

**T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

# **MAKİNE TEKNOLOJİSİ**

**MALZEME VE ISIL İŞLEMLER  
521MMI534**

**Ankara, 2011**

- 
- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
  - Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
  - **PARA İLE SATILMAZ.**

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	iv
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. MALZEME TANIMI.....	3
1.1. Malzemenin Seçimi ve Önemi .....	3
1.1.1. Malzemenin Seçimi .....	3
1.1.2. Malzemeler .....	4
1.2. Demir ve Çelik .....	7
1.2.1. Demir Filizleri .....	7
1.2.2. Demirin Elde Edilişi .....	7
1.2.3. Çeliğin Tanımı ve Çelik Üretimi .....	8
1.3. Çelik Standartları .....	9
1.3.1. TSE Standartları .....	9
1.3.2. DIN Alman Endüstri Çelik Normları .....	9
1.3.3. ISO Uluslararası Standartlar .....	11
1.3.4. SAE Amerikan Normu .....	11
1.3.5. MKE Kurumu Çelikleri .....	12
1.4. Alaşımlar .....	14
1.4.1. Alaşım Tipleri .....	14
1.4.2. Isıl Eğriler .....	16
UYGULAMA FAALİYETİ .....	17
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	18
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	20
2. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER .....	20
2.1. Isıl İşlem, Amacı, Önemi .....	20
2.2. Çeliklerin Sertleştirilmesi .....	20
2.2.1. Suda sertleştirme .....	22
2.2.2. Yağda sertleştirme .....	23
2.2.3. Havada sertleştirme .....	24
2.2.4. Diğer yöntemler .....	24
2.3. Çeliklerin Sertleştirilmesinde Doku Değişiklikleri .....	24
2.4. Çeliklerin Tavlanması .....	25
2.4.1. Normalleştirme Tavı .....	25
2.4.2. Yumuşatma Tavı .....	26
2.4.3. Gerginlik Giderme Tavı .....	26
2.4.4. Menevişleme .....	27
2.4.5. Islah .....	28
2.5. Yüzey Sertleştirme Yöntemleri .....	28
2.5.1. Yüzeyin Kimyasal Yapısını Değiştirerek Yüzey Sertleştirme .....	28
2.5.2. Yüzeyin Kimyasal Yapısını Değiştirmeden Yapılan Yüzey Sertleştirme .....	30
2.6. Katık Elemanların Çeşitleri ve Çelikte Sağladığı Özellikler .....	32
2.6.1. Karbon .....	32
2.6.2. Silisyum .....	32
2.6.3. Manganez .....	33

2.6.4. Fosfor.....	33
2.6.5. Kükürt.....	33
2.6.6. Oksijen.....	33
2.6.7. Bakır .....	34
2.6.8. Krom.....	34
2.6.9. Nikel .....	34
2.6.10. Volfram.....	34
2.6.11. Molibden.....	35
2.6.12. Vanadyum.....	35
2.6.13. Kobalt .....	35
2.6.14. Alüminyum.....	35
2.7. Madensel Maddelerde Biçimlendirme .....	36
2.7.1. Biçimlendirmenin Önemi .....	36
2.7.2. Çeliklerin Haddelenmesi .....	37
2.7.3. Döküm Yöntemiyle Biçimlendirme .....	37
2.8. Toz Metalürjisi.....	38
2.8.1. Metal Tozlarının Üretimi ve Toz Metalürjisinin Uygulaması .....	38
2.8.2. Toz Metalürjisinin Fayda ve Zararları .....	39
2.8.3. Toz Metalürjisinin Kullanım Alanları .....	40
UYGULAMA FAALİYETİ .....	41
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	46
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	47
CEVAP ANAHTARLARI .....	49
KAYNAKÇA .....	50

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>521MMI534.</b>
<b>ALAN</b>	<b>Makine Teknolojisi</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Bilgisayarlı Makine imalatı Endüstriyel Kalıp Bilgisayar Destekli Makine Ressamlığı Makine Bakım Onarım Mermer İşleme Bilgisayar Destekli Endüstriyel Modelleme dalları</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Malzeme ve Isıl İşlemler</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Makinecilikte üretilen malzemelerin tanıtıldığı ve bunlarla ilgili ısıl işlem bilgi ve becerilerinin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/32
<b>ÖN KOŞUL</b>	Alan ortak modüllerini almış veya alıyor olmak
<b>YETERLİK</b>	Malzeme seçimi ve ısıl işlemler yapmak
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç</b> Bu modül ile uygun ortam ve araç gereçler sağlandığında bilgisayar ortamında ve uygulamalı ortamda malzeme seçimi ve deneyler yapabileceksiniz. <b>Amaçlar</b> <b>1.</b> Makine imalatında kullanılan malzeme seçimini yapabilecek ve çelik standartlarını kullanabileceksiniz. <b>3.</b> Çeliklere ısıl işlem uygulaması yapabileceksiniz.
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Donanım:</b> Malzeme katalogları, standart tablolar, ısıl işlem fırınları, iş resimleri, iş parçaları, çelik ve döküm malzemeler
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.



# GİRİŞ

## Sevgili Öğrenci

Bu modül, imalatını yapacağınız makine elemanlarının hangi malzemeden seçilmesi gerektiği konusunda size yol göstermeyi amaçlamaktadır.

İmalatçı üretim yaptığı makineleri kullanmayı çok iyi başardığı gibi gerek kesicileri ve gerekse talaş kaldırdığı malzemeleri de çok iyi tanımaktadır.

Malzeme bilgisi;

- Tasarımını yaptığınız üründe kullanılması gereken malzemeleri belirlemek için,
- Size imalatını yapmanız için bildirilen malzemeyi mevcutlar içinden seçmek için,
- Standart tabloları kullanabilme ve standartları seçebilmeniz için,
- Atelyede imal ettiğiniz çekiç, mengine ağzı gibi iş parçalarınıza su verme, menevişleme işlemi uygulayarak malzemelerdeki ısıl işlemleri kavrayabilmeniz için önemlidir.





# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Makine imalatında kullanılan malzemeleri seçebilecek ve çelik standartlarını kullanmayı yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Makine, metal sektöründe faaliyet gösteren iş yerlerini gezerek metal malzemeler hakkında bilgi toplayınız ve örnekler alarak sınıfa getiriniz.
- Çelik imalat yöntemlerini internet ortamında bularak sınıfta izlenmesini sağlayınız.

## 1. MALZEME TANIMI

### 1.1. Malzemenin Seçimi ve Önemi

Belirli bir amaç için kullanılan maddelere **malzeme** denir. Malzemeleri madensel ve madensel olmayanlar diye iki ana guruba ayırmaktayız. Madensel malzemeler, tabiatta bulunan bütün metalleri kapsar. Biçimlendirilebilmeleri, ağır oluşları, ısı ve elektriği iyi iletmeleri, her metalin kendine özgü renginin olması, oda sıcaklığında katı durumda bulunmaları, kristalik yapıya sahip olmaları metallerin ortak özelliklerindedir.

Madensel olmayan malzemeler, madenî malzemelerin dışındaki tüm malzemelerdir. Organik ve İnorganik olmak üzere iki guruba ayırmaktayız. Yine her iki gurup da doğal ve yapay olmak üzere kendi aralarında ikiye ayrılır.

#### 1.1.1. Malzemenin Seçimi

Herhangi bir ürünün tasarımında ilk önce iş yapmaya uygunluk ve fayda sağlama etkenleri ve emniyet göz önüne alınır.

Tasarımı yapılan ürünün ısı, korozyon ve çeşitli kuvvetlere karşı dayanımı gibi etkenlerde önemlidir.

İmalatın kolaylığı ve üretimin ekonomik şartlara uygunluğu gibi faktörler de değerlendirilmelidir.

### ➤ **Malzeme temin edebilme kolaylığı**

Bir işin yapılabilmesi için kullanılacak malzeme şekil, miktar, ölçü bakımından her istenildiği zaman bulunabilmelidir. Malzemenin aynı standartta farklı yerlerden bulunabilmesi önemlidir. Malzeme teminindeki aksama, bir işletmenin düşük kapasite ile çalışmasına yol açar.

### ➤ **Üretim işlerine uygunluk**

Bir makine elemanını yapmak için piyasada çok çeşitli malzeme bulmak mümkündür. Ancak bu malzemelerden bir tanesi en uygun olanıdır. Fabrikasyon işçiliğine uygunluk; bir malzemenin talaş kaldırma, kaynak ile birleştirme, haddeleme, döküm gibi yöntemlerle imalat yapılmasına uygunluğu demektir.

**Örnek:** Çalışma anında çok yüksek sıcaklıklara maruz kalan bir makine elemanının malzeme seçiminde ısıya dayanım etkeninin öne çıkması gerekir.

### ➤ **Fiziki, teknolojik ve mekanik özellikleri**

Makine elemanlarının kullanılacakları yerde görevini yapıp yapamayacakları, taşınmaları gereken özellikleri taşıyıp taşımadıklarının araştırılması ve belirlenmesi ile anlaşılır. Sertlik, dayanım, özlülük, aşınma direnci, elektrik ve ısı iletkenliği, dövülebilme, dökülebilme, ergime, elastik ve plastik şekil değiştirme ve başka birçok özellik bir malzemenin kullanma alanında yeterli olup olmadığını açıklayan temel bilgilerdir.

### ➤ **Korozyon direnci**

Korozyon, madensel malzemelerin kimyasal ve elektrokimyasal yollarla aşınmasıdır. En sık malzemelerin oksitlenmesi olarak karşımıza çıkar ve malzemede doku kayıpları yaşanır. İlaç, tıp, gıda ve kimya endüstrisinde kullanılan malzemelerin korozyona dayanıklı malzemelerden olması gerekir.

## **1.1.2. Malzemeler**

Makine imalatında kullanılan malzemeler ve özellikleri hakkında temel bilgiler verilecektir.

### ➤ **Demir**

Yer kabuğunun % 5,6'ını teşkil eden demir; yumuşak, kolay biçimlendirilebilen, yoğunluğu 7.88 gr/cm<sup>3</sup>, ergime sıcaklığı 1535°C, çekme dayanımı 27 kg/mm<sup>2</sup> olan, mıknatıslanabilen, elektrik ve ısıyı iyi ileten gri renkli bir metaldir. Demir, saf durumda yumuşak olduğu için endüstriyel amaçlara uygun değildir. Demiri endüstride kullanılır hâle getiren içerisindeki karbondur.

### ➤ **Çelik**

Karbon oranı genellikle % 1,7 kadar olan, içerisinde farklı katık maddeleri de bulunabilen demir karbon alaşımına çelik denir. Çelik içerisindeki karbon miktarı, çeliğin

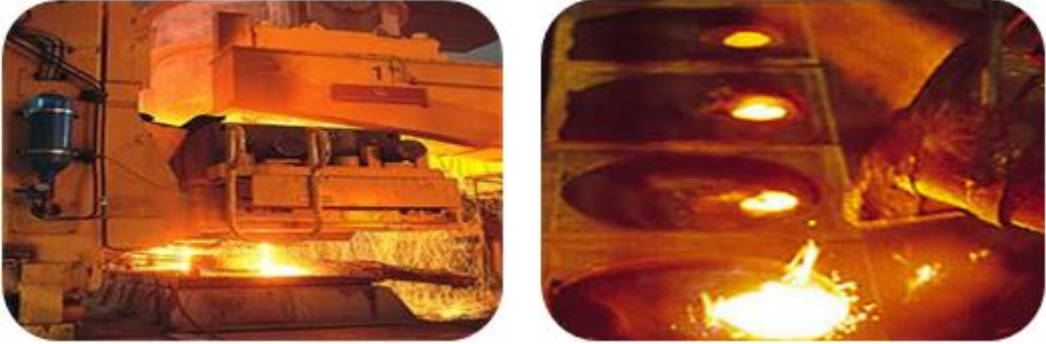
özelliklerinde önemli değişimlere neden olur. Karbon miktarındaki çok küçük değişimler bile çeliğin farklı özellikte olması için yeterlidir.

Çelik alaşımını sadece demir ve karbon ağırlıklı olarak düşündüğünüzde bile çeşitliliği oldukça fazla bir alaşım ile karşılaşırız. Oysa endüstrinin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde çelik üretimi, alaşım içine başka metal ve ametallerin ilâvesini gerekli kılar. Bu yönüyle de alaşıma ilave edilen her katkı maddesi, çeliğin özelliğinin değişmesine neden olur. Tüm bunlardan ötürü çeliğin, bileşimini meydana getiren element ve ametallere göre değişik özelliklerde olduğunu bilmekte yarar vardır.

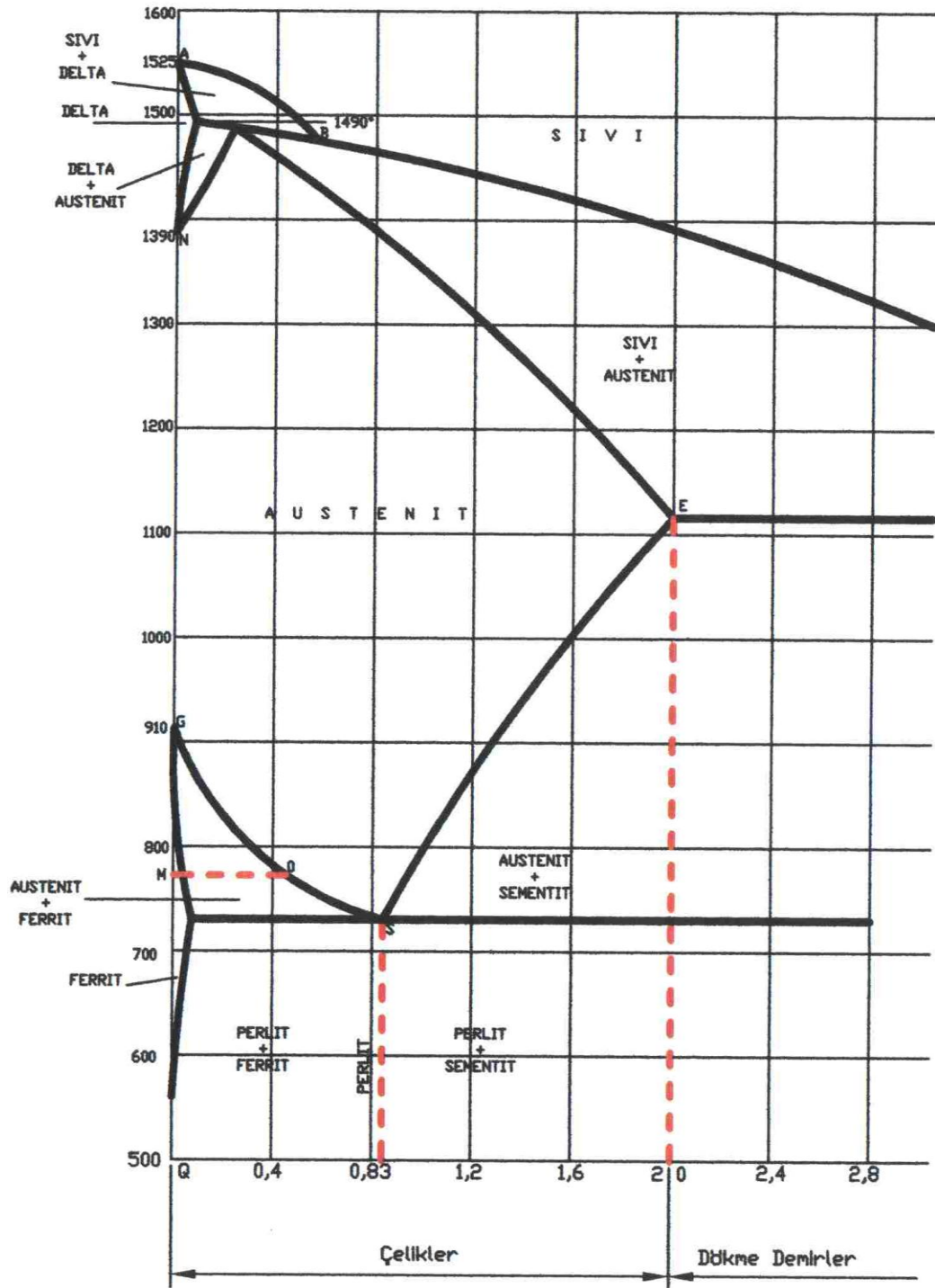
### ➤ **Dökme demir**

İçerisine hurda malzemeler de katılan ham demirin karbon oranının % 2-4 arasına düşürülmesi ile elde edilen demir türüne “dökme demir” denir. Dökme demirler oldukça düşük maliyetleri ile sıkça kullanılır. Daha çok döküm yöntemlerine elverişlidir. Yüksek basınçta dayanımları ve titreşimleri sönmüleme kabiliyetlerinden dolayı makine gövdeleri, motor blokları vb. önemli yerlerde kullanılır.

Yüksek fırından alınan ham demir, dayanıksız ve kırılmandır. Makine imalatında ve konstrüksiyon işlerinde kullanılmaya elverişli değildir. Genel olarak ham demir, yüksek fırından alındıktan sonra büyük potalara dökülür, daha sonra kupal ocaklarına gönderilerek döküm işlerinde kullanılmak üzere dökme demirler elde edilir veya çelik fırınlarında çelik elde edilir.



**Resim 1.1: Dökme demir elde edilişi**



Şekil 1.1: Demir-karbon denge diyagramı

## 1.2.Demir ve Çelik

### 1. 2.1.Demir Filizleri

Tabiatta içinde demir olan pek çok filiz (cevher) vardır. Ancak demir, içerisindeki demir miktarı ve elde etme kolaylıkları bakımından daha çok, hematit, magnetit, limonit, siderit ve pirit' adlı filizlerden elde edilmektedir.

#### ➤ **Magnetit**

Magnetit ( $Fe_3O_4$ ), adını magnetit özelliklerinden alan ve % 72 demir oranı ile en zengin demir filizidir. Dünya demir üretiminin yaklaşık % 5'i bu filizden elde edilmektedir.

#### ➤ **Hematit**

Hematit ( $Fe_2O_3$ ), içinde yüzde 70 demir olan bir filizdir. Kırmızı-siyah renktedir. Dünya demir üretiminde en çok kullanılan filizdir.

#### ➤ **Limonit**

İçinde yaklaşık % 40 oranında demir olan, hematit filizinden sonra en çok işlenen filizdir. Doğada  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$  bileşimindedir. Yeryüzünde geniş bir alana yayılmıştır.

#### ➤ **Siderit**

İçindeki demir oranı % 35 olan bir filizdir. Doğada  $FeCO_3$  bileşiminde karbonatlı olarak bulunur. Bu filiz içinde nikel, kalsiyum ve magnezyum da bulunmaktadır. Karbonat ihtiva ettiği için yüksek fırınlarda işlenirken kireç taşı kullanmayı gerektirmez.

#### ➤ **Pirit**

Demir ve kükürt ihtiva eden  $FeS_2$  bileşiminde bir filizdir. Yüksek fırına atılmadan önce kükürdü yakılır. Demire kırılabilirlik özelliği verdiği için kükürt istenmeyen bir elementtir.

### 1.2.2. Demirin Elde Edilişi



Resim 1.2: Yüksek Fırın

Demir filizleri, cevher hazırlama işlemlerinden geçirildikten sonra yüksek fırınlarda işlenerek ham demir hâline getirilmektedir.

Cevher hazırlama işlemleri demir filizlerindeki yabancı maddeleri temizleme ve yüksek fırın için uygun özelliklere ve büyüklüğe getirme işlemlerini kapsamaktadır.

Cevherlerin içindeki yabancı maddelere “gang”, gangları temizleme işlemlerine ise “cevheri zenginleştirme” denir.

Demir filizleri, cevher hazırlama işlemlerinden sonra yüksek fırın içerisine atılmaktadır. Tipik bir yüksek fırın, dikey durumda 25-30 m yükseklikte ve 8-10 m gövde çapındadır. Fırının içerisi 1 m kalınlıkta **refraktör tuğla** ile örülmüş ve dışı çelik saclarla kaplanmıştır.

Fırında yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılan cevherden ayrışma işlemlerinden sonra, “**pik**” adı da verilen “**ham demir**” elde edilir.

### 1.2.3. Çeliğin Tanımı ve Çelik Üretimi

**Çelik:** “Demir ve karbon alaşımıdır” denilebilir. Tanımlamaya biraz daha ayrıntı kattığımızda ise “İçerisinde % 1,7’ye kadar karbon, % 1’e kadar mangan, % 0,5’e kadar silisyum bulunan kükürt ve fosfor oranı da % 0,05’ten az olan demir karbon alaşımıdır.” demek daha doğru olur.

Tüm çelik üretim yöntemlerinde, demir refakat elemanlarının oksijene olan ilgilerinden yararlanır. Demir refakat maddelerinin oksijene olan ilgileri, demire olan ilgilerinden daha fazladır. Böylece kolaylıkla oksijenle birleşerek demirden ayrılabilir. Demir refakat elemanlarının ham demirden uzaklaştırılması için ham demir içine hava üflenerek yakılmaları mümkündür. Bu oksidasyon işlemine üfleme adı verilir. Oksidasyon için gerekli oksijen, çeşitli şekillerde sisteme verilir. Böylece çelik üretim yöntemleri ortaya çıkar. Çelik üretim metotları şunlardır:

- Bessemer ve Thomas çelik yöntemleri
- Siemens – Martin çelik üretim yöntemleri
- Elektrik ark ve elektrik endüksiyon çelik üretim yöntemleri
- Pota içerisinde çelik üretim yöntemleri
- Oksijenli konverter çelik üretim yöntemleri
- Vakum çelik üretim yöntemleri



Resim 1. 3: Çelik üretimi

### 1.3. Çelik Standartları

Dünyada değişik milletler kendilerine göre çelik standartları oluşturup üretmektedir.

En önemli çelik standartları aşağıda verilmiştir.

#### 1.3.1. TSE Standartları

TSE (Türk Standartları Enstitüsü) malzeme türleri ile ilgili standartları hazırlarken DIN Alman endüstri çelik normlarını esas almıştır. Aşağıda anlatılan “DIN” çelik normları “TSE” için de geçerlidir.

#### 1.3.2. DIN Alman Endüstri Çelik Normları

Alman standartlarında malzeme tanımlaması için 3 değişik sistem kullanılmaktadır.

- Malzeme numarası gösterimi
- Çeliğin çekme dayanımına göre kısa gösterimi
- Çeliğin kimyasal analizine göre kısa gösterimi
  - Karbon çelikleri
  - Düşük alaşımlı çelikler
  - Yüksek alaşımlı çelikler

#### Malzeme Numarası Gösterimi:

Malzeme Numarası	X . X X X X
Malzeme Cinsi (Çelik için 1)	_____↑
Çelik Türü	_____↑
Çelik Türü (Alt Grubu)	_____↑
Sıra Numarası	_____↑

Şekil 1.2: Malzeme numarası gösterimi

### Çeliğin çekme dayanımına göre kısa gösterimi:

Çeliğin minimum çekme dayanımı (kgf/mm<sup>2</sup>) esas alınarak gösterilir.

Örnek : St 37

En az 37 kgf/mm<sup>2</sup> veya 370 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımına sahip olan çeliği tanımlar.

### Çeliğin kimyasal analizine göre kısa gösterimi:

#### ➤ Karbon çelikleri

“C” ön harfi ile tanımlanır. “C” harfinden sonra gelen sayı yüzde C miktarının 100 katını gösterir. Ayrıca diğer özellikler “C” harfinden sonra k, m, q ve f harfleri konularak tanımlanmaktadır.

Harfler	Tanım
C	Genel amaçlar için kaliteli karbon çelikleri
Ck	Genel amaçlar için vasıflı karbon çelikleri (osfor ve kükürt oranı düşük)
Cm	Kükürt miktarı belli sınırlar içerisinde olan ıslah edilebilir karbon çelikleri
Cq	Soğuk şekillendirilebilir karbon çelikleri
Cf	Alevle ve indüksiyonla yüzeyi sertleşebilir karbon çelikleri

Tablo 1.1: Alaşımız çelikler için sembol harfleri ve anlamları

#### ➤ Düşük alaşımlı çelikler:

Alaşım elemanlarının ağırlık olarak toplam miktarı % 5 veya % 5'ten az çeliklerdir. Bu çeliklerin kısa işaretindeki ilk rakam karbon miktarının 100 katı olup bu sayıdan sonra alaşım elementi veya elementlerinin sembolleri ile daha sonraki sayı ve sayılarla da alaşım elementinin yüzde olarak ağırlıkları verilmektedir. Bu sayılar aşağıdaki alaşım elementi çarpanına bölünerek o elementin yüzde ağırlığı bulunur.

Cr, Mn, Si, Ni, Co, W için “4”

Al, Cu, Pb, Mo, V, Ti, Zr, Ti, T için “10”

C, S, P, N için “100”

B için “1000”

**Örnek:** 41Cr4

41 sayısı;  $41/100 = 0,41$  ortalama % C miktarını,  
4 sayısı;  $4/4 = 1$  ortalama % Cr miktarını ifade eder.

#### ➤ Yüksek alaşımlı çelikler:



Alaşım elementlerinin ağırlık olarak toplam miktarı % 5'ten fazla olan çeliklerdir. Yüksek alaşımı belirlemek için tüm ifadenin başına bir "X" işareti konulmuştur. "X" harfinden sonra gelen sayı ortalama C miktarının 100 katıdır. Bu sayıdan sonra alaşım elementlerinin sembolleri ile bunların yüzde olarak ağırlıklarının miktarları verilir. Tüm alaşım elementlerinin arpanları "1" olarak kabul edilir.

**rnek:** X20Cr13

20 sayısı;  $20/100 = 0,20$  ortalama % C miktarını,

13 sayısı;  $13/1 = 13$  ortalama % Cr miktarını ifade eder.

### 1.3.3. ISO Uluslararası Standartlar

1947 yılında kurulan ve yaptığı standardizasyon çalışmaları sonucu sanayiye, ticarete ve tüketicilere katkılar sağlayan ISO (International Organization for Standardization), Uluslararası Standart Organizasyonudur. Standardizasyon alışmaları ile dünya ticaretinin gelişmesi, ürünlerde kalitenin artırılması, ürün maliyetinin asgariye indirilmesi ve verimin artırılması gibi günümüz ekonomilerinin önemli sorunlarını çözmede büyük katkı sağlamaktadır. Türk Standartları Enstitüsü, ISO'nun yesi ve Türkiye'deki temsilcisidir.

### 1.3.4. SAE Amerikan Normu

SAE (Otomobil Mühendisleri Odası) Amerikan standartları, çeliklerin kimyasal bileşimlerine ve mekanik özelliklerine göre sembol gösterimlerini yapmaktadır.

elik Türleri	
Sembol	Anlamı
1	Karbonlu elikler
2	Nikelli elikler
3	Nikel ve krom alaşımlı elikler
4	Molibdenli elikler
5	Kromlu elikler
6	Krom ve vanadyum alaşımlı elikler
7	Volframlı elikler
8	Mangan ve silisyum alaşımlı elikler
9	Silisyumlu elikler

**Tablo 1.2: elik türleri**

Kimyasal bileşimi belirtilen çelikler dört basamaklı sembol sayı ile gösterilir.

Sayının birinci basamağı elik türünü (Tablo 1.2), ikinci sayı alaşım elementlerinin yüzde olarak ağırlık oranını,  ve dördüncü basamağı binde olarak karbon oranını ifade etmektedir.

### Örnek gösterim:

**SAE 1060**

1: Çelik türü; karbonlu çelik  
0: Alaşımız çelik  
60: Karbon oranı % 0.60

**SAE 5634**

5: Çelik türü; krom alaşımız çelik  
6: Krom oranı % 6  
34: Karbon oranı % 0.34

### 1.3.5. MKE Kurumu Çelikleri

**MKE** (Makine Kimya Endüstrisi) kurumu **TSE**'den çok daha önce kurulmuş, çelik üretimi yapan ve ürettiği çelikler için **SAE** Amerikan standartlarını esas alan bir kamu kuruluşudur.

**MKE** çeliklerin sembol gösterimlerinde, **SAE** çelik standartlarında kullanılan dört basamaklı sayı sistemi kullanılır. Ancak sembol gösterimin başına "Ç" harfi konur. Dolayısıyla tablo .... gösterilen tanımlar **MKE** çelikleri içinde geçerlidir.

### Örnek gösterim:

**Ç 1040**

1: Çelik türü; karbonlu çelik  
0 : Alaşımız çelik  
40: Karbon oranı %0.40

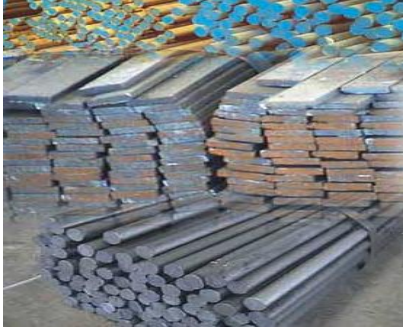
**Ç 4215**

4: Çelik türü; molibden alaşımız çelik  
2: Molibden oranı %2  
15: Karbon oranı %0.15

Çeliklerin renk kodları ile gösterimleri de vardır. Çelik üreticileri kolay tanınması ve depolama sırasında bir karışıklığa neden olmamak için üzerlerini (Alınlarını) çeşitli renklerle boyamaktadırlar (Tablo 1.3).

Çelik Türü	Renk Kodu	Çelik Türü	Renk Kodu
Ç 1020	Siyah	Ç 1050	Mavi
Ç 1020	Kırmızı	Ç 1060	Sarı
Ç 1030	Yeşil	Ç 1090	Turuncu
Ç 1040	Beyaz	Ç 1350	Kırmızı - Mavi

**Tablo 1.3: MKE normuna göre bazı çeliklerin renk kodları**



**Resim 1.4: Çeliklerin renklendirilmesi**



**Resim 1.5: Çelik ürünler**

## 1.4. Alaşım lar

En az iki metalin veya biri metal diğ erleri metal olmayan elementlerin bir araya gelerek oluşturdukları malzemeye “alaşım” denir.

Bakırın çinko ile yapmış oldu ğ u alaşım olan pirinç, iki metalin kullanıldı ğı tipik bir alaşım dır.

Metalin, ametal ile yapmış oldu ğ u alaşıma en bildik örnek, çeliktir. Demir bir metal, karbon ise bir element olarak alaşımı meydana getirir.

### 1.4.1. Alaşım Tipleri

Bir metalin yapısına başka maddeler katılarak yapılan özellik de ğ iş imi olarak tanımlanan alaşım, bir karışım dır. Sonuçta alaşımı oluşturan ametal ya da metaller birbirinden ayrılması istendiğ inde, zorluk gösterirler. Kullanılacak metalin, istenilen özelliklere sahip olması için gerekli alaşımı elde etmenin de ğ iş ik yolları vardır. İki şekilde alaşım yapmak için zemin hazırlanmış olur.

#### **Metal, metal ile birleşerek alaşım yapar:**

Bu türde alaşımı oluşturanlar metallere seçilmiştir ve ortaya çıkan alaşım da metaldir. De ğ iş ik oranlarda kalay ile kurşun metalinin alaşım yapacak şekilde karıştırılması sonucunda ortaya çıkan lehim gibi. Bir başka örnek, pirinç için geçerlidir. Bakırın çinko ile yapmış oldu ğ u alaşım olan pirinç, iki metalin kullanıldı ğı tipik bir alaşım dır.

<b>Metalin Adı</b>	<b>Kimyasal Simgesi</b>	<b>Metalin Adı</b>	<b>Kimyasal Simgesi</b>	<b>Metalin Adı</b>	<b>Kimyasal Simgesi</b>
Alüminyum	Al	Kalay	Sn	Kurşun	Pb
Baryum	Ba	Titan	Ti	Silisyum	Si
Sodyum	Na	Tunlisten	W	Mağnezyum	Mg
Demir	Fe	Gümüş	Ag	Molibden	Mo
Kadmiyum	Cd	Çinko	Zn	Nikel	Ni
Kalsiyum	Ca	Zirkonyum	Zr	Paladyum	Pd
Bakır	CU	İridyum	İr	Plitin	Pt
Altın	Au	Selenyum	Se	Krom	Cr

**Tablo 1.4: Alaşım yapmada kullanılan elementlerden bazıları**

Alaşım	Bileşenleri (%)	Ergime Noktalan (oC)	Alaşımın Ergime Noktası (oC)
Kır dökme demir	9796 Fe 3-4 C	1535	1200
Yumuşak lehim	60 Sn 40 Pb	232 327,7	183.
Gümüş lehim	55 Cu 45 Ag	1084 962	620
Basınçlı çinko dökümü	96 Zn 4Al	419,8 660	380
Basınçlı alüminyum dökümü	88 Al 12 Si	660 1410	577
Sert Kurşun	87 Pb 13 Sb	327,7 631	251

**Tablo 1.5: Teknik bakımdan önemli ötektik alaşımlar**

### **Metal, metal olmayan elementlerle birleşerek alaşım yapar:**

Bu grupta ele alınan alaşımlar bir metal ve ametal bir elementin birleşmesi sonucu açığa çıkar. Metalin, ametal ile yapmış olduğu alaşıma en bildik örnek, çeliktir. Demir bir metal, karbon ise bir element olarak alaşımı meydana getirir.

Genellikle metaller ve metal olmayan elementler birbirlerine karşı kimyasal ilgi gösterir. Bu nedenle, alaşımdaki metal olmayan elementler sülfür, karbill ya da nitrür şeklinde kimyasal olarak bağlanmıştır. Çelikte bu durum belirgin olarak karşımıza çıkar. Çelik, demir ve karbonun yapmış olduğu bir alaşımdır. Buradaki karbon, demir karbür şeklindeki bir bileşik hâindedir.

Alaşımlar tek ve çift fazlı olmak üzere iki tiptir. Tek fazlı alaşımlara katı eriyik, çift fazlı alaşımlara ise ötektik adı da verilir. Çift fazlı alaşımlarda, alaşımı oluşturan elemanların kafes sistemi değişmez, dolayısıyla özellik değişimi meydana gelmez. Tek fazlı alaşımlarda ise aksi oluşur. Bu nedenle tek fazlı alaşımlarda daha kolay özellik değişimi meydana geldiğinden tercih edilirler.

### **Tek fazlı alaşımlar:**

Genel olarak alaşımlar, bileşenlerin bir arada eritilmesiyle üretilir. Alaşımı oluşturan metaller bu sırada birbirlerinden farklı davranmış gösterirler. Bu farklılıklar içinde en çok rastlanılan durum, eriyiklerin birbirleri içinde çözünmesidir. Tıpkı su ve alkol gibi her oranda karıştırılınca çözünürler. Tek yapıda bir sıvı meydana gelir. Su ve alkol arasında hiçbir ayırım yüzeyi bulunmadığından bu tür eriyikler tek fazlı olarak adlandırılır. Makine üretiminde kullanılan alaşımların hemen hemen hepsi, üretimlerinde birbirlerinin içerisinde çözünür.

**Örnek:** Bakır-kalay, bakır-çinko, bakır-nikel, demir-nikel, kurşun- kalay

### **Çift fazlı alaşımlar:**

Çift fazlı alaşımlar, alaşım elemanları ayrı ayrı kendi yapılarını değiştirmeden ergir ve katılaşır. İlk etapta alaşım oluşturan elemanların her birinin farklı ısılarda ergimesi mümkündür. Alaşımı oluşturan elemanların her birinin aynı ısıda ergiyeceği varsayılmaz. Ancak alaşımı oluşturan metallerin miktarı bir noktada aynı ısıda ergiyip aynı ısıda katılaşmalarına imkân verecek konumda olur. Farklı ısıda ergiyen iki metalin alaşım oluşturmaları sonucunda oranları öyle bir noktada birleşir ki bu nokta, farklı ergime ısısına sahip iki metalin aynı ısıda ergimesine veya katılaşmasına imkân sağlar. Söz konusu oranda, daha önce farklı ısılarda ergiyen veya katılaşan metallerin alaşım yapımları sebebiyle kazandıkları yeni ısı değerleri de ötektik sıcaklığı bize verir.

### **1.4.2. Isıl Eğriler**

Metallerin işlenmesinde karşılaşılabilecek sorunların yenilmesi, onların davranışlarını araştırmak, özellikle ısı karşısında gösterdikleri farklılıkların analizleriyle gerçekleşir. Bunun için ısıl eğrileri bulunur. Isıl eğrileri aşağıda sıralanan amaçlara hizmet eder.

- Metallerin diğer malzemelerle olan benzer özelliklerinin tespit edilmesi,
- Katılaşma (soğuma) ve ergime (sıvı) esnasında metallerin hangi değişikliklere uğradığının gösterilmesi,
- Isıl eğrilerinin tespiti için metalin her ısı kademesinde ortaya çıkardığı farklılaşmanın gözlenmesi gereklidir. Bu amaçla katı hâlden sıvı hâle veya sıvı hâlden katı hâle geçerken metaller gözlenir.

### **Katılaşma eğrileri:**

Ergiyik hâldeki malzemenin soğutulmuş katı hâle getirilmesi sırasında malzemede meydana gelen değişiklikleri gösteren ısıl eğrilere katılaşma eğrisi denir

### **Ergime eğrileri:**

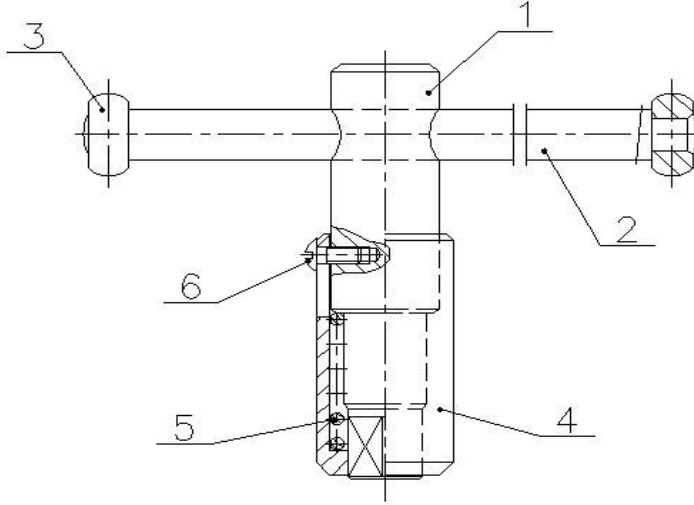
Katı hâldeki malzemenin ısıtılarak ergiyik hâle getirilmesi sırasında malzemede meydana gelen değişiklikleri gösteren ısıl eğrilere **ergime eğrisi** denir.

### **Katı eriyikler:**

Tek fazlı alaşımlara katı eriyik denilmektedir. Katı eriyiklerin belirli bir ergime ve katılaşma noktaları yoktur. Alaşımı oluşturan elementlerin ergime ve katılaşma sıcaklıkları farklı olduğundan ısıl eğrileri incelendiğinde ergime ve katılaşmayı belirten bir **sıcaklık bölgesi** olduğu görülür.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Makine imalatında kullanılacak malzemenin seçimini yapınız.



İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Poz 1 için karbonlu çeliklerden malzeme seçiniz.</li><li>➤ Poz 1 her iki alın kısmına çap 3,15'lik punta deliği açılacaktır. Katalogdan bulunuz.</li><li>➤ Poz 2, Poz 3, Poz 4 için malzeme seçiniz.</li><li>➤ Poz 5, çap 3 adımı 6 boy 30 ve iç çapı 18 mm olan basma yayıdır. Malzeme seçiniz.</li><li>➤ Poz 6 tornavida başlı M4*12 civatadır. Malzeme seçiniz, standart yazılışımı inceleyiniz.</li><li>➤ TSE ve DIN normlarını karşılaştırınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Çalıştığınız alanı temiz ve düzenli tutunuz.</li><li>➤ Etik kurallara uyunuz.</li><li>➤ Çalışırken dikkatli olunuz.</li><li>➤ Zamanı iyi kullanınız.</li><li>➤ Çalışma esnasında güvenlik kurallarına dikkat ediniz.</li><li>➤ Kataloglarınızı temiz tutunuz.</li><li>➤ Kataloglarınızı aradığınız standardı kolay bulacak şekilde arşivleyiniz.</li></ul>

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

### ÖLÇME SORULARI

- Aşağıda verilen seçeneklerden hangisi malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken kurallardan sayılmaz?  
A) Üretim işlerine uygunluk  
B) Korozyon direnci  
C) Teknolojik ve mekanik özellikleri  
D) Malzemenin güzelliği
- Yer kabuğunun % 5,6'sını teşkil eden ..... yumuşak kolay biçimlendirilebilen, yoğunluğu 7.88 g/cm<sup>3</sup>, ergime sıcaklığı 1535 °C, sertliği 67 BSD, % uzaması 40 olan mıknatıslanabilen, elektrik ve ısıyı iyi ileten gri renkli bir metaldir. Saf durumda yumuşak olduğu için endüstriyel amaçlara uygun değildir. .... endüstriyel özelliklere kavuşturan, içerisindeki karbondur. Yukarıdaki parçada boş bırakılan yerlere aşağıdakilerden hangisi getirilmelidir?  
A) Çelik  
B) Alüminyum  
C) Demir  
D) Kok kömürü
- İçerisinde %1,7'ye kadar karbon, % 1'e kadar mangan, % 0,5'e kadar silisyum bulunan kükürt ve fosfor oranı da % 0,05'ten az olan demir karbon alaşımıdır. Bu tanım aşağıdakilerden hangisine aittir?  
A) Bakır  
B) Çelik  
C) Pirinç  
D) Karbon
- Kesme işlemlerinde kullanacağımız uçları sertleştirmemiz gerekmektedir. Bu sertleştirme işlemi hangi malzeme ile yapamayız?  
A) Suda sertleştirme  
B) Yağda sertleştirme  
C) Havada sertleştirme  
D) Kumda sertleştirme
- Malzemenin oksitlenmesi ifadesinin eş anlamlısı aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Kuruma  
B) Korozyon  
C) Isıtma  
D) Nemlenme
- MKE Kurumu çelik standartlarına göre "Ç 1040" sembol gösteriminde "40" hangi anlama gelmektedir?  
A) Yüzde karbon oranı  
B) Binde karbon oranı  
C) Yüzde çelik oranı  
D) Binde çelik oranı
- "DIN" ne demektir?  
A) ABD endüstri çelik normu  
B) Avrupa endüstri çelik normu  
C) Kaliteli çelik standardı  
D) Alman endüstri çelik normu



---

## **DEĞERLENDİRME**

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Makine imalatında kullanılan çeliklere ısıtma işlemi uygulaması yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Sertleştirme yöntemlerine tabi tutulmuş makine parçalarını sınıfa getirerek inceleyiniz.

## 2. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

### 2.1. Isıl İşlem, Amacı, Önemi

**Isıl işlem:** Katı hâldeki metal ve alaşımlarına kimyasal bileşimlerine göre belirli özellikler kazandırmak için uygulanan bir veya daha çok sayıda ısıtma (tavlama) ve soğutma işlemleridir. Çeliklere uygulanan ısıtma işlemlerinin amaçları şunlardır:

- Demir karbon denge durumunu değiştirme
- Yapısındaki düzensizlik nedeni ile oluşan iç gerginlikleri giderme
- Talaş kaldırma işçiliğini kolaylaştırma
- Soğuk ve sıcak biçimlendirmeden dolayı oluşan yapı bozukluklarını ve gerginlikleri giderme
- Sertliğini ve dayanımını artırma
- Sert olan malzemeyi yumuşatma
- Kimyasal maddelere ve diğer dış etkenlere karşı dayanımı artırma
- Ani darbe ve titreşimlere karşı dayanımı artırma
- Elektrik iletimi ve manyetik özellikleri değiştirme
- Kimyasal bileşimini değiştirme
- İstenmeyen gazları uzaklaştırma
- Isıya ve korozyona karşı dayanımı artırma
- Kristal kafes yapısını değiştirme

Yukarıda sıralanan her amaç için farklı ısıtma işlemleri uygulanmaktadır. Uygun ortam, sıcaklık ayarları, zaman ayarlaması, soğutma şekli ve süresi gibi faktörler her amaç için farklı uygulanır.

### 2.2. Çeliklerin Sertleştirilmesi

Sertleştirilmiş çeliklerin mümkün olan en yüksek sertlik derecesine ve aşınma dayanımına sahip olmaları istenir. Bu arada soğuk şekil değiştirme yetenekleri kaybolur ve süneklik çok düşer. Bunların gerçekleştirilmesi için çelikler, daha önceden belirlenmiş

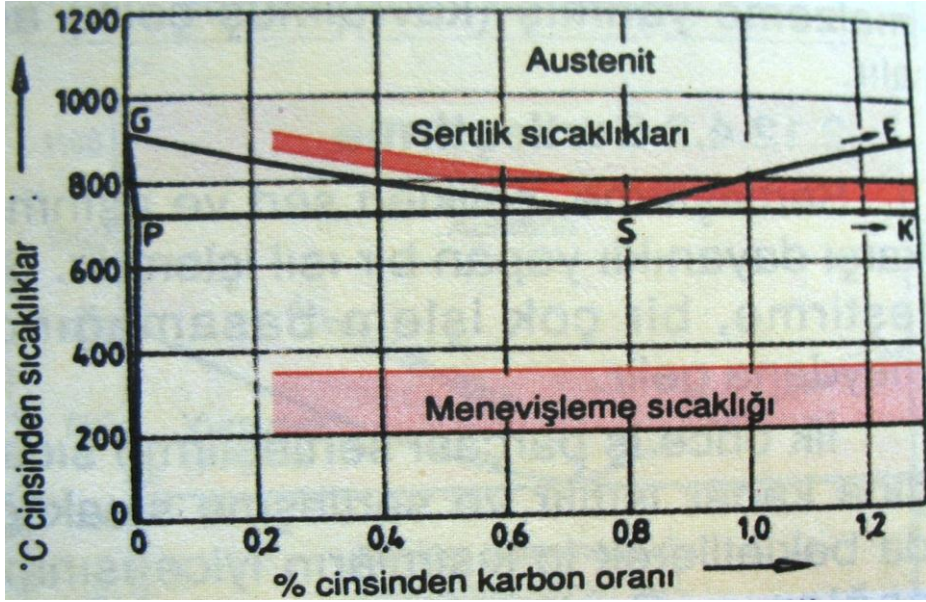
sıcaklıklara kadar tavlaniş daha sonra da soğutulursa iç yapıları kristal kaymalarına zorluk gösterecek bir yapıya kavuşur. Kristal yapılarının kaymaya karşı gösterdiği direnç, beraberinde sertlik denilen yapıyı getirir. Bir bakıma **sertleştirme**; çeliklerin daha önceden belirlenmiş sertleştirme sıcaklıklarına kadar tavlanişması, bunun ardından soğutulması ve son olarak da sert yapının istenilen düzeyde sünek hâle getirilmesi şeklinde yapılır. Dolayısıyla sertleştirme işlemi  aşamadan meydana gelir:

- Tavlama
- Soğutma
- Gerginlikleri giderme

**Bu  işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmek için bazı şarlara uymak gerekir. Bunlar:**

- Düzensiz yapıya ve i gerginliğe sahip çeliklere sertleştirme işlemi uygulanırsa malzeme çarpılır ve çatlamalar meydana gelir. Ayrıca iyi bir sertleştirme işlemi için malzemenin ince taneli bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Çünkü iri taneli malzemelerin sertleştirme işleminden sonra kırılğanlık özellikleri çok fazla artmaktadır. Bu nedennle sertleştirme işleminden önce çeliğin yapı dokusu incelenmeli, düzensizlikler ve tane irilikleri giderilmelidir.
- Çeliğin homojen bir şekilde ısıtılması gerekmektedir. Aksi hâlde malzemenin her yeri aynı değerde sertleşmeyecektir. Homojen bir ısıtma için zaman ayarlı fırın kullanmak yararlı olmaktadır.
- Sertleştirme işlemine başlamadan önce malzemenin üzerinde bulunabilecek yağ, kir, oksit gibi yabancı maddeler temizlenmelidir. Çünkü sertleştirme sırasında bu maddelerin bulunduğu kısımlar, malzemenin diğer kısımlarına nazaran daha yumuşak kalarak düzensiz bir sertleştirmeye yol açmaktadır.
- elik parça üzerindeki delik, kanal, vida dişleri ve keskin köşelerin ısıdan dolayı arpılmamaları için ateş toprağından yapılmış çamur veya kömür tozu ile kapatılmaları uygun olacaktır.

elik parça belirtilen bu şarlara uygun olarak hazırlandıktan sonra içerdiği karbon miktarına göre **şekil 1.2**'de görülen, **G-S-K** denilen bölgedeki sıcaklıklarda sertleştirme işlemine tabi tutulur.



Şekil 2.1: Çelikler için sertleştirme sıcaklık bölgesi

Çelik malzeme içerisindeki karbon oranına göre G-S-K eğrisinin 20-50 °C üzerindeki sıcaklık bölgesinde ısıtılması sonucu sertleştirme işlemi yapılır. Austenit yapısı, bozulmaya zaman bulamayacak şekilde hızla soğutulmuş çeliğin sertleştirme işlemi yapılır.

Alaşımli çeliklerde soğuma daha hızlı olacağından malzemenin dış yüzeyi ile iç kısmı aynı oranda sertleşme olanağı bulur. Sade karbonlu çelikler de ise soğuma daha hızlı gerçekleştiğinden malzemenin dış yüzeyi iç kısımlardan daha fazla sertlik kazanmaktadır.

Çeliklerin sertleştirme işleminde kullanılan soğutma yöntemi sertlik değerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu yöntemler aşağıda verilmiştir.

### 2.2.1.Suda sertleştirme

Su, çeliği en hızlı soğutan, ucuz ve kolay bulunabilen bir sıvı olduğu için sertleştirme işlemlerinde en sık kullanılan maddedir. Çeşme suyundan oluşan bir su tankı bu iş için yeterlidir. Suyun sıcaklığının normal olarak 20 °C olduğu bilinir. Fakat büyük parçaların soğutulması esnasında su sıcaklığının 10 °C civarına buz kütleleri yardımıyla ya da su dolaşım düzeniyle düşürülmesi yararlıdır.

Austenit denilen (GSK eğrisinin üstü) sıcaklık bölgesine kadar ısıtılan çelik parça, tamamı suyun içine girecek şekilde hemen su tankına sokulur. Suyun serin kısımlarından daha fazla yararlanmak için çelik parça su tankı içinde sekiz çizdirilerek gezdirilir ve sertleştirme işlemi gerçekleştirilir.



**Resim 2.1: Sertleştirmede sıvı içerisine parçaların doğru daldırılması**

Suya daldırma operasyonu sırasında şunlara dikkat etmek gerekir:

- Malzemenin uzun eksenini sıvıya dik olarak batırılmalıdır.
- Malzeme üzerinde kör delik varsa içerisinde hava kabarcığı kalmaması için delik kısmını dışa dönük olarak sıvıya batırılmalıdır.
- Önce kalın tarafı batırılmalıdır.
- Geniş yüzeyli parçalar dar taraflarından suya batırılmalıdır.
- Bazı parçalar sekiz çizdirilerek bazı parçalar ise aşağı yukarı hareket ettirilerek suya daldırılmalıdır.
- Kesinlikle iş parçasının bir kısmı dışarıda bırakılmamalıdır.

Şimdiye kadar uygulamaya dönük bilgiler verdiğimiz çeliğin sertleştirilmesi olayında şu kısa bilgiye de ihtiyacınız olabilir: Çelik hızlı soğutulursa ki sertleştirme ancak hızlı soğutma ile olur, bu defa austenit doku birden soğuyacağından merkezine girmiş olan karbon atomları dışarı çıkmaya fırsat bulamadan (Çünkü hızlı soğumaktadır.) kafesin bir kenarında sıkışır kalır. Bu, kafesin ve dolayısıyla dokuların sıkışmasına sebep olur. Bu olay kritik sıcaklık derecesinde olduğundan (yani gama kristallerinin alfa kristallerine dönüştüğü sıcaklık derecesinde) karbon atomları alfa kristalleri içinde kalmış olur. Karbon atomlarının geri dönememesi sertleşmeyi sağlar. Fakat alfa kristalleri içinde sürekli olarak sıkışıp kalan bu atomlar, kristallerin çarpılmasına sebep olur. O yüzden sertleştirilmiş iş parçaları az ya da çok çarpılmış olarak çıkabilir.

### 2.2.2. Yağda sertleştirme

Yağda sertleştirme işleminin yapılışı su ile sertleştirme yönteminin aynıdır. Ancak bu yöntemde alevlenme sıcaklığı çok yüksek olan madeni yağlar kullanılır. Yağın sudan farkı daha yavaş soğumasıdır. Bu durum bazı çeliklerin yapısına daha uygundur (düşük alaşımli çelikler gibi). Çeliğin yavaş soğutulması, iç gerilmelerin yani çarpılmanın az olmasını sağlar.

Suda sertleştirilmiş çeliklerin sertlik tabakası ince olur. Yani çelik özüne kadar sertleşmez. Fakat yağda sertleştirme işlemi ile çeliğin sertlik tabakası daha derinlere iner.

Suda sertleştirme korozyon sorunlarına yol açabilecekken yağda sertleştirme en yüksek korozyon direncini sağlar.

### 2.2.3.Havada sertleştirme

Yüksek alaşımlı çelikler havada yavaş soğutularak sertleştirilir. Havada sertleştirilen çelikler merkez çekirdeğine kadar aynı derecede sertleşir. Bu özelliğinden dolayı bilhassa kesici takımlar havada sertleştirilir.

Yüksek alaşımlı çelikten yapılmış takımlar, sertleşme (su alma) sıcaklığına kadar tavlandıktan sonra genellikle şu yöntemler ile soğutularak sertleştirilirler:

- Durgun hava: Hareket etmeyen açık hava
- Fanla soğutma: Fanla meydana getirilen bir hava akımı ile soğutma
- Basınçlı hava ile soğutma: Yüksek basınç kaynağından temin edilen hava ile soğutma

### 2.2.4.Diğer yöntemler

Sertleştirme işleminde soğutma hızını artırmak için bazı sıvı bileşikleri kullanılmaktadır. Bunlardan en ucuzu su içerisine yemek tuzu katılmasıdır. Ancak tuzlu su korozyona neden olacağından soğutma işleminden sonra parça yıkanmalıdır.

Soğutma sıvısı olarak sülfürik asit veya potasyum hidroksit maddelerinin sulu çözeltileri de sıkça kullanılmaktadır. Bu çözeltilerle yapılan sertleştirme işlemlerinde çelik yüzeyi çok parlak ve temiz olmaktadır.

Ayrıca bir metal olan kurşun esaslı çözeltiler de sertleştirme işlemlerinde kullanılmaktadır. Ancak bu çözeltilerde yüksek oranda zehirli gaz çıktığından gerekli emniyet önlemleri alınmalı ve ortam iyi havalandırılmalıdır.

## 2.3. Çeliklerin Sertleştirilmesinde Doku Değişiklikleri

Çelik için ötektoit sıcaklık  $723^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu oranlar içerisindeki çeliği ısıtmaya başladığımız takdirde  $723^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yapıda herhangi bir değişim gözlenmez.  $723^{\circ}\text{C}$ 'den sonra dönüşüm başlar. Çeliğin içerisindeki karbon durumuna göre, perlit veya sementit parçalanarak kimyasal bileşik yerine karbon atomlarının serbest kalmasına yol açar. Serbest hâlde bulunan karbon atomlarının bu sıcaklıkta gidebilecekleri tek yer, gama kristalleri içerisindeki boşluklardır. Bilindiği üzere ısıtma eğrisinde 9 atomlu hacim merkezli kristaller, ısının etkisi ile 14 atomlu yüzey merkezli kristal kafeslerine dönüşür. Bu genişmeden yararlanan karbon atomları boşlukları doldurarak katı eriyik yapar. Sıcaklık yükseldikçe kristallerin kenar ölçülerindeki büyüme daha fazla karbon atomunu içlerine alır. Çeliği sertleştiren bu karbon atomlarının serbest hâlden kurtulup demir atomları ile yaptıkları yeni bileşimdir. Kristallerin yeni bileşimleri ile bir kafeste durmaları, sertliğin devamlılığı için gereklidir. Kristal yapılarındaki değişim sıcaklıkla ilgili olduğuna göre sıcaklık yavaş yavaş düşerse 14 atomlu yüzey merkezli kristal, tekrar 9 atomlu hacim merkezli kristal hâline döneceğinden sertleşme de ortadan kalkacaktır. Yani karbon atomları tekrar eskisi gibi serbest hâlde bulunacaktır. Oysa bizim istediğimiz sertleşmenin devamlılığıdır. Bu da ancak

karbon atomlarını buldukları kafes sisteminde tutmakla olur. Her durumda atomların bu geçişleri için zamana ihtiyaç vardır. Gerek karbon atomlarının serbest kalması, gerekse demir atomları ile birleşmeleri bir süreç meselesidir. İşte bu müdahaleyi gerektiren noktadır. Sertleştirilme işlemine tabi tutulacak çeliğe, karbon atomlarının serbest hâle geçmesi için gerekli süreyi vermezseniz karbon atomları eski durumlarına dönemeyeceklerdir. Bu da ancak hızlı soğutma ile olur. 723°C üzerinde hızla soğutulan çelikteki karbon atomları serbest hâle dönemeyeceklerinden sertleştirme sağlamış olur.

## 2.4. Çeliklerin Tavlanması

Çeliklerin iç gerginliklerini, sıcak ve soğuk işleme sonrasında oluşan yapı bozukluklarını, sertleştirme işleminden sonra oluşan çarpılmaları, sert yapıda olanların kolay işlenebilmesi için yumuşatılması vb. özellikleri sağlayabilmek için belirli bir nitelikte uygulanan ısıtma soğutma işlemine “**tavlama**” denir. Tavlama en iyi “tav fırını” denilen fırınlarda yapılır (Resim 1.2).



**Resim 2.2: Tav fırını**

Çeliklere en sık uygulanan tavlama çeşitleri şunlardır:

### 2.4.1. Normalleştirme Tava

Dövülmüş, haddelenmiş, dökülmüş, çekilmiş ve çelik ile kaynak edilmiş iş parçalarının kaynak bölgesinin çevresi, yüksek sıcaklıktan etkilenecek şekilde iri taneli yapıya bürünür. Yüksek sıcaklıkta bekletmede iri taneli yapının oluşmasına neden olur. İri taneli çelik yapısının, şekil değiştirmeden kopmaya karşı eğilimi vardır. Bu nedenlerden ötürü,

biçimlendirilmeden önce, ince taneli yapı sahibi çeliklerin, biçimlendirme sonrası eski hâllerine dönmeleri istenir.

Çelik, dışı ve içi arasında sıcaklık farkı olmayacak şekilde 600° C sıcaklığa kadar ısıtılır. Yalnız, ısıtılmanın hızlı olmaması gerekir. Yavaş ısıtma için tav fırınlarından yararlanır. Şayet hızlı ısıtma uygulanırsa düzensiz ısıl genleşme nedeni ile çatlama tehlikesi doğabilir. Yavaş ısıtmadan sonra 723°C'deki dönüşüm bölgesinde sıcaklığının 30-50°C üzerine hızlı olarak ısıtılır ve bu sıcaklıkta malzemenin merkezi de tamamen dönüşüme uğrayana kadar bekletilir. Yapılan araştırmalar, bu bekleme için gerekli olan süreyi malzemenin her 1 mm'si için 2 dakika olarak tespit etmiştir. Daha sonra hızlı soğutma ile (hareketsiz havada) dönüşüm bölgesi sıcaklığının altına indirilen malzeme sıcaklığının, bundan sonraki soğumasını istenilen şekilde yapmak mümkündür. Kalın ve büyük parçaların gerilim giderme tavi da bu şekilde yapılabilir.

Normalleştirme tavi genellikle orta ve düşük karbonlu çeliklere, çeşitli biçimlendirme işlemlerinden sonra yapı bozukluklarını düzenlemek ve çekme dayanımını artırmak için yapılır.

**Örnek:** Döküm yoluyla elde edilmiş C 25 çeliğinin çekme dayanımı 43.7 kg/mm<sup>2</sup> iken uygulanan normalleştirme tavından sonra 48 kg/mm<sup>2</sup>ye çıkmaktadır.

#### 2.4.2. Yumuşatma Tavi

Yumuşatma tavi, çeliklere uygulanan bir ısıl işlem tavlama işlemidir. Bu tavlamanın sonucunda beklenen, çelik iç yapısında oluşacak değişimlerdir. Dövme tavi ile bunu birbirinden ayıran özelliklerin başında bu gelir. Dövme tavi, malzemenin plastik şekil değişimine imkân sağlayacak zemini hazırlarken yumuşatma tavi tamamen iç yapıdaki değişiklikleri amaç edinmiştir.

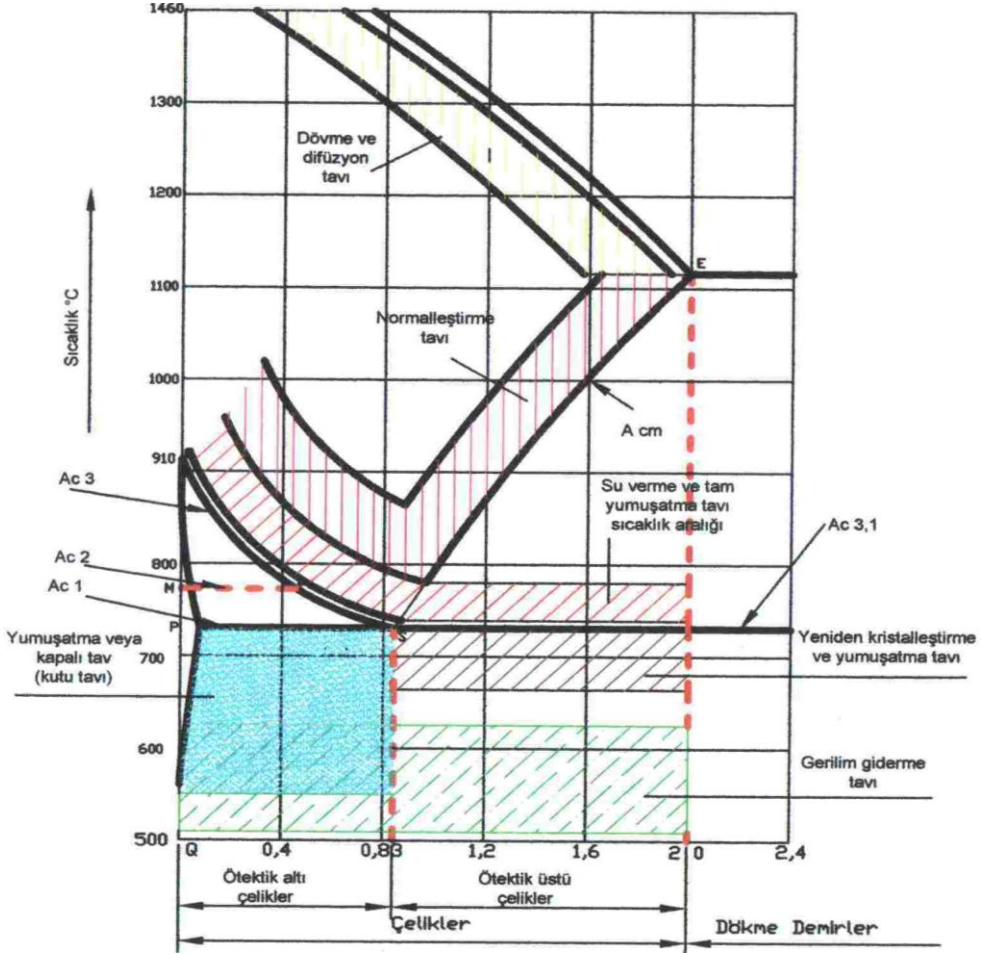
Yumuşatma tavi çeliğe, ulaşabileceği en yüksek yumuşaklığa erdirmek için yani düşük dayanım ve sertlikte yüksek uzama gösterebilecek hâle getirmek amacı ile uygulanır. Çelikten beklenen, hep sertlik ve dayanım değildir. Elbette ki "çelik gibi sert" tanımlamasını doğrulamak gereklidir. Ancak bilinmelidir ki, sert malzemenin birçok yararının yanında, işlenememe gibi büyük bir yarar kaybı da vardır. Bunu, özellikle yüksek karbonlu çeliklerin kullanımında sorun sayabiliriz. Bu nedenle yapıda birbirine yapışık hâlde bulunan sementit, gevşetilmelidir. Çünkü bu yüksek dayanım ve düşük uzamaya neden olmaktadır. Elde edilecek yumuşama, birçok işlem için en iyi başlangıç hâlidir.

Tüm çelik türlerinde soğuk biçimlendirmeyi, orta ve özellikle yüksek karbonlu çeliklerde ise talaş kaldırma kolaylığı sağlamak için yumuşatma tavi uygulanır.

#### 2.4.3. Gerginlik Giderme Tavi

Isıl işlemler sırasında meydana gelen, düzensiz soğuma sonucunda oluşan iç gerilmelerin giderilmesi gerekir. "**Temperleme**" işlemi de denilen gerginlik giderme tavi menevişleme ve ıslah olarak iki şekilde yapılmaktadır.





Şekil 2.2: Çeliklere uygulanan çeşitli ısı işlemlerine ait sıcaklık bölgeleri (tavlama bölgeleri)

#### 2.4.4. Menevişleme

Sertleştirme sırasında oluşan martensit yapı birçok uygulama için fazlasıyla sert ve gevrek olup darbe direnci ve işlenebilirliği çok düşüktür. Aynı zamanda, hızlı soğuma sonucu, su verme işleminden sonra parçada yüksek gerilimler oluşur. Bu nedenle, hem parçanın gevrekliğini gidererek tok bir yapı elde etmek hem de iç gerilimleri azaltmak amacıyla menevişleme denilen ısı işlem uygulanır. Bu arada belirtmekte yarar var; menevişleme tavlama, gerginlik giderme ya da temperleme diye adlandırıldığı da olur. Aslında teknik anlamda hepsi aynı işlemin farklı söylenişinden başka bir şey değildir.

Menevişleme, su verilip sertleştirilmiş yapıların ötektoid sıcaklığı (723 derece) altındaki sıcaklıklarda belli bir süre ısıtma ve kendi kendine soğutma işlemidir.

- **Düşük sıcaklıkta meneviş:** Menevişleme sıcaklığı 120-250 derece arasındadır. İşlem, sadece parça bünyesindeki iç gerilimlerin azaltılması amacıyla yapılır.

Menevişten sonra sertlik çok az (2-3 HRC) düşer. Sertliğin fazla azalması istenmeyen parçalara uygulanır.

- **Orta sıcaklıkta meneviş:** Menevişleme sıcaklığı 350-450 derece arasındadır. Orta sıcaklıkta meneviş çok sık uygulanmaz ve genellikle yüksek mukavemet ile yüksek elastikiyetin birlikte istenildiği parçalara (yay çelikleri) uygulanır.
- **Yüksek sıcaklıkta meneviş:** Menevişleme sıcaklığı 450-650 derece arasındadır. Yüksek sıcaklıkta meneviş, makine yapım çeliklerine, yüksek tokluk ve yeterli mukavemet istenen yerlerde uygulanır.

Uygulamalarda genellikle şuna dikkat edilmelidir: Su verilen parça pratik olarak elle dokunabilme sıcaklığına düştüğünde fırına yerleştirilmelidir. Fırında menevişlenecek parçanın sıcaklığı fırınla birlikte yükselmelidir (Sıcak fırına koymaktansa fırınla beraber ısının yükselmesi beklenmelidir.). Menevişleme sonrası soğutma aşırı hızlı olmamalı, bu gerilme oluşma olasılığını tetikler, mümkün olduğunca kendi hâlinde havada soğumaya bırakılmalıdır.

#### 2.4.5. Islah

Islah etme daha çok yapı çeliklerine uygulanan önce bir sertleştirme, arkasından da yüksek sıcaklıkta menevişleme (450-650 C°) işlemlerinin bütünüdür. İşlemin amacı yüksek sünekliktir. Menevişleme ile arasındaki fark, işlemlerin yapıldığı sıcaklıktır.

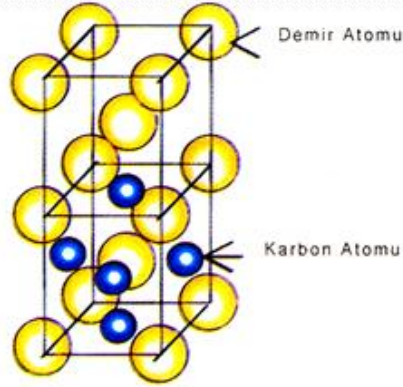
Islah işlemi yüksek dayanım ve süneklik elde etmenin kolay ve ucuz yoludur. Çünkü aynı özellikleri kazandırmak için çeliğe alaşım elementleri katmak ıslah işlemine nazaran zor ve pahalıdır. Bundan dolayı genellikle dişli çarklar, kamlar, krank milleri, motor parçaları vb. mekanik elemanların yapımında ıslah edilmiş çelikler kullanılmaktadır.

### 2.5. Yüzey Sertleştirme Yöntemleri

Yüzey sertleştirme işlemleri; yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, iç yapıda ise yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlanmalara karşı dayanıklı parçalar elde etmek için uygulanan ısıtma işlemleridir. Yüzey sertleştirme işlemleri genellikle karbon oranı çok az olan çeliklere uygulanır. Dişli çarklar, rulmanlı yataklar, miller ve pistonlar gibi birçok bitmiş iş parçası bu işlemlere tabi tutulur.

#### 2.5.1. Yüzeyin Kimyasal Yapısını Değiştirerek Yüzey Sertleştirme

Çeliklerin kimyasal bileşimini değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme yöntemleri, nitrürasyon, sementasyon vb. yöntemlerdir. Günümüzde yaygın olarak sementasyon yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 2.3: Sertleştirme sonucu demir ve karbon atomlarının durumu

### 2.5.1.1 Sementasyon

Sementasyon işlemi genelde düşük karbonlu çelikler için kullanılır. Bunlar sünek fakat sertleştirilemez karakterdedir. Sertleştirme esnasında hemen hemen hiç sertleşmezler. Ancak akma sınırlarının yüksekliği sebebiyle kolaylıkla şekillendirilebilirler. Yüzey kısımlarının karbon miktarının % 0,80 olması böylece sertleşebilir hâle gelmesi için (difüzyon yoluyla) önce karbon emdirilir. Sementasyon işlemi buna göre iki aşamada yapılır;

- Karbürizasyon (yüzeyle difüzyon yoluyla karbon emdirme)
- Sertleştirme işlemi

Çeliğin dış yüzeyinden karbon emebilmesi için gerekli olan sıcaklık 900 °C'dir. Bu sıcaklıkta çelik % 1'den fazla karbon emebilir. Karbon miktarına bağlı olarak karbon atomları yüzey yapısına ve daha içlere doğru girer. Sıcaklık ne kadar yükselirse bu difüzyon olayı o kadar çabuk oluşur.

**Sementasyon yüzeyin yapısını değiştirmede kullanılan maddenin cinsine göre adlandırılır:**

- Katı sementasyon
- Sıvı sementasyon
- Gaz sementasyonu

### 2.5.1.2 Nitrürasyon

Nitrürasyon bir yüzey sertleştirme metodudur. Bu metot, genellikle katı çelik olan krom-alüminyum, krom-molibden-vanadyumlu düşük alaşımlı çeliklere uygulanır. Bu yöntemde çelik, sıcaklığı 500-550 °C olan fırında amonyak gazı ortamında bekletilmesi sonucunda veya aynı sıcaklıklarda azot veren tuz banyosu içine konularak yüzeyde ince ve çok sert bir tabaka oluşur.

Nitrürasyon işleminin en büyük avantajı, işlem sonrasında parçanın tekrar tavlansın sertleştirilmesine gerek olmamasıdır. Çünkü işlem sonrası elde edilen sertlik değeri

yeterlidir. Bu yöntemle elde edilen sertlik değerini başka bir yöntemle elde etmek mümkün değildir. Nitrürasyon yönteminin yukarıdaki birçok üstünlüğünün yanında nitrürasyon çok zaman alıcı bir metottur. 0,35 mm nitrür tabakası elde etmek için parçayı fırında ve amonyak gazı içinde yaklaşık 20 saat kadar bekletmek gerekir.

### 2.5.2. Yüzeyin Kimyasal Yapısını Değiştirmeden Yapılan Yüzey Sertleştirme

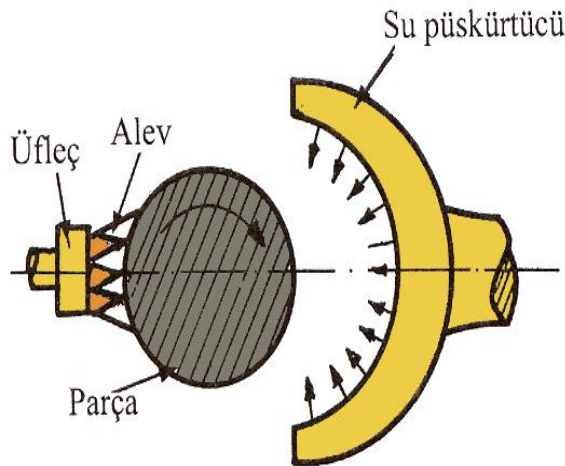
Bünyelerinde yeter oranda (% 0,40-0,80) karbon bulunan çeliklerin de yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulması istenebilir. Bu durum, tüm katmanlarının sertleştirilmesi istenmeyen parçalarda söz konusudur. Özellikle iç yapıları yumuşak kalması istenip de dış yüzeylerinde sertlik aranan, iç yüzlerinin yumuşaklığı sebebiyle basma dayanımlarına karşı koyabilecek makine elemanları bu tür sertleştirme yöntemleri ile sertleştirilir.



Resim 2.3: Yüzey sertleştirme işlemi yapılmış dişliler

#### 2.5.2.1. Alevle Yüzey Sertleştirme

Alev ile sertleştirmede üflecin oluşturduğu sıcaklık, direkt olarak gerecin üst yüzeyini ısıtır. Elde edilen ısı yaklaşık 3000 °C'dır. Bu, parçanın kısa sürede tavlınmasına neden olur. Dolayısıyla hızlı bir sertleştirme ortamı oluşturulabilir.

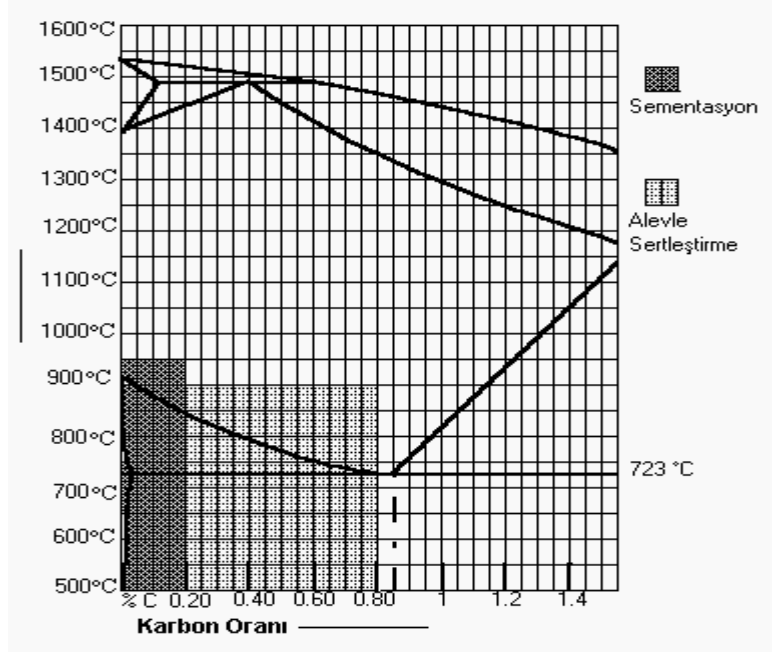


Şekil 2.4: Alevle yüzey sertleştirmenin prensibi

Gerecin 3 mm derinliklerine kadar sert yüzey elde etmek mümkündür. Bu değerden daha düşük yüzeylerin sertleştirilmeleri, üfleç hızına ve üfleç ile gereç arasında bırakılacak mesafeye bağlıdır.

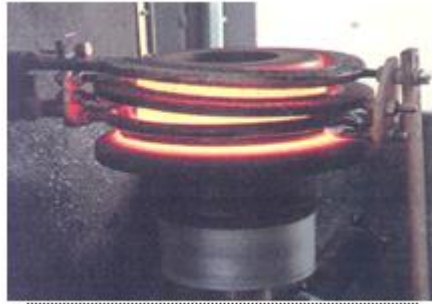
İçerisinde % 0,40 ile 0,80 oranında karbon bulunan çeliklere uygulanır.

Çeliği oluşturan alaşımlar, soğutma yöntemini tayin eder. Buna göre parçalar su, tuz çözeltisi ve havada soğutulabilir.



Şekil 2.5: Karbon oranına göre çeliklere uygulanacak yüzey sertleştirme sıcaklıkları

### 2.5.2.2. Endüksiyon Akımı ile Yüzey Sertleştirme



Resim 2.4: Elektrik akımı frekansı ile parça yüzeyinin ısıtılması

Sertleştirme ortamının oluşturulmasında elektrik akımından yararlanır.

Yüksek frekans üretebilen devreden alınan alternatif akım yük sargısından geçer ve ısıtılacak parçanın yüzeyinde, endüksiyon akımı meydana getirir. Endüksiyon akımını ileten ekipmanın, ısıtılacak yüzeyi sıkıca sarması, ısıtma işleminin sağlıklı olmasının ilk şartıdır.

Uygulanan frekanslar 10 ile 10000 kHz değerleri arasındadır. İş parçasının bu akımın geçmesine karşı gösterdiği direnç, parçanın ısınmasına sebep olur. Isıtma derinliğinin tayini, kullanılan frekans ile enerji miktarı ve enerji verilmesi sırasında geçen süreye bağlıdır.

İçerisinde % 0,35 ile 0,60 oranında karbon bulunan, orta karbonlu çelikler, bu yöntemle yüzey sertleştirmeye tabi tutulur.

## 2.6.Katık Elemanların Çeşitleri ve Çelikte Sağladığı Özellikler

Çeliklere; mukavemet, korozyon dayanımı, asit-tuz ve bazlara karşı dayanım, sıcak ve soğuğa dayanım, aşınmaya dayanım, sertlik vb. gibi özellikler kazandırmak amacıyla kullanılan alaşım maddelerine **katık elemanı** denir.

Çeliklere özellik kazandırmak amacıyla kullanılan katık elemanlarının başlıcaları şunlardır;

### 2.6.1. Karbon

Karbon, çeliğin meydana gelmesini sağlayan demirden sonraki ana alaşım elementidir. Ayrıca çeliğe sertlik ve dayanım sağlayan en önemli katık elemanıdır.

Karbon, çeliğin ergime derecesini düşürür, oksitlenmeyi azaltır, korozyon ve aşınma dayanımını sağlar, elektrik direncini ve ısı dayanımını artırır.

Ancak karbon, çeliğin talaş kaldırılabilme, kaynak edilebilme, elastikiyet, eğme, dövme ve derin çekme gibi sıcak veya soğuk olarak biçimlendirilebilme kabiliyetlerini azaltır.

### 2.6.2. Silisyum

Çelik tanımı içinde yer alan başka bir element olan silisyum, demir filizleri ve yüksek fırınlarda kullanılan yalıtım tuğlaları aracılığıyla çelik iç yapısına girer. Katkı elemanı ve çeliğe yeni özellikler kazandırabilmesi için çelik iç yapısında en az % 0,5 oranında silisyum olması gerekir. Katkı elemanı olarak silisyum kullanılan çelikler, aşağıda sıralanan özelliklere sahip olur.

Çeliğin oksidini alır, dayanım ve akma sınırını yükseltir. Silisyum miktarı fazla çelikler kaba dokulu olur. Çelik üretimi sırasında, ergime nedeniyle oluşan yabancı maddeleri, cüruf şeklinde yüzeyde toplar, çeliklerin dönüşme hızını düşürür. Bu nedenle silisyum katkılı çelikler çekirdeğe kadar sertleşir. Çelik iç yapısında silisyum miktarının yüksek olması, çeliklerin dövülerek şekillendirilmesini engeller.

### 2.6.3. Manganez

Her çeliğin iç yapısında bulunan elementlerden biridir. Bileşiminde mangan bulunan demir filiziyle ham demire girebileceği gibi oksijen ve kükürdün bağlanması için de çeliğe katılarak alaşım yapısına girer. Bu nedenle katkı elemanı olabilmesi için çeliğe % 1'den fazla oranlarda katılmış olması gereği vardır. Bu orandan fazla olan mangan, çeliğe aşağıda sıralanan özellikleri verir.

Yüksek oranda oksit gidericidir. Çelik dokusunu kabalaştırır, bu özelliğiyle çeliğin, ısıtma işlemlere karşı hassas olmasını sağlar. Çeliğin dönüşme hızını yavaşlatır, bu özelliği nedeniyle mangan katkılı çelikler yağda sertleşir. Çeliklerin çekirdeğe kadar sertleşmesine olanak tanır. İç yapısına % 1 oranında mangan katılan çelikler ısıtma işleminden sonra ölçü değiştirmez. Çeliğin kaynak yeteneğini düzeltir. Mangan, bir anlamda silisyumun rakibi sayılabilir. Silisyumun kaynak yeteneği üzerindeki olumsuz etkisi, mangan ile azaltılır.

### 2.6.4. Fosfor

Çelik iç yapısında istenmeyen elementler kükürt ve fosfordur. Fosfor demir filizlerinden ya da iç yapısında fosfor bulunan kireç taşı gibi katkı maddeleri aracılığıyla ham demire girer.

Fosfor, dayanımı ve paslanmaya karşı dayanıklılığı artırır. Ancak çentik darbe sünekliğini azaltır. Bu nedenle % 0,2'nin üzerinde fosfor bulunan çeliklerde soğuk kırılma meydana gelir yani malzeme soğuk biçim değiştiremez. Fosfor, döküm esnasında akıcılığı sağlasa da çeliğin asitlere karşı dayanımı ve elektrik direncini düşürmek gibi diğer özelliklerin de olumsuz etkisi vardır. Olumsuz etkileri nedeniyle çelik iç yapısında % 0,05-0,005'ten yüksek oranlarda olmasına izin verilmez.

### 2.6.5. Kükürt

Çeliği gevrek ve kırılma yaptırdığı için çelik iç yapısında istenmeyen bir diğer elementtir. Ancak çok önemli olumsuzluklar yaratmasına rağmen çelik iç yapısında bulunur. Özellikle pirit gibi demir filizlerinde bulunması, bu tür filizler kullanılarak üretilen ham demirde karşılaşılmasına neden olmaktadır. Çelik içerisine ise sülfürlü yakıtlar ile girer. Çelik içindeki kükürdün % 0,02-0,035 arasında olması sorun yaratmaz. Bu oranları aşan kükürt, çelik üretiminden önce yakılarak uzaklaştırılır. Bazı durumlarda ise çelik iç yapısındaki kükürdün, iki misli kadar mangan ilavesiyle olumsuz etkileri yok edilir.

Tüm olumsuzluklarına rağmen kükürdün katkı elemanı olarak kullanıldığı çelikler de bulunmaktadır. Otomat çeliği olarak adlandırılan bu gruptaki çeliklerde, kolay işleme ve düzgün yüzey verme gibi özelliklerden ötürü % 0,3 oranında kükürt bulunması yararlıdır.

### 2.6.6. Oksijen

Çelik üretimi sırasında fazla orandaki karbonun yok edilmesi için kullanılan oksijen, çeliğin sert, dolayısıyla da kırılma olmasına neden olur. Bundan ötürü de çelik iç yapısından uzaklaştırma işleminde mangan, alüminyum ve vanadyum gibi katkı elemanlarından yararlanır. Çoğu zaman oksijenin olumsuz etkileri hemen görülmez. Yaşlanma olarak

adlandırılan oksijen olumsuzlukları, çok zaman sonra çelikte kırılma olarak açığa çıkabilir.

### **2.6.7. Bakır**

Çeliğe katkı elemanı olarak ilave edilen bir metaldir. Özellikle paslanmaz çeliklere % 0,55 oranında ilave edildiğinde dayanımı artırır ve akma sınırını yükseltir. Diğer yandan çelik iç yapısındaki bakırın, olumlu katkıları şunlardır:

Çeliklerin asitlere ve korozyona karşı dayanımını yükseltir, fosforla birlikte çelik iç yapısında bulunan bakır, atmosferik etkilere karşı dayanımı yükseltir.

### **2.6.8. Krom**

Endüstrinin birçok alanında kullanımının yanında, çelik katkı elemanı olarak önemli bir yer tutmakta olan krom, çeliğe aşağıda sıralanan özellikleri verir.

Çelik iç yapısındaki karbon ile birleşerek çok sert olan krom karbürü meydana getirir. Dönüşmeyi yavaşlatır. Bu yönüyle çeliğin çekirdeğe kadar sertleşmesine olanak tanır. Çelikleri ince dokulu yapar. Sertlik ve dayanımı artırır. Üstün aşınma ve kesme özelliği kazandırır. Çeliklerin manyetik özelliklerini yükseltir. Dövme ve ısıl işlemlere karşı çeliklerin hassaslaşmasını sağlar.

### **2.6.9. Nikel**

Çeliklerin sertleştirilmesinde soğutma hızlı yapılırsa çekirdeğe kadar sertleşmeme sorunu ortaya çıkar. Bu sorun nikel aracılığıyla çözülür. Nikel, çeliğin kritik soğutma hızını düşürür. Bu nedenle nikelli çelikler daha derinlere kadar sertleşebilir. Ayrıca çeliğe süneklik sağlar ancak dayanımını artırmaz. Bakır ile birlikte kullanıldığında çeliğin korozyona karşı dayanımını yükseltir.

Nikelin maliyeti yüksektir. Maliyetin düşürülmesi arzu edildiği takdirde, çeliğe nikel ile aynı özellikler kazandıran mangan ilavesi yapılabilir. Nikel miktarının değişmesi, çelik üzerinde farklı değişikliklere yol açmaktadır.

### **2.6.10. Volfram**

Ergime derecesinin 3410°C olması nedeniyle katkı elemanı olarak kullanıldığında çeliğin yüksek ısılarla karşı dayanımında olumlu etkiler yapar. Diğer yandan, çelik iç yapısında bulunan karbon ile birleşerek volfram karbür oluşmasına olanak tanır. Bu özelliğiyle çeliğin sert bir yapıya sahip olmasını sağlar. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir husus vardır; karbür oluşumu için volfram, çelik iç yapısındaki karbonun azalmasına neden olur. Çelik içindeki karbonun azalması, ana kütlenin karbonsuz kalmasına, dolayısıyla da çeliğin sertleşmesine engel teşkil eder. Bu aksaklığın giderilmesi için çelik içine ilave edilen volfram miktarı doğrultusunda karbon ilavesi yapılır.

Volfram katkılı çeliklerin yüksek ısılarla karşı dayanımlı ve sert olması, onların endüstride kesme takımı olarak kullanılmasına neden olmaktadır. Yine aynı özelliklerinden



ötürü volframlı çelikler, sıcak iş kalıplarının yapımında kullanılır. Çeliğin dönüşme hızını oldukça düşürür, bu yönüyle volfram katkılı çelikler havada sertleşir.

### **2.6.11. Molibden**

Volframın çelik üzerindeki etkilerinden daha fazlasını veren bir katkı elemanıdır. Volframda olduğu gibi ısı özelliklerinde iyileştirme yaptığından çeliğin tavlamaaya karşı gösterdiği bozuklukları ortadan kaldırır. Diğer yandan aside karşı dayanıklılığı hava çeliklerinde kullanılmasına olanak tanır. Bunlar dışında molibden çeliklere, aşağıda sıralanan özellikleri katar.

Dayanımı ve akma sınırını yükseltir. % uzama ve kesit daralmasını düşürür. Bir sınıra kadar esnekliği korur. Tav dayanımını yükseltir. Gevrekliği ortadan kaldırır. Çeliği özlü yapar. Molibden, çeliklerde tek başına katkı elemanı olarak kullanılmaz. Çoğunlukla nikel ve krom ile birlikte çeliğe ilave edilir.

### **2.6.12. Vanadyum**

Molibden ve volframın yeterli ve istenilen özelliği vermediği durumlarda kullanılan vanadyumun, volframda olduğu gibi üstün karbür yapıcı özelliği vardır. Vanadyumun karbür yapma özelliği, çeliği sert bir yapıya kavuştururken ana kütleinin karbonsuz kalmasına neden olur. Dolayısıyla çelik sertleşmez. Bunun önüne geçilmesi için volframda olduğu gibi karbon ilavesi yapılmasıyla sağlanır. Karbür, çeliğin sert olmasına olanak tanır.

Vanadyum sertlik ve dayanımı artırırken çeliğin özlü olmasına da sebep olur. Çeliğe kazandırdığı özlü yapı, vanadyum katkılı çeliklerin vuruntulu ve darbeli yerlerde kullanılmasına olanak tanır. Vanadyum katkı elemanı olarak tek başına kullanılmaz. Genellikle krom ile birlikte çeliğe ilave edilir.

### **2.6.13. Kobalt**

Sürekli mıknaş yapımında kullanılan çeliklere ilave edilen kobalt, aşağıda sıralanan özelliklerin çeliğe kazandırılmasında kullanılmaktadır.

Kobalt çeliğin manyetik özelliklerini iyileştirir. Yapısını inceltir. Çeliği, ısı işlemlere elverişli hâle getirir.

### **2.6.14. Alüminyum**

Çelik iç yapısında oksijenin olumsuzluklarından bahsederken alüminyum ilavesi üzerinde durmuştuk. Gerçekte de oksijenin bazı durumlarda uzun süreçler sonunda ortaya çıkardığı kırılma sorunu, çelik iç yapısına alüminyum ilavesiyle çözülür. Bunun için alüminyum ilavesi, çelik sıvı hâldeyken yapılır. Diğer yandan silisyuma benzer özellikler göstererek çelik üretimi sırasında, cüruf oluşmasına olanak sağlar. Meydana gelen cüruf, çelik iç yapısında bulunan yabancı maddelerin uzaklaşmasını sağlar. Isıl işlemlerden biri olan nitrürasyon ile sertleştirilecek çelikler, alüminyum katkılıdır. Alüminyum, çeliğin yüksek sıcaklıklarda korozyona uğramasını engeller.

## 2.7. Madensel Maddelerde Biçimlendirme

Madensel malzemelerin biçimlendirilmelerinde uygulanan yöntemlerin başlıcaları; döküm, talaş kaldırma, toz metalürjisi, elastik biçimlendirme, plastik biçimlendirme vb.dir.

### 2.7.1. Biçimlendirmenin Önemi

Malzemeleri şekillendirmek için üzerine uyguladığımız kuvvet, malzemede elastik (geçici) veya plastik (kalıcı) şekil değişikliğine neden olur. Biçimlendirme işleminin yapılışını etkileyen önemli faktörlerden biri de malzemenin sıcaklık durumudur. Sıcak ve soğuk olarak ifade edilen iki ayrı sıcaklıktaki biçimlendirme sonunda malzemeler farklı özellikler kazanmaktadır.

#### 2.7.1.1. Elastik Biçimlendirme

Elastiklik sınırı altındaki zorlamalar, malzemelerde biçim değişikliği yanında iç gerilmeler de meydana getirmektedir. Ancak malzemede doğan gerilim ve biçim değişikliği, zorlayıcı kuvvet ortadan kalktığı zaman kaybolur. Elastik biçim değişikliğinin malzemelerde elastiklik sınırı altında meydana gelmesi ve zorlayıcı kuvvete bağlı olarak görülmesi geçici biçim değişikliğidir.

#### 2.7.1.2. Soğuk ve Sıcak Biçimlendirme

##### ➤ Soğuk biçimlendirme

Soğuk biçimlendirmede iç gerginlikler oluşur. Kristaller bozularak daha düzensiz ve ince taneler meydana gelir.

Soğuk deformasyona uğramış bir parçanın dış yüzeyi düzgün ve sürtünmeden dolayı da parlak olur. Fakat bu yüzey, soğuk işlem esnasında serbest olarak meydana gelirse her kristalin ayrı şekilde deformasyona uğraması yüzünden kaba, düzgün olmayan bir şekilde olur.



Resim 2.5: Soğuk biçimlendirme

##### ➤ Sıcak biçimlendirme

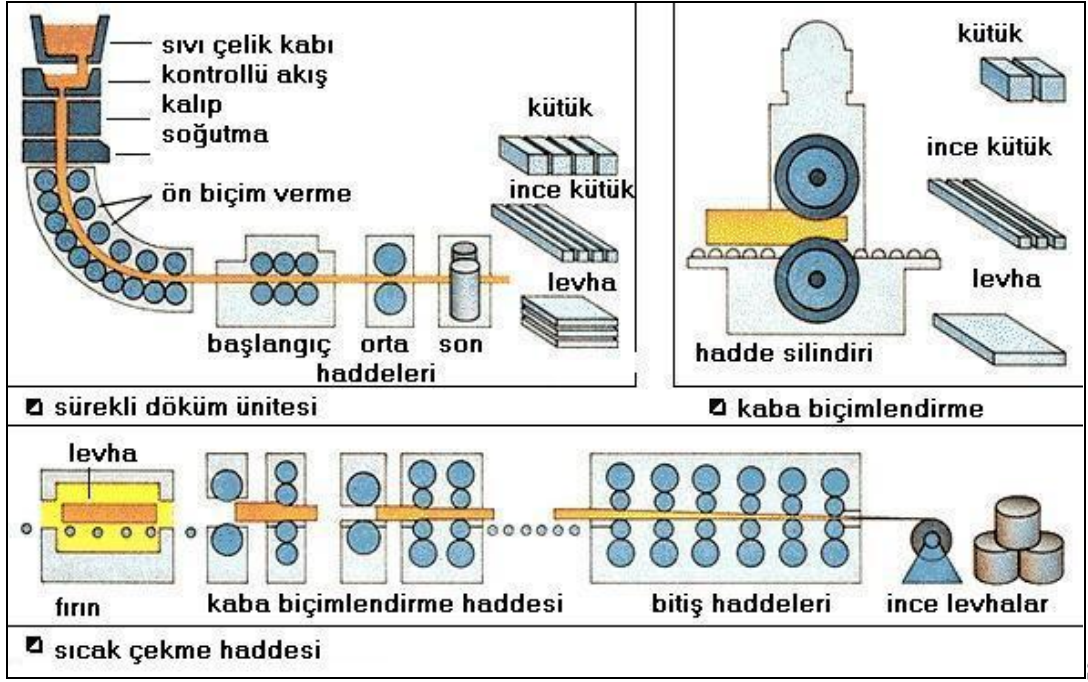
Sıcak biçimlendirmede ise malzemede yine aynı değişimler gerçekleşir. Ancak sıcaklığın yüksekliğinden dolayı atomların yüksek hareket yetenekleri ve enerjileri sonucu derhâl eski konumlarına dönerler. Böylelikle kalıcı tane bozukluğu oluşmaz.



Resim 2.6: Sıcak biçimlendirme

## 2.7.2. Çeliklerin Haddelenmesi

**Haddeleme:** Hadde silindirleri arasından sıcak veya soğuk olarak geçirmek suretiyle malzemeleri istenilen ölçü ve biçime getirme işlemidir.



ekil 2.6: Haddelemenin Yapılışı

Haddeleme sıcak ve soğuk olmak üzere iki şekilde yapılabilen bir plastik biçimlendirme yöntemidir. Sıcak haddelemede çelikler için uygun tavlama sıcaklığı 1100-1200 °C arasındadır.

Günlük yaşamımızda sayısız kullanma alanlarında karşılaştığımız çelik, kullanılabilir duruma birçok aşamalardan geçirilerek getirilir. Çelik fırınlarından alınan çelik önce ingot kalıplarına dökülerek **ingot** adı verilen 52,5 x 52,5 cm kesitinde hafif konik ve 1500 kg ağırlığında bloklar hâline getirilir. Bu çelik bloklar (ingotlar) kalıplardan sıyrılarak soğutulur. Devamında **pit** fırınları denilen çukur fırınlarda tavlansak haddelemek (biçimlendirilmek) üzere haddelere gönderilir. Burada istenilen profillerde biçimlendirilir.

## 2.7.3. Döküm Yöntemiyle Biçimlendirme

Döküm genellikle karmaşık geometrili iş parçalarının üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca sıradan iş parçalarının ekonomik olarak üretilmesi için de bu yöntemden faydalanılmaktadır.



**Resim 2.7: Döküm yöntemiyle biçimlendirme**

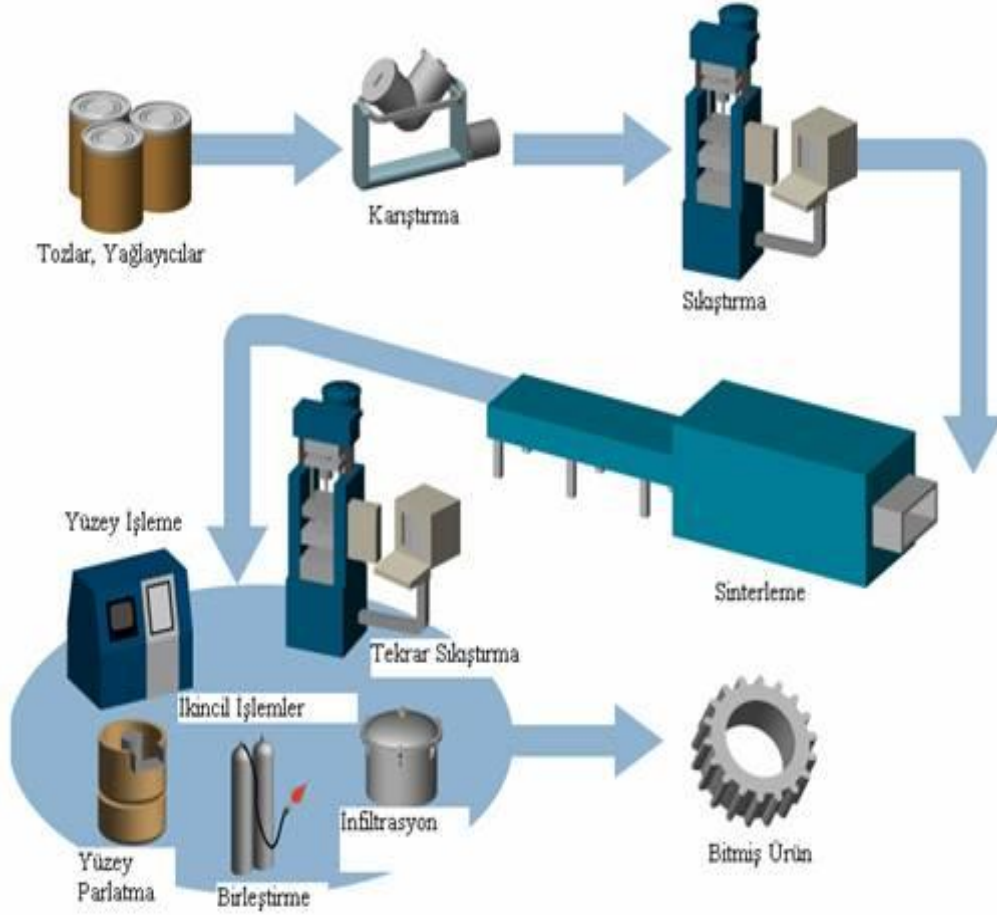
Döküm yöntemi, metal veya alaşımların ergiyik hâle getirilerek bir kalıbın içerisine dökülmesi ve daha sonra soğutulması suretiyle malzemenin içerisinde bulunduğu kabın şeklini alması olayıdır.

## **2.8. Toz Metalürjisi**

Toz metalürjisi çok küçük parçacıkları birbirine bağlayarak parça hâline getirme işlemidir.

### **2.8.1. Metal Tozlarının Üretimi ve Toz Metalürjisinin Uygulanması**

Toz metalürjisi üretim yöntemi, metal tozlarının üretimi ve üretilen bu tozların istenilen parçaların şekline dönüştürülmesi işlemidir. Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma vb.) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur. Bu yöntemle ait imalat basamakları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Toz metalürjisi yöntemi ile parça üretim aşamaları

### 2.8.2. Toz Metalürjisinin Fayda ve Zararları

Toz metalürjisi yönteminin genel olarak faydaları aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir:

- Yüksek malzeme kullanım oranı, düşük malzeme kaybı
- Yüksek üretim hızları
- Düşük maliyet
- Düzgün yüzey, yakın tolerans değerlerinin elde edilmesi
- Karmaşık şekilli parçaların imalatı
- Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin imalatı
- Yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi
- Metal matriks kompozit ve metal alaşımları üretimi
- Üstün mikro yapısal özelliklere sahip parça üretimi
- Belirli derecede gözeneklilik ve geçirgenlik

Toz metalürjisi yönteminin genel olarak zararları aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir:

- Metal tozlarının aşındırıcı etkiye sahip olması
- Metal tozlarının üretiminin zorluğu
- Üretilen malzemelerin darbe dayanımının düşüklüğü

### **2.8.3. Toz Metalürjisinin Kullanım Alanları**

Toz Metalürjisinin uygulama alanları oldukça geniştir. Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, zırh delici mermiler, elektrik kontakları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıtları elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarj edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi toz metalürjisi kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir.


## UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki işlem basamaklarını uygulayarak çeliklere su verme işlemini yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Parça yüzeyindeki oksit tabakasını temizleyiniz.</li><li>➤ Isıl işlem fırınına 600°C'ye ayarlayınız ve bu sıcaklığa çıkmasını beklemeden çelik malzemenizi fırın içerisine koyunuz.</li><li>➤ Parçayı 780°C kadar hızlı ısıtınız.</li><li>➤ Perlit veya sementit içindeki karbonların serbest kalıp genişmeden dolayı YMK "yapı yüzey merkezli kübik" kristal kafes içerisinde katı eriyik oluşturabilmeleri için bekleyiniz.</li><li>➤ Bu sıcaklıktan itibaren ani soğutma işlemi ile karbonların buldukları YMK kristal kafesleri içinden dışarı çıkmalarını engelleyerek hızlı bir şekilde soğutunuz.</li><li>➤ Bu sayede martenzit yapı oluşturarak çarpılmış, şekil değiştirmiş ve gerginlik kazanmış kristaller oluşturunuz.</li><li>➤ Malzemenin sertliğini kontrol ediniz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Emniyet tedbirlerini uygulayınız.</li><li>➤ Fırın ısınma sıcaklığı beklenirken malzememiz de bir ön tavlama maruz kalacak böylece malzeme birdenbire ısınmayarak gerilmelerin oluşması engellenecektir.</li><li>➤ Yanmalara karşı tedbirli olunuz.</li><li>➤ İş önlüğü, gözlük ve eldiven kullanınız.</li><li>➤ Mesleğiyle ilgili etik ilkelere uygun davranınız.</li><li>➤ Bu sıcaklıktan sonra fırın sıcaklığını 780°C'ye hızlı bir şekilde çıkacak şekilde ayarlayınız.</li><li>➤ Parça sıcak olacağından temizlemeyi mekanik temizleme araçlarından tel fırça vb. takımlarla yapınız.</li><li>➤ Kullandığınız makineyi temiz tutunuz.</li><li>➤ Zamanı iyi kullanınız.</li></ul>

## UYGULAMA FAALİYETİ


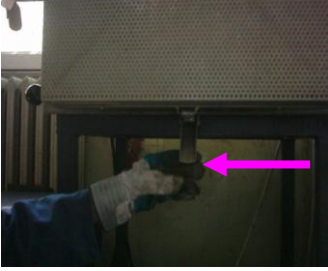

Alevle yüzey sertleştirme işlemini aşağıdaki işlem basamaklarına göre yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>➤ Üfleci yakarak parça kalınlığına göre nötr alev ayarı yapınız.</p> 	<p>➤ Öncelikle, çalışmaya başlamadan önce iş önlüğü giyiniz, eldiven ve gözlük takınız.</p> <p>➤ Üfleci yakarak parça kalınlığına göre nötr alev ayarı yapınız</p> <p>➤ Yaklaşık 3000°C ısı verebilen oksijen-gaz alevini malzeme yüzeyine doğru bir şekilde uygulayınız</p>
<p>➤ Malzeme yüzeyini yaklaşık olarak 723-877°C arasında tavlayınız</p> 	<p>➤ Malzeme yüzeyini yaklaşık olarak 723-877°C arasında tavlayınız.</p> <p><b>NOT:</b> Malzemenin yaklaşık olarak ısınma dereceleri renginden anlaşılır. Bu özelliği Malzeme MUAYENESİ modülünden öğrenebilirsiniz.</p>
<p>➤ Malzeme yüzeyi sertleşme sıcaklığına geldiğinde yüzeye hemen soğutma sıvısı püskürtünüz.</p> 	<p>➤ Malzeme yüzeyi sertleşme sıcaklığına geldiğinde yüzeye hemen soğutma sıvısı püskürtünüz.</p> <p><b>NOT:</b> Su püskürtmeli düzeneklerin bulunmadığı durumlarda sertleştirme işlemi, tavlanan parçayı su ortamına yavaş yavaş daldırma yöntemi uygulanabilir (Resim 2.10).</p> <p>➤ Yüzey sertliğini kontrol ediniz .</p> <p>➤ Çalışmalarınızda emniyet tedbirlerini uygulayınız.</p> <p>➤ Meslek ahlakına uygun davranınız.</p> <p>➤ Çalışma anında dikkatli olunuz.</p> <p>➤ Yanmalara karşı tedbirlerinizi alınız.</p> <p><b>UYARI:</b> Parçaya sertleştirme işlemi uygulandıktan sonra iç gerginliklerin giderilmesi için parçayı 150°C-200°C arasında ısıtıp havada soğutmayı unutmayınız</p>



## UYGULAMA FAALİYETİ

Isıl işlem uygulanmış bir parçaya normalleştirme tavını uygulayınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Tavlanacak parçayı elektrik fırınının kapasitesine göre hazırlayınız.</li><li>➤ Parçayı tav fırınına sürünüz.  </li><li>➤ Tav fırınına çalıştırınız. </li><li>➤ Prometreyi istenilen tav derecesine getiriniz.</li><li>➤ Tav sıcaklığını ortalama 900°C dereceye ayarlayınız.</li><li>➤ Bu konuda gerekirse öğretmeninizden yardım alabilirsiniz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Malzemenin üzerinde yanıcı madde (tiner, yağ vb) çapak varsa temizleyiniz.</li><li>➤ Eldiven, gözlük ve önlük kullanınız</li><li>➤ Parçayı fırın içi tesisata (direnç telleri, ateş tuğlaları) zarar vermeyecek şekilde dikkatli yerleştiriniz.</li><li>➤ Parçayı, fırın tabanını ortalayacak şekilde yerleştiriniz.</li><li>➤ Parçayı, fırın içerisinde düşmeyecek şekilde yerleştiriniz.</li><li>➤ Fırının kapağını kapatınız.</li><li>➤ Kapağı tekrar kontrol ederek kapandığından emin olunuz.</li><li>➤ Fırının yakınlığında yanıcı, patlayıcı maddeler varsa uzaklaştırınız.</li><li>➤ Tav fırınına çalıştırınız.</li><li>➤ Gerekli sıcaklık değerini giriniz.</li><li>➤ Girdiğiniz değeri dijital ekrandan kontrol ediniz.</li><li>➤ Yanlış girdiyse göstergeyi sıfırlayarak yeniden deneyiniz.</li><li>➤ Yaptığınız ayarı tekrar kontrol ediniz.</li></ul>



- Tav zaman ayarını yapınız.
- Tav zaman ayarı parçanın büyüklüğüne ve tavlamanın türüne göre değişir.
- Bu konuda öğretmeninizden yardım alabilirsiniz.



- Parçanın istenilen sıcaklığa gelmesini takip ediniz.
- Tavlanan parçayı fırından alıp işleyiniz.



- Fırının soğumasını sağlayınız.

- Tav sıcaklığında olduğu gibi numaratörden yararlanarak tav zaman ayarını yapınız.
- Tav zaman ayarını giriniz.
- Yanlış girdiyseviz göstergeyi sıfırlayarak yeniden deneyiniz.
- Yaptığınız ayarı tekrar kontrol ediniz.
- Fırının ulaştığı sıcaklığı kontrol ediniz.
- Enerjiyi keserek fırını kapatınız.
- Fırının kapağını açarken yanmalara karşı dikkatli olunuz (Fırına yeterli uzak mesafede durunuz.).
- Parçanın portakal-beyaz renkler arasında olup olmadığını kontrol ediniz.
- Yeterli sıcaklığa ulaşılmadığı durumda tav zaman ayarını yeniden yaparak işlem basamaklarını tekrarlayınız.
- Tavlanan parçayı uygun kasaç yardımı ile fırından çıkarınız.
- Parçayı çıkarırken fırına zarar vermeyiniz.
- Sıcak parçayı, kendinizden ve etrafınızdakilerden uygun mesafede tutunuz.
- Parçayı, soğumasına izin vermeden işleyiniz.
- Parça zaman kaybından dolayı soğumuş ise yeniden tavlayınız.
- Fırının kapağını açarak soğumasını sağlayınız.
- Çevrenizdekileri yanmalara karşı uyarınız.

## UYGULAMA FAALİYETİ

**Isıl işlem uygulanmış bir parçaya gerginlik giderme tavını uygulayınız.**

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Malzeme 550-650°C' ye kadar yavaş yavaş ısıtınız.</li><li>➤ Malzemenin her bölgesinin homojen olarak tavlmasını sağlayınız.</li><li>➤ Bu sıcaklıkta malzemeyi kalınlığına göre bekletiniz (25 mm kalınlık için 1 saat bekletilmelidir.).</li><li>➤ Parçada tekrar gerilmeler olmasını engellemek için çok yavaş soğumasını sağlayınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Emniyet tedbirlerini uygulayınız.</li><li>➤ Yanmalara karşı tedbirli olunuz.</li><li>➤ İş önlüğü, gözlük ve eldiven kullanınız.</li><li>➤ Fırın içerisinde ısıtmanın her zaman homojen bir ısı dağılımı verdiğini unutmayınız.</li><li>➤ Yavaş soğumayı sağlamak için fırını kapatınız ve çelik malzemeyi fırın içerisinde kendi hâlinde soğumaya bırakınız.</li></ul>

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıda verilenlerden hangisi demir filizi içermez?  
A) Mağnetit  
B) Hematit  
C) Bakır  
D) Pirit
2. Makine yapımında kullanacağımız çeliklerin standartlarını bilmemiz gerekmektedir. Aşağıda verilen çelik standartlarından hangisi doğru değildir?  
A) TSE Standartları  
B) DIN Alman Normları  
C) ISO Standartları  
D) MTA Standartları
3. Bir metalin yapısına başka maddeler katılarak yapılan özellik değişimi olarak tanımlanan . . . . ., bir karışımdır. Yukarıda boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi gelmelidir?  
A) Alaşım  
B) Birleşim  
C) Karışım  
D) Ergime
4. Çeliklerin kolay işlenebilmeleri için hangi tavlama yöntemi kullanılmalıdır?  
A) Yumuşatma tavlama  
B) Sertleştirme tavlama  
C) Gerginlik giderme tavlama  
D) Menevişleme tavlama
5. Katık elemanları çeliklere çeşitli özellikler sağlamaktadır. Aşağıda verilenlerden hangisi bu katık elemanlarından değildir?  
A) Karbon  
B) Silisyum  
C) Manganez  
D) Plastik

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

Bu modül kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için Evet, kazanamadığınız beceriler için Hayır kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
<b>İmal Edilecek Parça İçin Malzeme Seçimi Ölçütleri</b>		
İmal edeceğiniz parçanın kullanım amacını değerlendirdiniz mi?		
Seçim yapacağınız normu belirlediniz mi?		
Kullanım amacına göre malzeme (çelik, alüminyum, bronz, polyamid) hakkında karar verdiniz mi?		
Katalogdan seçeceğiniz malzemenin teknik özelliklerini araştırdınız mı?		
Seçmek istediğiniz standart malzemelerin teknik özelliklerini araştırdınız mı?		
<b>İş Parçasına Su Vermek</b>		
Malzemeyi homojen olarak önce yaklaşık 600°C kadar yavaş, sonra yaklaşık 780°C kadar hızlı ısıttınız mı?		
Perlit veya sementit içindeki karbonların serbest kalıp genişmeden dolayı YMK kristal kafes içerisinde katı eriyik oluşturabilmeleri için beklediniz mi?		
Parça yüzeyindeki oksit tabakasını temizlediniz mi?		
Bu sıcaklıktan itibaren ani soğutma işlemi ile karbonların buldukları YMK kristal kafesleri içinden dışarı çıkmalarını engellediniz mi?		
Bu sayede martenzit yapı oluşturarak çarpılmış, şekil değiştirmiş ve gerginlik kazanmış kristaller oluşturduunuz mu?		
Malzemenin sertliğini kontrol ettiniz mi?		
<b>Gerginlik Giderme Tavı Yapmak</b>		
Malzemeyi 550-650°C'ye kadar yavaş yavaş ısıttınız mı?		
Malzemenin her bölgesinin homojen olarak tavlmasını sağladınız mı?		
Bu sıcaklıkta malzemeyi kalınlığına göre beklettiniz mi?		
Parçada tekrar gerilmeler olmasını engellemek için çok yavaş soğumasını sağladınız mı?		

---

## **DEĞERLENDİRME**

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetlerini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	C
3	B
4	D
5	B
6	B
7	D

## ÖĞRENME FAALİYETİ 2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	C
2	D
3	A
4	A
5	D

# KAYNAKÇA

- BAYDUR Galip, **Malzeme**, MEB Basımevi, İstanbul, 1987.
- GÜNGÖR Yasin, **Malzeme Bilgisi** , İstanbul, 2003.