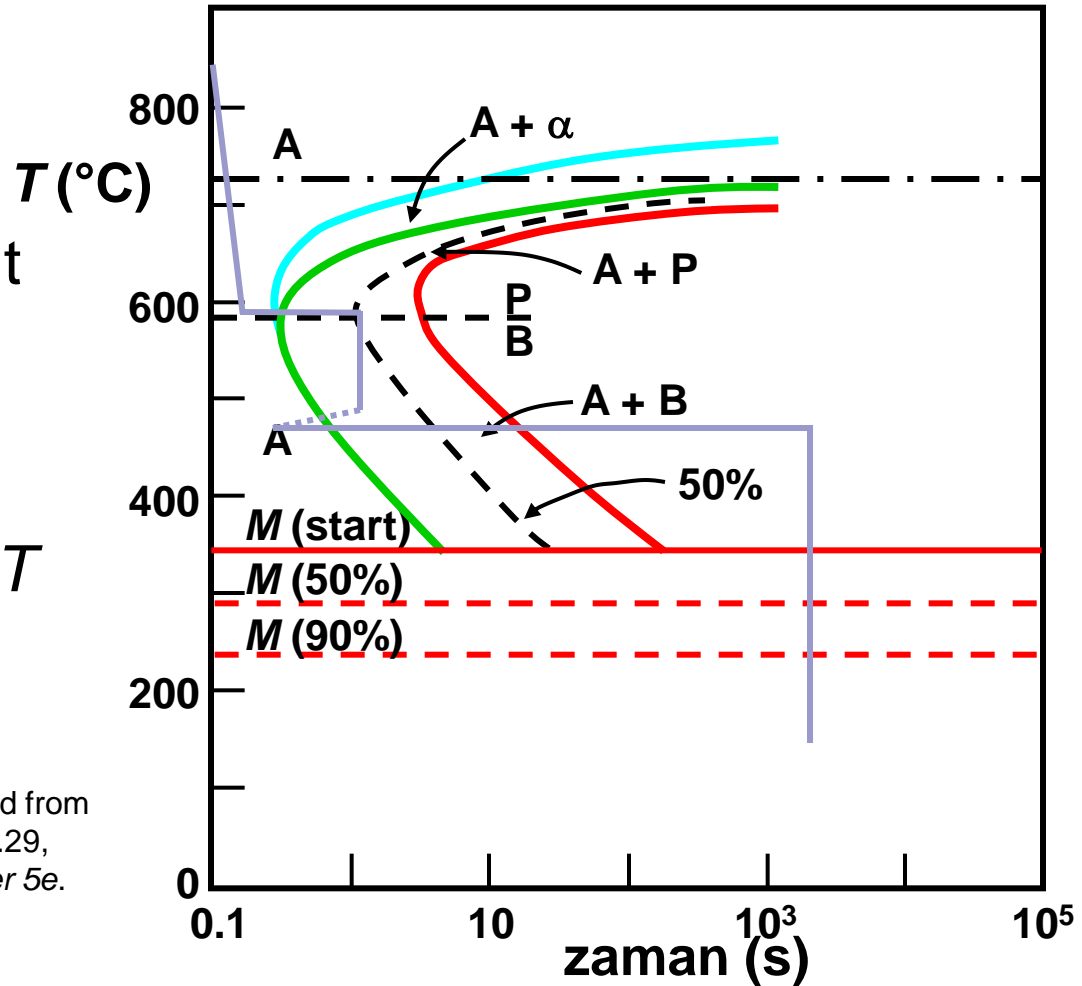
Adapted from  
Fig. 10.29,  
Callister 5e.

$$C_o = 0.45 \text{ wt}\%$$

b) 50% ince taneli ve 50% beynit

İlk perlit oluşur  
Daha sonra beynit

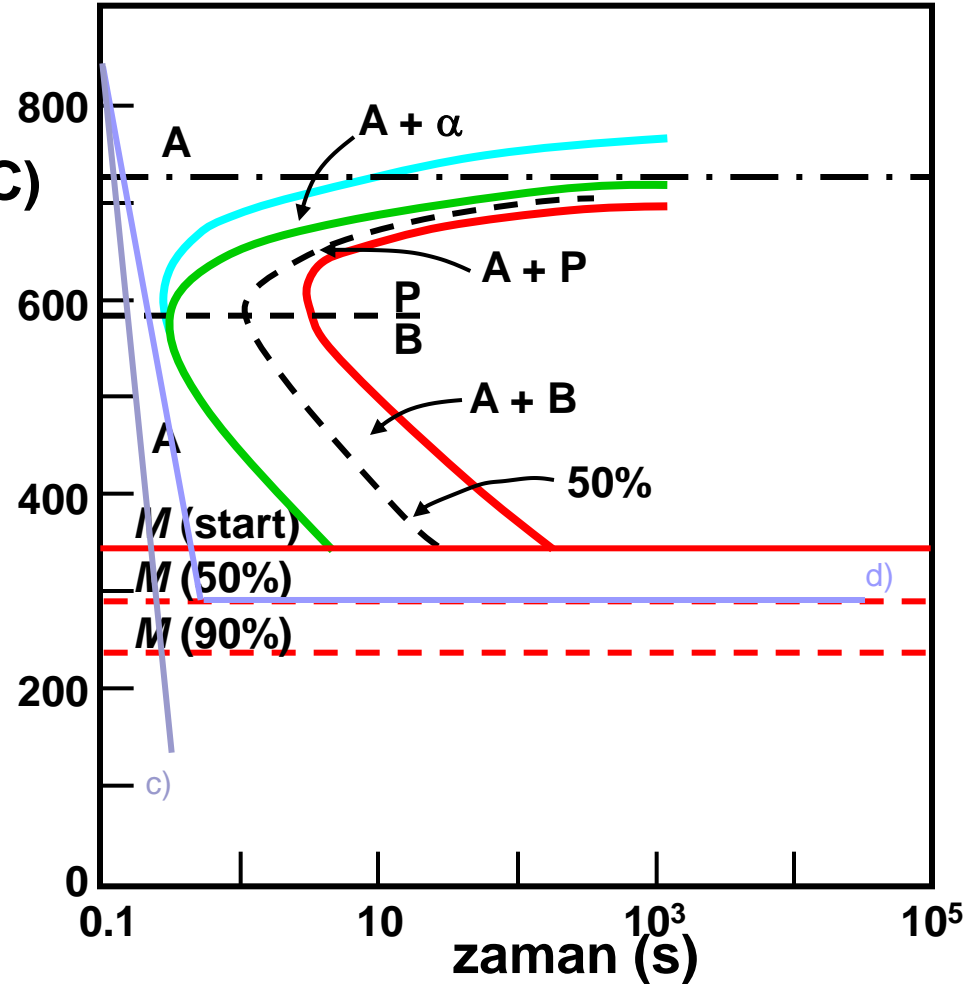
ince taneli perlit  
∴ daha düşük  $T$

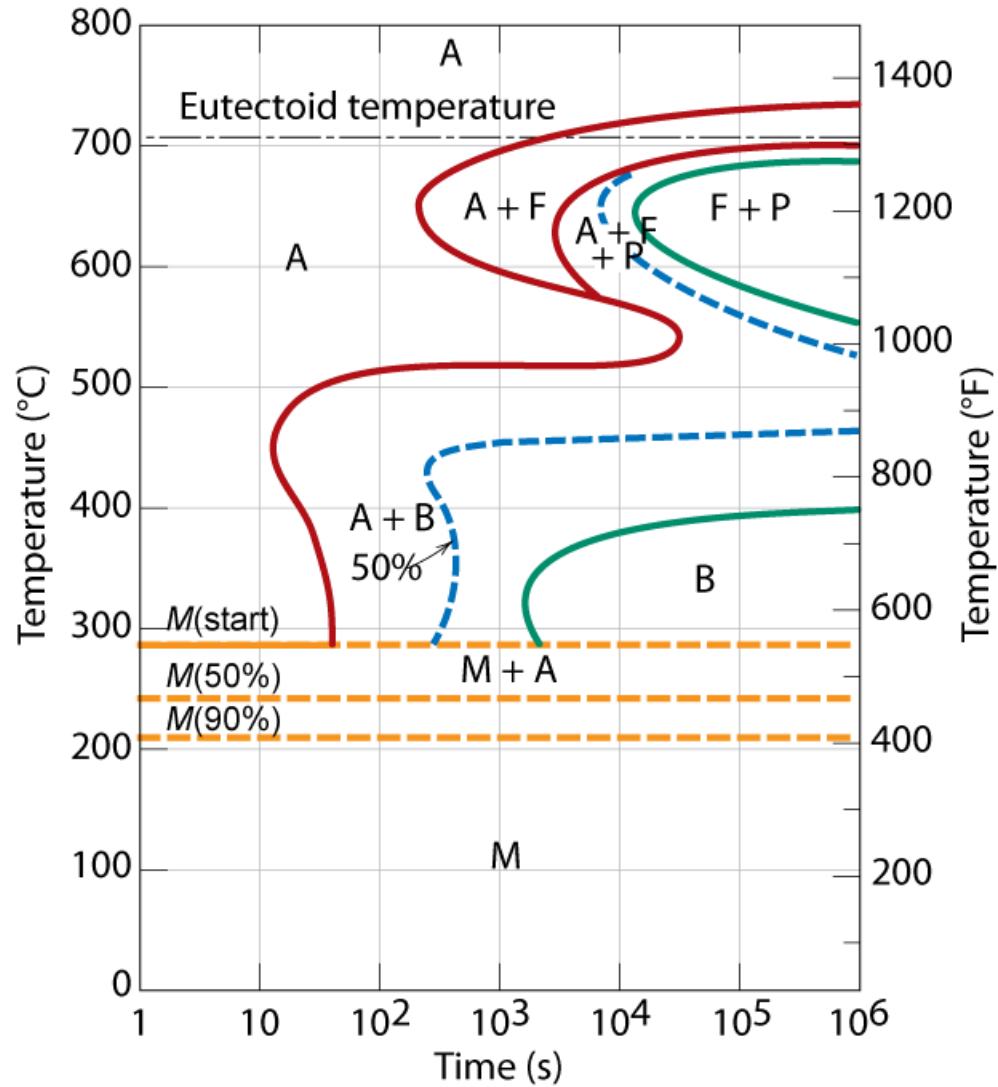


Adapted from  
Fig. 10.29,  
Callister 5e.

$$C_o = 0.45 \text{ wt\%}$$

- c) 100 % martenzit – su verme = hızlı soğuma
- d) 50 % martenzit  
ve 50 % ostenit  $T$  (°C)

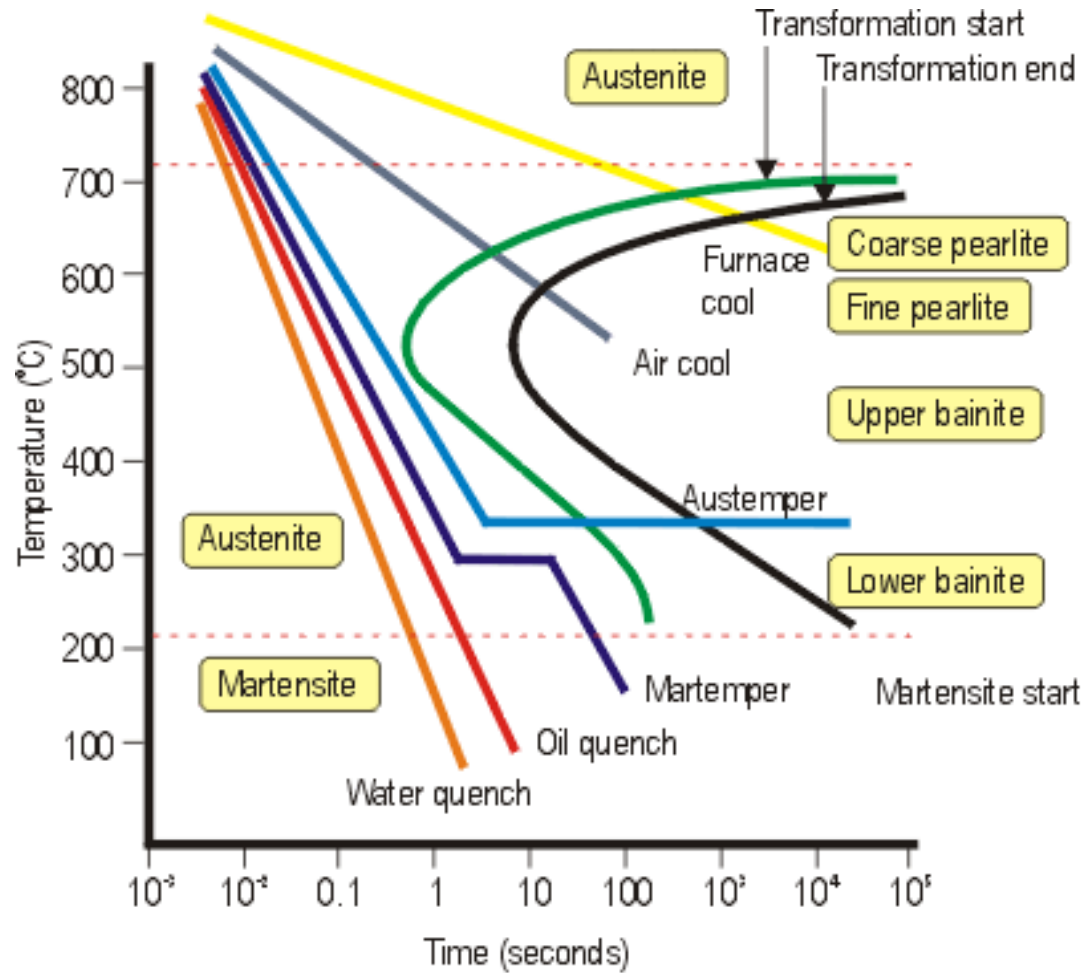






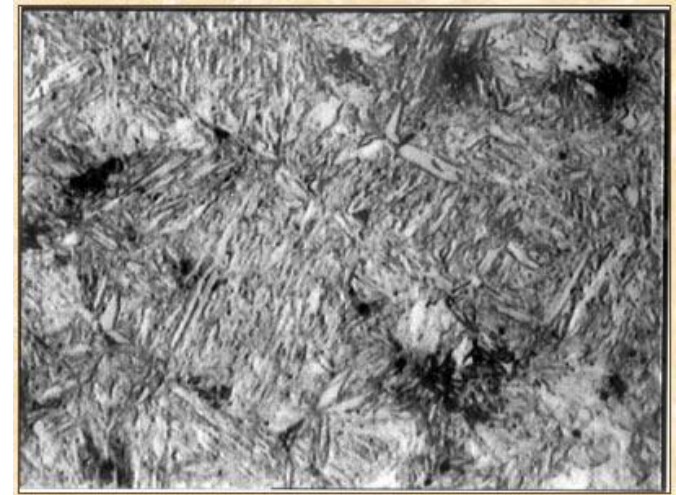
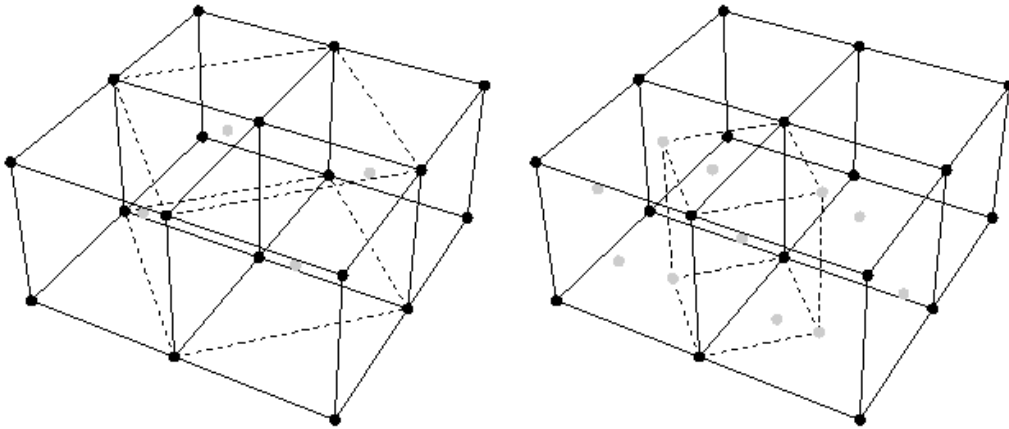
**Martemperleme:** Sertleştirilecek malzeme ostenitleştirme işlemine tabi tutulduktan sonra Ms sıcaklığının hemen üzerinde ki bir sıcaklıkta tutulan kurşun veya tuz banyosuna daldırılır. Parça yüzeyi ile merkezinin sıcaklıkları aynı oluncaya kadar banyoda tutulur. Daha sonra parçaya su verilerek mertenzitik yapı elde edilir.

**Ostemperleme:** Sertleştirilecek malzeme ostenitleştirme işlemine tabi tutulduktan sonra Ms sıcaklığının üzerinde kurşun veya tuz banyosuna daldırılır. Parça da beynitik dönüşüm oluncaya kadar banyoda bekleme yapılır. Sonra havada soğutulur. Böylece beynitik yapı elde edilir. Burada sertlik biraz düşüktür, fakat tokluk yüksektir.



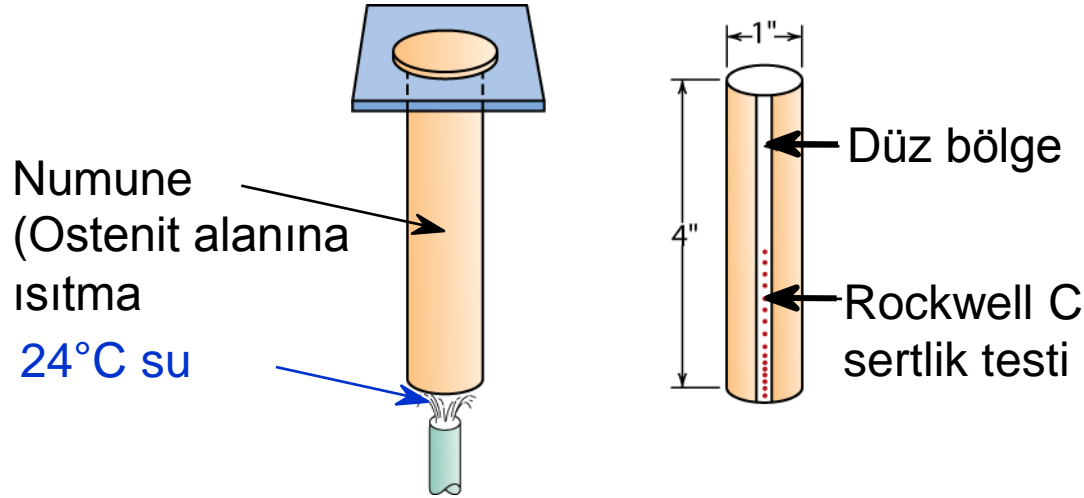
Martenzit, Hacim merkezli tetragonal (HMKT) yapıya sahip yarı dengeli bir fazdır. HMK yapıya sahip  $\alpha$  fazının C ile aşırı doymuş hali olarak kabul edilebilir. Martenzitik dönüşüm difüzyonsuz işlemler için kullanılır. Martenzitik reaksiyonlardada çekirdeklenme ve büyüme söz konusudur. Çekirdeklenme için aşılması gerekli enerji bariyeri oldukça yüksektir. Bu nedenle martenzitik reaksiyon için malzemeyi dengeli dönüşüm sıcaklığının çok çok altına ani olarak soğutmak gerekir. Martenzitin büyümesi ise oldukça kolaydır ve büyüme ses hızına kadar ulaşır.

Çeliklerdeki martenzitik dönüşüm ostenit bölgesinden ani olarak martenzit oluşumun başladığı sıcaklığa kadar çelik soğutulur. Ostenit fazında çözünen C, kristal kafesini terk edemeyip karbür yapamadığı için ostenit içerisinde hapsolür. Bu sıcaklıkta HMK yapıya sahip olması gereken demir C atomlarının kafeste hapsolmesi nedeniyle kristal yapı parametreleri değişerek HMKT yapıya sahip olur.

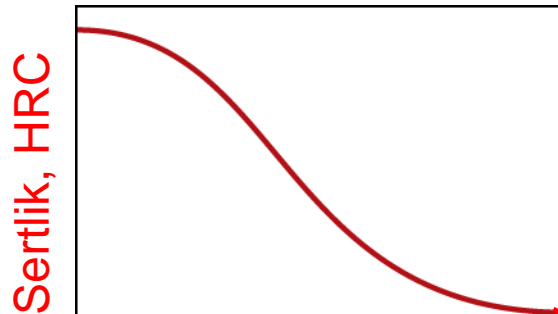


# Çeliklerin sertleşebilirliği

- Martenzit oluşturma yeteneği
- Sertleşebilirlik miktarını tespit için jominy deneyi.



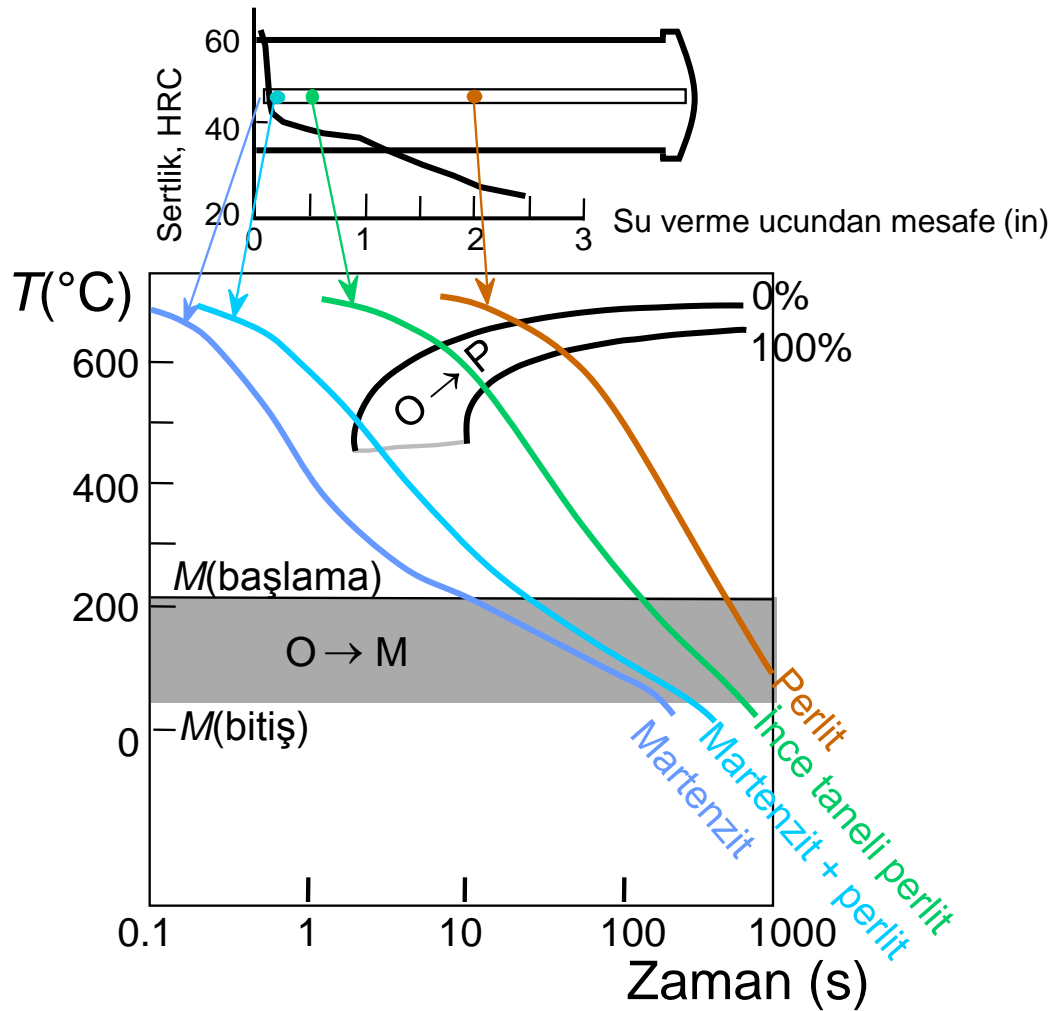
- Su verme ucundan itibaren mesafe ile sertlik değişimi



Su verme ucundan mesafe

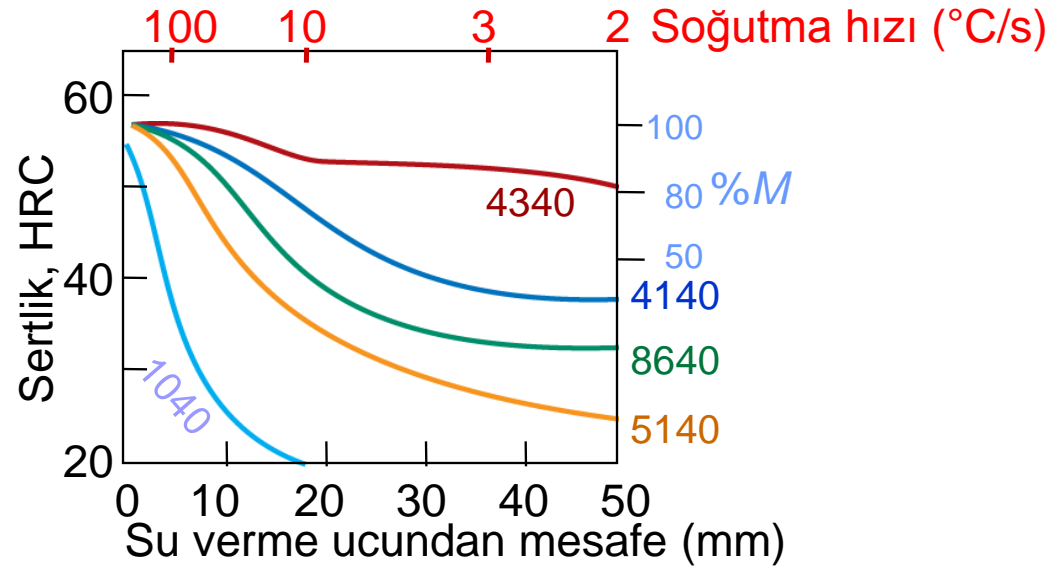
# Niçin mesafeye göre sertlik deęiřir?

- Mesafeyle soğutma hızı değişir

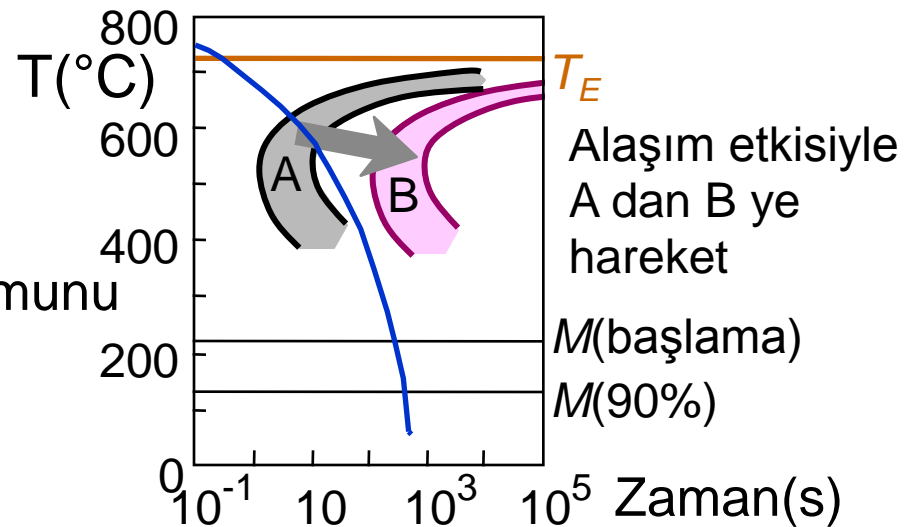


# Alaşım içeriği ile sertleşebilirlik

- Jominy sonuçları  
 $C = 0.4 \text{ wt\% C}$



- “Alaşımli çelikler”  
(4140, 4340, 5140, 8640)  
-- Ni, Cr, Mo içerir  
(0.2 to 2wt%)  
--Bu elementler burunun konumunu değiştirir  
--Martenzit daha kolay oluşur



# Su verme ortamı ve geometrisi

- Su verme ortamının etkisi:

Orta	Su verme şiddeti	Sertlik
Hava	Düşük	Düşük
Yağ	Orta	Orta
Su	Yüksek	Yüksek

- Geometri etkisi:

Yüzeyle hacim oranı arttığı zaman:

- soğutma hızı artar
- sertlik artar

