

# 11.8 ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

## Sertleşebilme Kabiliyeti

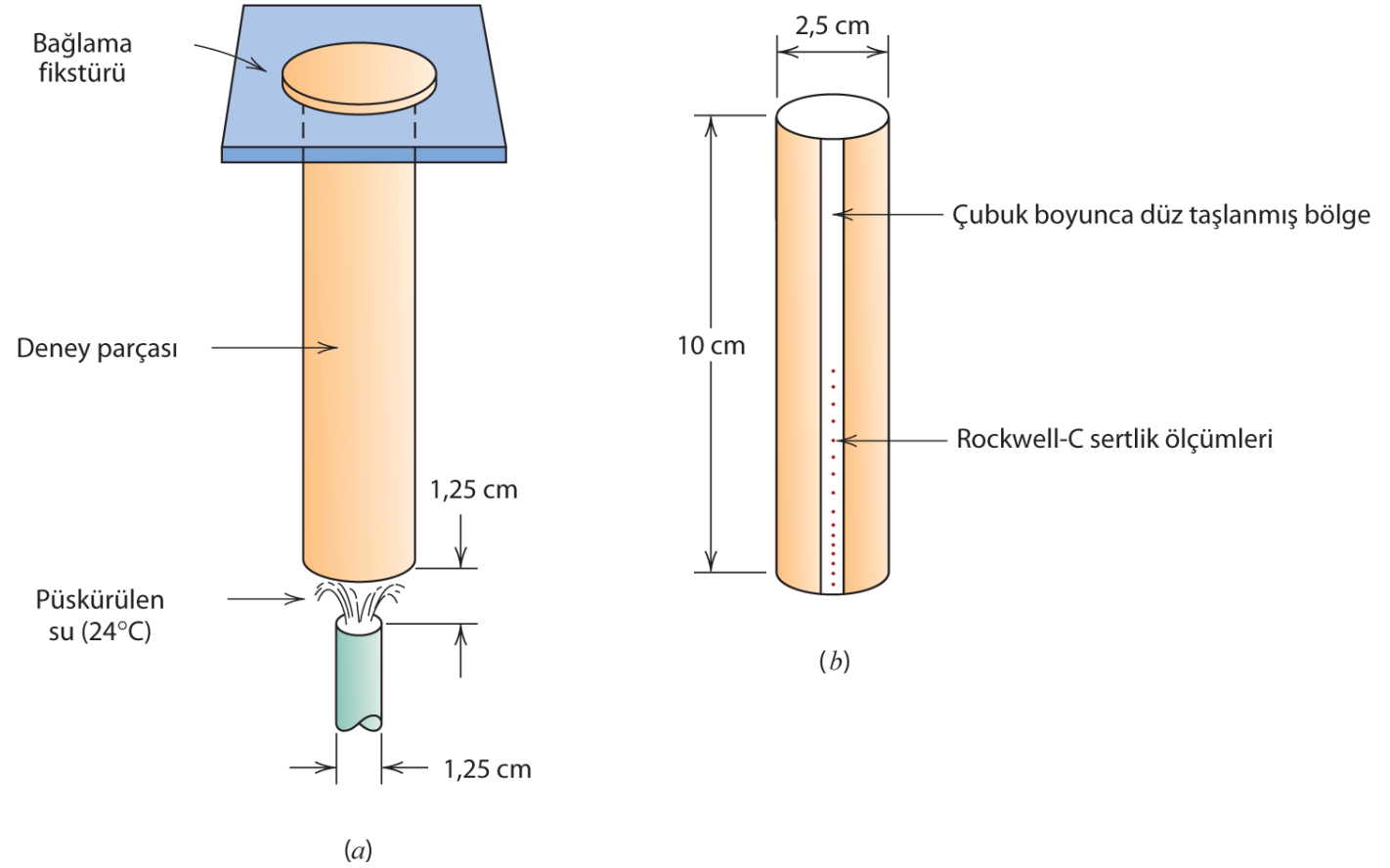
- Kimyasal bileşiminin, su verme işlemi sırasındaki çeliğin martenzite dönüşebilme yeteneğine olan etkisi **sertleşebilme kabiliyeti** olarak tanımlanan bir parametreyle ilişkilidir. Her farklı çelik için, soğuma hızı ile elde edilen mekanik özellikler arasında özel bir ilişki söz konusudur. **Sertleşebilme kabiliyeti** ısıtma işlemle sertleştirilen çeliğin martenzit oluşturabilme kabiliyetini tanımlayan bir kavramdır.

## ***Jominy (Uçtan Su Verme) Deneyi***

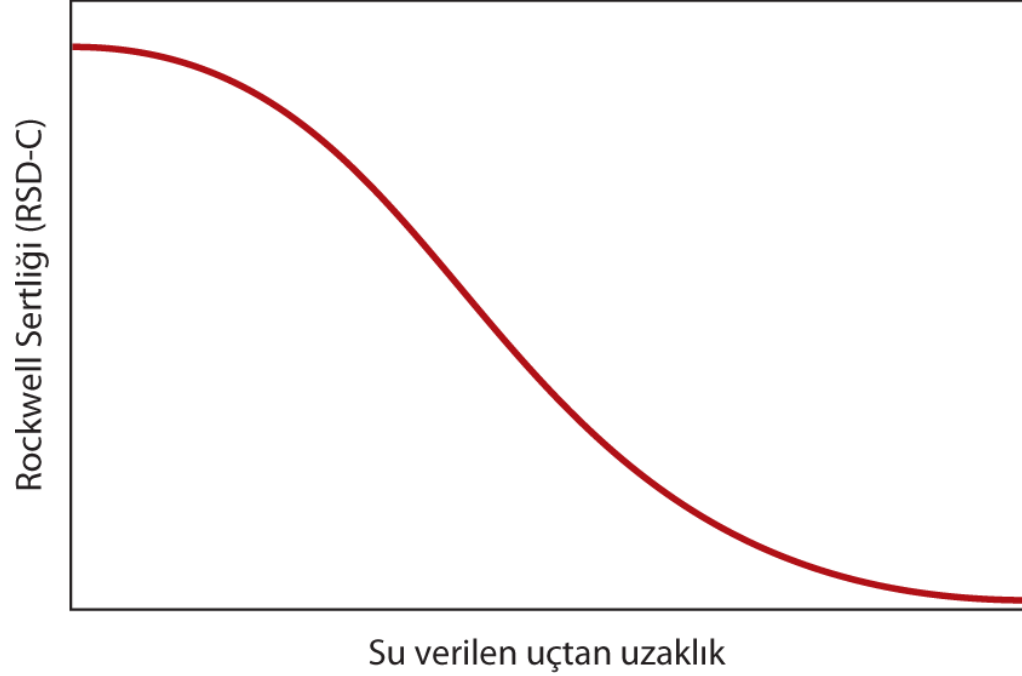
- Çeliklerin sertleşebilme kabiliyetini belirlemede kullanılan standart yöntemlerden birisi **Jominy (uçtan su verme) deneyi**dir. Çeliğin bileşimi dışında, parçanın kazandığı sertliğin içeri doğru değişimini etkileyebilecek boyut, şekil ve su verme işlemi gibi, tüm diğer faktörler bu deneyde sabittir.

### Şekil 11.11

Jominy deney parçasının (a) su verme sırasındaki durumu, (b) silindirik yüzeyde taşlanarak düzleştirilmiş bölgenin yapılan sertlik deneyleri sonrasındaki durumu. [*Essentials of Materials Science*, A. G. Guy, McGraw Hill, New York, 1978.]



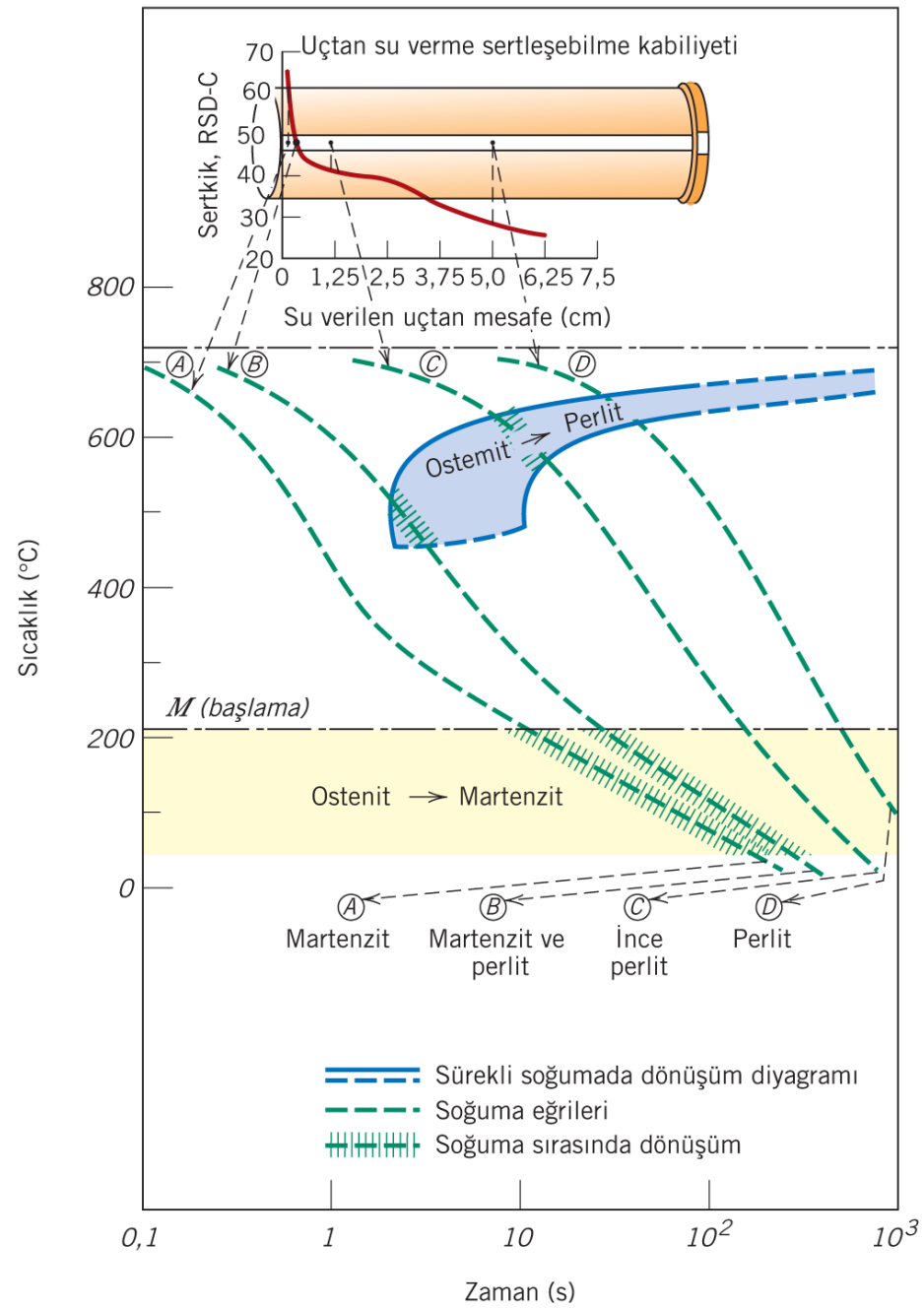
# Çeliklerin Sertleşebilme Eğrileri

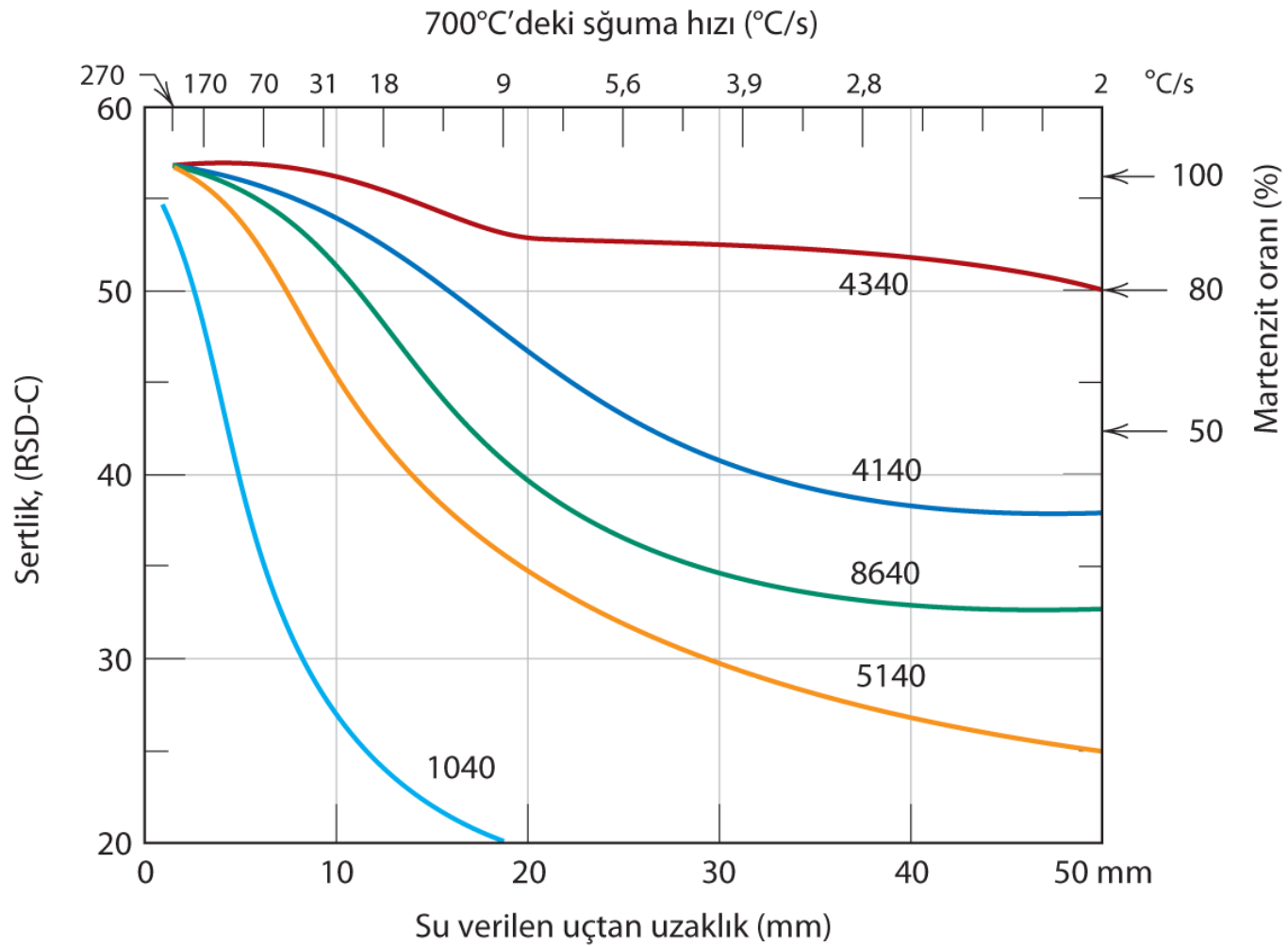


**Şekil 11.12** Bir çeliğe ait, RSD-C sertlik değerlerinin su verilen yüzeyden uzaklaştıkça değişimini veren tipik bir sertleşebilme eğrisi

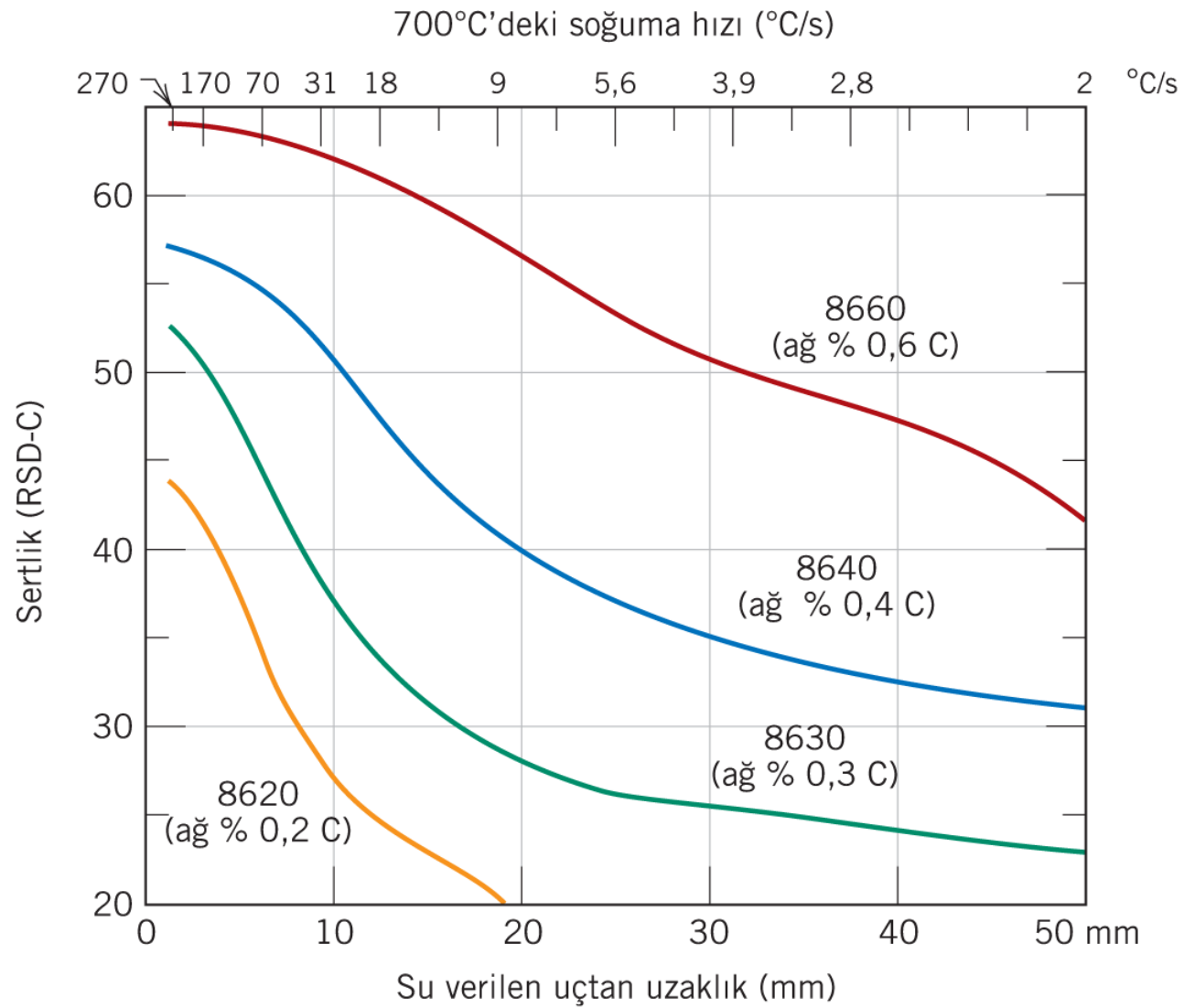
**Şekil 11.13**

Ötektoid çeliğin sertleşebilme ve sürekli soğumadaki dönüşüm diyagram verileri arasındaki ilişki.  
[Atlas of Isothermal Transformation and Cooling Transformation Diagrams, H.Boyer (Editor), ASM, 1977, p. 376]

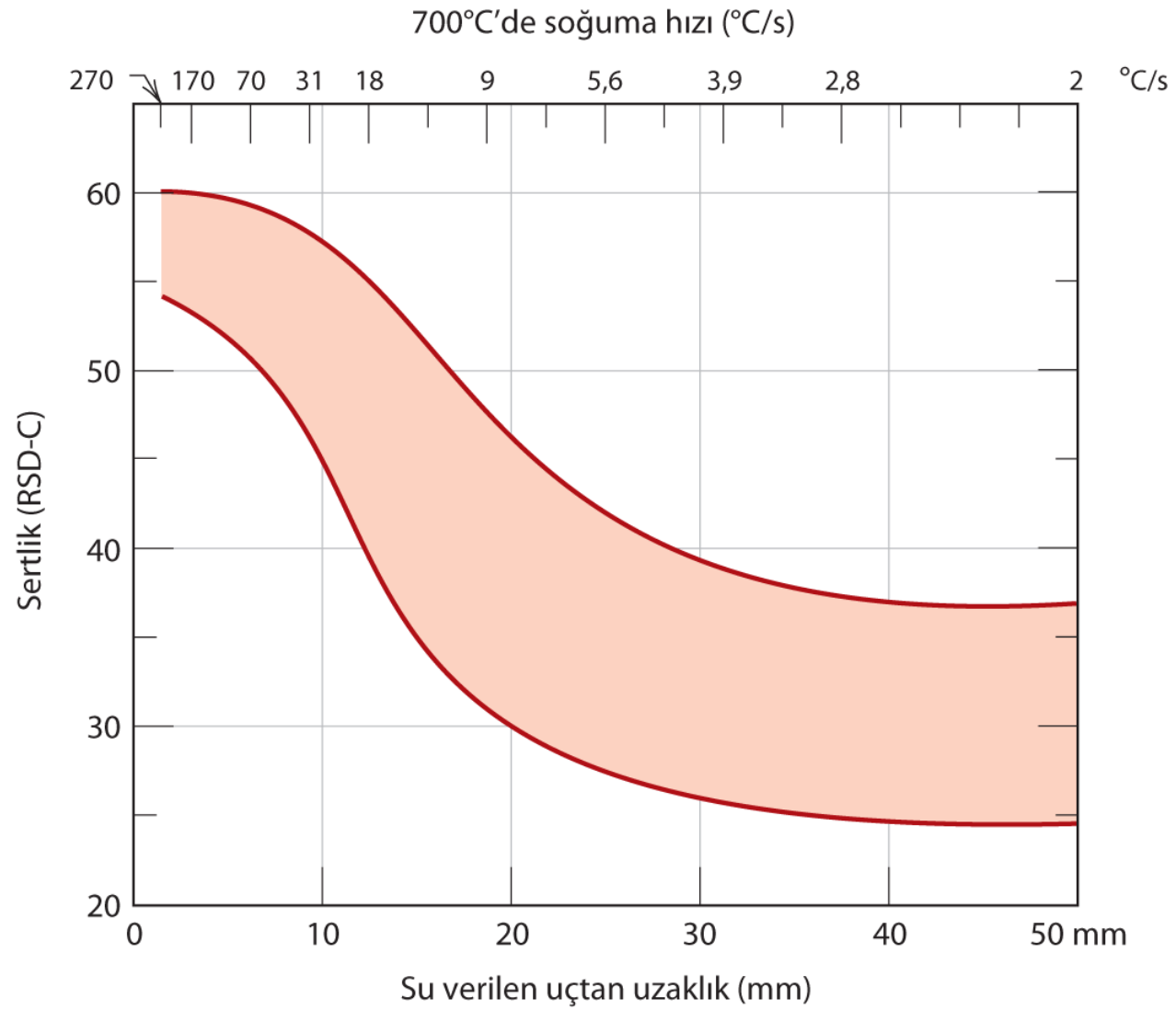




**Şekil 11.14** Ortak olarak ağırlıkça % 0,4 C içeren beş farklı çeliğe ait sertleşebilme eğrileri. Bu çeliklerin ağırlık yüzdesi olarak yaklaşık kimyasal bileşimleri: 4340–1,85 Ni, 0,80 Cr ve 0,25 Mo; 4140–1,0 Cr ve 0,20 Mo; 8640–0,55 Ni, 0,50 Cr ve 0,20 Mo; 5140–0,85 Cr; 1040-basit karbonlu çelik. [Republic Steel Corporation izni ile kullanılmıştır.]



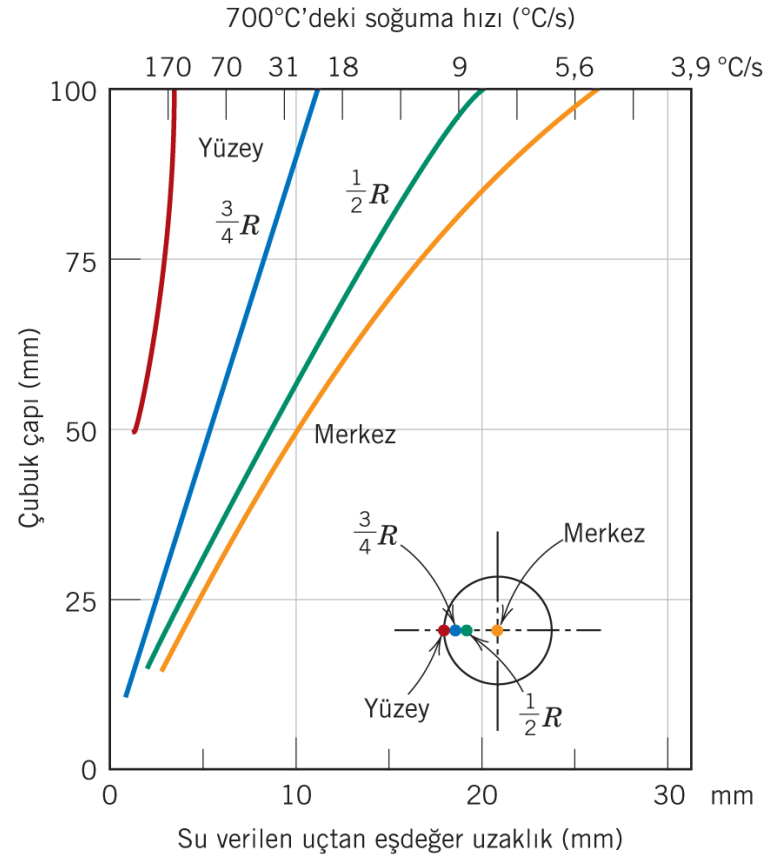
**Şekil 11.15** Farklı seviyede karbon içeren 8600 serisi dört çeliğe ait sertleşebilme eğrileri [Republic Steel Corporation firmasının izni ile basılmıştır.]



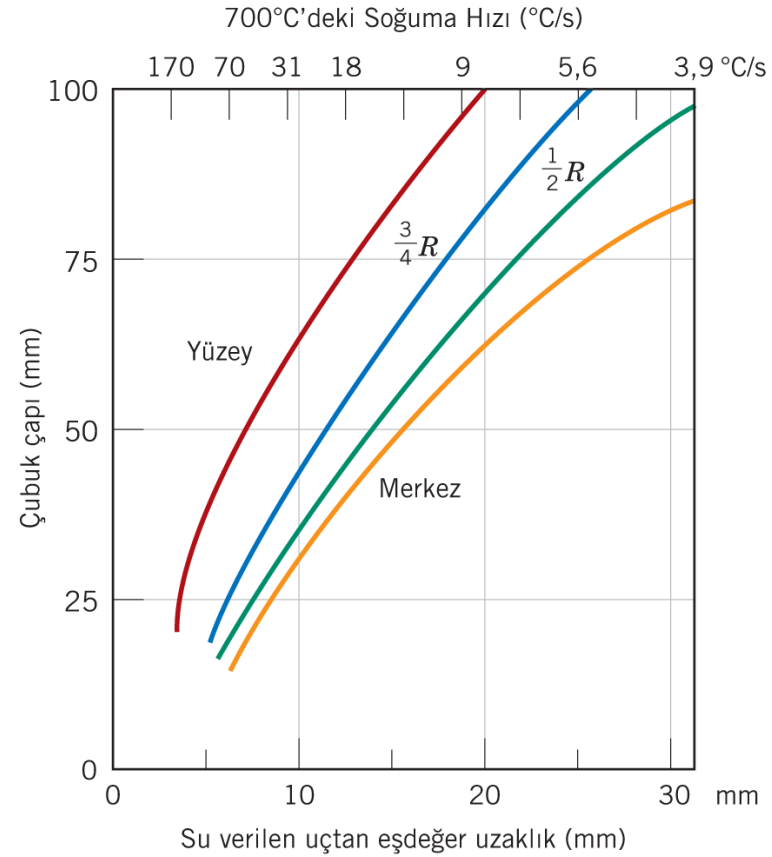
**Şekil 11.16** 8640 çeliği için en yüksek ve en düşük sertlik sınırlarını gösteren sertleşebilme bandı [Republic Steel Corporation Firmasının izni ile basılmıştır.]



# Soğutma Ortamının, Parça Şekil ve Boyutunun Etkileri

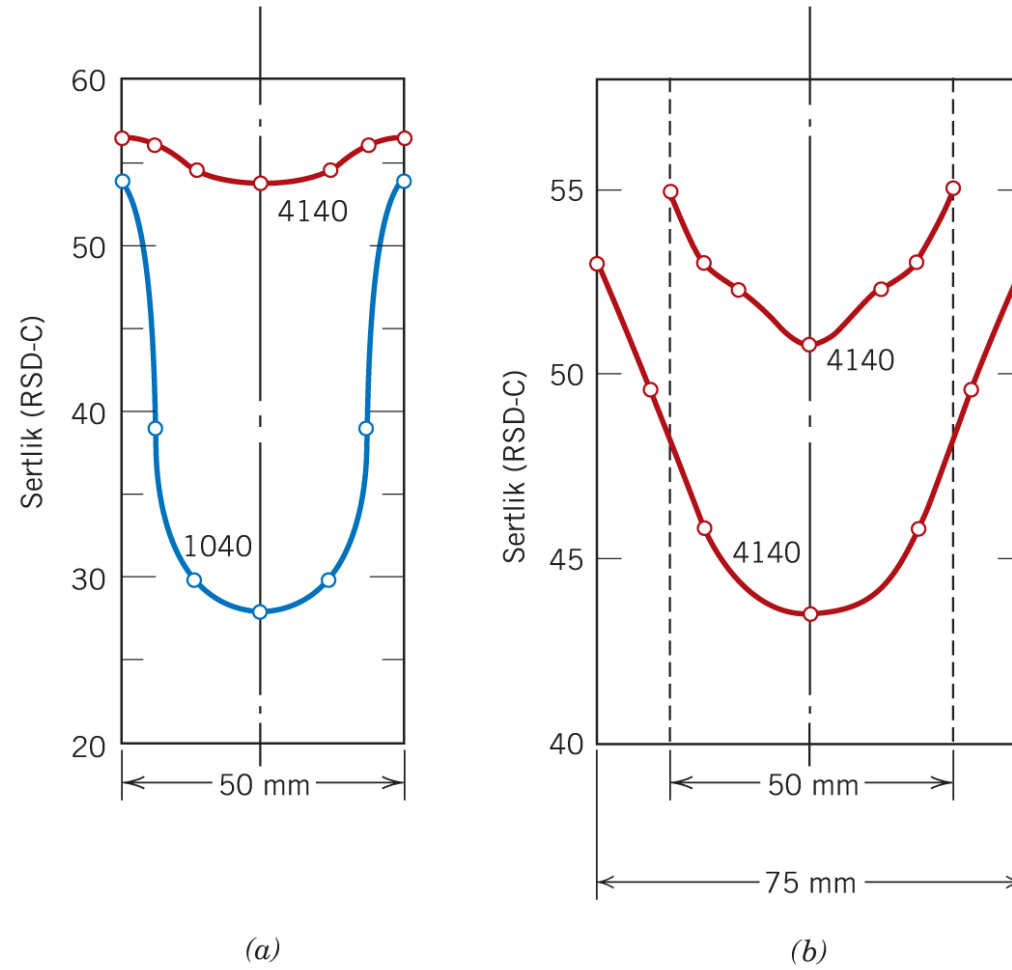


(a)

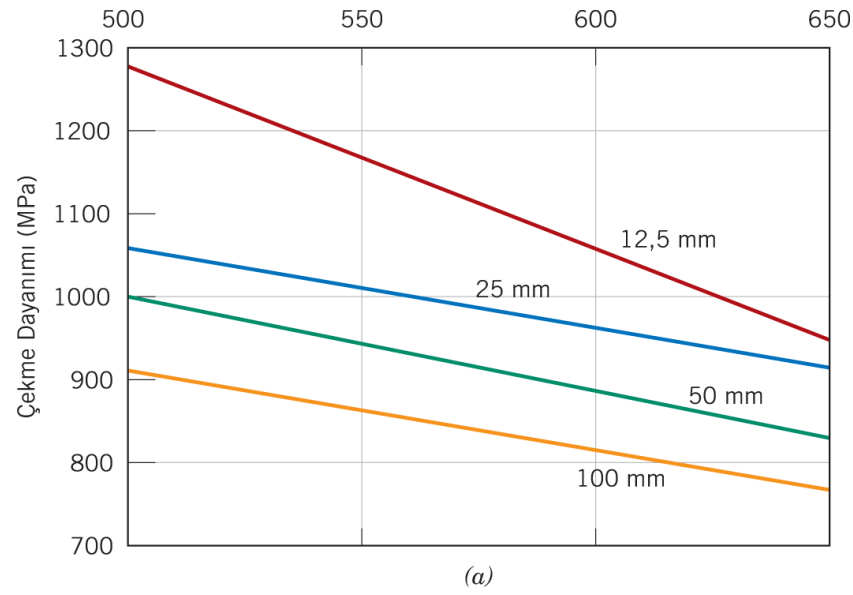


(b)

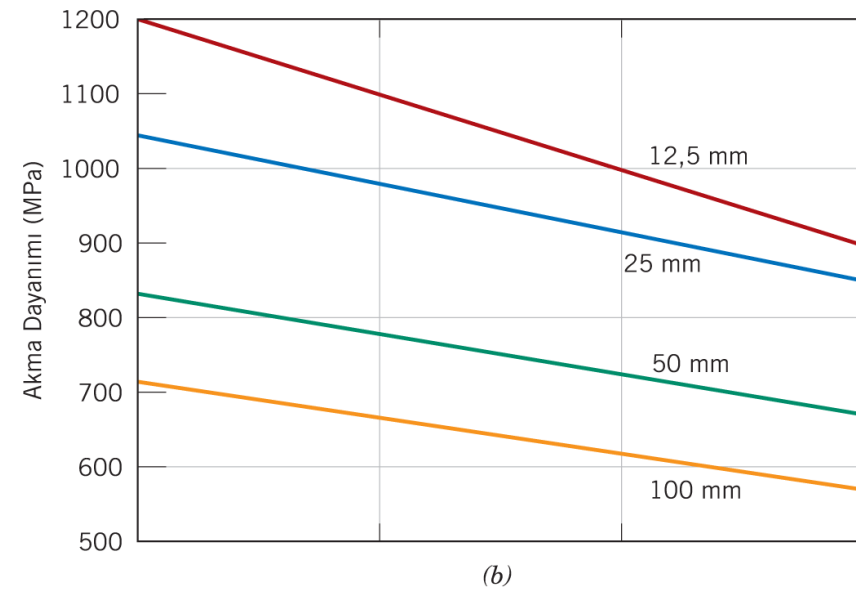
**Şekil 11.17** Yuvarlak çubuk için; (a) suda, (b) yağda gerçekleştirilen hafif çalkantılı su verme uygulamalarında, çapın bir fonksiyonu olarak yüzeydeki, dörtte üç yarıçaptaki, yarı yarıçaptaki ve merkezdeki soğuma hızları. Su verilen yüzeyden eşdeğer Jominy mesafesi değerleri yatay eksende gösterilmektedir. [*Metals Handbook: Properties and Selection: Iron and Steels*, Vol. 1, 9th Edition, 1978, p. 492.]



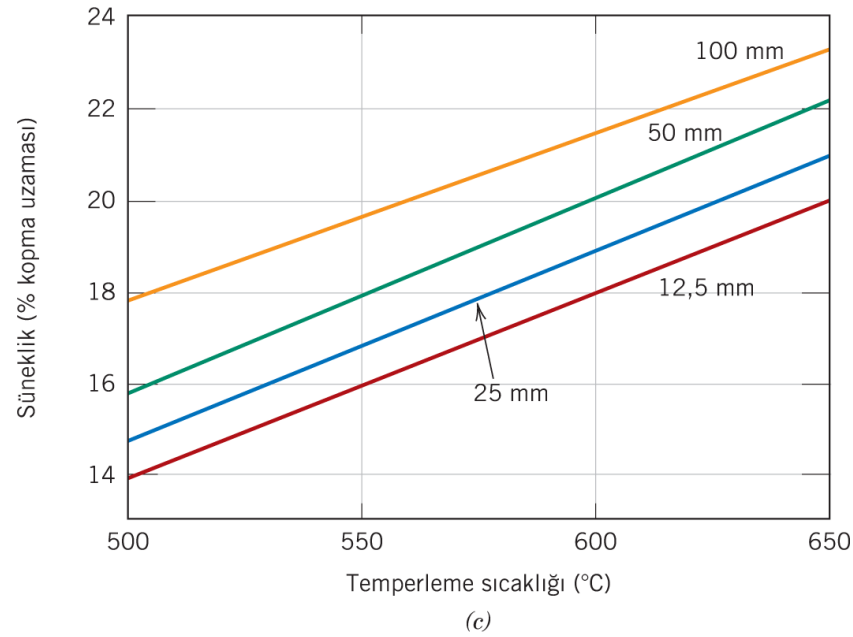
**Şekil 11.18** (a) 50 mm çapında, hafif çalkantılı suda su verilmiş 1040 ve 4140 çeliğinden hazırlanmış yuvarlak çubukların, (b) 50 ve 75 mm çaplarında, hafif çalkantılı yağda su verilmiş 4140 çeliğinden hazırlanmış çubukların kesitlerinde elde edilen radyal yöndeki sertlik dağılımları



(a)



(b)



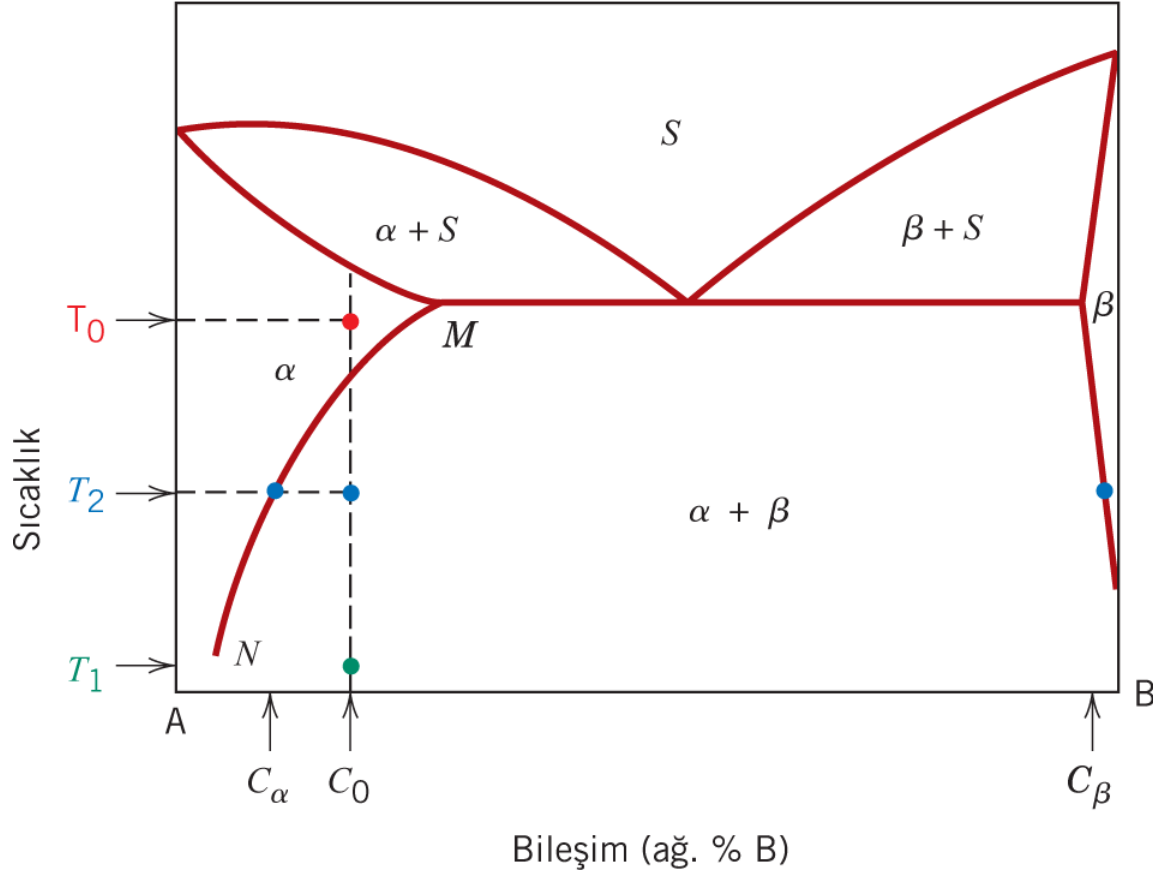
(c)

**Şekil 11.20** Yağda su verilmiş 12,5 mm, 25 mm, 50 mm ve 100 mm çaplarındaki 4140 çeliğinin farklı temperleme sıcaklıkları için (a) çekme dayanımı, (b) akma dayanımı ve (c) yüzde uzama cinsinden sünekliği

## 11.9 ÇÖKELME SERTLEŞTİRMESİ

- Bazı metal alaşımlarının sertlik ve dayanımı, uygun ısı işlemler sonrasında son derece küçük ikinci faz parçacıklarının matris faz içinde uniform şekilde dağıtılması yoluyla arttırılabilir. Yapıda dağılmış haldeki küçük yeni faz parçacıkları *çökelti* olarak isimlendirildiği için, bu işleme de **çökeltme sertleştirmesi** adı verilmiştir.

# Isıl İşlemler



**Şekil 11.21** Çökelme sertleştirilmesi uygulanabilir  $C_0$  bileşimindeki alaşımın yer aldığı hayali bir ötektik faz diyagramı

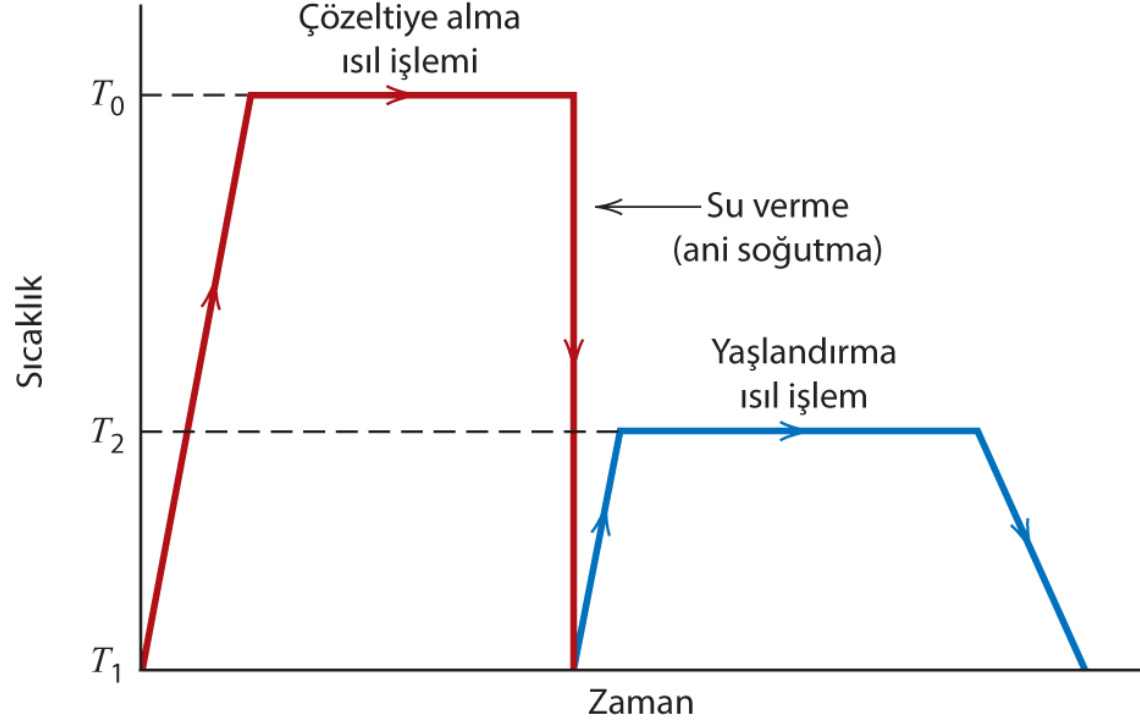
## ***Çözeltiyeye Alma Isıl İşlemi***

- Çökelme sertleşmesi iki aşamalı bir ısıl işlemdir: İlk aşama **çözeltiyeye alma** işlemi olup burada tüm çözünen atomlar tek fazlı bir katı çözelti içinde bulunur.



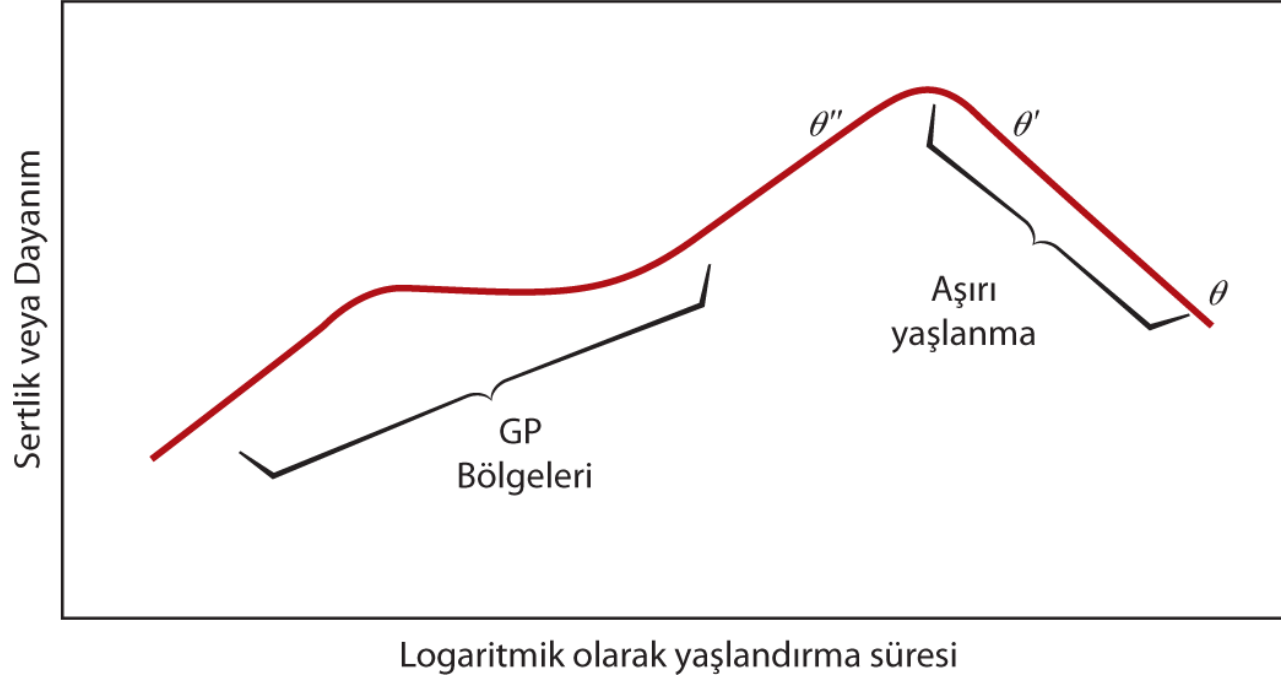
# *Yaşlandırma (Çökeltme) Isıl İşlemi*

- Isıl işlemin ikinci aşaması yaşlandırma veya **çökeltme ısıl işlemi** olarak isimlendirilir ve aşırı doymuş katı çözelti halindeki alaşımın [Şekil 11.21](#)'de  $\alpha + \beta$  ikili faz bölgesinde  $T_2$  ile belirtilen ve yayınmanın yeterince gerçekleşebileceği bir sıcaklığa kadar ısıtılmasını içerir.



**Şekil 11.22** Çökeltme sertleştirme ısıl işleminde çözeltiyeye alma ve yaşlandırma işlemlerine ait sıcaklık-zaman diyagramının şematik olarak gösterilişi





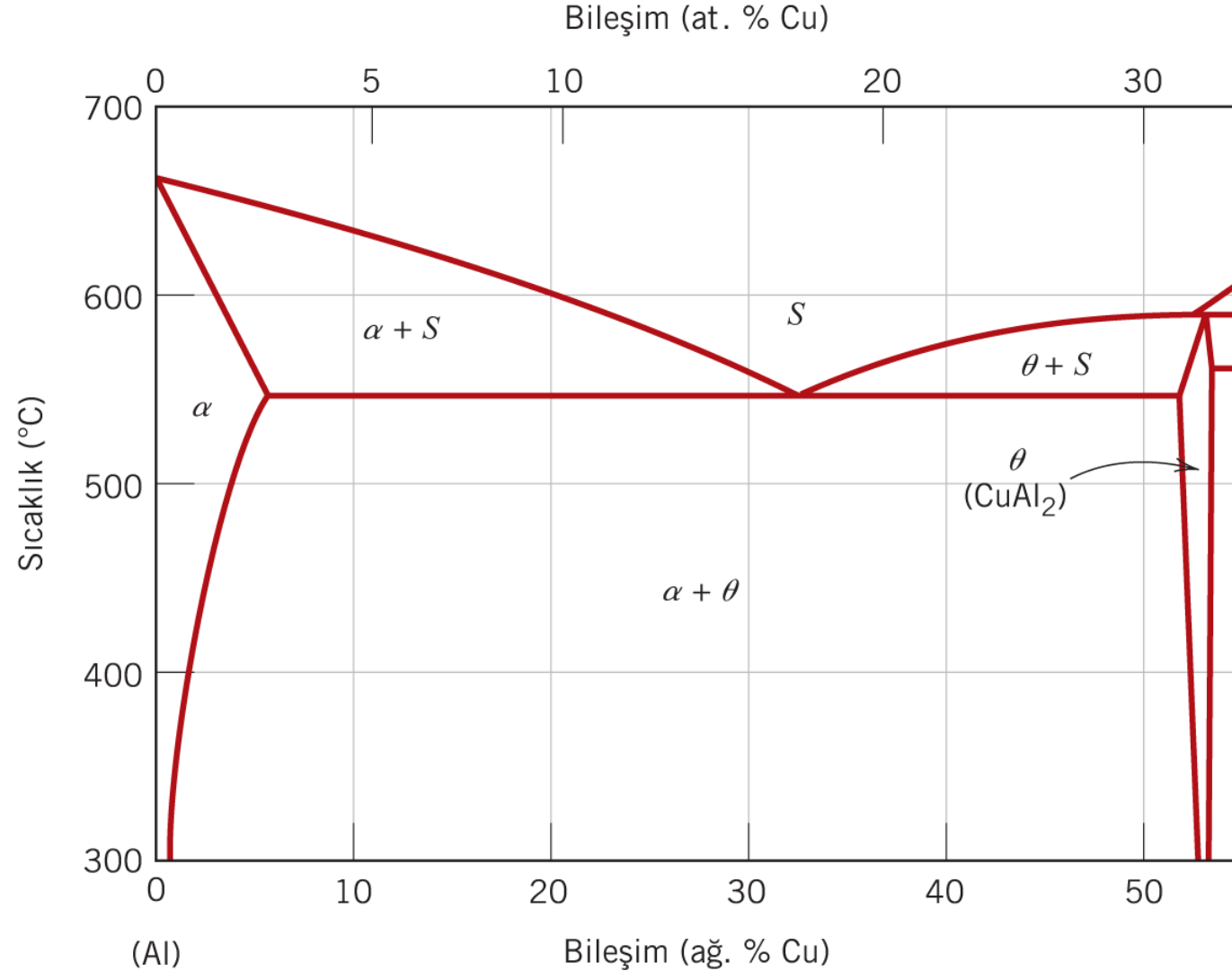
**Şekil 11.23** Çökelme sertleştirilmesi ısıl işleminin yaşlandırma aşamasında alaşımın sertlik ve dayanım özelliklerinin yaşlandırma süresinin logaritmik değeri ile değişiminin şematik olarak gösterilişi

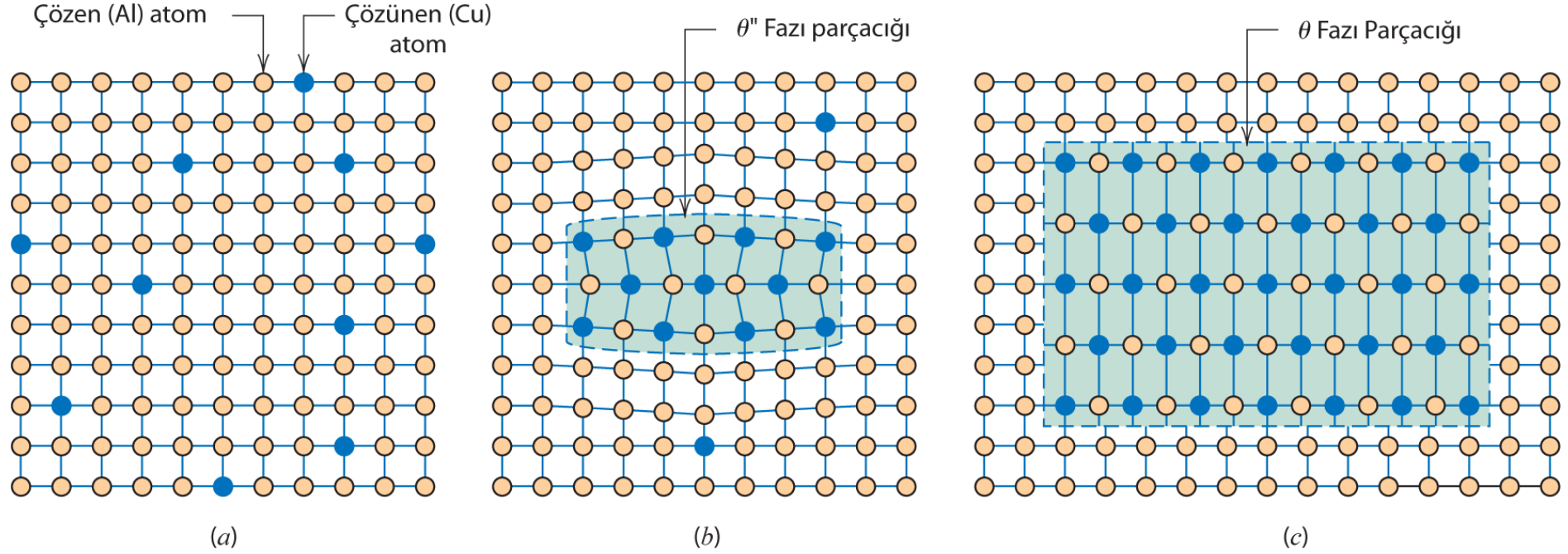
- Yaşlandırma süresinin uzamasıyla, dayanım ve sertlik değerleri de artmakta, en yüksek değerine ulaşarak daha sonra azalmaya başlamaktadır. Uzun yaşlandırma süreleri sonucunda oluşan dayanım ve sertlikteki azalma **aşırı yaşlanma** olarak bilinir.

# Sertleşme Mekanizması

**Şekil 11.24**

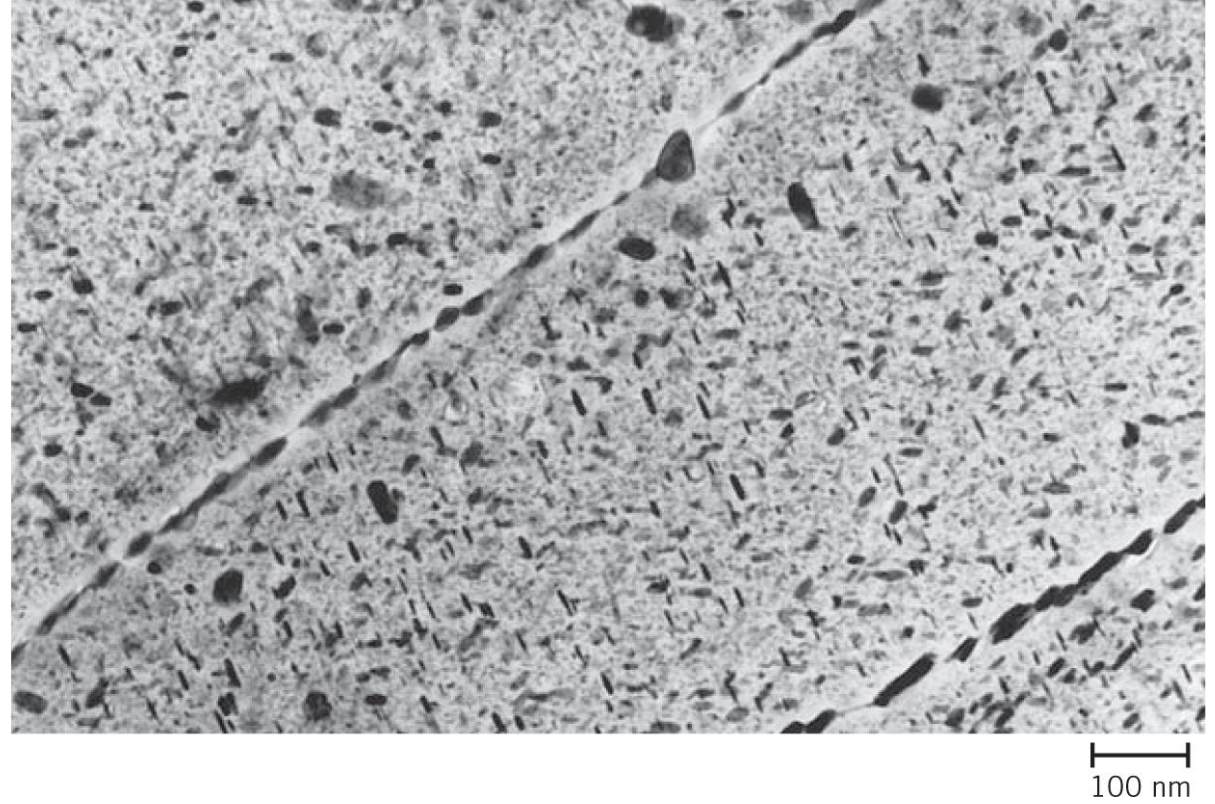
Alüminyum-bakır faz diyagramının alüminyum elementince zengin bölgesi. [J.L.Murray, *International Metals Review*, Vol. 5, 1985, p. 5, ASM International izni ile basılmıştır.]

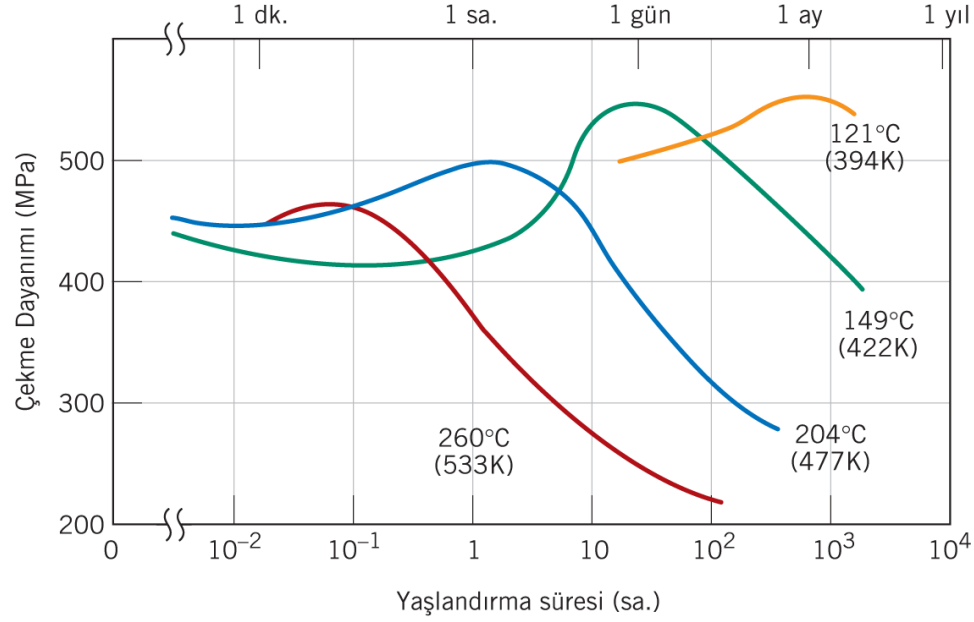




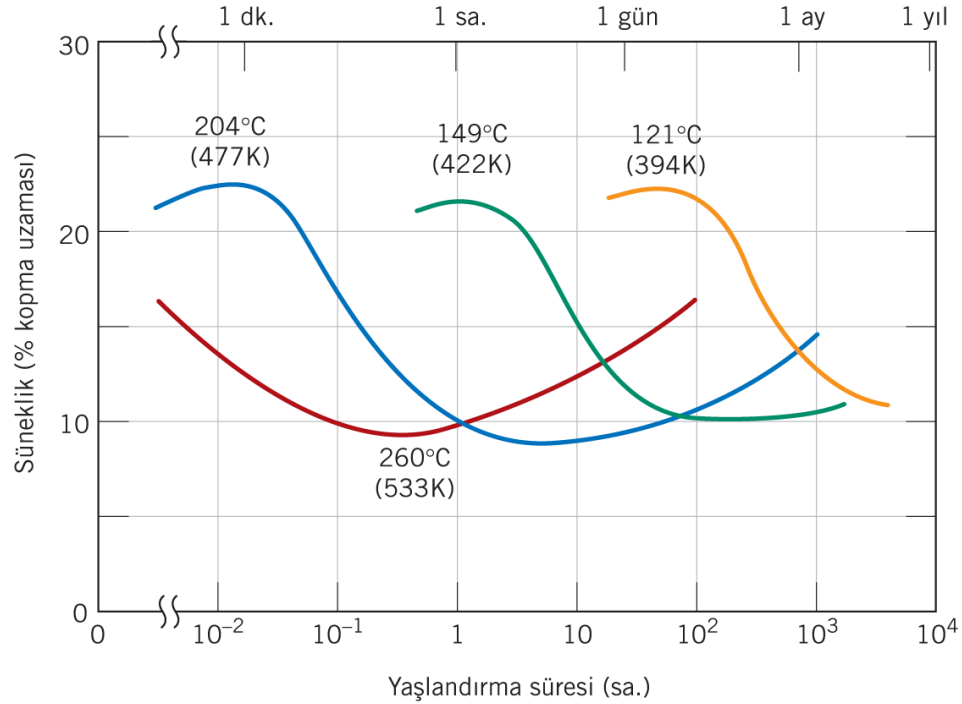
**Şekil 11.25**  $\theta$  kararlı faz yapısı oluşumundaki değişik kademelerin şematik olarak gösterilişi. (a) Aşırı doymuş  $\alpha$  katı çözeltilisi. (b) Çökelmiş  $\theta''$  geçiş fazı. (c)  $\alpha$  matris fazı içinde çökelen  $\theta'$  kararlı fazı.

**Şekil 11.26** 7150-T651 alüminyum alaşımının transmisyon elektron mikroskopunda elde edilen mikroyapı fotoğrafı. Alaşım ağırlıkça % 6,2 Zn, % 2,3 Cu, % 2,3 Mg, % 0,12 Zr içermekte ve geri kalanı alüminyumdan oluşmaktadır. Ayrıca alaşıma çökeltme sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Açık renkli matris fazı alüminyum katı çözeltisini göstermekte olup koyu renkli, küçük ve disk şeklindeki parçacıklar  $\eta'$  fazına aittir. Geri kalan parçacıklar ise kararlı  $\eta$  ( $MgZn_2$ ) fazını göstermektedir. Tane sınırlarının bu çökelmiş parçacıkların bazıları tarafından donatıldığı da dikkati çekmektedir. [G.H.Narayanan ve A.G.Miller, Boing Commercial Airplane Co., izni ile basılmıştır.]





(a)



(b)

## Şekil 11.27

Ağırlıkça % 0,6 Si, % 4,4 Cu, % 0,8 Mn ve % 0,5 Mg içeren 2014 alüminyum alaşımının dört farklı yaşlandırma sıcaklığı için çökelme sertleşmesi özellikleri: (a) çekme dayanımı, (b) yüzde kopma uzaması cinsinden süneklik. [Metals Handbook: Properties and Selection: Non-ferrous Alloys and Pure Metals, Vol. 2, 9th Edition, 1979, p. 41]

- Perçinleme işlemi yaşlanmamış, yani yumuşak durumda gerçekleştirilir ve daha sonra normal ortam sıcaklıklarında yaşlandırılarak dayanımın artması sağlanır. Bu durum **doğal yaşlandırma** olarak isimlendirilmektedir. **Yapay yaşlandırma** işlemi ise oda sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilir.