

FAZ DİYAGRAMLARI

DERS NOTLARI



Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK

KTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler

- Isıl İşlem:

Metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemi olarak tanımlanabilir.

- Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler

Çeliğe uygulanan temel bütün ısıtma işlemleri Fe-Fe₃C faz diyagramında bulunan östenit (γ) fazının dönüşümü ile ilgilidir. Östenit fazının dönüşmesi sonucu oluşan;

- Fazların türü

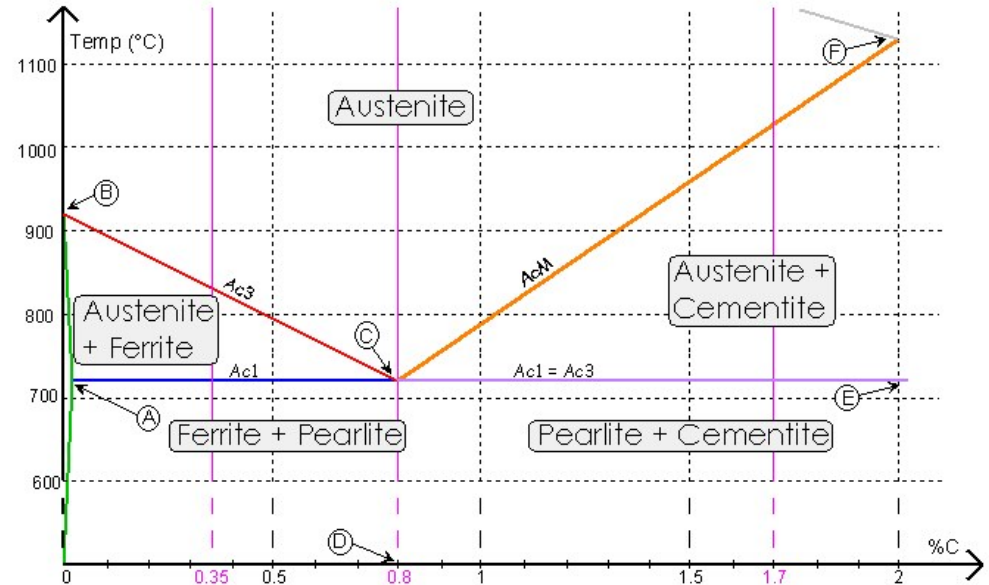
- Bileşimi

- Metalografik yapısı

çeliğin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkiler.

Fe-Fe₃C Diyagramında Kritik Sıcaklıklar

- Fe-C veya Fe-Fe₃C denge diyagramında kritik sıcaklıklar olarak adlandırılan **temel 3 dönüşüm sıcaklığı vardır**. Bu dönüşüm sıcaklıkları çeliklere istenen özellikleri kazandırmak amacıyla uygulanan **ısıtma işlem sıcaklıklarının belirlenmesinde** oldukça önemlidir.
- A_{C1}** olarak adlandırılan sıcaklık **723 derecedeki** ötektoid sıcaklık olup **ferrit-sementit, östenit-ferrit veya östenit-sementit** alanları arasındaki sınırı oluşturmaktadır.
- A_{C3}** sıcaklığı ise **α-demirinin – γ demirine dönüştüğü** sıcaklık olup **ferrit-östenit ve östenit alanları** arasında bir sınır oluşturmaktadır. Saf demir için **A_{C3} sıcaklığı 911 derecedir**.
- A_{CM}** sıcaklığı, **sementit-östenit ve östenit bölgesi** arasında bir sınır oluşturmaktadır.
- A_{C1}** ve **A_{C3}** sıcaklıkları arasındaki fark **kritik sıcaklık** olarak ifade edilmektedir.



Bu sıcaklıkların belirlenmesinde aşağıda verilen denklemler kullanılabilir.

$$A_{C1} = 723 - 10,7Mn - 16,9Ni - 29,1Si + 16,9Cr + 290As + 6,38W$$

$$A_{C3} = 910 - 203\sqrt{C} - 15,2Ni \mp 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W$$

Östenitizasyon

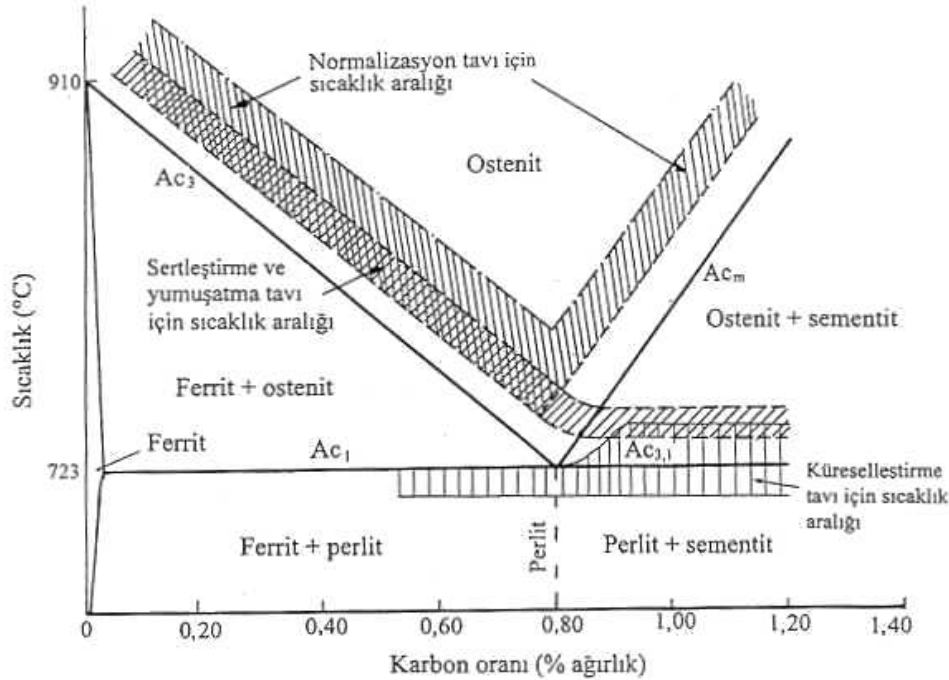
- Çeliğin ısıtılma işlemine ostenitleştirme (ostenitizasyon) ile başlanır. Ostenitleştirme, çeliğin alt kritik sıcaklık çizgisinin (Ac_1) üzerindeki bir sıcaklığa kadar yavaşça ısıtılıp, yapısının tamamen ostenite dönüşmesine kadar tavlama anlamına gelir.
- **Ötektoid altı çelikler ($\%C < 0,8$), $Ac_3 + 40-50\text{ }^\circ\text{C}$**
- **Ötektoid üstü çelikler ($\%C > 0,8$), $A_{cm}-A_{c1}$**

NOT: Çoğu durumda çeliğin ısıtma hızı ısıtılma çevriminde diğer faktörlere göre daha az önem taşımaktadır. Ancak, soğuk şekillendirilen malzemelerde aşırı ölçüde iç gerilme içermesinden dolayı çarpılmaları engellemek için daha yavaş ısıtılması gerekmektedir. Buna ek olarak kesit değişiminin olduğu çelik malzemelerde ince ve kalın kesitler arasındaki ısıtma ve sıcaklık artışları dikkate alınmalıdır.

Ötektoid üstü çeliklerde A_{cm} çizgisi artış göstermesinden dolayı östenitizasyon için çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç olabilmektedir. Ancak bu durumda;

- Çeliğin çarpılması
- Çatlama
- Oksidasyon, dekarburizasyon ve tane büyümesi gibi istenmeyen yapı değişimleri olabilir.

Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler



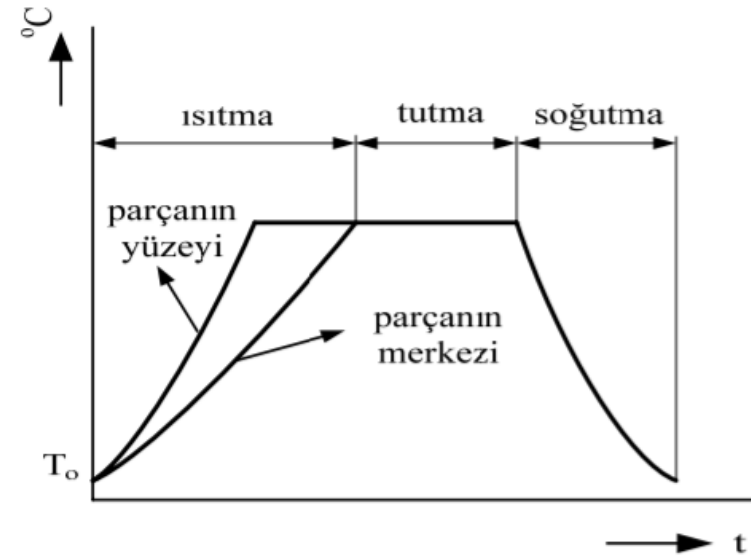
- **Çeliklerin ısı işlemleri başlıca şu amaçlar için uygulanır:**
- Talaşlı işleme özelliğini iyileştirmek (yumuşatma, tane irileştirme),
- Dayanımın artırılıp azaltılması (sertleştirme, normalizasyon, yumuşatma),
- Soğuk şekil vermenin etkisini yok etmek (yeniden kristalleştirme, normalizasyon),
- Mikro segregasyonun ortadan kaldırılması (homojenleştirme),
- Tane büyüklüğünü değiştirme (normalizasyon, yeniden kristalleştirme, tane irileştirme),
- İç gerilmelerin azaltılması (gerilme giderme),
- Belirli iç yapıların elde edilmesi (normalizasyon, yumuşatma, sertleştirme).

➤ Söz konusu işlemler iki ana grupta toplanabilir:

- Tavlama,
- Sertleştirme
- **Tavlama** ile iç yapının kararlı denge durumuna yaklaşması sağlanır (soğutma yavaş yapılır)
- **Sertleştirme** de ise östenit, çeliğin bileşimine bağlı bir minimum hızın altına inilmeyecek şekilde soğutulularak yarı kararlı bir iç yapı (martenzit) oluşturulur.
- **Tav işlemleri de kendi aralarında tekrar iki gruba ayrılır:**
 - **I. Tür Tavlama İşlemleri:** İç yapı değişikliklerine neden olsalar bile öncelikle belirli özelliklerin elde edilmesine yöneliktirler (homojenleştirme, tane irileştirme, gerilme giderme, yeniden kristalleştirme işlemleri).
 - **II. Tür Tavlama İşlemleri:** Bunlarda temel amaç belirli iç yapı durumlarına ulaşmaktır (yumuşatma, normalleştirme işlemleri).

Fırında Tutma Süresi

- Isıl işlem, parçanın belli bir sıcaklığa ısıtılması ve o sıcaklıkta belli bir süre tutulması ve daha sonra soğutulması işlemi olarak özetlenebilir.
- Parçanın fırında tutma süresi $t_T = 20 + s/2$ eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Bu eşitlikte yer alana s , iş parçası levha ise et kalınlığını, boru ise çapını ifade etmektedir.
- Parçanın istenilen sıcaklığa getirilmesi temas ya da radyasyon yoluyla (yani bir dış kaynaktan taşıma yoluyla) olur. Veya ısı doğrudan elektrik akımı geçirerek ya da indüksiyon yoluyla direkt olarak parça üzerinde oluşturulur. Alaşım elementi yüzdesi arttıkça, ısı iletimi zorlaşır. Parçanın soğuma hızı; parça kalınlığı ve malzemenin ısı iletimi katsayısı ile orantılıdır



Örneğin; Çapı 250 mm olan bir çubuğun ısıtma sırasında fırında tutulma süresi;

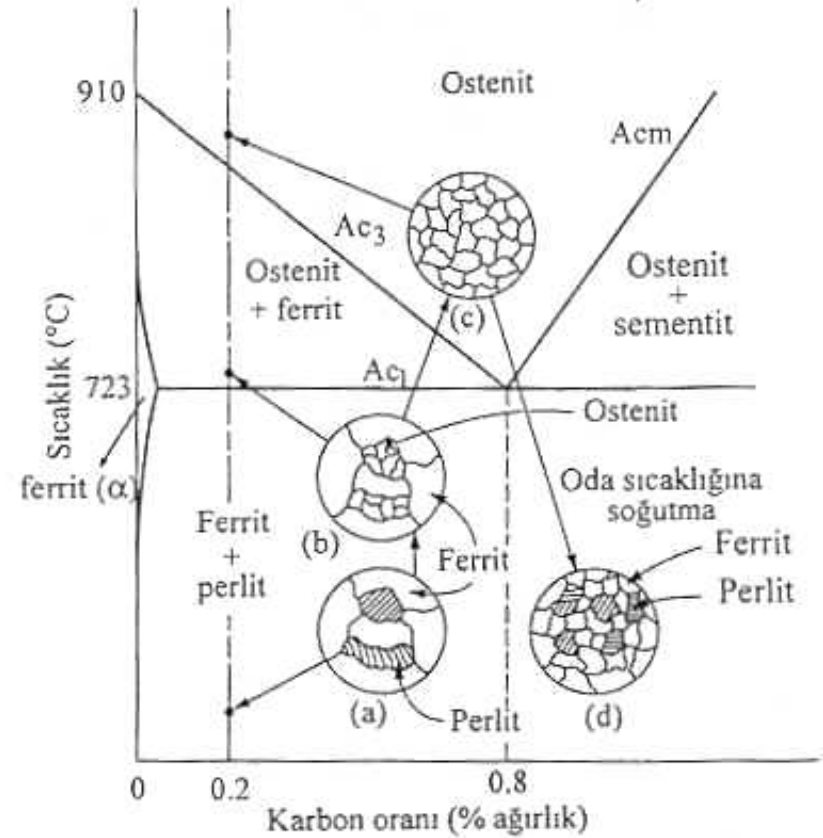
$$t_T = 20 + 250/2 = 145 dk \\ = 2 saat$$

Yumuşatma Tavlaması

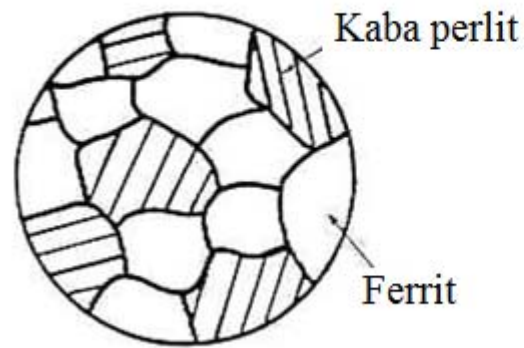
- Yumuşatma tavlaması, **ötektoid altı çelikleri Ac_3 , ötektoid üstü çelikleri de Ac_1 çizgilerinin üzerindeki** belirli sıcaklıklara kadar ısıtıp, **iç yapılarını östenite dönüştürdükten sonra fırın içerisinde tutarak çok yavaş soğutulması işlemidir. Yumuşatma tavlamasında, tavlama süresi ise 5 saatten az olmamalıdır. Bazen 100 saat olabilir.**
- ***Yumuşatma Tavlamasının Uygulanma amaçları:***
 - Sertliği azaltmak
 - Talaş kaldırmayı kolaylaştırmak
 - Döküm ve dövme parçalarındaki iç gerilmeleri gidermek
 - Tane boyutu küçültme
 - Elektriksel ve manyetik özellikleri iyileştirmek

Yumuşatma Tavlaması

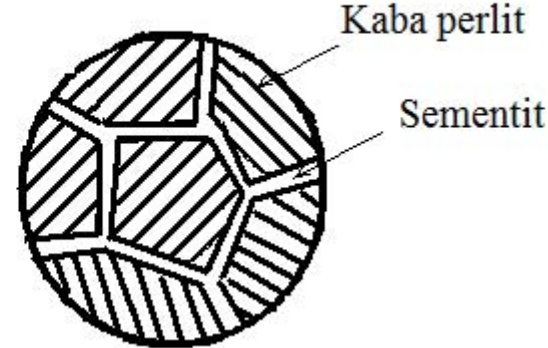
- **%0,2 C içeren iri taneli ötektoid altı çeliğin** tavlama işlemi sırasında iç yapısında meydana gelen değişimler;
- İlk olarak oda sıcaklığında söz konusu çelik **kaba ferrit ve perlit tanelerinden oluşmaktadır.**
- Çelik AC1 sıcaklığının hemen üzerindeki bir sıcaklığa ısıtıldığında, yapıda bulunan **perlit fazı ince taneli östenit fazına dönüşürken, ferrit fazı aynen kalır.**
- Sıcaklığın AC3 çizgisinin hemen üzerindeki bir sıcaklığa **ulaşması ile birlikte yapıda bulunan kaba ferrit taneleri ince östenit tanelerine dönüşür.**
- Parça oda sıcaklığına **kontrollü bir şekilde soğutulması** ile oda sıcaklığında **ince ferrit ve perlit fazı oluşmaktadır.**



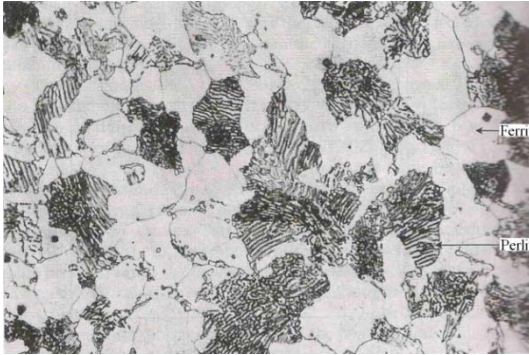
Yumuşatma Tavlaması



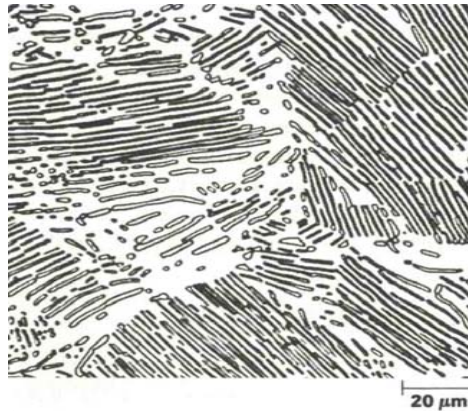
Yumuşatma tavına tabi tutulan
ötektoid altı çeliğin iç yapısı



Yumuşatma tavına tabi tutulan
ötektoid üstü çeliğin iç yapısı



Yumuşatma tavına tabi
tutulan ötektoid altı çeliğin
iç yapısı



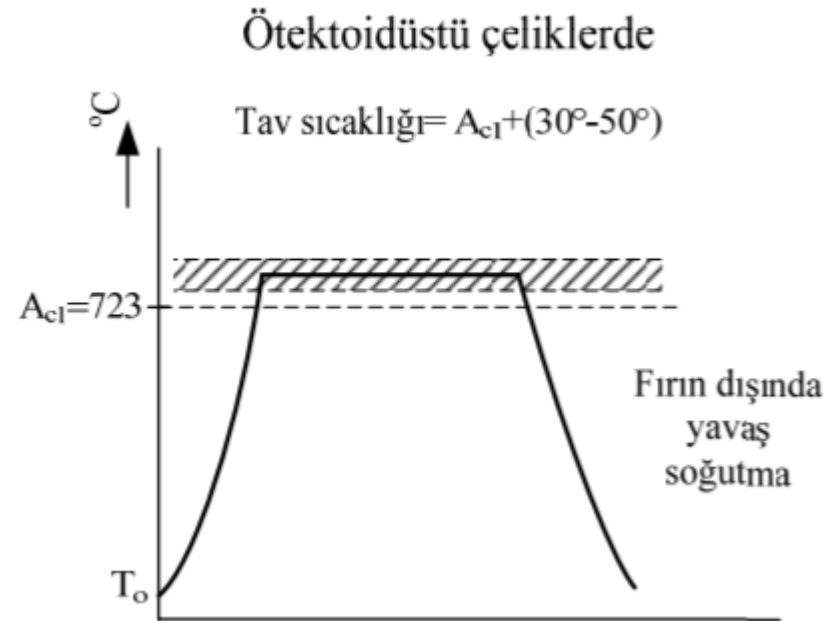
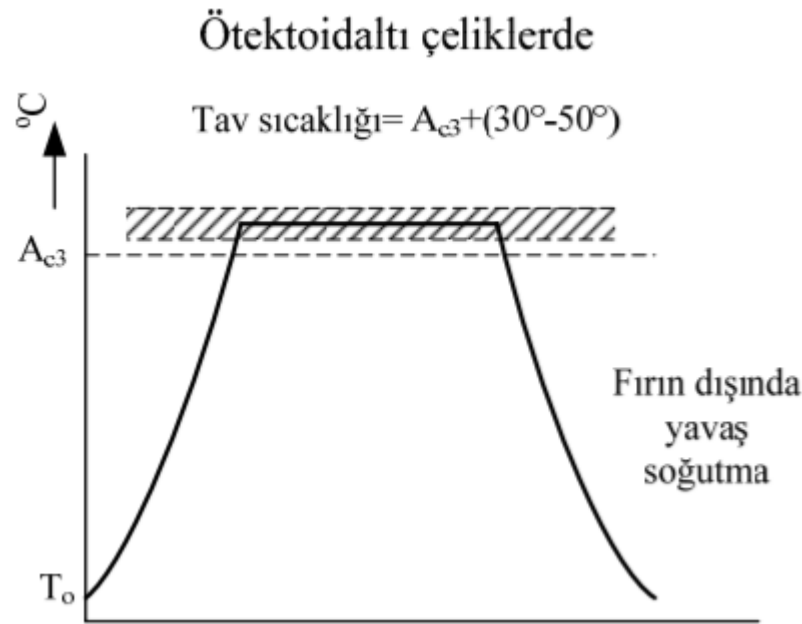
Yumuşatma tavına tabi
tutulan ötektoid bileşime
sahip çeliğin iç yapısı



Yumuşatma tavına tabi tutulan
ötektoid üstü çeliğin iç yapısı

Normalizasyon Isıl İşlemi

- Normalizasyon tavlı genelde tane küçültmek, homojen bir iç yapı elde etmek ve çoğunlukla mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri A_{c3} ve ötektoid üstü çelikleri A_{cm} dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık olarak 40-50°C üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtıp, tavlandıktan sonra fırın dışında sakin havada soğutma işlemidir .

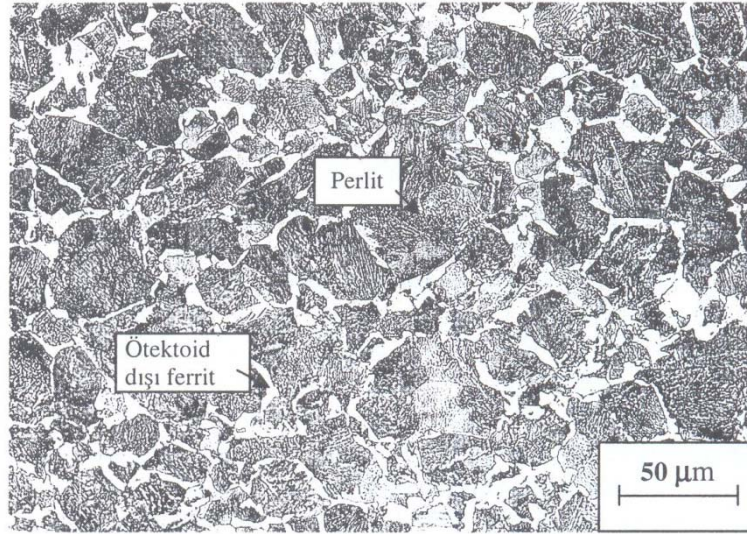


Normalizasyon Isıl İşlemi

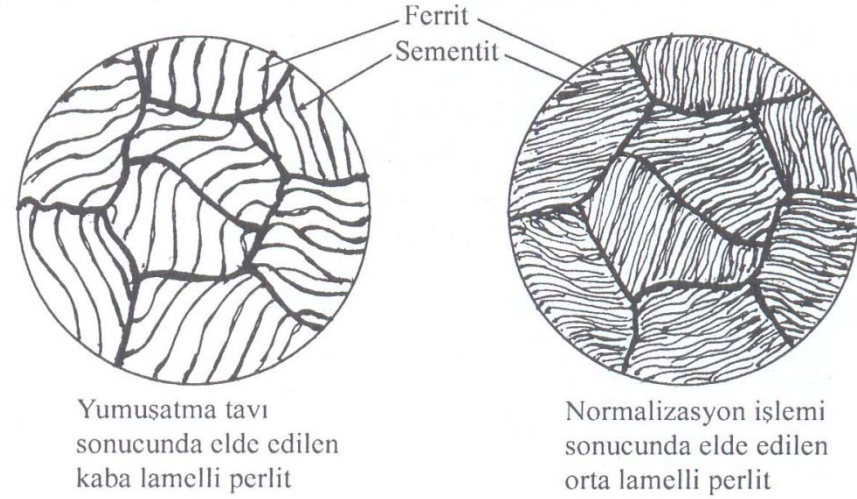
Normalizasyon uygulamalarının söz konusu olduğu veya olması gerektiği yerleri, genel olarak ve önem sırası gözetilmeksizin bir arada özetleyerek belirtmek mümkündür :

- Her şeyden önce bazı ısıt işlemlere bağılı olarak, ince taneli nihai içyapı eldesi için difüzyon tavlamasından sonra ve su verme işleminden önce,
- Sıcak haddelemelerden sonra, haddeleme dokusuna bağılı olarak ortaya çıkabilecek anizotropik etkileri ve gevrek kırılma eğilimini azaltmak amacıyla,
- Dövme ve diğere plastik şekil verme işlemlerinden sonra sıcak deformasyona ilişkin içyapı oluşumlarının normalleştirilmesinde,
- Özellikle çelik döküm parçaların dökümden sonraki kaba ve gevrek içyapısından (Widmannstaetten yapısından) kurtarmak, mukavemet ve tokluk özelliklerini iyileştirmek amacıyla,
- Çoğu zaman rekristalizasyon tavlaması yerine uygulamak, yeniden kristalleşme sırasında tane irileşmesine meydan vermemek için,
- Kaynak işlemlerinden sonra, temel malzeme, sıcaklık etki bölgesi (geçiş bölgesi) ve kaynak dikişi arasında ortak nitelikli tane yapısı oluşturmak için normalizasyon tavlaması uygulanır.

Normalizasyon Isıl İşlemi



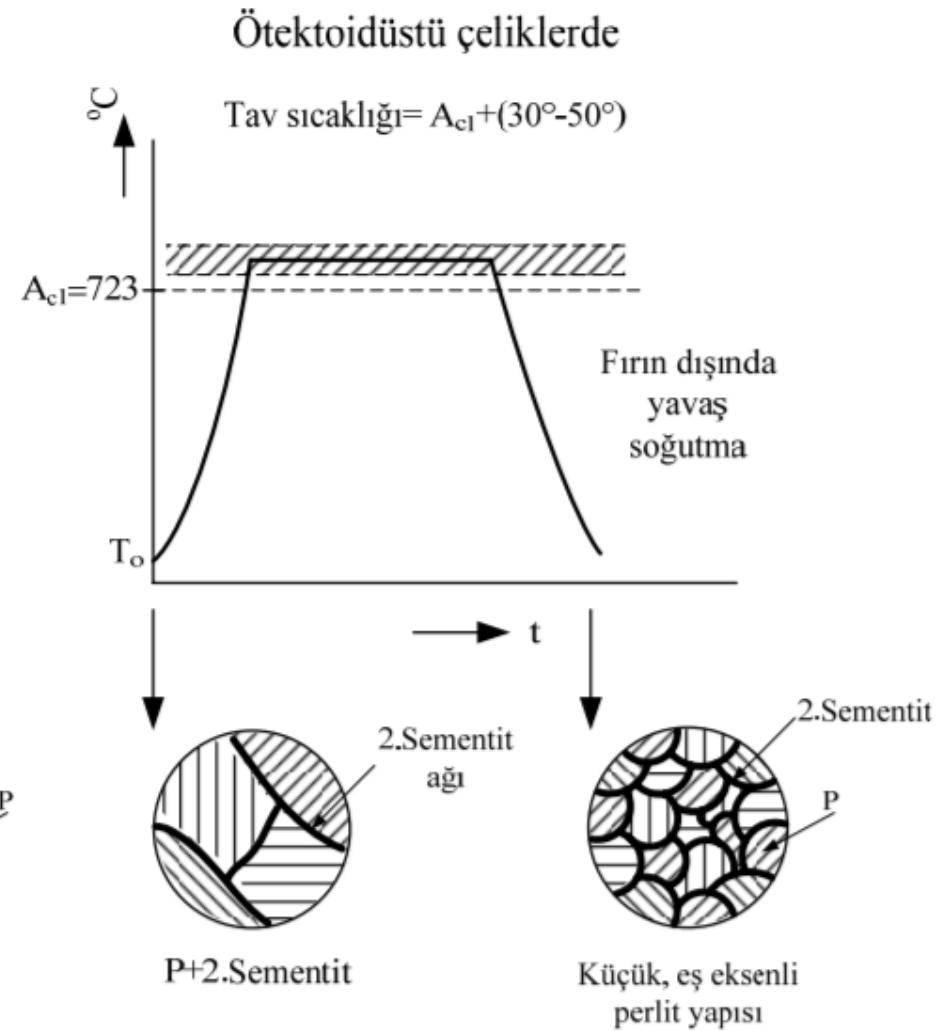
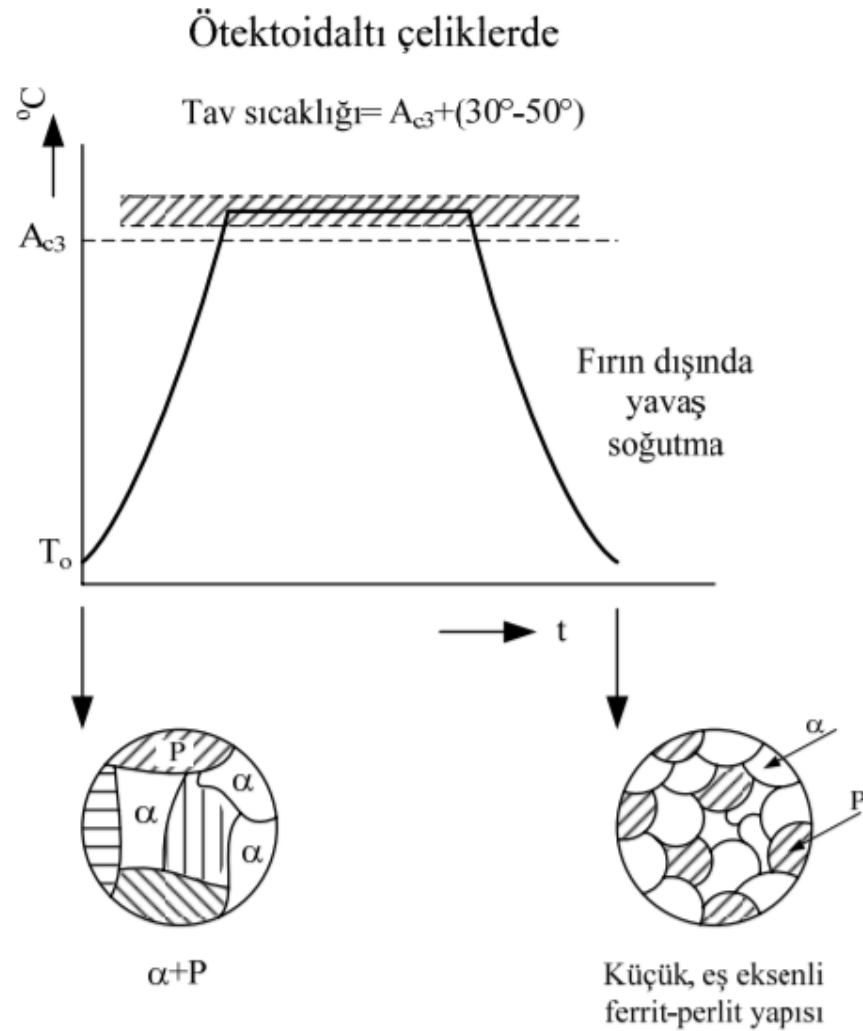
%0,5 C içeren çeliğin normalize edilmiş durumdaki içyapısı.



Yumuşatma tavi 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.

Normalizasyon Isıl İşlemi

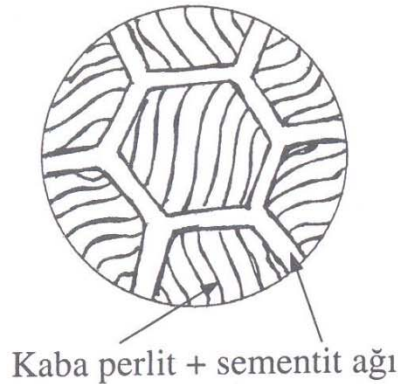


Normalizasyon Isıl İşlemi

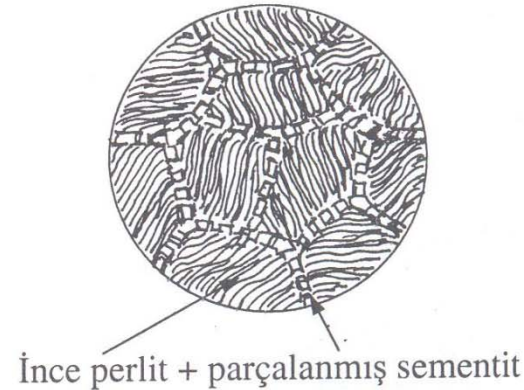
İşlem	Karbon oranı (%)	Akma mukavemeti (N/mm ²)	Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)	Sertlik (BSD)
Yumuşatma Tavı	0.01	124	283	47	90
	0.20	148	407	37	115
	0.40	303	517	30	145
	0.60	338	667	23	190
	0.80	359	793	15	220
	1.00	359	745	22	195
	1.20	352	703	24	200
	1.40	345	683	19	215
Normalizasyon 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 tavı, 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



Havada soğutulan parçanın
içyapısı

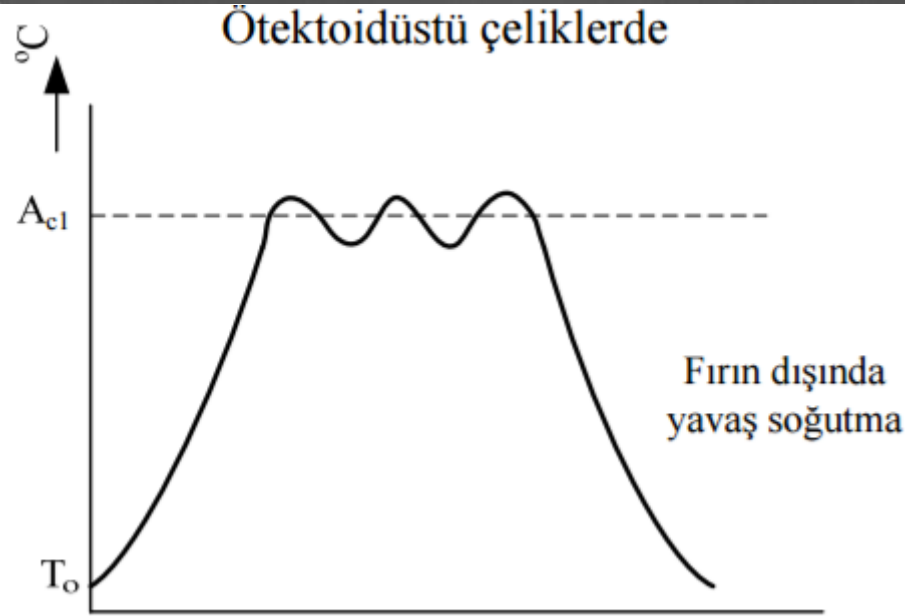


- Normalizasyon tavında, parçanın havada soğutulması nedeniyle nispeten yüksek soğuma hızı elde edilir. Genelde, soğuma hızı arttıkça ostenitin dönüşüm sıcaklığı düşer ve daha ince perlit elde edilir.

Küreselleştirme Tavlaması

- Küreselleştirme tavi, çelikleri Ac_1 sıcaklık çizgisi civarında uzun süre tuttukten ve bu bölgede salınlı olarak tavladıktan sonra, yavaş soğutma ile karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlem, ostenitleştirmeden sonra kontrollü soğutma ile de yapılabilir. Yumuşatma tavi işleminde belirtildiği gibi, **tavlanmış 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 tavi yapılır.**
- Tavlama sonucunda **lamelli perlit, taneli bir biçim alır (denge durumu). Yani yüksek yüzey enerjili sementit lamelleri ferrit içinde çözünüp bölünerek düşük yüzey enerjili kürecikler halini alırlar. Ferritik ana kütleye dağılmış karbür parçacıkları şeklindeki iç yapı durumuna ıslah işlemleriyle de ulaşılır.** Ac_1 sıcaklığının dar bir zaman aralığı için aşılması, sementit lamellerinin küreleşmesini kolaylaştırır ve tav süresini kısaltır.
- Aynı şekilde, Ac_1 etrafında salınım yapılması da olayı belirgin bir şekilde hızlandırır. Ötektoidüstü çeliklerin zor çözünen sementit ağı ancak bu yöntemlerle parçalanabilir.

Küreselleştirme Tavlaması



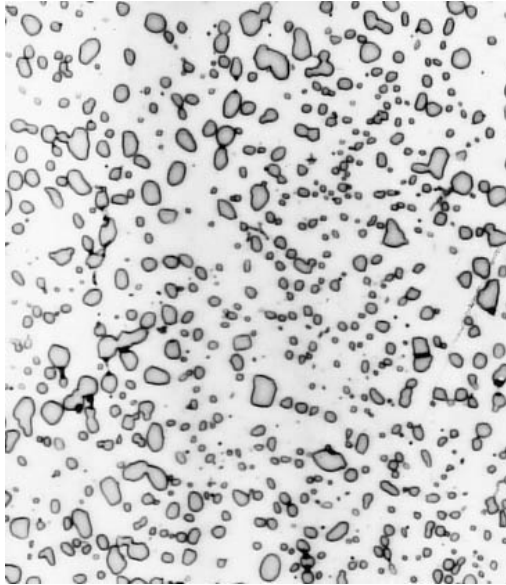
Ötektoïd üstü çeliklerde; hem perlit tanelerindeki sementit lamellerini hem de tane sınırlarındaki 2.sementit ağını parçalamak amacı ile uygulanır.

Küreselleştirme tavlama aşağıdaki yöntemlerden biri ile gerçekleştirilir.

- Çelik malzeme Ac_1 çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklığa (örneğin $700^{\circ}C$) uzun süre (15-25 saat) tavllanır.
- Çelik malzeme, düşük kritik sıcaklık çizgisinin (Ac_1) hemen altında ve üstündeki sıcaklıklar arasında ısıtılıp soğutulur, yani salınlı olarak tavllanır.
- Malzeme Ac_1 kritik sıcaklık çizgisinin üzerindeki bir sıcaklıkta tavlandıktan sonra ya fırında çok yavaş soğutulur, ya da Ac_1 çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklıkta uzunca bir süre tutulur.

Küreselleştirme Tavlaması

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



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

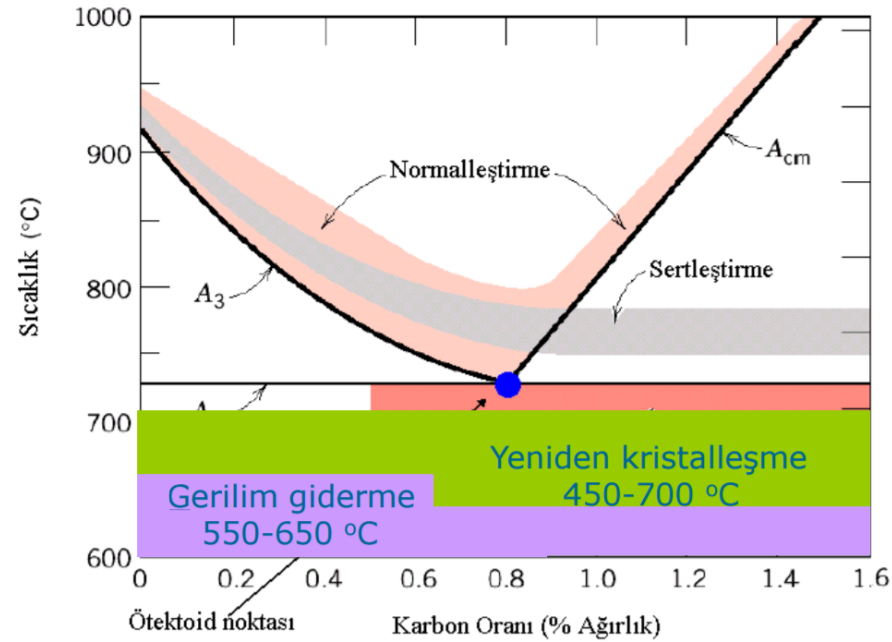
Gerilme-Giderme Tavlaması

- Teknik bir parçada -dışardan bir yükleme olmaksızın- zaten var olan “iç gerilmeler” ile, kullanım sırasında söz konusu parçanın ivmeli hareketleri sonucu veya diğer statik yüklemelerle ortaya çıkan gerilmelerin süperpozisyonu, **beklenmedik kırılmalara ve/veya kalıcı deformasyonlara götürebilir.**
- Bu sonuçlardan kaçınmak veya en aza indirmek için, **-ön ısı işlemlerle mümkün mertebe, oluşumu teşvik edici parametreleri ortadan kaldırmak, veya işlem sırasında iç gerilme oluşumunu en aza indirmek (uygun sıcaklık aralıklarında çalışmak ve hızlı sıcaklık değiştirmelerinden kaçınmak gibi), ve üretim sonunda - ısı işlemlerle- iç gerilmelerin giderilmesi, Gerilme Giderme tavlaması ile gerçekleştirilebilir.**

Gerilme-Giderme Tavlaması

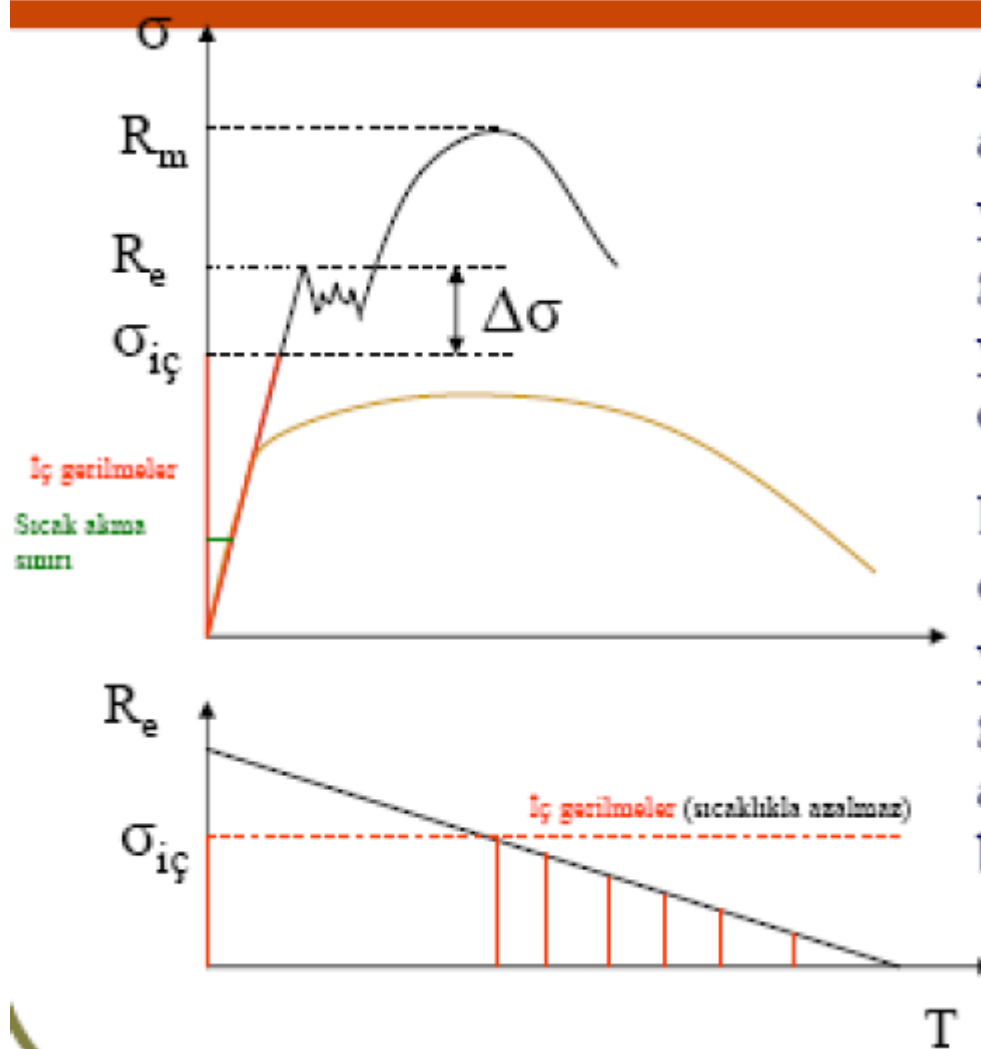
İç gerilme kaynakları

- Soğuk şekil değişimi
- Faz dönüşümleri
- Isıl işlemler
- Sıcaklık değişimleri
- Termal şoklar
- Yükleme koşulları vb.



Döküm, kaynak, plastik şekil verme gibi üretim yöntemleri, bunlara ilişkin ısıtma işlemleri ve/veya işleme aşamaları (su verme, dövme veya haddeleme, kaynak, tornalama veya taşlama gibi) bu mekanizmaların birlikte müdahil olduğu teknolojik uygulamalardır. **Gerilme giderme tavlamasında (daha doğrusu “gerilme düşürme tavlaması”) parça, 550 - 650 °C arasına çok yavaş ısıtılır (fırında kontrollü şekilde) -ama kompozisyona göre ve önceki ısıtma işlem etkilerini gidermeyecek bir sıcaklık düzeyinde- bir süre tutularak (enerji kaybına meydan vermeyecek ve fakat parçanın homojen ısınmasını sağlayacak kadar, çapa bağlı bir süre) yine homojen soğutmaya dikkat edilerek sıcaklık yavaşça düşürülür.**

Gerilme-Giderme Tavlaması



$\Delta\sigma$: Normalde akma sınırı R_e ama biz bu değere kadar yükleyeceğimizi sanırken 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.

Ara Tavlama

- Ara tavlama ise gerilme giderme tavlama 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.

Rekristalizasyon (Yeniden Kristalleştirme) Tavlaması

- Yeniden kristalleşme, **deformasyona uğramış tanelerin tamamının, yeni çekirdeklenen ve büyüyen tanelere dönüşmesini sağlayan bir tavlama prosesidir.**
- Yeniden kristalleşme tavlama, **soğuk işlem görmüş metallere uygulanıp, faz değişikliği olmadan yeni tanelerin çekirdeklenmesi ve büyümesi için yapılır. Yoğun soğuk biçimlendirmeye tabi tutulmuş parçalarda oluşan ağır plastik deformasyon sonucu oluşan hasarları düzeltmek için uygulanan bir ısıtma işlemidir.** Tavlama işlemi, sertleştirilmiş veya soğuk işlem görmüş çeliklerde, yeni ferrit tanecikleri oluşturmak için yapıyı yeniden kristalleştirdiğinde etkili olur.

Rekristalizasyon (Yeniden Kristalleştirme) Tavlaması

- **Faydalar**
- İşlem sertleşmesinin etkilerini azaltarak ya da tamamen yok ederek yeniden toparlanma prosesine izin verir.
- Uzamış tanelerden, eş eksenli ferrit tanelerinin oluşmasını artırır.
- Dayancı ve sertliği düşürür.
- Sünekliliği artırır.

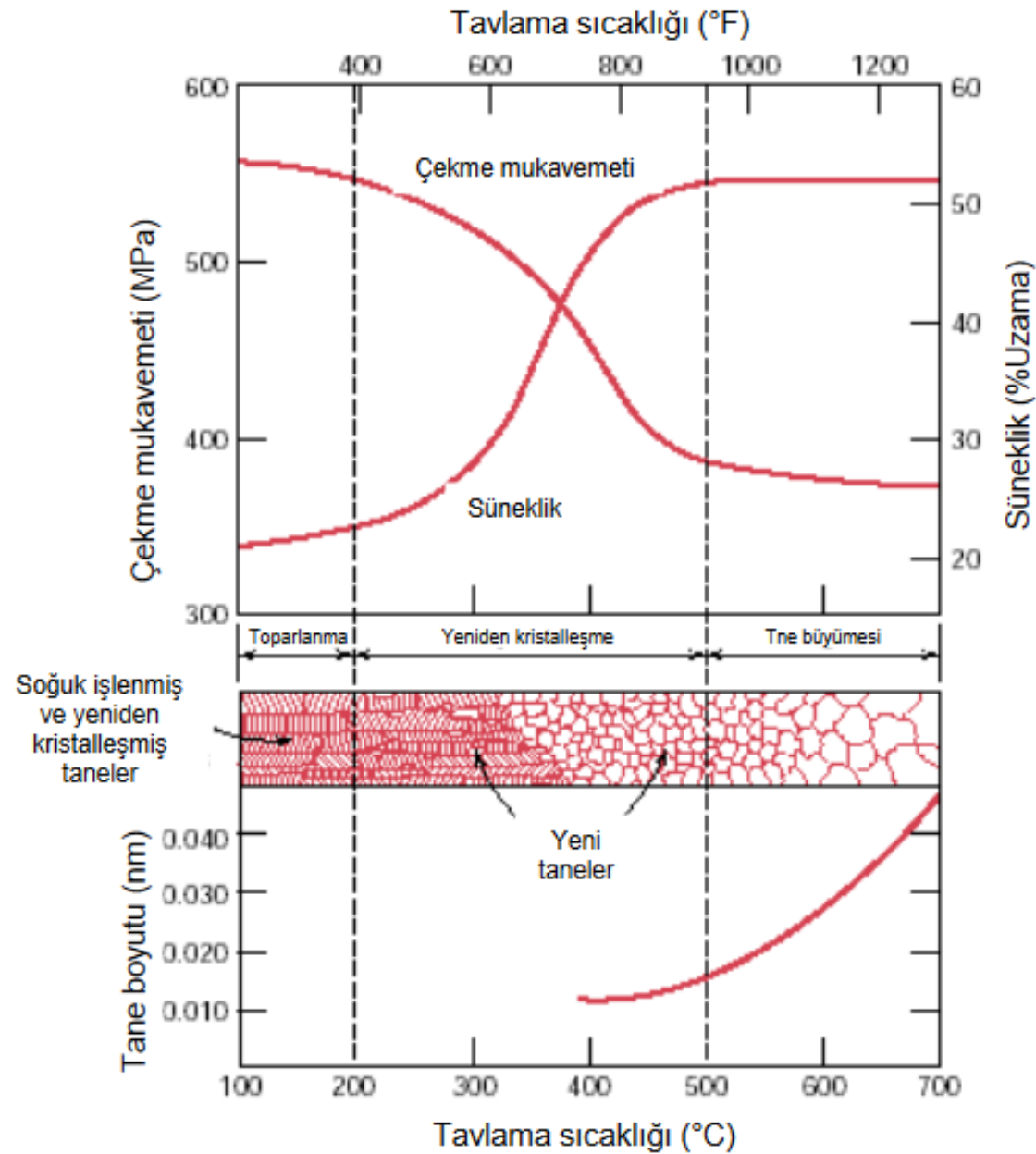
Uygulamalar ve malzemeler

- Soğuk haddelenmiş çeliklerin preslenmiş parçalarını tavlama işlemi, soğuk işlem neticesinde, yüksek oranda uzamış, gerilimli taneciklerin yeniden kristalleşmelerini sağlamak için tasarlanmıştır.
- Dövülmüş parçalar, talaş kaldırma veya soğuk biçimlendirme gibi sonraki işlemleri kolaylaştırmak için tavllanır.

Rekristalizasyon (Yeniden Kristalleştirme) Tavlaması

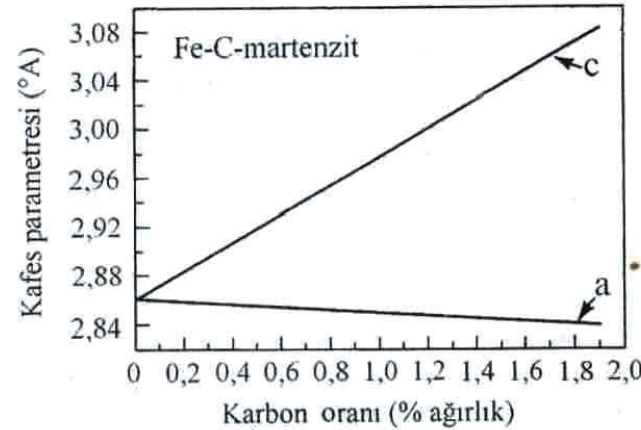
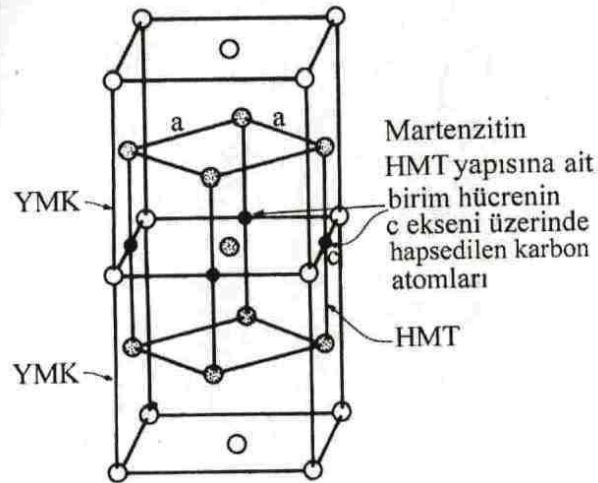
- **Yeniden kristalleşme ile birlikte malzemenin dayancı ve sertliği azalırken aynı anda sünekliliği artar.** Bu sebeple, ikincil metal işlemler arasında ya da başka bir uygulama aşamasında tercih edilmeyen ikame bir yöntem olarak algılanabilir. En yaygın endüstriyel işlevleri, soğuk işlemle sertleştirilmiş, sünekliliğini yitirmiş metallerin yumuşatılması ve nihai ürünün tane yapısının kontrol altına alınmasıdır.
- **Çeliklerin yeniden kristalleşme sıcaklık aralığı genellikle 400 ila 700°C'dir.** Yeniden kristalleşme koşulları, örneğin; ısıtma hızı ve tutma süresi, çeliğin bileşimine ve gördüğü soğuk işlem derecesine göre değişir.
- **Tavlama sıcaklığı AC1 noktasına ulaştığında, yumuşama hızı hızla artar.**
- Soğuk haddelenmiş yalın karbonlu çelik sactan yapılmış parçalar, ilk aşamada kısmen ya da tamamen yeniden kristalleşmiş mikroyapı kazanmaları (iç gerilimler alınır) sağlanır ve sonunda yeniden kristalleşme (mukavemet azalır ve süneklilik artar) elde edilir.

Rekristalizasyon (Yeniden Kristalleştirme) Tavlaması



Su Verme Sertleşmesi

- Tavlama işleminden sonra, çelikler yavaş ya da orta seviyedeki bir hızla soğutulduklarında, ostenit içerisinde çözünmüş durumda bulunan karbon atomları difüzyon ile ostenit yapıdan ayrılırlar. Soğuma hızı arttırıldığında, karbon atomları difüzyon ile katı çözeltiden ayrılmak için yeterli zaman bulamazlar. Demir atomları bir miktar hareket etseler bile, karbon atomlarının çözelti 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 çözeltidir.



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

Su Verme Sertleşmesi

- 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.
- 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.

Su Verme Sertleşmesi



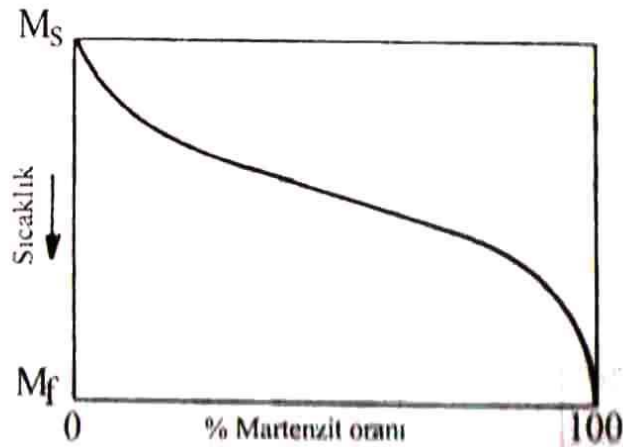
Çeliklerde oluşan tipik bir martenzitik yapının görünümü. İğne biçimindeki taneler martenzit fazını, beyaz bölgeler ise kalıntı osteniti göstermektedir.

Su Verme Sertleşmesi

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 çapılması da dislokasyon hareketini zorlaştırarak veya engelleyerek su verilen çeliklerin sertlik ve mukavemetini artırır.

Martenzitik Dönüşümün Önemli Özellikleri

- **Martenzitik dönüşüm difüzyonsuz olup, dönüşüm sırasında malzemenin kimyasal bileşiminde herhangi bir değişim meydana gelmez.** Bu dönüşüm sırasında ostenit fazı ikili kayma mekanizmasıyla aniden kafes yapısını değiştirir.
- **Martenzitik dönüşüm yalnız soğuma sırasında meydana gelir. Bu nedenle söz konusu dönüşüm zamandan bağımsız olup, yalnız sıcaklığın azalmasına yani soğumaya bağlıdır.** Bu tür dönüşüme atermal dönüşüm denir. Dönüşüm sırasında oluşan martenzitin oranı, azalan sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmez. Dönüşümün başlangıç aşamasında az miktarda martenzit oluşur, sonradan martenzit oranı hızlı bir şekilde artar ve dönüşümün sonuna doğru bu oran tekrar azalır.



M_s : Martenzitik dönüşümün başlangıç sıcaklığı

M_f : Martenzitik dönüşümün bitiş sıcaklığı

Bir çelik parça M_s 'nin altındaki bir sıcaklıkta tutulursa martenzitik dönüşüm durur ve sıcaklık düşmedikçe dönüşüm devam etmez.

Martenzitik Dönüşümün Önemli Özellikleri

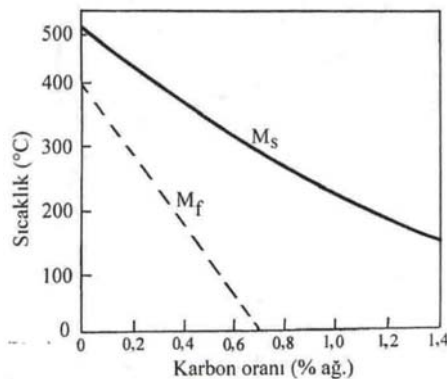
- Soğuma hızını değiştirmekle bir alaşımın M_s sıcaklığı değiştirilemediği gibi martenzitik dönüşümde engellenemez. Martenzitik dönüşüme ait sıcaklık aralığı alaşımın bir karaktersitiği olup, soğuma hızının artırılması ile değiştirilemez.
- M_s sıcaklığı yalnız alaşımın kimyasal bileşime bağlıdır. Çeliklerin M_s sıcaklığını belirlemek için bazı bağıntılar geliştirilmiştir.

Bütün alaşım elementlerinin ostenit içerisinde çözünmeleri durumunda;

$$M_s (^\circ\text{C}) = 561 - (474 \times \%C) - (33 \times \%Mn) - (17 \times \%Ni) - (17 \times \%Cr) - (21 \times \%Mo)$$

Yüksek ve orta alaşımlı çelikler için;

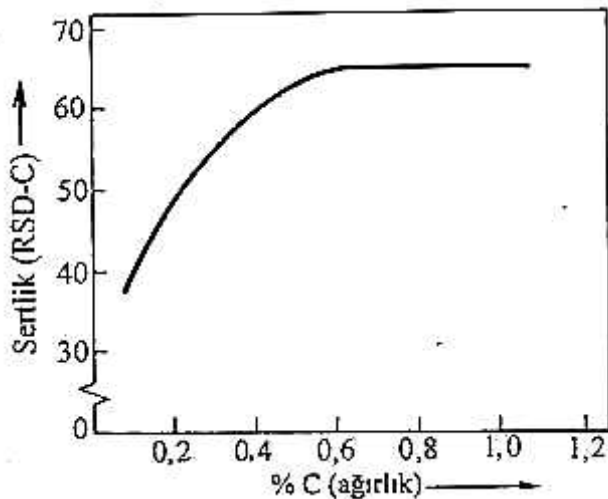
$$M_s (^\circ\text{C}) = 550 - (350 \times \%C) - (40 \times \%Mn) - (20 \times \%Cr) - (17 \times \%Ni) - (8 \times \%W) - (10 \times \%Mo) - (35 \times \%V)$$



M_f sıcaklığı tam olarak belirlenemediğinden kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

Martenzitik Dönüşümün Önemli Özellikleri

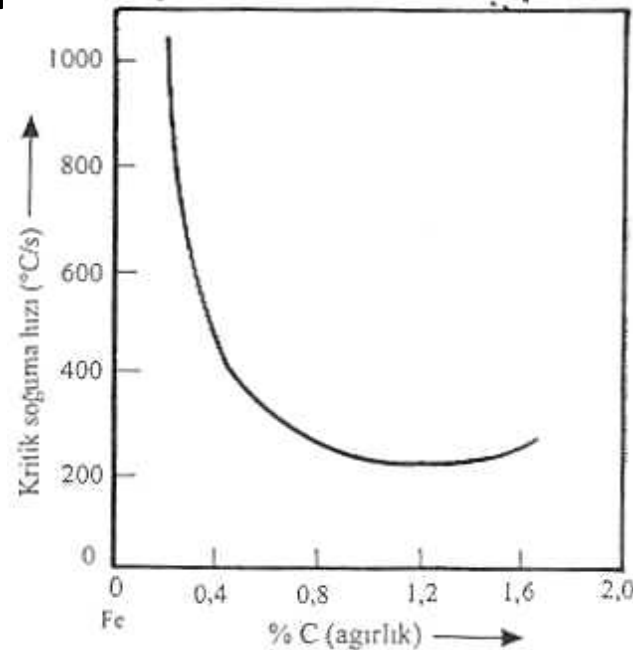
- Martenzit her ne kadar oda sıcaklığında veya buna yakın sıcaklıklarda ölçülemeyecek kadar uzun bir süre dönüşüme uğramadan kalabilirse de gerçekten **kararlı bir faz değildir**. Martenzit, kararsız ostenit ile ferrit ve sementit karışımından oluşan kararlı yapı arasında yer alan geçiş fazı olarak kabul edilir.
- **Martenzitin en önemli özelliği sert bir faz olmasıdır. Nitekim çeliklerde sementitten sonra gelen en sert faz martenzittir.** Yüksek sertlik değerleri ancak yeterli oranda karbon içeren çeliklerden elde edilir. Bir başka ifadeyle su verme işleminden sonra elde edilen sertlik değeri çeliğin karbon oranına bağlıdır.



Su verilen karbon çeliklerinde elde edilen en yüksek sertliğin karbon oranına göre değişimini gösteren eğri

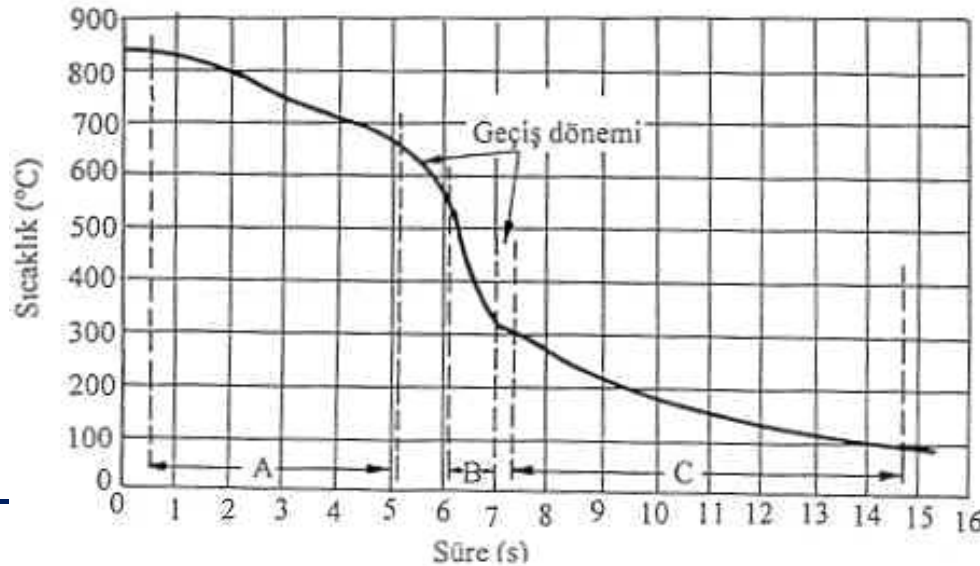
Kritik Soğuma Hızı

Sertleştirme işleminin temel amacı, tamamen martenzitik bir yapı elde etmektir. Bunun için de malzemenin tavlama işleminden sonra, kritik soğuma hızı adı verilen bir değerden daha yüksek hızlarda soğutulması gerekir. **Kritik soğuma hızı ise tamamen martenzitik bir yapı elde etmek için gerekli en düşük soğuma hızıdır.** Çelik için önemli bir kriter olan kritik soğuma kimyasal bileşim ve ostenitin tane büyüklüğüne bağlıdır.



Su Verme İşlemi Sırasında Isı Giderme Mekanizması

Su verilen çeliğin iç yapıları, sertlik ve mukavemetleri su verme işlemi sırasında elde edilen gerçek soğuma hızına bağlıdır. Gerçek soğuma hızının kritik soğuma hızından yüksek olması durumunda, yalnız martenzitik bir yapı elde edilir. Gerçek soğuma hızının, kritik soğuma hızından düşük olması durumunda ise tamamen martenzitten oluşan bir yapı elde edilemez ve bu nedenle parça tam olarak sertleştirilemez. Çünkü, oluşan martenzit dışı dönüşüm ürünleri malzemenin sertleşmesini engeller. Bu nedenle su verme sırasındaki ısı giderme mekanizmasının iyi anlaşılması gerekir.



Ilık suda su verilen silindirik bir parça için tipik bir soğuma eğrisi

Su Verme İşlemi Sırasında Isı Giderme Mekanizması

- **A devresi:** Buhar örtüsü veya buhar filmi devresi olarak adlandırılır. Başlangıçta malzemenin sıcaklığı çok yüksek olduğundan, su verme ortamı buharlaşarak malzemenin üzerinde ince bir buhar filmi oluşturur ve bu film bütün malzemeyi kaplar. Bu buhar filminin ısı geçirgenliği veya ısı iletimi iyi olmadığından bu devrede nispeten düşük soğuma hızı elde edilir.
- **B devresi:** Buhar taşınımı devresi olarak adlandırılır. Malzeme buhar filminin kararlı olmadığı bir sıcaklığa kadar soğuduğunda B devresi başlar. Su verme ortamı ile metal yüzeyi ıslanır ve ani kaynama meydana gelir. En hızlı soğuma bu devrede gerçekleşir.
- **C devresi:** Sıvı soğuma aşamasını gösterir. Malzeme yüzeyinin sıcaklığı su verme sıvısının kaynama noktasına kadar düşünce bu devre başlar. Bu devrede buhar oluşmaz ve soğuma işlemi ısı iletimi ve taşınımı ile gerçekleşir. Ancak, soğuma hızı bu devrede en düşük değerindedir.

Su Verme Ortamları

İdeal su verme ortamı, başlangıçtaki soğuma hızının yüksek, malzemedeki çarpılmanın önlenmesi bakımından da düşük sıcaklıklardaki soğuma hızının düşük olmasını sağlamalıdır. Ancak, bu durumu tam olarak sağlayacak nitelikte bir su verme ortamı yoktur. Su ve inorganik tuzların sulu çözeltileri gibi su verme sıvıları, başlangıç aşamasındaki (A ve B devreleri) soğuma hızlarının yüksek olmalarını sağlarlar. Ancak, bu soğuma hızları düşük sıcaklıklarda da devam ettiğinden, malzemede çarpılma veya çatlama meydana gelebilir. Geleneksel su verme yağları ile uzun bir A devresi ve düşük soğuma hızına sahip kısa bir B devresi elde edilir.

Sanayide kullanılan su verme ortamları, su verme şiddetlerine göre aşağıdaki gibi sıralanır.

- a) Tuzlu su
- b) Musluk suyu
- c) Erimiş veya sıvı tuzlar
- d) Yağ ve su karışımı
- e) Yağ
- f) Hava

Bazı ortamların soğuma hızları Tablodaki gibidir;

Su Verme Ortamları

Su Verme Ortamı	Soğuma hızı ölçüm sıcaklıkları (°C)					
	740		650		680-480	
	Banyo sıcaklıkları (°C)					
	24	52	24	52	24	52
	Soğuma hızı (°C/s)					
%10' luk tuzlu su	212	164	212	181	213	159
Musluk suyu	117	26	124	65	122	98
Gulf süper su verme yağı	44	47	94	100	75	76
Yavaş su verme yağı (%10 yağ-%90 su)	20	17	17	14	22	24
Durgun hava	3	-	2	-	2	-
Erimiş tuz	90		72		37	





