

- ▶ ISIL İŞLEM NEDİR
- ▶ ISIL İŞLEM NEDEN GEREKLİDİR
- ▶ ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİĞE ETKİSİ
- ▶ ÇELİĞİN SERTLEŞME KABİLİYETİ
- ▶ ISIL İŞLEM PROSESLERİ

SEMENTASYON

NİTRASYON-PLAZMA NİTRASYON

ISLAH ISIL İŞLEMİ

TEMPERLEME (MENEVİŞLEME)

ÖSTEMPERLEME

VAKUM ALTINDA TAKIM SERTLEŞTİRME

NORMALİZASYON

İNDÜKSİYON İLE YÜZEY SERTLEŞTİRME

GERİLİM GİDERME

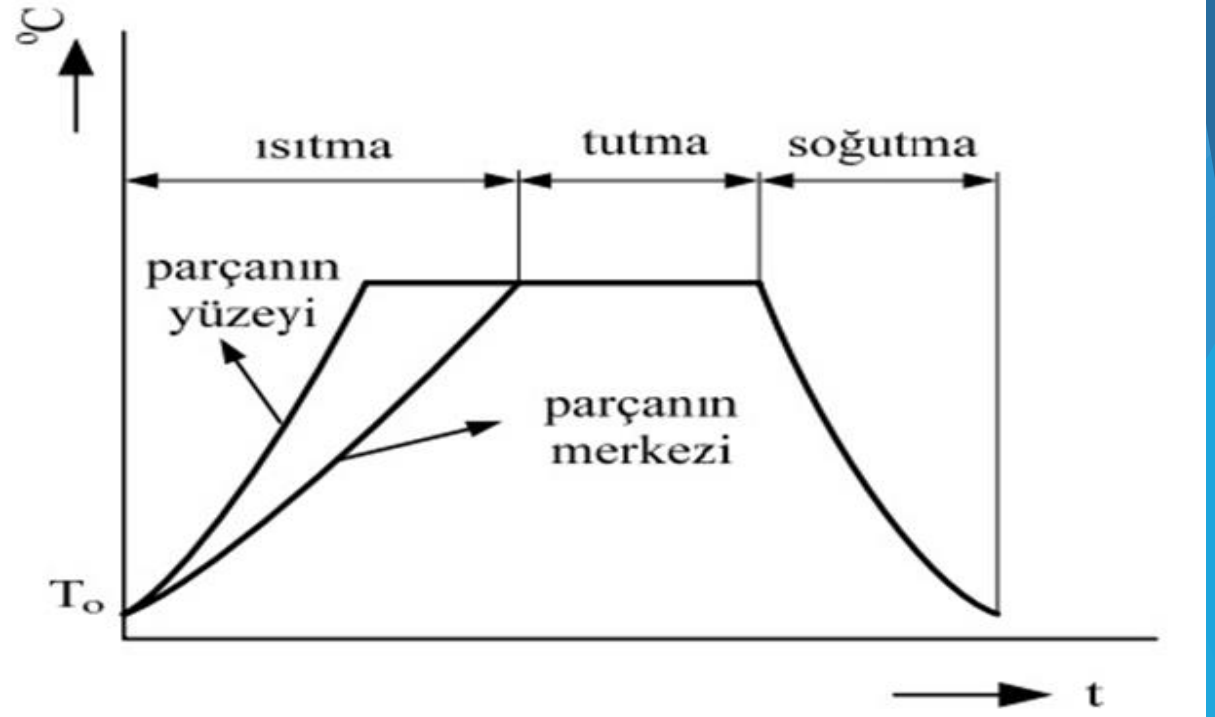
YUMUŞATMA TAVLAMASI

SIFIR ALTI ISIL İŞLEMİ

# ISIL İŞLEM NEDİR

- ▶ Isıl İşlem; Metallerin, mekanik, fiziksel, Kimyasal, elektriksel vb. özelliklerini değiştirmek amacıyla, o malzemeye belli bir zaman-sıcaklık prosesi dahilinde uygulanan ısıtma ve soğutma periyodlarına ısıtma işlemi denir.

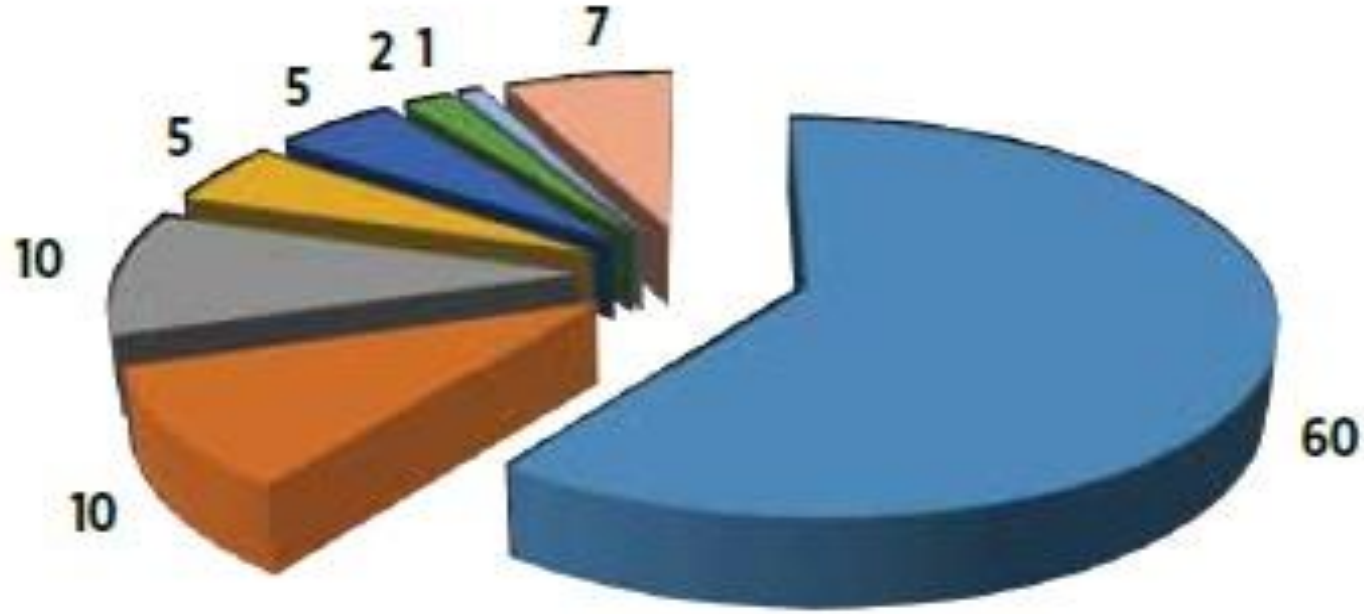
- ▶  $t_T = 20 + \frac{S}{2}$
- ▶  $t_T$  = Tutma Süresi (Dakika)
- ▶  $S$  = Kesit Kalınlığı (mm)



# ISIL İŞLEM NEDEN GEREKLİDİR?

- ▶ Sıcak ve soğuk Şekillendirme gerilimini gidermek,
- ▶ Talaş kaldırmayı kolaylaştırmak,
- ▶ Sertlik ve dayanımın arttırılması veya azaltılması,
- ▶ Darbe direnci yükseltmek,
- ▶ Kristal yapısını değiştirmek,
- ▶ Mikrosegregasyonu gidermek,
- ▶ Tane büyüklüğünün değiştirmek,
- ▶ AŞınma direncini geliŐtirmek.

# ISIL İŞLEMİN KULLANIM ALANLARI



■ Otomotiv

■ Metal Sanayi

■ Beyaz Eşya

■ Savunma ve Havacılık Sanayi

■ Makine

■ Alt Yapı ve İnşaat Malzemeleri

■ Raylı Sistemler

■ Diğer

**Grafik 4: Türkiye'de Isıl İşlemlerde Sektörlerin Payları (Yüzde, 2015)**

**Kaynak:** Çalışma ekibi ve sektör temsilcileri tarafından hazırlanmıştır.

İl Adı	Kayıtlı Üretici	Personel Bilgileri						Üretim Kapasitesi
		M	T	U	İ	İD	Toplam	Kilogram
Adana	4	6	2	7	103	12	130	5.998.000
Ankara	10	18	21	40	128	24	231	41.314.695
Bursa	9	23	6	17	177	26	249	17.152.090
Çorum	1	1	0	1	5	0	7	*
Hatay	1	2	6	16	149	22	195	*
Mersin	1	22	10	8	168	7	215	*
İstanbul	36	63	39	45	659	119	925	81.891.380
İzmir	10	22	20	41	272	41	396	40.670.620
Kayseri	1	0	0	2	2	2	6	*
Kocaeli	8	32	1	10	121	56	220	20.846.450
Konya	8	6	4	21	190	49	277	12.508.000
Manisa	3	12	8	6	124	24	174	*
Toplam	92	207	117	214	2098	382	3025	237.399.595

M: Mühendis; T: Teknisyen; U: Usta; İ: İşçi; İD: İdari;

\* Kayıtlı üretici sayısı 3 ve daha az ise üretim kapasitesi bilgileri verilmemektedir

**Tablo 7: Metallerin Isıl İşlem Hizmetleri Firma Bilgileri (Metalik Kaplama Hariç) (2015)**

**Kaynak:** Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği

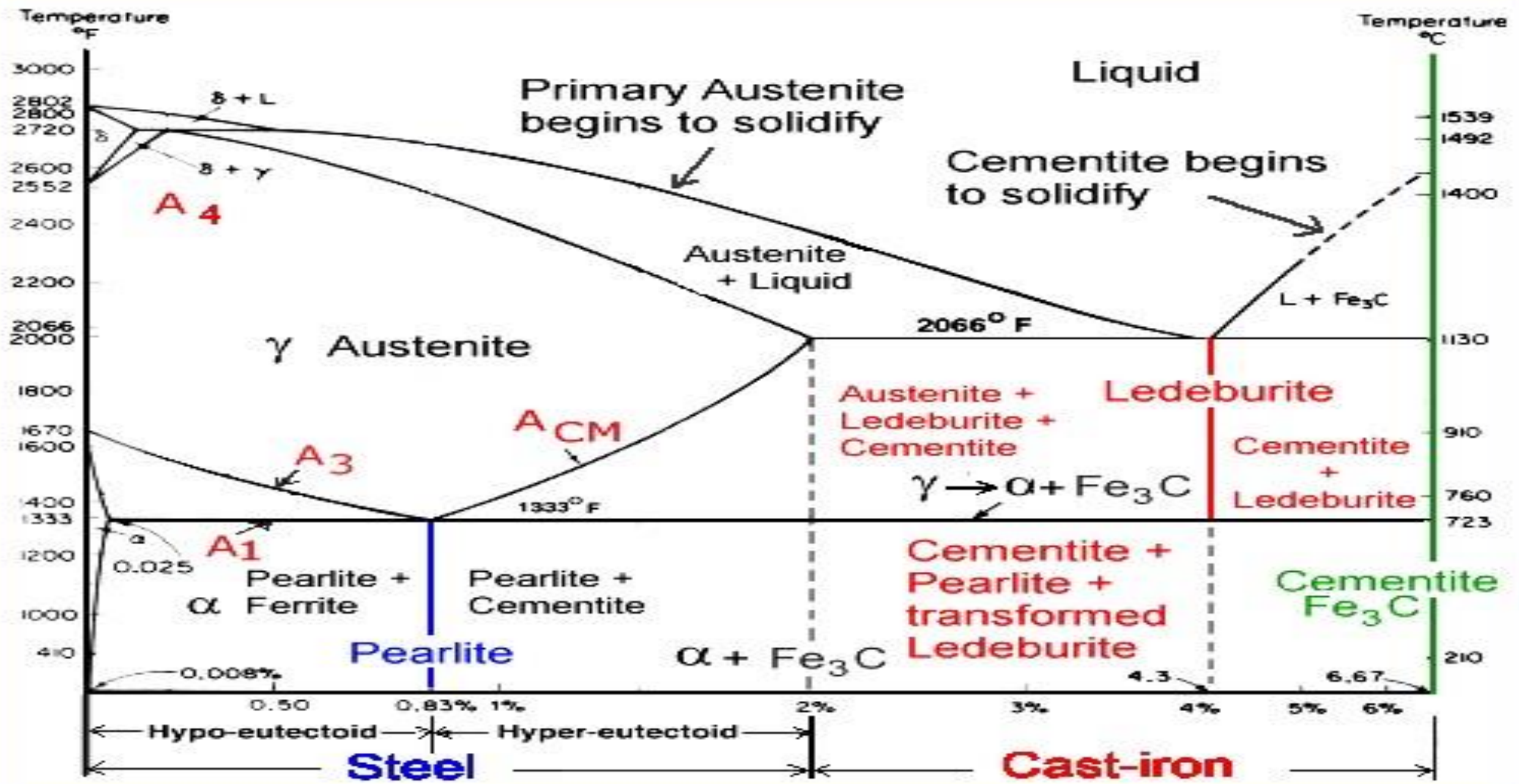
# ÇELİK NEDİR

- ▶ Maksimum %2,06 C içeren ve ek işlem gerektirmeden şekillendirilebilen Fe-C alaşımıdır.
- ▶ Uygulanan ısıt işlemlerle mekanik özellikler, tane boyutları ve dayanımları değiştirilebilir.
- ▶ Çelik, bileşimine bağlı olarak içerdiği alaşım elementlerine ve uygulanan ısıt işleme göre farklı özellikler içerebilir.

# ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİĞE ETKİSİ

## KARBON

- ▶ eliğin temel alaşım elementidir.
- ▶ çeliğin mukavemetini ve sertliğini arttıran en önemli elementtir.
- ▶ % C arttığa çeliğin içyapısındaki perlit oranı arttığından, çeliğin çekme ve akma mukavemetleri artar.
- ▶ Su verilmiş çeliklerde en yüksek sertlik değerine %0.60 C düzeyinde eriŐilir. Öte yandan % C arttığa çeliğin sünekliliği ile kaynaklanabilirliği azalır.
- ▶ Karbon, genellikle, diğer bazı elementler kadar (fosfor gibi) segregasyona fazla yatkın değildir.



Iron - carbon phase diagram with the cast-iron part.



# MANGAN

- ▶ Çeliğin dayanımını arttırır.
- ▶ Manganın çekme ve akma mukavemetlerindeki artış etkileri birbirine benzer. % 3 Mn değerine dek her % 1 Mn için çekme mukavemetini 100 MPa artar.
- ▶ Tavlanmış ve normallenmiş çeliklerde Mn tokluğu artırır.
- ▶ Mangan, çeliğin dövülebilirliğini ve sertleşebilirliğini olumlu yönde etkiler.
- ▶ Yüksek manganlı (% 13 Mn) ve yüksek karbonlu çelikler yüksek aşınma direnci ve tokluk özelliği gösterirler.

# SİLİSYUM

- ▶ Çelik üretiminde oksijen giderici olarak kullanılan temel elementlerden biridir.
- ▶ Çeliğin bileşiminde bulunan silisyumun oranı çeliğin türünü belirler.
- ▶ Düşük alaşımlı çelikler ve özellikle de yay çelikleri % 2 ye kadar silisyum içerirler.
- ▶ Buna karşın silisyumlu çelikler % 5 Si miktarına kadar içerirler.
- ▶ Benzer biçimde çok yüksek oranlarda (% 14-15) silisyum içeren yüksek alaşımlı çelik çok yüksek korozyon direnci gösterir; fakat kesinlikle dövülemez ve gevrektiler.
- ▶ Silisyum arttıkça çeliğin tane büyüklüğü artar.

# KÜKÜRT

- ▶ Kolay işlenen kükürtlü çeliklerin dışında kalan tüm çeliklerin bileşiminde istenmeyen bir elementtir. Bu nedenle çelik bileşiminde olabildiğince düşük düzeylerde tutulmalıdır.
- ▶ Kükürt oranı arttıkça enine süneklik ve çentikli darbe tokluğu değerleri düşer.
- ▶ Kükürt, mangan ile dengelenmediğinde sıcak kırılganlık yaratır.
- ▶ Kükürt genellikle sülfür ve oksisülfür kalıntıları olarak çelik yapısında bulunur. Segregasyon yatkınlığı çok yüksektir.

# FOSFOR

- ▶ Ferritin dayancını en fazla arttıran elementtir. Düşük oranlarda bile fosfor, çeliğin dayancını ve sertliğini artırıcı, buna karşın haddeleme yönündeki süneklik ve çentik tokluğunu azaltıcı yönde etki yaratır. Bu olumsuz etkiler özellikle yüksek karbonlu menevişlenmiş çeliklerde artar.
- ▶ Fosfor % 0.10 değerinden fazla olduğunda çelikte gevrekliği arttırdığı düşünülür. Fakat, fosforun bu etkisi karbon oranından çok etkilenir ve % 1.5 C' dan az karbon içeren çeliklerde fosforun yarattığı gevreklik pek önemsizdir.
- ▶ Fosfor çeliğin korozyon direncini olumlu yönde etkiler.

KULLANMA ALANLARI		Fosfor (P)	Kükürt (S)
C	Genel amaçlı kaliteli karbon çelik.	max. 0.060	max. 0.060
Ck	Genel amaçlı vasıflı karbon çelikleri düşük P ve S li	max. 0.035	max. 0.035
Cm	Kükürt miktarı belli sınırlar içinde olan ıslah edilebilir karbon çelik	max. 0.035	max. 0.035
Cq	Soğuk şekillendirilebilir karbon çelikleri	max. 0.035	max. 0.035
Cf	Alevle ve endüksiyonla yüzeyi sertleştirilebilir karbon çelikleri	0.025	0.035

# NIKEL

- ▶ Ferritte katı çözültü sertleşmesi sağlayarak çeliğin dayanımını artırır.
- ▶ Bu artış silisyum ve manganın etkisine oranla daha azdır.
- ▶ Nikel çeliğin tokluğunu arttırmak amacıyla katılır.
- ▶ Krom kadar olmasa da sertleşebilirliği de artırır.
- ▶ Nikel içeren yapı çelikleri, özellikle bileşimlerinde krom varsa yüksek tokluk, yüksek sertleşebilirlik ve yüksek yorulma direnci istenen uygulamalar için seçilebilir.
- ▶ Düşük düzeylerdeki bakır ve fosfor ile birlikte, deniz suyu korozyonuna karşı çeliklerin direncini arttırmak amacıyla nikel kullanılır.

# KROM

- ▶ Çeliğin bileşimine korozyon direncini, oksitlenme direncini, aşınma direncini ve sertleşebilirliği arttırmak amacıyla katılır.
- ▶ Paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementidir.
- ▶ Krom, bir karbür oluşturuçu element olduğundan, hem takım çeliklerinde yüksek karbon ile birlikte aşınma direncini ve hem de yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan çeliklerde sürünme direncini yükseltmek için katıldığında bileşimine genellikle molibden de eklenir.
- ▶ Krom, çeliği sertleştirici ve tokluğu düşürücü yönde etki yaratır.

# MOLİBDEN

- ▶ Düşük alaşımlı çeliklerin bileşiminde % 0.15-% 0.30 oranlarında bulunur ve genellikle en yüksek etkinliği krom ve nikel ile birlikte bulunduğu gösterir.
- ▶ Molibden çeliklerin sertleşebilirliklerini ve dayanımını artırır.
- ▶ Bir karbür oluşturunca aşınma direncini arttırmak amacıyla yüksek oranlarda (% 5-6) takım çeliklerinde kullanılır.
- ▶ En önemli özelliği yüksek hız çeliklerinde ikincil sertleşme yaratarak sıcak sertliği sağlamasıdır. Bunu karbon ile birlikte yaptığı karbürlerin oluşumuna borçludur.
- ▶ Sürünme dirençli çeliklere sürünme direncini artırıcı etkisi için katılır.



# VANADYUM

- ▶ Azot ile birleşip nitrürleri oluşturduğundan çeliklerde ferritli ince yapıyı oluşturmak amacıyla tane küçültücü olarak kullanılır. Bu nedenle çentik tokluğu da yükselir.
- ▶ Vanadyum en güçlü karbür oluşturucu olduğundan takım çeliklerinde sıcak sertlik değerini arttırmak amacıyla kullanılır.
- ▶ Yüksek hız çeliklerinde volfram ile birlikte; yapı çelikleri ile ısı dirençli çeliklerde krom ile birlikte kullanılır.

## TUNGSTEN/VOLFRAM

- ▶ En önemli özelliği yüksek hız çeliklerinde ikincil sertleşme yaratarak sıcak sertliği sağlamasıdır. Bunu karbon ile birlikte yaptığı karbür oluşturarak yapar.
- ▶ Volframın oluşturduğu karbürler çeliklerin aşınma direncini çok artırır.
- ▶ Volfram genelde takım çeliklerinde kullanılır.

# ALÜMİNYUM

- ▶ En güçlü oksijen gidericidir.
- ▶ Al çelik üretiminde tane küçültücü olarak kullanılır.
- ▶ En çok %0.075 Al kullanıldığında çeliklerin tokluğunu artırır.

# BOR

- ▶ • Düşük karbonlu ve orta karbonlu çeliklerin sertleşebilirliğini etkin olarak arttıran elementtir.

## KURŞUN

- ▶ Çelikte çözünmendiğinden yalnızca kurşunlu kolay işlenebilir çeliklerin bileşimine katılır.
- ▶ Genellikle %0.20-0.50 Pb, talaşlı işlenebilirliği en çok arttıran düzeydedir. Ancak kurşunun çelik yapısı içinde küçük, eşit büyüklükte ve eş dağılımlı olması gerekir.

# BAKIR

- ▶ Sıcak şekillendirmede kırılma eğilimine sebep olduğu için % 0.5 oranı pek aşılmaz. Sünekliği ciddi oranda düşürmesine karşın korozyon dayanımını artırır ve sertliği artırdığı için ilave edilir.

## OKSİJEN

- ▶ Yalın durumdan çok, oluşturduğu oksit kalıntılarla tehlike yaratır. Mekanik özellikleri ve özellikle enine yönde tokluğu düşürücü etkisi vardır.

# AZOT

- ▶ Nitrürleri oluşturduğu için önemlidir. Nitrürleme işlemiyle yüzey sertleştirme, tümüyle nitrür oluşumundan yararlanılarak yapılır.



# HİDROJEN

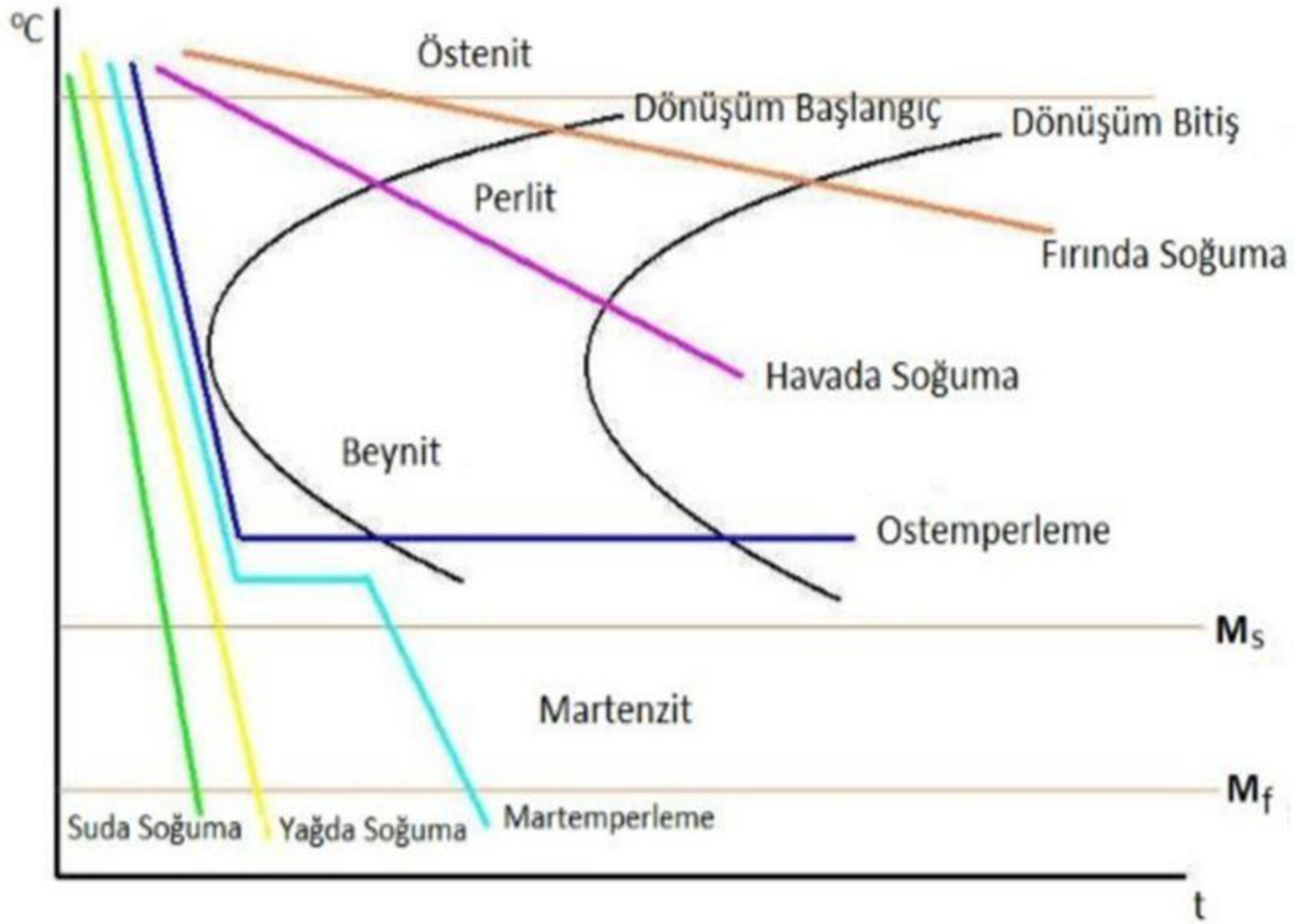
- ▶ Çeliğin içyapısı içinde en tehlikeli ve zararlı elementtir.
- ▶ Çeliğe, kullanılan hidrokarbon kökenli ve nemli hammadde ve katkı maddelerinden ya da atmosferdeki nemden girer.
- ▶ Çeliğin katı içyapısı içinde oluşan H<sub>2</sub> gazı çatlaklar yaratarak çeliğin mekanik özelliklerini bozar. Katı çelikten giderilmesi uzun süreli ısıtmalarla olasıdır.
- ▶ Vakum altında gaz giderme işlemiyle sıcak çelikten daha kolay giderilebilir.

Alaşım Elementi	Serlik	Mukavemet	Akma Noktası	Uzama	Kesit Büzülmesi	Darbe Direnci	Elastisite	Yüksek Sıcaklığa Dayanım	Soğuma Hızı	Karbür Oluşumu	Aşınma Direnci	Dövülebilirlik	İşlenebilirlik	Oksitlenme Eğilimi	Korozyon Dayanımı
Si	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	~
Mn*	↑	↑	↑	~	~	~	↑	~	↓	~	↓↓	↑	~	~	~
Mn**	↓↓↓	↑	↓	↓↓↓	~	—	—	↓↓	—	—	—	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	~
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	~	↑	↓	→	↓↓↓	↓↓↓
Ni*	↑	↑	↑	~	~	~	—	↑	↓↓	—	↓↓	↓	↓	↓	~
Ni**	↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	—	↑↑↑	↓↓	—	—	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑
Al	—	—	—	—	↓	↓	—	—	—	—	—	~	—	↓↓	~
W	↑	↑	↑	↓	↓	—	—	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	—
V	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓	↑↑↑↑	↑↑	↑	—	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	—	↑↑	↑↑	—	↑↑↑	↓	~	↓	—
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↑	—	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	—
S	—	—	—	↓	↓	↓	—	↓↓↓	↑↑↑	—	↓	—	—	—	—
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	—	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑	—	—	—	—

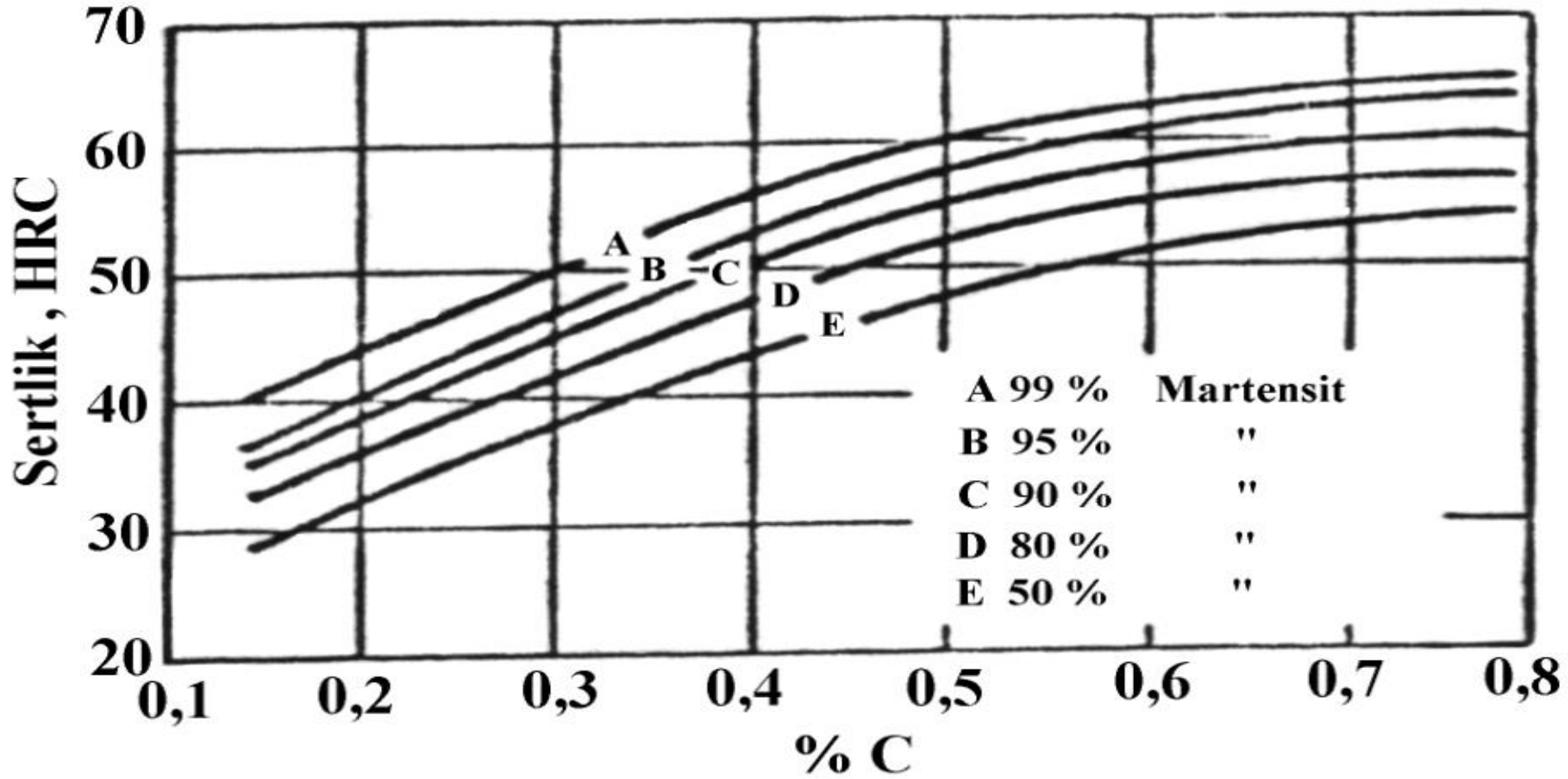
\* Perlitik Çeliklerde \*\* Ostenitik Çeliklerde ↑ Artırır ↓ Azaltır ~ Değişmez — Önemsiz ya da bilinmiyor

# ÇELİKLERİN SERTLEŞME KABİLİYETLERİNİN BELİRLENMESİ

- Kritik soğuma hızı, TTT diyagramlarında burun noktasını kesmeden sağlanan en düşük soğuma hızıdır. Su verme işleminde uygulanan soğuma hızı, kritik soğuma hızından daha yüksek ise, perlit ve beynit dönüşümü tamamen engellenerek martensit yapısı oluşur. Eğer soğuma hızı kritik soğuma hızından daha düşük ise en son yapıdaki martensitin miktarı ve buna bağlı olarak da sertlik azalır.



Zaman - Sıcaklık - Dönüşüm (TTT) Diyagramı

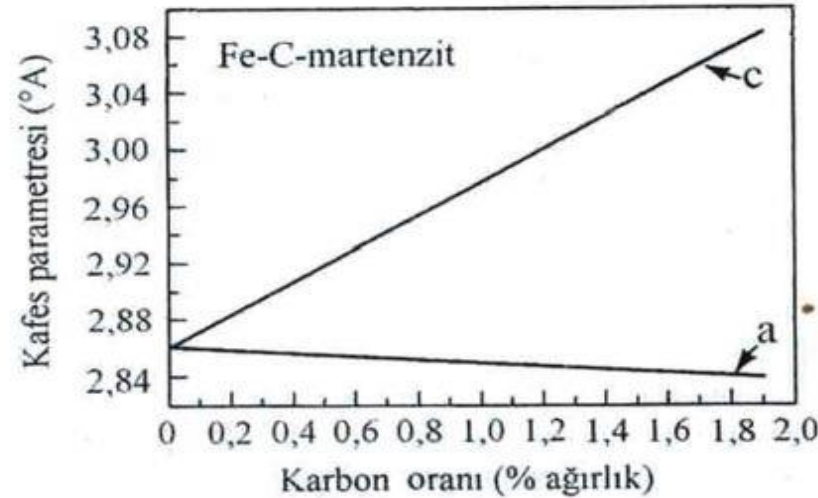
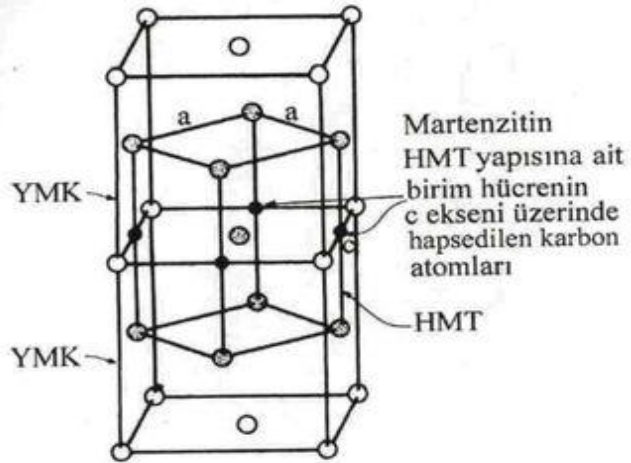


- Martensit miktarı, sertlik ve karbon miktarı ilişkisi.

Sertleşebilirlik, su verme işlemi sonucu yapısı martensite dönüşen bir çeligin sertleşme kabiliyeti olarak tanımlanır. Sertleşebilirlik deneyleri su verme ile elde edilen sertlik derinliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Bu derinlik, martensit miktarının yüzeyden itibaren yarıya indiği ya da % 50 martensit ve beynitin var olduğu mesafe olarak ifade edilmektedir. Sertleşebilirlik ile sertlik farklı kavramlardır. Maksimum sertlik çeligin karbon miktarına bağlıdır. Sertleşebilirlik ise çeligin kimyasal bileşimine ( karbon ve alaşım elementleri ) ve su verme sırasında östenit tane boyutuna bağlıdır.

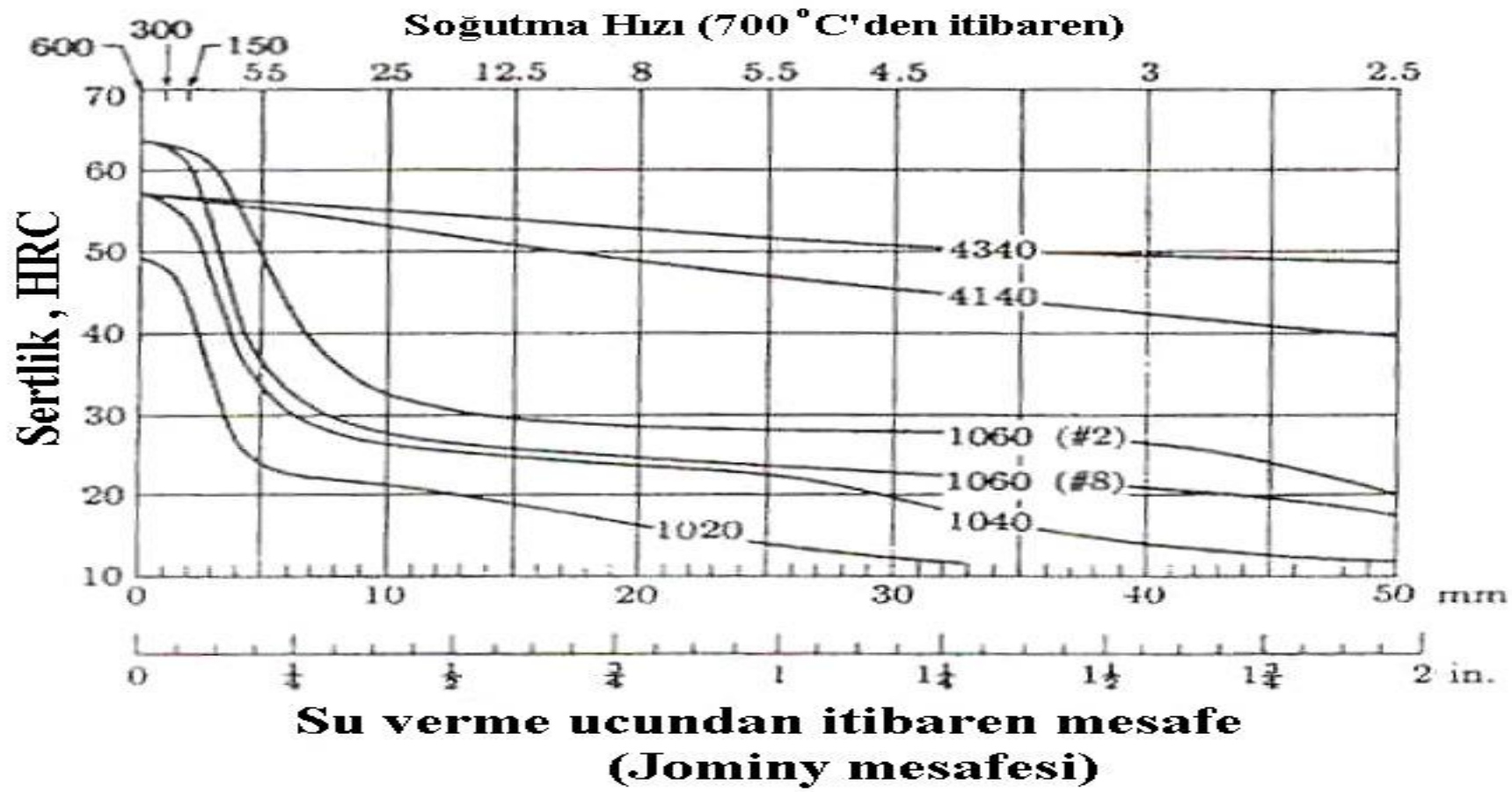
## Su Verme Sertleştirmesi

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 içersinde 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.

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



	C	Mn	Ni	Cr	Mo
1020	0.20	0.90	0.01	—	—
1040	0.39	0.89	0.01	0.01	—
1060	0.62	0.81	0.02	—	—
4140	0.38	0.79	0.01	1.01	0.22
4340	0.40	0.75	1.71	0.77	0.32

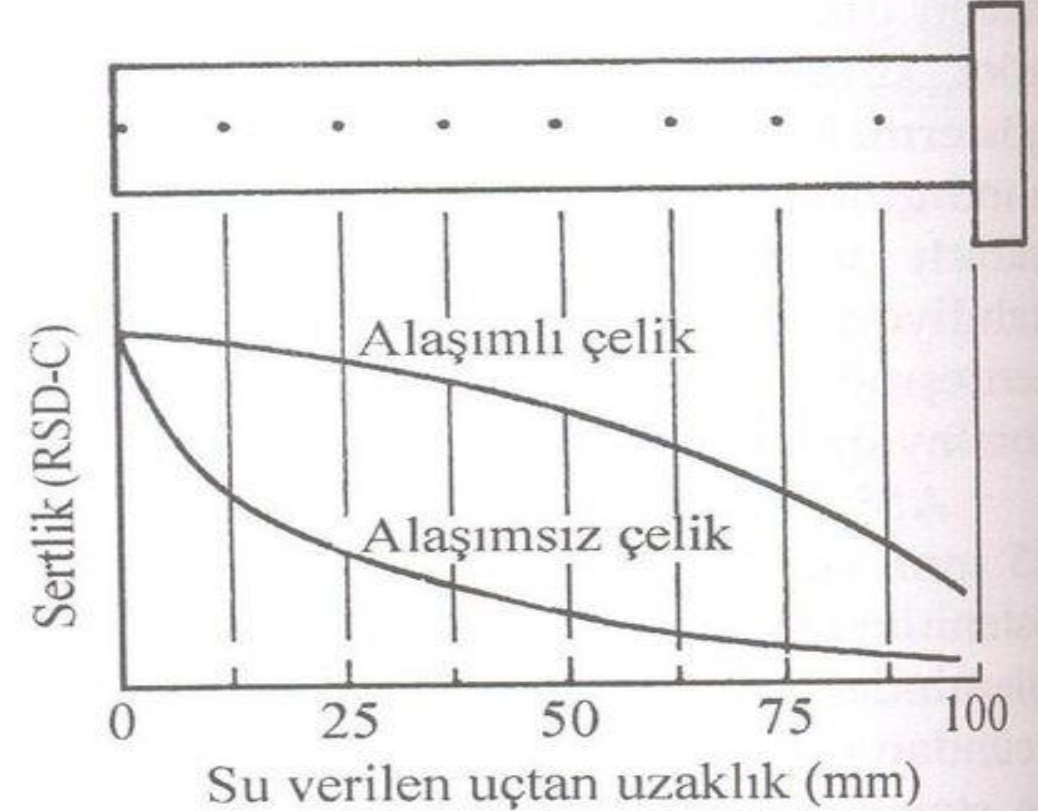
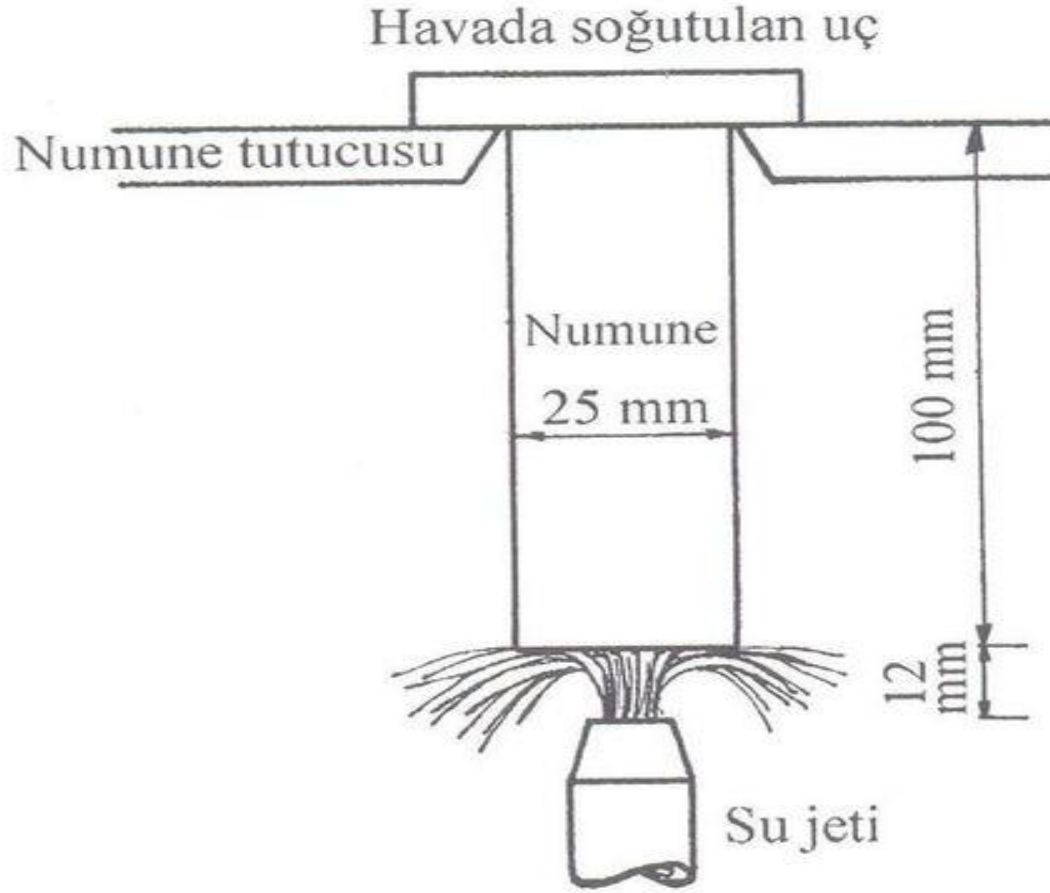
- 4140, 4340, 1040, 1020 ve 1060 çeliklerinin tipik Jominy eğrileri



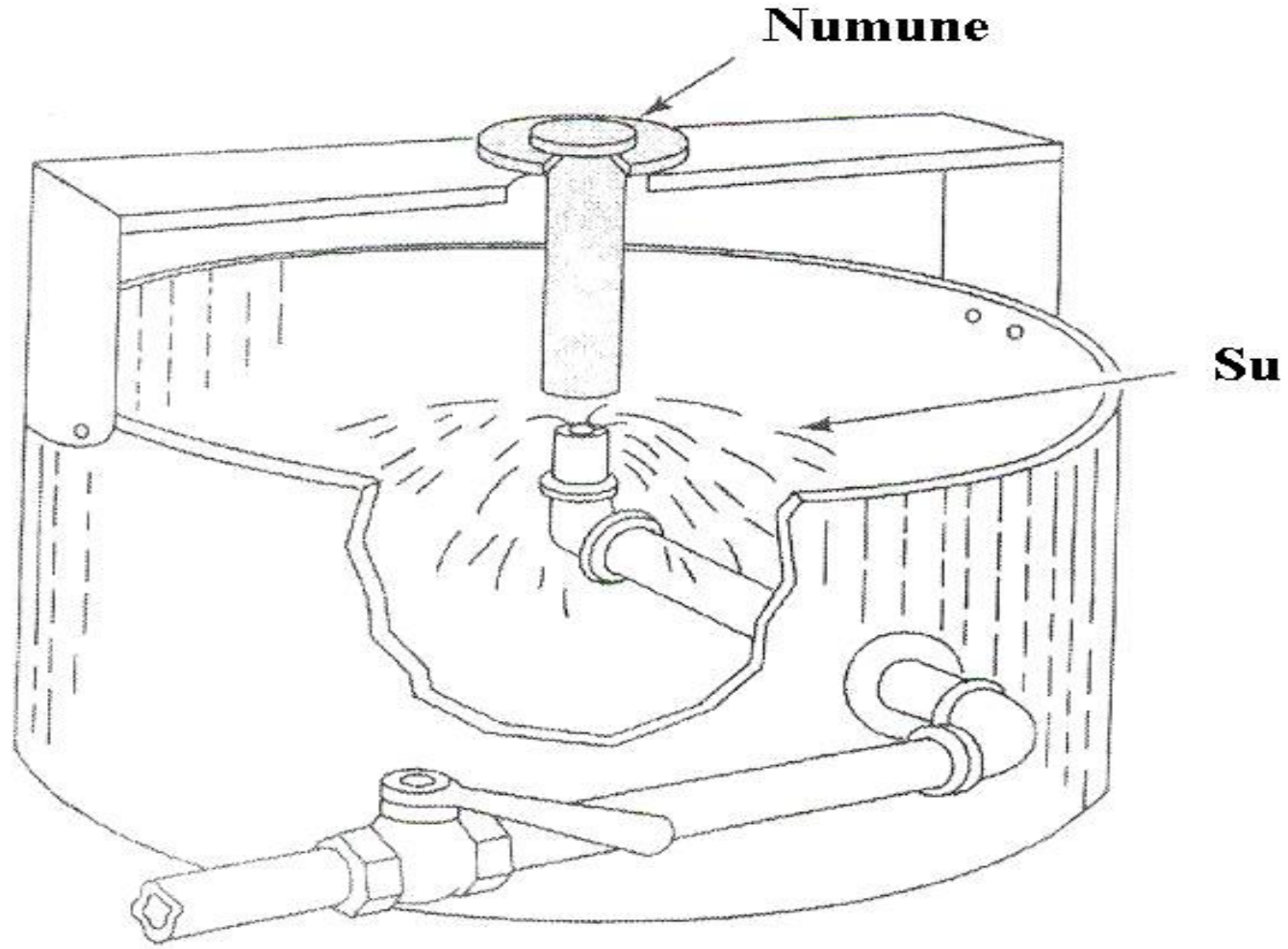
# JOMINY EĞRİLERİNİN PRATİK UYGULAMALARI

Jominy eğrileri, kalite kontrolde farklı sınıf çeliklerin sertleşebilme derinliklerini (yüzeyin altında istenen sertlik değerinin elde edilebileceği mesafe) kıyaslamak için kullanılır. Sertleşebilirlik, soğutma ortamına olduğu kadar malzemenin çapına ya da kesit kalınlığına da bağlıdır. Dolayısıyla, aynı sınıf çeliğe ait farklı çaplarda hazırlanmış deney numuneleri kullanılarak, numune çapı-Jominy mesafesi-sertlik arasındaki ilişkinin belirlenmesi de mümkündür. Örneğin, 39 mm çapındaki bir numunenin merkezindeki sertliğin, 50 mm çapındaki bir numunenin yüzeyinin 10 mm altındaki sertlik ile veya 75 mm çapındaki numunenin yüzeyinin 2 mm altındaki sertlik ile aynı olması bu Jominy mesafelerinde (merkez, 10 mm ve 2 mm) soğuma hızlarının aynı olduğunu gösterir. Böyle bir durumun geçerli olabilmesi için, doğal olarak tüm numunelerin aynı ortamda sertleştirilmiş olması gerekir. Jominy deneyi ile elde edilen bu tür bilgi, çeligin hava ya da yağ gibi farklı sertleştirme ortamlarında sertleştirilmesi durumunda soğuma hızlarının karşılaştırılması bakımından önemlidir.

Malzemelerin sertleşme kabiliyetini belirlemek için en yaygın olarak uygulanan yöntem Jominy deneyidir. Bu deneye uçtan su verme deneyi de denir.

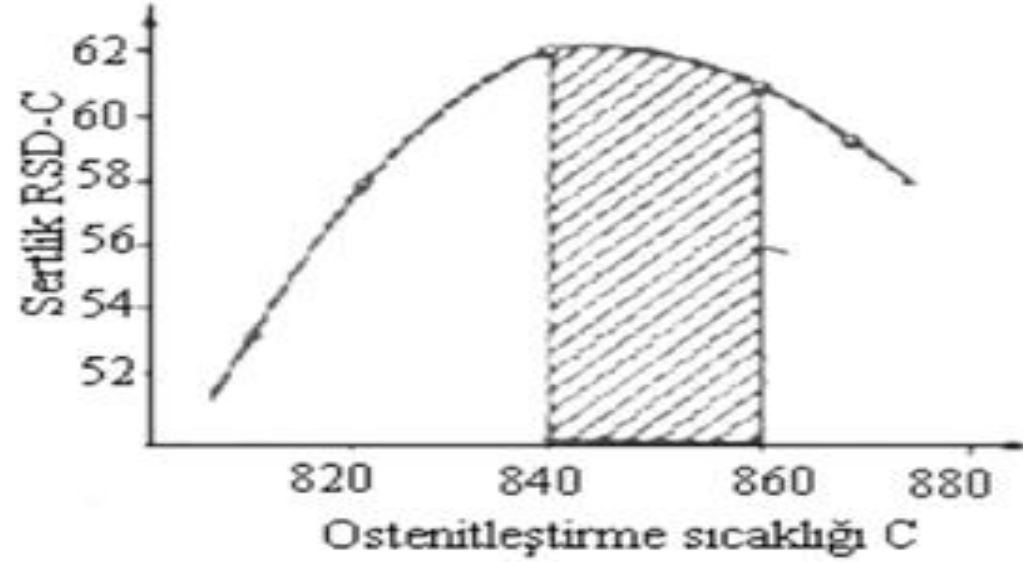


Jominy deneyi: a) Deneyin yapılışı b) alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin su verilen uçtan uzaklığa göre değişimlerini gösteren eğriler



- Jominy deney düzeneğinin şematik görünüşü.

Soğuma hızı, çelik çubuk boyunca su verilmiş uçtan itibaren kademeli olarak azalır. Çubuk soğutulduktan sonra eksenine paralel ve yüzeyden itibaren 0,015 inç (0,381 mm) derinliğinde talaş kaldırma işlemi yapılarak düzgün bir yüzey elde edilir. Daha sonra bu yüzey kullanılarak, su verilmiş uçtan itibaren 1/16 inç (1,58 mm) aralıklarla çubuğun sertliği Rockwell C skalasında ölçülür. Su verilmiş uçtan itibaren mesafe ve elde edilen sertlik değerleri bir grafik üzerinde belirtilerek, Jominy eğrileri elde edilir .

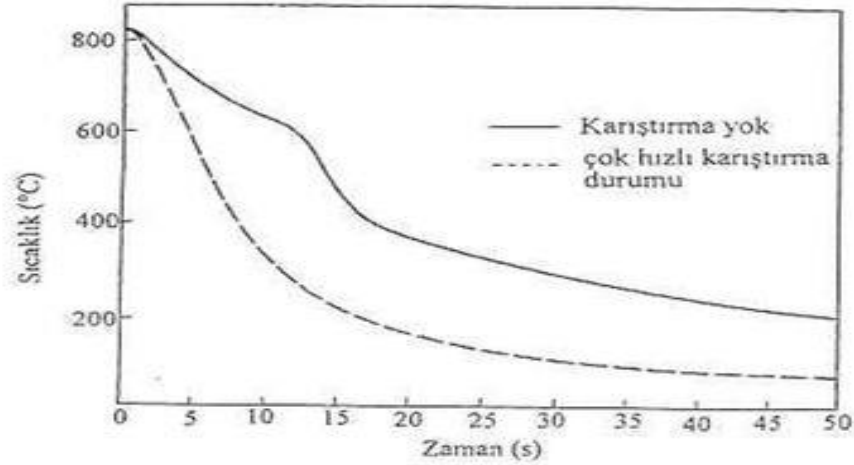


### **Östenit sıcaklığının ani soğutma sonrası elde edilebilecek sertliğe etkisi**

Uygun sıcaklık aralığı, genellikle 840-860°C olarak verilir. Bu sahanın altında yeterli düzeyde östenitleştirme yapılamadığı için, sahanın üzerinde ise Ms sıcaklığı düşeceği ve artık östenit miktarı artacağı için düşük sertlik değerleri bulunur.

Çoğu kez, çelikte beklenen sertlik değeri elde edilemediğinde, o çelik için belirtilen sertleştirme sıcaklığının 20°C kadar üzerine çıkmak, olumlu sonuç verir.

Su verme ortamını karıştırmak veya su verilen parçayı karıştırıcı gibi hareket ettirmek suretiyle soğutma hızı artırılabilir. Bu işlem, parça yüzeyinde oluşan buhar filminin oluşur oluşmaz yok olmasına, yani parçanın soğuma hızının artmasına neden olur. Değişik su verme ortamlarının soğutma hızları, soğutma şiddeti 1 (bir) olarak kabul edilen durgun suya göre belirlenir. Bazı su verme ortamlarının soğutma şiddetleri Tablo 'da verilmiştir.



Bazı su verme ortamlarının değişik su verme yöntemleriyle elde edilen soğutma şiddetleri (durgun su 1 (bir) birim olarak kabul edilirse)

Su verme yöntemi	Su verme ortamı		
	Yağ	Su	Tuzlu su
Durgun ortamda, parça hareketsiz	0,25-0,30	0,9-1,0	2,0
Hafif sirkülasyon veya az hareket	0,30-0,35	1,0-1,1	
Hızlı sirkülasyon	0,50-0,80	1,6-2,0	
Orta halli sirkülasyon	0,35-0,40	1,2-1,3	2,0-2,2
İyi sirkülasyon	0,40-0,50	1,4-1,5	
Çok hızlı sirkülasyon	0,80-1,10	4,0	5,0

Karıştırma işleminin, yağda su verilen paslanmaz çelik örneğinin merkez bölgesine ait soğuma eğrisine etkisi (Yağ sıcaklığı=52°C)

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	

## Soğutma Fazlarının Etkileri

Kısa Buhar Fazı



Tüm iş parçası yüzeyinin hızlı, homojen soğuması

Geniş Kaynama Faz Aralığı

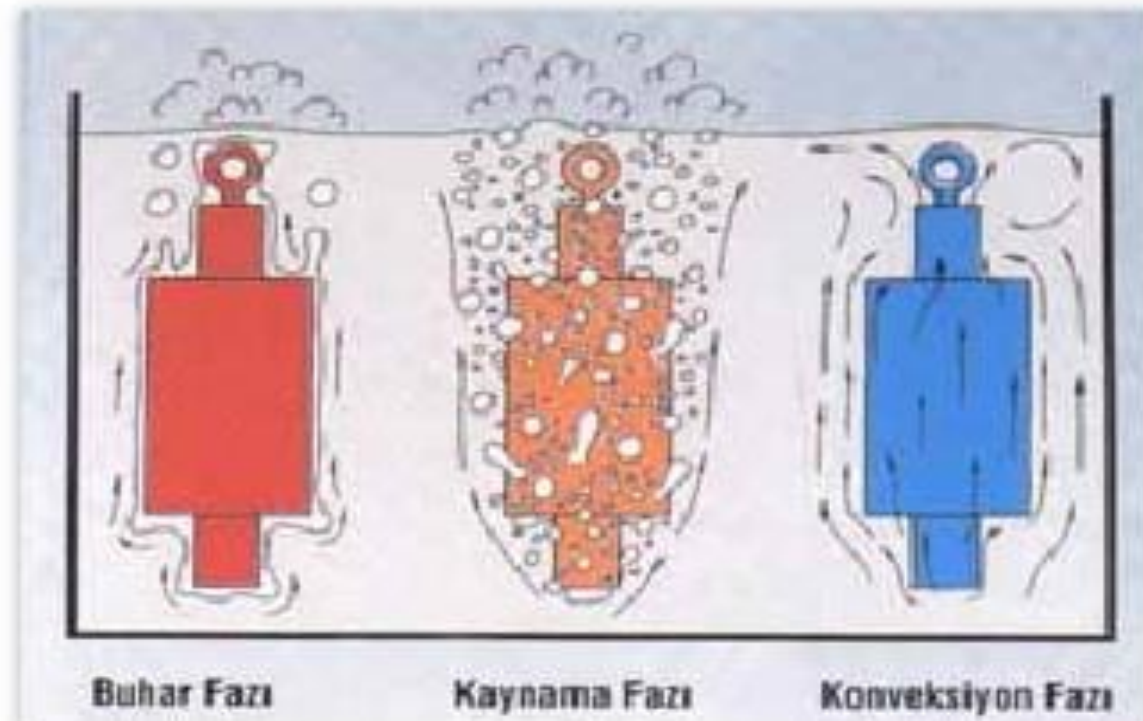


Kalın kesitlerde iyi bir ısı transferi

Konveksiyon Fazındaki Soğuma



Banyonun hareketlendirilmesi ile büyük ölçüde etkilenebilir.



# ISIL İŞLEM PROSESLERİ

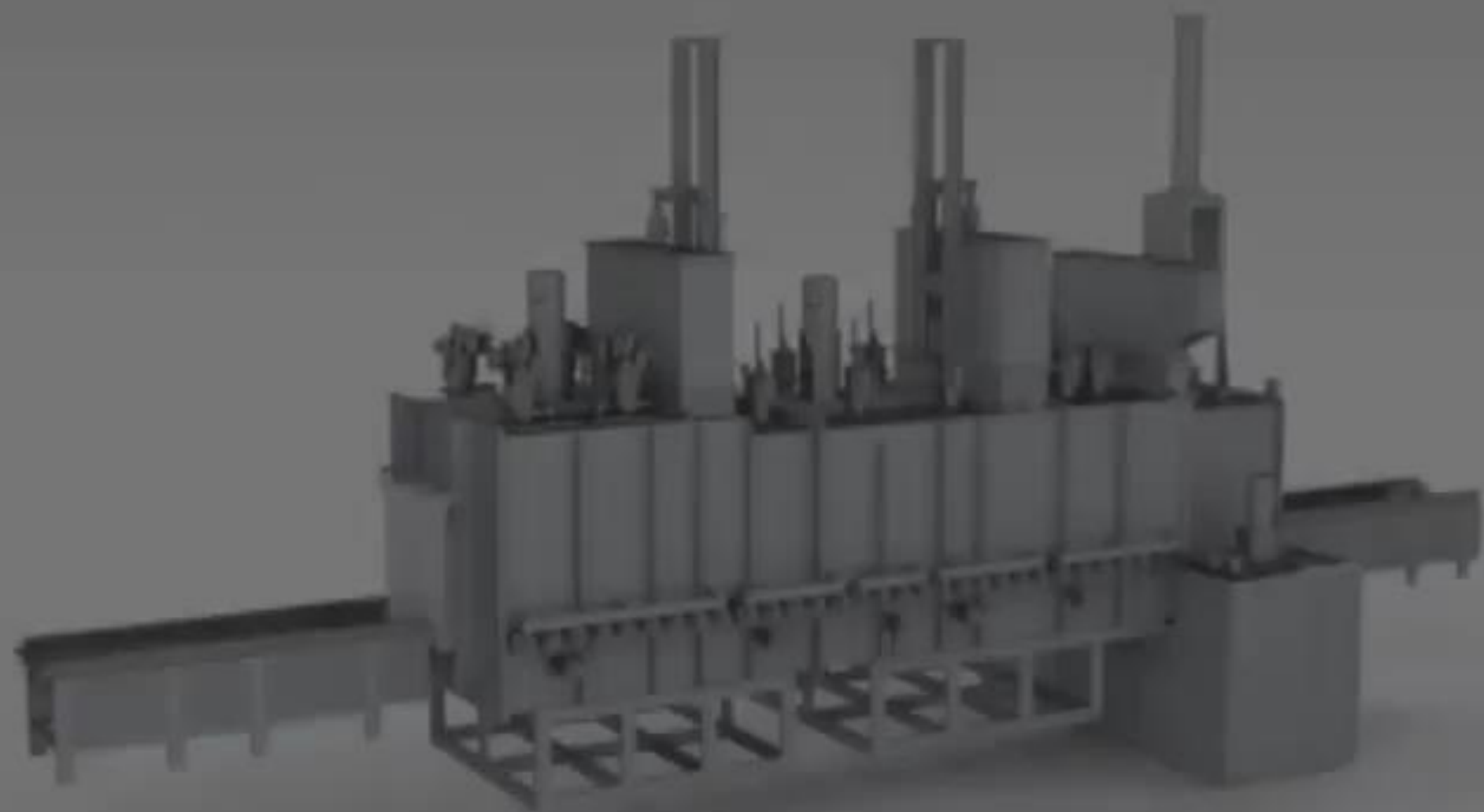
- ▶ Sementasyon
- ▶ Nitrasyon-Plazma Nitrasyon
- ▶ Islah Isıl İŞlemi
- ▶ Temperleme
- ▶ Östemperleme
- ▶ Vakum altında takım çeliği sertleştirme
- ▶ Normalizasyon
- ▶ İndüksiyon ile yüzey sertleştirme
- ▶ Gerilim giderme
- ▶ Yumuşatma Tavlaması
- ▶ Sıfır altı ısıl işlem



# SEMENTASYON

En yaygın olarak uygulanan yüzey sertleştirme yöntemi sementasyondur. Sementasyon işlemi, düşük karbonlu çelik parçanın yüzeyinde karbon emdirilmesi (karbürleme), daha sonra uygun ortamda su vererek sertleştirme işlemidir.

Sertleştirme östenitin martenzite dönüştürülmesiyle sert bir kabuk elde edilmesidir.



Sementasyon Derinliği	Gaz Sementasyon Süresi
0,8 - 1mm	10-12 saat
1 mm	10-15 saat
1,2 mm	15 - 18 saat
1,5 mm	20-30 saat
2 mm	+30 saat (nadir)
3 mm	X

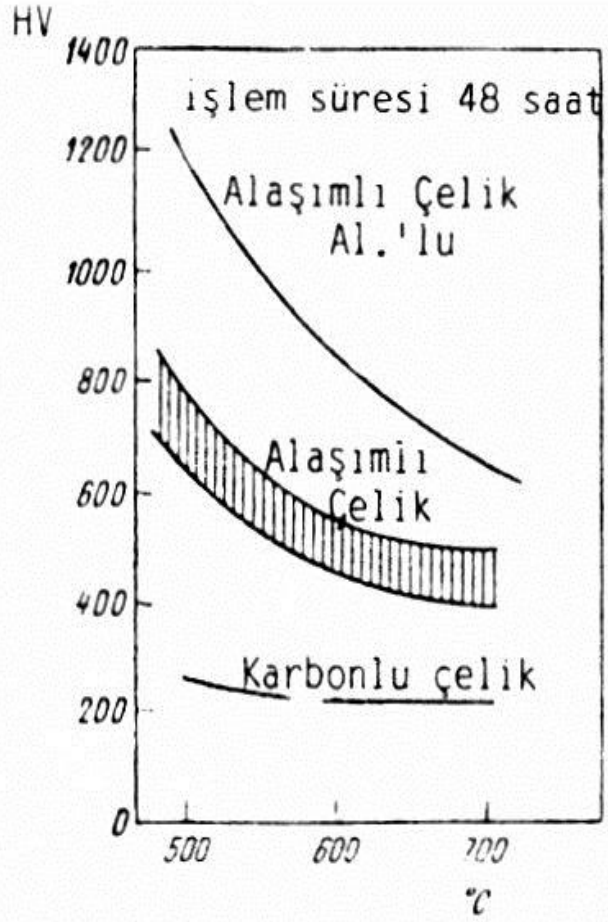
# BÖLGESEL SEMENTASYON

Sementasyon sırasında yüzeylerin karbon difüzyonuna karşı korunması için kullanılan macunlardır. Isıl işlem sonrası yapılacak talaşlı imalatı kolaylaştırmak için sertleştirilmesi istenmeyen bölgelerin karbon difüzyonuna karşı korunmasını sağlarlar. Solvent bazlı ve su esaslı tipleri mevcuttur.

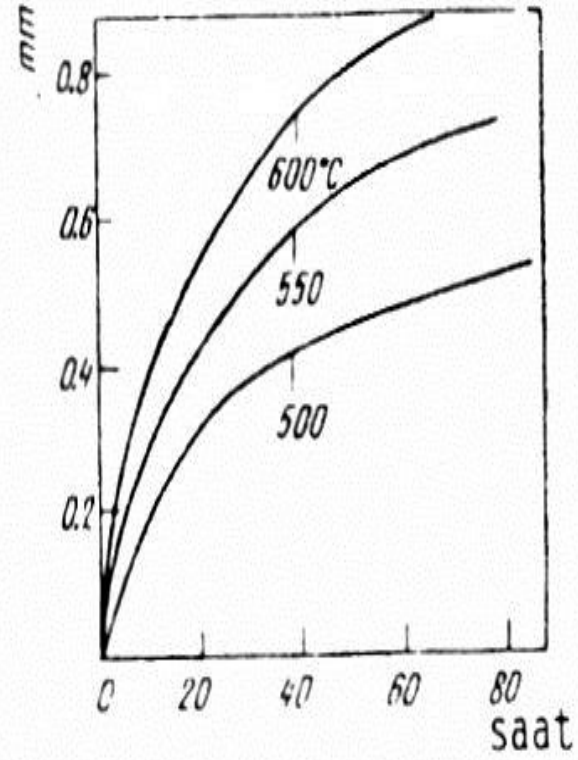


# NİTRASYON YÜZEY SERTLEŐTİME

- Nitrasyon, amonyak atmosferinde, 500-550°C arasındaki sıcaklıklarda özel alaşımlı çeliklerin yüzeyini azotça zenginleştirerek sertliğini arttırmak için uygulanan bir yüzey sertleştirme yöntemidir.
- Nitrürlenme işleminin en önemli özelliği Al, Cr, Mo, V, Ti gibi kuvvetli nitrür yapıcı alaşımlı çeliklere uygulanmasıdır.
- Nitrasyon sıcaklığının çok düşük olması nedeniyle proses süresi genellikle çok uzundur. Sertlik derinliği de çok düşük olmakla birlikte yüksek sertlik değerlerine ulaşır.



İşlem sıcaklığının nitrürasyon sertliğine etkisi



Nitrürasyon süresinin sert tabaka kalınlığına etkisi

# PLAZMA NİTRASYON

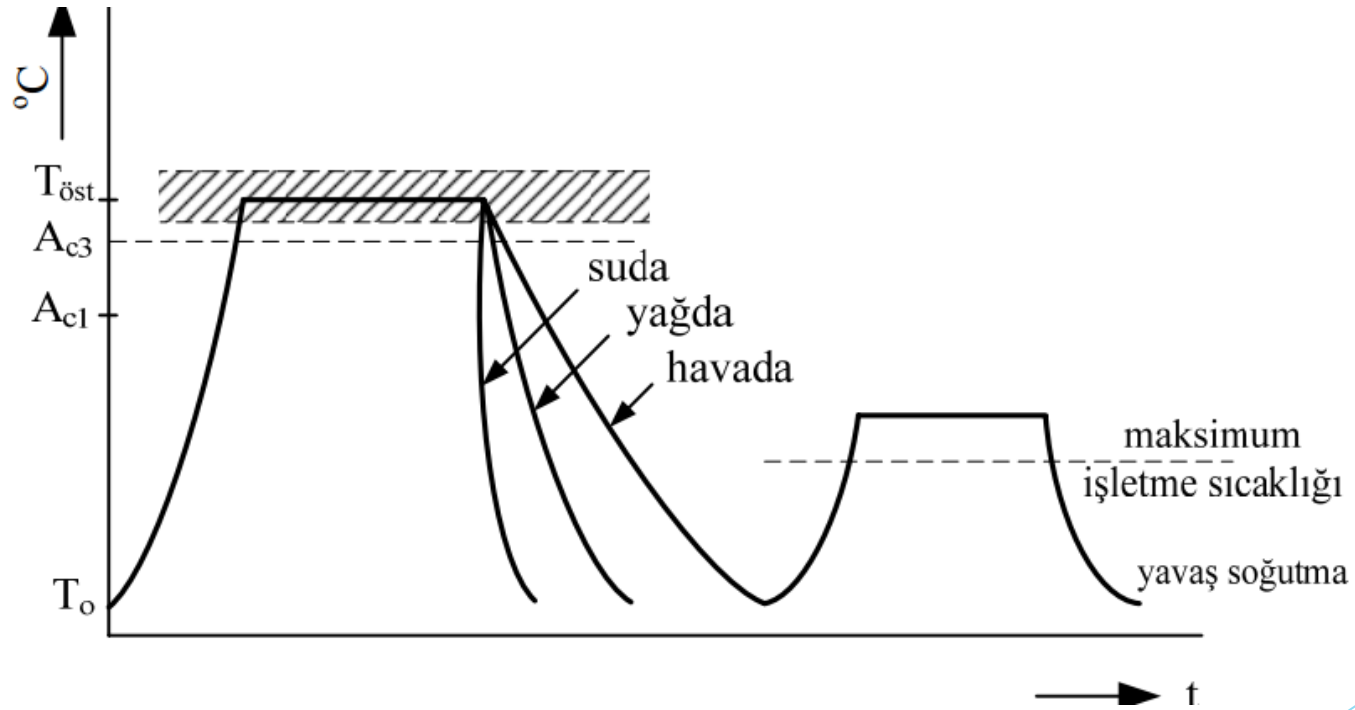
- Metal yüzeyine çok yakın bölgelerde azot difüzyonunun termokimyasal reaksiyonlarla gerçekleştiği nitrasyon işlemidir.
- Plazma nitrasyonu için gerekli azot, azot gazının ya da azot içeren bir gaz veya gaz karışımının yüksek gerilimle iyonlara ayrıştırılması sonucu elde edilmektedir.
- İşlem süresi diğer nitrasyon yöntemlerine nazaran oldukça kısadır.
- Tüm yüzeye homojen azot difüzyonu yapılabilir.
- Büyük parçalar için ekonomiktir.





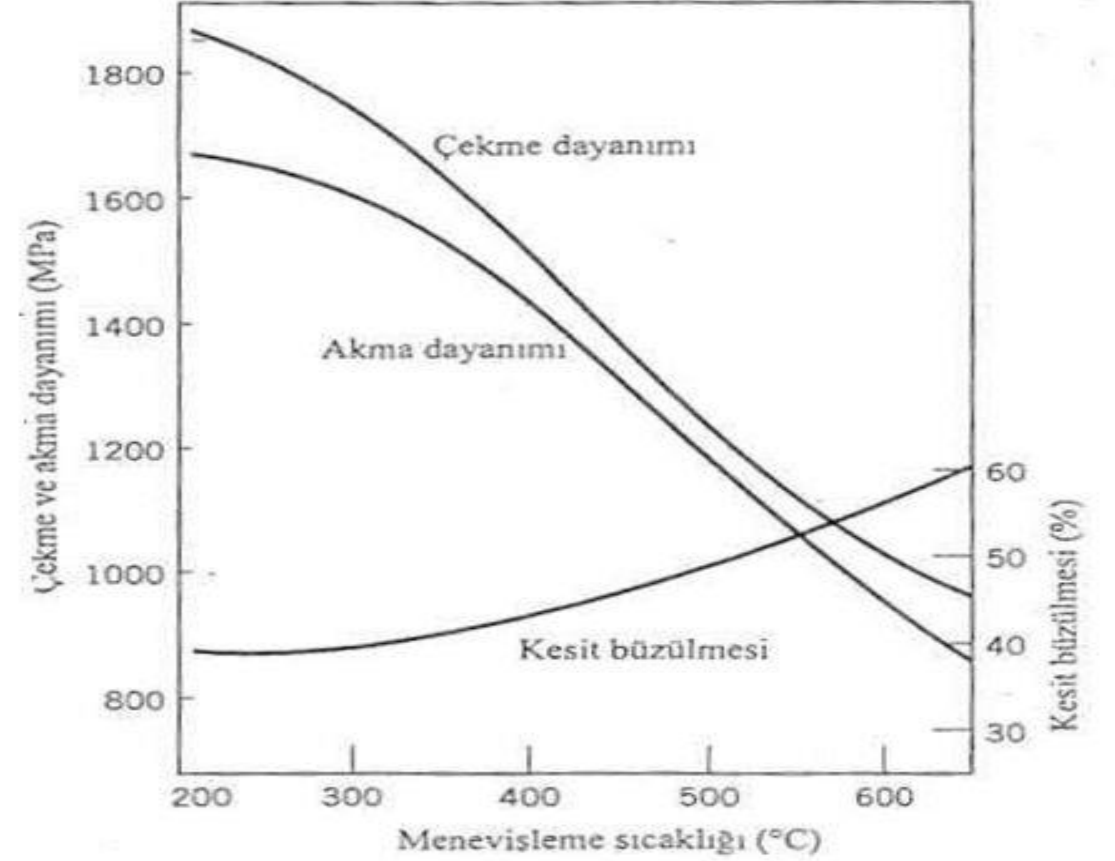
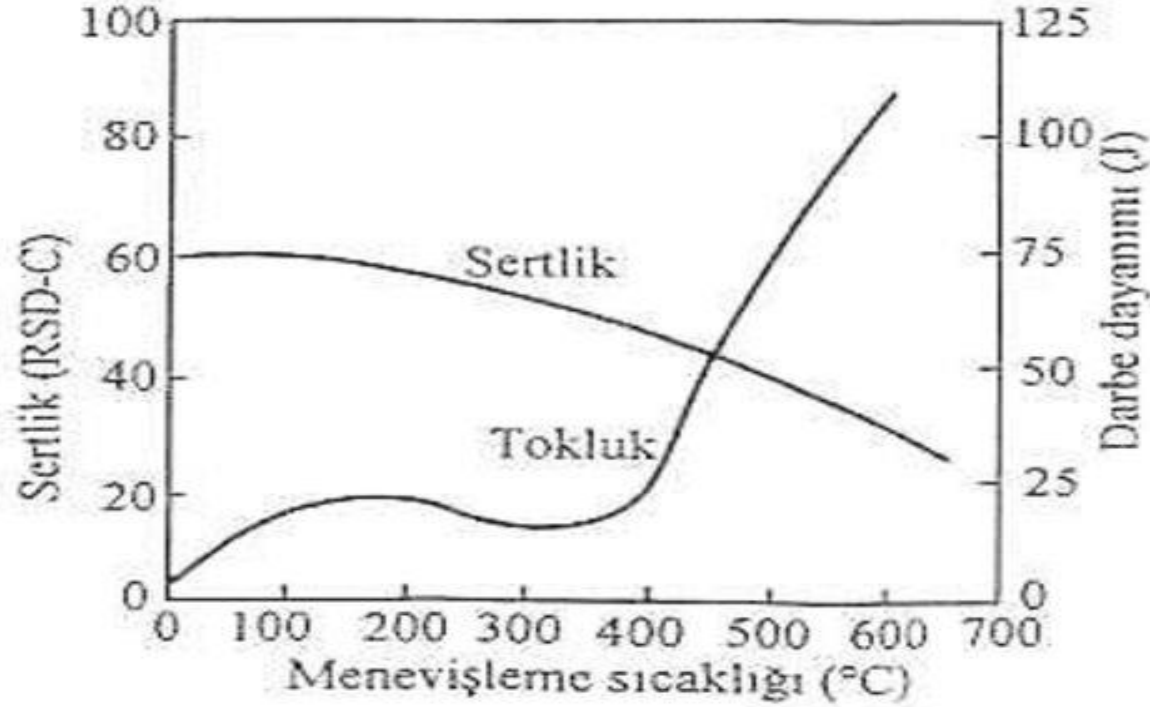
# ISLAH ISIL İŞLEM

- Sertleştirme ve meneviş olayları peşi sıra uygulandığında ıslah işlemi olarak adlandırılır. Islah çelikleri karbon miktarı %0.3-%0.65 olan çeliklerdir.



# Menevişleme

- ▶ Menevişleme, su verilip sertleştirilmiş çeliklerin ötektoid sıcaklığı (723 °C) altındaki sıcaklıklarda genelde 100 ila 670 °C arasında ısıtılarak belli bir süre ısıtılması işlemidir. Sertleştirme sonucu oluşan martenzit yapı birçok uygulama için fazlasıyla sert ve gevrek olup darbe direnci, dövülme kabiliyeti düşüktür ve pratik amaçlar için kullanılan bir çelik menevişlenmeden kullanılmaz. Aynı zamanda hızlı soğuma sonucu parçada yüksek gerilimler meydana gelir. Bu nedenle, hem parçanın gevrekliğini gidererek tok bir yapı kazandırmak hem de iç gerilimlerini azaltmak amacıyla menevişleme (temperleme) adı verilen ısıtma işlemi uygulanır. Çatlamları en aza indirebilmek için meneviş işleminin su verme işleminden hemen sonra yapılması gerekir.



AISI 4140 çeliğinin sertlik ve çentik darbe tokluğunun menevişleme sıcaklığına göre değişimi (menevişleme süresi : 1 saat)

Yağda su verilen AISI 4340 çeliğinin akma ve çekme dayanımları ile kopma büzülmesinin menevişleme sıcaklığına göre değişimi



SURFACE  
COMBUSTION  
MADE IN U.S.A.



# ÖSTEMPERLEME

- ▶ Östemperleme, bir demir alaşımının perlit dönüşüm bölgesinin altında ve martensit dönüşümün bölgesinin üstünde, eşsıcaklıkta dönüşümdür. Çeliğin Östemperlemesi işlemi;
- ▶ Östenitleme sıcaklığına kadar ısıtılır.
- ▶ 260 -400 °C de sabit sıcaklıkta bir banyoda su verilir.
- ▶ Genellikle havada oda sıcaklığına soğutulur.
- ▶ Östemperleme, aşağıdaki nedenlerden dolayı bilinen Islah ısıtma işlemi yerine kullanılır.
- ▶ Daha üstün mekanik özellikler elde etmek.
- ▶ Çatlak ve şekil bozulması olasılığını azaltmak.

# VAKUM ALTINDA TAKIM ÇELİKLERİ SERTLEŞTİRME

- ▶ Vakumda ısıtma işlemi, metallere ve prosese uygun bir basınca sahip olan, önceden ısıtılmış kapalı yerlerde yüksek sıcaklık kullanılarak metallerin işleminden geçirilmesidir. Vakum fırınlarında soğutma işlemi sıvı yerine gaz ile yapılır. Soğutma gazı olarak genellikle %99,99 saflıkta azot kullanılmaktadır.
- ▶ Yüksek alaşımlı takım çeliklerinde martenzit tamamlanma sıcaklığı ( $M_f$ ) oda sıcaklığının altında kaldığından sertleştirme sonunda yapıda önemli oranda artık östenit kalır. Menevişleme bu artık östenitin dönüşümünü sağlar.
- ▶ Yüksek alaşımlı çeliklerde östenit yapıda dağılan karbürler, menevişleme ile, yapıda meneviş sertleşmesine veya ikincil sertleşmeye yol açar.
- ▶ Malzemelerin çatlama tehlikesi azalır ve toklukları yükselir. Sertleştirme sonrası elde edilen birçok özellik daha uygun hale gelir.
- ▶ Meneviş süresi 20 mm / saattir. Ancak bir saatten daha kısa sürede uygulanmaz.



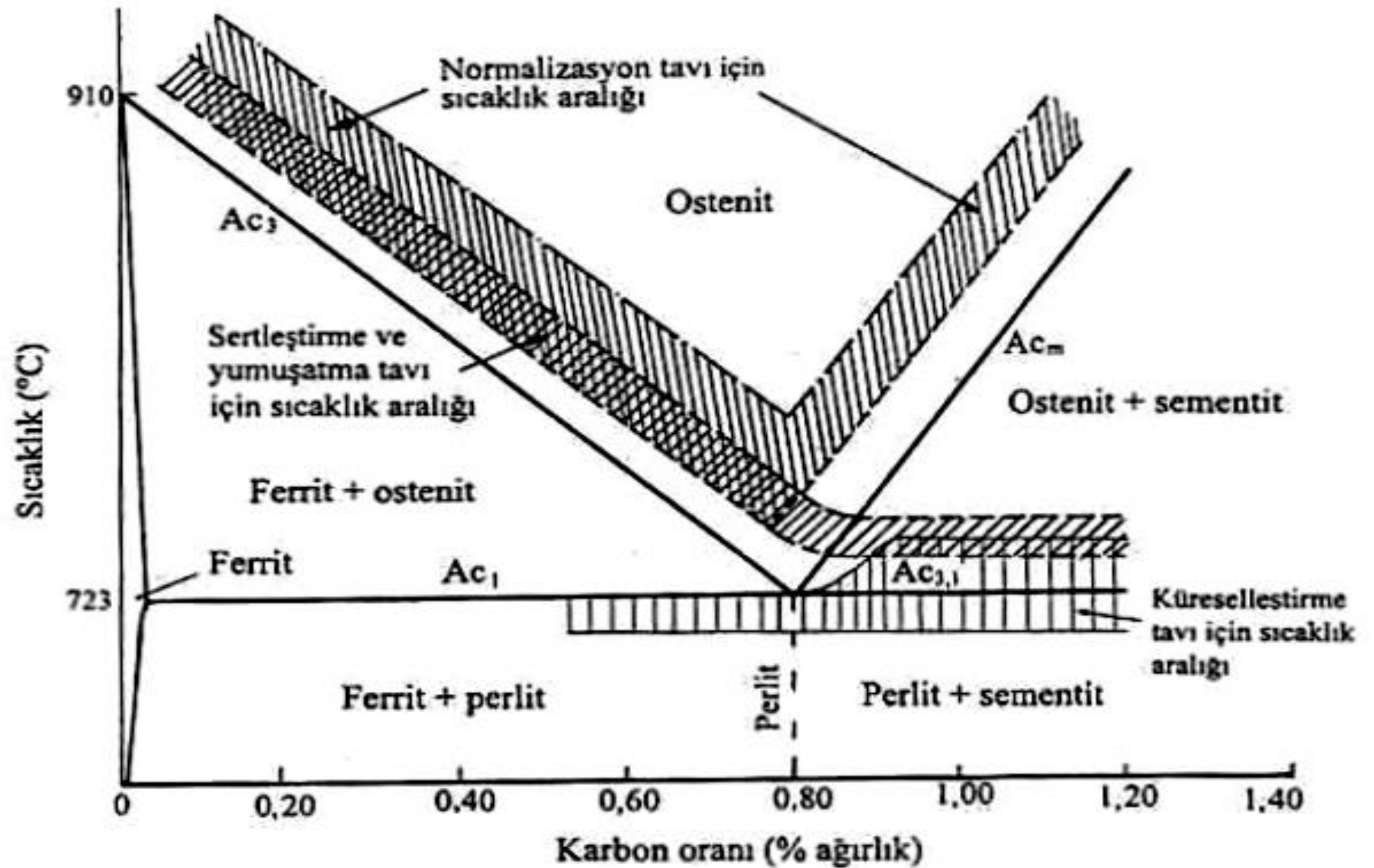


# NORMALİZASYON

- ▶ Normalizasyon yüksek sıcaklıkta ısıtma ve tutma işlemlerini kapsar. Normalizasyon bir çeliğin sertleştirme sıcaklığına kabaca yakın bir sıcaklığa ( genelde 840 - 880 °C ) kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta bir süre tutulması, bunu takiben durgun havada soğumaya bırakılmasıdır. Normalize dokuda anormal taneler yoktur. İri taneler ufalır. Yapı itibari ile ferrit ve perlitten ibarettir. Normalize edilen çeliklerin mukavemetinde artış görülür.

## AMAÇLAR:

- ▶ Soğuk şekil verme sonrasında uzamış taneleri başlangıç yapısına döndürmek,
- ▶ Sıcak haddemelerden sonra, haddeleme tekstürüne bağlı olarak ortaya çıkabilecek anizotropik etkileri ve gevrek kırılma meylini azaltmak amacıyla,
- ▶ Döküm, dövme veya haddeleme gibi ön işlem etkilerinden kaynaklanan mevcut homojen olmayan yapıyı talaşlı/ talaşsız işlenebilirlik için iyileştirmek
- ▶ Ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak
- ▶ Tane boyutunu inceltmek ve homojen içyapı elde etmek
- ▶ Bir sonraki ısıl işlemde karbürün uygun şekilde dağılmasını sağlamak, şekillendirme sonrası çeliğin yapısını düzelterek, sertleştirme işlemine tatmin edici bir tepki vermesini sağlamaktır
- ▶ İçyapıda ince taneli perlit oluşturarak dayanım ve tokluk artışını birlikte sağlamak

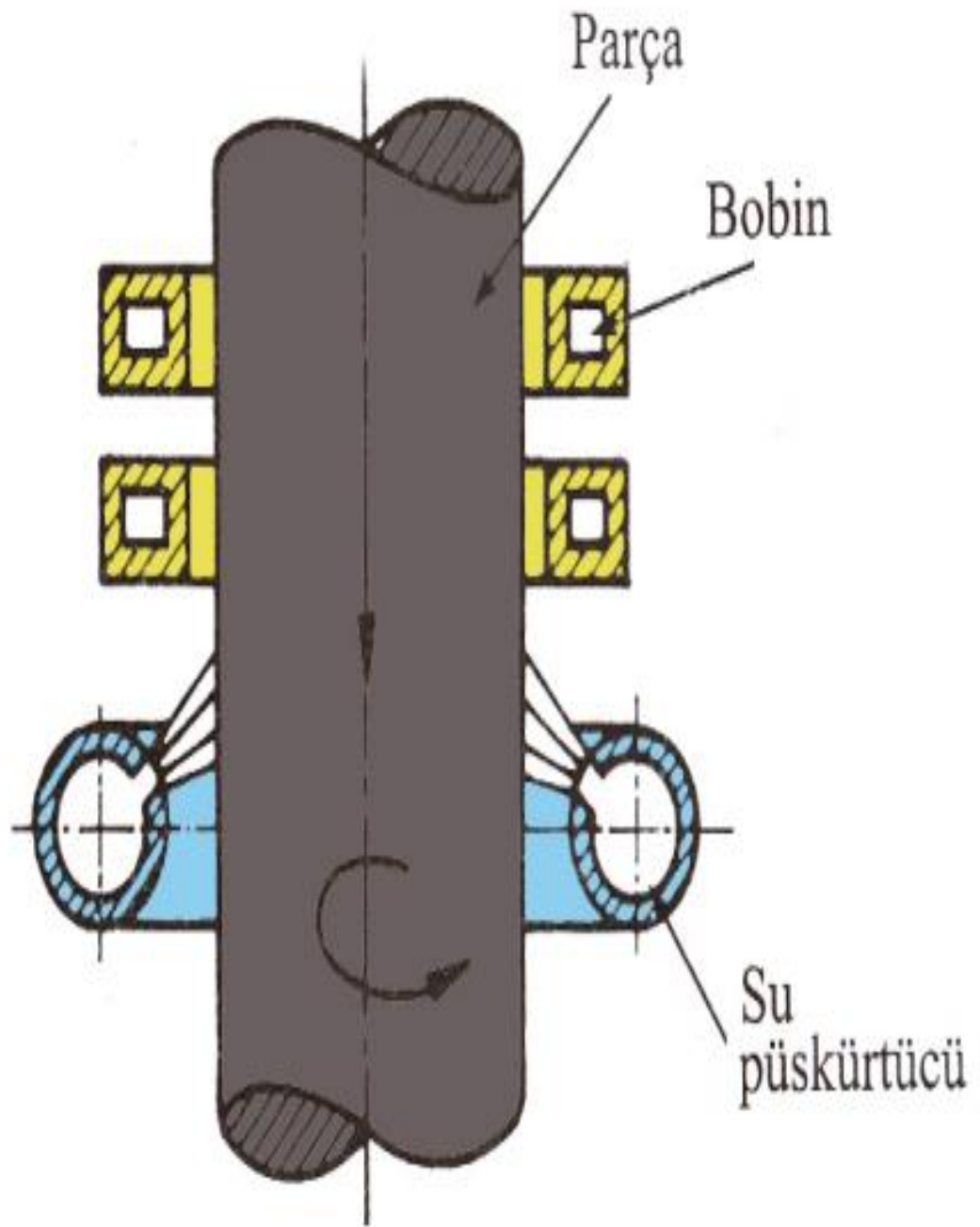


**Tablo 1-** Çeliklerin yumuşatma tavına tabi tutulmuş ve normalize edilmiş durumlardaki mekanik özellikleri

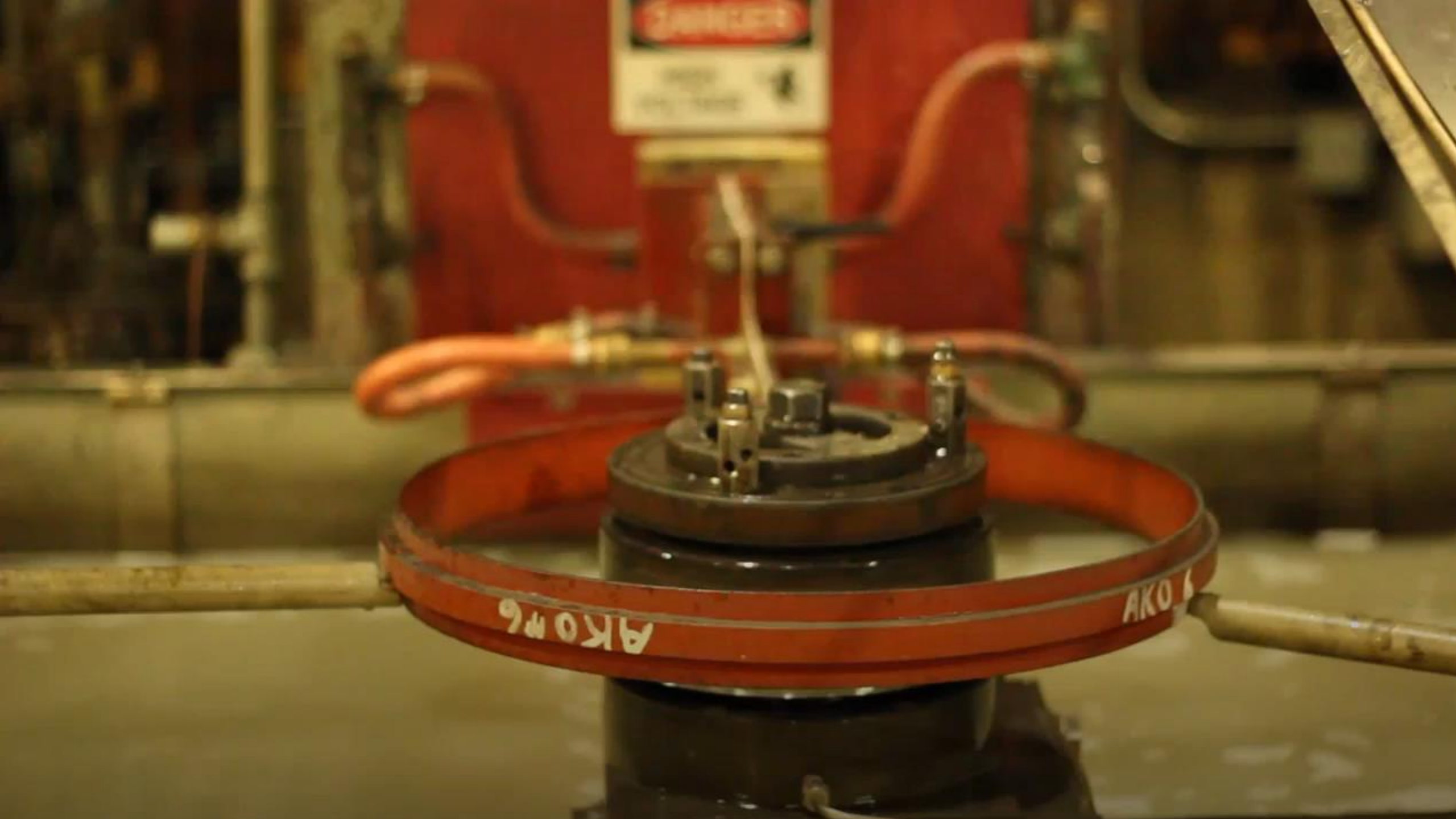
İşlem	Karbon oranı (%)	Akma mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma uzaması (%)	Sertlik (BSD)
Yumuşatma Tavı	0.01	124	283	47	90
	0.20	148	407	37	115
	0.40	303	517	30	145
	0.60	338	667	23	190
	0.80	359	793	15	220
	1.00	359	745	22	195
	1.20	352	703	24	200
	1.40	345	683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

# İNDÜKSİYON İLE YÜZEY SERTLEŞTİRME

- İçerisinde %0,35-0,60 oranında karbon bulunduran orta karbonlu çeliklerin ve tane boyutu çok büyük olmayan ferritik çeliklerin yüzeyi indüksiyon ile sertleştirilmektedir. Bu malzemeler genellikle 55-60 HRC sertlikindedir.
- İndüksiyonla ısıtmadan sonra ani soğutma genellikle su ile yapılmaktadır. Gerilmeleri ve çatlamları engellemek için 180-300 °C sıcaklığında menevişleme işlemi yapılmaktadır.







Warning

AKO 4

AKO 6

# GERİLİM GİDERME

- ▶ Üniform olmayan ısıtma-soğutma işlemleri (döküm, kaynak, sertleştirme), üniform olmayan şekil değişimi (eğme, soğuk şekillendirme), talaşlı işleme (frezeleme, tornalama vb.) ve dönüşüm olayları sırasında parça içinde oluşan gerilmelerin giderilmesi amacıyla uygulanır.
- ▶ Gerilim giderme işleminin sıcaklığı malzemenin kimyasal bileşimine göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerde 500 - 680 °C arasındadır. Sıcak iş takım çeliği ve yüksek hız çelikleri için gerilim giderme işlemi 600 - 750 °C aralığında yapılmalıdır.
- ▶ Gerilim giderme tavlamasında parçalar 500 - 680 °C arasındaki bölgeye yavaş erişecek şekilde ısıtılır ve burada yaklaşık olarak 1 - 4 saat süre ile tavllanır. Soğutma işlemi genelde açık havada yapılır.



# YUMUŞATMA TAVLAMASI

- ▶ %C  $\geq$  %0.4 olan çeliklerde talaşlı işlemeyi kolaylaştırmak ve su verme sertliğini gidermek, %C < %0.4 olan çeliklerde soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmak, döküm ve dövme parçalarındaki iç gerilmeleri gidermek amacıyla uygulanır.
- ▶ Tavlama sıcaklığı çeliğin ötektoid altına da ötektoid üstü olmasına göre değişir. Ötektoid altı çelikleri  $A_{c3}$ , ötektoid üstü çelikleri ise  $A_{c1}$  çizgilerinin 50 °C üzerindeki belirli sıcaklıklara kadar ısıtılıp, içyapılarını östenite dönüştürdükten sonra fırın içerisinde tutarak çok yavaş soğutma yapılır.
- ▶ Östenitleme sıcaklığına kadar ısıtılan çelik malzemelerin, her 25mm et kalınlığı için 1 saatlik bir süre o sıcaklıkta tavlama tavsiye edilir. Tavlama süresi ise 5 saat den az olmamalıdır. Bazen 100 saate kadar çıkabilir. (Yüksek alaşımlı çelikler ve çok büyük malzemeler)

# MALZEMELERİN SIFIR ALTI İŞLEMLERİ

- Sıfır altı işlemde parçalar su verme sıcaklığını takiben  $M_f$  sıcaklığının altına kadar soğutulur. Bu sayede kalıntı östenitin tamamı martenzite dönüşür. Düşük alaşımlı çelikler için işlem sıcaklığı  $-70^{\circ}\text{C}$  iken, yüksek karbonlu çeliklerde  $-150^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşmektedir. Yapıdaki östenit yaklaşık 1 saat içinde kararlı hale geçmeye başlayacağı ve dönüşümü daha da zorlaşacağı için sertleştirme işlemini takiben sıfır altı işlem gerçekleştirilmelidir. Parçalar sıfır altı işlem gördükten sonra kullanıma verilmeden önce menevişlenmeli ve yapıda menevişlenmemiş gevrek martenzit kalması önlenmelidir. Ayrıca karbürleşmiş parçaların sıfır altı işleme tabi tutulmasıyla parça yüzey sertliği artırılabilir.

ÇELİKLER	DIN 1.2080	DIN 1.2379	DIN 1.2436
SERTLEŞTİRME SONRASI SERTLİK	64 HRC	63 HRC	64 HRC
GERİLİM GİDERME (150°C)	62 HRC	61-62 HRC	62-63 HRC
KRİYOJENİK İŞLEM (-140°C / 12 saat)	66-67 HRC	63-64 HRC	65-66 HRC

# DİZAYN HATALARI



**Yanlış:**Büyük kesit farklılıkları ve keskin köşeler



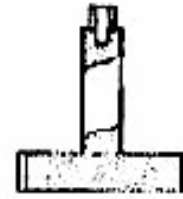
**Doğru:** Uygun kesit dağılımı ve radiuslu köşeler



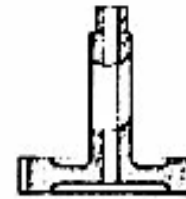
**Yanlış:**Bazı durumlarda engellenemeyen büyük kesit farklılığı



**Doğru:** İki parçalı ve uygun kesit dağılımı



**Yanlış:**Büyük kesit farklılıkları ve keskin köşeler



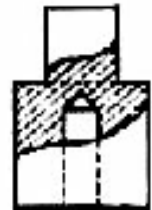
**Doğru:** Uygun kesit dağılımı ve radiuslu köşeler



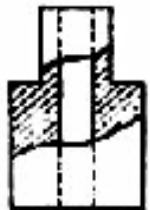
**Yanlış:**Diş dibinde kama kanalı



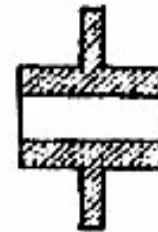
**Doğru:**Diş altında kama kanalı



**Yanlış:** Kör delik



**Doğru:** Tam boyda delik



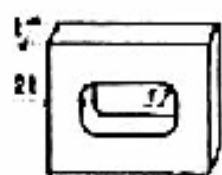
**Yanlış:**Büyük kesit farklılıkları



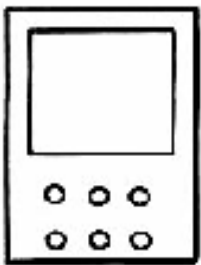
**Doğru:**İki parçalı ve uygun kesit dağılımı



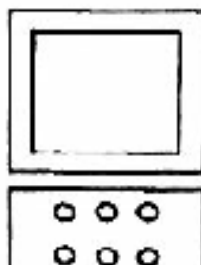
**Yanlış:**Kesitler çok ince ve iç köşeler çok keskin



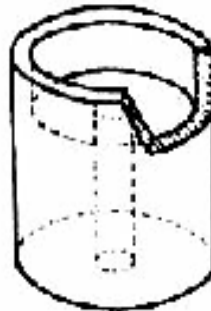
**Yanlış:**Kesitler çok ince ve iç köşeler çok keskin



**Yanlış:**Büyük kesit farklılıkları



**Doğru:**İki parçalı ve uygun kesit dağılımı



**Yanlış:**Büyük kesit farklılıkları ve keskin köşeler



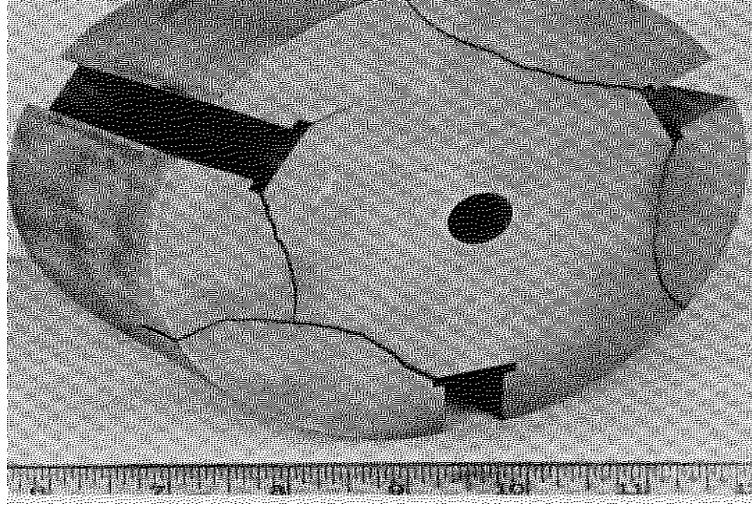
**Doğru:** Uygun kesit dağılımı ve radiuslu köşeler



**Yanlış:**Tek taraflı ve keskin köşeli kanal



**Doğru:** Radiuslu köşeleri olan çift tarafta kanal



- Keskin köşe nedeniyle ısıtıl işlem sonrasında oluşmuş bir çatlak
- kesit değişikliklerinin olduğu yerler,
- ince kesit-kalın kesitlerin aynı parçada olması, iç gerilmelerin artıp, akma sınırını geçerek, plastik deformasyona, çatlaklara neden olur. Çünkü; ince ve kalın kesitin ısınma ve soğuma hızları farklıdır bu da parçada gerilmelere yol açar.

# Isıl İşlem de Bulunması Gereken Min. Kalite Kontrol Cihazları

- 1) 1 adet Rockwell sertlik ölçüm cihazı
- 2) 1 adet Brinell sertlik ölçüm cihazı
- 3) 1 adet Vickers sertlik ölçüm cihazı
- 4) 1 adet Kesme makinası
- 5) 1 adet Parlatma makinası
- 6) 1 adet Mikroskop
- 7) 1 adet Bakalit Makinesi
- 8) 1 adet Seyyar Sertlik ölçüm cihazı
- 9) 1 adet Zımparalama Makinesi