

**Bu kitaba sığmayan
daha neler var!**



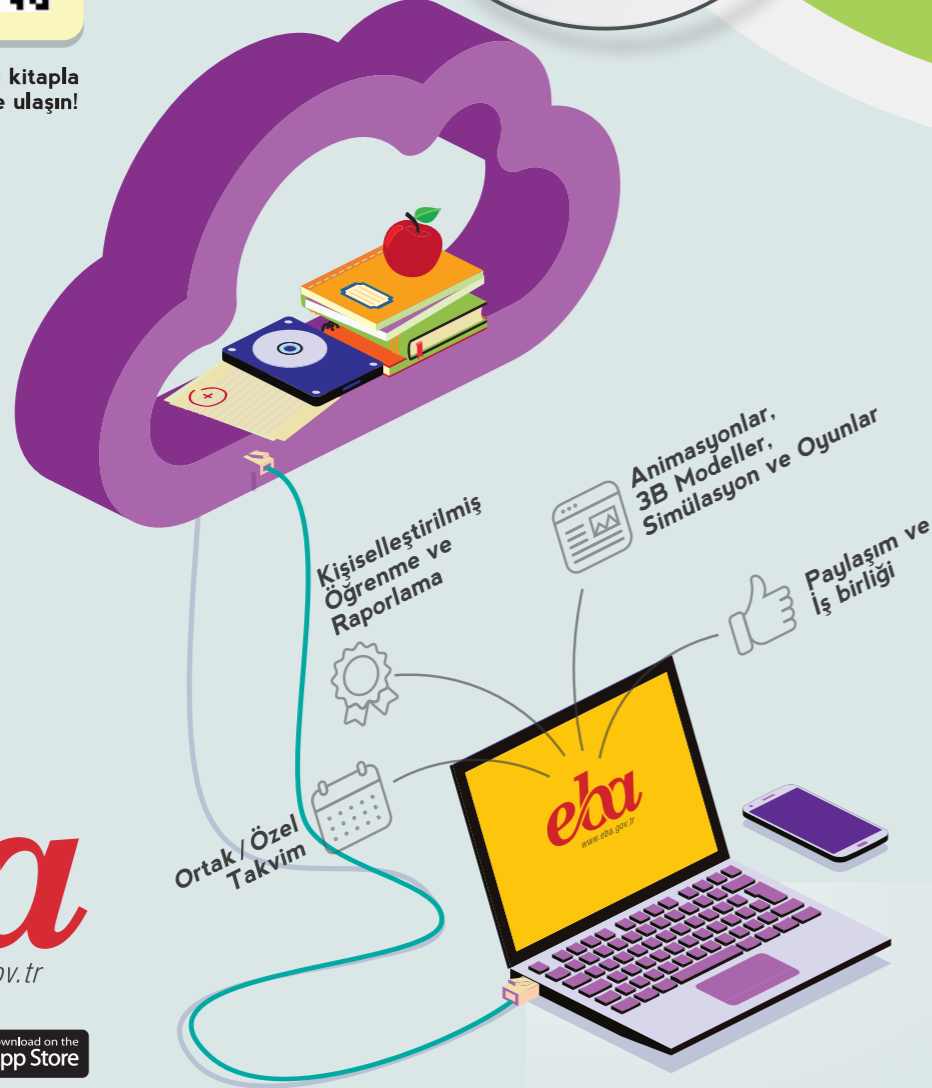
Karekodu okutun, bu kitapla ilgili EBA içeriklerine ulaşın!

ÖDS

**ÖĞRENCİ/ÖĞRETMEN
DESTEK SİSTEMİ**

<https://ods.eba.gov.tr>

- Konu Anlatımlı Ders Videoları
- Soru Çözüm Videoları
- Ders Anlatım Videoları
- Çoktan Seçmeli Sorular



eba
www.eba.gov.tr



40181 700982

**BU DERS KİTABI MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINCA
ÜCRETSİZ OLARAK VERİLMİŞTİR.
PARA İLE SATILMAZ.**

ISBN 978-975-11-6929-7

Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik'in 5'inci Maddesinin İkinci Fıkrası Çerçevesinde Bandrol Taşınması Zorunlu Değildir.

TESİSAT TEKNOLOJİSİ VE İKLİMLENDİRME ALANI

MALZEME BİLGİSİ

11-12 Ders Materyali

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

TESİSAT TEKNOLOJİSİ VE İKLİMLENDİRME ALANI

MALZEME BİLGİSİ



11-12

Ders Materyali



MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ
TESİSAT TEKNOLOJİSİ VE İKLİMLENDİRME ALANI

MALZEME BİLGİSİ

11-12

DERS MATERYALİ

YAZARLAR

Akın ARSLAN
Mustafa BAHAR
Mustafa ZOR



MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI..... : 8614
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLAR DİZİSİ : 2506

Her hakkı saklıdır ve Millî Eğitim Bakanlığına aittir. Ders materyalinin metin, soru ve şekilleri kısmen de olsa hiçbir surette alınıp yayımlanamaz.

HAZIRLAYANLAR

Dil Uzmanı: Mehmet SARIKAYA

Görsel Tasarım Uzmanı: Gizem Ada AKIN

ISBN 978-975-11-6929-7

Millî Eğitim Bakanlığının 24.12.2020 gün ve 18433886 sayılı oluru ile Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğünce ders materyali olarak hazırlanmıştır.



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İllâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerâhamdan İllâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'sım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

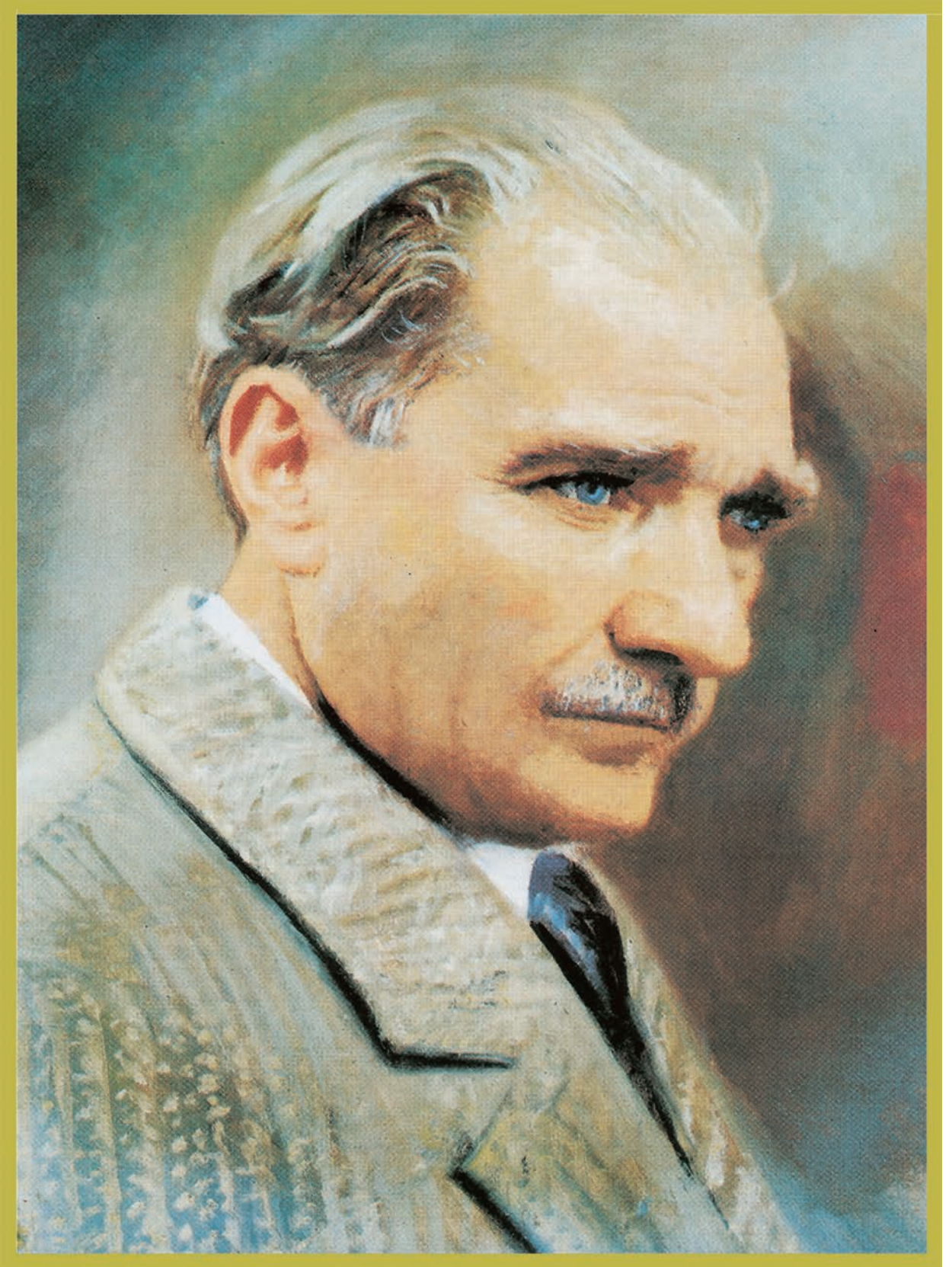
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsaît bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

DERS MATERYALİNİN TANITIMI.....	14
---------------------------------	----

1. MALZEME BİLİMİ 16

1.1. MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....	18
1.1.1. Malzemenin Tanımı.....	19
1.1.2. Malzemenin Sınıflandırılması	19
1.2. TASARIMDA MALZEME SEÇİMİ	20
1.3. ALAŞIMLAR.....	21
1.3.1. Tek Fazlı Alaşımlar	21
1.3.2. Çift Fazlı Alaşımlar.....	22
1.3.3. Atomik Difüzyon	22
1.4. ALLOTROPİ-FAZ DÖNÜŞÜMLERİ	23
1.4.1. Demirin Allotropisi.....	24
1.4.2. Demir-Karbon İkilişi.....	24
1.4.3. Demir-Karbon Denge Diyagramı	24
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	26

2. DEMİR ÜRETİMİ 28

2.1. HAM DEMİR ÜRETİMİ	30
2.1.1. Ham Demir Filizleri	30
2.1.2. Yüksek Fırınlarda Ham Demir Üretimi.....	30
2.2. DÖKME DEMİRLER.....	31
2.2.1. Dökme Demir Çeşitleri	32
2.2.2. Dökme Demirlerde Katılma Şekilleri ve İçyapıları	32
2.2.3. Döküm Malzemelerde Aranılan Özellikler.....	33
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	35

3. ÇELİK ÜRETİMİ

36

3.1. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ	38
3.1.1. Bessemer-Thomas Yöntemi	38
3.1.2. Siemens-Martin Yöntemi.....	39
3.1.3. Oksijen Üfleme Yöntemi	39
3.1.4. Elektrik Ark Yöntemi	40
3.2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI	41
3.2.1. Çeliklerin Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırılması.....	41
3.2.2. Çeliklerin Kullanım Alanlarına Göre Sınıflandırılması	41
3.2.3. Çeliklerin Kimyasal Bileşenlerine Göre Sınıflandırılması.....	42
3.2.4. Çeliklerin Kalitelerine Göre Sınıflandırılması.....	42
3.2.5. Çeliklerin Sertleştirilme Ortamlarına Göre Sınıflandırılması	43
3.3. ÇELİKTE KATKI ELEMANLARININ ETKİSİ VE ÇELİK STANDARTLARI	43
3.3.1. Çeliklere Özellik Katan Elementler	44
3.3.2. Çeliklerin Semboller İle Ayrılması	44
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	47

4. ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ

48

4.1. ISIL İŞLEMİN AMAÇLARI	50
4.1.1. Isıl İşlem.....	50
4.1.2. Demir-Sementit Diyagramları	50
4.2. TAVLAMA ÇEŞİTLERİ	52
4.2.1. Tavlama İşleminin Amacı	52
4.2.2. Çeliklerde Tavlama İşlemi	52
4.3. SERTLEŞTİRME	53
4.3.1. Çeliklerde Sertleştirme İşlemi	53
4.3.2. Su Verme İşlemi.....	54
4.4. YÜZEY SERTLEŞTİRME	55
4.4.1. Kimyasal Bileşimi Değiştirilerek Yapılan Yüzey Sertleştirme.....	55
4.4.2. Kimyasal Bileşimi Değiştirilmeden Yapılan Yüzey Sertleştirme	56
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	58

5. KOROZYON

60

5.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ	62
5.1.1. Kimyasal ve Elektrokimyasal Korozyon	64
5.2. KOROZYONDAN KORUNMA	65
5.2.1. Alaşım Yaparak Korozyondan Koruma Yöntemi	65
5.2.2. Korozyona Neden Olan Cisimleri Uzaklaştırarak Korozyondan Koruma	65
5.2.3. Katodik Koruma	66
5.2.4. Kaplama İle Koruma	66
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	67

6. DEMİR DIŞI MALZEMELER

68

6.1. DEMİR OLMAYAN METALLER	70
6.1.1. Demir Olmayan Metallerin Özellikleri	70
6.2. PLASTİKLER	72
6.2.1. Plastik Malzemelerin Özellikleri	72
6.2.2. Plastik Malzemelerin Üretim Yöntemleri	73
6.2.3. Plastik Malzemeler	74
6.3. KOMPOZİTLER	74
6.3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları	75
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	76

7. MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ

78

7.1. ATÖLYE DENEYLERİ	80
7.1.1. Görünüş İle Malzeme Muayenesi	80
7.1.2. Ses Deneyi İle Malzeme Muayenesi	80
7.1.3. Kıvılcım Deneyi İle Malzeme Cinsini Belirleme	81
7.2. TEKNOLOJİK DENEYLER	81
7.2.1. Eğme, Katlama ve Kıрма Deneyi	81
7.2.2. Kaynak Dikişlerini Kontrol Deneyi	83
7.2.3. Borulara Uygulanan Deneyler	83
7.2.4. Burma Deneyi	83
7.3. MEKANİK DENEYLER	84
7.3.1. Çekme Deneyi	84
7.3.2. Basma Deneyi	85
7.3.3. Kesme Deneyi	85
7.3.4. Yorulma Deneyi	86
7.3.5. Aşınma Deneyi	86
7.3.6. Kıрма Deneyi	87
7.3.7. Kayma Deneyi	87
7.4. TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ	88
7.4.1. Penetrant Yöntemi	88
7.4.2. Basınç Kontrollü Muayene Yöntemi	89
7.4.3. Röntgen Cihazıyla Muayene Yöntemi	89
7.4.4. Manyetik Muayene Yöntemi	90
7.4.5. Ultrasonik Muayene Yöntemi	90
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	92

8. TOZ METALÜRJİSİ 94

8.1. TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ	96
8.1.1. Mekanik Yöntemler	97
8.1.2. Kimyasal Yöntemler.....	97
8.2. TOZ ŞEKİLLENDİRME.....	98
8.2.1. Özellik Esaslı Şekillendirme	99
8.2.2. Bağlayıcılar ve Şekillendirme Şartları.....	100
8.2.3. Enjeksiyon Kalıplama	100
8.3. SİNERLEME	101
8.3.1. Sinterleme Esasları	101
8.3.2. Sinterlemenin Aşamaları.....	101
8.4. SERBEST ŞEKİLLİ ÜRETİM	102
8.4.1. Takımsız Üretim	102
8.4.2. Ham Talaş Kaldırma Yöntemi	103
8.4.3. Katman Teknolojileri Yöntemi.....	103
8.4.4. Yüksek Güç Lazer Yöntemi	104
8.4.5. Püskürtmeli Şekillendirme Yöntemi	104
8.5. BİTİRME İŞLEMLERİ.....	105
8.5.1. Yeniden Presleme ve Damgalama.....	105
8.5.2. Talaşlı İmalat ve Taşlama	105
8.5.3. Isıl İşlemler.....	106
8.5.4. Birleştirme ve Montaj	106
8.5.5. Kaplamalar ve Yüzey İşlemleri	106
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	108
KAYNAKÇA	110
CEVAP ANAHTARI	111

DERS MATERYALİNİN TANITIMI

Etkileşimli materyal, video, ses, animasyon, uygulama, oyun, soru vb. ilave kaynaklara ulaşabileceğiniz karekodu gösterir.

Öğrenme biriminin numarasını gösterir.

Öğrenme biriminin adını gösterir.

2. ÖĞRENME BİRİMİ

DEMİR ÜRETİMİ



KONULAR
2.1. HAM DEMİR ÜRETİMİ
2.2. DÖKME DEMİRLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ♦ Ham demir üretimi, demir filizleri, yüksek fırınlar ve çeşitleri, yüksek fırınlarda ham demir üretilmesi
- ♦ Dökme demir çeşitleri, döküm malzemeler, döküm malzemelerin içyapıları

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. Dünyada en çok bulunan metallerin hangileri olduğunu düşünüyorsunuz?
2. Metaller biterse ne olacağı ile ilgili görüşlerinizi ve çözüm önerilerinizi paylaşınız.

TEMEL KAVRAMLAR
cüruf, grafit, korozyon, oksidasyon, ötektik, pik demir, temper, yüksek fırın

Öğrenme biriminin kavramlarını gösterir.

Öğrenme biriminin hazırlık çalışmasını gösterir.

Öğrenme biriminin konularını ve neler öğrenileceğini gösterir.

Öğrenme biriminin numarasını gösterir.

Öğrenme biriminde yer alan konu başlıklarını gösterir.



3. Öğrenme Birimi

3.1. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Karbon oranı çeliğin sınıflandırılması için önemli bir göstergedir. Çelik, yüksek fırından çıkan demirin içindeki karbon oranının %0,2 ile %2 arasında getirilmesiyle üretilir. Karılganlığı azaltılan çelik; sağlam, demirden daha sert ve hafiftir. Dövmeye, presleme ve haddelemeyle istenilen şekle sokulabilir. Çeşitli işlemlerle sertliği ve dayanıklılığı artırılabilir.

Çelik üretiminde basit olarak yapılan işlem, demirin içerisindeki çeşitli maddelerin demirden uzaklaştırılmasıdır. Ancak bazı durumlarda çeliktin beklenen özelliklere göre çeliğin içine farklı elementler koyulur. Örneğin paslanmaz çelik elde etmek için çeliğin içine krom ve nikel koyulur.

Çeliğin yolculuğu Demir Çağı'nda demirle başlamıştır. Çeliğin ilk kullanım formu olan semente çeliği, sert ve karılgan bir yapıdadır. XVII. yüzyılda Almanya ve İngiltere'de üretilmeye başlanmıştır. XIX. yüzyılda demir yolu ağlarının yapılmaya başlanmasıyla çelik üretimi de hızlanmış ve buna bağlı olarak önemli yenilikler ortaya çıkmıştır. Henry Bessemer (Henri Bessemer), karbon içeriğini azaltmak için eritmiş demiri oksitleyerek karbonu demirden uzaklaştırmıştır. Bu gelişimle çelik üretiminde farklı ocak kullanımları ve üretim yöntemleri ortaya çıkmıştır. Çelik üretim yöntemleri şunlardır:

- Bessemer-Thomas yöntemi
- Siemens-Martin yöntemi
- Oksijen üfleme yöntemi
- Elektrik ark yöntemi (elektro çelik)

Çelik üretiminde farklı yöntemlerin ortaya çıkmasını nedeni, kullanım yerine göre çeliğin istenen özellikleri vermekdir. Örneğin Bessemer-Thomas yönteminde başlangıçta fosfor çeliktin atılmadığı için ürünlerde karılganlık ortaya çıkmıştır. Bu nedenle sadece fosforuz çevre kullanılmıştır. Daha sonra Sindey Gilchrist Thomas (Sindey Gilchrist Thomas), bu işleme kireç taşı ekleyerek fosforu cürufa çekmiş ve sorunu çözmüştür. Dünya savaşları nedeniyle çelik üretimini hızlandırmak için yeni üretim yöntemleri geliştirilmiştir.

3.1.1. Bessemer-Thomas Yöntemi

1856 yılında İngiliz Henry Bessemer tarafından bulunan ve 1876 yılında Sindey Thomas Gilchrist tarafından geliştirilen çelik üretim yöntemidir. Bu yöntemle üretilen çeliğe **Thomas-Bessemer çeliği** denir.

Yüksek fırınların geliştirilmesiyle pik demir daha hızlı üretililebilir duruma gelmiştir. Buna rağmen çelik üretimi sıvı ham demirin %2'sini geçmemiştir. Bessemer konvertörüne (Görsel 3.1) sayesinde çelik üretimi ham demir üretiminin yarısına ulaşmıştır. Bessemer fırını, etrafında kül veya dolamı astar bulunan bir yüksek fırındır. Çeliği sıvı hâle tutamayan eski yöntemlerin eksikliği bu fırınla giderilmiştir. İstenmeyen maddeler Bessemer konvertöründe yakıla-



Görsel 3.1: Bessemer konvertörü

rak yüksek enerji elde edilmiştir. Çelik, bu enerjiyle sıvı hâle tutulmuştur. Çelik üretiminde istenmeyen maddeler, gaz (karbondioksit) veya katı cüruf (silikon manganez) olarak ortadan uzaklaştırılır.

Bessemer yöntemi bulunduğu sistemde sistemin eksik kalan yanları kalitesi ürün çıkarılması- nu engellediği için çelik üretiminde fosforuz çevre kullanılması gerekmiştir. Bessemer yönteminde fosfor ve küllert çeliktin uzaklaştırılmamıştır. Sonraki yıllarda Thomas, asit astar yerine bazik dolamı astar kullanarak fosfor sorunu çözmüş ve ham sıvı demiri büyük oranda yakmayı başarmıştır.

Bessemer konvertörünün iç çapı yaklaşık 3,5 metre, yüksekliği 6-7 metredir. Buna göre kapasitesi 8-30 ton arasında, normal yüklem miktarı ise 15 tondur.

Bessemer yönteminde karbon, silis, mangan gibi istenmeyen maddeler, hava üfleme yapılarak erimiş demirle birlikte yakılır. Havanın içerisinde bulunan oksijen, yakım işlemini gerçekleştirir. İstenmeyen elementlerin cüruf haline getirilmesi amacıyla fırın içine katı kireç taşı eklenir. Oksijen üfleme işlemi bittğinde silüfir ve fosfor yanar. Hava üfleme sayesinde %15 oranında demir oksitlenerek cürufa katılır. Bu sistemde hürdanın ergime sıcaklığı yüksek olduğu için hurda işlenemez.

3.1.2. Siemens-Martin Fırını

Sık kullanılan demir üretim yöntemlerinden biridir. Hurda demir ve çelik ürünler, Siemens-Martin fırınında eritilerek geri dönüştürülür. Yöntemde Siemens-Martin fırını kullanılır. Bu yöntem Alman Carl Wilhelm Siemens (Karl Wilhelm Zimms) ve Fransız Pierre-Emile Martin (Pier Henri Mahts) tarafından bulunmuştur.

Fırın, gömü bir alan kaplar ve 2-3 metre bir derinliğe, 100-300 ton üretim kapasitesine sahiptir. Bessemer-Thomas yönteminden daha büyük bir prosedir. Fırın çelik konstrüksiyonda yapılmış, içi manyezit (sıya dayanıklı element) tuğlayla kaplanmıştır. İşlemler için fırın önceden havayla ısıtılır. Isı tuğlalara geçerek, içerideki gazları ısıtıcı fırın görevini yapmaya başlar. 1.700 °C seviyelerine gelen sıcaklık sonucu oluşan alev, karbon yakımını başlatarak ham maddeyi eritir. Sonuç olarak 5-10 saatte çelik elde edilir. Siemens-Martin yöntemi, fırın içinde kullanılan astara göre **asidik yöntem** veya **bazik yöntem** olarak adlandırılır.

Fosfor, Siemens-Martin yönteminde ürün karılgan hale gelir. Karılganlık problemi Bessemer fırınlarında olduğu gibi asidik yöntemle giderilemediği için fosfor, bazik yöntemle çeliktin uzaklaştırılmadığıdır. Bazik yöntemde fosforla bileşik yapmadan fosforu uzaklaştıracak çelik hurdası veya pik demirler seçilir.

Siemens-Martin yöntemiyle çıkan ürünlerin bazı avantajları vardır. Örneğin fosfor ve azot oranları düşük olduğu için bu ürünlere soğuk şekil verme işlemi uygulanabilir. Ayrıca işlemler yavaş sürdüğü için gerekli müdahaleler yapılabilir.

3.1.3. Oksijen Üfleme Yöntemi

Oksijen üfleme yönteminde erimiş çeliğe doğrudan oksijen verilir. Celenekele yöntemlerinde erimiş çeliğe sıcak hava verilir. Üflenen hava, sistemin içine azot elementinin girmesine neden olur. Havanın içerisinde %21 oksijen, %78 azot ve geriye kalan %1lik



Öğrenme biriminin adını gösterir.

Öğrenme biriminin adını gösterir.



Öğrenme biriminde yer alan konu içeriğini gösterir.

Konuyu destekletici görselleri gösterir.



1. Öğrenme Birimi



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

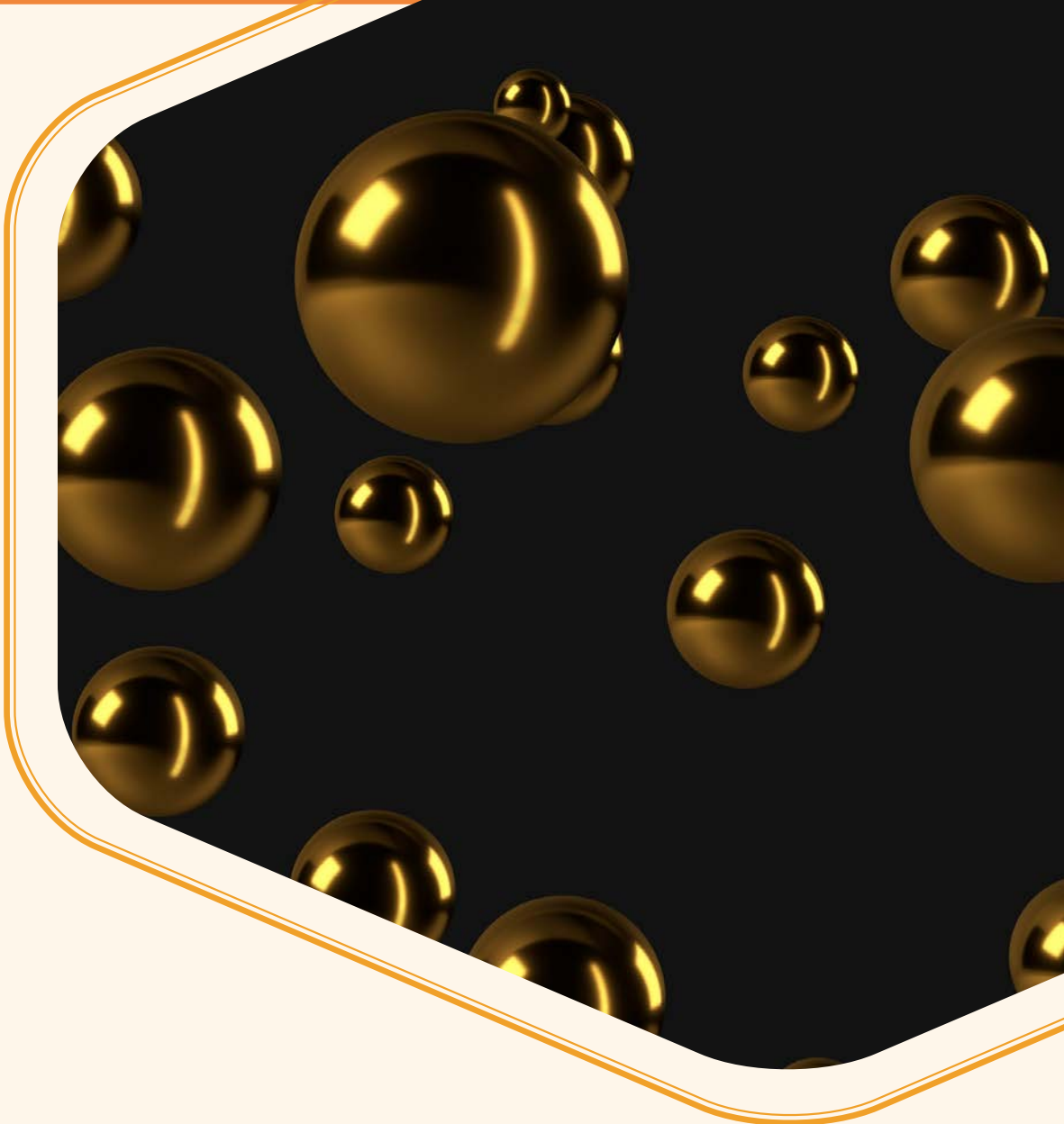
Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. İki metali homojen bir şekilde birbirine karıştırarak yeni bir metal elde etme yöntemi aşağıdakilerden hangisidir?
A) Alaşım
B) Ayrıştırma
C) Başkalaşım
D) Kaynak
E) Seyreltme
2. Aşağıdakilerden hangisi malzemenin özelliklerinden biridir?
A) Ekonomik özellik
B) Mekanik özellik
C) Estetik özellik
D) Canlılık özelliği
E) Matlık özelliği
3. Aşağıdakilerden hangisi yeni malzemelerin üretilme nedenlerinden biridir?
A) Teknolojik ihtiyaçlar
B) Para kazanma isteği
C) Malzemelerin eskimesi
D) Nakliyenin pahalı olması
E) Fabrikaların kapanması
4. Aşağıdakilerden hangisi malzemenin üç halini göstermektedir?
A) Düz-dik-yatay
B) Katı-sıvı-gaz
C) Yumuşak-sert-orta sert
D) Ucuz-pahalı-alınabilir
E) Ters-düz-dik

26

Her öğrenme birimi sonunda öğrenilen bilgi ve becerilerin ölçüldüğü çalışmalarını gösterir.

1. ÖĞRENME BİRİMİ



TEMEL KAVRAMLAR

metal, kompozit, izotrop, anizotrop, allotropi, alaşım, faz, difüzyon, ferrit, sementit, östenit, perlit, ledeburit

MALZEME BİLİMİ



KONULAR

- 1.1. MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI
- 1.2. TASARIMDA MALZEME SEÇİMİ
- 1.3. ALAŞIMLAR
- 1.4. ALLÖTROPİ-FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ◆ Malzemenin tanımı ve sınıflandırması
- ◆ Tasarıma uygun malzeme seçimi
- ◆ Alaşımın tanımı ve alaşım yapma
- ◆ Allotropi-Faz dönüşümleri, denge diyagramları

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Bir ürünün hangi malzemeden yapılacağına nasıl karar verilir?
Düşüncelerinizi paylaşınız.

1.1. MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Malzeme bilimi, malzemelerin yapıları ve özellikleri arasındaki ilişkinin ortaya konmasıyla ilgilenir. Gündelik hayatta kullanılan ürünlerin yapısı, ürünlerin kullanım yerlerine göre seçilen malzemelerden oluşur.

Taş Devri, Bronz Çağı, Demir Çağı, Çelik Çağı gibi çağ adlarının temel malzeme isimlerinden seçildiği görülür. Buradan hareketle malzemenin geçmişten günümüze önemini koruyarak geldiği görülür.

Malzeme alanındaki en önemli ilerleyişler Sanayi Devrimi sürecinde olmuştur. XIX. yüzyıl sonlarına doğru Josiah Willard Gibbs (Cozayah Vılırd Gebs) bu alanda önemli ilerlemelere katkı sağlamıştır. Malzeme bilimine yapılan katkılar, Birinci Dünya Savaşı ve İkinci Dünya Savaşı zamanındaki silahlanma yarışıyla daha da ileriye gitmiştir. Bu katkılar günümüzde de etkisini sürdürmektedir.

İstenen özelliklerde araç gereç ve makine yapabilmek için malzemenin tanım ve sınıflandırılmasının bilinmesi gerekir. Bütün malzemeler maruz kaldıkları dış etkenlere karşı belirli tepkiler verir. Bu tepkiler, malzemenin kendine özgü bir biçimde verdiği tepkilerdir.

Katı malzemelerin neredeyse bütün önemli özellikleri; mekanik, elektrik, ısıl, manyetik, optik ve bozulma olmak üzere altı farklı kategoride toplanabilir. Bunlardan mekanik özellikler, uygulanan bir yük veya kuvvet sonucu meydana gelen deformasyonla ilgilidir.

Malzemelerin sınıflandırılmasında elementler ve sembollerinden yararlanılır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Bazı Elementler ve Sembolleri

SIRA NO.	ELEMENT ADI	SEMBOLÜ	SIRA NO.	ELEMENT ADI	SEMBOLÜ
1.	Alüminyum	Al	15.	Krom	Cr
2.	Argon	Ar	16.	Kurşun	Pb
3.	Azot	N	17.	Magnezyum	Mg
4.	Bakır	Cu	18.	Mangan (Manganez)	Mn
5.	Berilyum	Be	19.	Molibden	Mo
6.	Bor	B	20.	Niyobyum	Nb
7.	Çinko	Zn	21.	Neon	Ne
8.	Demir	Fe	22.	Nikel	Ni
9.	Fosfor	P	23.	Oksijen	O
10.	Helyum	He	24.	Silis (Silisyum)	Si
11.	Hidrojen	H	25.	Tantal	Ta
12.	Kalay	Sn	26.	Titanyum	Ti
13.	Karbon	C	27.	Tungsten (Volfram)	W
14.	Kobalt	Co	28.	Vanadyum	V
			29.	Zirkonyum	Zr



Elementlerin karbon ya da oksijenle yaptığı bileşikler Tablo 1.2’de gösterilmiştir.

Tablo 1.2: Bileşikler ve Sembolleri

SIRA NO.	ELEMENT ADI	SEMBOLÜ
1.	Hematit	Fe_2O_3
2.	Karbondioksit	CO_2
3.	Karbonmonoksit	CO
4.	Limonit	$FeO(OH)nH_2O$
5.	Magnetit	Fe_3O_4
6.	Magnezyum oksit	Mgo
7.	Nitrat	NO_3
8.	Pirit	FeS_2
9.	Siderit	$FeCO_3$
10.	Silisyum dioksit	Sio_2
11.	Silisyum karbür	SiC
12.	Titanyum karbür	TiC
13.	Titanyum nitrür	TiN

1.1.1. Malzemenin Tanımı

Aletler ve makinelerin yapılabilmesi için doğal ya da yapay olarak üretilen maddelere **malzeme** denir. Bir makinenin hangi malzemeden yapılacağını bilmesi, tasarım ve üretim açısından önemlidir. Makine üretiminde üç temel malzeme grubu kullanılır. Bunlar metaller, metal dışı malzemeler ve kompozit malzemelerdir. Malzeme seçiminde malzemenin fiyatı, temin etme süresi, izlenebilirliği vb. özelliklerin göz önünde bulundurulması gerekir.

Makinenin mekanik özellikleri, makinenin görevini yapabilmesi için büyük önem taşır. Günümüzde her amaca yönelik malzeme çeşidi mevcuttur. Her geçen gün yeni malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle doğru ve daha iyi özellikte malzeme seçimi yapabilmek için malzeme alanında yaşanan gelişmelerin sürekli olarak takip edilmesi gerekir.

Malzeme seçimi yapılırken pek çok etkene bakılması gerekir. Bunlardan biri azalan kaynakların dünyaya etkisinin nasıl olacağı ile ilgilidir. Azalan kaynaklar yüzünden malzemelerin geri dönüşebilir özellikte olması istenir. Böylece dünyaya, çevreye ve ekonomiye daha az zarar verilmiş olur.

1.1.2. Malzemenin Sınıflandırılması

Malzemelerin sınıflandırılması yapılırken dikkat edilen hususların bazıları şunlardır:

- ◆ Yapı durumuna göre
- ◆ İçyapı ve kimyasal sınıflarına göre
- ◆ Kompozit malzeme olmasına göre

Malzemenin yapı durumuna göre sınıflandırılmasında ilk olarak fiziksel yapısına bakılır. Buna göre homojen, heterojen, izotrop ve anizotrop malzemeler şeklinde grup-



landırılır. Homojen malzemelerin içyapısı malzemenin her yerinde aynıdır. Heterojen malzemelerde malzemenin içyapısında farklılıklar olur. Kimi yerde yoğun kimi yerde seyrek bir yapı söz konusudur. İzotropik malzemelerde heterojen malzemelerde olduğu gibi tekdüzelik vardır. Anizotropik malzemeler, heterojen malzemeler gibi malzemenin içinde fiziksel farklılıklar gösterir.

Malzemenin kimyasal olarak sınıflandırılmasında kristal malzeme ve amorf malzeme ortaya çıkar. Kristal malzemeye demir, bakır, çinko vb. örnek verilebilir. Amorf, katı atomların kararlı bir kristal yapıya sahip olmadığı katılar için kullanılan bir terimdir. Buna örnek olarak cam verilebilir.

Metal malzemeler demir, alüminyum, bakır, titanyum, altın, nikel gibi bir ya da daha fazla metal elementinden ve genellikle nispeten az miktarlarda karbon, azot, oksijen gibi metal olmayan elementlerden oluşur.

Kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemenin birleşmesinden meydana gelir. Kompozit malzemeyi meydana getiren malzemelerin her biri farklı özellikte olabilir. Seramikler, metal ve metal dışı elementler içeren bileşik yapılardır. Seramik malzemelerin büyük bir kısmını oksitler, karbürler ve nitrürler oluşturur. Cam ve çimento, yaygın olarak kullanılan seramik malzemelerdendir.

1.2. TASARIMDA MALZEME SEÇİMİ

Bazı metaller ve metal dışı malzemelerin birden fazla kristal yapıda bulunmasına **polimorfizm** denir. Element hâlindeki katılar için aynı özellik, **allotropi** olarak adlandırılır. Bu yapıdaki maddelerin kristal yapıları sıcaklığa ve dış basınca göre değişim gösterir. Normal koşullar altındaki karbon (kömür), yüksek basınç ve sıcaklık altında elmasa dönüşür.

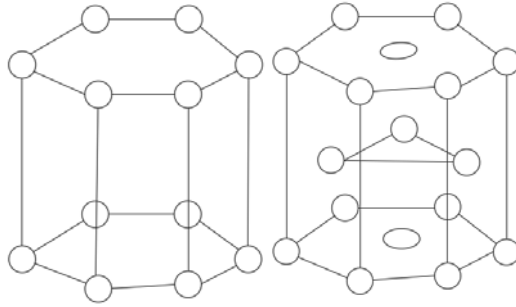
Malzemelerin içyapısı incelenirken kristal yapılarına da bakılır. Kristal yapılar, malzemelerin hücre biçimlerine göre sınıflandırılmasında kolaylık sağlar. Kristal malzemelerin içyapısı kafes sistemlerinden oluşur. Kristal yapı çeşitleri şunlardır:

- ◆ Yüzey merkezli kübik kristal yapı
- ◆ Hacim merkezli kübik kristal yapı
- ◆ Sıkı paket hegzagonal kristal yapı

Yüzey merkezli kübik kristal yapı, kübik bir geometriye sahiptir. Bütün köşelerinde ve yüzey merkezlerinde birer atom bulunur. Bakır, gümüş, altın, alüminyum gibi metaller yüzey merkezli kübik yapıya sahiptir.

Metallerde çoğunlukla bulunan diğer bir yapı, hacim merkezinde bir ve köşelerinde sekiz atomun bulunduğu hacim merkezli kübik kristal yapıdır. Krom, volfram, demir gibi metaller hacim merkezli kübik kristal yapıya sahiptir.

Sıkı paket hegzagonal (SPH ya da HSP) yapı, atomların altıgen kafes simetrisinde bulunduğu (Şekil 1.1) kristal yapıdır. Çinko, magnezyum, zirkonyum ve titanyum SPH kristal yapıya sahip metallerdir.



Şekil 1.1: Hegzagonal yapı

1.3. ALAŞIMLAR

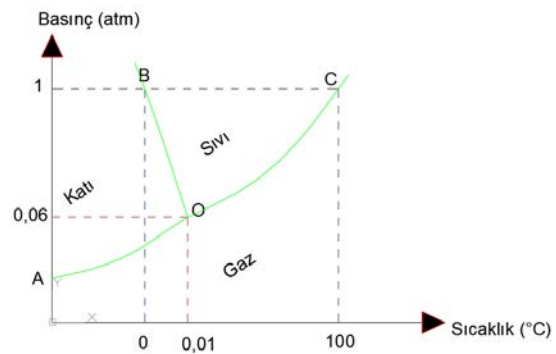
Bir metalin yapısına başka maddeler katılarak o metalin özelliklerinin değiştirilmesine **alaşım** denir. Temelde iki metalin birbiriyle homojen olarak karışmasıdır. Bu sayede yeni özellikte yeni bir metal elde edilmiş olur. Alaşımlarda karıştırılan iki metal, birbirinden ayrılmak istendiğinde bu işleme direnir. Alaşıma örnek olarak bakır-kalay, bakır-çinko ve kalay-kurşun verilebilir. Bakır ve çinkonun oluşturduğu pirinç alaşımı sarı renkte ve yumuşak bir malzemedir (Görsel 1.1).



Görsel 1.1: Bakır ve çinkonun oluşturduğu pirinç alaşımı

1.3.1. Tek Fazlı Alaşımlar

Malzemelerde belirli sınırlar içinde yapı ve özellikleri aynı olan homojen bölgelere **faz** adı verilir. Bu bölgelerdeki atom grupları, düzenli dizilmiş ve denge durumundadır. Bir fazı oluşturan denge koşulları değişirse atomlar yeni bir denge konumuna geçer. Bir denge yapısından başka bir denge yapısına geçişe **faz dönüşümü** adı verilir. Çünkü kimyasal bileşim sabit tutulmaktadır. Bir faz diyagramında sıcaklık ve basınç, fazın değişmesine neden olur. Bu faz diyagramlarında katı, sıvı, gaz gibi üç bölge vardır (Şekil 1.2).

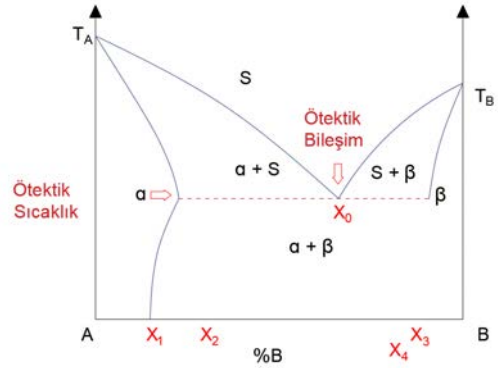


Şekil 1.2: Faz diyagramında katı, sıvı, gaz gösterimi

Alaşımın içerdiği metaller üretim için eritilirken birbirlerinden farklı kimyasal tepkimeler oluşturur. Su ve alkol gibi karıştırıldıklarında her oranda çözünür. Eriyik hâlde bulunan metaller, karıştırma sonucunda zamanla tek yapıda bir sıvı meydana getirir. Su ve alkol gibi arasında hiçbir ayırım yüzeyi bulunmayan bu tür eriyikler **tek fazlı alaşım** olarak adlandırılır.

1.3.2. Çift Fazlı Alaşımlar

Çift fazlı alaşımlarda sıcaklık ve basınç yanında kimyasal bileşim de değişir. Bu alaşımlar çok farklı yapılarda olabilir. İki bileşen içeren ikili alaşım sistemlerinin üzerinde daha fazla durulur. Çünkü bu durumdaki faz diyagramlarını yorumlamak, tek fazlıya göre zor ve karmaşıktır. Demir-karbon diyagramları çift fazlı alaşımlara örnek verilebilir. Çift fazlı alaşımlarda kimyasal bileşim, soğumanın etkisiyle farklı faz türlerine bürünür. Demir genellikle alfa, beta ve gama fazlarında bulunur. Soğumanın hızı da oluşan mikro yapıyı etkiler. Çift fazlı alaşımlara **ötektik yapı** da denir. Ötektik yapıya demir-karbon diyagramındaki $\alpha+\beta$ bölgesi örnek verilebilir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3: Ötektik yapı diyagramı (A maddesi B maddesi içinde çözünmektedir.)

1.3.3. Atomik Difüzyon

Bir yayılım türü olan **difüzyon**da madde, çok olduğu yerden az olduğu yere doğru akar. Difüzyon olayının atomik boyutta gerçekleşmesine **atomik difüzyon** denir. Kolonya kokusunun zamanla odaya yayılması, atomik difüzyona örnek verilebilir. Difüzyon türleri şunlardır:

- ◆ Kendi kendine difüzyon
- ◆ Hacim difüzyonu
- ◆ Yüzey difüzyonu
- ◆ Ara difüzyonu
- ◆ Tane sınırı difüzyonu

Homojen malzemelerde aynı tür malzemeye ait atomların dışarıdan bir etki olmadan yer değiştirmelerine **kendi kendine difüzyon** denir. Malzemeye ait atomların hareketi, hacim difüzyonuna neden olur. Bir fazın yüzeyi boyunca atom yayılımını gözlenen difüzyona **yüzey difüzyonu** denir. İki metal alaşımı arasında oluşan difüzyona **ara difüzyonu** denir. Yalnızca tane sınırları boyunca atom yayılımının görüldüğü difüzyona **tane sınırı difüzyonu** denir.

Difüzyonun oluşumunda sadece iki atomun yer değiştirmesiyle ortaya çıkan mekanizmaya **direkt yer değiştirme mekanizması** denir. Bu mekanizma için çok yüksek aktivasyon (başlangıç) enerjisi gerekir. Aktivasyon enerjisi, herhangi bir olayın başlaması için gerekli olan enerjidir. Bir diğer tür mekanizma, çevrimli yer değiştirmedir. Bir grup atomun sırayla bir çevrim oluşturarak birbirinin yerine geçmesine **çevrimli yer değiştirme mekanizması** denir.



Boşluk mekanizmasının oluşması için malzemede atom boşlukları olmalıdır. Atomlar bu boşluklarda mikro yapıda bir hasar oluşturmadan hareket etmelidir. Atom, doğal titreşiminin sonucunda yapıdaki boşluğa doğru hareket eder. Büyük atomların oluşturduğu yapıda daha küçük atomlar için yerler bulunur. Bu yerlere daha küçük boyuttaki atomların girmesiyle oluşan mekanizmaya **arayer difüzyonu** denir. Difüzyon, bu mekanizmalardan biriyle gerçekleşebilir.

1.4. ALLOTROPİ-FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

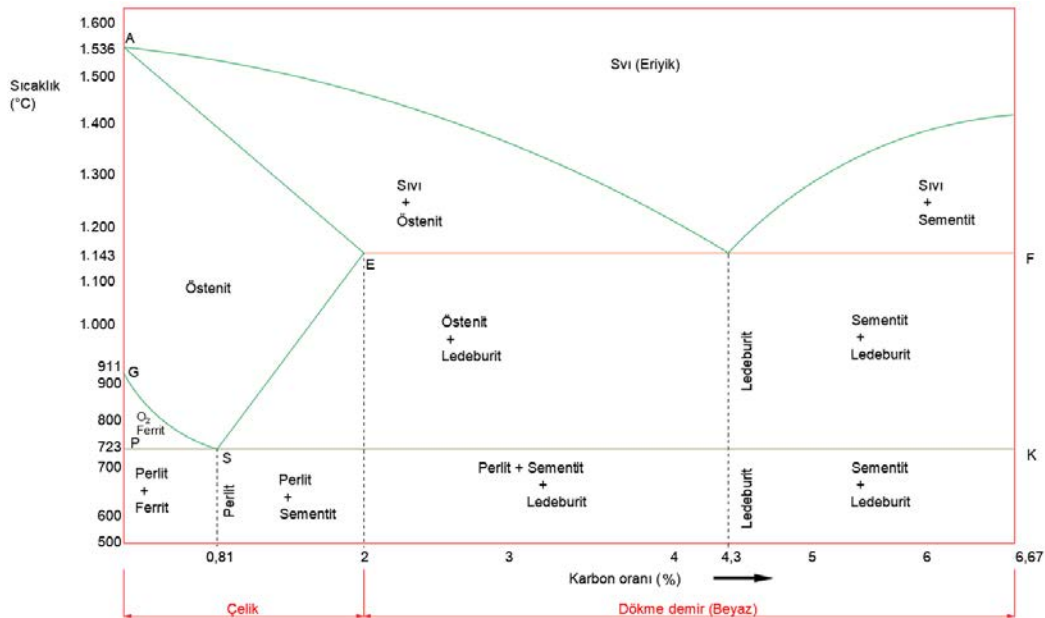
Alaşımın mekanik özellikleri ve sahip oldukları mikro yapı arasında önemli bir ilişki vardır. İy yapı oluşumu doğrudan faz oluşumuyla ilgilidir. Bu nedenle malzemenin özelliklerinin iyi anlaşılması için faz diyagramlarının iyi bilinmesi gerekir. Denge diyagramlarının anlaşılması için gerekli bazı kavramlar aşağıda verilmiştir.

Faz: Bir sistemin homojen fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren parçasıdır. Her saf malzeme bir faz olarak düşünülebileceği gibi her katı, sıvı ve gaz çözelti de faz olarak değerlendirilebilir.

Bileşen: Alaşımı oluşturan saf metaller veya içerdiği bileşikler için kullanılır.

Çözünürlük Sınırı: Belirli bir sıcaklıkta çözünen atomların, çözen kafes içinde ulaşabileceği üst denge sınır değeridir. Basit olarak bakıldığında su-şeker sisteminde çözünürlük sınırının sıcaklık değeriyle değişebildiği görülür.

Denge diyagramlarından en önemlisi demir-karbon diyagramıdır (Şekil 1.4). Denge diyagramında soğuma sırasında karbon oranı ve ısının fazları nasıl etkilediği, hangi yapıların oluştuğu görülür.



Şekil 1.4: Demir-karbon denge diyagramı



1.4.1. Demirin Allotropisi

Mevcut geleneksel metal malzemelere ek olarak daha üstün malzemelere ihtiyaç duyulur. Bunun için maddelerin içyapıları, farklı soğutma hızlarıyla değiştirilerek farklı karakterlerde ve istenilen özelliklerde malzemeler elde edilir. Ayrıca malzemeler, temperleme (menevişleme) gibi ısı işlemlerden geçirilerek yeni karakteristik malzemeler üretilebilir.

Bir yapının farklı bir geometrik kristal yapıda bulunma hâline **allotropi** denir. Madde-nin kristal yapısı sıcaklık ve basınca göre değişir. Farklı sıcaklıklarda farklı faz ve kafes yapısı oluşur. Örnek olarak elmas ve grafit, karbonun allotroplarıdır. Geleneksel bir malzeme olan demir, allotropik bir metaldir ve sıcaklığa bağlı olarak kristal yapısında değişimler olur. Isıtma ve soğutma ile farklı karakterlerde malzemelere dönüştürülür. Saf demirin soğuması sırasında üç ayrı allotropik (polimorf) durum ortaya çıkar.

Birinci allotropik durumda demirin ergime derecesi $1.535\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Demir, bu sıcaklığın altına soğutulursa hacim merkezli kübik kristaller hâlinde **delta demirine** dönüşerek katlaşır.

İkinci allotropik durumda soğuma işlemi sürdürüldüğünde $1.400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de demir atomları birbirine daha da yaklaşır. Böylece demir, yüzey merkezli kübik kristal yapıdaki **gama demirine** dönüşür.

Üçüncü allotropik durumda soğumaya devam eden demir, $910\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de yine hacim merkezli kübik kristallerden oluşan **alfa demirine** dönüşür.

1.4.2. Demir-Karbon İkilisi

Saf demir eritilip içine en az bir metal element koyularak alaşım oluşturulduğunda demirin kristal yapısında değişimler gözlenir. Değişimler farklı sıcaklık aralıklarında gerçekleşir. Bunun yanında demirin içerdiği karbon oranına göre değişim durumu vardır. Değişimlerin daha iyi anlaşılması ve açıklığa kavuşturulması için hangi sıcaklıkta ve hangi faz aralığında bulunduğunu gösteren diyagramlar kullanılır. Demir-karbon diyagramı bunlardan biridir. Başka elementler ve alaşımlar için de diyagramlar mevcuttur. Demir-karbon diyagramında bulunan fazlar ferrit, sementit, perlit, östenit ve ledeburittir.

1.4.3. Demir-Karbon Denge Diyagramı

Demir, $1.600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki yüksek fırın sıcaklığında sıvı hâlde; karbon ise eriyik içinde karışmış olarak bulunur. Demir yavaş yavaş soğurken, karbon atomları birbirine yaklaşarak grafit oluşturur. Sıcaklık düştükçe demirin karbon çözündürme yeteneği azalır. Gama kristal yapısındaki demir, belirli oranda karbon çözündürürken alfa kristal yapısındaki demir, karbon çözündürmez. Bu durumdaki faza **saf demir** yani **ferrit** adı verilir.

Sementit, içerisinde yaklaşık %94 seviyesinde ferrit ve %6 seviyesinde karbon bulunduran bir fazdır. Eriyik demir, sementite çok hızlı soğutulur. Bu nedenle karbon, kristalleşecek zaman bulamaz ve direkt olarak demir karbür oluşur. Bu oluşum, sementit yapıya sertlik ve kırılabilirlik özelliği katar.



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

- 1. İki metali homojen bir şekilde birbirine karıştırarak yeni bir metal elde etme yöntemi aşağıdakilerden hangisidir?**
 - A) Alaşım
 - B) Ayrıştırma
 - C) Başkalaşım
 - D) Kaynak
 - E) Seyreltme
- 2. Aşağıdakilerden hangisi bir malzemeyi diğerinden ayırmaya yarayan niteliklerdir?**
 - A) Ekonomik özellik
 - B) Mekanik özellik
 - C) Estetik özellik
 - D) Canlılık özelliği
 - E) Matlık özelliği
- 3. Aşağıdakilerden hangisi yeni malzemelerin üretilme nedenlerinden biridir?**
 - A) Teknolojik ihtiyaçlar
 - B) Para kazanma isteği
 - C) Malzemelerin eskimesi
 - D) Nakliyenin pahalı olması
 - E) Fabrikaların kapanması
- 4. Aşağıdakilerden hangisi malzemenin üç hâlini göstermektedir?**
 - A) Düz-dik-yatay
 - B) Katı-sıvı-gaz
 - C) Yumuşak-sert-orta sert
 - D) Ucuz-pahalı-alınabilir
 - E) Ters-düz-dik



5. Aşağıdakilerden hangisi demirin içinde çözünen ve demirin sertliğini belirleyen elementtir?

- A) Bronz
- B) Elmas
- C) Kalay
- D) Karbon
- E) Pirinç

6. Aşağıdakilerden hangisi malzemeleri sınıflandırma yöntemlerinden biridir?

- A) Ölçülerine göre
- B) Sıcaklığına göre
- C) Soğutma süresine göre
- D) Atom ağırlığına göre
- E) İçyapısına göre

7. Aşağıdakilerden hangisi malzemenin içyapı özelliklerinden biridir?

- A) Geçirgenlik
- B) Homojenlik
- C) Kaplama
- D) Katılaşma
- E) Sıvılaşma

8. Çift fazlı alaşımlarda sıcaklık ve basınçla değişen özellik aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Kimyasal bileşim
- B) Çevre sıcaklığı
- C) Çevre basıncı
- D) Diyagram uzunluğu
- E) Soğutma süresi

2. ÖĞRENME BİRİMİ



TEMEL KAVRAMLAR

cüruf, grafit, korozyon, oksidasyon, ötektik, pik demir, temper, yüksek fırın

DEMİR ÜRETİMİ



KONULAR

- 2.1. HAM DEMİR ÜRETİMİ
- 2.2. DÖKME DEMİRLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ◆ Ham demir üretimi, demir filizleri, yüksek fırınlar ve çeşitleri, yüksek fırınlarda ham demir üretilmesi
- ◆ Dökme demir çeşitleri, döküm malzemeler, döküm malzemelerin içyapıları

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. Dünyada en çok bulunan metallerin hangileri olduğunu düşünüyorsunuz?
2. Metaller bitirse ne olacağı ile ilgili görüşlerinizi ve çözüm önerilerinizi paylaşınız.



2.1. HAM DEMİR ÜRETİMİ

Demir, dünya üzerinde kullanılan en yaygın materyallerden biridir. Periyodik tabloda metaller grubunda bulunur. Ham madde olarak demir cevherinde bulunur. Bazı işlemlerden sonra demir olarak piyasaya sunulur. Makine, inşaat gibi pek çok alanda kullanılır.

Demir ilk olarak Demir Çağı'nda oymacılık ve avcılık için kullanılmıştır. Sağlam, kullanışlı ve işlenmesinin kolay olması nedeniyle yoğun olarak tercih edilmiştir. Demir kullanımı Türklerde büyük öneme sahiptir. Kılıç, bıçak, ok ucu, zırh gibi savaş aletlerinin yapımında ustalıklarla kullanılmıştır. Demir cevherini işleme teknolojisi ilerledikçe demirin kullanım alanı büyümüş ve askerî hayat dışında sivil hayata da etki etmiştir. Günümüzde pek çok üründe kullanılmaktadır.

Demir üretim yöntemi, ocak teknolojileri oldukça gelişen Çin'deki Zhou (Çou) Hanedanı'nın son yıllarına doğru ortaya çıkmıştır. Çinliler, 1.300 Kelvin sıcaklığını aşan **yüksek fırın** yapabildikleri için dökme demir üretebilmiştir. Bu gelişme günümüzdeki demir üretimine yakındır.

Malzeme ihtiyacını karşılayacak şekilde doğada saf demir bulunmaz. Demir elementi doğada diğer elementlerle birleşik olarak yani cevher olarak genellikle oksit, karbonat ve sülfür türü bileşenlerle birlikte bulunur. Bu bileşenler demirin sağlamlığını doğrudan etkilediği için bazı işlemlerden geçirilmelidir.

2.1.1. Ham Demir Filizleri

Cevher olarak madenlerden çıkarılan ham demirin doğada magnetit, hematit gibi türleri mevcuttur. Demir cevheri daha çok Sivas, Balıkesir, Kayseri, Adana ve Malatya'da bulunmaktadır. Ülkemizde Kardemir, Erdemir, İsdemir gibi çok önemli sanayi kuruluşları mevcuttur.

Magnetit (Fe_3O_4): Doğada kaya hâlinde bulunur. İçinde çok miktarda demir bileşeni bulundurduğu için demirin ana cevheridir ve mknatis özelliği gösterir.

Hematit (Fe_2O_3): İçerisinde demir ve oksijen elementleri bulunur. Kırmızı-siyah renkte ve toz hâlinindedir. Genellikle boya ham maddesi olarak kullanılır.

Siderit ($FeCO_3$): Doğada karbonatla kimyasal bağ şeklinde bulunur. Kimyasal reaksiyona girmediği sürece beyazdır. Tortul kayaların oluşumu sırasında meydana gelir. İçerisinde demir ve karbonat haricinde magnezyum, nikel ve kalsiyum elementleri bulunur.

Limonit [$FeO(OH) \cdot nH_2O$]: Demir üretimi sırasında hematit filizinden sonra tercih edilen ikinci demir filizi türüdür.

Pirit (FeS_2): Demir ve kükürt bileşenlerinden oluşur. Piritin kırılma özelliğini, içerisinde bulunan kükürt artırır. Bu yüzden pirit filizi, tercih edilen bir demir filizi değildir.

2.1.2. Yüksek Fırınlarda Ham Demir Üretimi

Demir üretimi, demir cevherinden ilk olarak ham demir, ham çelik ve sonunda çelik elde edilerek yapılır. Çelik üretiminin ilk aşaması yüksek fırınlarda yapılmaktadır. Bu



üretimin yapılabilmesi için ağır sanayi gerekir. Çünkü demir üretimi için yüksek enerjiye ihtiyaç duyulur.

Yüksek fırınlar; çapları 15 metreye varan, yükseklikleri 40 metreye ulaşan, kullanılan iç hacimleri 5.000 m³e varan devasa ergitme fırınlarıdır. Çalışan bir yüksek fırında günde 12.000 ton ham demir üretmek mümkündür. Yüksek fırınların gece gündüz çalıştırılmasının en büyük nedeni, ilk yakmada normalden daha fazla enerjiye ihtiyaç duymalarıdır.

Yüksek fırınların demir cevherinin yüklendiği üst kısımlarında kok kömürü, silisyum oksit veya kireçle karıştırılmış hâlde demir cevheri bulunur. Demir cevheri farklı ürünlerle birlikte fırına atılır. Bunun nedeni, cevherin içindeki demir dışı elementlerin diğer ürünlerle yüksek sıcaklıkta reaksiyona girerek onları saf demirden uzaklaştırmasıdır. Demir dışındaki elementler yanarak cürufu oluşturur. Cüruf, katman şeklinde oluşan atık bir tabakadır. Kok kömürü aynı zamanda fırının enerji ihtiyacını da karşılar.

Üretimin ilk aşamasında hava ısıtıcı ünitelerin hava kanallarından sisteme sıcak hava verilerek sistem sıcaklığı 1.200 °C'ye kadar çıkartılır. Böylece ergitme işleminin ilk adımları atılır. Kok kömürünün yanmasıyla birlikte fırın sıcaklığı 2.000 °C seviyelerine ulaşır. Yanmayla birlikte kok kömürünün içindeki karbonlar, oksijenle birleşip karbonmonoksit gazını oluşturur. Bu arada kimyasal reaksiyona oksijenin de katılmasıyla en son atık gaz olarak karbondioksit gazı ortaya çıkar.

Bir sonraki katmana giden ergimeye başlamış demir cevheri, yeniden kok kömürüyle etkileşip karbonmonoksit gazını oluşturur. Yüksek fırın bacalarında genellikle %30 oranında karbonmonoksit gazı bulunur. Son katmana gelen ergimiş demir, cürufuyla birlikte potada birikir. Cüruf; çimento üretimi, yol yapımı gibi alanlarda kullanılabilen değerli bir çıktıdır.

Yüksek fırınlar büyük tesisler tarafından işletilir. Bu fırınlarda gelişmiş bir baca filtre sisteminin kullanılması gerekir. Tesisin içinde fırından başka çok çeşitli ekipmanlar bulunur. Örneğin kok kömürü ve demir cevherlerini fırına taşıyan konveyörler, ürünlerin fırına girişini sağlayan doldurma ağızı, ilk başta fırının ısınması için sıcak hava sağlayan hava ısıtıcıları ve ısıtıcılardan çıkan havayı iletmek için kullanılan kanallar bu tür ekipmanlardır.

2.2. DÖKME DEMİRLER

İçerisinde karbon bulunduran bir demir türüdür. İçerisinde bulundurduğu karbon; grafit şeklinde ise **gri dökme demir**, sementit şeklinde ise **beyaz dökme demir** olarak adlandırılır. Grafit ve sementit, demirin içyapı şekillerindedir. Bu şekiller demirin özelliklerini direkt olarak etkiler. Dökme demirden yapılan ürünlere istenilen şekil verilebilir ve üretimden sonra fazla bir işleme gerek duyulmaz. Bu nedenle makine üretiminde kullanımları yaygındır.

Çelik üretiminden önce pik demirler üretilmiştir. Pik demirler, dökme demirlerin bir çeşidi olup dayanımları düşüktür. Karbon oranının %4'ün altına inmesiyle dökme demir elde edilir. Ham dökme demir yani pik demir, yüzyıllardır kullanılan demir türüdür.

Grafitli dökme demirlerde grafit yapısı lameller hâlinde oluşur. Dayanımları düşük olan dökme demirlerin uzama özellikleri yoktur. Ayrıca darbeli yüklemeye durumuna uygun değildir.



Demir döküm türlerinden biri de temper dökümdür. Temper döküm, dökme demirin içine silisyum katılmasıyla ortaya çıkar ve içyapısında grafit yoktur. Dökme demir, 1.050 °C'nin altında 50-80 saat arası bir sürede, oksitleyici ortamda yumuşak tavlansa beyaz temper dökme demire dönüşür. Sıcaklık, 950 °C seviyesine çekilerek 30 saat nötr bir ortamda yumuşak tavlansa dökme demir, siyah temper dökme demire dönüşür.

Yumuşatma tavı, demire istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri kazandırmak için yapılır. Böylece sünekliği (esneklik) ve dayanımı artırılır. Talaş kaldırarak veya süneklik özelliğiyle şekil verilebilir. Yumuşatma tavlama, demirin belli sıcaklıklara ısıtılması ve kontrollü bir şekilde soğutulmasıdır.

Lameller, grafitli dökme demirlerde boş hacim etkisi yaparak gerilmelere neden olur. İç gerilmeler nedeniyle dökme demirin dayanımı düşük, sünekliği az ve kırılabilirliği yüksektir.

Küresel grafitli dökme demirlere alkil ilave edilerek grafit yapıları küresel şekle dönüştürülür. Lamel grafitli dökme demirin titreşim sönümlenme ve ısı iletim özellikleri, küresel grafitli dökme demire göre daha iyidir. Mekanik özellikleri ise daha çok çeliğe benzer. Bu nedenle pek çok alanda dökme çelik yerine tercih edilir.

2.2.1. Dökme Demir Çeşitleri

Dökme demirler fazlarına göre şu şekilde sınıflandırılır:

- ◆ Ötektik altı dökme demir
- ◆ Ötektik üstü dökme demir
- ◆ Ötektik dökme demir
- ◆ Alaşım dökme demir

Dökme demirin karbon değeri faz diyagramına göre %4,3'ün altındaysa **ötektik altı**, %4,3'ün üstündeyse **ötektik üstü**, bu değere eşitse **ötektik demir** denir. İçyapısında dökme demirin farklı özelliklere sahip olmasını sağlayan farklı alaşım elementleri bulunuyorsa **alaşım dökme demir** olarak adlandırılır.

2.2.2. Dökme Demirlerde Katlaşma Şekilleri ve İçyapıları

Dökme demirler, içyapısında karbon ve demir bulunduran alaşımlardır. Dökme demirin yapı bileşenlerini oluşturan fazlar sıvı faz, ferrit, perlit, steadit, östenit, grafit, sementit ve ledeburittir.

Sıvı faz, içerisinde çözünmüş olarak bulunan sıvı demirden meydana gelir. Faz diyagramında 1.394 °C'nin üzerinde kararlı olan katı faz, 1.538 °C'nin üzerinde erir. Demirin yüksek sıcaklıktaki kararlı yapısı olan bir diğer faz, östenittir.

Östenit, çok hızlı soğutulmadığı sürece oda sıcaklığındaki demir ve çeliklerin yapısında bulunmaz. Östenit, yüzey merkezli kübik (YMK) yapıdadır ve paramanyetik özelliğe sahiptir.



2.2.3. Döküm Malzemelerde Aranılan Özellikler

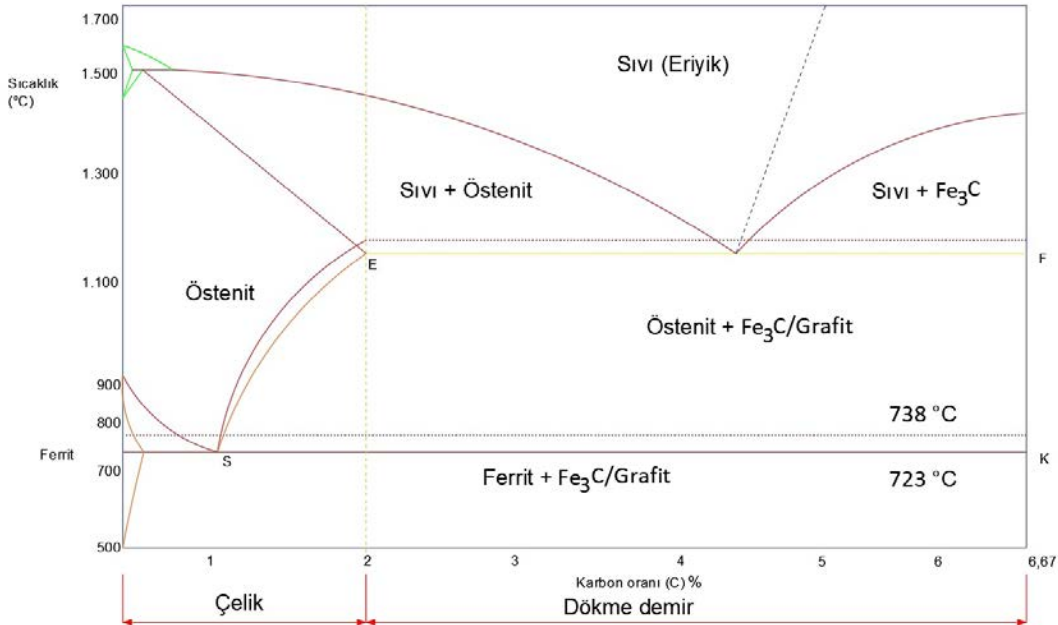
Malzemeler, belirli koşulları sağlamaları için üretilir. Ürünün dayanıklı olması için bu koşullara uygun malzeme seçimi yapılarak üretimine başlanır. Örneğin motorun iç parçaları eriyeceği için plastikten, bir saç tokası da gerektiğinden fazla ağır olacağı için dökme demirden yapılmaz.

Dökme demirler ziraat makinelerinin üretimi, otomotiv ve inşaat endüstrisi gibi alanlarda kullanılır. Sürekli temasın ve dış kuvvetin bulunduğu yerlerde tercih edilen dökme demirlerin belirli özellikleri içermesi beklenir. Örneğin inşaat alanında kullanıldıklarında basma dayanımlarının yüksek olması istenir. Tercih edilme nedenlerinden biri de kolay işlenebilmesidir.

Dökme demirler, aynı dayanım seviyelerinde çeliklere göre daha düşük yoğunluk ve daha yüksek termal iletkenlik gösterir. Titreşim sönmüleme kabiliyetleri yüksek olup talaşlı üretim tekniğine uygundur. Dökme demirlerin aşınma ve korozyona dayanımları yüksektir. Korozyon direnci, oksidasyon direnci, aşınma gibi özelliklerinin iyileştirilmesi için kimyasal yapıları değiştirilir. Dökme demirlerde olması istenen özellikler şunlardır:

- ◆ Aşınma dayanımlarının iyi olması
- ◆ Yüzeylerinde demir oksit tabakasının engellenebilmesi
- ◆ Titreşimleri sönmüleme özelliklerinin yüksek olması
- ◆ Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması
- ◆ Talaşlı üretimle işlenebilme özelliğinin olması

Demir-karbon diyagramı oluşturmanın temel amacı, yüksek fırınlarda oluşan eriyik demirin dönüşüm sürecini göstermektir (Şekil 2.1). Demir-karbon diyagramında gösterilenlerden farklı faz türleri de vardır.



Şekil 2.1: Demir-karbon diyagramı



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

- Aşağıdakilerden hangisi döküm malzemelerde aranan özelliklerden biridir?**
 - Yüksek miktarlarda üretilmesi
 - Talaşlı üretime uygun olması
 - Açık alanlarda üretebilmesi
 - Isıya dayanımının düşük olması
 - Esnekliğinin düşük olması
- Aşağıdakilerden hangisi dökme demir çeşitlerinden biridir?**
 - Hematit demir
 - Magnetit demir
 - Limonit demir
 - Gri dökme demir
 - Su verilmiş demir
- Aşağıdakilerden hangisi metal malzeme yapılarının değiştirilme nedenlerinden biridir?**
 - Çevreye duyarlı olmak
 - Üretimi hızlandırmak
 - Taşıma maliyetini düşürmek
 - Korozyona dayanımını arttırmak
 - Suları arıtmak
- Ham demir üretimi aşağıdaki cevherlerin hangisinden yapılır?**
 - Çelik alaşımı
 - Demir cevheri
 - Altın damarı
 - Döküm bakır
 - Döküm alüminyum
- Yüksek fırınların yapılmasının nedeni aşağıdakilerden hangisidir?**
 - Dayanımı düşürmek
 - Fırını çabuk soğutmak
 - Maliyeti sabitlemek
 - Korozyonun süresini ölçmek
 - Ham demir üretmek
- Aşağıdakilerden hangisi bir demir cevheridir?**
 - Ferrit
 - Grafit
 - Hematit
 - Ledeburit
 - Östenit
- Yüksek fırınlarda ham demir üretilmesinin nedeni aşağıdakilerden hangisidir?**
 - Su verme kolaylığı
 - Bakırın az bulunması
 - Yüksek enerji ihtiyacı
 - Demir tüketiminin düşmesi
 - Tarımsal ihtiyacın artması

3. ÖĞRENME BİRİMİ



TEMEL KAVRAMLAR

ark, cevher, dayanım, hadde, su verme

ÇELİK ÜRETİMİ



KONULAR

- 3.1. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ
- 3.2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI
- 3.3. ÇELİKTE KATKI ELEMANLARININ ETKİSİ VE ÇELİK STANDARTLARI

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ◆ Çeliklerin üretim yöntemleri
- ◆ Çeliklerin sınıflandırılma teknikleri
- ◆ Çelikteki katkı elemanları, çelik standartları

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. Demirin tükenmesiyle çelik üretimi yapılamadığında günlük hayattan neler eksilirdi?
2. Ekonomik ve teknolojik açıdan çeliğin yerini hangi metaller alabilir?

3.1. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Karbon oranı çeliğin sınıflandırılması için önemli bir göstergedir. Çelik, yüksek fırından çıkan demirin içindeki karbon oranının %0,2 ile %2 arasına getirilmesiyle üretilir. Kırılganlığı azaltılan çelik; sağlam, demirden daha sert ve hafiftir. Dövme, presleme ve haddelemeyle istenilen şekle sokulabilir. Çeşitli işlemlerle sertliği ve dayanıklılığı artırılabilir.

Çelik üretiminde basit olarak yapılan işlem, demirin içerisindeki çeşitli maddelerin demirden uzaklaştırılmasıdır. Ancak bazı durumlarda çelikten beklenen özelliklere göre çeliğin içine farklı elementler koyulur. Örneğin paslanmaz çelik elde etmek için çeliğin içine krom ve nikel koyulur.

Çeliğin yolculuğu Demir Çağı'nda demirle başlamıştır. Çeliğin ilk kullanım formu olan sement çeliği, sert ve kırılğan bir yapıdadır. XVII. yüzyılda Almanya ve İngiltere'de üretilmeye başlanmıştır. XIX. yüzyılda demir yolu ağlarının yapılmaya başlanmasıyla çelik üretimi de hızlanmış ve buna bağlı olarak önemli yenilikler ortaya çıkmıştır. Henry Bessemer (Henri Besimır), karbon içeriğini azaltmak için erimiş demiri oksitleyerek karbonu demirden uzaklaştırmıştır. Bu gelişmeyle çelik üretiminde farklı ocak kullanımları ve üretim yöntemleri ortaya çıkmıştır. Çelik üretim yöntemleri şunlardır:

- ◆ Bessemer-Thomas yöntemi
- ◆ Siemens-Martin yöntemi
- ◆ Oksijen üfleme yöntemi
- ◆ Elektrik ark yöntemi (elektro çelik)

Çelik üretiminde farklı yöntemlerin ortaya çıkmasının nedeni, kullanım yerine göre çeliğe istenen özellikleri vermektir. Örneğin Bessemer-Thomas yönteminde başlangıçta fosfor çelikten atılmadığı için ürünlerde kırılğanlık ortaya çıkmıştır. Bu nedenle sadece fosforsuz cevher kullanılmıştır. Daha sonra Sindy Gilchrist Thomas (Sindiy Gilchrist Tamis), bu işleme kireç taşı ekleyerek fosforu cürufa çekmiş ve sorunu çözmüştür. Dünya savaşları nedeniyle çelik üretimini hızlandırmak için yeni üretim yöntemleri geliştirilmiştir.

3.1.1. Bessemer-Thomas Yöntemi

1856 yılında İngiliz Henry Bessemer tarafından bulunan ve 1876 yılında Sindy Thomas Gilchrist tarafından geliştirilen çelik üretim yöntemidir. Bu yöntemle üretilen çeliklere **Thomas-Bessemer çeliği** denir.

Yüksek fırınların geliştirilmesiyle pik demir daha hızlı üretilebilir duruma gelmiştir. Buna rağmen çelik üretimi sıvı ham demirin %2'sini geçememiştir. Bessemer konvertörü (Görsel 3.1) sayesinde çelik üretimi ham demir üretiminin yarısına ulaşmıştır. Bessemer fırını, etrafında kil veya dolomit astar bulunan bir yüksek fırındır. Çeliği sıvı hâlde tutamayan eski yöntemlerin eksikliği bu fırınla giderilmiştir. İstenmeyen maddeler Bessemer konvertöründe yakıla-



Görsel 3.1: Bessemer konvertörü



rak yüksek enerji elde edilmiştir. Çelik, bu enerjiyle sıvı hâlde tutulmuştur. Çelik üretiminde istenmeyen maddeler, gaz (karbondioksit) veya katı cüruf (silikon manganez) olarak ortamdan uzaklaştırılır.

Bessemer yöntemi bulunduğu anda sistemin eksik kalan yanları kaliteli ürün çıkarılmasını engellediği için çelik üretiminde fosforsuz cevher kullanılması gerekmiştir. Bessemer yönteminde fosfor ve kükürt çelikten uzaklaştırılamamıştır. Sonraki yıllarda Thomas, asit astar yerine bazik dolamit astar kullanarak fosfor sorununu çözmüş ve ham sıvı demiri büyük oranda yakmayı başarmıştır.

Bessemer konvertörünün iç çapı yaklaşık 3,5 metre, yüksekliği 6-7 metredir. Buna göre kapasitesi 8-30 ton arasında, normal yükleme miktarı ise 15 tondur.

Bessemer yönteminde karbon, silis, mangan gibi istenmeyen malzemeler, hava üfleme yapılarak ergimiş demirle birlikte yakılır. Havanın içerisinde bulunan oksijen, yakım işlemini gerçekleştirir. İstenmeyen elementlerin cüruf hâline getirilmesi amacıyla fırının içine katı kireç taşı eklenir. Oksijen üfleme işlemi bittiğinde sülfür ve fosfor yanar. Hava üfleme sayesinde %15 oranında demir oksitlenerek cürufa katılır. Bu sistemde hurdanın ergime sıcaklığı yüksek olduğu için hurda işlenemez.

3.1.2. Siemens-Martin Yöntemi

Sık kullanılan demir üretim yöntemlerinden biridir. Hurda demir ve çelik ürünler, Siemens-Martin fırınında eritilerek geri dönüştürülür. Yöntemde Siemens-Martin fırını kullanılır. Bu yöntem Alman Carl Wilhelm Siemens (Karl Vilhelm Zimens) ve Fransız Pierre-Émile Martin (Pier Hemil Mahta) tarafından bulunmuştur.

Fırın, geniş bir alanı kaplar ve 2-3 metre bir derinliğe, 100-300 ton üretim kapasitesine sahiptir. Bessemer-Thomas yönteminden daha büyük bir prodestir. Fırın çelik konstrüksiyondan yapılmış, içi manyezit (ısıya dayanıklı element) tuğlayla kaplanmıştır. İşlemler için fırın önceden havayla ısıtılır. Isı tuğlalara geçerek, içerideki gazları ısıtınca fırın görevini yapmaya başlar. 1.700 °C seviyelerine gelen sıcaklık sonucu oluşan alev, karbon yakımını başlatarak ham maddeyi eritir. Sonuç olarak 5-10 saatte çelik elde edilir. Siemens-Martin yöntemi, fırın içinde kullanılan astara göre **asidik yöntem** veya **bazik yöntem** olarak adlandırılır.

Fosfor, Siemens-Martin yönteminde ürün kırılğan hâle gelir. Kırılğanlık problemi Bessemer fırınlarında olduğu gibi asidik yöntemle giderilemediği için fosfor, bazik yöntemle çelikten uzaklaştırılmalıdır. Bazik yöntemde fosforla bileşik yapmadan fosforu uzaklaştıracak çelik hurdası veya pik demirler seçilir.

Siemens-Martin yöntemiyle çıkan ürünlerin bazı avantajları vardır. Örneğin fosfor ve azot oranları düşük olduğu için bu ürünlere soğuk şekil verme işlemi uygulanabilir. Ayrıca işlemler yavaş sürdüğü için gerekli müdahaleler yapılabilir.

3.1.3. Oksijen Üfleme Yöntemi

Oksijen üfleme yönteminde ergimiş çeliğe doğrudan oksijen verilir. Geleneksel yöntemlerde ergimiş çeliğe sıcak hava verilir. Üflenen hava, sistemin içine azot elementinin girmesine neden olur. Havanın içerisinde %21 oksijen, %78 azot ve geriye kalan %1'lik

kısmında helyum, hidrojen, argon, neon gibi gazlar bulunur. Azot, malzemenin plastik şekil değiştirme özelliğini olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle sisteme direkt olarak oksijenin verildiği oksijen üfleme yöntemi geliştirilmiştir. İstenmeyen azot, oksijen üflenerek ortadan kaldırılır. Böylece fosfor çelikten uzaklaştırılmış olur.

Oksijen üfleme yönteminde fırına ham madde yüklendikten sonra sisteme saf oksijen üflenir. Fırındaki ısının hurdayı eritebilecek seviyeye yükselmesi, sıvı demirin içerisindeki karbon ve silisyumu oksitleyen oksijenle sağlanır. Sıvı pikteki mangan, demir ve fosforun oksidasyonu ile ortama bir miktar ısı katkısı sağlanır.

Oksijen fırını ürünü olan çelik, 1.537-1.650 °C arasında kimyasal analizi yapıldıktan sonra doğrudan döküm proseslerine veya ikinci bir arıtma işlemine gönderilir. Burada katılaştıran çelik, yarı üretilmiş durumdayken kare, dikdörtgen veya plaka hâline getirilir. Fırına oksijen gönderilir ve kaynama başlatılır. Böylece sıvı metaldeki silisyumun silisyum dioksit dönüşmesi ve silisyum dioksit diğer cürufla reaksiyona girmesi sağlanır. Aynı zamanda sıvı metaldeki karbonun yanmasıyla karbonmonoksit gazı açığa çıkar. Böylelikle istenmeyen karbon uzaklaştırılır.

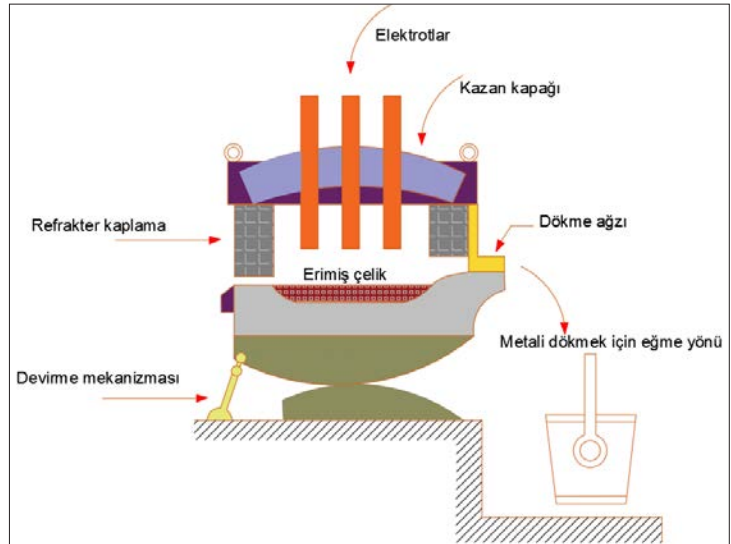
Oksijen fırınının içi, bazik karakterdeki magnezyum oksit veya magnezya refrakter tuğlalarla döşenmiştir. Magnezyum oksit, fırına verilen ergimiş demirdeki fosfor ve kükürdü alarak cürufla oluşturur. Bazik oksijen fırınlarının yükseklikleri genellikle 10-11 metre, yük kapasiteleri yaklaşık olarak 250 tondur. Çelik üretimi, bu fırınlarda 20-30 dakikada gerçekleşir.

3.1.4. Elektrik Ark Yöntemi

Çoğunlukla hurdalardan çelik üretmek için kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin amacı hurda çeliği tekrar kullanıma sunmaktır. Sistemin enerji ihtiyacı, diğer yöntemlere göre daha fazladır. Fransız Heroult (Herolt) tarafından 1899 yılında bulunmuştur.

Elektrik ark yöntemiyle alaşımlı çelikler üretilir. Elektrik ark fırınlarında (EAF) özellikle paslanmaz çelik üretimi yapılır. Normal şartlarda bu fırınların yük kapasiteleri 50-150 ton arasındadır. Üretim süresi, 45 dakika ile 2 saat arasındadır. Fırında bulunan hurda ergidiğinde fırın sıcaklığı 1.650 °C'yi geçmelidir. Hurda malzeme olarak içerisinde düşük atık madde içeren yüksek kalite hurda tercih edilmelidir.

Çelik üretimine başlamadan önce hurdalar fırına yüklenir ve fırının kapağı kapatılır. Kapağın iç tarafında elektrik iletimi için gerekli, fırının içine inip kalkabilen grafit elektrotlar bulunur (Şekil 3.1). Bu elektrotlar, fırındaki ürünün içine daldırılır. Verilen akım,



Şekil 3.1: Elektrik ark yöntemiyle çelik üretimi



elektrotlar aracılığıyla ürüne geçerken ark oluşturur. Ark nedeniyle oluşan ısı, hurdaları eritir. Erime işlemi sırasında kimyasal reaksiyonlar sonucu istenen çeliğin elde edilebilmesi için gerekli ürünler yüklenir. Oksijen fırınında olduğu gibi çeliğin saflığını artırmak için oksijen üflenir. Oluşan cüruf, sistemden alınır.

Modern bir ark ocağının (fırın) her ergitmede 150 ton çelik üretme kapasitesi vardır. Bu işlem 90 dakika gibi bir sürede tamamlanır. Bu fırının avantajı, eriyiğin içine katkı maddesi eklenmeden temiz bir ısıtma sağlamasıdır. Elektrik ark yönteminin diğer adları **elektro cüruf ergitme yöntemi** ve **elektro çelik yöntemidir**.

3.2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Ürün hâlindeki çeliklerin birçok türü vardır. Çelik türleri, kullanılacakları yerin özelliğine göre belirli içeriklerde üretilir. Çeliklerin belirli içeriklere göre sınıflandırılması, kullanım alanına göre seçimlerini kolaylaştırır. Çelikler aşağıdaki ölçütlere göre sınıflandırılır:

- ◆ Çeliğin üretim yöntemi
- ◆ Çeliğin kullanım alanı
- ◆ Çeliğin kimyasal bileşimi
- ◆ Çeliğin kalitesi
- ◆ Çeliğin sertleştirilme ortamı

3.2.1. Çeliklerin Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırılması

Dört farklı çelik üretim yöntemi vardır. Üretilen çeliklerin özellikleri de birbirinden farklıdır. Çelikler genellikle üretildikleri fırınların ismini alır. Örneğin Bessemer çeliği böyle bir üründür. Çelikler üretim yöntemlerine göre şu şekilde sınıflandırılır:

- ◆ Sıcak haddelenmiş çelikler
- ◆ Soğuk haddelenmiş / çekilmiş çelikler
- ◆ Üretim sırasında kullanılan çelikler (Siemens-Martin çeliği, oksijen konvertör çeliği, pota çeliği)
- ◆ Oksijen giderme yöntemine göre üretilen çelikler (kaynar çelik, durgun çelik, yarı durgun çelik)

Günümüzde en fazla kullanılan üretim sistemleri, bazik oksijen fırını ve elektrikli ark fırınıdır. Bu sistemlerden çıkan ürünler, kaliteli ve üretim hızları yüksektir.

3.2.2. Çeliklerin Kullanım Alanlarına Göre Sınıflandırılması

Çelikler otomotiv, inşaat, makine gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle çeliklerde olması istenen dayanım değerleri farklılık gösterir. Çelikler, kullanım alanlarının adlarına göre şu şekilde sınıflandırılır:

- ◆ Yapı çelikleri
- ◆ Makine imalat çelikleri



- ◆ Transmisyon çelikleri (soğuk çekilmiş, yuvarlak kesitli)
- ◆ Kolay kaynak çelikleri
- ◆ Takım çelikleri [Talaş kaldırmada kullanılan takım uçları genellikle elmastr (karbür).]
- ◆ Paslanmaz çelikler
- ◆ Kalitesiz yumuşak çelikler

3.2.3. Çeliklerin Kimyasal Bileşenlerine Göre Sınıflandırılması

Çeliğin içyapısı yani mikro yapısı, içerdiği elementin adı ve miktarıyla ilgili sınıflandırma yöntemidir. Bu sınıflandırmada temel ölçüt, karbon miktarıdır. Çelikler, kaliteye hangi elementin hangi oranda etki ettiğini kolaylaştıran kimyasal bileşenlerine göre şu şekilde sınıflandırılır:

- ◆ Karbonlu çelikler:
 - Düşük karbonlu çelikler ($C < \%0,25$)
 - Orta karbonlu çelikler ($\%0,25 < C < \%0,55$)
 - Yüksek karbonlu çelikler ($\%0,55 < C$)
- ◆ İçerdikleri alaşım elementine göre çelikler:
 - Manganlı çelikler
 - Krom-nikel içeren çelikler
 - Paslanmaz çelikler
- ◆ Alaşımlı çelikler:
 - Düşük alaşımlı çelikler (alaşımlı element oranları toplamı $< \%5$)
 - Yüksek alaşımlı çelikler (alaşımlı element oranları toplamı $< \%5$)

3.2.4. Çeliklerin Kalitelerine Göre Sınıflandırılması

Çeliğin seçiminde ve sınıflandırılmasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta kalitesidir. Çelik kalitesinin belirlenmesinde içerdiği element, uygulanan ısıl işlem, haddeleme türü, üretim yöntemleri gibi birçok dış etken vardır. Çelikler, kalitelerine göre şu şekilde sınıflandırılır:

- ◆ Karbon çeliği levhalar:
 - Standart kalitede
 - Dövme kalitesinde
 - Gemi sacı kalitesinde
 - Basınçlı ürün üretebilme kalitesinde
 - Soğuk çekme kalitesinde



- ◆ Sıcak haddelenmiş çelik çubuklar:
 - Standart kalitede
 - Aks mili kalitesinde
 - Rulman yapımına uygun kalitede
 - Dövme kalitesinde
 - Silah namlusuna uygun kalitede
- ◆ Alaşımli çelik plakalar:
 - Genel yapı çeliği kalitesinde
 - Çekme kalitesinde
 - Derin çekme kalitesinde
- ◆ Sıcak haddelenmiş karbonlu çelikler:
 - Ticari kalitede
 - Soğuk ekstrüzyon (çubuk, boru, profil, tel gibi kalın cidarlı malzeme biçimlendirme tekniği) kalitesinde
- ◆ Sıcak hadde saclar / Soğuk hadde saclar:
 - Ticari kalitede
 - Derin çekme kalitesinde

3.2.5. Çeliklerin Sertleştirilme Ortamlarına Göre Sınıflandırılması

Çelik, içyapısına etki eden soğutma yardımcı malzemeleriyle soğutulabilir. Soğutma işlemleri genellikle su, yağ ve hava ile yapılır. Çelik her üç yöntemden sonra farklı dayanım özelliği gösterir.

Çeliklerin sertleştirilebilmesi, içerisindeki karbon oranıyla ilgilidir. Karbon oranı %0,20'den az olan çelikler sertleştirilme işlemine sokulamaz. Bu oran dışında kalan çelikler sertleştirilebilir.

Çeliğin sertleştirilebilmesi için ısı işleminden geçirilmesi gerekir. Genel anlamıyla ısı işlem, çeliğin ısıtıldıktan sonra kontrollü olarak soğutulmasıdır. Soğutma işlemi başlangıçta hızlı, zaman içinde yavaşlatılarak yapılır. Soğutma işleminin yapıldığı ortama **sertleştirme ortamı** denir. Sertleştirmede su, yağ ve hava kullanılır. Çelikler sertleştirildikleri ortamlara göre su çeliği, yağ çeliği, hava çeliği gibi adlarla sınıflandırılır.

3.3. ÇELİKTE KATKI ELEMANLARININ ETKİSİ VE ÇELİK STANDARTLARI

İstenilen özellikte çelik elde edebilmek için bazı alaşımların oluşturulması gerekir. Alaşım en az iki farklı metal elementin birleşmesiyle gerçekleşir. Bu nedenle çeliğe katılan metal elementlerin özelliklerinin ve katılma oranlarının iyi bilinmesi gerekir. Çeliğe katılan metal elementin az olması fayda sağlamazken fazla olması malzemeye kötü özellik

verebilir. Molibden, volfram, krom, nikel, mangan vb. en çok tercih edilen katkı elementleridir.

3.3.1. Çeliklere Özellik Katan Elementler

Çeliklerin kullanım yerine göre belirli özelliklerde olması istenir. Saf çelik çoğu durumda bu istekleri karşılamaz. Bunun için üretim sırasında ergiyik hâldeyken saf çeliğe bazı elementler katılır. Çeliğin içerisindeki karbon oranının en fazla %6,45 olması istenir. Karbonun fazla olması çeliğin sünekliğini, talaş kaldırmaya uygunluğunu, dövülme ve kaynak edilebilme derecesini azaltır.

Krom, nikel ve mangan, çeliğin dayanımını artırır; sertleştirilebilme özelliğini iyileştirir. Krom ve nikel bir arada bulunduğu çeliğin paslanmazlık özelliğini artırır. Aynı zamanda soğuk haddeleme özelliğini iyileştirerek ısıya ve aside dayanımını artırır.

Molibden, çeliğin tavlama kırılma kırılganlığını azaltarak ıslah edilebilme özelliğini artırır. Tungsten; süneklik, sertlik ve paslanmazlık özelliklerini iyileştirir. Vanadyum, ısıya karşı dayanımını artırır. Silisyum, elektrik iletkenliğini ve korozyona dayanıklılığını olumlu; soğuk şekil verme özelliğini olumsuz yönde etkiler.

Sıcaklığa dayanımını artırmak için çeliğe silisyum ve mangan; düşük alaşımlı çeliklerde iyi kaynak yapabilmek için nikel, molibden ve vanadyum katılır. Paslanmaz çelik elde edebilmek için çeliğe krom ve nikel katılır. Katılan elementler belirli bir oranda tutulmalıdır. Karışım miktarı %5'ten az olan çelikler düşük alaşımlı çelik, %5'ten fazla olan çelikler yüksek alaşımlı çelik olarak adlandırılır.

Mangan, çeliğin dayanımını yükseltir. Dövülebilme ve kaynak edilebilme özelliğini artırır. Ancak esnekliğini az da olsa olumsuz yönde etkiler.

Kobalt, çeliğin ısıya ve aşınmaya karşı direncini yükseltir. Bu nedenle çoğunlukla takım çeliklerinde kullanılır.

Alüminyum, çeliğin ısıl işlemler sırasında tane büyüklüğünü kontrol etmek için kullanılır. Çeliğin yaşlanma direncini artırdığı için derin çekme kalitesindeki saclarda az miktarda alüminyum kullanılır.

Bakır, çeliğin akma ve çekme dayanımını olumlu yönde etkilerken korozyona olan direncini yükseltir. Ancak kaynak edilebilme özelliğini etkilemez. kaynak edilebilme özelliğine katkı sağlamaz. Çelikte istenen bakır oranı %0,2 ile %0,5 arasındadır.

Hidrojen, çeliğin içerisine hurda ve havadaki nemden girerek çeliğin yorulma direncini azaltır. Bu nedenle çeliğin içerisinde hidrojen bulunması istenmez.

Azot; çeliğin dayanım ve sertliğini, parçanın talaşlı imalata uygunluğunu olumlu yönde etkiler. Ancak bu durum çeliği kırılma bir yapıya sokar. Azot, alüminyumla birlikte kullanıldığında nitrat oluşturularak çeliğin dayanım ve tokluk değerini yükseltir.

3.3.2. Çeliklerin Semboller ile Ayrılması

Çelikleri birbirinden ayırmak için belirli semboller kullanılır. Örneğin C60 sembolü, ıslah çeliğinin %0,6 oranında karbon içerdiğini gösterir. Düşük alaşımlı çeliklerin içerdiği karbon oranı ve bileşeni oluşturan diğer elementlerin oranı, alaşımın sembolünde gös-



terilir. Alaşıma katılan malzemelerin yüzdelik oranları, malzemeye özgü bir katsayı ile çarpılarak elde edilir. Üretimde kullanılan malzemelere has katsayılar şunlardır:

- ◆ Krom, kobalt, mangan, silisyum ve tungsten için 4
- ◆ Alüminyum, bor, berilyum, bakır, kurşun, molibden, niyobyum, tantal, titanyum, vanadyum ve zirkonyum için 10
- ◆ Metal dışı elementler için 100
- ◆ Bor için 1.000

1. Örnek: 17Cr3 çeliğinde %0,17 oranında karbon ve %0,75 oranında krom bulunur. 17Cr3 çeliğinin katsayısı 17 olduğu için çeliğin karbon oranı $17 \div 100 = 0,17$ olur. Bu değer %5'ten küçük olduğu için ($0,17 < \%5$) 17Cr3 çeliği düşük alaşımlı bir çeliktir. Çeliğin içerdiği %0,75 krom oranı, krom sembolünden sonra gelen 3'ün kromun katsayısı olan 4'e bölünmesiyle bulunur.

Yüksek alaşımlı çeliklerde katsayı bulunmaz. Yüksek alaşımlı çelik olduğunu göstermek için başına X işareti konur. Örneğin X5CrNiMo1810 çeliği yüksek alaşımlı bir çeliktir.

Çelik konusunda önemli standartlar bulunur. En fazla kullanılan standartlar; Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute-AISI), Alman Standartları (Deutsches Institut für Normung-DIN), Türk Standartları Enstitüsü (TSE), İngiliz Standartları (The British Standards Institution-BSI), Otomotiv Mühendisleri Birliği Standartlarıdır (Society of Automobile Engineers-SAE).

Çok fazla çelik türü olduğu için numaralandırmaya ihtiyaç duyulmuştur. Numaralandırma ilk olarak SAE tarafından yapılmıştır. Daha sonra AISI, benzer bir sistem uygulamıştır. SAE, 1975 yılında metal ve alaşımlar için birim numaralandırma sistemini Birleşik Numaralandırma Sistemi adıyla (Unified Numbering System-UNS) yayımlamıştır. UNS sisteminde malzemeyi sınıflandırmak için harfler ve sayılar kullanılır. Örneğin alaşım çelikleri için **G**, alüminyum alaşımları için **A**, bakır alaşımları için **C**, paslanmaz veya korozyona dayanıklı malzemeler için **S**, çinko ve çinko alaşımları için **2** ön eki kullanılır. SAE ve AISI, bunun için dört harf kullanır. İlk iki rakam çelik türünü ve ait olduğu alaşım grubunu, son iki rakam ise karbon miktarının binde olarak değerini verir.

SAE'ye göre UNS sisteminde çelik standartlarının karşılıkları:

10XX: Alaşımsız sade karbonlu çelikler (2. Örnek)

11XX: Otomat çelikleri

13XX: Manganlı çelikler

2XXX: Nikelli çelikler

3XXX: Krom-nikel alaşımlı çelikler

303XX: Isıya ve korozyona dayanıklı çelikler (Dikkat: Numaralandırma beş basamaklıdır.)

4XXX: Molibden alaşımlı çelikler

41XX: Molibden-krom alaşımlı çelikler (3. Örnek)

43XX: Molibden-krom-nikel alaşımlı çelikler



46XX: Molibden-nikel alaşımlı çelikler

514XX: Isıya ve korozyona dayanıklı çelikler (Dikkat: Numaralandırma beş basamaklıdır.)

515XX: Isıya ve korozyona dayanıklı çelikler (Dikkat: Numaralandırma beş basamaklıdır.)

SAE sistemine göre çeliğin karbon oranı 1'den büyük ($C > 1$) ise gösterim şekli beş haneli olur ve son üç basamağı karbon oranını verir. Karbon oranı 1'den küçük ($C < 1$) çeliklerin örnekleri (2. Örnek ve 3. Örnek) şunlardır:

2. Örnek: SAE1040

Alaşımsız, ortalama 0,40 sade karbonlu çeliktir. Numaralandırmada verilen SAE1040 kodunun son iki rakamı, çeliğin içerisindeki karbon miktarını göstermektedir. Son iki rakam 40 olduğuna göre bu çeliğin içerisindeki karbon oranı %0,40 demektir. 1040 çeliğinin içerisinde bulunan diğer metaller ve oranları aşağıda gösterilmiştir.

%C: 0,37-0,44

%Mn: 0,60-0,90

%S: 0,03

%P: 0,05

3. Örnek: SAE 4140

Ortalama 0,40 karbonlu molibden-krom alaşımlı çeliktir. Numaralandırmada verilen SAE4140 kodunun son iki rakamı, çeliğin içerisindeki karbon miktarını göstermektedir. Son iki rakam 40 olduğuna göre bu çeliğin içerisindeki karbon oranı %0,40 demektir. 4140 çeliğinin içerisinde bulunan diğer metaller ve oranları aşağıda gösterilmiştir.

%C: 0,38-0,43

%Mn: 0,75-1,00

%Cr: 0,80-1,10

%Mo: 0,15-0,25

%S: 0,03

%P: 0,04

SIRA SİZDE

Çeliğe su verme işleminin ne anlama geldiğini, çeliğe kaç kez su verilebileceğini araştırınız. Araştırmanızı ders saati içerisinde sınıfta arkadaşlarınıza anlatınız. Süre sınırlamasına uyararak diğer arkadaşlarınızın görüşlerini belirtmesine olanak tanıyınız.



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

- Aşağıdakilerden hangisi hurda çeliklerin eritilerek yeniden kullanılmasını sağlayan çelik üretim yöntemidir?**
 - Bessemer-Thomas
 - Asidik
 - Elektrik ark
 - Siemens-Martin
 - Bazik
- Aşağıdakilerden hangisi çeliğe adını veren, aynı zamanda çeliğin sertleştirildiği ortamlardan biridir?**
 - Demir
 - Kaya
 - Kum
 - Taş
 - Yağ
- Aşağıdakilerden hangisi çeliğin dayanımını artıran bir elementtir?**
 - Asit
 - Bakır
 - Cüruf
 - Nikel
 - Oksijen
- Aşağıdakilerden hangisi alaşımlı çeliktir?**
 - Dövülmüş
 - Karbonlu
 - Demirli
 - Manganlı
 - Haddelenmiş
- Aşağıdakilerden hangisi çeliğin istenilen özelliklere getirilmesi için yapılan işlemlerden biridir?**
 - Çelik bir yıl bekletilir.
 - Çeliğin üzeri boyanır.
 - Çelik yağlanır.
 - Çeliğe kaynak yapılır.
 - Çeliğin içine element katılır.
- Çeliklere numara verilmesinin nedeni aşağıdakilerden hangisidir?**
 - Numaralı çeliklerin yumuşak olması
 - Çelik türlerinin fazla olması
 - Depolanmayı kolaylaştırması
 - Numarasız çeliğin kırılma dayanımının artırılması
 - Taşıma kolaylığı sağlaması

4. ÖĞRENME BİRİMİ



TEMEL KAVRAMLAR

ısıl işlem, gerilme, yumuşatma, segregasyon, sertlik, tavlama, kristalleşme, menevişleme

ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ



KONULAR

- 4.1. ISIL İŞLEMİN AMAÇLARI
- 4.2. TAVLAMA ÇEŞİTLERİ
- 4.3. SERTLEŞTİRME
- 4.4. YÜZEY SERTLEŞTİRME

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ◆ Isıl işlemin amacı
- ◆ Çeliklerde tavlama işlemi
- ◆ Çeliklerde sertleştirme işlemi
- ◆ Yüzey sertleştirme çeşitleri

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Sert metal kullanılması gereken yerde yumuşak metal kullanılırsa ne olur? Düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

4.1. ISIL İŞLEMİN AMAÇLARI

Çeliklerde ısıl işlem çoğu zaman malzemenin (sertlik, tane yapısı, dayanım) mekanik özelliklerini güçlendirmek için yapılır. Bunun için çelik, bir takım ısıtma ve soğutma işlemlerinden geçirilir. Çeliğe yapılan ısıl işlem genellikle çeliğin yüzey kısmını ilgilendirir.

Isıl işlem sırasında bazen istenmeyen özellikler ortaya çıkabilir. Isıl işlem bilinçli olarak yapılabileceği gibi başka bir işlem sonucunda ya da yan etki olarak ortaya çıkabilir. Isıl işlemlerin tavlama ve sertleştirme olmak üzere iki türü vardır. Bunların yapıları ve malzemeye kazandırdıkları özellikler farklıdır.

Isıl işlemlerin belirli bir amaç, plan ve program çerçevesinde yapılması harcanan zamanı ve maliyeti düşürür. Metal ve alaşımların bazı özellikleri, kullanıldığı yer için uygun olmayabilir. Mekanik özellikler ek işlemlerle istenen seviyeye getirilebilir. Malzemedeki istenen özelliğe göre ısıl işlem yapılması, amaçlanan sonucu verir. Parçaya yumuşatma tavlama, gerilim giderme tavlama, sertleştirme vb. ısıl işlemler uygulanabilir.

4.1.1. Isıl İşlem

Malzemeye etki eden yüklere karşı malzemenin dayanımını artırmak için ısıl işlem yapılır. Bazı durumlarda bunun tam tersi istenebilir. Bu durumda malzemeye yumuşatma işlemi yapılmalıdır. Isıl işlemler genel olarak şu amaçlarla yapılır:

- ◆ Talaşlı üretim için uygun özellik kazandırmak.
- ◆ Soğuk şekil vermenin malzeme üzerindeki etkilerini ortadan kaldırmak.
- ◆ Malzemenin iç yapısındaki gerilmeleri gidermek.
- ◆ Mikro segregasyonu (malzemenin özelliğini kaybetmesi) ortadan kaldırmak ve tane büyüklüğü kontrolünü sağlamak.

4.1.2. Demir-Sementit Diyagramları

Demir-sementit bir denge diyagramıdır. Bu faz diyagramlarından alaşımın içerisindeki her fazın kendine özgü fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenebilir. Belirli bir sıcaklıkta alaşımın hangi faz içinde olduğu anlaşılabilir. Isıl işlem görmüş bir alaşım için de demir-sementit diyagramından yararlanılabilir.

Demir-karbon diyagramları incelendiğinde saf demirin ergimiş hâle gelmeden önce iki kez yapı değişikliğine uğradığı görülür. Başlangıçta ferrit olarak bulunan saf demirin hacim merkezli kübik yapısı, 912 °C'ye ulaştığında yüzey merkezli kübik yapıya dönüşür. Bu yapı, östenit fazında bulunur (Şekil 4.1). Dönüşen faz 1.394 °C'ye kadar devam eder. Bu sıcaklıktan sonra ferrit [δ] bölgesinde] olan hacim merkezli kübik bir yapıdaki faza dönüşür ve sıcaklığın 1.538 °C'ye ulaşmasıyla erir.

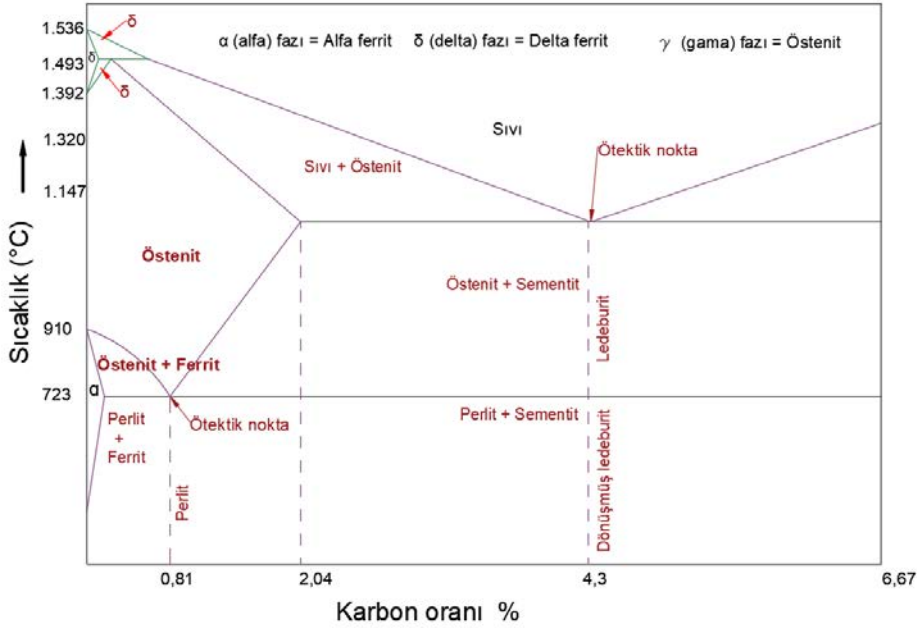
Demirin sementit fazına gelmesi için içerisindeki karbon oranının %6,67'ye çıkması gerekir. Bu karbon miktarında demir-karbür veya diğer adıyla sementit oluşur. Diyagram sayesinde sıcaklıkla bağlantılı olarak sementit oluşumu gözlemlenebilir. Demir-sementit diyagramında oluşan fazlar; perlit, östenit, ferrit, sementit ve ledeburittir. Sert ve kı-



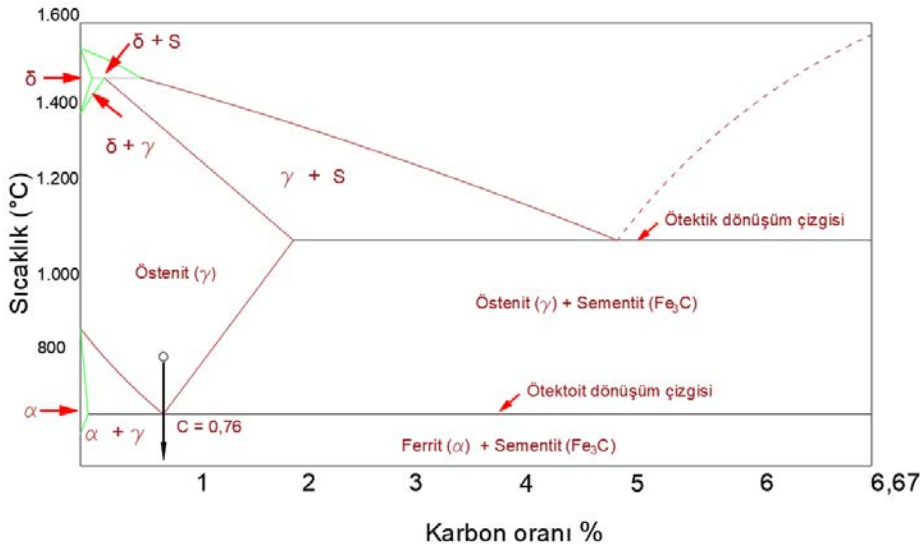
rılğan yapıdaki sementitin özgül ağırlığı düşüktür. Sementit, çelik içerisinde bulunduğu zaman çeliğe dayanıklılık ve sertlik verir.

Perlit, %0,80 karbon içeren ötektit bir karışımdır. 723 °C'de çok yavaş soğumayla oluşur. Çoğu ısıl işlem, östenit noktasında başlar. Ferrit [alfa (α) bölgesinde] katı çözelti olarak bilinir. Ferrit, demirdeki çözülmüş ve az miktardaki karbonun katı çözeltisidir. Ana fazın iki yeni faza dönüştüğü noktaya ve katı fazdaki karışımın erime noktasına **ötektit nokta** denir (Şekil 4.2).

4.2. TAVLAMA ÇEŞİTLERİ



Şekil 4.1: Demir-karbon diyagramı



Şekil 4.2: Sementit diyagramı



Tavlama, metallere yeni özellik kazandırmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Metallerin sertliğini azaltmak (yumuşatmak) veya onların iç gerilmelerini gidermek için uygulanır. Tavlama çeşitleri şunlardır:

- ◆ Yumuşatma tavlaması
- ◆ Normalizasyon tavlama
- ◆ Gerilim giderme tavlaması
- ◆ Yeniden kristalleştirme tavlama
- ◆ Difüzyon tavlaması

4.2.1. Tavlama İşleminin Amacı

Malzemeye son şekli verilmeden önce yapılan işlemlerden ilki tavlama işlemidir. Endüstriyel alanda parçanın özelliklerinin iyileştirilmesi için ısıtma işlemi kullanılır. Böylece malzemenin iç yapısı değiştirilir, iç gerilmeleri giderilir, talaş kaldırarak ya da dövülerek şekillendirilmesi kolaylaşır. Tavlama sayesinde metal yumuşatılır ve daha işlenebilir duruma getirilir. Malzemenin sünekliği artırılarak elektriksel özellikleri daha iyi duruma getirilir. Tavlama, kırılabilirliği de önleyen bir ısıtma işlemidir.

Tavlama ısıtma sıcaklığı kadar soğutma şekilleri ve süreleri de önemlidir. Hızlı soğutulduğunda malzemenin iç yapısı belli bir özellik (mekanik özellikler vb.) kazanırken yavaş soğutulduğunda başka bir özellik kazanır.

4.2.2. Çeliklerde Tavlama İşlemi

Çeşitli tavlama yöntemleri sayesinde çeliğe farklı özellikler verilebilir. Bu tavlama yöntemlerinden biri de yumuşatma tavlama işlemidir. Yumuşatma tavlama işleminde çelik, sertlik nedeniyle işlenemez durumda olabilir.

Oda sıcaklığındaki çeliğin iç yapısındaki karbür, çökeltiler hâlinde bulunur. Karbon oranı arttıkça karbür plakalarının yoğunluğu ve buna bağlı olarak malzemenin sertliği artar. İnce uzun yapıda bulunan karbür plakaları tavlama işlemiyle küresel forma getirildiğinde çeliğin yumuşaması sağlanır. Sertlikleri nedeniyle işlenemez durumdaki çelikleri yumuşatmak için yapılan bu işleme **yumuşatma tavlama** adı verilir.

Tavlama işlemleri sırasında bazen tane irileşmesi meydana gelir. Tane irileşmesi istenmiyorsa malzemenin sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılması ve normal şartlar altında soğumaya bırakılması gerekir. Yavaş olması gereken soğuma işlemi hızlı olduğu için ince taneli yapı meydana gelir. Yapılan bu işleme **normalizasyon tavlama** adı verilir.

Malzemelerin çok hızlı ısıtılmaları ve soğutulmaları sırasında iç gerilmeler olması kaçınılmaz bir durumdur. Malzemenin sıcaklığı, iç gerilmeleri gidermek için en yüksek kullanım sıcaklığının üzerine çıkarılır. Aynı sıcaklıkta iki saat kadar bekletilerek işlem tamamlanır. Bu işleme **gerilim giderme tavlama** adı verilir.

Plastik şekil verme işlemleri yapılırken parça kenarlarında kalıcı yapı bozulmaları oluşur. Bu bozulma, sertliği artırdığı gibi parçanın elektrik iletme özelliğini de düşürür.



Malzeme, kalıcı hasar öncesindeki hâline dönmesi için faz dönüşüm sıcaklığının altındaki değerde bir saat kadar bekletilir. Ardından yavaş soğutma işlemi uygulanarak tane yapısı düzenli forma getirilir. Bu işlemlerin oluşturduğu tavlamaya **yeniden kristalleştirme tavlama** adı verilir.

Tavlama yapılan metalin içerisindeki taneleri irileştirmek için yapılan işleme **difüzyon tavlama** adı verilir. Tavlama yapılacak malzeme, içerisindeki karbon miktarı dikkate alınarak ısıtma işlemi uygulanır. Tavlama için 1.050-1.300 °C olan tavlama sıcaklığında uzun süre bekletilir. Difüzyon tavlama yapıldıktan sonra malzeme yavaş yavaş soğutulur.

4.3. SERTLEŞTİRME

Üretilen parçalara çalışacakları yerdeki şartlara göre sertleştirme işlemi uygulanır. Sertleştirme işlemi, parçanın tamamına uygulanabileceği gibi sadece yüzeyine de uygulanabilir. Bu gibi durumlarda ısıl işlem uygulama tekniği değişiklik gösterir.

Çelik malzemenin yüzeyinde ince bir tabaka sertleştirilecekse **yüzey sertleştirme** işlemi uygulanır. Sertleştirme işleminde çelik, östenit bölgeye kadar ısıtılır ve bütün yapının bu faza dönüşmesi beklenir. Daha sonra çok hızlı bir şekilde soğuma gerçekleştirilir. Oluşan sert yapıya **martenzit** adı verilir.

4.3.1. Çeliklerde Sertleştirme İşlemi

Çeliğin çekirdeğine işleyecek bir sertleştirme yapabilmek için kütleli sertleştirme işlemi uygulanmalıdır. Parçanın kullanım yerine göre tamamının veya bir kısmının sertleştirilmesi gerekebilir. Bu durumda parçanın cidar yüzeyi (kenar yüzeyi, dış yüzey) boyunca veya çekirdeğine kadar sertlik işlemleri uygulanır. Sertleştirme işlemi, yapılaş özelliklerine göre kütleli ve yüzeysel sertleştirme olarak iki kısma ayrılabilir. Sertleştirme işlemleri şunlardır:

- ◆ Su verme
- ◆ Menevişleme
- ◆ Martemperleme
- ◆ Ostemperleme

Su verme işlemi sonucunda malzeme çok sert ve kırılgan duruma gelir. Hızlı soğutma yapıldığı için malzemede iç gerilmeler oluşur.

Menevişleme işlemi malzemedeki istenen tokluk, sertlik ve kırılganlık özelliklerine göre farklı sıcaklık ortamlarında uygulanabilir. İşlem sırasında su verilerek soğutulan parçada çatlak oluşabilir. Çatlak oluşma riskini düşürmek için 60-80 °C'ye kadar soğuyan parçaya menevişleme yapılması gerekir.

Martemperleme işleminde amaç, su vermedeki çatlakların önlenmesi ve malzemenin sertleştirilmesidir. Martemperleme, kademeli su verme olarak da tanımlanır. Bunun için malzeme, östenitleştirme işlemi uygulandıktan sonra kurşun veya tuz banyosuna daldırılır. Banyonun sıcaklığı martenzitik dönüşümün başlama sıcaklığının üzerinde olmalı-



dır. Malzeme, yüzeyi ve merkezindeki sıcaklıklar eşit oluncaya kadar bu banyo içerisinde bekletilir. Daha sonra parçaya su verilerek tamamen martenzitik bir yapı elde edilir. Böylece parça sertleştirilmiş olur.

Ostemperleme işleminde malzeme, martemperleme işleminde olduğu gibi östenitlendirildikten sonra kurşun veya tuz banyosuna daldırılır. Banyonun sıcaklığı, martenzitik dönüşümün başlama sıcaklığının üzerinde olmalıdır. Malzeme, dönüşüm tamamlanuncaya kadar banyoda bekletilir ve banyodan çıkarılır. Açık havada soğumaya bırakılarak ostemperleme işlemi tamamlanır. Böylece malzeme sertleştirilmiş olur. Ostemperleme işlemi orta karbonludan yüksek karbonlu demir alaşımlarına kadar uygulanır.

4.3.2. Su Verme İşlemi

Su verme işlemi çeliklere uygulanan bir ısı işlemidir. Bu işlemde çelik, yüksek sıcaklıkta, akışkanlığı artmayacak seviyede genellikle 880 °C'ye kadar ısıtılır. Isınan çelik daha sonra su, yağ veya tuz banyosuna daldırılır. Hızlı soğuma sayesinde martenzit bir yapı elde edilir. Su verme işlemi basit, kesikli ve duraklı olarak yapılabilir.

Basit su verme, malzemeye sürekli olarak su veya yağ verme işlemidir. Soğutma sırasında karmaşık biçimli parçaların iç ve dış kısımları arasında büyük sıcaklık farkı olabilir. Bu fark, çatlama ve çarpılma tehlikesi doğurur.

Kesikli su verme işleminde östenitlenmiş parça önce 300 °C'ye kadar soğutulur. Daha sonra iç ve dış kısımlar arasında sıcaklığın dengelenmesi beklenmeden, ortam değiştirilerek yavaş biçimde soğutulur. Böylece ideal su verme koşullarına bir ölçüde yaklaşılar. Ara sıcaklığın seçimi ve yakalanması deneyim gerektirdiğinden bu yöntem sık olarak uygulanmaz.

Duraklı su verme işleminde tuzlu ortam tercih edilir. Malzeme, iç ve dış sıcaklığı dengelenene kadar tuzlu su banyosunda bekletilir. Beynit dönüşümü (Östenit fazından izotermal dönüşüm sonucunda oluşur.) başlamadan, malzeme dışarı alınarak yavaşça soğuması beklenir. Soğutucu olarak yağ veya hava kullanılabilir. Parça sabit sıcaklıkta bekletildiğinde östenit kolayca şekil değiştirir. Böylece iç gerilmeler giderilmiş olur. Bu sırada parçanın her yerinde martenzit oluşumu gerçekleşir. Böylece dönüşüm gerilmeleri azaltılır ancak sıcak banyo sırasında yavaş soğutma nedeniyle perlit yapısının engellenmesi zorlaşır. Duraklı su verme, alaşımlı çelikler için tercih edilen bir işlemidir. Parçanın ince kesitli olması durumunda bazı alaşımsız çeliklere de uygulanabilir.

Martemperleme yapılacak çeliklerin martenzit son bulma sıcaklığı (Ms) çok yüksek olmamalıdır. Sıcaklığın çok yüksek olması, elverişli yayınma koşulları nedeniyle beynit dönüşümünü kolaylaştırır. Bu durumda banyoda bekletme süresi yeteri kadar uzun olmayacaktır. Olumsuzlukların önüne geçmek için ıslah veya takım çeliklerinde banyo sıcaklığı 180-240 °C arasında tutulur. Bu ısı aralığına uygun çelikler en az %0,6 karbon içerir.

4.4. YÜZEY SERTLEŞTİRME

Sürtünmeye maruz kalan parçalarda sertleştirme işlemi yapılmalıdır. Çeliğin aşınma di-



rencini artırmak için nitrürleme tekniği ile sertleştirme işlemi yapılır. Böylece korozyon direnci de artırılan çeliğin ömrü uzar. Parçanın çalışması, yüksek sıcaklıklarda da sertliğini kaybetmeden devam eder. Nitrürleme işleminde işlem sıcaklığı diğer yöntemlere göre daha düşüktür. Yüzey sertleştirme civata, yatak, mil, valf, dişli, shaft gibi titreşimli ve sürtünmeli alanlarda çalışan parçalara uygulanır.

4.4.1. Kimyasal Bileşimi Değiştirilerek Yapılan Yüzey Sertleştirme

Isıl işlemin uygulandığı ve parça yüzeyinin kimyasal bileşiminin değiştirildiği bir yüzey sertleştirme işlemidir. İşlemin diğer adı **termokimyasal işlemdir**. Termokimyasal işlem yapılan malzemelerin yüzeyi sert olmakla birlikte iç kesimleri yumuşak olarak kalır. Çekirdeğe kadar sertleşme yeteneği olmayan çeliklerde uygulanır. Bu çeliklerde sertleştirme işlemi için yeterli karbon miktarı yoktur. Sertleştirme yapılacak çeliğe yüzey sertleştirmeye yetecek kadar karbon takviyesi yapılmalıdır. Termokimyasal işlem, sementasyon ve nitrürleme olmak üzere iki şekilde uygulanır.

Sementasyon: Parçanın darbe dayanımını ve aşınma direncini artırmak için yapılan işlemdir. Böylece parça yüzeyinde ince bir katman sertleştirilmiş olur. Sementasyon katı, sıvı ve gaz fazlı ortamlarda gerçekleşir. Yüzeydeki karbon oranı artırılarak %0,7-0,8'lere getirilir. Bu oranlardan fazla emdirilen karbon, karbür çökmesine yol açar. Çökelen karbür kırılabilirliği artırdığı için yüzeyin hasar görmesine neden olur.

Sementasyondaki asıl önemli nokta etkin sementasyon derinliğidir. Karbon emdirme işleminden sonra yüzey, karbon emdirme sıcaklığında su verme işlemi uygulanarak sertleştirilir. Su verme işleminden sonra menevişleme yapılmalıdır. Menevişleme, en yüksek aşınma dayanımını elde etmek için 300 °C'de yapılmalıdır.

Katı faz sementasyonunda karbon verici olarak odun kömürünün kullanılmasına **karbürasyon** adı verilir. Çeliğin yüzeyine sertlik kazandırmak için atomik difüzyonla karbon atomları emdirilir. Karbürasyon işleminden önce karbon oranı %0,1-0,2 arasında olan çelik sert değildir. Karbürasyon işlemiyle karbon oranı %0,85-1,3 arasındaki değerlere getirilerek çeliğin yüzeyi sertleştirilir. Sementasyon sırasında çeliklerde oluşan yapı kabalaşması, istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle difüzyon olayını hızlandırmak için krom, nikel ve molibden kullanılır.

Sıvı fazda yapılacak sementasyon, tuz banyosunda gerçekleştirilir. Kullanılan tuzlar genel olarak sodyum siyanür, potasyum siyanür gibi karbon veren tuzlardır. İşlem görece çelik parçalar, tuz banyosuna sokulmadan önce nemden arındırılmak amacıyla 100 °C'nin üzerinde ısıtılarak kurutulur. Nemli olarak sementasyona sokulursa patlama riski doğabilir. Tuz banyosunda bekletme süresi 15-45 dakika arasındadır. Tuz banyosunda siyanür tuzu kullanılması nedeniyle bu işleme **siyanürize işlem** de denir.

Sıvı faz sementasyonunda çelik parçaların yüzeyine karbon atomlarıyla birlikte azot atomları da eklenir. Azot atomlarının eklenmesiyle nitrür, karbon atomlarının eklenmesiyle sementit oluşur. 0,5 mm'lik bir nitrür derinliği için işlem süresi 10 saate kadar uzar. Bu işlemde yüzeye azot atomunun verilme sıcaklığı 570 °C'dir. Nitrür, doğası gereği sert olduğu için tekrar bir sertleştirme yapılmasına gerek yoktur. Sementasyonda tuz yerine siyanür banyosu kullanılırsa daha sert yüzey elde edilir.



Gaz fazında yapılan sementasyonda karbon verici olarak karbonmonoksit veya metan gazı kullanılır. İşlem sıcaklığı 510-550 °C arasındadır. Özel fırınlarda cıvata, pim, vida vb. küçük parçalara uygulanır. Sertleşen yüzeyler genellikle ince olur. Gaz sementasyonu işleminde fırına gönderilen karbon verici gaz, sementasyon sıcaklığına ulaştığında karbon atomlarını çeliğe iletir. Böylece parça kabuğundaki karbon yüzdesinin yükselmesi sağlanır. Gaz fazında yapılan sementasyon işlemi yavaş gerçekleşir. Çünkü gaz atomlarının etkisini göstermesi zaman alır.

Nitrürleme: Malzeme yüzeyinde nitrür tabakası oluşturma işlemidir. Bu tabaka yardımıyla malzeme yüzeyi sertleştirilir. Bu tabaka 500-580 °C'de azot atomunun parça yüzeyine yayılmasıyla gerçekleşir. Nitrürleme işleminde kullanılan çeliklerde sertleşmeye yetecek kadar karbon atomu bulunmaz. Sementasyonda çeliğe karbon atomları, nitrürlemede ise azot atomları emdirilir. Nitrür katmanındaki sertlik 72-80 rockwell [rackvel (sertlik birimi)] kadardır. Nitasyon işlemi, çelik ferrit yapıdayken uygulanır.

4.4.2. Kimyasal Bileşimi Değiştirilmeden Yapılan Yüzey Sertleştirme

Malzemenin kimyasal bileşimini değiştirmeden uygulanan işlemlere **termal işlem** denir. Parçanın sadece yüzeyine uygulanır. Çeliğin yüzeyindeki bileşiminde herhangi bir değişiklik meydana getirmez. Yüzey işlemleri faz değişimi sayesinde uygulanır. Önce östenit dönüşüm sağlanacak kadar ısıtılan yüzey daha sonra su verilerek martenzit fazına dönüştürülür. Böylece malzeme yüzeyi sertleşmiş olur fakat derine gidildikçe iç kısım daha yumuşaktır. Termal işlemler alev, indüksiyon, lazer veya daldırma yöntemleriyle yapılır.

Alevle Yüzey Sertleştirme: Fırına giremeyecek kadar büyük parça yüzeylerinin sertleştirilmesi için tercih edilir. Buradaki en temel unsur, yüzeyin çok kuvvetli bir ısı kaynağıyla su verme sıcaklığına çıkarılması ve soğutularak sertleştirilmesidir. Alevle yüzey sertleştirme, 6 mm'ye kadar %0,35-0,70 karbon içeren alaşımlı çeliklere uygulanır. Sertleştirme yapılacak parçanın yüzeyine oksiasetilen (oksijen ve asetilen karışımı) alevi tutularak sıcaklık östenit bölgeye gelene kadar yükseltilir. Operatörün deneyimi, çeliğin renginden doğru sıcaklığı anlamasını gerektirdiği için çok önemlidir. Sertleştirme işlemi dört yöntemle yapılabilir.

Durağan alevle sertleştirme yönteminde belirli bir bölge ısıtıldıktan sonra parçaya su verilir. Mil uçları, büyük parçalar ve özel çelik döküm parçalar bu yöntemle sertleştirilir.

İlerleyen alevle sertleştirme yönteminde parçaya su verme işlemi vardır. Alev başlığı ve su başlığı birlikte hareket ederken parça sabittir. Alev, parça üzerinde ilerletilirken (ısıtım işlemi yapılırken) su verme başlığı ile parçaya su verilir. Alev, malzemenin yüzeyinde doğrusal olarak hareket ettirilir. Yataklar ve tezgâh kızakları bu yöntemle sertleştirilir.

Döndürerek sertleştirme yönteminde parça, alev önünde dönmesini sağlayacak bir apanara oturtulur. Bu düzenekte döndürülerek ısıtılan parça, alev önünden alınır. Parçaya su verilerek sertleştirme işlemi tamamlanır. Dişli çark, mil, teker gibi yuvarlak parçalar bu yöntemle sertleştirilir.

Kombine (karışık) işlemle sertleştirme yöntemi, ilerleyen ve dönen yöntemlerin birle-



şimidir. Bu yöntem, sertleştirme yöntemlerinin alevle birlikte uygulandığı melez bir işlemdir. Parça, alev ve soğutucu kafaların önünde döner. Kafalar, parça uzunluğu boyunca birlikte hareket eder. Uzun miller bu yöntemle sertleştirilir.

İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme: Otomasyonla kontrole izin verdiği için tercih edilir. Yöntemin ekonomik olabilmesi için sertleştirme yapılacak parça adedinin fazla olması gerekir. İşlemler sırasında sertleştirilecek parçanın çevresine indüksiyon bobini sarılır. Bobinden geçirilen yüksek akıma karşı gösterilen dirençle bir sıcaklık oluşur. Yüzey, oluşturulan sıcaklıkla östenit sıcaklık değerine getirilir. Yüzey sertleştirme işlemi, parça yüzeyinin hızlı bir şekilde ısıtılıp soğutulmasıyla tamamlanır.

Alevle yüzey sertleştirme yöntemine benzemesine rağmen gerek işlem süresi gerekse yüzeyde oluşan yüksek ısıl birikimi nedeniyle daha verimli bir yöntemdir. İşlem sırasında hızlı soğutma yapılır ve bunun için genellikle su kullanılır. Su verme işleminden sonra çatlaklar ortaya çıkabilir. İç gerilmeleri gidermek için menevişleme yapılması önerilir. Menevişlemenin yapılacağı sıcaklık 150-200 °C arasında olmalıdır.

Daldırmayla Yüzey Sertleştirme: Karmaşık şekilli parçalar için tercih edilir. Bu işlemde parça, çok yüksek sıcaklıktaki sıvıya daldırılır. Diğer yöntemlerdeki gibi östenit sıcaklığına ulaşılan kadar bekletilir. Isı iletim katsayısı yüksek olan sıvıların tercih edildiği bir yöntemdir.

Daldırma yönteminde ek bir sisteme ihtiyaç olmadığı için işlem maliyeti düşük, üretim hızı yüksek ve karmaşık parçalar için uygundur. Bunun yanında sertleştirilecek tabaka kalınlığının ayarlanması zordur. Metal boyalarının parça yüzeyine yapışması, tuz banyolarında karbon azalması gibi olumsuzlukları da vardır.

Elektron Bombardımanı ve Lazerle Yüzey Sertleştirme: Düşük alaşımli çelikler ve yeterli miktarda karbon barındıran metallerde tercih edilir. Elektron bombardımanı yönteminde vakuma ihtiyaç vardır. Lazerle yüzey sertleştirme yönteminde vakuma ihtiyaç olmadığı için sertleştirme, gaz ile yapılır. Genel olarak her iki yöntemde kullanılan cihaz ve donanımların maliyeti fazladır. Bu yöntemlerin yüksek alaşımli çeliklerde uygulanmaları verimli, düşük alaşımli çeliklerde uygulanmaları verimsizdir. Yüksek alaşımli çeliklerin dışındaki sertleştirme işlemlerinde diğer sertleştirme yöntemlerinin kullanılması önerilir.

SIRA SİZDE

Öğrendiğiniz sertleştirme yöntemlerinden hangisinin daha verimli olduğunu sınıf ortamında tartışınız.



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Isıl işlemin amacı aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Metalleri ısıtmak
- B) Metalleri sertleştirmek
- C) Metalleri soğutmak
- D) Metalleri buharlaştırmak
- E) Metalleri ağırlaştırmak

2. Aşağıdakilerden hangisi çelik tavlama çeşitlerinden biridir?

- A) Ağırlaştırma
- B) Büzüşürme
- C) Genleştirme
- D) Hafifletme
- E) Küreselleştirme

3. Malzemeye uygulanan tavlamanın amacı aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Genleştirme
- B) Kaynaştırma
- C) Süngerleştirme
- D) Tozlaştırma
- E) Yumuşatma

4. Aşağıdakilerden hangisi çelikleri sertleştirme aşamalarından biridir?

- A) Demire dönüştürme
- B) İşleme ve kesme
- C) Depolama
- D) Isıtma ve soğutma
- E) Plastik kaplama



5. Aşağıdakilerden hangisi malzemenin kimyasal bileşimini değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemidir?

- A) Semantasyonla yüzey sertleştirme
- B) Alevle yüzey sertleştirme
- C) Daldırmayla yüzey sertleştirme
- D) Elektron bombardımanı ile yüzey sertleştirme
- E) İndüksiyonla yüzey sertleştirme

6. Aşağıdakilerden hangisi demirin faz dönüşümlerini gösteren diyagramlardan biridir?

- A) Bağlı nem diyagramı
- B) Sıcaklık ve basınç diyagramları
- C) Sertlik ve tavlama süresi diyagramları
- D) Demir-sementit denge diyagramı
- E) Isı ve zaman değişimi diyagramları

7. Aşağıdakilerden hangisi çeliklere su verirken kullanılan sıvılardan biridir?

- A) Azot
- B) Benzin
- C) Hava
- D) Klor
- E) Yağ

5. ÖĞRENME BİRİMİ



TEMEL KAVRAMLAR

korozif, elektrolit, anot, katot

KOROZYON



KONULAR

5.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ

5.2. KOROZYONDAN KORUNMA

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ◆ Korozyonun tanımı, elektrokimyasal korozyon
- ◆ Korozyondan korunma yöntemleri, korozyonun nedenleri, korozyona karşı alaşım ve kaplamanın önemi, katodik koruma

HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

1. Altın ya da gümüş kaplama ne demektir? Görüşlerinizi paylaşınız.
2. Altınla kaplanan metal altına dönüşür mü?

5.1. KOROZYON ÇEŞİTLERİ

Korozyonun ilk tanımına Platon'un (MÖ 427-347) çalışmalarında rastlanmıştır. Modern tanımı ise 1836'da Sir Humphrey Davy (Sör Hamfry Deviy) tarafından yapılmıştır. Yaklaşık olarak aynı zamanlarda Michael Faraday (Maykıl Faraday) kendi adıyla anılan elektrokimyasal etkiyle akım üretimi formüllerini üretmiştir.

Makineleri oluşturan elemanlar çalıştıkları ortamın etkisiyle çeşitli şekilde zarar görebilir. Bazı durumlarda bu etki, makinenin fonksiyonunu kaybetmesine neden olur. Demirin paslanması ve alüminyumun oksitlenmesinin nedeni korozyondur. En fazla karşılaşılan korozyon türü paslanmadır. İnsan tarafından doğal hâllerinden kopartılan her metal ve element bozulmaya yatkındır. Metallerdeki bu bozulma korozyon olarak gerçekleşir. Bir başka deyişle maddeler kararsız hâllerinden daha kararlı hâle geçmek ister. Korozyon, kararlı duruma geçmek için metallerin uğradığı doğal bir aşınma sürecidir.

Korozyonun gerçekleşmesinde başlıca etken su veya nemdir. Ancak saf suda korozyon çok yavaş ilerler. Havayla temas eden suda karbondioksit gazı çözünür ve su asidik hâle geçer. Asidik özellik kazanan suda paslanma daha hızlı gerçekleşir. Korozyon malzemeyi istenmeyen özelliklere maruz bırakır. Korozyona uğrayan malzemede döküntüler oluşur ve malzemenin ömrü azalmaya başlar. Ayrıca suya, toprağa veya kullanılan yüzeye düşen bu parçalar sağlığa çok zararlıdır.

Korozyon nedeniyle dünyada her yıl çok yüksek rakamlarda metal kaybedilir. Böylece geri dönüşüm için kullanılacak malzemede sıkıntı yaşanır. Korozyon çeşitleri üniform (benzer tarzda) korozyon ve bölgesel korozyon olmak üzere iki ana grupta incelenir.

Metal yüzeyin her noktasında aynı olacak şekilde (homojen) gerçekleşen paslanmaya **üniform korozyon** denir. Tüm korozyonlarda olduğu gibi korozif ortamlara temas eden metallerin yüzeyinde oluşur. Korozif ortamlar hava, su ve topraktır. Üniform korozyona **genel korozyon** da denilmektedir. Metallerin sadece havayla temas eden kısımlarında oluşan korozyona **bölgesel korozyon** denir. Bu korozyon türü üniform korozyonla benzer özellikler gösterir.

Bölgesel korozyon kendi içerisinde gözle görülebilen korozyon ve mikroskobik korozyon olmak üzere ikiye ayrılır (Tablo 5.1). Mikroskobik korozyonlar atomik seviyede gerçekleşir. Korozyonun etkileri reaksiyonun ilerleyen evrelerinde gözlemlenir.

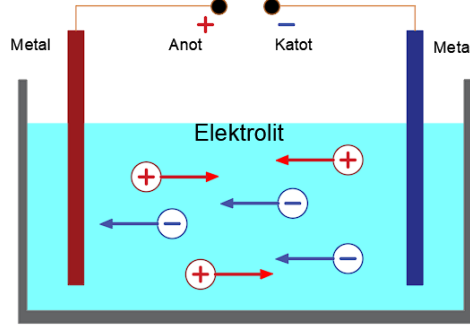
Tablo 5.1: Korozyon Çeşitleri

GÖZLE GÖRÜLEBİLEN KOROZYON	MİKROSKOBİK KOROZYON
Galvanik korozyon	Taneler arası korozyon
Aralık (çatlak) korozyonu	Gerilmeli korozyon
Oyuklanma (çukur) korozyonu	Yorulma korozyonu
Filiform (kabuk altı) korozyon	Mikrobiyolojik korozyon
Seçimli korozyon	
Erozyon korozyonu	
Kavitasyon korozyonu	
Fretaj (aşınma) korozyonu	

Aynı sistem içinde bulunan iki metalin birbirleriyle etkileşime girmesiyle **galvanik korozyon** oluşur. Bu korozyonda metallerden biri anot, diğeri katot olarak davranır. Her iki metal, elektriği ileten bir eriyiğin [sıvı çözelti (elektrolit)] içinde etkileşime girmiş olur. Bu etkileşimde anot olan metal diğer metale göre daha fazla korozyona uğrayacaktır.



Galvanik korozyonun bir başka tanımı, farklı elektron potansiyeline sahip iki metalin elektrolit görevi gören bir sıvı içerisinde etkileşime girecek korozyona uğrama sürecidir. Örneğin deniz suyu bir elektrolittir. Deniz suyuna temas eden metallerin bağlantı noktalarında galvanik korozyon görülebilir. Şekil 5.1’de elektrolitin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 5.1: Elektrolitin çalışma prensibi

Her metalin standart elektrik potansiyeli vardır (SEP). Standart elektrik potansiyelinin birimi voltuttur (V). SEP değeri kimi metallerde artı (+) değer alırken kimi metallerde eksi (-) değer almaktadır. Bu artı ve eksi yüklerin hareketi, galvanik korozyonun itici gücüdür. İki metal arasındaki gerilim 0,5 volttan fazlaysa korozyon olması beklenir.

Korozif ortamın, metalin çatlakları veya iki levha arasında kalan bölgelerden sızdığı yerde oluşturduğu korozyona **aralık korozyonu** denir. Aralık korozyonu yüzeyde oluşan korozyonlara göre daha hızlı ilerler.

Metallerin yüzeyleri korozyon oluşmaması için aktif metallerle kaplanır. Aktif metalle kaplanmayan metallerin uğradığı korozyon türüne **oyuklanma (çukur) korozyonu** denir. Bu korozyon, yüzeyde bulunan çukur ve çatlaklarda görülür. İlerlemesi yüzeyin altındadır. Bölgesel bir korozyon türü olmasına karşın en tehlikeli korozyondur. Korozyonun oluşmasıyla yoğunluğu artar ve metali o noktadan deler. Böylece oluşturduğu makine veya ekipmanı devre dışı bırakır.

Boya ve kaplama tabakasının altında gelişen ve metali eriten korozyona **filiform korozyon** denir. Çatlak korozyonunun başka bir türüdür. Kaplamanın zayıf bir noktasında başlar. Bu noktadan metal yüzeye ulaşan oksijen ve su (korozif ortam) korozyonu ilerletir. Boya tabakası su geçirmezse korozyon olayı başlamaz. Çatlaklarda ilerleyen filiform korozyonun en karakteristik özelliği, başka bir korozyonla karşılaşması hâlinde birbirlerini kesmemesidir. Birbirleriyle karşılaşan filiformlar başka yönlere doğru hareket eder. Filiform korozyon altın, fosfat, alüminyum gibi metallerin yüzeylerinde görülür.

Alaşım içerisinde bulunan metallerden birinin diğerinden önce korozyona uğramasına **seçimli korozyon** denir. Pirinç alaşımlarında çok sık görülen bir korozyon türüdür. Alaşımın içerisinde bulunan çinko korozyona uğrar ve alaşımdan ayrılır. Sarı renkteki pirinç metali, çinkonun ayrılmasıyla birlikte bakır rengine dönmeye başlar. Seçimli korozyon olayına **çinko azalması** da denir.

Boru içinde taşınan korozif bir akışkanın, borunun iç yüzeyinde oluşturduğu korozyona **erozyon korozyonu** denir. Akışkanın hızı ve taşıdığı maddeler korozyonun ilerleyişini artırabilir. Akışkan hızı azaltılarak, sıvıda çökeltme yapılarak veya metal (boru) katodik korunarak korozyon büyük oranda engellenebilir.

İvmelenmiş ve türbülanslı akışkanın içindeki gaz veya vakum kabarcıklarının metal yüzeyine çarpıp patlamasıyla oluşan korozyona **kavitasyon korozyonu** denir. Patlamayla birlikte metalin yüzeyindeki film tabakası parçalanarak sıvının akış yönünde oyuk ve çukurlar oluşur.



Belirli bir yük altında çalışan parçalar, yükten kaynaklı basıncı birbirinin yüzeyine aktarır. Çalışma sırasında titreşim olması kaçınılmazdır. Yük, titreşim ve sürtünme sonucunda gerçekleşen korozyona **fretaj korozyonu** denir. Korozyonun boyutu malzemenin temas yüzeyine ve taşıdığı yüke bağlıdır. Nem, sıcaklık gibi faktörler korozyonun boyutunu etkiler.

Metal tanelerinin sınırlarında gerçekleşen ve taneler arasındaki bağları bozan korozyona **taneler arası korozyon** denir. Metalin direncini düşürerek bozulmasını hızlandırır. Gözle görülemediği için tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir.

Mekanik gerilime maruz kalan metallerde (makine parçalarında) görülen korozyona **gerilmeli korozyon** denir. Gerilime bağlı olarak makine parçalarının yüzeylerinde çatlaklar oluşur. Çatlaklardan başlayan çukur korozyonu ilerleyerek makine parçasının aniden kopmasına neden olur.

Metallerin yorulması ve bu yorulma sonucunda yüzeylerde oluşan çatlakların büyümesiyle gerçekleşen korozyona **yorulma korozyonu** denir. Metal yorgunluğuyla birleşen çatlak korozyonu, metali delerek görevini yapmasına engel olur. Çatlak sayısının artması metal parçalarının kopmasına neden olur.

Mantar, bakteri gibi mikroorganizmalar tarafından başlatılan veya devam eden korozyona **mikrobiyolojik korozyon** denir. Metal yapı ve malzemelere çok ciddi zararlar verir. Metal yapıların uğradığı korozyonların %20'si mikrobiyolojik korozyon kaynaklıdır.

5.1.1. Kimyasal ve Elektrokimyasal Korozyon

Malzemenin bulunduğu ortamda elektriğin iletilmesiyle ilgili bir durum yokken kimyasal süreçlerle gerçekleşen korozyona **kimyasal korozyon** denir.

Oksitlenme bir kimyasal korozyondur. Kimyasal korozyon da nem ve oksijen bulunan ortamlarda meydana gelir. Metal yüzeyi ile oksijenin temas etmesi sonucunda kimyasal reaksiyonlarla oluşan oksit tabakadır. Oksitlenme hızı metal tabakanın koruyuculuk özelliğine bağlıdır.

Metallerin koroziv sıvılar içerisinde çözünmesiyle gerçekleşen **element azalması** bir kimyasal korozyon türüdür. Örneğin dökme demirdeki demir kaybı element azalmasıdır. Demir, ıslak kum veya suda çözünerek uzaklaşır.

Elektriğin iletildiği ortamda gerçekleşen korozyona **elektrokimyasal korozyon** denir. Bu korozyonda anot konumundaki malzemeden elektron kopartılır. Elektrokimyasal korozyonda bilinmesi gereken bazı terimler vardır.

Anot: Elektron ve iyon kaybıyla korozyona uğrayan metal elemandır.

Katot: Elektron alan ve korozyona uğramayan elemandır.

Elektrolit: Anot ile katodun içine konduğu elektrik iletme özelliği olan sıvıdır.

Fiziksel Temas: Anot ile katot arasında elektriksel teması sağlayan elemandır.

Elektrokimyasal korozyonda reaksiyonlar elektriğin iletilmesiyle anodik ve katodik olarak gerçekleşir. Anodik reaksiyon, anot metalindeki atomların elektron ve iyonlarına ayrışmasıyla oluşur. Bu reaksiyona **oksidasyon reaksiyonu** da denir. Reaksiyon sırasında



elektronlar anodu terk eder, iyonlar ise elektrolitin içine karışır.

Katodik reaksiyon, atotta bulunan metalden elektrolite negatif yüklü iyonların verilmesiyle oluşur. Bu reaksiyona **indirgenme reaksiyonu** da denir. Anottaki oksitlenme reaksiyonunun tersine katotta bir redükleme reaksiyonu meydana gelir. Elektrolite karışan veya dışarıdan eklenen metal iyonları katot üzerinde toplanarak tekrar metale dönüşmüş olur.

5.2. KOROZYONDAN KORUNMA

Korozyon, malzemelerin ömrüne direkt etki eden bir reaksiyondur. Ömrü azalttığı için malzemelere korozyondan koruma yöntemleri uygulanır. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır:

- ◆ Alaşım yaparak korozyondan koruma
- ◆ Korozyona neden olan cisimleri uzaklaştırarak korozyondan koruma
- ◆ Katodik koruma
- ◆ Kaplama ile koruma

5.2.1. Alaşım Yapararak Korozyondan Koruma Yöntemi

Korozyondan koruma, malzemenin bütünlüğü ve bulunduğu yerde görevini tam olarak yapabilmesi için çok önemlidir. Koruma yöntemlerinden biri de alaşım yaparak korumadır. Alaşım yaparak korozyondan koruma yöntemleri şunlardır:

- ◆ Sıcak daldırma
- ◆ Sıcak püskürtme
- ◆ Sherardizing (şerardizink) kaplama

Sıcak daldırma yönteminde kaplamada kullanılacak metal ergitilir. Daha sonra ana metal, bu ergiyik içerisine bırakılarak kaplama işlemi tamamlanır. Böylece ana metalin yüzeyi alaşımlandırılarak korozyondan korunmuş olur.

Sıcak püskürtme yönteminde kaplama için kullanılacak metal toz hâline getirilir ve yüksek sıcaklıkta ergitilir. Daha sonra toz hâlindeki metal, ana metalin üzerine püskürtülerek kaplama işlemi tamamlanır. İki metalin kullanıldığı bu kaplama işleminde herhangi bir alaşım oluşmaz.

Sherardizing kaplama yönteminde toz hâlinde bulunan kaplama ve kaplanacak metal aynı kutuya konur. Yüksek sıcaklıkta toz hâlindeki metaller ana metal üzerine yapışmaya kadar beklenir. Krom ile kaplama yapılırsa buna **kromizasyon** denir.

5.2.2. Korozyona Neden Olan Cisimleri Uzaklaştırarak Korozyondan Koruma

Korozyona yol açan kimyasal reaksiyonu inhibe etmek (engellemek) için metal yüzeyi veya çevredeki gazlarla reaksiyona giren kimyasal ürünlere **inhibitör** denir. İnhibitörler metal yüzeyinde koruyucu tabaka oluşturur. Koruma için kullanılan inhibitör kimyasal-



lar iki biçimde uygulanabilir. Birincisinde uygun bir çözücünün içine küçük bir ölçüde inhibitör eklenir. İkincisinde korozyona uğrama ihtimali olan metalin yüzeyine direkt olarak uygulanır. Böylece metalin korozyon hızı etkili bir şekilde azaltılır. Bu sürece **pasifleştirme** denir.

5.2.3. Katodik Koruma

Metaller, içinde buldukları ortam nedeniyle kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyona uğrar. Katodik koruma, metalleri korozyondan korumak için geliştirilmiş elektrokimyasal bir yöntemdir. Toprak altında bulunan metal borular su, nem ve havadan kaynaklanan korozyona karşı savunmasızdır. Tesistatçılar bu tehlikeden korunması için doğal gaz borularına katodik koruma yapar. Bunun yanında iskelelerin metal ayakları, gemiler ve bazı metal yapılar katodik olarak korunur. 1930'larda bulunan katodik koruma, korozyona karşı bulunmuş en etkili ve ekonomik yöntemdir.

Katodik koruma yönteminde, korozyona dayanıklı metal, anot görevi yapmak üzere aynı elektrolit içerisine konur. Eğer anot olan metal, ana metalden daha aktif bir metalse bu iki metalin bağlantısıyla galvanik pil oluşur. Korunmak istenen metal, pilin katodu olacağı için korozyona uğramaz.

5.2.4. Kaplama İle Koruma

Ekonomik açıdan uygun olan kaplama ile koruma yönteminde toz kaplama, metal kaplama, aktif metalle kaplama gibi kaplama türleri kullanılır. Bunlardan başka yüzeye bir boya tabakası uygulanarak metal korunur. Boya tabakası, ana metal ile korozyon oluşumuna yol açan madde arasında oluşan elektrokimyasal yükün akışını önleyen bir katman oluşturur.

Toz kaplamalar, ana metalin yüzeyini korumak için kuru toz olarak uygulanır. Kuru toz ana metalin bütün yüzeyini kaplar. Daha sonra metal ısıtılır ve ortaya çıkan sıcaklığın etkisiyle kuru toz, ana metale yapışır. Kaplamayla korumada polyster, epoksi, naylon vb. farklı toz bileşimleri kullanılır.

Metal kaplama, korozyona yatkın metal bir yüzeyin korunması amacıyla daha dayanıklı bir metalle kaplanmasıdır. Kaplamada soy bir metal kullanılması zorunludur. Soy metaller çevreyle etkileşime girmez. Kapladıkları metalden daha dirençlidir. Buna örnek olarak çelik üzerine kalay-kurşun veya krom kaplama verilebilir.

Aktif metalle kaplamada metallerdeki çizik, gözenek ve kesik-çentik kenarların altından açığa çıkan alt metal korozyona uğramaz. Aktif metal kendini harcayarak alt metali korur. Örneğin çelik üzerine çinko, kadmiyum ve alüminyum kullanılarak yapılan kaplama aktif metalle yapılan kaplamadır.

SIRA SİZDE

Kaplama işlemlerinin ne kadar sürede yapıldığıyla ilgili fikirlerinizi paylaşınız. Kaplamada hangi metallerin kullanıldığını söyleyiniz.

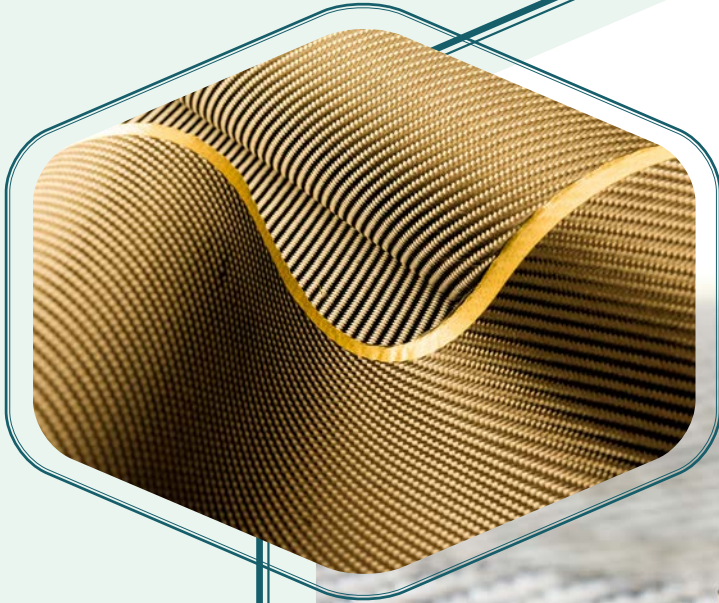


ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

- 1. Demirin paslanması ve alüminyumun oksitlenmesinin nedeni aşağıdakilerden hangisidir?**
 - A) Alaşımlama
 - B) Kaplama
 - C) Korozyon
 - D) Tavlama
 - E) Yağlama
- 2. İki metalin elektrik ileten bir sıvı içerisinde etkileşime girerek uğradıkları korozyon türü aşağıdakilerden hangisidir?**
 - A) Biyokimyasal
 - B) Biyolojik
 - C) Çentik
 - D) Erozyon
 - E) Galvanik
- 3. Aşağıdakilerden hangisi korozyondan korunma yöntemlerinden biri değildir?**
 - A) Alaşımlama
 - B) Katodik koruma
 - C) Kaplama
 - D) Tabakayla koruma
 - E) Suyu daldırma
- 4. Bir metalin yüzeyini aktif metalle korumak için kullanılacak yöntem aşağıdakilerden hangisidir?**
 - A) Kireç ile koruma
 - B) Kaplama ile koruma
 - C) Yağlama ile koruma
 - D) Su ile koruma
 - E) Yağ ile koruma
- 5. Aşağıdakilerden hangisi alaşım yaparak korozyondan koruma yöntemlerinden biridir?**
 - A) Isıtılarak genişletme
 - B) Serbest bırakma
 - C) Isıtılarak inceltme
 - D) Sıcak daldırma
 - E) Boya ile kaplama

6. ÖĞRENME BİRİMİ



TEMEL KAVRAMLAR

metal, döküm, yalıtkan, termoset, kalıp, kompozit

DEMİR DIŞI MALZEMELER



KONULAR

6.1. DEMİR OLMAYAN METALLER

6.2. PLASTİKLER

6.3. KOMPOZİTLER

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ◆ Demir olmayan metaller, demir olmayan metallerin alaşımları
- ◆ Plastiklerin özellikleri ve üretim metotları
- ◆ Kompozit malzemeler

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Yağmurdan ve rüzgârdan etkilenmeyen pamuk bir duvar nasıl yapılabilir? Düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

6.1. DEMİR OLMAYAN METALLER

Demir ve türevlerinin hayatın her alanında kullanılan malzemelerin yerini alması beklenemez. Üretimde maliyetleri düşürmek ve kullanım kolaylığı sağlaması için demir dışı malzemeler tercih edilir. Kolay işlenen, maliyeti düşük ve insan sağlığına zararı olmayan cam malzemeler bu türdendir.

Demir dışı malzeme çeşitlerinden plastiğin kullanım alanı İkinci Dünya Savaşı sonrasında oldukça genişlemiştir. Ham maddesi petrol olan plastik, insan sağlığı ve çevre için büyük bir tehdit oluşturur. Bu tehdidi en aza indirmek için geri dönüşüm tesislerinin kurulması gerekir.

Demir dışı malzeme kullanımına farklı mühendislik hesaplamaları sonucu karar verilmektedir. Karar vermede en önemli etkenler, oluşturulacak parçanın kullanım alanı ve buna göre istenen özelliklerdir.

Malzeme üretiminde demir dışı metaller de kullanılır. Bu metallerin kolay şekillendirilebilir ve kullanışlı olmaları önemlidir. Demir dışı metallerden alüminyum ve magnezyum, hafif olan metallerdir. Makine konstrüksiyonları, uçak gövdesi, motor pistonları ve taşıt üretiminde kullanılır. Bunun için silisyum, bakır, alüminyum, magnezyum ve manganez ile yapılan alaşımları kullanılır.

Demir dışı metal malzemeler bakır, alüminyum, magnezyum, çinko, kurşun, nikel vb. dir. Bunlar aynı zamanda birbiriyle etkileşime girerek farklı mekanik özellikte alaşımlar oluşturur. Demir dışı metaller, denizcilikten madenî para üretimine varan bir kullanım alanına sahiptir.

6.1.1. Demir Olmayan Metallerin Özellikleri

Hafif metal alaşımlar, kolay döküm yapılabilmesi nedeniyle karmaşık geometri parçaların oluşturulmasında sıkça tercih edilir. Elektrokimyasal yöntemler sayesinde korozyonun (aşınma) etkilerinden de korunur. Aşınmaya direnci artan malzeme, dekoratif yüzeylerde kullanıma uygun duruma gelir.

Bakır, dış etkenlere karşı korozyon direnci yüksek bir metaldir. Genellikle döküm metodlarıyla yarı mamul olarak üretilir. Talaşlı üretime uygundur. Sac plaka, profil ve tel olarak üretilmektedir. Farklı metallerle alaşım oluşturabilir. Önemli alaşımların çoğunda bakır vardır. Bakır-çinko, bakır-kalay, bakır-kurşun, bakır-alüminyum, bakır-nikel en çok tercih edilen bakır alaşımlarıdır.

Bakır-çinko alaşımlarında bakır oranı %50'nin üzerinde olmalıdır. Aksi durumda kullanılamayacak kadar gevrek bir yapı ortaya çıkar. Bakır-çinko alaşımına iyi bir polisaj (yüzey parlatma, pürüzsüzlüğü sağlama) işlemi yapılabilir. Bu alaşım türü tüm döküm yöntemleri ile üretilebilmektedir. Talaş kaldırılarak işlenme özellikleri iyidir.

Bakır-kalay alaşımlarının aşınma ve çekme dayanımları, içerisindeki kalay oranı %2 ile %15 arasında değiştiği için oldukça yüksektir. Bakır-kalay alaşımlarının dikkate değer özelliklerinden biri de kayma özelliğidir. Kayma özelliği aşınma dayanımını artıran bir özelliktir. Bu sayede makine alanındaki yatak zarfları, sonsuz vida dişlileri ve helisel dişli çarklarda kullanılır. Bu ve benzeri yerlerde kullanılan bakır-kalay alaşımıyla üre-



tilen ürünler daha verimli ve uzun ömürlü çalışmaktadır. Bakır-kalay alaşımları büyük yüzey basınçlarını karşılayabilir. Aynı zamanda bakır-çinko alaşımlarına göre korozyona daha dayanıklıdır.

Bakır-kurşun alaşımlarındaki kurşunun yağlayıcı özelliği vardır. Bakır-kurşun alaşımları bu özelliği nedeniyle kaymalı yatakların üretimi, makine tezgâhlarında ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır.

Bakır-alüminyum alaşımlarının korozyona ve aşınmaya olan dirençleri yüksektir. Bakır-alüminyum alaşımlarına demir, nikel ve mangan eklendiğinde çekme dayanımı yükselir. Aşınmaya karşı dirençli olduğundan kaymalı yataklar, helisel dişliler ve sonsuz vida dişlilerinin yapımında tercih edilir. Deniz suyunun korozif etkilerine karşı yüksek dirençlidir. Bu nedenle türbin kanatları ve gemi pervanelerinin yapımında kullanılır. Yağ endüstrisi de bu alaşımın kullanıldığı yerler arasındadır.

Bakır-nikel alaşımları, bu konu içinde anlatılan alaşımlardan korozyona karşı en dirençli alaşımlardır. Gümüş içeren yüzeyleri nedeniyle dekoratif eşya üretiminde tercih edilir. %40-45 arasında nikel metali içerir. Bakır-nikel alaşımlarına en fazla madenî paralarda rastlanır. Elektronik endüstrisinde direnç telleri olarak kullanılan bu alaşımlar, kimyasal tesislerde kaplama malzemesi olarak görev yapar.

Nikel alaşımları yüksek dayanım ve genleşme kabiliyetine sahiptir. 365 °C'ye kadar manyetik özellik gösterir. Nikel-bakır alaşımlarının korozyona dayanıklılığı, sulu çözeltiler tarafından yüzeylerinde pasif bir tabakanın oluşturulmasına bağlıdır. Bu tabakanın bozulduğu bölgelerde yerel korozyon meydana gelebilir. Nikel alaşımlarına kolay kaynak ve lehim yapılabilir, soğuk şekil verilebilir. Bu alaşımlar, esnek yapıda ve dayanımları yüksek olduğu için yay ve diyafram üretiminde kullanılır. Ancak talaş kaldırarak işlenmeye uygun değildir. Havacılık endüstrisinde de perçin malzemesi olarak kullanılabilir.

Demir dışı malzemelerden çinko, en yüksek genleşme katsayısına sahip dayanıklı bir metaldir. Çinkoya 100-150 °C aralığında kolaylıkla şekil verilebilir. Dayanıklı bir metal olmasına rağmen korozyon dayanımı düşüktür. Kuvvetli asitler ve tuz eriyikleri karşısında korozyona uğrar. Korozif ortamlardan korunması için çinkonun yüzeyi karbonat türevli bir maddeyle kaplanır. Böylece çinko, havanın zararlı etkilerinden de korunmuş olur. Dövülerek veya haddeme yapılarak çinko levhalar üretilebilir. Çinko, basınçlı döküm için uygundur.

Kurşun; yüksek yoğunluğa sahip, mat gri renkte ve çoğu kimyasal maddeye karşı oldukça dirençlidir. Isı ve elektriği iyi iletir fakat insan vücudu için zehirlidir. Radyoaktif ışımalarından korunmak için kullanılır. Röntgen ışınları ve radyoaktif ışınların geçişlerini engeller. Atom santralleri, hastanelerin röntgen servisleri ve radyoaktif malzemelerin bulunduğu her yerde izolasyon için kullanılır. Hastanelerdeki röntgen cihazlarının çevresinde kurşunla kaplanmış duvarlar bulunur. Kurşuna şekil verilirken soğuk şekil verme ve döküm yöntemleri kullanılır. Kurşun, talaş kaldırma işlemleri için çok yumuşaktır.

Kalay, gri-gümüş renkte bir metaldir. Çevresel kaynaklı korozyona dayanıklıdır. Düşük sıcaklıklarda gri toz hâlinde parçalanabilir. Ergime noktası düşüktür (232 °C). Döküm yöntemiyle şekil verilebilir. İnce tabakalar hâlinde haddelenebilir. El sanatları işlerinin



neredeysse tamamında kullanılır. Konserveler kutularının çelik saclarında kaplama elementi olarak görev yapar. En önemli alaşımı kalay-kurşundur.

6.2. PLASTİKLER

Plastik malzemeler, ekonomik oldukları için kullanım alanları oldukça geniştir. Plastik ham maddesi petrol olduğu için doğada çözünmesi uzun zaman alır. Sonuç olarak çevre için büyük zararları vardır.

Plastik ilk olarak 1862 yılında Alexander Parkes (Aleksandır Parks) tarafından selüloz-nitrattan elde edilmiştir. O zamandan günümüze kadar büyük değişimlere uğramıştır. İlk endüstriyel plastik ürün, bilyardo topudur. 1869 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılmıştır. Ayrıca İkinci Dünya Savaşı ile birlikte üretilen plastiğin miktarı artarak çeşitli alanlarda kullanımı yaygınlaşmıştır. Polietilen, polivinilklorür (PVC) gibi birçok plastik türü keşfedilmiştir.

Plastiklerin ilk kullanımı petrol türevli olmayan doğal plastiklerdir. Saf plastikler; kâfur, selüloz nitrat gibi bitkisel maddelerin kunduz yağı ile birleştirilmesinden elde edilir.

6.2.1. Plastik Malzemelerin Özellikleri

Plastik malzemeler hafif ve çok kolay işlenebilmeleri sayesinde fazlaca kullanılır. Korozyona karşı dirençleri çok yüksektir. İyi derecede ısı ve elektrik yalıtkanlığına sahiptir. Plastik malzemelerin çoğu renksiz olduğu için istenilen renge boyanabilir. Plastiklerin fazla esnek ve yumuşak, ayrıca kırılmaya karşı dirençlerinin düşük olması olumsuz yönlerindedir.

Isıya dayanıklı üretimler hariç bütün plastik malzemeler ısı karşısında yumuşar. Aşırı ısıyla temas ettiklerinde kullanılmaz duruma gelir. Isıyla şekil verilmelerine rağmen ısı iletkenlikleri kötüdür. Çalıştıkları ortamda sürtünmeye maruz kalma veya iç gerilmeler nedeniyle malzemenin içinde ısı birikir. Isı birikmesi, malzemenin yorulmasına ve ömrünün kısılmasına yol açar. Böyle bir olumsuzluğa engel olmak için plastik malzemenin içine katkı maddeleri eklenir. Bu katkı maddeleri, metal tozları ve elyaflardır.

Metal malzemeler kimyasal etkilere karşı dayanıksızken plastik malzemeler daha dayanıklıdır. Zayıf asit, alkali ve tuzların sulu çözeltileri termoplastik malzemelere etki etmez. Termoplastikler organik çözücülerin etkisiyle çözünür. Hava ve iklime bağlı değişkenler plastiğin görünüşünü bozabilir ve plastikte yıpranmalar meydana getirebilir. Renk değişimleri bu tür bozulmalardandır.

Plastikler, elektrik iletme özellikleri kötü olduğu için genelde yalıtkan olarak kullanılır. Plastik yalıtkan olması polimer zincir yapısından kaynaklanır. Bu zincir yapısı sert ve bükülmezdir. Plastik içindeki elektronların hareketleri metal malzemeler gibi rahat değildir. Yüksek kristalize yapı, elektronların serbest hareket etmesini engelleyerek elektrik iletkenliğini düşürür.

İletkenliği etkileyen kristalizasyon, katı maddenin çözücü içinde çözünmesi sonrasında katı ve sıvı fazların birbirinden ayrılmasıdır. Kristalizasyon derecesinin büyümesiyle malzemenin ergime derecesi artar ve bunun sonucunda mekanik dayanım artar. Plastik-



lerin mekanik özellikleri, kimyasal ve fiziksel yapılarına bağlı olduğu kadar sıcaklığa da bağlıdır. Plastiklerin mekanik özellikleri (ezilme, burulma ve kopmaya karşı dayanımı), cam elyafı ilave edilerek iyileştirilir.

6.2.2. Plastik Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Plastik malzemeler çeşitli yöntemlerle üretilir. Üretimde malzemenin termoplastik mi yoksa termoset mi olduğuna ve kaç derecede yumuşadığına bakılması gerekir. Plastik malzeme, genellikle bir kalıbın üzerine sıcakta eritilmiş plastiğin yüksek basınçta sıkılmasıyla üretilir. Bu işlemlerde demir dökümde olduğu gibi maçalardan faydalanılır.

Plastik malzeme üretiminde kullanılan en yaygın yöntem kalıplamadır. Plastik kalıplama teknikleri şunlardır:

- ◆ Pres
- ◆ Transfer
- ◆ Enjeksiyon
- ◆ Ekstrüzyon
- ◆ Şişirme
- ◆ Döküm

Pres Kalıplama: Erkek ve dişi kalıpların kullanıldığı bir tekniktir. İşlem sırasında gerekli plastik miktarı hazır hâlde bulundurulmalıdır. Erkek ve dişi kalıptan sadece biri hareketlidir. Başlangıçta kalıpların ikisi de ısıtılır. Daha sonra kalıp kapatılarak yüksek basınç ve ısı uygulanır. Böylece plastik malzeme daha akışkan (viskoz) hâle gelir. Akışkan hâline gelen plastik, içine döküldüğü kalıbın şeklini alır.

Transfer Kalıplama: Pres kalıplamanın bir çeşididir. İşlemlere katı bileşenlerin sıcak transfer kabında eritilmesiyle başlanır. Daha sonra erimiş malzeme, yüksek basınç ve sıcaklıkta kalıba enjekte edilir. Tüm yüzeyde basıncın homojen dağılımına dikkat edilmelidir.

Enjeksiyon Kalıplama: Ölçülü miktarda malzemenin besleme hunisine konulmasıyla gerçekleştirilen bir tekniktir. İşlem sırasında huniye konulan malzeme, koç ve piston yardımıyla silindir içine beslenir. Yüklenen malzeme ısıtıcı bölmesine iletilir. Malzeme burada yayıcı yardımıyla daha iyi erimesi için sıkıştırılarak eriyik hâle getirilir. Eriyik, plastik iletim ucundan kalıp boşluğuna basılır. Plastik soğuyana kadar aynı basıncın korunması çok önemlidir. Aksi hâlde istenilen yüzey elde edilemez.

Ekstrüzyon Kalıplama: Metallerde olduğu gibi akışkanlığı olan plastiğin basınç altında açık uçlu bir kalıptan geçirilmesiyle gerçekleştirilen bir tekniktir. İşlem sırasında malzeme, helezon ve mekanik vidayla iletilir. İlerleyen malzeme, belirli bir basınç ve sıcaklıkta tutulmalıdır. Plastik malzeme kalıp açıklığından ekstrüzyon edilir. Bu teknikte çubuk, boru, kanal, hortum gibi ürünler elde edilebilir.

Şişirme Kalıplama: Üfleterek cam şişirmeye bezeyen bir tekniktir. Malzeme ilk olarak yarı mamul ekstrüzyon ile üretilir. Daha sonra yarı erimiş hâldeyken kalıplar arasına



yerleştirilir. Son olarak üfleme veya buharla şişirilen malzeme, kalıp duvarlarına yapışarak kalıbın şeklini alır. Böylece içi boş parça üretilmiş olur.

Döküm Kalıplama: Çelik üretiminde olduğu gibi erimiş maddenin döküm kalıbına dökülmesiyle gerçekleştirilen bir tekniktir. Burada hava kabarcığı oluşmamasına dikkat edilmelidir.

6.2.3. Plastik Malzemeler

Günümüzde plastik malzemelerle her alanda çok sık karşılaşılır. Üretimleri hızlı olmakla birlikte işçilik ve maliyetleri metal malzemelere göre daha düşüktür. Plastik malzemeler içyapılarına göre elastomer, köpük, termoplast, duroplast ve takviyeli plastik şeklinde sıralanır.

6.3. KOMPOZİTLER

Kompozit üretimindeki amaç, tek başına zayıf olan bir malzemeyi ek malzemelerle kuvvetlendirmektir. Bu birleştirme, moleküler seviyede olmayıp fiziksel birleştirmedir. Yani malzemeler birbirinin içinde çözünmez, eriyip yok olmaz.

Kompozit malzeme oluşturmak için ana madde olarak matris ve takviye malzemesi kullanılır. Oluşturulan kompozit malzemenin fiziksel özelliği, ana maddelerin fiziksel özelliklerinden farklıdır. Genel olarak takviye malzemesi, matris malzemesinin faz hâlini bir arada tutmaya ve onu desteklemeye yardımcı olur.

Kompozit malzeme üretiminde çeşitli yöntemler kullanılır. En çok kullanılan yöntem kalıplama yöntemidir. Açık ve kapalı kalıplama olarak iki tür kalıplama vardır. Açık kalıplama açık ortamda yapıldığı için kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler dış havadan etkilenir. Bu etkiler katılan maddelerden elyaf takviyeleri ve reçinelerde görülür. Açık kalıplamada elle yatırma, püskürtme gibi basit ve geleneksel teknikler kullanılır.

Açık kalıplamada kalıp yüzeyleri temizlenerek üzerlerine jelkot sürülmelidir. Epoksi veya doymamış polyester reçinesinden yapılan jelkot, kompozit malzemenin görünümünü iyileştirir ve dış ortamdaki dayanımını artırır. Jelkot serleştikten sonra kalıp içine takviye kumaşları elle yatırılır. Takviye kumaşlarıyla oluşturulan katman, dokuma veya kırılmış cam elyafı olabilir. Bu katman üzerine reçine uygulanır. Reçine uygulaması dökme, fırçalama ya da püskürtme olarak yapılır. Reçinenin malzemeye emdirilmesi için üzerinden silindire geçilir. Böylece hava kabarcıkları da çıkarılmış olur.

Püskürtme tekniği, elle yatırma tekniğine göre daha otomatik bir açık kalıplama yöntemidir. Kırılmış elyaflar bir tabancayla kalıp yüzeyine püskürtülür. Tabanca içinde serleştirici katılmış reçine vardır. Elyaf tabancaya geldiğinde tabancadaki düzenek elyafı kırpar, reçine ile karıştırır ve kalıp yüzeyine püskürtür. Püskürtme işleminden sonra ürünün yüzeyi bir ruloyla düzeltilir. Genelde büyük miktarlarda kompozit malzeme üretmek için kullanılan bir yöntemdir.

Kapalı kalıplama, kompozit malzemelerin seri olarak üretilmesinde kullanılır. Dış havanın etkileri, üretim sürecine açık kalıplamadaki gibi aktif olarak katılmaz. Kompozit malzeme bileşenleri vakum torbası veya iki tarafı kapalı kalıp içinde bir araya getirilerek yeni özellikli malzeme üretilir.



Reçine transfer kalıplama (RTM), her iki yüzeyinin de düzgün olması istenen ürünlerde uygulanan bir kapalı kalıplama tekniğidir. Bu teknikte yüzeyleri önceden şekillendirilmiş kalıplar kullanılır. İşlem sırasında enjeksiyon kanallarından kalıp içine 2,75-3,5 bar arasında reçine basılır. Kalıp malzemeleri bu basınçlara dayanacak özellikte seçilmelidir. Takviye malzemesi olarak keçe, kumaş veya her ikisinin karışımı kullanılır. Bu teknikte ortoflatik ve izoflatik polyeşterler, vinil ester reçineleri kullanılır.

6.3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzeme kullanmanın bazı avantajları vardır. Kompozit malzemeler korozyona, kimyasal maddelere ve güçlü hava şartlarına karşı dayanıklıdır. Hafif oldukları için havacılık sektöründe kullanılır.

Karmaşık malzemeler parça parça üretildiğinde maliyet artar. Montaj maliyeti ve alt parçaların üretim maliyetleri buna dâhildir. Kompozit malzemelerde ise karmaşık parçalar bütün hâlinde üretilebildiği için maliyet düşer. Farklı türdeki malzemeler birleştirilerek istenen mekanik özellik elde edilir.

Kompozit malzemelerden titreşim sönmülemeye yatkın yeni ve sünek malzemeler oluşturulabilir. Boru, su araçları ve kimyevi tank üretiminde çoğu kimyasallardan zarar görmediği için kompozit malzemeler kullanılır. Kullanım alanları arasında havacılık endüstrisi, savunma sanayisi, uzay teknolojisi ile inşaat, sağlık ve ulaşım sektörleri vardır.

Kompozit malzemeler hafif ve yüksek dayanım değerine sahiptir. Bunlara karşın ham madde fiyatları yüksektir ve standart bir kaliteleri yoktur.

SIRA SİZDE

Çevrenizde gördüğünüz kompozit malzemeleri tespit ederek bir liste yapınız. Bu listedeki malzemelerin nasıl üretilmiş olabileceğini tartışınız. Liste yapımı ve ana malzemelerin tespiti ile üretim yöntemi için bir ders saatini kullanabilirsiniz. Zamanı riayet ediniz. Listenizi arkadaşlarınızla karşılaştırınız. Tartışmada arkadaşlarınızı dikkatle dinleyiniz.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi demir dışı metallere biridir?

- A) Ferrit
- B) Pıkk döküm
- C) Çelik
- D) Paslanmaz çelik
- E) Termoplastik

2. Aşağıdakilerden hangisi demir esaslı bir malzemedir?

- A) Alüminyum
- B) Çelik
- C) Magnezyum
- D) Plastik
- E) Termoplastik

3. Aşağıdakilerden hangisi plastik üretim yöntemlerinden biridir?

- A) Su verme
- B) Fırınlama
- C) Ekstrüzyon
- D) Çekme-basma
- E) Talaş kaldırma

4. Aşağıdakilerden hangisi plastiklerin özelliklerinden biridir?

- A) Kimyasal ortamlara dayanıklıdır.
- B) Korozyona uğrar.
- C) Paslanma oranları yüksektir.
- D) Isıya dayanıklıdır.
- E) Demirle bileşik oluşturabilir.



5. Birbiri içerisinde çözünmeden birleşen ve bu birleşimle yeni ve daha dayanıklı duruma gelen malzemeye malzeme denir.

Yukarıdaki cümlede boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi yazılmalıdır?

- A) Alüminyum
- B) Demir
- C) Kompozit
- D) Magnezyum
- E) Plastik

6. **Aşağıdakilerin hangisi kompozit malzemelerin avantajlarından biridir?**

- A) Ağır olması
- B) Hafif olması
- C) Çabuk çözünür olması
- D) Isıl dayanımının düşük olması
- E) Çok ucuz olması

7. **En yüksek genleşme katsayısına sahip olan demir dışı metal aşağıdakilerden hangisidir?**

- A) Alüminyum
- B) Bakır
- C) Çinko
- D) Ferrit
- E) Magnezyum

8. **Korozyona karşı direnci en yüksek olan demir dışı metal aşağıdakilerden hangisidir?**

- A) Bakır
- B) Çinko
- C) Kalay
- D) Magnezyum
- E) Nikel

7 ÖĞRENME BİRİMİ



TEMEL KAVRAMLAR

tahribat, muayene, gerilme, ultrasonik, penetrant, manyetik çekme, basma

MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ



KONULAR

- 7.1. ATÖLYE DENEYLERİ
- 7.2. TEKNOLOJİK DENEYLER
- 7.3. MEKANİK DENEYLER
- 7.4. TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ◆ Malzemeleri muayene etme
- ◆ Uygulanacak deneye karar verme
- ◆ Deney süreçleri
- ◆ Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Deneylerin neden yapıldığıyla ilgili düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

7.1. ATÖLYE DENEYLERİ

Malzeme muayenesi kalite kontrol kapsamına girer. Firmalar, marka değerlerini korumak için kalite kontrol departmanlarına büyük yatırımlar yapar. Otomobil üreticileri, arızalandıklarında kazaya neden olabilecek (insan hayatını tehlikeye atabilecek) alet ve cihaz üreten markalar, malzeme muayene ve kontrolüne özel önem verir.

Malzeme kontrolü yapmak için malzemenin standartları, dayanım değerleri gibi mekanik özellik değerleri iyi bilinmelidir. Çünkü bir referans değeri olmadan karşılaştırma yapılamadığı için sağlıklı bir yorum da getirilemez. Malzeme muayenesi için farklı yöntemlere başvurulur. Bu yöntemlerden bazıları atölye deneyleri, teknolojik deneyler, mekanik deneyler ve tahribatlı malzeme deneyleridir.

Malzeme deneylerinde kullanılacak cihazlar ve muayene edilecek ortamın bazı durumlarda dış ortamla ilişkisinin kesilmesi gerekir. Bu nedenle özel test alanları oluşturulur. Burada yapılan deneylere **atölye deneyleri** denir. Başlıca atölye deneyleri şunlardır:

- ◆ Görünüş ile malzeme muayenesi (göz ile muayene)
- ◆ Ses deneyi ile malzeme muayenesi (ultrasonik muayene)
- ◆ Kıvılcım deneyi ile malzeme cinsini belirleme

Atölye deneyleri tahribatsız muayenelerdir. Tahribatlı muayenelerde ise kırma, kesme, ezme, koparma gibi işlemler yapılır.

7.1.1. Görünüş İle Malzeme Muayenesi

Malzeme muayenesinin en eski yöntemlerinden biri gözle muayenedir. Doğrudan gözle veya daha detaylı görmeyi sağlayan ara ekipmanlarla uygulanır. Bu muayenede en önemli unsur ışık miktarıdır. Ortamdaki ışığın görmeyi engellememesi gerekir. Ara ekipman kullanılıyorsa, parça ara ekipman sensörlerinin görebileceği büyüklükteyse ortamda uygun ışık olmalıdır. Teste başlanmadan önce malzeme yüzeyi iyice temizlenmeli ve ışığın yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir. Ayrıca malzemenin standartlarıyla ilgili özelliklerin öğrenilmesi gerekir. Gözle muayene sisteminin avantajları şunlardır:

- ◆ Maliyetinin çok az olması
- ◆ Hızlı olması
- ◆ Diğer yöntemlere destek sağlaması

7.1.2. Ses Deneyi İle Malzeme Muayenesi

Ses dalgaları, denizaltılardaki sonar sistemlerinde yön bulmak için kullanılmaktadır. Sistem, basitçe sesin gönderilmesi ve gönderildiği noktaya geri dönmesi esasına göre çalışır. Ses dalgaları, önünde bulunan engelleri ya da cisimleri bu sayede tespit edebilir. Ses deneyi, tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinden biridir ve malzeme, ses dalgalarıyla analiz edilir.

Deney, ultrasonik muayene aletinin başlığında (prob) malzemeye yüksek frekanslı ses dalgaları gönderilerek başlatılır. Malzeme içerisinde yayılan ses, bir süreksizliğe çarp-



tığında proba yansır. Aynı zamanda hatanın nerede olduğu cihazın ekranından tespit edilebilir. Ses deneyi ile malzemelerde oluşabilecek yüzeysel ya da hacimsel hatalar tespit edilir. Cihazın kullanımı sırasında ses dalgalarını etkileyecek herhangi bir engel ve cihaz gücünde kesintinin olmamasına dikkat edilmelidir. Ses deneyinde en fazla boyuna ve enine dalga türleri tercih edilir.

7.1.3. Kıvılcım Deneyi İle Malzeme Cinsini Belirleme

Kıvılcım deneyi bir çelik parçanın dakikada 1.400 devir hızla dönen zımpara taşına bastırılarak sürtülmesiyle gerçekleştirilir. Zımpara yüzeyindeki aşındırıcı maddeler, çelik parçanın üzerinden küçük parçaların kopmasına neden olur. Bu parçaların ısınarak oluşturduğu alev taneciklerine **kıvılcım** adı verilir.

Çeliğin içerisinde bulunan karbon elementi patlamalara neden olur. Diğer alaşımlar da çelikte farklı renk ve şekillerin oluşmasına yol açar. Kıvılcımlara bakılarak çeliğin içerisindeki karbon ve alaşım miktarının hangi oranda olduğu yaklaşık değerlerde tahmin edilebilir. Kıvılcım deneyinde kullanılacak malzeme parçaları 10 mm çapında, yuvarlak veya kare şeklindedir. Deneyin yapılacağı ortamın loş ışıklı olması istenir. Böylece kıvılcımlar daha rahat gözlemlenebilir.

Deney sırasında çelik malzeme parçasının zımpara taşına ne kadar bastırıldığı önemlidir. Çok bastırılması kıvılcım sayısını artırabileceği gibi malzemede yanmaya yol açar. Çelik içerisindeki karbon miktarı arttıkça kıvılcım boyu kısalmaya ve patlamalar artar. Karbon miktarı az ise kıvılcım boyu büyük olur ve patlama sayısı azalır. Sade karbonlu çeliklerin meydana getirdiği kıvılcım rengi açık sarıdır. Katkılı çeliklerde yapı değiştiği için kıvılcımın rengi turuncu ya da kırmızıya döner.

Çelik ve alaşımlarının iç yapısında karbondan başka elementler de bulunur. Kıvılcım deneyi sırasında alaşımı oluşturan her element veya metalin farklılıklar göstereceği bilinmelidir. Böylece kıvılcımın yapısına bakılarak çeliğin içerisindeki alaşım elemanları tespit edilebilecektir.

7.2. TEKNOLOJİK DENEYLER

Teknolojik deneyler sayesinde malzemeyle ilgili daha sağlam ve güvenilir bilgiler elde edilir. Teknolojinin gelişmesiyle yeni muayene tekniklerinin uygulanmasına başlanmıştır. Deneye sokulan parçalar, bu muayene tekniklerinin bazılarında tahribata uğrarken bazılarında tahribata uğramaz. Tahribatlı ya da tahribatsız yapılan deneylerin genel amacı, malzeme dayanımını (uzama, kısılma, kopma vb.) ölçmek ya da malzemedeki ölçü bozukluklarını ve çatlakları görmektir. Ayrıca malzemelerin standartlara uyup uyumadığı da test edilmiş olur.

7.2.1. Eğme, Katlama ve Kıрма Deneyi

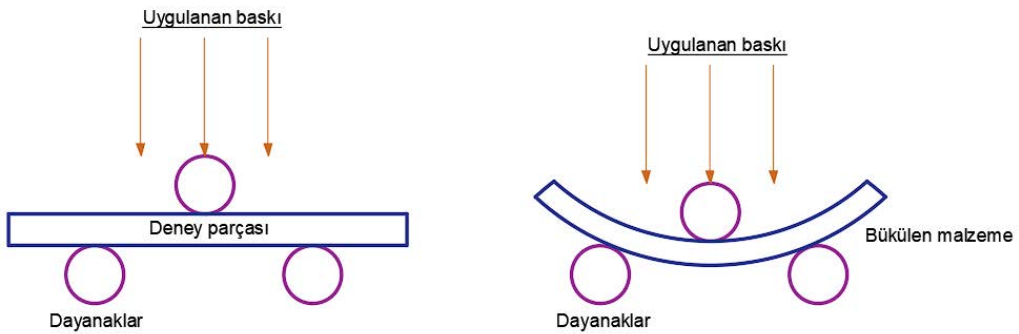
Eğme, katlama ve kırma deneyleri tahribatlı muayene yöntemlerindedir. Muayeneye alınan ürün, deney sonunda şekil bozukluğuna uğrar. Bu şekil bozukluğuna bakılarak malzemeye ait pek çok dayanım değeri elde edilir. Dayanım değerleri; malzemenin şekil bozukluğuna uğrayacağı çekme, basma veya burulma kuvvetlerini gösterir. Malzeme,

bu dayanım değerlerine kadar uygulanan kuvvetlere karşı şeklini korur ve görevini yapar. Dayanım değerlerinin üzerinde uygulanan kuvvetlerde ise şekil bozukluğuna uğrar ve görevini yapamaz.

Eğme deneyinde malzemenin gerçek şartlarda karşılaşılabileceği durumlar taklit edilerek eğme ve katlamaya karşı direnci kontrol edilir. Endüstride kullanılan sac levhaların özelliklerinin belirlenmesi için önemli bir ölçüttür. Sac levha deneylerinde genellikle basit uzunluk ölçüsü dışında farklı bir ölçme yapılmaz. Sacın deneyden önceki ölçüsü ile deneyden sonraki ölçüsü karşılaştırılarak deney verileri elde edilir.

Eğme deneyine başlamadan önce deney parçası ölçülür. Daha sonra parça, yükün etkisiyle eğilmeye başlar. Deney sonunda malzemenin eğilme dayanımı ve elastisitesi (esneme) ölçülür. Deney parçasının başlangıçtaki duruma göre düşey eksenindeki değişme miktarı olan eğilme miktarı ölçülerek deney sonlandırılır. Eğme deneyi, sac levhalar dışındaki deney numunelerine de uygulanır. Bunun için seçilen numuneler, kare ya da dairesel kesitli olmalıdır (Şekil 7.1).

Katlama deneyinde deney parçası iki adet yuvarlak kesitli dayanak üzerine konur. Parçanın üzerine tam ortasından baskı uygulanır. Böylece deney parçasının eğilerek 180 derece katlanması sağlanır (Şekil 7.1). Katlanma sırasında deney parçasında oluşan deformasyonlar gözlemlenir. Deney parçasının alt kısmında katlanmanın neden olduğu gerilmeler, iç kısmında ise yoğunlaşmalar oluşur. Katlama deneyine bükme deneyi de denilmektedir. Eğme ve katlama deneylerinde kullanılan deney düzenekleri birbirleriyle benzer özelliktedir.



Şekil 7.1: Deney parçasının eğilmesi ve katlanması

Kırma deneyinde deney parçalarının uygulanan kuvvetlere kırılmadan dayanabileceği süre ölçülür. Tok malzemelerin dayanımını tespit etmede kullanılır. Bu deneyde ölçümü yapılacak deney parçasına aralıklı olarak belli bir kuvvette darbeler vurulur. Bir başka kırma deneyinde ise malzemenin dayanımı, zıt yönde iki kuvvet uygulanarak ölçülür.

Kırma deneyinin yapıldığı yerlerden biri de kaynaklı üretimdir. Kaynak kalitesi ve nüfuziyetine bu yöntemle bakılabilir. Kaynak nüfuziyeti, kaynak bölgesinin malzeme içerisine işlenmesi demektir. Kısaca kaynak derinliği olarak tanımlanır. Kırma deneyinde kaynak yapılmış iki malzeme zorlanarak kırılır ve kaynak derinliğine bakılır.



Deney, üretilen parçalardan rastgele örnekler seçilerek yapılır. Bunun için önce kare ya da dairesel kesitli levhalar, dayanaklar üzerine oturtulur. Daha sonra levha eksenine dik bir kuvvet uygulanarak, bükülüp kırılmaya zorlanır. İşlem sonunda malzemenin kırılmaya karşı dayanımı ölçülmüş olur.

7.2.2. Kaynak Dikişlerini Kontrol Deneyi

Günümüzde montajların çoğu, kaynak veya cıvata-somun bağlantılarıyla yapılmaktadır. Bunlardan kaynak, cıvata-somuna göre daha dayanıklıdır ancak monte edilen parçaların değişimini aşırı derecede zorlaştırır. Bu yüzden uzun süre kullanılacak parçaların montajında tercih edilen bir deneydir. Kaynaklı parçalar çok ağır yüklerin altında kalabildiği için kaynağın türü ve kaynakçının tecrübesi son derece kritiktir. Yapılan kaynak, göz veya röntgenle (radyografi) muayene edilebilir.

Gözle muayene yapılırken kaynağın pürüzsüz ve düzgün olmasına dikkat edilmelidir. Kontrolün yapılabilmesi için kaynağın taşlanması tercih edilmez. Yuvarlak parçalara yapılan kaynağın başlama ve bitiş yerlerinin hemen hemen aynı yerde olmasına özellikle dikkat edilmelidir. Ancak bazı durumlarda arada boşluk kalabilir ve kaynak buradan çatlayarak kırılabilir. Bu nedenle önce kaynağın düzgünlüğü ve pürüzsüzlüğü, sonra herhangi bir çatlak olup olmadığı kontrol edilir. Kaynakta iç ve dış çatlak oluşumları veya hacimsel hataların olup olmadığı, röntgenle kontrol edilir.

7.2.3. Borulara Uygulanan Deneyler

Borular çelik, plastik veya kompozit malzemeden üretilir. Örneğin çelik boruların muayenesi yani kalite kontrolünde önce üretim hattından çıkan borunun kalınlık, çap, kaynak açısı ve boyuna bakılır. Daha sonra diğer özellikleri kontrol edilebilir. Boru için kullanılan malzemenin dayanım özellikleri, çekme deneyi yapılarak belirlenir veya kontrol edilebilir. Kaynak dikişleri, gözle kontrol edilir ve röntgenle detaylı olarak incelenir.

Su tesisatı için kullanılacak borular, basınçlara ve koç darbesine dayanıklı olmalıdır. Borunun bir kaplaması varsa kaplamanın özellikleri ve dış yüzeyinde bir hata olup olmadığı kontrol edilmelidir. İşlemler sırasında kalite kontrol personelinin elinde bu değerlerin doğrularını içeren bir kontrol listesi bulunmalıdır. Testler yapılırken dış etkenler olabildiğince en aza indirilmelidir.

7.2.4. Burma Deneyi

Burma deneyi, burma momentine karşı malzemede oluşan kayma gerilmeleri ve şekil bozukluklarını gözlemlemeye, kayıt altına almaya ve bulunan bu değerleri endüstride kullanmaya olanak verir. Burma deneyinde genel kabul olarak silindirik malzemeler kullanılır.

Deneye başlamadan önce deney düzeneğinin kalibre edilmesi gereklidir. Kalibrasyon, doğruluğu bilinen (daha önce teyit edilen) değerlere göre ölçü aletlerinin ya da sistemin ayarlanması işlemidir. Deney düzeneği doğru bir şekilde kalibre edilmezse alınan sonuçların güvenilirliği sağlanamaz.



Burma deneyinde silindirik malzemenin bir ucu sabit bir çeneye tutturulurken diğer ucu dönme kuvvetini uygulayacak çene tarafından kavranır. Hareketli çene, dairesel olarak moment uygular ve malzemeyi belirli bir kuvvette dönmeye zorlar. Oluşan gerilmeler, şekil bozuklukları ve çatlaklar bu zorlama ile takip edilir.

7.3. MEKANİK DENEYLER

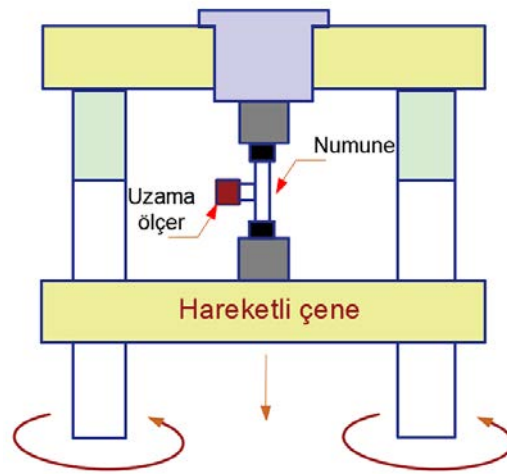
Malzeme seçiminin yapılması, tasarım için en önemli etkenlerden biridir. Malzeme seçimi yapılırken en önemli ölçüt, parçanın kullanım yerinin gerektirdiği mekanik özelliklerdir. Bu nedenle kullanılan parçanın sağlamlığını ölçmek için mekanik deneyler yapılır. Deneyler sayesinde malzemenin çekme ve basmaya karşı olan dayanım değerleri gibi mekanik özellikleri öğrenilir.

7.3.1. Çekme Deneyi

En yaygın tahribatlı muayene deneylerinden biri olan çekme deneyinde malzemeye eksenel bir kuvvet uygulanır. Malzeme, bu kuvvetle boyuna uzama gösterir. Uzamanın miktarı ve malzemenin uygulanan kuvvete ne kadar direnebildiği ölçülmeye çalışılır. Testin uygulandığı malzemeler, metallerle sınırlı değildir. Pek çok malzemenin direnç, uzama katsayısı, süneklik, tokluk gibi değerleri çekme deneyi ile belirlenir.

Çekme deneyi, malzemenin uzama miktarını ve formunu koruma süresini tespit etmek amacıyla yapılır. Uzamalar, numune üzerindeki cihazdan [uzama ölçer (extansometre)] okunur. Uzama ölçülürken malzemeye ait değerler de öğrenilmiş olur.

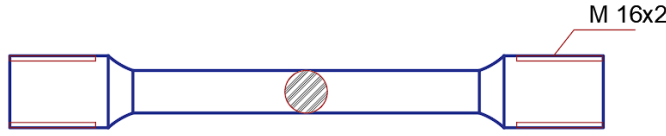
Deney için kullanılacak örnek malzeme, çekme testi cihazına bağlanır (Şekil 7.2). Cihazın bir tarafı (çene kısmı) hareketli, diğer tarafı sabittir. Hareketli çene, çekme kuvvetini uygulamak için vidalı kollardan aşağı doğru kaydırılır. Böylece iki çene arasındaki malzemeye çekme kuvveti uygulanmış olur.



Şekil 7.2: Çekme testi cihazı



Çekme kuvveti uygulanan malzemede (Şekil 7.3) uzama görülür. Kuvvet uygulanmadığında malzeme eski formuna dönmelidir. Malzeme, eski formuna dönebiliyorsa elastik bölge içerisinde kuvvete maruz bırakılmış demektir. Uygulanan kuvvet elastik bölgeyi geçerek plastik bölgeye kadar etki ederse malzeme eski formuna dönemez. Şekil bozukluğu kalıcı olur. Plastik bölgeden sonra numune kopacaktır.

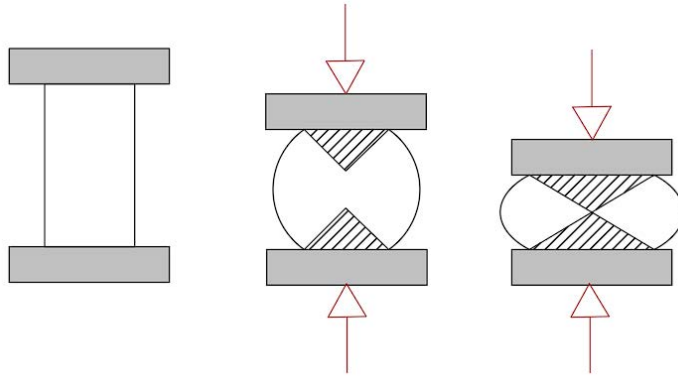


Şekil 7.3: Çekme deneyine sokulacak malzemenin şekli

7.3.2. Basma Deneyi

Gevrek malzemelerin dayanımlarını ölçmek için kullanılır. Deney malzemesine dıştan içe doğru bir kuvvet uygulanarak oluşan fiziksel değişimler gözlemlenir. Uygulanan kuvvetle malzemenin boyu kısalmaya giderken yanlarında şişmeler olur. Şişmeler (Şekil 7.4) fıçıyı andırdığı için oluşan şekle **fıçılaşıma** denir.

Basma deneyinde kullanılmak üzere küp ya da küre şeklinde numuneler seçilir. Silindirik numuneler tercih edilecekse bu numunelerin boyu, çaplarının 1,5 katı olmalıdır. Deney numuneleri, metal ya da metal dışı malzeme olabilir. Metal dışı malzemelere örnek olarak beton malzemeler verilebilir. Beton malzemelerin kullanıldığı yapıların dayanıklılıkları, basma deneyi ile test edilir. Böylece malzemelerin, binanın ağırlığına ya da depreme dayanıklılıkları ölçülerek ömürleri belirlenir.



Şekil 7.4: Basma deneyinin aşamaları ve fıçılaşıma

7.3.3. Kesme Deneyi

Malzemelerin kullanıldıkları (çalıştıkları) yerlerde eksenlerine dik gelen kuvvetlerle kesilme riskleri vardır. Malzemelerin kesilmeye karşı gösterdikleri direnci ölçmek ya da maruz kalacakları kesme kuvvetini tespit etmek için kesme deneyi uygulanır. Böylece malzemelerin kullanıldıkları yere ve kesme kuvvetine dayanımlarına göre üretilenleri sağlanır.



Kesme deneyinde uygulanan kuvvete **makaslama kuvveti** denir. Deney düzeneği, malzemenin kesilme dayanımını ölçer. Genelde birleştirme malzemelerinin (perçin vb.) karşılaştıkları kesme kuvveti, malzeme dayanımını aştığında malzemeyi kopartır. Kopan malzeme görevini yapamayacak duruma gelir. Birleştirilmiş parçalar birbirinden ayrılır. Kuvvet eksenel olarak uygulanıyorsa (eksene 90 derece açıyla gelmiyorsa) kesme kuvvetine dönüşme riski yoktur.

7.3.4. Yorulma Deneyi

Yorulma deneyi, malzemelerin yorulma dayanımlarını ölçmek ve diğer malzemelerin yorulma dayanımlarıyla karşılaştırmak için uygulanır. Çalışan makine parçalarının, uygulanan kuvvet ya da yaptıkları hareketin oluşturduğu moment ve titreşimler nedeniyle yorulma süresi de ölçülmüş olur. Malzemeler çalıştıkları ortamda (sistemde) karşılaştıkları yüklere, titreşimlere ve gerilmelere dayanır. Bu mekanik kuvvetlerin sürekli tekrarlanması, uzun vadede malzemenin dayanım değerlerini aşar ve yüzeyini çatlatarak kopmalara neden olabilir. Malzemelerdeki kopmalar, genellikle kesit değişiminin olduğu noktalarda görülür.

Malzemenin yorulmasına neden olan kuvvetlerin yanında ısı değişimlerinden kaynaklanan ısıl gerilmelerin de etkisi vardır. Isıl gerilmeler, malzeme yüzeyinde ya da içyapısında bulunan çatlakları derinleştirerek büyütür. Yorulma gerilmeleri, malzemenin içyapısındaki hataların bulunduğu yerlerde daha büyüktür. Bu yüzden içyapı hatalarının olduğu bölgelerde kırılmalara sık rastlanır.

Malzemenin yorulmasından kaynaklanan kopmalar önceden tahmin edilemez. Ancak içyapı hataları tespit edilerek hatalı malzemelerin kullanılmasının önüne geçilebilir. İçyapıdan kaynaklanmayan kopmalar için tahmin yapılamaz. Bu nedenle dayanımları belirli standarttaki malzemelerin kullanılması gerekir. Malzemenin yorulmasına etki eden etmenler şunlardır:

- ◆ Malzemenin cinsi ve özelliği
- ◆ Malzemenin üretim yöntemi
- ◆ Malzemenin yüzey kalitesi
- ◆ Malzemenin işleme tekniği

Yorulma deneyi cihazları, uyguladıkları kuvvete göre şu şekilde sıralanır:

- ◆ Eksen yönünde (eksene paralel) kuvvet uygulayan cihazlar
- ◆ Eğme, bükme ve burma kuvveti uygulayan cihazlar
- ◆ Bileşke kuvvet uygulayan cihazlar

7.3.5. Aşınma Deneyi

Aşınma, DIN standardı 50320'de "Kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik." olarak tanımlanmaktadır.



Birbirine sürtünen malzemelerin aşınmaları doğal bir sonuçtur. Bu malzemelerden biri diğerine göre önce ya da sonra aşınabilir. Sonra aşınan malzemeye **aşındırıcı malzeme** denir. Aşınmalar, kimyasal ya da fiziksel parça şeklinde olabildiği gibi erime şeklinde de olabilir.

Ekonomik zarara yol açan aşınmanın tam olarak tespit edilebilmesi için aşınma deneyleri yapılır. Bu deneylerin sonucunda malzemelerin aşınmaya karşı dirençleri ve aşınmayı hızlandıran ya da yavaşlatan durumlar anlaşılabilir. Ayrıca çevresel şartların aşınmaya etkileri de gözlemlenir. Aşınmanın temel unsurları şunlardır:

- ◆ Hareket ve hareket hızı
- ◆ Yük ve yük miktarı
- ◆ Ana malzeme
- ◆ Aşındırıcı malzeme
- ◆ Ara malzeme

Ana malzemenin sertlik değeri, aşınmaya karşı direnci gösterir. Bunun yanında malzemenin kristal yapısı ve yüzeyinin pürüzlü olup olmaması aşınmanın önemli etkenlerindedir. Aşınma deneylerinde nem, sıcaklık ve basınç dikkatle takip edilmelidir.

Aşınma deneyleri birkaç yöntemle yapılmaktadır. **Zımpara üzerine pim bastırma yöntemi** bunlardan biridir. Bu yöntemde, dönen bir zımpara üzerine deney numunesi olan pim bastırılır. Deney sonunda pimde oluşan aşınmalar gözlemlenir ve ölçülür.

Aşınma deneyine ait bir başka yöntem **pim disk yöntemi**dir. Bu yöntemde dönen bir disk üzerine bastırılan pim düzeneği kullanılır. Pim ya da disk, aşındırıcı olabilir. Her iki deneyde parçadaki aşınma miktarı ölçülür. Aşınma deneylerinde kullanılan numunelerin ağırlığı 0,1 mg hassasiyetinde tartılır ve aşınmadan sonraki ağırlık kayıpları ölçülür.

7.3.6. Kırma Deneyi

Kaynaklı birleştirmelerde kaynak bölgesini incelemek için yapılan bir deneydir. Deney sırasında kaynakla birleştirilen iki parça, bir yük yardımıyla zorlanarak kırılır. Kırılan bölgede çatlak, gözenek ve yetersiz ergimenin olup olmadığı incelenir. Kırma deneyinden önce malzemelere çentik açıldığı için bu deneye **çentik darbe deneyi** de denir.

Kırma deneyi, kaynaklı birleştirmelerdeki incelemeden başka malzemelerin kırılmaya karşı dayanımlarını ölçmek için yapılır. Bu sayede kırılmaya neden olacak kuvvetin şiddeti ölçülür.

7.3.7. Kayma Deneyi

Kayma deneyi, burma ve çekme deneyleri ile bağlantılıdır. Eğme ve burulma deneylerinde kayma gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeler **rijitlik modülü** veya **kayma modülü** olarak adlandırılır. Gerilme, malzemenin yüzey kısmında oluşur. Malzemenin iç kısmında gerilme değeri sıfırken yüzey kısmında maksimum değere ulaşır.



Rijitlik, cisimlerin akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Kuvvet ya da moment etkisine direnen, esnek olmayan ve şeklini koruyan malzemelere **rijit malzemeler** denir. Bir malzemenin enine deformasyonlara nasıl karşı koyduğunu açıklamaya yarar.

Burma deneyi uygulanarak burulan sünek malzemenin kırılması, kayma gerilmelerinin olduğu yönde gerçekleşir. Malzemenin kayma modülü değeri yüksekse akmaya karşı direnci de (rijitliği) yüksek demektir. Bu yönüyle sıvıların kayma modülü değeri sıfır olduğu için şekillerini koruyamaz. Katı malzemeler ise kayma modülü değeri sıfırdan büyük olduğu için şekillerini korumaya çalışır.

Kayma modülü, çekme deneyinde deney malzemesine uygulanan kuvvetlerin gerilim eğrisine bakılarak bulunur.

7.4. TAHRİBATSIZ MALZEME MUAYENESİ

Günlük hayatta kullanılan, belirli standartlarda üretilen alet ve ekipmanların aralarında hatalı olanlar çıkabilir. Üretimden sonra alet ve ekipmanların standart kontrolleri yapılmalıdır. Malzemeye herhangi bir zarar vermeyen bu kontrollere **tahribatsız muayene** denir.

Tahribatsız muayene, üretimin her aşamasında ve kullanım sırasında uygulanabilen bir yöntemdir. Öncelikle test edilecek malzemenin özellikleri, testi yapacak kişi tarafından çok iyi bilinmelidir. Aksi takdirde ortaya çıkan değerler, hatalı karar verilmesine neden olur. Uygulanacak yöntem hakkında bilgi ve tecrübe sahibi olunmalıdır. Tahribatsız muayene yapacak kurum ya da kişilerin yetki belgelerinin olması gerekir. En çok kullanılan tahribatsız malzeme muayene yöntemleri şunlardır:

- ◆ Penetrant yöntemi
- ◆ Basınç kontrollü muayene yöntemi
- ◆ Röntgen cihazıyla muayene yöntemi
- ◆ Manyetik muayene yöntemi
- ◆ Ultrasonik muayene yöntemi

7.4.1. Penetrant Yöntemi

Gözenekli olmayan malzemelerin yüzey hatalarını tespit etmek için kullanılır. Deney sırasında malzeme yüzeyindeki kılcal çatlakların bulunması için **penetrant** adlı özel bir boya kullanılır. Bu boya, kılcal çatlaklara girerek çatlağın yerini gözle görülür duruma getirir.

Deney sırasında önce malzemenin yüzeyi temizlenir. Yüzeyde penetrant sıvısının girişini engelleyecek herhangi bir cisim, kir ve pasın bulunmamasına dikkat edilir. Yüzey, temizlendikten sonra kurutulur. Ardından penetrant sıvısı, malzeme yüzeyine fırçayla sürülerek veya malzeme sıvıya daldırarak uygulanır. Belli bir süre beklendikten sonra yüzeydeki fazla penetrant sıvısı temizlenir ve yüzeye emici (developer) uygulanır.



Emicinin kusurlardaki (çatlaklarda) penetrant sıvısını yüzeye çekmesi için yeterli bir süre beklenmesi gerekir. Bu süre, yaklaşık 15 dakika olup ortam ısısına ve malzeme tipine göre farklılık gösterebilir. Deneyin sonunda malzemenin yüzeyi, kusurların tespit edilmesi için yeterli aydınlatma altında incelenir.

Yöntem ucuz, tahribatsız, basit ve çeşitli türde malzemeye uygulanabilir olduğu için avantajlıdır. Yüzey temizliğinin zor olması ve çok pürüzlü yüzeylerde kullanılamaması nedeniyle olumsuz yönleri de mevcuttur.

7.4.2. Basınç Kontrollü Muayene Yöntemi

Endüstri ya da yaşam alanlarında pek çok basınçlı kap kullanılır. Kapların içinde gaz, yağ, su buharı, asit, petrol ve petrol türevleri bulunabilir. Basınçlı kaplar, depolama amacıyla kullanılabilirler gibi bir sisteme bağlı olarak da çalışabilir.

Bir basınçlı kabın içindeki basınç, bulunduğu ortamın basıncından farklılık gösterir. Basınç farkı patlamalara, yırtılmalara neden olabilir. Çevreye ve insan sağlığına zarar verebilecek bu tür durumların önüne geçmek için basınçlı kapların üretim ve kullanım sırasında kontrol edilmeleri gerekir. Üretim sırasında yapılacak kontroller, üretim sürecini ve ürünü denetlemeyi olanaklı duruma getirecektir.

Basınçlı kaplar, üretildikten sonra periyodik muayenelerden geçirilmek zorundadır. Kabın temasta olduğu akışkan veya çevresel etkenler zaman içinde gövdede inceleme, çatlamalara ya da yırtılmalara neden olabilir. Kabın malzemesinde bir arıza olmasa bile ilintili olduğu ekipmanlarda (vana, emniyet valfi, basınç göstergesi, tahliye musluğu vb.) olabilir. Bir başka deyişle basınçlı kap muayenesi kabın kendisine yapıldığı gibi çevresindeki ekipmanlara da yapılmalıdır.

Muayenesi yapılmayan kapların patlaması ve içindeki sıvıların çevreye yayılmasıyla çok ciddi zararlar oluşabilir. Bu nedenle muayeneler, insan ve çevre sağlığı için tehlike oluşturmayacak şekilde yapılmalıdır. Endüstride kullanılan basınçlı kaplarla ilgili kazalar, çok tehlikeli sonuçlara yol açtığı gibi üretimin durmasına da neden olur.

Basınçlı kap kontrol işlemlerinin periyodu, kabın cinsine ve kullanıldığı yere göre değişmektedir. Hangi tür basınçlı kabın hangi sürede muayene edileceği, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na göre hazırlanmış Basit Basınçlı Kaplar Yönetmeliği'nde (2014/29/AB) belirtilmiştir.

Basınçlı kaplar, hidrostatik (su ile yapılan) ya da pnömatik (hava ve azot ile yapılan) testlerle kontrol edilir. Bu testlerden hidrostatik test en güvenli yöntemdir. Test sırasında kabın çeperi yırtılırsa su basınç kaybedeceği için yeni bir tehlikeye neden olmaz. Buna rağmen pnömatik testin yapılması gereken yerler vardır. Bu yerler, teknik şartname ve yönetmeliklerde tanımlanır.

7.4.3. Röntgen Cihazıyla Muayene Yöntemi

Röntgen cihazıyla muayene yönteminde malzeme içerisindeki boşluklar, yapısal değişiklikler, hatalar ve kalınlık değişimleri gibi sorunlar tespit edilebilmektedir. Manyetik



özellik göstermeyen malzemelerde kullanılan bir muayene yöntemidir. Malzemeye gönderilen X ışınları, malzemeye zarar vermeden onun içyapısını inceleme olanağı verir.

Üretilen X ve gama ışınları malzeme içerisinden geçerken malzeme tarafından emilir. Işınların emilme miktarı, malzeme kalınlığına göre artar ya da azalır. Dolayısıyla emilen radyasyon, yoğunluğu fazla olan malzemedeki daha fazladır.

Endüstriyel radyografi yönteminde malzemenin bir tarafında ışın kaynağı, diğer tarafında bir algılayıcı vardır. Işın kaynağı olarak X veya gama ışınları, algılayıcı olarak da genellikle film kullanılır. Net bir görüntü alabilmek için radyasyon kaynağının enerjisi, malzemeyi geçebilecek özellikte seçilmelidir. Aksi takdirde bir görüntünün oluşması mümkün değildir. Malzemeyi geçecek enerjiyi dalga boyları oluşturur. Dalga boyu küçüldükçe enerji artar. Işınların dalga boyunun çelik bir malzemeyi kontrol etmesi istenirse her 1 inç (1 inç = 2,54 cm) kalınlık için 1.000 volt enerji gerekir.

Malzeme üzerine gönderilen röntgen ışınları malzemeyi geçerek karşı taraftaki algılayıcıya ulaşarak bir film üzerine düşer. Bu film, ışık geçirmeyen bir tabakadır. X ışınlarının film üzerinde oluşturduğu gölge, normal bir ışığın oluşturduğu gölgeye benzer. Malzemenin kalınlığı ve içyapısının yoğunluğuna (kütle) göre film üzerindeki gölge yoğunluğu da değişir. Daha net ve büyük bir görüntü için radyasyon kaynağı ile malzemenin film olan uzaklığına ayrıca radyasyon kaynağının odak büyüklüğüne dikkat edilmelidir.

7.4.4. Manyetik Muayene Yöntemi

Ferromanyetik olan fakat östenitik olmayan bütün çelik ve dökme demir malzemeler için kullanılabilen bir muayene yöntemidir. Diğer tahribatsız yöntemlerde olduğu gibi yüzey veya yüzeye yakın yerlerdeki hataları tespit etmek için kullanılır. Kaynak dikişlerinde oluşan hatalar da bu teknikte bulunabilir.

Yöntemin çalışma prensibinde malzemelerin manyetik alan iletkenliklerinden faydalanılır. Özellikle ferromanyetik malzemeler iyi iletkenlerdir. Bu malzemelerin bir hata ya da boşlukla karşılaşması durumunda iletim hızları yavaşlar. Böylece malzemedeki kusurlar fark edilir.

Manyetik muayene yönteminde, parçada bir manyetik alan oluşturmak gerekir. Doğrudan manyetizasyon yapmak için malzemenin üzerinden akım veya indüksiyon akımı geçirilir. Dolaylı yoldan manyetizasyon yapmak için doğal mıknatıs, elektromıknatıs, yardımcı iletken üzerinden akım geçirme veya bobinle mıknatıslama yapılır.

Manyetik muayene yönteminde yüzey ve yüzeye yakın yerlerdeki hataları bulmak kolayken derindeki hataları bulmak zordur. Yöntemin ferromanyetik malzemelerde uygulanması kolaydır ve görüntüleme dışında otomasyon yapılabilir.

7.4.5. Ultrasonik Muayene Yöntemi

Ultrasonik muayene yönteminde malzemenin içindeki hataları tespit etmek veya malzeme kalınlığını ölçmek için ses dalgaları kullanılır. Muayene sırasında ses dalgaları malzemeye belirli bir frekans aralığında ses demeti olarak gönderilir. Bu frekans aralığının



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi malzemeye fiziksel bir zarar vermeden yapılan kontroldür?
 - A) Gözle muayene
 - B) Kırarak kontrol
 - C) Eğerek kontrol
 - D) Bükerek kontrol
 - E) Zımparalayarak kontrol
2. Aşağıdakilerden hangisi malzeme içerisine ultrasonik dalgalar gönderilerek yapılan deneydir?
 - A) Dayanım
 - B) Elektroliz
 - C) Isı
 - D) İletkenlik
 - E) Ses
3. Aşağıdakilerden hangisi kıvılcım deneyi yapılarak tespit edilen malzemenin özelliklerinden biridir?
 - A) Dayanım
 - B) Boy
 - C) Karbon ve alaşım miktarı
 - D) Ağırlık
 - E) Isıl genleşme katsayısı
4. Aşağıdakilerden hangisi 180 derece bükülen malzemenin dayanımını ölçmeye yarayan deneydir?
 - A) Isıl deney
 - B) Kıvılcım deneyi
 - C) Röntgen cihazıyla muayene deneyi
 - D) Elektroliz deneyi
 - E) Eğme ve katlama deneyi
5. Aşağıdakilerden hangisi kaynak dikiş kalitesini ölçmek için yapılan deneylerden biridir?
 - A) Çekme
 - B) Elektroliz
 - C) Galvanik
 - D) Kırma
 - E) Korozyon
6. Çelik borulara uygulanan muayenede aşağıdakilerden hangisi incelenir?
 - A) İçindeki karbon oranı
 - B) Et kalınlığı ve çapı
 - C) Boru boyu
 - D) Kullanıldığı bina kat sayısı
 - E) Gömüldüğü toprak derinliği
7. Silindirik bir numunenin sabit çeneye bağlanarak, diğer ucundan dairesel olarak çevrilmeye çalışıldığı deney aşağıdakilerden hangisidir?
 - A) Basma
 - B) Burma
 - C) Çekme
 - D) Röntgen
 - E) Sündürme
8. Malzemenin bir kuvvet yardımıyla uzatılarak dayanımının ölçülmesi aşağıdakilerden hangisiyle yapılır?
 - A) Birleşim kontrolü
 - B) Röntgenle muayene
 - C) Basma deneyi
 - D) Kaynatma deneyi
 - E) Çekme deneyi



9. Deney numunesine uygulanan kuvvetle numune boyunda kısılma ve yan çeperlerinde fiçilaşma olduğu gözlemlenmiştir.

Numunenin uygulanan kuvvete karşı gösterdiği direnci ölçen bu deney aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Gözle kontrol
- B) Yer çekimi
- C) Basma
- D) Çentik
- E) Bükme

10. Makaslama kuvvetlerine karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçen ya da bu kuvvetlere karşı dayanıklı malzemeler üretebilmek için yapılan deney aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Kaynak
- B) Kesme
- C) Korozyon
- D) Röntgen
- E) Ultrasonik

11. Makine parçaları, tekrarlanan hareketler sonucunda dayanıklılıklarını kaybederek çatlar ve kopar.

Yukarıdaki cümlede aşağıdakilerden hangisi anlatılmıştır?

- A) Alaşım tekniği
- B) Ekonomik malzeme seçimi
- C) Çelik malzeme kullanımı
- D) Malzeme yorgunluğu
- E) Tavlama ve sinterleme

12. Aşağıdakilerden hangisi tahribatlı muayenelerden biridir?

- A) Gözle kontrol
- B) Kırma deneyi
- C) Röntgenle kontrol
- D) Ultrasonik deney
- E) Penetrant deneyi

13. Aşağıdakilerden hangisi birbirine sürtünerek çalışan malzemelerin yüzey kayıplarını incelemek için yapılan deneydir?

- A) Aşınma
- B) Basma
- C) Burma
- D) Bükme
- E) Çekme

8. ÖĞRENME BİRİMİ



TEMEL KAVRAMLAR

metalürji, öğütme, atomizasyon, gaz jeti, pres, enjeksiyon, katman, besleyici, damga, montaj

TOZ METALÜRJİSİ



KONULAR

- 8.1. TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ
- 8.2. TOZ ŞEKİLLENDİRME
- 8.3. SİNERLEME
- 8.4. SERBEST ŞEKİLLİ ÜRETİM
- 8.5. BİTİRME İŞLEMLERİ

NELER ÖĞRENECEKSİNİZ?

- ◆ Tozların nasıl üretildiği
- ◆ Üretilen tozların nasıl şekillendirildiği
- ◆ Sinterlemenin nasıl ve neden yapıldığı
- ◆ Tozlardan serbest şekilli parçaların nasıl üretildiği
- ◆ Tozlardan üretilen parçaların üzerinde yapılan işlemler

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Toz tanesi ne kadar güçlü olabilir? Düşüncelerinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

8.1. TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Toz metalürjisi 1800'lü yıllarda ortaya çıkmıştır. 1900'lü yıllarda ampullerdeki filamentler ve metal işlemedeki kesici takımlar toz metalürjisiyle üretilmeye başlanmıştır. 1930'larda çeşitli sert metaller, yoğun karbür içeren seramik-metal kompozit malzemeler, gözenekli bronz yataklar ve bakır-grafit esaslı elektriksel kontakt malzemeler geliştirilmiştir. 1940'lı yıllarda demir esaslı yapısal alaşımlar ve özellikle ateşe dayanıklı metal ve alaşımların üretimi önem kazanmıştır.

Toz metalürjisinde çok küçük parçalar birbirine bağlanarak yeni parçalar üretilir. Toz formundaki ham maddeler kullanılarak üretilen bu parçalar pek çok alanda kullanılmaktadır. Dış dolguları, tungsten lamba telleri, güç aktarma dişli ve milleri gibi ürünler örnek olarak verilebilir.

Toz metalürjisiyle hurda, elde kalmış veya herhangi bir işlem görmemiş çok küçük metal parçaları birbirine bağlanarak parça hâline getirilebilir. İşlemler, metal parçaların bir kalıp içinde, belirli bir basınçta ve ergime sıcaklığının hemen altında şekillendirilmesiyle gerçekleştirilir. Toz metalürjisinin uygulanabilmesi için birbirinin içerisinde çözünmeyen malzemelerin kullanılması gerekir. Bu teknikte yağlama ve enerji dağılımını sağlayabilen gözenekli (hava boşluklu) malzeme üretimi yapılabilir. Örneğin gaz beton tuğla bu türde bir malzemedir.

Toz metalürjisi küçük parçaların ekonomik ve çok fazla sayıda üretilmesine, karmaşık parçaların bir defada yapılmasına olanak sağlayan ileri bir teknolojidir. Üretim süreci çok hızlı olduğu için bu yöntemde metal ve metal olmayan malzemeler kullanılabilir. Ham madde kayıpları ve hatalı parçalar nedeniyle oluşan kayıplar az olduğu için verimliliği yüksektir. Yüksek yoğunluktaki parçaların üretilmesi kolaydır. Buna karşın üretilen parça adedinin az olması durumunda tercih edilmez. Çünkü kullanılan malzeme ve ekipmanların maliyeti yüksektir.

Toz metalürjisinde en yüksek maliyet, kullanılan kalıplardadır. Bu kalıplar, dayanım derecesi yüksek ve aşınma değeri düşük çeliklerden yapılır. Ekonomik olmayan bu kalıplar ancak seri üretim yapılan endüstrilerde kullanılır. Üretimde kullanılan tozların aşındırıcı etkisi, kalıplara uzun vadede zarar verebilir.

Toz metalürjisi tekniğinin uygulaması; toz metaller, seramikler, parçacık takviyeli kompozitler, plastik kalıplama, metal dövme gibi birçok üretim tekniğinin bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Günümüzde pek çok parça, toz metalürjisiyle üretilmektedir.

Toz metalürjisinde kullanılan tozların birden fazla üretim yöntemi vardır. Bunlar mekanik yöntem ve kimyasal yöntem olarak iki ana başlık altında toplanır. Mekanik yöntemin içinde talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlama teknikleri vardır. Kimyasal yöntemin içinde ise elektroliz ve atomizasyon tekniği sayılabilir.

Toz metalürjisinde kullanılacak tozların boyutu 1 mikron (μm) ile 200 mikron arasındadır. 1 mikron; milimetrenin binde biri (1/1.000), metrenin 1 milyonda biridir (1/1.000.000). Üretim yöntemine bağlı olarak tozların şekilleri de farklılık gösterir. Tozun şekli üretim açısından önemlidir. Hangi parça hangi amaçla üretileneye göre bir toz şekli ve üretim yöntemi tercih edilmelidir.



8.1.1. Mekanik Yöntemler

Toz üretimi yöntemlerinden biri olan mekanik yöntem türleri şunlardır:

- ◆ Talaşlı (kesme) üretim
- ◆ Aşındırarak öğütme
- ◆ Mekanik alaşımlama

Talaşlı Üretim: Toz üretiminde kullanılacak malzemelerin yüzeyinde tornalama ya da frezeleme gibi yöntemlerle talaş kaldırılır. Kaldırılan talaşlar öğütülerek toz durumuna getirilir. Tozlar iri olmakla birlikte saf değildir. Buralardan çıkan tozlar ilk önce öğütülerek ince toz hâline getirilir. Talaşlar iri olduğu ve inceltmesi gerektiği için kullanılan soğutucu sıvılarda kirlilik oluşturması dezavantajdır. Bu nedenle talaşlı üretim yöntemi çok tercih edilmez. Örneğin yüksek karbonlu çelik tozları bu teknikle üretilir.

Aşındırarak Öğütme: Kendi başına bir toz üretim yöntemi olmakla birlikte diğer yöntemlerle üretilmiş tozların küçültülmesi işleminde de kullanılır. Silindir ya da küre şeklindeki bir kap içine yerleştirilen önceden kırılmış malzemeler, kendilerinden daha sert ve aşınmaya dirençli bilyelerle öğütülür. Öğütme işlemi kabın belirli hızda dönmesiyle olur.

Bilyeler öğütülecek malzemeye çarptığında bir baskı kuvveti oluşturur. Bu kuvvet sayesinde kap içindeki malzemelerden daha küçük parçalar kopararak toz durumuna getirir. Bilye miktarı kap hacminin yarısı kadarken öğütülecek malzeme, kap hacminin 1/4'ü kadar olmalıdır.

Öğütülen parça gevrek değil de sünek bir malzemedense seçilmişse parçanın şekil değiştirerek yassılaşıma ihtimali çok yüksektir. Öğütme süresini kısaltmak ve daha ince tozlar üretmek için su veya alkol kullanılabilir. Öğütme işleminde kırılğan malzemeler kullanılır. Bunlar genelde demir alaşımlarıdır.

Mekanik Alaşımlama: Mikro alaşımlı kompozit toz üretme yöntemidir. Tozların üretimi yüksek enerji değirmeni ya da öğütücü bilyelerle yapılır. Malzemelerin konulduğu kap çeperi ile bilyeler aynı malzemedense yapılmıştır. Mekanik alaşım yönteminde kuru tozlar dönme sırasında birbirine periyodik olarak kaynaşır ve bu kaynaşmış tozlar defalarca kırılır. Toz bu aşamada üretilir. Bu toz sayesinde daha ince ve homojen yapıya sahip, dayanıklı kompozit malzemeler üretilebilir.

Mekanik alaşımlama, enerji açısından verimli bir yöntem değildir. Bilye çapı öğütme zamanını etkiler. Çap küçüldükçe öğütme zamanı da kısalmır. Bu yöntemde dışarıdan kir girme ihtimali vardır.

Mekanik alaşımlamayla magnezyum, alüminyum, demir, bakır, paslanmaz çelik gibi metalik malzemelerin içerisine silisyum karbür, titanyum karbür, titanyum nitrür vb. oksit, karbür veya nitrür takviye edilerek kompozit elde edilir.

8.1.2. Kimyasal Yöntemler

Metal tozları mekanik yöntemlerin yanı sıra kimyasal yöntemlerle de üretilebilir. Kimyasal yöntemde metal oksitler karbonmonoksit veya hidrojen gibi gazlarla indirgenir.



Demir tozlarının üretilmesinde çokça kullanılan bu yöntemde demir cevheri kokla karıştırılır ve fırından geçirilir. Fırında indirgenen demir cevheri süngerimsi bir duruma gelir. Bu sürecin tamamlanması için demir cevheri ve kok karışımı 1260 °C'de 68 saat fırında bekletilir.

Sünger demiri öğütüldüğünde istenen tane boyutunda tozlar elde edilir. Bu tozlar, hidrojen gazı altında 870 °C'de tavlınırsa oksijen ve karbondan arındırılarak istenen özelliklere getirilmiş olur.

Sünger demirinden toz elde etmek için kullanılan kimyasal yöntemler şunlardır:

- ◆ Elektroliz yöntemi
- ◆ Atomizasyon yöntemi

Elektroliz Yöntemi: Metal toz oluşturmak için klasik elektroliz sisteminin uygulandığı yöntemdir. Bu yöntem anot, katot ve elektroliz banyosundan oluşur. Elektroliz banyosunda toza dönüştürülmek istenen ham madde anotta çözünür. Daha sonra katot üzerinde birikme olur. Son olarak katotta biriken metal öğütülerek ince toz hâline dönüştürülür.

Atomizasyon Yöntemi: Erimiş durumdaki metali ince bir delikten akıtırken, su veya gaz jetiyle çok küçük parçalara ayırarak toz üretme yöntemidir. Atomizasyon yöntemi genellikle gaz ve su atomizasyonu olarak ikiye ayrılır. Gaz atomizasyonunda azot, argon ve hava en çok tercih edilen gazlardır. Su atomizasyonunda ise akışkan olarak su kullanılır. Toz metalürjisinde kullanılan tozların %90'ından fazlası bu yöntemle üretilir. Bir tozun ortalama boyut, şekil ve kimyasal bileşiminin kontrol edilebilir olması atomizasyon yönteminin faydaları arasındadır. Üretim hızı çok yüksek olduğu için diğer yöntemlerden daha ekonomiktir.

Atomizasyon yönteminin aşamaları metali ergitilmesi, atomizasyon işlemi, katılaşma ve soğumadır. Gaz atomizasyonu ve su atomizasyonu işlemlerinin yanı sıra yağ atomizasyonu, dönen elektrot, vakum atomizasyonu ve ergiyik döndürme yöntemleri de vardır.

Yağ atomizasyonunda adından anlaşılacağı gibi yağ kullanılır. Ergimiş metallerin üzerine yüksek basınçtaki yağ jeti püskürtülerek küçük parçalara ayrılması sağlanır.

Dönen (santrifüj) elektrot yönteminde elektrodun ergiyen ucundaki metal damlalar, basınçlı havayla parçalanır. Parçalanarak toz hâline gelen damlalar soğutulularak süreç tamamlanır.

Vakum atomizasyonunda, belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmış basınçlı gaz (hidrojen) altındaki sıvı metale vakum uygulanır. Birden uygulanan bu vakumla metal yüzeyinde atomizasyon işlemi gerçekleşir. Vakum yönteminde ince ve küresel tozlar üretilmektedir.

8.2. TOZ ŞEKİLLENDİRME

Üretimden sonra tozların istenilen şekle veya bir malzemenin ham maddesine çevrilmesi için kullanılan yöntemlere **toz şekillendirme** denir. Toz şekillendirme yöntemleri şunlardır:



- ◆ Presleme
- ◆ Haddeleme
- ◆ Ekstrüzyon
- ◆ İzostatik presleme
- ◆ Toz enjeksiyon kalıplama

Presleme, toz tanelerinin ürün durumuna getirilmesi için yapılan işlemdir. Preslenerek üretilen parçanın şekil ve ölçüleri istenen değer aralıklarındadır. Presleme işlemi çelikten yapılmış bir hacim kalıbının içinde gerçekleştirilir. Bu hacim kalıpları, tek veya çift taraflı olacak şekilde sıkıştırabilme özelliğine sahiptir.

Haddeleme; ürün çıktısı olarak düz, şerit levhalar veya çubukların elde edildiği yöntemdir. Toz karışımı, bir besleyici yardımıyla iki silindirin arasından geçirilerek haddeleme yöntemi uygulanmış olur. Haddeleme ikili veya üçlü silindir grubundan geçirilerek de yapılabilir.

Ekstrüzyon, kalıba doldurulan tozun basınçla sıkıştırılarak istenilen ürünlerin elde edildiği bir yöntemdir. Şekil verme kalıbı haznenin çıkışına yerleştirilmiştir.

İzostatik presleme, homojen olarak sıkıştırılması zor parçalar için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemle üretilen parçaların mikro yapıları ve elektriksel özellikleri çok iyidir. Presleme türleri şunlardır:

- ◆ Soğuk izostatik presleme
- ◆ Sıcak izostatik presleme

Soğuk izostatik presleme yönteminde kauçuk veya plastikten yapılmış esnek kalıplar kullanılır. Kalıbın içine doldurulan tozların sıkıştırılmasında kullanılacak kuvvetin her yüzeye eşit dağıtılması gerekir. Sıvılara uygulanan basınç sıvının her yanına aynı oranda etki eder. Bunun için metal tozları bir sıvı yardımıyla kalıbın içine basınçla doldurulur.

Sıcak izostatik presleme yönteminde sıcaklık ve basınç aynı anda uygulanır. Kalıp içine doldurulan toz karışımı vakumlanır ve kalıbın her tarafına sıcaklıkla birlikte basınç uygulanır. Böylece son ürün elde edilmiş olur.

Toz enjeksiyon kalıplama yöntemi, karmaşık geometrideki küçük ve orta ölçekteki parçaları üretmek için kullanılır. Üretilen parçalar 01-300 gram arasındaki metal ve seramik esaslı parçalardır. Toz enjeksiyon kalıplama, seri üretime uygun ve üretim giderleri düşük bir yöntem olarak bilinir.

8.2.1. Özellik Esaslı Şekillendirme

Tozların şekillendirmesi metal tozun özellikleri dikkate alınarak yapılır. İşlemlerde toz şekillendirme yöntemlerinden metal tozun özelliklerine en uygun olanı kullanılır. Ürünler homojen bir yapıda üretilmek istenirse izostatik presleme yöntemi tercih edilir. Düz levha oluşturulmak istenirse haddeleme yöntemi tercih edilir. Eğer karmaşık bir parça üretilecekse presleme yöntemi kullanılabilir.

8.2.2. Bağlayıcılar ve Şekillendirme Şartları

Bir parça oluşturabilmek için metal tozlarının birbirlerine bağlanmaları ve tutulmaları gerekir. Bu nedenle bazı bağlayıcılar ve yağlayıcılar kullanılır (Tablo 8.1). Yağlayıcı olarak eklenen katkı maddesi (stearik asit, çinko stearat, parafin ve metalik stearatlar), tozların birbirleri üzerinde kaymasını ve kalıp yüzeyinde rahat hareket etmesini sağlar. Bağlayıcılar (polivinil alkol ve parafin) ise metal tozlarının birbirine daha iyi bağlanması için kullanılır. Mum benzeri polimerler, ekonomik ve ergime sıcaklıkları düşük olduğu için genellikle bağlayıcı olarak tercih edilir.

Tablo 8.1: Tozların Birleştirilmesinde Kullanılan Bağlayıcılar

KULLANILAN TOZ ÜRETİM YÖNTEMİ	KULLANILAN BAĞLAYICI BİLEŞİMİ (% AĞIRLIK)
Ekstrüzyon	%56 su
	%25 metil selüloz
	%13 gliserin
	%6 borik asit
Enjeksiyonla kalıplama	%55 parafin mumu
	%35 polietilen
	%10 stearik asit
Slip döküm	%4 sodyum lignosülfonat
	%95 su
	%1 kalsiyum nitrat
Şerit döküm	%80 toluen
	%13 polietilen glikol
	%7 polivinil alkol

8.2.3. Enjeksiyon Kalıplama

Basit olarak malzemenin, kalıp içine basınçla püskürtülerek kalıbın şeklini almasıdır. Seri üretime uygun bir yöntemdir. Bu nedenle endüstride kullanımı çok yaygındır. Kalıplamada enjeksiyon makinesi sayesinde birbirlerine yapışıp ayrılabilen dişi ve erkek kalıplar kullanılır. Malzemeye bir besleme haznesine sahip olan enjeksiyon makinesinde titreşim yardımıyla akışkanlık verilir. Malzeme, dolum yapılacak bölmeye iletilir ve buradan kalıba basılır. Belirli bir formada olan karmaşık yapılar bu yöntemle üretilir.

Kalıpların, birbirine tamamen oturması ve birbirinden kolayca ayrılması için düşük tolerans aralıklarında üretilmesi gerekir. Bu yöntem ayrıca tozların şekillendirilmesi için de kullanılabilir. Toz enjeksiyonla kalıplama yönteminin temel adımları şunlardır:

- ◆ Karıştırma
- ◆ Enjeksiyonla kalıplama
- ◆ Bağlayıcı giderme
- ◆ Sinterleme



Toz enjeksiyonla kalıplamada toz ve bağlayıcılar karıştırıldıktan sonra toz karışımı enjeksiyonla kalıplanır. Daha sonra içerisinde bulunan bağlayıcılar giderilerek sinterleme işlemi yapılır.

8.3. SİNERLEME

Yüksek sıcaklık altında birbirine temas eden toz parçalarının birbirlerine bağlanması sinterlemeyle sağlanır. Sinterlemede mekanik bağlar kimyasal bağa dönüşür. Bu bağlanma sırasında mikro yapıdaki parçacıklarda boyun büyümesi gözlemlenir. Parçadaki gözenekli yapı azaltılırken parçaya dayanım ve sertlik kazandırılır. Sinterleme işlemi tozun yüzey enerjisinin azalmasıyla oluşur. Bu işlem ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta gerçekleştirilir.

8.3.1. Sinterleme Esasları

Sinterleme özel koruyucu atmosfer veya vakum altında yapılmalıdır. Sinterleme sırasında kullanılan atmosferlerin belli görevleri vardır. Atmosferin öncelikli görevi, reaksiyon olmaması için dış ortam ile parça arasına girerek bariyer oluşturmaktır. Koruyucu atmosfer, sinterlenecek toz parçasıyla alaşım yaparak süreci hızlandıracak elementi sağlar. Sinterleme sırasında kullanılan koruyucu atmosferi oluşturan gaz ve ortamlar şunlardır:

- ◆ Hidrojen
- ◆ Azot
- ◆ Hidrojen-azot karışımı
- ◆ Hidrokarbon gazları
- ◆ Argon ve helyum
- ◆ Vakum

Hidrojen, birçok metal oksidini indirger. Hidrojen-azot karışımları da indirgeyici özelliindedir. Hidrojen aynı zamanda yanıcı ve patlayıcıdır. Sinterleme işlemi sırasında malzemenin ısınma ve soğuma hızlarını artırır. Hidrojen-azot karışımında bulunan azot gazı malzemenin kırılgenliğini artırır. Azot, birçok elementle reaksiyona girebilir. Argon ve helyum asal gaz olduğu için nötr atmosfer oluşturabilir. İndirgeyici özellikteki hidrokarbon gazları; yakıt nitelikli, ucuz karışimli ve yanıcıdır.

Gazlarla bileşik yapma eğilimindeki metal ve metal alaşımları için vakum yöntemi kullanılır. Vakum yönteminde sinterleme yapıldığı zaman malzemedeki gözenekler yok olur. Böylece yüksek yoğunlukta malzeme elde edilir.

8.3.2. Sinterlemenin Aşamaları

Sinterlenmenin amacı, preslenerek oluşturulan toz metal parçalarına çalışma şartlarını sağlayacak özellikler kazandırmaktır. Sinterleme sıcaklığı tek bileşenli toz metal parçalarda metalin ergime sıcaklığının hemen altında tespit edilir. Çok bileşenli parçalarda ise bileşiği oluşturan parçalardan ergime sıcaklığı en düşük olana göre yapılır. Sıvı fazlar için ayrı ayrı belirlenir. **Katı faz sinterlemenin** aşamaları şunlardır:



- ◆ Başlangıç aşaması
- ◆ Ara aşama
- ◆ Son aşama

Başlangıç aşamasında her parçacığın üzerinde boyun büyümesi başlar. Bu boyunlar birbirinden bağımsız olarak büyür. Preslenmeden önce toz tanelerindeki temas noktalarının alanı daha küçüktür. Yoğunluk arttıkça temas alanı artacaktır. Bu aşamada parça boyutlarında herhangi bir değişim yoktur.

Ara aşamada gözenekler yuvarlaklaşırken taneler büyür. Buna bağlı olarak yoğunluk artışı gözlemlenir. Gözenekler yuvarlaklaşarak düzgün hâle gelse de birbiriyle bağlantılıdır. Sinterleme devam ettikçe taneler büyür, gözenekler küçülür. Ara aşamanın sonunda gözenekler kapanır. Tanelerin büyüme, dönme ve bükülmesi sonucunda boşluklar ortadan kalkar. Tane sınırındaki gözenekler kaybolur.

Son aşamada malzeme içindeki gözenekler kapalı ve küresel bir yapıdadır. Sinterlemenin son aşaması, yüzey enerjisinin çoğu kullanıldığı için diğer aşamalara göre yavaştır. Yüzey enerjisi azaldıkça sinterleme de yavaşlar. İyapıdaki gözenekler kapanır ve tane sınırlarından ayrılır. Bu gözenekler mercek şekline veya küresel şekle gelmeye çalışır. Gözenekler malzemenin sınırında yer alıyorsa kütleli taşınım ile küçülür. Bazı durumlarda tane büyümesi gibi gözenek büyümesi de oluşur. Bu aşamanın sonuna doğru gözenekler küresel şekilli ve kapalıdır. Aşırı tane büyümesi görülür. Başlangıç aşamasındaki parçacıklar mikro yapıda görünmez olur.

Sıvı faz sinterlemede sinterlenecek bileşenlerden bir ya da birkaçı sıvı fazdadır. Katı faz parçacıkları arasındaki bağlanmayı hızlandırmak için sıvı faz kullanılır. Sinterleme yapılacak tozların ergime sıcaklıkları birbirinden farklı olmalıdır. Sıvı fazın yüksek sıcaklıkta olması, parçacıkların birbirine yapışmasını sağlar. Bu yapışmayı kapiler etkiyle oluşan basınç sağlar. Kapiler etki, sıvı fazlarda tanecik yüzeyinde oluşan etkilerin meydana getirdiği kuvvettir.

Kapiler etki arttığında sinterleme hızı da artar. Sıvı faz sinterlemesi maddede homojen bir yoğunlaşma meydana getirir. Buna karşın sıcaklık aşırı yükselirse tane büyümesi artar ve malzemede deformasyon (şekil bozuklukları) görülür.

Günümüzde sıvı faz sinterlemesi elektronik seramikler, aşındırıcılar, ferritler, yüksek sıcaklık seramikleri, elektrik kontak malzemeleri, sinterlenmiş karbürler, bronz yataklar, süper alaşımlar, otomotiv yapı parçaları gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

8.4. SERBEST ŞEKİLLİ ÜRETİM

Serbest şekilli üretim yöntemlerinde üretimi yapılacak parçanın önceden tasarlanması gerekir. Tasarımı yapılan parçanın üretim yöntemine karar verilir. Buradaki önemli nokta, tasarımı yapılan parçanın teknik resmi ile üretim yönteminin birbirine uymasıdır.

8.4.1. Takımsız Üretim

Endüstride üretim sürekli ve hızlı olmalıdır. Süreklilik ve hızı sağlamak için talaşlı üre-



tim yapılıyorsa takımların (talaş kaldırmada kullanılan kesici aletler) uzun süre dayanması istenir. Ancak dayanıklı takımların maliyetleri çok yüksektir. Takım maliyetini düşürmek için kullanılan üretim tekniklerine **takımsız üretim teknikleri** denir. Bu üretim teknikleri şunlardır:

- ◆ Çıkarıcı teknikler
- ◆ İlave teknikler
- ◆ Doğrudan üretim teknikleri
- ◆ Püskürtmeli üretim teknikleri

Çıkarıcı teknikler, sinterleme öncesinde büyük boyutlardaki ham parçadan talaş kaldırma işlemidir. İlave tekniklerde üretim bir bilgisayarla kontrol edilir. Parçanın istenen şekle gelmesi için tozlar parça üzerine yapıştırılır ve sinterlenir. Doğrudan üretim tekniğinde lazer kontrolü için bilgisayar tercih edilir. Püskürtmeli üretim tekniğinde gaz atomizasyonunda olduğu gibi sıvı durumdaki metal damlacıkları katılaştırılarak ham şekilli üretim yapılır.

8.4.2. Ham Talaş Kaldırma Yöntemi

Talaş kaldırma işlemlerinin yapıldığı üretim yöntemidir. Bunun için belirli kesici uçlar, tezgâhlar veya CNC (Computer Numeric Control-Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol) makineleri kullanılır. Talaş kaldırmada en önemli nokta, parçanın kesici uca değen kısmının parçadan düzgün bir şekilde ayrılmasıdır. Ayrılma sırasında kesici uç, kayma deformasyonu ile talaş şeklinde malzeme kaldırarak yeni yüzeyler ortaya çıkarır. Bu yöntemle parçaya istenen ölçü ve şekiller verilebilir.

Üretimi yapılan (şekil verilen) parçanın malzemesi, talaş kaldırma için önemlidir. Kesici takım ve devir sayısı, malzemenin cinsine göre seçilir. Farklı yöntemlerle de parçadan talaş kaldırılabilir. Bunun için parçanın durumuna göre tornalama, delme veya frezeleme işlemi uygulanır. Talaş kaldırma sırasında genellikle iki metal parça birbirine sürttüğü için çok yüksek ısı oluşabilir. Bu nedenle talaş kaldırma sırasında soğutucu sıvılar (bor yağı vb.) kullanılır. Talaş kaldırma yöntemi çoğu parçaya uygulanabilir ve endüstride sıkça kullanılır.

8.4.3. Katman Teknolojileri Yöntemi

Malzeme üretimi talaş kaldırarak, döküm yaparak veya kalıplamayla yapılır. Talaş kaldırmada ana malzeme üzerinden küçük parçalar kopartılır ve parçaya şekil verilir. Döküm ve kalıplama yöntemlerinde zor kesitli ve karmaşık geometrili parçalar üretilemez. Üretilen parçaların yüzey kaliteleri de düşüktür. İyi bir yüzey kalitesi elde etmek için fazladan işlem yapılmalıdır.

Katman teknolojisinde ise malzemeler kat kat eklenerek üretim yapılır. Kesit ya da geometrisi karmaşık parçalar hızlı ve üç boyutlu olarak üretilir.

Üretimin herhangi bir aşamasında yapılan tasarım değişiklikleri doğrudan uygulanabilir. Hasarlı bir yerin tamiri kolaylıkla yapılabilir. Bu yöntemde kullanılan tozlar de-



falarca üretim sürecine sokulabilir. Katman teknolojisiyle yapılan üretimde malzeme kalitesi çok yüksektir. Üretim maliyetinin düşük olması diğer yöntemlere göre üstünlük sağlar. Talaş kaldırma yönteminde malzeme kaybı, kalıp tekniğinde kalıp hazırlanması ve daha sonra bu kalıpların kullanılamaması, döküm tekniğinde ortaya çıkan hurda malzeme (hasarlı malzeme) gibi olumsuzluklar vardır.

8.4.4. Yüksek Güç Lazer Yöntemi

Tozları eritmek ve bu eriyen tozlarla katman oluşturmak için yüksek güçlü lazerler kullanılır. Lazer ışınlarının çapı 20-200 mikron olup 20-80 mikron aralığındaki tozlarla üretim yapılır. Lazer ışığının önüne serilen tozları eriterek istenilen şekle getirmek için katmanlar oluşturulur. Bu işlem defalarca yapılarak üretim kat kat tamamlanır.

Tozun lazer demetinin önüne (altına) serilmesi bir toz besleyici yardımıyla yapılır. Bu toz besleyiciler tozları kesintisiz bir şekilde lazerin önüne serer. Çoklu toz besleyicilerin de kullanılabildiği bu sistem yardımıyla kompozit malzemeler ve alaşımlar üretilebilir.

Yüksek güç lazer yöntemiyle kesici takım üretilebilir. Yüksek soğutma hızları nedeniyle tane boyutları küçülür. Bu yöntemle üretilen parçaların dayanımı, sinterlenmiş parçaların dayanımından daha fazladır. Lazer aynı zamanda kesici görevi yapabilir. Lazer kesim makineleriyle 2-15 mm arasındaki sac metaller kesilir.

8.4.5. Püskürtmeli Şekillendirme Yöntemi

Ergimiş metal ya da alaşımın gaz atomizasyonu ile parçalanarak damlacıklar hâlinde bir altlığa birikmesidir. Gaz jetiyle parçalan sıvı metal, katılaşmadan önce altlığa çarpar. Çarpma sırasında metal, yarı sıvı yarı katı durumdadır. Çarpma ile birlikte geniş bir alana yayılım gösterir. İşlem sürdürüldükçe altlık üzerinde birikme devam eder. Üst üste biriken metal; katılaştıktan sonra haddeme, dövme veya ekstrüzyonla şekillendirilir. Metalin çarptığı altlık, pürüzsüz ve düz olmalıdır. Böylece altlığa temas eden parçanın yüzey kalitesi yüksek olacaktır. Metalin biriktiği altlık hareket ettirilerek farklı geometrilerde metal katmanları elde edilebilir. Oluşan parça bu şekilde kullanılabilen gibi plastik şekil verme işlemleriyle şekline değişiklik yapılabilir.

Damlacıkların boyut ve hızı değişkenlik gösterir. Ortalama damlacık boyutu 150 mikron, damlacık hızı ise 15 metre/saniyedir (m/s).

Püskürtmeli şekillendirme yöntemiyle yapılan ürünler; silindir kütükler, borular, kaplamalar, alüminyum, bakır, nikel, demir ve silikon bazlı alaşımlardır. Otomotiv, elektronik, uzay teknolojileri gibi geniş bir alanda kullanılır.

8.5. BİTİRME İŞLEMLERİ

Toz metalürjisinde parça üretimi sinterlemeyle sona ermez. İstenilen özellikleri karşılama için ürüne ek işlemler yapılmalıdır. Bitirme işlemleri delik delme, vida açma, bileşenlerin montajı, boyut ayarlama için yeniden presleme, kaba yüzeyleri düzgünleştirme, çapakların alınması, karbürleme yoluyla yüzeyi sertleştirme, ısı işlem, yorulma ömrünü iyileştirmek için yüzeyi bilyeli dövme ve korozyon önleyici kaplama şeklinde olabilir.



8.5.1. Yeniden Presleme ve Damgalama

Yeniden presleme işlemine **kalibrasyon işlemi** de denir. Sinterleme yapılan parçanın kullanıma hazır olduğu kabul edilmekle birlikte ikincil işlemlere de ihtiyaç duyulabilir. İkincil işlemler ek masraf gerektirdiği için yapılmak istenmese de bazı durumlarda zorunluluktur.

İkincil işlemlerden yeniden presleme basıncı, ilk sıkıştırma basıncından fazla olmakla birlikte büyük şekil değişikliklerine neden olmaz. İlk kalıplamadan sonra başka bir kalıpta yüzey hassasiyetini sağlama, uygun ölçülere getirme, yoğunluğu artırma amacıyla yapılır. Böylece üretilen parça istenen özellikleri kazanmış olur.

Mekanik deformasyon işlemi olan damgalamada amaç, sinterlenmiş parçanın yüzeyinde baskı oluşturarak şekil vermektir. Bu işlem markalama veya numaralama için tercih edilir. Damgalama yapabilmek için parça, sünek ve gözenekli olmalıdır. Metal paraların üzerindeki şekil, yazı ve semboller damgalama yöntemiyle yapılmaktadır.

8.5.2. Talaşlı İmalat ve Taşlama

Talaşlı üretim, metal malzeme üzerinden parçalar kopartılarak yapılır. Bu işleme **talaş kaldırma** denir. Talaş kaldırmada malzeme hareketliken kesici takım sabit veya kesici takım hareketliken malzeme sabit olabilir. Her iki durumda yüksek ya da düşük hızlarla malzemenin küçük parçalar kopartılarak malzemeye şekil verilir. Bu işlemde malzemenin yüzey kalitesinin artırılması da amaçlanır.

Talaş kaldırma işlemi, sinterleme işleminden sonra yapılır. Maliyetinin yüksek olması nedeniyle talaşlı üretim yönteminden kaçınılır. Toz metalürjisinde malzemeler genelde gözeneklidir. Gözenekli bir malzemenin işlenmesi, kesici takımda hasra yol açar. Bu olumsuzluğu engellemek için malzemenin gözeneklerine düşük ergime noktasına sahip bir metal emdirilir. Talaşlı üretimde takım seçimi, kesici takım maliyetleri yüksek olduğu için parçanın mekanik özelliklerine göre yapılmalıdır.

Taşlama tezgâhlarında yüksek devirde dönen silindir ya da disk geometri taşılarla sert ve gevrek malzemelerin yüzeyi işlenir. Bir parçanın üretimindeki en son aşama olan taşlama işlemi de bir talaş kaldırma yöntemidir. Taşlanarak yapılan aşındırmayla malzemenin yüzeyinden talaş kaldırılır. Böylece yüzey kalitesi (pürüzsüz bir yüzey) artırılan iş parçasının son ölçüsü de sağlanmış olur.

8.5.3. Isıl İşlemler

Sinterlemeden sonra parçanın mikro yapısını düzenlemek amacıyla ısıl işlem yapılır. Isıl işlem yapılırken ısıtma hızı, ısıtma süresi ve soğuma hızına dikkat edilmelidir. Atmosfer sıcaklığı ve soğutmada kullanılan sıvılar da ısıl işleme etki eder. Sinterlemeden sonra metaller dayanım ve sertlik kazanır. Sinterlenmiş bir çeliğin dayanımı ısıl işlemle artarken sünekliği azalır.

Isıl işlem sırasında yer çekimi, yoğunluk ve kesit kalınlığından kaynaklanan çarpılmanın gerçekleşmesi istenmez. Isıl işlemde parçanın sıcak bölgeleri yumuşaktır fakat soğuk bölgelerin olması nedeniyle deformasyona yol açan ısıl gerilmeler oluşur. Isıl gerilmeleri



en aza indirmek için parçanın yavaş soğutulması gerekir ancak bu durumda düşük mekanik özellikler ortaya çıkar. Çarpılmanın etkilerini azaltmak için soğutma ve ısıtma hızı iyi ayarlanmalıdır.

Isıl işlemde dikkat edilmesi gereken diğer özellik oksitlenmedir. Isıl işlem uygulaması sırasında parçanın etrafındaki atmosferin oksitlenmeyi engellemesi için işlemin yapıldığı atmosfere metan ve karbonmonoksit ilave edilir.

8.5.4. Birleştirme ve Montaj

Montaj işlemi birden çok parçanın kaynak, cıvata-somun veya perçinleme gibi yöntemlerle birleştirilmesidir. Montaj, aynı zamanda taşınması çok zor olan parçaların bölünüp tekrar monte edilmesi istenen durumlarda uygulanır.

Toz metalürjisinde montaj işlemleri sinterlemeden sonra yapılmalıdır. Ham parçaların sinterlemeden önce montajının yapılabilmesi için dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Ham parçalar aynı malzemeden yapılmış ve üretimlerinde aynı teknikler kullanılmışsa sinterlemeden önce montajları yapılabilir. Aynı malzemeden yapılan ham parçaların sinterlenmesinde sağlam bir bağ oluşur.

Farklı malzemelerden yapılan ham parçaların montajlanarak sinterlenmesi ara yüzey kusurlarına yol açar. Bu kusurları engellemek için parçacık boyutu, ısıtma hızı vb. faktörlerin dikkatli bir şekilde ayarlanması gerekir.

Büyük tozlardan daha fazla enerjiye sahip olan küçük tozların birleşme dayanımları da fazladır. Bu nedenle enjeksiyonla kalıplanmış yapılarda sinterlemeyle birleştirme çok başarılıdır. Gözenekler kaynak veya lehim yapılabilme özelliğini olumsuz etkilediği için gözenekli malzemeler birleştirilirken dikkat edilmelidir.

8.5.5. Kaplamalar ve Yüzey İşlemleri

Sinterlemeden sonra parçaya paslanmazlık veya parlaklık vermek, parçanın korozyon direncini artırmak gibi amaçlarla kaplama ve yüzey işlemleri yapılır. Kaplama yapmak için mekanik ve elektrokimyasal yöntemler kullanılır.

Emdirme ve infiltrasyon, yüzey gözeneklerini kapatmak için kullanılan tekniklerdir. Emdirme işleminde parçanın korozyon direncinin iyileştirilmesi amacıyla polimer kullanılır. Korozyon direnci iyileşirken mekanik özelliklerde çok fazla değişiklik olmaz. Emdirme işleminde ilk olarak parça ısıtılır, sonra boşaltılmış gözeneklere reçine basılır. Gözeneklerdeki reçine polimerleştirilir veya çapraz bağlanır.

İnfiltrasyon, bazı zamanlarda sinterleme çevrimiyle birleştirilir. Yöntemde parçadaki gözenekleri doldurmak için sıvı metal kullanılır ve bu yöntem emdirme yöntemine oranla mekanik özellikleri daha olumlu yönde etkiler. Gözeneklere dolan sıvı metal soğutulmuş sertleştirilir ve bunun sonucunda çift fazlı kompozit oluşur.

Parçanın belirli bir yüzeyindeki mekanik özelliklerini iyileştirmek için yüzey işlemleri uygulanır. Yüzey işlemlerinde ısıtma ve tekrar soğutma sürelerine dikkat edilmelidir.



ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi mekanik toz üretim yöntemlerinden biridir?

- A) Aşındırarak öğütme
- B) Kaynakla birleştirme
- C) Yapıştırarak şekillendirme
- D) Basınçla tozlaştırma
- E) Dökümle şekillendirme

2. Aşağıdakilerden hangisi toz şekillendirme yöntemlerinden biridir?

- A) Talaş kaldırma
- B) İzostatik presleme
- C) Eğeleme
- D) Eritmeyle şekillendirme
- E) Yeniden presleme ve damgalama

3. Aşağıdaki şekillendirme yöntemlerinden hangisinde malzeme çift merdaneden (silindir) geçirilerek düz, şerit levhalar veya çubuklar hâlinde üretilir?

- A) Alaşımlama
- B) Elektrofüzyon
- C) Haddeleme
- D) Isıl işlem
- E) Sinterleme

4. Yüksek sıcaklık altında mekanik bağları kimyasal bağa dönüştürerek toz parçalarının birbirine bağlanması işlemine hangi ad verilir?

- A) Dövme
- B) Enjeksiyon
- C) Kalıplama
- D) Sinterleme
- E) Taşlama



5. Aşağıdakilerden hangisi sinterlenecek malzeme ile atmosfer arasında nötr bariyer oluşturmak için kullanılan asal gazlardan biridir?

- A) Argon
- B) Azot
- C) Karbondioksit
- D) Karbonmonoksit
- E) Oksijen

6. Aşağıdakilerden hangisi sinterlemeden sonra yüzey kalitesini artırmak ve malzeme-yi son (ideal) ölçülerine getirmek için yapılan ikincil işlemlerden biridir?

- A) İkinci kez sinterleme
- B) Toz enjeksiyonla şekillendirme
- C) Kalıplamayla şekillendirme
- D) Montaj yaparak şekillendirme
- E) Yeniden presleme ve damgalama

7. Sinterlemenin ikincil işlemlerinden biri olan taşlama işleminin yapılış amacı aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Malzeme dayanımı artırmak
- B) Malzemeye gevreklik kazandırmak
- C) Yüzeydeki çatlakları kapatmak
- D) Yüzey kalitesini artırmak
- E) Malzemenin sıcaklığını düşürmek

8. Sinterlemeden sonra yapılan ısı işlemin amacı aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Parçayı oluşturan tozları ayrıştırmak
- B) Parçanın uzunluğunu artırmak
- C) Parçanın mikro yapısını düzenlemek
- D) Parçanın kesit alanını daraltmak
- E) Parçanın ağırlığını azaltmak



KAYNAKÇA

T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü. (2020). Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme Alanı, Malzeme Bilgisi Dersi, Çerçeve Öğretim Programı. Ankara: MEB.

Genel Ağ Kaynakçası

- ◆ Güncel Türkçe Sözlük. <https://sozluk.gov.tr> (Erişim Tarihi: 20.05.2022 11.15).
- ◆ <https://www.uslularhadde.com/celiklerin-siniflandirilmesi> (Erişim Tarihi: 10.10.2021 13.55).
- ◆ <https://www.makinaegitimi.com/celiklerin-siniflandirilmesi/> (Erişim Tarihi: 13.10.2021 14.30).
- ◆ <https://malzemebilimi.net/korozyon-nedir-korozyon-turleri-nelerdir.html> (Erişim Tarihi: 16.11.2021 12.45).
- ◆ <https://docplayer.biz.tr/108528769-8-kazimali-fretaj-korozyon.html> (Erişim Tarihi: 20.11.2021 13.05).
- ◆ <https://www.uslularhadde.com/nikel-ve-nikel-alasimlari> (Erişim Tarihi: 01.12.2021 10.10).
- ◆ <https://novoma.com.tr/plastikler-ve-siniflandirilmesi/> (Erişim Tarihi: 14.12.2021 11.45).
- ◆ <https://www.baranboya.com/recine-enjeksiyon-kaliplama-rtm> (Erişim Tarihi: 07.01.2022 14.20).
- ◆ <https://www.bilgiustam.com/kompozit-malzemeler-hakkinda-hersey/> (Erişim Tarihi: 08.01.2022 11.10).
- ◆ <https://malzemebilimi.net/teknik-kutuphane> (Erişim Tarihi: 12.01.2022 15.11).
- ◆ Türk Dil Kurumu. Yazım Kuralları. <https://www.tdk.gov.tr/kategori/icerik/yazim-kurallari/> (Erişim Tarihi: 30.05.2022 17.00).

Görsel Kaynakçası

Ders materyalinin görsel kaynakçasına aşağıdaki karekodu okutarak ya da tarayıcınıza linki yazarak ulaşabilirsiniz.



<http://kitap.eba.gov.tr/karekod/Kaynak.php?KOD=2310>

*Kaynakça atıf sistemi, APA (6.0) yazım kuralları ve kaynak gösterme biçimine göre düzenlenmiştir.



CEVAP ANAHTARI

1. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME												
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.					
A	B	A	B	D	E	B	A					
2. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME												
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.						
B	D	D	B	E	C	C						
3. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME												
1.	2.	3.	4.	5.	6.							
C	E	D	D	E	B							
4. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME												
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.						
B	E	E	D	C	D	E						
5. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME												
1.	2.	3.	4.	5.								
C	E	E	B	D								
6. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME												
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.					
E	B	C	A	C	B	C	A					
7. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME												
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
A	E	C	E	D	B	B	E	C	B	D	B	A
8. ÖĞRENME BİRİMİ ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME												
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.					
A	B	C	D	A	E	D	C					

