

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÖKME DEMİRDEN İMAL EDİLEN HADDE  
MERDANELERİNİN AŞINMA DAVRANIŞINA  
BAKIR KATKI ORANININ ETKİSİ**

**Engin TAN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**DENİZLİ - 2005**

**DÖKME DEMİRDEN İMAL EDİLEN HADDE  
MERDANELERİNİN AŞINMA DAVRANIŞINA  
BAKIR KATKI ORANININ ETKİSİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarafından Kabul Edilen  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Engin TAN**

**Tez Savunma Tarihi : 04 Şubat 2005**

**DENİZLİ – 2005**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını gerçekleştirmemde, başta tezin her aşamasında desteğini esirgemeyen ve her konuda yardımcı olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ing. Mehmet YÜKSEL'e olmak üzere, maddi, manevi desteklerini ve bana olan güvenini her an arkamda hissettiğim hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Cemal MERAN'a, tez çalışmamın deneysel kısımlarının değerlendirilmesinde tecrübelerini benimle paylaşan hocalarım Sayın Yard. Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU ve Sayın Yard. Doç. Dr. Olcay Ersel CANYURT ve Sayın Yard. Doç. Dr. Ali Rıza TARAĞÇILAR'a, tezimin deneysel altyapısını hazırlayan ve piyasaya yönelik bilgilerini şevkle bana sunan Metalurji Mühendisi Sayın Erdal GÜRKAYNAK'a ve ARDÖKÜM A. Ş. Denizli mühendis ve çalışanlarına, bu tezin oluşturulmasında emeği geçen tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma (başta Sayın Araş. Gör. Öner ATALAY ve Sayın Araş. Gör. Ahmet YILANCI) teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca ve hayatımın her safhasında desteklerinin sonsuz gücünü hissettiğim aileme özel bir teşekkür sunmayı görev bilirim.

**Engin TAN**

## **Dökme Demirden İmal Edilen Hadde Merdanelerinin Aşınma Davranışına Bakır Katkı Oranının Etkisi**

### **ÖZET**

Hadde merdanesi kullanımında karşılaşılan en büyük problemlerden birisi hadde merdanelerinin aşınmasıdır. Merdanelerin aşınma direncine alaşım elementlerinin etkisi büyüktür. Alaşım elementi miktarlarında yapılacak ayarlamalar ile bu problemin giderilmesi mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada; hadde merdanelerinin aşınmasına bakır oranının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Hadde merdanelerinin çalışma koşulları esas alınarak altı farklı bakır içeriğine sahip lamel grafitli dökme demir numuneler, pin-on-disc (disk üzeri pim) aşınma deney yöntemine göre metal-metal aşınma deneylerine tabi tutulmuş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde dökme demirlerin aşınması üzerine daha önceki yapılan çalışmalar incelenmiş ve çalışmanın amacı belirtilmiştir. İkinci bölümünde dökme demirlerin metalurjisi tanımlanmış ve dökme demir sınıflandırmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, deneysel çalışmaların ana malzemesini oluşturan lamel grafitli dökme demirlere alaşım elementlerinin (detaylı olarak bakırın) etkisi incelenmiş ve alaşım elementlerinin birlikte etkisi irdelenmiştir. Dördüncü bölümde, tasarımından malzeme seçimine, döküm teknolojilerinden kalite kontrollerine kadar hadde merdaneleri her yönüyle ele alınmış, piyasadaki kullanım örneklerine yer verilmiştir. Beşinci bölümde deneysel çalışmalar detaylıca verilmiştir. Altıncı bölümde ise deneysel sonuçlar ortaya konmuştur. Çalışmanın yedinci ve son bölümünde ise deneysel sonuçlar genel olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** hadde merdanesi, aşınma, dökme demir, bakır

## **The Effect of Adding Ratio of Copper to the Wear Behavior of Rolls Manufactured by Cast Iron**

### **ABSTRACT**

One of the biggest problem of using rolling roll is wear. Effect of alloy elements to wear behaviour of rolls is so many. Solving this problems can be possible by adjustment of alloy elements amounts. One of alloy elements used for rolls is copper.

In this study, materials used in manufacturing rolling rolls, their constructive properties and their casting methods have been investigated. Furthermore, it has been investigated the effect of adding ratio of copper to wear behavior on the chosen casting iron materials with lamellar graphite. Metal-metal wear experiments have been conducted by using different copper contents in cast iron materials and results had been commented on.

In first section of study; it had been investigated previous studies about wear of cast iron and determined aim of this study. In second section; it had been identified metallurgy of cast iron and had been done classification of cast irons. In third section; it had been investigated effect of alloy elements to wear behaviour of lamellar graphite cast iron (especially copper) and commented on effect of alloy elements with each other. In fourth section; rolls from construction to choosing of material, from casting technologies to quality controls had been investigated by all direction and determined using examples in different sectors. In fifth section; experimental results had been given. In the end of all sections; experimental results had been commented on generally.

**Keywords:** Rolling Roll, Wear, Cast Iron, Copper.

**Engin TAN**

## İÇİNDEKİLER

|                        |     |
|------------------------|-----|
| İçindekiler.....       | VII |
| Şekiller Dizini.....   | XI  |
| Çizelgeler Dizini..... | XV  |

### BİRİNCİ BÖLÜM

#### GİRİŞ

|               |   |
|---------------|---|
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
|---------------|---|

### İKİNCİ BÖLÜM

#### DÖKME DEMİRLER

|  |    |
|--|----|
| 2. DÖKME DEMİRLER.....                                   | 4  |
| 2.1. Dökme Demir Metalurjisi.....                        | 4  |
| 2.2. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması.....             | 7  |
| 2.2.1. Lamel Grafitli (Gri) Dökme Demirler.....          | 9  |
| 2.2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirler.....              | 16 |
| 2.2.3. Beyaz Dökme Demirler.....                         | 18 |
| 2.2.4. Temper Dökme Demirler.....                        | 18 |
| 2.2.5. Özel Yapılı Dökme Demirler.....                   | 20 |
| 2.2.5.1. Çil Uygulanmış Dökme Demirler.....              | 20 |
| 2.2.5.2. Benekli (Mottled) Dökme Demirler.....           | 21 |
| 2.2.5.3. Vermiküler (Yumru Grafitli) Dökme Demirler..... | 21 |
| 2.2.5.4. Yüksek Alaşımli Dökme Demirler.....             | 21 |

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### ALAŞIM ELEMENTLERİNİN LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

|  |    |
|--|----|
| 3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN<br>ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ ..... | 23 |
| 3.1. Karbon (C).....   | 23 |
| 3.2. Silisyum (Si).....  | 23 |
| 3.3. Kükürt (S) ve Mangan (Mn).....  | 24 |
| 3.4. Fosfor (P).....   | 25 |
| 3.5. Krom (Cr).....  | 25 |
| 3.6. Nikel (Ni).....   | 25 |
| 3.7. Bakır (Cu).....   | 27 |
| 3.8. Alaşım Elementlerinin Birlikte Etkisi .....   | 30 |

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### HADDE MERDANELERİ

|  |    |
|--|----|
| 4. HADDE MERDANELERİ .....                                       | 33 |
| 4.1. Hadde Merdanelerinin Konstrüktif Özellikleri .....          | 34 |
| 4.2. Hadde Merdanelerinde Aranılan Özellikler.....               | 36 |
| 4.3. Hadde Merdaneleri Metalurjisi.....                          | 38 |
| 4.4. Hadde Merdanesi Malzeme Çeşitleri .....                     | 42 |
| 4.4.1. Dökme Çelik Merdaneler .....                              | 43 |
| 4.4.2. Dökme Demir Merdaneler.....                               | 45 |
| 4.4.2.1. Chill Dökme Demir Merdaneler.....                       | 48 |
| 4.4.2.2. Çalışma Yüzeyinde Lamel Grafit Bulunan Merdaneler ..... | 50 |
| 4.4.2.3. Küresel Grafitli Dökme Demir Merdaneler .....           | 55 |
| 4.4.2.4. Dupleks Merdaneler .....                                | 58 |

|  |    |
|--|----|
| 4.5. Hadde Merdanesi Üretiminde Kullanılan Çift Döküm Teknolojileri.....                           | 59 |
| 4.5.1. Taşırma Merdane Dökümü.....   | 59 |
| 4.5.2. Boşaltma Merdane Dökümü.....  | 60 |
| 4.5.3. Savurma Merdane Dökümü.....   | 61 |
| 4.5.4. Hadde Merdanesi Üretiminde Kullanılan Çift Döküm Teknolojilerinin<br>Karşılaştırılması..... | 62 |
| 4.6. Hadde Merdanelerinde Kalite Kontrol.....  | 64 |
| 4.6.1. Sertlik Ölçme Yöntemleri.....   | 64 |
| 4.7. Merdane Ömrünü Uzatmak İçin Öneriler.....   | 66 |

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

### **DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....         | 67 |
| 5.1. Deneysel Çalışmanın Amacı..... | 67 |
| 5.2. Deneysel Malzemeler.....       | 67 |
| 5.3. Metalografik Çalışmalar.....   | 67 |
| 5.4. Aşınma Deneyleri.....          | 70 |

## **ALTINCI BÖLÜM**

### **DENEYSEL SONUÇLAR**

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 6. DENEYSEL SONUÇLAR.....            | 72 |
| 6.1. Mikroyapı Karakterizasyonu..... | 72 |
| 6.2. Aşınma Deneyleri.....           | 84 |



## YEDİNCİ BÖLÜM

### SONUÇLAR

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Sonuçlar .....  | 94  |
| Kaynaklar ..... | 98  |
| Özgeçmiş .....  | 100 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| <b>Şekil 2.1.</b> Yaygın Olarak Kullanılan Ticari Dökme Demirlerin Temel Mikroyapıları ve Bu Mikroyapıları Gözlemlemek İçin Uygulanan Prosesler.....       | 5  |
| <b>Şekil 2.2.</b> Demir-Sementit Alaşım Diyagramı .....  | 6  |
| <b>Şekil 2.3.</b> Demir-Grafit Alaşım Diyagramı .....  | 6  |
| <b>Şekil 2.4.</b> Lamel Grafitli Dökme Demirlerde Grafit Lamellerinin Tipleri.....   | 10 |
| <b>Şekil 2.5.</b> Lamel Grafitli Dökme Demirlerde Grafit Lamellerinin Boyutları .....  | 10 |
| <b>Şekil 2.6.</b> Lamel Grafitli Dökme Demirlerde Kesit Kalınlığı, Karbon Eşdeğerliliği ve Likidus Sıcaklığı İle Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki..... | 12 |
| <b>Şekil 2.7.</b> Çeşitli Dökme Demirlerin Gerilme-Uzama Eğrilerine Grafit Morfolojisinin Etkisi .....   | 17 |
| <b>Şekil 3.1.</b> Lamel Grafitli Dökme Demir İçinde Mangan Alaşım Elementi.....  | 24 |
| <b>Şekil 3.2.</b> Lamel Grafitli Dökme Demirlerde Çeşitli Alaşım Elementlerinin Malzemelerin Çekme Dayanımı ve Sertliklerine Etkileri .....                | 26 |
| <b>Şekil 3.3.</b> Bakır İlavesinin Ferrit (Dolayısıyla Perlit) Üzerine Etkisi .....  | 27 |
| <b>Şekil 3.4.</b> Lamel Grafitli Dökme Demirde Bakır İlavesinin Sertlik ve Çekme Dayanımı Üzerinde Etkisi .....  | 28 |
| <b>Şekil 3.5.</b> Dökme Demirin İşlenebilmesinin Sertlik ve Bakır Katkısı ile İlişkisi .....   | 29 |
| <b>Şekil 3.6.</b> Lamel Grafitli Dökme Demir İçinde Bakır Alaşım Elementi.....   | 29 |
| <b>Şekil 3.7.</b> Kalay Miktarının Gri Dökümde Parça Çapına Bağlı Olarak Sertlik Değerine Etkisi .....   | 30 |
| <b>Şekil 3.8.</b> Krom, Bakır ve Molibdenin Perlitik Lamel Grafitli Dökme Demirin Çekme Dayanımı ve Sertliğine Etkileri.....                               | 31 |
| <b>Şekil 3.9.</b> EN-GJL-250 ve EN-GJL-300 Lamel Grafitli Dökme Demirde Et Kalınlığının Çekme Dayanımı ve Sertliğe Etkisi .....                            | 31 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Merdane Tipleri A – Oluklu Tip Merdane, B – Düz Tip Merdane.....   | 34 |
| <b>Şekil 4.2.</b> Merdaneler İçin Üniversal Birleştirme .....  | 35 |
| <b>Şekil 4.3.</b> A-2’li Grup, B-3’lü Grup, C-4’lü Grup D-Demet Halindeki Merdaneler .....   | 35 |
| <b>Şekil 4.4.</b> Hadde Merdaneleri İçin Uygun Soğutma Sistemi .....   | 38 |
| <b>Şekil 4.5.</b> Dökme Demir Merdaneler İçin Mikroyapılar .....   | 39 |
| <b>Şekil 4.6.</b> Dökme Çelik Merdaneler İçin Mikroyapılar .....   | 39 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.7. Dökme Demir Merdanelerde Dönüşüm Bölgeleri .....                                 | 41 |
| Şekil 4.8. Merdane Malzeme Türleri .....  | 42 |
| Şekil 4.9. Dökme Çelik Merdane .....  | 43 |
| Şekil 4.10. $M_3C$ Karbür Yapısı .....  | 47 |
| Şekil 4.11. $M_7C_3$ Karbür Yapısı .....  | 47 |
| Şekil 4.12. Sementit İçeren Chill Dökme Demir Merdane Mikroyapısı.....                      | 48 |
| Şekil 4.13. Chill Merdanelerin Merkezine Doğru Sertlik Düşüşü .....                         | 49 |
| Şekil 4.14. Chill Merdane .....   | 49 |
| Şekil 4.15. Çalışma Yüzeyinde Lamel Grafit Bulunan Merdanelerin Sınıflandırılması .....     | 51 |
| Şekil 4.16. Sementit ve Küresel Grafit İçeren İndefinite Chill Merdane Mikroyapısı.....     | 52 |
| Şekil 4.17. İndefinite Chill Merdane .....  | 54 |
| Şekil 4.18. İndefinite Chill Merdanelerin Merkezine Doğru Sertlik Düşüşü.....               | 54 |
| Şekil 4.19. Küresel Grafitli Dökme Demir Merdanelerin Sınıflandırılması .....               | 56 |
| Şekil 4.20. Taşırma Döküm Kalıbı.....   | 59 |
| Şekil 4.21. Boşaltma Döküm Kalıpları .....  | 60 |
| Şekil 4.22. Yatay Eksenli Savurma Döküm Kalıpları.....                                      | 61 |
| Şekil 4.23. Düşey Eksenli Savurma Döküm Kalıpları .....                                     | 62 |
| Şekil 5.1. ASTM G 99 Standardına Göre Hazırlanmış Aşınma Deney Cihazı.....                  | 70 |
| Şekil 5.2. Metal-Metal Aşınma Deney Düzeneginin Şematik Olarak Gösterilişi .....            | 70 |
| Şekil 5.3. Aşınma Deneylerinde Kullanılan Disk Numunelerin Boyutları .....                  | 71 |
| Şekil 6.1. 1 Numaralı Numunenin (ET1 – % 0,69 Cu) Dağlanmamış Durumdaki Mikroyapıları ..... | 72 |
| Şekil 6.2. 2 Numaralı Numunenin (ET2 – % 0,79 Cu) Dağlanmamış Durumdaki Mikroyapıları ..... | 73 |
| Şekil 6.3. 3 Numaralı Numunenin (ET3 – % 0,98 Cu) Dağlanmamış Durumdaki Mikroyapıları ..... | 74 |
| Şekil 6.4. 4 Numaralı Numunenin (ET4 – % 1,12 Cu) Dağlanmamış Durumdaki Mikroyapıları ..... | 75 |
| Şekil 6.5. 5 Numaralı Numunenin (ET5 – % 1,21 Cu) Dağlanmamış Durumdaki Mikroyapıları ..... | 76 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Şekil 6.6.</b> 6 Numaralı Numunenin (ET6 – % 1,5 Cu) Dağlanmamış Durumdaki Mikroyapıları.....                                      | 77 |
| <b>Şekil 6.7.</b> 1 Numaralı Numunenin (ET1 – % 0,69 Cu) Dağlanmış Durumdaki Mikroyapıları.....                                       | 78 |
| <b>Şekil 6.8.</b> 2 Numaralı Numunenin (ET2 – % 0,79 Cu) Dağlanmış Durumdaki Mikroyapıları.....                                       | 79 |
| <b>Şekil 6.9.</b> 3 Numaralı Numunenin (ET3 – % 0,98 Cu) Dağlanmış Durumdaki Mikroyapıları.....                                       | 80 |
| <b>Şekil 6.10.</b> 4 Numaralı Numunenin (ET4 – % 1,12 Cu) Dağlanmış Durumdaki Mikroyapıları.....                                      | 81 |
| <b>Şekil 6.11.</b> 5 Numaralı Numunenin (ET5 – % 1,21 Cu) Dağlanmış Durumdaki Mikroyapıları.....                                      | 82 |
| <b>Şekil 6.12.</b> 6 Numaralı Numunenin (ET6 – % 1,5 Cu) Dağlanmış Durumdaki Mikroyapıları.....                                       | 83 |
| <b>Şekil 6.13.</b> 1 Numaralı Numunenin (ET1) Optik Mikroskopta Aşınma Öncesi Yüzeyi.....   | 85 |
| <b>Şekil 6.14.</b> 1 Numaralı Numunenin (ET1) Optik Mikroskopta Aşınma Sonrası Yüzeyi.....  | 85 |
| <b>Şekil 6.15.</b> 6 Numaralı Numunenin (ET6) Optik Mikroskopta Aşınma Öncesi Yüzeyi  | 86 |
| <b>Şekil 6.16.</b> 6 Numaralı Numunenin (ET6) Optik Mikroskopta Aşınma Sonrası Yüzeyi   | 86 |
| <b>Şekil 6.17.</b> 1 Numaralı Numunenin (ET1) Aşınma Öncesi SEM Görüntüsü.....  | 87 |
| <b>Şekil 6.18.</b> 1 Numaralı Numunenin (ET1) Aşınma Sonrası SEM Görüntüsü.....   | 87 |
| <b>Şekil 6.19.</b> 6 Numaralı Numunenin (ET6) Aşınma Öncesi Sem Görüntüsü.....  | 88 |
| <b>Şekil 6.20.</b> 6 Numaralı Numunenin (ET6) Aşınma Sonrası SEM Görüntüsü.....   | 88 |
| <b>Şekil 6.21.</b> İncelenen Lamel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Bakır Oranındaki Farklılığa Göre Aşınmadaki Değişimleri .....     | 89 |
| <b>Şekil 6.22.</b> İncelenen Lamel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Bakır Oranındaki Farklılığa Göre Aşınmadaki Değişimleri .....     | 90 |
| <b>Şekil 6.23.</b> İncelenen Lamel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Uygulanan Yükteki Farklılıklara Göre Aşınmadaki Değişimleri ..... | 91 |
| <b>Şekil 6.24.</b> İncelenen Lamel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Uygulanan Yükteki Farklılıklara Göre Aşınmadaki Değişimleri ..... | 92 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Şekil 6.25.</b> İncelenen Lamel Grafitli Dökme Demir Uygulanan Kayma Mesafesindeki Farklılıklara Göre Aşınmadaki Değişimleri .....             | 93 |
| <b>Şekil 6.26.</b> İncelenen Lamel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Uygulanan Kayma Mesafesindeki Farklılıklara Göre Aşınmadaki Değişimleri ..... | 93 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Çizelge 2.1.</b> Dökme demirlerin kısa gösteriliş kuralları.....   | 8  |
| <b>Çizelge 2.2.</b> Lamel grafitli dökme demirlerin mukavemet değerleri .....   | 14 |
| <b>Çizelge 2.3.</b> Lamel grafitli dökme demirlerin çekme dayanımları .....   | 15 |
| <b>Çizelge 2.4.</b> Lamel grafitli dökme demirlerin sertlik değerleri.....  | 15 |
| <b>Çizelge 2.5.</b> Küresel grafitli dökme demirlerin sertlik değerleri ve diğer mekanik özellikleri.....   | 17 |
| <b>Çizelge 2.6.</b> Beyaz ve siyah temper dökme demirlerin mekanik özellikleri.....   | 20 |
| <b>Çizelge 3.1.</b> İkili alaşım elementi ilavesinin lamel grafitli dökme demirin çekme dayanımına etkisi.....  | 32 |
| <b>Çizelge 3.2.</b> Alaşım elementlerini lamel grafitli dökme demirin özelliklerine etkisi .....  | 32 |
| <b>Çizelge 4.1</b> Muylu ile merdane çapı arasındaki emniyetli oranlar.....   | 36 |
| <b>Çizelge 4.2.</b> Adamit merdanelerde kimyasal analiz .....   | 43 |
| <b>Çizelge 4.3.</b> Ötektoidüstü çelik merdaneler için kimyasal analiz .....  | 44 |
| <b>Çizelge 4.4.</b> Molibden içeren chill merdanelerin kimyasal bileşimi.....   | 50 |
| <b>Çizelge 4.5.</b> Martenzitik, beynitik matriks için kimyasal bileşimler .....  | 50 |
| <b>Çizelge 4.6.</b> Martenzitik, beynitik matriks için kimyasal bileşimler .....  | 53 |
| <b>Çizelge 4.7.</b> Beynitik-martenzitik matriks için kimyasal bileşim .....  | 53 |
| <b>Çizelge 4.8.</b> Serbest karbür içeren matriks yapıları küresel grafitli dökme demir merdanelerde değişik matriks yapıları için kimyasal bileşim ..... | 56 |
| <b>Çizelge 4.9.</b> Matriks yapılarına göre mekanik özellikler .....  | 57 |
| <b>Çizelge 4.10.</b> Mekanik özelliklerdeki farklılıklar .....  | 57 |
| <b>Çizelge 4.11.</b> Dupleks merdaneler için kimyasal bileşim ve sertlik değerleri .....  | 58 |
| <b>Çizelge 4.12.</b> Hadde merdaneleri için sertlik dönüşüm tablosu .....   | 65 |
| <b>Çizelge 5.1.</b> Deneysel çalışmalarda kullanılan lamel grafitli dökme demirlerin kimyasal bileşimleri.....  | 69 |
| <b>Çizelge 5.2.</b> Aşınmaya tabi tutulan numunelerin sertliği.....   | 72 |
| <b>Çizelge 5.3.</b> İncelenen lamel grafitli dökme demirlerin metal-metal aşınmasında uğradıkları ağırlık kayıpları.....                                  | 84 |

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1. Giriş

Teoride % 2,06 C'den daha fazla C içeren Fe-C alaşımlarına *dökme demir* denilmektedir. Dökme demir malzemeler; dayanım, sertlik, işlenebilirlik, aşınma direnci ve korozyon direnci gibi iyi mekanik özellikler göstermelerinin yanında kolay üretilibilmeleri ve ekonomik olmalarından dolayı sıklıkla kullanılan mühendislik malzemelerinin başında gelmektedir.

Dökme demir malzemelerin üretiminde ilk gelişme; aşılama yönteminin uygulanmasıyla lamel grafitli dökme demirlerin (gri, pik dökme demirlerin) üretilmesi olmuştur. 1950'li yılların ortalarında ise magnezyum ve seryum alaşım elementleri ilavesi ile grafitlerin lamel şeklinden küresel şekle dönüşmesi sağlanıp, lamel grafitli dökme demirlerden yaklaşık iki kat daha mukavemetli küresel grafitli dökme demirler (sfero, düktil, nodüler dökme demirler) elde edilmiştir. Özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini daha da iyileştirmenin yolları aranmış ve bu amaçla matriksin modifikasyonunu geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (ostemperleme ısı işlemi gibi).

Kullanım yerlerine göre uygun dökme demir malzemesinin seçilmesi önemli olmakla birlikte günümüzde dökme demir endüstrisinin en büyük tonaja sahip ürünü lamel grafitli dökme demirler olup, dökülen parçaların %70'ini kapsamaktadır. Lamel grafitli dökme demirler, geniş aralıkta değişen dayanım, sertlik, işlenebilirlik, aşınma direnci, korozyon direnci, titreşim sönümlenme, termal şok direnci gibi özelliklere sahip malzemelerdir. Ne var ki, lamel grafitli dökme demirlerde grafitlerin lamel şeklinde bulunuşu bazı özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir (süneklik özelliğinin yetersiz olması gibi). Bununla birlikte metalurjik uygulamalardaki gelişmeler lamel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini iyileştirme imkanını sağlamıştır.

Günümüzde sac, köşebent, lama, çeşitli profiller (I, U, T, H gibi), inşaat demiri gibi mamullerin üretiminin gerçekleştirildiği yaygın imal usullerinden olan haddelemeyi sağlayan hadde merdanelerinin malzemesi olarak sıklıkla dökme demir malzemeler kullanılmakta olup, hadde merdanesi dökümünde uygulanan yöntemlerle istenen içyapı, sertlik, yüzey kalitesi, aşınma direnci gibi özellikler sağlanabilmektedir.

İlk hadde merdaneleri, dökülebilirliği ve geniş alaşım aralığı nedeniyle dökme demirlerden imal edilmiştir. Daha sonraları uygulanan ısıtma işlemleri merdanelerin sertleştirilmeleri sağlanmıştır. Kalıp tekniğinde ulaşılan gelişmeler, merdane tasarımındaki değişimler, merdanelerde yüzey sertliği gereksinimi ve hızlı soğutma ile içyapı matrisinin değişiminin sağlanması ve uygulanan ısıtma işlemleri istenen özelliklerde ve güvenilir merdane üretimleri gerçekleştirilmeye başlamıştır. Özellikle farklı alaşım elementlerinin dökme demirlere kazandırdığı farklı özellikler sayesinde hadde merdanelerinin kırılma, yorulma, aşınma gibi problemleri çözümlenmeye başlamıştır.

Fordyce ve diğ. (1990); yaptıkları çalışmada, ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin kuru kayma aşınmasını incelemişler ve yüksek hızlarda ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin kuru kayma direncinin sertleştirilmiş çeliğine eşit olduğunu belirlemişlerdir.

Baydoğan (1996), yaptığı çalışmada, ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışlarını incelemiş ve ostemperleme ısıtma işleminin döküm haline göre aşınma direncini üç kat arttırdığını belirtmiştir.

Tunç (1997), yaptığı çalışmada, hadde merdaneleri dökümünde gerekli koşulları, döküm için gerekli aparatların hazırlanması, kalıplama ve döküm aşamalarıyla gerçekleştirerek deneysel olarak irdelemiş ve bu faktörlerin ortak kontrolü ile merdanelerden istenilen özelliklerin elde edilebileceğini ve bu şekilde hadde merdanesi üretiminin küçük sanayi işletmelerinde de gerçekleştirilebileceğini belirtmiştir.



İzciler ve diğ. (1999), yaptıkları çalışmada; farklı ısıl işlem görmüş bor alaşımlı yüksek kromlu dökme demirlerin aşındırıcı bilyalarla abrasif aşınma davranışını incelemişler ve borun oluşturduğu karbürlerin yapıyı ve bu sayede tokluğu iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte sertliği fazla olan numuneler daha iyi aşınma direnci göstermişlerdir. Ayrıca soğutma sonrası tüm yapılar martenzit matrikste olup, en iyi aşınma direncini yağda soğutulmuş numuneler göstermiştir.

Arıkan (1999); yaptığı çalışmada, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma davranışına alaşım elementlerinin etkisini incelemiş ve her ısıl işlem durumu için en az aşınmaya uğrayan malzeme grubunun titanyum içeren malzeme grubu olduğunu tespit etmiştir.

Çelik (2001); yaptığı çalışmada, küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışlarını incelemiş ve grafit hacim oranının dolayısıyla mikroyapının aşınmaya etkisi olduğunu gözlemlemiştir. Buna göre en iyi aşınma direnci, sertlik ve grafit hacim oranının en yüksek değerlerinde elde edilmektedir.

Liu ve diğ. (2001); yaptıkları çalışmada yüksek kromlu dökme demirlerin yükseltelen sıcaklıklardaki aşınma dirençlerini incelemişler ve yüksek kromlu dökme demirlerde Nb içeriğinin oksidasyon sürecinde aşınma direncini kötüleştirdiğini gözlemlemiştir. Buradan farklı alaşım elementlerinin aşınma direncini farklı ortamlarda farklı şekilde etkilediği söylenebilir.

Sapate ve diğ. (2003); yaptıkları çalışmada kaplamalı yüksek kromlu dökme demirlerin erozif aşınma davranışına karbür hacim oranının etkisini incelemişler ve alüminyum partiküllü geniş hacimli karbürlerin çeşitli erozyon koşullarında kaplanmış beyaz dökme demir alaşımlarının erozyon aşınma direncini kötüleştirdiğini belirtmişlerdir.

## İKİNCİ BÖLÜM

# DÖKME DEMİRLER

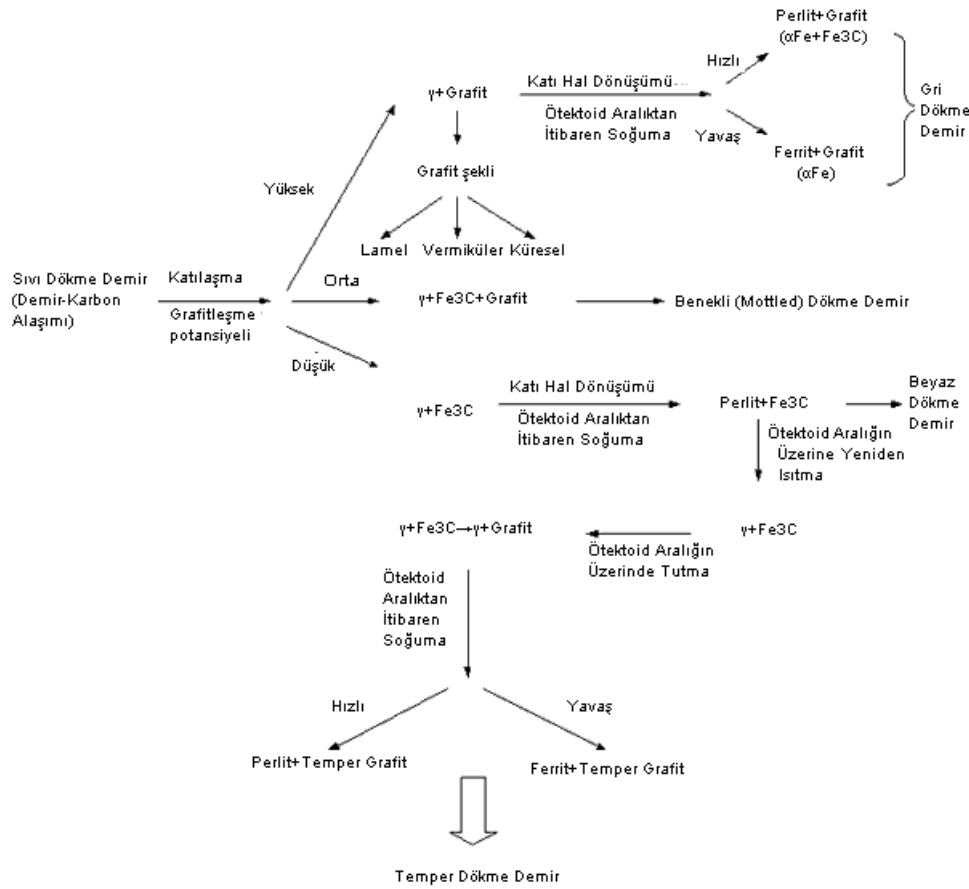
### 2. Dökme Demirler

#### 2.1. Dökme Demir Metalurjisi

Döküm endüstrisinde en yaygın kullanım alanına sahip olan dökme demirler; karbon içerikleri % 2,06 ile 6,67 arasında değişen demir – karbon alaşımları olmalarına karşın, artan karbon oranının dökme demiri gevrekletirmesi nedeniyle piyasada kullanılan dökme demirlerin karbon oranı % 2-4 arasındadır. Dökme demirler karbon dışında ana alaşım elementi olarak silisyum içermektedirler (% 1-3,5). Bunun yanında iç yapılarında nikel, krom, molibden, mangan, bakır gibi alaşım elementleri ile kükürt, fosfor, kalay, titanyum gibi katılaşma elementleri de bulunmaktadır.

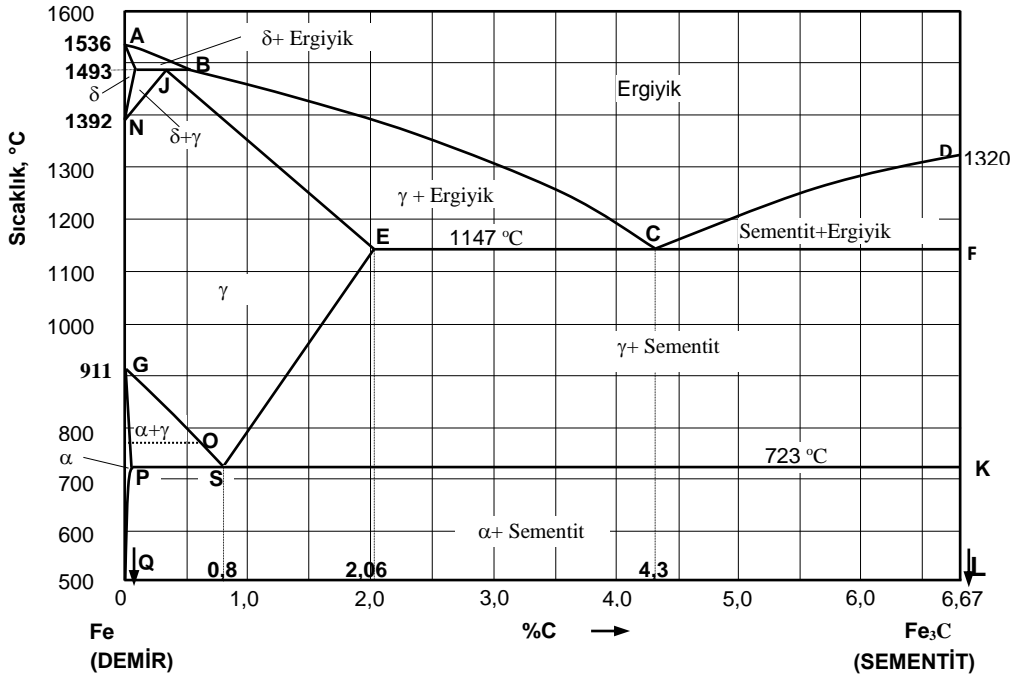
Teorik olarak, yani termodinamik açıdan dökme demirler ya metastabil (kararsız) olarak Fe-Fe<sub>3</sub>C (demir-sementit) ya da stabil (kararlı) olarak Fe-C (demir-grafit) sistemine göre katılaşır. Bu sistemlerin oluşumunda başta bileşim olmak üzere soğuma hızı ve ergitme işlemleri önemli rol oynamaktadır. İç yapıda demir ve karbon dışında bulunan elementlerden silisyum, fosfor, bakır, nikel gibi alaşım elementleri katılaşmayı yavaşlatarak stabil demir-grafit sisteminin oluşmasına yardımcı olurken; mangan, krom, molibden, vanadyum, wolfram, titanyum, niyob gibi alaşım elementleri de ince kesitlerde katılaşmayı hızlandırarak metastabil demir-sementit sisteminin oluşumuna destek olurlar (Yüksel 2001, Çelik 2001). Kimyasal bileşim aynı zamanda, sıvının çekirdeklenme potansiyeli ile birlikte dökme demirin grafitleşme potansiyelini de belirler. Yüksek grafitleşme potansiyeli zengin karbon fazı olarak grafit içeren bir dökme demir iç yapısına neden olurken, düşük grafitleşme potansiyeli ise sementit (demir karbür) içeren bir iç yapıya neden olur (Çelik 2001). Dökme demirlerin metalurjisinde, kimyasal bileşim, soğuma hızı ve ısı işlem malzemenin tipini, yapısını ve buna bağlı olarak özelliklerini etkileyen ana faktörlerdir. Ticari olarak yaygın kullanım alanına sahip alaşımsız veya düşük alaşımlı dökme demirlerin yapıları ve bu

yapıları incelemek için uygulanan proses şematik olarak Şekil 2.1.'de verilmiştir (WEB\_1 2004).

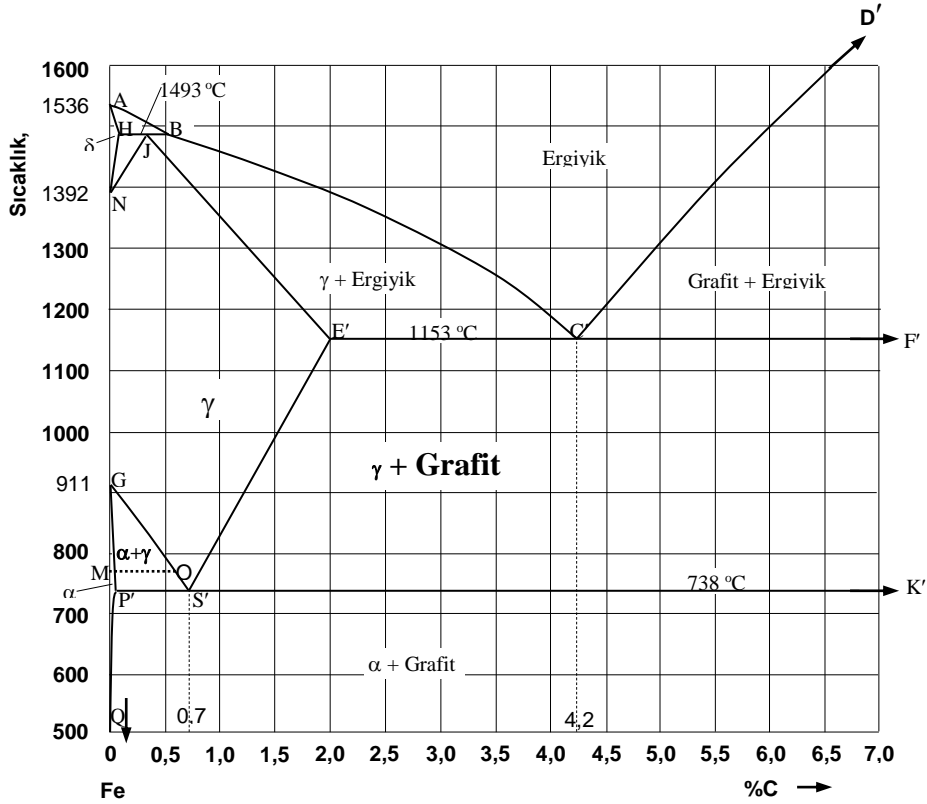


**Şekil 2.1.** Yaygın olarak kullanılan ticari dökme demirlerin temel mikroyapıları ve bu mikroyapıları gözlemek için uygulanan prosesler (WEB\_1 2004)

Dökme demirler, çelik ile benzer iç yapı özellikleri göstermesine rağmen çelik içerisinde yer alan alaşım elementlerinin miktarı nispeten düşük olduğundan dolayı çelikler genel olarak ikili demir-karbon alaşımları olarak kabul edilebilirler. Buradan yola çıkılarak çeliklerin yavaş soğuma şartlarında denge durumları göz önüne alınarak yapılarını açıklamak amacıyla demir-sementit ( $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ) diyagramı kullanılabilir. Bununla beraber, dökme demirler yüksek oranda karbon içermekle birlikte ana alaşım elementi olarak silisyum içerirler. Bu nedenle dökme demirler  $\text{Fe}-\text{C}-\text{Si}$  üçlü alaşımları olarak kabul edilirler. Silisyumun bir ikili demir-karbon alaşımına ilavesi, metastabil durumda bulunan  $\text{Fe}_3\text{C}$ 'nin kararlılığını düşürerek ferritin kararlılığını arttırmaktadır (ferrit bölgesi genişletilerek ostenit bölgesi daraltılır) (Çelik 2001).



Şekil 2.2. Demir-Sementit Alaşım Diyagramı (Yüksel 2001)



Şekil 2.3. Demir-Grafit Alaşım Diyagramı (Yüksel 2001)

Dökme demir yapısında bulunan karbon, silisyum, fosfor gibi alaşım elementlerinin bileşimlerindeki değişiklik, ergime ve katılaşma sıcaklığı ve ötektik bileşim gibi parametreleri, dolayısıyla mekanik özellikleri etkiler. Bu etkinin derecesi “Karbon Eşdeğerliliği (CE)” parametresi ile hesaplanır (WEB\_2. 2004).

$$CE = \%C + 0.3x(\%Si) + 0.33x(\%P) - [0.027x(\%Mn) + 0.4x(\%S)]$$

Bunların dışında Alman dökümcüler tarafından kullanılan ve aynı kavramı değişik bir şekilde gösteren doygunluk derecesi (SC) formülü vardır (Aslani 1989).

$$SC = \%C_{top}/4,3-1/3(\%Si+\%P)$$

Bu kavramlara göre, ötektik bir demir alaşımının karbon eşdeğerliliği 4,3; doygunluk derecesi ise 1.0 olarak bilinir (Aslani 1989).

Karbon eşdeğerliliği dökme demirler için gerek yapı ve gerekse malzeme özelliklerini tanımlayan önemli bir kriterdir. Karbon eşdeğerine bağlı olarak alaşımın toplam karbon ve silisyum içeriği, alaşımın katılaşma aralığını tanımlaması yanında aynı zamanda döküm karakteristikleri ve özellikleri ile de ilgilidir. Bununla beraber, sabit karbon eşdeğerliliğine sahip fakat farklı karbon ve silisyum oranları içeren dökme demirler bulunabilmektedir. Bu tip dökme demirler aynı döküm özelliklerine sahip olmamaktadırlar. Örneğin, karbon katılaşma sırasında meydana gelen çekilmeyi önlemede, karbon eşdeğerliliği ile belirtilene nazaran iki kat daha fazladır. Silisyum ise ince kesitlerin sertleşmesini önlemede oldukça etkilidir. Kullanım özelliklerinin bazılarında benzer farklılıklar görülmesine rağmen bunlar spesifikasyonlarda karbon eşdeğerliliği ile sınırlandırılır (Çelik 2001).

## 2.2. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Dökme demirler, iyi bir mühendislik malzemesi olması ve kolay elde edilebilirliğinden dolayı sıklıkla kullanılan malzeme çeşitlerindedir. Dökme demirlerin birtakım özelliklerinden dolayı çeşitli şekillerde elde edilmeleri ve farklı gruplarda sınıflandırılmaları mümkündür. Dökme demirlerin sınıflandırılmalarında, kimyasal

bileşimleri, üretim sırasındaki soğuma hızları, uygulanan ısıl işlemlerinin farklılık göstermesi gibi faktörler göz önüne alınmaktadır. Dökme demirlerin tarihsel olarak ilk sınıflandırması hasara uğrama şekillerine göre yapılmıştır. Buna göre iki tip dökme demir bulunmaktadır (ASM International 1996):

1. *Beyaz Dökme Demir*: Kırılma, sementit tabakaları boyunca oluştuğundan dolayı beyaz kristalin bir kırılma yüzeyine sahiptir. Bu yapı, metastabil katılaşmanın (sementit ötekiği) bir ürünüdür (ASM International 1996)

2. *Gri Dökme Demir*: Kırılma, grafit tabakaları boyunca oluşur ve stabil katılaşmanın (grafit ötekiği) bir ürünüdür. Bu yüzden gri bir kırılma yüzeyine sahiptir.

Dökme demirlerle ilgili temel bilgilerin gelişmesi ve metalografik ilerlemeler özellikle mikroyapısal özelliklerle ilgili bilgiler başka sınıflandırmaların da yapılmasını mümkün kılmıştır. Bu sınıflandırmaların başında grafit şekline ve matriks yapısına göre yapılan sınıflandırma gelmektedir. Bu sınıflandırmaya göre dökme demirler, lamel grafitli dökme demirler, küresel grafitli dökme demirler, vermiküler dökme demirler ve temper dökme demirler olarak dört temel gruba ayrılabilir (EN 1560: Haziran 1997). Çizelge 2.1.'de görüldüğü üzere, dökme demirlerin EN 1560: Haziran 1997 standartlarına göre kısa gösteriminde de grafit yapısına göre bu dört temel grup dikkat çekmektedir (Yüksel 2001).

**Çizelge 2.1.** Dökme demirlerin kısa gösteriliş kuralları: EN 1560: Haziran 1997 (Yüksel 2001).

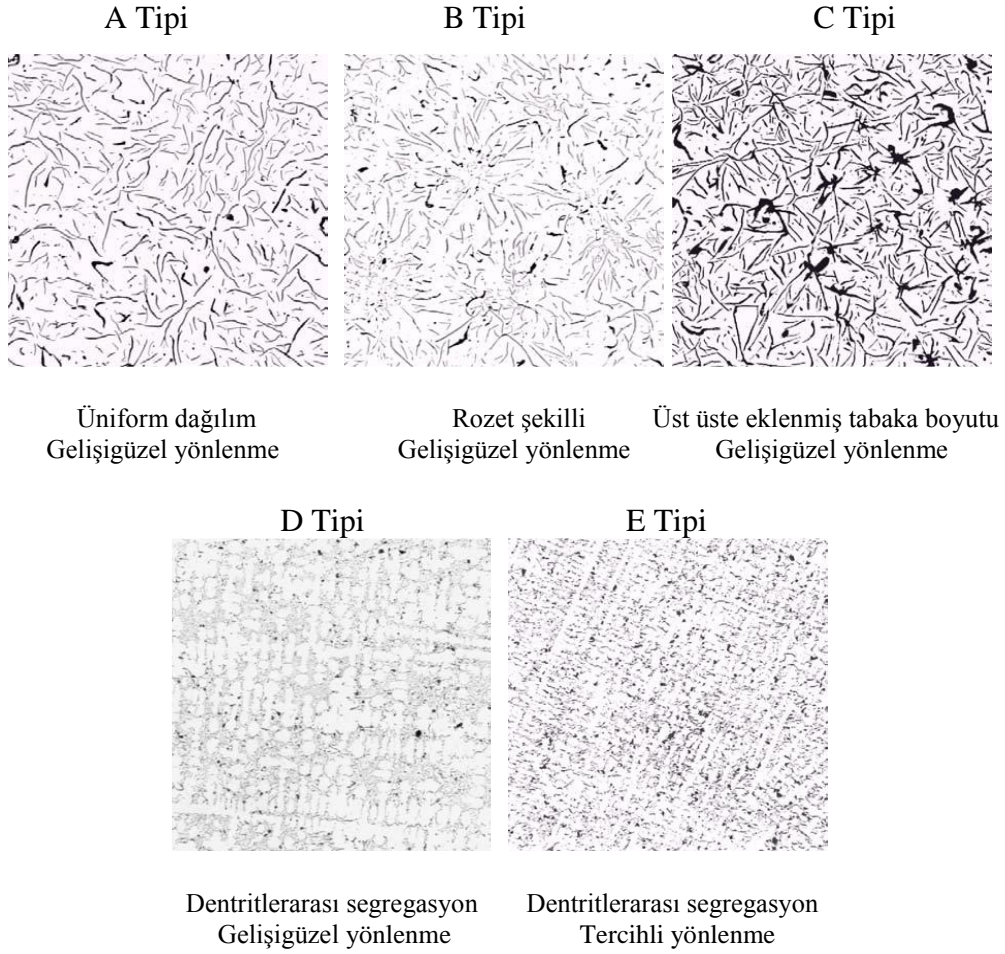
| POZİSYONLAR |    |                                  |                                       |  |                                 |
|-------------|----|----------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|
| 1           | 2  | 3                                | 4                                     | 5  | 6                               |
| EN-         | GJ | Grafit Yapısı<br>(zorunlu değil) | Mikro / Makro Yapı<br>(zorunlu değil) | Mekanik Özellik veya<br>Kimyasal Bileşim | Ek Semboller<br>(zorunlu değil) |
|             |    | L lamel grafitli                 | A östenitik                           | -xxx enaz $R_m(N/mm^2)$                  | A Döküm iç yapısı               |
|             |    | S küresel grafit                 | F ferritik                            | ve / veya                                | H Isıl işlem görmüş             |
|             |    | M temper grafit                  | P perlitik                            | - xx enaz A (%)                          | W Kaynak edilebilir             |
|             |    | V vermiküler                     | M martenzitik                         | ve                                       | X Özel iç yapıda                |
|             |    | H grafitless led.                | L ledeburitik                         | S Ayrı dökülmüş test numunesi            |                                 |
|             |    | X özel yapılı                    | Q su verilmiş                         | A Bitişik dök. nüm.                      |                                 |
|             |    |                                  | T ıslah edilmiş                       | C Parçadan kes. nü.                      |                                 |
|             |    |                                  | B siyah temper dd                     | veya                                     |                                 |
|             |    |                                  | W beyaz temper dd                     | -RT Test sic. + 20 °C                    |                                 |
|             |    |                                  |                                       | -LT Test sic. < -20 °C                   |                                 |
|             |    |                                  |                                       | -Hxx Sertlik (HBS30)                     |                                 |
|             |    |                                  |                                       | veya Kimyasal bileşim                    |                                 |

### 2.2.1. Lamel Grafitli (Gri) Dökme Demirler

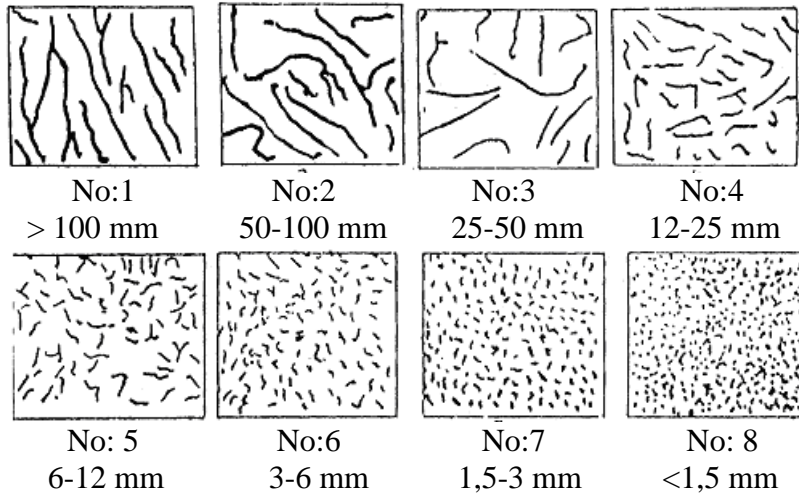
Lamel grafitli dökme demirler, piyasada % 70'lik kullanım oranıyla en yaygın kullanılan dökme demir türüdür. Katılaşmadan sonra, içerdiği karbonun büyük kısmı serbest halde veya başka bir deyişle grafit lamelleri halinde bulunacak şekilde bir bileşime sahip dökme demir türüdür. Lamel grafitli dökme demirin kırık yüzeyi gri renktedir (Aslani 1989). Bu nedenle piyasada yaygın olarak gri dökme demirler olarak bilinmektedir.

Lamel grafitli dökme demirler, ötektik sıcaklığında ostenitin katı eriyik olarak içerebileceğinden daha fazla karbonu olan demir-karbon-silisyum alaşımlarıdır. Bileşimdeki bu fazla karbon yapıda grafit lamelleri halinde çökelmektedir (Çavuşoğlu, 1992). Lamel grafitli dökme demirler genellikle % 1,7-4,5 C ve % 1-3 Si içerirler (Aslani 1989). Bununla birlikte arzulanan mikroyapıya göre değişen oranlarda mangan (ferritik dökme demirlerde % 0,1'e kadar düşük, perlitik dökme demirlerde ise %1,2'ye kadar yüksek miktarlarda olabilir) içerirler. Döküm yapısı ve grafit morfolojisi lamel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Grafit-ferrit karışımı bir mikroyapı, en düşük mukavemetli dökme demiri verirken karbon miktarının artmasına bağlı olarak mukavemet ve sertlikte de artma görülür (Kökden 1998).

Lamel grafitli (gri) dökme demirlerde grafitin şekli ve yapısı alaşımın mekanik özellikleri üzerine önemli bir rol oynamaktadır. Grafit lamellerinin şekli, boyutu ve dağılımı katılaşma esnasında oluşur ve daha sonra herhangi bir ısıl işlem ile değiştirilmez (Çelik 2001). Grafit tipleri ve boyutları arasındaki farklılıklar incelenmiş, ASTM ve AFS tarafından kabul edilen standartlarla belirlenmiştir (Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.).



**Şekil 2.4.** Lamel grafitli dökme demirlerde grafit lamellerinin tipleri (AFS-ASTM) (WEB\_3 2004 )



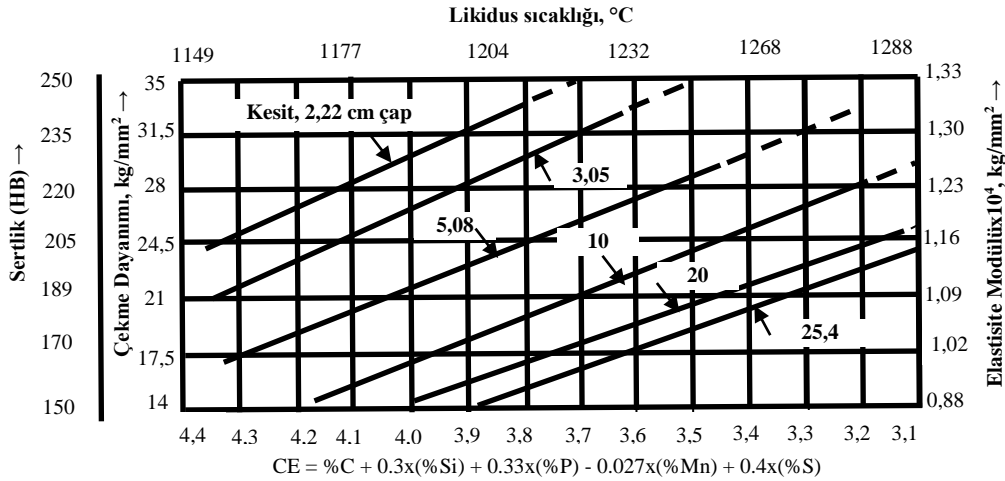
**Şekil 2.5.** Lamel grafitli dökme demirlerde grafit lamellerinin boyutları (AFS-ASTM) (WEB\_4 2004)



A tipi grafitler, orta hızlarda soğuyan aşılansmış dökme demirlerde bulunur ve gri dökme demirlerde genel olarak geliş güzel yönlensmiş ve üniform dağılımsmış bu tip lameller tercih edilir. Ergitme ve aşılama uygun yapıldığında istenen boyutta A tipi grafitlerin elde edilmesi mümkündür. B tipi grafitler ötektik bileşime yakın dökme demirlerde düşük soğuma hızlarında görülür ve sınırlı sayıdaki çekirdek üzerinde katılaşıır. Bu tip grafitler daha çok ferritik matriks içerisinde oluşun rozet şekilli ve geliş güzel yönlensmeye sahip grafitlerdir ve yüksek mukavemet istenen durumlar için ideal değildir. C tipindeki grafitler ise ötektik üstü demirlerde minimum soğuma hızına sahip bir katılansma sonucu meydana gelir. C tipi grafitler termal şok mukavemetine sahiptir ancak düşük dayanım ve işleme sonrası kaba bir yüzey verir. D tipi grafitler genellikle yüksek silisyum içeriğine sahip ve yüksek soğuma hızlarında katılansmış ötektik altı veya ötektik dökme demirlerde görölmektedir. İyi işlenebilme özelliğine karşın, düşük mukavemet ve düşük aşınma direnci göstermesi dezavantajıdır. E tipi grafitler ise sıklıkla karbon oranı düşük ötektik altı dökme demirlerde görülür, böyle bir durumda grafitlerde tercihli bir yönlensme görülür. D ve E tipi grafitler katılansma sırasındaki yüksek soğuma hızlarıyla alakalıdır. Daha fazla bir aşırı soğuma gerçekleşmesi ise çekirdekleşme ve grafitleşmeyi önleyebilir ve bu durumda beyaz dökme demir meydana gelir. Dökme demirin katılansma esnasındaki soğuma hızına ve/veya sonradan gördüğü işlemlere göre yukarıda bahsedilen grafit tiplerinden herhangi biri oluşabilir. Grafit tipiyle birlikte grafit boyutu da mekanik özellikleri etkileyen önemli bir faktördür. Grafit boyutu doğrudan dayanım ile ilgili bir parametredir. Lamel grafit boyutunun artması ile lamel grafitli dökme demirlerin çekme dayanımı düşüş gösterir (Çelik 2001).

Mikroyapı, kimyasal kompozisyon ve mekanik özellikler birbiriyle oldukça ilişkili faktörlerdir. Bununla birlikte üretim koşullarıyla ilgili faktörler de lamel grafitli dökme demirlerin özelliklerini değiştirebilir (ASM International 1996).

Karbon ve silisyum mekanik özellikleri etkileyen başlıca elementlerdir. Karbon eşdeğerliliği ile birçok mekanik özellik arasında çeşitli ilişkiler geliştirilmiştir. Kesit kalınlığı, karbon eşdeğerliliği ve likidus sıcaklığı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki sematik olarak Şekil 2.6'da verilmiştir.



**Şekil 2.6.** Lamel grafitli dökme demirlerde kesit kalınlığı, karbon eşdeğerliliği ve likidus sıcaklığı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki (Çavuşoğlu 1992)

Lamel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

1. Primer (ön ötektik) katılaştan ostenit miktarı
2. Ötektik tane sayısı
3. A tipi grafit oluşumu
4. Tamamı perlitik ana doku
5. İnce perlitik doku

Bu faktörlerden ilk üçü katılma esnasında ve son ikisi katı faz dönüşüm reaksiyonu ile kontrol altına alınmaktadır. Verilen bu büyüklükler de kimyasal analiz, ergitme tekniği ve parça et kalınlığına bağlı olarak değişirler. Dökme demirin mukavemet değeri kuvvetli bir şekilde primer ostenit miktarı ile belirlenmektedir. Doymuşluk derecesi ve karbon eşdeğerliliğinin yüksek mukavemetli döküm parçalarında düşük alınmasının nedeni de budur. Ötektik reaksiyon ani ve beraberce belirli yerlerde ostenit ve grafitin büyümesi ile oluşur. Grafitin şekli ve boyutu, parça doymuşluk derecesi ve soğuma hızı yanında alaşım elementlerinin cins ve miktarlarına bağlıdır (İzgiz 1978).

Soğuma hızı mikroyapıyı etkilediğinden özellikler üzerinde önemli değişimler meydana getirir. Hızlı soğuma, sertliği ve çekme dayanımını artırır; ancak bunun mümkün olabilmesi için hızlı soğumanın beyaz bir yapı veya çok kötü bir grafit tipi olan D tipi grafitler meydana getirmemesi gerekir. Yavaş soğuma ile grafit lamelleri irileşir ve kaba yapılı perlit oluşur. Daha yavaş soğumada ise ferritin ortaya çıktığı görülmektedir (Çavuşoğlu 1992).

Lamel grafitli dökme demirlerde karbon eşdeğerliliğinin azalmasıyla çekme dayanımının maksimum artış sınırı  $310 \text{ N/mm}^2$  kadardır. Daha yüksek mukavemet elde edebilmek için alaşım elementi ilavesi gereklidir. Sertlik ve çekme dayanımı arasındaki ilişkiye grafit lamel tipinin büyük etkisi vardır. Verilen bir sertlik değeri için en yüksek çekme dayanımı, küçük A tipi grafitler bulunduğu elde edilir. Diğer yandan verilen bir sertlik değeri için D tipi grafit lamelleri ile düşük bir çekme dayanımı elde edilecektir (Aslani 1989).

Lamel grafitli dökme demirler ötektik bileşime yakın alaşımlardır ve bu nedenle akışkanlıkları oldukça iyidir. Bu avantajından dolayı çok ince kesitli parçaların bile dökülmesi mümkündür. Lamel grafitli dökme demirlerde basma dayanımı çekme dayanımının genellikle 3-5 katı kadardır. Yüksek basma dayanımı, lamel grafitli dökme demirlerin önemli özelliklerindedir. Lamel grafitli dökme demirlerde sertlik çekme dayanımına paralel olarak değişim gösterir. Çekme dayanımı ile sertlik arasındaki ilişkiyi bir bağıntı ile ifade etmek mümkündür (Çavuşoğlu 1992).

$$\text{Çekme Dayanımı (N/mm}^2\text{)} = \text{Brinell Sertlik Değeri (HB)} \times K$$

Burada  $K = 1,1$  ile  $1,5$  arasında değişmektedir.

Lamel grafitli dökme demirlerin sürtünme ve aşınma dirençleri çok yüksektir. Bu nedenle piston segmanları, silindir gömlekleri, krank milleri, dişliler, hadde merdaneleri gibi parçaların üretiminde kullanılırlar (Çelik 2001). Bununla birlikte lamel grafitli dökme demirler en iyi işlenebilen demir esaslı alaşımlardır. Fakat çil etkisi ile sertleşen

kenarlar veya ince kesitlerdeki sert noktalar işlenebilirlik özelliğini çok azaltan etkilidir (Aslani 1989).

Isıya karşı direnç veya bir başka ifadeyle tufalleşme direnci ve yüksek sıcaklıkta bir dereceye kadar dayanımını muhafaza etmesi, lamel grafitli dökme demirlerde aranan özelliklerdendir. Bu özellikler daha çok alaşımli dökme demirlerde geliştirilebilir. Lamel grafitli dökme demirlerin titreşim sönümlenme kabiliyetleri de oldukça iyidir ve özellikle titreşimin bir çalışma karakteristiği olduğu içten yanmalı motorlarda ve makina gövdelerinde kullanılışları işleme bir ölçüde esneklik kazandırır (Çelik 2001).

Lamel grafitli dökme demirlerin EN 1561:1997 standartlarına göre çekme dayanımları, sertlik değerleri ve mukavemet değerleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir (Yüksel 2001).

**Çizelge 2.2.** Lamel grafitli dökme demirlerin mukavemet değerleri (ham döküm iç yapısı halinde ve ayrı dökülmüş 30mm çapındaki numune) (Yüksel 2001)

| MUKAVEMET DEĞERLERİ   | Birimi              | DÖKME DEMİRLERİN KISA GÖSTERİLİŞİ VE MALZ. NUMARALARI |                           |                           |                           |                           |
|---|---------------------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|   |                     | EN-GJL-150<br>(EN-JL1020)                             | EN-GJL-200<br>(EN-JL1030) | EN-GJL-250<br>(EN-JL1040) | EN-GJL-300<br>(EN-JL1050) | EN-GJL-350<br>(EN-JL1060) |
|   |                     | Grafitlerin Çevresindeki Mikro Yapı                   |                           |                           |                           |                           |
|   |                     | ferrit / perlit                                       |                           | perlit                    |                           |                           |
| Çekme Dayanımı $R_m$  | N/mm <sup>2</sup>   | 150 - 250   | 200 - 300                 | 250 - 350                 | 300 - 400                 | 350 - 450                 |
| % 0,1 Çekme Akma Sınırı $R_{p0,1}$  | N/mm <sup>2</sup>   | 98 - 165  | 130 - 195                 | 165 - 228                 | 195 - 260                 | 228 - 285                 |
| Kopma Uzaması $A$   | %                   | 0,8 - 0,3   | 0,8 - 0,3                 | 0,8 - 0,3                 | 0,8 - 0,3                 | 0,8 - 0,3                 |
| Basma Dayanımı $\sigma_{db}$  | N/mm <sup>2</sup>   | 600   | 720                       | 840                       | 960                       | 1080                      |
| % 0,1 Basma Akma Sınırı $\sigma_{b0,1}$   | N/mm <sup>2</sup>   | 195   | 260                       | 325                       | 390                       | 455                       |
| Eğme Dayanımı $\sigma_{bB}$   | N/mm <sup>2</sup>   | 250   | 290                       | 340                       | 390                       | 490                       |
| Kesme Dayanımı $\sigma_{aB}$  | N/mm <sup>2</sup>   | 170   | 230                       | 290                       | 345                       | 400                       |
| Burma Dayanımı $\tau_{tB}$  | N/mm <sup>2</sup>   | 170   | 230                       | 290                       | 345                       | 400                       |
| Elastisite Modülü $E$   | kN/mm <sup>2</sup>  | 78 - 103  | 88 - 113                  | 103 - 118                 | 108 - 137                 | 123 - 143                 |
| Poisson Sayısı $\nu$  | -                   | 0,26  | 0,26                      | 0,26                      | 0,26                      | 0,26                      |
| Eğmede Tam Değişken Yorulma Dayanımı $\sigma_{bW}$  | N/mm <sup>2</sup>   | 70  | 90                        | 120                       | 140                       | 145                       |
| Çeki-Basıda Tam Değişken Yorulma Dayanımı $\sigma_{zdW}$  | N/mm <sup>2</sup>   | 40  | 50                        | 60                        | 75                        | 85                        |
| Burulmada Tam Değişken Yorulma Dayanımı $\tau_{tW}$   | N/mm <sup>2</sup>   | 70  | 100                       | 120                       | 145                       | 170                       |
| Kırılma Tokluğu $K_{tC}$  | N/mm <sup>3/2</sup> | 320   | 400                       | 480                       | 560                       | 650                       |
| Bu mukavemet değerleri listesine EN-GJL-100 alınmamıştır. Liste değerleri bulunmadığı zaman aşağıdaki yaklaşımlar alınabilir: $\tau_{tW} \approx 0,42 \tau_{tB}$ , $\sigma_{bW} \approx (0,35 - 0,50) R_m$ , $\sigma_{zdW} \approx 0,53 \sigma_{bW} \approx 0,26 R_m$ |                     |   |                           |                           |                           |                           |

**Çizelge 2.3.** Lamel grafitli dökme demirlerin çekme dayanımları (EN 1561:1997) (Yüksel 2001)

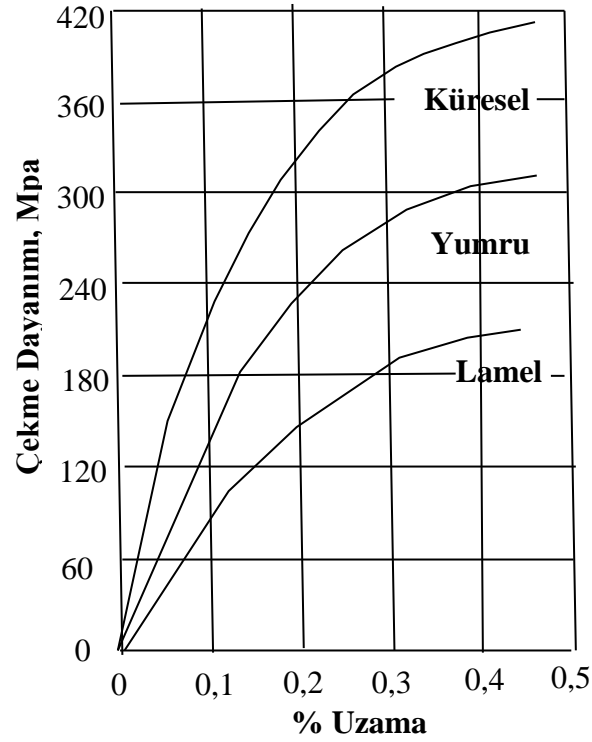
| DÖKME DEMİRLER |           | Kalınlıklar<br>mm | Çekme Dayanımı $R_m$             |  | Çekme Dayanımı $R_m$<br>Mukavemet hesabına<br>esas alınan değer<br>$N/mm^2$ , enaz |
|----------------|-----------|-------------------|----------------------------------|--|--|
| Kısa Göst.     | Malz. No  |                   | Numune ayrı<br>döküm<br>$N/mm^2$ | Numune bitişik<br>döküm<br>$N/mm^2$ , enaz |  |
| EN-GJL-100     | EN-JL1010 | > 5 ≤ 40          | 100 - 200                        | -  | -  |
| EN-GJL-150     | EN-JL1020 | > 2,5 ≤ 5         | 150 - 250                        | -  | 180  |
|                |           | > 5 ≤ 10          |                                  | -  | 155  |
|                |           | > 10 ≤ 20         |                                  | -  | 130  |
|                |           | > 20 ≤ 40         |                                  | 120  | 110  |
|                |           | > 40 ≤ 80         |                                  | 110  | 95   |
|                |           | > 80 ≤ 150        |                                  | 100  | 80   |
| EN-GJL-200     | EN-JL1030 | > 2,5 ≤ 5         | 200 - 300                        | -  | 230  |
|                |           | > 5 ≤ 10          |                                  | -  | 205  |
|                |           | > 10 ≤ 20         |                                  | -  | 180  |
|                |           | > 20 ≤ 40         |                                  | 179  | 155  |
|                |           | > 40 ≤ 80         |                                  | 150  | 130  |
|                |           | > 80 ≤ 150        |                                  | 140  | 115  |
| EN-GJL-250     | EN-JL1040 | > 5 ≤ 10          | 250 - 350                        | -  | 250  |
|                |           | > 10 ≤ 20         |                                  | -  | 225  |
|                |           | > 20 ≤ 40         |                                  | 210  | 195  |
|                |           | > 40 ≤ 80         |                                  | 190  | 170  |
|                |           | > 80 ≤ 150        |                                  | 170  | 155  |
| EN-GJL-300     | EN-JL1050 | > 10 ≤ 20         | 300 - 400                        | -  | 270  |
|                |           | > 20 ≤ 40         |                                  | 250  | 240  |
|                |           | > 40 ≤ 80         |                                  | 220  | 210  |
|                |           | > 80 ≤ 150        |                                  | 210  | 195  |
| EN-GJL-350     | EN-JL1060 | > 10 ≤ 20         | 350 - 450                        | -  | 315  |
|                |           | > 20 ≤ 40         |                                  | 290  | 280  |
|                |           | > 40 ≤ 80         |                                  | 260  | 250  |
|                |           | > 80 ≤ 150        |                                  | 230  | 225  |

**Çizelge 2.4.** Lamel grafitli dökme demirlerin sertlik değerleri (Yüksel 2001)

| DÖKME DEMİRLER   |            | Kalınlık Aralığı<br>mm | Sertlik Değeri<br>HB30 |
|------------------|------------|------------------------|------------------------|
| Kısa Gösterilişi | Malzeme No |                        |                        |
| EN-GJL-H155      | EN-JL2010  | > 40 ≤ 80              | ≤155                   |
|                  |            | > 20 ≤ 40              | ≤160                   |
|                  |            | > 10 ≤ 20              | ≤170                   |
|                  |            | > 5 ≤ 10               | ≤185                   |
|                  |            | > 2,5 ≤ 5              | ≤210                   |
| EN-GJL-H175      | EN-JL2020  | > 40 ≤ 80              | 100 - 175              |
|                  |            | > 20 ≤ 40              | 110 - 185              |
|                  |            | > 10 ≤ 20              | 125 - 205              |
|                  |            | > 5 ≤ 10               | 140 - 225              |
|                  |            | > 2,5 ≤ 5              | 170 - 260              |
| EN-GJL-H195      | EN-JL2030  | > 40 ≤ 80              | 120 - 195              |
|                  |            | > 20 ≤ 40              | 135 - 210              |
|                  |            | > 10 ≤ 20              | 150 - 230              |
|                  |            | > 5 ≤ 10               | 170 - 260              |
|                  |            | > 4 ≤ 5                | 190 - 275              |
| EN-GJL-H215      | EN-JL2040  | > 40 ≤ 80              | 145 - 215              |
|                  |            | > 20 ≤ 40              | 160 - 235              |
|                  |            | > 10 ≤ 20              | 180 - 255              |
|                  |            | > 5 ≤ 10               | 200 - 275              |
| EN-GJL-H235      | EN-JL2050  | > 40 ≤ 80              | 165 - 235              |
|                  |            | > 20 ≤ 40              | 180 - 255              |
|                  |            | > 10 ≤ 20              | 200 - 275              |
| EN-GJL-H255      | EN-JL2060  | > 40 ≤ 80              | 185 - 255              |
|                  |            | > 20 ≤ 40              | 200 - 275              |

### 2.2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirler

Bu tür dökme demirler aynı zamanda nodüler, sfero veya sünek dökme demir (uluslararası ismi ductile iron) olarak da bilinir, yapısında bulunan grafitler büyük ölçüde küresel şekilde bulunduğu için bu şekilde adlandırılmıştır. Lamel grafitli dökme demirlerden farklı olarak küresel grafitli dökme demirlerde grafit şeklinin küresel olmasını sağlayan; ergimiş demirin dökümden önce az miktarda (% 0,03-0,08 oranında) seryum (Ce) veya magnezyum (Mg) elementleriyle yaklaşık 1350°C’da basınçlı bir şekilde aşılmasıdır. Seryum elementinin büyük kısmı kükürtü gidermekte kullanılıp kalan kısmı da küreleşmeyi sağlamaktadır. Magnezyum ile aşılama ise ekonomik olduğundan dolayı bugün yaygın olarak tercih edilmektedir. İç yapıda bulunan grafit küreleri, ferritik, perlitik veya ferritik perlitik matris içinde dağılmış durumdadır. Grafit şeklinin küre oluşu, lamel grafitlerin tersine olası bir yükleme anında gerilme yığılması etkisi yaratmayarak çatlak oluşumunu önleyici rol oynar. Bu durum pek çok uygulamada küresel grafitli dökme demirlere yüksek mukavemet, toklu, süneklik gibi oldukça üstün özellikler kazandırır. Şekil 2.7’de çeşitli dökme demirlerin gerilme-uzama eğrilerine grafit morfolojisinin etkisi verilmiştir. Bu eğrilerden de görüleceği üzere küresel grafitli dökme demirler aynı uzama miktarlarında diğer dökme demirlere göre daha fazla çekme dayanımına sahiptir. Küresel grafitli dökme demirlerin kırık yüzeyi parlak çeliğimsi görünümündedir (Baydoğan 1996).



**Şekil 2.7.** Çeşitli dökme demirlerin gerilme-uzama eğrilerine grafit morfolojisinin etkisi (ASM International 1990)

Küresel grafitli dökme demirlerin sertlik, çekme dayanımı ve akma sınırı değerleri Çizelge 2.5'te verilmiştir (Yüksel 2001).

**Çizelge 2.5.** Küresel grafitli dökme demirlerin sertlik değerleri ve diğer mekanik özellikleri (Yüksel 2001)

| <b>KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER (prEN 1563:1994)</b> |                 | <b>Brinell Sertlik Değeri</b> | <b>Diğer Mekanik Özellikler(informatif)</b> |                           |
|---|-----------------|-------------------------------|---|---------------------------|
| <b>Semboller</b>  | <b>Malz. No</b> |                               | <b>Çekme Dayanımı</b>                       | <b>Akma Sınırı</b>        |
|   |                 | <b>HBS30</b>                  | <b>N / mm<sup>2</sup></b>                   | <b>N / mm<sup>2</sup></b> |
| EN-GJS-H130   | EN-JS-2010      | < 160                         | 350   | 220                       |
| EN-GJS-H150   | EN-JS-2020      | 130 - 175                     | 400   | 250                       |
| EN-GJS-H155   | EN-JS-2030      | 135 - 180                     | 400   | 250                       |
| EN-GJS-H185   | EN-JS-2040      | 160 - 210                     | 450   | 310                       |
| EN-GJS-H200   | EN-JS-2050      | 170 - 230                     | 500   | 320                       |
| EN-GJS-H230   | EN-JS-2060      | 190 - 270                     | 600   | 370                       |
| EN-GJS-H265   | EN-JS-2070      | 225 - 305                     | 700   | 420                       |
| EN-GJS-H300   | EN-JS-2080      | 245 - 335                     | 800   | 480                       |
| EN-GJS-H330   | EN-JS-2090      | 270 - 360                     | 900   | 600                       |

### 2.2.3. Beyaz Dökme Demirler

Kırıldığında kırık yüzeyinin beyaz kristalin görünüşünden dolayı bu şekilde adlandırılan dökme demir çeşididir. Hızlı soğuma ile elde edilen ötektik altı alaşımlarıdır. Beyaz dökme demirler demir-sementit sisteminde katılaşırlar ve iç yapılarında grafit içermezler. Özellikleri iyileştirmek amacıyla yapıya alaşım elementi ilave edilmesi durumunda ise kompleks karbür bileşimleri oluşturur (kromkarbür, wolframkarbür gibi). Alaşımsız beyaz dökme demirlerde sementit ve perlit iç yapısı göze çarpmaktadır. Alaşım elementi ilavesi iç yapıyı asiküler yapıya beynit ve martenzite dönüştürür. Bu şekilde mukavemet, sertlik, darbe direnci, aşınma direnci, korozyona ve ısıya karşıya direnç gibi özelliklerde olumlu değişimler meydana gelir ve bu şekilde bu tür dökme demir gruplarına geniş kullanım alanları sağlar.

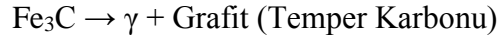
Yüksek oranda sementit içermeleri beyaz dökme demirleri sert ve aşınmaya karşı dirençli hale getirir. Bununla birlikte oldukça gevrekler ve işlenebilmeleri zordur. Beyaz dökme demirler aşınma dirençlerine ilave olarak, 650°C gibi kritik sıcaklıklara yakın sıcaklıklarda güvenle kullanılabilir. Çünkü bu sıcaklık seviyelerinde, beyaz dökme demirin sertliğinde alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde olduğu gibi düşüş görülmez. Beyaz dökme demirlerin kullanım alanlarını sınırlayan faktörler ise düşük darbe dirençleri ve işlenebilme özelliklerinin kötü oluşudur. Başlıca kullanım alanları olarak *hadde merdaneleri*, cevher veya astar değirmen astarları, öğütücü bilyalar, seramik kalıpları ve konveyör parçaları gösterilebilir (Kökden 1998, Çelik 2001).

### 2.2.4. Temper Dökme Demirler

Temper dökme demir; grafitsiz, sert ve kırılğan bir yapıya sahip olan beyaz dökme demirin temperleme (maleabilizasyon) olarak adlandırılan ısıl işlem ile karbürlerinin parçalanması sonucu oluşan, yüksek mukavemetli, sünek, iyi işlenebilme özelliğine sahip ve mikroyapısı ferrit ve temper karbonundan meydana gelen dökme demir türüdür.



Temper dökme demiri elde etmede, beyaz dökme demir 800-970°C sıcaklık aralığına kadar tavlansak yapılarında bulunan sementit ve perlit parçalarıdır. Temel katı hal reaksiyonu aşağıdaki gibidir (Kökden 1998):



İç yapıda varolan sementit ve perlit parçalandıktan sonra, serbest kalan karbon çok yavaş soğuma hızı ile rozet şeklini alır ve temper karbonunu oluşturur. Nihai mikroyapı, grafit ve perlit, perlit ve ferrit veya yalnızca ferritten oluşur. Matriks yapısı tavlama sonrası sonraki soğuma hızına bağlı bir fonksiyondur (Kökden 1998). Kaliteli bir temper dökme demir üretimi için ergitmede esas kriter, serbest lamel grafitleri içermeyen tamamen beyaz bir yapı elde etmektir. Çünkü grafit, temper özelliklerine olumsuz etki etmektedir (Çavuşoğlu 1992).

Başlıca beyaz ortalı ve siyah ortalı olmak üzere iki tip ferritik temper dökme demir bulunmaktadır. Beyaz ortalı olanlar daha çok Avrupa'da, siyah ortalı olanlar ise Amerika'da üretilmektedir. Bu iki tipin birbirinden başlıca farklılığı, temper karbonu şeklinin bir miktar farklı oluşu ve genellikle ortası beyaz olanın bir miktar birleşik karbon içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu fark bileşimden ve üretim yöntemlerindeki değişiklikten ileri gelmektedir. Ancak Avrupa'da da günümüzde üstün özellikleri sebebiyle daha çok ortası siyah temper döküm gerçekleştirilmektedir. Bir üçüncü tip olarak, kullanımı giderek yaygınlaşan perlitik matriksli siyah ortalı temper dökme demir belirtilebilir. Bu tip dökme demirler birleşik karbon içerdiklerinden dolayı, ferritik temper dökümlerden daha yüksek mukavemet, aşınma direnci ve süneklik gösterirler (Çavuşoğlu 1992, Çelik 2001).

Beyaz ve siyah temper dökme demirlerin mekanik özellikleri EN 1562: Haziran 1997 standartlarına göre Çizelge 2.6.'da verilmiştir (Yüksel 2001).

**Çizelge 2.6.** Beyaz ve siyah temper dökme demirlerin mekanik özellikleri (Yüksel 2001)

| BEYAZ TEMPER DÖKME DEMİRLER        |           | Numune Çapı d | Enaz Çekme Dayanımı $R_m$ | Enaz % 0,2 Sınırı $R_{p0.2}$ | Enaz Kopma Uzaması A | Brinell Sertlik Değeri |
|------------------------------------|-----------|---------------|---------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|
| SEMBOL                             | Malz. No  | mm            | N / mm <sup>2</sup>       | N / mm <sup>2</sup>          | %                    | HBS30                  |
| EN-GJMW-350-4                      | EN-JM1010 | 6             | 300                       | -                            | 10                   | 230                    |
|                                    |           | 9             | 340                       | -                            | 5                    |                        |
|                                    |           | 12            | 350                       | -                            | 4                    |                        |
|                                    |           | 15            | 360                       | -                            | 3                    |                        |
| EN-GJMW-360-12W                    | EN-JM1026 | 6             | 290                       | -                            | 16                   | 200                    |
|                                    |           | 9             | 320                       | 170                          | 15                   |                        |
|                                    |           | 12            | 360                       | 190                          | 12                   |                        |
|                                    |           | 15            | 370                       | 200                          | 8                    |                        |
| EN-GJMW-400-5                      | EN-JM1030 | 6             | 300                       | -                            | 12                   | 220                    |
|                                    |           | 9             | 360                       | 200                          | 8                    |                        |
|                                    |           | 12            | 400                       | 220                          | 5                    |                        |
|                                    |           | 15            | 420                       | 230                          | 4                    |                        |
| EN-GJMW-450-7                      | EN-JM1040 | 6             | 330                       | -                            | 12                   | 220                    |
|                                    |           | 9             | 400                       | 230                          | 10                   |                        |
|                                    |           | 12            | 450                       | 260                          | 7                    |                        |
|                                    |           | 15            | 480                       | 280                          | 4                    |                        |
| <b>SİYAH TEMPER DÖKME DEMİRLER</b> |           |               |                           |                              |                      |                        |
| EN-GJMB-300-6                      | EN-JM1110 | 12 veya 15    | 300                       | -                            | 6                    | ≤ 150                  |
| EN-GJMB-320-2                      | EN-JM1120 | 12 veya 15    | 320                       | 190                          | 12                   | ≤ 150                  |
| EN-GJMB-350-10                     | EN-JM1130 | 12 veya 15    | 350                       | 200                          | 10                   | ≤ 150                  |
| EN-GJMB-450-6                      | EN-JM1140 | 12 veya 15    | 450                       | 270                          | 6                    | 150-200                |
| EN-GJMB-500-5                      | EN-JM1150 | 12 veya 15    | 500                       | 300                          | 5                    | 165-215                |
| EN-GJMB-550-4                      | EN-JM1160 | 12 veya 15    | 550                       | 340                          | 4                    | 180-230                |
| EN-GJMB-600-3                      | EN-JM1170 | 12 veya 15    | 600                       | 390                          | 3                    | 195-245                |
| EN-GJMB-650-2                      | EN-JM1180 | 12 veya 15    | 650                       | 430                          | 2                    | 210-260                |
| EN-GJMB-700-2                      | EN-JM1190 | 12 veya 15    | 700                       | 530                          | 2                    | 240-290                |
| EN-GJMB-800-1                      | EN-JM1200 | 12 veya 15    | 800                       | 600                          | 1                    | 270-310                |

### 2.2.5. Özel Yapılı Dökme Demirler

Uygulamada sıklıkla kullanılan dört temel dökme demir türünden farklı olarak özel adlarla belirtilen diğer formlarda dökme demirler de mevcuttur.

#### 2.2.5.1. Çil Uygulanmış Dökme Demirler

Normal olarak lamel grafitli dökme demir halinde katılacak bir bileşime sahip, ancak bazı bölgeleri beyaz dökme demir haline geçecek şekilde hızlı katılaştırılmış (çil uygulanmış) dökme demirlerdir. Bu tür dökme demirlerin kırık yüzeyinde katılmanın hızlı olduğu bölgelerde beyaz, normal olduğu bölgelerde ise gri dökme demir yapısı görülmektedir (Çavuşoğlu 1992, Çelik 2001).

### **2.2.5.2. Benekli (Mottled) Dökme Demirler**

Normal soğuma şartlarında kısmen gri kısmen de beyaz dökme demir halinde katılaşacak şekilde bir ara bileşime sahip dökme demirlerdir ve her iki dökme demir tipinin mikroyapısal ve kırılma yüzeyi karakteristiklerini yansıtır (Çavuşoğlu 1992, Çelik 2001).

### **2.2.5.3. Vermiküler (Yumru Grafitli) Dökme Demirler**

Bu tip dökme demirdeki grafitler, gri dökme demirdeki lamel grafitlere benzemesine karşın daha kaba ve uçları yuvarlanmış şekillidir. Yapısı ise gri dökme demirle küresel grafitli dökme demir yapısı arasındadır. Bu tip dökme demir, gri dökme demire kıyasla daha yüksek mukavemete ve süneklığe sahiptir. Küresel grafitli dökme demirle karşılaştırıldığında ise termal iletkenliği yüksek ve işlenebilirliği iyidir (Çavuşoğlu 1992, ASM International 1996, Çelik 2001).

### **2.2.5.4. Yüksek Alaşımli Dökme Demirler**

Bu tip dökme demirler, mukavemet, aşınma direnci, korozyon direnci ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilme gibi özellikleri geliştirmek amacıyla genellikle gri veya küresel grafitli dökme demirlere belirli oranlarda nikel, krom ve molibden gibi alaşım elementlerinin ilavesi ile elde edilirler.

Korozyona dayanıklı dökme demir elde etmek için yapıya silisyum, krom ve nikel olmak üzere başlıca üç alaşım elementi ilave edilir. Yapıda % 15'e kadar bulunabilen silisyum özellikle sülfirik asite, % 35'e kadar bulunabilen nikel daha çok redükleyici asitlere ve alkalilere, % 28'e kadar bulunabilen krom ise koruyucu oksit tabakası oluşumuna yardımcı olarak oksitleyici asitlere karşı direnç sağlar. Korozyona dayanıklı dökme demirler, ferritik, perlitik, martenzitik veya ostenitik mikroyapıya sahip olabilirler. Ayrıca bileşim, soğuma hızı ve aşılama işlemine bağlı olarak beyaz, gri veya küresel grafitli dökme demir yapısında olabilirler.

Isıya dayanıklı dökme demirler, yüksek sıcaklıkta oksidasyon direnci ile yumuşamaya veya mikroyapısal bozulmaya karşı dayanımı içeren dökme demirlerdir. Isıya karşı dayanıklı dökme demirler gri veya küresel grafitli dökme demirlerden oluşmakta ve genellikle ferritik veya ostenitik döküm yapısına sahip olmaktadır. Isıya karşı dayanıklı dökme demirlerde en çok kullanılan alaşım elementi kromdur. Kromun hem karbürleri stabil yapan etkisi hem de sıkı ve koruyucu bir oksit tabakası oluşturması, dökme demirin yüksek sıcaklıklardaki kullanımını kolaylaştırır. Buna karşılık nikel, oksitlenmeye karşı direnci sağlamakla birlikte yüksek sıcaklıklarda tokluk ve mukavemeti artırır. Molibden yüksek sıcaklık dayanımı, alüminyum ve silisyum ise oksitlenmeye karşı direnci artırır.

Yüksek aşınma direnci istenen yerlerde ise yüksek krom ve molibden içeren martenzitik beyaz dökme demirler üretilirler. Yüksek alaşım içeriği nedeniyle bu dökme demirlerin mikroyapılarında oldukça fazla dönüşmemiş ostenit bulunmaktadır. Perlitik beyaz dökme demir de aynı zamanda aşınmaya dayanıklı bir malzeme tipi olarak kullanılabilir (Çavuşoğlu 1992, Çelik 2001).

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### ALAŞIM ELEMENTLERİNİN LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

#### 3. Alaşım Elementlerinin Lamel Grafitli Dökme Demirlerin Özelliklerine Etkileri

Lamel grafitli dökme demirlerde normal olarak mevcut bütün elementlerin mikroyapı üzerinde etkisi vardır. Etki yönünden karbon ve silisyum başta gelir (Aslani 1989).

##### 3.1. Karbon (C)

Lamel grafitli dökme demirlerde karbon miktarı % 2,5-4,5 arasındadır. Karbon iç yapıda bileşik ve serbest olarak iki faz oluşturur. Kimyasal analizlerde verilen, dökme demirdeki toplam karbon yüzdesidir. Karbonun her iki bulunuş şekli ayrı ayrı tayin edilebildiğinden grafitleşme derecesi aşağıda verilen bağıntı ile tespit edilebilir (Aslani 1989):

$$\% \text{ Toplam Karbon} = \% \text{ Grafit Halindeki Karbon} + \% \text{ Bileşik Halindeki Karbon}$$

Gri dökme demirde % 0,5-0,8 bileşik karbon varsa mikroyapı büyük ölçüde perlitik olacaktır. Çünkü %2 civarında Si içeren gri dökme demirde, perlit %0,6 C içeren ötektoid ostenitten oluşmaktadır. Dolayısıyla yukarıda verilen bağıntı gri dökme demirde grafitleşme derecesi için kimyasal bir kriter olmaktadır. Gri dökme demirin katılaşmasında yeterli grafitleşmenin olabilmesi için belli bir minimum toplam karbon yüzdesi gereklidir. Bu değer, alaşımındaki silisyum yüzdesine bağlı olarak yaklaşık % 2,2 civarındadır (Aslani 1989).

##### 3.2. Silisyum (Si)

Gri dökme demirde silisyum oranı % 1-3,5 arasındadır ve silisyumun en büyük etkisi grafitleşme üzerinedir. Silisyum grafitleşmeyi teşvik eder. Düşük yüzdelerde

silisyum katılaşıma esnasında grafitleşmeyi sağlamak için yetersiz kalır, ancak yüksek sıcaklıkta ısıl işleme (temperleme gibi) katı halde çekirdek oluşumu ve grafitleşmeyi sağlar. Mikroyapı açısından silisyum ferriti içinde erimiş durumdadır, ferrite dayanım kazandırır. % 2Si içeren ferritik gri dökme demirin sertliği 120-130 Brinell civarındadır (Aslani 1989).

### 3.3. Kükürt (S) ve Mangan (Mn)

Lamel grafitli dökme demir yapısında % 0,25 oranına kadar bulunabilen kükürt, daha çok grafitleşmeyi sınırlayan (karbürü stabilize yapan) bir elementtir. % 0,25'in üzerindeki kükürt dökme demire istenmeyen sertlik kazandırır ve işlenebilme kabiliyetini azaltır. Kükürtün etkisi bileşimde mangan göz önünde tutularak incelenmelidir. Yalnız başına kükürt FeS oluşumuna neden olur. Yapıda mangan mevcut olduğunda, manganın yüzde miktarına bağlı olarak MnS veya kompleks demir-mangan sülfürleri oluşur. Tek başına mangan grafitleşmeye dirençli bir elementtir, dolayısıyla kükürt ile reaksiyon için yeterli miktardan fazla mangan perlitik mikroyapının devamlılığına neden olur (Aslani 1989). Şekil 3.1.'de lamel grafitli dökme demir içerisinde manganın (silisyum ve perlit yapıcı diğer alaşım elementleri ile birlikte) yer alışı optik mikroskop görüntüsü olarak verilmiştir (WEB\_5 2004).



**Şekil 3.1.** Lamel grafitli dökme demir içinde mangan alaşım elementi (560X) (WEB\_5 2004)

### 3.4. Fosfor (P)

Fosfor ergimiş metalin akışkanlığını arttıran ve soğumuş parçanın aşınma direncini yükselten bir elementtir. Katılaşma sırasında fosforun ergiyiğe doğru atılmasından dolayı katılaşma sıcaklığı düşmektedir .

Fosfit ötektiği beyaz ve dağlama özelliği olmayan bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı karbürlerle kolayca karıştırılır. Karbürler gibi sert bir malzeme olan fosfit ötektiğinin işleme özelliği oldukça kötüdür (Aslani 1989).

### 3.5. Krom (Cr)

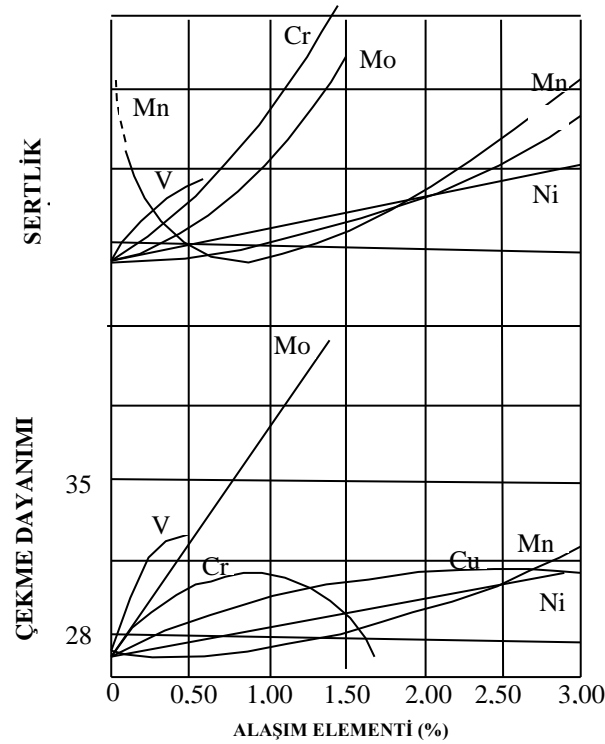
Krom çok kuvvetli bir karbür yapıcı elementtir. Gri dökme demire az miktarda krom ilave edildiği takdirde karbürlerde krom toplulukları ve sementitten daha kararlı olan kompleks krom karbürleri meydana gelir. Gri dökme demirde krom miktarı kesirler mertebesinde olduğu takdirde ısıl işlem veya normal soğutma esnasında ötektik sementit ve perlitin grafitleşmesi yavaşlar. Lamel grafitli dökme demirlere % 0,5-1 oranında krom ilave edildiği takdirde, kromun perlitte dengeleyici etkisi ve yavaş soğumada meydana gelen serbest ferriti ortadan kaldırması nedeniyle mekanik özellikler genel olarak yükselir. Kromun bu etkisi gri dökme demirin sertliğini ve aşınma direncini artırır (Çiğdemoğlu 1968). Krom % 0,2'ye kadar sertlik değerini çok az yükseltmekte, buna karşın çekme dayanımı artmaktadır (İzgiz 1978).

Nikelli veya bakırlı gri dökme demirlerde grafitleşmeyi ortadan kaldırmak, böylece diğer alaşım elementlerinin bu tür dökme demirlere verdikleri fiziksel ve mekanik özellikleri yükseltmek ve aynı zamanda lamel grafitli dökme demirin çil karakteristiklerini muhafaza etmek için krom ilavesi gerçekleştirilir (Çiğdemoğlu 1968).

### 3.6. Nikel (Ni)

Nikel yıllar boyu önemini korumuş bir alaşım elementidir. % 0,4-0,6 gibi düşük oranlardaki nikel ilavesi gri dökme demirin beyaz katılaşma eğilimini azaltarak, silisyum ilavesinde olduğu gibi grafitleştirici bir rol oynar. Bu etki silisyumun üçte biri

kadardır (Örneğin % 1 Ni ilavesi karbonun grafit olarak katılaşması yönünden % 0,3 Si ile aynı etkiyi yaratır.). Beyaz katılaşma eğilimini azalttığından bu miktarlardaki nikelin işlenebilirlik üzerinde de işlenebilmeyi kolaylaştırıcı yönde etkileri vardır. Oran % 0,6-1,5 arasında olduğu zaman matrikste katı eriyik halinde çözünen nikel atomları mukavemet ve sertliği arttırlar (Şekil 3.2.). Ayrıca daha homojen bir katılaşma sağlayarak ince ve kalın kesitlerdeki sertlik farkının etkisini azaltırlar. Birçok durumda nikel ilavesinin artışı, yapıdaki perlit artışı ile bir paralellik gösterir. Bunun yanında tane boyutlarında ve grafitlerde meydana gelen küçülme nikelin diğer etkilerindedir.



**Şekil 3.2.** Lamel grafitli dökme demirlerde çeşitli alaşım elementlerinin malzemelerin çekme dayanımı ve sertliklerine etkileri (TÜDOKSAD 1997)

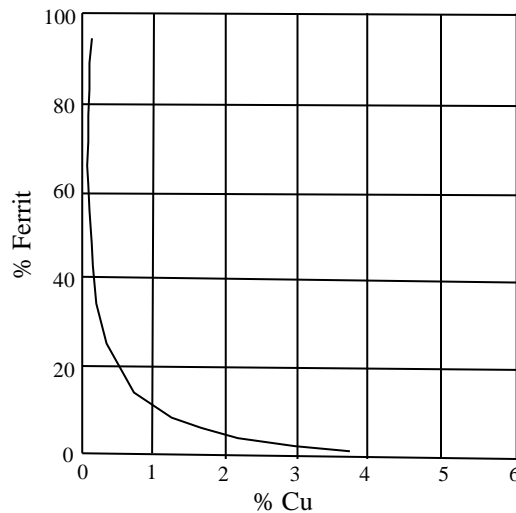
% 0-3 arasında Ni ilavesi lamel grafitli dökme demirde perlitin incelmelerini, karbonun grafit olarak katılaşmasını ve dökme demirin işlenebilirliğinin artmasını sağlar. % 4-8 arasında Ni ilavesi martenzitik yapı oluşumuna destek olur (Örneğin Ni-Hard). % 14-20 arasında Ni ilavesi ise ostenitik bir iç yapı elde edilmesini sağlayarak korozyon ve ısıya dayanıklı dökme demir üretim imkanı sunar (Ni-Resist).



Tek başına kullanıldığı zaman pozitif etkileri olan nikel, genellikle molibden, krom, vanadyum ve bakır gibi diğer alaşım elementleri ile beraber kullanılır. Kupol ve indüksiyon ocaklarına % 99 saflıkta nikel içeren bilya, levha veya briket halinde ilave edilir. Yanma kaybı sıfır olarak kabul edilir (TÜDOKSAD 1997).

### 3.7. Bakır (Cu)

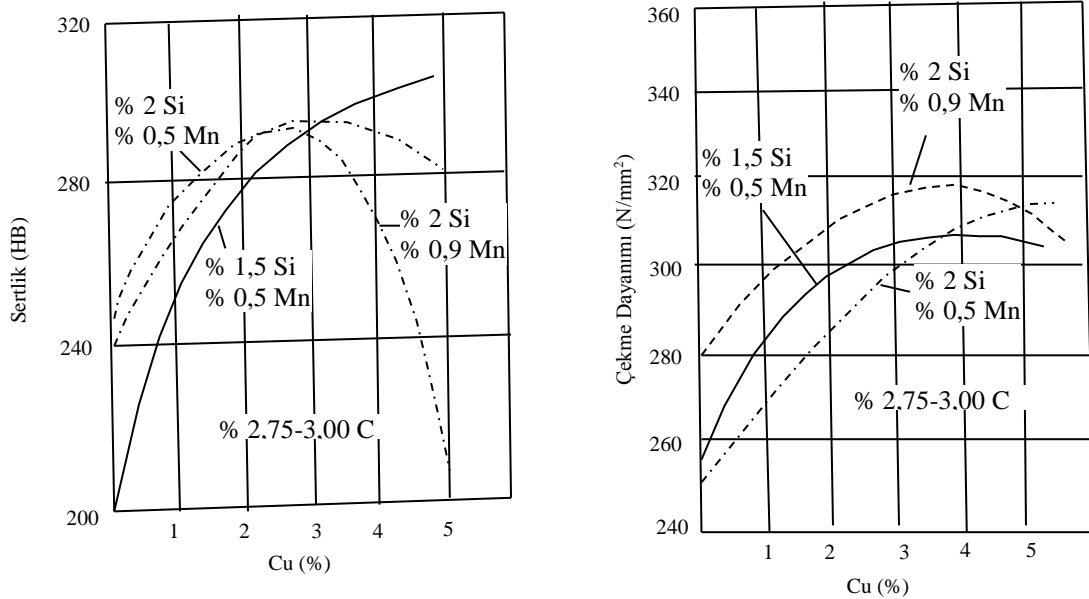
Bakır lamel grafitli dökme demirde nikel benzer davranış gösteren bir alaşım elementidir. Her ikisi de lamel grafitli dökme demirin mukavemetini yaklaşık aynı oranlarda arttırırken, grafitleştirici etkileri de birbirlerine benzeyen yönleridir. % 1 bakır ilavesi, karbonun grafit olarak katılaşmasına etkisi yönünden % 0,25 silisyum ile eşdeğerdedir. İlk bakışta bakır her bakımdan nikelin yerini doldurabilecek bir element olarak gözükse de, bu bir noktaya kadar geçerlidir. Bakırın dökme demir içerisindeki çözünürlüğü % 1,5 ile sınırlıdır. Bu orana kadar bakır, nikelin yerine kullanılabilir. Bu değer üzerinde bakır ilavesi pratikte uygulaması olmayan bir durumdur. Bakır dökme demire esas olarak yapının perlitik olarak katılaşmasını sağlamak üzere ilave edilir. Kesit kalınlığı arttıkça Cu, Si ve karbon eşitliği ayarlamaları ile perlitik yapı dolayısı ile istenilen mekanik mukavemetlerin (çekme, sertlik gibi) sağlanması zorlaşmaktadır. Bu nedenle, bakır, kalay gibi perlit yapıcı alaşım elementlerinin kullanılmaları gerekmektedir (Şekil 3.3.). Bakırın perlit yapıcı bir element olarak kullanılmasının önemli bir nedeni de, normal ilave miktarları olan % 0,5-1,2 seviyelerinden yapıda sementit tehlikesinin olmamasıdır.



Şekil 3.3. Bakır ilavesinin ferrit (dolayısıyla perlit) üzerine etkisi (TÜDOKSAD 1997)

Birçok faydalı etkilerden dolayı pratikte birçok dökümhane bakır ile nikel alaşım elementlerini birlikte çeşitli kombinasyonlar halinde kullanırlar. Bunlardan en çok uygulananı Nikel/Bakır = 7/3, yani % 0,7 Ni ve % 0,3 Cu şeklindedir. Bilhassa ince kesitli parçalarda (25mm'ye kadar) sadece %0,3-0,4Cu kullanımı % 90 ve üzerinde perlitik bir yapı oluşumunu sağlar. Kalın kesitli parçalarda (25-100mm), perlitik bir yapı elde edilebilmesi için, bakır ilavesinin %0,6-1,5 arasında yapılması gerekmektedir. Kalın kesitlerde, perlitik doku bakır ve kalayın beraber ilave edilmesi ile daha kolay sağlanabilecektir.

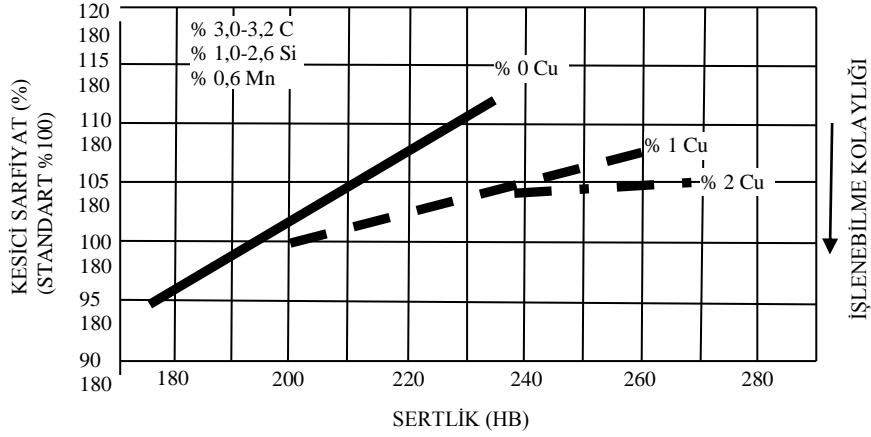
Bakırın faydalı bir diğer özelliği, belirli oranlarda kullanılması halinde, dökme demirin kesit kalınlığına göre sertlik ve mukavemetin değişmesini asgariye indirgemesidir. Bakır ilavesinin mekanik etkisi, dökme demirdeki Si, C ve Mn miktarlarına bağlıdır (Şekil 3.4.).



**Şekil 3.4.** Lamel grafitli dökme demirde bakır ilavesinin sertlik ve çekme dayanımı üzerindeki etkisi (TÜDOKSAD 1997)

Bakırın en yararlı katkısı, dökme demirin işlenebilme özelliğini arttırmasıdır. Bu özelliği, perlitik homojen bir yapı oluşturması ve sementit, karbür gibi kalem körletici fazların oluşmasını engellemesi ile sağlar (Şekil 3.5.).

Bütün bunların yanında, bakır gerek indüksiyon ocaklarında gerekse kupol ocaklarında ergitme esnasında yanmadığından, sürekli olarak yolluk, besleyici ve hurda demir malzeme içinde birikmektedir. Ergitme esnasında, analiz yapılmadan bakır ilavesi yapılması, ergiyikte istenilenin üzerinde bakır miktarları ile karşılaşılmasına neden olabilir (TÜDOKSAD 1997).



**Şekil 3.5.** Dökme demirin işlenebilmesinin sertlik ve bakır katkısı ile ilişkisi (TÜDOKSAD 1997)

Bakır ilavesinde % 3 Cu üzerine çıkıldığında mekanik özelliklerde azalma görülmektedir (Şekil 3.3.). Bunun nedeni, bu miktarların üzerinde bakır fazlası ince kürecikler şeklinde ergiyik dışında kalır (Çiğdemoğlu 1968). Bakır ilavesinde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise, kullanılan bakırın saf elektrolitik bakır olması ve içinde dökme demir için zararlı olan antimon ve kurşunun bulunmamasıdır (TÜDOKSAD 1997). Şekil 3.6.'da lamel grafitli dökme demir içerisinde bakırın yer alışı gösterilmiştir.

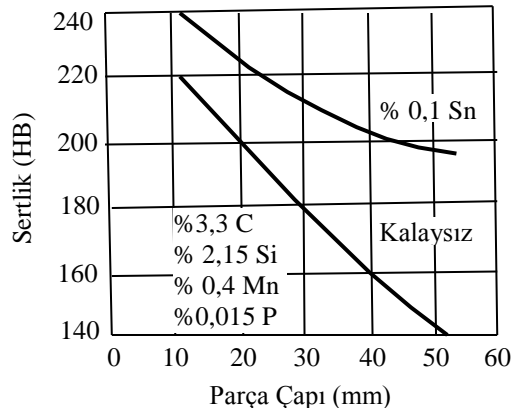


**Şekil 3.6.** Lamel grafitli dökme demir içinde bakır alaşım elementi (560X) (WEB\_6 2004)

### 3.8. Alaşım Elementlerinin Birlikte Etkisi

Lamel grafitli dökme demirlerde ince perlitik dokunun oluşturulması için % 1,5 Cu ve % 0,3 Cr veya % 0,1 Sn verilir. Bakır, nikel ve molibden sertliği arttırlar. Kalın parçalarda % 0,3 Cr ve % 1,5 Cu'nun alaşım elementi olarak ilavesi genellikle uygulanan bir kalite artırıcı önlemdir.

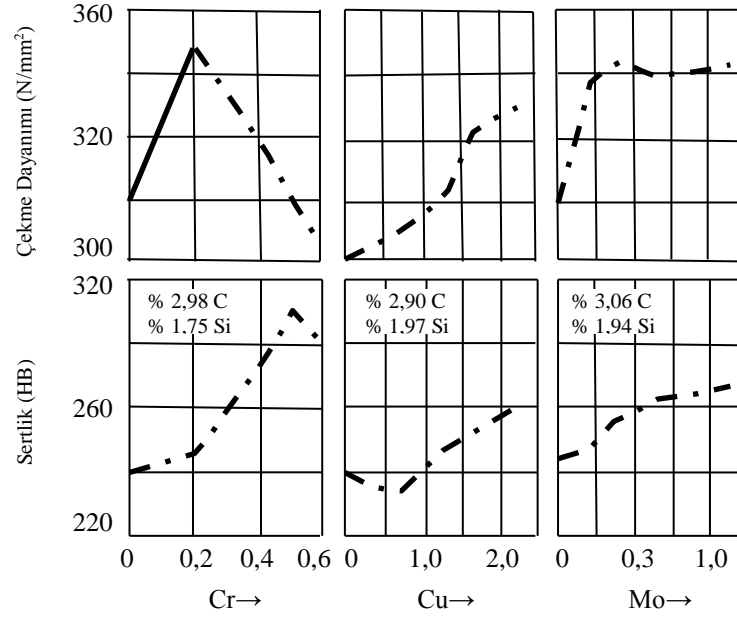
İnce et kalınlıklarında kalay (Sn) ana doku sertliğini yaklaşık olarak 20 HB yükseltmektedir. Bu et kalınlığında iç yapı tamamen perlitiktir. Kalın parçalarda ise, iç yapı ferritik veya kısmen perlitik olduğundan kalayın sertliğe etkisi artmaktadır (Şekil 3.7.).



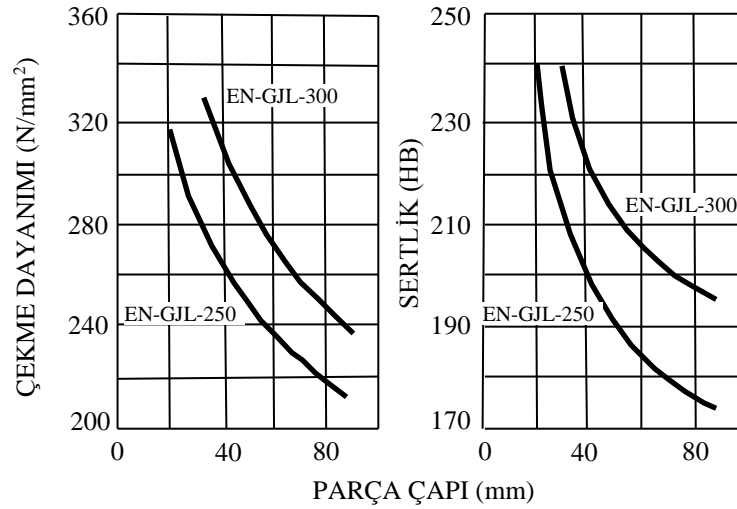
**Şekil 3.7.** Kalay miktarının gri dökümde parça çapına bağlı olarak sertlik değerine etkisi (İzgiz 1978)

Diğer elementlerin sertlik değerleri ve çekme dayanımına etkileri Şekil 3.8.'de verilmektedir (İzgiz 1978).

Molibden (Mo) ilavesi ile dökme demirde sertlik değeri yükselmekte, çekme dayanımı ise % 0,25 miktarından sonra değişmemektedir. Alaşım elementlerinin parça çapına, yani soğuma hızına bağlı olarak etkileri de farklılık göstermektedir. Grafitleştirici elementlerin etkisi et kalınlığına bağlı olarak fazla olmamakla birlikte, krom, vanadyum daha fazla etkili olmaktadır. Eğer bir parçada kalın kısımlarında serbest ferrit miktarı fazla ise ve alaşım elementleri ile azaltılabiliyorsa, bu şartlarda parça soğuma hızı, et kalınlığı farkı azaltılmış olunur (Şekil 3.9.).



**Şekil 3.8.** Krom, bakır ve molibdenin perlitik lamel grafitli dökme demirin çekme dayanımı ve sertliğine etkileri (İzgiz 1978)



**Şekil 3.9.** EN-GJL-250 ve EN-GJL-300 lamel grafitli dökme demirde et kalınlığının çekme dayanımı ve sertliğe etkisi (İzgiz 1978)

Lamel grafitli dökme demire daha üstün özelliklerin kazandırılmasında alaşım elementlerinin karşılıklı etkilerinden faydalanılarak, iki veya üç element belli oranlarda olmak şartı ile ilave edilir. Kromun beyaz dökme demir oluşumuna eğilimi artırıcı etkisi, sınırlı miktarda kullanılmasını zorunlu kılar. % 0,4 Cr miktarlarına kadar ekonomik bir çalışma alternatifi olan bu yöntem, ikili ve üçlü kombinasyonlar halinde

daha yüksek dayanım değerlerini verir (Örneğin; % 1 Cu ve % 0,25 Cr, % 1,5 Cu ve % 0,35 Cr, % 2 Cu ve % 0,45 Cr, % 1,5 Cu ve % 0,35 Cr ve % 0,25 Mo.)

Çekme dayanımını kuvvetli bir şekilde arttıran alaşım elementi molibdendir. Sadece molibden ilavesiyle lamel grafitli dökme demir iç yapısında yüksek miktarlarda ferritleştirme etkisi görüleceğinden, perlit oluşumunu arttıran bakır ve krom gibi elementlerle beraber kullanılır (Schiele 1978).

**Çizelge 3.1.** İkili alaşım elementi ilavesinin lamel grafitli dökme demirin çekme dayanımına etkisi (İzgiz 1978)

| <b><u>Kombinasyon</u></b> | <b><u>Çekme dayanımındaki artış (N/mm<sup>2</sup>)</u></b> |
|---------------------------|--|
| % 0,5 Mo ve % 0,1 Cu      | 80   |
| % 0,5 Mo ve % 0,5 Ni      | 70   |
| % 0,75 Mo ve % 0,75 Ni    | 90   |
| % 0,4 Mo ve % 0,25 Cr     | 70   |
| % 0,75 Mo ve % 0,35 Cr    | 110  |

**Çizelge 3.2.** Alaşım elementlerini lamel grafitli dökme demirin özelliklerine etkisi (İzgiz 1978)

| <b><u>Özellik</u></b>    | <b><u>Alaşım Elementi</u></b> |
|--------------------------|-------------------------------|
| Yüksek sıcaklık dayanımı | Mo                            |
| Perlit kararlılığı       | Cr, S, Mo, Cu                 |
| Oksidasyona karşı direnç | Cr                            |
| Termal şok direnci       | Yüksek C ve Mo                |

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

### **HADDE MERDANELERİ**

#### **4. Hadde Merdaneleri**

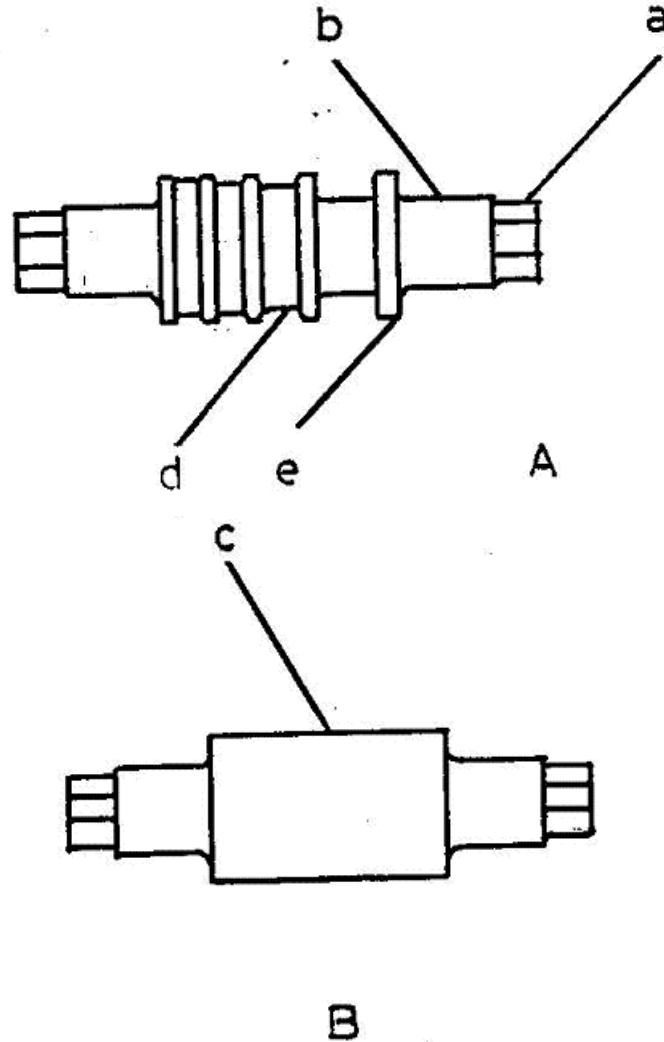
Günümüzün yaygın imal usullerinden olan haddelemeyi gerçekleştiren hadde merdanelerinin ilk malzemesi dökülebilirliği ve geniş alaşım aralığı nedeniyle dökme demirler olmuştur. Daha sonraları kalıp tekniğinin öğrenilmesi, yüzey direnci talebi ve hızlı soğutma uygulamaları ile beyaz dökme demir merdaneler üretilmeye başlanmıştır. Etkili yüzey sertleştirme işlemleri ve % 0,5 Cr ilavesiyle yeterli ve güvenilir merdane üretimleri gerçekleştirilmiştir. Sıcak sac haddelemede, istenilen üstün yüzey kalitesi, yüksek alaşım elementi ilavesiyle sağlanmıştır. Yüksek alaşımlı döküm merdaneler çağı 1928 yıllarında başlamış, daha sonraları merdane tasarımındaki gelişmelerle performansta artışlar sağlanmıştır. Bu yıllardaki çalışmalara en iyi örnek adamit merdaneler olmuştur (Tunç 1997).

Günümüzde soğutma sistemlerinden emniyetli muylu ve gövde çap oranlarına kadar hadde merdaneleriyle ilgili tasarım ve kullanım standartları oluşturulmuş, haddeleme esnasında hadde merdanelerinin maruz kaldığı aşınma, kırılma, yorulma gibi problemlere çözümler oluşturulmaya başlanmıştır. Hadde merdanelerinin çalışma koşulları göz önüne alınarak, hadde merdanesi malzemesinin spektral analiz, sertlik, yüzey toleransları kontrolleri ve ultrasonik malzeme muayene yöntemleri ile malzemenin iç yapısında katılaşma esnasında oluşması muhtemel lunker, segregasyon, çatlak gibi hataların kontrolleri hatasız ve yüksek performansla kullanımı sağlayan hadde merdanelerinin üretimine olanak sağlamıştır. Bununla birlikte yeni geliştirilen döküm ve kalıplama yöntemleri ile tek parça halinde merdanelerin farklı çalışma bölgelerinde farklı mekanik özellikler elde edilmekte ve haddehane işletmecilerinin yüksek ısı direnç ve uzun ömür, yüksek kırılma direnci, çatlamalara karşı dayanım, iyi yüzey kalitesi, uygun sertlik, aşınma direnci, rijitlik, uygun tasarım, termal şok direnci gibi isteklerine uygun hadde merdanesi üretimleri gerçekleştirilmektedir.

Hadde merdanelerinde meydana gelen aşınma gibi problemleri inceleyebilmek için hadde merdanelerinin tasarım özelliklerinden malzeme türlerine (buna bağlı olarak alaşım elementlerine), üretim yöntemlerinden talaşlı işlemlerine kadar birçok faktörü bir arada değerlendirmek gerekmektedir.

#### 4.1. Hadde Merdanelerinin Konstrüktif Özellikleri

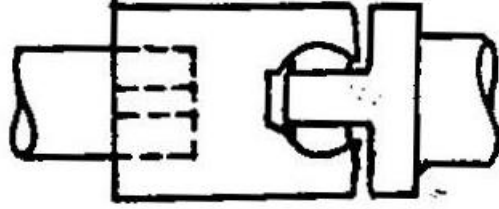
Haddeleyeceği mamul türüne göre (inşaat demiri, lama, çeşitli profiller gibi) merdaneler temel olarak iki tip imal edilmektedir: Oluklu hadde merdaneleri ve düz hadde merdaneleri (Şekil 4.1.) (Metals Handbook 1988).



**Şekil 4.1.** Merdane tipleri A – Oluklu tip merdane, B – Düz tip merdane (a– Merdanelenin tahrik noktası, b- Muylu, c-Çalışma yüzeyi, d-Oluk, e- Bilezik) (Metals Handbook 1988)



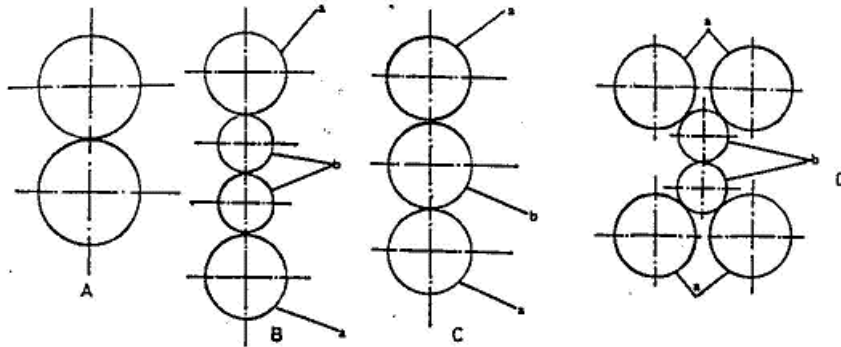
Bazı hadde merdanelerinde dişli tahrik yerine yüzeyden noktasal veya çizgisel birleştirme gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.2.) (Metals Handbook 1988).



Şekil 4.2. Merdaneler için universal birleştirme (Metals Handbook 1988)

Kütük haddesi merdaneleri, ingotları ve kütükleri çubuk veya plaka haline dönüştürürler. Bunlar; kaba haddeleme merdaneleridir. Kaba hadde merdanelerinden sonra orta grup merdaneler kullanılmaktadır, daha sonra lider grup merdaneler, finish merdaneleri ve son şeklin verilmesi için yine finish merdaneleri kullanılmaktadır.

Kullanım sistemine göre merdaneler çeşitli şekillerde isimlendirilmektedir. İki adet merdanenin kullanıldığı sistemler ikili grup, üç adet merdane birarada kullanılırsa üçlü grup, dört adetten fazla merdane birarada çalışırsa demet halindeki sistem adını almaktadır (Şekil 4.3.) (Tunç 1997).



Şekil 4.3. A-2'li grup, B-4'lü grup, C-3'lü grup D-Demet halindeki merdaneler, (a-Destek merdanesi, b-İş merdanesi) (Metals Handbook 1988)

Konstrüktif özellikleri etkileyen faktörlerin başında merdanenin kırılmadan emniyetli bir şekilde çalışmasını sağlayacak olan muylu ile merdane gövde çapı

arasındaki emniyetli oranlardır. Kullanım yerlerine göre muylu ile merdane çapı arasındaki emniyetli oranlar Çizelge 4.1’de verilmiştir (ASM Committee 1988).

**Çizelge 4.1** Muylu ile merdane çapı arasındaki emniyetli oranlar (ASM Committee 1988)

| <b><u>ACIKLAMA</u></b>       | <b><u>ORAN</u></b> |
|------------------------------|--------------------|
| KÜTÜK MİLLER                 | 0,5-0,55           |
| TABAKA HADDELEME MERDANELERİ | 0,76-0,80          |
| BACKING MERDANELERİ          | 0,55-0,65          |
| WORK MERDANELERİ             | 0,6-0,65           |
| ÇUBUK HADDELEME MERDANELERİ  | 0,6-0,67           |
| ORTA GRUP MERDANELERİ        | 0,6-0,7            |
| FINISH MERDANELERİ           | 0,6-0,65           |
| SOĞUK HADDELEME MERDANELERİ  | 0,75               |

## 4.2. Hadde Merdanelerinde Aranan Özellikler

Kullanım yerlerine göre hadde merdanelerinde aranan özelliklerin başında; yüksek ısı direnç ve uzun ömür, yüksek kırılma direnci, çatlamalara karşı direnç, iyi yüzey kalitesi, uygun sertlik, aşınma direnci, rijitlik, uygun tasarım, termal şoklara karşı direnç gelmektedir. Ne var ki bu özelliklerin tamamını bir arada sağlamak oldukça güçtür. Bu nedenle hadde merdanesi üreticileri, haddehane işletmecilerinin istekleri ve kullanım şartları doğrultusunda belirtilen özellikleri sağlayacak en uygun hadde merdanesini üretmeye ağırlık vermektedirler. Örneğin; ezme oranının (haddelemenin) fazla olduğu ve yüzey kalitesinin çok önemli olduğu finish merdanelerinde sertliği düşük, tokluğu yüksek malzeme tercih edilmekte, tersi durumlarda ise yüzey sertliğine önem verilmektedir (Özdoğan vd 1983).

Hadde merdanelerinde aranan özelliklerin en önemlilerinden biri yüksek aşınma direncidir. Aşınma, haddeleme esnasında haddelenen mamul ile merdane yüzeyinin bozulmasından meydana gelir ve sağlanması beklenen yüksek aşınma direnci merdane yüzeyinin bozulmasını önleyerek istenen toleranslarda kullanılmasını sağlar (Patwardhan 1983). Aşınmayı etkileyen faktörlerden biri de merdane yüzeyinin sertliğidir.

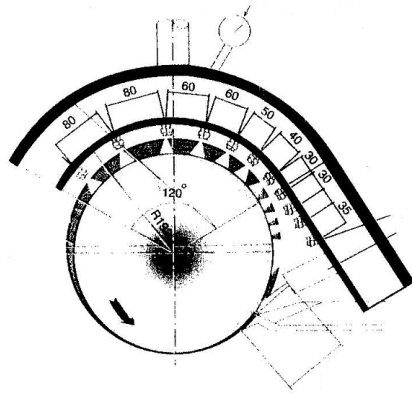
Merdanenin aşınmaya maruz kalan yüzeyleri belirlenen toleranslarda taşlanarak tekrar kullanımı sağlanmaktadır. Bu nedenle merdaneler istenen çaplardan belli toleranslarda büyük imal edilmelidir. Merdanelerde aşınma faktörünün devamlı olarak kontrol altında tutulması gerekmektedir, toleransların üzerinde meydana gelen aşınma istenen toleransların da dışına çıkılmasına neden olacaktır (Metals Handbook 1998). Aşınmaya aynı zamanda yük altındaki sıcaklık değişimleri de neden olmaktadır.

Merdanelerde meydana gelen çatlama ve devamında oluşan kırılmalara neden olan burulma, eğilme, kesme gerilmelerine karşı dayanımı sağlamak için merdanelerin kimyasal kompozisyonları, ısıl işlemleri, oluşan artık gerilmeler ve iç gerilmeler göz önüne alınmalıdır. Kullanım esnasında merdanelerde oluşan hızlı ve düzensiz ısıl değişimler nedeniyle iç hatalar ve artık gerilmeler merdanenin ömrünü kısaltacaktır. İç gerilmeler malzeme yüzeyinden parça kopana kadar devam edecektir. Merdane yüzeyinde gerçekleştirilen kaba talaşlı işlemler (frezeleme gibi) aşınmayı arttırmaktadır. Yüzeyin çok sert olması da dökülme ve pullanmalara neden olur. Profil veya çubuk demirin kaymasından dolayı, aşırı ısınma meydana gelir ve bu da özellikle sertleştirilmiş çelik merdanelerde problemlere yol açmaktadır (ASM Committee 1988).

Hadde merdanelerinde meydana gelen salınım veya sehim problemlerinin tamamına rijitlik denmektedir. Bu durum özellikle tabaka ve sac haddelemede oldukça önemlidir. Merdanenin salınımı merdaneyi zayıflatmaktadır. Bu açıdan bakıldığında dökme çelik merdaneler, dökme demir merdanelere göre daha rijittirler (Metals Handbook 1988). Lider ve finish merdaneleri rijitliği sağlamak için kısa yapılırlar.

Merdaneler kullanım esnasında bükülme, burulma, yapışma gibi nedenlerden dolayı beklenmedik şekilde kırılabilirler. Haddelenen malzemenin, merdanenin etrafını sarması veya merdane sistemine hatalı girişi, sıcak yırtılmalara neden olmaktadır. Soğuk haddelemede haddelenen malzeme soğuk iken ve merdaneler arasında sıcak malzeme varsa, merdaneler durur veya çalışma devrinin altında çalışmaya başlarsa oldukça önemli hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle merdane yüzeyinde termal soğuklara neden olacak ani ısıl değişimlerden kaçınılmalıdır (ASM Committee 1988).

Malzeme, oyukların yerine bileziklerin üzerinde hareket etmeye başlarsa, aşırı bir basınç artışı meydana gelir ki bu esnada da malzeme içinde oluşan iç gerilmeler çatlak oluşumuna neden olacaktır. Malzemenin merdaneyi sarmasının temel nedeni ise, malzemenin merdaneye yanlış bir şekilde girmesidir. Böyle bir durumla karşılaşıldığında merdane ters yönde çevrilerek malzeme merdaneden uzaklaştırılır ve aşırı ısınmaya maruz kalan bölge soğutulur (Metals Handbook 1988). Bu nedenle merdaneyi yeterli ve uygun şekilde soğutmak için iyi bir soğutma sistemi oluşturulmalı bunun için de su miktarının, su basıncının ve suyun dağıtım şeklinin doğru seçilmesine dikkat edilmelidir. Şekil 4.4'te uygun soğutma sistemine örnek verilmiştir (Ardöküm 2004).

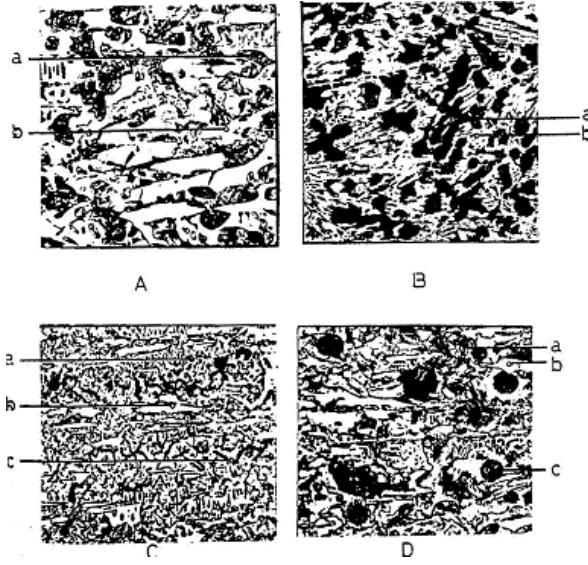


Şekil 4.4. Hadde merdaneleri için uygun soğutma sistemi (Ardöküm 2004)

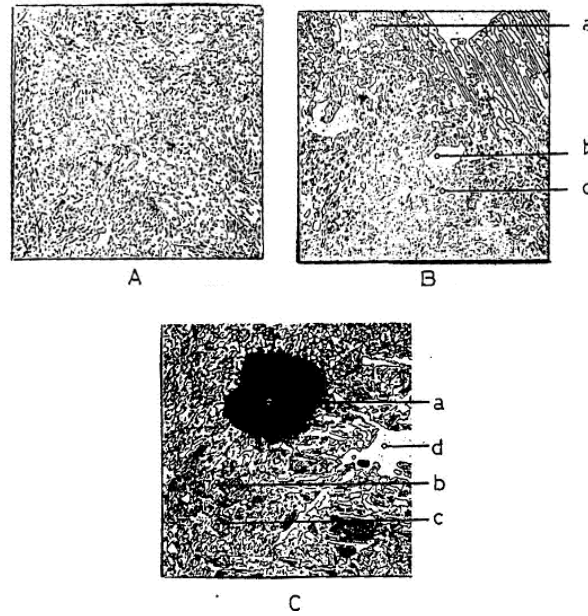
### 4.3. Hadde Merdaneleri Metalurjisi

Hadde merdanelerinin metalurjisini incelemek için dökme demir merdanelerin ve dökme çelik merdanelerin mikroyapılarını belirlemek gerekir. Şekil 4.5.'te dökme demir merdaneler ve Şekil 4.6.'da dökme çelik merdaneler için mikroyapılar verilmiştir (Rolls From Akers 1987).

Dökme demirde, beynit fazının elde edilebilmesi için ısı işlem uygulanmaktadır. Bunun yanında normal veya yavaş soğutma ile beynitik matriks yapısının elde edilebilmesi için molibden ilavesi gereklidir. Genellikle magnezyum, krom, molibden gibi alaşım elementlerinin oluşturduğu karbürler saf sementitten daha serttir ve malzemeye ısı direnç kazandırır.



**Şekil 4.5.** Dökme demir merdaneler için mikroyapılar A) Demir karbürlü perlitik matriks 100X (a-Perlitik Matriks, b-Sementit), B) Krom karbürlü perlitik Matriks 100X (a-Perlitik martenzitik Matriks, b-Krom karbür), C) Martenzitik beynitik Matriks 100X (a-Martenzitik beynitik Matriks, b-Sementit, c-Lamel grafit), D) Küresel grafitli dökme demir 100X (a-Perlitik Matriks, b-Sementit, c-Küresel grafit) (Rolls From Akers 1987)



**Şekil 4.6.** Dökme çelik merdaneler için mikroyapılar A) Küreselleştirilmiş perlit 500X B) Perlitik Matriks 500X (a-Perlitik Matriks, b-Primer sementit, c-Sekunder sementit), C) Grafitik çelik 500X (a-Küresel grafit, b- Primer sementit, c-Matriks, d- Sekunder sementit) (Rolls From Akers 1987)

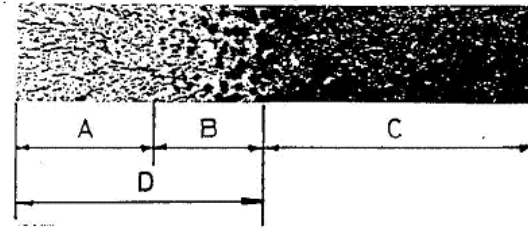
Kalıp soğutma hızında oluşan dalgalanmalar katılaşmada önemli bir etkiye sahiptir. Kalın duvarlı kalıplar dökümden önce özel sıvı boyalar ile boyanır. Böylece orta soğutma hızına ulaşılır. Kalıp kaplama kalınlığı 4-10 mm arasında alınır. Kum ve kilin ısı iletim kabiliyetleri düşüktür, bu nedenle kum kalıba dökümde chill derinliği ancak yüzeye yakın yerlerde görülebilir (Tunç 1997).

Merdanelerde kompozisyonun kalıp ve soğutma hızıyla bağlantısı vardır. Bu nedenle kullanım yerlerine göre farklı bileşimlere sahip merdaneler mevcuttur. Yüzeyden merkeze doğru soğuma hızını da kalıp tipi belirler. Merdane merkezinin kırılmalarından korunması için yumuşak ve tok bir iç yapıya sahip olması gerekir .

Metallerin ısıyı iletim kabiliyetleri iyi olduğundan dolayı, metal kalıba dökümde hızlı soğuma neticesinde chill derinliği ve karbür oluşumu artar. Bununla beraber istenilen chill derinliği silisyum oranıyla kontrol edilir. Silisyum miktarının azalmasıyla birlikte genelde serbest karbon miktarı da artar. Silisyum oranındaki % 0,1'lik bir değişim chill derinliğini yaklaşık 5mm değiştirir.

Hadde merdanelerinde grafitleşme ve uygun matriks için çeşitli alaşım elementlerine gereksinim vardır. Örneğin, % 4,5 Ni ilavesi ile metal kalıba dökümde martenzitik bir iç yapı ve buna bağlı olarak yüksek sertlik elde edilir. Cr ise merdane üretiminde karbür yapıcı olarak etkin bir alaşım elementidir.

Merdanelerde yüzeyin sert ve aşınmaya dayanıklı, iç kısımların ise kırılmayı önleyici şekilde tok olmasının istenmesinden dolayı merdane yüzeyinden iç kısımlara gidildikçe bir dönüşüm bölgesine rastlanmaktadır ki merdanelerde bu bölgenin kırılma tehlikesini beraberinde getirmesinden dolayı dönüşüm bölgesinin iyi oluşturulması oldukça önemlidir (Şekil 4.7.).



**Şekil 4.7.** Dökme demir merdanelerde dönüşüm bölgeleri (A-Beyaz tabaka, B-Dönüşüm bölgesi, C-Gri çekirdek bölgesi, D-Toplam chill derinliği (Tunç 1997)

Geçiş bölgesi oldukça sert bir bölgedir. Dar geçiş bölgesi kırılma tehlikesi oluşturur ve genellikle chill derinliğinin artmasıyla geçiş bölgesinin derinliği de artış gösterir. Merdane üretiminde geniş chill derinliği elde etmek oldukça güçtür. Elementlerin geçiş bölgesinin özelliklerine etkisi oldukça fazladır. Kükürt, chill derinliğini artırıp geçiş bölgesini kısaltırken; krom ve vanadyum geçiş bölgesinin genişliğini arttıırırlar.

Grafitin sahip olduğu düşük yoğunluk ve geniş yüzey, düşük dayanım değerlerini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle metal matriksin mukavemeti karbon ve grafit miktarının artmasıyla azalır. Mukavemetin azalmasında grafitin dağılımının ve şeklinin de büyük etkisi vardır.

Hadde merdanesi üretiminde lamel grafitli malzeme kullanımı yaygın olmakla birlikte son zamanlarda küresel şekilli grafit kullanımı artmaya başlamıştır. Küresel grafit, çentik etkisini önlemekte ayrıca küresel formda sağlanan mukavemet artışı lamel grafitte oranla oldukça fazla olmaktadır. Küresel grafitli dökme demir merdanelerin kullanımı bu sayede, çelik merdanelerle benzer avantajlar sağlamıştır. Grafitin lamelden küresele dönüşüm seryum veya magnezyum elementleri ilavesi (% 0,03-0,08) ile sağlanır. Magnezyum, alaşımın oksit ve kükürtten arınmasını sağlayarak bu elementleri matriks içinde çözer. Küresel grafitli dökme demir merdane üretiminde yüksek saflıkta hammadde (hurda malzeme) istenir. Titanyum gibi bazı elementler grafitin formasyonunu değiştirirler. Magnezyum kuvvetli bir karbür yapıcı olduğundan sementit oluşumunu önlemek için aşılama ihtiyacı duyulmaktadır. Bununla birlikte, yüksek aşınma direnci için karbür içeren alaşımlar kullanılmaktadır.

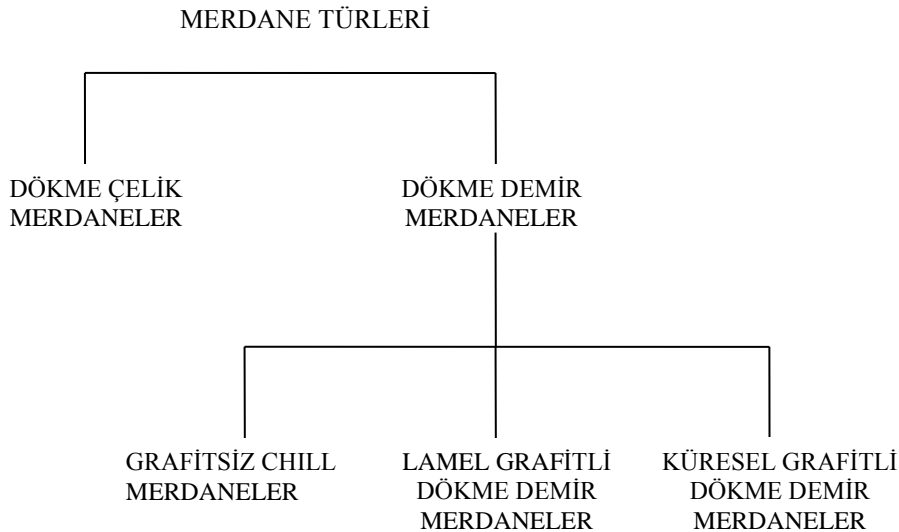
Atomik ağırlığın artışıyla birlikte ısı iletim kabiliyeti azalır, bununla birlikte karbon ve silisyum miktarlarındaki azalma ısı iletim kabiliyetini artırır. Krom, magnezyum, nikel, bakır ve molibden gibi alaşımların atomik ağırlıkları sebebiyle ısı iletim kabiliyetinde azalma gözlemlenir. Alaşım elementleri termal şok direncini de etkilemektedir. Molibden ve nikel termal şok direncini artırırken, krom ve magnezyum azaltır.

Kükürt ve fosfor istenmeyen katıksı elementleri olup, oluşturdukları bileşikler iç yapıda çentik etkisi yaratıp gevrek kırılmalara neden olduğundan çelik merdanelerde düşük miktarlarda tutulması gereklidir. Bu durum bazı özel durumlar dışında dökme demirler için de geçerlidir (Tunç 1997).

#### 4.4. Hadde Merdanesi Malzeme Çeşitleri

Hadde merdanesi üretiminde iki temel malzeme başı çekmektedir: Dökme çelik ve dökme demir.

Hadde merdanesi üretiminde kullanılan malzeme türleri Şekil 4.8.'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Merdane malzeme türleri (Tunç 1997)



#### 4.4.1. Dökme Çelik Merdaneler

Ötektoidaltı dökme çelik merdanelerde karbon oranı % 0,4-0,8 arasında değişmektedir. Dökme çelik merdaneler kaba haddeleme için uygundur. Finish merdanelerinde ise sertlik düşüktür ve karbon oranı % 0,8-1,25 arasında değişmektedir. Şekil 4.9.'da dökme çelik merdane resmi verilmiştir.



Şekil 4.9. Dökme çelik merdane (WEB\_7 2004)

Dökme çelik merdanelerde krom ve nikel temel alaşım elementleridir. Isıl işlemler yoluyla düzenli bir iç yapı elde edilmesi mümkündür. Bu sayede çekme dayanımı, sertlik, termal şok direnci ve aşınma direnci artışı sağlanmaktadır. Aşınma direncinin kontrolü esasen karbon ile sağlanmaktadır. Nikel ise perlit formunun kontrolü için kullanılmaktadır. Krom sertliği ve karbür stabilizasyonunu teşvik eder. Molibden ise derinliğine sertleşmeyi sağlar.

Piyasada adamit olarak adlandırılan özel tip ötektoidüstü çelik döküm merdaneler son yıllarda oldukça yaygın kullanım alanına sahiptirler. Adamit merdanelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Adamit merdanelerde kimyasal analiz (Tunç, 1997)

| KİMYASAL ANALİZ |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| %C              | %Si     | %Mn     | %Cr     | %Ni     | %Mo     |
| 1,2-2,4         | 0,3-0,6 | 0,5-1,2 | 0,4-1,2 | 0,0-1,5 | 0,2-0,6 |
| 1,4-1,6         | 0,3-0,6 | 0,6-1,2 | 0,6-1,2 | 0,0-1,5 | 0,2-0,6 |
| 1,8-2,0         | 0,3-0,6 | 0,6-1,2 | 0,8-1,2 | 0,0-1,5 | 0,2-0,6 |
| 2,0-2,2         | 0,3-0,6 | 0,6-1,2 | 1,1-1,5 | 0,0-1,5 | 0,2-0,6 |

Dökme çelik merdanelerde yüzey kalitesinin artmasıyla birlikte aşınma direnci de artmaktadır. Bu durum karbon miktarının artışıyla paraleldir. Uygun ısı ile işleme sıcak yırtılma direnci de iyileştirilir.

Çift kalıp dökme tekniği kullanıldığı takdirde kırılma tehlikesi olmaksızın uzun ömür ve üniform bir yapı elde etmek mümkündür. Uygun bileşim ve ısı ile işlem ile 60-65 Shore D sertliğine ulaşmak mümkündür. Sıcak haddeleme için merdanelerde sertlik değeri 50-75 Shore D arasında olmaktadır.

Ötektoidüstü çelik merdaneler serbest sementite sahiptirler. Bu sementit dayanımı düşürmektedir. Bununla birlikte yüzey direncini arttırmaktadır. Sementit miktarı karbon miktarı ile orantılıdır. Sertlik ve aşınma direnci de karbon miktarıyla orantılıdır.

Ötektoidüstü çelik merdanelerde matriksi uygun alaşımlandırma veya uygun ısı ile işlemle değiştirmek mümkündür ve döküm teknolojileri oldukça geniştir. Bunun nedeni katılaşma ve ergime noktalarının ve sıcaklıklarının değişken olmasıdır. Özellikle büyük boyutlu merdanelerde bu faktör oldukça etkilidir. Bu tip çelik merdaneler metal kalıplara dökülmekte ve döküm teknikleri chill dökme demir merdanelerin döküm yöntemlerine benzerdir. Çizelge 4.3.'te ötektoidüstü çelik merdaneler için kimyasal analiz verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Ötektoidüstü çelik merdaneler için kimyasal analiz (Tunç, 1997)

| KİMYASAL ANALİZ |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | % C     | % Mn    | % Si    | % Cr    | % Ni    |
| YUMUŞAK         | 1,4-1,6 | 0,5-1,0 | 0,3-0,6 | 0,5-1,5 | 0,5-1,5 |
| ORTA            | 1,8-2,0 | 0,5-1,0 | 0,3-0,6 | 0,5-1,5 | 0,5-1,5 |
| SERT            | 2,4-2,6 | 0,5-1,0 | 0,3-0,6 | 0,5-1,5 | 0,5-1,5 |

Günümüzde kullanılan ötektoidüstü çelik merdanelerin çoğu krom-molibden alaşımlıdır. Bunun nedeni bu tür çelikler termal gerilme direncine sahiptir. Ötektoidüstü merdaneler kullanılırken önce mekanik gerilmeler merdane üzerinde düzenlenmelidir.

Karbon miktarı % 1,2'den % 2,6'ya artarken çekme dayanımında düşüş görülür. Uzama ise % 25-35 arasındadır. Sertlik artışıyla beraber aşınma direnci de artar. Düşük karbon miktarına sahip olanlar ise yüksek deformasyon verilen standlarda kullanılmaktadır. Yüksek karbonlu merdanelerde mekanik özellikler kötü iken yüzey kalitesi oldukça iyidir.

Grafitik çelik merdanelerde düzenli yüzey, sıcak yırtılma direnci ve aşınma direnci artışı vardır. Genel olarak, krom, molibden, nikel ile alaşımlandırılır ve alaşımın bileşimine bağlı olarak silisyum ilavesi gerçekleştirilir. Bu tür merdanelerin tokluğu iyidir ve uzun ömürlüdürler. Bileşimlerinde; % 1,2-2,5 C, % 0,8-1,5 Si, % 0,5-1,0 Mn, % 0,8-1,7 Cr, % 0,5-3,5 Ni ve % 0,2-0,8 Mo içerirler (Tunç 1997).

#### **4.4.2. Dökme Demir Merdaneler**

Haddeleme prosesinde genellikle dökme demir merdaneler kullanılmaktadır. İç yapıda yer alan yüksek miktardaki grafit miktarı dökme demir merdanelerin karakteristiklerinden biridir. Ancak chill merdanelerde muylu ve iç kısımlarda grafitik bir yapı varken yüzeyde grafit bulunmaz. Dökme demir merdanelerin üretiminde hurda malzemenin ergitilmesi işlemi genellikle indüksiyon ocaklarıyla gerçekleştirilmektedir. İndüksiyon ocakları; kontrolü kolay, homojen sıcaklık sistemi sağlayan, iyi bir ergitme ve üniform elektromagnetik karıştırma sağlayan ocaklardır.

Dökme demir merdanelerin kalıplara dökülmesi işlemi dikey olarak gerçekleştirilmektedir. Yataklamayı gerçekleştirecek muylu kısımları kum kalıba dökülürken, haddelemeyi gerçekleştirecek olan gövde kısmı kokil (metal) kalıba dökülmektedir. Kokil kalıp iyi ısı iletkenliği nedeniyle hızlı bir soğuma sağlayarak ince taneli bir iç yapı sağlar ve bu da sertlik ve dayanım artışı sağlar.

Dökme demir merdanelerin metalurjik özelliklerini ve bu özelliklerin üretim yöntemlerine ve çalışmaya etkisini inceleyebilmek için, bunların katılma, soğuma ve ısı işlemler esnasında ortaya çıkan yapılarını belirlemek gerekir.

Dökme demirler katılaşma esnasında ostenit artı sementit ve/veya grafitten meydana gelen bir iç yapı oluştururlar. Birincil olarak ostenitin oluşup oluşmaması kimyasal kompozisyona bağlıdır. Bileşim ötektik altı ise birincil olarak ostenit, ötektik üstü ise birincil olarak sementit ve/veya grafit meydana gelir. Merdanelerde çoğunlukla ötektik altı bir bileşim kullanıldığından dolayı birincil olarak ostenit, ötektik reaksiyon sonucu da ostenit artı sementit ve/veya grafitten oluşur.

Soğuma sırasında sementit ve grafit fazları fazla dağılım göstermese de ostenit perlit, beynit, martenzit gibi yapılara dönüşebilir. Sonuçta ortaya çıkan döküm yapısı katılaşma ve soğuma hızları ile ergiyik metalin kimyasal bileşimine bağlı olmaktadır. Ostenit ve dönüşüm ürünlerine, ostenit sürekli faz olduğundan dolayı matriks adı verilir. Matriks yapısı döküm sonrası ısı işlemlerle değiştirilebilir. Bu şekilde dökme demir merdanelerin yapısı üç temel yapıya ayrılarak incelenebilir:

1. Matriks
2. Karbür
3. Grafit

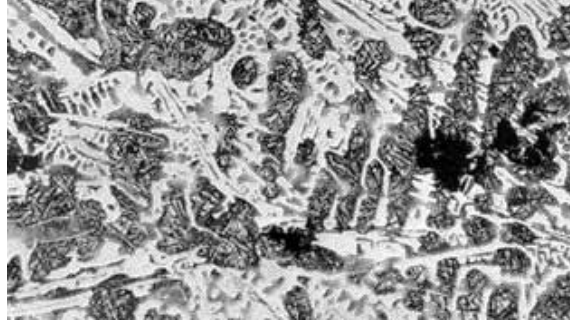
Bu üç eleman; tiplerine, şekillerine ve yapıdaki konumlarına göre merdanelerin çalışma özelliklerini etkilerler.

Matriks; ostenit, perlit, beynit veya martenzit olabilir. Bu yapı da doğrudan dökümden elde edilir veya ısı işlem sonucu elde edilir. Oluşan yapı metalin kimyasal bileşimine ve soğuma hızına bağlıdır. Matriksin sertliği aynı karbon miktarı için sırası ile ostenitten perlit, beynit ve martenzite geçtikçe artış gösterir. Matriks yapısı tokluğu da etkilemektedir. Ancak tokluk yapı ilişkisi, tokluğu etkileyen başka etkenler de (tane yapısı, kalıntılar gibi) olduğundan, sertlik yapı ilişkisi kadar belirleyici değildir. Ne var ki ostenit, temperlenmiş martenzit, beynit, perlit sıralaması azalan tokluk gösterir.

Karbürler; çok sert bir yapıya sahiptirler ve merdanelerin sertliğini arttırmak için kullanılırlar. Dökme demir merdanelerde iki tür karbür bulunmaktadır. Bunlar  $M_3C$  tipi ve  $M_7C_3$  tipi karbürlerdir. İkinci tip karbürler genellikle yüksek kromlu merdanelerde

görülürler.  $M_3C$  tipi karbürlerin sertliği 1000 HV,  $M_7C_3$  tipi karbürlerin sertliği ise 1000-1800 HV civarındadır (Özdoğan 1987).

$M_3C$  karbürleri katılaşma esnasında plakalar halinde oluşurlar. Bu plakalar büyüyerek birbirleri ile kesişirler. Bu kesişme sonucunda ostenit tanelerinin kenarında ağ yapısı oluştururlar (Şekil 4.10.) (Özdoğan 1987).



**Şekil 4.10.**  $M_3C$  karbür yapısı (X100) (WEB\_8 2004)

$M_7C_3$  karbürleri ise altıgen çubuklar şeklinde olduğundan ağ dokusu oluşturmazlar. Bu nedenle malzemenin tokluğuna olumsuz etkileri  $M_3C$  karbürlerine göre daha azdır (Şekil 4.11.) (Ohide vd 1983).

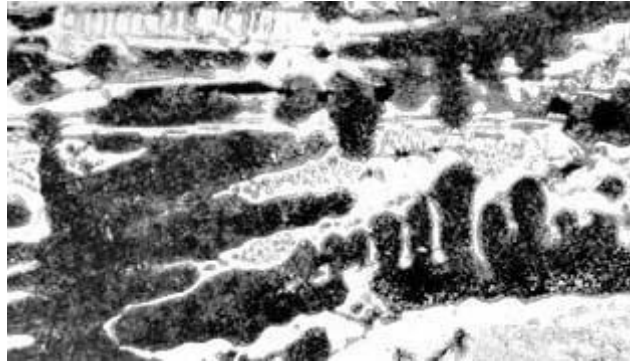


**Şekil 4.11.**  $M_7C_3$  karbür yapısı (X400) (Özdoğan 1987)

Grafitler, dökme demirlerde lamelli veya küresel şekilde bulunurlar. Bazı durumlarda bu ikisinin arasında (vermiküler) bir şekil alırlar. Lamel grafitler çentik etkisinden dolayı malzemenin dayanımını düşürürlerken küresel grafitlerde böyle bir etki olmadığından küresel grafitli dökme demirler lamel grafitli dökme demirlere göre daha tok bir iç yapı sağlarlar. Bununla birlikte lamel grafitlerin yüzey alanı daha geniş olduğu için ısı iletkenlikleri de küresel grafitlere göre daha iyidir. Ayrıca yüzeydeki grafitler düşerek, bıraktıkları boşlukla merdanelerin kavrama özelliğini arttırırlar (Özdoğan 1987).

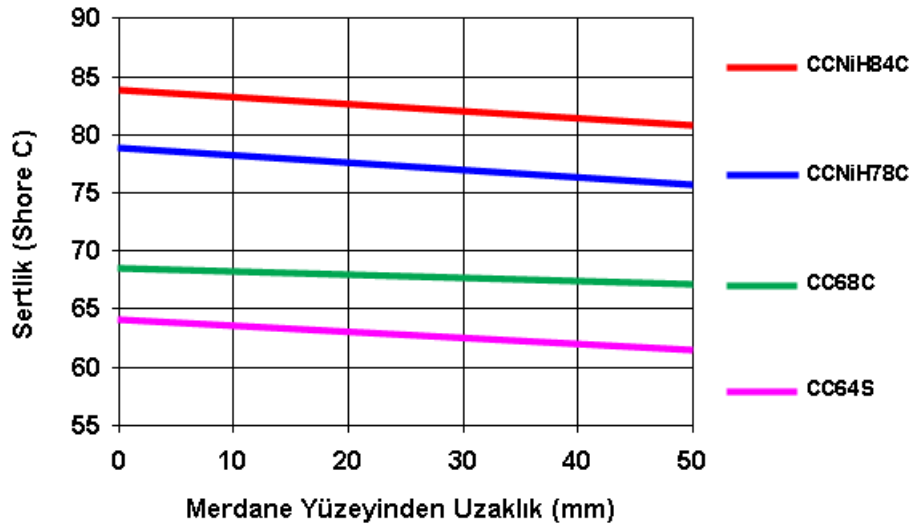
#### 4.4.2.1. Chill Dökme Demir Merdaneler

Bu tür dökme demir merdaneler İngilizce teknolojiye “clear chill” merdaneler olarak bilinmektedirler. Chill merdanelerin servis performansı çalışma yüzeyindeki sertlik ile sağlanamaz. Ancak iç yapı ile sağlanabilir. Belirlenmiş olan chill derinliği kesinlikle aşılmamalıdır. Çünkü böyle bir durumda kırılma tehlikesi artmaktadır. Şekil 4.12’de sementit içeren perlit iç yapısında chill dökme demir merdanelerin optik mikroskop görüntüsü verilmiştir (WEB\_9 2004).



**Şekil 4.12.** Sementit içeren chill dökme demir merdane mikroyapısı (X100) (WEB\_9 2004)

Sertleştirilmiş çelik merdanelerden farklı olarak alaşımsız chill dökme demir merdanelerin, chill derinliğinin yüksek sertliği; metal matrikse bağlı değildir. Sertlik sementite bağlıdır. Chill merdanelerin sertliği karbon miktarının artmasıyla artar. Şekil 4.13’de chill merdanelerin kabuk kısmından iç kısma olan sertlik düşüşü verilmiştir (WEB\_10 2004 ).



Şekil 4.13. Chill merdanelerin merkezine doğru sertlik düşüşü (WEB\_10 2004)

Şekil 4.14.'de chill merdane resmi verilmiştir (WEB\_11 2004).



Şekil 4.14. Chill merdane (WEB\_11 2004)

Alaşımız dökme demir merdanelerin sertliği dar limitlerdedir. Eğer muylularda karbon miktarı arttırılırsa dayanım azalır. Karbon miktarında meydana gelen artış chill merdanelerin şekillenme kabiliyetini azaltır. Şekil 4.15.'de karbon miktarının iki farklı karaktere etkisi verilmiştir (Tunç 1997).

Yüksek sıcaklıklarda merdaneler özellikle termal gerilmelere maruz kalırlar. Bu nedenle matriks yapısının oldukça düzenli olması istenir. Bunu sağlamak için de molibden ilavesi yapılmaktadır. % 0,2-0,5Mo alaşımlı merdaneler genellikle sac haddeleme işleminde kullanılırlar. Molibden ile alaşımlandırılan chill merdanelerde

karbon miktarı % 3,2'nin üzerindedir. Molibden içeren chill merdanelerin bileşimi Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Molibden içeren chill merdanelerin kimyasal bileşimi (Tunç 1997)

| KİMYASAL ANALİZ |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | % C     | % Si    | % Mn    | % P     | % Mo    |
| Sac Had.        | 2,8-3,4 | 0,5-0,8 | 0,4-0,6 | 0,4-0,6 | 0,2-0,4 |
| Lama Had.       | 2,7-3,2 | 0,5-0,8 | 0,6-0,8 | 0,4-0,6 | 0,3-0,5 |

Karbon miktarının sabit kalması ile metalik matriksin değiştiği görülmektedir. Ancak sertlik artmakta, sertliğin artmasıyla da aşınma direnci artacaktır. Sertlik 80 Shore D'nin üzerindedir. Bu tip merdaneleri % 1,5-2,5 Ni ve % 0,06'nın üzerinde Cr ile alaşımlandırmak gereklidir. Yüksek miktarlarda nikel ve krom içeren merdanelerde iç yapı farklıdır. Nikel etkili elementtir ve krom chill kontrolüne yardım eder. Beynit yapısını emniyetli elde etmek için, molibden kullanılmaktadır. Sertlik 95 Shore D civarındadır (Tunç 1997). Çizelge 4.5.'te martenzitik, beynitik matriks için kimyasal bileşimler verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Martenzitik, beynitik matriks için kimyasal bileşimler (Tunç 1997)

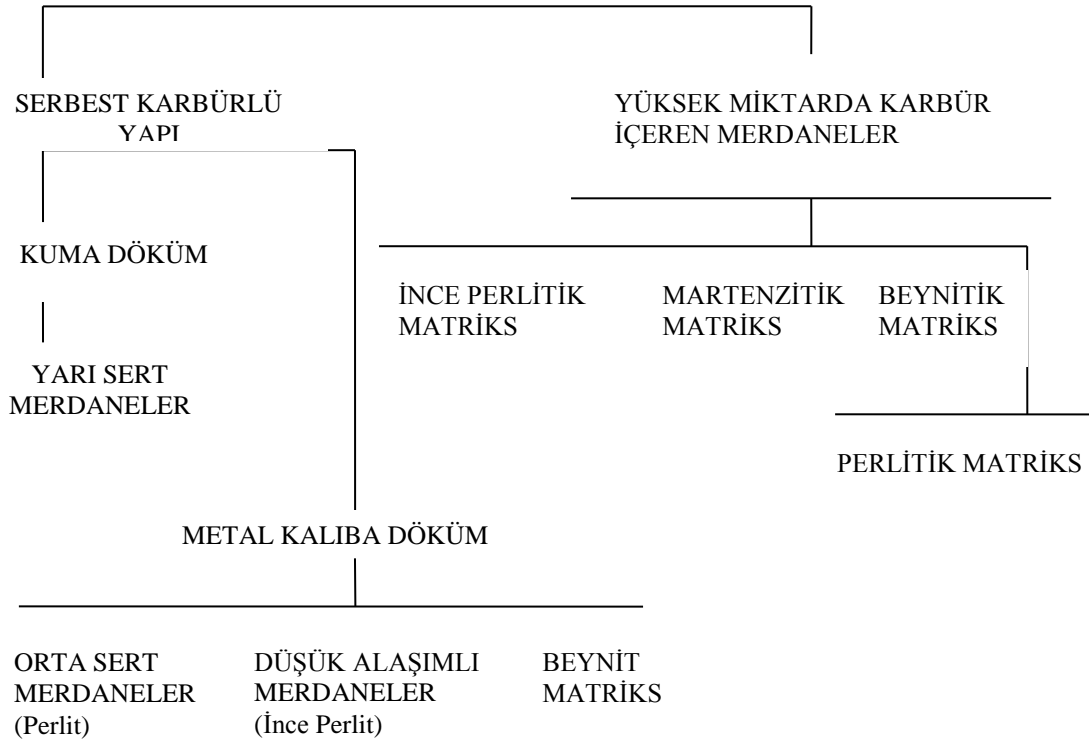
| KİMYASAL ANALİZ |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| % C             | % Si    | % Mn    | % Cr    | % Ni    | % Mo    |
| 3,4-3,8         | 0,2-0,5 | 0,1-0,3 | 0,8-1,6 | 2,7-4,0 | 0,2-0,5 |
| 3,4-3,8         | 0,4-0,7 | 0,2-0,5 | 0,4-1,6 | 2,0-4,0 | 0,1-0,5 |
| 3,5-4,0         | 0,4-0,7 | 0,3-0,6 | 1,0-1,2 | 2,0-4,0 | 0,1-0,5 |

#### 4.4.2.2. Çalışma Yüzeyinde Lamel Grafit Bulunan Merdaneler

Bu tip merdaneler kum kalıba dökülürler. Bu şekilde chill de elde edilmektedir. Bu tip merdanelerin sertliği 30-35 Shore D civarındadır. Şekil 4.16.'da çalışma yüzeyinde lamel grafit bulunan merdanelerin sınıflandırılması verilmiştir.



ÇALIŞMA YÜZEYİNDE LAMEL  
GRAFİT BULUNAN MERDANELER



**Şekil 4.15.** Çalışma yüzeyinde lamel grafit bulunan merdanelerin sınıflandırılması (Tunç 1997)

Ferrit yapısı aşırı aşınmaya neden olur. Bu nedenle minimum seviyede tutulmalıdır. Uygun aşılama, ergitme pratiği ve kalıplama tekniği ile grafit inceltirilir ve uygun bileşim seçimi ile ince perlit yapısıyla sertlik 40 Shore D civarında elde edilir. Bu grupta yer alan merdaneler ağır şekillendirme ve tabaka haddeme için günümüzde halen kullanılmaktadır. Aşınma direnci oldukça iyidir. Yapıda temel alaşım elementi olarak krom yer almaktadır. Mangan yüzdesi de %1,2'ye kadar çıkmaktadır. Krom perlit dengesini sağlamaktadır. Büyük boyutlu merdanelerde ise alaşım elementi olarak nikel ve molibden kullanılmaktadır. Chill merdaneler için genellikle kokil (metal) kalıplar kullanılmaktadır. Silisyum miktarı yüksek ve sert bir çalışma yüzeyine sahiptir. Bu merdaneler oldukça iyi aşınma direnci vermektedir. Çünkü keskin taneler parçalanmış ve ince taneli bir yapı oluşmuştur. Hızlı soğuma ile dentritlerin uzaması durdurulmuştur. Böylece keskin uzun yapıları taneler kalmamıştır. Bu tip merdaneler ince yapıları grafit formasyonuna sahiptir. Bazen küçük miktarlarda sementitin yanında ince perlitte rastlanır.

Bu tip merdaneler 40-55 Shore D sertliğe sahiptirler. Magnezyum ilavesiyle matriks içinde ince lamel perlit yapısında değişimler olmaktadır. Silisyum artışı ile karbür stabilizasyonu artışı ayarlanır. Molibden miktarı % 0,6'yı aşmayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Molibden ve nikel ilavesi iç yapıyı beynite dönüştürür. Alaşım miktarlarının merdane çapı ile artırılması gerekmektedir. Isıl işleme beynit yapıya ulaşamaz, ancak dökümden sonra uygun soğutma ile elde edilebilir. Yapıya, eklenen alaşım elementlerinin etkisi oldukça fazladır.

Karbür içeren merdanelerin yapıdaki karbür taneleri ince bir şekilde homojen olarak dağılmışsa mükemmel bir aşınma direnci sağlanır. Genelde bu durum krom ilavesi ile gerçekleştirilir. Molibden, mangan ve nikel ilavesi de mümkündür. Karbür miktarı karbon miktarı ile orantılıdır. Bu merdaneler *indefinite chill* merdaneler olarak adlandırılmaktadır. Şekil 4.17.'de martenzit iç yapısında sementit ve küresel grafit içeren indefinite chill merdanelenin optik mikroskop görüntüsü verilmiştir (WEB\_12 2004).



**Şekil 4.16.** Sementit ve küresel grafit içeren indefinite chill merdane mikroyapısı (X100) (WEB\_12 2004)

Perlitik ve ince perlitik matriks yapısında orta sert alaşımlandırılmış merdaneler 50-60 Shore D sertliğe sahiptirler. Chill derinliği oldukça iyidir. Uzun ömürlüdürler (Tunç 1997). Perlitik ve ince perlit matriks için kimyasal analiz Çizelge 4.6'da verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Martenzitik, beynitik matriks için kimyasal bileşimler (Tunç 1997)

| KİMYASAL ANALİZ |         |         |     |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|-----|---------|---------|---------|
| % C             | % Si    | % Mn    | % P | % Cr    | % Mo    | % Ni    |
| 2,5-2,8         | 1,2-2,6 | 0,7-1,2 | 0,3 | -       | -       | -       |
| 2,5-2,8         | 1,2-2,6 | 0,7-1,2 | 0,3 | 0,4-0,6 | -       | 0,2-0,5 |
| 2,5-2,8         | 1,2-2,6 | 0,7-1,2 | 0,3 | 0,5-0,8 | -       | 1,0-1,5 |
| 2,7-3,0         | 1,2-2,6 | 0,7-1,2 | 0,3 | -       | 0,3-0,5 | -       |

Orta miktarlarda karbür ile alaşımlandırılmış merdaneler özellikle kütükten şekillendirmede kullanılmaktadır. 60-65 Shore D sertlik mevcuttur.

Beynitik-Martenzitik matriksli merdaneler son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu merdaneler yüksek karbür miktarı ile karakterize edilirler. Grafit miktarı mükemmel olarak homojenize edilmiştir.

Bu merdaneler temelde krom, molibden ve nikel gibi alaşımlandırılırlar. Matrikste beynit ve martenzit hakimdir. Bir miktar ince yapılı perlite rastlanmaktadır. Sertlik 60-75 Shore D civarındadır. Küçük boyutlu merdanelerdir. Tel ve çubuk haddelemede kullanılırlar. Chill ve küresel grafitli dökme demir merdanelerle rekabet halindedirler.

Kalıplar chill merdaneler için kullanılanla aynı özelliklere sahiptir. Metal akışından sonra ani bir katılaşma başlar. Belirli bir zaman sonra alaşımlandırılmış yumuşak demir bir yandan bir yana dökülür. Bu yolla, yumuşak çekirdek ve muylu ile sert bir kalınlık elde edilir. Bu tür merdanelerin üretimi oldukça pahalıdır (Tunç 1997). Beynitik-Martenzitik matriks için kimyasal bileşim Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Beynitik-martenzitik matriks için kimyasal bileşim (Tunç 1997)

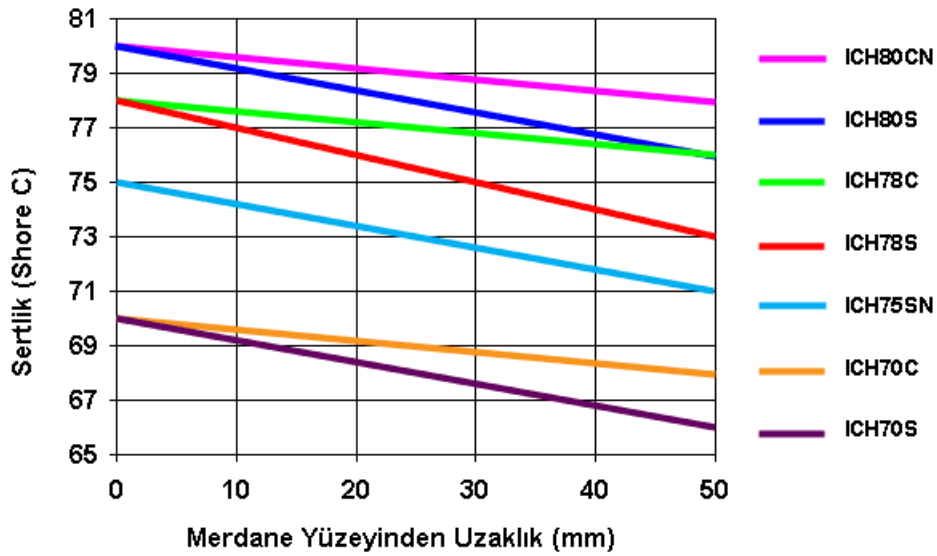
| KİMYASAL ANALİZ |         |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | %C      | %Si     | %Mn     | %Cr     | %Mo     | %Ni     |
| Kaba Had.       | 3,1-3,3 | 0,8-1,0 | 0,4-0,6 | 0,7-1,2 | 0,2-0,3 | 2,0-3,5 |
| Finish Had.     | 3,2-3,5 | 0,8-1,0 | 0,5-1,0 | 1,5-2,0 | 0,3-0,5 | 4,0-4,6 |

Basit dökülmüş indefinite chill merdaneler, lamel grafitli dökme demir merdanelerdir. Bu tip merdaneler genellikle sıcak haddeleme işlemlerinde kullanılırlar. Kabuk malzemesi beyaz ve gri dökme demir arasında değişmektedir. Karbonun bir kısmı grafit şeklindedir. Bir kısmı ise sementit şeklinde kalıntı halindedir. Grafit yararlı bir formda değildir. Şekil 4.18.'de indefinite chill dökme demir merdane resmi verilmiştir (WEB\_13 2004).



Şekil 4.17. Indefinite chill merdane (WEB\_13 2004)

Basit döküm ile elde edilen indefinite chill merdanelerde perlit matriks içinde yapıda grafit ve bir miktar sementit bulunmaktadır. Beynitik ve martenzitik matrikste elde edilir. Merdanenin merkezine doğru sertlik azalmaktadır. Şekil 4.18.'de indefinite chill merdanelerin merkezine doğru sertlik düşüşü verilmiştir (WEB\_14 2004).



Şekil 4.18. Indefinite chill merdanelerin merkezine doğru sertlik düşüşü (WEB\_14 2004)

Kum kalıba dökülmüş olan indefinite chill merdanelerin kimyasal bileşimleri; % 3,0-3,6 C, % 0,7-1,5 Si, % 0,2-0,5 Mn, % 0,4-1,5 Cr, % 1,1-1,5 Ni, % 0,1-0,5 Mo şeklindedir.

Santrifüj döküm tekniği ile dökülmüş olan indefinite chill merdanelerin çekirdek kısmı gri dökme demir veya küresel grafitli dökme demir olmalıdır. Yapıda grafit ve karbür bulunur. Matriks sistematik olarak dağıtılmış perlit ve beynitten oluşur.

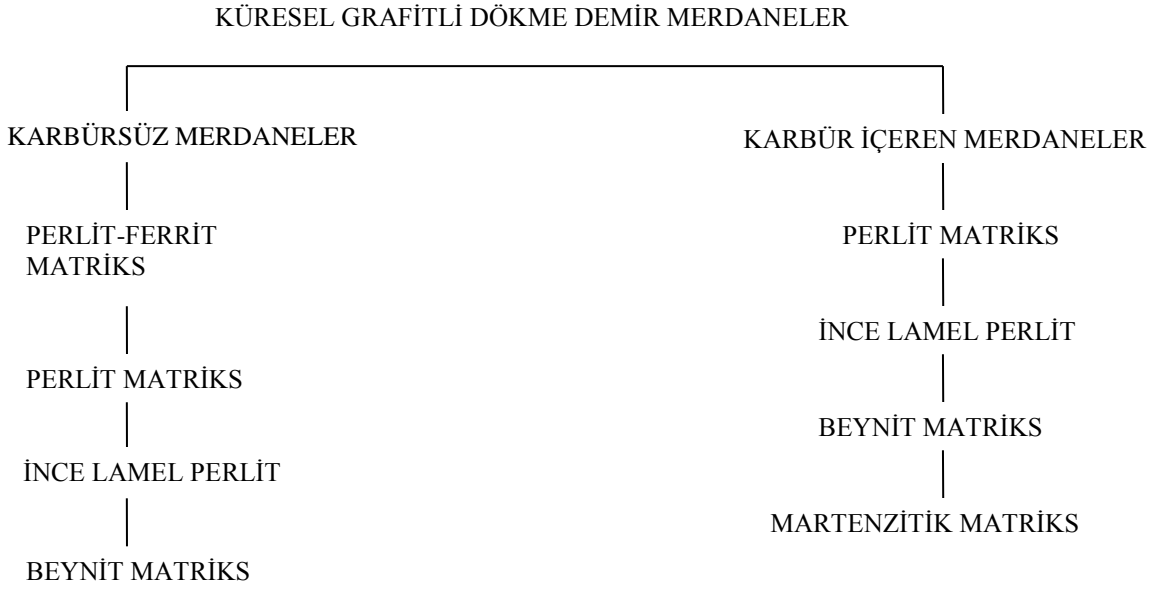
Merdanelerde grafit, sementit ve martenzit miktarı, seçilmiş kimyasal kompozisyona göre değişecektir. Termal kırılma ve çatlama direnci oldukça iyidir.

Santrifüj döküm tekniği ile döküle merdanelerin kimyasal bileşimleri; % 3,1-3,6 C, % 0,6-1,4 Si, % 0,2-1,3 Mn, % 0,2-2,3 Cr, % 1,5-5,2 Ni, % 0,2-0,7 Mo şeklindedir (Tunç 1997).

#### **4.4.2.3. Küresel Grafitli Dökme Demir Merdaneler**

Ergitme ve döküm uygulamaları diğer merdanelerden çok farklı olmayan ve ısıtma işlem uygulamaları olan küresel grafitli dökme demir merdaneler sıcak kırılma direncine sahip merdanelerdir. Döküm işleminden sonra bu merdanelere düşük sıcaklıklarda (500-600°C) yaklaşık bir saat süreyle fırında gerilme giderme tavlama işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem katılaşma sırasında oluşan iç gerilmelerin giderilmesi için uygulanmaktadır. İç yapıdaki karbon oranına göre belirlenen ostenit sıcaklığına çıkarılıp havada soğutma ile gerçekleştirilen normalizasyon tavlama ile de iç yapıda bulunan artık ostenitlerin dağılıp iç yapının normal haline dönüşmesi sağlanmaktadır.

Küresel grafitli dökme demir merdanelerin sınıflandırılması Şekil 4.19'da verilmiştir.



**Şekil 4.19.** Küresel grafitli dökme demir merdanelerin sınıflandırılması (Tunç, 1997)

Serbest karbür içeren matriks yapılı küresel grafitli demir merdaneler, genellikle kum kalıba dökülür. Grafitin küresel formda olması metalik matriksin direncini arttırmaktadır. Matriks yapısına göre kimyasal bileşim Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Serbest karbür içeren matriks yapılı küresel grafitli dökme demir merdanelerde değişik matriks yapıları için kimyasal bileşim (Tunç 1997)

| MATRİKS<br>YAPISI | KİMYASAL ANALİZ |         |         |         |         |         |
|-------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                   | % C             | % Si    | % Mn    | % Cr    | % Mo    | % Ni    |
| Perlit+Ferrit     | 2,8-3,4         | 1,5-2,2 | 0,2-0,8 | 0,0-0,5 | 0,0-0,4 | 0,5-2,0 |
| Perlit            | 3,2-3,6         | 1,0-1,8 | 0,5-1,5 | 0,0-0,8 | 0,0-0,4 | 0,5-2,0 |
| Lamel Perlit      | 3,2-3,6         | 1,0-1,8 | 0,5-2,5 | 0,0-1,0 | 0,0-0,4 | 1,5-3,0 |
| Beynit            | 3,2-3,6         | 1,0-1,8 | 0,5-1,5 | 0,0-1,2 | 0,5-1,2 | 2,5-4,5 |
| Martenzit         | 3,4-3,8         | 0,4-0,7 | 0,5-1,5 | 1,0-1,2 | 0,0-0,4 | 3,5-4,5 |

Matriks yapısına göre elde edilen mekanik özellikler Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Matriks yapılarına göre mekanik özellikler (Tunç 1997)

| MATRİKS<br>YAPISI | BRINELL<br>SERTLİK | SHORE D<br>SERTLİK | ÇEKME<br>DAYANIMI     |
|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
|                   |                    |                    | kN/mm <sup>2</sup>    |
| Perlit            | 250-340            | 38-50              | 14,3×10 <sup>-6</sup> |
| Lamel Perlit      | 300-380            | 45-55              | 15,8×10 <sup>-6</sup> |
| Beynit            | 260-380            | 40-55              | 16,4×10 <sup>-6</sup> |
| Beynit+Ferrit     | 200-260            | 30-40              | 9,3×10 <sup>-6</sup>  |

Yapı içinde karbür bulunan küresel grafitli dökme demir merdaneler daima kokil (metal) kalıba dökülürler. Kimyasal bileşimleri Çizelge 4.8.'deki değerlerle aynıdır. Ancak mekanik özellikler incelendiğinde Çizelge 4.10'da belirtilen farklılıklar vardır.

**Çizelge 4.10.** Mekanik özelliklerdeki farklılıklar (Akers From Rolls 1987)

| MATRİKS<br>YAPISI | BRINELL<br>SERTLİK | SHORE D<br>SERTLİK | ÇEKME<br>DAYANIMI      |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
|                   |                    |                    | KN/mm <sup>2</sup>     |
| Perlit            | 340-450            | 50-65              | 11,44×10 <sup>-6</sup> |
| Lamel Perlit      | 410-510            | 60-75              | 12,55×10 <sup>-6</sup> |
| Beynit            | 410-550            | 60-80              | 14,3×10 <sup>-6</sup>  |
| Beynit+Ferrit     | 510-630            | 75-95              | -                      |

Bu tip merdanelerin kimyasal bileşimleri; % 3,-3,6 C, % 0,8-2,5 Si, % 0,3-0,8 Mn, % 0-0,9 Cr, % 1,2-3,6 Ni, % 0-0,7 Mo şeklindedir.

Krom alaşımlı perlitik küresel grafitli dökme demir merdanelerde sertlikte oldukça artış görülür. Aşınma direnci de sertlik ve chill derinliği ile artış gösterir. Sıcak yırtılma direnci yüksektir. Tipik kimyasal bileşimleri; % 2,4-3,5 C, % 0,9-2,0 Si, % 0,3-0,8 Mn, % 0,4-1,9 Cr, % 1,5-3,5 Ni, % 0,1-0,8 Mo şeklindedir.

Molibden alaşımlı perlitik küresel grafitli dökme demir merdaneler yüksek sıcaklıkta oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Geniş bir matriks içinde küçük miktarda karbür ve küresel grafit taneleri mevcuttur. Yumuşatma tavlama, ferrit miktarını artırır. Kusursuz sıcak yırtılma ve sıcak kırılma direnci kazanılmakta ve mukavemet, çelik merdaneler kadar iyi olmaktadır. Tipik kimyasal bileşimleri; % 3,1-3,5 C, % 1,2-2,5 Si, % 0,5-0,8Mn, % Cr<0,1, % 1,4-2,4 Ni, % 0,3-1,0 Mo şeklindedir.

Nikel alaşımlı, normalize edilmiş küresel grafitli dökme demir merdaneler, destek merdaneler olarak kullanılmaktadırlar. Yüksek alaşımlı merdanelerdir. Ferrit ve karbürden arındırılmış, beynitik yapıya sahiptirler. Tipik kimyasal bileşimleri; % 3,1-3,5 C, % 1,9-2,3 Si, % 0,5-0,8 Mn, % Cr<0,1, % 4,0-5,0 Ni, % 0,3-0,9 Mo şeklindedir (Tunç 1997).

#### 4.4.2.3. Dupleks Merdaneler

Üç tip dupleks merdane mevcuttur:

1. Merdane yüzeyindeki bilezik ve merdane dökme demirdir.
2. Merdane yüzeyindeki bilezik gri dökme demir, merdane ise çeliktir.
3. Merdane yüzeyindeki bilezik ve merdane çeliktir.

Çizelge 4.11.'de dupleks merdaneler için kimyasal bileşim ve sertlik değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Dupleks merdaneler için kimyasal bileşim ve sertlik değerleri (Tunç 1997)

|                     | SERTLİK | KİMYASAL ANALİZ |     |     |      |      |      |
|---------------------|---------|-----------------|-----|-----|------|------|------|
|                     | Shore C | %C              | %Si | %Mn | %Cr  | %Ni  | %Mo  |
| Dökme Demir Bilezik | 86-92   | 2,8             | 0,8 | 2,8 | 1,5  |      | 1    |
| Dökme Demir Merdane | 95-100  | 2,6             | 1   | 0,8 | 1,2  |      | 4    |
| Dökme Demir Bilezik | 65-75   | 3,9             | 0,6 | 0,3 | 1,5  |      | 0,35 |
| Çelik Merdane       | 67-75   | 0,6             | 0,2 | 0,5 | 1,5  |      | 0,45 |
| Çelik Bilezik       | 50      | 0,5             | 0,3 | 0,6 | 1,75 |      | 0,45 |
| Çelik Merdane       | 50      | 0,6             | 0,4 | 0,6 | 0,8  | 0,75 | 0,75 |



## 4.5. Hadde Merdanesi Üretiminde Kullanılan Çift Döküm Teknolojileri

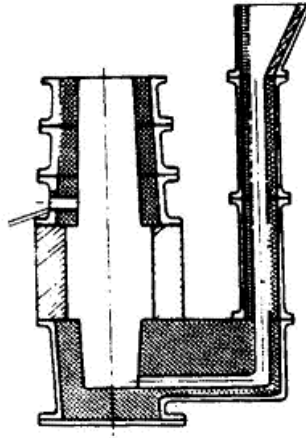
Merdanenin çalışma yüzeyini oluşturacak olan kabuk bölgesinin sert bir yapıda, iç kısımları ve muyluları oluşturacak göbek kısmının tok bir yapıda olması istenir. Bu iki farklı özelliği aynı merdanede oluşturmak için farklı bileşimde metaller gerekmektedir. Çift döküm teknolojisi ile kabuk ve göbeğin farklı bileşimde metallerden oluşması sağlanır.

Hadde merdanesi üretiminde kullanılan üç tip çift döküm yöntemi mevcuttur:

1. Taşırma döküm
2. Boşaltma döküm
3. Savurma (santrifüj) döküm

### 4.5.1. Taşırma Merdane Dökümü

Bu merdane döküm yönteminde, kabuğu oluşturacak bölgede kalıp kokilden, muylu ve yolluklar ise kumdan oluşmaktadır. Kokil kalıp bölgesinde belirli kalınlıktaki metal katılaştıktan sonra, farklı bileşimdeki metal yolluktan verilmekte ve fazla metal de boşaltma deliğinden dışarı akıtılmaktadır. Bu işlem bittikten sonra delik tıkanıp, üst muylu ve besleyici üstten doldurulmaktadır. Şekil 4.20.'de taşırma döküm kalıbı gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Taşırma döküm kalıbı (Özdoğan 1987)

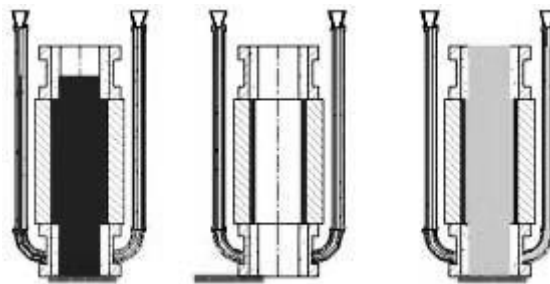
Bu yöntemin esası sert kabuğu oluşturacak alaşımlı metalin seyreltilmesine dayanmaktadır. Seyreltme işlemi yapılmasa tamamen beyaz döküm yapısında olacak merdanenin göbeğinin gri dökme demir şeklinde katılaşması sağlanır.

Kabuk metalini seyreltecek ikinci metalin miktarı, kabuk metalinin alaşım miktarına bağlıdır. Örneğin; % 2 Cr içeren kabuk metalinin kromunu % 1'in altına düşürmek yaklaşık kalıp hacminin % 70'i kadar, % 15 Cr içeren kabuk metalinde ise kalıp hacminin 5 ile 7 katı arasında metalin geçirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle bu yöntem genellikle düşük alaşımlı kabuk oluşturmak için kullanılmaktadır (Özdoğan 1987).

#### 4.5.2. Boşaltma Merdane Dökümü

Boşaltma döküm yönteminde, kalıp yapısı taşıma dökümde olduğu gibi kabuk bölgesinde kokilden, diğer kısımlarda kumdan oluşmaktadır. Kabuk metali üst muylunun altına kadar doldurulmakta, kokil kalıp bölgesinde belirli metal kalınlığı oluştuktan sonra, alttaki sürgülü kapak açılıp ergiyik metal boşaltılmaktadır. Kapak daha sonra tekrar kapatılıp, kalıp göbeği oluşturacak metalle doldurulmaktadır.

Bu yöntemde kabuk kalınlığı metal sıcaklığına ve kabuk metalinin kalıp içinde kalma süresine bağlıdır. Bu nedenle bu iki faktörün iyi kontrolü gereklidir. Boşaltma sırasında katılaştıran metal açık kaldığı için yüzey oksitlenmesi sorun yaratabilir. Bu sorunun ortaya çıkmaması için iki döküm arasındaki sürenin mümkün olduğu kadar az tutulması gereklidir (Özdoğan 1987).



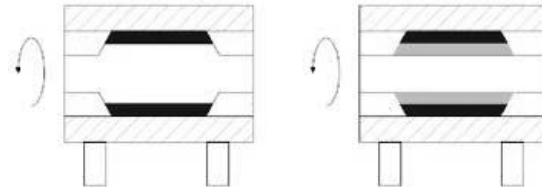
Şekil 4.21. Boşaltma döküm kalıpları (WEB\_15 2004)

### 4.5.3. Savurma Merdane Dökümü

Savurma merdane döküm yönteminde merdanenin çalışma yüzeyini oluşturacak olan kabuk metalinin dökümü, dönen bir kokil kalıbın içine yapılmaktadır. Savurma merdane dökümü kalıbın dönme eksenine göre ikiye ayrılmaktadır:

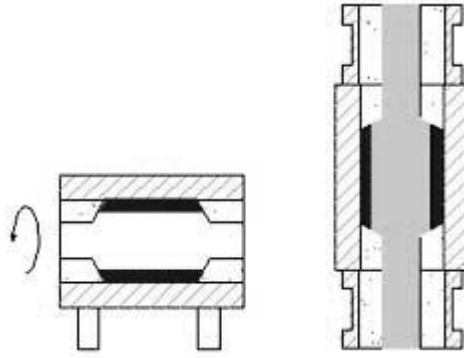
1. Yatay eksenli savurma döküm
2. Düşey eksenli savurma döküm

Yatay eksenli savurma döküm yönteminde, kabuk metali serbest dönen kokil bir kalıbın içine yapılmaktadır. Kabuk metali dökümü bittikten sonra kalıp düşey duruma getirilip içi kabuk metali ile doldurulur. Bazı makinalarda kaldırma işleminde hidrolik sistemlerden yararlanılmaktadır, ancak genellikle kalıp bir vinç yardımıyla kaldırılarak düşey konuma getirilmektedir. Şekil 4.22.'de yatay eksenli savurma döküm kalıpları gösterilmiştir (WEB\_16 2004).



Şekil 4.22. Yatay eksenli savurma döküm kalıpları (WEB\_16 2004)

Düşey eksenli makinalarda ise hem kabuk, hem göbek dökümü kalıp düşey konumda iken yapılmaktadır. Şekil 4.23.'de düşey eksenli savurma döküm kalıpları gösterilmiştir (WEB\_16 2004).



**Şekil 4.23.** Düşey eksenli savurma döküm kalıpları (WEB\_17 2004)

Bu iki savurma döküm yöntemi karşılaştırılacak olursa;

1. Yatay savurma döküm makinalarının tasarımı ve çalışması daha basit olduğu için daha ucuzdurlar.
2. Düşey savurma döküm makinalarında kalıbın döküm sırasında kaldırılması sözkonusu olmadığından, tamamen yere gömülü olabilirler, bu nedenle daha emniyetlidirler.
3. Düşey savurma döküm makinalarında, yerçekiminin etkisi ile kabuk kalınlığı eksen boyunca farklılık gösterir, bu farklılık kalıbın dönme hızına bağlıdır. Hız arttıkça farklılık azalır.
4. Yatay savurma dökümlerde bileşim ayrışması olayına daha sık rastlanmaktadır.

Savurma döküm yönteminde kokil kalıp 80-120 G'lik bir ivme sağlayacak hızla döndürülmektedir. Daha düşük hızlarda metal ayrışması ve katmerleşme görülür. Daha yüksek hızlarda makina titreşimleri arttığından, yapıda bozulmalara rastlanabilir. Pratik ve emniyet bakımından da yüksek hızlar sakıncalıdır (Özdoğan 1987).

#### **4.5.4. Hadde Merdanesi Üretiminde Kullanılan Çift Döküm Teknolojilerinin Karşılaştırılması**

Merdane üreticileri üç tip çift döküm yönteminin ikisini veya üçünü beraberce kullanabilirler. Bunun nedeni de her yöntemin kendine göre bazı üstünlükleri olmasıdır. Bu yöntemlerden taşıma döküm oldukça eski bir geçmişe sahiptir. Diğer ikisi ise hadde

merdaneleri üretiminde son yıllarda kullanılan yöntemlerdir. Bu üç tip çift döküm yöntemi karşılaştırılacak olursa;

1. İlk yatırımı en düşük olan yöntem taşıma döküm yöntemidir. Boşaltma döküm ise sürgülü kapak sistemi gerektirdiğinden biraz daha pahalıdır. Savurma dökümde ise savurma döküm makinası ve özel kalıplar ilk yatırımı çok yükseltmektedir.
2. En az metal kullanımı savurma döküm yöntemindedir. Taşıma dökümde kalıp hacminin %70-500 arası fazla metale, boşaltma dökümde ise kalıp hacminin %50'si kadar fazla metal gerek vardır (Özdoğan 1987).
3. Kabuk kalınlığı savurma dökümde sadece kullanılan metal miktarına bağlıdır, diğer iki dökümde ise metalin sıcaklığına ve kabuk metalinin kalıpta kalma süresine bağlıdır. Bu parametrelerin de önceden deneysel olarak saptanması gerekmektedir (Lee 1972).
4. Savurma ve boşaltma dökümlerde kabuk metali bir süre çıplak kaldığından, arkadan verilen göbek metalinin kabuk metaline kaynamasını sağlamak için önlem almak gerekmektedir.
5. Savurma ve boşaltma dökümlerde kabuk ve göbek metali tamamen ayrı metallere oluşabildiği için çok değişik kombinasyon olanakları vardır. Taşıma döküm ise kabuk metalinin seyreltilmesi esasına dayandığı için kullanılacak metal bileşimleri kısıtlıdır.
6. Savurma dökümde kabuk yapısının dıştan içe değişimi, diğer dökümlere göre daha azdır.
7. Savurma dökümde daha hızlı bir soğuma sağlandığından, tane yapısı daha küçüktür. Böylece daha iyi bir karbür dağılımı sağlanmış olur.
8. Savurma dökümde merkezkaç kuvvetinin etkisi ile hafif olan fazlar (örneğin gazlar ve kalıntılar) içe doğru ayrışır. Bunun sonucu olarak daha temiz bir kabuk yapısı elde edilir.
9. Savurma dökümle derin profilli merdane dökümü yapılamaz.
10. Savurma dökümde dıştan içe sertlik düşüşü diğer yöntemlere göre daha azdır (Özdoğan 1987).

## 4.6. Hadde Merdanelerinde Kalite Kontrol

Hadde merdanelerinin kalite kontrolünün yapılması işlemi hammaddenin (hurda malzemenin) indüksiyon ocaklarında ergitilip bileşiminin spektral analiz cihazları ile belirlenmesi ile başlar. Merdane dökümü boyunca termal analiz ve döküm parametreleri kontrol edilmelidir. Özel müşteri isteklerine göre chill testleri yapılmalı ve son olarak kimyasal analiz test edilmelidir. Yüzey kusurlarının tespiti için penetran sıvıyla muayene yöntemi ve iç hataların belirlenmesi için ultrasonik muayene yapılmalıdır.

### 4.6.1. Sertlik Ölçme Yöntemleri

Merdanelerin özelliklerini belirlemede merdane sertlikleri önemlidir. Bununla beraber malzemenin yapısı da önemlidir. Merdane sertliğini belirlemede farklı sertlik ölçme yöntemleri uygulanmaktadır.

Shore-Scleroscope testi merdanelerin sertliğinin ölçülmesinde oldukça yaygın bir yöntemdir. Baklava biçiminde elmas uçlu aparat merdanenin yüzeyine düşürülür. Bu durumda yararlanılan kinetik enerji üç yolla harcanmaktadır. Merdanenin yüzeyinde elastik deformasyon, merdane yüzeyinde plastik deformasyon ve çarpmadan sonra geri sıçrama için kinetik enerji kısaca merdanenin yüzeyine deformasyon vermek için harcanır.

Shore D ölçümü, Shore C'ye göre daha gerçek değerler vermektedir. Bu tip sertlik ölçme cihazları kadranlıdır.

Son yıllarda alternatif skeleroskop test aleti olarak elektronik skleroskop "Equotip Test Cihazı" kullanılmaktadır. Ölçümler; başlangıç hızı "VA" ve sırama hızı "VR" olmak üzere;

$$L_{HIZI} = 1000 \times (VR/VA); \quad \text{dijital alet ile gösterilir.}$$

Çelik ve dökme demir merdaneler için D ve G olmak üzere iki tip Equotip test cihazı bulunmaktadır, genellikle D tipi tercih edilmektedir. G tipi ise yumuşak dökme

demir merdanelerde, özellikle merdane yüzeyi torna edilmiş durumda ise tercih edilmektedir. D tipinde ise önemli olan yüzeyin oksitsiz olması ve temiz hassas yüzey olması gerekmektedir.

Brinell sertlik yöntemi hadde merdanelerinde sertliğin 550 HB'den düşük olduğu durumlarda kullanılır. Merdane yüzeyine sert bilya bastırılarak ölçüm yapılmaktadır. Yük kaldırıldıktan sonra spesifik yük ve baskı miktarı ölçülür. Bu yöntemde merdane yüzeyi düzgün ve temiz olmalıdır.

Vickers sertlik ölçme metodu, sert merdaneler için kullanılmaktadır. Elmas piramit şeklinde aparat ile ölçüm yapılmaktadır. Elmas uç merdane yüzeyine uygulanır. Uygulanan kuvvetin, piramit şeklinde elmas ucun merdane yüzeyinde meydana gelen şeklin alanına bölünmesiyle uygulanır. Vickers sertlik ölçme yöntemlerinde 20-30 kg'lık yük uygulanır (Tunç 1997). Çizelge 4.12.'de hadde merdaneleri için sertlik dönüşüm tablosu verilmiştir (WEB\_16 2004).

**Çizelge 4.12.** Hadde merdaneleri için sertlik dönüşüm tablosu (WEB\_17 2004)

| Shore C<br>(Sh C)* | Equotip |         | Vickers<br>(HV) |
|--------------------|---------|---------|-----------------|
|                    | (LD)**  | (LE)*** |                 |
| 35                 | 516     | 494     | 245             |
| 37                 | 530     | 507     | 260             |
| 39                 | 544     | 520     | 275             |
| 41                 | 558     | 532     | 290             |
| 43                 | 572     | 546     | 306             |
| 45                 | 586     | 559     | 322             |
| 47                 | 600     | 572     | 340             |
| 49                 | 613     | 584     | 358             |
| 51                 | 626     | 596     | 374             |
| 53                 | 639     | 608     | 390             |
| 55                 | 652     | 620     | 407             |
| 57                 | 665     | 633     | 425             |
| 59                 | 677     | 645     | 443             |
| 61                 | 688     | 655     | 461             |
| 63                 | 699     | 666     | 479             |
| 65                 | 710     | 677     | 497             |
| 67                 | 721     | 688     | 515             |
| 69                 | 732     | 698     | 535             |
| 71                 | 743     | 709     | 556             |
| 73                 | 754     | 720     | 577             |
| 75                 | 764     | 730     | 598             |
| 77                 | 774     | 740     | 619             |
| 79                 | 784     | 750     | 641             |
| 81                 | 794     | 760     | 664             |
| 83                 | 804     | 770     | 688             |
| 85                 | 814     | 780     | 713             |
| 87                 | 824     | 790     | 738             |
| 89                 | 834     | 800     | 765             |
| 91                 | 844     | 810     | 794             |
| 93                 | 854     | 820     | 823             |
| 95                 | 864     | 830     | 854             |

\*Standart kalibrasyon

\*\* Sementit karbür bilya

\*\*\* Elmas bilya

#### 4.7. Merdane Ömrünü Uzatmak İçin Öneriler

1. Her merdane ayrı soğutma işlemine tabi tutulmalıdır.
2. Soğutma suyu soğuk olmalıdır.
3. Soğutma haddelenen malzemenin çıktığı taraftan yapılmalıdır.
4. Dönmeyen merdaneler üzerine su verilmemelidir.
5. Soğutma suyunun miktarından çok soğutma şekli ve sitemi önemlidir. Bu nedenle; en şiddetli ısı tesiri altında kalan merdane, aynı merdanenin çalışan kalibre kanalı, kalibre kanalının en çok ısınan bölgesi en fazla soğutulmalıdır.
6. Soğutma suyunun basıncı çok düşük veya yüksek olmamalıdır. Fıskiye sistemlerde 2-4 atü arasında olmalıdır.
7. Kısa süreli duruşlarda merdaneler soğutulmalıdır. Uzun süreli duruşlarda ise su miktarı azaltılarak soğutmaya devam edilmelidir. Ancak muyluların soğutma suyu azaltılmamalıdır.
8. Fiber yataklar iyi soğutulmalıdır. Ancak bu suyun gövdeye gelmesi engellenmelidir.
9. Haddelene esnasında su kesilirse veya su açılmadan haddelene başlamış ise su verilmeden haddelene tamamlanmalıdır. Daha sonra merdaneler boşta çalıştırılarak soğutulmalıdır. Su kesilince vanalar derhal kapatılıp gelen suyun sıcak merdane üzerine akması engellenmelidir. Bu sayede termal şoklar önlenmiş olacaktır.
10. Haddelenen malzemenin merdaneyi sarması durumunda derhal su kesilmeli ve merdane malzemeden hızla ayrılmalıdır.

İyi soğutulmayan merdanelerin karakteristik görünüşü, kalibre kanalında meydana gelen kılcal çatlaklardır. Çatlakların yaygınlaşması ve derinleşmesi önlenemiyorsa kanal değiştirilmelidir (Tunç 1997).



## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

### **DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

#### **5. Deneysel Çalışmalar**

##### **5.1. Deneysel Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada, döküm halinde ve altı farklı Cu katkı oranına sahip lamel grafitli dökme demirlerin oda sıcaklığında hadde merdanelerinin çalışma koşulları esas alınarak metal-metal aşınma davranışlarının incelenmesi ve Cu katkı oranının lamel grafitli dökme demirlerin aşınmasına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

##### **5.2. Deney Malzemeleri**

Bu çalışmada kullanılan lamel grafitli dökme demirlerin kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Altı farklı numunenin elementlerinin oranları aynı, sadece Cu oranları farklıdır. Numuneler sırasıyla ET1, ET2, ET3, ET4, ET5, ET6 olarak adlandırılmıştır.

##### **5.3. Metalografik Çalışmalar**

Metalografik incelemeler için numunelerin yan yüzeyleri sırasıyla 100, 220, 400, 600, 800 ve 1000 mesh’lik  $Al_2O_3$  zımpara kademelerinden geçirilerek Edus marka zımpara cihazı ile zımparalanmıştır. Daha sonra üzeri keçe kaplı döner disklerde parlatma işlemi gerçekleştirilmiş ve parlaticı olarak % 98, 99’luk  $Al_2O_3$  kullanılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler su ile yıkanıp etil alkol ile iyice temizlenmiş ve %2’lik nital çözeltisinde dağlanarak mikroyapı incelemelerine hazır hale getirilmiştir.

Mikroyapı incelemelerinde Leitz marka optik mikroskop kullanılmış ve 50x, 100x, 200x ve 500x büyütme oranlarında çekilen mikroyapı fotoğraflarıyla lamel grafitli dökme demirin içyapısı tespit edilmiştir.

İncelenen lamel grafitli dökme demirlerin sertliği, mikroyapı incelemelerinde kullanılan numuneler üzerinde ASTAŞ AZİM CİVATA A. Ş. laboratuvarlarında HRC olarak Rockwell sertliği cinsinden belirlenmiştir. Sertlik ölçümlerinde her numuneden en az beş ölçüm alınarak bunların aritmetik ortalamaları verilmiştir. Hadde merdanelerinin sertliklerinin ölçülmesinde bir önceki bölümde açıklandığı üzere Equotip sertlik ölçüm yöntemi kullanılmaktadır ve yine bir önceki bölümde hadde merdaneleri için kullanılan sertlik dönüşüm tabloları verilmiştir.

Lamel grafitli dökme demir numunelerin dökümü; indüksiyon ocağında ergitme ile 5 tonluk potalara döküm şeklinde gerçekleştirilmiş ve aynı dökümün içine farklı oranlarda Cu içeriği ilavesi ile Çizelge 5.1.'deki kimyasal bileşimler elde edilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Deneysel çalışmalarda kullanılan lamel grafitli dökme demirlerin kimyasal bileşimleri

| <b>Element</b><br>→ |           |            |            |           |           |            |            |            |            |           |           |           |            |            |            |             |
|---------------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
| <b>Numune</b> ↓     | <b>%C</b> | <b>%Si</b> | <b>%Mn</b> | <b>%P</b> | <b>%S</b> | <b>%Cr</b> | <b>%Ni</b> | <b>%Mo</b> | <b>%Ti</b> | <b>%V</b> | <b>%B</b> | <b>%W</b> | <b>%Sn</b> | <b>%Pb</b> | <b>%Zn</b> | <b>%Cu</b>  |
| <b>ET1</b>          | 3,52      | 1,79       | 0,36       | 0,017     | 0,03      | 1,57       | 1,85       | 0,56       | 0,005      | 0,006     | 0,0007    | 0,018     | 0,017      | 0,01       | 0,009      | <b>0,69</b> |
| <b>ET2</b>          | 3,52      | 1,79       | 0,36       | 0,017     | 0,03      | 1,57       | 1,85       | 0,56       | 0,005      | 0,006     | 0,0007    | 0,018     | 0,017      | 0,01       | 0,009      | <b>0,79</b> |
| <b>ET3</b>          | 3,52      | 1,79       | 0,36       | 0,017     | 0,03      | 1,57       | 1,85       | 0,56       | 0,005      | 0,006     | 0,0007    | 0,018     | 0,017      | 0,01       | 0,009      | <b>0,98</b> |
| <b>ET4</b>          | 3,52      | 1,79       | 0,36       | 0,017     | 0,03      | 1,57       | 1,85       | 0,56       | 0,005      | 0,006     | 0,0007    | 0,018     | 0,017      | 0,01       | 0,009      | <b>1,12</b> |
| <b>ET5</b>          | 3,52      | 1,79       | 0,36       | 0,017     | 0,03      | 1,57       | 1,85       | 0,56       | 0,005      | 0,006     | 0,0007    | 0,018     | 0,017      | 0,01       | 0,009      | <b>1,21</b> |
| <b>ET6</b>          | 3,52      | 1,79       | 0,36       | 0,017     | 0,03      | 1,57       | 1,85       | 0,56       | 0,005      | 0,006     | 0,0007    | 0,018     | 0,017      | 0,01       | 0,009      | <b>1,50</b> |

## 5.4. Aşınma Deneyleri

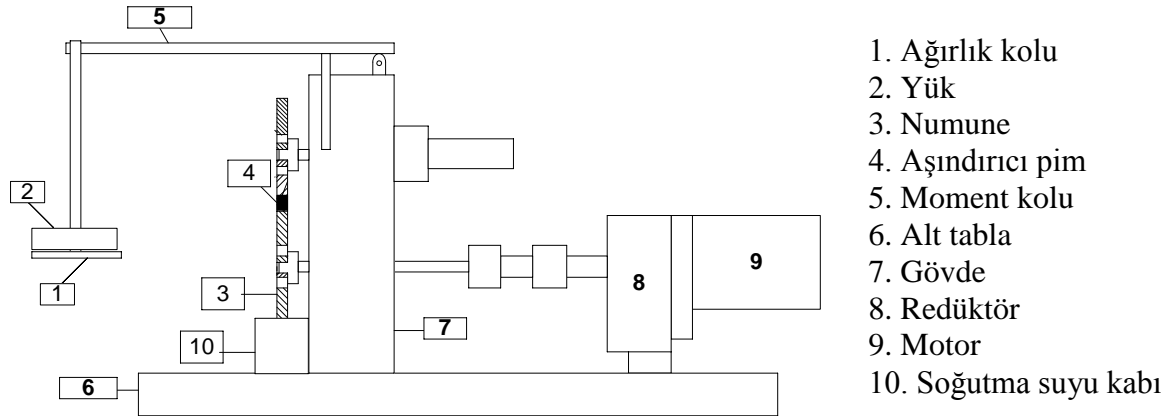
Döküm halinde ve aşındırılacak yüzeyleri  $Ra=0,2$   $\mu\text{m}$  hassasiyette parlatılmış olan, Cu katkı oranları farklı lamel grafitli dökme demir numunelerin aşınma davranışları, pin on disc (disk üzeri pim) tipi metal-metal aşınması yöntemine göre incelenmiştir.

Aşınma deneyleri gerçekleştirilen deney numuneleri, ASTM G 99 standardına göre tasarlanmış olan Plint marka aşınma deney cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. ASTM G 99 standardına göre hazırlanmış aşınma deney cihazı

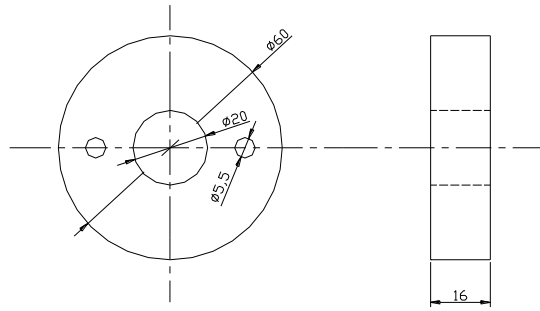
Metal-metal aşınma deneylerinde, Şekil 5.2.'de de görüldüğü gibi sabit hızla dönen deney numunesi diskler üzerine, sabit bir yükte aşındırıcı pim vasıtasıyla bastırılmaktadır.



Şekil 5.2. Metal-metal aşınma deney düzeneğinin şematik olarak gösterilişi

Deneyleer, X210Cr12 (1.2080) takım çeliğinden imal edilen pim aşındırıcılar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşındırıcılar ısıl işlem fırınında 900°C’da 30 dakika sũreyle ostenitlenip yağda su verilerek sertleştirilmiş, sertliği 63±2 HRC olarak belirlenmiştir.

Metal-metal aşınma deneyleri oda sıcaklığında yapılmış olup, çapı 60 mm ve genişliği 16 mm olan aşınma disk numuneleri iki farklı kayma hızında (1,256 m/s ve 2,513 m/s), dũrt farklı yũk altında (167 N, 192 N, 242 N ve 292 N) ve toplamda iki farklı kayma mesafesinde (6782.4 m ve 13564.8 m) aşınmaya tabi tutulmuştur. Şekil 5.3’de aşınma deneylerinde kullanılan disk numunelerin boyutları gũsterilmiřtir. Aşınmaya tabi tutulan numunelerin sertliği 29-32HRC olarak belirlenmiştir (izelge 5.2.).



Şekil 5.3. Aşınma deneylerinde kullanılan disk numunelerin boyutları

Çizelge 5.2. Aşınmaya tabi tutulan numunelerin sertliği

| Numune        | ET1  | ET2  | ET3  | ET4  | ET5  | ET6  |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| Sertlik (HRC) | 31±2 | 30±2 | 29±2 | 32±2 | 30±2 | 32±2 |
| Sertlik (HV)  | ~308 | ~300 | ~293 | ~314 | ~300 | ~314 |

Metal-metal aşınma deneylerinin öncesinde ve sonrasında her numune etil alkol ile iyice temizlendikten sonra  $\pm 10^{-3}$  g hassasiyette hassas terazi ile tartılarak aşınma kũtle kaybı cinsinden lũlmũřtũr. Bir aşınma numunesi için bir aşındırıcı pim kullanılmıştır.

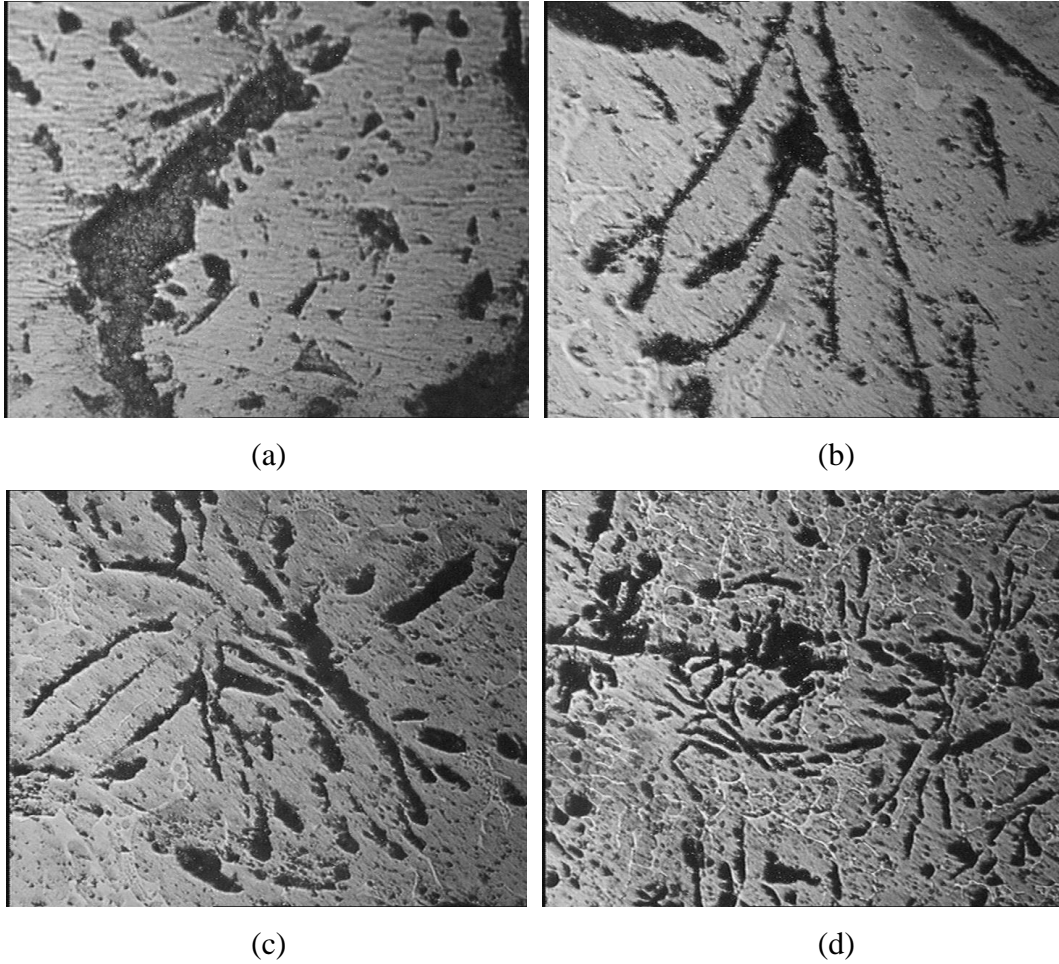
## ALTINCI BÖLÜM

### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 6. Deneysel Sonuçlar

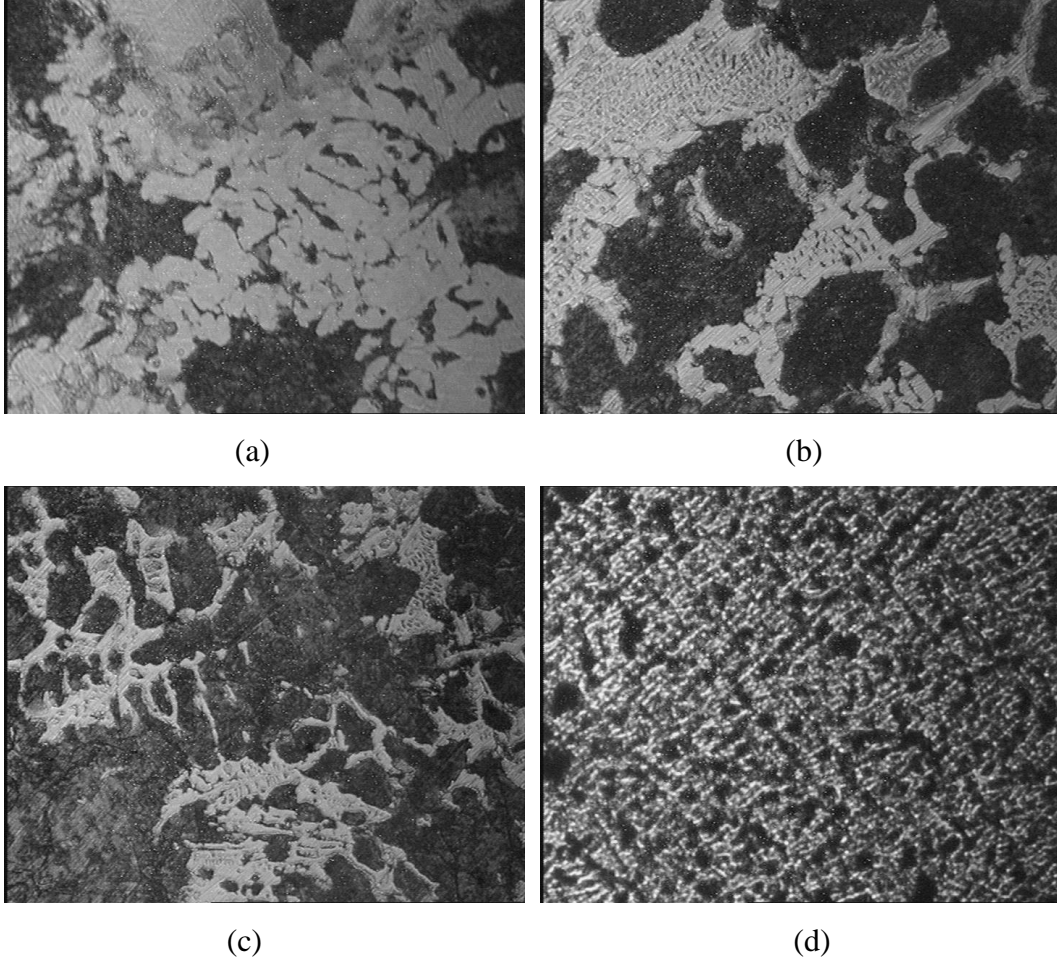
##### 6.1. Mikroyapı Karakterizasyonu

Bu çalışmada kullanılan ve kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1.'de verilen lamel grafitli dökme demirlerin dağlanmamış durumdaki mikroyapıları Şekil 6.1 – Şekil 6.6'da, dağlanmış durumdaki mikroyapıları ise Şekil 6.7 – Şekil 6.12'de verilmiştir.



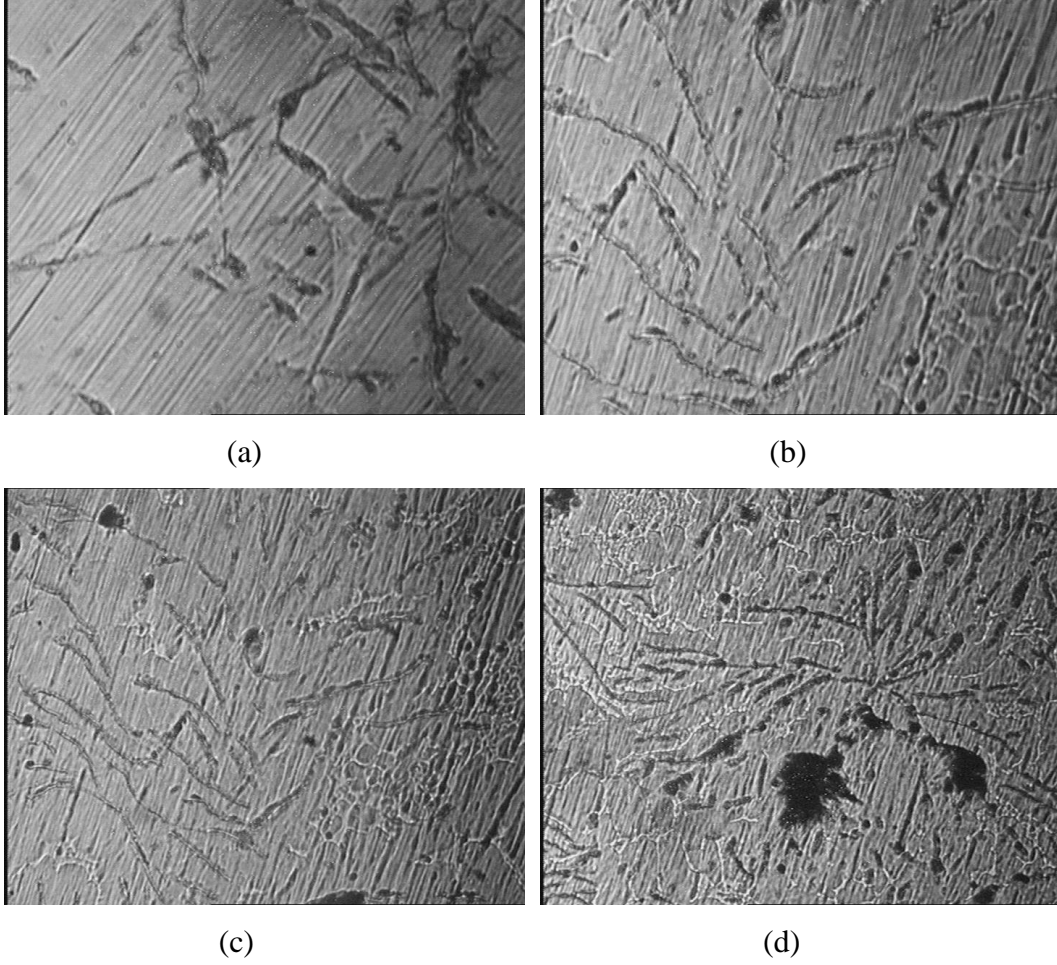
**Şekil 6.1.** 1 numaralı numunenin (ET1 – % 0,69 Cu) dağlanmamış durumdaki mikroyapıları (a) 500X (b) 200X (c) 100X (d) 50X

Mikroskobik çalışmalar, incelenen lamel grafitli dökme demirlerin mikroyapılarının perlit ve ledeburitten (kısmen sementitten) oluştuğunu göstermiştir.



**Şekil 6.2.** 2 numaralı numunenin (ET2 – % 0,79 Cu) dağlanmamış durumdaki mikroyapıları (a) 500X (b) 200X (c) 100X (d) 50X

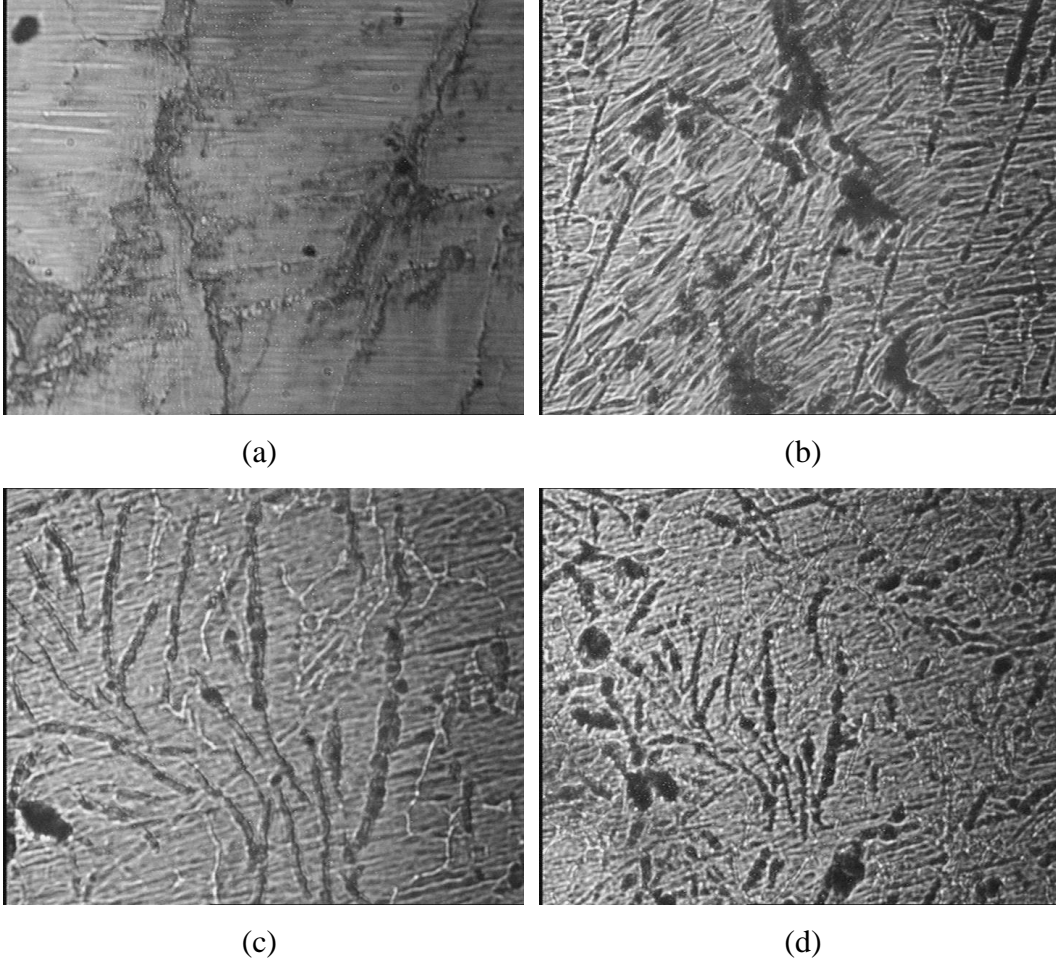
ET2 numunesi şekilde de belirtildiği üzere % 0,79 Cu oranına sahiptir ve önceki bölümlerde ifade edildiği üzere bakır lamel grafitli dökme demirler perlit yapıcı bir etkide bulunmakta ve diğer şekillerde de görüleceği üzere bakır oranı arttıkça perlit miktarında da artış görülmektedir.



**Şekil 6.3.** 3 numaralı numunenin (ET3 – % 0,98 Cu) dağlanmamış durumdaki mikroyapıları (a) 500X (b) 200X (c) 100X (d) 50X

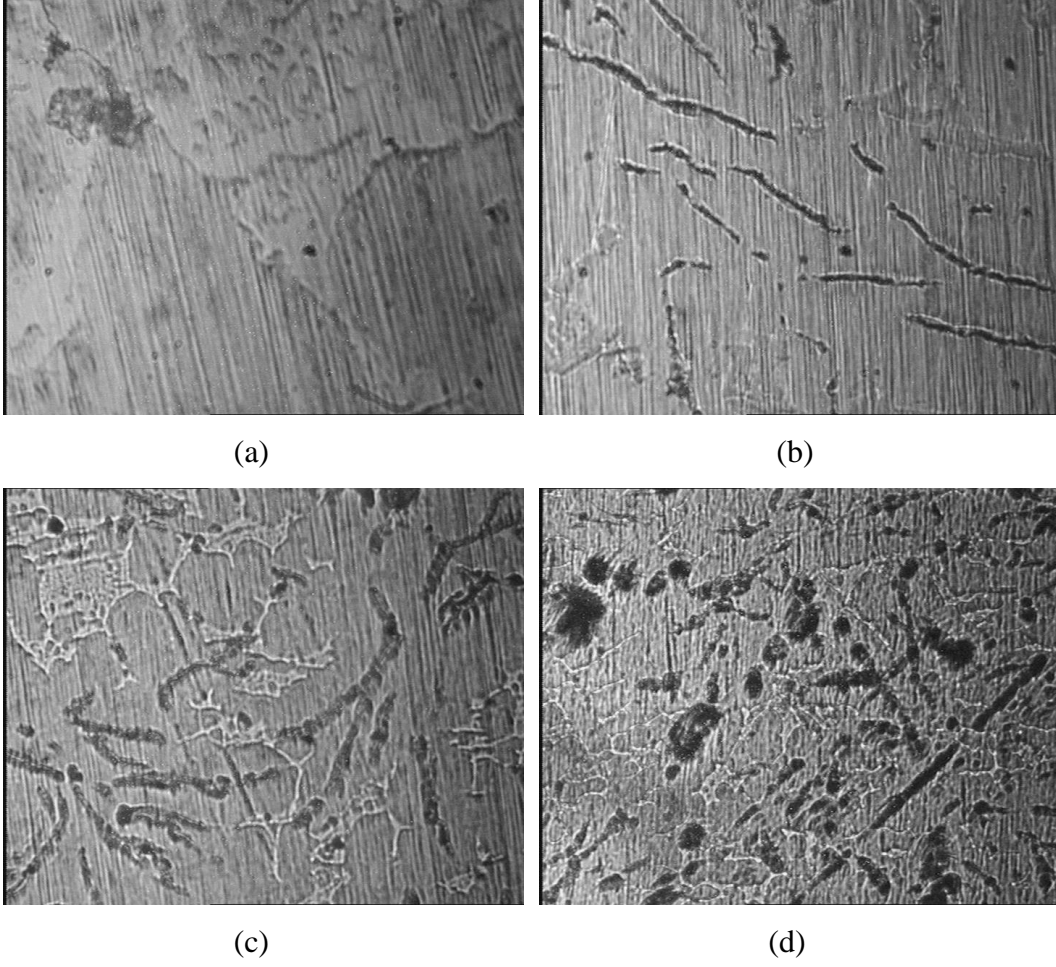
Merkeze yakın iç kısımlardan alınan mikroyapı görüntülerinden de görüleceği üzere, malzemenin yapısında yoğun miktarda lamel grafitler gözlemlenmektedir. Bu grafitlerin çentik etkisinden dolayı yorulma dayanımını düşüreceği, bunun yanında termal şok direncini olumlu yönde etkileyeceği ve bu suretle haddelemede yüksek sıcaklıklara çıkılıp (1050-1250°C) buradan soğutmalarda meydana gelebilecek ani sıcaklık düşüşlerinde aşınma direnç sağlayacağı şüphesizdir.



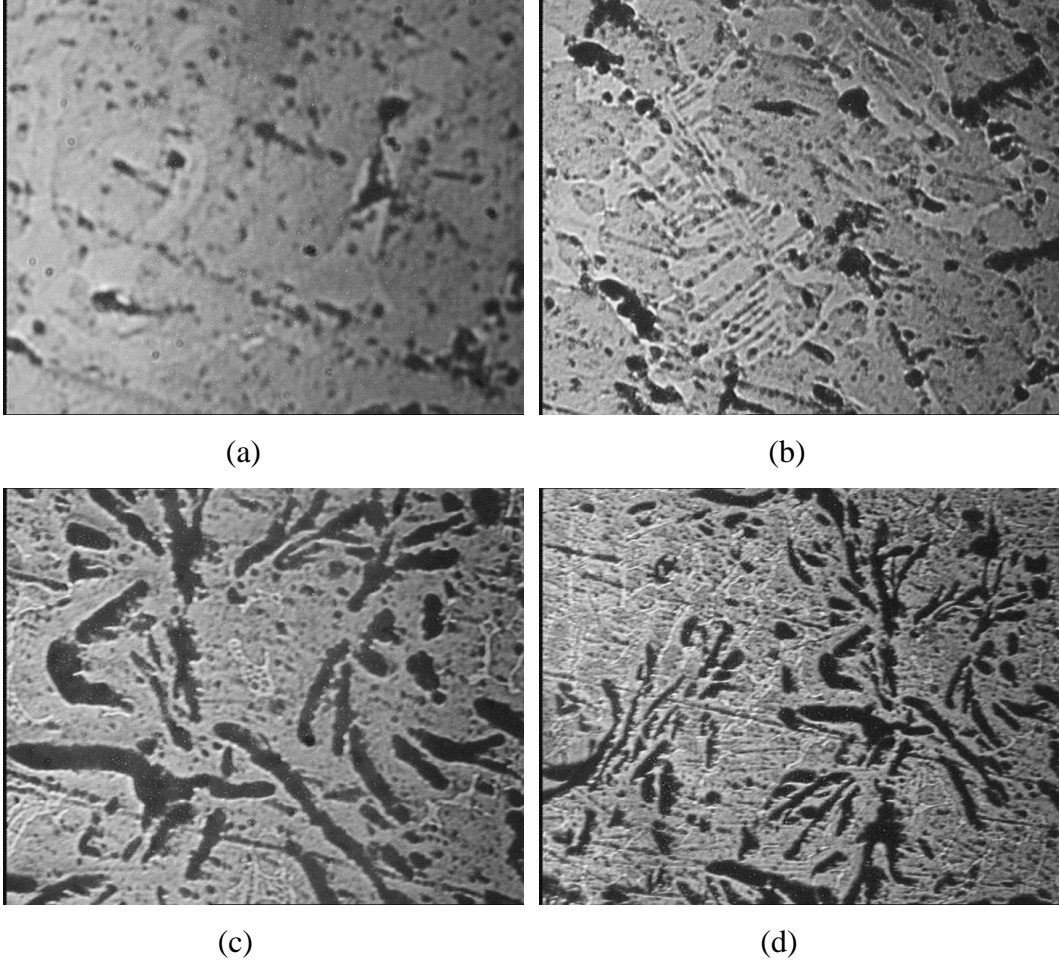


**Şekil 6.4.** 4 numaralı numunenin (ET4 – % 1,12 Cu) dağlanmamış durumdaki mikroyapıları (a) 500X (b) 200X (c) 100X (d) 50X

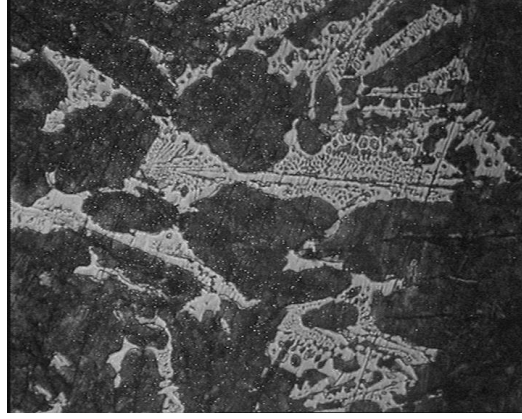
Genel olarak; malzemenin mikroyapısında lamel grafitler gözlemlenmektedir. Bununla birlikte aşınmaya maruz kalan yüzey kısımları incelendiğinde bu kısımlarda grafitlerin bulunmadığı ve hızlı soğuma neticesi sertlik ve aşınma direnci sağlayan chill tabakaların bulunduğu gözlemlenecektir (Şekil 6.13.-6.17.).



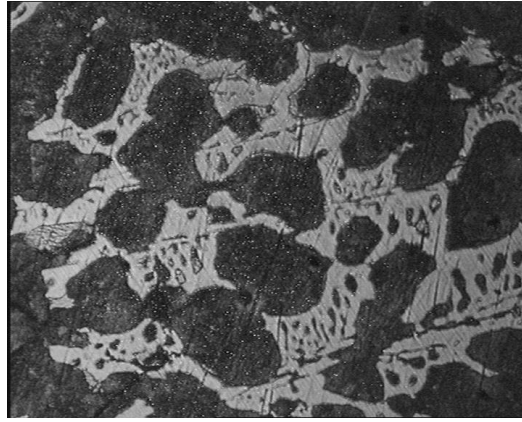
**Şekil 6.5.** 5 numaralı numunenin (ET5 – % 1,21 Cu) dağlanmamış durumdaki mikroyapıları (a) 500X (b) 200X (c) 100X (d) 50X



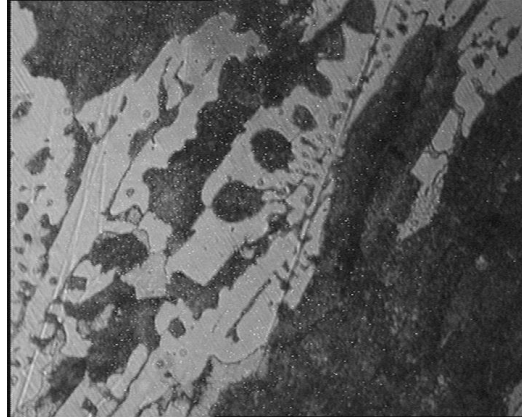
**Şekil 6.6.** 6 numaralı numunenin (ET6 - % 1,5 Cu) dağlanmamış durumdaki mikroyapıları (a) 500X (b) 200X (c) 100X (d) 50X



(a)



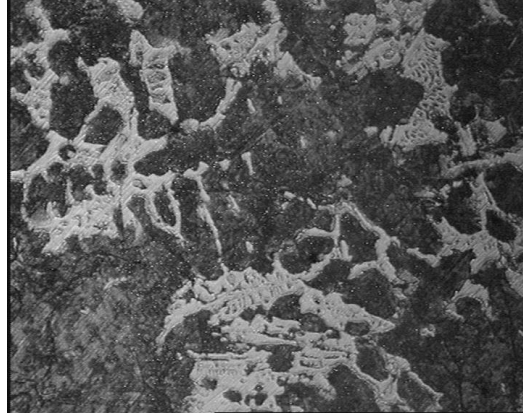
(b)



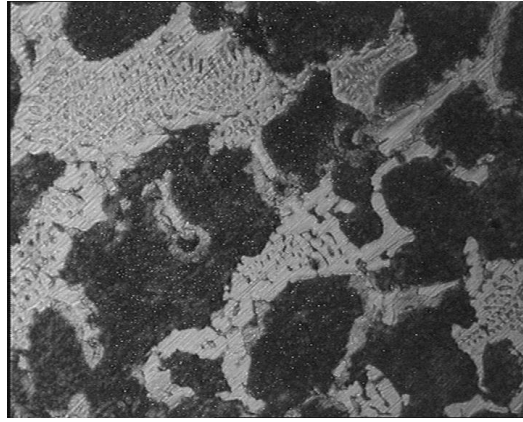
(c)

**Şekil 6.7.** 1 numaralı numunenin (ET1 – % 0,69 Cu) dağlanmış durumdaki mikroyapıları (a) 100X (b) 200X (c) 500X

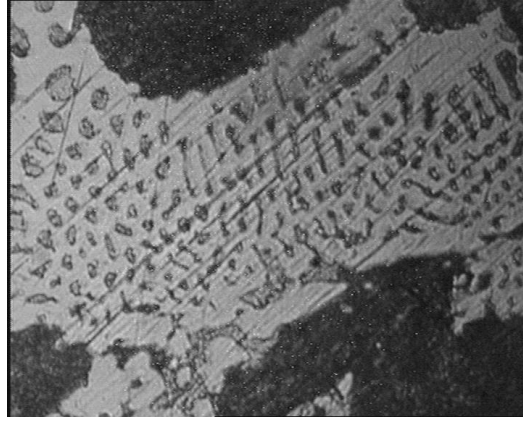
Dağlanmış durumdaki mikroyapılarda ledeburit, perlit ve sementit yapıları daha belirgin olarak görülmektedir.



(a)



(b)

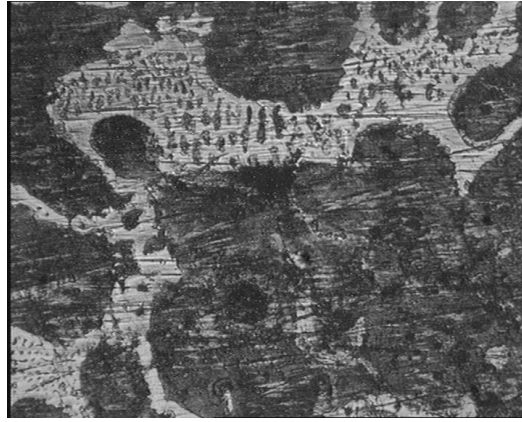


(c)

**Şekil 6.8.** 2 numaralı numunenin (ET2 – % 0,79 Cu) dağlanmış durumdaki mikroyapıları (a) 100X (b) 200X (c) 500X



(a)



(b)



(c)

**Şekil 6.9.** 3 numaralı numunenin (ET3 – % 0,98 Cu) dağlanmış durumdaki mikroyapıları (a) 100X (b) 200X (c) 500X



(a)



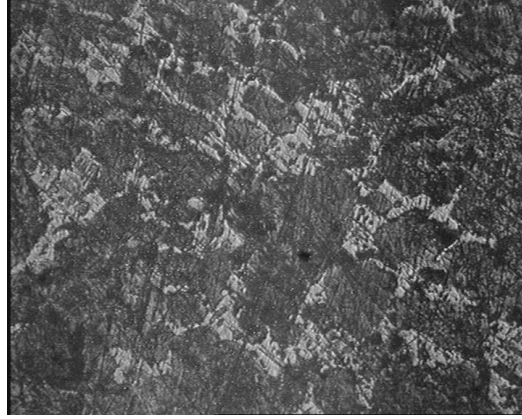
(b)



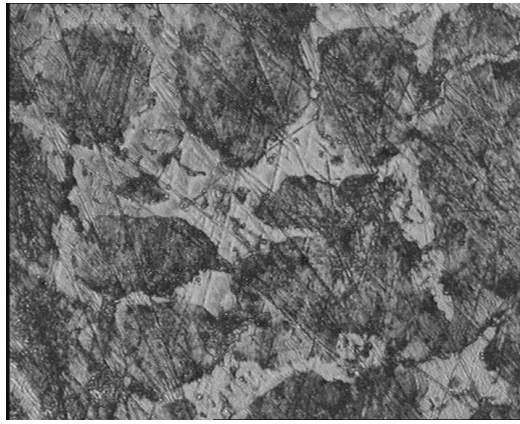
(c)

**Şekil 6.10.** 4 numaralı numunenin (ET4 – % 1,12 Cu) dağlanmış durumdaki mikroyapıları (a) 100X (b) 200X (c) 500X

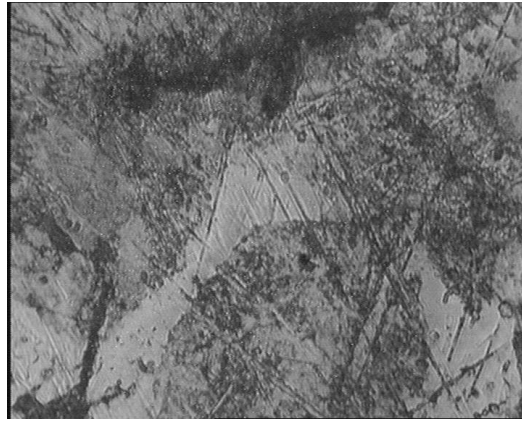




(a)



(b)



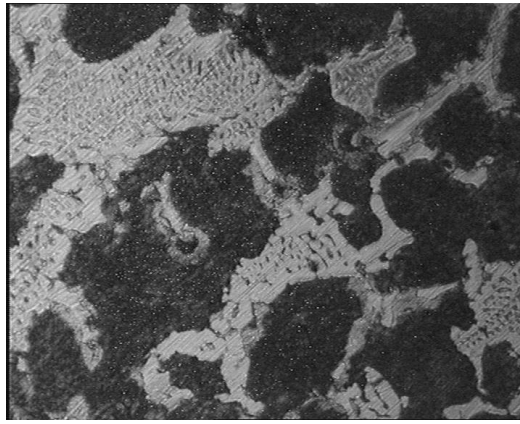
(c)

**Şekil 6.11.** 5 numaralı numunenin (ET5 – % 1,21 Cu) dağlanmış durumdaki mikroyapıları (a) 100X (b) 200X (c) 500X

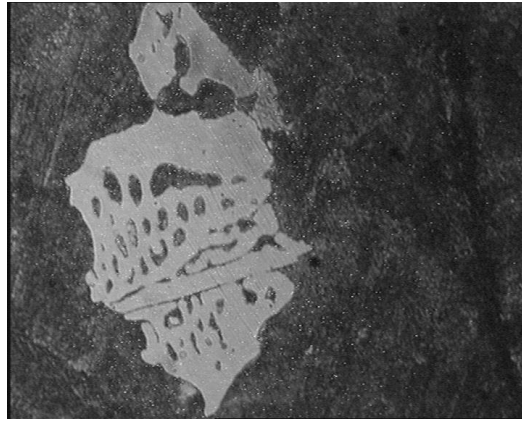




(a)



(b)



(c)

**Şekil 6.12.** 6 numaralı numunenin (ET6 – % 1,50 Cu) dağlanmış durumdaki mikroyapıları (a) 100X (b) 200X (c) 500X

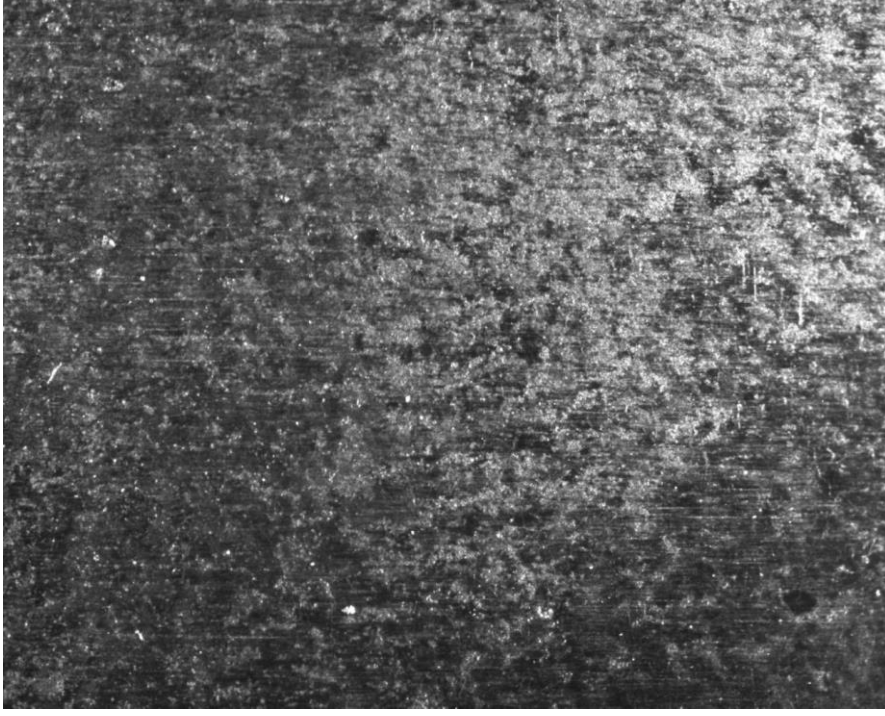
## 6.2. Aşınma Deneyleri

Altı farklı bakır içeriğine sahip lamel grafitli dökme demir numunelerin oda sıcaklığında X210Cr12 takım çeliğinden aşındırıcı pimler vasıtasıyla tabii tutulduğu aşınma deneyleri sonucu elde edilen ağırlık kaybı değerleri Çizelge 5.3.'de verilmiştir.

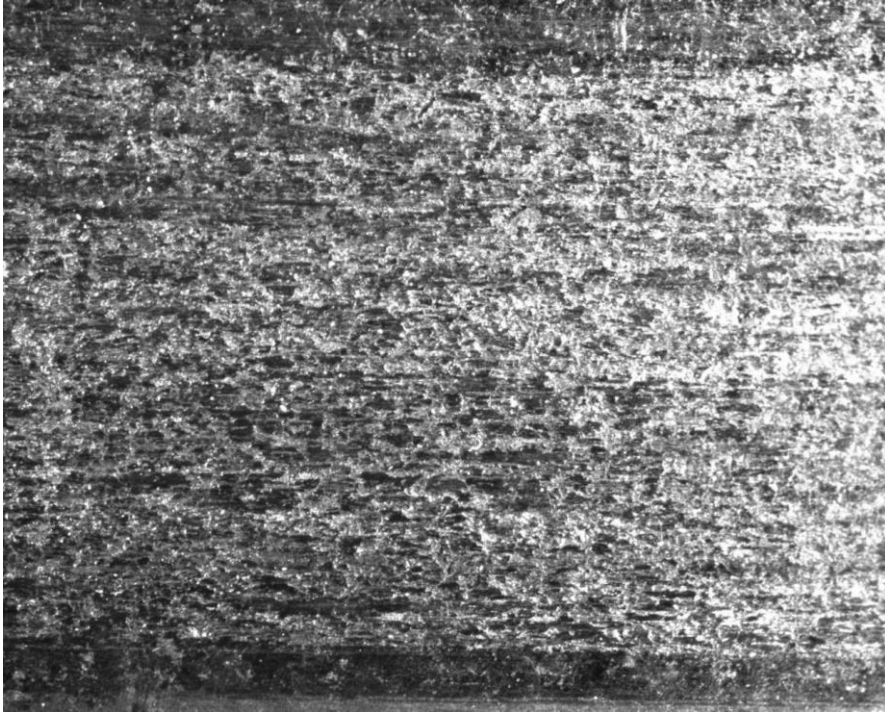
**Çizelge 5.3.** İncelenen lamel grafitli dökme demirlerin metal-metal aşınmasında uğradıkları ağırlık kayıpları

| Numune          | Uyg. Ağırlık<br>(kg) | Uyg. Yük<br>(N) | Kayma Mesafesi<br>(m) | Ağırlık kaybı<br>(mg) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| ET1 (% 0,69 Cu) | 2,5                  | 167             | 13564.8               | 129,5                 |
| ET1 (% 0,69 Cu) | 2,5                  | 167             | 6782.4                | 57                    |
| ET4 (% 1,12Cu)  | 2,5                  | 167             | 6782.4                | 25,5                  |
| ET4 (% 1,12Cu)  | 2,5                  | 167             | 13564.8               | 95                    |
| ET6 (% 1,50Cu)  | 2,5                  | 167             | 13564.8               | 82                    |
| ET1(% 0,69 Cu)  | 3                    | 192             | 6782.4                | 102,5                 |
| ET4 (% 1,12Cu)  | 3                    | 192             | 13564.8               | 103                   |
| ET6 (% 1,50Cu)  | 4                    | 242             | 13564.8               | 84                    |
| ET1 (% 0,69 Cu) | 5                    | 292             | 6782.4                | 162,5                 |
| ET2 (% 0,79 Cu) | 5                    | 292             | 6782.4                | 104,5                 |
| ET3 (% 0,98Cu)  | 5                    | 292             | 6782.4                | 104                   |
| ET4 (% 1,12Cu)  | 5                    | 292             | 6782.4                | 102,5                 |
| ET5 (% 1,21Cu)  | 5                    | 292             | 6782.4                | 82,5                  |
| ET6 (% 1,50Cu)  | 5                    | 292             | 6782.4                | 80                    |

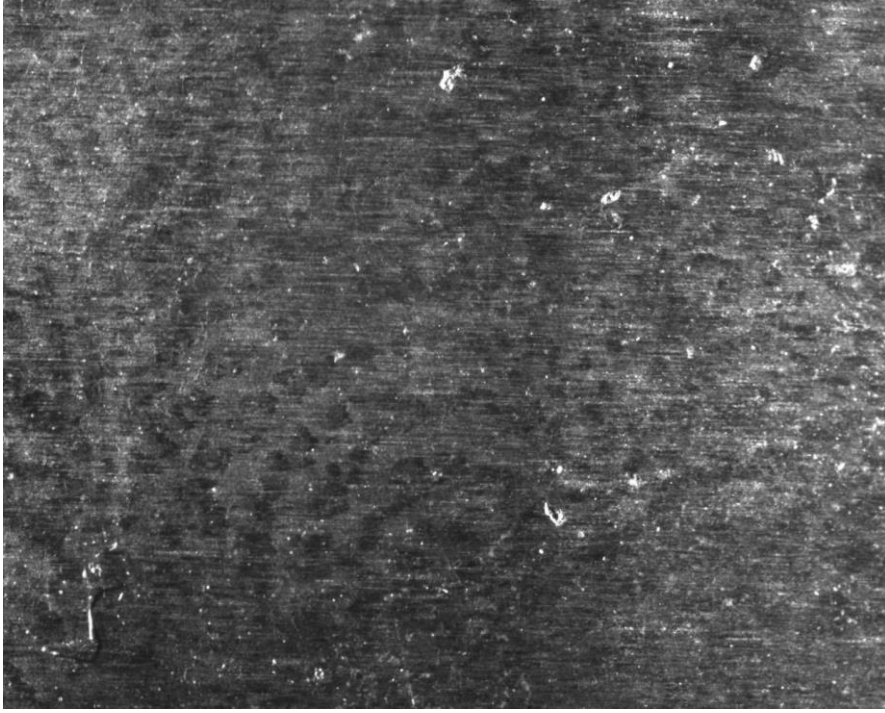
En düşük bakır oranına sahip olan 1 numaralı numunenin (ET1) ve en yüksek bakır oranına sahip 6 numaralı numunenin (ET6) aşınma öncesi ve aşınma sonrası yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 6.13. – 6.16.'da ve SEM görüntüleri 6.17. – 6.20.'de verilmiştir.



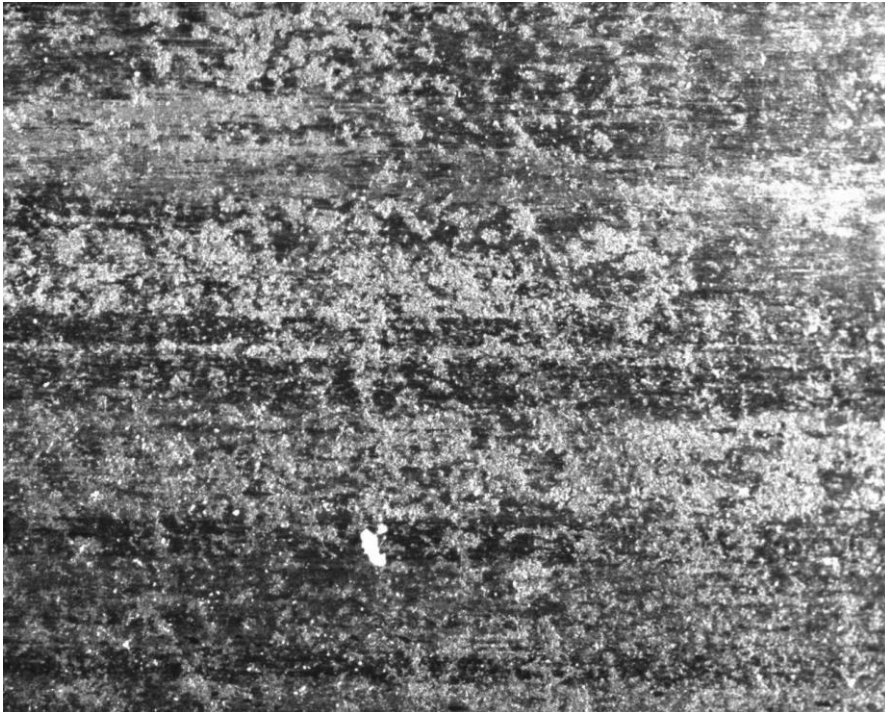
**Şekil 6.13.** 1 numaralı numunenin (ET1) optik mikroskofta aşınma öncesi yüzeyi (500X)



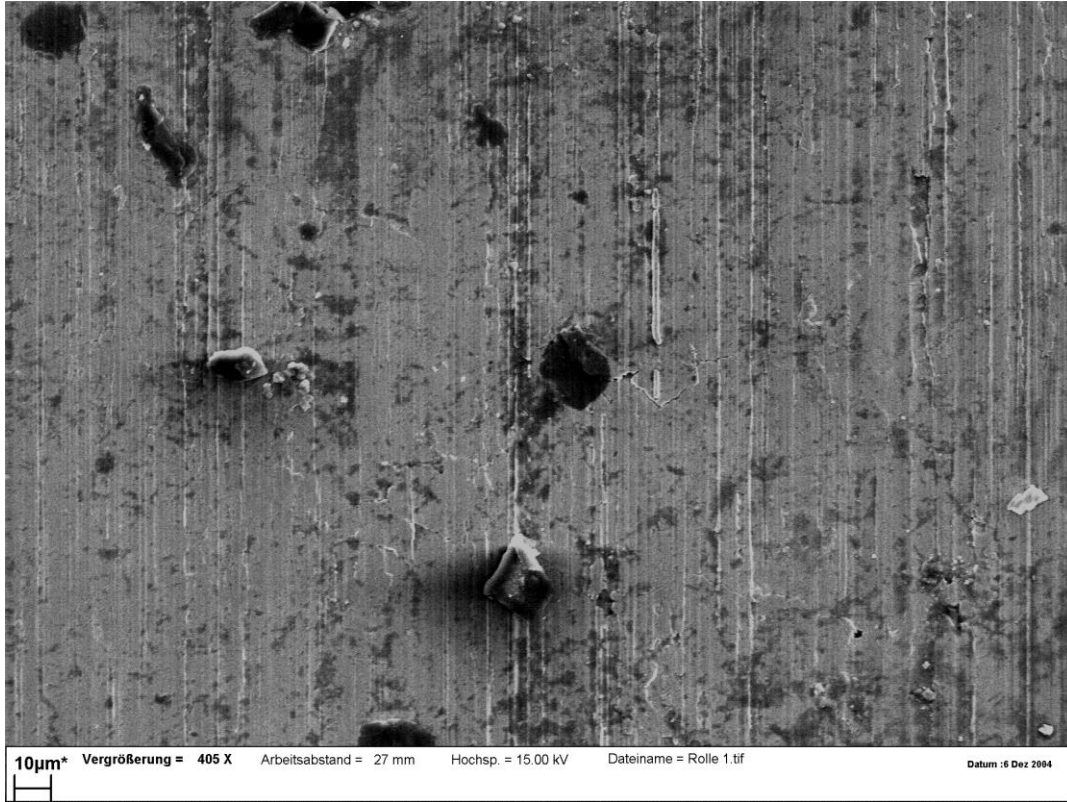
**Şekil 6.14.** 1 numaralı numunenin (ET1) optik mikroskofta aşınma sonrası yüzeyi (500X)



**Şekil 6.15.** 6 numaralı numunenin (ET6) optik mikroskofta aşınma öncesi yüzeyi (500X)



**Şekil 6.16.** 6 numaralı numunenin (ET6) optik mikroskofta aşınma sonrası yüzeyi (500X)

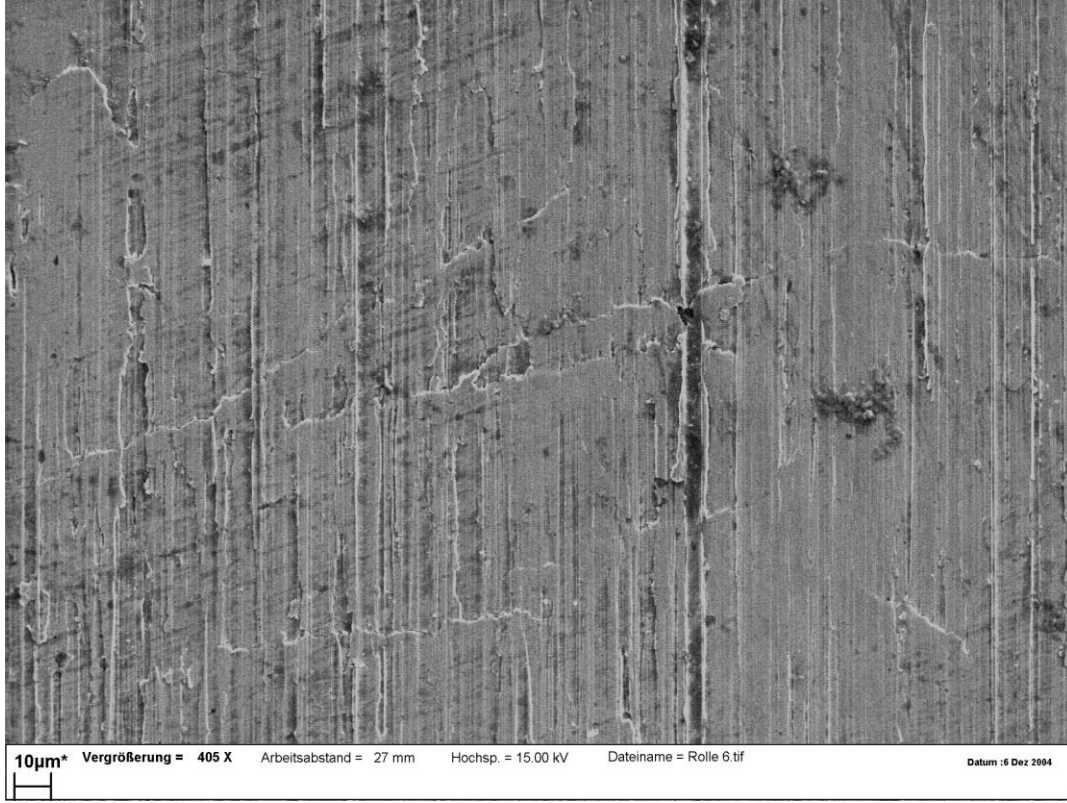


Şekil 6.17. 1 numaralı numunenin (ET1) aşınma öncesi SEM görüntüsü

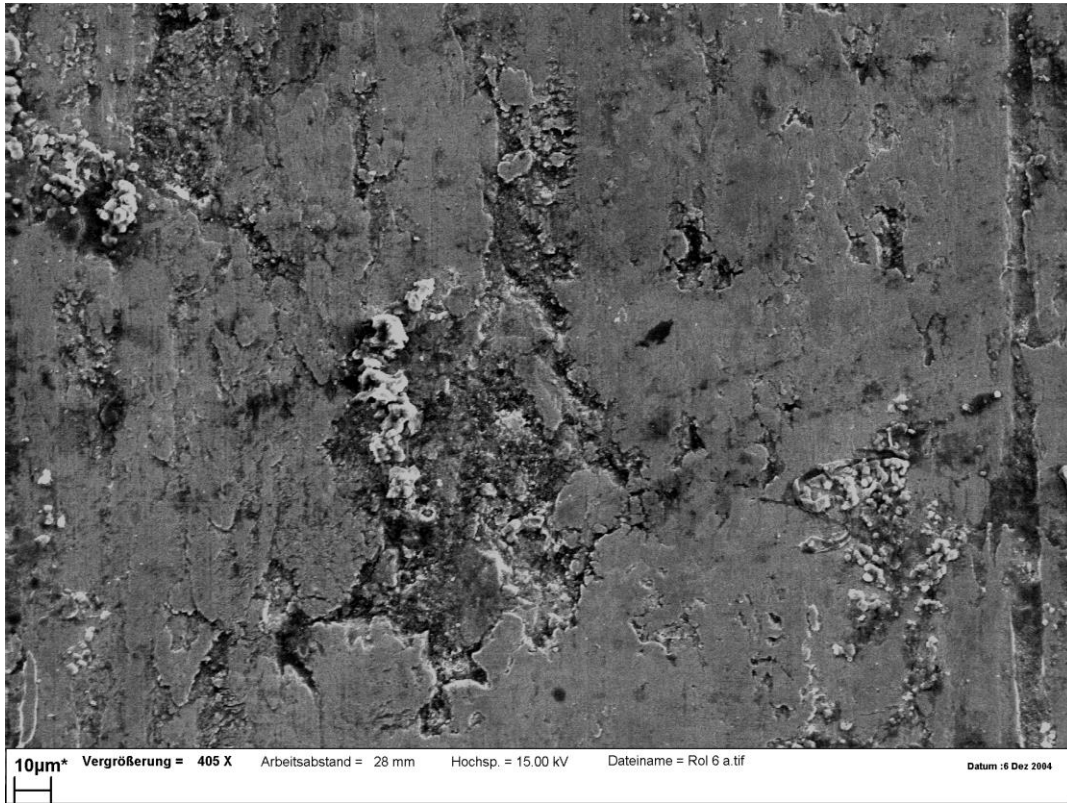


Şekil 6.18. 1 numaralı numunenin (ET1) aşınma sonrası SEM görüntüsü





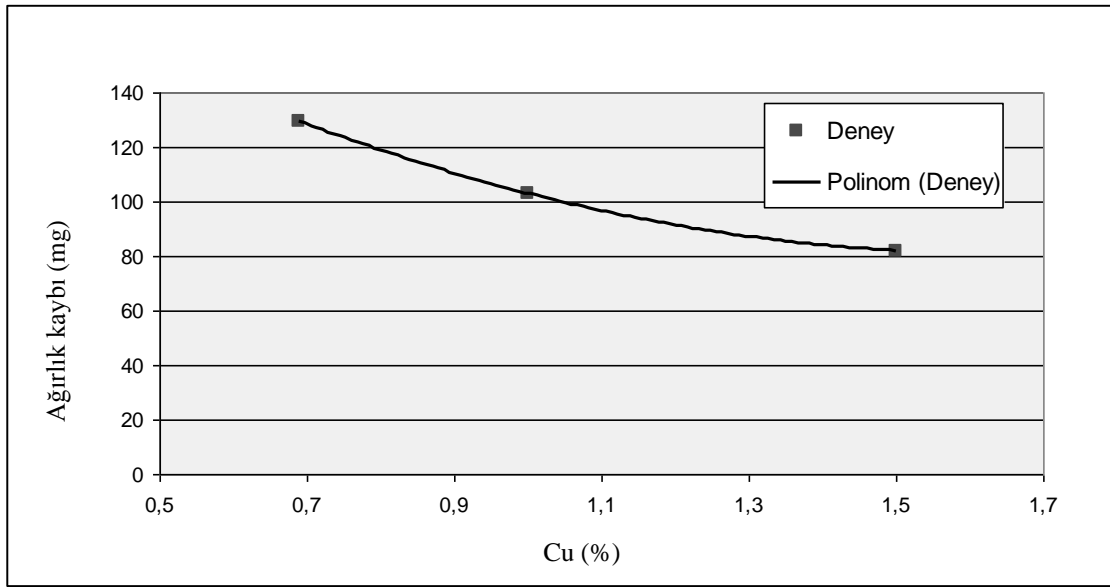
Şekil 6.19. 6 numaralı numunenin (ET6) aşınma öncesi SEM görüntüsü



Şekil 6.20. 6 numaralı numunenin (ET6) aşınma sonrası SEM görüntüsü

Şekil 6.21’de, bakır oranındaki farklılaşmaya göre aşınmada meydana gelen değişim gösterilmiştir. Deneysel sonuçlara göre 13564,8 m kayma mesafesinde 167 N yük altında aşağıdaki ikinci dereceden denklem ve quadratic eğri elde edilmiş olup; şekilden de görüleceği üzere bakır oranı arttıkça aşınma miktarında azalma görülmektedir.

$$\text{Aşınma miktarı (mg)} = 53,684(\text{Cu})^2 - 176,21(\text{Cu}) + 225,53$$



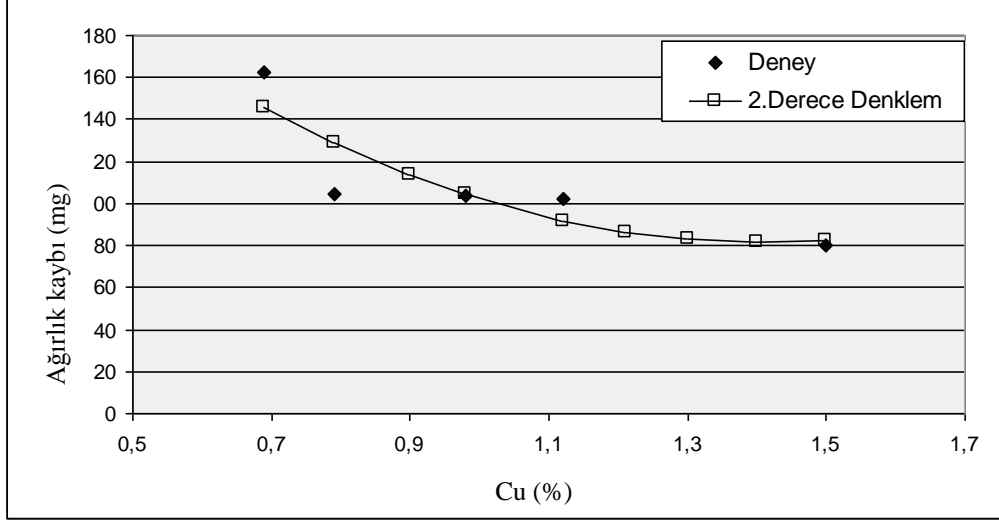
**Şekil 6.21.** İncelenen lamel grafitli dökme demir numunelerin bakır oranındaki farklılığa göre aşınmadaki değişimleri (13564,8 m, 167 N)

Şekil 6.22.’de de, bakır oranındaki farklılaşmaya göre aşınmada meydana gelen değişim gösterilmiştir. Deneysel sonuçlara göre 6782,4 m kayma mesafesinde 292 N yük altında aşağıdaki ikinci dereceden denklem ve quadratic eğri elde edilmiş olup; şekilden de görüleceği üzere bakır oranı arttıkça aşınma miktarında azalma görülmektedir.

$$\text{Aşınma miktarı (mg)} = 126,5992(\text{Cu})^2 - 355,334(\text{Cu}) + 330,8148$$

Şekil 6.21. ve Şekil 6.22. karşılaştırılacak olursa görülmektedir ki; kayma mesafesi 13564,8 m ve yük 167 N iken meydana gelen aşınma düşüşü oranı % 58 iken; kayma

mesafesi 6782,4 m ve yük 292 N iken meydana gelen aşınma düşüşü oranı % 96'lara çıkmaktadır.



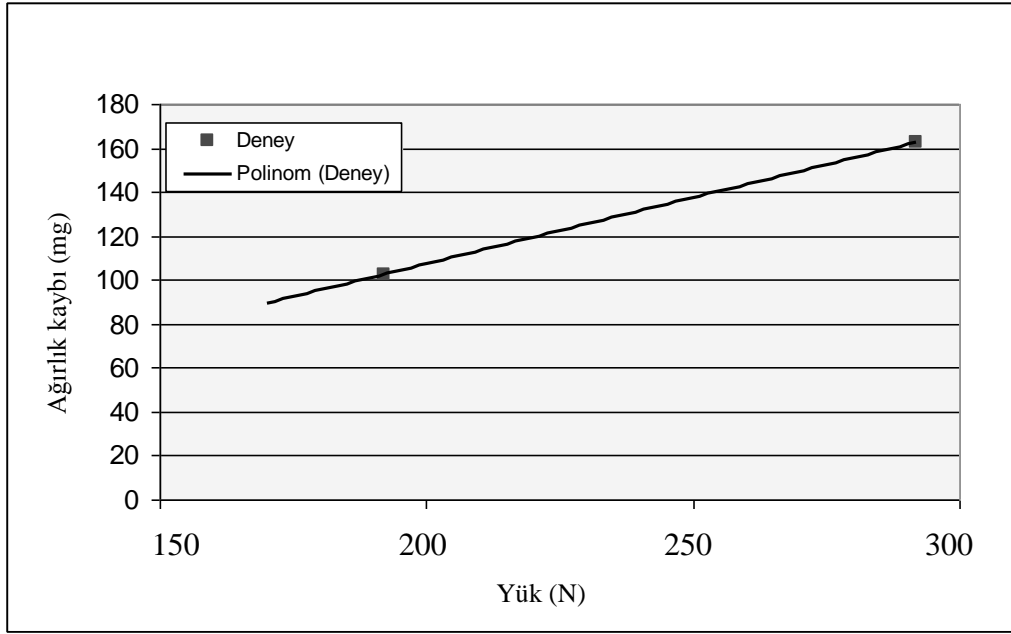
**Şekil 6.22.** İncelenen lamel grafitli dökme demir numunelerin bakır oranındaki farklılığa göre aşınmadaki değişimleri (6782,4 m, 292 N)

Şekil 6.23'de, uygulanan yükte meydana gelen farklılaşmaya göre aşınmada meydana gelen değişim gösterilmiştir. Deneysel sonuçlara göre; en düşük Cu oranına sahip 1 numaralı numune (ET1) için, 192 N ile 292 N arasında uygulanan yükler altında 6782,4 m kayma mesafesinde aşağıdaki lineer eğri elde edilmiş olup; şekilden de görüleceği üzere uygulanan yük miktarı arttıkça aşınma miktarında artma görülmektedir.

$$\text{Aşınma miktarı (mg)} = 6(F) - 12,7$$

F: Uygulanan yük (N)



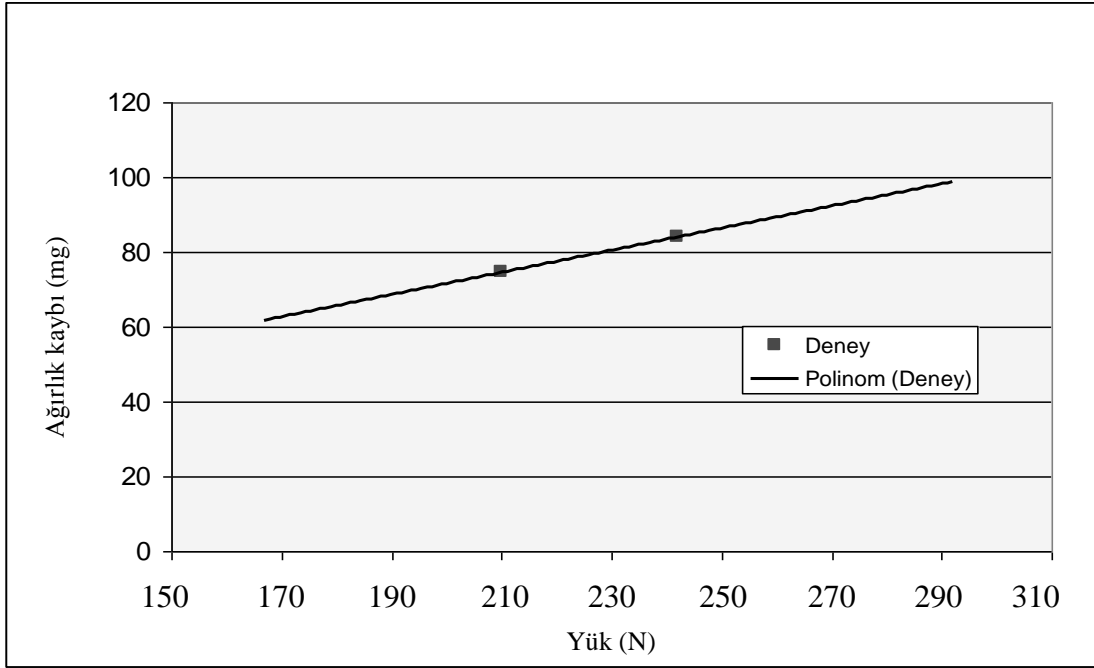


**Şekil 6.23.** İncelenen lamel grafitli dökme demir numunelerin uygulanan yükteki farklılıklara göre aşınmadaki değişimleri (% 0,69 Cu, 6782,4 m)

Şekil 6.24'de de, uygulanan yükte meydana gelen farklılaşmaya göre aşınmada meydana gelen değişim gösterilmiştir. Deneysel sonuçlara göre; en yüksek Cu oranına sahip 6 numaralı numune (ET6) için, 167 N ile 242 N arasında uygulanan yükler altında 13564,8 m kayma mesafesinde aşağıdaki lineer eğri elde edilmiş olup; şekilden de görüleceği üzere uygulanan yük miktarı arttıkça aşınma miktarında artma görülmektedir.

$$\text{Aşınma miktarı (mg)} = 2,97(F) - 12,16$$

Şekil 6.23. ve Şekil 6.24. karşılaştırılacak olursa görülmektedir ki; en düşük Cu oranına sahip 1 numaralı numune (ET1) için, 192 N ile 292 N arasında uygulanan yükler altında 6782,4 m kayma mesafesinde iken meydana gelen aşınma artışı oranı % 11 iken; en yüksek Cu oranına sahip 6 numaralı numune (ET6) için, 167 N ile 242 N arasında uygulanan yükler altında 13564,8 m kayma mesafesinde iken meydana gelen aşınma artışı oranı % 58'lere çıkmaktadır.

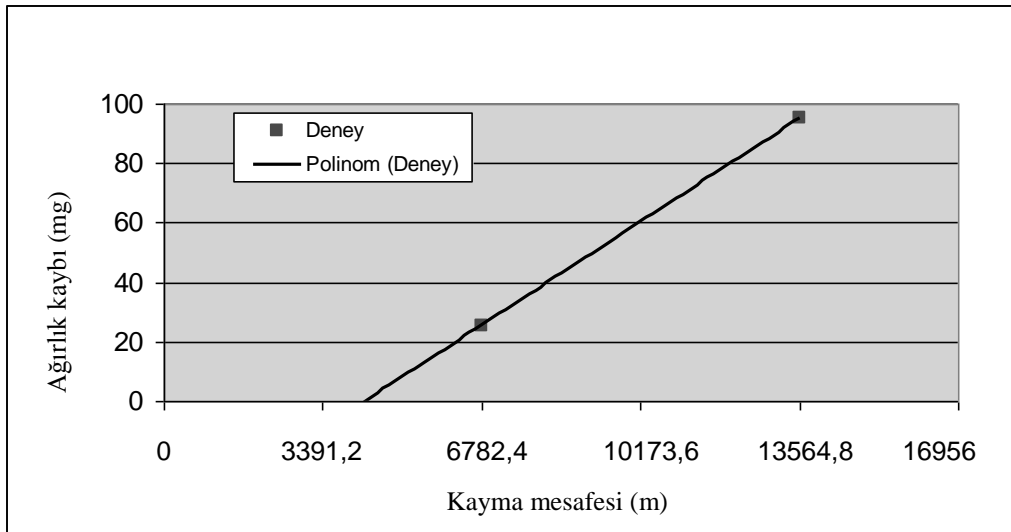


**Şekil 6.24.** İncelenen lamel grafitli dökme demir numunelerin uygulanan yükteki farklılıklara göre aşınmadaki değişimleri (% 1,50 Cu, 13564,8 m)

Şekil 6.25’de, uygulanan kayma mesafesinde meydana gelen farklılaşmaya göre aşınmada meydana gelen değişim gösterilmiştir. Deneysel sonuçlara göre; % 1,12 Cu oranına sahip 4 nolu numunenin (ET4), uygulanan 167 N yük altında 6782,4 m ve 13564,8 m kayma mesafesinde aşağıdaki lineer eğri elde edilmiş olup; şekilden de görüleceği üzere uygulanan dönme hızı miktarı arttıkça aşınma miktarında artma görülmektedir.

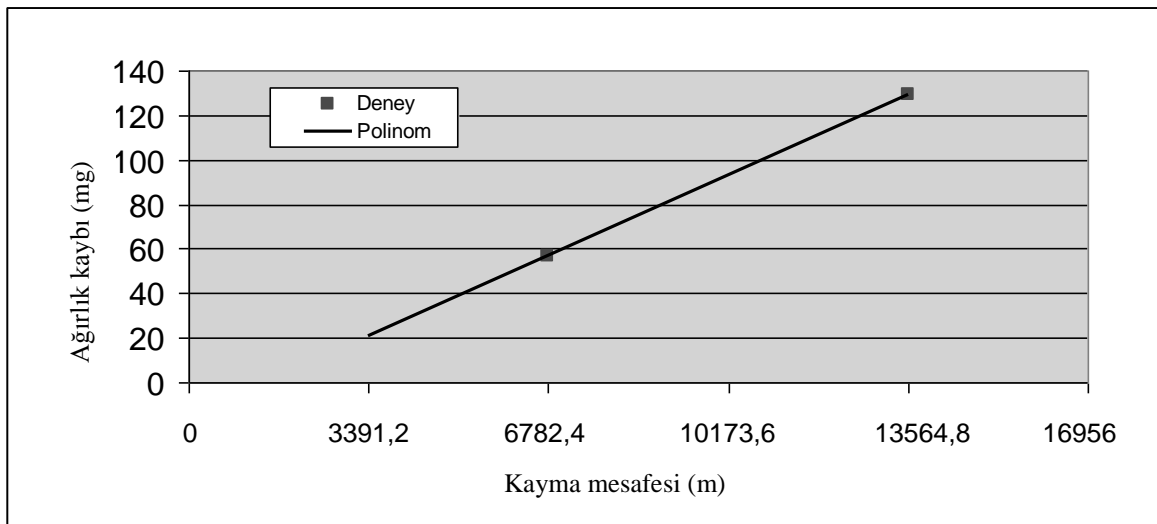
$$\text{Aşınma miktarı (mg)} = 0,1738(X) - 44$$

X: Kayma mesafesi (m)



**Şekil 6.25.** İncelenen lamel grafitli dökme demir numunelerinin uygulanan kayma mesafesindeki farklılıklara göre aşınmadaki değişimleri (% 1,12 Cu, 167 N)

Şekil 6.26'da da, uygulanan kayma mesafesinde meydana gelen farklılaşmaya göre aşınmada meydana gelen değişim gösterilmiştir. Deneysel sonuçlara göre; en düşük Cu oranına sahip 1 nolu numunenin (ET1), uygulanan 167 N yük altında 6782,4 m ve 13564,8 m kayma mesafesinde aşağıdaki lineer eğri elde edilmiş olup; şekilden de görüleceği üzere uygulanan kayma mesafesi miktarı arttıkça aşınma miktarında artma görülmektedir.



**Şekil 6.26.** İncelenen lamel grafitli dökme demir numunelerinin uygulanan kayma mesafesindeki farklılıklara göre aşınmadaki değişimleri (% 0,69 Cu, 167 N)

## YEDİNCİ BÖLÜM

### SONUÇLAR

#### 7. Sonuçlar

Bu çalışmada, altı farklı bakır içeriğine sahip lamel grafitli dökme demirden elde edilen numuneler, hadde merdanelerinin çalışma koşulları esas alınarak farklı yük ve Kayma mesafelerinde metal-metal aşınma deneylerine tabi tutulmuştur ve aşınma davranışları gözlemlenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Malzemenin alaşım elementi içeriği malzemenin mikroyapısına etki etmektedir. Dolayısıyla sertlik, tokluk, aşınma direnci gibi özelliklerin sağlanmasında alaşım elementlerinin etkisi oldukça fazladır. Lamel grafitli dökme demir numunelerde %0,69 ile %1,5 arasında değişen bakır oranları farklı yük ve kayma mesafesi değerlerinde numunenin aşınmasına etkide bulunmuş ve bakır oranı arttıkça malzemedeki meydana gelen aşınma miktarının azaldığı görülmüştür. Bu sonuca göre, lamel grafitli dökme demir malzemedeki imal edilen hadde merdanelerinde bakırın aşınmaya % 1,5 oranına kadar olumlu etki yaptığı ve aşınma direncini arttırdığı söylenebilir.

2- Deneysel çalışmalarda daha önceki literatür çalışmalarından yola çıkılarak bakır oranının yüksek kromlu dökme demirlerde % 0,79 ile % 0,9 arasında olduğu durumlarda aşınma direncine etkisinin bulunmadığı bu çalışmada lamel grafitli dökme demirler üzerinde de kısmen kanıtlanmış ve ağırlık kaybındaki değişimin en az bu oranlar arasında olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçtan irdenelerek; bakır oranının % 0,9 oranının üzerinde mutlak bir aşınma direnci sağladığı söylenebilir.

3- Lamel grafitli dökme demir malzemedeki imal edilen hadde merdanelerinin aşınmasında bir diğer önemli parametre uygulanan yüküdür. Yapılan deneyler göstermiştir ki; numunelerin dönme hareketi esnasında aşındırıcıya uygulanan yük arttırıldığında numuneden daha fazla parça kopması gerçekleşmekte ve buna bağlı olarak aşınma miktarı artmaktadır. Bu sonuca göre, hadde merdanelerinin çalışması

esnasında malzemeye ve uygulanan kayma mesafesine bağılı olarak en uygun yükleme seçilmelidir.

4- Hadde merdanelerinin aşınmasına etki eden bir diğere parametre de kayma mesafesidir. Yapılan deneyler göstermiştir ki; bakır oranı düşük olan numuneler kayma mesafesi arttırıldığında bakır oranı yüksek olan numunelere göre daha fazla aşınmaktadır. Bu sonuca göre; artan kayma mesafelerinin bakır oranı düşük olan numuneleri daha fazla aşındırdığı; başka bir deyişle, bakır oranı fazla olan numunelerin artan kayma mesafelerinde daha iyi aşınma direnci gösterdiği söylenebilir.

5- Son zamanlarda hadde merdanesi üreticilerinin üzerinde durduğu bir diğere konu; alaşım elementi olarak nikelin yerine bakırın kullanılıp kullanılmayacağıdır. Nikelin iç piyasadaki birim fiyatının bakırınkinden yaklaşık on kat daha fazla olduğu göz önüne alındığında bu konunun irdelenmesinde de faydalar görüleceği şüphesizdir. Ne var ki; önceki çalışmalarda da belirtildiği üzere bakırın % 1,5 oranının üzerine çıktığı durumlarda ergiyeğin içinde katılaşması ve çökmesi söz konusu olduğundan bu oranın üzerinde bakır kullanımı mikroyapı içerisinde kalıntılar oluşturacak ve dayanım düşüşüne neden olacaktır. Bu sebeple, bakırın ve nikelin perlit yapıcı ortak etkisi göz önüne alınarak % 1,5 oranına kadar bakırın nikelin yerine veya nikelin özelliklerini destekleyici olarak kullanılabileceği söylenebilir.

6- Bu çalışmadan yola çıkılarak alaşım elementlerinin dökme demirlerin mikroyapısı üzerine etkisi konusunda daha başka elementlerin (örneğin dünyadaki en fazla rezerv oranına sahip olan ülkemizde çıkarılan bor) incelenmesinin ve hadde merdanesi üreticilerinin mühendislik ve ekonomik problemlerine katkı sağlanmasını mümkün olabileceği düşünülmektedir. Bu sayede ülke ekonomisinin ve teknolojisinin gelişimine katkı sağlanacaktır.

## KAYNAKLAR

Akers Company (1987), Akers from rolls, Sweden, s.22-66

Ardöküm A. Ş. (2004), Ardöküm firma tanıtım broşürü, Denizli

Arıkan, M. M. (1999) Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncine alaşım elementlerinin ve ısıtıl işlemin etkisi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 113

Aslani, H. (1989) Alaşım elementlerinin gri dökme demir mikroyapısı ve mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 4-21

ASM Committee On Rolls (1988), Selection of materials for rolls for the metalworking industry, USA, s. 502-507

ASM Specialty Handbook (1990), Cast Irons, *ASM International*

ASM Specialty Handbook (1996), Cast Irons, *ASM International*

Baydoğan, M. (1996) GGG 50 ve GGG 80 sınıfı küresel grafitli dökme demirlerin abrasiv aşınma davranışına ostemperleme ısıtıl işleminin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Çavuşoğlu, E.N. (1992) Döküm Teknolojisi I, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atelyesi*, İstanbul

Çelik, Ö. (2001) Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 3-20

Çiğdemoğlu, M. (1968) Çelikte Alaşım Elementleri, s. 15-16

Fordyce, E.P., Allen, C (1990) The dry sliding wear behaviour of an austempered spheroidal cast iron, *Wear*, **135**, s. 265-278

İzciler, M. ve Çelik, H. (1999) Two and three body abrasive wear behaviour of different heat-treated boron alloyed high chromium cast iron grindig balls, *Journal of Materials Processing Technology*, **105**, s. 237-245

İzgiz, S. (1978) Lamel grafitli gri dökme demirin aşılınması ve kalitesini belirleyen matematiki ilişkiler, s.11-15

Kökden, U. (1998) GGG 60 sınıfı küresel grafitli dökme demirde ostemperleme ısı işleminin çekme, yorulma ve aşınma özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Lee, R. (1972), The British Foundryman, 4.11

Liu, H.N., Sakamoto, M., Nomura, M., Ogi, K. (2001) Abrasion resistance of high Cr cast irons at an elevated temperatures, *Wear*, **250**, s. 71-75

Metals Handbook (1988), Cast Irons, *ASM International*

Ohide, T. and Ohira, G. (1983), The British Foundryman, 76.1

Özdoğan, N. (1987), Modern Merdane Döküm Yöntemleri, *Tübitak Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Malzeme Bölümü*, Gebze, s. 961-969

Özdoğan, N., Suat, T. ve Kınıkoğlu, N. (1983), Savurma Merdane Teknolojisi, *Tübitak Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Malzeme Bölümü*, Gebze, s. 100-103

Patwardhan, A. K. (1983), Roll materials and their heat treatment, *University of Roorkee*, USA, s. 387-390

Sapate, S. G. ve Rao, A. V. R. (2003) Effect of Carbide volume fraction on erosive wear behaviour of hardfacing cast irons, *Wear*, *xxx*, s. xxx-xxx

Schiele, F. (1978), Giesserei Lexikon, Berlin

Tunç, T. (1997) Hadde Merdaneleri Dökümü, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, s. 2-46

Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği(TÜDOKSAD) (1997), Döküm Bilgileri Cilt I, *TÜDOKSAD*, İstanbul, s. 3-6

WEB\_1 (2004). <http://www.key-to-steel.com/Articles.htm> 02.10.2004

WEB\_2. (2004) <http://www.key-to-steel.com/Articles/Art84.htm> 02.10.2004

WEB\_3 (2004) [http://www.mse.mtu.edu/classes/my4130/Downloads/Graphite\\_type.PDF](http://www.mse.mtu.edu/classes/my4130/Downloads/Graphite_type.PDF) 21.09.2004

WEB\_4 (2004) <http://www.rz.fh-ulm.de/labore/wplabor/Englisch/FurtherInfo/Tests/Test11/metallographic%20determination%20v11.htm> 21.09.2004

WEB\_5 (2004) [http://www.moderncasting.com/archive/feature\\_048\\_02.asp](http://www.moderncasting.com/archive/feature_048_02.asp) 22.09.2004

WEB\_6 (2004) [http://www.moderncasting.com/archive/feature\\_048\\_06.asp](http://www.moderncasting.com/archive/feature_048_06.asp) 22.09.2004

WEB\_7 (2004) <http://tayo.co.in/crolls9.html> 12.10.2004

WEB\_8 (2004) [http://www.cscroll.com/Pages/Roll\\_Grades/indefinite\\_chill\\_rolls4.htm](http://www.cscroll.com/Pages/Roll_Grades/indefinite_chill_rolls4.htm) 12.10.2004



WEB\_9 (2004) [http://www.cscroll.com/Pages/Roll\\_Grades/clear\\_chill\\_rolls4.htm](http://www.cscroll.com/Pages/Roll_Grades/clear_chill_rolls4.htm)  
12.10.2004

WEB\_10 (2004) [http://www.cscroll.com/Pages/Roll\\_Grades/clear\\_chill\\_rolls3.htm](http://www.cscroll.com/Pages/Roll_Grades/clear_chill_rolls3.htm)  
12.10.2004

WEB\_11 (2004) <http://tayo.co.in/crolls1.html> 12.10.2004

WEB\_12 (2004) [http://www.cscroll.com/Pages/Roll\\_Grades/indefinite\\_chill\\_rolls4.htm](http://www.cscroll.com/Pages/Roll_Grades/indefinite_chill_rolls4.htm)  
12.10.2004

WEB\_13 (2004) <http://tayo.co.in/crolls2.html> 13.10.2004

WEB\_14 (2004) [http://www.cscroll.com/Pages/Roll\\_Grades/indefinite\\_chill\\_rolls3.htm](http://www.cscroll.com/Pages/Roll_Grades/indefinite_chill_rolls3.htm)  
14.10.2004

WEB\_15 (2004) [http://www.cscroll.com/Pages/Departments/s\\_casting.htm](http://www.cscroll.com/Pages/Departments/s_casting.htm) 14.10.2004

WEB\_16 (2004) [http://www.cscroll.com/Pages/Departments/c\\_casting.htm](http://www.cscroll.com/Pages/Departments/c_casting.htm) 14.10.2004

WEB\_17 (2004) [http://www.akersamerica.com/pro\\_406.html](http://www.akersamerica.com/pro_406.html) 14.10.2004

Yüksel, M. (2001) Malzeme Bilgisi, Yayın No: 2001/271-1, **TMMOB Makina Mühendisleri Odası**, Ankara, s. 178, 190-191, 441-448

## ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı : Engin TAN  
Ana adı : Özkan  
Baba adı : Mehmet Hilmi  
Doğum yeri ve tarihi : Aydın 1979  
Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü – 05.07.2001  
Çalıştığı yer : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü  
Bildiği yabancı dil : İngilizce