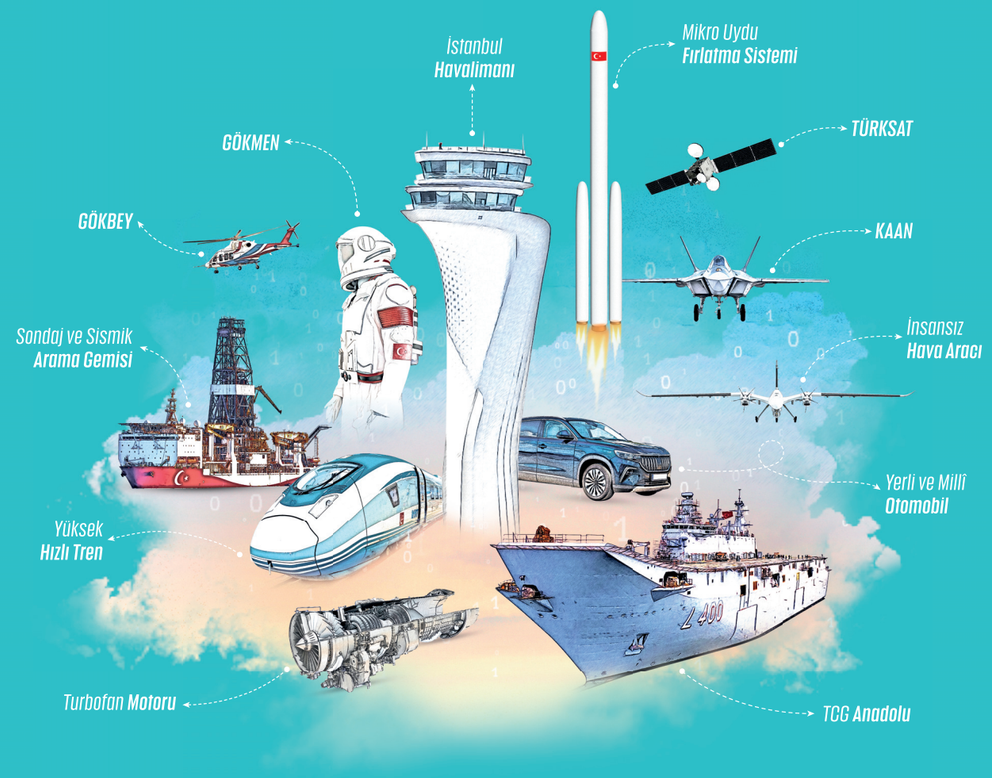
210670_Malzeme Bilgisi-10 Kapak-1.pdf

Bu kitaba sığmayan daha neler var!

eba
www.eba.gov.tr

Karekodu okut, bu kitapla ilgili EBA içeriklerine ulaş!

Teknoloji Yolculuğumuz



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

ISBN: 978-975-11-6364-6

Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin Beşinci Maddesinin İkinci Fıkrası Çerçevesinde Bandrol Taşıması Zorunlu Değildir.

MAKİNE VE TASARIM TEKNOLOJİSİ ALANI

MALZEME BİLGİSİ Ders Materyali

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

DERS MATERYALİ



MALZEME BİLGİSİ

MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

MALZEME BİLGİSİ

DERS MATERYALİ

YAZAR | Samet Burçin AYDOĞMUŞ

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI .....: 7997
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLAR DİZİSİ .....: 1925

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

HAZIRLAYANLAR

DİL UZMANI_____Arif KEVENOĞLU
PROGRAM GELİŞTİRME UZMANI_____Eda ÖZ
ÖLÇME DEĞERLENDİRME UZMANI_____Tülay ENGİN
GÖRSEL TASARIM UZMANI_____Fatih GÜNDÜZ

ISBN: 978-975-11-6364-6

Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulunun 24.12.2020 gün ve 18433886 sayılı oluru ile
Meslekî ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğünce ders materyali olarak hazırlanmıştır.

BASKI
Ayrıntı Basım Yayım ve Mat. Hiz. Sanayi Ticaret A.Ş.
Saray Mahallesi 126. Cadde No: 20
Kahramankazan/Ankara
Sertifika No: 49599



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,
Medeniyyet 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 İlâhî, 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 cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
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

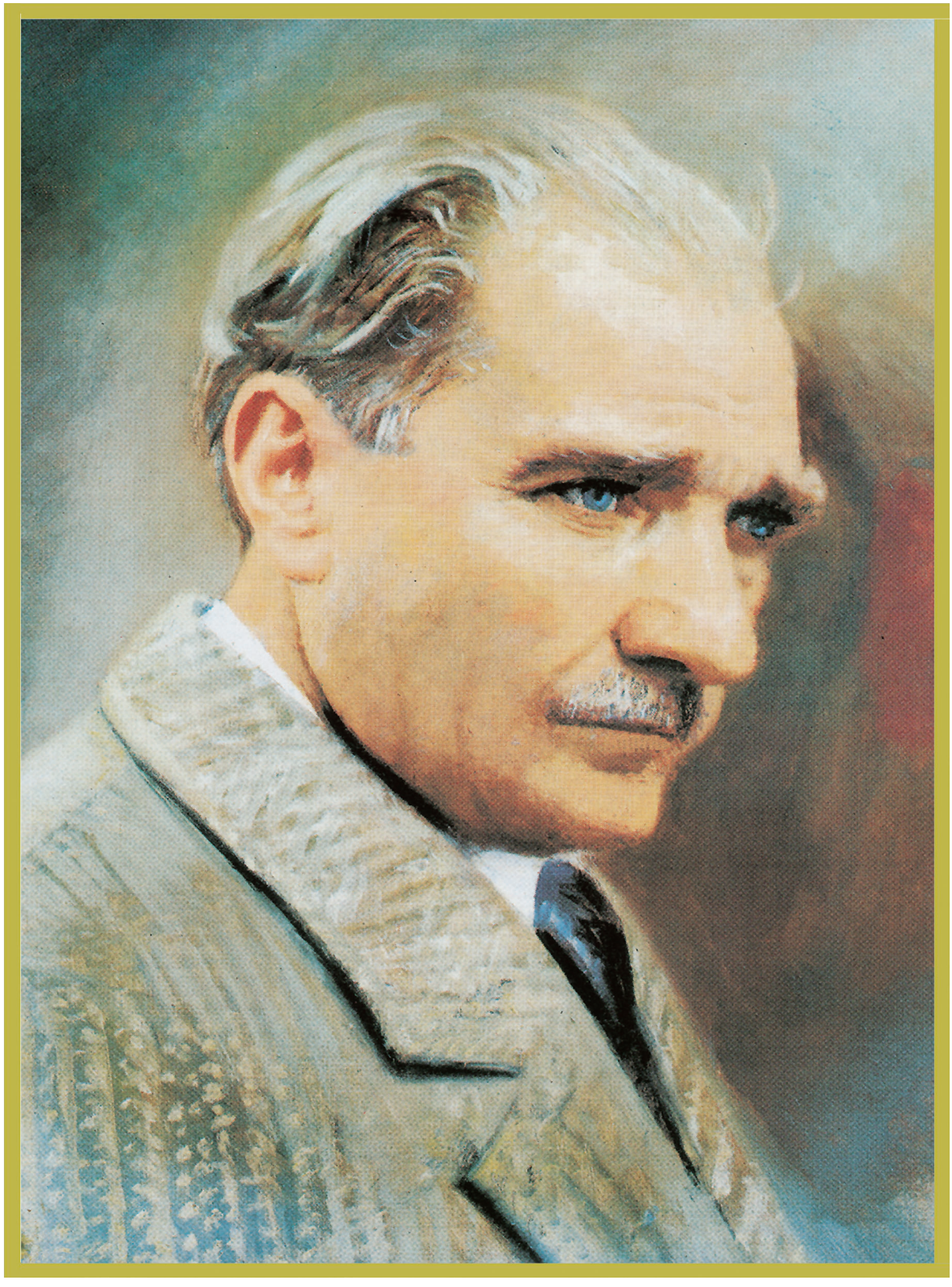
GENÇLİĞE HİTABE

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 namüsait 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

1. ÖĞRENME BİRİMİ

İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri 16

1. MALZEMENİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI 18

1.1. Malzemelerin Genel Özellikleri 18

1.1.1. Mekanik Özellikler 18

1.1.2. Elektriksel Özellikler 19

1.1.3. Isıl Özellikler 19

1.1.4. Manyetik Özellikler 20

1.1.5. Optik Özellikler 20

1.1.6. Kimyasal Özellikler 20

1.2. Malzemelerin Sınıflandırılması 21

1.2.1. Metalik Malzemeler 21

1.2.2. Metal Olmayan Malzemeler 22

1.3. Yeni Nesil Malzemeler 23

2. MALZEMELERİ SEÇME 24

2.1. Atomun Yapısı 24

2.2. Atomlar Arası Bağlar 26

2.2.1. İyonik Bağ 27

2.2.2. Kovalent Bağ 27

2.2.3. Metalik Bağ 28

2.2.4. Van der Waals Bağı 29

2.3. Kristal Yapılar (Kafes Sistemleri) 29

3. ALAŞIMLAR 32

3.1. Alaşımların Sınıflandırılması 33

3.1.1. Çelikler 34

3.1.2. Dökme Demirler 34

3.1.3. Demir Dışı Metal Alaşımları 35

4. FAZ DÖNÜŞÜMLERİ 37

4.1. Demirin Allotropisi 37

4.1.1. Demir – Karbon (Fe-C) Denge Diyagramı 39

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 41

2. ÖĞRENME BİRİMİ

1. HAM DEMİRLER 44

1.1. Demir Cevheri (Filizi) 44

1.2. Demir Üretimi 45

1.2.1. Demir Cevherinden Demire İndirgeme (Saflaştırma) 46
1.2.2. Yüksek Fırın 46
2. DÖKME DEMİRLER 49
2.1. Karbonun Dökme Demir Yapısında Bulunma Şekline Göre Dökme Demirler 50
2.1.1. Beyaz Dökme Demir..... 50
2.1.2. Gri Dökme Demir..... 50
2.1.3. Benekli Dökme Demir..... 50
2.1.4. Temper Dökme Demir..... 50
2.2. Grafitin Biçimsel Özelliklerine Göre Dökme Demirler 50
2.2.1. Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demir 50
2.2.2. Küresel Grafitli Dökme Demir 51
2.2.3. Vermiküler Grafitli Dökme Demir 51
2.3. Fe-C Denge Diyagramındaki Karbon Eşdeğerine Göre Dökme Demirler 51
2.3.1. Ötektik Altı Dökme Demir 51
2.3.2. Ötektik Üstü Dökme Demir..... 51
2.3.3. Ötektik Dökme Demir 51
2.3.4. Alaşımlı Dökme Demir..... 51
2.4. Dökme Demirlerin Genel Özellikleri..... 51
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 53

3. ÖĞRENME BİRİMİ

1. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ 54
1.1. Oksijenli Konvertör Yöntemiyle (Bazik Oksijen Fırın (BOF)) Çelik Üretimi..... 57
1.2. Elektrikli Ark Ocağında (EAF) Çelik Üretimi..... 58
1.3. İndüksiyon Ocağında (İO) Çelik Üretimi 58
1.4. Çeliğin Haddelenmesi 59
2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI 60
2.1. Genel Yapı Çelikleri 60
2.2. Sementasyon Çelikleri..... 60
2.3. Islah Çelikleri 61
2.4. Yay Çelikleri..... 61
2.5. Otomat Çelikleri..... 61
2.6. Paslanmaz Çelikler..... 62
2.7. İndüksiyonla Yüzeyi Sertleştirilebilen Çelikler 62
2.8. Takım Çelikleri 62
3. ÇELİK KATKI ELEMANLARI VE ÇELİK STANDARTLARI 63
3.1. Çelik Katkı Elemanları 63
3.1.1. Karbon (C) 63

3.1.2. Mangan (Mn) 63
3.1.3. Silisyum (Si) 64
3.1.4. Kükürt (S) 64
3.1.5. Fosfor (P) 64
3.1.6. Krom (Cr) 64
3.1.7. Nikel (Ni) 64
3.1.8. Molibden (Mo) 65
3.1.9. Vanadyum (V) 65
3.1.10. Wolfram (W) 65
3.1.11. Niobyum (Nb) 65
3.1.12. Titanyum (Ti) 65
3.1.13. Kobalt (Co) 65
3.1.14. Alüminyum (Al) 66
3.1.15. Bor (B) 66
3.1.16. Bakır (Cu) 66
3.1.17. Azot (N) 66
3.2. Çelik Standartları 66
3.2.1. Malzeme Numarası ile Gösterim 67
3.2.2. Çeliğin Çekme Dayanımına Göre Gösterim 69
3.2.3. Çeliğin Kimyasal Analizine Göre Gösterim 69
3.2.3.1. Alaşımsız Çeliklerin Gösterimi 69
3.2.3.2. Düşük Alaşımlı Çeliklerin Gösterimi 69
3.2.3.3. Yüksek Alaşımlı Çeliklerin Gösterimi 70
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 71

4. ÖĞRENME BİRİMİ

1. ISIL İŞLEM 74
1.1. Tavlama Yöntemleri 76
1.1.1. Yumuşatma (Küreleştirme) Tavlaması 76
1.1.2. Normalleştirme Tavlaması 76
1.1.3. Gerilme Giderme Tavlaması 77
1.1.4. Yeniden Kristalleştirme Tavlaması 77
1.2. Sertleştirme Yöntemleri 77
1.2.1. Su Vererek Sertleştirme 77
1.2.2. Menevişleme 79
1.2.3. Martemperleme 79
1.2.4. Ostemperleme 79
2. YÜZEY SERTLEŞTİRME 80

2.1. Yüzey Kimyasal Bileşimini Değiştirerek Yüzey Sertleştirme 80
2.1.1. Sementasyon 80
2.1.2. Nitrürasyon 81
2.2. Yüzey Kimyasal Bileşimini Değiştirmeden Yüzey Sertleştirme 82
2.2.1. Alevle Yüzey Sertleştirme 82
2.2.2. İndüksiyon Akımı ile Yüzey Sertleştirme 83
2.2.3. Daldırma Yöntemi ile Yüzey Sertleştirme 83
2.2.4. Elektron Bombardımanı ve Lazerle Yüzey Sertleştirme 84
3. SERTLİK ÖLÇME YÖNTEMLERİ 84
3.1. Statik Sertlik Ölçme Yöntemleri 84
3.1.1. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi 84
3.1.2. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi 87
3.1.3. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi 89
3.1.4. Knoop (Mikro) Sertlik Ölçme Yöntemi 91
3.2. Dinamik Sertlik Ölçme Yöntemleri 92
3.2.1. Shore Scleroscope Sertlik Ölçme Yöntemi 92
3.2.2. LEEB Sertlik Ölçme Yöntemi 92
3.3. Shore Ölçme Yöntemleri 93
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 95

5. ÖĞRENME BİRİMİ

1. KOROZYON 98
1.1. Korozyonun Sınıflandırılması 98
1.2. Korozyonun Çeşitleri 99
1.2.1. Üniform (Homojen) Korozyon 100
1.2.2. Galvanik Korozyon 100
1.2.3. Aralık (Çatlak) Korozyonu 100
1.2.4. Oyuklanma (Çukur) Korozyonu 100
1.2.5. Filiform (Kabuk Altı) Korozyonu 100
1.2.6. Seçimli Korozyon 101
1.2.7. Erozyon Korozyonu 101
1.2.8. Kavitasyon Korozyonu 101
1.2.9. Fretaj (Aşınma) Korozyonu 101
1.2.10. Taneler Arası Korozyon 101
1.2.11. Gerilmeli Korozyon 102
1.2.12. Yorulma Korozyonu 102
1.2.13. Hidrojen Kırılganlığı 102
1.2.14. Mikrobiyolojik Korozyon 102

2. KOROZYONDAN KORUNMA 103
2.1. Korozyona Etki Eden Faktörler 103
2.1.1. Ortam Etkisi ve Oksijen Konsantrasyonu 103
2.1.2. Sıcaklık Etkisi 103
2.1.3. Malzeme Seçimi 103
2.1.4. Tasarım 104
2.2. Korozyon Önleme Yöntemleri 104
2.2.1. Malzeme Seçimi ve Tasarım 104
2.2.2. Koruyucu Kaplama 104
2.2.3. Ortam Koşullarını Düzenleme 105
2.2.4. Kurban Kaplamalar 105
2.2.5. Korozyon İnhibitörleri 105
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 106

6. ÖĞRENME BİRİMİ
1. DEMİR OLMAYAN METALLER 110
1.1. Ağır Metaller 111
1.1.1. Bakır ve Alaşımları 111
1.1.2. Nikel ve Alaşımları 113
1.1.3. Çinko ve Alaşımları 113
1.1.4. Kurşun ve Alaşımları 113
1.1.5. Kalay ve Alaşımları 114
1.2. Hafif Metaller 114
1.2.1. Alüminyum ve Alaşımları 114
1.2.2. Magnezyum ve Alaşımları 115
1.2.3. Titanyum ve Alaşımları 116
1.3. Soy (Asal) Metaller 116
2. POLİMERLER (PLASTİKLER) 117
2.1. Plastiklerin Genel Özellikleri 117
2.2. Plastiklerin Çeşitleri 118
3. KOMPOZİT MALZEMELER 120
3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları 121
3.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları 122
3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 122
3.3.1. Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler 123
3.3.1.1. Plastik Matrisli Kompozitler 123
3.3.1.2. Metal Matrisli Kompozitler 123
3.3.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler 123

3.3.2. Yapı Bileşenlerinin Şekillerine Göre Kompozitler 124
3.3.2.1. Partikül Esaslı Kompozitler 124
3.3.2.2. Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler 124
3.3.2.3. Tabaka (Lamine) Yapılı Kompozitler 124
3.3.2.4. Dolgu Yapılı Kompozitler 124
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 125

7. ÖĞRENME BİRİMİ

1. TAHRİBATLI MUAYENE YÖNTEMLERİ 129
1.1. Kıvılcım Deneyi 129
1.2. Çekme Deneyi 130
1.3. Basma Deneyi 131
1.4. Bükme Deneyi 132
1.5. Burulma Deneyi 132
1.6. Kesme Deneyi 133
1.7. Kopma Deneyi 133
2. TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ 134
2.1. Gözle Muayene 134
2.2. Mikroskopla Muayene 134
2.3. Penetrant Sıvı ile Muayene 135
2.4. Basınçla Kontrol 136
3. TEKNOLOJİK MUAYENE YÖNTEMLERİ 137
3.1. Girdap (Eddy) Akımları ile Muayene 137
3.2. Ultrasonik Muayene 137
3.3. Röntgen Işınları ile (Radyografik) Muayene 138
3.4. Manyetik Kontrol Yöntemi ile Muayene 139
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 140

8. ÖĞRENME BİRİMİ

1. TOZ METALÜRJİSİ METODU 144
1.1. Toz Metalürjisi ile Üretim Aşamaları 144
1.1.1. Karıştırma (Harmanlama) 145
1.1.2. Sıkıştırma 145
1.1.3. Sinterleme 146
1.1.4. İkincil İşlemler 146
1.2. Toz Metalürjisinin Üstünlükleri ve Zayıf Yönleri 147
1.3. Toz Metalürjisinin Kullanım Alanları 148
1.4. Toz Metalürjisinde Önemli Kavramlar 149

2. TOZ ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ 150
2.1. Toz Hazırlama Yöntemleri 150
2.1.1. Mekanik Yöntemler 151
2.1.1.1. Talaşlı Üretim 151
2.1.1.2. Mekanik Öğütme 152
2.1.1.3. Mekanik Alaşımlama 153
2.1.2. Kimyasal Yöntemler 153
2.1.3. Elektroliz Yöntemi 154
2.1.4. Atomizasyon Yöntemleri 154
2.2. Yağlayıcı ve Bağlayıcılar 154
2.2.1. Yağlayıcılar 154
2.2.2. Bağlayıcılar 155
2.3. Toz Şekillendirme Yöntemleri 156
2.3.1. Presleme Yöntemi 156
2.3.2. Haddeleme Yöntemi 157
2.3.3. Ekstrüzyon Yöntemi 158
2.3.4. İzostatik Presleme Yöntemi 159
2.3.5. Toz Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi 159
3. SİNTERLEME 161
3.1. Sinterleme İşlemi 161
3.2. Sinterleme İşleminin Kullanıldığı Alanlar 162
3.3. Sinterleme uygulamaları 162
3.3.1. Katı Faz Sinterlemesi 162
3.3.1.1. Başlangıç Aşaması 163
3.3.1.2. Ara Aşama 163
3.3.1.3. Son Aşama 163
3.3.2. Sıvı Faz Sinterlemesi 164
3.3.2.1. Sıvı Faz Sinterleme Aşamaları 164
3.3.2.2. Sıvı Faz Sinterleme Çeşitleri 165
3.3.2.2.1. Sürekli Sıvı Faz Sinterlemesi 165
3.3.2.2.2. Geçici Sıvı Faz Sinterlemesi 166
3.3.2.2.3. Reaksiyonlu Sinterleme 166
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 167

KAYNAKÇA 170

İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri

İmalat sanayinde kullanılan, hammadde ve yarı mamul halindeki malzemeler, insana fiziki olarak zarar verebilecek keskin ve sivri kenarlara sahiptir. Malzemelere temas edilmesi halinde, hatalı kullanım ve hareketler sonucunda büyük yaralanmalara sebep olabilir.

Atölyede malzeme incelemesi yapılırken aşağıdaki sağlık ve güvenlik önlemleri alınmak zorundadır.

- Vücudun ya da çevredeki kişilerin herhangi bir yerine, atölyede bulunan metal ya da metal olmayan hiçbir malzeme ile vurulmamalıdır.
- Malzemelerin, vücudun herhangi bir yerine çarpmasından kaçınılmalıdır.
- Malzemeler ısındığında, türüne de bağlı olarak, ciddi yanıklara ya da kimyasal etkilere sebep olabilir. Bu sebeple ısıtma gerektiren işlemler öncesinde gerekli önlemler alınmalıdır.
- Malzemenin üzerindeki çapak, kir, pas, vb. etkenlerden zarar görmemek için malzemeler tutulurken eldiven kullanılmalıdır.
- Malzeme türüne bağlı olarak, saklama koşullarına (sıcaklık, nem) dikkat edilmelidir.
- Malzeme deneyleri sırasında kullanılacak ölçüm alet ve cihazları, insan sağlığını ön planda tutan CE işaretlemesine uygun olmalıdır.
- *CE İşaretlemesine Uygunluk:* Güvenliği artırmak amacıyla, her ölçü ve kontrol cihazı Makine Yönergesi, EMC Yönergesi ve Alçak Gerilim Yönergesi'ne uyumlu olmalıdır. CE işareti, ürünün Avrupa sağlık, güvenlik ve çevre koruma mevzuatının temel şartlarına uygun olduğunu gösterir.

ÖĞRENME BİRİMİ 1

Bu bölümde; kullanılan her türlü araç gerecin hammaddesi olan malzemelerin tanımlanması, sınıflandırılması, kimyasal yapılarının ve alaşım elementlerinin fiziksel özelliklere etkisi öğrenilecektir.

KAZANIMLAR

- Malzemelerin türlerine göre sınıflandırılması
- Malzemelerin atomik, kimyasal ve fiziksel yapılarının öğrenilmesi
- Alaşım elementlerinin malzemeye etkisinin öğrenilmesi

1. ÖĞRENME BİRİMİ

MALZEME BİLİMİ

HAZIRLIK ÇALIŞMASI	Sizce, sıklıkla kullandığınız kalem, kapı anahtarı ve cep telefonu gibi aletleri oluşturan kısımlar hangi malzemelerden yapılmıştır?

1. MALZEMENİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Bir amacı gerçekleştirmek için, insanlık yararına kullanılabilen her madde **malzeme** olarak tanımlanır. Köprü halatlarının yapımında kullanılan çelik, bina yapımında kullanılan çimento, uçak gövdesinde kullanılan alüminyum, elektrik kablolarında kullanılan bakır birer malzemedir. Tabiatta her amaca uygun malzemeyi oluşturmak için gerekli olan elementler saf halde bulunmamaktadır. Ancak yapılan yoğun araştırmalar ve çalışmalar sonunda alaşımlar oluşturularak istenilen özelliklere sahip malzemeler üretilebilmektedir.

Malzeme bilimi ise, malzemelerin özellikleri ile yapıları (atomlar ya da atom grupları) arasındaki ilişkiyi inceleyen ve ihtiyaçlara göre yeni malzeme türlerinin ortaya çıkmasını sağlayan bilim dalı olarak kabul edilir.

1.1. Malzemelerin Genel Özellikleri

Malzemeler, ilk ve ortaokulda da öğrendiğimiz gibi normal şartlar altında katı, sıvı ya da gaz halinde bulunurlar. Bu ders kapsamında, malzemelerin imalata yönelik özellikleri önemli olduğundan, katı malzemelerin incelemesi yapılacaktır. Endüstriyel üretim için, malzemelerin özellikleri 6 ana grup halinde ele alınmaktadır.



Görsel 1: Malzemelerin Genel Özellikleri

1.1.1. Mekanik Özellikler

Bu alanda malzemelerin fiziksel etki (kuvvet, basınç, darbe, vb.) altındaki davranışlarının incelemesi yapılır. Örneğin, araba motorunun sürtünme, köprü halatlarının gerilme, pres çekicinin darbe, freze tezgahı gövdesinin titreşim, tornavidanın burulma gibi dış kuvvetler karşısında kırılma, aşınma, ezilme gibi durumlara karşı nasıl davranacağı bilinmek zorundadır. Böylece makineler bozulmadan uzun süre çalışacak şekilde tasarlanıp üretilebilir.

Malzemelerin en önemli mekanik özellikleri; sertlik, kırılganlık, rijitlik, elastiklik, rezilyans, tokluk, akma mukavemeti, kopma mukavemetidir. Kullanılacak malzemenin bu özelliklerinin limitlerini belirlemek için, malzeme laboratuvarında özel makineler yardımıyla deneyler yapılır.

Malzeme biliminde sıklıkla kullanılan bazı terimlerin tanımlamaları aşağıdaki gibidir.

Elastiklik: Malzemenin kuvvet etkisi altındayken kalıcı olmayan şekil değişikliğine uğraması ve esnemesidir.

Plastiklik: Malzemenin kalıcı şekil değişikliğine maruz kalmasıdır. Metallerdeki plastiklik değişimi, polimer malzemelerdeki plastik malzeme ismi ile karıştırılmamalıdır.

Sertlik: Malzemenin yüzey çentikleri ve aşınma deformasyonlarına karşı gösterdiği dirençtir.

Kırılganlık: Malzemenin uzama göstermeyip kırılması özelliğidir.

Rezilyans: Kuvvet etkisi altında olan malzemenin enerjiyi içerisinde tutma (absorbe etme) özelliğidir. Absorbe edilen enerji, şekil değişikliğine neden olan kuvvetin kaldırılması sonucu malzeme tarafından geri bırakılır ve kalıcı (plastik) şekil değiştirme gerçekleşmez.

Tokluk: Malzemenin kırılmadan önce absorbe edebileceği enerji miktarıdır. Elastik ve plastik gibi polimer malzemeler kolaylıkla kırılmazlar. Bunlar tok malzemelerdir.

Süneklik: Malzemenin plastik deformasyonda şekil değiştirme özelliğidir. Sünekliği yüksek malzemeler, kırılmadan büyük plastik deformasyona uğrayabilir.

1.1.2. Elektriksel Özellikler

Malzemenin elektrik iletimi veya yalıtkanlık gibi özelliklerini inceler. Elektrik kabloları, enerji santrallerindeki makineler, iş güvenliği ekipmanları gibi birçok ekipman ve makine için malzemelerin elektriksel davranışları önem taşımaktadır.

1.1.3. Isıl Özellikler

Isı iletimi ve ısı kapasitesi gibi özelliklerdir. Malzemelerin ısı karşısında göstermiş olduğu davranışlardır. Katı malzemeler (meta malzeme gibi istisnalar hariç) ısı aldıklarında ölçülerinde büyüme ve sıcaklıklarında artma görülür. Bir noktadan ısı alan malzemeler, ısı iletkenliği vasıtasıyla almış oldukları ısıyı daha soğuk bölgelere taşırlar. Malzemenin ısısı devamlı yükseltilirse veya yüksek sıcaklığa maruz bırakılırsa erir. Isıtılma kapasitesi, termal genleşme ve termal ısı iletimi malzemelerin temel ısıl özellikleri arasındadır.

1.1.4. Manyetik Özellikler

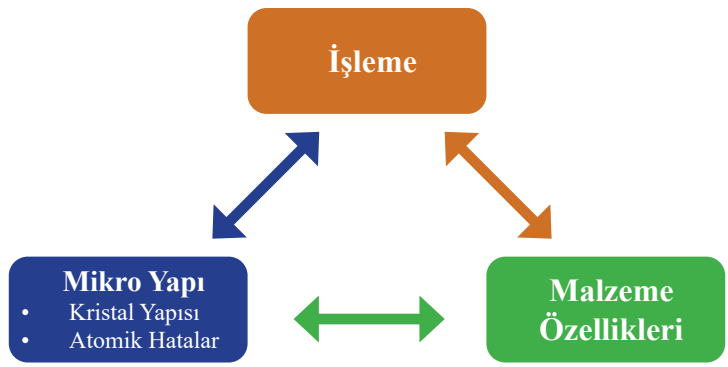
Malzemenin manyetik alan etkisi altındaki tepkileridir. Bu özellik, tıbbi görüntüleme cihazları, ses sistemleri, manyetizma ile hareket eden mekanizmalar, enerji santralleri gibi alanlar için önemlidir.

1.1.5. Optik Özellikler

Isı yayınımı veya manyetizma etkisi altındaki malzemenin göstermiş olduğu, ışığı yansıtma, geçirme, kırma gibi özellikleridir.

1.1.6. Kimyasal Özellikler

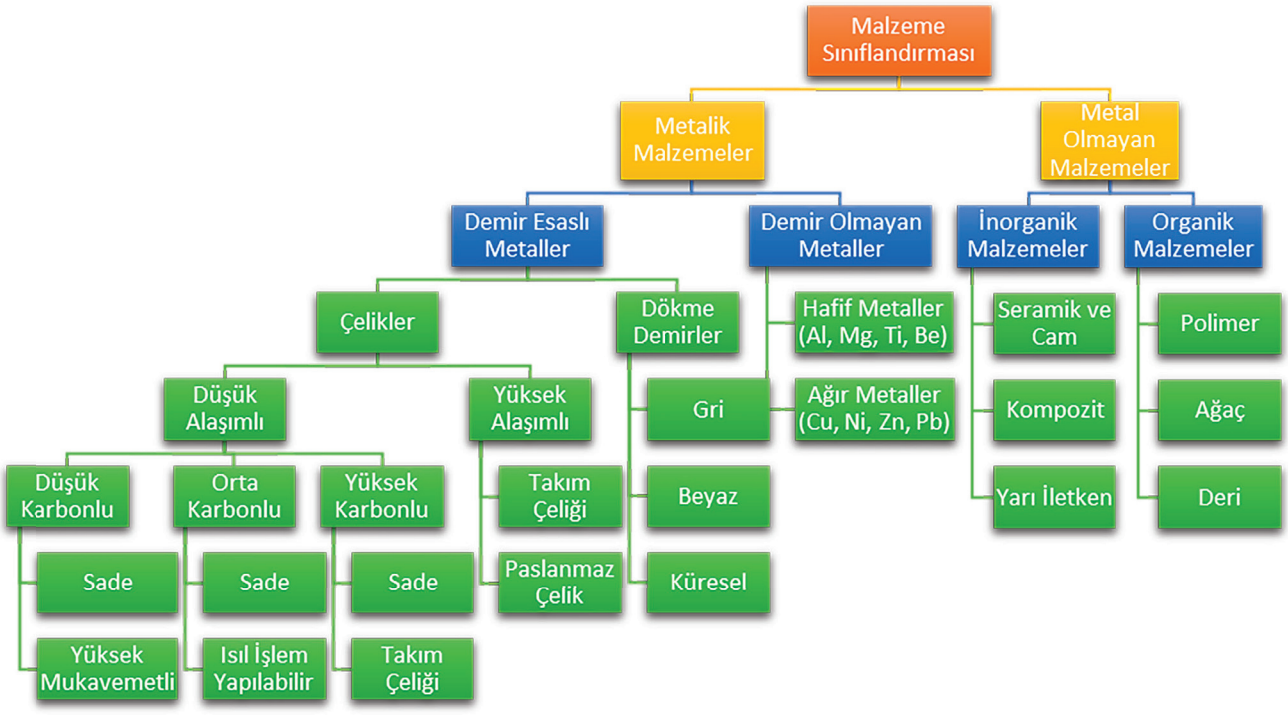
Malzemenin kimyasal reaksiyonlardaki davranışlarını inceler. Malzemeyi meydana getiren elementler ve bunların birbirleri ile olan ilişkileri, atomsal seviyedeki davranışları ve çevrenin etkisi ile ortaya çıkan elektrokimyasal etkileşimlerdir. Malzemenin kimyasal yapısına bağlı olarak fiziksel, mekanik ve ısıl özellikleri de değişim gösterir.



Görsel 2: Malzeme Yapı ve İşleme Özelliklerine Etkisi

1.2. Malzemelerin Sınıflandırılması

Kimyasal ve atomik yapıları dikkate alındığında malzemeler genel olarak; metal ve metal olmayan malzemeler olarak 2 ana grupta sınıflandırılır. Ancak, yeni nesil malzeme çalışmaları sonucunda ortaya çıkan bazı malzeme türleri nedeniyle alt sınıflandırma sistemi detaylandırılmıştır.



Görsel 3: Malzemelerin Sınıflandırılması

1.2.1. Metalik Malzemeler

Metal malzemeler, genel olarak metal atomlarının kombinasyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Metaller büyük sayıda elektronlara sahip olup, metallerdeki elektronlar belli atom çekirdeklerine sabitlenmişlerdir. Metaller genel olarak elektrik ve ısı iletkenliği, dayanım, rijitlik, şekillendirilebilirlik, darbe direnci gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikleri metalleri endüstride önemli hale getirmiştir.

Metalik malzemeler; demir esaslı olan ve demir olmayan şeklinde 2 alt gruba sahiptir. Demir esaslı olan metalik malzemeler genel olarak; çelik ve dökme demir olarak sınıflandırılır. Demir esaslı olmayan metalik malzemelere ise; alüminyum, titanyum, magnezyum, çinko, krom, bakır, nikel, kurşun örnek verilebilir. Bu malzemelerin üretimindeki elementler genellikle tek başlarına kullanılmaz. İki veya daha fazla element alaşım haline getirilerek üretilir.



Görsel 4: Metalik Malzemeler

1.2.2. Metal Olmayan Malzemeler

İçerisinde demir atomu içermeyen doğada organik halde ya da organik elementler kullanılarak elde edilen inorganik malzemelerdir. Polimer, ağaç ve deri organik malzeme; seramik, cam, yeni nesil malzeme olan kompozit ve yarı iletkenler de inorganik malzeme olarak tanımlanmaktadır.

Polimer (Plastik)

Günlük hayatta, ucuz ve kullanışlı olması sebebiyle polimer malzemeden üretilmiş birçok araç ve eşya kullanılır. Polimerler genellikle petrol türevi ürünlerden elde edilen malzemelerdir. Günümüzde bitkisel atıklardan elde edilen ve "bio-polimer" adı verilen plastikler de kullanılmaya başlanmıştır. Yapılarından genelde karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt bulunur. Polimerler karakteristik olarak; sünek, hafif ve ucuzdur. Dayanımları düşüktür ve kolayca şekillendirilirler ve yalıtkandırlar.

Seramik

Seramikler, metaller ve metal olmayan malzemelerin (Karbon, Azot, Oksijen veya Kükürt) bileşimi ile meydana gelmiş inorganik malzemelerdir. Kil ve kaolen gibi malzemelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilir. Cam, tuğla, porselen gibi malzemeler bu gruba girer. Yapıları kararlı, korozyona ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı, sert, kırılgan, ısı ve elektrik yalıtkanlığı olan, erime sıcaklıkları yüksek malzemelerdir. Malzeme olarak makine, otomotiv, havacılık, medikal gibi imalat sanayinde de kullanılmaktadırlar. Rulman, diş implantı, CNC tezgahlar için kesici uç yapımında kullanılmaktadır. Sertlik, ısıya dayanım, rijitlik gibi konularda daha üstün özelliklere sahiptir. Malzeme bilimindeki araştırma çalışmaları sayesinde, özellikle inşaat ve yüzey kaplama için esnek yapıda seramikler de üretilmeye başlanmıştır.

Kompozit

Birden fazla maddeden oluşan, çok fazlı mühendislik malzemeleridir. Cam veya karbon elyafının, yapıştırıcı özellikli reçineler ile birleşiminden oluşurlar. Kompozitler, metal alaşımlarından farklıdır. Bileşenler gözle görülebilecek niteliktedir. Metallerde alaşımlar mikro düzeydedir. Kompozitlerde ise farklı malzemeler birbiri içinde çözünmezler; tabaka, lif veya parçacık halinde birlikte bulunurlar. Beton, kontrplak, cam fiber, araba lastiği kompozit malzemelerdir. Hafif, sağlam, yüksek sıcaklıklara ve sert darbelere dayanıklıdırlar.

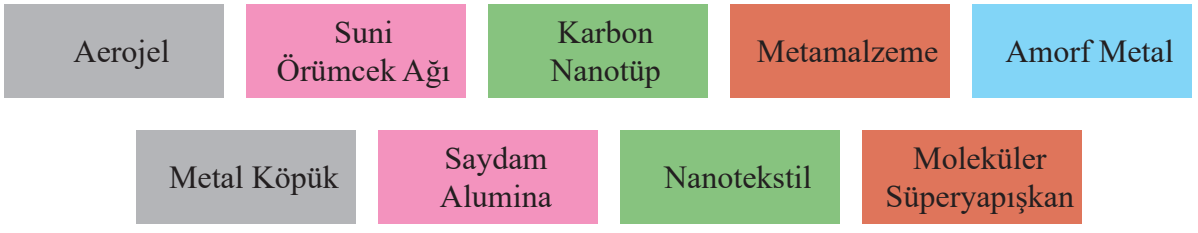
Yarı İletken (Semi Conductor)

Özellikle elektronik alanında, daha üstün elektrik geçirgenliği veya yalıtkanlık özellikleri elde edebilmek amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu malzemeler, yüksek saflık ve iç yapı özellikleri ile üretilerek malzemenin teknik özelliklerinin yükseltilmesi yöntemiyle yaratılmışlardır. Semikondüktör olarak da isimlendirilen bu malzemeler, bilgisayar işlemcileri ve parçalarının geliştirilmesine, havacılık ve savunma sanayi için yüksek hassasiyette elektronik ekipmanlarının geliştirilmesine büyük katkıda bulunmuşlardır. Bu malzemeler ve geliştirilen yeni teknolojiler sayesinde çok küçük boyutlarda elektronik devreler üretmek mümkün olmuştur.

1.3. Yeni Nesil Malzemeler

Sanayinin çok hızlı gelişmeler yaşadığı son 100 yılda, malzeme bilimi ve teknolojisinde de büyük buluşlar gerçekleşti. Sentetik kauçuk, selefon, bakalit, süper iletken, paslanmaz çelik, nylon, teflon, piezoelektrik seramik, germanyum transistör, silikon güneş pili, LCD, silika optik fiber, titanyum, Inconel günümüzde kullanılan yeni nesil malzemelerden bazılarıdır.

Günümüzde de malzeme teknolojisi ihtiyaçlar doğrultusunda halen gelişmeye devam etmektedir. Havacılık, savunma, medikal, otomotiv, elektronik ve daha birçok sektör için geliştirilmesine devam edilen yeni nesil malzemeler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda yer almaktadır.



Görsel 5: Yeni Nesil Malzemeler

2. MALZEMELERİ SEÇME

Bir ürünün tasarım ve üretim uygulamaları için, binlerce malzeme içinden en uygun olanın seçilmesi gerekmektedir. Bu seçimi yaparken bazı sorulara ve problemlere cevap bulunması gerekir.

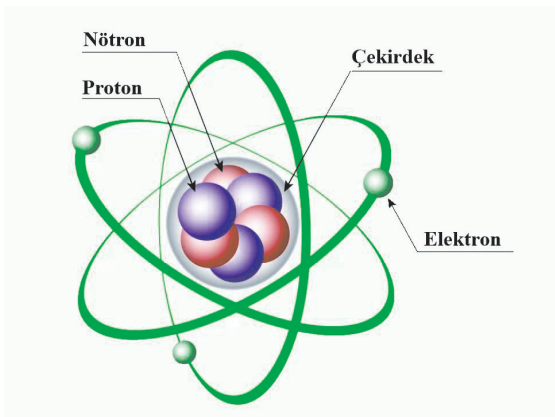
- Üretilecek parça ne kadar yük altında çalışacak?
- Yük sabit mi yoksa değişken mi olacak?
- Güç ve momentleri karşılamak üzere, parçanın boyut ve tasarımı nasıl olmalı?
- Parçanın görevini yerine getirebilmesi için hangi malzeme kullanılmalıdır?
    - Malzeme kolay temin edilebiliyor mu?
    - Planlanan üretim yöntemi ile işlenebiliyor mu?
    - Fiziki ve mekanik özellikleri ihtiyacı karşılıyor mu?
    - Maliyeti ihtiyaca uygun mu?
    - Korozyon direnci çalışma koşullarına uygun mu?

Tasarım ve imalat alanında nitelikli tasarım, üretim ve malzeme bilgisine sahip olmayan bir teknik eleman ihtiyaca göre; dökme demirin kullanacağı yerde çeliği, alaşımlı çeliğin kullanılacağı yerde sade karbonlu çelik kullanarak hem maddi kayıplara hem de can kayıplarına yol açabilecek kritik yanlışlar yapabilir.

2.1. Atomun Yapısı

Malzemeler, atomların farklı düzenlerde bir araya gelmesiyle oluşur. Malzemeler, atomların farklı düzenlerde ve yapılarda bağlanma şekillerine göre; metal, seramik, polimer veya yarı iletken olarak sınıflandırırlar. Atomik yapının özelliklerine bağlı olarak, malzemelerin mekanik, iletkenlik, ısı geçirgenliği, manyetizma ve optik özellikleri de değişiklik gösterir. Atomlar arası bağlar, uygulanan dış kuvvetlere karşı direnç gösterir. Malzemenin şekil değiştirmesini ve kırılmasının önlemeye çalışır. Ayrıca bağ kuvvetleri arttıkça malzemeyi eritmek zorlaşır. Kristal yapı malzemenin yoğunluğu, sertliği ve mekanik dayanımı üzerine de etki yapar.

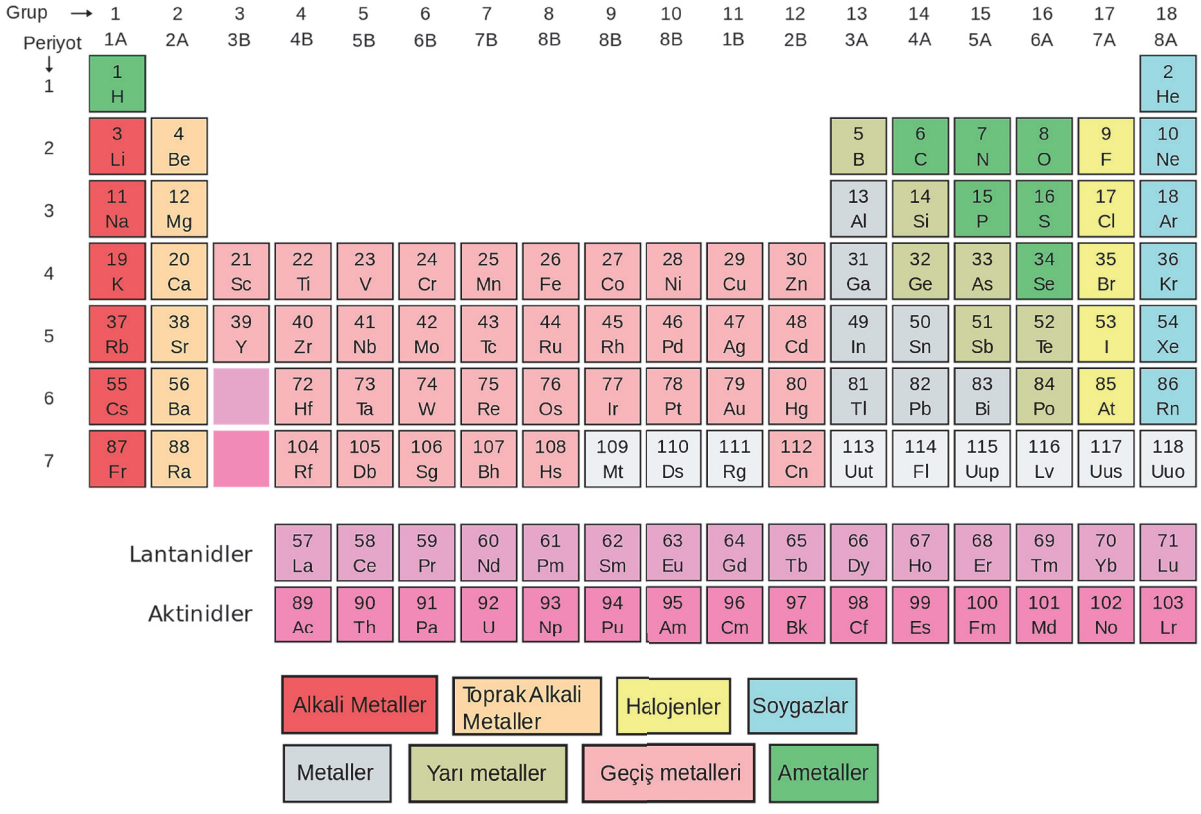
Doğada bulunan tüm elementler, atomlardan meydana gelmiştir. Atomlar arasında çekme kuvveti vardır ve bu kuvvet maddelerin parçalanma ve şekil değiştirmesine etki eden en önemli faktördür. Atom yapısı güneş sistemine benzetilebilir.



Görsel 6: Atomun Yapısı

Atom Numarası

Bir elementin atom numarası, her atomun çekirdeğindeki protonların veya elektronların sayısına eşittir. Elementlerin proton ve elektron sayıları, kimya dersinde görülen ve aşağıdaki şekilde de yer alan periyodik cetvel üzerinden tespit edilebilir. Örneğin; demir (Fe) elementinin atom numarası 26 iken, altın (Au) elementinin atom numarası 79'dur.



Görsel 7: Periyodik Cetvel

Atom Kütlesi

Bir elementin atom kütlesi, o atomun çekirdeğini oluşturan proton ve nötron sayıları toplamına eşittir. Bir mol (bir gram-atom) elementte Avagadro sayısı ($6{,}02 \times 10^{23}$ atom/mol) kadar atom bulunur. Avagadro sayısı, bir mol içindeki atom veya moleküllerin sayısını ifade eder. Atom kütle birimi, gram/mol'dür. Atom kütlesi ile Avagadro sayısı arasındaki ilişkiye örnek alüminyum (Al) elementi verilebilir. Alüminyum atomunun kütlesi 26,98 gram/mol'dür. Avogadro sayısı kadar alüminyum atomu 26,98 gram gelmektedir.

Bir alüminyum atomunun ağırlığı $26{,}98 / 6{,}02 \times 10^{23} = 4{,}48 \times 10^{23}$ gramdır.

Atom çekirdeği, pozitif yüklü proton (+) ve yüksüz nötron (nötr) parçacıklarından oluşur. Elektronlar bir bulut şeklinde atom çekirdeğini sarar. Elektron bulutu negatif, çekirdekteki protonlar pozitif yüklü olduğundan, elektron bulutu ile çekirdek arasında bir çekim kuvveti vardır. Çekirdek etrafında dönen elektronlar ise negatif (-) yüklü olup, elektriksel yükü protona eşit değerdedir. Elektronlar ile protonlar sadece zıt yüklere sahiptir. Çekirdek, atom kütlesinin önemli bir bölümünü oluşturur. Teorik olarak, atomun kütlesini çekirdek kütlesinin belirlediği kabul edilir. Atomun kütlesini çekirdek belirlediği halde, atomun hacminin büyük bir kısmını elektron bulutu belirlemektedir. Proton ve nötron parçacıklarından oluşan çekirdeğin hacmi, atom hacmine göre çok küçüktür.

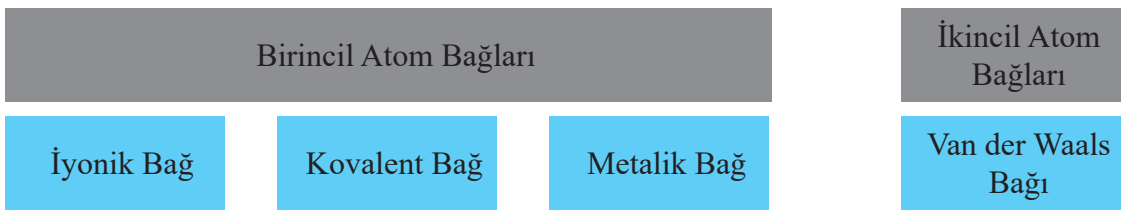
Bir atomda elektron ve proton sayıları eşit olduğu için, atom elektriksel olarak nötrdür. Atom çekirdeğindeki proton ve nötron sayıları genelde eşittir. Bazı atomların çekirdek içerisindeki proton sayısı değişmediği halde, nötron sayısı değişebilmektedir. Bu durumda söz konusu atomun izotopları ortaya çıkar. Proton sayısı nötron sayısından fazla olan atoma **izotop atom** denir.

2.2. Atomlar Arası Bağlar

Metal atomları arasında belirli bir çekim gücü (bağ) vardır. Atomlar arasındaki bağ olmasaydı, malzemeler kolaylıkla parçalanırdı ve endüstriyel amaçlar için dayanım, sertlik, peklik, ısıl iletim, manyetizma gibi özelliklerden söz edilemezdi. Atomlar arası bağ mühendislikte büyük önem taşır. Metallerdeki atomlar arası bağ, atomların yapısına ve aralarındaki bağın özelliğine bağlıdır. Atomik yapı, metallerin özelliklerini tayin eder.

Atomlarının dış kabuğu elektronlarla doymuş olan elementlerde, atomlar arası çekim çok zayıftır. Bu atomlar kararlı yapıya sahiptir ve başka elementlerle elektron alışverişinde bulunmaz. Atomların dış kabuk elektronları maksimum sayıya ulaşmamış olan elementler ise elektron alışverişinde bulunabilir. Bu sebeple atomlar arasında kuvvetli bir bağ bulunmaktadır.

Atomlar arası bağlar; birincil ve ikincil atom bağları olarak 2 ayrı sınıfa ayrılır.



Görsel 8: Atomik Bağların Sınıflandırılması

İyonik, kovalent ve metalik bağlar kuvvetli bağlardır. İyonik bağ için gerekli bağ enerjisi 150-370 kcal/mol iken, kovalent bağ için 125-300 kcal/mol ve metalik bağ için 25-200 kcal/mol'dür. İkincil atom bağı olarak tanımlanan Van der Waals bağı (1-10 kcal/mol) zayıf bağ olarak adlandırılır. Zayıf bağlar hemen hemen bütün maddelerde bulunur.

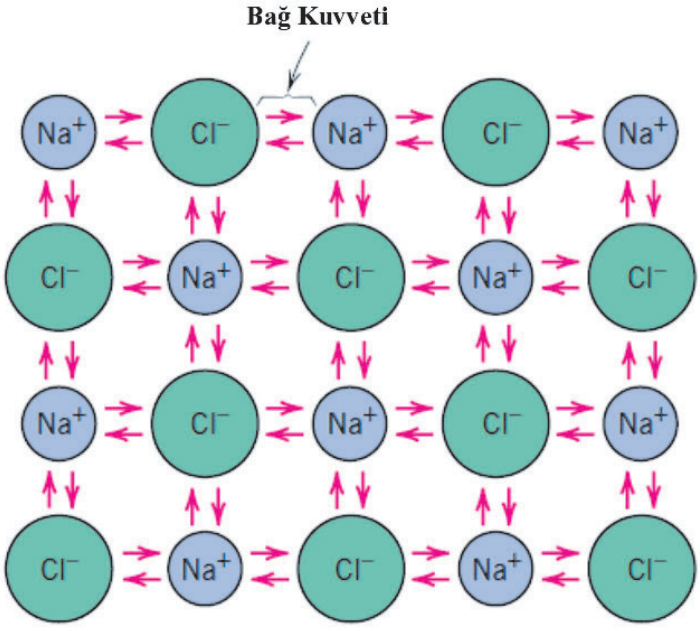
Bağ Türü	Malzeme	Bağ Enerjisi (kcal/mol)
İyonik	NaCl	153
	MgO	239
Kovalent	Si	108
	C (Elmas)	170
Metalik	Al	77
	Fe	97
Van der Waals	Ar	1,8
	Cl_2	7,4

Görsel 9: Bazı Elementlerin Bağ Türü ve Enerjisi

2.2.1. İyonik Bağ

Katı cisimler, iki ayrı cins atomun elektron alışverişi sonucunda ortaya çıkmaktadır. İyonik bağ, yüksek elektropozitif (metalik) elementler ile yüksek elektronegatif (metal olmayan) elementler arasında oluşur. Nispeten kuvvetlidir. İyonik malzemeler sert, kırılgan, elektrik ve ısı iletimi düşüktür. Şekillendirilebilme ve işlenebilme özellikleri çok zayıftır.

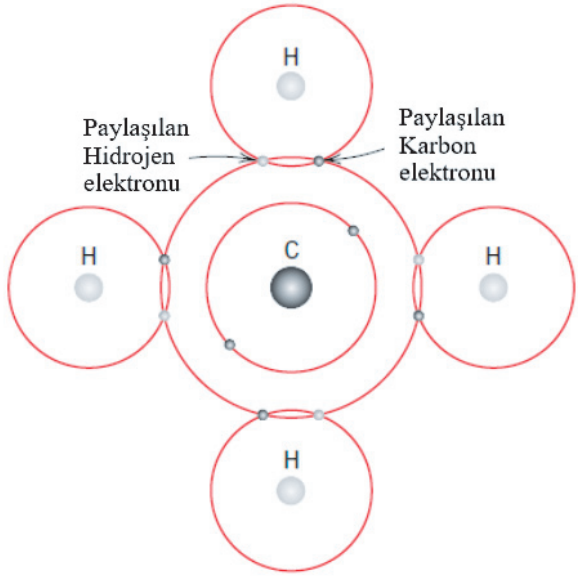
Elektron veren element artı (+) yük kazanırken, elektron alan element ise eksi (-) yük kazanır. + ve - yüklü atomlara **iyon** adı verilir. + ve - yüklü iyonlar birbirlerini çeker. İyonlar arasındaki bu çekim gücü **İyonik Bağ** olarak isimlendirilir. Tuz, kil, seramik gibi malzemeler iyonik bağa sahiptir.



Görsel 10: NaCl (Tuz) için İyonik Bağ Yapısı

2.2.2. Kovalent Bağ

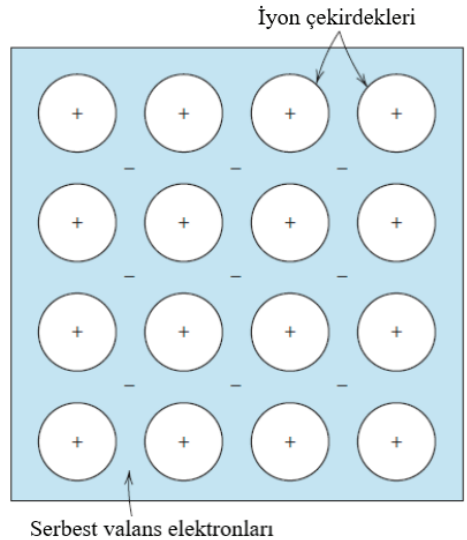
Homopolar bağ olarak da adlandırılır. 3 veya daha fazla olan elektrona sahip olan elementlerin yapılarında, bu elektronların paylaşılarak sahiplenmesinden doğan bir bağdır. Bir atom, komşu bir atomla en dış kabuğundaki valans elektronlarını paylaşarak kararlı hale geçiyorsa kovalent bağ oluşur. Kovalent bağa sahip elementlerde sertlik yüksek, elektrik iletkenliği düşüktür. Atomlar arasında ortak kullanılan elektron ne kadar fazla ise aradaki bağ o kadar kuvvetlidir. Flor, oksijen, azot gibi gazlar kovalent bağa sahiptir.



Görsel 11: Kovalent (Homopolar) Bağ Yapısı

2.2.3. Metalik Bağ

Metalik bağ, metallerde görülen bir bağ çeşididir. Metal atomlarının dış kabuklarındaki elektronları, iç kabuklardaki elektronlara göre, atom çekirdeğine daha zayıf bağlıdır. Dış kabuktaki elektronlar kolaylıkla atomdan ayrılarak serbest kalabilir ve bir elektron bulutu meydana getirir. Dış kabuğundaki elektronları bırakan atom, pozitif yüklü iyon haline geçer. Serbest kalan negatif yüklü elektronla, bu iyonlar arasında bir elektron bulutu oluşturacak şekilde hareket eder. Pozitif yüklü iyonlarla negatif yüklü elektronlar birbirlerini çekerek kuvvetli bir metalik bağ oluşturur. Metalik bağlı malzemelerin şekil değiştirebilme özellikleri oldukça iyidir. Serbest haldeki elektronlar rahatça hareket edebildikleri için metaller yüksek oranda plastik deformasyona uğrayabilir, sünektirler, elektrik ve ısı iletkenliği de yüksektir (Bakır, alüminyum, altın, gümüş, vb.). Metalik bağlı malzemelerde atomlar düzenli bir biçimde dizildikleri için, kristal yapı meydana getirir.

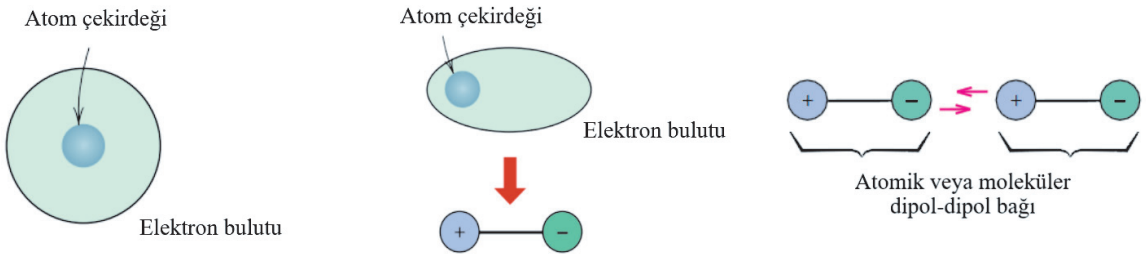


Görsel 12: Metalik Bağ Yapısı

2.2.4. Van der Waals Bağı

Van der Waals bağı iyonik, kovalent ve metalik bağlardan daha zayıf bir bağdır. Dipol-dipol bağı olarak da adlandırılırlar. Sahip olduğu enerji kuvveti, diğer bağların onda biri kadardır. Van der Waals bağları, moleküller veya atomlar arasındaki kutuplaşma sonucu ortaya çıkar.

Elektron ihtiyacı kalmamış moleküller arasındaki Van der Waals bağına örnek olarak su (H_2O) verilebilir. Hidrojen atomları ile oksijen atomları kovalent bağ ile bağlanarak H_2O molekülünü oluşturmaktadır. H_2O molekülleri ise birbirine Van der Waals bağı ile bağlanarak suyu oluşturur.



Görsel 13: Van der Waals Bağ Yapısı

2.3. Kristal Yapılar (Kafes Sistemleri)

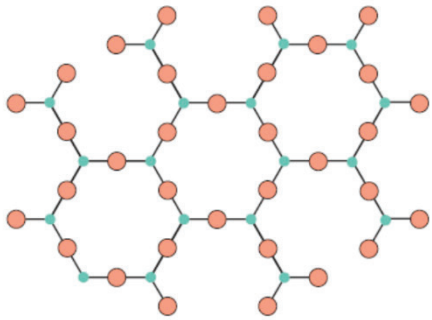
Kristalografi (Crystallography) atomların katılar içerisinde nasıl dizildiklerini inceleyen bilim dalıdır. Yunanca crystallon (donmuş damla) ve grapho (yazmak) kelimelerinden oluşmuştur.

Atomlar, üç boyutlu bir düzene göre dizilir. Kristal yapı (kristal kafes) olarak adlandırılan bu yapı türü metallerde, seramiklerde, seramik camlarda ve bazı polimerlerde görülür. Atomların dizilme şekillerine bağlı olarak, malzemelerin özellikleri ve mikro yapıları değişmektedir. Atomların diziliş şekillerine göre kafes sistemleri amorf, moleküler ve kristal yapı olmak üzere 3 gruba ayrılır.

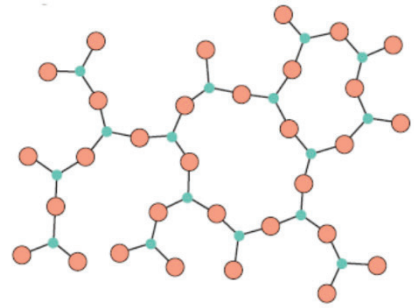
Atomlar düzensiz bir şekilde dizilmişlerse böyle bir yapıya **amorf yapı** (düzensiz yapı) adı verilir. Gazlar, sıvılar ve katı madde olarak cam, amorf yapılı maddelerdir.

Kuvvetli bağlarla bağlanmış atomlardan oluşan moleküller, zayıf bağlarla bağlanarak bir arada bulunuyorlarsa bu tür yapılara **moleküler yapı** denir. Su, CO_2, O_2, N_2 ve birçok polimer malzeme moleküler yapıya sahiptir.

Mühendislikte kullanılan çoğu malzeme katı haldedir. Katı haldeki malzemelerin atomlarının üç boyutlu olarak belirli bir geometrik düzene göre dizilmeleri sonucu meydana gelen yapıya **kristal yapı** denir. Bütün metaller, çoğu seramik malzemeler ve bazı polimerler kristal yapıya sahiptir. Kristal yapının tekrarlanan en küçük hacimsel birimi birim hücre olarak adlandırılır. Kristal kafesi birim hücrelerin yan yana gelmesiyle oluşur. Birim hücre kristal kafesin bütün geometrik özelliklerini taşıdığı için, birim hücrenin yapı düzeni bilinirse, kristal kafesin de yapı düzeni kolayca tanımlanır. Kristal kafes içerisinde, atomların bulunduğu yerlere **kafes noktaları** adı verilir.



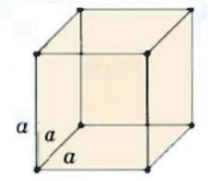
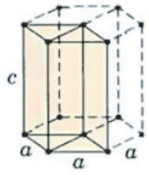
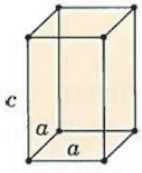
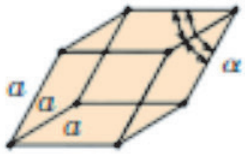
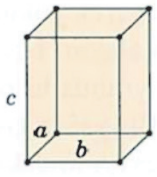
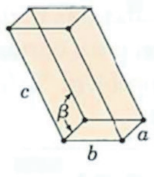
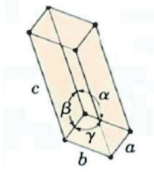
Kristal Yapı



Amorf Yapı

Görsel 14: Kristal-Amorf Kafes Yapısı Farkı

Maddeyi oluşturan atomlar, belirli bir düzene göre dizilmiştir ve belirli bir konumda bulunur. Atomların bulundukları noktalar (merkezleri) arası birleştiğinde; oluşan düzgün geometrik şekillere **kristal kafes sistemi** denir. X-ışınları ve elektron mikroskopları ile yapılan araştırmalar sonucu kafes yapıları 7 grupta tanımlanmıştır.

Kristal Kafes Sistemi	Eksenel İlişki	Eksenler Arası Açılar	Hücre Geometrisi
Kübik	a = b = c	α = β = γ = 90°	
Hekzagonal	a = b ≠ c	α = β = 90° , γ = 120°	
Tetragonal	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	
Trigonal	a = b = c	α = β = γ ≠ 90°	
Ortorombik	a ≠ b ≠ c	α = β = γ = 90°	
Monoklinik	a ≠ b ≠ c	α = γ = 90° ≠ β	
Triklinik	a ≠ b ≠ c	α ≠ β ≠ γ ≠ 90°	

Görsel 15: Kristal Kafes Yapıları

3. ALAŞIMLAR

Saf metaller şekillendirme ve işleme açısından bakıldığında kısıtlı özelliklere sahiptir. Bu sebeple sınırlı kullanım alanları vardır. Saf metallerin özellikleri, endüstriyel amaçları karşılamak için belirli oranlarda alaşım (karışım) hale getirilmesi ile geliştirilebilmektedir. İki veya daha fazla metalin veya en az birisi metal ve diğeri metal olmayan elementin bir arada ergitilmesiyle meydana getirilen yeni malzemeye **alaşım** adı verilir. Alaşımlar, alaşım tipine bağlı olarak kendisini meydana getiren elemanların özelliklerini taşıyabildiği gibi, kendisini meydana getiren elemanların özellikleri ile hiç ilgisi olmayan yepyeni özellikte bir malzeme de meydana getirebilir.

Alaşımlara temel olarak 5 sebepten ihtiyaç duyulmaktadır.

- Malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmek suretiyle daha elverişli malzemeler üretmek
- Çok sayıda ve değişik özelliklerde metaller geliştirerek ihtiyaçlara cevap vermek
- Isıl işlemlere uygun metaller üretmek
- Malzemenin maliyetini düşürmek
- Malzemeyi aşınma ve dış şartların yıpratıcı etkilerinden korumak

Bir alaşım meydana getirildiği zaman alaşımda, alaşımı meydana getiren elemanların fazları değişime uğramadan aynen kalabildiği gibi, bazen de alaşım elemanlarından birisinin fazı görülür, diğerinin fazı görülmez. Bu durumda, alaşımda yalnız bir kafes modeli görülür ve bu kafeste alaşım elemanlarının her ikisinin de atomları yerleşmiş olarak bulunur.

Alaşımdaki faz değişiklikleri; ısıl eğriler, denge diyagramları, mikroskop incelemeleri ve alaşımda meydana gelen özellik değişimleri ile belirlenebilir. Alaşımların özellikleri, alaşımı meydana getiren elementlerin fazları arasındaki ilişkiye bağlıdır. Alaşımlar, tek fazlı ve çift fazlı olmak üzere iki şekilde meydana gelir.

Tek Fazlı Alaşımlar

Genel olarak alaşımlar, bileşenlerin bir arada eritilmesiyle üretilir. Alaşımı oluşturan metaller, birbirlerinden farklı davranış gösterir. Bu farklılıklarda en çok rastlanılan durum, eriyiklerin birbirleri içinde çözünmesidir. Örneğin, su ve alkol hangi oranda karıştırılırsa karıştırılsın birbirleri içinde çözünür ve tek yapıda bir sıvı meydana gelir. Elementler arasında bir ayrım yüzeyi bulunmadığından, bu tür eriyikler tek fazlı olarak adlandırılır. Makine üretiminde kullanılan alaşımların hemen hemen hepsi, (örn.: Bakır-kalay, bakır-çinko, demir-krom-nikel, vb.) üretimlerinde birbirlerinin içerisinde çözünür.

Çift Fazlı Alaşımlar

Çift fazlı alaşımlarda, alaşım elemanları ayrı ayrı kendi yapılarını değiştirmeden ergir ve katılaşır. Alaşım oluşturan elemanların her birinin farklı ısılarda ergimesi mümkündür. Alaşımı oluşturan metallerin miktarı bir noktada aynı ısıda ergiyip, aynı ısıda katılaşmalarına imkan verecek konumda olur. Farklı ısıda ergiyen iki metalin alaşım oluşturması için, alaşım oranları hassas şekilde belirlenir. Bu durum, farklı ergime ısısına sahip iki metalin aynı ısıda ergimesine veya katılaşmasına olanak verir. Söz konusu oranda, yeni bir alaşım oluşur.

3.1. Alaşımların Sınıflandırılması

Metaller temel olarak demir alaşımları ve demir olmayan metal alaşımları olmak üzere 2 ana grupta sınıflandırılır. Endüstride genellikle çelik ve dökme demir gibi demir alaşımları kullanılır. Bunlarla birlikte demir dışı metallerin alaşımları da özel nitelik gerektiren alanlarda kullanılır. Örneğin; elektroteknikte bakır alaşımları, havacılıkta ve hafif yapılarda alüminyum alaşımları, korozyona ve ısıya dayanıklılık gereken yerlerde nikel alaşımları, akülerde kurşun alaşımları, demiri korozyona karşı koruyan kaplamalar için çinko alaşımları, konserve kutuları için teneke üretiminde kalay alaşımlarının yerini başka malzemeler kolaylıkla dolduramaz.

Demir Alaşımları	Çelik	Düşük Karbonlu
		Orta Karbonlu
		Yüksek Karbonlu
		Yüksek Alaşımlı
	Dökme Demir	Gri
		Beyaz
		Küresel
Demir Dışı Metal Alaşımları	Alüminyum	
	Bakır	
	Magnezyum	
	Nikel	
	Titanyum	
	Çinko	
	Berilyum	
	Kobalt	
	Kıymetli Metaller	

Görsel 16: Alaşımların Sınıflandırılması

3.1.1. Çelikler

Genellikle %1 ve altında karbon içeren demir-karbon alaşımlarıdır. Başka diğer alaşım elementleri de barındırabilir. Mekanik özellikleri, içerdikleri karbon oranından önemli ölçüde etkilenir. Çelikler içerdikleri karbon oranına göre düşük, orta ve yüksek karbonlu olarak sınıflandırılabildikleri gibi, ilave alaşım elementlerine göre basit karbonlu ve alaşımlı olarak da sınıflandırılır.

a. Düşük Karbonlu Çelikler

En yaygın kullanım alanına sahip çeliklerdir. Ağırlıkça genellikle %0,25 ve altında karbon içerir. Yumuşak, düşük dayanımlı, sünek ve tok özelliktedir. Dayanımları genellikle soğuk şekillendirme ile iyileştirilir. Talaşlı imalata ve kaynak işlemine uygun olup imalat maliyetleri düşüktür. Araç gövdelerinde, parça imalatında, yapılarda, profillerde ve boru imalatında kullanılırlar.

b. Orta Karbonlu Çelikler

Ağırlıkça %0,25 - %0,6 karbon içerir. Su verme ve temperleme ile mekanik özellikleri iyileştirilir. Sertleşebilme kabiliyetleri düşük olduğundan ince kesitli parçalar, yüksek soğutma hızlarında sertleştirilebilir. Krom, nikel ve molibden gibi alaşım elementleri ilave edilerek ısıl işlem yetenekleri arttırılabilir ve yüksek dayanım ve süneklik özelliği kazandırılabilir. Bu çelik türü ray, ray tekerleği, dişli ve krank mili gibi yüksek dayanım, aşınma dayanımı ve tokluk gerektiren parçalarda kullanılır.

c. Yüksek Karbonlu Çelikler

Ağırlıkça %0,6 - %1,4 karbon içerir. En sert ve dayanıklı, ancak en az süneklik gösteren çeliklerdir. Su verme ve temperleme işlemleri uygulanarak kullanılırlar. Krom, vanadyum, tungsten ve molibden gibi alaşım elementleri ilave edilerek soğuk iş takımları ve kalıp çelikleri olarak kullanılırlar. Eklenen alaşım elementleri çeliğin yapısındaki karbonla birleşerek sert ve aşınmaya dayanıklı karbürler oluştururlar. Bu çelik türü imalat takımı, kalıp malzemesi, bıçak, jilet, testere, yay ve yüksek dayanımlı tel yapımında kullanılır.

d. Yüksek Alaşımlı Çelikler

Paslanmaz çelik olarak da tabir edilir. Demir esaslı malzemeler korozyona karşı dayanıksız olduklarından, özellikle atmosfere açık ve nemli ortamlarda korozyona ve paslanmaya karşı korumak için yaygın olarak ağırlıkça %11 krom içeren alaşımlar oluşturularak paslanmaz çelikler elde edilir. İlave olarak nikel ve molibden katılması korozyon direncini daha da arttırır.

3.1.2. Dökme Demirler

Dökme demirler ağırlıkça %2,14'ün üzerinde karbon içeren demir alaşımı olarak tanımlanır. Uygulamada genellikle %3 - %4,3 arası karbon ve diğer başka alaşım elementleri içerir. Yüksek karbon içeriğinden dolayı gevrek yapıda olurlar.

a. Gri Dökme Demirler

Ağırlıkça % 2,5 - % 4 arası karbon ve %1 - %3 arası silisyum içerir. Gevrek ve düşük dayanımlı malzemeler olup, perlit yapılı olanın dayanımı görece yüksektir. Döküme uygun ekonomik malzemelerdir. Grafitin yağlayıcı özelliği aşınma direncini arttırır. Talaşlı imalata uygundurlar. Grafit lameller titreşim sönümleme özelliği kazandırır.

b. Beyaz Dökme Demirler

Yüksek soğuma hızı ile tüm karbon yapı içinde sementit fazında kalır. Yüksek sertliğe, mükemmel aşınma dayanımına sahip olup talaşlı imalata uygun değildir.

c. Küresel Dökme Demirler

Sfero olarak da alandırılır. Sıvı metale yapılan alaşımlama ile grafit faz küresel hale getirilerek kır dökme demir gibi imalatı kolay ve çeliğe benzer mekanik özellikleri olan yapı elde edilir. Mükemmel işlenebilirliğe, iyi aşınma dayanımına, yüksek dayanım, tokluk ve sünekliğe sahiptir.

3.1.3. Demir Dışı Metal Alaşımları

Demir esaslı malzemeler geniş mekanik özellikleri, kolay ve ekonomik imalatları nedeniyle mühendislikte çok yaygın kullanılmakla birlikte, yoğunluklarının yüksek, korozyona eğilimli ve görece düşük elektriksel iletkenliğe sahiptir. Bu sebeple demir içermeyen farklı metal malzemeler de mühendislikte sıklıkla kullanılır. En sık kullanılan demir olmayan metal alaşımlarının özellikleri aşağıda verilmiştir.

a. Alüminyum Alaşımları

Çelikten sonra en yaygın kullanılan metal malzemedir. Hafifliği nedeniyle uçak ve uzay sanayisinde tercih edilir. Çeliğe göre 3 kat az rijittir. Özgül dayanımı çelikten yüksektir. Elektriksel ve ısıl iletkenliği çok iyidir. Sünek-gevrek geçiş sıcaklığı olmadığından, soğuk şartlarda aniden gevrekleşmez. Paslanma ve korozyona dirençlidir. Sertliği ve aşınma dayanımı düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri zayıflar. Dövme ve döküm ile imal edilir.

b. Bakır Alaşımları

Yoğunlukları yüksektir. Mükemmel elektriksel ve ısıl iletkenliğe sahiptir. Diğer demir dışı metallere göre sertlikleri ile aşınma ve yorulma dayanımları yüksektir. Kolay şekillendirilir. Yaygın alaşımları; pirinç (Bakır-Çinko) ve bronzlardır (Bakır Kalay, Bakır-Manganez, Bakır-Alüminyum, Bakır-Silisyum).

c. Magnezyum Alaşımları

Yoğunlukları çok düşük olduğundan hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda tercih edilir. Rijitlikleri oda sıcaklığında son derece yüksektir. Gevrek ve şekillendirilmesi zordur. Hava korozyonuna dayanıklı, tuzlu su korozyonuna karşı dayanımı düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda tutuşma eğilimleri olduğundan yüksek sıcaklıkta imalat ve kullanımları dikkat gerektirir.

d. Nikel ve Alaşımları

Korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olup paslanmaz çeliklerin ve süper alaşımların ana alaşım elementidir. Kolay şekillendirilir. Monel denilen bakır-nikel alaşımı, çok iyi korozyon dayanımına sahiptir.

e. Titanyum Alaşımları

Mekanik ve korozyon dayanımları yüksek, yoğunlukları düşüktür. Çeliklere benzer mekanik özellikleri sayesinde rijitlik ve hafifliğin gerekli olduğu alanlarda tercih edilir.

f. Çinko Alaşımları

Korozyon dayanımları yüksek olduğundan özellikle çeliklerin galvanizle kaplanarak korozyon dayanımının arttırılmasında yaygın kullanılırlar. Erime sıcaklıkları düşüktür.

g. Berilyum Alaşımları

Yoğunluğu çok düşük, rijitliği çelikten yüksektir. Uzay yapıları gibi rijitlik ve hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda tercih edilir. Çok pahalı, toksik ve reaktiftir.

h. Kobalt Alaşımları

Aşınmaya ve biyolojik sıvılara dayanıklı olduğundan vücut protezlerinde yaygın kullanılırlar.

ı. Kıymetli Metaller

Altın, gümüş ve platin gibi korozyon dayanımları çok yüksek malzemelerdir. Altın elektronikte, platin ise egzoz filtrelerinde kullanılır. Ayrıca değerli olduklarından takı ve süs eşyalarında kullanılırlar.

4. FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Faz Dönüşümü (allotropi), sıcaklık ve basınca bağlı olarak, birden fazla kristal yapıda var olan elementin karakteristiği olarak tanımlanır.

Metallerin ısıl eğrilerini çizilirken, ergime ve katılaşma noktalarında duraklama olduğu görülür ve bu noktalarda ısı alışverişi devam ettiği halde sıcaklık değişmez. Yapılan incelemeler, katılaşma ve ergime sıcaklıkları dışındaki duraklama noktalarında özellik ve yapı değişimi meydana geldiğini göstermektedir. Metallerdeki yapı ve özellik değişimlerini ifade eden bu duraklamalara, **faz dönüşümü (allotropi)** adı verilir. Birden fazla duraklama fazı bulunan, allotropik metaller arasında kalay, kobalt, titan, zirkonyum ve demir yer almaktadır.

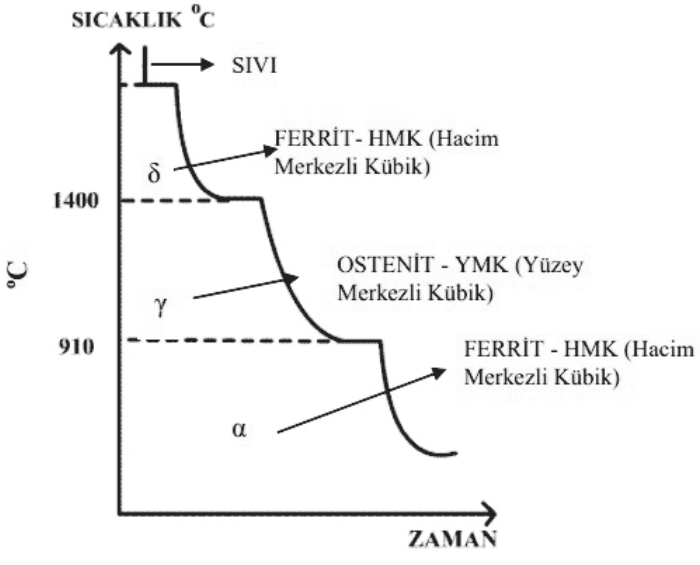
Allotropik alaşımlar genel olarak aşağıdaki özellikleri gösterir.

- Soğuma esnasında sertlik kazanır.
- Su verilerek sertleştirilebilir.
- Kaynak yapılabilir ve kaynak işlemi esnasında sertleştirilebilir.
- Isıl işlemle gerilim giderme uygulamasına tabi tutulabilir.

4.1. Demirin Allotropisi

Alaşımların oluşma sıcaklıkları ve oranları için Demir-Karbon (Fe-C) Denge Diyagramı oluşturulmuştur. Demir içerisinde yer alan karbon oranı ve ergitme sıcaklığına göre, ortaya çıkacak olan alaşımın çelik mi yoksa dökme demir mi olacağı bu grafik aracılığı ile tespit edilmektedir.

Demirdeki en önemli yapı değişimi, α kristal kafesinin β kristal kafesine dönüşmesidir. Demir bu yapı değişikliği ile karbon eritkenliği olmayan bir yapıdan, karbon eritebilen bir yapıya dönüşmektedir. Demirde oda sıcaklığından başlayan ısıtma ile erime noktasına kadar üç ayrı allotropik durum (polimorf) görülür.



Görsel 17: Demirin Allotropik Faz Geçişleri

Demirin allotropisini açıklayabilmek için, eriyik halden oda sıcaklığına kadar geçen süre içerisinde, demirin yapısı incelenmelidir. Eriyik haldeki saf demir 1535°C'nin altına soğutulursa, hacim merkezli kübik kristaller halinde δ (delta) demiri olarak katılaşır. Bu yapıda her demir atomu çevresinde sekiz komşu demir atomu ile sarılmıştır. Dolayısı ile de kristal kafesi meydana getiren, dokuz atomlu bir kristal yapıdır.

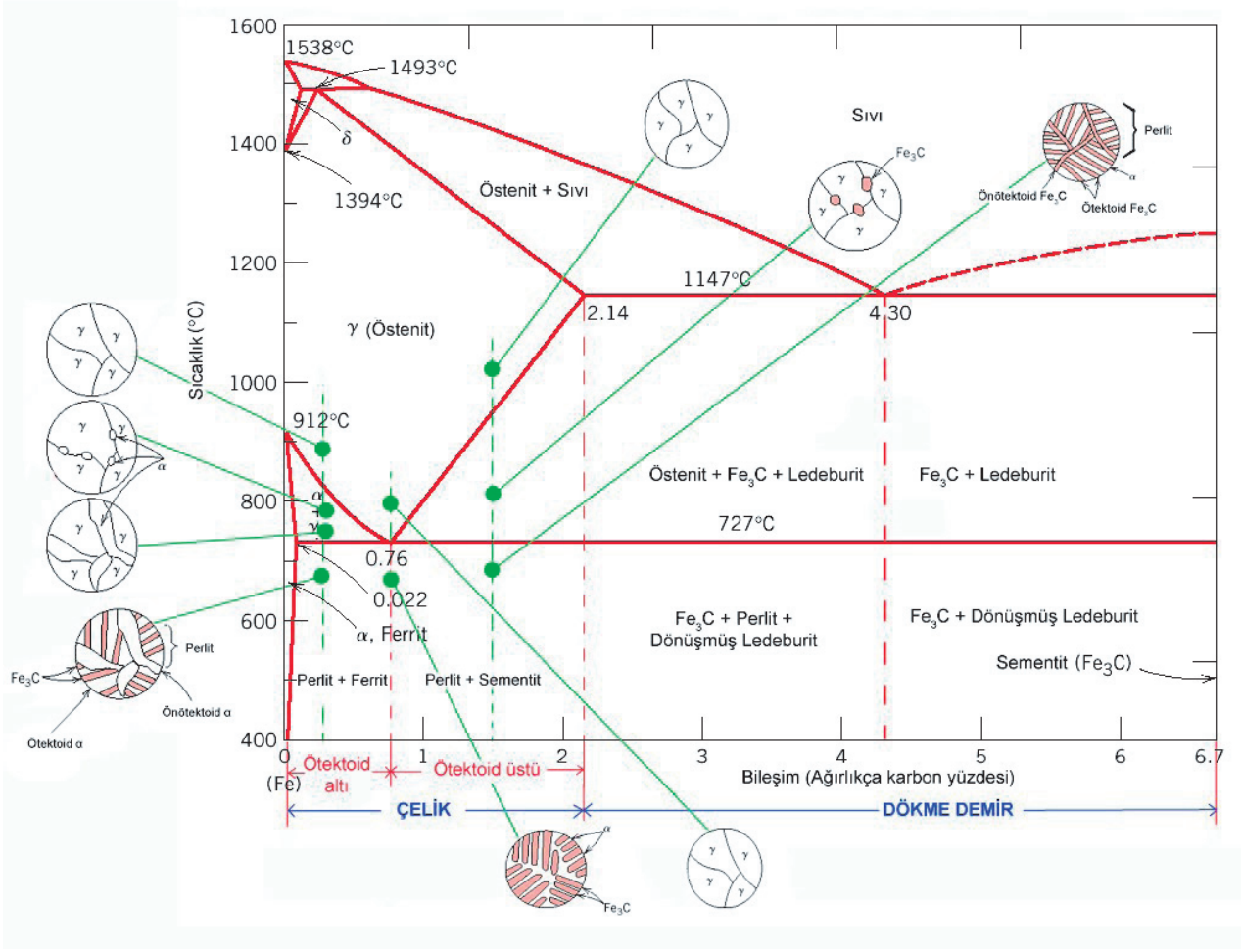
Soğumasını sürdüren saf demir, 1400°C'de atomların daha da yakınlaşması ile aniden yüzey merkezli kübik kristal yapısındaki γ (gama) demirine dönüşür. Yeni yapıda 14 atom, bir kristal kafesi vardır. Bu sayede bir önceki yapıya göre daha sıkı paket bir yapı meydana gelir.

Soğutma işlemi devam ettiğinde, 910°C'de tekrar bir duraklama noktasıyla karşılaşılır. Bu sıcaklıkta hacim merkezli kübik yeni kristaller oluşur ve bu yapıya **α (alfa) demiri** denir. Alfa demiri, oda sıcaklığına kadar devam eden soğuma sürecinde bir daha değişime uğramayan son kristal şeklidir.

Gerçekte 768°C'de bir diğer duraklama daha vardır. Ancak bu sıcaklıkta herhangi bir kristal kafesi değişimi meydana gelmez. Demir bu noktada, ısıtma ve ergitme sırasında kaybolan manyetik özelliklerini geri kazanır. Manyetik özelliklerdeki değişim alfa demiri ile aralarındaki tek farktır. Bu fazdaki yapıya **β (beta) demiri** denir. Demirin kristal kafesinin yaptığı bu dönüşümler sırasında atomların enerjisi de değişir.

4.1.1. Demir – Karbon (Fe-C) Denge Diyagramı

Tüm ikili alaşım sistemleri içinde en önemli yeri demir-karbon alaşımları alır. Teknolojik açıdan önemli yere sahip olan tüm toplumlar, esas olarak demir-karbon alaşımı olan dökme demir ve çelikleri ana yapısal malzeme olarak kullanılmışlardır. Demirle karbon arasındaki ilgiyi daha iyi kavrayabilmek için demir karbon ikilisinin meydana getirdiği yapıları tanımak gereklidir. Bunun için de öncelikle Fe-C Denge Diyagramı içerisinde yer alan terimlerin anlamlarının öğrenilmesi de şarttır.



Görsel 18: Demir-Karbon (Fe-C) Denge Diyagramı

a. Perlit

%87 ferrit ve %13 sementitin yaptığı bir ötektiktir. Ancak ötektiğin meydana geldiği sıcaklıkta çelik katı olduğundan **ötektoit** olarak isimlendirilir. Mikroskop altında incelendiği zaman, inci gibi parlak ve parmak izi şeklinde görülür. Bu sebeple adını İngilizce'de inci anlamına gelen "Pearl" kelimesinden almaktadır.

b. Ferrit

Oda sıcaklığında 9 atomlu, hacim merkezli, kübik kristal kafesleri meydana gelmiştir. Saf demirden ibarettir. Kimyasal sembolü Fe'dir.

c. Sementit

Fe_3C kimyasal bileşimindedir. %93,33 ferrit ile %6,67 karbonun bileşiğidir. Özgül ağırlığı düşük, sert, kırılgan, 215°C sıcaklıkta mıknatıslanma özelliğini kaybeden bir yapıya sahiptir. Biçimlendirilebilme özelliği yoktur ve çelik içerisinde bulunduğu zaman dayanım ve sertlik verir.

d. Östenit

14 atomlu, yüzey merkezli γ karışık kristallerine verilen bir isimdir. Sıcaklık yükselmesi ile karbon eritkenliği %1.7'ye kadar yükselir. Saf veya karbon erimiş halde mıknatıslanmaz. Nikel ve manganez ile elde edilen ve alçak sıcaklıklarda da östenitik yapılı çelikler elde edilmektedir. Bu çelikler mıknatıslanmaz. Biçimlendirilebilme özelliği çok yüksektir. Isı ve elektriği iyi iletmez.

e. Ledeburit

Sementit ile östenitin yapmış olduğu bir ötektiktir. Ötektik sıcaklık 1130°C olup %4,3 karbon içeren ötektiktir (karbonun yapmış olduğu bileşik sementit). Ledeburit, yüksek sıcaklıklarda östenit ile sementitin, oda sıcaklığında ise perlit ve sementitin meydana getirdiği bir ötektiktir.

f. Ötektik - Ötektoid

Ötektoidler, katı eriyiklerin yapmış olduğu bir ötektikten ibarettir. Katı eriyikler sıcaklık değişimi ile başka yapılara dönüşür. Bu dönüşme katı durumda meydana geldiğinden, aradaki farkı belirtebilmek için bu gibi ötektiklere, **ötektoid** adı verilmiştir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Aşağıdakilerden hangisi malzemelerin genel özelliklerinden **değildir**?

A) Mekanik Özellikler
B) Kimyasal Özellikler
C) Plastik Özellikler
D) Isıl Özellikler
E) Manyetik Özellikler

2. Aşağıdakilerden hangisi malzemelerin ana sınıflandırma türüdür?

A) Takım çeliği
B) Kompozit
C) Seramik
D) Metalik malzemeler
E) Toz metal

3. Aşağıdakilerden hangisi malzemelerin atomlar arası bağlarından **değildir**?

A) Analitik
B) İyonik
C) Metalik
D) Van der Waals
E) Kovalent

4. En güçsüz atomik bağ türü aşağıdakilerden hangisidir?

A) İyonik
B) Van der Waals
C) Metalik
D) Kovalent
E) Isıl

5. Aşağıdakilerden hangisi kristal yapı kafes sistemlerinden **değildir**?

A) Kübik
B) Piramit
C) Trigonal
D) Monoklinik
E) Tetragonal

6. Aşağıdakilerden hangisi çelik alaşımı türüdür?

A) Kompozit
B) Sfero Dökme Demir
C) Bakır-Çinko
D) Titanyum Dioksit
E) Demir-Karbon

7. Aşağıdaki faz dönüşüm (allotropi) alanlarından hangisi Fe-C denge diyagramının "Dökme Demir" alanında yer alır?

A) Östenit
B) Perlit + Ferrit
C) Fe3C + Ledeburit
D) Ferrit
E) Sementit

8. Demirin eritildikten sonra, soğuması sırasında manyetik özelliklerini geri kazandığı faz aşağıdakilerden hangisidir?

A) δ (delta) demiri
B) γ (gama) demiri
C) α (alfa) demiri
D) β (beta) demiri
E) Φ (fi) demiri

ÖĞRENME BİRİMİ 2

DEMİR ÜRETİMİ

Bu bölümde, doğada saf halde bulunan ve bu halde endüstride kullanılması mümkün olmayan demir elementinin, endüstride kullanılabilir hale getirilme yöntemleri öğrenilecektir.

KAZANIMLAR

- Demirin üretim yöntemleri
- Dökme demir üretim yöntemleri

2. ÖĞRENME BİRİMİ

DEMİR ÜRETİMİ

HAZIRLIK ÇALIŞMASI	Sizce, demirin sanayi açısından önemi nedir?

1. HAM DEMİRLER

Dünya yer kabuğunun %5,6'sını demir oluşturmaktadır. Demirin bilinen tarihi, M.Ö. 4.000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Piramitlerin büyük taşlarının birleştirilmesinde demir çubukların kullanıldığı bilinmektedir. Çin'de M.Ö. 2.700 yıllarında demir, ilk defa demir filizlerinden elde edilmiştir.

Demir, saf halde yumuşak olduğu için endüstriyel amaçlarla kullanılamamaktadır. Demiri işlenebilir hale getirmek ve endüstriyel amaçlarla kullanmak için Karbon (C) ile zenginleştirmek gerekmektedir. Ham demir, dökme demir, çelik döküm, çelik ve dövme demir türlerinin hepsi temelde Demir-Karbon (Fe-C) alaşımlarıdır. Karbon, demir endüstrisinin en önemli elemanıdır. Karbonla birlikte demire endüstriyel özellik kazandıran elemanlar Cr, Ni, W, Mo, Mn, Si, Co, Zr, Ti, Ta, B, V ve ihtiyaç duyulan özelliğe göre ilave edilen diğer metallerdir.

1.1. Demir Cevheri (Filizi)

Ham demir ve demir süngeri, çeliklerin ve dökme demir malzemelerin üretimi için temel ham maddedir. Bunlar, demir cevherinden elde edilir. Tabiatta demir içeren pek çok cevher bulunmaktadır. Ancak demir, içerisindeki demir miktarı ve elde etme yöntemleri bakımından; Hematit, Manyetit, Limonit, Siderit ve Pirit'ten elde edilmektedir.

Cevherin Tanımlaması	Kimyasal Sınıflandırma	Kimyasal Bileşimi	İçerdiği Demir Oranı (%)
Manyetit (Manyetik Demir Taşı)	Oksitli	Fe_3O_4	60-70
Hematit (Kırmızı Demir Taşı)		Fe_2O3	40-60
Limonit (Kahverengi Demir Taşı)		$Fe_2O_3 – H_2O$	30-50
Siderit (Siderit Cevheri)	Karbonatlı	$FeCO_3$	30-45
Pirit (Demir Sülfür)	Sülfürlü	FeS_2	30-45

Görsel 19: Demir Cevherleri

Manyetit

Kaya minerali olan bir filizdir. Manyetik olması, demir yataklarının bulunmasına ve arıtılarak zenginleştirilmesine kolaylık sağlar. Dünya üzerinde doğal olarak bulunan tüm minerallerin en manyetiğidir. Dünyadaki demir üretiminin ancak %5'i manyetitten elde edilmektedir.

Hematit

Dünyada demir üretiminin en fazla yapıldığı filizdir. Rengi kırmızı, kahverengi kırmızı, çelik mavisi ve hatta siyah olabilmektedir. Yer altında genellikle taş, kum, toprak vb. maddelerle birlikte bulunur. Saf halde bulunduğunda içeriğindeki demir oranı %70'e kadar çıkabilmektedir. Genellikle %40-60 arası demir oranına sahiptir. Mıknatıslanma özelliği yoktur. Dünyada demir üretiminin %9'u bu filizden yapılır.

Limonit

Manyetit ve hematitten sonra gelen ve en fazla kullanılan bir demir filizidir. İçerisinde su bulunan hematitten ibarettir. Yer kabuğunda çok geniş bir sahaya dağılmıştır. Genellikle %30-50 arası demir bulunan filizlerdir.

Siderit

Demirin karbonatlı filizidir. Bu filiz genellikle Kalsiyum ve Magnezyum elementlerinin demirle yaptığı karbonatlı bileşikleri ile birlikte bulunduğu için, demir yüzdesi daha düşüktür. Demir ve çelik üretiminde bu filiz kullanıldığı zaman, yüksek fırına kireçtaşı atılmasına gerek kalmamaktadır.

Pirit

Kükürtlü demir filizidir. Büyük bir önem taşımaz. Kükürt, demirin kırılganlığını artırarak zararlı etki yapar. Bu filizler yüksek fırına verilmeden önce, kükürt elementinin yakılarak arıtılması gerekir.

1.2. Demir Üretimi

Demir üretimi için temel olarak iki ana üretim tekniği bulunmakta ve yoğun kullanılmaktadır. Bunlardan biri geleneksel yöntem olarak da adlandırılan **yüksek fırın,** diğeri de **redüksiyon** (direkt redüksiyon) yöntemi ile **sünger demir** adı verilen yarı mamul üretimidir.

Yaklaşık olarak 1 ton demir üretmek için 7 ton hammadde gerekmektedir.

- 2 ton demir cevheri
- 1 ton kok
- 0,5 ton kireç taşı
- 3,5 ton gaz (CO ve $H_{2)}$

Cevherler, çıkartıldığı toprak karışımlarını da içerir. Cevherin yüksek fırın içinde işlenmesi için, belirli bir tane büyüklüğüne sahip olması gereklidir. Kaba cevher, 6mm ile 30mm büyüklüğünde parçalı cevherler haline getirilmek üzere parçalanır. İnce cevherler kireç taşı ve kok ile birlikte sinterlenir (pişirilir) ve sonra kırılır. En ince cevher 10 ila 20mm çapında büyük küreler (bilyalar) haline getirmek üzere bağlayıcı maddelerle biçimlendirilir ve ardından fırınlanır.



Görsel 20: Türkiye'nin Demir Madenleri

1.2.1. Demir Cevherinden Demire İndirgeme (Saflaştırma)

Hazırlanan demir cevheri, esas itibariyle yüksek fırında ham demire dönüştürülür. Bunun ardından katı demir süngeri, filizden doğrudan doğruya indirgeme (saflaştırma) işlemi ile elde edilir. Doğrudan indirgeme işleminde, katı durumdaki demir bakımından zengin cevher, gazlarla yaklaşık olarak 1100°C'de demir elde etmek üzere indirgenir. O esnada meydana gelen gözenekli demir parçaları, **demir süngeri** adını alır. Bu sünger %85 ila %95 oranında demir içerir. İndirgeme maddesi ve yanıcı madde olarak CO (karbonmonoksit) ve H_2 (hidrojen) karışımından meydana gelen bir gaz karışımı kullanılır. Kullanılan gaz, petrol ve düşük değerdeki kömürden üretilir.

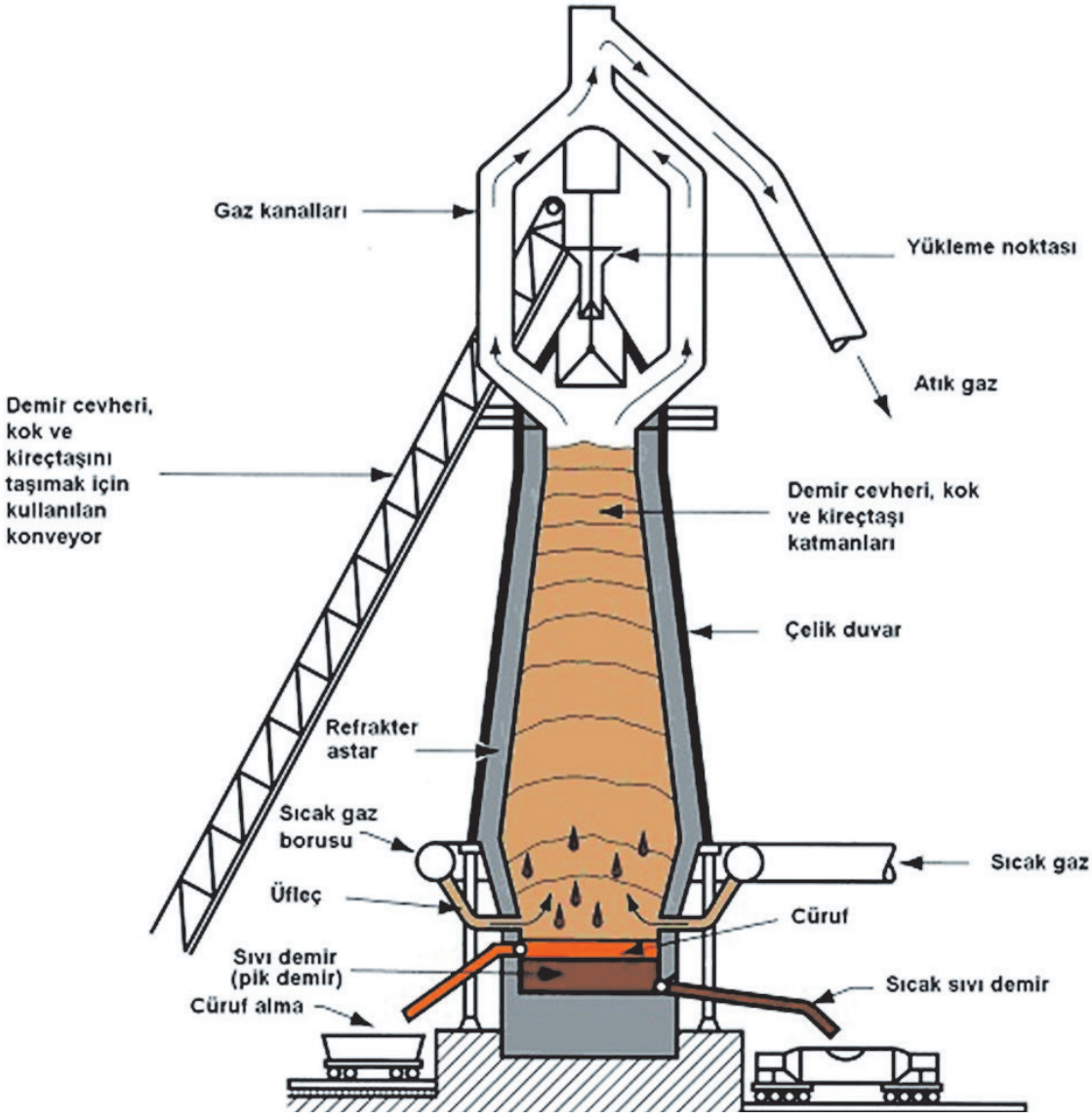
Fırın, reaksiyon haznesinin biçimine göre; kule fırın, döner fırın veya pota fırını olarak gruplandırılır. Kule fırında ayırıcı gazlar, gevşek doldurma seviyesinde cevher briketlerinden çıkarak yukarıya doğru yükselir ve cevherler daha katı demir süngeri olmak üzere indirgenir. Doğrudan indirgeme tesisleri, öncelikle yüksek fırın tesisinin pahalı olduğu ve indirgeme gazı için başlangıç malzemesi olarak petrol ve doğalgazın ucuz olduğu yerlerde kullanılır.

1.2.2. Yüksek Fırın

Demir içerikli hammaddelerin kok ve kireç taşı ile bir arada ergitilmesinde kullanılan ve kapasitelerine göre yükseklikleri 30-90 m arasında değişen fırınlara **yüksek fırın** denir. Dünyada demir üretimi her yıl 700 milyon ton civarında gerçekleşmektedir. Bu üretimin yaklaşık %60'ı yüksek fırınlar ve çelikhaneler vasıtası ile geriye kalan %40'ı ise hurdaların geri dönüşümü ile elde edilmektedir. Hurda kaynağının da yüksek fırın olduğu göz önüne alınırsa çelik üretiminin % 99'u yüksek fırınlardan elde edilmektedir.

Yüksek fırının iç hacmi, 250-850 m3 arasında değişmektedir. Ortalama 1m3 fırın hacmi için 24 saatte 0,5 ila 1,4 ton arası ham demir elde edilir. 1 ton ham demir elde etmek için 450-800 kg kok kömürü tüketilir. Yüksek fırından elde edilen ürün **dökme demir** adını alır. Yüksek fırın çalıştırıldıktan 10-15 saat sonra eriyik ham demir alınmaya başlanır. Yüksek fırından günde 4-6 defa eriyik alınır.

Yüksek fırın yapıldıktan sonra ateşlenince hiç durmaksızın bir arıza yapıncaya kadar 10-15 yıl sürekli olarak yanar. Fırının gövdesi çalışırken daima sıcaktır. Fırın gövdesinin bu yüksek sıcaktan zarar görmemesi için, çevresi su ile sürekli soğutulur. Fırının üstünden sürekli kok - demir filizi - kireç taşı karışımı doldurulur. Çalışma sırasında, yanmayan karbonmonoksit gazı ve diğer gazlar fırının üst kısmında toplanır. Bu gaza **yüksek fırın gazı veya ağız gazı** denir. Yüksek fırın gazı, fırına gönderilen havanın ısıtılması için kullanılır.



Görsel 21: Yüksek Fırının Kısımları

Üst Kısım

Bu kısımda sıcaklık yaklaşık olarak 200°C'dir. Silo, çan ve çan kapağı sistemi veya yeni nesil sistemlerde çansız tepe sistemi bulunmaktadır. Hammaddeler bu bölümden iç kısma gönderilmektedir. Malzemelerin ve gazın ısınması sonucu, genleşme meydana gelir. İzabenin rahat şekilde hareket edebilmesi için gövdenin çapı aşağıya doğru genişlemektedir. Bu bölgede aynı zamanda diğer malzemeler (kok, kireç taşı, gaz) de ısınır.

Gövde

Fırının uzun ve aşağıya doğru genişleyen bölümüdür. Bu bölümde kok-cevher karışımı aşağı doğru hareket eder. Gövdenin bittiği yerde başlayan ve dikey eksende çapı sabit olan bel bölgesi fırının en geniş bölgesidir. Cürufun ve metalin ergimesi ve hacimlerinin azalması bu bölgede başlar.

Karın

Tekrardan daralan kısımdır, ters koni şeklindedir. Üst kısmı bel, alt kısmı hazne ile birleşmektedir. Kısmi ergimenin sağlanabilmesi için bu kısımdaki fırın hacmi küçültülmüştür. Karın bölgesinde erime işlemiyle beraber son cüruf oluşma işlemi tamamlanmaktadır.

Hazne

Fırının alt tarafındaki silindirik kısım olup, içerisinde sıvı demir ile beraber cüruf toplanır. Haznenin üst bölümüne bakırdan yapılmış 20 ila 24 adet üfleme borusu yerleştirilmiştir. Suyla soğutulan borular tüyerler (elektrolitik bakırdan üretilen hava üfleme düzeneği) yardımı ile fırına hava üflemeye yarar. Haznenin en alt kısmında bulunan sıcak metal alım deliğinden eriyik demir boşaltılır. Boşaltma deliği her işleminden sonra ateşe dayanıklı malzeme ile (çamurda denilir) tıkanır. Yoğunluk farkından dolayı cüruf, sıvı metalin üzerinde yer alır.

2. DÖKME DEMİRLER

Yüksek fırından elde edilen ham demir sert, kırılgan, dayanıksız ve endüstriyel alanda kullanmaya elverişli değildir. Yüksek fırından alındığı gibi kullanılamayan ham demiri, döküme elverişli hale getirmek için **kupol** fırınlarında karbonunu yakmak ve oranını %1,7- 3,5 arasına indirmek, hurda malzeme ve katkı elemanlarıyla döküm yapmaya elverişli hale getirmek gerekir.

Dökme demirler düşük sıcaklıkta erir, maliyetleri düşüktür, döküme elverişlidir. Aşınma dayanımları yüksek, basma dayanımları yüksektir. Bu özellikleri sebebiyle geniş kullanım alanlarına sahiptir. Dökme demirler içerisinde, karbondan başka Mn, Si, S ve P vardır.

Dökme demirlerin üretildiği kupol fırınları, bir kat kok, bir kat demir ve bir kat da kireçtaşı konularak doldurulur ve alttan soğuk hava verilerek çalıştırılır. Gerekiyorsa hurda malzeme ve katık elemanları da ilave edilir. Kireçtaşı, ham demirdeki yabancı maddelerle birleşerek, onları cüruf haline getirir. Alt kısımdaki haznede eriyik üzerinde toplanan cüruf, cüruf alma kanalından ayrılır.

Dökme demirler endüstride sıklıkla kullanılır. Makine gövdeleri, motor blokları, pistonlar, silindir gömlekleri, fren tamburları, ocak ızgaraları, banyo küvetleri, radyatörler, kaplinler kullanım alanlarından bazılarıdır.

Dökme demirler her ne kadar Fe-C alaşımıyla elde ediliyor olsalar da, endüstride kullanılan dökme demirlere bakıldığında, alaşım içinde karbona ek olarak mutlaka yaklaşık %1-3 arasında silisyum (Si) olduğu görülür. Karbon ve silisyuma ek olarak, dökme demirlerde sıklıkla mangan (Mn) ve az miktarda da olsa fosfor (P) ve kükürt (S) de kullanılmaktadır.

Dökme demirler, Uluslararası Malzeme Bilimi Topluluğu (ASM) tarafından yapılan temel sınıflamaya göre 3 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır.



Görsel 22: Dökme Demirin Sınıflandırılması

2.1. Karbonun Dökme Demir Yapısında Bulunma Şekline Göre Dökme Demirler

2.1.1. Beyaz Dökme Demir

Tıpkı çayda eriyen şeker gibi, karbon da sıvı demir içinde tamamen çözünebilmektedir. Eğer dökme demir katılaşırken sıvı içerisinde çözünen karbon, sıvı demirin içinden ayrışamaz ve tamamen yapıda çözünmüş olarak kalırsa, ortaya çıkan yapıya **beyaz dökme demir** adı verilir. Oldukça kırılgan bir yapıya sahiptir. Kırıldıkları zaman parlak, beyaz bir renk sergiledikleri için beyaz dökme demir adıyla anılır.

2.1.2. Gri Dökme Demir

Sıvı dökme demir katılaşırken, çayın içindeki şeker gibi sıvı metalde çözünmüş durumda bulunan karbon, katılaşma sırasında ayrı bir faz olarak ortaya çıkabilir. Bu tür bir yapı mikroskop altında incelendiğinde, karbonun grafit formunda ve gözle görülebilen ayrı bir yapı olarak ayrışmış olduğu görülür. Karbonun katmanlar (lamel) halinde ortaya çıktığı bu yapı kırıldığı zaman ortaya mat ve gri bir renk çıktığı için, bu tür dökme demirler **gri dökme demir** olarak adlandırılır.

Ek Bilgi: Grafit saf hali ile dökümcülük (istenilen karbon oranı %60-70 arasında) ve kurşun kalem üretiminde (istenilen karbon oranı %95 ve üstü) kullanılır. Yazı yazmak için kullanılan kurşun kalem ve uçlu kalemlerin uçları grafitten yapılmaktadır.

2.1.3. Benekli Dökme Demir

Beyaz dökme demirler hızlı soğuma koşullarında, gri dökme demirler ise nispeten daha yavaş soğuma koşullarında ortaya çıkmaktadır. Eğer dökülen parçanın soğuma hızı, beyazdan griye geçişin gerçekleştiği bir aralığa denk gelirse, gri ve beyaz yapıların birlikte ortaya çıktığı görülebilmektedir. Böyle bir parça kırıldığı zaman beyaz zemin üzerinde gri adacıklar görülür. Bu sebeple, bu özellikteki bu dökme demirler **benekli (mottled) dökme demir** olarak adlandırılır.

2.1.4. Temper Dökme Demir

Bu dökme demir türü, beyaz dökme demir ile aynı şekilde katılaşır. Karbon tamamıyla demir içerisinde çözünmüş halde kalacak şekilde dökme demirin katılaşması sağlanır. Ardından, katılaşmış beyaz dökme demir ısıl işleme tabi tutularak, yapıda çözünmüş halde bulunan karbonun yapıdan ayrışması sağlanır. Isıl işlem sonrasında, karbon bozuk şekilli küreler halinde, kümelenmiş olarak ortaya çıkar. Isıl işlem gören beyaz dökme demirler, **temper dökme demir** olarak adlandırılır.

2.2. Grafitin Biçimsel Özelliklerine Göre Dökme Demirler

2.2.1. Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demir

Karbon, kitap sayfaları gibi katmanlı şekilde grafit yapısıyla katılaşmışsa, bu tür dökme demirler **gri (lamel grafitli) dökme demir** olarak adlandırılır. Oksijen (O) ve kükürtün (S) nispeten yüksek olduğu alaşımlarda ortaya çıkan bu yapı, yüksek ısı iletkenliği nedeniyle fazla çöküntü oluşmadan katılaşmaktadır.

2.2.2. Küresel Grafitli Dökme Demir

Karbon küresel şekle sahip grafit topları halinde ortaya çıkar. Grafitin küresel bir yapı halinde ayrışabilmesi için, sıvı içinde bulunan oksijen (O) ve kükürtün (S) belli bir seviyenin altına düşürülmesi gerekmektedir. Küresel grafitli dökme demir üretebilmek için sıvı metal öncelikle, oksijen (O) ve kükürtle (S) çok hızlı tepkimeye girebilen magnezyumla (Mg) işlemden geçirilir. Ardından kalıplara dökülerek parça üretimi yapılır. Bu tip dökme demirler yüksek mekanik özelliklere sahiptir.

2.2.3. Vermiküler Grafitli Dökme Demir

Küresel grafitli dökme demir üretimi sırasında uygulanan magnezyum (Mg) işlemi yetersiz kalır da grafit tam olarak küreselleştirilemezse, ortaya vermiküler (kompakt) adı verilen bir grafit yapısı ortaya çıkar. Lamel ve küresel grafit tipleri arasında bir geçiş formu olan vermiküler grafit, bir yandan küresel grafitin sağladığı yüksek mekanik özellikleri dökme demire sağlarken, aynı zamanda yüksek ısı iletkenliği sayesinde çökmelerin azalmasını sağlar. Küresel grafitli dökme demir üretimi ile karşılaştırıldığında, bir hata olarak değerlendirilen bu yapıdaki dökme demirler, yüksek mekanik özellikler ve ısı iletkenliği özelliğini bir arada bulundurması sebebiyle üretimde bilinçli olarak da ortaya çıkartılabilmektedir.

2.3. Fe-C Denge Diyagramındaki Karbon Eşdeğerine Göre Dökme Demirler

2.3.1. Ötektik Altı Dökme Demir

Dökme demirin karbon eşdeğeri, Fe-C ötektik kompozisyonun (Karbon oranı %4,3'ten düşük) altındaysa, bu dökme demirler ötektik altı ya da hipoötektik dökme demir olarak adlandırılır.

2.3.2. Ötektik Üstü Dökme Demir

Dökme demirin karbon eşdeğeri ötektik kompozisyonun (Karbon oranı %4,3'ten yüksek) üzerindeyse, bu dökme demirler ötektik üstü ya da hiperötektik dökme demir olarak adlandırılır.

2.3.3. Ötektik Dökme Demir

Dökme demir tam olarak ötektik kompozisyona (Karbon oranı tam %4,3) sahipse, bu tür dökme demirler **ötektik dökme demir** olarak adlandırılır.

2.3.4. Alaşımlı Dökme Demir

Farklı alaşım elementleri kullanılarak da dökme demirlerin farklı özelliklere sahip olması sağlanabilir. Bu tür dökme demirler, genel olarak alaşımlı dökme demirler adıyla sınıflandırılır.

2.4. Dökme Demirlerin Genel Özellikleri

Aralarında farklılıklar olmakla birlikte, beyaz dökme demir dışındaki dökme demirlerin genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Titreşim sönümleme kabiliyetleri yüksektir.
- Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır.
- Yüzeylerinde tufal (demir oksit, genel olarak bilinen ismiyle pas) oluşmaz.
- Basma dayanımları, çekme dayanımlarının 3-5 katı aralığındadır.
- Korozyon dayanımları çeliklerden daha yüksektir.
- Aşınma dayanımları iyidir.
- Ergime sıcaklıkları çeliklerden daha düşüktür.
- Erimiş halde akışkanlıkları ve kalıpla dökülerek üretilebilme özellikleri daha iyidir.
- Kimyasal bileşim aralıkları geniş olmasına rağmen, birbirine yakın özelliklere sahiptir.
- Talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilme kabiliyetleri yüksektir.
- Ergitme ve döküm işlemleri, çeliklere göre ucuzdur.
- Çeliklere uygulanan ısıl işlemler, dökme demirlere de uygulanabilir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Bir metalin dökme demir mi yoksa çelik mi olacağının tanımlandığı diyagram aşağıdakilerden hangisidir?

A) Çentik darbe

B) Fe-C denge

C) Akma-Kopma gerilmesi

D) Bağ yapısı

E) Demir dönüşüm

2. Aşağıdakilerden hangisi demir filizi **değildir**?

A) Hematit

B) Siderit

C) Pirit

D) Limonit

E) Ledeburit

3. 1 ton demir üretimi için kaç ton hammadde gerekmektedir?

A) 1

B) 3

C) 5

D) 7

E) 9

4. Yüksek fırında demir üretimi için hangi gazlar kullanılmaktadır?

A) $S\text{-}O_2$

B) Na-Cl

C) $CO\text{-}H_2$

D) $H_2\text{-}SO_4$

E) C_2H_5OH

5. Dökme demirlerin üretiminde sıklıkla hangi yardımcı elementler kullanılır?

A) Si ve Mn

B) P ve S

C) S ve O

D) H ve Mg

E) Ti ve Pb

6. Dökme demirlerde bulunan grafit, hangi elementten oluşmuştur?

A) Oksijen

B) Demir

C) Hidrojen

D) Karbon

E) Azot

7. Temper dökme demir, hangi dökme demirin ısıl işlem görmüş halidir?

A) Gri

B) Beyaz

C) Vermiküler Grafitli

D) Ötektik

E) Martensitik

8. Hangi dökme demir tipinin hem mekanik hem de ısıl iletkenliği yüksektir?

A) Gri

B) Küresel

C) Ötektik

D) Lamel

E) Vermiküler

ÖĞRENME BİRİMİ 3

ÇELİK ÜRETİMİ

Bu bölümde, endüstrinin ve hayatımızın her alanında kullanılmakta olan çelik malzemelerin üretim yöntemleri, sınıflandırılması, çelik üretimi için demirin içerisine eklenen katık elemanlarının çeliğin özelliklerine etkileri ve çeliklerin isimlendirilmesi için kullanılan TSE ve ISO sınıflandırmaları öğrenilecektir.

KAZANIMLAR

- Çelik üretim yöntemlerinin öğrenilmesi
- Çeliklerin sınıflandırılması
- Katık elemanlarının çeliklere verdiği özellikler
- Çeliklerin TSE ve ISO sınıflamaları

3. ÖĞRENME BİRİMİ

ÇELİK ÜRETİMİ

HAZIRLIK ÇALIŞMASI	Sizce, günlük hayatta kullanılan çelik eşya ve malzemelerde alaşım elementleri olarak hangileri kullanılıyor?

1. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Çelik, demir elementi ile genellikle %0,2 - 2 oranlarında değişen karbon elementinin bileşiminden meydana gelen bir alaşımdır. Alaşımdaki karbon miktarı, çeliğin sınıflandırılmasında belirleyicidir. Çelik üretiminde, istenilen özelliklerin oluşturulması için bu elementler haricinde magnezyum, krom, vanadyum, volfram, vb. birçok alaşım elementi de kullanılır. Çelikler sıcak ve soğuk olarak işlenebilir. Talaş kaldırılarak işlenmeleri kolaydır. Mekanik özellikleri üstündür. Demir karbon alaşımlarından en fazla kullanılanı çeliktir.

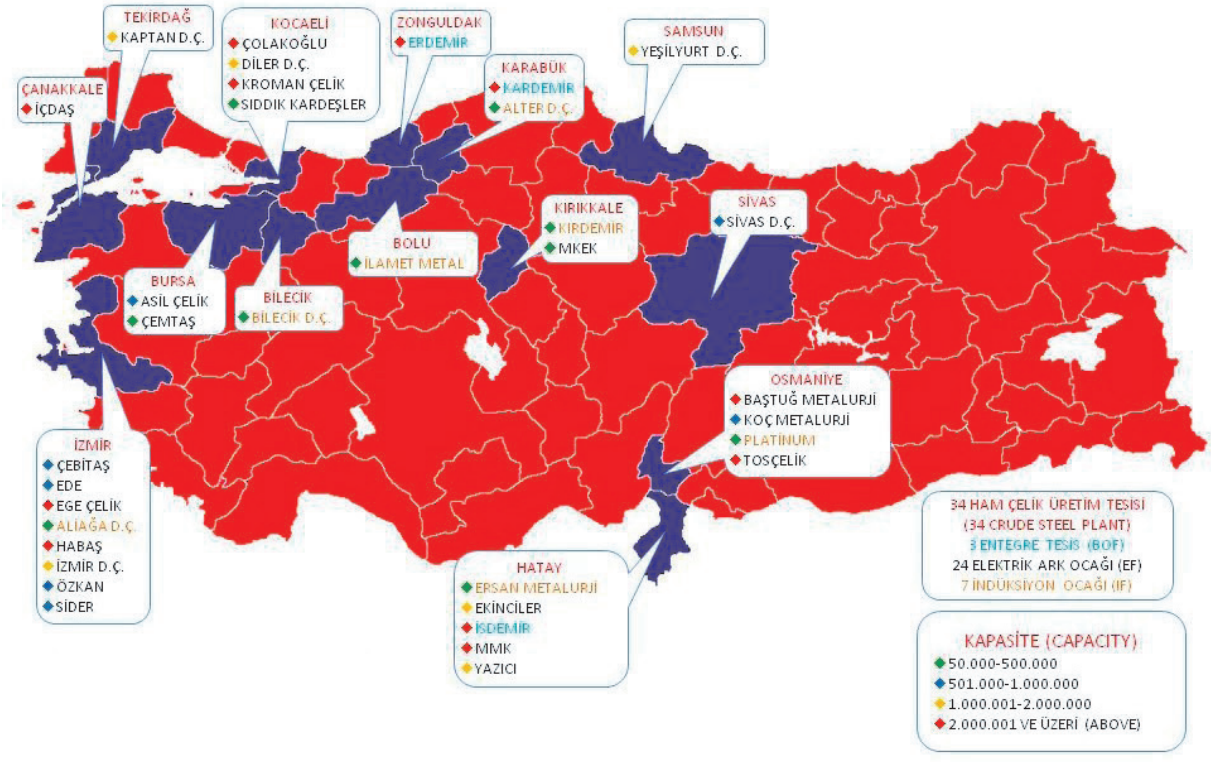
Metalleri eriterek içindeki yabancı maddeleri ayırma işlemine **izabecilik** adı verilir. Demir filizlerinden kok ve kireç taşı ile yüksek fırında ham demir elde edilmesi sırasında, eriyik içerisindeki yabancı maddeleri arıtmak için yalnızca ergitmek yetmez. Arıtma işlemi için başka maddeler ilave etmek suretiyle yabancı maddelerden bir kısmını cüruflaştırmak ve bir kısmını da işlemin devam ettiği sürede havanın oksijeni ile temizlemek gerekir. Bu işlemler için de yüzyıllardır uygulanan farklı üretim yöntemleri kullanılmaktadır.

Önceki dönemlerde çelik üretimi basit yöntemlerle yapılmış olsa da, 19. yüzyıl ortalarında Bessemer-Thomas (Bessımır-Tomas) yönteminin icadıyla çelik pahalı olmayan seri üretim malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde çelik dünyada en çok kullanılan malzemelerden birisidir. Binalarda, altyapı üretiminde, ev eşyalarında, gemilerde, otomobillerde, makinelerde, aksesuarlarda ve silahlarda ana malzeme olarak kullanılmaktadır.



Görsel 23: Çelik Üretim Yöntemleri

19. yüzyıldan günümüze kadar birçok çelik üretim yöntemi kullanılmıştır. Günümüzde Türkiye'de üretilen çeliğin %95'i cevherden üretim yapan Yüksek Fırınlı Bazik Oksijen Fırınlı (BOF) entegre demir çelik tesislerinde ve hurdadan üretim yapan Elektrik Ark Ocaklı (EAF) tesislerde gerçekleştirilmektedir.



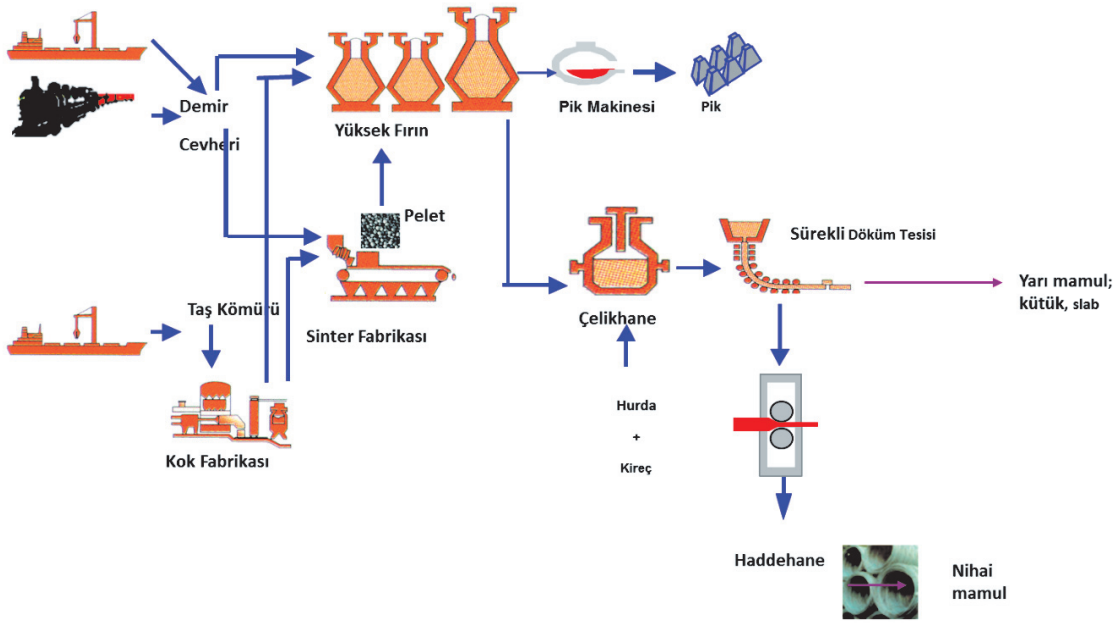
Görsel 24: Türkiye Çelik Üretim Tesisleri (2019)

1.1. Oksijenli Konvertör Yöntemiyle (Bazik Oksijen Fırın (BOF)) Çelik Üretimi

Dünyada yaygın bir biçimde kullanılan Bazik Oksijen Fırını (BOF) yöntemi, Türkiye'de şu an 3 büyük entegre demir çelik tesisimizde kullanılmaktadır. Üretimdeki teknolojik gelişmelerinin yanı sıra, BOF dünyada en çok tercih edilen üretim yöntemi olmuştur. Üretim için gerekli olan temel hammadde demir cevheridir.

Diğer hammaddelerden kok için, ülkemiz yeraltı kaynaklarından elde edilen taşkömürü, kok bataryalarında koklaştırılarak metalürjik kok olarak yüksek fırın için hazır hale getirilmektedir. Ayrıca, toz cevherin yüksek fırınlı tesislerde kullanılabilmesi için sinter fabrikasında işlenerek sinter haline getirilmektedir. Diğer taraftan düşük tenörlü (demir oranı düşük olan maden) demir cevherleri zenginleştirilerek yüksek tenörlü hale getirilmektedir.

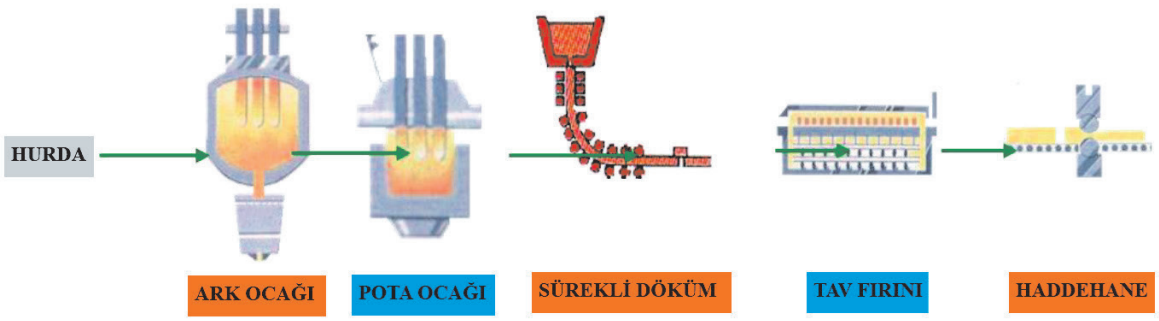
Bu hammaddeler, yüksek fırınlarda işlenerek pik demir elde edilmektedir. Pik demir, BOF'un bulunduğu çelikhanede işlemden geçirilerek çeliğe dönüştürülmekte ve sürekli döküm makinelerinde kütük ve levha (slab) olarak dökülmektedir. Bu levha ve kütükler yassı veya uzun ürün haddehanelerinde işlenerek nihai ürün haline getirilmektedir.



Görsel 25: Bazik Oksijen Fırını (BOF) Yöntemli Entegre Tesiste Çelik Üretimi

1.2. Elektrikli Ark Ocağında (EAF) Çelik Üretimi

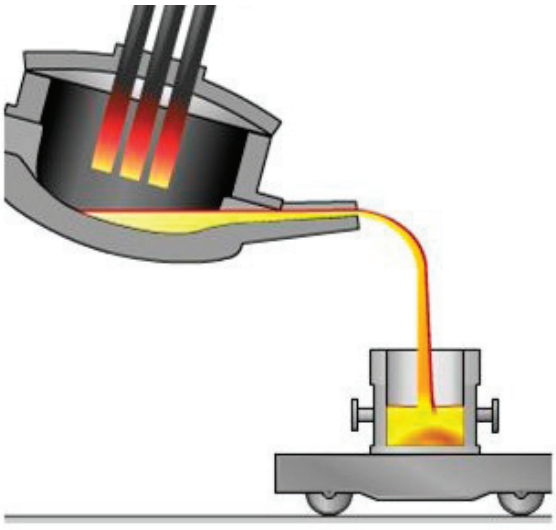
Elektrikli ark fırını ile üretim yapılan tesislerde sıvı çelik üretimi, çelik hurdası kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Hurda çelik elektrik ark ocağına üstten vinçle boşaltılır. Ardından ocağın kapağı kapatılır. Bu kapak ark ocağına indirilen üç adet elektrotu taşımaktadır. Elektrotlardan geçen elektrik bir ark oluşturur ve açığa çıkan ısı hurdayı ergitir. Ergiyen metal ark ocağından alındıktan sonra gerekli alaşım elementleri ilave edilmesi ve dinlendirilmesi amacıyla pota metalürjisine tabi tutulur. Bu işlemin ardından, pota metalürjisinde hazırlanan sıvı çelik sürekli döküm makinelerinden geçirilmek suretiyle kütük veya levha halinde yarı mamul çelik elde edilir.



Görsel 26: Elektrikli Ark Ocağında (EAF) Çelik Üretimi

1.3. İndüksiyon Ocağında (İO) Çelik Üretimi

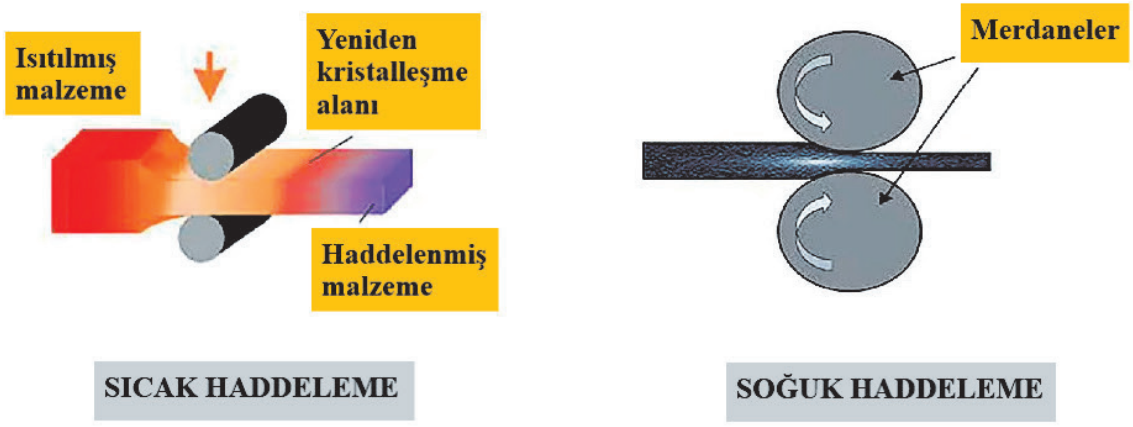
İndüksiyon ocaklı tesislerde çelik üretimi, çelik hurda kullanılarak gerçekleştirilir. Hurda çelik ergitme ocağına üstten vinçle boşaltılır, ardından ocağın kapağı kapatılır. Ergiyen metal ark ocağından alındıktan sonra gerekli alaşım elementleri ilave edilip dinlendirilmesi için pota metalürjisine tabi tutulur. Bunun ardından pota metalürjisinde hazırlanan sıvı çelik sürekli döküm makinelerinden geçirilmek suretiyle kütük veya plaka şeklinde ara ürün elde edilir.



Görsel 27: İndüksiyon Ocağında (İO) Çelik Üretimi

1.4. Çeliğin Haddelenmesi

Sürekli döküm makinelerinde elde edilen yarı mamul çelikler, haddehanelerde işlenir ve nihai çelik ürünleri elde edilir. Üretilecek nihai ürünün niteliğine göre, haddehanelerde girdi olarak kütük ya da plaka halinde çelik kullanılır. Uzun ürünlerin üretiminde kütük, yassı ürünlerin üretiminde ise plaka kullanılır. Haddeleme işlemi, ihtiyaç duyulan mekanik özelliklere ve çeliğin içyapısına göre sıcak ya da soğuk haddeleme şeklinde uygulanır.



Görsel 28: Çeliğin Haddelenmesi

2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çeliklerin sınıflandırılması ile ilgili olarak, uluslararası alanda ihtiyaç durumuna göre kullanılan 8 temel sınıflandırma bulunmaktadır. Genel uygulamada ise, içerdiği karbon (C) yüzdesine göre düşük karbonlu, orta karbonlu ve yüksek karbonlu olarak sınıflandırılmaktadır.



Görsel 29: Çeliğin Sınıflandırması

Endüstrideki kullanım alanı, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre çelikler 9 başlık altında sınıflandırılmaktadır.

2.1. Genel Yapı Çelikleri

Çekme dayanımına göre ifade edilen yapı çelikleri, çekme gerilmeleri ve akma sınırı değerlerinin önemli olduğu; çelik konstrüksiyon, köprü, basınçlı kap ve donanımları, taşıt imalatı ve makine konstrüksiyonlarında kullanılır. Genel yapı çeliklerinin talaşlı imalatla şekillendirilmesinde, normal tavlama ve yaklaşık 600- 650°C sıcaklığında uygulanan gerilim giderme tavlamasının dışında ısıl işlem uygulanmaz. Nokta ve makara dikiş kaynağı ile birlikte, direnç kaynağına da uygundur.

Bu çelikler genellikle alaşımsız çelik olarak tanımlanır, mekanik özellikleri daha çok karbon miktarına bağımlıdır. Fakat başta azot (N) ve fosfor (P) olmak üzere, üretim hammaddelerinden ve üretim şekillerinden kaynaklanan mangan (Mn), silisyum (Si), bakır (Cu) ve kükürt (S) elementleri de mekanik özelliklerinde oldukça etkilidir.

2.2. Sementasyon Çelikleri

Sementasyon işlemi, yüzey sertliği aşınma dayanımı ve sürekli dayanımı iyileştirici özelliğe sahip olmakla birlikte, parça çekirdek bölge dayanımı ve sünekliğini de iyileştirir. Bu sayede büyük yüklerin taşınması, darbe tarzındaki yüklerin karşılanması sağlanır. Kaynak kabiliyetleri iyidir. Sementasyon işleminden sonra değişik şekillerde ısıl işleme tabi tutulabilir.

2.3. Islah Çelikleri

Islah çeliklerinde sertleşebilirlik özelliklerinin yanında, yüksek dayanım ve süneklik de istenir. Yeterli seviyede sertlik elde edilebilmesi için, ıslah çelikleri diğerlerine nispeten yüksek karbon içerir. Kalın kesitli parçalar için sertlik derinliğinin en önemli kriter olması sebebiyle, bu parçalar alaşımlı ıslah çeliklerinden imal edilir.

Islah çeliklerinin seçiminde, parça boyutları ve dayanım değerleri ön plandadır. Alaşımsız ıslah çelikleri ancak küçük kesitli parçalarda verimli olabilir. Kalın kesitli parçalar için, sertlik dağılımının homojen olması, çeliğin alaşımlı olmasına bağlıdır.

Islah çelikleri alevle ve indüksiyonla sertleştirilebileceği gibi, ıslah edildikten sonra da alev ve indüksiyonla sertleştirilebilir. Bu şekilde ısıl işlem görecek malzemenin seçiminde, kimyasal bileşimin yanı sıra, yüzeyde elde edilecek sertlik değeri ve sertleşme derinliği göz önünde bulundurulur. Alaşımsız çeliklerde sertlik derinliği 3-4 mm olabilirken, alaşımlı çeliklerde bu derinlik 10-12 mm'yi bulur.

Islah çelikleri kimyasal bileşimlerine göre 4 ana grupta toplanır.

- Alaşımsız ıslah çelikleri
- Mangan alaşımlı ıslah çelikleri
- Krom alaşımlı ıslah çelikleri
- Krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri

2.4. Yay Çelikleri

Yay malzemesi olarak kullanılacak çeliklerde istenilen özellikler, yeterli yük dayanımı, iyi esneklik, kırılmaya karşı sınırsız emniyet şeklinde sıralanabilir. Bu özellikler ancak uygun çelik seçimi ve ısıl işlem ile mümkün olabilir. Yük dayanımının artırılması ile malzemenin sünekliğini kaybetmemesi önemlidir.

Esnek parçaların üretimi hususunda dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri, parçaların kaynaklı birleştirme yapılmasının oluşturacağı risklerdir. Yüzey pürüzlülüğünün hassasiyeti, termokimyasal sertleştirme (nitrürasyon), kumlama gibi işlemler kırılma tehlikesini azaltıcı işlemlerdir. Çelik malzemeye şekil verme işlemi oda sıcaklığında gerçekleşirse, yüksek oranda eğilme gerilmeleri meydana gelir. Bu durum üretilen parçanın esnekliğini düşürür. Bu sebeple şekil verilmiş parçaların düşük sıcaklıklarda tavlanması gerekmektedir.

2.5. Otomat Çelikleri

Çelik malzemelerden istenen özellikler arasında, talaşlı imalatla işlenebilirlik kabiliyeti önem taşımaktadır. İmalat aşamasında, yüksek kesme hızları ve buna bağlı olarak işlem zamanı, takım ömrü, iyi yüzey kalitesi, daha düşük kesme kuvvetleri kullanarak sağlanacak enerji tasarrufu gibi kriterler, diğer faktörlerle birlikte malzeme kalitesiyle de direkt alakalıdır. Bu kaliteyi sağlamak amacıyla otomat çelikleri geliştirilmiştir. Otomat çelikleri, ıslah ve semente edilebilmektedir.

2.6. Paslanmaz Çelikler

Az alaşımlı ve alaşımsız çelikler ortama bağlı olarak hızla paslanır ya da kimyasal aşınmalara uğrar. Tahribattan ve paslanmadan korunmak amaçlı yüzeylerin boyanması ya da kaplanması gerekebilir. Yapılacak bu işlem de istenen korumayı sağlamayabilir. Bu gibi durumlar için paslanmaz çelikler geliştirilmiştir. İçerdikleri Cr, Si ve Al gibi elementler, oksijenle birleşerek, çok ince, yoğun ve yapışkan bir oksit filmi tabakası oluşturur. Bu tabaka paslanma oluşumunu engeller.

Paslanma olayı sadece çeliğin alaşım durumuyla ilgili değildir. Parçaların talaşlı işlem özellikleri de paslanma konusunda önemlidir. Örneğin, yüzeyi hassas taşlanmış bir parçanın paslanma oranı, kötü yüzey kalitesine sahip bir parçanın paslanma oranından daha düşüktür.

Paslanmaz çelikler 4 grupta sınıflandırılır.

- Krom çelikler,
- Krom-nikel çelikler
- Krom-mangan çelikler
- Çok fazlı çelikler

2.7. İndüksiyonla Yüzeyi Sertleştirilebilen Çelikler

İndüksiyon ile sertleştirme işlemi, sementasyon ile elde edilemeyen uygun çekirdek özellikleri, yüksek sertlik derinliği gibi özelliklerin elde edilebilmesi amacıyla kullanılır. Yüksek torkla çalışması sebebiyle fazla sertlik verilemeyen millerin aşınma dayanımı gerektiren kısımlarının indüksiyonla sertleştirilmesi örnek olarak verilebilir. Kükürt ve fosfor miktarı bu çeliklerde daha düşüktür.

2.8. Takım Çelikleri

Adından da anlaşılabileceği gibi kesici ve tutucu takım imalatı, pres takımları, kalıp imalatı gibi alanlarda kullanılır. Alaşım oranlarına göre uygulanan ısıl işlemler farklılık göstermektedir.

Takım çelikleri 4 grupta sınıflandırılır.

- Alaşımsız takım çelikleri
- Soğuk iş takım çelikleri
- Sıcak iş takım çelikleri
- Hız çelikleri

3. ÇELİK KATKI ELEMANLARI VE ÇELİK STANDARTLARI

3.1. Çelik Katkı Elemanları

Karbonlu çeliklerden normal olarak sağlanamayan kendine has özellikleri sağlayabilmek amacıyla, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler **alaşımlı çelik** olarak tanımlanmaktadır.

Alaşım elemanlarının etkisi, diğer metallere nazaran en çok çelik yapısında etki yaratmaktadır. Alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir olmadığından, çok sayıda alaşım elementinin birlikte bulunması halinde beklenen özellik değişmeleri, genel olarak ele alınabilir ve bu konuda kesin bir yaklaşım yapılamaz.

Alaşımlı çelikler, alaşım elemanları (karbon ve arıtılamayan elemanlar dışında kalan diğerleri) toplam miktarı %5'ten az olan (düşük alaşımlı) çelikler ve alaşım elemanlarının toplamı %5'ten fazla olan (yüksek alaşımlı) çelikler olmak üzere, iki ana gruba ayrılır.

Alaşımsız çeliklere benzer davranışa sahip olan düşük alaşımlı çeliklerin en belirgin özelliği, sertleşme kabiliyetlerinin daha yüksek olmasıdır. Ayrıca, sertlik, çekme dayanımı, akma sınırı, elastiklik modülü gibi dayanım özellikleri ile sıcağa dayanıklılık, meneviş dayanıklılığı gibi karakteristikler yükselirken, genellikle kopma uzaması, kesit daralması, çentik darbe dayanımı gibi değerlerde azalma olur. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde, istenilen özelliklerin bulunmaması veya yetersiz olması halinde yüksek alaşımlı çelikler kullanılır. Bu tür alaşımlama, normal sıcaklıklardaki mekanik dayanımın artırılmasının yanı sıra, korozyon dayanımına, yüksek sıcaklıkta sertlik ve manyetiklenmeme gibi bazı istenen özelliklerin elde edilmesini amaçlar.

3.1.1. Karbon (C)

Çelik için temel alaşım elementidir. Karbon miktarının artmasıyla sertlik ve dayanım önemli ölçüde artar. Ancak %0,8 karbon oranına kadar çekme gerilmesi ve akma sınırı değeri artar. Bu değerden sonra kırılganlık artar. Isıl işlem sonucunda sertlik, kalıntı östenit sebebiyle daha fazla artmaz. Çeliğin alabileceği maksimum sertlik 67 HRC olup, bu değer %0,6 karbon miktarı ile elde edilir. Çeliklerde karbon miktarı süneklilik, dövülebilirlik, derin çekilebilirlik ve kaynak kabiliyeti gibi özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek karbonlu çeliklerin ısıl işleminde çatlama riski de fazladır.

3.1.2. Mangan (Mn)

Çeliğe genellikle demir cevheri ile birlikte girer. Mekanik özellikleri iyileştirmesi sebebiyle, ayrıca da ilave edilir. Temel alaşım elementi olarak da görülebilir. Genel olarak sünekliği azaltmakla birlikte, çeliğin dayanımını artırır. %3 Mn miktarına kadar, her %1 Mn için çekme dayanımını yaklaşık 100 MPa kadar artırır. %3-8 arası dayanım artışı azalır. %8'den itibaren dayanım düşüşü görülür. Çeliğin dövülebilirliği ve sertleşebilirliğini iyileştirir. Kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkilemez ve kaynaklanabilir malzemeler içinde %1,6 oranına kadar eklenebilir. Manganın iyi yöndeki etkisi, karbon oranının artmasıyla birlikte artar. Ayrıca çeliğin yüzey kalitesini iyileştirir.

3.1.3. Silisyum (Si)

Çelik üretimi esnasında oksijen giderici olarak kullanılır. Döküm çeliklerde, döküme akıcılık sağlamak için ilave edilir. Ferrit içerisinde çözünebilme özelliğine sahip olduğu için, malzemenin süneklik ve tokluğunu düşürmeden, dayanımı ve sertliğini artırır. Yüksek silisyum içeren çeliklerin ısı dayanımı da yüksektir. Genel olarak sertleşebilirliği, aşınma dayanımını ve elastikiyeti yükseltmesine karşın, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Silisyum miktarı arttıkça çeliğin tane büyüklüğü de artar.

3.1.4. Kükürt (S)

Otomat çeliklerinde kükürt miktarı, talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek için yüksektir. Bunun dışında istenmeyen bir elementtir ve daima azaltılmaya çalışılır. Kükürt miktarı yükseldikçe, süneklik ve darbe dayanımı düşer. Mangan ile dengelenmediğinde düşük sıcaklıkta kırılganlık yapar. Kaynak edilebilirliği ve sertleşebilirliği kötüleştirir.

3.1.5. Fosfor (P)

Malzeme tokluğunu düşüren, zararlı etkiye sahip bir elementtir. Çeliğin dayanımını ve sertliği artırıcı özelliği olmasına karşın, süneklik ve darbe dayanımını düşürür. Bu etki yüksek karbonlu çeliklerde daha net görülür. Çeliğin korozyon dayanımını iyileştirmesine karşın, mümkün olduğunca düşük oranda kalması istenir. Kükürtle birlikte fosfor azlığı malzeme kalitesinde birinci kriterdir.

3.1.6. Krom (Cr)

Çeliklere en fazla ilave edilen alaşım elementidir. Çelikte, oksidasyona ve korozyona karşı dayanımı, aşınma direncini ve sertleştirilebilirliği artırır. Krom, %25'e varan oranda ilave edilmesi halinde, malzeme yüzeyinde bir oksit tabakası oluşturarak paslanmaya karşı direnç sağlar ve malzemeye parlak bir görüntü kazandırır. Çekme dayanımını ve sıcağa dayanımı da artırır. Bazı alaşımlarda meneviş kırılganlığına sebep olabilir ya da sünekliği düşürebilir. Bu etkileri azaltmak amacıyla daha çok Ni ve Mo ile birlikte kullanılır.

3.1.7. Nikel (Ni)

Nikel %5'e varan oranda kullanılır. Nikel, malzemenin mukavemetini ve tokluğunu artırır. Özellikle paslanmaz çeliklerde daha fazla kullanılır. Nikel aynı zamanda, tane küçültme etkisine de sahiptir. Alaşım elemanı olarak nikelin tek başına kullanımı son yıllarda azalmış, Ni-Cr alaşımı başta olmak üzere Ni-Mo ya da Ni-Cr-Mo alaşımları yaygınlaşmıştır. Sıcağa ve oksitlenmeye karşı iyileştirici özelliğe sahip olmasının yanı sıra, krom ile birlikte kullanılarak sertleşmeyi, sünekliği ve yorulma direncini artırır.

3.1.8. Molibden (Mo)

Molibden düşük nikel ve düşük krom içeren çeliklerde, temper gevrekliği eğilimini gidermek için kullanılır. Molibden ilavesi yapılan nikel ve krom çeliklerinin temper sonrası darbe dayanımları da önemli ölçüde yükselir. Aynı zamanda akma ve çekme dayanımını artırır.

3.1.9. Vanadyum (V)

Nikel gibi vanadyum da çelikler için önemli bir tane küçültücüdür. %0,1 gibi bir oranda kullanılması bile, sertleştirme işlemi esnasında tane irileşmesini önemli ölçüde engeller. Vanadyum sertlik derinliğini artırmakla beraber, sıcaklık dayanımını da artırır. Özellikle kesme amacıyla kullanılan parçalarda, darbe dayanımının artmasını sağlayarak kesici kenarların formunun uzun süre muhafaza edilmesinde etkilidir.

3.1.10. Wolfram (W)

Wolfram, çeliğin dayanımını artıran bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinde, kesici kenarın sertliğinin muhafazasını, takım ömrünün uzamasını ve yüksek ısıya dayanımını sağlar. Bu sebeple özellikle yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak kullanılır. Yüksek çalışma sıcaklıklarında, çeliğin menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır.

3.1.11. Niobyum (Nb)

Tane inceltici etkiye sahiptir. Akma sınırını yükseltir. Kuvvetli karbür yapıcı özelliği ile sertliği de artırır.

3.1.12. Titanyum (Ti)

Kuvvetli karbür yapıcı özelliği vardır ve sertliği artırır. Çelik üretimi esnasında deoksidan olarak da kullanılır. Tane inceltici etkiye sahiptir.

3.1.13. Kobalt (Co)

Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini yavaşlattığı için, daha çok hız çeliklerine ve sıcağa dayanıklı çeliklere ilave edilir.

3.1.14. Alüminyum (Al)

En güçlü deoksidandır. Isıtma işleminde tane kabalaşması ve yaşlanmayı azaltır. Tane inceltici özelliğe sahiptir.

3.1.15. Bor (B)

Düşük ve orta karbonlu çeliklerin sertleşebilirliğini artırır özelliğe sahiptir. Sakinleştirilen çeliklere %0,05-%0,3 kadar düşük oranda katılır.

3.1.16. Bakır (Cu)

Sıcak şekillendirmede kırılganlığa sebep olduğu için %0,5 oranı pek aşılmaz. Sünekliği ciddi oranda düşürmesine karşın korozyon dayanımını artırır ve sertliği artırdığı için ilave edilir.

3.1.17. Azot (N)

Nitrür oluşumunu sağlayarak sertliği artırır. Nitrürasyon ile 1100 VSD kadar sertlik elde edilebilir. Mekanik dayanım ve korozyona karşı direnci artırmasına karşın, yaşlanma meydana getirir.

3.2. Çelik Standartları

Çelik standart sistemleri yapı, makine, üretim parçalarında kullanılan çelik ve demir alaşımların sınıflandırma, değerlendirme, kimyasal, mekanik ve metalurjik alanda farklı özelliklerinin belirlenmesini sağlar. Çelik standartları belirli özelliklere göre sınıflandırılabilir. Dünya üzerinde evrensel çelik standartları bulunmamaktadır. Bu sebeple çelik standartları hakkında kabul edilmiş ulusal ve uluslararası kurumlar bulunmaktadır.

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) malzeme türleri ile ilgili standartları hazırlarken, ISO ve DIN endüstri çelik normlarını esas almıştır. TSE, ISO ve DIN standartlarında çelikler için aynı gösterimler geçerli olup, üç değişik yöntemle malzeme tanımlaması yapılmaktadır.

- Malzeme numarası gösterimi
- Çeliğin çekme dayanımına göre kısa gösterimi
- Çeliğin kimyasal analizine göre kısa gösterimi

3.2.1. Malzeme Numarası ile Gösterim

Malzemeler ISO ve TS standartlarında X.YYZZ şeklinde gösterilir. Bu gösterimde;

X : Malzeme cinsi

YY : Malzeme türü

ZZ : Sıra numarası

anlamına gelmektedir.

Örneğin; 1.2344 olarak tanımlanmış olan malzemeyi aşağıdaki tablonun yardımıyla; takım çeliği olarak tanımlayabiliriz.

Malzeme Cinsi **X**	**Malzeme Türü** (Çelikler için) **YY**
0: ham demir, demir esaslı döküm 1: Çelik ve çelik döküm 2: Demir olmayan ağır metaller ve alaşımları 3: Hafif metaller ve alaşımları 4-8: Metal olmayan malzemeler	**Genel Çeşitler** 00: Ticari ve temel kaliteler 01-02: Genel yapı çelikleri 03-07: Alaşımsız kaliteli çelikler 08-09: Alaşımlı kaliteli çelikler **Alaşımsız Asal Çelikler** 10: Özel fiziksel özelliklere sahip çelikler 11-12: Yapı çelikleri 15-18: Kalitelerine göre alaşımsız çelikler **Alaşımlı Asal Çelikler** 22-28: Takım çelikleri 32-33: Hız çelikleri 34: Aşınmaya dayanıklı çelikler 35: Rulman çelikleri 36-39: Özel fiziksel özellikli demir esaslı 40-41-43-44-45: Paslanmaz çelikler 47-48: Isınmaya dayanıklı çelikler 49: Yüksek sıcaklık malzemeleri 50-59: Yapı çelikleri 60-69: Yapı çelikleri 70-79: Yapı çelikleri 80-84: Yapı çelikleri 85: Nitrasyon çelikleri 88: Sert alaşımlar Özel Çeşitler 90: Ticari ve temel kaliteler 91-99: Diğer çeşitler

Görsel 30: Malzeme Numarası Gösterim Tablosu

3.2.2. Çeliğin Çekme Dayanımına Göre Gösterim

Çeliğin minimum çekme dayanımı (kgf/mm^2) esas alınarak gösterilir.

Örneğin; TS standardına göre Fe37, ISO standardına göre St37 (St, çeliğin İngilizce ismi steel kelimesinin kısaltmasıdır) olarak tanımlanmış olan malzeme; çekme dayanımı en az 37 kgf/mm^2 veya 370 N/mm^2 olan çeliktir.

3.2.3. Çeliğin Kimyasal Analizine Göre Gösterim

3.2.3.1. Alaşımsız Çeliklerin Gösterimi

Alaşımsız çeliklerin gösteriminde karbon (C) başa gelmek kaydıyla, alaşımdaki karbon miktarının 100 ile çarpımında bulunan sayı yazılarak adlandırılır.

Örneğin; 0,45 karbonlu alaşımsız çelik, C45 olarak adlandırılmaktadır. C harfinden sonra bazı harfler kullanılarak bazı özel nitelikler de belirtilebilir.

- K (Ck) : Fosfor ve kükürt miktarı düşük
- F (Cf) : Alevle yüzeyi sertleştirilebilir
- Q (Cq) : Soğuk şekillendirilebilir
- M (Cm) : Fosforu düşük, kükürtü çok düşük

3.2.3.2. Düşük Alaşımlı Çeliklerin Gösterimi

Bu çeliklerin adlandırılmasında ilk önce karbon miktarının 100 ile çarpımında bulunan sayı yazılır. Ardından en yüksek miktarda içerdiği alaşım elementi başta olmak üzere alaşım elementlerine göre yazılarak adlandırılır. Burada alaşım elementlerinin bazen bir tanesi bazen tamamı yazılarak adlandırma yapılmaktadır. Alaşım elementleri belirtildikten sonra belirtilen sayılar, elementlerin sırasıyla ve o elementin faktör çarpanına göre belirtilmektedir.

Faktör Çarpan Sayısı	Elementler
4	Cr, Co, Mn, Si, Ni, W
10	Al, Be, Cu, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr, Pb
100	C, Ce, P, S, N
1000	B

Görsel 31: Düşük Alaşımlı Çelik Gösterimi Faktör Çarpan Tablosu

ÖRNEK

15Cr4 : %0,15 C ve %1 Cr içeren çelik

24CrMoV5 : %0,24 C, %1,25 Cr içeren, Cr-Mo-V alaşımlı çelik

10CrMo910 : %0,1 C, %2,25 Cr ve %1 Mo içeren alaşımlı çelik

3.2.3.3. Yüksek Alaşımlı Çeliklerin Gösterimi

Önce X harfi yazılır. Daha sonra karbon miktarının 100 ile çarpımı ile bulunan sayı yazılır. Ardından, en yüksek miktarda içerdiği alaşım elementi başta olmak üzere, düşük miktarlı alaşım elementine kadar yazılarak adlandırılır. Burada belirtilen alaşım elementleri faktör çarpanı kullanılmadan belirtilir.

ÖRNEK

X8 CrNi 18 8 : %0,8 karbon, %18 krom ve %8 Nikel içeren alaşımlı çelik

X50 NiCrWV 13 : %5 karbon, %13 Nikel içeren, Ni-Cr-W-V alaşımlı çelik

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Aşağıdaki çelik üretim yöntemlerinden hangisi Türkiye'de en sık kullanılmaktadır?

A) Elektrik Arkı

B) Puddel

C) Bessmer

D) Vakum

E) Siemens

2. Aşağıdakilerden hangisi çeliğin sınıflandırılma yöntemi **değildir**?

A) Kullanım alanı

B) Karbon oranı

C) Haddeleme

D) Üretim şekli

E) Metalografik yapı

3. Aşağıdakilerden hangisi çelik katkı elemanı **olamaz**?

A) Mangan

B) Silisyum

C) Nikel

D) Titanyum

E) Hidrojen

4. Malzeme numarası ile gösterim yöntemine göre 1.8550 malzemesinin cinsi nedir?

A) Bakır

B) Alüminyum

C) Yarı iletken

D) Alaşımlı Çelik

E) Alaşımlı Bakır

5. St45 olarak gösterilen malzeme için aşağıda verilenlerden hangisi doğrudur?

A) %4,5 oranında karbon içerir

B) Eriyik çelik 45 saatte soğutulmuştur

C) Yüksek alaşımlı çeliktir

D) Çekme dayanımı en az 450 N/mm^2'dir

E) Yüksek fırında 45 saat durmuştur

6. Cq30 olarak gösterilmiş olan alaşımsız çeliğin özelliği aşağıdakilerden hangisidir?

A) Fosfor ve kükürt miktarı düşüktür

B) Alevle yüzeyi sertleştirilebilir

C) Soğuk şekillendirilebilir

D) Fosforu düşüktür

E) Kükürtü çok düşüktür

7. Kimyasal gösterimi 15Cr4 olarak verilen düşük alaşımlı çeliğin krom oranı aşağıdakilerden hangisidir?

A) %1 B) %2

C) %3 D) %4

E) %15

8. Kimyasal gösterimi X8 CrNi 18 8 olarak verilen yüksek alaşımlı çeliğin krom oranı aşağıdakilerden hangisidir?

A) %8

B) %18

C) %0,8

D) %0,18

E) %18,8

ÖĞRENME BİRİMİ 4

ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ

Endüstriyel kullanım için çeliklerin mekanik özellikleri, kimyasal yapılarına ilave edilen katkı elemanları ile güçlendirilse de çalışma şartları nedeniyle yüzeylerinin ısıl işlemler ve diğer sertleştirme yöntemleri ile kullanıma uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu bölümde, çeliklere uygulanan ısıl işlemler, yüzey sertleştirme yöntemleri ve yapılan işlem sonucunda yüzey sertliğinin ölçümünün nasıl yapıldığı öğrenilecektir.

KAZANIMLAR

- Isıl işlemlerin amacı ve çeşitleri
- Çeliğin tavlanma işlemi
- Yüzey sertleştirme yöntemleri
- Sertlik ölçme yöntemleri

4. ÖĞRENME BİRİMİ

ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ

HAZIRLIK ÇALIŞMASI	Sizce, arabaların motor parçaları ve vites kutusunda kullanılan dişli çarklara hangi ısıl işlem ve yüzey sertleştirme işlemleri uygulanır?

1. ISIL İŞLEM

Isıl işlem, katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir.

Çeliklere uygulanan bütün temel ısıl işlemler, içyapının dönüşümü ile ilgilidir. Çeliğin içyapısında oluşacak değişimin bileşimi ve metalografik yapısı, çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler.

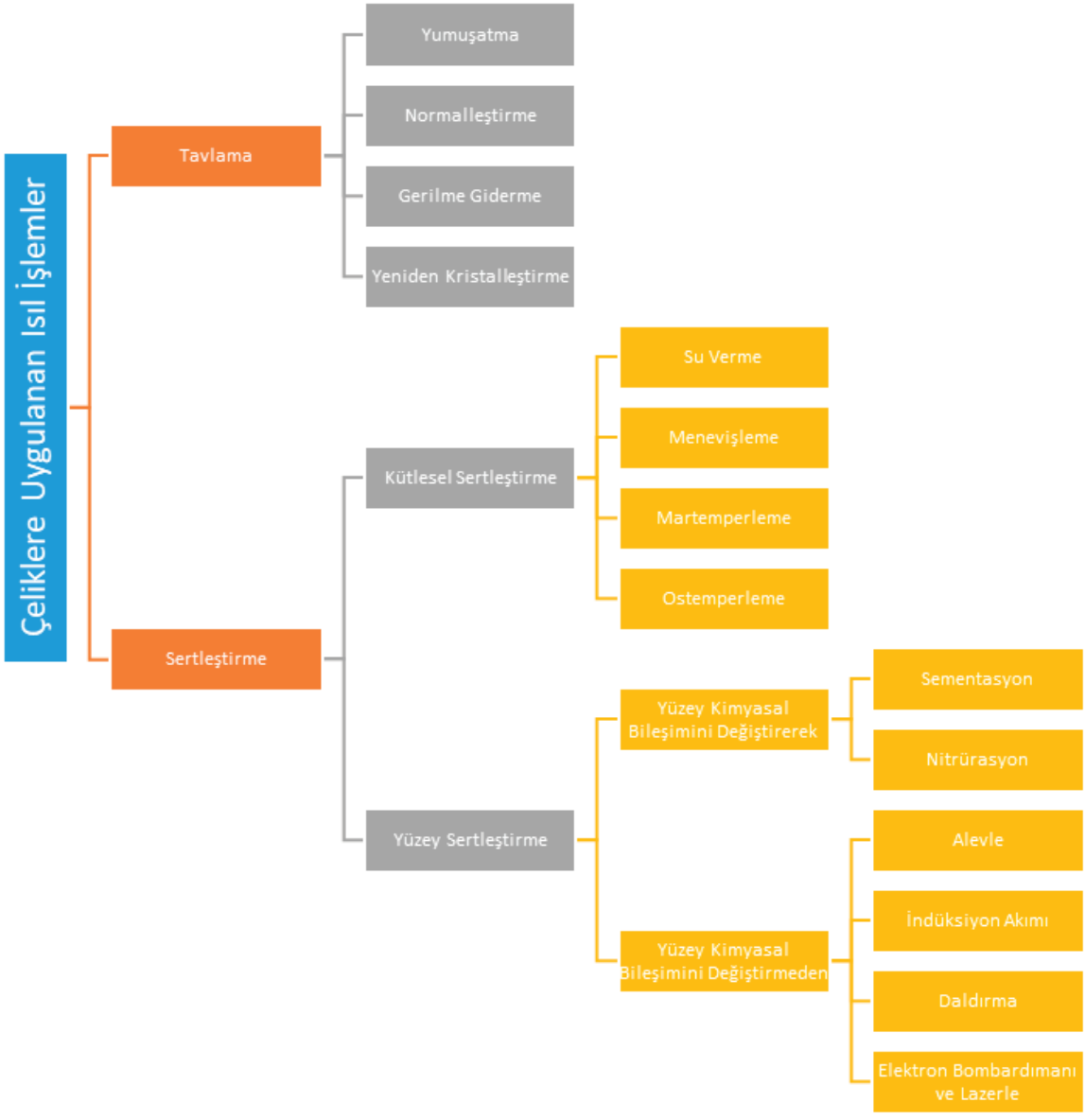
Bölüm içerisinde sıklıkla karşılaşılacak olan temperleme ya da menevişleme, su verilmiş çeliklerin gevrekliğini gidermek ve tokluk kazandırmak için, düşük sıcaklıklar altında yapılan ısıl işlemlere verilen adlardır.

Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemlerin Amaçları

- Talaşlı imalatta işlenebilme özelliğini iyileştirmek (yumuşatma, tane irileştirme)
- Dayanım (mukavemet) artırmak ya da azaltmak (sertleştirme, normalizasyon, yumuşatma)
- Soğuk şekil verme etkisini yok etmek (yeniden kristalleştirme)
- Mikro segregasyonu ortadan kaldırmak (homojenleştirme)
- Tane büyüklüğü kontrolünü sağlamak (normalleştirme, tane irileştirme, yeniden kristalleştirme)
- İç gerilmeleri giderme (gerilim giderme tavı)
- İçyapı değişikliği (normalleştirme, yumuşatma, sertleştirme)

Isıl işlem yapılış özellikleri ve elde edilen özellikler bakımından, Tavlama ve Sertleştirme olarak iki grupta incelenebilir.

- Tavlama ile içyapının "kararlı denge durumuna yaklaşması" sağlanır (soğuma yavaş yapılır).
- Sertleştirmede ise, östenit hızlı soğutularak, yarı kararlı bir içyapı (martenzit) oluşturulur.



Görsel 32: Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemler

Isıl İşlem Uygulamasında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Çeliğin belirlenen sıcaklığa kadar ısıtılmasında seçilen ısıtma hızı, ısıl işlem uygulamasındaki diğer faktörlere göre daha az önem taşır. Ancak, malzemedeki çarpılmanın önlenebilmesi için, soğuk şekil değişimine tabi tutulmuş (soğuk haddelenmiş) malzemelerin, gerilmesiz malzemelere göre daha yavaş ısıtılması gerekir.
- Kesit değişikliği gösteren parçaların ısıtılması sırasında, ince ve kalın kesitlerdeki ısınma veya sıcaklık artış hızları arasındaki farklar da dikkate alınmalıdır. Sıcaklık etkisiyle parçada meydana gelebilecek çarpılmayı en aza indirmek için, ince kısımlar kalın kısımlara göre daha yavaş ısıtılmalıdır. Isıl işlem sırasındaki hasar riskini azaltmak amacıyla, çelikler genelde yavaş ısıtılır.
- Çeliğin içyapısının tamamen değiştiği sıcaklıklara çıkartılmasında, çelikte çarpılma, çatlama, oksidasyon, dekarbürizasyon (karbon atomlarının iç yapıdan kopması) ve tane büyümesi gibi istenmeyen durumlar meydana gelebilir. Bu nedenle çelikler olabildiğince düşük sıcaklıklarda ostenitleştirilir.

	İşlem Sıcaklığı (°C)	Sertleşme Derinliği (mm)	Yüzey Bozulması	Boyut Değişimi, Deformasyon	Uygulanabilen Malzemeler
Sementasyon	825-950	0,5-2	Var	Var	Sınırlı
Alev ve İndüksiyon	800-1000	1-10	Var	Var	Sınırlı
Nitrürleme	350-580	En Fazla 1	Olmayabilir	İhmal edilebilir, olmayabilir	Her tür çelik ve döküm

Görsel 33: Sık Kullanılan Yüzey Sertleştirme Yöntemlerinin Karşılaştırması

1.1. Tavlama Yöntemleri

Malzemelerin, talaşlı imalatta işlenme kabiliyetini artırmak, plastik şekillendirme kabiliyetini artırmak, içyapı özelliklerini düzeltmek gibi amaçlarla yapılan ve malzemenin istenilen bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, yavaş soğutulması şeklinde gerçekleştirilen işlemlerdir.

1.1.1. Yumuşatma (Küreleştirme) Tavlaması

Isıl işlem görmemiş çelikler, içerdikleri karbon oranlarına bağlı olarak, oda sıcaklığında farklı sertlikler gösterir. Bazı çelikler sertlikleri itibariyle kolay işlenemez durumda olabilir. Özellikle plastik şekil değiştirme işlemleri için çeliklerin en düşük sertlikte olması istenir. Bu sebeple, çeliklerin yumuşatılması amacıyla yumuşatma tavlaması uygulanır.

Çelik malzemelerin, oda sıcaklığındaki yapıları, tanecikler halinde ve içindeki karbon oranıyla doğru orantılı olarak, ince uzun plakalar şeklinde, sıralı dizilmiş görünümdeki karbür çökeltileri şeklindedir. Perlit olarak anılan bu yapı içerisindeki karbür plakalarının sıklığı, malzemenin içerdiği karbon oranıyla artar ve bu durum sertliğin de artmasına sebep olur. Yumuşatma tavlaması yapılarak, ince uzun yapıdaki karbür plakalar, daha kısa ve küresel bir yapıya dönüştürülür. Bu durumda çelik ilk haline oranla daha yumuşak ve kolay şekillendirilebilir bir yapıya sahip olur. Bu yöntem küreleştirme tavlaması olarak da bilinir.

1.1.2. Normalleştirme Tavlaması

Tavlama işlemlerinin tamamı malzemeye iyi özellikler kazandırmakla beraber, tane irileşmesine de sebep olur. Yapılacak işleme göre iri taneli yapıların istenmediği durumlar için malzemeler sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak, sakin havada soğumaya bırakılır. Normalleştirme tavlamasını diğerlerinden ayıran özellik parçaların yavaş soğutulması yerine, sakin havada hızlı soğutulmasıdır. Bu durumda tane yapısı daha ince yapılı olur. Bu işlem **normalizasyon** olarak da bilinir.

Normalizasyon tavlamasının temel amaçları aşağıdaki gibidir.

- Tane küçültmek
- Homojen bir içyapı elde etmek
- Ötektoid üstü çeliklerde, tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak
- Çeliklerin işlenme özelliklerini iyileştirmek
- Mekanik özellikleri iyileştirmek
- Yumuşatma tavına tabi tutulmuş çeliklerin sertlik ve mukavemetlerini artırmak

Bu nedenlerle normalizasyon tavı, genellikler son ısıl işlem olarak uygulanır.

1.1.3. Gerilme Giderme Tavlaması

Kaynaklama, plastik şekil verme veya aşırı ısıtma / ani soğutma gibi durumlar sonucu malzeme içinde, çeşitli yönlerde iç gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmelerin giderilmesi amacıyla en yüksek kullanım sıcaklığının üstünde ve faz dönüşüm sıcaklığının altında bir sıcaklıkta parçalar en fazla iki saat bekletilerek iç gerilmelerinin giderilmesi sağlanır.

1.1.4. Yeniden Kristalleştirme Tavlaması

Plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirilen parçaların tane yapılarında, özellikle cidar (ince) bölgelerinde, kalıcı yapı bozulmaları meydana gelir. Bu durum, sertlik ve mukavemetin artması, süneklik ve elektrik iletkenliğinin azalmasına sebep olur. Faz dönüşüm sıcaklığının altında bir sıcaklıkta, bir saate kadar bekletme ve yavaş soğutma ile tane yapısı düzgün ve düzenli bir forma dönüşerek, deformasyon öncesi özelliklerin geri kazanılması sağlanır. Bu işlem **rekristalizasyon** olarak da bilinir.

1.2. Sertleştirme Yöntemleri

Üretimi yapılan parçaların çalışma şartlarına göre değerlendirilmesiyle, parçanın tamamı veya bir kısmının, çekirdeğe kadar veya sadece cidar yüzeyi boyunca sertlik kazanması istenebilir. Bu gibi durumlar söz konusu olduğu zaman, istenen özelliğe göre farklı ısıl işlemler uygulanması gerekir. Yapılış özellikleri ve nihai yapı özellikleri göz önüne alınarak sertleştirme işlemi kütlesel ve yüzeysel sertleştirme olarak 2 ayrı başlık altında değerlendirilir. Bu bölümde kütlesel sertleştirme yöntemleri öğrenilecektir.

1.2.1. Su Vererek Sertleştirme

Tavlama işleminden sonra, çelikler yavaş ya da orta seviyedeki bir hızla soğutulduklarında, östenit içerisinde çözünmüş durumda bulunan karbon atomları difüzyon ile östenit yapıdan ayrılır. Soğuma hızı artırıldığında, karbon atomları difüzyon ile katı çözeltiden ayrılmak için yeterli zaman bulamaz. Demir atomları bir miktar hareket etseler bile, karbon atomlarının çözelti içerisin-

de hapsedilmeleri nedeniyle farklı bir yapı oluşur. Hızlı soğuma sonucunda oluşan bu yapıya **martenzit** adı verilir.

Martenzitin sertliğinin yüksek olmasının en önemli nedeni, kafes yapısının çarpıtılmış olmasıdır. Martenzitik dönüşüm sırasında çelik malzemelerde bir miktar hacimsel büyüme meydana gelir. Söz konusu hacimsel büyüme, çok yüksek düzeyde yerel gerilmeler oluşturarak çeliklerin yapısının aşırı ölçüde çarpılmasına veya plastik şekil değişimine uğramasına neden olur. Kafes yapısının çarpılması, su verilen çeliklerin sertlik ve mukavemetini artırır.

Martenzitik dönüşüm yalnız soğuma sırasında meydana gelir. Bu nedenle, söz konusu dönüşüm zamandan bağımsız olup, yalnız sıcaklığın azalmasına (soğumaya) bağlıdır. Yüksek sertlik değerleri, ancak yeterli oranda karbon içeren çeliklerde elde edilir. Su verilen alaşımsız bir çelikten elde edilebilecek en yüksek sertlik, çeliğin karbon oranına bağlıdır.

Su Verme Ortamları

İdeal su verme ortamı, başlangıçtaki soğuma hızının yüksek, malzemedeki çarpılmanın önlenmesi bakımından da düşük sıcaklıklardaki soğuma hızının düşük olmasını sağlamalıdır. Bu durumu tam olarak sağlayacak nitelikte bir su verme ortamı yoktur. Su ve inorganik tuzların sulu çözeltileri gibi su verme sıvıları, başlangıç aşamasındaki soğuma hızlarının yüksek olmalarını sağlar. Ancak, bu soğuma hızları düşük sıcaklıklarda da devam ettiğinden, malzemede çarpılma veya çatlama meydana gelebilir.

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

Tuzlu Su Çözeltisi: Su verme verimini artırmak için suya sodyumhidroksit (NaOH) veya mutfak tuzu (NaCl) ilave edilir. Mutfak tuzu, çelik üzerinde korozyona sebep olduğu için pek tercih edilmez. %10 oranında ilave edilecek NaOH soğutma hızını çok fazla artırır. Bu tip kullanımlar, yüksek sertleşme derinliğini artırarak iç gerilmelerin az olmasını da sağlar.

Musluk Suyu: Su verme işlemiyle ilgili en önemli özelliklerden biri, sıcak parçayı soğutmak için kullanılan suyun sıcaklığıdır. 20-40°C arasındaki soğutma suyu sıcaklığı en verimli sıcaklıktır. 60°C üzerindeki sıcaklıklarda soğutma hızı fazlasıyla düşer.

Yağ: Yağda su verme işlemindeki yağın soğutma hızı, suyun soğutma hızından yavaştır. Soğutma hızının en verimli olduğu yağ sıcaklığı 50-80°C arasıdır. Ayrıca yağın sürekli olarak hızlı biçimde karıştırılması verimi büyük ölçüde artırır.

Hava: Havada su verme işlemi diğer yöntemlere göre en az verimli oranıdır. Bunun en büyük sebebi, havanın soğutma hızının çok düşük olmasıdır. Hatta sakin havanın soğutma hızı, suyunkinin %1'inden daha azdır. Bu sebeple, bu yöntem sadece yüksek hız çelikleri için tercih edilebilir.

1.2.2. Menevişleme

Su verme işlemi sonrası oluşan nihai yapı, çok sert ve kırılgan olup, ani soğutma esnasında oluşan iç gerilmelere sahiptir. Dolayısıyla **menevişleme**, malzemenin tokluğunun iyileştirilmesi için malzemenin tekrar ısıtılıp, aynı sıcaklıkta bir süre tutularak soğutulmasıdır.

Menevişleme işlemi istenilen tokluk oranı, sertlik ve nihai yapıya göre farklı sıcaklıklarda yapılabilir. Su verilen parçanın tamamen soğumasını bekledikten sonra yapılan menevişleme çatlamaya sebep olabilir. Bu sebeple parça 60-80°C sıcaklığa düşmesiyle birlikte menevişlemenin hemen yapılması gerekir.

1.2.3. Martemperleme

Sertleştirilecek parça ostenitleştirme işlemine tabi tutulduktan sonra, martenzitik dönüşümün başlama sıcaklığının hemen üzerindeki bir sıcaklıkta tutulan kurşun veya tuz banyosuna daldırılır. Yüzeyi ile merkezinin sıcaklıkları aynı oluncaya, yani bütün kesit boyunca aynı sıcaklık elde edilinceye kadar parça banyo içerisinde tutulur. Daha sonra, parçaya su verilerek tamamen martenzitik bir iç yapı elde edilir. Bu işlem sayesinde, soğuma ile oluşan büzülme olayı, ostenit-martenzit dönüşümü ile ortaya çıkan genleşme olayından ayrılarak, hem büyük parçalardaki su verme çatlaması önlenir hem de parça sertleştirilir.

1.2.4. Ostemperleme

Sertleştirilecek parça ostenitleştirildikten sonra, martenzitik dönüşümün başlama sıcaklığının üzerindeki sıcaklıkta tutulan kurşun veya tuz banyosuna daldırılır. Parça, dönüşüm tamamlanıncaya kadar banyoda bekletilir ve sonradan banyodan alınarak havada soğutulur.

2. YÜZEY SERTLEŞTİRME

Çeliklerin yüzeylerinden ince bir katmanın sertleştirilmesi işlemine **yüzey sertleştirme** adı verilir. Kütlesel sertleştirme işlemleriyle, çeliklerin çekirdeğine kadar sertleştirilmesi yapılır. Makine elemanlarının çalışma şartları değerlendirildiğinde, aşınmaması gereken yüzeylerinin sertleştirilmesi yeterlidir. Darbeli, vuruntulu ve sarsıntılı (titreşimli) çalışma şartlarına uyabilmeleri için çeliklerin atomik bağ yapılarının bozulmaması gereklidir. Çeliklerin atomik bağ yapılarının bozulmaması ve mekanik özelliklerini koruyabilmeleri için, çekirdeğine kadar sertleşmemiş olması gereklidir. Çekirdeğine kadar sertleştirilmiş çelikler, sertlikleri oranında kırılgan olur. Bu sebeple çelikler çekirdeğine kadar sertleştirilmeyip, yüzeyden ince bir katmanının sertleştirilmesi ile çalışma şartlarına uygun hale getirilir.

Yüzey sertleştirme işlemleri, yüzey kimyasal bileşimini değiştirerek ve yüzey kimyasal bileşimini değiştirmeden olmak üzere 2 ana grupta toplanmaktadır.

2.1. Yüzey Kimyasal Bileşimini Değiştirerek Yüzey Sertleştirme

Bu yöntemle yapılan yüzey sertleştirme, çekirdeğine kadar sertleşme yeteneğine sahip olmayan çeliklere uygulanır. Bu çeliklerde, sertleşmeyi sağlayacak oranda karbon yoktur. Bu sebeple, çelik yüzeyinden ince bir katmanın sertleşmesine yetecek kadar karbon veya azot çelik yüzeyine verilir. Çelik yüzeyindeki ince bir katmanın kimyasal bileşimi, sertleşme yeteneği kazanacak kadar değiştirilir. Yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemi; sementasyon (katı, sıvı ve gaz) ve nitrürasyon yöntemleri ile gerçekleştirilir.

2.1.1. Sementasyon

Kolay işlenebilir özelliğe sahip düşük karbonlu çelikler, işlendikten sonra kullanım amaçları doğrultusunda, yüzeylerine karbon emdirilerek, sertleştirme işlemine tabi tutulur. Bu işlem parça yüzeyinin aşınma dayanımını artırır ve çekirdek bölgenin yumuşak kalması ile tüm parçanın tok özellikler göstermesini ve darbe dayanımının yüksek olmasını sağlar. Sementasyon işlemi, katı, sıvı veya gaz fazlı ortamlarda gerçekleşebilir.

Sementasyon işleminde, yüzey karbon oranı %0,7-0,8 oranlarına artırılmaya çalışılır. Bunun üzerinde emdirilen karbon, karbür çökelmesine yol açarak kırılgan bir yüzey oluşturur. Sementasyon için asıl kriter etkin sementasyon derinliğidir.

Karbon emdirme işlemini müteakip, su verme işlemi uygulanarak cidarın sertleştirilmesi gerçekleştirilir. Su verme işlemi, karbon emdirme sıcaklığından su verilerek (doğrudan su verme), oda sıcaklığına kadar soğutulup ıslah edilerek (tek su verme) veya karbon emdirme sıcaklığından su verildikten sonra düşük sıcaklıkta ıslah edilerek gerçekleştirilir. Su verme işlemlerinden sonra mutlaka menevişleme yapılmalıdır. Sementasyon işlemi ardından sağlanacak en yüksek aşınma dayanımı, en yüksek sertlikte değil, yaklaşık 300˚C'de yapılan menevişlemeden sonra elde edilir.

Gaz Sementasyonu

Kontrolü en kolay ve ekonomik yöntem gaz ortamında yapılan sementasyondur. Karbon verici olarak CO veya metan gazı kullanılır. Özel fırınlarda cıvata, vida, pim ve benzeri küçük parçalara uygulanır, sertleşen yüzey ince olur. Gaz sementasyonunda, fırına gönderilen karbon verici gaz, sementasyon sıcaklığında karbon atomlarını çeliğe vererek etki eder ve kabuktaki karbon yüzdesinin yükselmesini sağlar. Gaz moleküllerinin etkisi yavaş olduğundan sementasyon işlemi daha uzun zaman alır.

Sıvı Sementasyon

Sıvı ortam sementasyonunda yaygın olarak sodyumsiyanür ve potasyumsiyanür gibi karbon vericilerin tuzları kullanılır. İşlem görecek çelik parçalar banyoya daldırılmadan önce nemi alınmalı ve 100°C üzerinde ısıtılmalıdır. İş parçaları nemli olursa, meydana gelecek buhar patlamaya yol açar. İş parçaları yağlardan ve pisliklerden temizlenmiş olarak banyoya daldırılmalıdır.

Siyanür banyolarında işlem zamanı çok kısadır, 15-45 dakika arasında değişir. Bu işlem, kullanılan tuzların siyanür tuzları olmasından dolayı **siyanürize** işlemi olarak adlandırılır. Sıvı sementasyon işlemi sırasında çelik yüzeyine karbon atomları ile birlikte azot atomları da eklenir. Karbon atomları sementit meydana getirirken, azot atomları da nitrür meydana getirir. Nitrür, herhangi bir sertleştirmeye gerek kalmadan serttir. Bu sebeple, siyanür banyolarında diğer sementasyon işlemlerine nazaran daha sert bir yüzey elde edilir. Sıvı ortam sementasyonu daha çok küçük parçaların sertleştirilmesi için uygundur.

Katı Sementasyon

Katı ortam sementasyonunda daha çok odun kömürü kullanılır. Kontrolü zor ve tecrübe gerektiren fazla tercih edilmeyen bir yöntemdir. Karbürasyon adını da alan bu metotla, çelik yüzeyine atomik difüzyonla karbon atomları emdirilir. Çelik yüzeyinin karbon oranı yükseltilerek çeliğe sertleşme yeteneği kazandırılır. Sementasyon yapılacak çeliklerde genel olarak % 0,1-0,2 arasında karbon bulunur. Normal olarak bu kadar karbona sahip olan çelikler sertleşmez.

Sementasyon işlemi sonunda yüzeyin karbon oranı 1-3 mm kalınlıktaki kabukta % 0,85 -1,3 arasında olur. Sementasyon çeliklerinde; atomik difüzyonun meydana getirildiği sıcaklıklarda yapı kabalaşmasını önlemek ve difüzyon olayını hızlandırmak için Cr, Ni ve Mo bulunur.

2.1.2. Nitrürasyon

Az karbonlu ve düşük alaşımlı (krom, molibden ve alüminyum) çeliklere uygulanan bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Bu yöntemle sertleştirilecek çeliklerde, sertleşmeye yetecek kadar karbon yoktur. Sementasyondan farklı olarak, çelik yüzeyine karbon yerine azot atomları emdirilir. Azot atomları çelik yüzeyinde bir nitrür katmanı meydana getirir. Nitrür tabakası ayrıca sertleştirmeye gerek bırakmayan sert bir katmandır. Çelik dış yüzeyindeki nitrür katmanının sertliği 72-80 Rockwell kadardır. Nitrasyon işlemi, çelik ferritik yapıda iken uygulanır. Nitrürasyon fırınlarının sıcaklığı 450-540°C arasında olur. Fırından devamlı olarak geçirilen amonyak gazının parçalanması ile meydana gelen reaksiyon sonucunda açığa çıkan azot, çelik yüzeyinde nitrür katmanı meydana getirir.

Çelik yüzeyinde nitrür katmanı çok uzun zamanda meydana gelir. 72 saat devam eden bir işlem sonunda elde edilen katman kalınlığı, diğer metotlarla elde edilen katmanlara nazaran çok daha incedir. Nitrür katmanı oldukça yüksek sıcaklıklarda da sertliğini kaybetmez. Sertliği de diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile elde edilen katmanlardan daha fazladır.

Nitrürasyon çeliklerinde % 0,2-0,4 arasında karbon bulunur. Nitrür katmanının oluşumunu kolaylaştırmak için çeliklerde % 2-4,3 arasında krom, molibden, alüminyum ve vanadyum bulunur. Bazı nitrürasyon çeliklerinde daha dayanıklı olması için nikel de bulunur.

2.2. Yüzey Kimyasal Bileşimini Değiştirmeden Yüzey Sertleştirme

Bu yöntemde, çelikler yapı dönüşüm sertleşmesine yetecek kadar karbona sahiptir. İçerisinde %0,35-0,70 karbon bulunan çeliklerin yüzeylerinden ince bir katmanın sertleştirilmesi şeklinde uygulanır. "Alevle, İndüksiyon Akımı ile, Daldırma yöntemi ile, Elektron Bombardımanı ve Lazerle" yüzey kimyasal bileşimi değiştirilmeden sertleştirme işlemi uygulanır.

2.2.1. Alevle Yüzey Sertleştirme

Karbon oranı % 0,35-0,70 arasında olan krom-nikel, krom-molibden alaşım elemanlı çeliklere uygulanan bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Yüzeyi sertleştirilecek çeliklerin çok kısa bir zamanda ve çok kuvvetli bir ısı kaynağı altında yüzeylerinden ince bir katmanın su verme sıcaklığına kadar çıkarılarak hızla sertleştirilmesinden ibarettir. Isı kaynağı çok kuvvetli olduğu için, çeliklerin yüzeyinden 3-5mm'lik bir kısmı bir anda su verme sıcaklığına çıktığı halde, çekirdek kısmı soğuktur. Isı kaynağının hemen arkasından ısınan yüzeylere su püskürtülerek yüzeyin sertleşmesi sağlanır.

Isı kaynağı olarak oksijen ve asetilen alevi kullanılır. Bu yöntemde çeliklerde çarpılma ve iç gerginlikler görülmez. Küçük parçalara uygun bir yöntem değildir. Yüksek karbonlu çeliklere de uygulanamamaktadır.

Alevle yüzey sertleştirmede 4 yöntem uygulanmaktadır.

Durağan alevle sertleştirme

Durağan alevle sertleştirmede, belirli bir bölge ısıtılır. Sonra, parçaya su verilir. Bu metot özellikle mil uçları, özel çelik döküm uygulamaları ve büyük parçalar için uygundur.

İlerleyen alevle sertleştirme

Su verme sistemine sahip bir alev başlığı içerir. Alev ve su verme başlığı parça boyunca hareket eder. Hareket mekanizması için çeşitli araçlar kullanılmaktadır.

Dönerek sertleştirme

Yüzeyi sertleştirilecek parçanın alev kaynağı önünde döndürülmesini sağlayan bir düzenek ile uygulanır. Isıtma işleminin ardından parçaya su verilir. Mil, pim, dişli çark, teker gibi yuvarlak parçalar için uygundur.

Kombine işlemle sertleştirme

İlerleyen ve dönen alevle sertleştirme yöntemlerinin birleşimidir. Bu yöntem uzun milleri sertleştirmek için kullanılmaktadır.

2.2.2. İndüksiyon Akımı ile Yüzey Sertleştirme

İndüksiyon akımı (frekansı 10.000 ile 1.000.000 Hz arasında değişen akımın geçtiği sargıların arasına parçanın yerleştirilmesi yöntemi) yardımıyla parça yüzeyinin ani olarak ısıtılıp, ani olarak soğutulmasıyla yapılan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Alevle sertleştirmeye benzemekte olup, gerek işlem süresi, gerekse yüzeyde oluşturulan yüksek ısıl birikimi açısından daha verimlidir. İndüksiyonla yapılan ani ısıtmanın ardından yapılan ani soğutma işlemi, genellikle su ile yapılır ve yüksek karbonlu çeliklerde çatlama ihtimalini artırır. Soğutma suyunun 60°C civarında olması veya tuz kullanılması çatlama ve iç gerilme ihtimalini azaltır. Sertleştirmeden sonra iç gerilmelerin giderilmesi için 150-200°C arasında menevişleme yapılması gerekir.

Bu yöntemle herhangi bir makine elemanında, yalnızca istenilen yerlerin sertleştirilmesi mümkündür. Sertleştirilmek istenilen yerlere uygun sargılar kullanılarak istenildiği gibi sertleştirme yapılabilir.

2.2.3. Daldırma Yöntemi ile Yüzey Sertleştirme

Özellikle karmaşık şekilli parçaların yüzey sertleştirmesi için kullanılan yöntemdir. Parça çok yüksek sıcaklıktaki sıvı banyosuna daldırılarak öngörülen kalınlıktaki yüzey tabakası ostenitleme sıcaklığına gelinceye kadar uygun bir süre ile bekletilir. Isının yüzeye yayılmasını sağlamak amacıyla ısı iletim katsayısı yüksek olan "Sn Bronzu Banyosu" gibi sıvılar kullanılır. Sıcak banyodan çıkarılan parçaya su verilerek yüzeyi sertleştirilir. Sıvı banyosu, metal banyosu yanı sıra erimiş tuz banyosu da olabilir. Yöntemin alev ya da indüksiyonla yüzey sertleştirmeye göre önemli üstünlükleri bulunmaktadır.

Üstünlükler

- Karmaşık biçimli parçalar için uygun olması
- Ek donanıma ihtiyaç duyulmaması
- Yatırım maliyetinin düşük olması
- Üretim hızının yüksek, bu nedenle de ekonomik olması

Dezavantajları

- Sertleşen tabaka kalınlığının ayarlanması ve özellikle yeterli ölçüde tutulmasının zorluğu
- Metal banyolarının parça yüzeyine yapışması
- Tuz banyoları kullanımında yüzeyde karbon azalmasının meydana gelmesi

2.2.4. Elektron Bombardımanı ve Lazerle Yüzey Sertleştirme

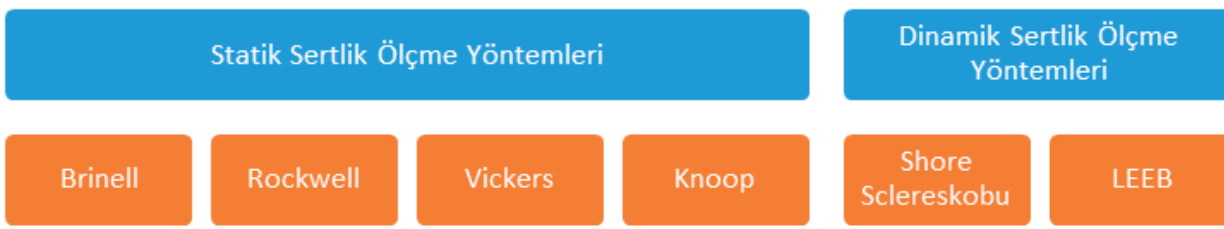
Yeterli karbon içeren çelikler ile düşük alaşımlı çeliklere uygulanır. Elektron bombardımanı ile sertleştirmede vakuma gereksinim vardır. Lazer ile sertleştirme yönteminde ise vakuma gerek yoktur ve sertleştirme işlemi gaz ile yapılabilir. Yöntemin uygulanması için gerekli olan cihaz ve ekipman pahalıdır.

3. SERTLİK ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Sertlik göreceli (karşılaştırmalı) bir ölçü olup, batma, sürtünme, çizme ve kesme gibi yöntemlerle malzeme üzerinde oluşturulan iz veya aşınmanın neden olduğu bölgesel plastik deformasyona karşı direncin bir ölçüsüdür. Bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında doğru orantılı ya da ters orantılı ilişki kurulabilir. Örneğin; çeliklerde çekme mukavemeti, sertlik ile doğru orantılıdır. Malzemelerin sertliği ile işlenebilme özelliği arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Malzeme ne kadar sertse, işlenmesi o kadar zordur.

Sertlik ölçme işlemi genellikle, piramit, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılmasına karşılık, malzemenin gösterdiği direnci ölçme şeklinde uygulanır. Sert uç ile malzemeye eksenel bir kuvvet uygulanarak ya da sert bir bilyeyi malzeme yüzeyine düşürerek malzeme üzerinde bir iz oluşturulur. Malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğüyle ters orantılıdır. Malzeme üzerinde oluşan iz ne kadar büyükse malzeme o kadar yumuşak demektir.

Sertlik ölçümünü günümüz endüstrisinde güvenli bir şekilde yapabilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler statik ve dinamik olmak üzere 2 ana grup altında sınıflandırılmıştır.



Görsel 34: Sertlik Ölçme Yöntemleri

Bunlar haricinde, Mohs ve Breithaupt isimli "Karşılaştırmalı Sertlik Ölçüm Metotları" da vardır. Ancak bu metotlar metallerin sertlik ölçümünde neredeyse hiç kullanılmaz.

3.1. Statik Sertlik Ölçme Yöntemleri

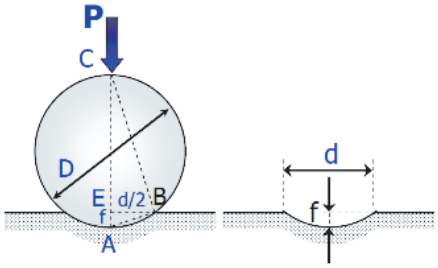
3.1.1. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi

En eski yaygın olarak kullanılan sertlik ölçme yöntemidir. İlk defa 1900 yılında İsveçli Dr. J.A. Brinell tarafından bulunmuş ve geliştirilmiştir.

Sertlik ölçme cihazı yardımı ile sertlik ölçümü yapılacak malzemenin yüzeyine belirli bir yükün, belirli çaptaki sert malzemeden yapılmış bir bilye yardımıyla belirli süre uygulanması ve sonuç olarak meydana gelen izin çapının ölçülmesi ve gerekli hesaplamaların yapılması şeklinde uygulanmaktadır. Gelişen teknolojiyle, günümüzde bu hesaplamalara gerek kalmamış olup, sertlik değeri makine üzerindeki göstergeden okunabilmektedir.

Brinell sertlik ölçme yöntemi ile sertleştirilmemiş çeliklerin, dökme demirlerin ve benzeri yumuşak malzemelerin sertlikleri ölçülebilir. Sert malzemelerin, sertleştirilmiş çeliklerin, sert karbürlerin sertliklerini ölçmeye elverişli değildir.

Yöntem, EN ISO 6506 standardına göre uygulanmaktadır. Farklı çaplardaki bilyelerin malzeme yüzeyine sabit yüklerle uygulanmasıyla iz oluşturulur. Lens sistemi ile oluşturulan izin çapı ölçülür ve standartlara uygun olarak hesaplanır.



$$BSD = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

BSD: Brinell Sertlik Değeri

P: Uygulanan Yük (kg)

D: Bilya çapı (mm)

d: İz çapı (mm)

Görsel 35: Brinell Sertlik Değeri Hesaplaması



Görsel 36: Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı

Yapılan çalışmalar ve ortaya konulan uluslararası standart sonucunda, malzeme sertliğine göre kullanılacak yük ve bilye çapı aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

MALZEME		BİLYA ÇAPI (mm)			
10		5	2,5	1,25	
Sert	Sertleştirilmemiş çelik, dökme demir ve çelik döküm	3000 kg	750 kg	187,5 kg	46,9 kg
Orta - Sert	Al, Cu, Mg, Al ve Si alaşımlı tunçlar	1000 kg	250 kg	62,5 kg	15,6 kg
Yumuşak	Dökme tunçlar, Mg alaşımları, Pirinç, Al, ve Si alaşımları	500 kg	125 kg	31,2 kg	7,81 kg
Çok yumuşak	Al ve benzeri yumuşak alaşım ve metaller	250 kg	62,5 kg	15,6 kg	3,91 kg

Görsel 37: Malzeme Sertliği ve Uygulanabilecek Kuvvetler

Yapılan testin sonucu, aşağıdaki örnekte olduğu gibi gösterilir.

62 HBW(BSD) 5/500/30

62: Ölçülen sertlik derecesi

5: Bilya çapı (mm)

500: Uygulanan yük (kg)

30: Uygulama süresi (saniye)

Brinell sertlik ölçüm yöntemi ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken hususlar, avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Sertlik ölçümü, en az üç yerden yapılarak ortalama alınmalıdır.
- Malzeme üzerinde soğuk biçimlendirme izleri bulunmamalıdır.
- Yük uygulaması, yüzeye yavaş yavaş uygulanmalıdır.
- Ölçmede izler arasında en az 2,5 iz çapı kadar mesafe olmalıdır.
- Isıl işlem görmüş parçalar, yüzeylerinden talaş kaldırıldıktan sonra sertlik ölçümüne tabi tutulmalıdır.
- İnce saclar, üst üste konularak sertlik ölçümüne tabi tutulmalıdır.

Avantajları

- Kuvvet faktörleri nedeniyle farklı Brinell yöntemi ölçekleri karşılaştırılabilir (30/10/5/2,5)
- Yüzey kalitesi çok önemli değildir.
- Geniş iz boyutundan dolayı daha tutarlı sonuçlar elde edilir.

Dezavantajları

- Sert malzeme testi mümkün değildir.
- Malzemenin deformasyonu sonucu etkileyebilir.
- Özellikle Rockwell yöntemi ile karşılaştırıldığında ölçüm süresi uzundur.

3.1.2. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi

Rockwell sertlik ölçme yöntemi, uygulamada diğer yöntemlerden farklıdır. Brinell yönteminde, sertliği ölçülen malzemede meydana getirilen iz alanı ile uygulanan yük arasındaki bağıntı esas alınarak sertlik ölçümü yapılıyordu. Rockwell yönteminde ise, malzemeye batan ucun meydana getirdiği derinlik ile sertlik değeri ölçümü yapılmaktadır. Sertlik değeri birimsizdir. Uç malzemeye ne kadar fazla batarsa malzeme o kadar yumuşak, ne kadar az batarsa o kadar serttir. Eğer uç malzemeye hiç batmazsa, sertliğin elmas sertliğine eşit olduğu kabul edilir.

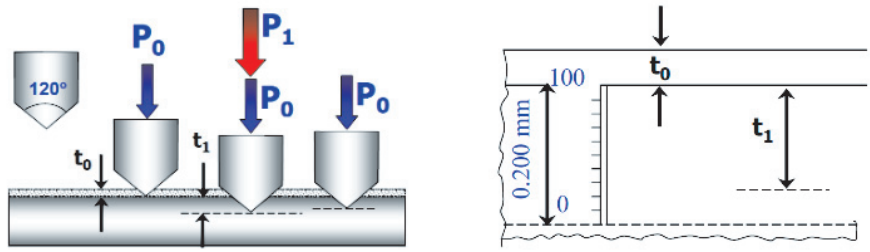
Rockwell sertlik deneyi (RSD), uygulanması kolay olması ve özel bir ustalık gerektirmemesinden dolayı metallerin sertlik ölçümünde en yaygın kullanılan yöntemdir. Rockwell deneyi için kullanılan batıcı uçlar; belirli çaplarda çelik bilyeler ya da konik elmas uçlardır. Rockwell sertlik değeri daima sembol harfle birlikte belirtilir. Bu harf batıcı ucun tipini, kullanılan yükün miktarını ve kadran üzerinde okunacak bölümü belli eder.



Görsel 38: Rockwell Sertlik Ölçüm Cihazı

Bu yöntemde batma derinliği ölçüleceği için, yüzey pürüzlülüğü sonuçları etkileyebilir. Bu sakıncayı gidermek için, uygulama aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir.

- Önce batıcı uç küçük bir yükle (P_0= ön yük) malzemeye daldırılarak alet sıfır düzeyine ayarlanır.
- Daha sonra toplam yüke tamamlanacak şekilde ana yük (P1) uygulanır.
- Son olarak ana yük (P1) kaldırılır. Meydana gelen kalıcı izdeki derinlik artışı bulunarak mevcut göstergeden Rockwell Sertlik değeri okunur.



Görsel 39: Rockwell Sertlik Ölçüm Uygulaması

Ucun malzeme içine her 0,002 mm batışı, sertlik değerinin 1 kademe düşmesi olarak alınır. Diğer yöntemlerde olduğu gibi Rockwell yönteminde de son yıllar da otomatik cihazlar kullanıcı hatalarını en aza indirmek için tercih edilmeye başlanmıştır.

Gösterim	**Sertlik Ölçme Ucu**	Ön Yük **(P_0) (kg)**	**Toplam Yük (P_1) (kg)**	**Uygulanan Malzemeler**
HR_A	120° Elmas Koni	10	60	Sert metal, yüzeysel sertleştirme derinliği 0,4mm olan ince sac malzemeler
HR_B	1/16” Bilye	10	100	Metal olmayan malzemelerle yumuşak çelikler
HR_C	120° Elmas Koni	10	150	Sertleştirilmiş çelikler
HR_D	120° Elmas Koni	10	100	Yüzeysel sertleştirme işlemi yapılmış orta sertlikte çelikler
HR_E	1/8” Bilye	10	100	Dökme demir, alüminyum ve magnezyum alaşımları
HR_F	1/16” Bilye	10	60	Tavlanmış bakır alaşımları, kalınlığı 0,6mm’ye kadar olan ince malzemeler
HR_G	1/16” Bilye	10	150	Fosforlu bronz, berilyumlu bakır ve yumuşak demir
HR_H	1/8” Bilye	10	60	Alüminyum, çinko ve kurşun

Görsel 40: Çelik ve Metallerin Rockwell Sertlik Ölçüm Ayarları

Gösterim	Sertlik Ölçme Ucu	Hesaplama Formülü
HR_A	120° Elmas Koni	100 – 500t
HR_C		
HR_D		
HR_B	1/16” Bilye	130 – 500t
HR_F		
HR_G		
HR_E	1/8” Bilye	
HR_H		

t: Batma derinliği

Görsel 41: Rockwell Değeri Hesaplaması

Rockwell sertlik ölçüm yöntemi ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken hususlar, avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Sertlik ölçümü, en az üç yerden yapılarak ortalama alınmalıdır.
- Derinlik ölçümü yapılacağından malzeme yüzeyi mümkün olduğunca pürüzsüz olmalıdır.
- Yük uygulaması, kademeli olarak yapılmalıdır.

Avantajları

- Hızlı ve basittir. Optik görüntülemeye gerek kalmamaktadır.
- Numune hazırlama gerektirmez ya da çok az gerektirir.
- Düşük yüklerde neredeyse tahribatsız olarak uygulanabilir.

Dezavantajları

- Kirlilik, çapak ve süreksizliklere karşı hassastır.
- Vickers kadar yüksek doğrulukta değildir. Daha kaba bir ölçümdür.
- Tekrarlanabilirlik gözle kontrol yapılamadığı için diğerleri kadar iyi değildir.

3.1.3. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi

İngiliz bilgini Vickers’in geliştirdiği bu yöntem, uygulamada Brinell sertlik ölçümüne benzemektedir. Yöntem, EN ISO 65068 standardına göre uygulanmaktadır.

Uygulanan yük ve kullanılan uç profili farklıdır. Uç, yüzeyleri arasında 136° açı bulunan bir elmas piramittir. Uygulanan ağırlık ise 1 kg ile 120 kg arasında değişmektedir. Genel olarak 30 kg ağırlık kullanılmaktadır. Malzemeye bir hidrolik sistem yardımı ile 10-30 saniye aralığında ağırlık uygulanmaktadır. Sertliği ölçülen malzemede meydana gelen iz kare şeklindedir.

Cihazın mikroskobunda ölçülen iz köşegeni 0,001mm hassasiyetle okunur. Bundan sonra sertliğin bulunması için aşağıda yer alan formülden faydalanılarak sertlik değeri hesaplanır.

$$VSD = \frac{2P * \sin(\propto/2)}{d^2} = \frac{1{,}854\ P}{d^2}$$

VSD: Vickers Sertlik Değeri

P: Uygulanan yük (kg)

α: Tepe açısı (136°)

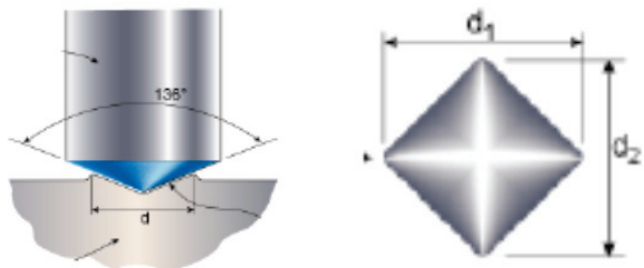
d: Taban köşegeni



Görsel 42: Vickers Sertlik Ölçüm Cihazı

Diğer yöntemlerde olduğu gibi, son yıllarda manuel cihazların yerini kullanıcıya minimum iş bırakan otomatik ölçüm sistemli cihazlar almıştır.

Yumuşak malzemelerden, çok sert malzemelere kadar geniş bir kullanım aralığı mevcuttur. Geniş malzemelerden saclara kadar her ölçüde malzemeye uygulanabilir. Uygulama süresi 10-15 saniyedir.



Görsel 43: Vickers Sertlik Ölçüm Uygulaması

Vickers sertlik ölçüm yöntemi ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken hususlar, avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Parça yüzeyi köşegenlerin uçlarının tam olarak görülebileceği şekilde parlatılmış olmalıdır.
- Vickers ölçümünde 2 izin merkezinin uzaklığı, çelik ve bakır alaşımlarında iz köşegenin en az 3 katı; bakır, kalay, çinko ve alüminyumda en az 6 katı olmadır.
- Vickers ölçümünde izin merkezinin ölçülen malzemenin kenar ya da köşe noktasına uzaklığı; çelik malzemelerde iz köşegeninin en az 2,5 katı, Pb, Sn, Zn ve Alüminyumda en az 3 katı olmalıdır.

Avantajları

- Çok geniş kullanım alanı vardır.
- Tahribatsız muayene yöntemlerine çok yakındır.
- Farklı batıcı uçlara ihtiyaç duyulmamaktadır.

Dezavantajları

- Yüksek yüzey kalitesine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle numune hazırlama aşamaları için zaman kaybı yüksektir.
- Çok iyi bir optik sistem ve hesaplama için yazılıma ihtiyaç duyulur.
- Rockwell ile karşılaştırıldığında işlem süresi daha uzundur.

3.1.4. Knoop (Mikro) Sertlik Ölçme Yöntemi

Özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliklerini ölçmede kullanılır. Karbürize, dekarbürize ve azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu yöntemle ölçülebilir. Cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılgan malzemelerin sertlikleri de bu yöntemle ölçülebilir. Deney malzemesinin sertliğine göre seçilen uygun yükler için, batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik hiçbir zaman 1 mikronu geçmez.

Mikro sertlik aleti, hassas bir alet olup kontrolü otomatiktir. Diğer sertlik ölçme aletlerinden farklı olan yanı, metal mikroskobunun cihaza entegre olmasıdır.

Sertliği ölçülecek parça mikroskobun tablasına oturtulur ve net görüntü elde edinceye kadar mikroskop tablası hareket ettirilir. Ardından, mikroskop tablası elle sertlik ölçen kısmın altına getirilir ve düğmeye basarak sertlik ölçen ucun hareketi sağlanır. Uç, otomatik olarak numuneye batar ve 20 saniye sonra yine otomatik olarak geriye döner. Böylece numunenin üzerinde bir iz elde edilir. İzin boyutlarını ölçmek için mikroskobun tablası yine elle objektifin altına getirilir ve iz gözlenir. Özel taksimat ile izin boyutları tespit edilir.

Mikro sertlik deneyi için iki standart uç kullanılır. Birincisi 136º'lik tabanı kare olan piramit uç (Vickers ucu), ikincisi ise knoop ucu diye bilinen 172º piramit uçtur. 136º'lik uç malzeme üzerine kare şeklinde iz bırakmasına rağmen, knoop ucu eşkenar dörtgen şeklinde bir iz bırakır.

Cihazın mikroskobundan ölçülen iz köşegeni okunur. Bundan sonra sertliğin bulunması için aşağıda yer alan formülden faydalanılarak sertlik değeri hesaplanır.

$$KSD = 14{,}2\ P/l^2$$

KSD: Knoop Sertlik Değeri

P: Uygulanan yük (kg)

l: Piramit izi genişliği (mm)

3.2. Dinamik Sertlik Ölçme Yöntemleri

3.2.1. Shore Scleroscope Sertlik Ölçme Yöntemi

Bu yöntemde sertlik, elmas uçlu bir çekicin cam boru içerisinden parça üzerine bırakılıp, çekicin zıplama yüksekliğine göre hesaplanır. Maliyeti az, uygulama işlemi kolay, sonuçları karşılaştırılabilen en basit sertlik ölçme yöntemidir. Bulunan değerin karşılığı, sertlik dönüşüm tablolarından diğer test metotlarının sonuçlarına dönüştürülür.

Ölçüm hassasiyetinin ve izlenebilirliğinin çok düşük olması nedeniyle, diğer tipi cihazlarla karşılaştırıldığında günümüzde tercih edilmemesine rağmen, ucuz olmasında dolayı halen üretimi ve kullanımı devam etmektedir.

Avantajları

- Geri tepme sistemine göre çalıştığı için, malzeme üzerinde gözle kolayca gözüken iz bırakmaz.
- Uygulanması çok basit ve kolaydır.
- Büyük kütleli parçalarda herhangi bir yüzey hazırlanmasına gerek olmadan test yapılabilir.

Dezavantajları

- Yumuşak parçalarda (demir dışı metaller veya sertleştirilmemiş çelikler) darbe çekici yeterli mesafeye çıkmayacağı için, bu tür malzemelerde kullanılması uygun değildir.
- Küçük parçalarda, yeterli büyüklükte kütle olmadığı için kullanımı uygun değildir.
- Düzgün bir fikstüre oturtulmadığı sürece, yeterli düzlemsel yüzeye sahip olamayan parçalarda kullanımı tavsiye edilmez.

3.2.2. LEEB Sertlik Ölçme Yöntemi

Leeb Sertlik ölçme sistemi, 1975'te İsviçre'de Leeb ve Barndestini tarafından geliştirilmiştir. Günümüzde kullanılan taşınabilir sertlik ölçme cihazlarının çoğunluğu bu sisteme göre çalışır. Malzeme seçimi, parçanın kesiti, ağırlığı, test yüzeyi düzgünlüğü ve pürüzlülüğü dikkate alınarak günümüzde en çok kullanılan portatif cihaz tipidir.

İçinde mıknatıs bulunan darbe probu, belli bir mesafeden, yay baskısı ile parça üzerine fırlatılır. Parça üzerine değen prob, parçanın sertliğine göre (sert parçalarda daha hızlı), geri döner. Geri dönüşü anında, prob bobin içinden geçerken, geçiş zaman süresine göre bobinin akımını değiş-

tirir. Bu değer elektronik sistemce algılanarak, HL (Hardness Leeb (Leeb Sertliği)) değerine çevrilir. Her malzemeye göre bulunan HL değerinden, diğer sertlik ölçüm metotlarına (HR, HB, HV gibi) çevrimi yapılır. Yapılan birim çevrimi için dikkat edilmesi gereken, cihazın menüsünde, testi yapılacak parçanın malzemesinin doğru şekilde tanımlanmasıdır. Aksi takdirde yanlış sonuç alınacaktır.



Görsel 44: LEEB Sertlik Ölçme Cihazı

3.3. Shore Ölçme Yöntemleri

1920'de Durameter adıyla, Albert F. Shore tarafından geliştirilmiştir. Lastik, polimer, elastomer malzemelerin sertliklerinin ölçümünde kullanılır. DIN 53505, ISO 7619, ISO 868, ASTM D 2240 standartlarına göre ölçüm yapılır.

En çok kullanılan metotlar Shore A ve Shore D metotlarıdır. Shore A, yumuşak lastikler ve plastikler için; Shore D, sertlik lastik ve plastikler için kullanılır. Bu metodun, A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S, ve R olarak toplam 12 tipi vardır. Her bir tipte, yumuşaktan serte doğru giden 0 ila 100 arasında değerler vardır.

Sertlik değeri, ucun dalma derinliğine bağlıdır. 15 saniye süreyle uygulanır. Ucun malzemeye 2,54mm (0,1") veya daha fazla dalma durumunda ölçek 0'dır. Hiç dalmazsa, o zaman ölçek 100'dür.

Durameter Tipi	Malzeme	Sertlik Değeri
A	Lastik Bant	25
A	Kapı Contası	55
A	Araba Lastiği Diş Yüzeyi	70
A	Hidrolik O-Ring	70-90
A	Ebonit Kauçuk	100
D	Kamyon Lastiği	50
D	Sert Plastik (HDPE)	75
OO	Bisiklet Selesi Jel Yastığı	15-30
OO	Sakız	20

Görsel 45: Bazı Malzemelerin Shore Değerleri

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Aşağıdakilerden hangisi çeliklerin tavlama işlemidir?

A) Su verme

B) Sementasyon

C) Normalleştirme

D) Menevişleme

E) Nitrasyon

2. Aşağıdaki tavlama işlemlerinden hangisi küreleştirme tavlamasıdır?

A) Yumuşatma

B) Normalleştirme

C) Gerilme Giderme

D) Yeniden Kristalleştirme

E) Menevişleme

3. Aşağıdakilerden hangisi çeliklere su verme yöntemlerinden **değildir**?

A) Tuzlu Su Çözeltisi

B) Musluk Suyu

C) Yağ

D) Hava

E) Gaz

4. Aşağıdakilerden hangisi sementasyon yöntemlerinden biri **değildir**?

A) Gaz

B) Sıvı

C) Katı

D) Tuz Banyosu

E) Hiçbiri

5. Aşağıdakilerden hangisi dinamik sertlik ölçme yöntemidir?

A) Brinell

B) Rockwell

C) Vickers

D) LEEB

E) Mohs

6. Aşağıdaki sertlik ölçme yöntemlerinden hangisi uygulama olarak diğerlerinden farklıdır?

A) Brinell

B) Rockwell

C) Vickers

D) Knoop

E) Hepsi aynıdır

7. Mikro sertlik ölçme yöntemi aşağıdakilerden hangisidir?

A) Brinell

B) Rockwell

C) Knoop

D) Vickers

E) Mohs

8. Aşağıdaki sertlik ölçme yöntemlerinden hangisi taşınabilir olarak kullanılabilir?

A) LEEB

B) Brinell

C) Rockwell

D) Vickers

E) Breithaupt

ÖĞRENME BİRİMİ 5

KOROZYON



Hayatta metallerin kullanıldığı her alanda yaşanılan en büyük problemlerden biri korozyondur. Korozyon, günlük yaşamda paslanma olarak bilinmektedir. Bu bölümde, korozyon çeşitleri, korozyona etki eden faktörler ve malzemeleri korozyondan korumak için yapılması gerekenler öğrenilecektir.

KAZANIMLAR

- Korozyonun tanımı ve çeşitleri
- Korozyona etki eden faktörler
- Korozyondan korunma yöntemleri

5. ÖĞRENME BİRİMİ

KOROZYON

HAZIRLIK ÇALIŞMASI	Sizce metal eşyaların korozyondan korunması için neler yapılabilir?

1. KOROZYON

Korozyon, metalik malzemelerin çevrenin etkili maddeleri ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla etkilenmesi ve tahribatıdır.

Tabiatta çoğu metal genelde bileşik halinde bulunur. Bileşik halleri, en kararlı yapılarıdır ve bu yapıya dönme eğilimleri yüksektir. Bunun sonucunda da metaller bulundukları ortamdaki diğer elemanlar ile reaksiyona girerek önce iyonik hale, sonrasında da başka elementlerle birleşmeleri sonucu bileşik hale dönmeye çalışır. Kimyasal değişime uğrar ve bozulur.

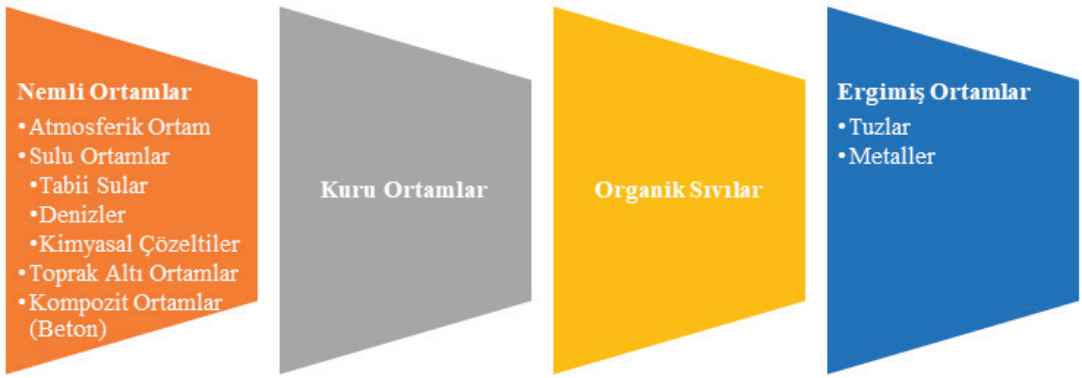
Korozyonun sebebi, metalik malzemenin yüzeyine temas eden ve korozyona sebebiyet veren maddelerdir. Örneğin, ortam havası, sanayi kirliliği ihtiva eden veya etmeyen serbest hava atmosferi, deniz atmosferi, su, toprak zemini ve kimyasal maddeler korozyona sebep olan maddeler olarak tanımlanır. Korozyon kayıpları, yalnızca metal kayıpları olarak düşünülemez. Kayıplar; malzeme, enerji, sermaye, işgücü ve bilgi kayıplarının toplamıdır.

Korozyonu tam olarak yok etmek mümkün değildir. Paslanma sorununun dünyadaki maddi boyutu oldukça büyüktür. Kar amacı gütmeyen küresel bir organizasyon olan NACE International'ın yaptığı bir araştırmaya göre, paslanmanın yıllık maliyeti 2,5 trilyon ABD dolarıdır. Bu rakam, dünyadaki insanların yıllık kazancının %3,4'üdür.

Paslanma olayı uygun koşullar olduğunda, geniş alanlara hızla yayılabilir. Bu durum; binalar, köprüler ve boru hatları gibi büyük ölçekli yapıları, günlük hayatta kullanılan araç-gereç, makine ve ulaşım için kullanılan otomobil, tren, gemi gibi araçları önemli bir riske sokmakta ve performans ve güvenlik açısından bir dizi etki yaratmaktadır. Kısacası paslanma, çabuk ilerleyen ve dikkat edilmesi gereken bir sorundur.

1.1. Korozyonun Sınıflandırılması

Korozyona sebep olan ortamlar 4 ana grupta sınıflandırılabilir.



Görsel 46: Korozyona Sebep Olan Ortamlar

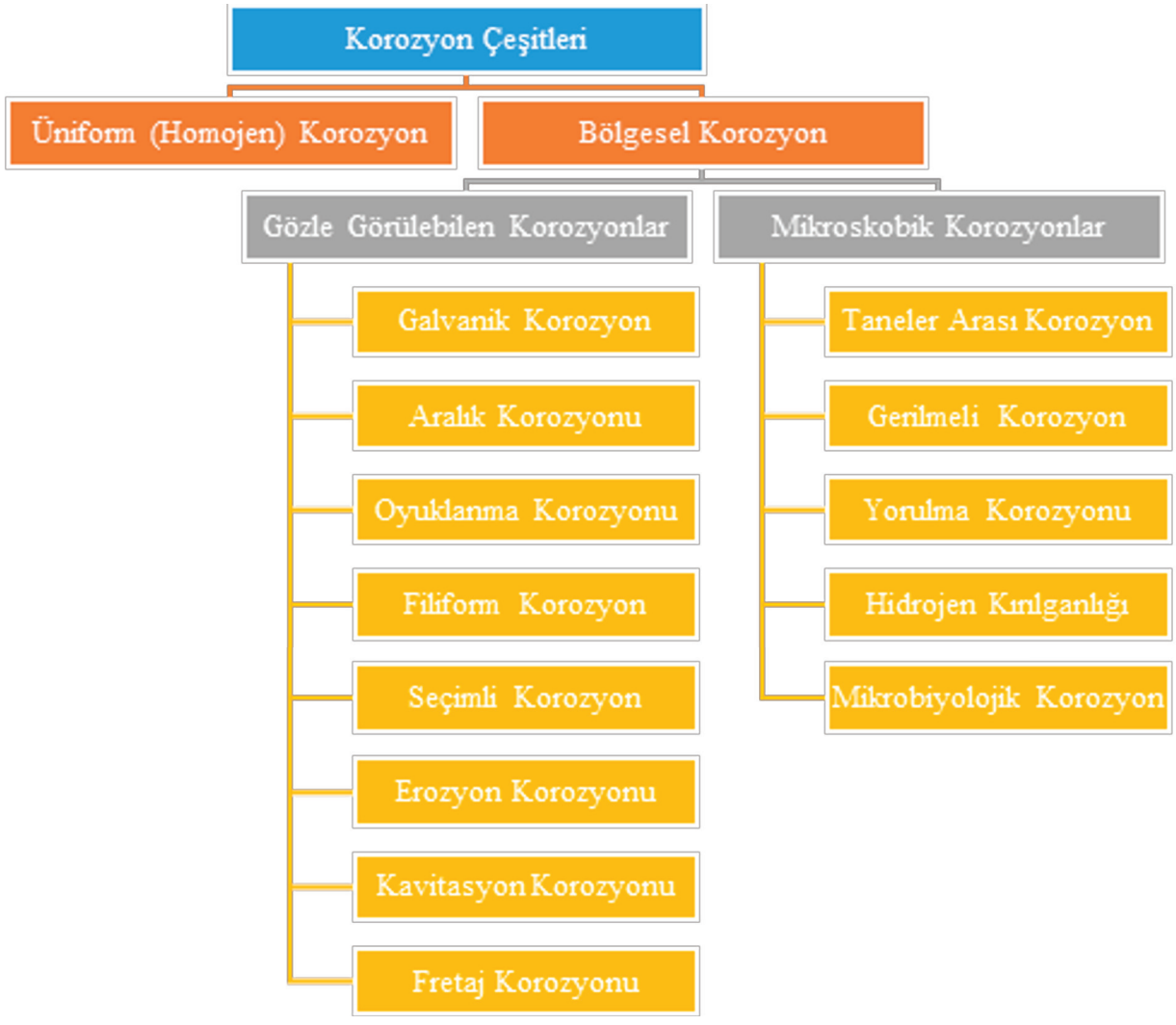
Korozyon olayının anlaşılıp koruma yöntemlerinin sistematik hale getirilebilmesi, endüstriyel gelişim için önemlidir. Korozyon sınıflandırılmasında kullanılan 6 ana grup aşağıdaki gibidir.



Görsel 47: Korozyonun Sınıflandırılması

1.2. Korozyonun Çeşitleri

Metaller, içinde bulundukları ortamın özelliklerine göre çeşitli şekillerde korozyona uğrar. Başlıca korozyon çeşitleri pratik olarak aşağıdaki görselde tanımlanmıştır.



Görsel 48: Korozyon Çeşitleri

1.2.1. Üniform (Homojen) Korozyon

Metal yüzeyinin her noktasında aynı olan paslanma olarak tanımlanır. Çeliklerin ve dökme demirlerin atmosfere açık ortamlarda havaya, suya veya toprağa temas etmesi halinde yüzeylerinde üniform korozyon oluşur ve homojen dağılımlı yüzey paslanması gözlemlenir. Alüminyum veya alaşımlarında genellikle bu tip bir korozyon görülmez.

1.2.2. Galvanik Korozyon

İki farklı metalin, aynı ortamda, ortam şartları nedeniyle birbiri ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşur. En çok görülen örnekleri,

- Eski ve yeni boru bağlantıları
- Kaynak yerlerinde (metal ile kaynak arasında)
- Metalin geçtiği zeminin niteliklerinin değiştiği bölgelerde
- Deniz suyu ile temas halinde bulunan paslanmaz çelik ve sac malzemelerin temas eden kısımlarında

1.2.3. Aralık (Çatlak) Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan ince bir çatlak, dar bir aralık, cep veya iki levha arasında kalan boşluk içine çevrede bulunan elektrolitin girmesi zordur. Bu dar alanlar durgun bir bölge oluşturur. Bu bölgelerde korozyon hızı normal yüzeylere göre daha fazladır. Bu tip korozyon olayı çatlak korozyonu olarak tanımlanır.

1.2.4. Oyuklanma (Çukur) Korozyonu

Bölgesel bir korozyon türü olan çukur korozyonu, genel olarak yüzeyinde aktif olmayan koruyucu bir tabakaya sahip malzemelerde (paslanmaz çelik, alüminyum alaşımları, vb.) rastlanır. Çukur korozyonu en tehlikeli korozyon türüdür. Çok az malzeme kaybı olmasına rağmen, ekipman kısa sürede devre dışı kalabilir. Oluşan çukurların içi genellikle korozyona sebep olan maddelerle (toz, tuz, sıvı, vb.) doludur. Bu nedenle çukur sayısını ve derinliğini belirlemek son derece güçtür.

1.2.5. Filiform (Kabuk Altı) Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan boya veya kaplama tabakası altında oluşan ve büyüyen bir korozyon olayıdır. Filiform korozyon, çatlak korozyonunun bir türü olarak kabul edilebilir. Bu korozyona **kabuk altı korozyonu** da denilmektedir. Korozyon olayı kabuk altında bir solucan hareketine benzer şekilde hareket eder. Filiform korozyonu, kaplamanın zayıf bir noktasında başlar. Bu noktada kabuk altına atmosferden oksijen ve su girişi olur ve korozyon yürüdüğü yönde gittikçe azalır. Eğer boya tabakası su geçirmez ise, korozyon olayı da başlamaz.

1.2.6. Seçimli Korozyon

Alaşım içerisinde yer alan bir elementin ya da metalin korozyona uğraması ve öncelikle alaşımdan uzaklaşmasına sebebiyet veren korozyon türüdür. En çok pirinç alaşımında rastlanır. Korozyona sebep olan element, alaşım içerisinde bulunan çinkoyu bakırdan önce korozyona uğratarak alaşımdan uzaklaştırır. Pirinçten çinkonun uzaklaşması ile alaşımda kalan bakır metali gözenekli bir yapıda kalır ve başlangıçtaki pirinç alaşımının mekanik dayanımından çok düşük bir halde olur. Genellikle musluk ve vana iç aksamında görülür.

1.2.7. Erozyon Korozyonu

İçerisinde korozif özellik gösteren akışkan madde taşıyan metal malzemelerin iç yüzeylerinde akış yönünün tersindeki metal yapısında gözlenen homojensizlikler sonucunda, metalin yüzeyinde korozyonun yanı sıra erozyon da oluşur. Hem kimyasal bir etkileşim hem de mekanik aşınmanın sebep olduğu bu korozyon türü **erozyon korozyonu** olarak isimlendirilir. Akışkan maddenin türü ve hızı da erozyonlu korozyonun hızını büyük ölçüde etkilemektedir. Boru kullanılarak yapılan taşıma sistemlerinde (su tesisatı) sıklıkla görülür.

1.2.8. Kavitasyon Korozyonu

Kavitasyon korozyonu, erozyonlu korozyon olayının özel bir şeklidir. Hızlı akış sırasında bazı noktalarda basınç düşüşü meydana gelir. Bu bölgelerde düşük basınç nedeniyle su buharlaşarak buhar kabarcıkları oluşturur. Buhar kabarcıkları yüzeyin pürüzlü bir noktasında patlayarak parçalanır ve metal yüzeyinde oyuk oluşturur. Bu olay genellikle hidrolik türbinlerde, gemi pervanelerinde ve pompa paletlerinde ortaya çıkar.

1.2.9. Fretaj (Aşınma) Korozyonu

Birbiri ile sürtünen veya yük alanda vibrasyon yapan metallerde aşınma görülür. Bu olay söz konusu bölgede yürüyen korozyon hızını artırır. Aşınma ayrı olarak veya yorulma ile birlikte gözlenebilir. Korozyon ürünlerinin aşınarak uzaklaşması olayına da sıkça rastlanır. Yağlanmamış yüzeylerin vibrasyonu veya sürtünmesi işlemlerinde aşınma meydana gelir. Birbirine değen iki yüzeyin sürtünmesi sonucu yüzeyde oyulmalar hatta kırılmalar olabilir. Bu yüzeylerde oksitlenme hızı artar. Ara yüzeyde normalden farklı korozyon ürünleri birikir. Bunu önlemek için; yüzeyler yağlanır ya da birbirine sabitlenerek sürtünme hareketi önlenir. Bu olay genellikle; gemilerde taşınan yükte, demiryolu taşımalarında, kompresörlerde, otomobillerde, görülür.

1.2.10. Taneler Arası Korozyon

Metaller katı kristal halinde bulunur. Metal atomları bu kristal yapısı içinde düzgün olarak dağılmışlardır. Demir ve çelik kübik merkezli kristal yapısındadır. Östenitik paslanmaz çelikler yüzeysel merkezli kristal yapıdadır. Kristal yapıları metallerin taneler arası korozyonunda etkili olur.

Metaller eritilerek soğumaya bırakıldığında birbirine bitişik kristaller halinde katılaşır. Çok sayıda kristalden oluşan taneler, sınır çizgileri ile birbirinden ayrılır. Taneler arasındaki dar bölgelerde kristal yapısı düzensiz durumdadır. Bu bölgeler metalin korozyona en dayanıksız olduğu yerlerdir.

Taneler arası korozyon, taneler arasında bulunan herhangi bir safsızlıktan, (örn.: bir alaşım elementinin daha fazla bulunması veya bulunmaması nedeniyle) oluşur. Alüminyum içinde demir çok az çözünür. Alüminyum içinde bulunan az miktarda demir, taneler arası korozyona neden olabilir. Paslanmaz çeliklerde de taneler arası sınır bölgelerinde krom miktarı çok azdır. Bu bölgeler krom azlığından taneler arası korozyona dayanıksızdır.

1.2.11. Gerilmeli Korozyon

Gerilme korozyonu elektrolit içinde bulunan ve bir çatlak başlangıcı taşıyan parça üzerine çekme gerilmelerinin etkimesi ile ortaya çıkar. Çatlaklar mekanik gerilme ve korozyonun ortak etkimesi sonucu da ortaya çıkabilir. Bu gibi hallerde koruyucu tabakanın yenilenmesi olaya özgü elektrolit tarafından engellenir ve korozyonun yerel olarak gelişmesiyle bir tünel oluşur. Gerilme korozyonu her türlü malzemede görülebilir. Paslanmaz çelik gibi korozyona dayanıklı malzemeler koruyucu tabakanın hasar görmesi ile özellikle duyarlı hale geçebilir.

1.2.12. Yorulma Korozyonu

Periyodik olarak yükleme-boşaltma şeklinde dinamik stres altında bulunan metal, zamanla yorulur. Yorulmuş halde bulunan metal, normalden daha küçük gerilmelerin etkisi ile çatlayabilir. Yorulma ve korozyonun birlikte etkisi metalin kısa sürede çatlamasına neden olur.

1.2.13. Hidrojen Kırılganlığı

Korozif etkilerle metal çatlaklarına sızan hidrojen atomlarının birleşerek hidrojen molekülleri oluşturmaları sonucu metalin çatlaması halidir. Hidrojen kırılganlığı daha çok yüksek mukavemetli çeliklerde ortaya çıkar. Çelik içine nikel veya molibden katılarak hidrojen kırılganlığına dayanıklılığı artırılabilir. Genel kural olarak, malzeme yüzeyi ıslakken kaynak yapılmamalıdır.

1.2.14. Mikrobiyolojik Korozyon

Mikrobiyolojik canlıların hayat faaliyetleri sonucu oluşan asit ve sülfür gibi bileşiklerin neden olduğu korozyondur. Oksijenli ve oksijensiz ortamlarda oluşabilir. Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda mikrobiyolojik korozyon olayına nadiren rastlanır. Başka sebeplerle meydana gelen korozyon olaylarına, ayrıca mikrobiyolojik korozyon olayları da eklenirse korozyon hızını artırıcı etki yapar. Özellikle enerji ve petrol sanayinde, mikrobiyolojik korozyondan kaynaklanan yangın problemleri gibi zaman zaman ciddi hasarlarla sonuçlanan sorunlar meydana gelmektedir.

2. KOROZYONDAN KORUNMA

Korozyon olayı çeşitli ortamlar içinde değişik şekilde ortaya çıkar. Esas olan çözünmüş halde iyon içeren bir çözeltinin (elektrolitin) bulunmasıdır. Bu açıdan bakıldığında, yalnız sulu çözeltiler değil, hava, zemin, beton gibi rutubet içeren ortamlar da korozyona neden olabilir. Bütün bu ortamlar içinde elektrolitik tipte korozyon olayı gerçekleşir. Atmosferde bulunan makineler, çelik yapılar, su tankları, depolar, direkler, korkuluklar, zemin içinde bulunan boru hatları , beton içinde bulunan betonarme demirleri ve deniz içindeki gemiler, iskeleler korozyon olayı ile karşı karşıyadır. Bütün bu ortamlarda meydana gelen korozyon olayı, aynı karakterde olmakla beraber, değişik ortamlarda metal yüzeyine oksijen difüzyon hızı birbirinden faklı olduğundan korozyon hızları ve etkisi de birbirinden faklıdır.

2.1. Korozyona Etki Eden Faktörler

Korozyonun oluşumuna, bulunulan ortam, malzeme seçimi, ortam şart değişiklikleri, hatta ürün tasarımları etki etmektedir.

Metallerde oluşan tüm aşınmalar korozyon değildir. Metallerin ısı etkisi ile aşınması, zımpara ve diğer araçlarla oluşturulan aşınmalar korozyon olarak sayılmaz. Bunlar üretim tekniklerdir.

2.1.1. Ortam Etkisi ve Oksijen Konsantrasyonu

Metallerin korozyona uğrama hızı büyük ölçüde bulunduğu ortamla ilgilidir. Ortamdaki nem miktarı, asit-baz durumu, kaçak akımlar ve çeşitli bakteriler korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı etken olarak karşımıza çıkabilir.

Aynı tip toprak içerisinde çözünmüş hava konsantrasyonu her yerde aynı olmayabilir. Farklı havalandırma koşullarındaki sistemlerde, yan yana duran sistem bir bölgede anot iken hemen yanındaki bölgede katot görevi görerek elektrokimyasal korozyona sebep olabilir.

2.1.2. Sıcaklık Etkisi

Ortam sıcaklığının artması, iyon hareketini artırarak korozyon hızını artırır. Sıcaklığın artmasının oksijen konsantrasyonunu düşürücü etkisi de vardır. Ancak, bu etki iyon hareketinin artmasından kaynaklanan reaksiyonların yanında oldukça zayıf kalmaktadır.

2.1.3. Malzeme Seçimi

Metallerin tane boyutları arasındaki farklar ve farklı konsantrasyonlar neticesinde tane sınırı, korozyon başlangıcı için uygun bir ortam oluşturur. Düşük elektriksel özgül dirençli bölgelerde

iletkenliğin yüksek olması iyonik ortamın daha aktif olmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı korozyon oluşumu daha hızlı gelişir.

Paslanmaz çelik malzemelerden imal edilen tanklar ve benzeri yapılardaki kaynak bölgeleri üretici tarafından hiç beklemediği halde korozyona uğratmaktır. Bu korozyonun önüne geçmenin yolu; elektrotlu kaynak kullanmak ya da önleyici olarak galvanik anotlu katodik koruma sistemi uygulamaktır.

Korozyona sebep olan etkenlerden biri de birbiriyle kimyasal farkı bulunan metallerin bir arada kullanılmasıdır. Bu durum korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı bir etkendir. Örneğin, çelik sacdan yapılan panoların üzerine konulan paslanmaz çelik cıvata ve contalar bulundukları bölgede galvanik korozyona sebep olmaktadır. Bu tip durumlarda ana yüzeye cıvatalar ya da contalar plastik ile izole edilmelidir.

2.1.4. Tasarım

Korozif malzemelerin depolandığı sistemlerde, korozif ortamın (su vb.) birikmesini önlemeye yönelik tasarımlar uygulanmalıdır. Ayrıca arasında sıvı birikintisine neden olabilecek çok ince aralıklardan kaçınılmadır.

2.2. Korozyon Önleme Yöntemleri

Çalışma koşulları ve bulunulan ortam özelliklerinin sürekli değişim göstermesi nedeniyle korozyonu tamamen önlemek mümkün değildir. Ancak, kullanılan makine ve ekipmanı korumak ve kullanım ömrünü uzatmak için uygulanabilecek bazı önlemler bulunmaktadır.

2.2.1. Malzeme Seçimi ve Tasarım

Basit bir korozyon önleme tedbiri, ilgili parçanın kullanım yeri ve şartlarına uygun olacak malzeme seçimi yapmaktır. Ayrıca, metaller birbiri ile kimyasal etkileşime geçebildiğinden, sökülebilir birleşmeli tasarımlarda metal yüzeylerinin birbiri ile temasını önleyecek conta ya da polimer malzemeden yapılmış yüzey koruyucular kullanılmalıdır.

2.2.2. Koruyucu Kaplama

Maliyet bakımından etkin bir korozyon önleme yöntemi, boya tabakası uygulamaktır. Boya, metal ile korozyona neden olan elektrokimyasal yükün akışını önleyen elemanlar arasında bir bariyer görevi görür.

Toz kaplamalar da maliyet bakımından etkin korozyon engelleme çözümleridir. Metalin yüzeyini kaplamak için kuru bir toz kullanılır. Daha sonra metal ısıtılır, bu da tozun düzgün ve tekdüze bir kaplama hâlinde metalle kaynaşması sağlanır. Kullanılan toz bileşimlerinden bazıları; polyester, naylon, üretan, epoksi ve akriliktir.

2.2.3. Ortam Koşullarını Düzenleme

Korozyon, metal ile ortamda bulunan belirli gazların arasındaki kimyasal bir reaksiyonun sonucudur. Bu gazların varlığı kontrol altına alınabilirse, reaksiyonun gerçekleşmesi de kontrol altına alınabilir. Bu konuda basit tedbirlerden biri yağmura veya atmosferik neme maruziyeti azaltmaktadır. Daha ileri seviye tedbirler ise ortamın sülfür/oksijen/klor içeriğini kontrol etmek olacaktır.

Bir karmaşık tedbir örneği, su kazanlarında bulunan suyu yumuşatıcılar kullanarak işlemektir. Yumuşatıcılar, korozyonun gerçekleşme potansiyelini artıran oldukça reaktif metaller olan sudaki kalsiyumu ve magnezyumu giderir. Bunun dışında, yumuşatıcılar oksijen içeriğini ve suyun alkali seviyesini yönetmeye de yardımcı olur.

2.2.4. Kurban Kaplamalar

Korozyon önleme, metalin yüzeyini karşılaştırmalı olarak daha yüksek veya daha düşük bir oksitlenme potansiyeli olan diğer bir metalle kaplayarak elde edilebilir. İki çeşit kurban kaplama bulunmaktadır.

Anodik Kaplama

Korunması gereken yüzey, daha az reaktif olan bir metalle (örn.: kalay) kaplanır. Kalay, korozyona çok daha az duyarlıdır. Böylece uygulandığı yüzey kaplama orada olduğu müddetçe güvende olacaktır. Buna anodik koruma denmesinin nedeni, bu işlemde korunacak metal yüzeyinin anot haline gelmesidir.

Katodik Kaplama

Demir alaşımlı yüzeye, çinko tabakası uygulanması katodik korumanın yaygın bir örneğidir. Bu işleme **galvanizleme** adı da verilir. Çinko çelikten daha reaktif olduğu için korozyona uğrayacaktır. Kendisi oksitlenecek ve bunun sonucunda çeliğin korozyonu önlenecektir. Buna katodik koruma denmesinin nedeni, bu işlemde korunacak metal yüzeyinin katot haline gelmesidir. Katodik kaplama, çoğunlukla yakıt veya su taşıyan çelik boru hatlarını, gemi teknelerini, su ısıtıcısı tanklarını ve açık deniz petrol platformlarını korumak için kullanılır.

2.2.5. Korozyon İnhibitörleri

Bunlar, korozyona yol açan kimyasal reaksiyonu “inhibe etmek” için metal yüzeyiyle veya çevredeki gazlarla reaksiyona giren kimyasallardır. İnhibitörler metal yüzeyini koruyucu bir film hâlinde kaplamak için kullanılır. İnhibitör kimyasallar iki biçimde uygulanabilir.

- Uygun bir çözücüyle karıştırılır ve meydana gelen çözelti metale uygulanır.
- Koruyucu bir kaplama olarak uygulanır.

Korozyon inhibitörlerinin uygulandığı sürece **pasifleştirme** adı verilir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Aşağıdakilerden hangisi korozyona sebep olan ortamlardan biri **değildir**?

A) Tuzlu ve ıslak

B) Nemli

C) Organik sıvılı

D) Kuru

E) Gazlı

2. Aşağıdakilerden hangisi korozyon çeşididir?

A) Eğeleme

B) Elektronik aşındırma

C) Hidrojen kırılganlığı

D) Tavlama

E) Menevişleme

3. Aşağıdakilerden hangisi mikroskobik korozyondur?

A) Galvanik

B) Mikrobiyolojik

C) Filiform

D) Kavitasyon

E) Fretaj

4. Aşağıdakilerden hangisi gözle görülebilen korozyondur?

A) Gerilmeli

B) Yorulmalı

C) Taneler arası

D) Aralık

E) Yorulma

5. Aşağıdakilerden hangisi korozyon sebebidir?

A) Ortamdaki oksijen yoğunluğu

B) Çalışma hızı

C) Ağırlık

D) Yüzeydeki boya

E) Anodik kaplama

ÖĞRENME BİRİMİ 6

DEMİR DIŞI MALZEMELER

Endüstride, kullanım yeri ve özellikleri bakımından demir ve çelikler haricinde birçok malzeme türü kullanılmaktadır. Bu bölümde, demir olmayan metaller, polimerler (plastikler) ve kompozit malzemelerin çeşitleri ve özellikleri öğrenilecektir.

KAZANIMLAR

- Demir olmayan metallerin çeşitleri ve özellikleri
- Polimer (plastik) malzemelerin çeşitleri ve özellikleri
- Kompozit malzemelerin çeşitleri ve özellikleri

6. ÖĞRENME BİRİMİ

DEMİR DIŞI MALZEMELER

HAZIRLIK ÇALIŞMASI	Sizce, kullanılan makine ve el aletlerinden bazıları neden demir olmayan metallerden yapılır?

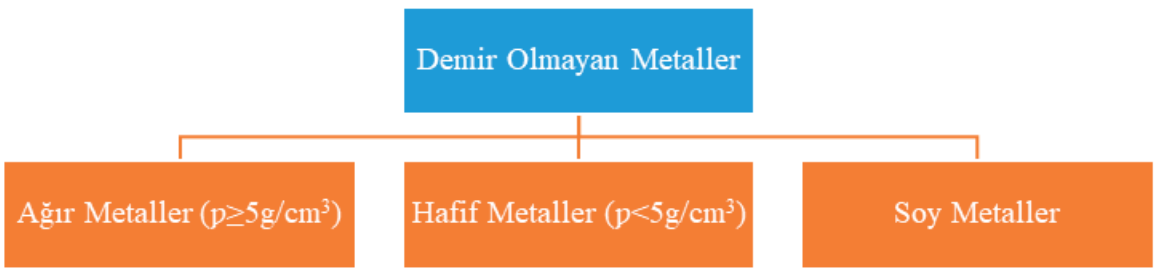
1. DEMİR OLMAYAN METALLER

Metalürjide **demir olmayan metal**, alaşımlar da dahil olmak üzere, önemli miktarda demir içermeyen metallere verilen genel addır. Genellikle demir içeren metallerden daha pahalıdır. Hafiflik, iletkenlik, manyetik olmayan özellik veya korozyon direnci gereken yerlerde demir dışı metaller kullanılır.

Demir olmayan metaller, özel kullanım alanlarına sahiptir. Örneğin; iletkenlik özelliği nedeniyle bakır elektroteknikte, hafif yapısı nedeniyle alüminyum havacılık ve uzay endüstrisinde, korozyon ve ısı dayanımı gereken yerlerde nikel, akü üretiminde kurşun, demir esaslı metalleri korozyona karşı korumak için kaplama malzemesi olarak çinko, konserve kutuları için teneke üretiminde kalay kullanılmaktadır ve bunların alternatifleri çok zor bulunur.

Alternatif malzeme araştırmaları günümüzde yoğun şekilde devam etmektedir.

Demir olmayan metaller genel olarak; ağır metaller, hafif metaller ve soy metaller olarak 3 ana grupta sınıflandırılır. Ağır ve hafif metaller endüstride kullanılırken, soy metaller ise değerli eşya olarak kuyum ürünleri ve nükleer enerji alanında kullanılmaktadır.



Görsel 49: Demir Olmayan Metallerin Sınıflandırması

Bir metalin malzeme olarak kullanılabilmesi için, gerekli teknolojik özelliklere sahip olması tek başına yeterli bir kriter değildir. O metale piyasada ulaşılabilme oranı ve fiyatı da önemli kriterlerdir. Bu sebeple demir dışı metal olarak çoğunlukla alüminyum, kurşun, bakır, magnezyum, nikel, titanyum ve çinko direkt olarak ya da kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Diğer metaller çok az bulunduğu ya da çok pahalı olması nedeniyle alaşım elementi olarak kullanılır. Bunların başlıcaları krom, kobalt, mangan, molibden, vanadyum ve kalay elementleridir. Bunları, 3'üncü bölümde "Çelik Katkı Elemanları" olarak öğrenmiştik.

Demir olmayan metaller endüstride çoğunlukla alaşım halinde kullanılmaktadır. Alaşımlamada 2 yöntem kullanılır. Bu alaşımlar, çeliklerde olduğu gibi imalat yöntemi ve içerdiği elementlerin kimyasal gösterimleri ile ifade edilir.

- Döküm alaşımları (döküm yöntemiyle parça üretimi için)
- Yoğurma alaşımları (çubuk, sac, profil, tel şeklinde üretim için)

Döküm Alaşımı Gösterimi	Yoğurma Alaşımı Gösterimi
GD – CuZn 15 Si 4	CuAl 8 FeF 45
GD: Döküm tipi (Basınçlı Döküm)	Cu: Ana element (% oranı yazılmaz)
Cu: Ana element (% oranı yazılmaz)	Al 8: 1. Yardımcı element (%8)
Zn 15: 1. Yardımcı element (%15)	Fe: 2. Yardımcı element (% oranı yazılmaz)
Si 4: 2. Yardımcı element (%4)	F 45: Çekme Mukavemeti 450N/mm^2

Görsel 50: Alaşımların Gösterimi

İmalat Yöntemi	**Sık Kullanılan Kimyasal İçerik Gösterimleri**	Özel İşaretler ve İşlem Durumları
G: Döküm (Genel)	**Al:** Alüminyum	**F 42:** Çekme mukavemeti 420N/mm^2
GD: Basınçlı Döküm	**Cu:** Bakır	**a:** Sertleştirilmiş
GK: Kokil Döküm	**Ni:** Nikel	**Ka:** Soğuk Sertleştirilmiş
GZ: Santrifüj Döküm	**Pb:** Kurşun	**wa:** Sıcak Sertleştirilmiş
GC: Devamlı Döküm	**Zn:** Çinko	**g:** Tavlanmış
V: Ön Alaşımlama		**zh:** Çekilmiş (çekme serliği)
GL: Kayar Metal		**Wh:** Haddeden Geçirilmiş
L: Lehim		
Lg: Yatak Metali		

Görsel 51: Alaşımların Gösteriminde Kullanılan Tanımlamalar

1.1. Ağır Metaller

Endüstride en sık kullanılan ağır metaller; bakır, nikel, çinko, kurşun, kalay ve bu metallerin alaşımlarıdır. Bunlar haricinde; wolfram, krom, kadmiyum, vanadyum gibi alaşımlama metalleri de ağır metal olarak sınıflandırılmaktadır.

Kadmiyum, kurşun ve civa gibi ağır metaller son yıllarda iyonlarına ayrılmış şekilde sık olarak işlenmiş ve kullanılmış olduğundan insanların sağlığını tehlikeye sokacak boyutta hava, toprak ve suya karışmıştır.

1.1.1. Bakır ve Alaşımları

Saf bakır yumuşaktır ve iyi genleşebilir. Yüksek ısı ve elektrik iletim kabiliyeti gümüş ve altından sonra en yüksek olan elementtir. Bakır, atmosferik etkilere karşı korozyon bakımından dayanık-

lıdır. Açık havada yüzeylerde bakır karbonattan meydana gelen ince kahverengi ve yeşil bir koruyucu pas tabakası oluşur.

Bakır çoğunlukla döküm metotlarıyla yarı mamul olarak üretilir. Sac plaka, çubuk profil, dikişsiz boru, haddelenmiş dolu malzeme şeklinde biçimlendirilir. Talaş kaldırma yöntemi ile işlenmesinde, bakır yığılmış talaş oluşumuna eğilim gösterir. Tellür, kükürt ve kurşunun az miktarda alaşım elementi olarak kullanılması talaşın işlenebilirliğini iyileştirir. Soğutucu sıvı maddesi olarak kesme yağları ve emisyonlar kullanılır. Kaynaklanacak veya lehimlenecek parçalar için özellikle oksijensiz bakır cinsleri uygundur.

Bakır elektrik, elektronik ve elektroteknikte en önemli malzemelerden biridir. Bunlar haricinde bakır, lehim havyasında, ısı eşanjörlerinde, ısıtıcı ve soğutucu boru demetlerinde, çatı örtülerinde, sanatsal eşyalarda ana veya alaşımlama metali olarak kullanılır.

Bakır-Çinko Alaşımları (Pirinç)

Bakır-çinko alaşımları çok sık kullanılan ağır metal alaşımlarıdır. Alaşımdaki bakır oranı en az %50 olmalıdır. Bakır oranının daha az olması halinde, alaşım teknik açıdan kullanılamayacak kadar gevrek olur. İşlenebilme ve kullanılma durumu alışımda mevcut bulunan alaşım miktarlarına bağlıdır. İyi polisaj (parlatma) yapılabilir olması ve korozyona karşı dayanıklılık sağlayan sarı metal renk, bakır-çinko alaşımlarının dekoratif maksatlar ile kullanılabilmesini de mümkün kılar. Bu alaşım türü tüm döküm yöntemleri ile üretilebilmektedir. Talaş kaldırılarak işlenme özellikleri iyidir.

Alüminyum, demir, nikel, mangan, kalay ve silisyum katkılı bakır çinko alaşımlarının mukavemeti yüksek ve korozyona karşı dayanıklıdır. Bakırın bu alaşım türü, mikro teknik, tesisat ve elektrik sanayinde kullanılır. Alüminyum ve silisyum içeren alaşımlar yataklama malzemesi olarak kullanılmaya uygundur. Deniz suyuna karşı korozyon bakımından dayanıklı olması sayesinde gemi sanayinde de kullanılır.

Bakır-Kalay Alaşımları (Kalay Bronzu)

Bakır kalay alaşımları %83-98 arası bakır ve %2-15 arası kalay içerir. Bunlar haricinde çinko, kurşun, nikel alaşım elementi olarak bulunabilir. Çekme dayanımları ve aşınma mukavemetleri yüksektir. Korozyona karşı bakır-çinko alaşımlarından daha fazla dayanıklıdır. Bu alaşımın kendine has iyi kayma özelliğinden dolayı yatak zarfları, mil somunları, sonsuz vida ve karşılık dişlisi, helisel dişli çark üretimi için uygundur. Büyük yüzey basınçlarını karşılayabilir.

Bakır-Kurşun Alaşımları

Çok iyi kaydırma özelliğine sahiptir. Bu yüzden kaymalı yatak malzemesi olarak tercih edilir. Makine ve taşıt imalatında kaymalı yataklarda kullanılır.

Bakır-Alüminyum Alaşımları

Çekme mukavemeti ve korozyon direnci yüksektir. Örneğin; CuAl 18 alaşımı kimya sanayinde ve maden ocaklarındaki armatürlerde kullanılır. Az miktarda Fe, Ni ve Mn alaşım elementi eklenmesi, çekme mukavemetini yükseltir. Helisel dişliler, sonsuz vida dişlileri ve kaymalı yataklar bu alaşımdan yapılır. Deniz suyuna karşı yüksek korozyon direnci olması nedeniyle, gemi pervaneleri türbin kanatları ve yağ endüstrisindeki armatürler için kullanılır.

Bakır-Nikel Alaşımları

%40-45 oranında nikel içerir. Korozyon bakımından en dayanıklı bakır alaşımıdır. Gümüş içeren yüzeyleri nedeniyle, metal vazo ve sofra takımı gibi dekoratif eşya üretiminde kullanılır. CuNi25 alaşımı, uzun süre kullanıldığı halde gümüş rengini koruyan malzemelerdir. Madeni para üretiminde, bina ve gemi yapımında kaplama ve giydirme elemanı, elektronikte direnç telleri, kimyasal tesis yapımında is kaplama malzemesi olarak kullanılır.

1.1.2. Nikel ve Alaşımları

Nikel iyi parlatılabilen gümüş renginde bir metaldir. Yüksek mukavemet ve genleşme kabiliyetine sahiptir. 365°C kadar manyetik özellik göstermektedir. Birçok kimyasal maddeye karşı yüksek korozyon direncine sahiptir. Soğuk olarak (derin çekme) çok iyi şekillendirilebilir. Kaynaklanabilir, yumuşak ve sert olarak lehim yapılabilir. Talaş kaldırılarak işlenmesi mümkün değildir.

Galvaniz yöntemi ile kaplamalar için ve kimya endüstrisinde kullanılan aparatlarda saf veya alaşım katkı metali olarak kullanılır. Yüksek mukavemet ve elastikiyet özellikleri nedeni ile yayların ve diyaframların üretiminde kullanılır. Havacılık endüstrisinde perçin malzemesi olarak kullanılır.

1.1.3. Çinko ve Alaşımları

Saf çinko mavi-gümüş renginde parlayan bir metaldir. Dayanıklı metaller arasında en fazla ısıl genleşme katsayısına sahip olandır. Açık hava etkilerinden ve korozyona karşı korunmak amacıyla çinko karbonattan meydana gelen dayanıklı bir tabaka ile kaplanır. Kuvvetli asitlere ve tuz eriyiklerine karşı korozyon mukavemeti düşüktür. 100-150°C arasında iyi şekil verilebilir. Dövülerek, haddeden geçirilerek işlenebilir. Basınçlı döküm yöntemi ile üretim için elverişlidir. Yüksek hassasiyette ve yüzey kalitesinde üretilebilir. Demir esaslı malzemelerin korozyona karşı korunması için kaplama malzemesi olarak da kullanılır.

1.1.4. Kurşun ve Alaşımları

Yoğunluğu yüksek olan mat gri renkte bir metaldir. Birçok kimyasal maddeye karşı, özellikle de sülfürik asite karşı korozyon direnci yüksektir. Röntgen ışınlarını ve radyoaktif ışımayı absorbe eder. Isı ve elektrik akımını iyi iletir. Birçok kurşun bileşiği çok zehirlidir. Döküm yöntemi ile kolayca dökülebilir ve soğuk olarak iyi şekil verilebilir. Talaş kaldırma işlemleri için çok yumuşaktır. Kurşun elementinin yaklaşık %50'si akümülatör plakaları için kullanılmaktadır. Kurşun bileşikleri korozyondan koruyucu madde olarak ve cam eşyaların imalatında (kurşun kristali) kullanılır.

1.1.5. Kalay ve Alaşımları

Çevresel etkilere karşı korozyon bakımından dayanıklı olan gri-gümüş rengi bir metaldir. Düşük sıcaklıklarda (13°C'nin altında) gri toz halinde parçalanabilir. Ergime noktası düşüktür (232°C). Döküm yöntemi ile kolayca üretilebilir. İnce folyolar halinde haddeden geçirilebilir. Neredeyse tamamen el sanatları işlerinde kullanılır. Endüstride, konserve kutuları için ince çelik sacların yüzey kaplama elementi olarak kullanılır. En önemli alaşımı kalay-kurşun alaşımıdır ve yumuşak lehim için kullanılır.

1.2. Hafif Metaller

1.2.1. Alüminyum ve Alaşımları

Özgül ağırlığı çeliğin üçte biri kadar olan, gümüş-beyaz renginde bir metaldir. 80 N/mm^2 mukavemeti olan saf alüminyumun, soğuk halde işlemden geçirilerek sertleştirilmesi halinde (haddeleme, çekme, basma, çekiçleme) mukavemeti 200 N/mm^2'nin üzerine çıkartılabilir. Isıyı ve elektrik akımını çok iyi iletir. Polisaj işlemine tabi tutulmuş olan alüminyum parlaktır. Işığı ve elektromanyetik dalgaları yansıtır. Alüminyum %33 oranında geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilir.

Alüminyuma alaşım elemanı olarak; magnezyum, bakır, silisyum, çinko, mangan ve kurşunun az miktarda katılması ile; mukavemet, korozyona karşı dayanıklılık, dökülebilirlik ve işlenebilirlik özellikleri iyileştirilir.

	Mg	**Cu**	**Si**	**Zn**	**Mn**	**Pb**
Mukavemet	++	++	+	++	+	Θ
Korozyon Direnci	++	–	++	–	++	Θ
Dökümle Üretilebilirlik	+	Θ	++	++	Θ	Θ
Talaşlı İşleme Kabiliyeti	+	Θ	–	+	–	++
Etki Durumu	Θ	Etkisi yok		+	Pozitif etki	
	–	Negatif etki		++	Yüksek pozitif etki	

Görsel 52: Alüminyuma Alaşım Elementlerinin Etkileri

Yoğurma alaşımları, ısıl işlem sayesinde 600 N/mm^2'ye kadar mukavemete sahip olabilir. Kısmen iyi polisaj yapılabilir. En fazla %3 oranına kadar kurşun, kalay, kadmiyum, bizmut katılmasıyla işlenebilirlik iyileştirilir.

Alüminyum alaşımlarına çoğunlukla soğuk olarak şekil verilir. Bükme esnasında, geriye yaylanma çeliğe göre yaklaşık olarak 3 kat daha fazladır. Talaş kaldırma işlemi sırasında, kesici uçta yığılma olayının meydana gelmesinden kaçınmak için, yüksek kesme hızları ile çalışılır. Hemen hemen bütün birleştirme metotları uygulanabilir. Koruyucu gazaltı kaynağı ile (MIG ve WIG) kaynak işlemi uygulanabilir. İş parçalarının yüzeyleri taşlanabilir, polisaj işlemi uygulanabilir, matlaştırma/ağartma uygulanabilir, krom kaplanabilir, fosfat kaplama yapılabilir, korozyona karşı korumak için eloksal kaplama uygulanabilir.

Alüminyum alaşımları birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır.

Ulaşımda; demiryolu vagonları, taşıtlar, uçaklar, gemiler, teleferik ve telesiyejler

Yapılarda; çatılar, cephe kaplamaları, kapılar, pencereler

Ambalaj endüstrisinde; folyolar, tüpler, kutular, kovalar, sandıklar

Elektroteknikte; kablolar, kondansatörler, pano elemanları, aydınlatma armatürleri

Ev eşyalarında; mutfak araç gereçleri, sofra takımları, el sanatı ürünleri

Hassas mekanik ve optik endüstrisinde; fotoğraf ve ölçme cihazları, büro makinaları

Metal yapılarda; hangar konstrüksiyonları, direkler, köprüler, vinçler ve silolar

Kimya sanayinde; kaplar, eşanjörler, kurutucular, boru tesisat hatları, boya maddeleri

1.2.2. Magnezyum ve Alaşımları

Tabiatta sadece kimyasal bileşik halinde bulunan gümüş gri renginde bir metaldir. Talaş ve toz halinde iken beyazdır. Endüstride kullanılan en hafif metaldir. Saf magnezyum, çok düşük olan mukavemetinden ve kendine has tutuşabilirlik özelliğinden dolayı konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılmaz. Mukavemetin sertliğin ve korozyona karşı dayanıklılığının artırılması için; alüminyum, çinko ve silisyum alaşım elementi olarak eklenir.

Magnezyum Yoğurma Alaşımları

Ortalama bir mukavemet ve genleşme değerine sahiptir. Makine yapımında; profilli saclar, kaplamalar ve hafif yapı parçaları olarak kullanılır. Talaş kaldırılarak işlenmesi sırasında yüksek kesme hızı ile işlenmesi gerekir. Kesici takımların soğutulması için içerisinde su bulunmayan soğutucu maddeler kullanılması gerekir.

Magnezyumun işleme sırasında alev alması durumunda, sadece kuru gri döküm talaşları, kuru kum ya da D sınıfı yangın söndürücüler kullanılmalıdır. Söndürmek için kesinlikle su kullanılmamalıdır.

Magnezyum Döküm Alaşımları

Ortalama bir mukavemet ve genleşmeye sahiptir. Darbeye ve ısıya dayanıklıdır. Ancak boşluk meydana getirme eğiliminden dolayı dökülerek üretilmesi zordur. Magnezyum alaşımları, kum kokil ve basınçlı döküm yapılarak; otomotiv endüstrisinde, şanzıman gövdesi, motor silindir kapağı ve jantların imal edilmesinde kullanılır. Büro makinalarında, bilgisayar ve hoparlörlerde, zincirli testerelerde ve ev aletlerinin ince cidarlı gövdelerinin yapımında kullanılır.

1.2.3. Titanyum ve Alaşımları

Yüksek mukavemeti, yüksek sertlik değeri olan gümüş beyaz renginde hafif bir metaldir. Korozyon direnci yüksek, 500°C kadar ısıya karşı iyi derecede mukavemete sahiptir. Biyomedikal, savunma ve havacılık endüstrisinde sıklıkla kullanılır.

Toplam oranı %20'yi geçmeyecek şekilde alüminyum, vanadyum, molibden, kalay, zirkonyum, bakır ve demir ile alaşımlanarak mekanik özellikleri yükseltilir. Alaşım yapıldığı takdirde, çekme mukavemeti 540-1320 N/mm^2 arasına yükselir.

Yüksek talaş derinliklerinde, orta ilerleme hızları ve düşük kesme hızları ile talaş kaldırılarak işlenir. Titanyum tozu ve talaşları kolaylıkla tutuşabilir. Magnezyumda olduğu gibi emniyet tedbirleri alınması gerekir. Soğuk şekil verme sadece ergitme tavı durumunda yapılabilir. Titanyum alaşımları sertleştirilebilir ve özel metotlarla kaynaklı birleştirilebilir.

Düşük ağırlık, yüksek mukavemet, yüksek termik ve kimyasal dayanıklılık getiren yapı elemanları için kullanılır. Rotorlar, lazer ünite parçaları, iç yapı parçaları, korozyona ve ısıya dayanıklı kaplamalar, taşıt şaseleri, antenler, havacılık ve uzay teknolojisi, biyomedikal ürünleri üretiminde sıklıkla kullanılır. Kimyasal tesislerde ise basınç ve reaksiyon tanklarında, soğutucu boru demetlerinde ve pompalarda kullanılır.

1.3. Soy (Asal) Metaller

En önemli soy metaller; gümüş, altın ve platindir. Soy metaller havadan ve birçok kimyasal maddeden, özellikle de birçok asit türünden etkilenmez. Süs eşyası ve madeni para yapımında kullanılır. Endüstride; gümüş ve altın, elektrikli kontak malzemesi olarak; platin, termo elemanları koruyan boruların ve en fazla korozif etkiye maruz kalan kimyasal kapların üretilmesinde kullanılır. Bunun yanı sıra biyomedikal endüstrisinde de sıklıkla kullanılmaktadır.

2. POLİMERLER (PLASTİKLER)

Plastik, petrolden elde edilir ve polimer şeklinde tanımlanan bileşik sınıfına girer. **Polimer,** monomer adı verilen küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirine bağlanmasıyla oluşturduğu iri moleküller olarak tanımlanır.

Plastikler, endüstride ve günlük hayatta çok fazla miktarda kullanılan, maliyeti düşük, hafif ve kolayca temin edilebilen malzemelerdir. Plastikler günlük hayat ve endüstrinin neredeyse her alanında çok geniş bir kullanıma sahiptir. Bunun nedeni ise birçok ihtiyacı karşılayabilecek şekilde çok sayıda farklı türe sahip olmasıdır. Plastik malzemelerin yapısı polimer olarak adlandırılan düşük molekül ağırlığına sahip bileşiklerden oluşmaktadır.

Plastikler; oda sıcaklığında katı halde bulunan, basınçla, sıcaklıkla, mekanik ve kimyasal yolla şekillendirilebilen, kalıplanabilen organik polimerik maddelerdir. Plastik tanımına giren tüm maddeler karbon esaslı organik maddelerdir. Karbon elementinin yanı sıra oksijen, hidrojen, azot, klor ve florür gibi elementlerde içerir.

2.1. Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastikler en son ortaya çıkan malzeme gruplarından olmasına rağmen, günlük hayatımıza ve endüstride en fazla kullanılan malzemelerden birisidir.

Doğal Plastikler

Plastiklerin ilk kullanımı, doğal polimer olarak selüloz, nişasta, doğal kauçuk vb. olarak gerçekleşmiştir. Selüloz nitrattan yapılan saf plastiklerdir. Bunlar bitkilerdeki selülozdan yararlanılarak yapılmıştır. Selüloz; nitrat, kafur ve kunduz yağı gibi iki bitkisel maddeler ile birleştiğinde bir doğal plastik elde edilir.

Yapay Plastikler

Doğal polimerlerin, işlenme zorluğu, kimyasal ve mekanik özelliklerinin yetersizliği nedeniyle yerlerine yapay plastikler (yarı sentetik ve sentetik polimerler) kullanılmaya başlanmıştır. İlk polimer malzemesi 1863'de S. Hyatt tarafından keşfedilen selüloiddir. Yarı sentetik bir polimer olan **selüloid,** pamuk selülozundan elde edilmiştir. Modern plastik endüstrisi, 1989'da L. Baekeland tarafından endüstriyel kullanım için bakalit üretilmesiyle başlamıştır.

Kısa sürede yaygınlaşmalarının ve ekonomik önem kazanmalarının nedeni olarak plastiklerin özelliklerinin ve çeşitliliklerin çok geniş bir aralıkta değişmesi gösterilebilir. Metaller ve seramiklerden daha hafif olan plastiklerin özgül ağırlıkları 0,8 g/cm3 ile 2,2 g/cm3 arasında değişir. Metallerle kıyaslandığında daha düşük kuvvetlerle şekil değiştirilebilir. 120°C ile 320°C işlem sıcaklıkları arasında rahatlıkla işlenebilmektedir. Plastiklerin en önemli özelliklerinden biri, ek yüzey işlemlerine gerek duymadan (enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile) üretilebilir olmalarıyla seri üretime ve otomasyon sistemine uygun olmalarıdır.

Hafifliklerine karşın yüksek mekanik mukavemete sahip plastikler, en çok tercih edilen hafif malzemeler haline gelmiştir. Günümüzdeki teknolojik gelişimler sonucunda plastikler katkı maddeleri ve üretim yöntemlerinin değiştirilmesi sonucunda, çeliklerden daha yüksek mukavemete sahip halde de üretilebilmektedir.

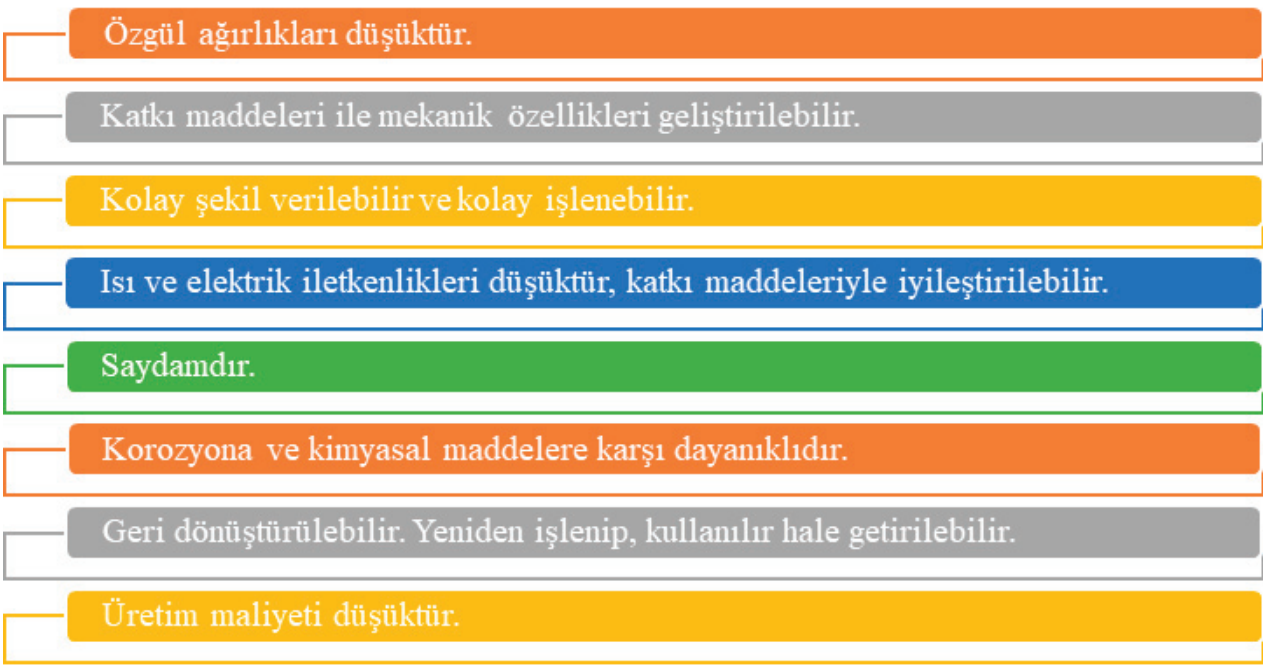
Plastiklerin ısı ve elektrik iletkenlik değerleri oldukça düşüktür, bu sebeple ısı ve elektriği ya çok az iletirler ya da hiç iletmez. Bu özelliklerinden dolayı yaygın olarak yalıtım malzemesi olarak kullanılır. İstenildiği durumlarda, plastiklere katkı elemanı olarak karbon ilave edilir ve elektrik

iletkenliği özelliği kazandırılır.

Plastiklerden bazıları saydam bir görünüme sahip olabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı gözlük camı gibi saydam malzemeler olarak kullanılır. Bu malzemeler cama göre daha kolay işlenebilmeleri, optik ve mekanik yapılarının iyi olması sayesinde tercih edilir.

Kimyasallara karşı yüksek direnç gösterir. Metallere göre farklı olan bağ yapıları sayesinde, korozyon dirençleri metallerden daha yüksektir. Plastiklerin kimyasal dirençlerinin yüksek olması sebebiyle ev aletlerinden otomobil parçalarına, gıda sektöründen ambalaj sektörüne kadar birçok alanda kullanılır.

Plastiklerin en önemli özelliklerinden biri de geri dönüşüme uygun olmasıdır. Geri dönüşüm uygulamalarıyla defalarca tekrar kullanılabilir.



Görsel 53: Plastiklerin Genel Özellikleri

2.2. Plastiklerin Çeşitleri

Plastikler çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Endüstriyel kullanımda bu alanlardan en fazla işleme esası ve kullanma alanına göre sınıflamalar göz önüne alınmaktadır.

Termoplastikler

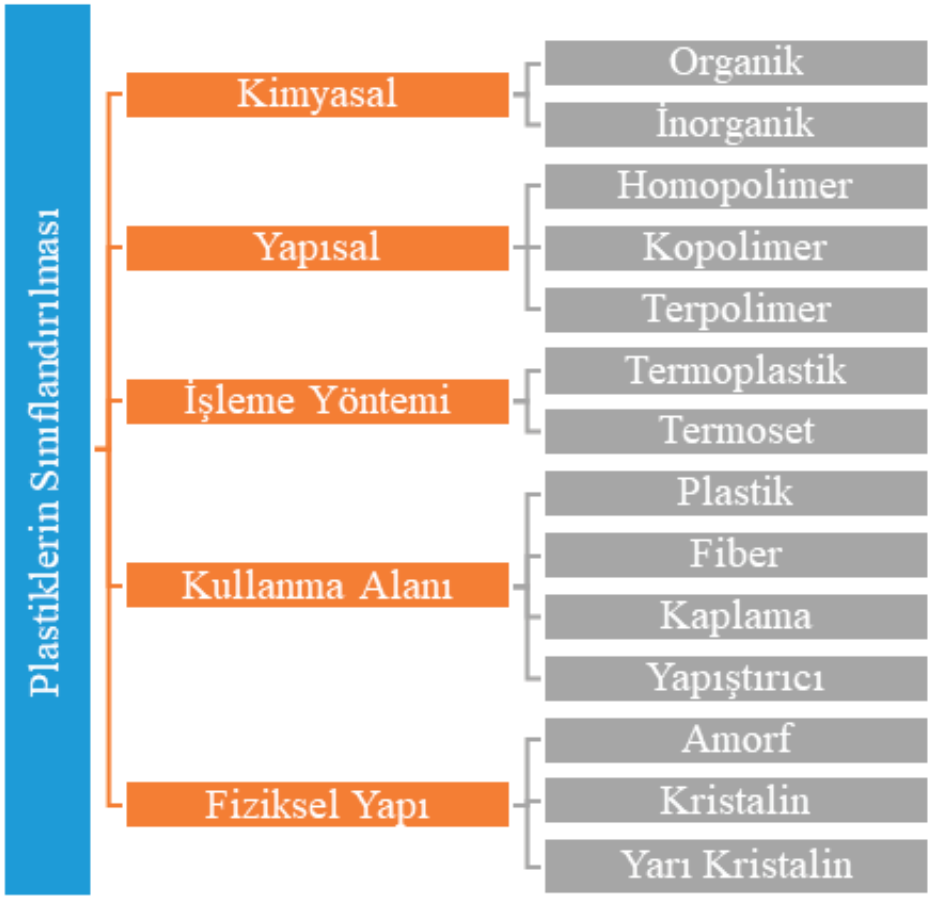
Oda sıcaklığında katı halde bulunan plastik malzemeler termoplastik malzemelerdir. Yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya başlarlar ve eriyik haline gelir. Eriyen termoplastiklerin şekillendirilmesi çok kolaydır. Isıtıldığında yumuşayarak eriyik hale gelir ve şekil verilebilir bir biçime dönüşür. Kimyasal bağ yapıları incelendiğinde, çok kuvvetli olmayan Van der Waals bağları ile birbirine bağlı olan zincirlerden oluştukları görülmektedir. Termoplastiklerin çok rijit bir yapısı yoktur. Bu yüzden ısıtılınca viskoziteleri düşerek, atom zincirleri birbirinden kopar ve akıcılığa neden olur ve soğutulduğunda ise kopan zincirler tekrar katılaşarak malzemenin katı bir hal almasını sağlar. Bu özelliklerinden dolayı termoplastikler defalarca ısıtılıp soğutularak yeniden şekil verilebilir.

Ancak, ısıtma ve soğutma işlemi (geri dönüşüm) çok fazla tekrar edilirse malzemede renk değişimi olur. Termoplastikler, yapay polimerlerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Endüstride en çok kullanılan termoplastikler; polietilen (PE), polyamid (PA), polipropilen (PP), delrin (POM), polikarbonat (PC), polistren (PS), polivinilklorür (PVC).

Termosetler

Termosetler, termoplastikler gibi ısı verilip bir defa şekil verildikten sonra tekrar ısıtılıp başlangıçtaki hallerine döndürülemez. Geri dönüştürülerek kullanılamaz. Termosetler, tekrar ısı verilerek şekil değiştirirse yapıları bozulur. Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan termosetlerin içyapıları incelendiğinde, atom zincirlerinin güçlü olan kovalent bağların oluşturduğu görülür.



Görsel 54: Plastiklerin Sınıflandırılması



Görsel 55: Plastiklerin Endüstride Kullanımı

3. KOMPOZİT MALZEMELER

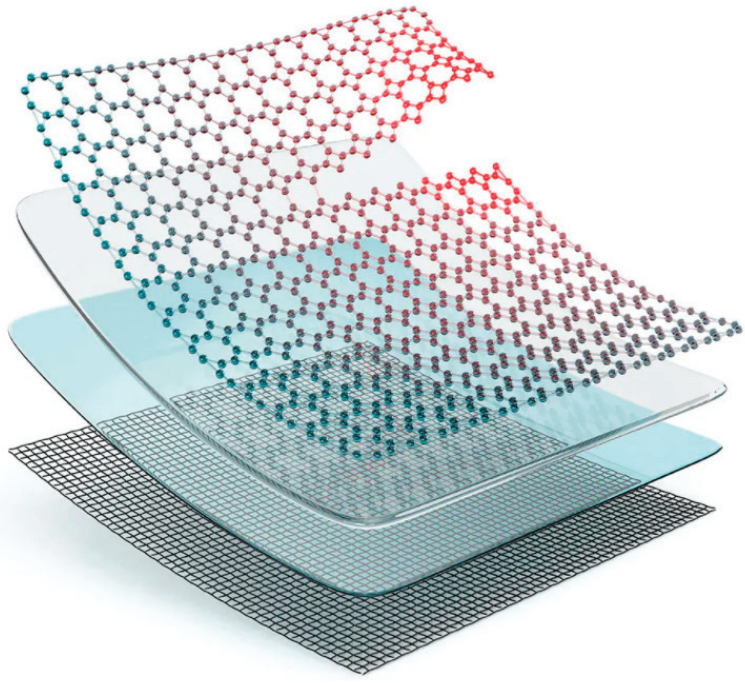
Kompozit malzeme, birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzeme şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeler binlerce yıldır kullanılmaktadır. Bilinen en eski örneği, evlerin yapımında saman takviyeli kerpiç bloklar şeklinde kullanılmasıdır. Günümüzde ise teknolojinin gelişimi ile hayatımızın ve endüstrinin her alanında kullanılmaktadır.

Bir malzemeyi "kompozit" olarak adlandırmak için aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

- İnsan tarafından yapılmış olmalı ve optimum özellikler elde etmek için, bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü şekilde dağıtılmasıyla iki ayrı malzeme karıştırılarak karma bir malzeme oluşturulmalı,
- En az iki veya daha fazla fiziksel ve mekanik özelliği ayrı olan malzemenin birleştirilmesi ile oluşmalı ve farklı ara yüzeylere sahip olmalı,
- Tek tip malzeme kullanımı ile elde edilemeyen; mukavemet, korozyon dayanımı, termal dayanım, elektrik iletkenliği, akustik iletkenlik, ağırlık, estetik görünüm özelliklerinden en az 1 tanesini iyileştirmeli

Kompozit malzeme kullanılarak üretilecek olan parçalar tasarlanırken, parçanın hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik spesifik ihtiyaçların neler olduğunun bilinmesi gereklidir. Kompozit bir parça tasarlanırken maliyet, ham malzeme özellikleri, çevre koşullarının parçaya etkisi, imalat yöntemi, kalite kontrol metotları gibi bir dizi faktör birlikte değerlendirilmelidir.

Kompozitler, havacılık endüstrisinde, kimyasal madde depolarında, karayolu tankerlerinde, bina cephe ve panolarında, otomobil gövde ve tamponlarında, deniz teknelerinde, banyo ünitelerinde, ev eşyalarında, tarım araçları gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır.



Görsel 56: Kompozit Malzemelerin Genel Yapısı

3.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Yüksek Mukavemet: Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri, birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Kaplama özelliklerinden dolayı, kompozitlere istenen yönde ve istenen bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylelikle malzemeden tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler tasarlanıp üretilebilir.

Kolay Şekillendirme: Kompozit malzeme kullanılarak yapılan büyük ve kompleks parçalar, tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle, çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılık: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşan kompozitlerin ısıya dayanıklılık özellikleri, yüksek ısı altında kullanabilmesine olanak tanımaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozit malzemenin ısıya dayanımı arttırılabilir.

Titreşim Sönümleme: Kompozit malzemelerin sünekliği nedeniyle, doğal bir titreşim sönümleme ve ani darbeleri karşılayabilme özelliği vardır. Bu sayede çatlak yürümesi olayı da engellenir.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Dayanıklılık: Kompozit malzemeler, hava etkilerin-

den, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmez. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler, kimyasal madde tankları ve iletim sistemleri, tekne ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılır.

Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemelere, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

3.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

- Hammadde çeliklere kıyasla pahalıdır. Örneğin, uçaklarda kullanılabilecek kalitede karbon kumaş liflerinin m^2 maliyeti 50 Amerikan Doları civarındadır.
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir. Kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanımı özelliği gösterir.
- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır. Standartlaşmış bir kalite yoktur.
- Kompozitler gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görür. Onarılmaları yeni mekanik problemler yaratabilir.
- Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin soğutularak saklanmaları gerekmektedir. Sıcak kurutma gerekmektedir. Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazı durumlarda bu zor olabilir. Bazı kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir.

3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre 2 şekilde sınıflandırılmaktadır.



Görsel 57: Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

3.3.1. Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler

3.3.1.1. Plastik Matrisli Kompozitler

Plastik-Plastik Kompozitler

Fiber olarak kullanılan plastik, yük taşıyıcı bir özelliğe sahip iken, matris olarak kullanılan plastik, esneklik verici, darbe emici ya da istenen amaca göre kullanılan plastiğin özelliğine sahip olmaktadır. Hem termoset hem de termoplastik malzemeler bu yapı için birlikte kullanılabilir.

Plastik – Metal Fiber Kompozitler

Endüstride çok kullanılan bir tür olan metal fiber takviyeli kompozitler, oldukça mukavemetli ve hafif bir malzemedir. Polietilen ve polipropilen gibi plastiklerin, bakır, alüminyum, bronz, çelik vb. metal fiberlerle takviye edilmesiyle elde edilir. Yaygın olarak kullanılmaktadır.

Plastik – Cam Elyaf Kompozitler

İhtiyaca göre termoplastik veya termoset plastikten oluşan matris ve cam liflerin uygun kompozisyonlarından üretilmektedir. Mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle cam lifler daha çok tercih edilir. Cam lifler dışında metal, asbest, sentetik elyaf ve pamuk ipliği gibi lifler de kullanılır. Cam elyaflı kompozitler, büyük kuvvetleri iletmelerine rağmen camın kırılgan olmasından dolayı dirençleri çok düşüktür. Cam elyaf takviyeleri ile en çok kullanılan plastik reçineler, polyesterlerdir.

Plastik – Köpük Kompozitler

Bu tür kompozitlerde plastik, fiber olarak görev yapmakta, köpük ise matris olarak kullanılmaktadır. Köpükler, hücreli yapıya sahip, düşük yoğunlukta, gözenekli ve doğal halde bulunduğu gibi, büyük bir kısmı sentetik olarak imal edilmiş hafif maddelerdir. Köpük hücre yapısına göre sert, kırılgan, yumuşak ya da elastik olabilmektedir.

3.3.1.2. Metal Matrisli Kompozitler

Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu, yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen, kırılgandır. Metal fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler, her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini verir. Bakır ve alüminyum matrisli, wolfram veya molibden fiberli kompozitler ve Al – Cu kompoziti, bu kompozisyonu veren en iyi örneklerdir. Matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi, bu özelliklere daha ekonomik olarak ulaşılmasını sağlar.

3.3.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler

Metal veya metal olmayan malzemelerin bileşiminden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım gösterir. Rijit ve gevrek bir yapıya sahiptir. Elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği de gösterir.

3.3.2. Yapı Bileşenlerinin Şekillerine Göre Kompozitler

3.3.2.1. Partikül Esaslı Kompozitler

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilir. Ortalama gömülen parçacık boyutu l µm'den küçük ve elyaf hacim oranı %25'ten azdır. En çok kullanılan parçacıklar; Al_2O_3 ve SiC'den oluşan seramiklerdir. Sert metal uçlar ve beton en bilinen örnekleridir.

3.3.2.2. Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler

Bu tür kompozitler, birçok özellikte artış sağlayan, yüksek etkinliği olan liflerin ilavesiyle elde edilir. Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinden mukavemet ve rijitlikleri kütle halindeki değerlerinden çok daha iyidir. Örneğin karbon fiberin, kütle halindeki grafite göre çekme mukavemeti 50 kat, rijitliği 3 kat daha iyidir. Günümüzde düşük performanslı ev eşyalarından roket motorlarına kadar geniş bir kullanım alanı vardır.

3.3.2.3. Tabaka (Lamine) Yapılı Kompozitler

En eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur.

Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Katmanlı kompozitler kullanılan malzemelere bağlı olarak; düşük maliyet, yüksek dayanım, hafiflik, yüksek aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısıl genleşme özelliklerini taşır.

Elektrik şarjını depolamak için kullanılan kondansatörler esas itibariyle dönüşümlü olarak bir iletken ve bir yalıtkan katmanların üst üste gelerek meydana getirdiği katmanlı kompozitlerdir.

3.3.2.4. Dolgu Yapılı Kompozitler

Bu tür kompozitler, 3 boyutlu sürekli bir matris malzemesinin, yine 3 boyutlu bir dolgu malzemesiyle doldurulması ile oluşan malzemelerdir. Optimum özelliklere sahip kompozitlerin üretimi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir.

Matris çeşitli geometrik şekillere sahip bir iskelet yapısındadır. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Aşağıdakilerden hangisi demir içermeyen metal **değildir**?

A) Nikel B) Kurşun C) Altın
D) Çelik E) Paladyum

2. Aşağıdakilerden hangisi demir olmayan metallerin sınıflandırma gruplarındandır?

A) Hafif metaller

B) Soygazlar

C) Kompozitler

D) Polimerler

E) Yapı çelikleri

3. Hangisi demir olmayan metallerin imalat yöntemlerinin gösterimlerinden biridir?

A) Pb B) GD C) Wh
D) GG E) HRc

4. Aşağıdakilerden hangisi demir olmayan ağır metaldir?

A) Alüminyum

B) Magnezyum

C) Wolfram

D) Titanyum

E) Polipropilen

5. Aşağıdakilerden hangisi demir olmayan hafif metaldir?

A) Bakır B) Çinko C) Nikel
D) Pirinç E) Titanyum

6. Aşağıdakilerden hangisi plastiklerin genel özelliklerinden **değildir**?

A) Özgül ağırlığı düşüktür

B) Saydamdır

C) Geri dönüştürülebilir

D) Manyetiktir

E) Korozyona dayanıklıdır

7. Aşağıdakilerden hangisi kompozit malzemelerin dezavantajlarındandır?

A) Gevrektir

B) Isıya dayanıklıdır

C) Ani darbeleri sönümler

D) Korozyona dayanıklıdır

E) Kalıcı renk verilebilir

8. Hangisi kompozitlerin sınıflandırma türlerinden **değildir**?

A) Plastik matrisli

B) Elyaf takviyeli

C) Dolgu yapılı

D) Manyetik matrisli

E) Metalik matrisli

ÖĞRENME BİRİMİ 7

MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ

Makinelerde kullanılan parçaların, istenilen fonksiyonları yerine getirebilmeleri için hem içyapılarının hem de dış yüzeylerinin istenilen nitelikte olması istenir. Bunun için de malzeme numunesine zarar vermeden (tahribatsız) ya da numuneye zarar vererek (tahribatlı) muayene uygulanması gerekir. Bu bölümde, uygulanan muayene yöntemleri ve nasıl uygulandıkları öğrenilecektir.

KAZANIMLAR

- Tahribatlı malzeme muayene yöntemleri
- Tahribatsız malzeme muayene yöntemleri
- Teknolojik malzeme muayene yöntemleri

7. ÖĞRENME BİRİMİ

MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ

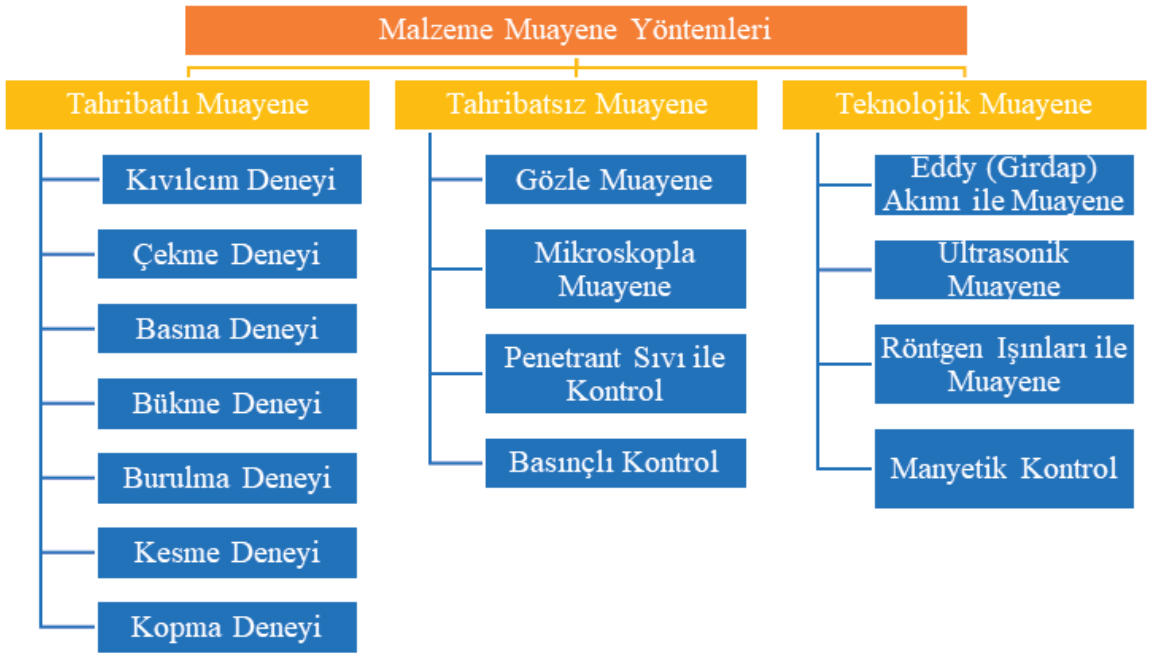
HAZIRLIK ÇALIŞMASI	Sizce, çamaşır makinesinin hareketli parçaları için hangi malzeme muayene yöntemleri kullanılmaktadır?

Malzeme muayenesi, malzeme seçimi ve seçilen malzemenin istenilen işlemleri yapıp yapamayacağının test edilmesi veya malzeme özelliklerini belirlemek için yapılan fiziksel, kimyasal veya radyolojik uygulamalar dizisidir. Malzeme muayenesinin iki temel amacı vardır.

Amaçlarından ilki, ürünün piyasaya satış için sunulmadan önce malzemedeki hataların tespitidir. Diğer amacı ise iş parçasının, çalışma şartlarında ortaya çıkacak yüklere karşı gösterdiği tavırları önceden görmektir. Malzeme muayenesi 4 ihtiyaç için gerçekleştirilir.

- Bir ürünün garanti edilmiş özellikleri yerine getirebileceğini belirlemek
- Malzemelerin işlenme özelliklerini belirlemek (teknolojik muayene)
- İçyapıyı ve kimyasal bileşenleri teyit etmek
- Ham durumdaki parçaların ve işlenme sonrası hazır parçaların iç hatalarını görmek

Malzeme muayene yöntemlerinin alternatifli olması, aralarında seçim yapmayı kolaylaştırmaktadır. Seçim yapılırken, öncelikli olarak muayene yönteminin istenilenleri karşılaması ve maliyeti dikkate alınır. Yöntemlerden bazıları için yüksek maliyetli donanıma ve özel eğitim almış nitelikli personele ihtiyaç duyulmaktadır. Malzeme muayene yöntemleri; tahribatlı, tahribatsız ve teknolojik olmak üzere 3 ana grupta toplanır.



Görsel 58: Malzeme Muayene Yöntemleri

1. TAHRİBATLI MUAYENE YÖNTEMLERİ

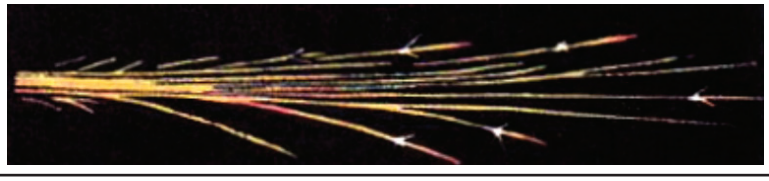
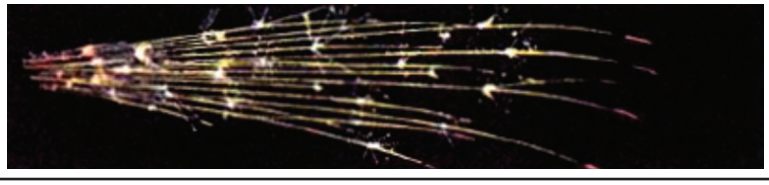
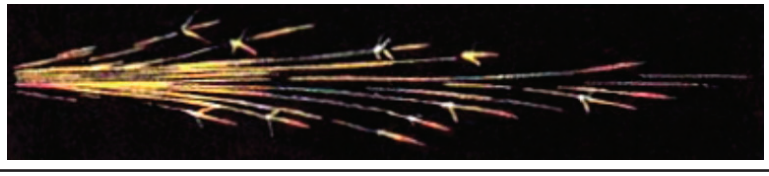
Malzemeyi tahrip ederek yapılan muayeneler, malzemenin kullanım anında karşılaşacağı yük ve darbelere nasıl tepki vereceğini önceden görebilmek için yapılır. Genel olarak, kullanım sırasında malzemeye etki edecek olan yüklerin benzerleri muayene makinelerinde oluşturularak malzemelere uygulanır. Malzemeler bu deneyler sonucunda istenilen özellikleri gösterirse, ürünün piyasaya sürülmesinde sakınca olmayacağı görüşüne ulaşılır. Bu test yöntemleri ile uygulanacak olan testler, malzeme numunesinde fiziki deformasyona sebep olur.

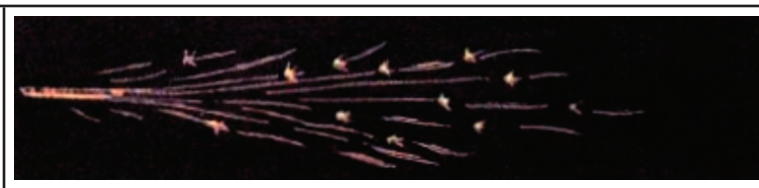
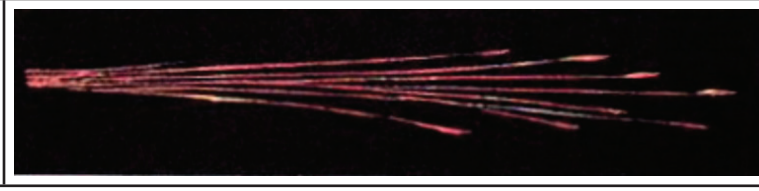
1.1. Kıvılcım Deneyi

Kıvılcım deneyi, yüksek hızla dönen taşlama taşı veya spiral taşlama ile metal malzemenin yüzeyinin aşındırılması yoluyla uygulanır. Uygulamada, taşlama taşı yüzeyinde bulunan aşındıncı maddeler ve test edilen parça üzerinden parçalar kopar. Bu parçacıklar ısınarak akkor haline (kıvılcım) gelir. Özellikle çelikte bulunan karbon elementi patlamalara; diğer alaşım elementleri ise değişik renkler ve şekiller oluşmasına neden olur. Bu kıvılcımlara bakılarak çeliğin içyapısında ne oranda karbon ve alaşım elementi bulunduğu, konu hakkında tecrübeli teknik personel tarafından yaklaşık olarak belirlenir.

Kıvılcım deneyinden doğru sonuç alınabilmesi için, deneyin yapıldığı ortamın mümkün olduğunca loş ya da karanlık ve deney parçalarının 10 mm yuvarlak ya da kare kesitli olması tercih edilir. Taşlama işlemi için uygulanan kuvvetin şiddeti de sonucu etkilemektedir. Genel olarak karbonlu çeliklerde, karbon miktarı artıkça kıvılcım boyu kısalmakta, buna karşılık patlamalar artmaktadır. Sade karbonlu çeliklerin meydana getirdiği kıvılcım rengi açık sarı olmaktadır. Katkılı çeliklerde ise kıvılcım şekli değişir.

Aşağıdaki görselde bazı malzeme türlerinin yarattığı kıvılcım örnekleri görülmektedir.

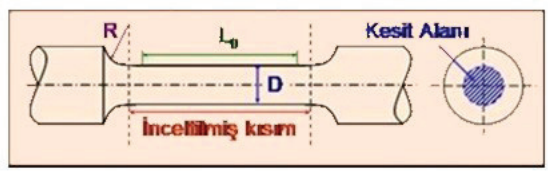
Malzeme Türü	Kıvılcım Örneği
Sementasyon Çeliği 21 Mn Cr 5	
Islah Çeliği 42 Cr Mo 4	
Alaşımsız Islah Çeliği C45	

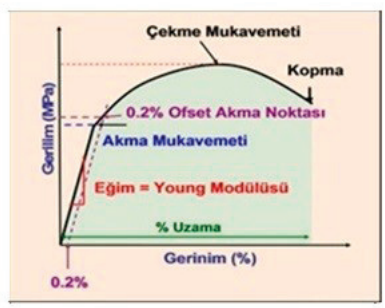
Alaşımlı Takım Çeliği 105 W Cr 6	
Paslanmaz Çelik X 5 Cr Ni 18 10	

Görsel 59: Kıvılcım Testi Örnekleri

1.2. Çekme Deneyi

Çelikler, kullanılmaları sırasında çeşitli kuvvetlere maruz kalır. Uygulanan kuvvetler, malzemeyi şekil değiştirmeye zorlar. Parçanın çekmeye karşı gösterdiği dayanımı ölçmek için yapılan muayeneye **çekme deneyi** veya **çekme muayenesi** denir.





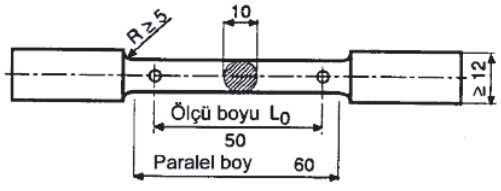


Görsel 60: Çekme Deneyi Makinesi ve Numunesi

Çekme deneyi, malzemenin akma, çekme ve kopma mukavemetinin belirlenmesi için uygulanır. Deney numunesi aşağıda verilen standart ölçülere göre hazırlanır.

d_0	D	h	L_0	L_v	L_t
6	8	25	30	36	95
8	10	30	40	48	115
10	12	35	40	60	140
12	15	40	50	72	160
14	17	45	70	84	180
16	20	50	80	96	205
18	22	55	90	108	230
20	24	60	100	120	250
25	30	70	125	150	300

d_0	Numune çapı
D	Baş kısmı çapı
h	Baş kısmı uzunluğu
L_0	Ölçü boyu
L_v	İnceltilmiş kısım uzunluğu
L_t	Numunenin toplam uzunluğu



Görsel 61: Çekme Deneyi Numune Ölçüleri

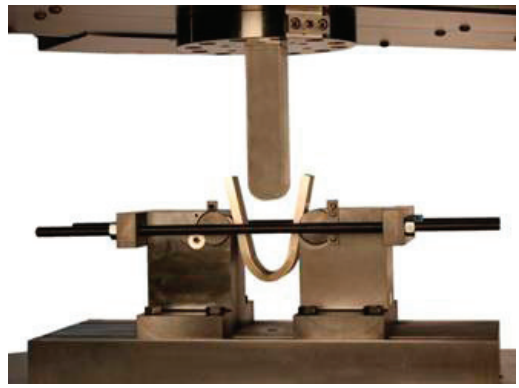
1.3. Basma Deneyi

Genel olarak numune, 10-30 mm çapında ve boyu çapının 1,5 katı olan silindirik parçadır. Numune parçaya, devamlı ancak yavaş yavaş artan bir basma kuvveti uygulanır. Kuvvet uygulaması, numune parça yırtılıncaya ya da çatlayıncaya kadar devam ettirilir. Basma kuvveti başlangıçta numune parçanın biçimini bir fıçıya benzer görünüme dönüştürür. Malzeme cinsine bağlı olarak numune parçanın deney esnasında görünümü farklılık gösterir. Dökme demir gibi gevrek, sert malzemeler daha büyük parçalar hâlinde çatlayıp parçalanır. Çelik gibi yoğrulabilir malzemeler, kuvvet yönündeki çatlakları gösteren bir düz plaka oluncaya kadar ezilir. Numune parçada en yüksek olarak elde edilebilen basma gerilmesi, **basma dayanımı** adını alır.

Genellikle çekme ve basma testleri aynı makinede uygulanır.

1.4. Bükme Deneyi

Bu deneyin amacı, malzemenin soğuk durumda çatlamadan katlanabildiğini ya da katlanamadığını tespit etmektir. Numune deney parçası, belirli çaptaki bükme parçası yardımıyla iki yuvarlatılmış dayanak arasından basılarak katlanır. Numune parçanın alt kenarlarında çekme gerilmeleri oluşur. Belirli bir bükme açısından sonra bu kenarlar üzerinde çatlamalar meydana gelir. Malzemenin zorlanma miktarı, bükme eğme parçası çapı ile de ayarlanabilir. Bükme parçasının çapı ne kadar küçük ise o kadar kolay çekme çatlamaları meydana gelir.



Görsel 62: Bükme Deneyi Makinesi

1.5. Burulma Deneyi

Burulma deneyinde, deney parçası olarak silindirik bir parça kullanılır. Deney parçasının bir ucu sabit bir çeneye bağlanır. Diğer uç ise ekseni etrafında döndürülür. Böylece malzemenin molekülleri, birbiri yüzeyinde kayarak hareket etmeye zorlanır. Deney parçası, çekme deneyinde olduğu gibi belirli bir noktaya kadar elastiklik gösterir. Parçaya uygulanan kuvvetin artırılmasıyla elastiklik sınırı aşıldığında, burulmada şekil değişikliği (plastik şekil değiştirme) meydana gelir.

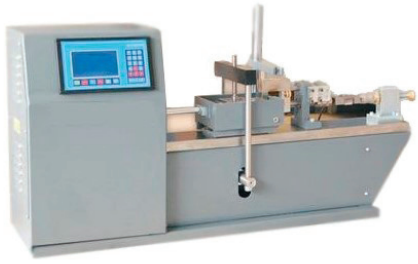


Görsel 63: Burulma Deneyi Makinesi

Burulma sonucunda meydana gelen kalıcı şekil değişikliğinin gerçekleşmemesi için malzeme moleküllerinin direnç göstermesi gerekmektedir. Moleküllerin göstermiş olduğu direnç ölçüsüne, **kayma modülü (G)** adı verilir. Malzemenin burulmaya karşı gösterdiği direnç, burulma deney makinesi üzerinde (N/mm^2 cinsinden) okunur.

1.6. Kesme Deneyi

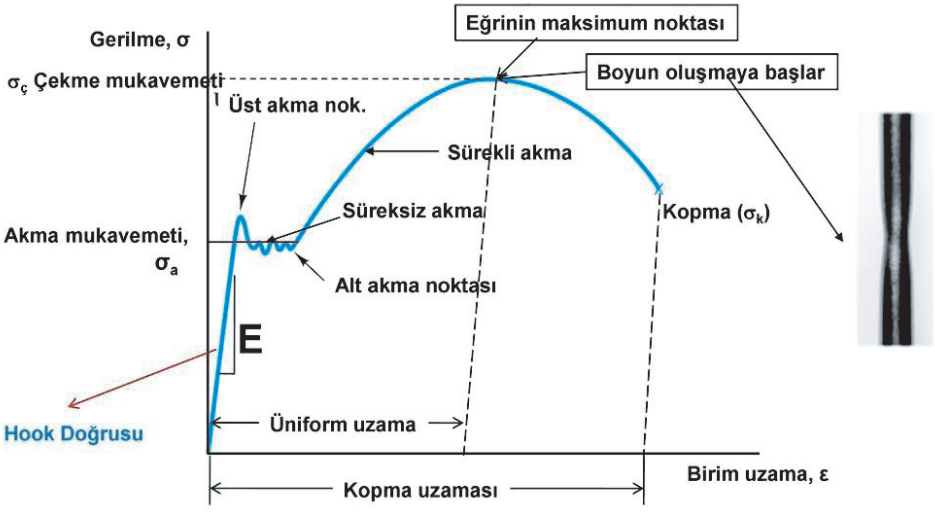
Kesme deneyinde silindirik bir numune parça, kesme deney tertibatında yavaş yavaş büyüyen bir makaslama kuvveti ile kesme işlemi gerçekleşinceye kadar yüklenir. Maksimum kuvvet ölçülür ve buradan kesme dayanımı bulunur.



Görsel 64: Kesme Deneyi Makinesi

1.7. Kopma Deneyi

Numune malzemeye, kopma olayı gerçekleşinceye kadar çekme kuvveti uygulanır. Kopma deneyi, çekme deneyi için kullanılan makine ile gerçekleştirilir. Aşağıdaki görselde verilen Akma-Kopma Mukavemeti Diyagramı'nda σk ile gösterilen kuvvet, malzemenin kopma mukavemetini belirtir.



Görsel 65: Akma-Kopma Mukavemeti Diyagramı

Kopma kuvvetine kadar yüklenen deney numuneleri, bu kuvvette 2 zıt davranış gösterir.

- Deney parçası gözle görülebilir bir plastik şekil değiştirmeye uğramadan aniden kopar. Buna **ayrılma kopması** adı verilir. Bu tip kopma gevrek malzemelerin ayırt edici özelliğidir.

- Deney parçası plastik şekil değişimine (ilk şekline geri dönemeyecek şekilde) uğradıktan sonra kopar. Bu kopmaya, **şekil değiştirerek kopma** adı verilir. Sünek malzemelerin ayırt edici özelliğidir.
- Birçok malzeme bu iki zıt durumun arasında yer alan bir davranış gösterir. Buna **karışık kopma** adı verilir.

2. TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

Tahribatsız muayene yöntemlerinde deneyler, çoğunlukla numune iş parçasına zarar vermeden yapılır. Bu uygulamalar, yarı mamul ve bitmiş iş parçalarındaki hataların (ölçü bozukluğu, çatlaklar, boşluklar, katmanlar) belirlenmesini sağlar.



Görsel 66: Malzeme Test Laboratuvarı Genel Görünümü

2.1. Gözle Muayene

Gözle yapılan malzeme muayenesi, maliyet açısından en ucuzudur. Muayeneyi yapan kişinin bilgi ve tecrübesine dayalı bir yöntem olduğundan, muayene yapan kişinin bu konuda özel eğitimli olması gerekir. Gözle yapılan muayene sonunda malzeme dış yüzeyindeki hatalar tespit edilir. Böylece dış yüzeyde oluşabilecek oksit katmanları, çatlak, kırık ve ölçü sapmaları belirlenir. Küçük iş parçalarına gözle yapılan muayeneye her atölyede bulunan hafif bir çekiç darbesiyle çınlama deneyi yapmak da mümkündür. Bunun için iş parçası bir iple asılır ve serbest bırakılır. Ardından çekiçle iş parçasına hafifçe vurulur. İş parçasının çıkardığı sese göre, malzemenin sert ya da yumuşak olduğu veya malzemede çatlak olup olmadığı belirlenir.

2.2. Mikroskopla Muayene

Polisaj işlemi ile parlatılan ve ardından asitle yüzey temizleme işlemi uygulanan metaller, metal mikroskobuyla incelenir. Malzemenin içyapılarını meydana getiren dokular gözlemlenir. Asit ya da tuz çözeltisinin etkisiyle, bir kısım kristal yapı reaksiyona girerken, diğer bir kısmı hiç etki-

lenmez. Böylece farklı biçimler ve renkli ayrışmalar meydana gelir.

Taşlanmış parçaların büyütülmüş şekilleri, yüzeyin kontrol edilmesini ve iş parçasının tekniğe uygun olarak ısıl işlem görmesini sağlar. Elektron mikroskobu ile düzgün olmayan yüzeylerden 10.000 defaya kadar büyütülmüş derinlik boyutu olan resimler elde edilebilir. Bu şekilde, malzemede kırılmaya sebep olacak olaylar önceden belirlenebilir.



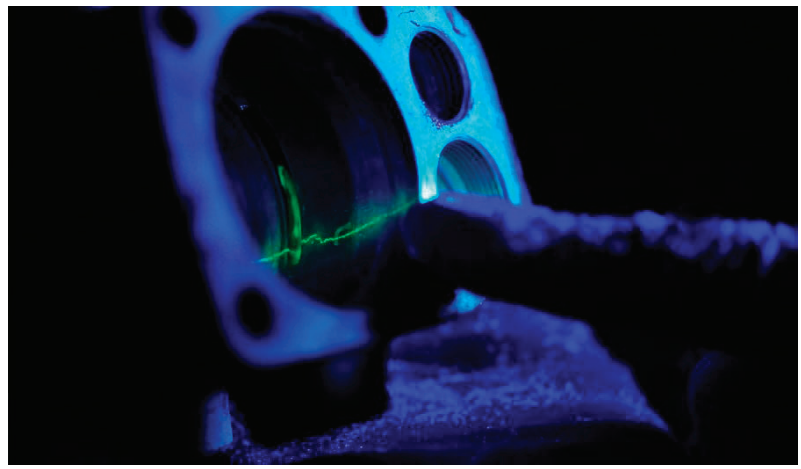
Görsel 67: Metal Mikroskobu

2.3. Penetrant Sıvı ile Muayene

Yüzeyde süreksizliğe sebep olan, yüzey hatalarının tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Süreksizliğe sebep olan hata çatlak türü ise çizgisel belirtiler, gözenek türü ise yuvarlak belirtiler elde edilir. Endüstrideki metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir. Penetrant sıvı testi, aşağıdaki işlem adımları ile gerçekleştirilir.



Görsel 68: Penetrant Sıvı ile Muayene İşlem Adımları



Görsel 69: Penetrant Uygulaması Sonrası Yüzey Hatasının Görülmesi

2.4. Basınçla Kontrol

Basınç altında çalışan kazan, boru ve vana üretiminin kalite kontrol aşamasında, tahribatsız muayene yöntemi olarak, basınçla kontrol işlemi uygulanır. Üretilen her parçaya, çalışma basıncının en az 1,5 katı sıvı veya gaz basıncı belirli sürede uygulanır. Çaplara ve et kalınlıklarına göre borulara uygulanan hidrostatik (sıvı basıncı) test basınçları aşağıda verilen formüle göre hesaplanır.

$P = \frac{2000.S.t}{D}$	**P:** Hidrostatik test basıncı (KPa) **S:** Minimum gerilme kuvveti (MPa) **t:** Et kalınlığı (mm) **D:** Dış çap (mm)

Küçük çaplı çelik borular, kazanlar ve içi boş malzemelerin muayenesi basınçlı hava ile yapılabilir.

3. TEKNOLOJİK MUAYENE YÖNTEMLERİ

Teknolojik muayene yöntemlerinin uygulanmasında da malzeme tahrip edilmez. Bu uygulamalar da tahribatsız muayene yöntemleri gibi, yarı mamul ve bitmiş iş parçalarındaki hataların (ölçü bozukluğu, çatlaklar, boşluklar, katmanlar) belirlenmesini sağlar.

3.1. Girdap (Eddy) Akımları ile Muayene

Girdap akımları yöntemi, yüzey ve yüzeye yakın süreksizliklerin (çatlaklar, hatalar) belirlenebilmesi için uygun bir yöntemdir. Elektrik iletkenliğine sahip olan bütün metalik malzemelere uygulanabilir. Bu yöntem kullanılarak çatlak, korozyon, iletken bir malzeme üzerindeki boya veya kaplama kalınlığının ölçülmesi ve iletkenlik ölçümü yapılabilir.

Bir sarımdan değişken akım (AC) geçirildiğinde, bu sarım etrafında bir manyetik alan meydana gelir. Bu sarım elektrik iletkenliği olan bir malzeme yüzeyine yaklaştırıldığında, sarımın değişken manyetik alanı malzeme yüzeyinde indüksiyon akımları oluşturur. Bu akımlar kapalı bir devre halinde (girdap şeklinde) akarlar ve kendi manyetik alanlarını yaratır. Ortaya çıkan bu ikincil manyetik alan ölçülerek yüzey hataları bulunur.



Görsel 70: Girdap Akımı Muayenesi

Test parçasında girdap akımlarının oluştuğu bölgede bir süreksizlik (yüzey hatası) varsa, yüzey hatasının olduğu yerdeki elektrik direnci farkından dolayı, akımlar farklı bir yörünge izler. Bu farklılık bobin (prob) tarafından algılanarak hata değerlendirmesi yapılır.

3.2. Ultrasonik Muayene

Bu muayene yöntemi, malzemedeki süreksizlikleri tespit edebilmek için muayene probu tarafından üretilen yüksek frekanstaki (0,1 - 20 Mhz) ses dalgalarının test malzemesi içerisinde yayılması ve bir süreksizlikten yansıyarak tekrar proba gelmesi ve algılanması prensibi ile uygulanır. Prob tarafından algılanan dalgalar (piezoelektrik olayı) elektrik sinyallerine dönüştürülür ve katot ışınları cihazın ekranında malzeme içyapısını gösteren yankılar (ekolar) şeklinde görüntülenir. Ekran üzerinde gözlenen ekoların konumları ve genlikleri süreksizliğin bulunduğu yer ve boyutları hakkında bilgi verir.



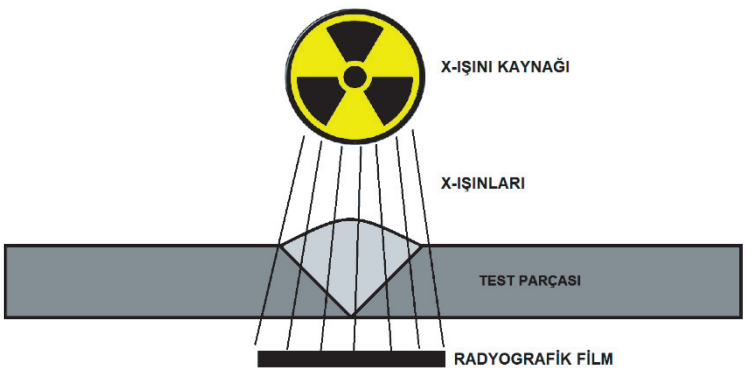
Görsel 71: Ultrasonik Muayene Uygulaması

Metalik veya metalik olmayan malzemelerde beklenen hacimsel hatalar ile çatlak türü yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir. Süreksizlikler ultrasonik dalgalara dik doğrultuda olduklarından en iyi şekilde algılanır. Kaba taneli yapılarda, özellikle östenitik yapılı malzemeler için ultrasonik yöntemin uygulanması zordur. Malzeme içine gönderilen yüksek frekanslı ses dalgaları, ses yolu üzerinde bir engele çarpması durumunda yansır. Çarpma açısına bağlı olarak yansıyan sinyal alıcı proba gelebilir veya gelmeyebilir. Alıcı proba yansıyan sinyal, ultrasonik muayene cihazının ekranında bir yankı belirtisi oluşturur. Yankının konumuna göre yansıtıcının muayene parçası içindeki koordinatları hesaplanabilir. Ayrıca yankının yüksekliği de yansıtıcının büyüklüğü hakkında fikir verir. Yankı sinyalinin şekline bakılarak yansıtıcının türü hakkında da bir yorum yapmak mümkün olabilir.

3.3. Röntgen Işınları ile (Radyografik) Muayene

Radyografik muayene yöntemi, oldukça hassas bir muayene yöntemidir ve sonuçları kalıcı olarak kaydedilebilir. Hastanelerde uygulanan röntgen işleminin bir benzeridir. Manyetik özelliği olsun ya da olmasın tüm malzemelere uygulanabilir.

Endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Test parçasına, bir kaynaktan çıkan radyografik ışınlar (x veya gama ışınları) uygulanır. Işınlar, malzeme içinden geçerken malzemenin özelliğine bağlı olarak belirli oranda malzeme tarafından absorbe edilir ve sonra parçanın arka yüzeyine yerleştirilmiş olan filme ulaşarak hatanın olduğu yerler ile ilgili desen oluşturur. Süreksizlikler radyasyonu farklı zayıflatacaklarından, süreksizliklerin olduğu bölgelerden geçen radyasyonun şiddeti ve film üzerinde oluşturacağı kararma da farklı oluşmaktadır. Filmin banyo işleminden sonra, film üzerindeki kararmalar süreksizliklerin belirtisi olarak görünür hale gelir.



Görsel 72: Radyografik Muayene Uygulaması

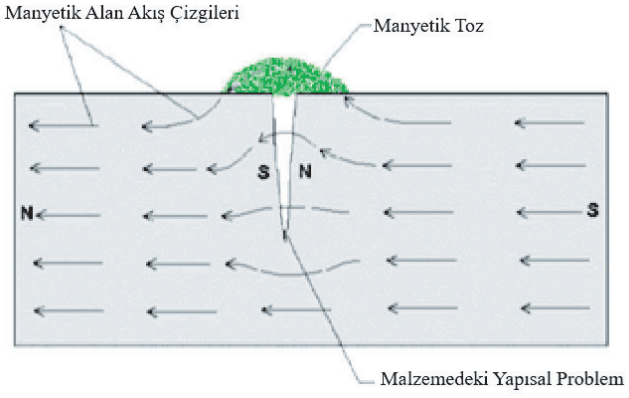
Kalın parçalar için kullanılması uygun değildir. Malzeme iç hatasının derinliği hakkında bilgi vermez. Otomasyon sistemlerinde kullanımı mümkün değildir.

Uygulayan kişi ve çevredeki çalışanların sağlığı için zararlı olabilir. Gerekli iş güvenliği önlemleri ile birlikte, radyasyon önleyici önlemler alınmalı ve muayenede çalışan kişilerin düzenli olarak radyasyona maruz kalma miktarı ölçülmelidir.

3.4. Manyetik Kontrol Yöntemi ile Muayene

Manyetik kontrol yöntemi yüzey ve yüzeye yakın hataların tespiti ve yerlerinin belirlenmesi basit, hızlı ve düşük maliyetle gerçekleştirilebilir. Sadece manyetik özelliği olan malzemelere uygulanabilir. Manyetikleştirme işlemi, parçadan elektrik akımı veya doğrudan manyetik akım geçirilerek uygulanır. Manyetik malzemeler, manyetik akıma hiçbir direnç göstermezler, hatta akımın geçmesine yardımcı olur. Eğer manyetik alan içerisinde hata varsa, hatadaki boşluk alan çizgilerini engelleyecek ve saptıracaktır. Bu durum hata üzerinde yoğun bir kaçak akım oluşturur ve kaçak akımın büyüklüğü hatanın boyutunu verir.

Yöntemin uygulamasında, içyapısında hata bulunan malzeme yüzeyine ferromanyetik tozlar serpilirse, bu tozlar hataların bulunduğu bölgelerde oluşan kaçak akımlar tarafından çekilir ve süreksizlikler üzerinde toplanarak kaçak akımın geçişi için köprü oluşturur. Böylece, mevcut süreksizliklerin yerleri tespit edilir.



Görsel 73: Manyetik Kontrol Muayene Uygulaması

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Malzeme muayenesi aşağıdakilerden hangisi için **yapılmaz**?

A) Belirlenen mekanik özellikleri yerine getirebileceğini belirlemek

B) Malzeme sertliğini belirlemek

C) Malzemelerin işlenme özelliklerini belirlemek

D) İçyapıyı ve kimyasal bileşenleri teyit etmek

E) İşlenme sonrası hazır parçaların iç hatalarını görmek

2. Aşağıdaki seçeneklerden hangisinde malzeme muayene yöntemleri doğru verilmiştir?

I. Tahribatlı

II. Tahribatsız

III. Sertlik Belirlemeli

IV. Teknolojik

V. Tavlamalı

A) I, II ve IV

B) I, II ve III

C) II, III ve V

D) II, IV ve V

E) III, IV ve V

3. Aşağıdakilerden hangisi tahribatlı muayene yöntemidir?

A) Girdap akımı

B) Penetrant Sıvı

C) Burulma

D) Basınçlı

E) Manyetik

4. Aşağıdakilerden hangisi tahribatsız muayene yöntemidir?

A) Çekme B) Kopma

C) Ultrasonik D) Kıvılcım

E) Mikroskop

5. Aşağıdakilerden hangisi teknolojik muayene yöntemidir?

A) Basma B) Gözle Kontrol

C) Bükme D) Girdap Akımı

E) Penetrant

6. Aşağıdaki yöntemlerin hangisinde özel hazırlanmış deney numunesine ihtiyaç duyulur?

A) Çekme B) Bükme

C) Ultrasonik D) Kıvılcım

E) Manyetik

7. Aşağıdaki yöntemlerin hangisinde malzeme içyapısı ile ilgili **bilgi edinilemez**?

A) Ultrason B) Kıvılcım

C) Manyetik D) Gözle

E) Girdap Akımı

8. Aşağıdaki yöntemlerin hangisi boru ve profillerin iç dayanım kuvvetini kontrol etmek için uygulanır?

A) Basma B) Basınç

C) Burulma D) Ultrason

E) Çentik Darbe

9. Aşağıdaki yöntemlerin hangisi insan sağlığı için risk oluşturabilir?

A) Ultrason B) Girdap Akımı

C) Kıvılcım D) Çentik Darbe

E) Radyografik

10. Maliyet açısından en ucuz olan muayene çeşidi hangisidir?

A) Mikroskopla B) Çekme

C) Gözle D) Kıvılcım

E) Manyetik

ÖĞRENME BİRİMİ 8

TOZ METALURJİSİ

Bu bölümde, toz matalürjisi ile üretim yapma yöntemleri, kullanıldığı alanlar, avantaj ve dezavantajları, sinterleme teknolojisi ve kullanım alanları öğrenilecektir.

KAZANIMLAR

- Toz metalürjisinin önemi ve kullanım alanları
- Toz metalürjisinin uygulama yöntemleri
- Sinterleme kavramı ve uygulama yöntemleri

8. ÖĞRENME BİRİMİ

TOZ METALÜRJİSİ

HAZIRLIK ÇALIŞMASI	Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak üretilmiş olan ve günlük hayatta kullanılan eşyaları araştırınız. Sizce, bu eşyaların farklı üretim yöntemleri ile de üretilebilme imkanı var mıdır?

1. TOZ METALÜRJİSİ METODU

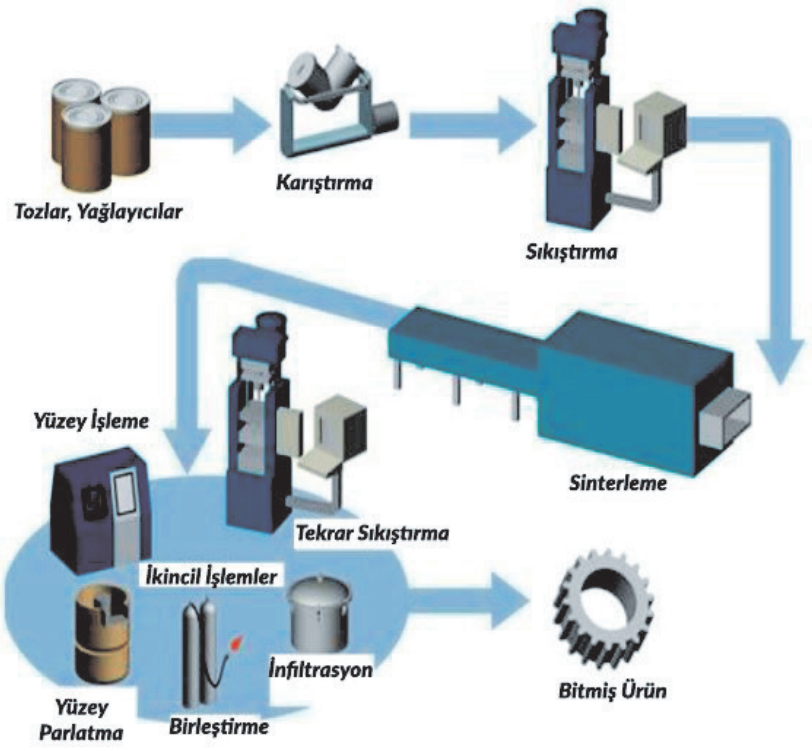
Toz metalürjisi ile üretimin gelişimine bakıldığında, ilk örneklerin milattan önceki çağlara dayandığı görülmektedir. Endüstriyel anlamda kullanımı ise 1900'lerde aydınlatma ampullerindeki filamentler, bakır-grafit alaşımlı elektrik kontak parçaları ve metal işlemede kullanılan kesici takım üretiminde (tungsten-karbür) kullanım ile başlamıştır. Toz metalürjisi, en basit hali ile çok küçük metal tozlarını bir kalıp içerisinde ve belirli bir basınç altında şekillendirilip birbirine bağlayarak, ergime sıcaklığında istenilen parça haline dönüştürülmesidir.

Toz metalürjisi tekniğinin uygulaması; toz metaller, seramikler, parçacık takviyeli kompozitler, plastik kalıplama ve metal dövme gibi birçok üretim tekniğinin bir arada kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Birbiri içerisinde çözünmeyen malzemelerin bir arada kullanıldığı kompozit malzemelerin üretiminde de toz metalürjisi kullanılmaktadır. Bu teknik ile gözenekli (hava boşluğu içeren) malzeme üretimi de (örn.: gazbeton tuğla (ytong)) mümkün kılınmıştır.

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen parçalar, endüstrinin birçok dalında kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; uçak fren balataları, yüksek şiddetli ışıklar, elektrik kontaktörleri, yataklama elemanları, seramik rulmanlar, zırh delici mermiler, otomobil transmisyon milleri, ortopedik protezler, nükleer güç yakıt çubukları, yeniden doldurulabilen piller, yüksek sıcaklık filtreleri, elektronik kapasitörler, saat gövdeleri ve jet motoru türbinleri, kesici takımlar için değiştirilebilir (insert) uçlar, yağlama ve süzme işlemleri için gözenekli yapıda özel malzemeler şeklinde sıralanabilir.

1.1. Toz Metalürjisi ile Üretim Aşamaları

Toz metalürjisi ile üretilen parçalarda, genellikle bir miktar gözenek bulunur. Tozların preslenmesi sırasında presleme basıncına göre gözenek miktarı değişim gösterir. Artan presleme basıcıyla gözenek miktarı azalır, birbirine temas eden toz sayısı ve temas yüzey alanı artar. Sıcak dövme yöntemiyle şekillendirme işleminde gözenek miktarı yok denecek kadar azdır. Bu yöntem ile üretimi gerçekleştirilen parçalarda, gözenek miktarına göre mukavemet değeri de değişir. Toz metalürjisi ile parça üretimindeki işlem aşamaları görselde verilmiştir.



Görsel 74: Toz Metalürjisi ile Parça Üretim Aşamaları

1.1.1. Karıştırma (Harmanlama)

İstenilen boyut, şekil ve bileşimdeki tozların, yağlayıcı veya bağlayıcı katkılarla ve alaşım elementi tozlarıyla karıştırılması işlemidir. Bu işlem özel karıştırıcılarda homojen bir karışım elde edilinceye kadar devam ettirilir. Karıştırma işlemiyle, farklı boyuttaki tozların homojen bir karışım oluşturması sağlanır.

1.1.2. Sıkıştırma

Toz karışımı, dayanıklı bir kalıp içinde istenilen şekil ve boyutta preslenerek sıkıştırılır. Böylece toz kütlesinin yeterli mukavemet ve yoğunlukta şekillendirilmesi sağlanır. Presleme basıncı genellikle 0-800 MPa arasında değişir. Sıkıştırma oranı, gevşek toz hacminin sıkıştırılmış toz hacmine oranıdır. Bu oran kullanılan ham maddelerin özelliklerine bağlı olarak değişir.

Sıkıştırma işlemi, uygulamada 2 ana yöntemde gruplandırılır.

- **Sıcak Presleme:** İzostatik, Ekstrüzyon, Dövme, Püskürtme, Basınçsız Sinterleme
- **Soğuk Presleme:** Kalıpta Presleme, İzostatik, Haddeleme, Çamur Döküm

1.1.3. Sinterleme

Sıkıştırma işlemine tabi tutulmuş parçaların kontrollü bir ortamda, ana bileşenin ergime sıcaklığının %33 altındaki bir sıcaklıkta tutulmasıdır. Bu kademede toz parçacıkları arasında kimyasal bağ oluşumu ile birlikte yeniden kristalleşme ve tane büyümesi de görülür. Koruyucu atmosfer parçanın oksitlerden arındırılmasını sağlar. Parça ile çevre koşulları arasında meydana gelebilecek istenmeyen reaksiyonları da önler. Bu işlem sonrasında parçanın mukavemet ve bütünlüğü büyük ölçüde sağlanmış olur. Sinterleme işlemi, bu bölüm içerisinde daha detaylı olarak anlatılacaktır.

1.1.4. İkincil İşlemler

İkincil işlem uygulanacak parça genellikle sinterleme işleminin ardından kullanıma hazırdır. İlave maliyet nedeniyle istenmese de sinterleme sonrası bazı ek işlemlere gerek duyulabilir.

Kalibrasyon

İlk sıkıştırma işleminde kullanılandan farklı bir kalıpta yüzey hassaslığı, yoğunluk, ölçü hassaslığını sağlamak amacıyla ek bir presleme işlemi yapılabilir. Bu işleme **kalibrasyon veya yeniden presleme** adı verilir.

Şekillendirme

Parçanın gözeneklerini yağ, plastik vb. metal olmayan malzemeyle doldurmak gerekebilir. Gözeneklere düşük ergime noktalı bir metal veya alaşım emdirilerek yoğunluk, mukavemet, sertlik, süneklik ve darbe mukavemetinde artış sağlanır. Talaş kaldırma işlemi sırasında, uç radyüsü büyük takımlar, yüksek kesme hızı, düşük talaş derinliği ve uçucu özellikte soğutucular kullanılmalıdır.

Yüzey Kaplama

Kaplama işlemi yapılmadan önce yüzeydeki gözenekler reçineyle veya deformasyonla kapatılarak tuz banyolarının gözeneklere dolması engellenmelidir. Standart kaplama yöntemleri uygulanır. 600°C'de uygulanacak kuru basınçlı buhar işlemi ile demir esaslı parçaların yüzeyleri manyetik demir oksit ile kaplanarak sertlik, basma mukavemeti, aşınma ve korozyon dirençleri artırılır. TiN, TiC, PCD, CBN gibi kaplamalar da sinterlenmiş parçalara uygulanabilir. Isıl işlemler standart şekilde uygulanabilir.

Birleştirme

Kaynak işlemleri, diğer metal parçalardaki gibi uygulanabilir. Bakır ve bakır esaslı alaşım parçalar pirinç kaynağı ve lehim ile birleştirilebilir.

1.2. Toz Metalürjisinin Üstünlükleri ve Zayıf Yönleri

Toz metalürjisi ile üretim yönteminin de diğer yöntemlerde olduğu gibi; endüstriyel üretim için üstünlükleri, dikkatli olunması gereken hususları ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Bu yöntemin kullanımında; ekonomiklik, üstünlük ve zorunluluk kriterleri çok iyi analiz edilmelidir.



Görsel 75: Toz Metalürjisi İdeal Uygulama Diyagramı

Üstünlükleri

- Talaşlı imalat işlemlerini azaltarak veya ortadan kaldırarak hurda maliyetini azaltır. Genellikle ikinci bir işlem gerektirmez.
- Düşük ve dar toleranslarda, düzgün yüzeyli parçalar üretilebilir.
- Karmaşık geometrili ve talaşlı imalatla üretimin zor hatta imkansız olduğu parçaların imalatı için uygundur.
- Çelik üretimiyle ve dövme yöntemiyle karşılaştırıldığında ergitme işleminde görülen kayıplar yoktur. Başlangıç tozunun yaklaşık % 97'si ürüne dönüştürülür.
- Yoğunluk ve ergime noktasındaki farklılıklar nedeniyle, başka yöntemlerle üretilmesi mümkün olmayan malzemeler (kompozitler) imal edilebilir.
- Üstün mikro yapıya sahip, yüksek yoğunluklu parça üretimi yapılabilir.
- Belirli derecede gözenekli ve geçirgen parça üretimi yapılabilir.
- Aşınma dayanımını arttırmak için gözeneklere yağ ve polimer emdirilebilir.
- Yüksek hızlı seri imalata uygundur.

Zayıf Yönleri

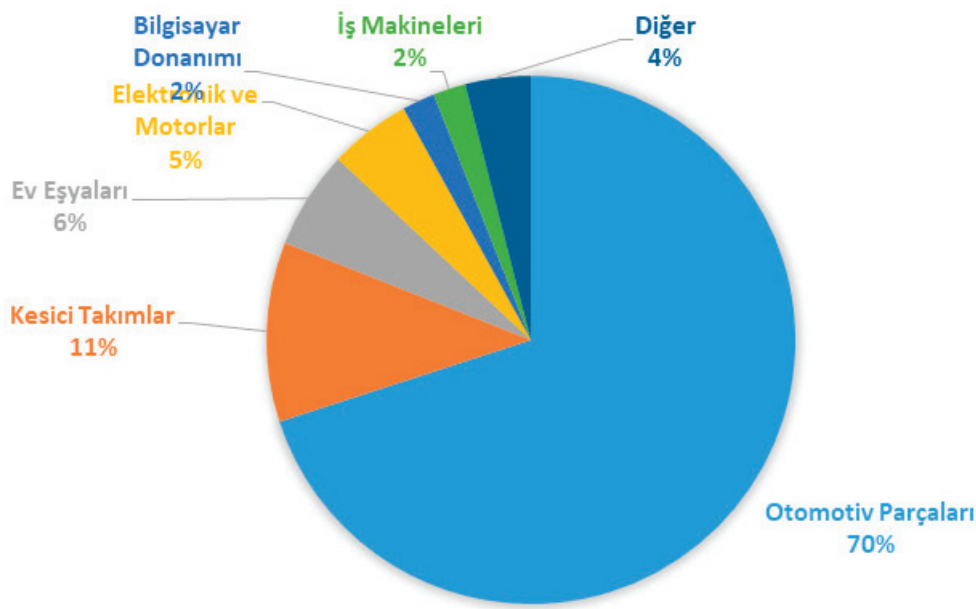
- Takım ve ekipman maliyetleri yüksektir.
- Tozların kalıp içindeki akışı sınırlıdır. Çok kısıtlayıcı bir faktör olabilir. Bu nedenle üretilecek parça şeklinin tasarımına dikkat edilmeli ve akış analizi çok hassas şekilde yapılmalıdır.
- Karmaşık geometrili parçalarda yoğunluk, parçanın her yerinde aynı olmayabilir.
- Üretilen parçaların mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için ek işlemler (yüzey kaplama, emdirme, vb.) gerekebilir.
- Metal tozları, zor üretilir ve ingot halindeki malzemelerden çok daha pahalıdır. Depolama ve nakliyesinde ortam şartlarına dikkat edilmelidir.
- Metal tozları aşındırıcı etkiye sahiptir.

1.3. Toz Metalürjisinin Kullanım Alanları

Toz metalürjisinin uygulama alanları oldukça geniştir. Tungsten lamba teli, diş dolgusu, diş implantı, kendinden yağlamalı yatak, otomotiv güç aktarma dişlileri, zırh delici mermi, elektrik kontakları, motor fırçaları, mıknatıs, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarj edilebilir piller, jet motoru parçaları, kesici takımlar (insert uçlar, frezeler, testereler, vb.) toz metalürjisinin kullanım alanı örnekleridir.

Metal tozlar boyalar, patlayıcılar, havai fişek, işaret fişeği, flaş tozu, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mürekkepler, sert lehim bileşikleri de bu yöntemle elde edilir.

Toz metalürjisi yönteminin kullanımı sektörler bazında aşağıdaki görseldeki gibi dağılmaktadır.



Görsel 76: Sektörlerde Toz Metalürjisi Kullanımı

1.4. Toz Metalürjisinde Önemli Kavramlar

Toz metalürjisi ile ilgili çalışmaları anlayabilmek için bazı tanımlamaların açıklamalarının bilinmesi gerekmektedir.

Sıkıştırılabilirlik: Tozların basınç altında sıkışma ve yoğunlaşma kabiliyetidir. Şekilleri düzgün olmayan tozlar daha zor sıkıştırılır ve eklenen yağlayıcı maddeleri absorbe ederek etkisini azaltır.

Sıkıştırma Oranı: Gevşek toz hacminin, sıkıştırılmış toz hacmine oranıdır. Genel uygulamada 2:1 ile 3:1 arasında değişiklik gösterir. Düşük sıkıştırma oranları, daha sığ kalıp derinliği gerektireceğinden pres takımlarının kırılma ve aşınmasını azaltır, kısa hareket miktarıyla daha hızlı dolgu yapılmasını sağlar.

Görünür Yoğunluk: Birim hacimdeki gevşek tozun ağırlığıdır. Teorik malzeme yoğunluğunun %20-50'sini oluşturur. Küresel tozlar çok yüksek, köşeli tozlar yüksek ve gözenekli tozlar düşük görünür yoğunluktadır.

Vurgu Yoğunluğu: Ölçekli cam kaba konulan tozların masaya vurularak ya da titreştirilerek yerleşmesi sağlandıktan sonraki yoğunluktur.

Ham Mukavemet: Presleme işlemi sonrasında (sinterleme işlemi görmeden) ham parçanın mukavemetidir. Düzgün şekilli tozlar düşük, düzgün olmayan şekilli tozlar ise yüksek ham mukavemete (tozlar kolayca kenetlendiğinden) sahiptir.

Sinterlenebilirlik: Sinterleme kolaylığının ölçüsüdür.

Öğütme Tipi: Mekanik alaşımlamada farklı türlerde öğütücüler kullanılır. Tozun cinsine ve miktarına göre öğütücü seçilir. Öğütücülerde işlem hızını, zamanını ve öğütme sıcaklığını kontrol edecek düzeneklerin olması gerekir.

Öğütücü Kap: Karıştırılan tozların kabın iç duvarlarını aşındırması veya bilyelerin etkisiyle tozlar kirlenebilir. Bunu engellemek için sertleştirilmiş çelik, paslanmaz çelik veya wolfram karbür gibi alaşımlı malzemeden yapılmış öğütme kapları kullanılır.

Kap Doluluk Oranı: Mekanik alaşımlamanın etkin bir şekilde gerçekleşebilmesi için; kabın yarısının veya biraz daha fazla kısmının boş olması gerekir. Kabın içerisindeki tozların rahatça bilyelerle çarpışıp enerji kazanması gerekir. Gereğinden fazla doluluk oranı varsa alaşımlama işlemi uzun sürer.

2. TOZ ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

2.1. Toz Hazırlama Yöntemleri

Metal tozlarının elde edilmesi için kullanılan teknikler, tozların birçok özelliğini belirler. Tozun geometrik şekli, üretim yöntemine bağlı olarak küresel, köşeli ya da karmaşık şekilli olabilmektedir. Tozun yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişiklik gösterir. Malzemelerin çoğu, özelliklerine uygun bir teknik kullanılarak toz haline getirilebilir. Toz elde etmek için 4 ana yöntem kullanılmaktadır.



Görsel 77: Toz Hazırlama Yöntemleri

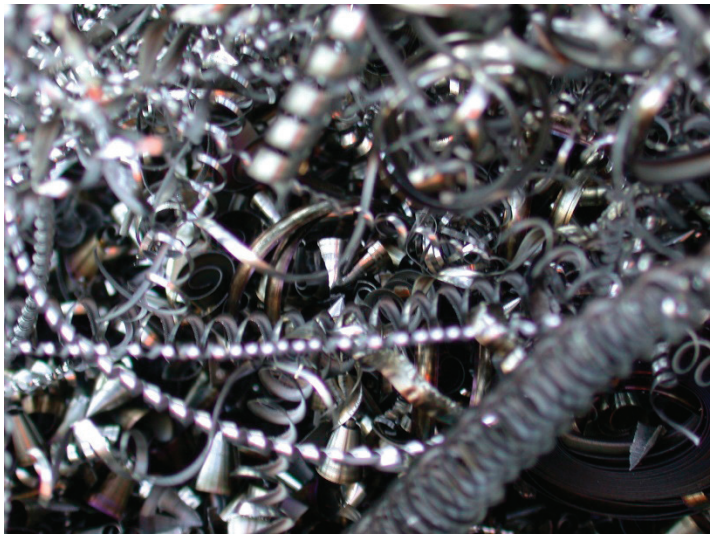
Malzeme Türü	Kullanılan Toz Üretim Yöntemleri
Alaşımlı Çelikler	Su Atomizasyonu, Gaz Atomizasyonu, Dönen Elektrot
Alüminyum	Hava Atomizasyonu, Gaz Atomizasyonu, Mekanik Öğütme
Sert Metaller (WC-Co)	Mekanik Öğütme
Kobalt	Kimyasal Çökeltme, Kimyasal İndirgeme
Kompozitler (AL-SiC, vb.)	Mekanik Alaşımlama, Vakum Atomizasyonu
Bakır	Elektrolitik, Su Atomizasyonu, Gaz Atomizasyonu, Kimyasal Çökeltme, Kimyasal İndirgeme
Bakır Alaşımları	Su Atomizasyonu, Hava Atomizasyonu
Altın	Elektroliz, Hava Atomizasyonu, Kimyasal Çökeltme
Demir	Kimyasal İndirgeme, Su Atomizasyonu, Elektroliz, Gaz Atomizasyonu
Nikel	Elektroliz, Su Atomizasyonu
Nikel Alaşımları	Gaz Atomizasyonu, Su Atomizasyonu
Reaktif Metaller (Ti, vb.)	Kimyasal Çökeltme, Kimyasal İndirgeme
Isıya Dayanıklı Metaller (W)	Kimyasal Çökeltme, Kimyasal İndirgeme, Vakum Atomizasyonu
Uranyum	Kimyasal İndirgeme

Görsel 78: Malzemeye Göre Sık Kullanılan Yöntemler

2.1.1. Mekanik Yöntemler

2.1.1.1. Talaşlı Üretim

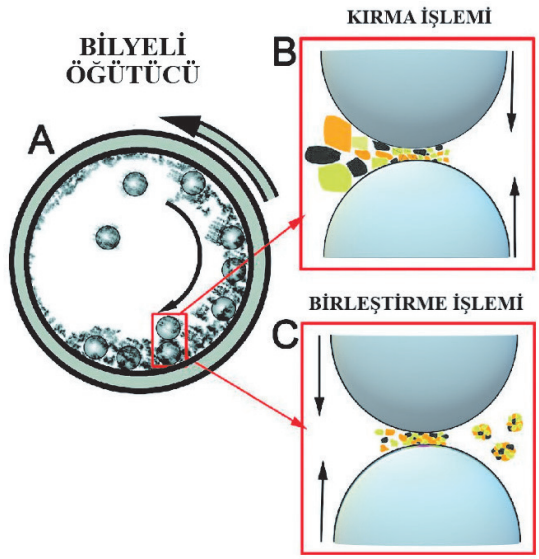
Talaşlı imalat ile elde edilen birçok metalik malzeme talaşı uzun ve gevrek bir yapı içerir. Bunlardan elde edilen tozlar oldukça iridir ve saf değildir. Bu talaşlar, kimyasal yollarla temizlenir ve boyutlarının küçültmesi için öğütme işlemine tabi tutulur.



Görsel 79: Metal Talaşı

Hem talaşların iri oluşu ve öğütme gerektirmesi nedeniyle yavaş bir yöntem olması, hem de üretim sırasında talaşlı imalatta kullanılan soğutucu sıvı ve yağlar nedeniyle kirlenme oluşması yöntemin dezavantajlarıdır. Bu nedenle, toz üretim yönteminin seçiminde öncelikli bir yöntem değildir.

2.1.1.2. Mekanik Öğütme



Görsel 80: Mekanik Öğütme İşleminin Uygulanması

Mekanik öğütme, sert metal ya da seramikten yapılmış bilyelerin çarpması sonucu oluşan darbe etkisiyle özellikle gevrek ve kırılgan malzemelerin ufalanarak toz haline getirilmesi işlemidir. Toz üretim yöntemleri içerisinde eski ve en klasik olanıdır. Daha çok boyacılık ve baskı uygulamaları için metal tozu üretiminde kullanılır. Buradaki temel mekanizma, parçalanacak malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır.

Öğütücünün dönme hızı önemlidir. Yüksek hız malzemenin ve bilyelerin öğütücü duvarlarına yapışmasına ve dolayısıyla malzeme ve bilyeler arasındaki hareketin azalmasına sebep olur ve topaklaşma meydana gelir. Düşük bir hız ise öğütücünün alt kısmında yeterli olmayan bir hareket meydana getirir. İdeal dönme hızı bilyelerin ve malzemenin öğütücünün en üst kısmına kadar yükselerek, geriye kalan malzemenin üzerine düşmesini sağlamalıdır.

Eğer öğütülen malzeme gevrek ise, bilyelerle çarpışmanın etkisiyle çok küçük tozlara bölünür.

Öğütülen malzeme sünek parçacıklardan oluşuyorsa, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşır. Ancak aşırı deformasyon sertleşmesi sonucunda gevrekleşerek daha küçük toz parçacıklarına bölünebilir. Öğütme işleminin su veya alkol içinde gerçekleştirilmesi öğütme süresini kısaltmasının yanında daha ince tozlar üretilmesini de sağlar.

Mekanik yöntemle çok sert veya gevrek olan metal alaşımları ve seramik malzemelerin tozlarının üretimi yapılabilir. Bu yöntemle üretilen başlıca metal tozları alüminyum, bakır ve pirinçtir. Bunlar haricinde kalay, kurşun, mangan, kobalt, silisyum, çinko, demir ve bakır esaslı malzemelerdir.

2.1.1.3. Mekanik Alaşımlama

Mekanik alaşımlama, genellikle homojen dağılıma sahip, kontrollü ve oldukça ince tozlardan oluşan, katı hal reaksiyonu şeklinde gerçekleşen yüksek enerjili öğütme işlemidir. Bu yöntemde alüminyum, bakır, magnezyum, demir, paslanmaz çelik gibi metalik malzemeler içerisine SiC, TiC, TiN, SiO_2, B_2C, Al_2O_3 vb. oksit, karbür veya nitrür takviye edilerek kompozit elde edilir.

Bu yöntemle toz üretimi esnasında önemli parametreler; ham madde, bağlayıcı elemanlar, öğütme türü, bilye-toz oranı, öğütme hızı, öğütme zamanı, öğütme atmosferi ve değirmen sıcaklığıdır. Bu yöntem, farklı malzeme tozlarının bir araya getirilerek alaşım tozu üretiminde kullanılır.



Görsel 81: Mekanik Alaşımlama Cihazı

2.1.2. Kimyasal Yöntemler

Bu yöntem ilk olarak bakır tozlarının üretimi için kullanılmıştır. Sonrasında sünger demir üretimi için demir tozu üretimi için kullanılmış ve standartlaştırılmıştır. Yöntemin uygulamasında; demir elektrolizinde, düşük karbonlu demir katot olarak kullanılır ve metal tozu paslanmaz çelik anotlar üzerinde biriktirilir. Elektrolit olarak, sülfat veya klorür kullanılır.

Saf ve yoğun demir elementi, hidrojen içeriği nedeniyle gevrektir. Bu gevreklik, mekanik öğütme işlemini kolaylaştırdığı için bir avantajdır. Ancak, elektrolitik demir tozu üretimi ekonomik olmadığı için bu tozların bu yöntemle üretimi yaygın değildir. Diğer yandan metalik malzemelerin birçoğunun tozları kimyasal yöntemlerle üretilebilmektedir.

Toz üretiminde kimyasal yöntem olarak; Sol-Jel, Kimyasal Çökeltme, Kimyasal Reaksiyon, Kimyasal Buhar Çökeltme (CVD), Kimyasal İndirgeme, Ayrışma (Dekompozisyon), Elektrolitik yöntemleri kullanılmaktadır.

2.1.3. Elektroliz Yöntemi

Metal tozlarının elektroliz yöntemiyle üretiminde klasik elektroliz sistemi kullanılır. Anot, katot ve elektroliz banyosundan oluşan bu sistemde tozu üretilmek istenen ham madde anotta çözünür ve katot üzerinde birikir. Metal parçacıkların birikmesi; bakır ve gümüş gibi gevşek veya demir ve manganez gibi sıkı ancak gevrek bir tabaka halinde olur. Her iki halde de, katotta toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilir.

2.1.4. Atomizasyon Yöntemleri

Endüstride en yaygın kullanılan yöntemdir. Günümüzde üretilen metal tozlarının yaklaşık %80'i atomizasyon yöntemleriyle elde edilir. Genellikle ergitilebilen tüm metalik malzeme tozları bu yöntemlerle üretilir.

Bu yöntemde, pota içerisinde ergimiş halde bulunan sıvı metal serbest veya üstten bir basınç yardımı ile üzerinde küçük delikler bulunan dar bir alandan geçirilir. Bu çıkış esnasında ergiyik metal üzerine su, yağ veya farklı gazlar gönderilerek sıvı metalin küçük parçalara ayrılması sağlanır. Soğuk bir yüzeyle karşılaşan metal parçacıkları düşme zamanına bağlı olarak farklı şekillerde katılaşır.

Atomizasyon teknikleriyle; bir tozun ortalama boyutu, şekli, kimyasal bileşimi ve mikro yapısı kontrol edilebilir. Bu ana özellikler, tozların ve bitmiş metal parçaların görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve tokluk gibi özelliklerini belirler. Atomizasyon teknikleriyle sağlanan yüksek üretim hızı, ekonomik bir üstünlüktür. Ayrıca saf ve alaşımlı tozların üretiminde uygulanabilirlikleri ve karakteristiklerin kontrolündeki kolaylıkları bu teknikleri daha yaygın hale getirmiştir. Günümüzde paslanmaz çelik, pirinç, demir, alüminyum, çinko, kalay ve kurşun gibi metal ve alaşımların tozlarının üretiminde oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Atomizasyon yönteminin uygulanmasında 6 temel teknik bulunmaktadır.

- Gaz Atomizasyonu
- Su Atomizasyonu
- Yağ Atomizasyonu
- Vakum Atomizasyonu
- Dönen Elektrot
- Ergiyik Döndürme

2.2. Yağlayıcı ve Bağlayıcılar

2.2.1. Yağlayıcılar

Toz sıkıştırma işlemi sırasında, toz tanecikleri arasındaki sürtünmeyi ortadan kaldırarak tozların akıcılığını arttırmak, şekillendirmede meydana gelen enerji kayıplarını azaltmak ve tozun sıkıştırılabilirliğini artırmak için, toz içerisine belirli oranlarda katılan maddelere **yağlayıcılar** denir.

Presleme esnasında toz tanecikleri ve kalıp iç duvarları arasında meydana gelen sürtünme olayı, sıkıştırma basıncının artmasına ve kalıbın aşınmasına sebep olur. Oluşan sürtünme kuvveti, presleme ile şekillendirilmiş parçanın kalıp içerisinden çıkartılması esnasında parçanın katı halini muhafaza etmesini olumsuz yönde etkiler.

Çinko stearat, alüminyum stearat, lityum stearat, magnezyum stearat, kalsiyum stearat, stearik asit ve grafit en çok kullanılan yağlayıcılardır.

Yağlayıcı Madde	Kimyasal Gösterim	Ergime Sıcaklığı (C°)	Buharlaşma (Ayrışma) Sıcaklığı (C°)
Stearatlar	$Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$	140	335
	$Ca(C_{18}H_{35}O_2)_2$	180	350
	$Pb(C_{18}H_{35}O_2)_2$	116	360
Stearin	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	69,4	360
Benzol	C_6H_5COOH	122	249
Sülfürler	MoS_2	1185	-
	WS_2	1258	-
Kapron Asidi	$CH_3(CH_2)_4COOH$	-4	205
Grafit	C-kristalin	3500	-

Görsel 82: Sık Kullanılan Yağlayıcılar

2.2.2. Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, yağlayıcılardan farklı olarak, preslenmiş kütlenin ham dayanımını artırmak üzere toz halde iken katılır. Bağlayıcı, tozu istenilen geometriye sokmak ve o şekli sinterlemeye kadar muhafaza etmek için geçici olarak ilave edilen maddelerdir.

Bağlayıcılar, kusursuz bir son şekil elde etmek için yağlayıcılardan daha fazla etkiye sahiptir. Ucuz olmaları ve ısıl ergime sıcaklıklarının düşük olması nedeniyle, bağlayıcı olarak genelde mum benzeri polimerler kullanılır.

Kullanılan Toz Üretim Yöntemi	Kullanılan Bağlayıcı Bileşimi (% ağırlık)
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

Görsel 83: Üretim Yöntemine Göre Kullanılan Bağlayıcılar

2.3. Toz Şekillendirme Yöntemleri

Toz şekillendirme teknolojisinin uygulaması genel olarak 4 temel adımda gerçekleşir.



Görsel 84: Şekillendirme İşlem Adımları

Toz metalürjisi ile şekillendirme işlemlerinde yaygın olarak 5 üretim yöntemi kullanılmaktadır.

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

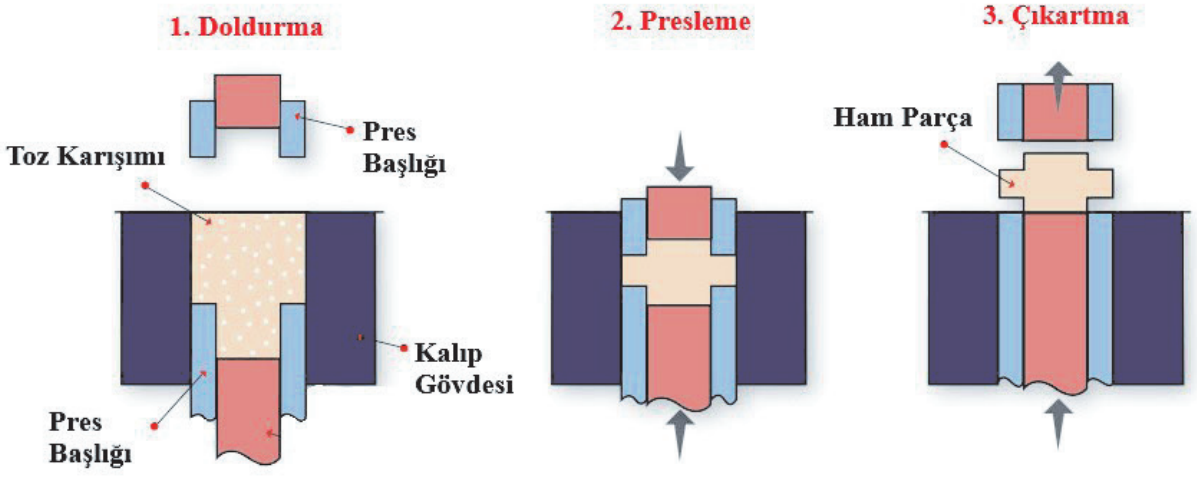
2.3.1. Presleme Yöntemi

Toz tanelerinin sıkıştırılarak ürün hale dönüştürülmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Presleme işlemi, çelikten yapılan tek veya çift taraftan sıkıştırılabilen bir hacim kalıbı ile gerçekleştirilir. İmal edilecek parçanın şekil ve boyutları tam olarak verilmeye çalışılır. Bu işlemle parçaya şekil ve boyutlandırma haricinde, istenilen düzeyde ham yoğunluk ve mekanik dayanım kazandırılır.

Daha yüksek sıkıştırma ve yoğunluk için daha yüksek basınca ihtiyaç duyulur. Sıkıştırılan toza 1.4. bölümündeki önemli kavramlar kısmında anlatılmış olduğu gibi **ham parça** adı verilir. Presleme sonrası yoğunluğa **ham yoğunluk** ve presleme sonrası mukavemete ise **ham mukavemet** adı verilir. Presleme, mekanik ya da hidrolik olarak uygulanır.

Presleme işlemi 3 aşamada gerçekleştirilir.

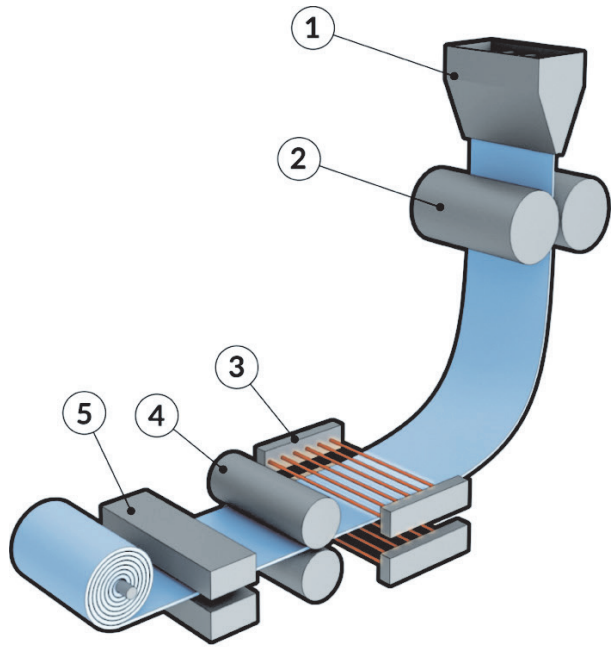
- Kalıp boşluğuna hesaplanan miktarda metal tozu, yağlayıcı ve bağlayıcı karışımının doldurulması
- Tek ya da çift taraflı presleme ile tozun basınç altında sıkıştırılması
- Kalıp içerisinden ham parçanın çıkartılması



Görsel 85: Presleme İşlem Basamakları

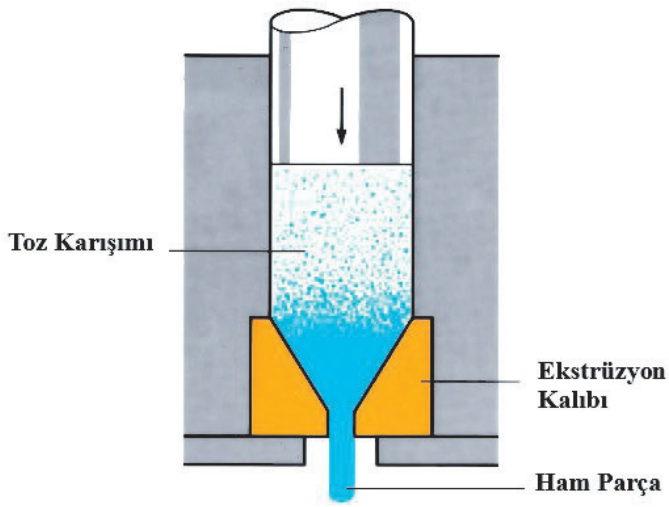
2.3.2. Haddeleme Yöntemi

Bu yöntemle levha, çubuk ve şerit gibi basit geometrik şekle sahip parçaların üretimi yapılabilir. Toz karışımı bir besleyiciden haddelerin arasına aktarılarak sıkıştırılır ve bu sayede sürekli şekillendirme işlemi gerçekleşir. İstenilen basınçta sıkıştırmak amacıyla haddeler arası mesafenin doğru ayarlanması gerekir. Düşey ve yatay olarak iki farklı pozisyonda gerçekleştirilecek haddeleme işlemiyle tozlar sürekli olarak sıkıştırılır. İstenildiğinde ikili veya üçlü haddeleme yapmak mümkündür. Hadde silindirlerinden sonra yerleştirilecek bir fırınla sürekli pişirme ve onu takiben sıcak haddeleme işlemleriyle sürekli formda üretim yapılır.



Görsel 86: Haddeleme ile Üretim

2.3.3. Ekstrüzyon Yöntemi

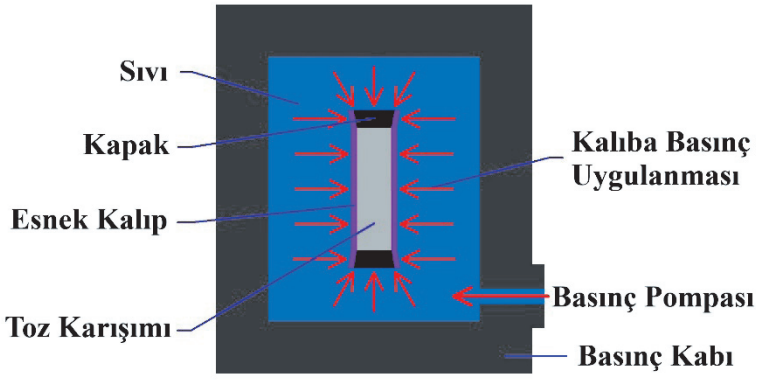


Görsel 87: Ekstrüzyon ile Üretim

Ekstrüzyon yöntemiyle çubuklar, tüpler, çokgen profilli parçalar ve matkap ucu gövdesi gibi uzun ince şekillerin üretimi yapılır. Toz ve bağlayıcı içeren karışım ısınmış olan hazneye yerleştirilir ve bir piston vasıtasıyla sıkıştırılır. Şekil verme kalıbı haznenin çıkışına yerleştirilmiştir. Doldurulan tozların uçtaki kalıptan akışı uygulanan basınca bağlı olarak değişir.

2.3.4. İzostatik Presleme Yöntemi

İzostatik presleme büyük, uzun, ince veya kalıpta sıkıştırma yöntemiyle homojen olarak sıkıştırılması mümkün olmayan zor olan parçaların üretilmesinde kullanılır. Yüksek sıcaklık ve basınçta, taneciklerin eşit ve kuvvetli difüzyon bağları yoğunlaşması ile birlikte şekillendirilmesi yöntemidir. Kullanılan esnek kalıp plastik, lateks, poliüretan veya polisilikondan yapılır.



Görsel 88: İzostatik Presleme Yöntemi

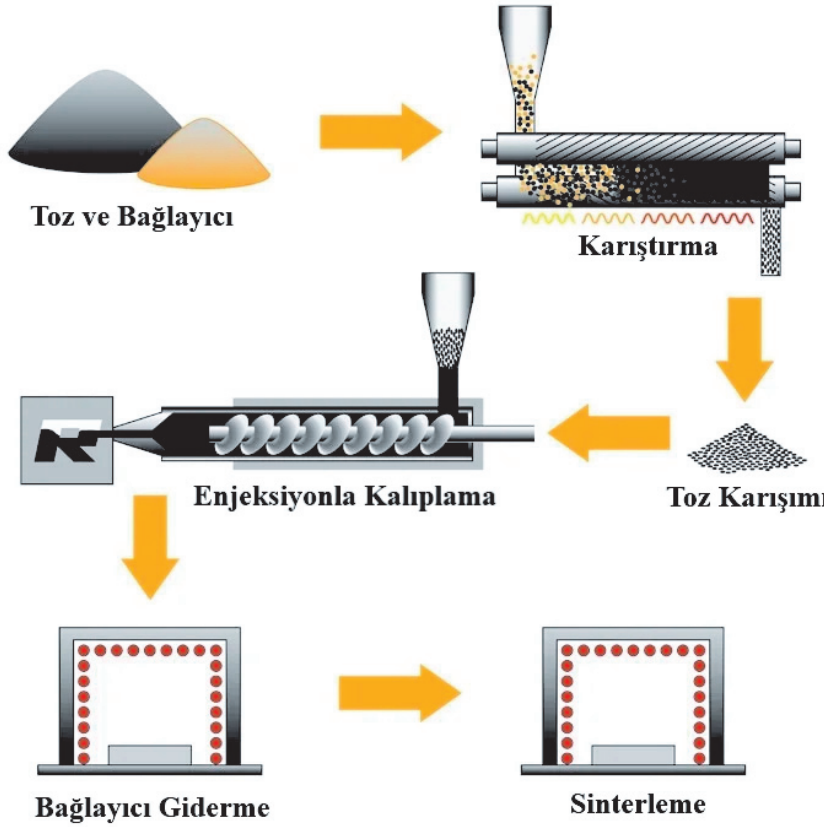
İzostatik basınçtan dolayı, sıkıştırılan parçanın boyutu ve şekli ne olursa olsun parçada homojen bir yoğunluk dağılımı ve bütün yönlerde eşit gerilme vardır. Mükemmel mikro yapıya ve elektriksel özelliklere sahiptir. Kalıp duvarı sürtünmesi olmadığı için, sıkıştırılmış malzemelerde kalıntı gerilmesi oluşmaz. İşlenmesi ve geleneksel kalıplarla üretilmesi zor malzemelerden parça üretimi mümkündür. İşçilik ve enerji maliyeti bakımından daha ekonomiktir.

2.3.5. Toz Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Plastiklerin enjeksiyonla üretim yöntemlerine benzerlik göstermektedir. Belirli forma, girinti ve çıkıntılara sahip olan parçaların üretimi bu yöntemle yapılabilir. Parça ve enjeksiyon kalıbı tasarımında kalıptan çıkma yönündeki yüzey açılarına ve parçada keskin kenarlar olmamasına dikkat edilmelidir.

Toz enjeksiyonla kalıplama yönteminde 4 temel adım bulunmaktadır.

- Karıştırma
- Enjeksiyonla kalıplama
- Bağlayıcı giderme
- Sinterleme

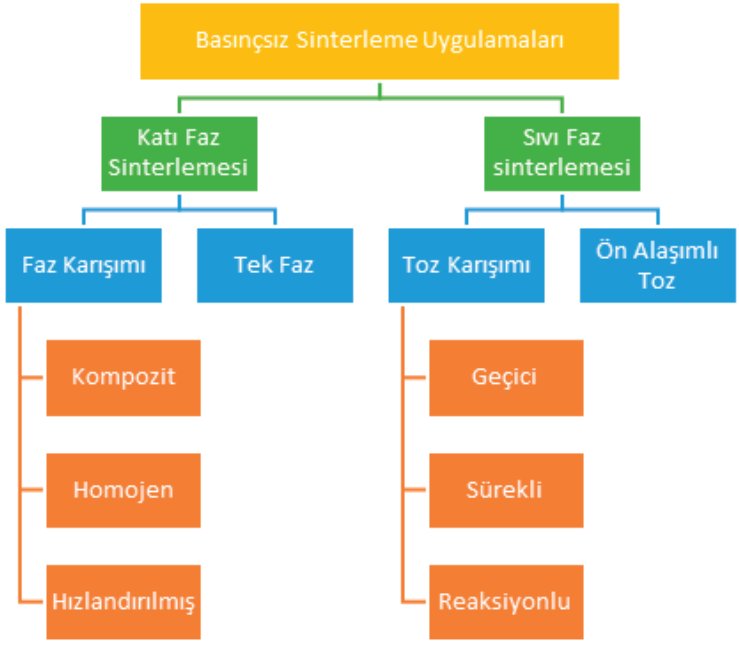


Görsel 89: Toz Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

3. SİNTERLEME

Sinterleme, birbirine temas eden parçacıkların yüksek sıcaklıklarda ısıtılması sonucu birbirine bağlanmasını sağlama işlemidir. Parçacıklar arası mekanik bağlar, kimyasal nitelik kazanır. Bu bağlanma ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle de oluşabilir. Fakat birçok durumda sıvı faz oluşumu ile birlikte gerçekleşir. Parçacıklar arası bağlanma mikro yapıda temas eden parçacıklar arasında boyut büyümesi ile kendini gösterir. Bu tür boyut büyümesi, ham mukavemete oranla mukavemetin artması ve diğer birçok özelliğin gelişmesini sağlar. Sinterleme yüksek sıcaklıkta atomların hareketi ile parçacıkların birleşmesi sonucu serbest parçacıklara göre yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir.

Toz üretimi büyük ölçüde yüzey oluşturma veya yüzey enerjisini artırma işlemidir. Malzemeye enerji vererek yapılan sinterleme işlemiyle, parçacıkların birleşmesiyle bu enerji ortadan kaldırılır. Basınçsız sinterleme işlemleri, katı faz sinterlemesi ve sıvı faz sinterlemesi olmak üzere 2 farklı yöntemle uygulanır.



Görsel 90: Basınçsız Sinterleme Yöntemleri

3.1. Sinterleme İşlemi

Sinterleme işlemi özel koruyucu atmosfer veya vakum altında yapılır. Sinterleme sırasında kullanılan atmosferlerin görevleri şunlardır.

- Parça ve çevresi arasında olabilecek reaksiyonları (oksitlenme vb.) önlemek veya azaltmak.
- Sinter parçasını absorbe edilmiş artıklardan, oksit filmlerinden, yabancı maddelerden arındırmak.
- Sinter parçası ile alaşım yaparak sinterlemeyi hızlandıracak bir veya daha fazla element sağlamak.

Sinterlemede Sık Kullanılan Gazlar ve Ortamlar

Hidrojen: Birçok metal oksidini indirger. Yanıcı ve patlayıcıdır. Isı iletimi çok iyidir, ısı kayıplarını artırdığı gibi soğuma ve ısınma hızlarını da artırır.

Azot: Saf azot birçok elementle reaksiyona girebilir. Katı çözelti ve nitrür çökeltileri oluşturarak kırılganlığı artırır. Genellikle fırınların temizlenmesi için kullanılır.

Hidrojen - Azot Karışımları: Amonyağın ayrıştırılmasıyla %75 H_2 ve %25 N_2 karışımı elde edilir. İndirgeyici özelliktedir.

Hidrokarbon Gazları: Yakıt nitelikli bir gazın havayla belirli oranda karıştırılarak yakılmasıyla elde edilen ucuz karışımlardır. "Zengin" karışım yüksek; "Fakir" karışım ise düşük H_2 ve CO içerir. Bu gazların yanıcılığı az, ısı iletkenliği yüksektir. H_2 ve CO miktarı yüksek olduğundan indirgeyici ve yanıcıdır.

Argon ve Helyum: Asal gazlar olup fiyatları yüksektir. Nötr atmosfer oluşturur.

Vakum: Gazlarla bileşik yapma eğiliminde olan metal ve alaşımlar için kullanılır. Vakumda sinterleme işleminde hava gözenekleri tamamen yok olacağından yüksek yoğunluk elde edilebilir. Ancak, kolay buharlaşan metaller, pompa yağından veya grafit fırın ısı elemanlarından gelen karbon bir miktar kirlenmeye neden olabilir.

3.2. Sinterleme İşleminin Kullanıldığı Alanlar

Sinterleme işleminin uygulaması toz metalürjisi kullanılarak üretilen tüm parçalar ve bu parçaların kullanıldığı sektörlerde uygulanmaktadır. Sinterleme ile malzemenin mukavemet, tokluk, peklik, aşınma dayanımı gibi mekanik özellikleri iyileşir.

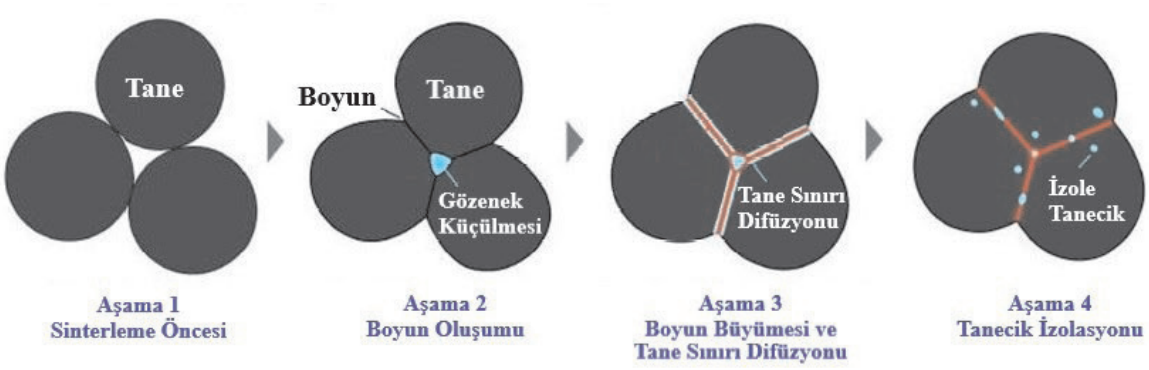
Uçak fren balataları, lamba filamentleri, elektrik kontaktörleri, yataklama elemanları, seramik rulmanlar, zırh delici mermiler, otomobil transmisyon milleri, ortopedik protezler, yüksek sıcaklık filtreleri, elektronik kapasitörler, saat gövdeleri, jet motoru türbinleri, kesici takımlar için değiştirilebilir (insert) uçların üretiminin son aşamasında sinterleme uygulanmaktadır.

3.3. Sinterleme uygulamaları

3.3.1. Katı Faz Sinterlemesi

Katı faz sinterlemesi, preslenerek ham mukavemet kazandırılmış toz metal parçalarına, çalışma ortamındaki şartlara dayanabilecek özellikleri kazandırmak amacıyla ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta ısıl işlem uygulanmasıdır. Tek bileşenli (saf metal) toz metal parçalarda sinterleme sıcaklığı genellikle metalin ergime sıcaklığının 2/3 veya 4/5'i alınarak tespit edilir. Çok bileşenli parçalar içinse sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığı düşük olan bileşenin ergime sıcaklığının hemen üzerinde, ergime sıcaklığı yüksek olan bileşenin ergime sıcaklığının ise altında seçilir.

Katı faz sinterlemesi, ham mukavemet kazandırılan presleme aşaması da dahil edildiğinde 4 aşamadan oluşur. Sinterleme işleminin uygulanması ise, başlangıç aşaması, ara aşama ve son aşama olarak 3 ana adımda gerçekleştirilir.



Görsel 91: Katı Faz Sinterleme İşlem Adımları

3.3.1.1. Başlangıç Aşaması

Sinterlemenin başlangıç aşamasında her parçacık üzerinde birkaç noktada boyun büyümesi başlar. Tanecikler arasında oluşan boyunlar, birbirinden bağımsız olarak büyür. Bu durum Görsel 91'de "Aşama 2" olarak gösterilmiştir. Preslenmiş parça kütlesinde temas noktalarının alanı daha küçüktür. Başlangıçta gözenekler düzensiz ve köşeli şekildedir.

Tane sınırlarının çoğu gözeneklerle kesiştiğinden tane büyümesi için daha fazla engel vardır.

Parça boyutlarında değişme görülmez. Parçacıkların temasını azaltacak nitelikte oluşumlar (yüzey oksitler, vb.) bu aşamayı güçleştirir. Bu durum sinter işlemi sonrası mukavemeti olumsuz etkiler.

3.3.1.2. Ara Aşama

En önemli gelişmeler bu aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamada; gözenek yuvarlaklaşması, tane büyümesi ve yoğunluk artışı gerçekleşir. Bu durum Görsel 91'de "Aşama 3" olarak gösterilmiştir.

Bu aşamada, boyunlar birbiri ile etkileşecek ve birbiri üzerine gelecek kadar büyür. Gözenekler yuvarlaklaşıp düzgün hale gelse de birbiri ile bağlantılıdır. Sinterlemenin ilerlemesiyle taneler büyür ve gözenekler küçülür. Bu aşamanın sonuna doğru küresel ve kapalı gözenekler oluşur.

Bu aşamada yoğunluk, teorik yoğunluğun % 92' si seviyesine ulaşır ve gözenek yapısı düzgündür. Boşlukların ortadan kalkması tane büyümesi, tane dönmesi ve tane bükülmesi ile gerçekleşir. Tane sınırında bulunan gözenekler kaybolur, tane sınırında olmayan gözeneklerin boyutu ise değişmez. Bu aşamada yüzey taşınımı aktiftir, ancak yoğunluk artışına etki etmez.

3.3.1.3. Son Aşama

Bu aşamada içyapıda kapalı gözenekler bulunur. Gözenek boyutu, eğer kapalı gözenekler hareketli ise tane büyümesi sırasında tane sınırları ile birlikte hareket ederek yoğunlaşmanın artmasını sağlar. Yüzey enerjisinin çoğu kullanıldığından, bu aşamada sinterleme nispeten yavaştır. Kalıntı yüzey enerjisi azaldıkça sinterleme de yavaşlar.

Gözenekler kapanır, birbirinden ve tane sınırlarından ayrılarak, küresel veya mercek şeklini almaya çalışır. Görsel 91'de "Aşama 4" olarak gösterildiği gibi gözenekler sınırda yer alıyorsa, kütlesel taşınımla küçülür. Gözenekler tane sınırlarından ayrılırsa küresel gözenekler oluşur. Bazı hallerde tane büyümesi gibi gözenek büyümesi de oluşur. Gözenekte hapsolmuş gaz varsa gözeneğin ortadan kalkmasını yavaşlatır ya da engeller. Bu nedenle, tam yoğun parça üretilmek istenirse vakumda sinterleme tercih edilir.

Bu aşamanın sonuna doğru gözenekler küresel şekilli ve kapalıdır. Aşırı tane büyümesi görülür. Başlangıçtaki parçacıklar mikro yapıda görünmez olur.

3.3.2. Sıvı Faz Sinterlemesi

Sıvı faz sinterlemesi sırasında, sıvı bir faz ve katı bir toz kümesi aynı ortamda bulunur. Genellikle sıvı faz, sinterleme esnasında parçacıklar arası bağ oluşumunu arttırır. En önemli avantajı, sinterleme hızını artırmasıdır. Dışarıdan bir basınç olmaksızın hızlı bir yoğunlaşma meydana gelir.

Sıvı faz, katı parçacıklar arasındaki sürtünmeyi azaltarak yeniden düzenlenmeyi hızlandırır. Katı partiküllerin kenarları ve köşeleri yüksek kimyasal potansiyele sahip olduklarından, sıvı faz içerisinde çözünmekte ve böylelikle partiküller yeniden düzenlenmektedir. Parçacıklar arası bağlanmaya eşlik eden mukavemet, süneklik, iletkenlik, manyetik geçirgenlik ve korozyon dirençi gibi faktörler gözenek yapısında ve parça özelliklerindeki önemli değişikliklerdir.

Sıvı faz sinterlemesinde sıvı faz oluşumu için iki ana mekanizma vardır. Bunlardan birincisi, farklı kimyasal bileşimlerde toz kullanmak olup en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Sinterleme sırasında farklı bileşimdeki tozların etkileşimi ile sıvı faz oluşur. İkincisi ise sıvı fazın toz karışımında bulunan bileşenlerinden bir tanesinin ergimesi veya ötektik faz oluşumu ile oluşmasıdır. Oluşan bu sıvı faz çözünme durumuna göre sinterleme sırasında alaşım oluşumu ile ortadan kalkabilir (geçici sıvı faz sinterlemesi veya reaktif sinterleme) veya sinterleme süresince içyapıda sürekli olarak bulunabilir (sürekli sıvı faz sinterlemesi).

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.

Tane büyüklüğünün kontrolü mümkündür. Sıvı faz sinterlemesine uygun birçok sistemde, ergime noktası yüksek olan faz aynı zamanda sert fazdır. Bu yöntemle iki fazlı sünek kompozit malzeme üretilebilir.

Sıvı faz sinterlemesinin en önemli sakıncası fazla oranda sıvı faz oluşumuyla ortaya çıkan şekil bozulmasıdır. Mikro yapıyı kontrol eden bazı parametreler üretilen parçanın özelliklerini de kontrol etmektedir. Sinterlemenin başlangıç aşamasında sıvı, katı ve buhar olmak üzere üç faz vardır. Buna göre ara yüzey enerjileri, çözünürlük, viskozite, difüzyon etkileri ile birlikte sıvı faz sinterlemesinin analizini güçleştirmektedir. Hızlı sinterleme işlemin kontrolünü ve elde edilecek özelliklerin önceden tahminini zorlaştırmaktadır.

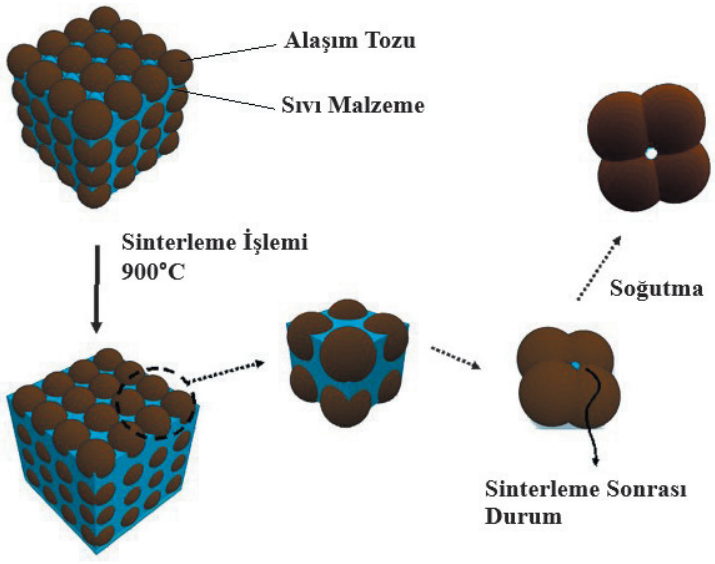
3.3.2.1. Sıvı Faz Sinterleme Aşamaları

Başlangıçta, ısıtma sırasında taneler katı hal sinterlemesi ile birbirine bağlanmaktadır. İlk sıvı oluştuğunda, tanelerin yeniden düzenlenmesi ile hızlı bir yoğunluk artışı olmaktadır. Oluşan sıvı,

katıyı ıslatarak oluşmuş olan katı bağlarını çözer ve yeniden düzenlenmeyi sağlar. Ardından, çözelti tekrar çökelme olarak bilinen işlemde, sıvı katı atomların taşıyıcısı olmaktadır. Bu aşamada daha küçük tane kütleleri sıvı içerisinde çözünür ve büyük tanelerin üzerine çökelir. Katı tane çözünürlüğü tane boyutu ile ters orantılıdır. Dolayısıyla, öncelikle küçük taneler sıvı faz içinde çözünür. Zamanla tane sayısı azalır ve tane boyutu artar. Ana toz proses sırasında katı olarak kalırken, katkı tozu sıvı faz oluşumunu sağlar.

Çözelti-tekrar çökelme işlemi, küçük tanelerin çözünmesi ve daha sonra büyük tanelerin üzerine katı-faz çökelmesi ile tane büyümesini sağlar. Tane büyümesinin yanı sıra, işlem tane şekli yerleşimini sağlar. Katının daha iyi paketlenmesini ve kalan boşlukların doldurulması için sıvının serbest bırakılmasını sağlar.

Yayınım hızı genellikle çok yüksektir ve tam yoğunluğa dakikalar içinde ulaşılabilir. Ancak, düşük çözünürlük veya iri taneli sistemlerde yoğunlaşma yavaştır. Sıvının hacim oranı arttıkça gözenekleri dolduracak sıvı miktarı daha fazla olduğundan yoğunlaşma da kolaylaşır. Yerçekiminden dolayı ham parça çökmesi sorun olur.



Görsel 92: Sıvı Faz Sinterleme İşlem Adımları

3.3.2.2. Sıvı Faz Sinterleme Çeşitleri

3.3.2.2.1. Sürekli Sıvı Faz Sinterlemesi

Bu yöntemde, sinterleme işleminin yüksek sıcaklık aşamasında içyapıda sürekli olarak bulunan sıvı faz, hızlı yoğunluk artışı ile tane büyümesine neden olur. Başlangıçta katıyı ıslatan sıvının katı parçacıklar üzerine uyguladığı kuvvetler yardımıyla parçacıkların yeniden düzenlenmesi ile hızlı bir yoğunluk artışı olur. Yeniden düzenleme ile sağlanabilecek yoğunluk artışı, oluşan sıvı faz miktarına, parçacık büyüklüğüne ve katının sıvı fazda çözünürlüğüne bağlıdır.

Sıkıştırılmış kütle içerisindeki gözenek miktarının azalması sıvı faz akışını güçleştirir. Bu nedenle yoğunlaşma hızı giderek azalır. Belirli bir aşamadan sonra çözünürlük ve yayınma (difüzyon) daha etkin hale gelerek, çözünme ve tekrar çökelme safhasına geçilir. Bu işlemin oluşabilmesi için katı fazın sıvı fazda çözünürlüğünün olması gerekir. Alaşım oluşumu ile ergime sıcaklığının düşmesi sinterleme özelliğinin iyileştiğinin bir göstergesidir. Oluşan sıvı faz, katı fazı ıslatır ve aynı zamanda katıyı çözer. En başarılı sıvı faz sinterlemesi özelliği gösteren sistemler ötektik sistemlerdir.

Isıtma sırasında her toz parçacığı içinde sıvı faz oluşur. Bu durum parçacıkların tekrar parçalanmalarına neden olmakta ve karıştırılmış tozlara oranla sıvı faz dağılımı daha homojen olmaktadır. Sıvı oluşumuyla birlikte yoğunluk artışı çok hızlı olmakta ve artan sıvı oranıyla artmaktadır.

3.3.2.2.2. Geçici Sıvı Faz Sinterlemesi

Sinterleme sırasında oluşacak denge fazı katı ise sıvı faz, difüzyon homojenizasyonu ile kaybolur. Bu yöntemde sıkıştırılabilirliği yüksek saf element tozları kullanılabilir ve sürekli sıvı faz sinterlemesinde (SSFS) görülen tane irileşmesi olmaz. Bu yöntemin uygulanabilmesi için bileşenlerin birbiri içinde çözünebilmesi ve son bileşimin tek faz bölgesinde olması gerekmektedir.

Başlangıçta ergime noktası düşük olan bileşenin oluşturduğu sıvı, katı parçacık sınırına nüfuz ettikçe yerlerinde boşluk olur. Oluşan sıvı katıyı ıslatmalı ve difüzyon hızını artırmalıdır. Eğer artan alaşım elementi oranı ile ergime sıcaklığı düşüyorsa ve bileşenler birbiri içinde çözünüyorsa bu şart sağlanmış olur. Sıvı faz oluştuktan sonra hızlı bir sinterleme oluşur. Yoğunluk artışı oluşan sıvı miktarına ve sıvının içyapıda bulunma süresine bağlıdır.

3.3.2.2.3. Reaksiyonlu Sinterleme

Toz karışımı karşılıklı difüzyonla sıvı fazın oluştuğu sıcaklıkta sinterlenir. Oluşan sıvı faz geçici olup son ürün bir metaller arası bileşiktir. Özellikle karşılıklı difüzyon hızlarının farklı olması ve bileşiğin teşekkül ısısının yüksek olması durumunda, sinterleme sırasında şişme olur. Gözenek oluşumu da söz konusudur. Sıvı akışı ve homojen bir içyapı oluşumu için reaksiyon sıcaklığının ötektik sıcaklığın üzerinde olması gerekir.

Reaksiyonlu sinterleme henüz geliştirme aşamasında olup, metaller arası bileşiklerin, seramiklerin ve değişik bileşiklerin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Toz metalürsinde aşağıdaki malzemelerin hangisinin tozu kullanılabilir?

A) Bakır B) Wolfram

C) Çelik D) Polimer

E) Hepsi

2. Toz metalürjisi ile üretimin aşamalarında aşağıdaki yöntemlerin hangisi **bulunmaz**?

A) Karıştırma B) Sinterleme

C) Kaynaklama D) Presleme

E) Yüzey İşleme

3. Tozları sıkıştırmak için aşağıdaki yöntemlerin hangisi **kullanılmaz**?

A) Vidalı Presleme

B) İzostatik Presleme

C)Haddeleme

D) Çamur Döküm

E) Dövme

4. Aşağıdakilerden hangisi toz metalürjisi ile üretimin zayıf yönüdür?

A) İkincil işlem gerektirmez

B) Parça yoğunluğu yüksektir

C) Gözenekli parça üretilebilir

D) Ekipmanları hassastır

E) Kompozit malzeme üretilebilir

5. Toz metalürjisinin en fazla kullanıldığı endüstriyel alan hangisidir?

A) Ev eşyaları

B) Otomotiv

C) Beyaz eşya

D) Kesici takımlar

E) Sağlık

6. Aşağıdakilerden hangisi mekanik toz hazırlama yöntemidir?

A) Sol-Jel

B) Vakum Atomizasyonu

C) Dönen elektrot

D) Talaşlı üretim

E) Ayrışma

7. Aşağıdakilerden hangisi toz metalürjisinde bağlayıcı madde olarak kullanılır?

A) Grafit B) Sülfür

C) Polietilen D) Benzol

E) Bakır

8. Aşağıdaki işlemlerden hangisi toz enjeksiyonla kalıplama işleminin yöntemlerinden **değildir**?

A) Kırma

B) Karıştırma

C) Enjeksiyonla kalıplama

D) Bağlayıcı giderme

E) Sinterleme

9. Aşağıdakilerden hangisi sıvı faz sinterleme yöntemidir?

A) Kompozit B) Sürekli

C) Tek faz D) Homojen

E) Basınçlı

10. Aşağıdakilerden hangisi katı faz sinterleme aşamasıdır?

A) Sürekli B) Reaksiyonlu

C) Geçici D) Kırıcı

E) Ara Aşama

CEVAP ANAHTARI

Bölüm – 1

1	C	**5**	B
2	D	**6**	E
3	A	**7**	C
4	B	**8**	D

Bölüm – 2

1	B	**5**	A
2	E	**6**	D
3	D	**7**	B
4	C	**8**	E

Bölüm – 3

1	A	**5**	D
2	C	**6**	C
3	E	**7**	A
4	D	**8**	B

Bölüm – 4

1	C	**5**	D
2	A	**6**	B
3	E	**7**	C
4	D	**8**	A

Bölüm – 5

1	E
2	C
3	B
4	D
5	A

Bölüm – 6

1	D	**5**	E
2	A	**6**	D
3	B	**7**	A
4	C	**8**	D

Bölüm – 7

1	B	**6**	A
2	A	**7**	D
3	C	**8**	B
4	E	**9**	E
5	D	**10**	C

Bölüm – 8

1	E	**6**	D
2	C	**7**	C
3	A	**8**	A
4	D	**9**	B
5	B	**10**	E

KAYNAKÇA

KİTAP

1. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, William F. Smith, Literatür Yayınları, 2012
2. Mühendisler için Korozyon, Prof. Dr. Hayri Yalçın, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, 1997
3. Temel Talaşlı Üretim Tekniği, Nihat Akkuş, Gedik Üniversitesi Yayınları, 2011
4. ASM Specialty Handbook: Cast Irons, Editor: J.R. Davis, ASM International, 1996
5. Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi, PAGEV Yayınları, 2008
6. Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, PAGEV Yayınları, 2006 Malzeme, Galip Baydur, MEB Devlet Kitapları, 1998
7. Metal Meslek Bilgisi, MEB Devlet Kitapları, 2000

TEKNİK DOKÜMAN VE DERS NOTU

8. Malzeme Bilgisi Eğitimi Ders Notları, Samet Burçin Aydoğmuş, TİAD Akademi, 2018
9. Demir Çelik Sektör Raporu, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020
10. Teknik Katalog, Hasçelik, 2020
11. TS EN 10020 Türk Standardı, Çelik Tiplerinin Tarifi ve Sınıflandırılması, Türk Standartları Enstitüsü
12. School of Materials Science and Engineering, UNSW Science, https://www.materials.unsw.edu.au/study-us/high-school-students-and-teachers/online-tutorials/corrosion, 2021
13. Malzeme Biliminin Temelleri Ders Notları, Dr. Ersin Emre Ören, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, 2020
14. Dökme Demirler Ders Notları, Prof. Dr. Sultan Öztürk, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2020
15. Sertlik Ölçümü Eğitim Notları, Mak Elektronik, 2020
16. Sertlik Ölçme Metodları ve Cihazları, BMS Bulut Makine, Metin Bulut, 2020
17. Paslanmayla Mücadele Teknik El Kitabı, Parker Hareket ve Kontrol Sistemleri, 2021
18. Sakarya Üniversitesi MYO, Kompozit Malzemeler Ders Notu, Doç. Dr. Adem Onat, 2015
19. Iowa State University, Nondestructive Testing Education, https://www.nde-ed.org, 2021

AKADEMİK MAKALE

20. R.M. German, Powder Metallurgy Science, MPIF Princeton, 1984
21. F.P. Leander, W.G. West, Fundamentals of Powder Metallurgy, MPIF Princeton, 2002
22. Structural and optical characterization of ball-milled copper-doped bismuth vanadium oxide, Merupo Victor, 2015, https://www.researchgate.net/publication/274099278_Structural_and_optical_characterization_of_ball-milled_copper-doped_bismuth_vanadium_oxide_BiVO_4

GÖRSEL KAYNAKLARI

Şekil 20: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/demir.jpg

Şekil 21: https://web.karabuk.edu.tr/myasar/demircelik/index.html

Şekil 24: http://celik.org.tr/harita/#

Şekil 66: https://www.antalya.bel.tr

Şekil 74: Kar-Tes Kesici Takımlar San. Tic. Ltd. Şti., Dijital Katalog, https://kar-tes.com.tr, 2021

Şekil 78: https://freeimages.com/photographer/kriegs-29622, Jason Krieger, Telifsiz Görsel