



**ÖTEKTİKÜSTÜ YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME
DEMİRLERDE CE VE B ELEMENTLERİNİN
MİKROYAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Hasan KAYA

Yüksek Lisans Tezi

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ
İkinci Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ
2022**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÖTEKTİKÜSTÜ YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE
CE VE B ELEMENTLERİNİN MİKROYAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Hasan KAYA
ORCID:0000-0002-0806-1807

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEKLİSANS TEZİ
Danışman: Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ
İkinci Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

KASIM-2022
Her hakkı saklıdır.

ÖZET

ÖTEKTİKÜSTÜ YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE CE VE B ELEMENTLERİNİN MİKROYAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Hasan KAYA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç.Dr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

İkinci Danışman: Prof.Dr. Serdar Osman YILMAZ

Bu çalışmada, yüksek kromlu beyaz dökme demire uygulanan ısı işlemler ile aşınma dirençleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Ötektiküstü yüksek kromlu beyaz dökme demirin Ce ve B elementleriyle alaşımlandırılarak ısı ve zaman kontrollü fırında 900 ve 950 °C sıcaklıklarda 1 ve 2 saat bekleme sürelerinde ısı işleme tabi tutulup 3, 6, 9 ve 12 saatlik difüzyon bekleme sürelerinde 550, 600, 650 ve 700 °C difüzyon sıcaklıklarında bekletilmiştir. Son olarak su ve havada soğutma işlemi uygulanmıştır. Numunelerin sertlik ölçüm cihazlarında Rockwell ve Mikrovickers cinsinden sertlikleri ölçülmüştür. Abrasif aşınma için kurulan bir aşınma deney düzeneği sayesinde aşınma değerleri ölçülmüştür. Numunelerin iç yapısı optik mikroskop vasıtasıyla görüntülenmiştir. Bu çalışma sonucunda 950°C'de 2 saat östenitleşme sıcaklığında bekletilen ve suda soğutma işlemine tabi tutulan, 65.2 HRC sertliğe ve 0,1015 g aşınma miktarı değişimine sahip olan Ce.4 numunesi en sert, 950°C'de 2 saat östenitleşme sıcaklığında bekletilen ve suda soğutma işlemine tabi tutulan, 61,7 HRC sertliğe ve 0,0646 g aşınma miktarı değişimine sahip olan B.4 numunesi abrasif aşınma direnci en yüksek ve 950°C'de 1 saat östenitleşme sıcaklığında bekletilen, 650°C'de 12 saat tuzlu ortamda difüzyon işleminde bekletilen ve havada soğutma işlemine tabi tutulan, 47,03 HRC sertliğe ve 0,1287 g aşınma miktarı değişimine sahip olan Ce.16 numunesi en yumuşak olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demir, Sertlik, Isıl İşlem, Aşınma Direnci

ABSTRACT

THE EFFECTS OF CE AND B ELEMENTS ON THE MICROSTRUCTURE OF HYPEREUTECTIC HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRON

Hasan KAYA

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

Co-Supervisor: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

In this study, heat treatments, cooling types, wear resistances and microstructures of high chromium white cast iron were observed. The eutectic high chromium white cast iron is alloyed with Ce and B elements and subjected to heat treatment in a heat and time-controlled furnace at 900 and 950 °C temperatures for 1 and 2 hours waiting times, and at 550, 600, 650 and 700 °C with diffusion waiting times of 3, 6, 9 and 12 hours. at diffusion temperatures. Finally, cooling in water and air was applied. The hardness of the samples were measured in Rockwell and Mikrovickers hardness measuring devices. Wear values were measured by means of a wear test setup for abrasive wear. The internal structure of the samples was visualized by means of an optical microscope. As a result of this study, the Ce.4 sample, which was kept at 950°C for 2 hours at austenitization temperature and cooled in water, had a hardness of 65.2 HRC and a change in wear amount of 0.1015 g, was the hardest and kept at 950°C for 2 hours at austenitization temperature. and water-cooled, with a hardness of 61.7 HRC and a change in the amount of wear of 0.0646 g, the B.4 sample had the highest abrasive wear resistance and was kept at 950°C for 1 hour at austenitization temperature, at 650°C for 12 hours. Ce.16 sample, which was kept in the diffusion process in a salty environment and cooled in air, had a hardness of 47.03 HRC and a change in wear amount of 0.1287 g, was found to be the softest.

Key words: High Chromium White Cast Iron, Hardness, Heat Treatment, Wear Resistance

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER..... | iii |
| ÇİZELGE DİZİNİ..... | vii |
| ŞEKİL DİZİNİ..... | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xi |
| TEŞEKKÜR..... | xiii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Literatür Özeti..... | 1 |
| 1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı | 3 |
| 2. DÖKME DEMİRLER..... | 4 |
| 2.1. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması | 4 |
| 2.1.1. Beyaz Dökme Demir | 5 |
| 2.1.2. Gri Dökme Demir | 5 |
| 2.1.3. Temper Dökme Demir..... | 5 |
| 2.1.4. Küre Grafitli Dökme Demir | 6 |
| 2.1.5. Yüksek Alaşımli Dökme Demirler | 6 |
| 3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER..... | 7 |
| 3.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Özellikleri | 7 |
| 3.1.1. Fiziksel Özellikler..... | 7 |
| 3.1.2. Mekanik Özellikler | 7 |
| 3.1.3. Manyetik Özellikler..... | 8 |
| 3.1.4. Mikro Yapı | 8 |
| 3.1.4.1. Karbürler | 8 |
| 3.1.4.2. Matris | 9 |
| 3.2. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Uygulama Alanları | 9 |
| 3.3. Alaşımda kullanılan elementlerin YKBDD Özelliklerine Etkisi..... | 10 |
| 3.3.1. Bakır | 11 |
| 3.3.2. Karbon | 11 |
| 3.3.3. Krom..... | 13 |
| 3.3.4. Molibden..... | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3.5. Silisyum..... | 13 |
| 3.3.6. Fosfor..... | 14 |
| 3.3.7. Kükürt..... | 14 |
| 3.3.8. Mangan | 14 |
| 3.3.9. Nikel | 14 |
| 4. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE ISIL İŞLEM ve KATILAŞMA | 15 |
| 4.1. Ergitme ve Döküm..... | 15 |
| 4.2. Fe-Cr-C Sistemi | 16 |
| 4.3. Katılaşma Yapısı..... | 17 |
| 4.4. M_7C_3 Karbürlerinin Özellikleri..... | 17 |
| 4.5. M_3C Karbürlerinin Özellikleri | 17 |
| 4.6. Fe-C-Cr Sistemi Matris Yapıları | 17 |
| 4.6.1. Fe-C-Cr Alaşımlarında Katı Haldeki Reaksiyonlar..... | 18 |
| 4.6.2. İkincil M_7C_3 Karbürlerini Oluşumu | 19 |
| 4.7. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Isıl İşlem..... | 19 |
| 4.7.1. Su Verme Sıcaklığı..... | 20 |
| 4.7.2. Martenzit Dönüşümü | 20 |
| 4.7.3. Temperleme ve Tavlama | 22 |
| 5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ..... | 23 |
| 5.1. Abrasiv Aşınmanın Tanımı..... | 23 |
| 5.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri | 23 |
| 5.3. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler ... | 24 |
| 5.3.1. Karbür Yapısının Abrasiv Aşınmayı Etkisi..... | 24 |
| 5.3.2. Matris Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi | 25 |
| 6. MATERYAL ve YÖNTEM | 26 |
| 6.1. Çalışmada Kullanılan Malzeme..... | 26 |
| 6.2. Kullanılan Malzemelere Yapılan İşlemler..... | 27 |
| 6.2.1. Kaba İşleme ile Yüzey Temizleme İşlemi..... | 27 |
| 6.2.2. Boyut Belirleme İşlemi..... | 28 |
| 6.2.3. Kesme İşlemi | 28 |
| 6.2.4. Yüzey temizleme işlemi | 29 |
| 6.3. Numunelerin ısııl işlemi..... | 29 |
| 6.3.1. Kullanılan makineler | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 6.3.1.1. Isı ve zaman kontrollü fırınlar..... | 29 |
| 6.3.1.2. Hava kompresörü..... | 30 |
| 6.3.2. Isıl işlem ve sonrasında soğutma işlemleri..... | 31 |
| 6.3.3. Zımparalama ve Parlatma..... | 36 |
| 6.4. Malzeme Yapısı İnceleme Çalışmaları..... | 38 |
| 6.5. Sertlik Ölçümleri..... | 38 |
| 6.6. Aşınma Deneyleri..... | 39 |
| 7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA..... | 41 |
| 7.1. Numunelerin Sertlikleri..... | 41 |
| 7.1.1. Rockwell Sertlik Deneyi..... | 41 |
| 7.1.2. Vickers Sertlik Deneyi..... | 43 |
| 7.2. Aşınma Deneyleri..... | 45 |
| 7.3. Malzemelerin İç Yapısının ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... | 48 |
| 8. SONUÇ ve ÖNERİLER..... | 78 |
| 9. KAYNAKÇA..... | 80 |
| EKLER..... | 83 |
| Ek-1. B VE Ce ALAŞIMLI 2 VE 3 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 83 |
| Ek-2. B VE Ce ALAŞIMLI 4 VE 5 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 84 |
| Ek-3. B VE Ce ALAŞIMLI 6 VE 7 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 85 |
| Ek-4. B VE Ce ALAŞIMLI 8 VE 9 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 86 |
| Ek-5. B VE Ce ALAŞIMLI 10 VE 11 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 87 |
| Ek-6. B VE Ce ALAŞIMLI 12 VE 13 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 88 |
| Ek-7. B VE Ce ALAŞIMLI 14 VE 15 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 89 |
| Ek-8. B VE Ce ALAŞIMLI 16 VE 17 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 90 |
| Ek-9. B VE Ce ALAŞIMLI 18 VE 19 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 91 |
| Ek-10. B VE Ce ALAŞIMLI 20 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI..... | 92 |

ÖZGEÇMİŞHata! Yer işareti tanımlanmamış.



ÇİZELGE DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1. Yaygın alaşımsız dökme demirler için tipik bileşim aralığı.Yaygın alaşımsız dökme demirler için tipik bileşim aralığı (Fidaner, Çelik, Doğmuş ve Süzen, 1979)..... | 5 |
| Çizelge 3.1. Çeşitli karbür ve matris fazlarının sertlikleri (Yıldırım, 2014) | 9 |
| Çizelge 6.1. Çalışmada kullanılan HCCL'nin standart bileşimi | 26 |
| Çizelge 6.2. Çalışmada kullanılan alaşımlandırılmış HCCL..... | 26 |
| Çizelge 6.3. Planlanan ısı işlemler | 31 |
| Çizelge 7.1. Sertlik değerleri çizelgesi | 42 |
| Çizelge 7.2. Vickers sertlik ölçümleri | 44 |
| Çizelge 7.3. B ve Ce Alaşımlı Malzeme Aşınma Deneyi Değerleri | 46 |
| Çizelge 7.4. Alaşımsız Malzemelerin Aşınma Çizelgesi | 47 |

ŞEKİL DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1. Çelik ve dökme demirler için yaklaşık karbon ve silikon aralıkları (Fidaner, Çelik, Doğmuş ve Süzen, 1979)..... | 4 |
| Şekil 2.2. Yüksek Alaşımli Dökme Demir Sınıflandırılması (Güçer, 2017)..... | 6 |
| Şekil 3.1. Aşınma dirençli dökme demirlerin katılaşması boyunca alaşım segregasyonu Laird, Gundlach ve Röhring, 2000)..... | 10 |
| Şekil 3.2. Grafit ve karbür ötektik sıcaklıkları üzerine alaşım elementlerinin etkisi (Kerküt, 2008).... | 11 |
| Şekil 3.3. Düşük karbonlu beyaz dökme demirin sertliğine karbonun etkisi Laird, Gundlach ve Röhring, 2000)..... | 12 |
| Şekil 3.4. YKBDD'de Karbonun Aşınma Direncine Etkisi (Akdemir, 1988)..... | 12 |
| Şekil 4.1. Beyaz dökme demirlerin likidüs sıcaklıklarının krom ve karbon miktarına göre değişimi (Arıkan, 1999)..... | 15 |
| Şekil 4.2. Fe-Cr-C Üçlü Denge Diyagramı (Raynor ve Rivlin, 1988)..... | 16 |
| Şekil 4.3. Karbür Çökelme Oranı ve M_s Sertlik Değeri İlişkisi (Arıkan, 1999)..... | 21 |
| Şekil 5.1. Abrasiv aşınma test düzeneği..... | 24 |
| Şekil 6.1. Ötektiküstü Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Ce ve B alaşımli malzemenin işlem uygulanmamış hali..... | 26 |
| Şekil 6.2. Torna tezgahında kaba yüzey temizleme işlemi..... | 27 |
| Şekil 6.3. Freze tezgahında kabaca yüzey temizleme işlemi..... | 27 |
| Şekil 6.4. Torna tezgahında parça üzerinde numune boyutlarını belirleme işlemi..... | 28 |
| Şekil 6.5. Numunelerin kesilme işlemi..... | 28 |
| Şekil 6.6. 15 mm uzunluğunda kullanıma hazır numune..... | 29 |
| Şekil 6.7. MAGMA THERM marka ısıtma işlem fırını..... | 30 |
| Şekil 6.8. CORA marka hava kompresörü..... | 30 |
| Şekil 6.9. Isıtma işlem öncesi fırın sıcaklığının yükselme işlemi..... | 32 |
| Şekil 6.10. Isıtma işlem sonrası fırından ürünün alınma anı..... | 32 |
| Şekil 6.11. N alaşımli üründe ısıtma işlem sonrası ve su ile soğutmaya müteakip meydana gelen çatlama görüntüsü..... | 33 |
| Şekil 6.12. Alaşımli olmayan malzemenin ısıtma işlem sonrası hava kompresörü ile soğutma işlemine müteakip görüntüsü..... | 33 |
| Şekil 6.13. Tuz Banyosunda Kullanılan A135 Pembe Tuz..... | 34 |
| Şekil 6.14. Tuz Banyosu Oluşturmak İçin Kullanılan ve İçerik Tuz Dolu Olarak Hazır Bulunan Cezveler..... | 34 |
| Şekil 6.15. Tuz Banyosu Difüzyon İşlemi Fırın İçerik Görünümü..... | 35 |
| Şekil 6.16. Tuz banyosundan çıkarılacak ürünler..... | 35 |
| Şekil 6.17. Ürünlerin çıkarılıp soğutmaya bırakılması..... | 36 |
| Şekil 6.18. Isıtma İşlemden Çıkan Ürünler..... | 36 |
| Şekil 6.19. Zımparalama işleminin uygulanması..... | 37 |
| Şekil 6.20. Parlatma süngeri..... | 37 |
| Şekil 6.21. 1 Mikron elmas süspansiyon..... | 38 |
| Şekil 6.22. Rockwell sertlik cihazı..... | 39 |
| Şekil 6.23. Vickers sertlik cihazı..... | 39 |
| Şekil 6.24. Aşınma test düzeneği ön görünümü..... | 40 |
| Şekil 6.25. Aşınma test düzeneği yan görünümü..... | 40 |
| Şekil 6.26. Aşınma testinde kullanılan hassas terazi..... | 40 |
| Şekil 7.1. Rockwell sertlik cihazına bağlanmış numune görüntüsü..... | 41 |
| Şekil 7.2. Sertlik Değerleri Grafiği..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Şekil 7.3. Vickers sertlik ölçüm için hazırlanmış numune..... | 43 |
| Şekil 7.4. Vickers sertlik değeri alınacak bölgelerin Vickers sertlik cihazında görüntüsü | 43 |
| Şekil 7.5. Karbürlerin Vickers sertlik ölçümü görüntüsü..... | 44 |
| Şekil 7.6. İki karbür arası Vickers sertlik ölçümü görüntüsü..... | 44 |
| Şekil 7.7. Vickers Sertlik Değerleri Grafiği | 45 |
| Şekil 7.8. Aşınma Miktarları Çizelgesi | 48 |
| Şekil 7.9. Alaşım ve ısı işlem görmemiş numune görünümü | 48 |
| Şekil 7.10. Alaşım ve ısı işlem uygulanmış numune görünümü..... | 49 |
| Şekil 7.11. B.1 optik görünümü | 50 |
| Şekil 7.12. Ce.1 optik görünümü..... | 50 |
| Şekil 7.13. B.2 optik görünümü | 50 |
| Şekil 7.14. Ce.2 optik görünümü..... | 51 |
| Şekil 7.15. B.3 optik görünümü | 51 |
| Şekil 7.16. Ce.3 optik görünümü..... | 51 |
| Şekil 7.17. B.4 optik görünümü | 52 |
| Şekil 7.18. Ce.4 optik görünümü..... | 52 |
| Şekil 7.19. B.5 optik görünümü | 53 |
| Şekil 7.20. Ce.5 optik görünümü..... | 53 |
| Şekil 7.21. B.6 optik görünümü | 53 |
| Şekil 7.22. Ce.6 optik görünümü..... | 54 |
| Şekil 7.23. B.7 optik görünümü | 54 |
| Şekil 7.24. Ce.7 optik görünümü..... | 54 |
| Şekil 7.25. B.8 optik görünümü | 55 |
| Şekil 7.26. Ce.8 optik görünümü..... | 55 |
| Şekil 7.27. B.9 optik görünümü | 56 |
| Şekil 7.28. Ce.9 optik görünümü..... | 57 |
| Şekil 7.29. B.10 optik görünümü | 57 |
| Şekil 7.30. Ce.10 optik görünümü..... | 57 |
| Şekil 7.31. B.11 optik görünümü | 58 |
| Şekil 7.32. Ce.11 optik görünümü..... | 58 |
| Şekil 7.33. B.12 optik görünümü | 58 |
| Şekil 7.34. Ce.12 optik görünümü..... | 59 |
| Şekil 7.35. B.13 optik görünümü | 60 |
| Şekil 7.36. Ce.13 optik görünümü..... | 60 |
| Şekil 7.37. B.14 optik görünümü | 61 |
| Şekil 7.38. Ce.14 optik görünümü..... | 61 |
| Şekil 7.39. B.15 optik görünümü | 61 |
| Şekil 7.40. Ce.15 optik görünümü..... | 62 |
| Şekil 7.41. B.16 optik görünümü | 62 |
| Şekil 7.42. Ce.16 optik görünümü..... | 62 |
| Şekil 7.43. B.17 optik görünümü | 64 |
| Şekil 7.44. Ce.17 optik görünümü..... | 64 |
| Şekil 7.45. B.18 optik görünümü | 64 |
| Şekil 7.46. Ce.18 optik görünümü..... | 65 |
| Şekil 7.47. B.19 optik görünümü | 65 |
| Şekil 7.48. Ce.19 optik görünümü..... | 65 |
| Şekil 7.49. B.20 optik görünümü | 66 |
| Şekil 7.50. Ce.20 optik görünümü..... | 66 |

| | |
|---|----|
| Şekil 7.51. Alaşımız numunelerin yük altında aşınma miktarları..... | 68 |
| Şekil 7.52. 1 numaralı alaşımız numunelerin yük altında aşınma miktarları..... | 68 |
| Şekil 7.53. B Alaşımız Malzemeye Doğrudan Su Verme Grafiğı | 69 |
| Şekil 7.54. Ce Alaşımız Malzemeye Doğrudan Su Verme Grafiğı | 69 |
| Şekil 7.55. 550 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan B Alaşımız Numunelerin Aşınma Değerleri | 70 |
| Şekil 7.56. 550 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan Ce Alaşımız Numunelerin Aşınma Değerleri | 70 |
| Şekil 7.57. 600 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan B Alaşımız Numunelerin Aşınma Değerleri | 71 |
| Şekil 7.58. 600 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan Ce Alaşımız Numunelerin Aşınma Değerleri | 71 |
| Şekil 7.59. 650 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan B Alaşımız Numunelerin Aşınma Değerleri | 72 |
| Şekil 7.60. 650 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan Ce Alaşımız Numunelerin Aşınma Değerleri | 72 |
| Şekil 7.61. 700 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan B Alaşımız Numunelerin Aşınma Değerleri | 73 |
| Şekil 7.62. 700 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan Ce Alaşımız Numunelerin Aşınma Değerleri | 73 |
| Şekil 7.63. Alaşımız malzemelerin aşınma miktarı | 74 |
| Şekil 7.64. Difüzyon sıcaklıklarına göre aşınma miktarı | 74 |
| Şekil 7.65. B alaşımız numunelerin 4.9 N yük altında aşınma ve sertliğı | 75 |
| Şekil 7.66. B alaşımız numunelerin 9.8 N yük altında aşınma ve sertliğı | 75 |
| Şekil 7.67. B alaşımız numunelerin 14.7 N yük altında aşınma ve sertliğı | 76 |
| Şekil 7.68. Ce Alaşımız numunelerin 4.9 N yük altında aşınma ve sertliğı | 76 |
| Şekil 7.69. Ce Alaşımız numunelerin 9.8 N yük altında aşınma ve sertliğı | 77 |
| Şekil 7.70. Ce Alaşımız numunelerin 14.7 N yük altında aşınma ve sertliğı | 77 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|-------------------------------|---|
| B | : Bor |
| C | : Karbon |
| Ce | : Seryum |
| cm ³ | : Kayış Uzunluğu |
| Cr | : Krom |
| Cu | : Bakır |
| CVF | : Karbür-Hacim Oranı |
| Cu | : Makinenin Devir Sayısı |
| Fe | : Demir |
| g | : Gram |
| HB | : Brinell Sertliği |
| HC | : Kayışın Kasnak Üzerindeki Temas Açısı |
| HCCI | : Yüksek Kromlu Dökme Demir |
| HiCr | : Kayışın Birim Uzunluğunun Kütlesi |
| HRC | : Rockwell Sertliği |
| HV | : Vickers Sertliği |
| inç ² | : İnç kare |
| LC | : Merkezkaç Sonucu Oluşan Kuvvet |
| m | : Motorun Nominal Güçte Çalışırken Şebekeden Çekeceği Güç |
| mm ² | : Milimetre kare |
| Mn | : Mangan |
| Mo | : Molibden |
| M ₀ | : Sürtünme Katsayısı |
| m ² | : Metrekare |
| M ₇ C ₃ | : Ötektik Karbür |
| N | : Akım Birimi |
| N | : Azot |
| Ni | : Nikel |
| P | : Fosfat |
| P | : Motor Devir Sayısı |
| S | : Kayışın Çizgisel Hızı |
| S | : Kükürt |

| | |
|--------------------|-----------------------------------|
| SEM | : Taramalı Elektron Mikroskobu |
| Si | : Silisyum |
| T _e | : Ergime Sıcaklığı |
| TiC | : Titanyum Karbür |
| T _ö | : Ötektik Sıcaklığı |
| V | : Vanadyum |
| VC | : Vanadyum Karbür |
| YKBDD | : Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demir |
| Zr | : Zirkonyum |
| ZSD | : Zaman/Sıcaklık/Dönüşüm |
| W | : Watt |
| α | : Alfa |
| δ | : Delta |
| γ | : Gama |
| μm | : Mikrometre |
| $^{\circ}\text{C}$ | : Santigrat Derece |

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, ötektiküstü yüksek kromlu beyaz dökme demirlere Ce ve B elementleri ilave edildiğinde ısıtma işlem sonrası mikroyapı ve aşınma dirençlerindeki değişimi gözlemlemek amacıyla araştırılmıştır. Çalışma sürecimde gece ve gündüz demeden iletişim kurabildiğim, her zaman desteğini esirgemeyen, engin bilgi birikimlerini bana aktaran ve yol gösteren başta danışmanım Doç.Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ'a, Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ'a, tezimin değerlendirilmesine katkı sağlayan değerli jüri üyesi hocalarıma ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımda desteğini, emeğini ve bilgisini esirgemeyen Sayın Bakım Albay Kadir KÜPCÜ (Millî Savunma Bakanlığı Askeri Fabrikalar Genel Müdürlüğü 41'inci Bakım Fabrika Müdürü)'ye ve çok değerli talaşlı imalat ustası Sayın Ahmet KÖLE'ye karşılaştığım problemlerin çözümünde ve talaşlı imalat için gerekli olan aşamalarda yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca hayatımda kazanmış olduğum her başarımın arkasında büyük desteği bulunan eşim, ailem ve kendisi küçük ama katkısı büyük olan canım oğluma teşekkürlerimi sunarım.

Hasan KAYA

Makine Mühendisi, Subay

1. GİRİŞ

Makine endüstrisinde kullanım alanı çok geniş olan yüksek kromlu beyaz dökme demirler, cevher kırıcıları, kalıplar, öğütücü değirmen balyaları, kalıplar, diskler ve tarım alet ve makineleri gibi birçok alanda önde gelirler. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin diğer dökme demirlerden farkı, yapı itibariyle sert, aşınma ve darbelere karşı dayanıklı olması ve birçok mekanik özelliği içermesidir. Mühendislik açısından farklı değişimlere imkân vermesinin yanı sıra bu tür malzemeler daha ekonomik olması sebebiyle gelişen teknoloji ile ortaya çıkan yeni tür malzemelere çok güçlü bir rakip olarak görülmektedir (Pearce ve Elwell,1995).

Farklı uygulamalar için ihtiyaç duyulan özellikler, farklı özellikteki elementlerin ilave edilmesi, döküm işlemi sonrasında katılaşma sürecindeki faktörlerin değişimi ve farklı sıcaklık ve zamanlarda ısıtılma tabii tutulması sonrası elde edilmektedir. (Pearce ve Elwell,1995).

1.1. Literatür Özeti

Yüksek kromlu dökme demir (HCCI)'ler maden, çimento, kâğıt üretim vb. endüstriler dahil olmak üzere stabilitenin temel bir gereklilik olduğu çeşitli uygulamalar için çok uygundur. Çoğu durumda HCCI'lar, mühendislikte ağırlıkça %10-30 Cr ve ağırlıkça %2.0-3.5 C içeren hipötektik alaşımlar olarak kullanılmaktadır. Genel olarak karbon içeriği ötektik noktayı aştığında hiperötektik HCCI'de iri birincil karbür olan M_7C_3 'ler oluşmakta ve dolayısıyla tokluğunun azaldığı düşünülmektedir (Wu, Xing, Fu ve Zhi, 2006).

Hipötektik HCCI'lerle karşılaştırıldığında, hiperötektik HCCI'ler, sert ve aşınmaya dirençli M_7C_3 karbürlerin daha fazla hacim fraksiyonuna sahiptir ve çoğu sert kaplama uygulaması için genellikle tercih edilen alaşımlardır. Ne yazık ki, literatürde hiperötektik HCCI'ler hakkında, esas olarak birincil karbürlerin inceltmesine odaklanan çok az araştırma vardır (Zhi vd., 2007).

Birincil M_7C_3 karbürlerin yüksek hacimsel fraksiyonunu sağlayarak hiperötektik HCCI'lerin özelliklerini iyileştirmek için büyük çabalar sarf edilmiştir. Bu çalışmaların çoğu, dağılmış ince karbürler elde etmek için karbür çekirdeklenme hızını artırarak karbürleri inceltmeye çalışmaktadır. Örneğin, titanyum, vanadyum ve niyobyum gibi küçük miktarlarda yabancı elementler, karbürlerin heterojen çekirdeklenmesi için bir alt yapı görevi görebilmektedir (Chung, Tang, Hinckley ve Dolman, 2008).

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere aşınmasının artırılması maksadıyla karbür yapıcı farklı alaşım elementleri ilavesi ve farklı ısıl işlem uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamanın yapılması maksadıyla ayrı ayrı hazırlanan numuneler üzerinde mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Kimyasal analiz, EPMA ve XRF analizi kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca mikro sertlik taramaları farklı kesitlerde yapılmıştır (Sağlam, 2009).

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mekanik özelliklerini geliştirmek maksadıyla magnezyum, titanyum, vanadyum, niobyum ve tungsten gibi elementler ilave edilmiştir. Bu elementler yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin mikroyapısında TiC, VC ve NbC gibi sert fazların oluşumunda ve yapıda bulunan $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürlerin morfolojisinde, boyutunda ve dağılımında önemli rol oynar (Mutlu, 2012).

Farklı miktarda Cr içeren yüksek kromlu beyaz dökme demirin işlenebilirliği ve aşınmadaki değişimlerini gözlemek için otomotiv sektöründeki supap bagaları ve valfin imalatı aşaması incelenmiştir. Çalışmada yüksek kromlu beyaz dökme demirin, ağır çalışma şartları altında sergiledikleri aşınma performansları araştırılmıştır. Çalışma için, üç farklı oranda Cr ilave edilerek üretilen bagalardan, 6 mm çapında numuneler hazırlanmıştır. Numuneler iç yapı görünümü, sertlik ölçümleri, yoğunluk ölçümleri ve aşınma testleri sonucunda malzemede artan krom oranının, malzemenin sertliğini ve aşınma dayanımını azalttığı belirlenmiştir (Kalyon, 2015).

Öğütücü maksatlı üretilen yüksek kromlu beyaz dökme demirler malzemenin üretilen bilyelerin içerisindeki krom oranı yükseldikçe aşınma direnci artmaktadır. Bakır ve gümüş gibi cevherlerde %17-19 Cr, yumuşak klinker malzemelerde ise %12-14 Cr lu öğütücü bilyeler kullanılır. Bu çalışmada aşınma direncinin düşürülmemesi ancak hammadde maliyetinin ise azaltılması hedeflenmiştir. Isıl işlem sonrası öğütücü bilyelerde soğutma işlemi yoğun hava ile su verme prosesi uygulanmasından dolayı yüzeyin tamamı dengeli soğutulamamaktadır. Homojen olmayan bu soğutmadan dolayı bilyede istenmeyen plastik deformasyon ve aşınmaya sebep olmaktadır. Bilyada homojen soğumanın gerçekleşmesi maksadıyla yağda su verme prosesi yapılmış ve müteakibinde bakıldığında ham madde maliyetleri azaldığı tespit edilmiştir (Kaya, 2022).

Çalışmada literatürde çok fazla araştırılması yapılmayan hiperötektik HCCI'lere Ce ve B ilavesinin etkileri incelenecek ve bu elementlerin HCCI'lardaki önemi araştırılacaktır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yüksek kromlu dökme demirin (HCCI), aşınma ve erozyon dirençlerinin gerekli olduğu zorlu ortam koşullarındaki uygulamalar için etkili bir malzeme olduğu kanıtlanmıştır. HCCI'nin yüksek aşınma direnci, M_7C_3 'ün sert birincil ve /veya ötektik karbürlerinin (M: demir, krom ve diğer güçlü karbür oluşturmalar) ve nispeten sünek demir matrisin kombinasyonuna atfedilmektedir. M_7C_3 'ün sertliği bileşime göre değişebilmekle birlikte 1200 HV seviyelerindedir. Demir matris sert M_7C_3 karbürleri bağlamakta ve malzemeye belirli bir tokluk sağlamaktadır. Farklı matris yapıları, alaşım elementleri kullanılarak ve özel ısıl işlemler uygulanarak elde edilebilmektedir. Perlit, martenzit ve östenit, matristeki tipik mikro bileşenler arasındadır (Chung, Tang, Hinckley ve Dolman, 2008).

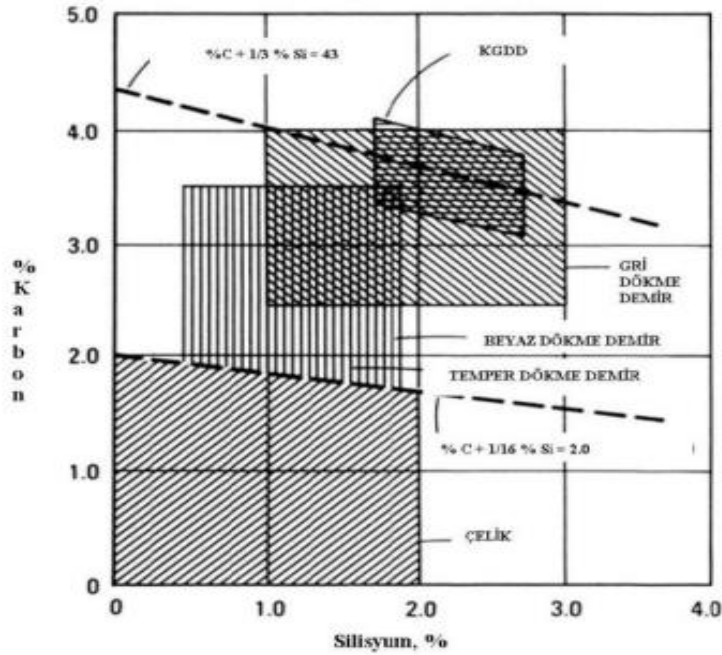
Bu tez çalışmasının amacı, Ötektiküstü Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Ce ve B Elementlerinin ilavesinin mikroyapı üzerindeki etkilerini görmek ve aşınma dirençlerini yorumlayarak literatüre katkı sağlamaktır.

2. DÖKME DEMİRLER

Ekonomik ve çok yönlü mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılan dökme demirler demir alaşımı olarak bilinmektedir. Döküm yöntemiyle istenilen şekle dönüştürülürler ve arzu edilen özellikleri göstermesi amacıyla elementlerle alaşımlandırılır. Dökme demirler çeliklere göre daha fazla C oranı içermektedir. Dökme demirlerde C oranı %2 – 4 oranında iken %1 – 3 oranında Si içermektedir. Çelikte bu oran yalnızca C olarak %1'den daha azdır. Bunların yanı sıra malzemenin yapısına etki eden faktörler; ısıl işlem ve sonrasındaki soğutma işlemleri ve katılma işlemlerinin şartlarıdır (Fidaner, Çelik, Doğmuş ve Süzen, 1979).

2.1. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Dökme demirlerin sınıflandırılmasında dikkat edilen en önemli etken, karbon elementinin mikro yapısı incelenen malzemenin içindeki dağılımıdır. Dökme demir çeşitleri şu şekildedir; beyaz dökme demir, gri dökme demir, temper dökme demir, küresel grafitli dökme demir, silindirik grafitli dökme demir ve yüksek alaşımlı dökme demirlerdir. Şekil 2.1'de dökme demir çeşitlerinin karbon ve silisyum oranları gösterilmiştir (Fidaner, Çelik, Doğmuş ve Süzen, 1979).



Şekil 2.1. Çelik ve dökme demirler için yaklaşık karbon ve silikon aralıkları (Fidaner, Çelik, Doğmuş ve Süzen, 1979)

Dökme demir çeşitlerinin elementlere göre bileşim aralıkları çizelge 2.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Yaygın alaşımsız dökme demirler için tipik bileşim aralığı. Yaygın alaşımsız dökme demirler için tipik bileşim aralığı (Fidaner, Çelik, Doğmuş ve Süzen, 1979)

| Dökme Demir Türü | Bileşim (%) | | | | |
|-----------------------------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|
| | C | Si | Mn | P | S |
| Gri | 2.5 - 4.0 | 1.0 - 3.0 | 0.2 - 1.0 | 0.002 - 1.0 | 0.02 - 0.25 |
| Küresel Grafitli | 3.0 - 4.0 | 1.8 - 2.8 | 0.1 - 1.0 | 0.01 - 0.1 | 0.01 - 0.03 |
| Beyaz | 1.8 - 3.6 | 0.5 - 1.9 | 0.25 - 0.8 | 0.06 - 0.2 | 0.06 - 0.2 |
| Temper | 2.2 - 2.9 | 0.9 - 1.9 | 0.15 - 1.2 | 0.02 - 0.2 | 0.02 - 0.2 |

2.1.1. Beyaz Dökme Demir

Çay içerisinde çözünen şeker gibi, sıvı demir içerisinde bulunan karbon tamamen çözünür. Ancak dökme demir sıvı halden katı hale geçerken karbon sıvı halde bulunan demirin içerisinde ayrışamayarak yeni oluşacak yapıda çözünmüş olarak kalırsa ortaya çıkacak olan yapıya bu durumda beyaz dökme demir adı verilir (Çetin, 2020).

2.1.2. Gri Dökme Demir

Sıvı halde bulunan dökme demir katılaşma safhasında, şekerin çay içerisinde bulunduğu gibi olan karbon, sıvı metal içerisinde çözünmüş haldedir ve katılaşma esnasında farklı bir faz olarak meydana gelir. Mikroskop altında bu durumu incelediğimizde, karbonun grafit halinde gözle görülebilen farklı bir halde ayrılmış olduğu gözlemlenmektedir. Karbonun katmanlar şeklinde ortaya çıktığı bu durumda kırıldığı anda mat ve gri renk görülmesi sebebiyle gri dökme demirler olarak adlandırılmaktadır (Çetin, 2020).

2.1.3. Temper Dökme Demir

Temper dökme demirlerde aslında beyaz dökme demire benzeyen karbon yapıda çözünmüş halde olacak şekilde katılaştırılır. Müteakibinde çoğunlukla temperleme olarak adlandırılan tavlama işlemine tabi tutulur, ısıtma işlemler sonrasında demirde çözünmüş halde

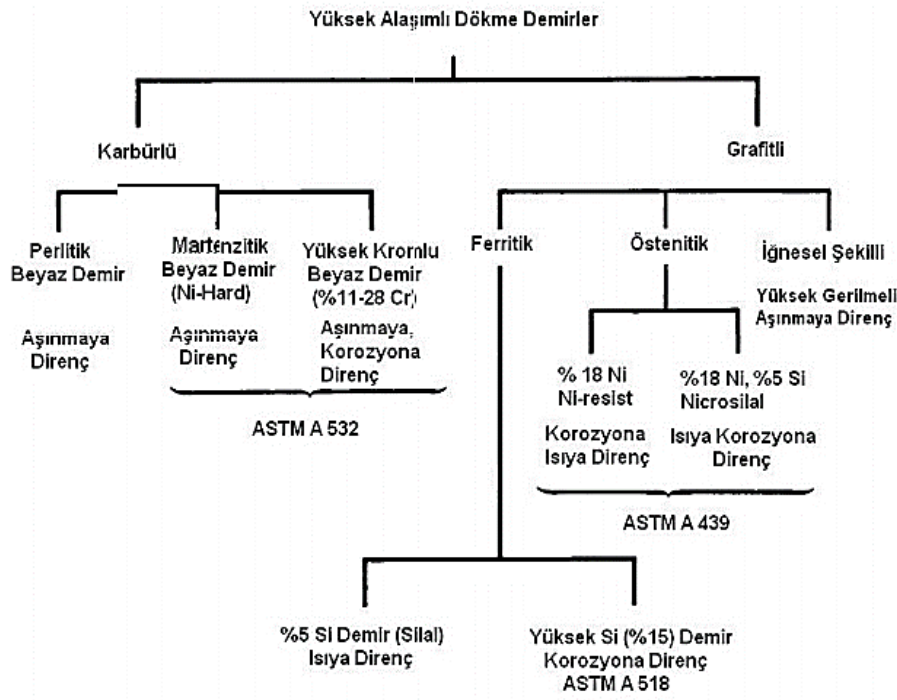
mevcut olan karbonun ayrışması elde edilir. Yapılan bu işlemler sonrasında, karbonun şekli bozuk olarak küreler durumunda ortaya çıktığı gözlemlenmektedir (Çetin, 2020).

2.1.4. Küre Grafitli Dökme Demir

Küre grafitli dökme demir adından da anlaşılacağı üzere içerisindeki karbon, lamel şekilde değil, küre şeklinde olabilmesi amacıyla sıvı içerisinde bulunan kükürt ve oksijenin belirli bir seviye altına çekilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı küresel grafitli dökme demir meydana getirilirken ergiyik halde bulunan demire çok az miktarda magnezyum ilave edilerek döküm yapılmaktadır (Çetin, 2020).

2.1.5. Yüksek Alaşımli Dökme Demirler

Bu tip dökme demirler korozyon, ısıl direnç ve aşınma olmak üzere mikro yapı ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Şekil 2.2' de yüksek alaşımli dökme demirlerin çeşitleri belirtilmektedir (Güçer, 2017).



Şekil 2.2. Yüksek Alaşımli Dökme Demir Sınıflandırılması (Güçer, 2017)

Genel anlamda incelendiğinde yüksek alaşımli dökme demirler içerdiği elementlerin alaşımlandırılmasının sonucunda aşınmaya, ısıya korozyona karşı direnç göstermektedir.

3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER

Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin (YABDD) ana düşüncesi, yüksek aşınma direnci zaten yüksek olan malzemenin aşınma direncini daha da arttırmaktır. Normal bir beyaz dökme demir alaşımı yaklaşık olarak 350 – 550 HB sertlik değerleri arasında olurken, YABDD 450 – 800 HB sertlik değerlerinin olduğu gözlemlenmektedir (Öztürk, 2018).

Oldukça kuvvetli karbür yapıcı olan krom elementi, hızlı soğuma ihtiyacının ortadan kalkması üzerine beyaz dökme demir yapısına ulaştığı gözlemlenmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler (YKBDD), içerisinde bulunan birincil ve ötektik karbür parçalarından dolayı yüksek aşınma dirençleri gösterirler. Aşınma direncinin yanı sıra parçalarda tokluk oranının yüksek olması istendiğinde belirli parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Tokluğa etki eden faktörler; hacimsel oran, boyut dağılımı, biçimsel özellik ve parçacık arasında bulunan mesafelerdir (Öztürk, 2018).

3.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Özellikleri

3.1.1. Fiziksel Özellikler

YKBDD özgül ağırlıklarına bakıldığında içerisinde artan karbon miktarından dolayı özgül ağırlığı düşmektedir. Özgül ağırlığın artışı ise yapıdaki kalıntı östenitten kaynaklanmaktadır.

Özgül ağırlık değerleri genellikle 7,5 – 7,8 g/cm³ 'tür. Sıcaklık aralığı 40 – 42,5 °C arasında bulunurken, Isıl genleşme miktarı 13,5 – 18 µm/m°C' tür. Isıl iletkenlik değeri 22w/mK ve elektrik direnci 0,5 µΩm' dir (Fairhurst ve Röhring, 1974).

3.1.2. Mekanik Özellikler

YKBDD için mekanik testlerde normal koşullarda yalnızca sertlik testi aranır. En önemli sebebi, malzemenin sert, gevrek ve kırılğan malzemelerin çekme testlerinin hazırlanmasının maliyeti yüksek ve yapımının zor olmasıdır. Bu yapılan testlerde mekanik gerilme nedeniyle östenitik olan malzemenin martenzitik matris dönüşümüne uğramasının bir dezavantajı olarak sıcaklık artışından kaynaklı kararsız matris oluşacaktır. Bu faz değişimi esnasında oluşan hacimdeki değişiklikten dolayı elde edilecek olan numunede

yüksek ihtimal mikro çatlakların oluşacağı değerlendirilmektedir. Mikro çatlakların oluşmasından kaynaklı olarak kırılma meydana gelecektir. Oluşacak olan bu kırılmalar sonucunda elde edilen değerler ile gerçek döküm sonuçlarında farklılıklar görülebilmektedir (Fairhurst ve Röhring, 1974).

3.1.3. Manyetik Özellikler

Beyaz dökme demirlerden ticari maksatlı kullanılan türleri göz önüne alındığında döküm malzemeler, genellikle kalıplarında soğumaya bırakıldıktan sonrasında östenitik haldedirler. Ancak bunun neticesinde manyetik değildirlir. Martenzit yapıda manyetik olan beyaz dökme demirler, manyetiğin azaldığı sırada östenitin arttığı söylenebilir (Fairhurst ve Röhring, 1974).

3.1.4. Mikro Yapı

Mikro yapılarından kaynaklı üstün aşınma direnci olan beyaz dökme demirlerin aşınma süreci mikro yapıda, aşındırıcı olan malzemenin tanelerinin metalin yüzeyine girerek aşınma ve deformasyon çiziklerini oluşturmasıyla ve yüzeyden parçalar koparmasıyla meydana gelmektedir. Gerçekleşecek olan bu olayda aşındırıcı tanenin sertliği metalden fazla olmalıdır (Fairhurst ve Röhring, 1974).

3.1.4.1. Karbürler

YKBDD aşınma dayanımını belirleyen en önemli faktör mikro yapısal özelliklerdir. Dökme demirlerin yanı sıra martenzitik ve ferritik çeliklerin tercih edilmesinde YKBDD mikro yapısını oluşturan Fe – Cr – C üçlü sistemidir. Fe – Cr – C üçlü sistemi krom sementit fazı içerisinde %15 oranında demir ile yer değişikliği yapabilir. Fakat burada ele alınacak husus krom miktarı arttıkça sementit kararsız duruma gelir. Müteakibinde M_7C_3 hegzagonal tipteki karbüre dönüşür. Krom karbürün aşınmada etkili olması göz önüne alınarak düşünüldüğünde çizelge 3.1’de görüldüğü üzere sertliği 1200 – 1500 HV iken sementit yapısının sertlik değeri ise 840 – 1100 HV’ dir (Yıldırım, 2014).

Çizelge 3.1. Çeşitli karbür ve matris fazlarının sertlikleri (Yıldırım, 2014)

| Karbür ve Matris Çeşitleri ve Sertlik Değerleri | |
|--|--------------|
| M ₃ C Karbürü | 840-1100 HV |
| M ₇ C ₃ Karbürü | 1200-1800 HV |
| Martenzit | 500-1010 HV |
| Molibden Karbür (Mo ₂ C) | 1500 HV |
| Krom Karbür (Cr ₃ C ₂) | 1200-1600 HV |
| Sementit (Fe ₃ C) | 840-1100 HV |

3.1.4.2. Matris

YKBDD tokluk değerlerinin ve aşınma direnci değerlerinin yüksek olabilmesi için mutlaka mikro yapıda kendisine uygun nitelikte matris ve karbür olmak zorundadır. İkincil karbürlerle sertleştirilerek yüksek karbonlu ve sert martenzitik yapıda matris olan primer karbürler, ısı işlemler sonrasında sekonder karbürlerin matriste dağılması vasıtasıyla sertlik ve aşınma direncini artırır. Matris içerisine dağılmış halde bulunan YKBDD'de matrisin yumuşak olması tercih edilmez. Eğer matris yumuşak olursa akma noktası giderek azalır ve sürtünme esnasında mekanik gerilmelere karşı karbürlere ihtiyaç duyduğu faydayı sağlanamaz. Bu durum sonucunda ise karbürler kırılır ve yüksek aşınma direncinden faydalanılamaz.

Farklı bir durum ise matrislerde bulunan perlit miktarının %10 değerini geçmesi sonucunda aşınma direncinin düştüğü görülmektedir. YKBDD'in östenitik halde iken gerilme etkisine maruz kaldığında kısmi östenitik veya östenitik matris martenzite dönüşür. Ancak sıcaklık gördüğünde bu yapı tekrar kararsız bir duruma gelir. Meydana gelen faz dönüşümlerinin hacim değişikliğine yol açması nedeniyle yüzeyde mikro çatlakların oluşması ve dökümün kırılmasına neden olmaktadır (Yıldırım, 2014).

3.2. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Uygulama Alanları

YKBDD tokluk özellikleri ve aşınma dirençlerinin iyi olması sebebiyle tuğla kalıpcılığında, çamur pompalarında, sert kaya işleme ekipman sektöründe, çeşitli mineral delme ve benzeri alanlarda kullanılmaktadır (Çetinkaya, 2003).

Aşınmaya karşı dirençli pompa imalatında, çimento ve cevher öğütme değirmenlerinde ve darbeli kırıcı dövücü blokları ve darbe çubuklarında kullanılmaktadır (Fairhurst ve Röhring, 1974).

3.3. Alaşımda kullanılan elementlerin YKBDD Özelliklerine Etkisi

Dökme demirin özelliklerinin değişiklik göstermesinin nedenlerinden biri olarak alaşım elementlerinin birbirlerinden etkileşim halinde olduğu gösterilir. Bahsi geçen elementler karbür ve grafitlerin miktarlarını ve şekillerini etkilemektedir (Şekil 3.1) (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000).

| | Composition (Wt%) | | | | | | | | Total | Stoich. ⁽¹⁾ | Partition Ratios = Carbide% / Matrix% | | | | | | |
|---|-------------------|--------------------|------|-----|-----|-----|------|------|-------|------------------------|---------------------------------------|------|------|-----|------|------|------|
| | Cr | C | Fe | Ni | Si | Mn | Mo | Cu | | | Cr | C | Ni | Si | Mn | Mo | Cu |
| Ni-Hard AR Cast Iron or ASTM IA: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Melt | 3.2 | 3.6 | n.a. | 4.1 | 1.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | | | |
| Carbide | 5.8 | 6.1 | 86.6 | 1.4 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 100.5 | $M_{77}C_{23}$ | 4.8 | 5.5 | 0.23 | 0.0 | 1.3 | n.a. | n.a. |
| Matrix | 1.2 | 1.1 ⁽²⁾ | 89.8 | 6.1 | 2.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 100.7 | (M_7C) | | | | | | | |
| Ni-Hard 4 AR Cast Iron or ASTM ID: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Melt | 6.4 | 2.9 | n.a. | 5.8 | 1.8 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | | | |
| Carbide | 30.2 | 8.8 | 60.2 | 0.7 | 0.0 | 1.3 | n.a. | n.a. | 101.3 | $M_{70}C_{30}$ | 8.9 | 6.8 | 0.11 | 0.0 | 1.6 | n.a. | n.a. |
| Matrix | 3.4 | 1.3 ⁽²⁾ | 85.2 | 6.9 | 2.5 | 0.9 | n.a. | n.a. | 100.3 | (M_7C_2) | | | | | | | |
| Ni-Hard 4 AR Cast Iron or ASTM ID: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Melt | 8.0 | 3.4 | n.a. | 5.8 | 2.2 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | | | |
| Carbide | 24.5 | 8.4 | 65.5 | 0.7 | 0.0 | 1.3 | n.a. | n.a. | 100.6 | $M_{71}C_{29}$ | 9.4 | 8.4 | 0.09 | 0.0 | 1.6 | n.a. | n.a. |
| Matrix | 2.6 | 1.0 ⁽²⁾ | 86.5 | 7.4 | 2.2 | 0.8 | n.a. | n.a. | 101.6 | (M_7C_3) | | | | | | | |
| High-Cr AR Cast Iron or ASTM IIB: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Melt | 18.4 | 2.2 | n.a. | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | | | |
| Carbide | 50.2 | 8.7 | 41.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 100.4 | $M_{70}C_{30}$ | 4.3 | 8.7 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | n.a. | 0.0 |
| Matrix | 11.5 | 1.0 ⁽²⁾ | 85.4 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.0 | 0.1 | 100.2 | (M_7C_3) | | | | | | | |
| High-Cr AR Cast Iron or ASTM IC: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Melt | 15.3 | 3.1 | n.a. | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 0.8 | | | | | | | | | |
| Carbide | 45.5 | 8.4 | 44.2 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 1.6 | 0.0 | 100.4 | $M_{71}C_{29}$ | 4.8 | 7.6 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 3.2 | 0.0 |
| Matrix | 9.5 | 1.1 ⁽²⁾ | 86.3 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 1.3 | 100.2 | (M_7C_2) | | | | | | | |
| High-Cr AR Cast Iron or ASTM IIE: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Melt | 20.2 | 3.0 | n.a. | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 1.9 | 0.8 | | | | | | | | | |
| Carbide | 53.0 | 8.6 | 36.1 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 1.6 | 0.0 | 100.2 | $M_{70}C_{30}$ | 4.5 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 2.2 | 0.0 |
| Matrix | 11.7 | 1.0 ⁽²⁾ | 82.4 | 0.6 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 1.5 | 99.6 | (M_7C_3) | | | | | | | |
| High-Cr AR Cast Iron or ASTM IIIA: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Melt | 28.8 | 3.2 | n.a. | 0.3 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | | | | | | | | | |
| Carbide | 60.9 | 8.6 | 31.3 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.5 | 0.0 | 101.5 | $M_{71}C_{29}$ | 4.6 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 0.80 | n.a. | 0.0 |
| Matrix | 13.3 | 0.8 ⁽²⁾ | 85.0 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 101.0 | (M_7C_3) | | | | | | | |

(1) Stoichiometry of the carbide (i.e., $M_7C_3 = M_{70}C_{30}$) is based on exact microprobe data and () shows rounded numbers.

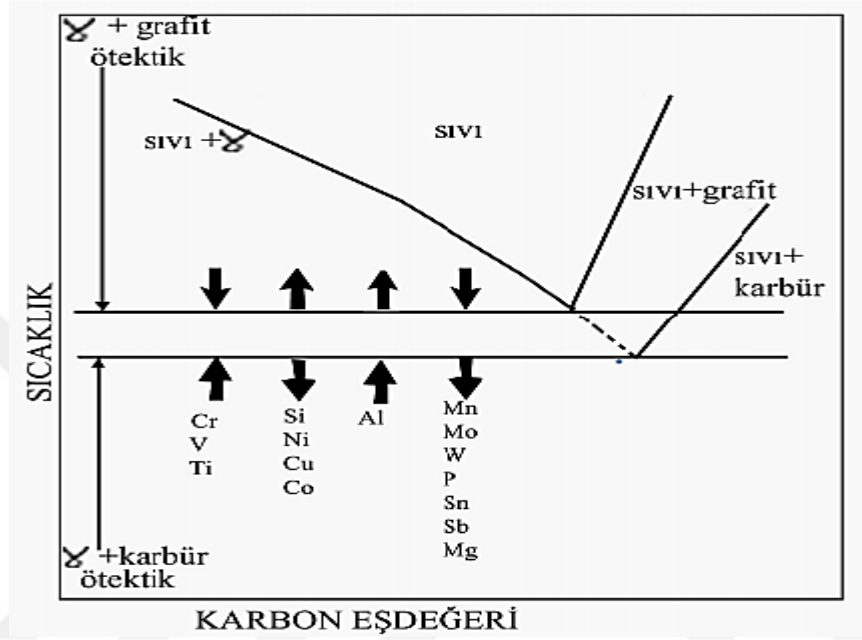
(2) Matrix C concentrations were referenced against a low-C standard (NBS 160A, 19% Cr, 14% Ni, 3% Mo, 0.06% C steel).

n.a. not applicable or not analyzed.

Şekil 3.1. Aşınma dirençli dökme demirlerin katılaşması boyunca alaşım segregasyonu (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000)

Örnek verecek olunursa, dökme demirdeki beyazlaşma eğilimi ve çil derinliği Si-C oranındaki farklılık nedeniyle değişmektedir. Krom, vanadyum, mangan, molibden ve

nikel gibi elementler temel bir eğilimi yönlendirmek amacıyla alaşıma ilave edilirler (Şekil 3.2). Malzemeden son aşamada istenilen özellikler ile maliyet, parça boyutu ve geometrisi, ısıl işlemler dikkate alındığında malzemenin optimum kimyasal bileşimi ayarlanmış olur. Bu nedenle söz konusu alaşım elementleri alaşıma dahil edilerek istenilen mikro yapı, aşınma direnci ve sertliğe ulaşılabilir (Kerküt, 2008).



Şekil 3.2. Grafit ve karbür ötektik sıcaklıkları üzerine alaşım elementlerinin etkisi (Kerküt, 2008).

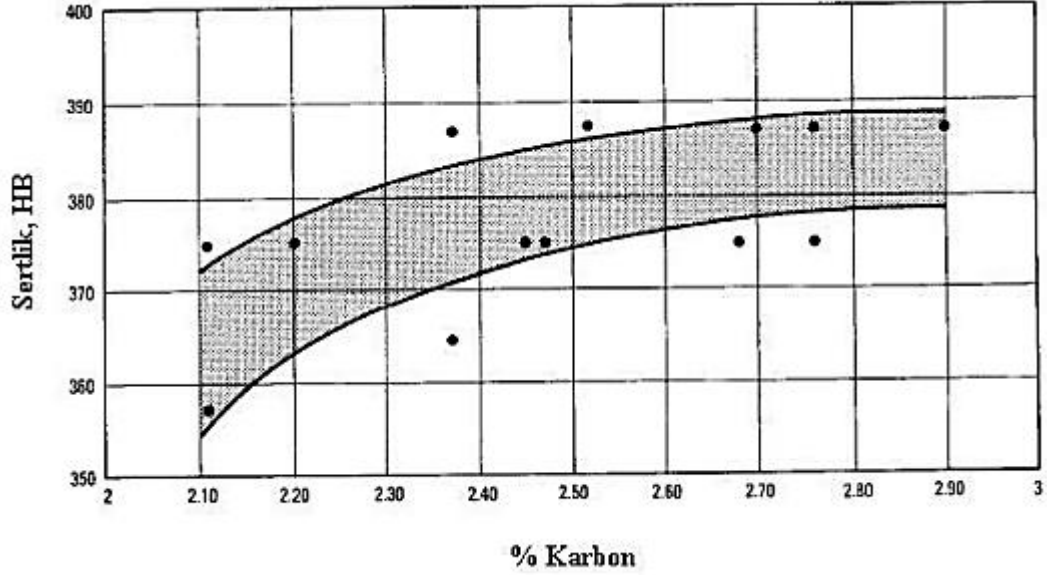
3.3.1. Bakır

Bakırın sınırlı miktarda östenit fazında çözünürlüğünden dolayı en fazla %2,5 oranda kullanılır. Fakat YKBDD'in mikro yapısında bulunan perlit oluşumunu engeller. Ayrıca bu fikre daha iyi hizmet vermek amacıyla molibden elementiyile birlikte kullanılır (Davis, 1996).

3.3.2. Karbon

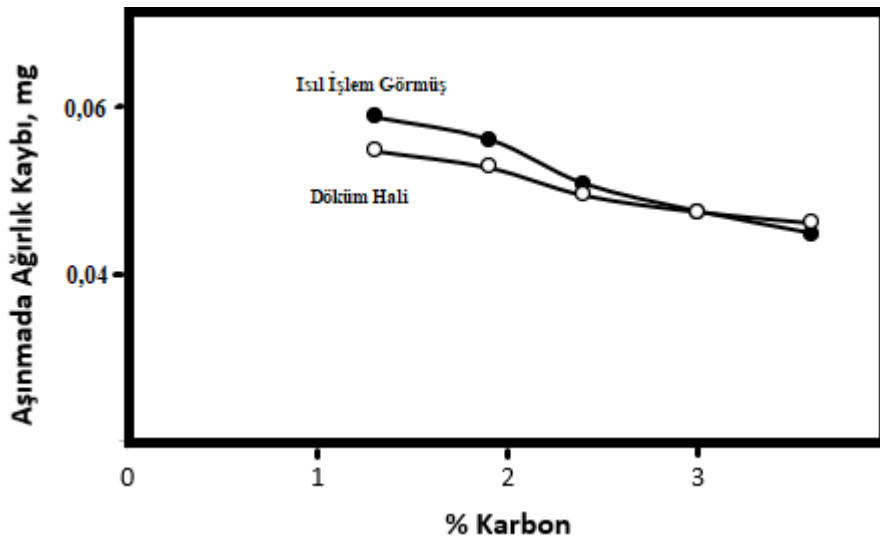
Karbür oluşturması neticesinde YKBDD'in sertliğinde artışa neden olan karbon elementinin içeriği %2,2–3.5 (%15 Cr), %2.2–2.7 (%27 Cr) aralığındadır (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000).

Karbon içeriğinin değişimiyle DKBDD'in sertliğine etkisi şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu kapsamda DKBDD'in (~%2,5) sertliği yaklaşık 375 HB (40 HRC) iken YKBDD'in (> %3.5) sertliği yaklaşık 600 HB (57 HRC) dir.



Şekil 3.3. Düşük karbonlu beyaz dökme demirin sertliğine karbonun etkisi Laird, Gundlach ve Röhring, 2000)

Karbon oranındaki artış sonucunda beyaz dökme demirlerde aşınma direnci ve sertlik artar ancak dayanımı düşürerek kırılabilirliği artırır (Şekil 3.4) (Akdemir, 1988).



Şekil 3.4. YKBDD'de Karbonun Aşınma Direncine Etkisi (Akdemir, 1988)

3.3.3. Krom

Krom elementi, aşınma direnci yüksek bir şekilde YKBDD için kararlı bir karbür yapısı oluşturması sayesinde sertliğini ve aşınma direncini artıran bir elementtir (Radzikowska, 2005).

%10'dan fazla miktarda krom oranı içeren beyaz dökme demirlerde M_7C_3 şeklinde ötektik karbürler oluşturması neticesinde korozyon direncinde artış meydana gelmektedir. Martenzitik yapıda bulunan beyaz dökme demirler için en yüksek aşınma direnci miktarı %12-22 oranında Cr içeren alaşımlarda görülmektedir.

Malzemenin sertlik değerindeki en büyük fark ise, %26 Cr içeren ötektik beyaz dökme demirde görülmektedir (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000).

Cr yalnız başına kullanıldığında YKBDD'de perlit oluşumu engellemez. Bunun sonucunda yeterli sertlik miktarı için Mo, Mn ve Ni gibi takviye alaşım elementleri kullanılmaktadır (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000).

3.3.4. Molibden

Molibden elementi %0,5 – %3 oranında kullanımı tercih edildiğinde martenzitik beyaz dökme demirlerde mikro yapı içerisinde bulunan perlit oluşumunu engellemektedir. Ek olarak Cr, Cu ve Ni takviye edilerek farklı yüksek sıcaklıktaki dönüşümler engellenmiş olur. %12 ila %18 Cr içeren beyaz dökme demirlerde %1-%4 oranında kullanılan Mo elementi, perlitin meydana gelmesini engelleme olayını yavaş soğutma şartlarında elde edilmiş kalın kesitlerde bile yerine getirmektedir. Ancak ince kesitlerde istenmeyen bir şekilde asiküler beynit tipi bir yapının oluşmasına sebep olabilir (Davis, 1996).

3.3.5. Silisyum

Silisyum oranında yaşanan artış miktarı, YKBDD'de sertlik özelliklerine ve aşınma direncine olumsuz etki gösterebilmektedir (Akdemir, 1988).

Mikro yapısında perlit oluşumunu engelleyen krom, nikel, molibden ve bakır gibi elementler ile kullanımı tercih edildiğinde sıcaklığının yükseldiği gözlemlenir. Karbür yapısı da aynı zamanda değişebilir (Davis, 1996).

Belirli oranda silisyum takviyesi neticesinde mikro yapı içerisindeki karbürlerin artmasına neden olur. Bu esnada az miktarda ince yapıli karbürler oluşur. Nihayetinde karbürler arasındaki mesafe azalmasından dolayı matrisi aşınmadan korur ve aşınma direncinde artış sağlanır. Ancak tokluk %30 oranında arttırılırsa ihtiyaç duyulandan fazla miktarda kullanılan silisyum mikro yapı içerisinde bulunan perlit meydana gelme ihtimalini arttırır. Bunun sonucunda matrisi daha zayıf hale gelebilir ve aşınma ve darbe dirençlerinde düşüşe neden olabilir (Davis, 1996).

3.3.6. Fosfor

Fosfor elementi YKBDD'de kalın kesitlerde molibden elementinin sağladığı sertleştirici etkiyi ve tokluk değerini azalttığından %0,3'ün altında kullanılması gerekmektedir (Davis, 1996).

3.3.7. Kükürt

YKBDD'de istenilen optimum aşınma direncinin elde edilebilmesi maksadıyla mikro yapıda bulunması gereken S oranı %0.03'ü geçmemelidir (Davis, 1996).

3.3.8. Mangan

Mangan elementi genel anlamda perlit oluşumunu engellese bile YKBDD'de en fazla %0,7 dahil edilmelidir. Buradaki amaç %1,5'i aştığı durumlarda kalıntı östenit oluşturma riskinin artması neticesinde mukavemet, aşınma direnci ve tokluk düşer ancak kırılma riski yükselir (Davis, 1996).

3.3.9. Nikel

YKBDD'in mikro yapıdaki perlit oluşmasını engellemek ve sertliği artırmak maksadıyla genellikle %1,5 ila %0,2 arasında nikel eklenmektedir (Davis, 1996).

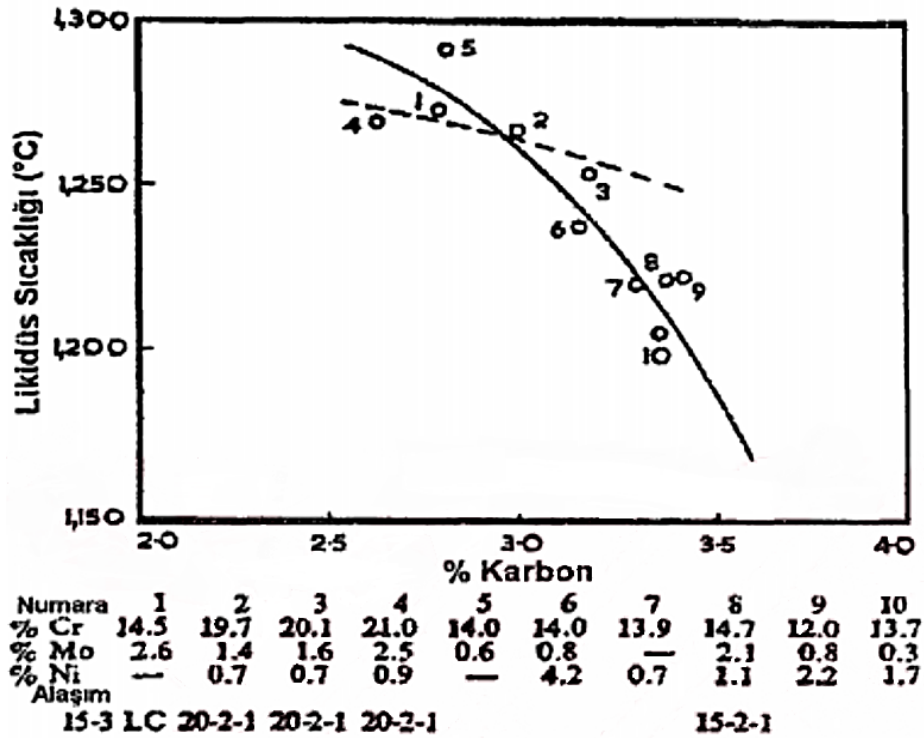
4. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE ISIL İŞLEM ve KATILAŞMA

Martenzitik halde bulunan dökme demirlerin dökülmüş durumundaki mikro yapılarında önemli miktarda dönüşmemiş östenit bulunmaktadır. Bu artık östenit işlemler sertleşerek martenzit haline gelebilir. Fakat martenzit haline geçerken birtakım gerilmeler oluşabilir ve bu gerilmeler ise istenmediği durumlarda temperleme veya sub-zero dediğimiz sıfır altı işlemlerle östenit halden martenzit hale dönüşebilir. Ni-Hard olarak bilinen metal kalıba dökme yöntemi ile mekanik ve kültür özellikleri bakımından tane boyutu alaşımlı beyaz dökme demirlerde, kum kalıba dökümlere karşı oldukça yüksek miktarda artış sağlar (Karadere, 2017).

4.1. Ergitme ve Döküm

YKBDD çoğunlukla indüksiyon ve elektrik ark fırınlarında imal edilir. Üretim yapılırken astar bazik, asidik veya nötr durumda olabilir (Arıkan, 1999).

YKBDD'in likidüs sıcaklığı karbon miktarına bağlıdır. Şekil 4.1'e göre alaşım içerisinde bulunan krom miktarı da likidüs sıcaklığını değiştirebilmektedir.



Şekil 4.1. Beyaz dökme demirlerin likidüs sıcaklıklarının krom ve karbon miktarına göre değişimi (Arıkan, 1999)

Döküm yapılırken yüksek sıcaklıklarda kaba bir dentritik yapı oluşabilir. Ötektik karbür yapısı ve ince taneli karbür yapısı sağlanabilmesi ve bu işlemlerin kontrollü olarak yürütülebilmesi maksadıyla döküm sıcaklığı düşük tutulmalıdır.

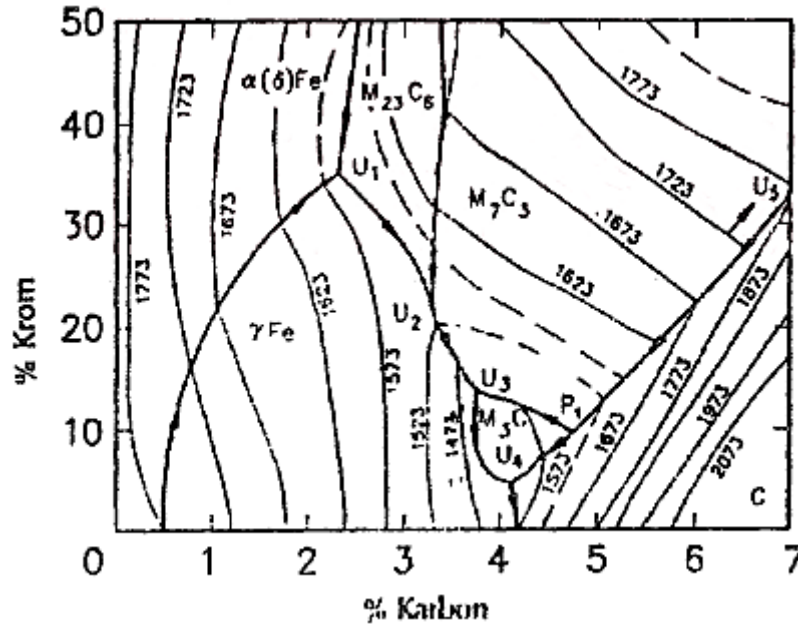
Ana parçadan kesilerek ayrılacak olan besleyici ve yolluklar kesilmesi esnasında gözle görülür veya görülmeyen çatlakların olmamasına dikkat edilmelidir. Bu esnada kesme işlemi yapılırken kuru yapılan işlemlerde ısınma olmamasına dikkat edilmelidir.

Bilindiği üzere döküm sonrası tokluk en düşük seviyededir ancak malzeme ısı işleme maruz bırakıldığında tokluk artırılabilir.

4.2. Fe-Cr-C Sistemi

Fe-Cr-C yapısının incelenmesinin amacı YKBDD'in mikro yapılarından kaynaklanan üstün mekanik özellikleri ve aşınma dirençleridir (Raynor ve Rivlin, 1988).

Fe-Cr-C sistemi araştırmacılar tarafından incelendiğinde genellikle sıvılaştırma yüzeylerine ve kritik noktalara odaklanılmışlardır. Sıvılaştırma yüzeyleri Şekil 4.2'de belirtilmiştir.



Şekil 4.2. Fe-Cr-C Üçlü Denge Diyagramı (Raynor ve Rivlin, 1988)

Şekil 4.2' de görüldüğü üzere YKBDD açısından en önemli noktalardan bahsedilecek olduğunda, U_1 ve U_2 arasında kalan bölge ötektik alan bölgesidir ve U_2 ve U_3 arasında M_7C_3 karbürü oluşur. Ayrıca M_3C karbürü U_3 noktası altında görülmektedir (Raynor ve Rivlin, 1988).

4.3. Katılma Yapısı

Söz konusu YKBDD'in iyi seviyede tokluk özelliği göstermesinin ana nedeni M_7C_3 karbürlerinin, ağ yapısı oluştururken diğer beyaz dökme demirler içerisinde bulunan M_3C karbürleri gibi davranmamasıdır. Bundan dolayı bu tür karbür çeşitlerinin mikro yapı ve boyut içerisindeki dağılımı YKBDD'in mekanik özellikleri için önem taşımaktadır (Arıkan, 1999).

4.4. M_7C_3 Karbürlerinin Özellikleri

YKBDD'in bileşimlerinde Cr dışında bazı elementlerde bulunmaktadır. Bunlar V, Ti ve Mo gibi karbür yapıcı elementlerdir. Fakat mikro yapıda genellikle krom karbürler bulunmaktadır. Cr/C oranı alaşımdaki krom miktarıyla bağlantılıdır. Örneğin; alaşımda Cr/C oranı 3 iken M_7C_3 tipi karbürler meydana gelmektedir (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000).

4.5. M_3C Karbürlerinin Özellikleri

Ni-Hard'ların çoğu M_3C karbürlerini içermektedir. İçerisinde Cr %17'ye kadar çözünebilirken V ve Mo gibi bazı metal atomları sınırlı oranda çözünebilmektedir (Davis, 1996).

4.6. Fe-C-Cr Sistemi Matris Yapıları

Katılma sürecinde karbürde bulunan elementler ayrışır. Karbürlerde karbür yapıcı elementler bulunur fakat Si gibi birkaç element yapıya dahil olmaz ve ötektik karbürün kenarında birikir. Fosfor ve kükürt elementlerinin mikro yapıda kısmen dağılmış olması istenmez çünkü karbür ara yüzünde çatlak oluşması ve ilerlemesine neden olabilir (Arıkan, 1999).

Thorpe ve Chicco çalışmalarında Fe-Cr-C üçlü sistemin içerisinde bulunan %3,44 C, %9,6 Cr alaşım için dubleks karbürleri gözlemlemiştir. (Arıkan, 1999).

Jackson çalışmalarında Fe-C-Cr üçlü sisteminde %3.5 C ve %10 Cr içeren alaşımda katılma 4 adımda gerçekleştiğini belirtmiştir (Arıkan, 1999).

Griffing ise araştırmasında ikili karbürlerin oluşumunu %4.8-7.5 C ve %10-20 Cr oranında içeren alaşımın üç adımda meydana geldiğini belirtmiştir (Arıkan, 1999).

4.6.1. Fe-C-Cr Alaşımlarında Katı Haldeki Reaksiyonlar

YKBDD'e uygulanan ısı işlemler için M_7C_3 östenit bölgesindeki reaksiyonlar oldukça önemlidir. Döküm esnasında oda sıcaklığında meydana gelen östenit yarı kararlı durumda iken var olabilir. Beyaz dökme demirin aşınma direncinden olumsuz etkilenecek olan kalıntı östenit için beyaz dökme demire östenitleme ısı işlemi uygulanır. Bu işlemin amacı kalıntı durumdaki östenit içerisinde bulunan Cr ve C oranını azaltarak oda sıcaklığında soğuma işlemi gerçekleştirerek martenzit yapıya dönüşümü sağlanır. Buda matrisin M_s sıcaklık miktarını artırarak sağlanır. M_s sıcaklığını dökme demirlerde gösteren formül şu şekildedir (Mataray ve Nanot, 1970).

$$M_s = 561^\circ\text{C} - 475 \text{ C} - 33 \text{ Mn} - 21 \text{ Mo} - 17 \text{ Cr} - 17 \text{ Ni} \quad (4.1)$$

Formülde belirtilenlere bakıldığında en büyük düşüş sağlayan element karbondur. YKBDD'de östenitin yarı kararlı durumda olması karbona dönmüş olduğundandır. Östenitleme yapmadaki hedef, kalıntı halde bulunan östenitin karbonu ve kromundan ikincil karbürleri çökeltirerek denge durumuna getirmektir. Östenit içinde bulunan ikincil M_7C_3 karbürlerinin çökelmiş olması, dönüşüm özelliklerini ve östenit bileşimini değiştirmektedir.

YKBDD'de karbona aşırı doymuş olan östenit yarı kararlı durumdadır. Östenitlemedeki istenilen hedef, kalıntı halde bulunan östenitin krom ve karbonundan ikincil M_7C_3 karbürlerinin çökeltme işlemiyle denge değerine ulaştırmaktır. Bahsi geçen M_7C_3 karbürlerinin çökmesiyle birlikte östenitin dönüşüm ve bileşim özellikleri değişir. Zaman – sıcaklık – dönüşüm (ZSD) diyagramları elde edildiğinde dengelenmiş durumdaki perlitin dönüşüm süresi uzundur fakat martenzit dönüşüm oranı artmaktadır (Mataray ve Nanot, 1970).

M_7C_3 – Östenit Ötektiğinin Oluşumu

Ötektik yapının içerisinde bulunan karbürün dağılımı ve şekli ötektiğin bileşimine ve miktarına bağlıdır. Ötektik karbür östenit tane yapılarına yapı içerisinde bulunan karbürün en az olduğu durumda ayrışır. Ayrışan bu yapılar östenit tane içerisinde küçük çubuklar halinde tane sınırları boyunca ise uzun levha gibi görülmektedir. Karbür lamelleri ötektik oranı arttıkça östenit tanelerinin içerisine doğru uzar (Rajagopal, Malicsi ve Iwasaki, 1992).

Ötektik karbürlerin şekilleri ve dağılımı, katılma şartları, metal döküm sıcaklığı ve hızı göz önüne alındığında bu gibi fiziki ortam sebepli olaylardan ziyade metal bileşimi de önemli rol oynar. Malzeme içerisinde bulunan krom miktarı attıkça karbürlerin hacminde

küçülme görülür ve aşınma miktarı azalır. Beyaz dökme demirlerde M_7C_3 tipi karbürlerin yüzde hesabı şu şekildedir (Rajagopal, Malicsi ve Iwasaki, 1992).

$$\% \text{Karbür} = 12,3 (\%C) + 0,55 (\%Cr) - 15,2 \quad (4.2)$$

4.6.2. İkincil M_7C_3 Karbürlerini Oluşumu

YKBDD'de, M_7C_3 karbürleri yalnızca A_3 sıcaklığının üstündeki bölgede oluşur. Çekirdekleşme süresi ikincil karbürler için $950\text{ }^\circ\text{C} - 1030\text{ }^\circ\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda, yaklaşık 20 sn. de ve toplam reaksiyon süresinin 4 ve 6 saat arasında tamamlandığı tespit edilmiştir (Zhongli, Xiang, Yanxiang ve Kaihua, 2008).

Sıcaklık, ikincil karbürlerin oluşum evresinde çok önemlidir. Çökeltme işlemi karbürler etrafında $950\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığın altında başlar. Müteakibinde östenit tanelerinde de görülür. Sıcaklık giderek yükseldiğinde gelişigüzel olan çökelti bölgeleri giderek yok olur. Karbür sayısında azalma başlar ve kaba bir hal alır. Karbürlerin büyümesiyle etkin olarak çökeltme düzlem sayısı da azalır (Zhongli, Xiang, Yanxiang ve Kaihua, 2008).

İkincil karbürlerin çökeltmesi yalnızca yüksek sıcaklıkta değil sürekli soğuma esnasında da görülebilir. Soğuma yavaşladıkça karbürlerin çökeltmesi artar. Yüksek Cr/C oranında görülen çökeltme yoğunluğu, düşük Cr/C oranında fazla olarak görülmektedir (Liu, Li, Chen ve Hu, 2008).

4.7. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Isıl İşlem

YKBDD'de ısı işlem uygulanmasındaki temel amaç martenzit matris içerisinde ikincil karbür meydana getirmektir (Pearce, 1984).

YKBDD'in bileşiminin havada yapılmasının sebebi su verme işlemi yağda yapıldığı anda çatlama riski oluşturur. Püskürtme ve fanlar sayesinde uygun soğuma hızı kullanılır. Bu sırada yapı içerisinde bulunan karbürler kararlı hale gelir ve grafitleşme görülmez (Pearce, 1984).

Yapıda bulunan östenit yüksek sıcaklıklarda veya katılaşma sırasında Cr , C ve diğer alaşım elementlerine doymuştur. İkincil karbürler olarak C ve Cr sıcaklık düştükçe çökeltir. Östenit miktarı azalmasıyla kararsız hale gelen östenit soğuma hızıyla orantılıdır ve perlit, beynit veya martenzit yapılara dönüşebilir. Bu esnada karbürlerin yapı içerisinde çökeltmesi

düzensiz haldedir. Nihayetinde döküm sonrası mikro yapı martenzit, perlit ve kalıntı östenit olarak görülmektedir (Pearce, 1984).

Destabilize yöntemi ile 920 °C ile 1000 °C sıcaklık arasında dökümü tutarak aşırı miktarda kalıntı östenit içermeyen ve bütünüyle martenzitik yapı elde edilebilir. İşlem esnasında ikincil karbür çökelir ve matrisin C ve Cr miktarı düşer. Destabilize yöntemi sonrasında soğuma işleminde soğuma hızı perlit dönüşümüne meydan vermeyecek oranda ise östenitin martenzite dönüştüğü görülebilir (Pearce, 1984).

4.7.1. Su Verme Sıcaklığı

Su verme sıcaklığının önemi, östenit içerisinde çözünen karbon ve krom oranına bakılarak son durumdaki sertlik ve dönüşüm özelliklerini belirler. Östenit içerisinde bulunan karbon çözünebilirliği sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar. Karbon miktarını arttırmak sertleşebilirliği artırır. Aynı zamanda su verilmesi daha sert martenzit oluşumuna neden olur (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000).

İkincil sertleşme, fazla miktarda kalıntı östenit içeren YKBDD’de su verildikten sonraki aşamada daha sert bir yapı oluşturur. İkincil sertleşmenin en yüksek seviyede olabilmesi temperleme sıcaklığının kalıntı östenit miktarına bağlıdır. İkincil sertleşmeden sonra olan durumda aşınma direncinin fazlalığı, su vermeden sonra oluşan sertlik değerinden daha düşüktür. Genellikle bu durum matris içerisinde önceden bulunan martenzit yapının yumuşaması olarak açıklanabilir (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000).

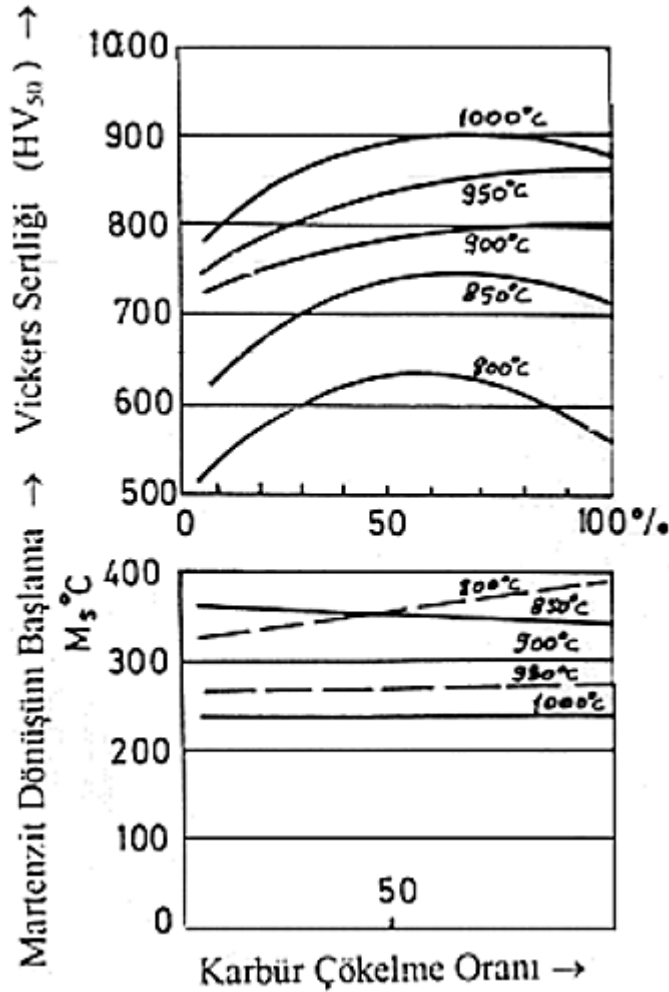
Östenitik yapıda oluşan perlit miktarının ardından martenzitik matriste oluşan perlit dönüşümünde bazı değişiklikler nedeniyle perlit yapısı ve karışık martenzit iç gerilmelere neden olabilir. Bu gibi durumlardan dolayı döküm malzemelerde hem aşınma hem de kırılma direnci az miktardadır (Laird, Gundlach ve Röhring, 2000).

4.7.2. Martenzit Dönüşümü

İkincil karbür çökmesi ile bağlantılı olan martenzit dönüşümünde M_s sıcaklığı östenit bileşimine bağlıdır. Cr ve C oranı ikincil karbürlerin çökmesiyle beraber azalır. Bundan dolayı martenzit oranının azalma sebebi M_s sıcaklığı ile M_f sıcaklığının birlikte yükselmesidir. Öncesinde incelemiş olduğumuz Fe-Cr-C üçlü sisteminde beklenen bir durum olan östenitleme

sıcaklığının azaldığında M_s sıcaklığı ile M_f sıcaklığının azaldığı ve sıcaklık arttıkça da Cr ve C yönünden matrisin fakirleştiği görülmektedir (Arıkan, 1999).

M_s sıcaklığında etki gösteren elementin en düşük karbon alanı olması nedeniyle karbürdeki çökeltme oranı %10 seviyesine ulaşana kadar, martenzit dönüşümündeki oran yeniden östenitleme sıcaklığıyla bağlantılı değildir (Arıkan, 1999).



Şekil 4.3. Karbür Çökeltme Oranı ve M_s Sertlik Değeri İlişkisi (Arıkan, 1999)

M_s sertlik değeri ile karbür ve martenzit dönüşüm oranı arasındaki ilişki Şekil 4.3'te belirtilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere M_s sıcaklığı karbür dönüşüm oranına bağlı değildir (Arıkan, 1999).

YKBDD'de matrislerin homojen bir bileşime sahip olmamasının nedeni katılaşma sırasında oluşan ayrışmadır. Karbürlerin çökeltme miktarı martenzit dönüşüm miktarıyla beraber artar (Arıkan, 1999).

Sertlik değeri yüksek sıcaklıklarda karbürlerin çökeltmesinin artmasıyla düşer. Bu durum kalıntı sertlik oranı artışı ile bağlantılıdır. Fakat alçak sıcaklıklarda oluşan sertlik düşüşü martenzitteki karbonun azalmasıyla ilgilidir. Son olarak bu durum matrisin sertliği, martensitin sertliğine, o da içerisinde barındırdığı karbon miktarına bağlıdır diyerek açıklanabilir (Arıkan, 1999).

4.7.3. Temperleme ve Tavlama

YKBDD'in işlenmesi karbür içeriği ve yüksek sertlik değerlerinden dolayı zordur. Fakat bu işlenebilirlik miktarını tavlama işlemine tabi tutarak artırmak mümkündür. Buradaki asıl amaç, martenzit veya östenit içermeyen perlitik bir matris yapısı oluşturmaktır (Fairhurst ve Röhring, 1974).

Yüksek sertleştirilebilirlik uygulanacak YKBDD malzemenin tavlama süresi uzun süren bir ısıl işlemdir (Fairhurst ve Röhring, 1974).

Tavlama sonrası elde edilen sertlik 350 – 450 HB arasında olur ve bu sertlik değerlerindeki malzemeye kesme ve dişli testere gibi birçok işlemeye imkân sağlar. İşlenebilirliğin başlıca sebebi karbon miktarıdır. Karbon miktarı %3'ü geçen malzemelerde işleme zorlaşır (Fairhurst ve Röhring, 1974).

5. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ

5.1. Abrasiv Aşınmanın Tanımı

Aşınmayı tanımlayacak olursak; Bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme aktarımı veya aşınma işlemi sonucu ortaya çıkan malzeme kaybıdır. Makine parçalarının yüzeylerinin taşlanması, işlenmesi, alıştırılması, parlatılması gibi olaylar uygulayıcı tarafından bilinerek ve istenerek uygulandığından dolayı aşınma olarak değilde bunları talaşlı şekillendirme ya da işleme olarakta adlandırabiliriz (Handbook A.S.M.).

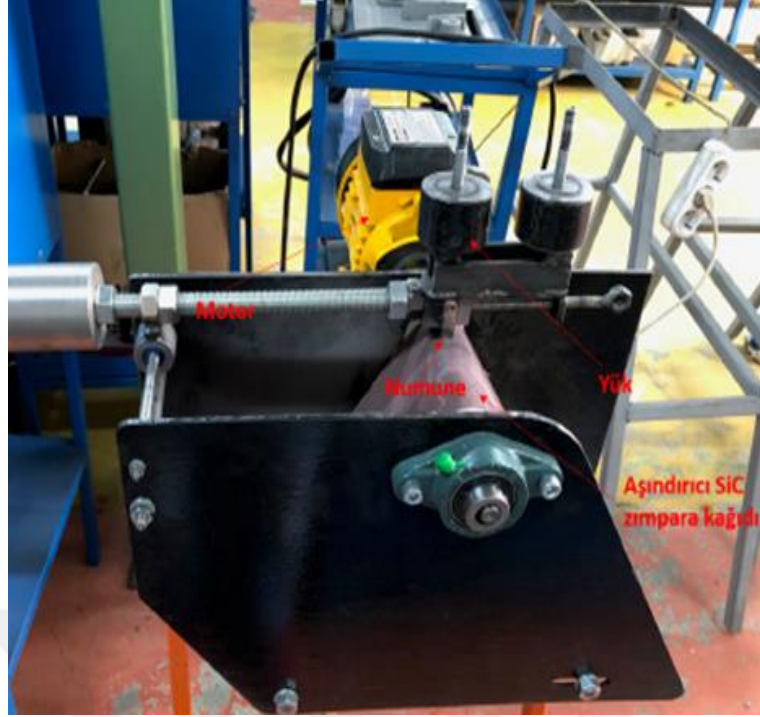
Biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerin birbirleri ile temas halindeyken kayma gerçekleştiği esnada meydana gelen, çizilme ve yırtılma olarakta bilinen abrasiv aşınma, önemli aşınma türlerinden biridir (Handbook A.S.M.).

Abrasiv aşınmaya neden olan bazı etkenler şunlardır; sertlik, hız olan gerilmeler ve sert olan parçacıkların yumuşak olan metale batmasıdır (Handbook A.S.M.).

Abrasiv aşınma hızını düşürmek istediğimizde malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak parçacıkların yüzeye daha az batması sağlanır ve çapak kaldırıldığı esnada daha az iz bırakılır. Abrasiv aşınma hızını azaltmanın diğer yolları ise daha sert bir alaşım kullanmak, sertliği artırmak için ısıtma işlemi uygulamak ve malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamaktır (Handbook A.S.M.).

5.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Endüstride karşılaşılan önemli problemlerden biri olan aşınma nedeniyle ekonomik kayıplar oluşur ve bunu minimuma indirmek amacıyla daima araştırma ve çalışmalar devam etmektedir. Bu sebeple aşınmaya maruz kalacak malzemeler üretilirken aşınma direnci yüksek malzemeler tercih edilir (Blickensderfer ve Tylczak, 1989). Bu çalışmada kullanılan abrasiv aşınma test düzeneği Şekil 5.1’de belirtilmiştir.



Şekil 5.1. Abrasiv aşınma test düzeneği

Aşınma deneylerinde kullanılan ölçüm yöntemleri; iz değişimi, kalınlık farkı, radyoizotop ve ağırlık farkı metotlarıdır.

Hassas bir terazi yardımıyla yapılan ve ekonomik olduğundan dolayı en çok kullanılan yöntem olan ağırlık farkı metodunun dezavantajı ise numunelerin her defasında çıkarılıp ağırlığının ölçülmesidir (Handbook A.S.M.).

5.3. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler

5.3.1. Karbür Yapısının Abrasiv Aşınmayı Etkisi

Aşınma direnci ve karbür miktarı darbeli ortam olmadığı şartlarda doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu gibi durumlarda aşındırıcının sertliği karbür etkisi bakımından önemlidir. M_7C_3 karbürlerinin sertliklerinden daha az sertliği bulunan aşındırıcılar kullanıldığında elde edilen en yüksek aşınma mukavemeti %40-50 karbür oranında fakat sertliği daha fazla olan aşındırıcılar kullanıldığında ise %30 civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Pearce (1984) yaptığı çalışmalarda, ince bir çubuğa benzer şekilde bulunan M_7C_3 karbürleri ile plakaya benzer şekilde bulunan M_3C karbürlerinin, plastik deformasyona kırılmadan uğradıklarını tespit etmiştir. Bir diğer çalışmasında da östenit taneleri küçüldükçe veya karbürlerin birbirlerine yaklaştıkça aşınma mukavemetinin arttığını belirtmiştir.

Matrisin plastik deformasyon kabiliyetini, matrislerin birbirine yakın bir şekilde yerleşmesiyle desteklenerek azaltmış oluruz ve abrasiv aşınma direnci bu sayede artmış olur. Bu yapılar incelendiğinde matris / karbür bağları zayıf olduğu düşünülürse ve ara yüzelerde oluşan gerilmeler çatlak başlangıcına neden olursa partiküller kopabilir (Fairhurst ve Röhring, 1974).

Ancak komşu iki karbürün arasında bulunan matris fazına batacak kadar abrasiv partiküller küçük değilse, aşınma hızı karbürlerin kopma hızıyla ilişkili olacaktır. Bundan dolayı da karbür boyutu, abrasiv tipi, karbür ve abrasiv sertliği, karbür hacim oranı ve abrasivin köşelilik durumlarının ehemmiyeti azalır (Fairhurst ve Röhring, 1974).

5.3.2. Matris Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi

YKBDD'de matris, sert ötektik M_7C_3 tipi karbürleri yerinde tutar. Karbürlerin birbirlerinden destek aldıkları matris aşınmış olursa desteksiz olarak kalan karbürler gerilmeler altında kırılır. Kırılan bu karbürler her zaman olmamakla birlikte yumuşak matrise gömüldüğünde sert bir yüzey tabakası oluşturur. Anlatılan bu olay genellikle ferritik matriste olmaktadır (Fairhurst ve Röhring, 1974).

YKBDD'de perlitik yapı tercih edilmemesinin nedeni, perlitik matrisin en düşük aşınma direncine sahip olan matris olmasıdır (Pearce, 1984).

Aşınma sırasında oluşan gerilmeler matrisin aşınma direnciyle ilgilidir. İçerisindeki karbon miktarı arttıkça aşınma direnci ve mikro sertlik artar. Ancak düşük gerilmeli aşınma ortamlarında sertlik bir kısım etkili olsa bile mikro sertlik belli bir değerden sonra aşınma direncini etkilemez (Pearce, 1984).

6. MATERYAL ve YÖNTEM

6.1. Çalışmada Kullanılan Malzeme

Çizelge 6.1. Çalışmada kullanılan HCCL'nin standart bileşimi

| Fe | Zr | Cu | Ni | Mo | Cr | Mn |
|------|-------|------|------|------|----|------|
| 73.5 | 0.033 | 0.50 | 0.19 | 1.34 | 24 | 0.38 |

Çizelge 6.2. Çalışmada kullanılan alaşımlandırılmış HCCL

| Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Cu |
|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-----|
| 72.3 | 3.06 | 0.22 | 0.36 | 0.132 | 0.089 | 21.7 | 1.24 | 0.353 | 0.6 |

Çizelge 6.1 ve çizelge 6.2’de alaşım durumları verilen ötektiküstü yüksek kromlu beyaz dökme demirin Ce ve B elementleri ile alaşımlandırılmış şekilde üretimi gerçekleştirildikten sonra parçaların birbirine benzer olmasından dolayı malzemeler üzerine işaret konulması sayesinde şekil 6.1’de görüldüğü üzere herhangi bir karışıklığa sebebiyet verilmemiştir.



Şekil 6.1. Ötektiküstü Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Ce ve B alaşımlı malzemenin işlem uygulanmamış hali

6.2. Kullanılan Malzemelere Yapılan İşlemler

Alaşımli döküm malzemelerin yüzey temizliği ve kesme işlemleri Millî Savunma Bakanlığı Askeri Fabrikalar Genel Müdürlüğü 41. Bakım Fabrika Müdürlüğü'nün talaşlı imalat atölyesinde gerçekleştirilmiştir.

6.2.1. Kaba İşleme ile Yüzey Temizleme İşlemi

300 mm uzunlukta silindir şeklinde hazır olan parçalarımızın yüzeylerinin kabaca temizleme işlemi Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 te görüldüğü üzere üniversal torna tezgahında ve freze tezgahında yapılmıştır.



Şekil 6.2. Torna tezgahında kaba yüzey temizleme işlemi



Şekil 6.3. Freze tezgahında kabaca yüzey temizleme işlemi

6.2.2. Boyut Belirleme İşlemi

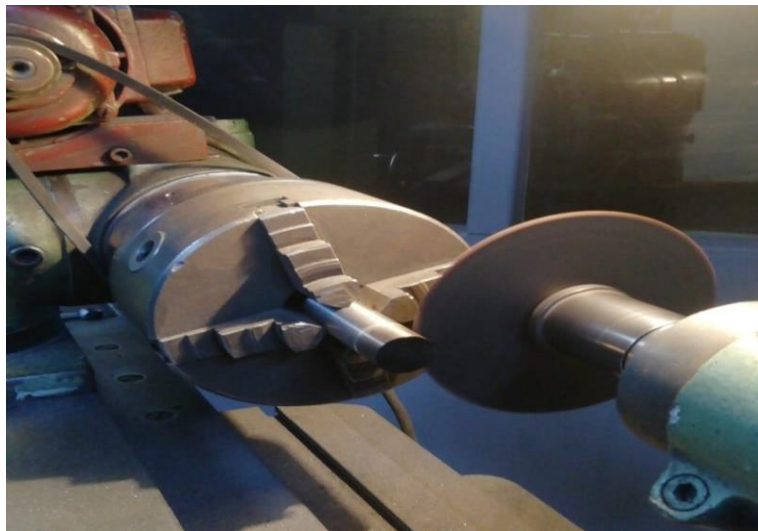
300 mm silindir şeklindeki parçamızdan 15 mm uzunluğunda ve 30 mm çapında numunelerin ortaya çıkarılması maksadıyla şekil 6.4'te belirtildiği üzere kesme işlemi öncesi malzeme üzerinde torna tezgahında kesilecek yerler belirtilmiştir.



Şekil 6.4. Torna tezgahında parça üzerinde numune boyutlarını belirleme işlemi

6.2.3. Kesme İşlemi

15 mm uzunluğunda ve 30 mm çapında numunelerimizin hazır olması için kesme işlemi, kesici ucu değiştirilmiş alet bileme tezgahında şekil 6.5'te görüldüğü üzere yapılmıştır.



Şekil 6.5. Numunelerin kesilme işlemi

6.2.4. Yüzey temizleme işlemi

Kesilen parçaların tekrardan yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olması için şekil 6.6’da görüldüğü gibi yüzey temizliği yapılmıştır.



Şekil 6.6. 15 mm uzunluğunda kullanıma hazır numune

6.3. Numunelerin ısıtılması

Isıl işlemlerin tüm prosesleri Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Malzeme Atölyesinde gerekli tüm tedbirler alınarak gerçekleştirilmiştir.

6.3.1. Kullanılan makineler

6.3.1.1. Isı ve zaman kontrollü fırınlar

Isıl işlemlerde şekil 6.7’de görülen MAGMA THERM marka ve MT-1200-5 B2 model fırın ve ALPER marka ve model fırın kullanılmıştır.



Şekil 6.7. MAGMA THERM marka ısıtma işlem fırını

6.3.1.2. Hava kompresörü

Isıl işlem sonrası soğutma işlemlerinde şekil 6.8’de görülen CORA marka ve TD-2050 model hava kompresörü kullanılmıştır.



Şekil 6.8. CORA marka hava kompresörü

6.3.2. Isıl işlem ve sonrasında soğutma işlemleri

15 mm uzunluktaki numunelerin tek tek ısıl işleme tabi tutulması maksadıyla Çizelge 6.3.'te belirtildiği üzere ısıl işleme başlanmıştır.

Çizelge 6.3. Planlanan ısıl işlemler

| Numune | Ostenitleştirme Sıcaklığı | Ostenitleşme sıcaklığında bekleme süresi (s) | Soğutma Ortamı | Difüzyon sıcaklığı | Difüzyon bekleme süresi (s) | Son soğutma |
|--------|---------------------------|--|----------------|--------------------|-----------------------------|-------------|
| 1 | 900 °C | 1s | Su | | | |
| 2 | 900 °C | 2s | Su | | | |
| 3 | 950 °C | 1s | Su | | | |
| 4 | 950 °C | 2s | Su | | | |
| 5 | 950 °C | 1s | Tuz | 550 | 3s | Hava |
| 6 | 950 °C | 1s | Tuz | 550 | 6s | Hava |
| 7 | 950 °C | 1s | Tuz | 550 | 9s | Hava |
| 8 | 950 °C | 1s | Tuz | 550 | 12s | Hava |
| 9 | 950 °C | 1s | Tuz | 600 | 3s | Hava |
| 10 | 950 °C | 1s | Tuz | 600 | 6s | Hava |
| 11 | 950 °C | 1s | Tuz | 600 | 9s | Hava |
| 12 | 950 °C | 1s | Tuz | 600 | 12s | Hava |
| 13 | 950 °C | 1s | Tuz | 650 | 3s | Hava |
| 14 | 950 °C | 1s | Tuz | 650 | 6s | Hava |
| 15 | 950 °C | 1s | Tuz | 650 | 9s | Hava |
| 16 | 950 °C | 1s | Tuz | 650 | 12s | Hava |
| 17 | 950 °C | 1s | Tuz | 700 | 3s | Hava |
| 18 | 950 °C | 1s | Tuz | 700 | 6s | Hava |
| 19 | 950 °C | 1s | Tuz | 700 | 9s | Hava |
| 20 | 950 °C | 1s | Tuz | 700 | 12s | Hava |

1. sırada bulunan işlem için öncelikle malzemeler fırına yerleştirilmiş ve istenilen şekil 6.9'da görüldüğü üzere 900 derece sıcaklığa fırın 1 saate yakın bir zamanda gelmiştir. İstenilen

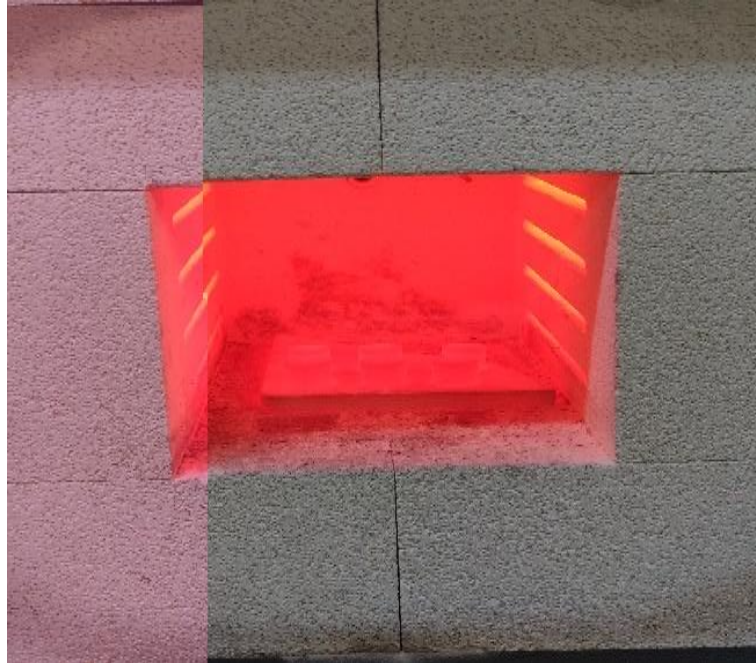
sıcaklığa ulaşıldıktan sonra fırının sesli ikazına müteakip bekleme süresi başlamıştır. Fırının her ilk kullanımı için bu adım sürekli tekrarlanmaktadır.



Şekil 6.9. Isıl işlem öncesi fırın sıcaklığının yükselme işlemi

Alaşımli olan malzemelerden her biri için ayrı ayrı olmak üzere şekil 6.10'da görüldüğü şekilde 900 °C' de 1 saat, 900 °C' de 2 saat, 950 °C' de 1 saat, 950 °C' de 2 saat ısıl işleme tabi tutulmuş ve müteakiben su banyosunda soğuması için bırakılmıştır (Şekil 6.11).

Alaşımız olan malzeme için ise 950 °C' de 1 saat fırında ısıl işleme tabi tutulmuş ve hava kompresörü ile soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.12).



Şekil 6.10. Isıl işlem sonrası fırından ürünün alınma anı



Şekil 6.11. N alaşımlı üründe ısıl işlem sonrası ve su ile soğutmaya müteakip meydana gelen çatlama görüntüsü



Şekil 6.12. Alaşımsız olan malzemenin ısıl işlem sonrası hava kompresörü ile soğutma işlemine müteakip görüntüsü

Elimizde bulunan diğer numuneler için çizelge 6.3'teki 5. den 20. sıraya kadar olan işlemler için birer saat 950 °C' de ısıl işleme tabi tutulmuş ve sonrasında diğer ısıl işlem fırınında altlık ve cezveler kullanarak içerisine şekil 6.13'te görülen bir miktar tuz (pembe

sanayi tuzu) konulmuştur. Tuz banyosuna aktarılan numuneler 3, 6, 9 ve 12 saatlik işleme tabi tutulmuş ve çizelgede bulunan tüm prosesler tamamlanmıştır.



Şekil 6.13. Tuz Banyosunda Kullanılan A135 Pembe Tuz

Çizelge 6.3' e uygun olacak şekilde işlemler tamamlanmış ve elde edilen görüntüler şekil 6.14, şekil 6.15, şekil 6.16, şekil 17 ve şekil 6.18'de sunulmuştur.



Şekil 6.14. Tuz Banyosu Oluşturmak İçin Kullanılan ve İçİ Tuz Dolu Olarak Hazır Bulunan Cezveler



Şekil 6.15. Tuz Banyosu Difüzyon İşlemi Fırın İçi Görünümü



Şekil 6.16. Tuz banyosundan çıkarılacak ürünler



Şekil 6.17. Ürünlerin çıkarılıp soğumaya bırakılması



Şekil 6.18. Isıl İşlemden Çıkan Ürünler

6.3.3. Zımparalama ve Parlatma

Numunelerin optik görüntülerinin alınması için şekil6.19’da görüldüğü üzere zımpara ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Öncelikle 320’lik, 600’lük ve 1000’lik zımpara kâğıdı olmak üzere 3 aşamalı zımparalama işlemi uygulanmıştır.

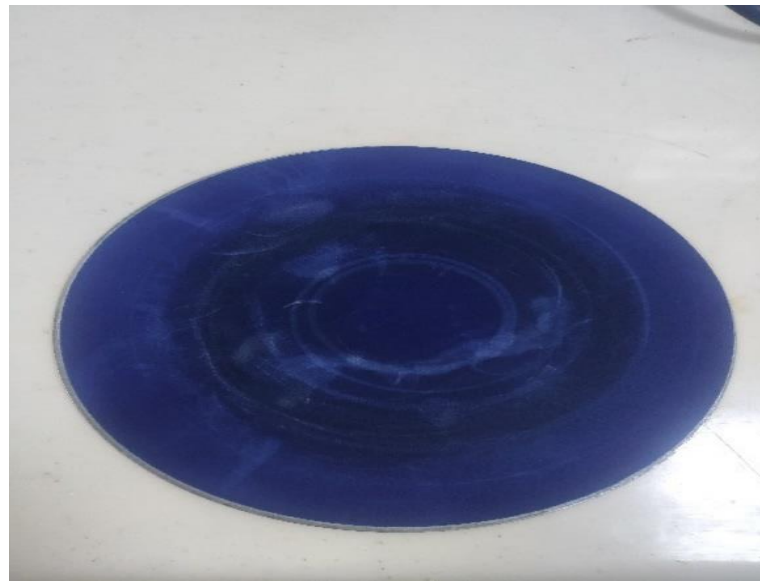
Parlatma işlemi yapılırken numune yüzeyi pürüzsüz olması ve çıkan demir tozlarının yüzeyden uzaklaşması maksadıyla zımpara üzerine su akıtılmaktadır. 320 lik zımpara ile

işlemlerimize başlayarak tek bir yönde çizgi oluşacak şekilde numune yüzeyinde hiçbir leke kalmayacak şekilde 3-4 dk arası zımparalama işlemi uygulanmaktadır. 320 lik zımpara sonrası işlemimize 600 lük zımpara ile devam ederiz ve numuneyi 90 derece çevirerek diğer yönde çizgiler oluşacak şekilde yüzey parlatma işlemine tabi tutulur. Hassasiyetin artması ve yüzeyin daha pürüzsüz ve parlak olması maksadıyla 1000 lik zımparalama işlemi uygulanır.



Şekil 6.19. Zımparalama işleminin uygulanması

Zımparalama işlemine müteakip parlatma işlemi uygulamak için su kapatılır ve zımparalar çıkarılıp temizlenip yıpranmamış ise tekrar kullanılmak üzere muhafaza edilir. Parlatma işlemi için şekil 6.20’de görülen parlatma süngeri cihaza yerleştirilir ve şekil 6.21’de görülen 1 mikron elmas süspansiyon ile parlatma işlemi uygulanır.



Şekil 6.20. Parlatma süngeri



Şekil 6.21. 1 Mikron elmas süspansiyon

6.4. Malzeme Yapısı İnceleme Çalışmaları

Malzeme yapısı inceleme çalışması belirli aşamalardan ve testlerden geçen numunelerin mikro yapısındaki değişimleri ortaya çıkarmak amacıyla yapılmaktadır. Malzemenin iç yapısını mikro düzeyde incelediğimizde matris ve karbür oluşumlarının numunelerimizin aşınma direnci ve sertliği ile direkt bağlantılı olduğunu ve bunu uygulamada gösterilmesi maksadıyla Elektron mikroskobu ve optik mikroskopla elde edilen fotoğraflarda belirtilmiştir. Elde edilen fotoğraflar Araştırma Bulguları bölümünde açıklanmıştır. Numune yüzeylerinde karbür ve matris oluşumlarının arasında faz farkından kaynaklı yüzeyi gözlemlemek için parlatılmış yüzeyler nital (%98 Etil Alkol + %2 Nitrik asit karışımı) çözeltisi ile dağlanmıştır.

6.5. Sertlik Ölçümleri

Farklı ısıl işlem metotlarına maruz kalan numunelerin makro sertliklerinin ölçümü sertlik ölçme cihazları (Şekil 6.22 ve Şekil 6.23) vasıtasıyla yapılmıştır. Ölçümler her numune için en az 3 farklı noktadan, çok büyük değerlerin hesap dışı bırakılmasıyla aritmetik ortalama değerinin elde edilmesiyle hesaplanmıştır.



Şekil 6.22. Rockwell sertlik cihazı



Şekil 6.23. Vickers sertlik cihazı

6.6. Aşınma Deneyleri

Belirli işlemlerden geçmiş olan numunelerin aşınma değerlerinin belirlenmesi amacıyla şekil 6.24 ve şekil 6.25'te görülen abrasiv aşınma deney düzeneğinden faydalanılmıştır. Deney düzeneğinde her numune 4.9 N, 9.8 N ve 14.7 N'luk ağırlıklara maruz bırakılarak aşınma işlemine tabi tutulmuştur. Deneyde aşındırıcı olarak 915 mm uzunluğunda ve 80 numaralı zımpara kağıdı kullanılmıştır. Aşınma sonuçlarının güvenilir olması amacıyla

yüzeyler yalnızca bir kez kullanılmıştır. Aşınmaların öncesinde ve sonrasında ağırlık değerleri şekil 6.26’da görülen terazide ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 6.24. Aşınma test düzeneği ön görünümü



Şekil 6.25. Aşınma test düzeneği yan görünümü



Şekil 6.26. Aşınma testinde kullanılan hassas terazi

7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

7.1. Numunelerin Sertlikleri

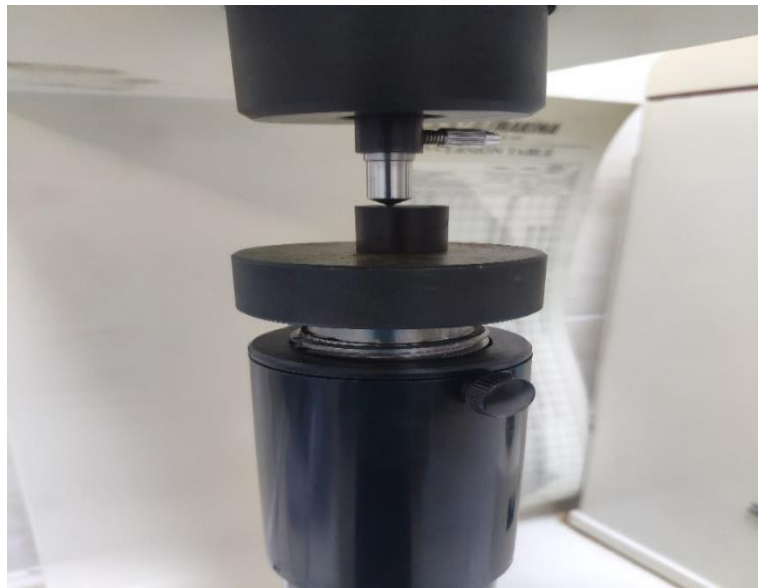
Çalışmada kullanılan YKBDD malzemeden imal edilen numunelerin sertlik değerleri Çizelge 7.1’de belirtilmiştir. Numuneler arasında herhangi bir ısıl işlem uygulanmamış alaşımsız malzeme olan numunenin sertlik değeri 38,33 HRC, ısıl işlem uygulanmamış alaşımlı malzemenin de 40,28 HRC iken 950 °C’de 1 saat ısıl işlem görüp havada soğutulmuş olan numunenin diğerlerinin arasında en yüksek sertlik B alaşımlı malzeme de 62,27 HRC, Ce alaşımlı malzeme de 65,2 HRC’ye ulaşmıştır. Çizelge 7.1’de görüldüğü üzere değerlerin yükselmesi söz konusu olurken bazı şartlarda azalma olduğu gözlemlenmektedir.

7.1.1. Rockwell Sertlik Deneyi

Sertlik cihazında şekil 7.1’de görüldüğü üzere ölçüm cihazının malzemeyi doğru ölçtüğünü anlamak amacıyla mastarla deneme yapılır. Kullanılan mastarda sertlik değerimiz 62,9 HRC’dir.

Yapılan ölçüm değerlerinde master sertlik değeri 62, 63.4 ve 62.7 çıkmıştır. Aritmetik ortalama hesaplama yapıldığında cihazın ölçüm değerlerinde sorun olmadığı gözlemlenmiştir.

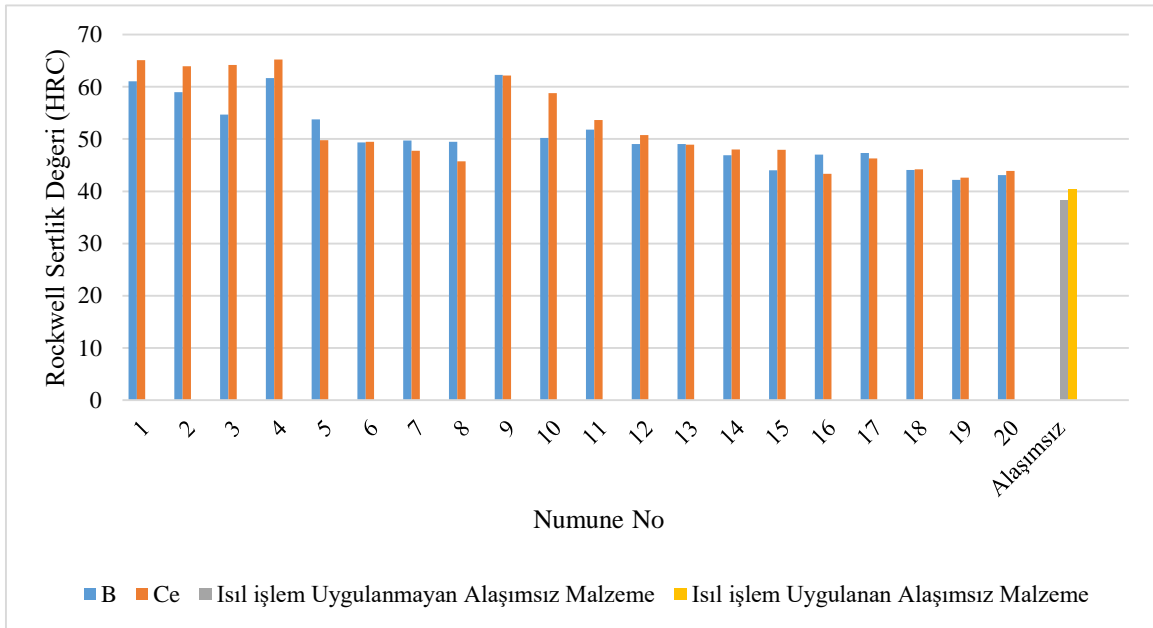
Yapılan sertlik ölçümleri her malzeme için ayrı ayrı ölçülmüş ve sonuçlar çizelge 7.1’de ve şekil 7.2’de belirtilmiştir.



Şekil 7.1. Rockwell sertlik cihazına bağlanmış numune görüntüsü

Çizelge 7.1. Sertlik değerleri çizelgesi

| S.No. | Alaşsız Malzeme | | B Alaşlı Malzeme | Ce Alaşlı Malzeme |
|-------|-------------------------|----------------------|------------------|-------------------|
| | Isıl işlem uygulanmayan | Isıl İşlem Uygulanan | | |
| 1 | | | 61,07 | 65,1 |
| 2 | | | 58,96 | 63,92 |
| 3 | | | 54,68 | 64,2 |
| 4 | | | 61,7 | 65,2 |
| 5 | | | 53,75 | 49,8 |
| 6 | | | 49,38 | 49,5 |
| 7 | | | 49,72 | 47,75 |
| 8 | | | 49,46 | 45,73 |
| 9 | | | 62,27 | 62,18 |
| 10 | | | 50,23 | 58,78 |
| 11 | | | 51,8 | 53,67 |
| 12 | | | 49,07 | 50,77 |
| 13 | | | 49,05 | 48,93 |
| 14 | | | 46,92 | 48 |
| 15 | | | 44 | 47,93 |
| 16 | | | 47,03 | 43,33 |
| 17 | | | 47,33 | 46,3 |
| 18 | | | 44,1 | 44,2 |
| 19 | | | 42,2 | 42,6 |
| 20 | | | 43,1 | 43,9 |
| 21 | 38,33 | 40,28 | | |

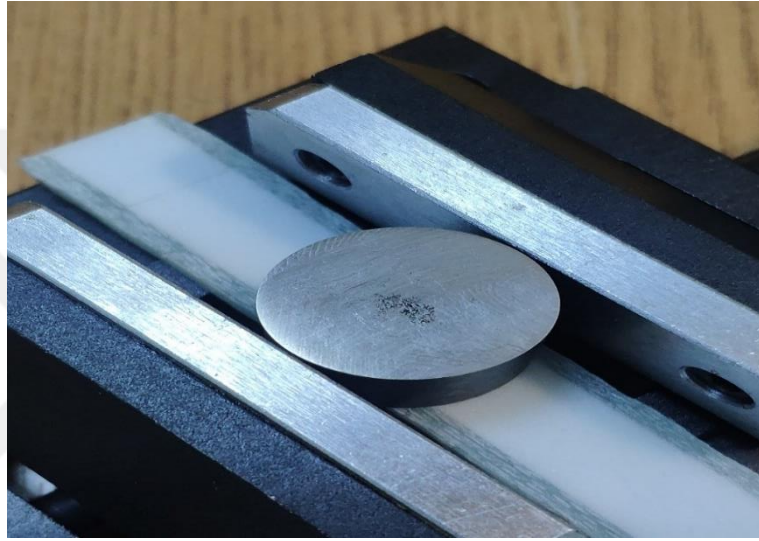


Şekil 7.2. Sertlik Değeri Grafiği

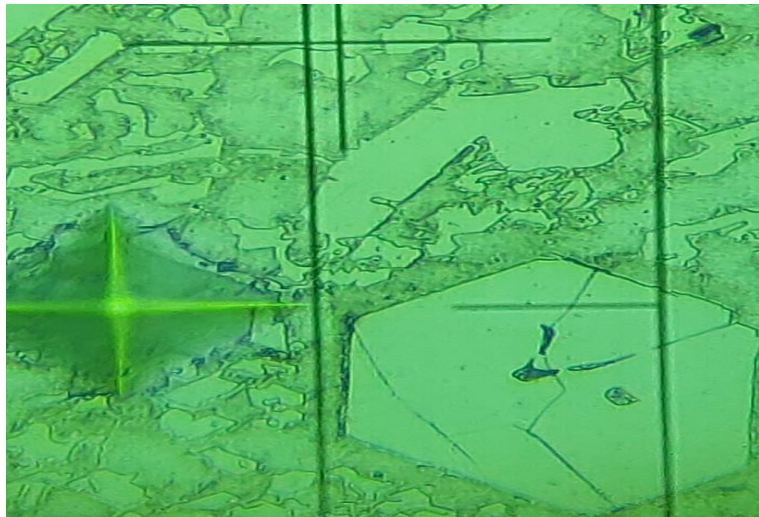
7.1.2. Vickers Sertlik Deneyi

Numunelerin kaymaması ve doğru sonuçların elde edilmesi maksadıyla şekil 7.3'te görüldüğü üzere bağlama aparatı altına, altlık kullanılarak numunelerin ayrı ayrı bölgelerinden ve karbürlü olan kısımlar ile tam karbürlü olmayan kısımlardan ölçümler yapılmıştır.

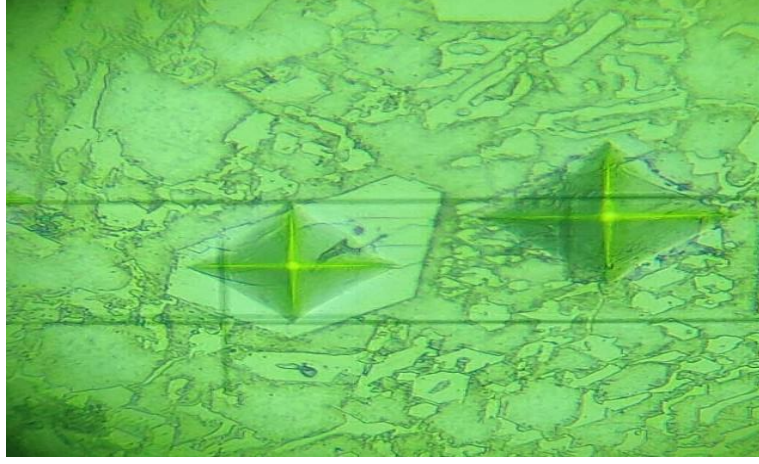
Vickers sertlik deneyi yapılırken hassas ölçüm yapılmasından dolayı malzeme sağlam bir zeminde bulunması için tutucu vasıtasıyla malzeme altına altlık kullanılarak Şekil 7.4, şekil 7.5 ve şekil 7.6'da görüldüğü üzere hassas ölçüm elde edilmiştir.



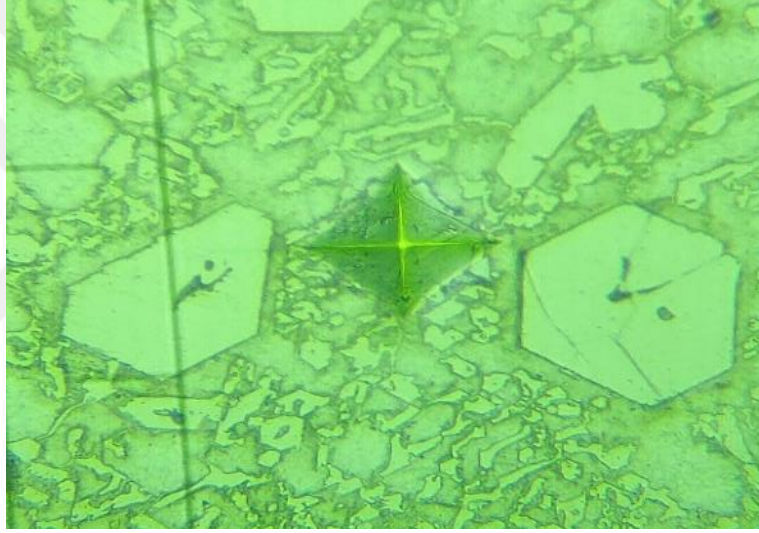
Şekil 7.3. Vickers sertlik ölçüm için hazırlanmış numune



Şekil 7.4. Vickers sertlik değeri alınacak bölgelerin Vickers sertlik cihazında görüntüsü



Şekil 7.5. Karbürlerin Vickers sertlik ölçümü görüntüsü



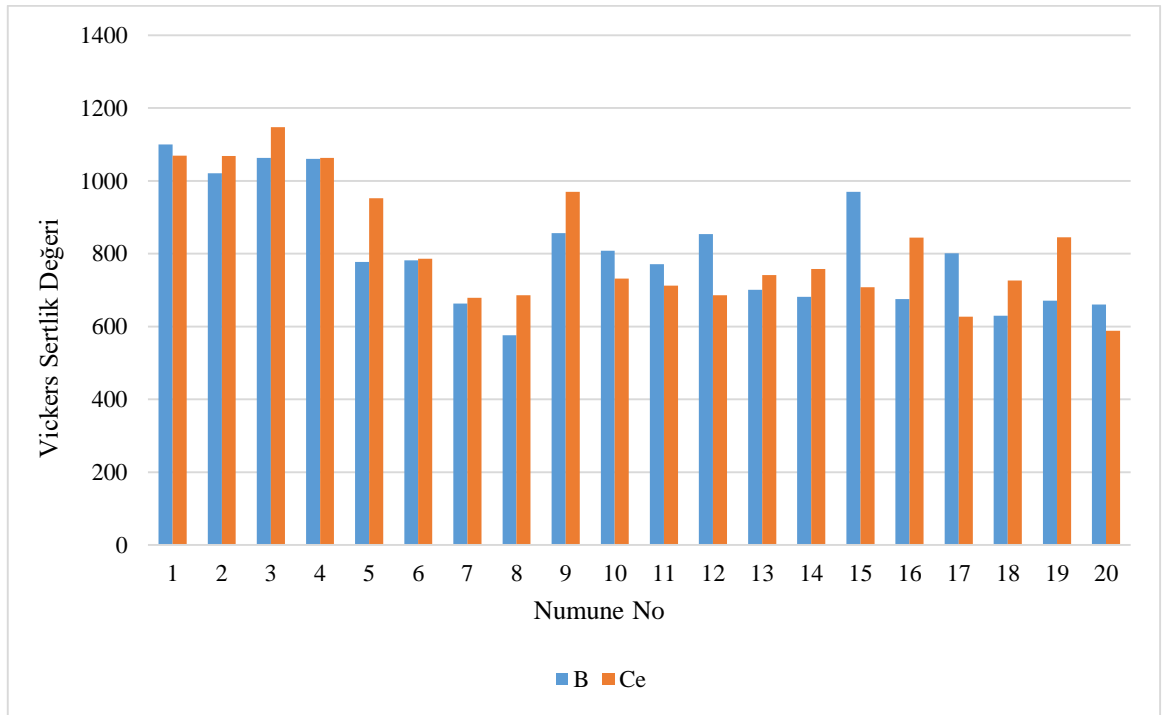
Şekil 7.6. İki karbür arası Vickers sertlik ölçümü görüntüsü

Numunelerin Vickers sertlik ölçümleri Çizelge 7.2’te belirtilmiştir. Yapılan ölçüm sonucunda en az 3 noktada ölçüm yapılmış olup aritmetik ortalamaları hesaplanarak çizelgeye işlenmiş ve Şekil 7.7’de grafikte belirtilmiştir.

Çizelge 7.2. Vickers sertlik ölçümleri

| S.No./Alaşımli Malzeme | B Alaşımli Malzeme | Ce Alaşımli Malzeme |
|------------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 1099,6 | 1069,22 |
| 2 | 1020,68 | 1068,55 |
| 3 | 1063,32 | 1147,3 |
| 4 | 1060,58 | 1063,53 |
| 5 | 777,67 | 952,43 |
| 6 | 781,95 | 786 |
| 7 | 662,78 | 678,7 |
| 8 | 575,8 | 685,52 |

| | | |
|----|--------|--------|
| 9 | 856,7 | 969,66 |
| 10 | 808,03 | 731,27 |
| 11 | 771,4 | 712,16 |
| 12 | 853,7 | 685,7 |
| 13 | 700,65 | 741,37 |
| 14 | 681,37 | 757,8 |
| 15 | 969,85 | 707,67 |
| 16 | 675,33 | 844,6 |
| 17 | 800,98 | 627,27 |
| 18 | 629,9 | 726,47 |
| 19 | 670,52 | 845,03 |
| 20 | 660,2 | 588,43 |



Şekil 7.7. Vickers Sertlik Değerleri Grafığı

7.2. Aşınma Deneyleri

Her numunenin aşınma testleri ayrı ayrı yapılmış olup aşınma dirençleri 4.9, 9,8 ve 14.7 N'luk kuvvetler altında uygulanmış ve sonuçlar çizelge 7.3, çizelge 7.4 ve şekil 7.8'de belirtilmiştir. Çizelgede belirtildiği üzere her bir numunenin uygulanan kuvvet karşısında kaybettiği kütle kaybını gram cinsinden mevcuttur. Numuneler arasında aşınma değeri en yüksek olan numune ise Ce.16, ikinci sırada ise B.20 yer almaktadır.

Aşınma deney sonuçları değerlendirildiğinde göze çarpan bir konu da uygulanan kuvvet arttıkça numune üzerinde kütle kaybının artmaktadır.

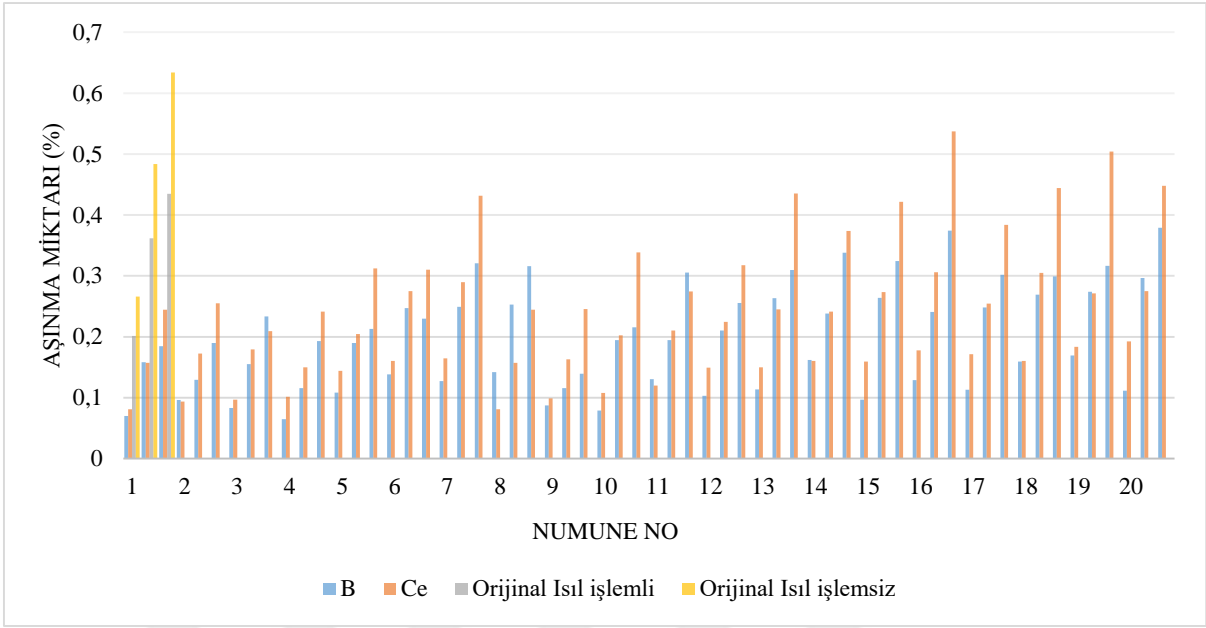
Çizelge 7.3. B ve Ce Alaşımılı Malzeme Aşınma Deneyi Değerleri

| S.No. /Alaşımılı Malzeme | Uygulanan Kuvvet (N) | B Alaşımılı Malzeme | | | Ce Alaşımılı Malzeme | | |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------|---|----------------------|----------------|---|
| | | İlk Ağırlık | Son Ağırlık | Aşınma Sonrası kütle kaybı (g) | İlk Ağırlık | Son Ağırlık | Aşınma Sonrası kütle kaybı (g) |
| 1 | 4.9 | 32,5022 | 32,4325 | 0,0697 | 34,1975 | 34,1167 | 0,0808 |
| | 9.8 | 32,4325 | 32,2745 | 0,158 | 34,1167 | 33,9594 | 0,1573 |
| | 14.7 | 32,2745 | 32,09 | 0,1845 | 33,9594 | 33,7152 | 0,2442 |
| 2 | 4.9 | 33,1056 | 33,0092 | 0,0964 | 33,232 | 33,1383 | 0,0937 |
| | 9.8 | 33,0092 | 32,88 | 0,1292 | 33,1383 | 32,9658 | 0,1725 |
| | 14.7 | 32,88 | 32,69 | 0,19 | 32,9658 | 32,7106 | 0,2552 |
| 3 | 4.9 | 32,5459 | 32,463 | 0,0829 | 33,4434 | 33,3466 | 0,0968 |
| | 9.8 | 32,463 | 32,308 | 0,155 | 33,3466 | 33,1672 | 0,1794 |
| | 14.7 | 32,308 | 32,0748 | 0,2332 | 33,1672 | 32,9579 | 0,2093 |
| 4 | 4.9 | 32,243 | 32,1784 | 0,0646 | 33,35 | 33,2485 | 0,1015 |
| | 9.8 | 32,1784 | 32,063 | 0,1154 | 33,2485 | 33,0985 | 0,15 |
| | 14.7 | 32,063 | 31,87 | 0,193 | 32,988 | 32,7466 | 0,2414 |
| 5 | 4.9 | 32,5255 | 32,4174 | 0,1081 | 33,8659 | 33,7217 | 0,1442 |
| | 9.8 | 32,4174 | 32,2277 | 0,1897 | 33,7217 | 33,5171 | 0,2046 |
| | 14.7 | 32,2277 | 32,015 | 0,2127 | 33,5171 | 33,2049 | 0,3122 |
| 6 | 4.9 | 32,5053 | 32,3671 | 0,1382 | 34,6607 | 34,5006 | 0,1601 |
| | 9.8 | 32,3671 | 32,1198 | 0,2473 | 34,5006 | 34,2255 | 0,2751 |
| | 14.7 | 32,1198 | 31,89 | 0,2298 | 34,2255 | 33,9155 | 0,31 |
| 7 | 4.9 | 34,3883 | 34,261 | 0,1273 | 35,0985 | 34,934 | 0,1645 |
| | 9.8 | 34,261 | 34,012 | 0,249 | 34,934 | 34,6443 | 0,2897 |
| | 14.7 | 34,012 | 33,6915 | 0,3205 | 34,6443 | 34,2126 | 0,4317 |
| 8 | 4.9 | 34,8997 | 34,758 | 0,1417 | 34,1975 | 34,1167 | 0,0808 |
| | 9.8 | 34,758 | 34,505 | 0,253 | 34,1167 | 33,9594 | 0,1573 |
| | 14.7 | 34,505 | 34,1889 | 0,3161 | 33,9594 | 33,7152 | 0,2442 |
| 9 | 4.9 | 36,112 | 36,025 | 0,087 | 34,2055 | 34,1065 | 0,099 |
| | 9.8 | 36,025 | 35,9095 | 0,1155 | 34,1065 | 33,9433 | 0,1632 |
| | 14.7 | 35,9095 | 35,7703 | 0,1392 | 33,9433 | 33,6978 | 0,2455 |
| 10 | 4.9 | 32,2603 | 32,1816 | 0,0787 | 35,9047 | 35,7972 | 0,1075 |
| | 9.8 | 32,1816 | 31,987 | 0,1946 | 35,7972 | 35,595 | 0,2022 |
| | 14.7 | 31,987 | 31,7713 | 0,2157 | 35,595 | 35,2565 | 0,3385 |
| 11 | 4.9 | 31,967 | 31,8365 | 0,1305 | 33,005 | 32,885 | 0,12 |
| | 9.8 | 31,8365 | 31,642 | 0,1945 | 32,885 | 32,6745 | 0,2105 |
| | 14.7 | 31,642 | 31,3364 | 0,3056 | 32,6745 | 32,4 | 0,2745 |
| 12 | 4.9 | 32,524 | 32,4211 | 0,1029 | 33,0038 | 32,8546 | 0,1492 |
| | 9.8 | 32,4211 | 32,2107 | 0,2104 | 32,8546 | 32,63 | 0,2246 |
| | 14.7 | 32,2107 | 31,955 | 0,2557 | 32,63 | 32,3126 | 0,3174 |
| 13 | 4.9 | 32,517 | 32,4036 | 0,1134 | 33,0173 | 32,8673 | 0,15 |
| | 9.8 | 32,4036 | 32,14 | 0,2636 | 32,8673 | 32,6224 | 0,2449 |

| | | | | | | | |
|----|------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| | 14.7 | 32,14 | 31,8306 | 0,3094 | 32,6224 | 32,187 | 0,4354 |
| 14 | 4.9 | 32,6361 | 32,4743 | 0,1618 | 33,8906 | 33,7303 | 0,1603 |
| | 9.8 | 32,4743 | 32,236 | 0,2383 | 33,7303 | 33,489 | 0,2413 |
| | 14.7 | 32,236 | 31,8982 | 0,3378 | 33,489 | 33,1153 | 0,3737 |
| 15 | 4.9 | 32,1585 | 32,0619 | 0,0966 | 34,2895 | 34,13 | 0,1595 |
| | 9.8 | 32,0619 | 31,7978 | 0,2641 | 34,13 | 33,8564 | 0,2736 |
| | 14.7 | 31,7978 | 31,4735 | 0,3243 | 33,8564 | 33,4349 | 0,4215 |
| 16 | 4.9 | 34,4977 | 34,369 | 0,1287 | 32,9797 | 32,8021 | 0,1776 |
| | 9.8 | 34,369 | 34,128 | 0,241 | 32,8021 | 32,496 | 0,3061 |
| | 14.7 | 34,128 | 33,7537 | 0,3743 | 32,496 | 31,9585 | 0,5375 |
| 17 | 4.9 | 32,6502 | 32,5372 | 0,113 | 33,4858 | 33,3144 | 0,1714 |
| | 9.8 | 32,5372 | 32,289 | 0,2482 | 33,3144 | 33,06 | 0,2544 |
| | 14.7 | 32,289 | 31,9873 | 0,3017 | 33,06 | 32,6733 | 0,3837 |
| 18 | 4.9 | 32,5082 | 32,349 | 0,1592 | 33,494 | 33,3337 | 0,1603 |
| | 9.8 | 32,349 | 32,08 | 0,269 | 33,3337 | 33,0286 | 0,3051 |
| | 14.7 | 32,08 | 31,781 | 0,299 | 33,0286 | 32,5846 | 0,444 |
| 19 | 4.9 | 34,9655 | 34,7964 | 0,1691 | 35,044 | 34,8605 | 0,1835 |
| | 9.8 | 34,7964 | 34,5225 | 0,2739 | 34,8605 | 34,5894 | 0,2711 |
| | 14.7 | 34,5225 | 34,206 | 0,3165 | 34,5894 | 34,0853 | 0,5041 |
| 20 | 4.9 | 33,9746 | 33,863 | 0,1116 | 32,4737 | 32,2812 | 0,1925 |
| | 9.8 | 33,863 | 33,5663 | 0,2967 | 32,2812 | 32,006 | 0,2752 |
| | 14.7 | 33,5663 | 33,1871 | 0,3792 | 32,006 | 31,5580 | 0,448 |

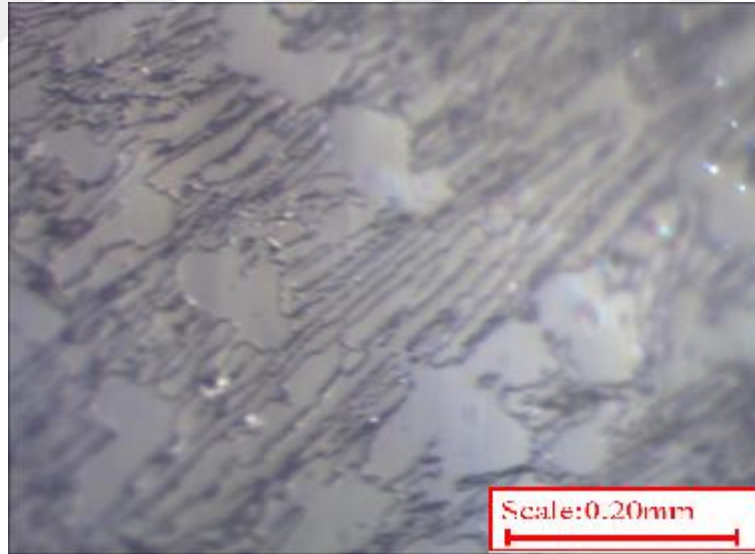
Çizelge 7.4. Alaşımısız Malzemelerin Aşınma Çizelgesi

| S.No. | Numune Türü | Uygulanan Kuvvet (N) | İlk Ağırlık | Son Ağırlık | Aşınma Sonrası kütle kaybı (g) |
|-------|----------------|----------------------|-------------|-------------|--------------------------------|
| 1 | Alaşımısız | 4.9 | 33,915 | 33,7136 | 0,2014 |
| | Isıl İşlemlili | 9.8 | 34,9488 | 34,5871 | 0,3617 |
| | Numune | 14.7 | 36,1037 | 35,6689 | 0,4348 |
| 2 | Alaşımısız | 4.9 | 26,063 | 25,7972 | 0,2658 |
| | Isıl İşlemsiz | 9.8 | 28,1345 | 27,651 | 0,4835 |
| | Numune | 14.7 | 29,517 | 28,883 | 0,634 |



Şekil 7.8. Aşınma Miktarları Çizelgesi

7.3. Malzemelerin İç Yapısının ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 7.9. Alaşımız ve ısıl işlem görmemiş numune görünümü

Alaşımız ve ısıl işlem görmemiş numune, ısıl işlem uygulanmış deney numuneleri ile karşılaştırılabilmesi amacıyla yüzey parlatma işlemi haricinde işlem uygulanmamıştır. Çalışmada kullanılan optik mikroskoptan elde edilen görüntü Şekil 7.9’da belirtilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere karbürlerin konumlanırken seyrek olduğu tespit edilmiştir. Birbirlerine yakın birkaç karbür görünmektedir ancak bunlarında boyutları çok büyük değildir.

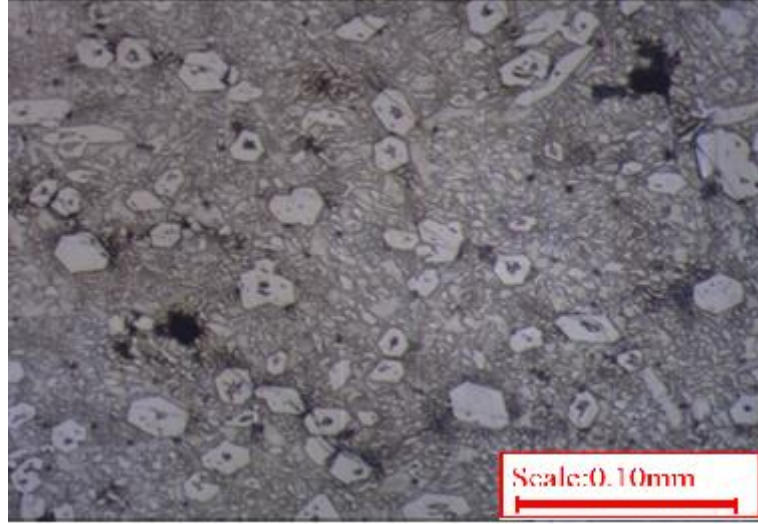
Alaşımsız ve ısıl işlem görmemiş numunenin sertliği 38,33 HRC olarak saptanmıştır. Yapılan aşınma testi sonucunda 4,9 N yük altında 0,2658 g, 9,8 N yük altında 0,4835 g, 14,7 N yük altında 0,634 g yük kaybettiği izlenmiştir.



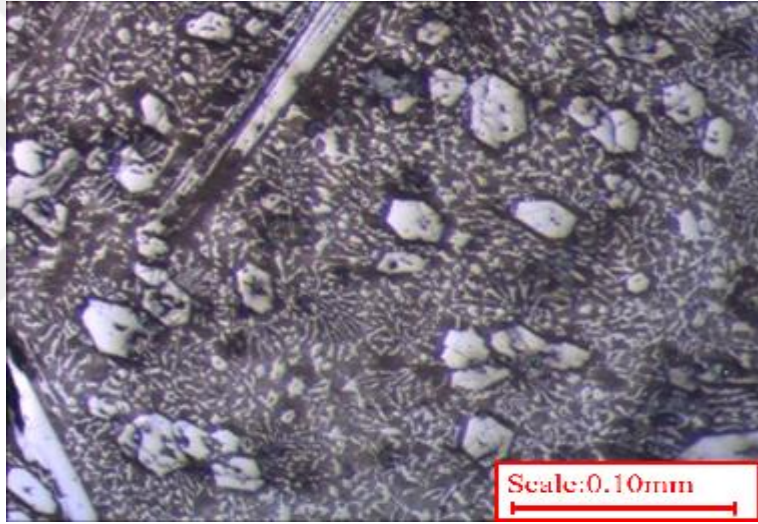
Şekil 7.10. Alaşımsız ve ısıl işlem uygulanmış numune görünümü

Şekil 7.10’da görülen alaşımsız ve ısıl işlem uygulanmış numune orijinal numuneden farkı 950 °C’ de 1 saat fırında ısıl işleme tabi tutulmuş ve hava kompresörü ile soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

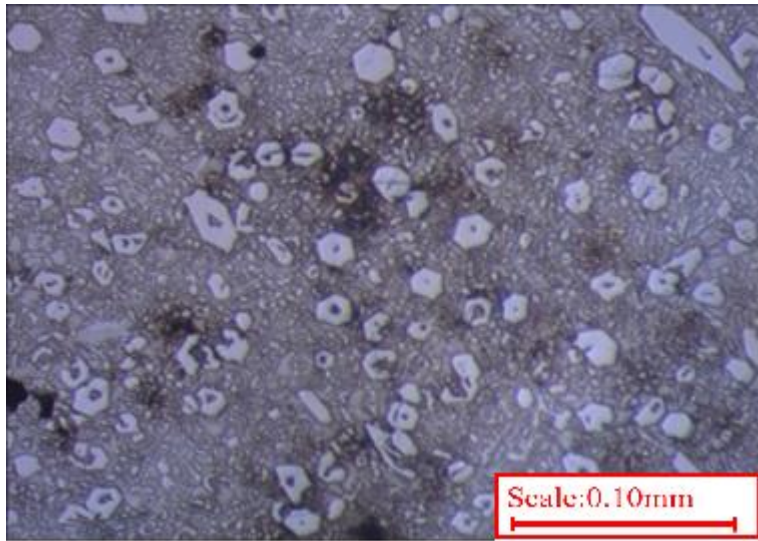
Aşınma testine müteakip sertlikteki yükselişe paralel olarak numunenin aşınma direncinin de yükseldiği gözlemlenmiştir. Yapılan aşınma testi sonucunda 4,9 N yük altında 0,2014 g, 9,8 N yük altında 0,3617 g, 14,7 N yük altında 0,4348 g yük kaybettiği izlenmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere ısıl işleme tabi tutulan katkısız malzeme aşınma direnci artmaktadır.



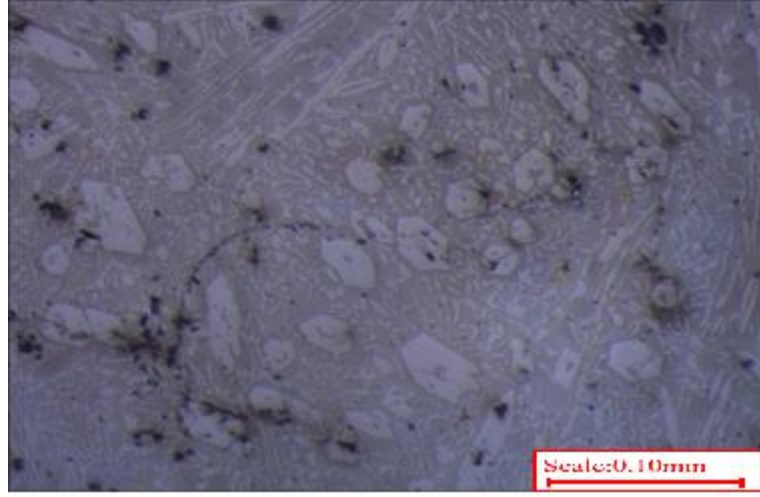
Şekil 7.11. B.1 optik görünümü



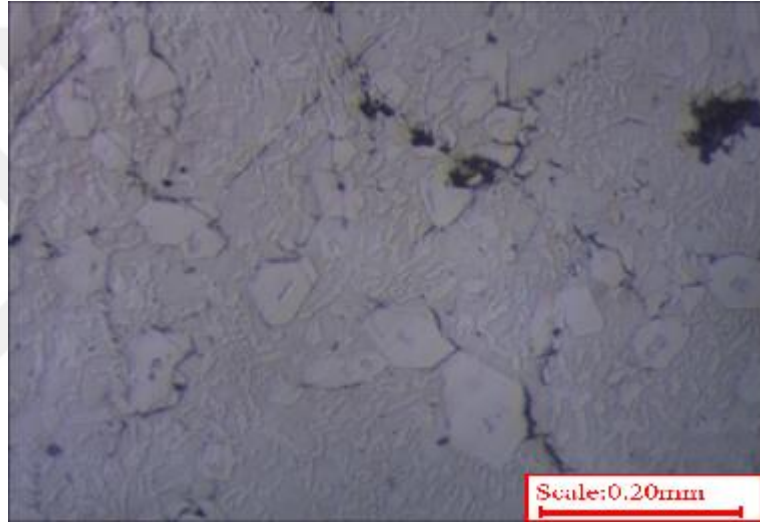
Şekil 7.12. Ce.1 optik görünümü



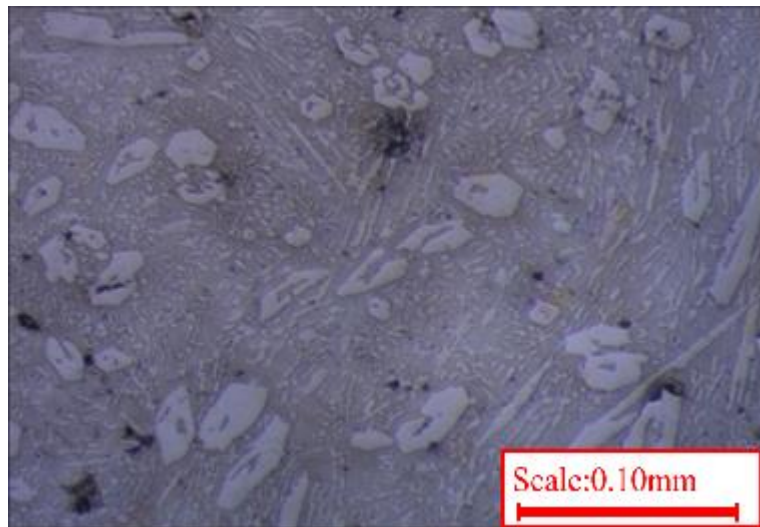
Şekil 7.13. B.2 optik görünümü



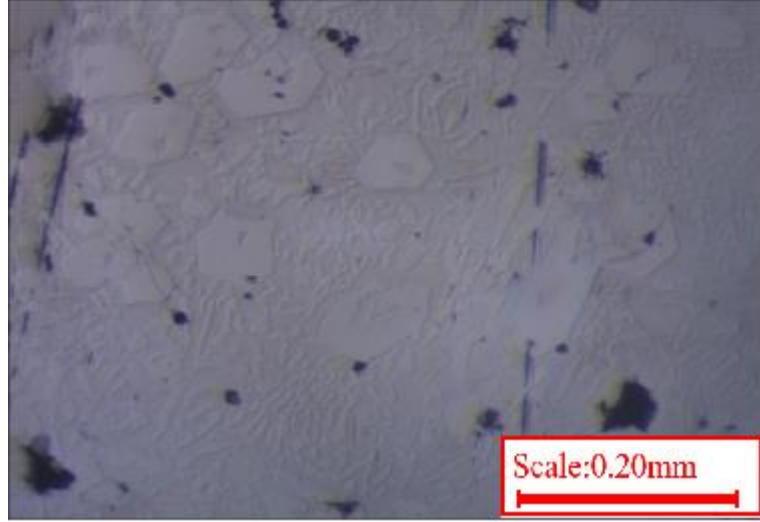
Şekil 7.14. Ce.2 optik görünümü



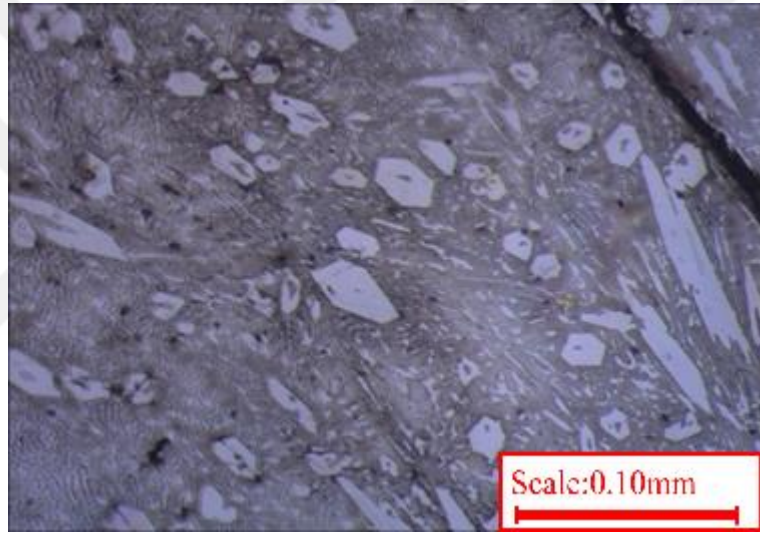
Şekil 7.15. B.3 optik görünümü



Şekil 7.16. Ce.3 optik görünümü

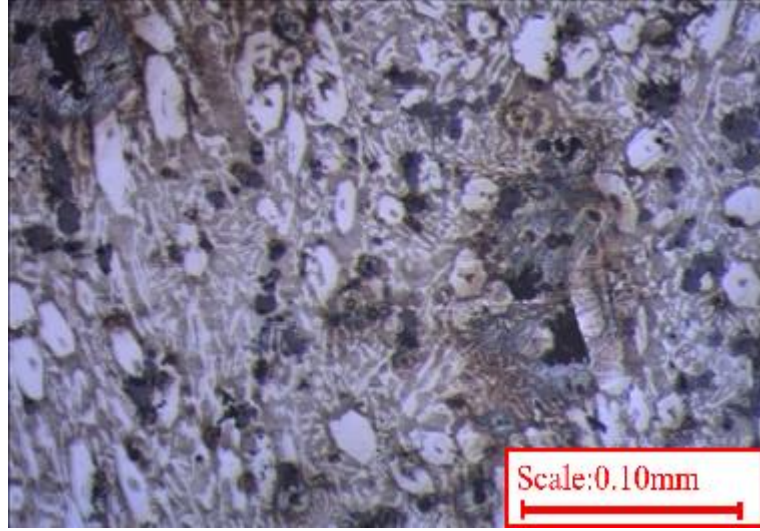


Şekil 7.17. B.4 optik görünümü

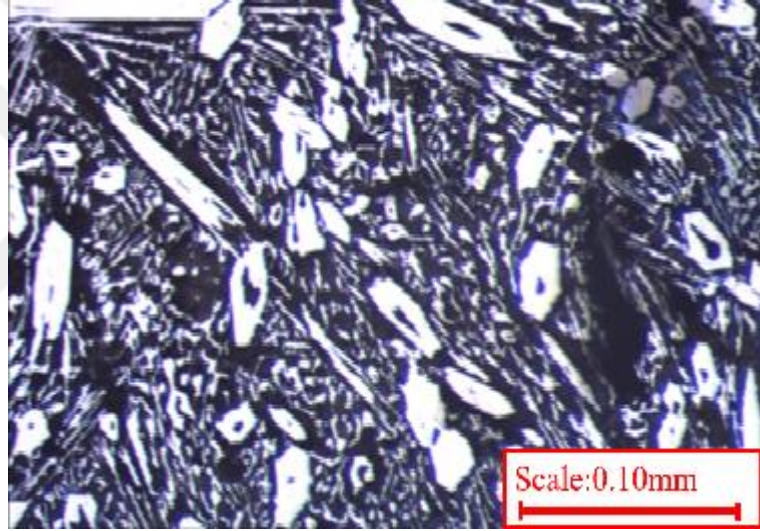


Şekil 7.18. Ce.4 optik görünümü

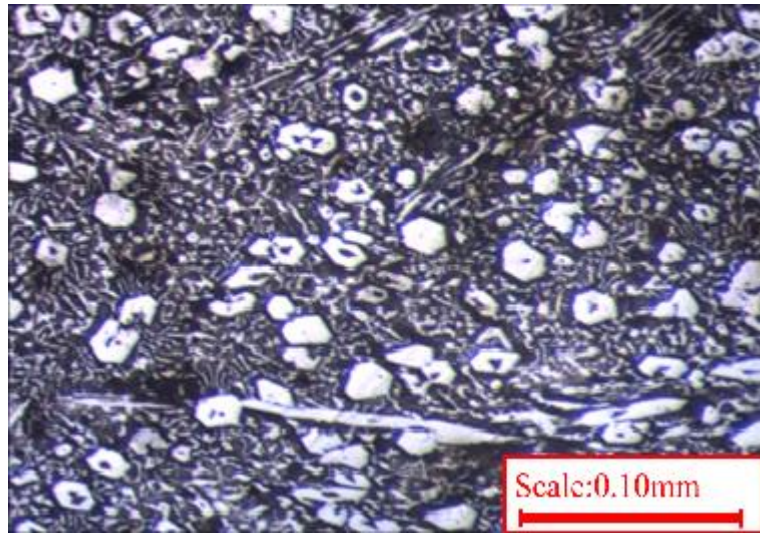
Şekil 7.11’de B.1 ve şekil 7.12’de Ce.1 numuneleri ısıtma fırınında 900 °C’de 1 saat, şekil 7.13’te B.2 ve şekil 7.14’de Ce.2 numuneleri ısıtma fırınında aynı sıcaklıkta 2 saat, şekil 7.15’de B.3 ve şekil 7.16’da Ce.3 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat ve şekil 7.17’de B.4 ve şekil 7.18’de Ce.4 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 2 saat bekleme işlemine tabi tutularak müteakibinde su ile soğutma işlemi uygulanmıştır. Orijinal numunelere göre karbürlerin daha kararlı bir yapı durumuna geldiği ve orijinal numuneye göre daha sert hale geldiği tespit edilmiştir. Yapılan aşınma testi sonucunda sertlik değerleriyle bağlantılı olarak aşınma değerleri orijinal numuneye göre çok az olduğu gözlemlenmiştir.



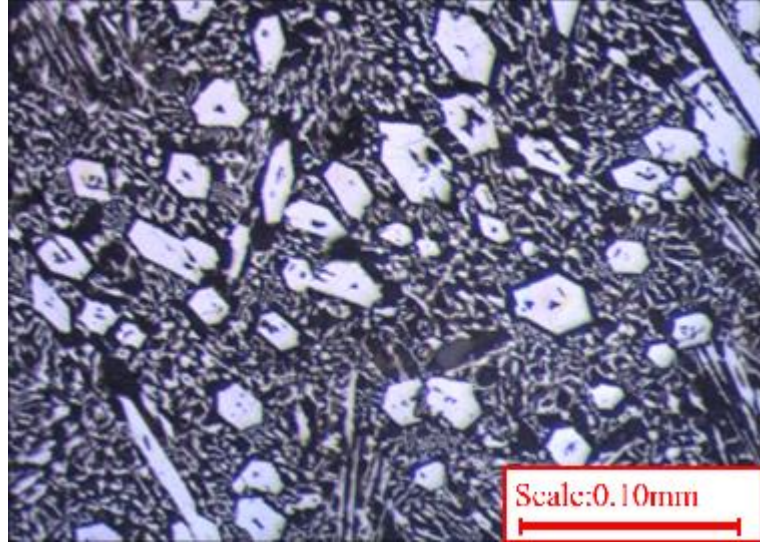
Şekil 7.19. B.5 optik görünümü



Şekil 7.20. Ce.5 optik görünümü



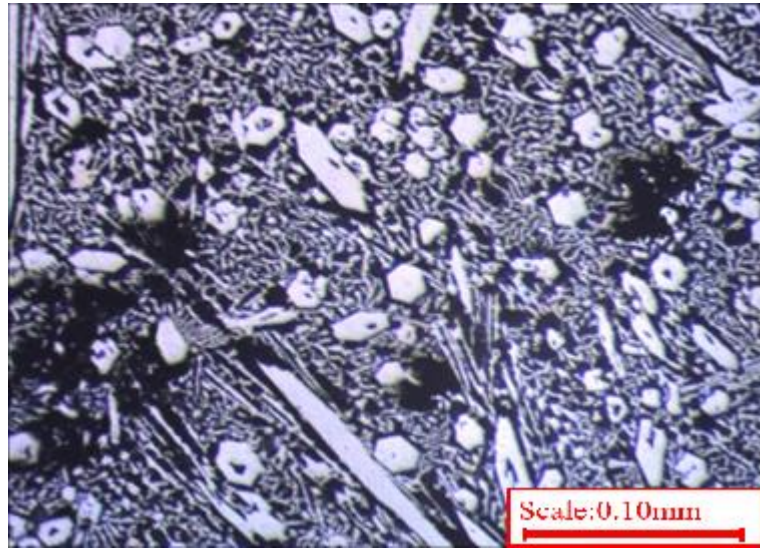
Şekil 7.21. B.6 optik görünümü



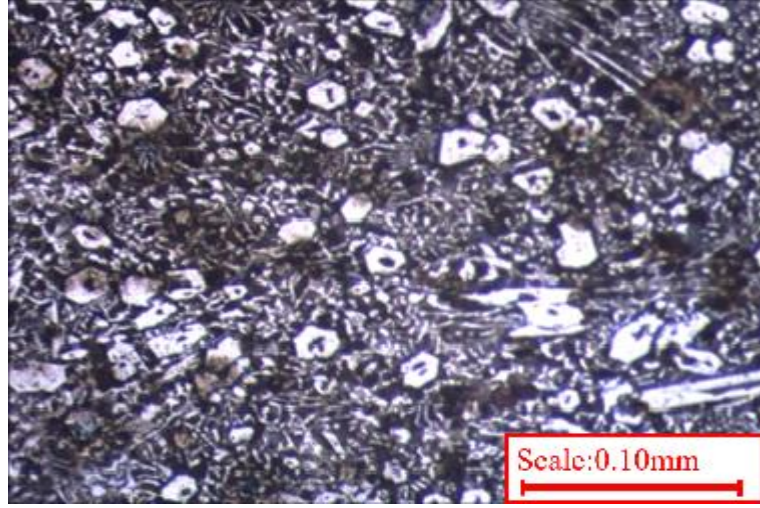
Şekil 7.22. Ce.6 optik görünümü



Şekil 7.23. B.7 optik görünümü



Şekil 7.24. Ce.7 optik görünümü



Şekil 7.25. B.8 optik görünümü



Şekil 7.26. Ce.8 optik görünümü

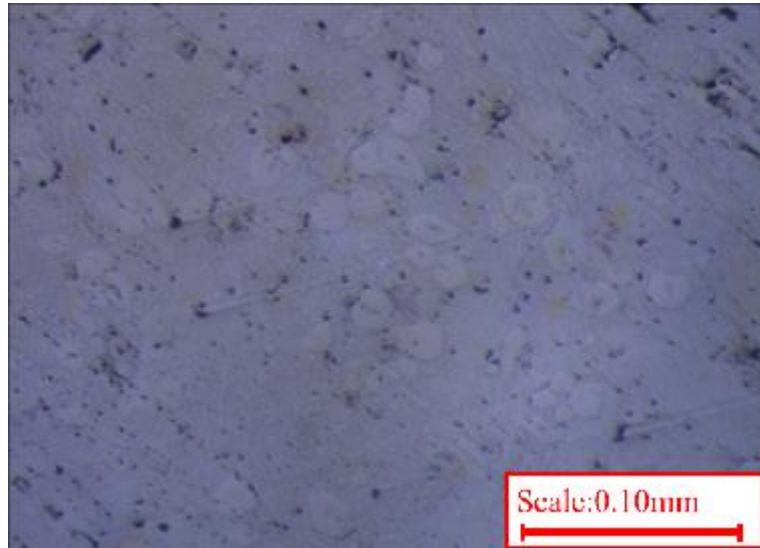
Şekil 7.19’da B.5 ve şekil 7.20’de Ce.5 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat bekletilerek, 550 °C’de tuz ortamında 3 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 53,75 HRC ve 49,8 HRC ’dir. Şekil 7.21’de B.6 ve şekil 7.22’de Ce.6 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat bekletilerek 550 °C’de tuz ortamında 6 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 49,38 HRC ve 49,5 HRC’ dir. Şekil 7.23’te B.7 ve şekil 7.24’te Ce.7 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat bekletilerek 550 °C’de tuz ortamında 9 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 49,72 HRC ve 47,75 HRC ’dir. Şekil 7.25’te B.8 ve şekil 7.26’da Ce.8 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat bekletilerek 550 °C’de tuz ortamında 12 saat süreli difüzyona maruz

bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 49,46 HRC ve 45,73 HRC' dir.

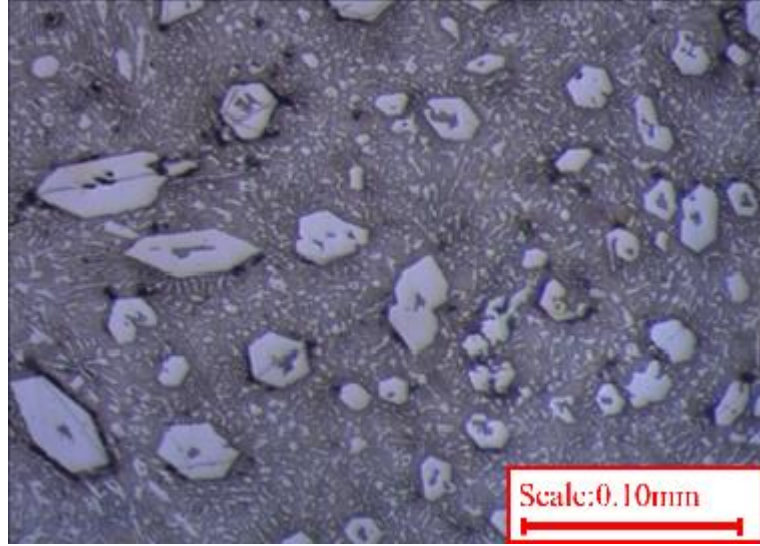
Östenitleşme sıcaklığı ve difüzyon sıcaklığı olarak bir grup gibi düşünürsek B ve Ce alaşımlı numunelerin sertlikleri birbirine yakındır. Ancak görüldüğü üzere difüzyon bekleme süresi arttıkça malzemenin sertliğinde azalma meydana gelir.

Yapılan aşınma testi sonucunda ise B.5 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1081, 9,8 N ağırlıkta 0,1897 ve 14,7 N ağırlıkta 0,2127 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.5 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1442 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2046 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,3122 g aşınma değişimi olmuştur. B.6 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1382, 9,8 N ağırlıkta 0,2473 ve 14,7 N ağırlıkta 0,2298 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.6 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1601 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2751 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,31 g aşınma değişimi olmuştur. B.7 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1273, 9,8 N ağırlıkta 0,249 ve 14,7 N ağırlıkta 0,3205 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.7 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1645 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2897 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,4317 g aşınma değişimi olmuştur. B.8 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1417, 9,8 N ağırlıkta 0,253 ve 14,7 N ağırlıkta 0,3161 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.8 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,0808 g, 9,8 N ağırlıkta 0,1573 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,2442 g aşınma değişimi olmuştur.

Sonuç olarak bu grup numunelerde orijinal numuneye ve difüzyona uğramamış numunelere göre sertlik değerlerinde artış olmuş olup, aşınma değerlerinde dalgalanmalar meydana gelmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında Ce.8 numunesi 4.9 N yükte en düşük aşınma direncine sahip olmuştur.



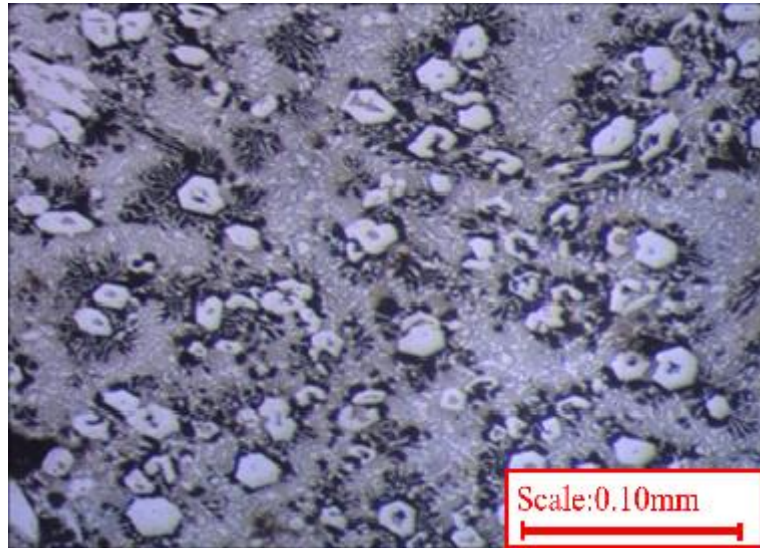
Şekil 7.27. B.9 optik görünümü



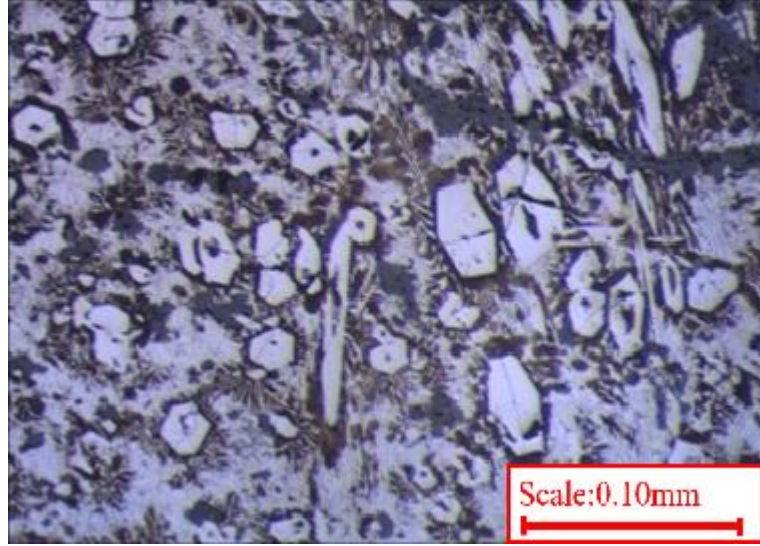
Şekil 7.28. Ce.9 optik görünümü



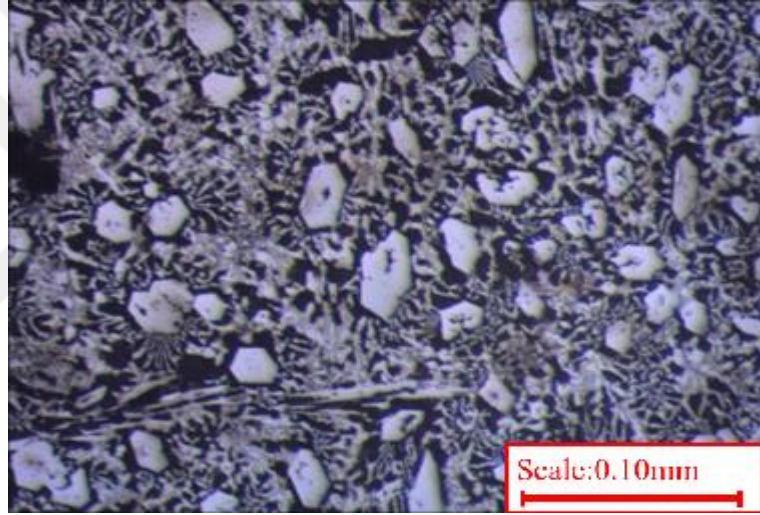
Şekil 7.29. B.10 optik görünümü



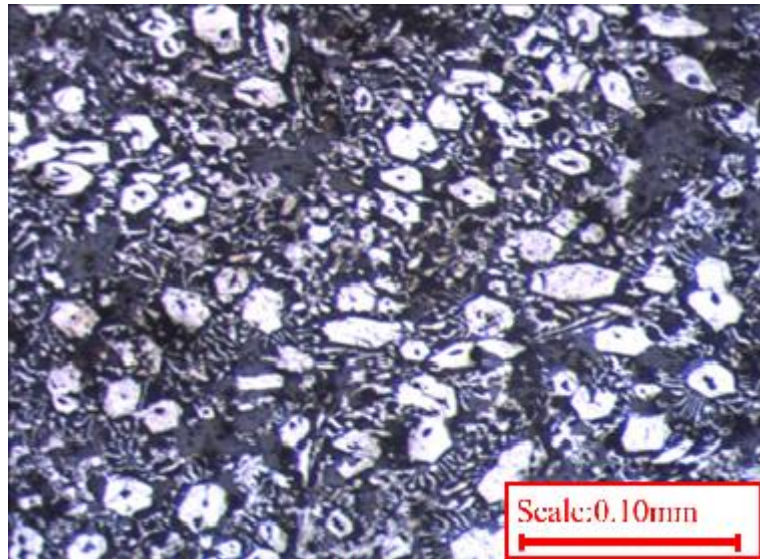
Şekil 7.30. Ce.10 optik görünümü



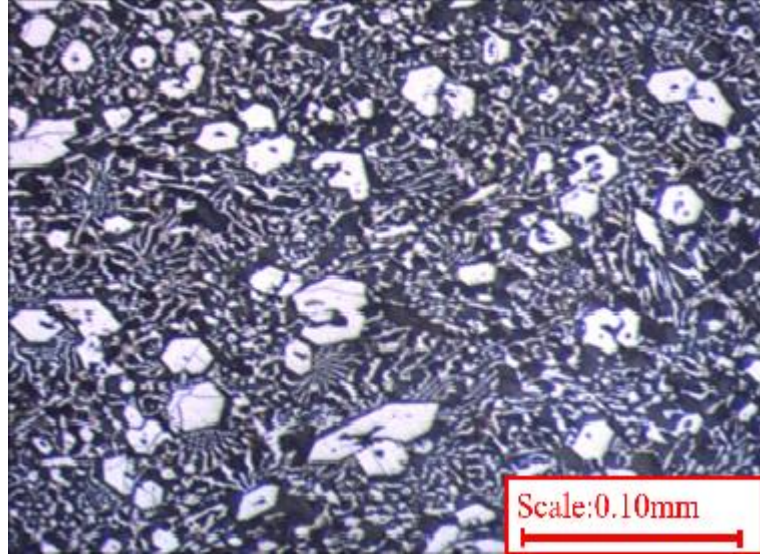
Şekil 7.31. B.11 optik görünümü



Şekil 7.32. Ce.11 optik görünümü



Şekil 7.33. B.12 optik görünümü



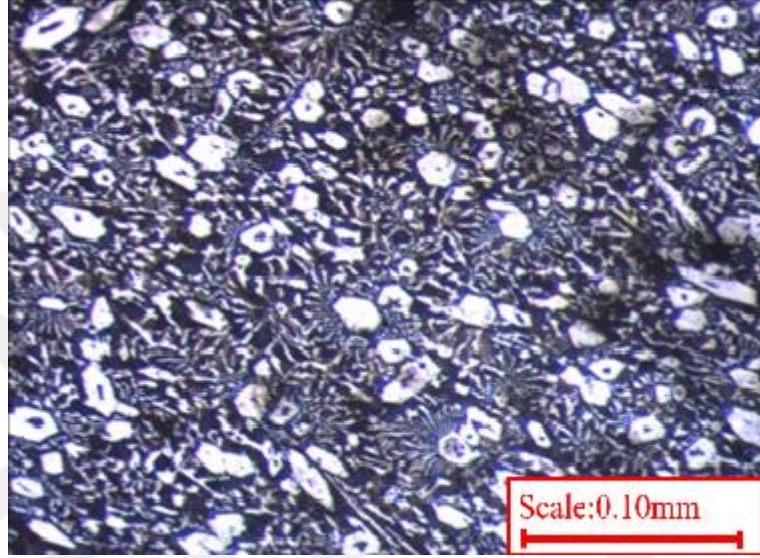
Şekil 7.34. Ce.12 optik görünümü

Şekil 7.27’de B.9 ve şekil 7.28’de Ce.9 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat bekletilerek, 600 °C’de tuz ortamında 3 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 62,27 HRC ve 62,18 HRC ’dir. Şekil 7.29’da B.10 ve şekil 7.30’da Ce.10 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat bekletilerek 600 °C’de tuz ortamında 6 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 50,23 HRC ve 58,78 HRC’ dir. Şekil 7.31’de B.11 ve şekil 7.32’de Ce.11 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat bekletilerek 600 °C’de tuz ortamında 9 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 51,8 HRC ve 53,67 HRC ’dir. Şekil 7.33’te B.12 ve şekil 7.34’te Ce.12 numuneleri ısıtma fırınında 950 °C’de 1 saat bekletilerek 600 °C’de tuz ortamında 12 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 49,07 HRC ve 50,77 HRC’ dir.

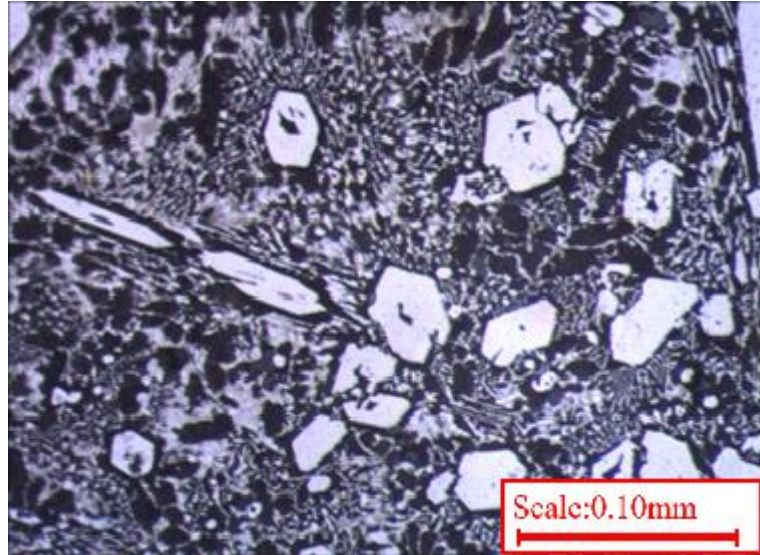
Östenitleşme sıcaklığı ve difüzyon sıcaklığı olarak bir grup gibi düşünersek B ve Ce alaşımli numunelerin sertlikleri birbirine yakındır. Ancak görüldüğü üzere difüzyon bekleme süresi arttıkça malzemenin sertliğinde azalma meydana gelir.

Yapılan aşınma testi sonucunda ise B.9 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,087, 9,8 N ağırlıkta 0,1155 ve 14,7 N ağırlıkta 0,1392 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.9 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,099 g, 9,8 N ağırlıkta 0,1632 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,2455 g aşınma değişimi olmuştur. B.10 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,0787, 9,8 N ağırlıkta 0,1946 ve 14,7 N ağırlıkta 0,2157 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.10 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1075g, 9,8 N

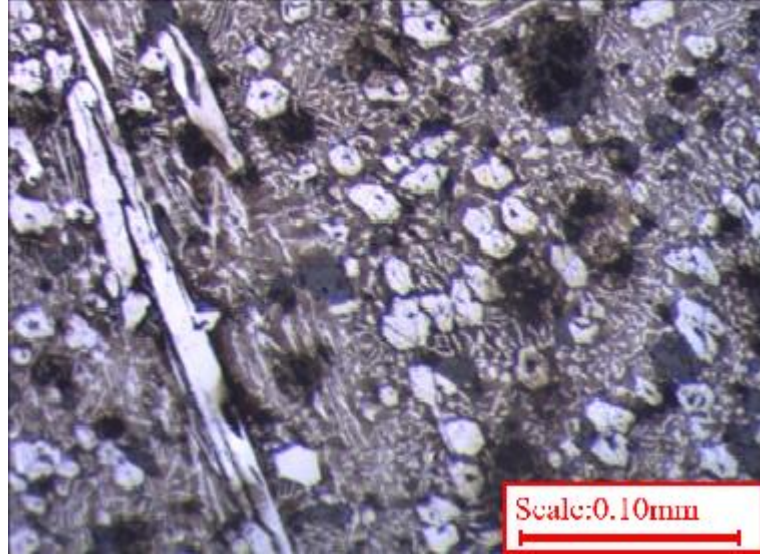
ağırlıkta 0,2022 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,3385 g aşınma değişimi olmuştur. B.11 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1385, 9,8 N ağırlıkta 0,1945 ve 14,7 N ağırlıkta 0,3056 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.11 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,12 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2105 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,2745 g aşınma değişimi olmuştur. B.12 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1029, 9,8 N ağırlıkta 0,2104 ve 14,7 N ağırlıkta 0,2557 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.12 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1492 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2246 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,3174 g aşınma değişimi olmuştur.



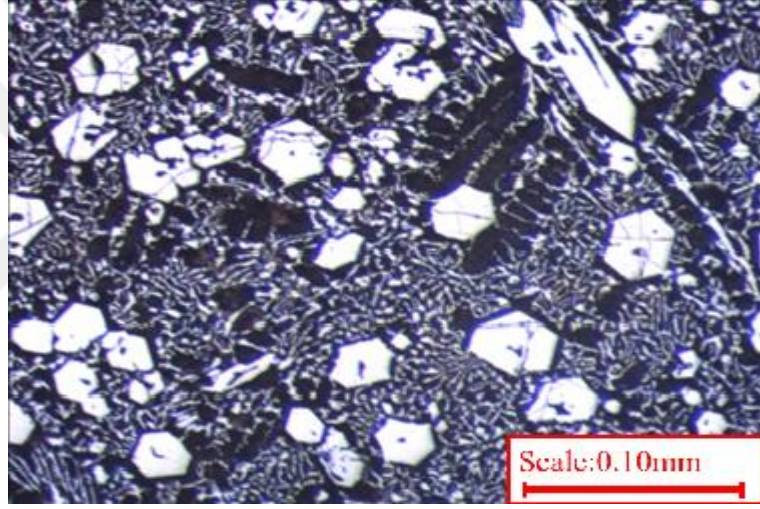
Şekil 7.35. B.13 optik görünümü



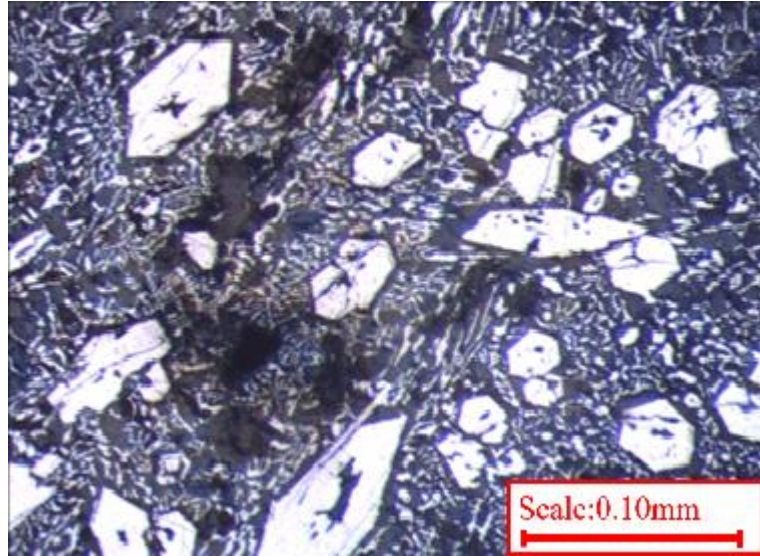
Şekil 7.36. Ce.13 optik görünümü



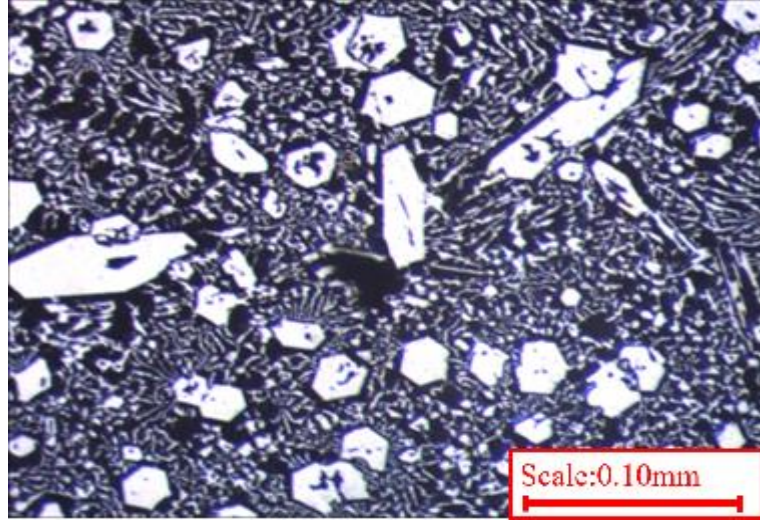
Şekil 7.37. B.14 optik görünümü



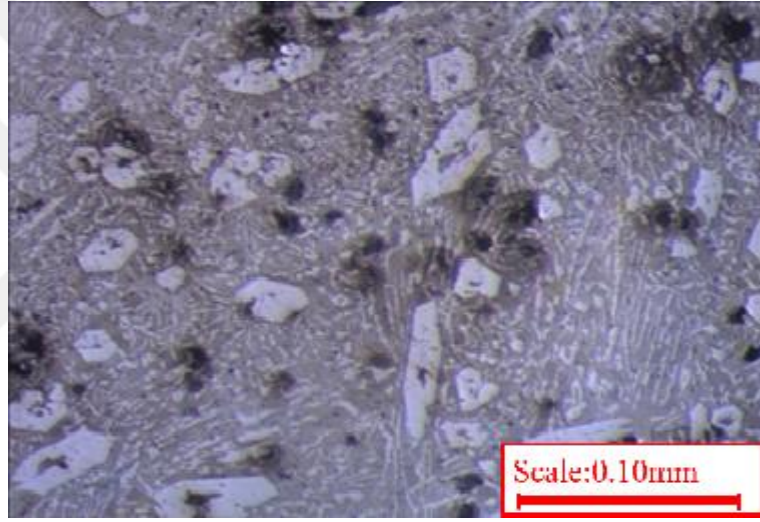
Şekil 7.38. Ce.14 optik görünümü



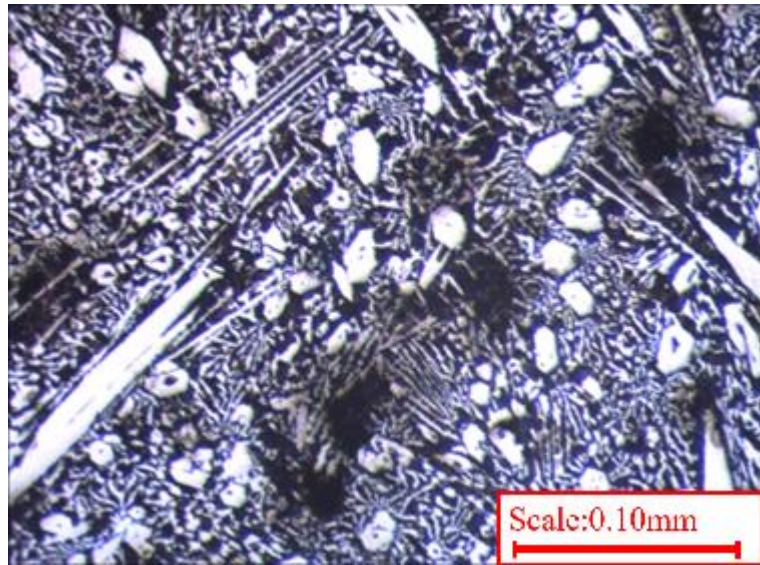
Şekil 7.39. B.15 optik görünümü



Şekil 7.40. Ce.15 optik görünümü



Şekil 7.41. B.16 optik görünümü

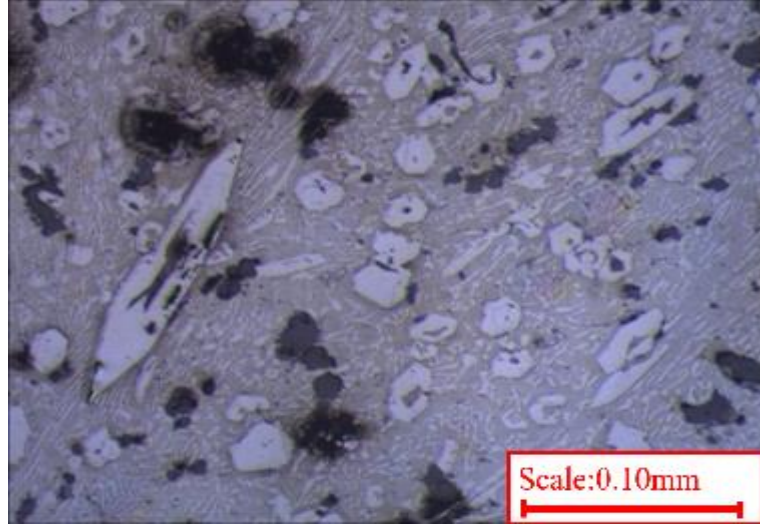


Şekil 7.42. Ce.16 optik görünümü

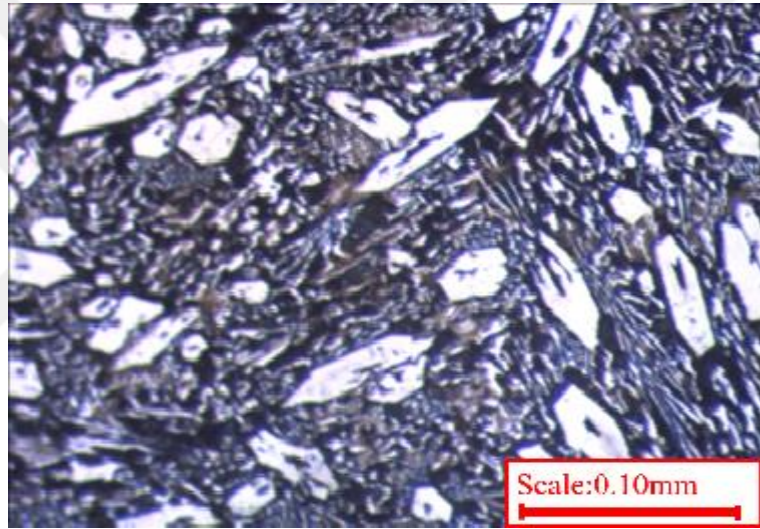
Şekil 7.35'te B.13 ve şekil 7.36'da Ce.13 numuneleri ısıtma işlemi fırınında 950 °C'de 1 saat bekletilerek, 650 °C'de tuz ortamında 3 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 49,05 HRC ve 48,93 HRC 'dir. Şekil 7.37'de B.14 ve şekil 7.38'de Ce.14 numuneleri ısıtma işlemi fırınında 950 °C'de 1 saat bekletilerek 650 °C'de tuz ortamında 6 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 46,92 HRC ve 48 HRC' dir. Şekil 7.39'da B.15 ve şekil 7.40'ta Ce.15 numuneleri ısıtma işlemi fırınında 950 °C'de 1 saat bekletilerek 650 °C'de tuz ortamında 9 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 44 HRC ve 47,93 HRC 'dir. Şekil 7.41'de B.16 ve şekil 7.42'de Ce.16 numuneleri ısıtma işlemi fırınında 950 °C'de 1 saat bekletilerek 650 °C'de tuz ortamında 12 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 47,03 HRC ve 43,33 HRC' dir.

Östenitleşme sıcaklığı ve difüzyon sıcaklığı olarak bir grup gibi düşünürsek B ve Ce alaşımlı numunelerin sertlikleri birbirine yakındır. Ancak görüldüğü üzere difüzyon bekleme süresi arttıkça malzemenin sertliğinde azalma meydana gelir.

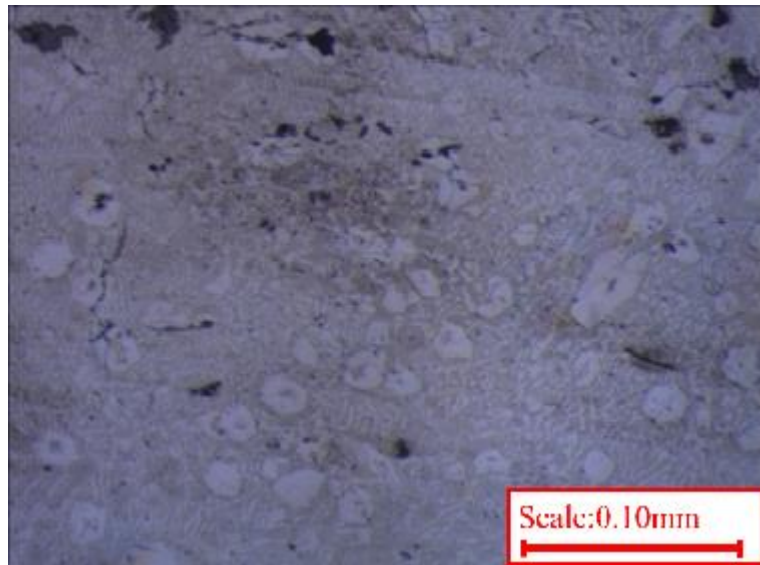
Yapılan aşınma testi sonucunda ise B.13 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1134, 9,8 N ağırlıkta 0,2636 ve 14,7 N ağırlıkta 0,3094 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.13 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,15 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2449 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,4354 g aşınma değişimi olmuştur. B.14 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1618, 9,8 N ağırlıkta 0,2383 ve 14,7 N ağırlıkta 0,3378 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.14 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1603 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2413 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,3737 g aşınma değişimi olmuştur. B.15 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,0966, 9,8 N ağırlıkta 0,2641 ve 14,7 N ağırlıkta 0,3243 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.15 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1595 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2736 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,4215 g aşınma değişimi olmuştur. B.16 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1287, 9,8 N ağırlıkta 0,241 ve 14,7 N ağırlıkta 0,3743 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.16 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1776 g, 9,8 N ağırlıkta 0,3061 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,5375 g aşınma değişimi olmuştur.



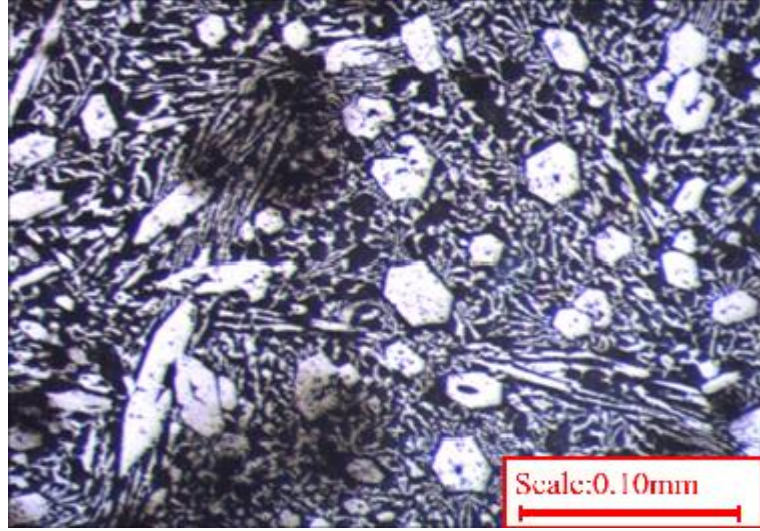
Şekil 7.43. B.17 optik görünümü



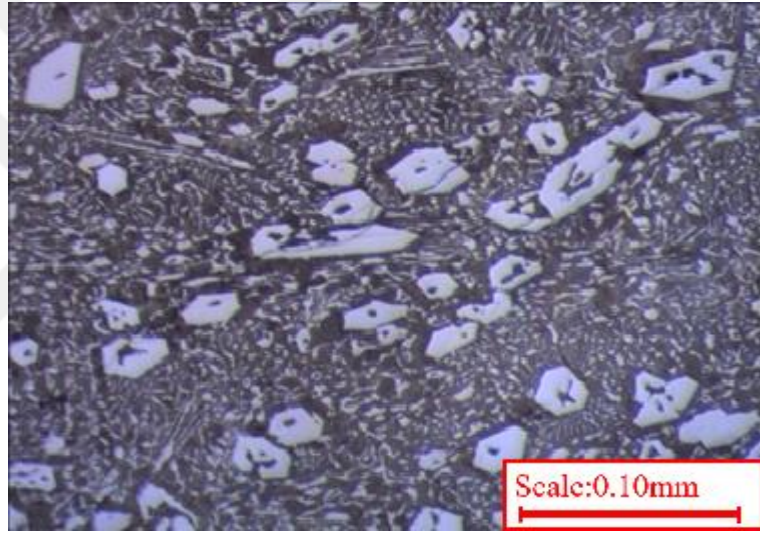
Şekil 7.44. Ce.17 optik görünümü



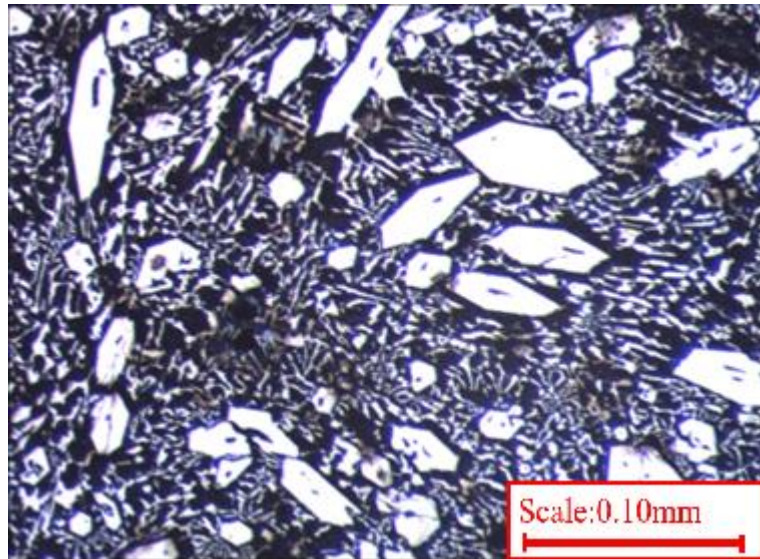
Şekil 7.45. B.18 optik görünümü



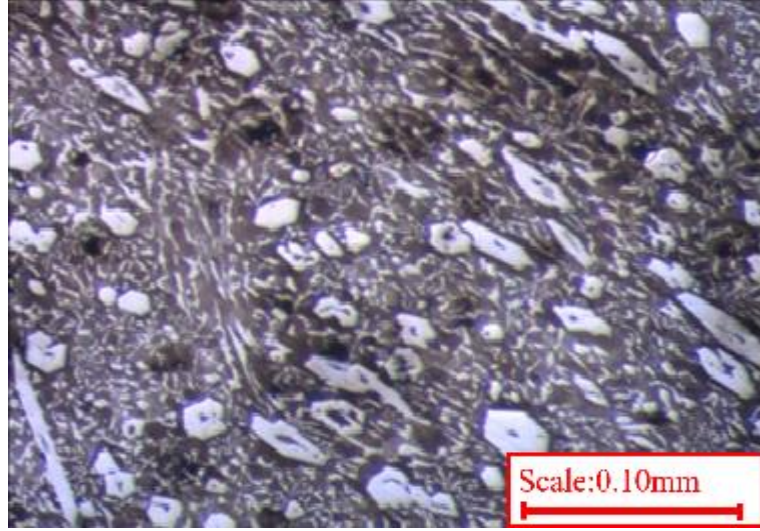
Şekil 7.46. Ce.18 optik görünümü



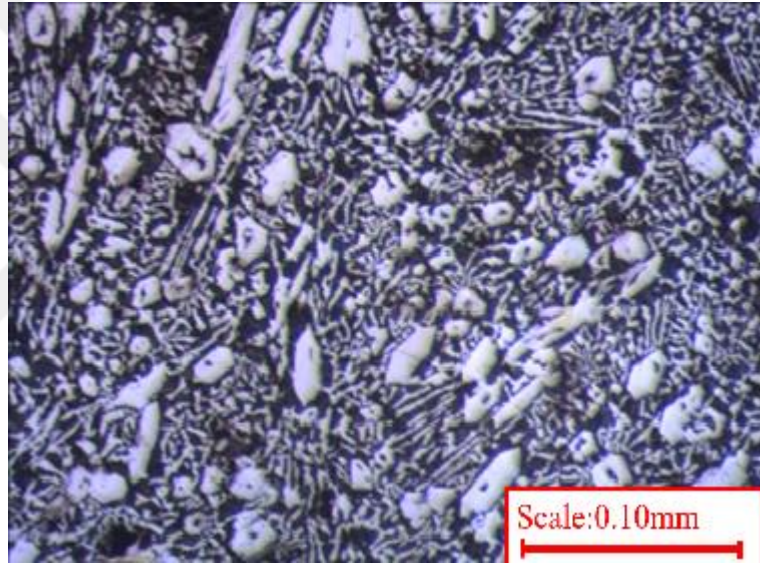
Şekil 7.47. B.19 optik görünümü



Şekil 7.48. Ce.19 optik görünümü



Şekil 7.49. B.20 optik görünümü



Şekil 7.50. Ce.20 optik görünümü

Şekil 7.43'te B.17 ve şekil 7.44'te Ce.17 numuneleri ısıtılma fırınında 950 °C'de 1 saat bekletilerek, 700 °C'de tuz ortamında 3 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 47,33 HRC ve 46,3 HRC 'dir. Şekil 7.45'te B.18 ve şekil 7.46'da Ce.18 numuneleri ısıtılma fırınında 950 °C'de 1 saat bekletilerek 700 °C'de tuz ortamında 6 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 44,1 HRC ve 44,2 HRC 'dir. Şekil 7.47'de B.19 ve şekil 7.48'de Ce.19 numuneleri ısıtılma fırınında 950 °C'de 1 saat bekletilerek 700 °C'de tuz ortamında 9 saat süreli difüzyona maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 42,2 HRC ve 42,6 HRC 'dir. Şekil 7.49'da B.20 ve şekil 7.50'de Ce.20 numuneleri ısıtılma fırınında 950 °C'de 1 saat bekletilerek 700 °C'de tuz ortamında 12 saat süreli difüzyona

maruz bırakılıp havada soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Sertlik değerleri ise sırasıyla B ve Ce olacak şekilde 43,1 HRC ve 43,9 HRC' dir.

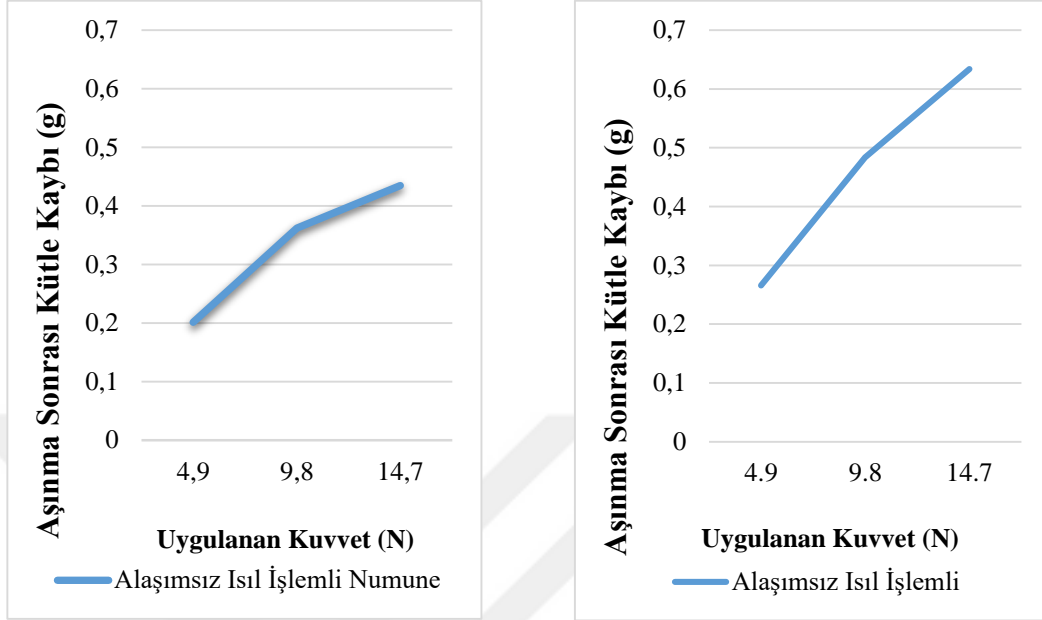
Östenitleşme sıcaklığı ve difüzyon sıcaklığı olarak bir grup gibi düşünürsek B ve Ce alaşımlı numunelerin sertlikleri birbirine yakındır. Ancak görüldüğü üzere difüzyon bekleme süresi arttıkça malzemenin sertliğinde azalma meydana gelir.

Yapılan aşınma testi sonucunda ise B.17 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,113, 9,8 N ağırlıkta 0,2482 g ve 14,7 N ağırlıkta 0,3017 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.17 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1714 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2544 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,3837 g aşınma değişimi olmuştur. B.18 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1592, 9,8 N ağırlıkta 0,269 ve 14,7 N ağırlıkta 0,299 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.18 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1603 g, 9,8 N ağırlıkta 0,3051 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,444 g aşınma değişimi olmuştur. B.19 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1691, 9,8 N ağırlıkta 0,2739 ve 14,7 N ağırlıkta 0,3165 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.19 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1835 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2711 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,5041 g aşınma değişimi olmuştur. B.20 numunesi 4,9 N ağırlıkta 0,1116 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2967 g ve 14,7 N ağırlıkta 0,3792 g aşınma değişimi olmuştur. Ce.20 numunesinde ise 4,9 N ağırlıkta 0,1925 g, 9,8 N ağırlıkta 0,2752 g, 14,7 N ağırlıkta ise 0,448 g aşınma değişimi olmuştur.

Bazı numuneler incelendiğinde ısı işlem sonucunda malzeme yüzeyinde çökmeler ve göçükler meydana gelmiştir. Bu tür numunelerde görülen sorunlar kesinlikle risk almadan deneyler haricinde üretimde kullanılmaması konusunda yol göstermektedir. Yapılan deneyde anlaşılacağı gibi 900 ve 950 °C sıcaklıklardan 950 °C sıcaklığı sertlik değerini ve aşınma direncini de istenildiği üzere artırmak için iyi bir sıcaklıktır. Aynı zamanda bu işlemlerde aşınma direnci yükseltildiği gibi düşürmekte istenilebilir. Aynı sıcaklıkta farklı koşullar altında istenilen yumuşaklığa ulaşılabilir. Ancak her durumda alaşımsız malzemenin sertliğinden ve aşınma direncinden yüksek değerler ortaya çıkacaktır. Sertlik ve aşınma direnci baz alındığında istenilen özellikler için zaman ve maddi kayıpların ortaya çıkmaması için tercih edilecek yöntem 950 °C'de 2 saat ısı işlemine tabi tutulup suda soğutma işlemi yapılabilir.

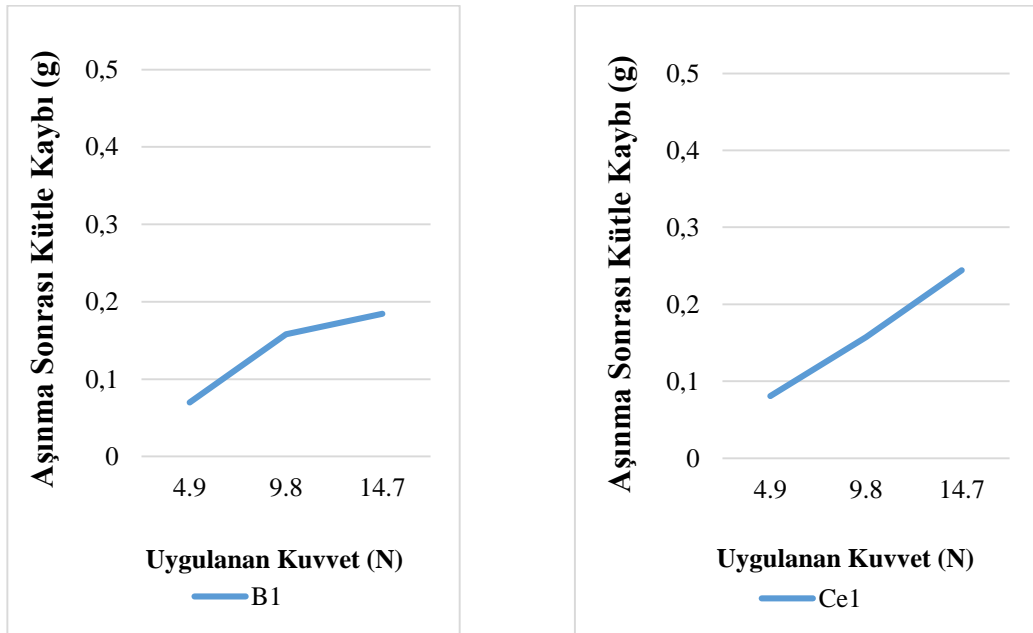
Mikroskop görüntüleri göz önüne alındığında içyapıda karbürler açısından çok büyük bir fark yoktur. Ancak aşınma dirençleri ve sertliklerle ilgili olumlu sonuçlar alınmıştır. Sertliklerle ilgili olarak malzemeye ne kadar fazla ısı işlem uygulanırsa o derecede sertliği azaldığı tespit edilmiştir.

Numuneler çeşitli yükler altında aşınma testine tabi tutulmuş ve burada en fazla aşınan 14,7 N ağırlığı altında 0,5375 g aşınma test sonucu çıkan Ce.16 numunesidir. En az aşınan 4,9 N ağırlığı altında 0,0808 g aşınma test sonucu çıkan Ce.1 ve Ce.8 numuneleridir.



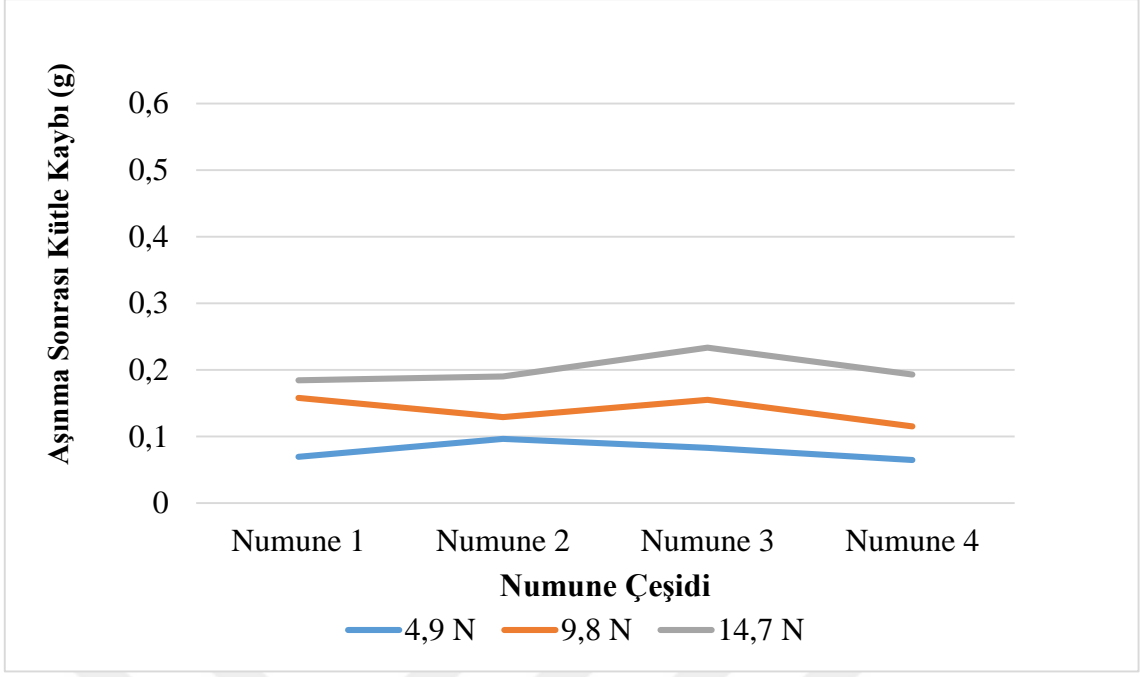
Şekil 7.51. Alaşım-sız numunelerin yük altında aşınma miktarları

Alaşım-sız olan numuneler şekil 7.51.'de görüldüğü üzere uygulanan kuvvet arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır.



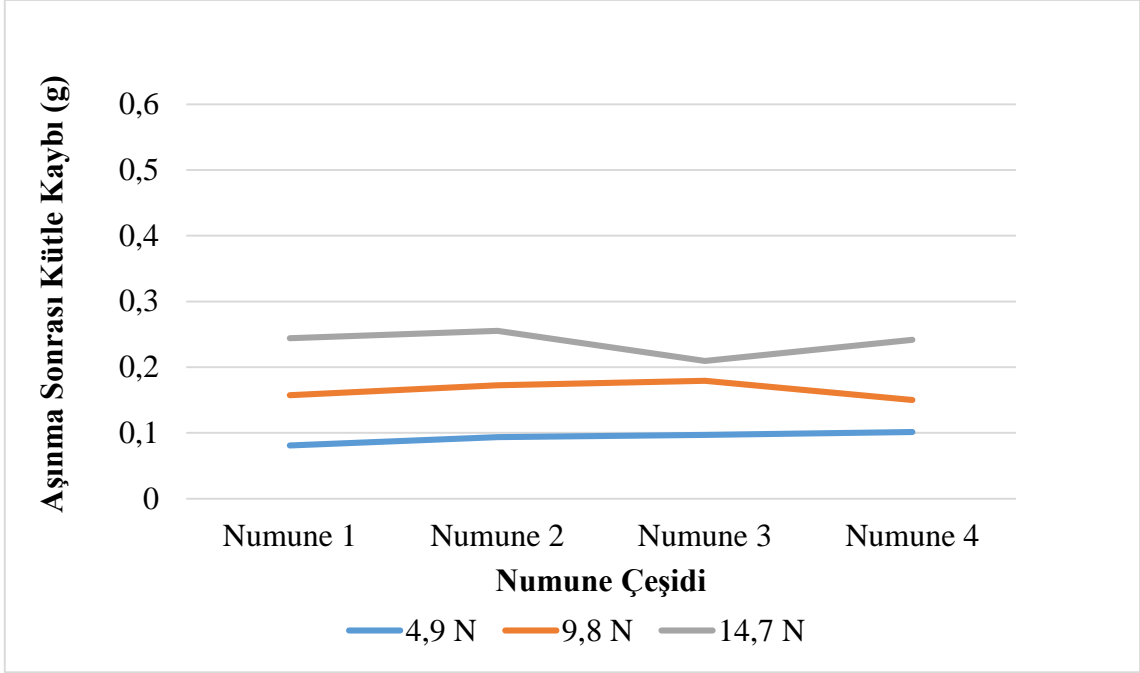
Şekil 7.52. 1 numaralı alaşım-lı numunelerin yük altında aşınma miktarları

B ve Ce alaşım-lı 1 numaralı numunelerin şekil 7.52.'de görüldüğü üzere kuvvet artışı ile aşınma miktarı paralellik göstererek artmaktadır. Numuneler için yapılan grafikler aynı doğrultuda olduğundan dolayı diğer numunelerin grafikleri Ekler bölümünde yer almaktadır.



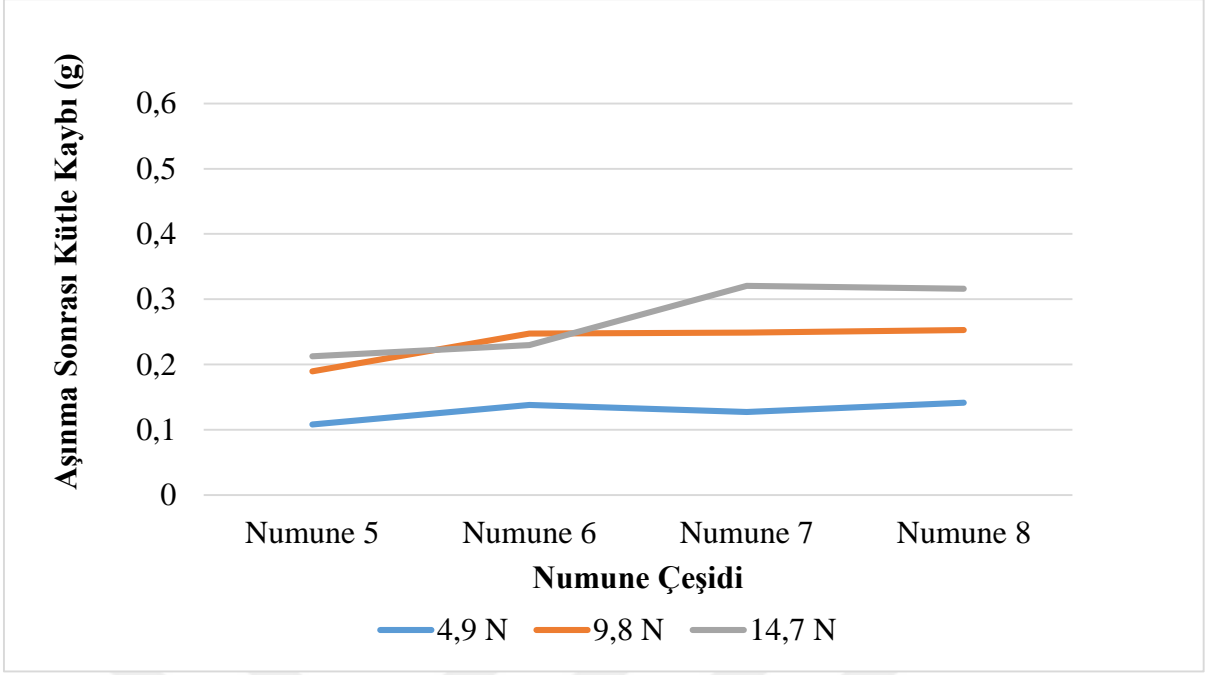
Şekil 7.53. B Alaşımlı Malzemeye Doğrudan Su Verme Grafiği

Doğrudan su verme işlemi ile soğutulan malzemelerin aşınma testi sonucu kütle kayıpları şekil 7.53'te belirtilmiştir.

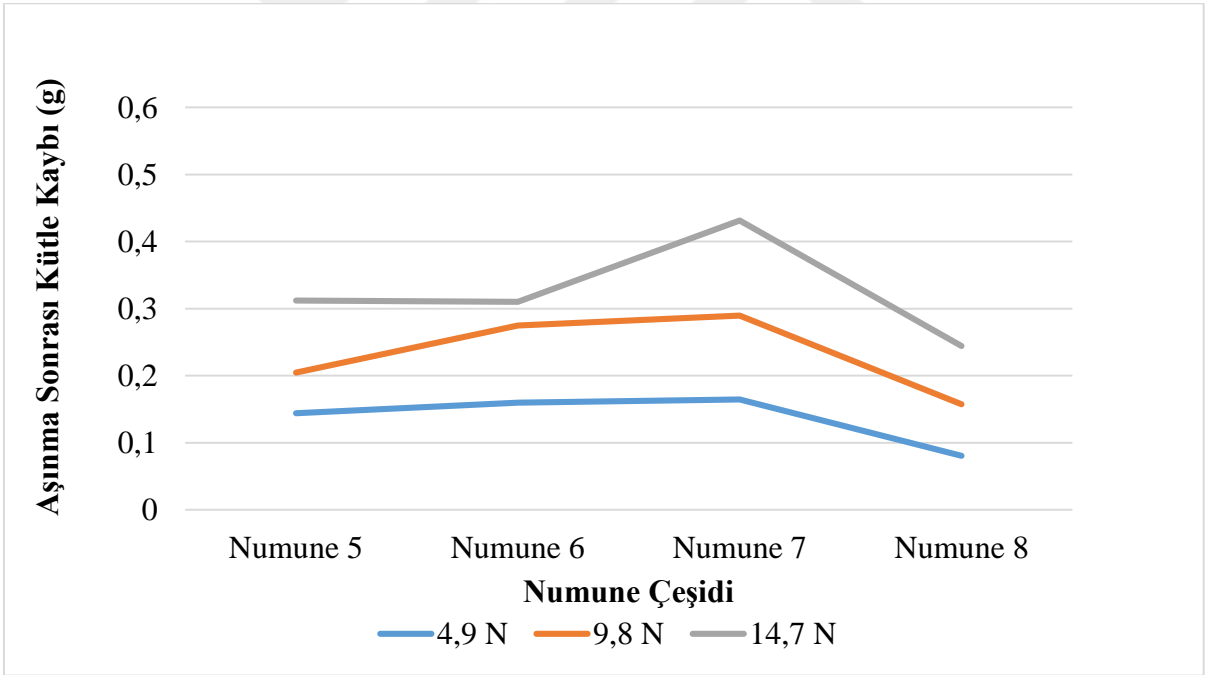


Şekil 7.54. Ce Alaşımlı Malzemeye Doğrudan Su Verme Grafiği

Çizelge 7.3.'teki değerler göz önüne alınarak oluşturulan şekil 7.53 ve şekil 7.54'te yüke bağlı aşınma değerleri çizelgelerinde de görüldüğü üzere doğrudan su vermede en iyi aşınma değeri (en az aşınma değeri) B alaşım malzeme için 2 saat 950 °C de işlem gören 4. numune, Ce alaşım malzeme için ise 1 saat 900 °C de işlem gören 1. numunedir. Burada en iyi sonuç 4. numunenin 4.9 N kuvvet altında ortaya çıkan aşınma değeri 0,0646'dır.

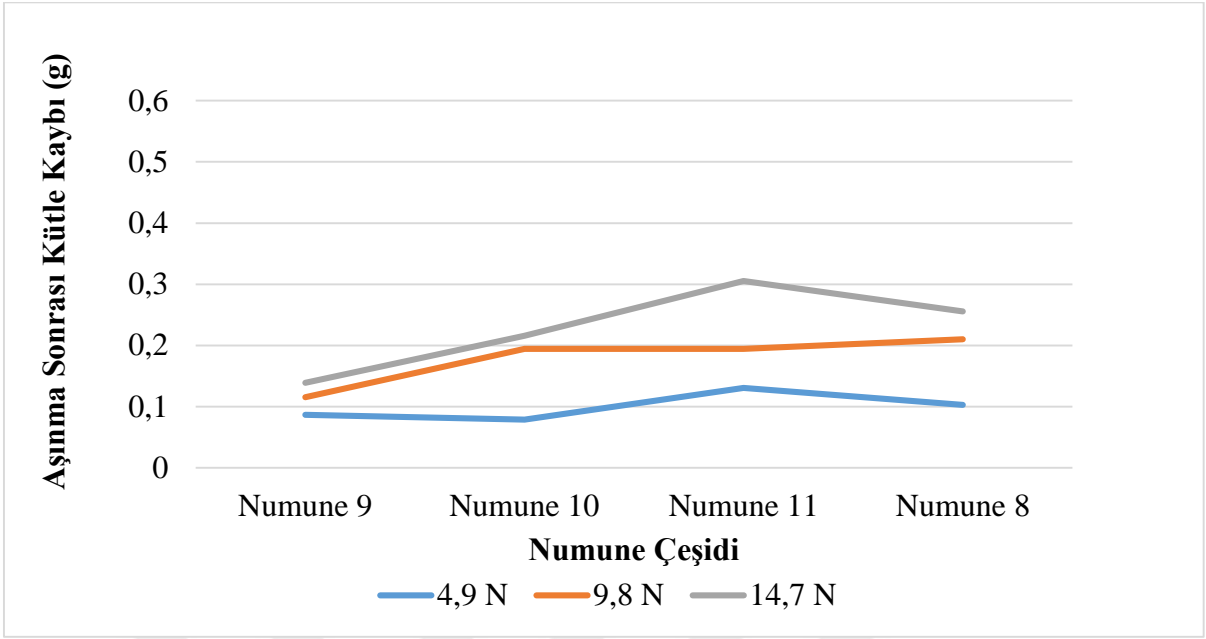


Şekil 7.55. 550 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan B Alaşımılı Numunelerin Aşınma Değerleri

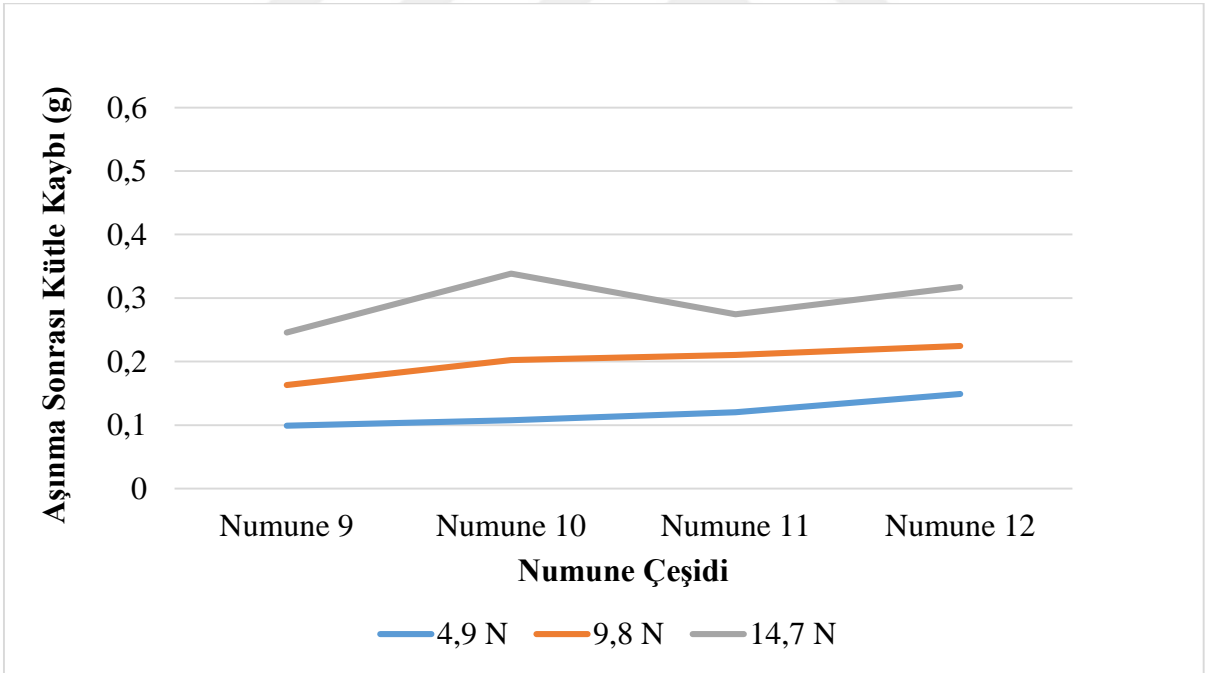


Şekil 7.56. 550 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan Ce Alaşımılı Numunelerin Aşınma Değerleri

Çizelge 7.3.'teki değerler göz önüne alınarak oluşturulan şekil 7.55 ve şekil 7.56'da yüke bağlı aşınma değerleri çizelgelerinde de görüldüğü üzere 550 °C difüzyon sıcaklığında en iyi aşınma değeri B alaşımılı malzeme için 1 saat 950 °C de işlem gören 5. numune, Ce alaşımılı malzeme için ise 1 saat 950 °C de işlem gören 8. numunedir. Burada en iyi sonuç 8. numunenin 4.9 N kuvvet altında ortaya çıkan aşınma değeri 0,0808'dir.

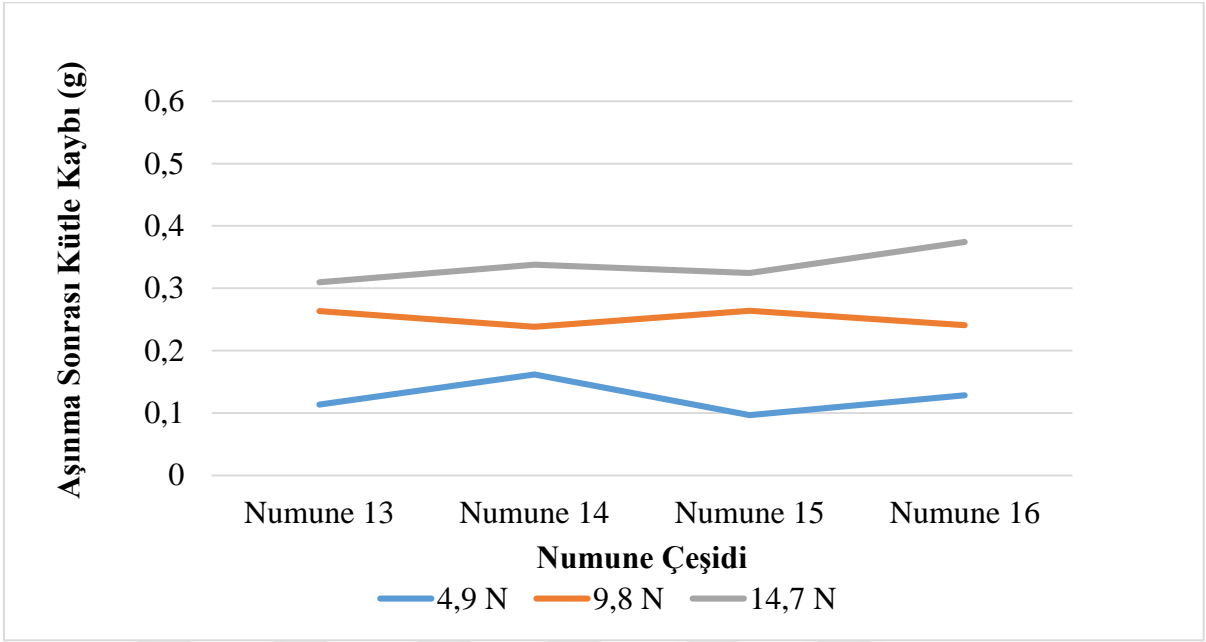


Şekil 7.57. 600 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan B Alaşımli Numunelerin Aşınma Değerleri

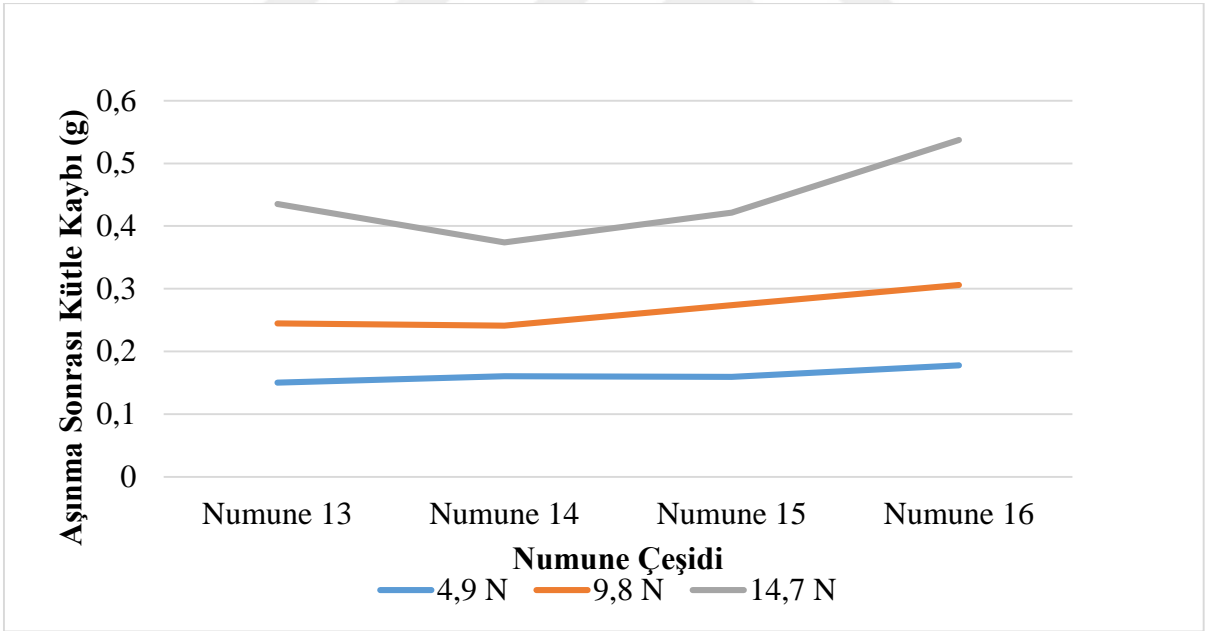


Şekil 7.58. 600 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan Ce Alaşımli Numunelerin Aşınma Değerleri

Çizelge 7.3.'teki değerler göz önüne alınarak oluşturulan şekil 7.757 ve şekil 7.58 yüke bağlı aşınma değerleri çizelgelerinde de görüldüğü üzere 600 °C difüzyon sıcaklığında en iyi aşınma değeri B alaşımli malzeme için 1 saat 950 °C de işlem gören 10. numune, Ce alaşımli malzeme için ise 1 saat 950 °C de işlem gören 9. numunedir. Burada en iyi sonuç 10. numunenin 4.9 N kuvvet altında ortaya çıkan aşınma değeri 0,087'dir.

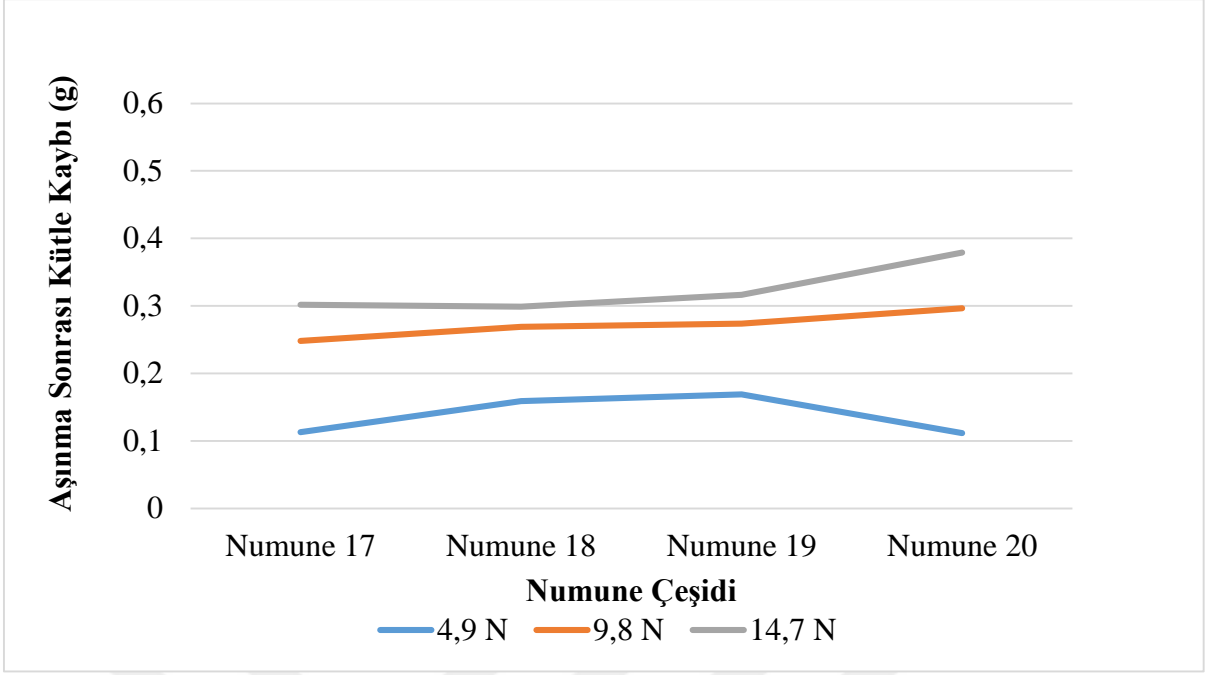


Şekil 7.59. 650 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan B Alaşımli Numunelerin Aşınma Değerleri

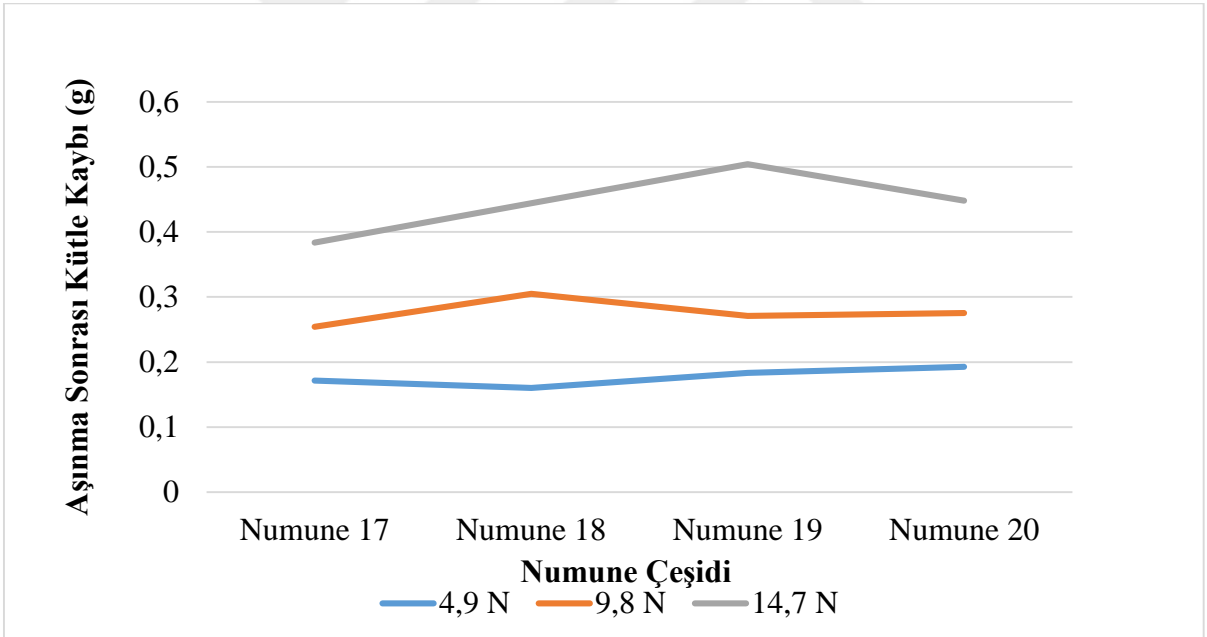


Şekil 7.60. 650 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan Ce Alaşımli Numunelerin Aşınma Değerleri

Çizelge 7.3.'teki değerler göz önüne alınarak oluşturulan şekil 7.59 ve şekil 7.60'da yüke bağlı aşınma değerleri çizelgelerinde de görüldüğü üzere 650 °C difüzyon sıcaklığında en iyi aşınma değeri B alaşımli malzeme için 1 saat 950 °C de işlem gören 15. numune, Ce alaşımli malzeme için ise 1 saat 950 °C de işlem gören 13. numunedir. Burada en iyi sonuç 15. numunenin 4,9 N kuvvet altında ortaya çıkan aşınma değeri 0,0966'dır.

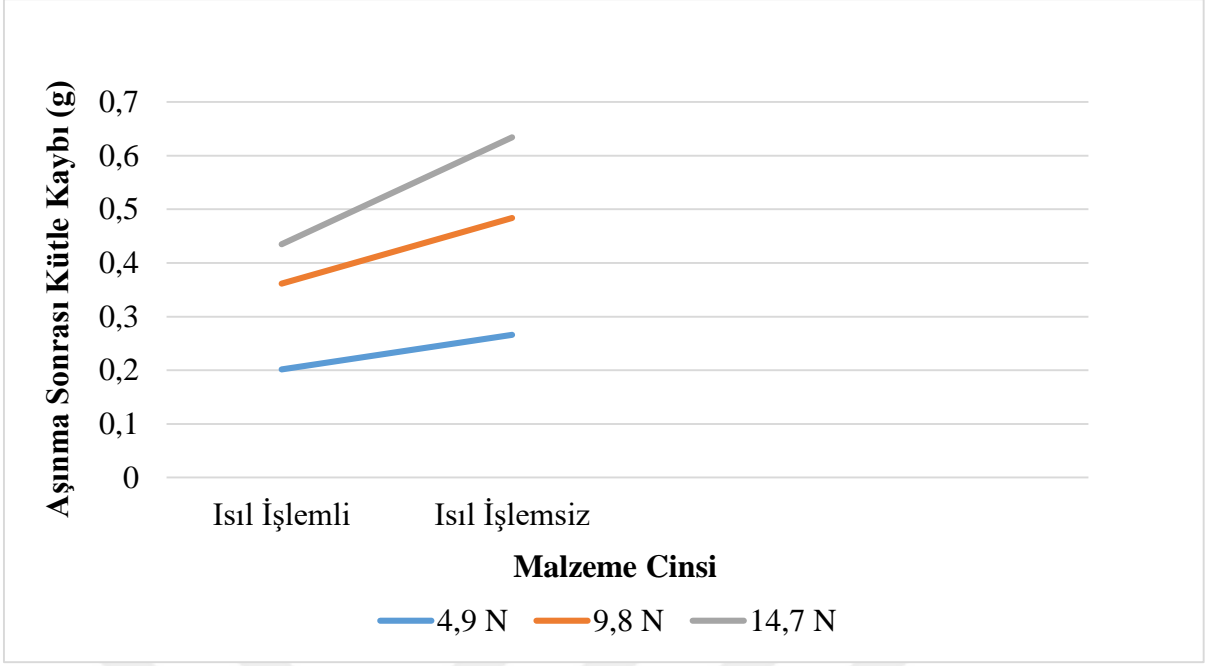


Şekil 7.61. 700 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan B Alaşımli Numunelerin Aşınma Değerleri



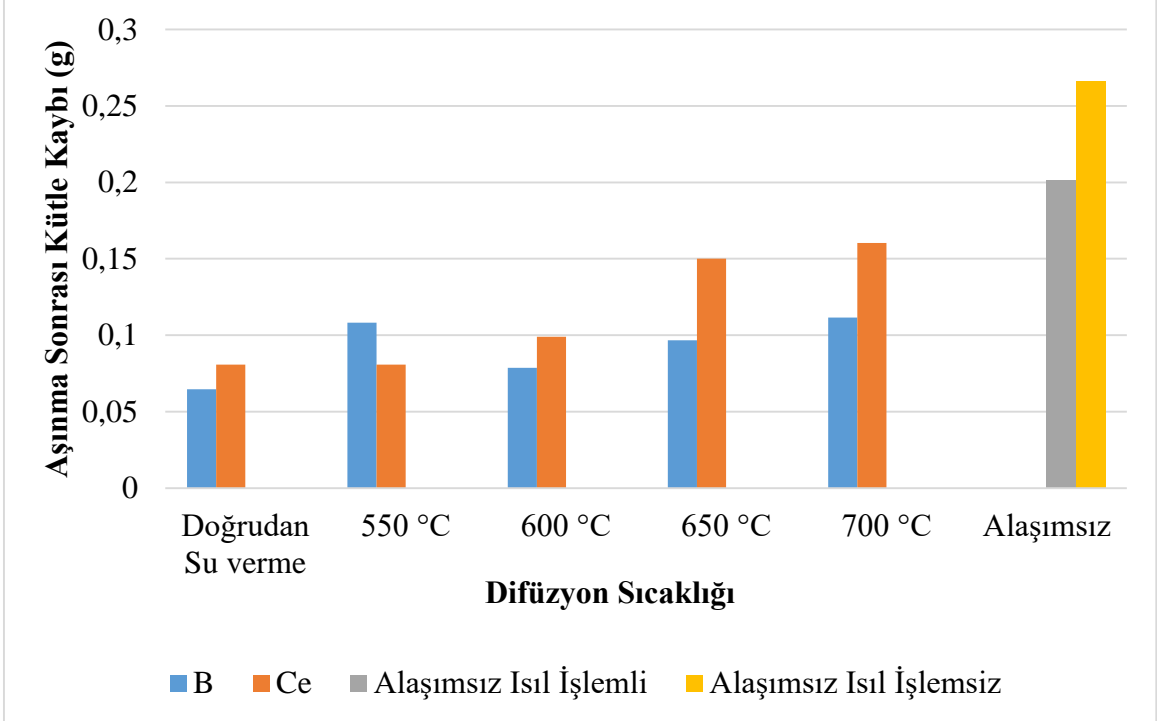
Şekil 7.62. 700 °C Difüzyon İşlemi Uygulanan Ce Alaşımli Numunelerin Aşınma Değerleri

Çizelge 7.3.'teki değerler göz önüne alınarak oluşturulan şekil 7.61 ve şekil 7.62'de yüke bağlı aşınma değerleri çizelgelerinde de görüldüğü üzere 700 °C difüzyon sıcaklığında en iyi aşınma değeri B alaşımli malzeme için 1 saat 950 °C de işlem gören 20. numune, Ce alaşımli malzeme için ise 1 saat 950 °C de işlem gören 18. numunedir. Burada en iyi sonuç 20. numunenin 4.9 N kuvvet altında ortaya çıkan aşınma değeri 0,1116'dır.



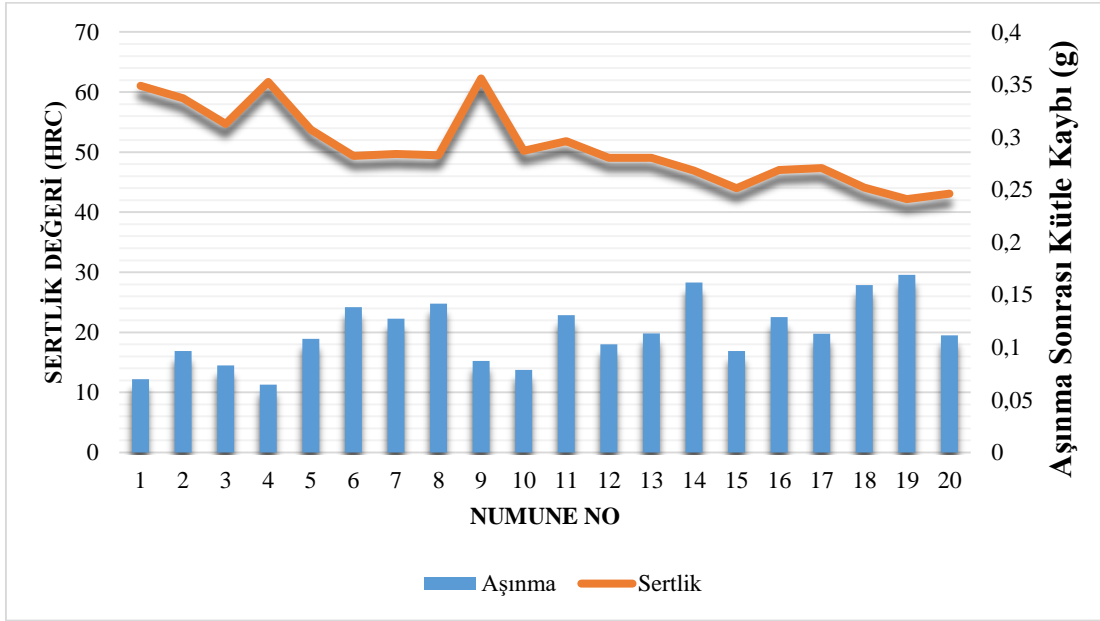
Şekil 7.63. Alaşımısız malzemelerin aşınma miktarı

Çizelge 7.4.'teki değerler göz önüne alınarak oluşturulan şekil 7.63'te yüke bağlı aşınma değerleri çizelgelerinde de görüldüğü üzere alaşımısız ısıl işlem görmüş numunedeki en iyi sertlik değeri 4.9 N ağırlık altında ortaya çıkan 0,2014 ve ısıl işlemsiz malzeme için ise en iyi sertlik değeri yine 4.9 N ağırlık altında ortaya çıkan 0,2658'dir.



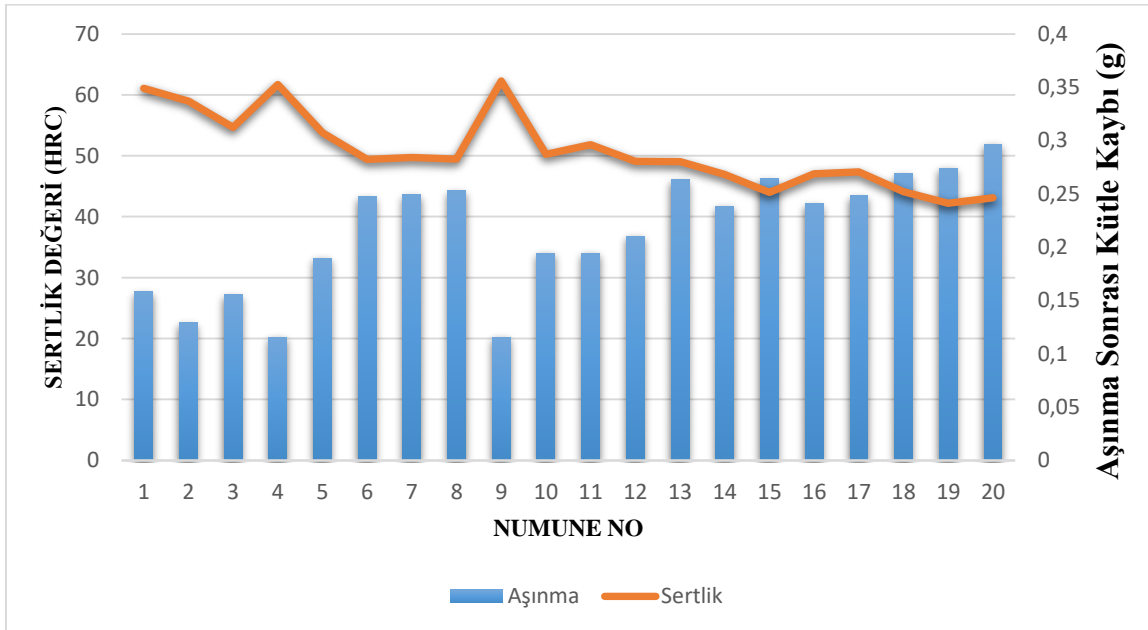
Şekil 7.64. Difüzyon sıcaklıklarına göre aşınma miktarı

Bu kapsamda şekil 7.64'te görüldüğü üzere en iyi aşınma değeri doğrudan su verme işleminde 2 saat 950 °C sıcaklıkta işlem gören ve 4.9 N ağırlık altında ortaya çıkan 4. numunenin aşınma değeri olan 0,0646'dır.



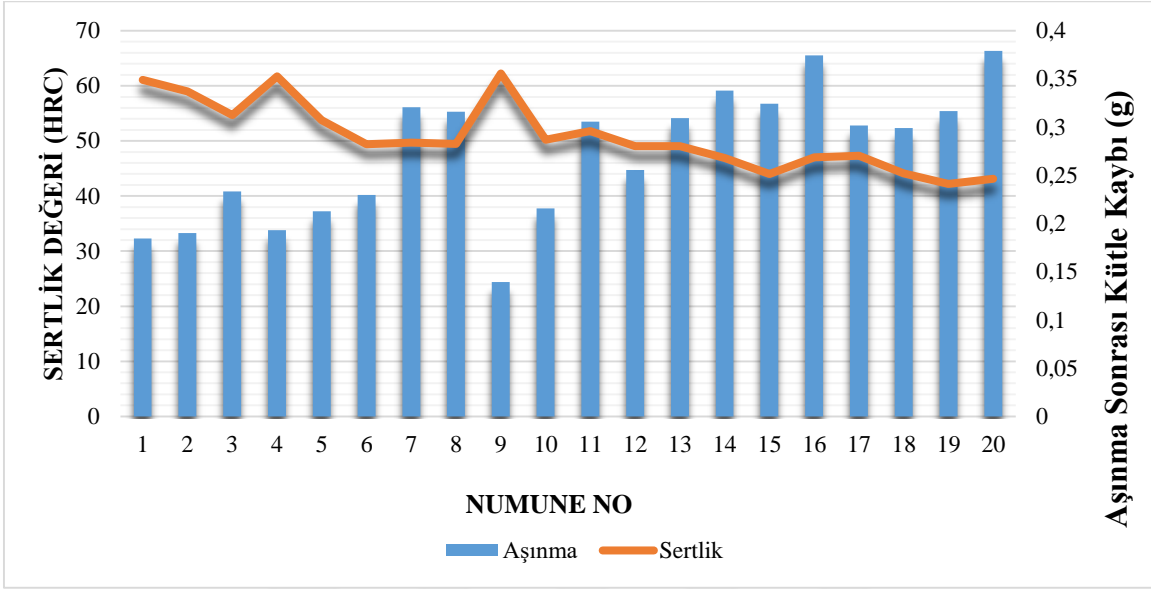
Şekil 7.65. B alaşımli numunelerin 4.9 N yük altında aşınma ve sertliği

Şekil 7.65.'te görüldüğü üzere sertlik değeri ve aşınma direncinin en yüksek 950 °C'de 1 saat östenitleşme sıcaklığında tutulan, tuzlu ortamda 600 °C'de 3 saat difüzyon işlemine tabi tutulup havada soğutma işlemi uygulanan 9 numaralı numunedir. Şekilde de görüldüğü üzere 8. ve 9. numune arasında sertlik değerinde gözle görülür fark bulunmaktadır. Bu farkın toklukla ilgili olabileceği değerlendirilmektedir.



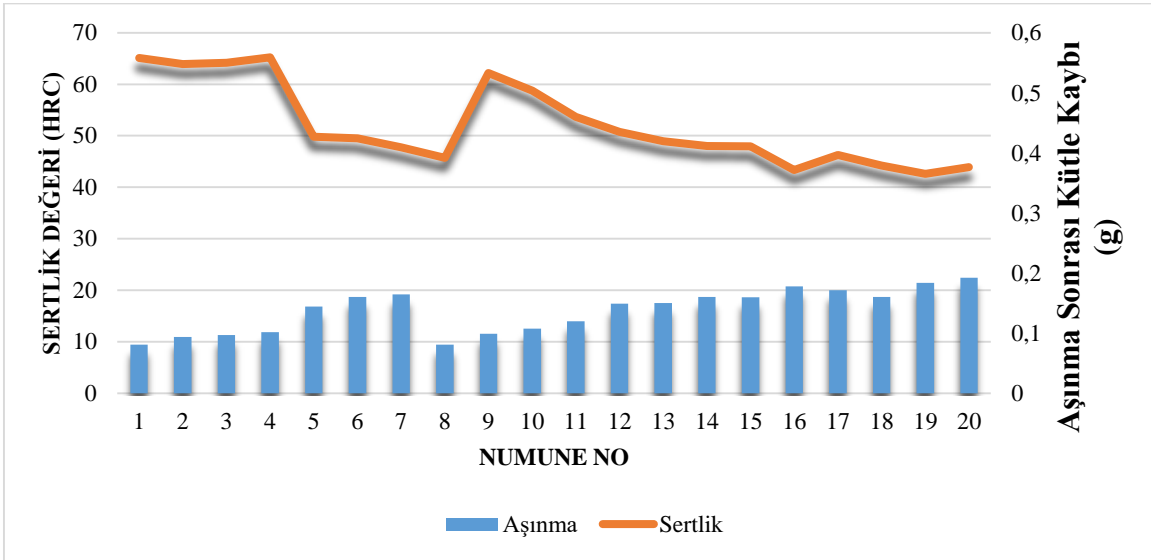
Şekil 7.66. B alaşımli numunelerin 9.8 N yük altında aşınma ve sertliği

Şekil 7.66'da görüldüğü üzere sertlik değeri ve aşınma direncinin en yüksek 950 °C'de 1 saat östenitleşme sıcaklığında tutulan, tuzlu ortamda 600 °C'de 3 saat difüzyon işlemine tabi tutulup havada soğutma işlemi uygulanan 9 numaralı numunedir. 8. ve 9. numune arasında sertlik değerindeki fark numuneye uygulanan kuvvetle bağlantılı olmadığı görülmektedir.



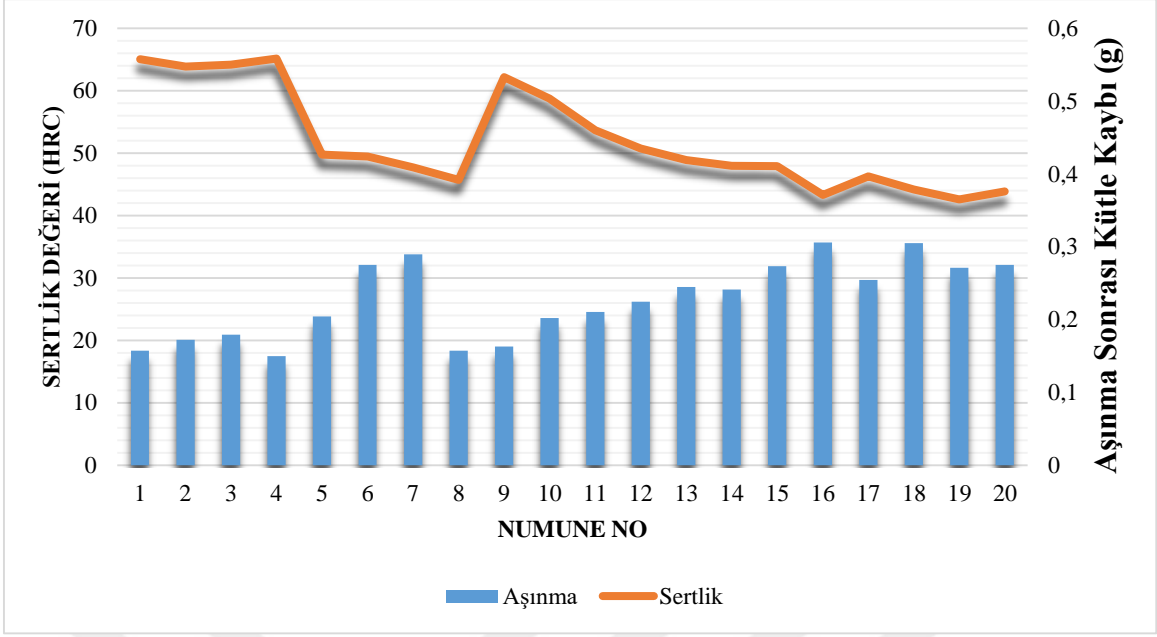
Şekil 7.67. B alaşımli numunelerin 14.7 N yük altında aşınma ve sertliği

Şekil 7.67'de görüldüğü üzere malzemeye uygulanan kuvvet arttıkça aşınma miktarı artar.



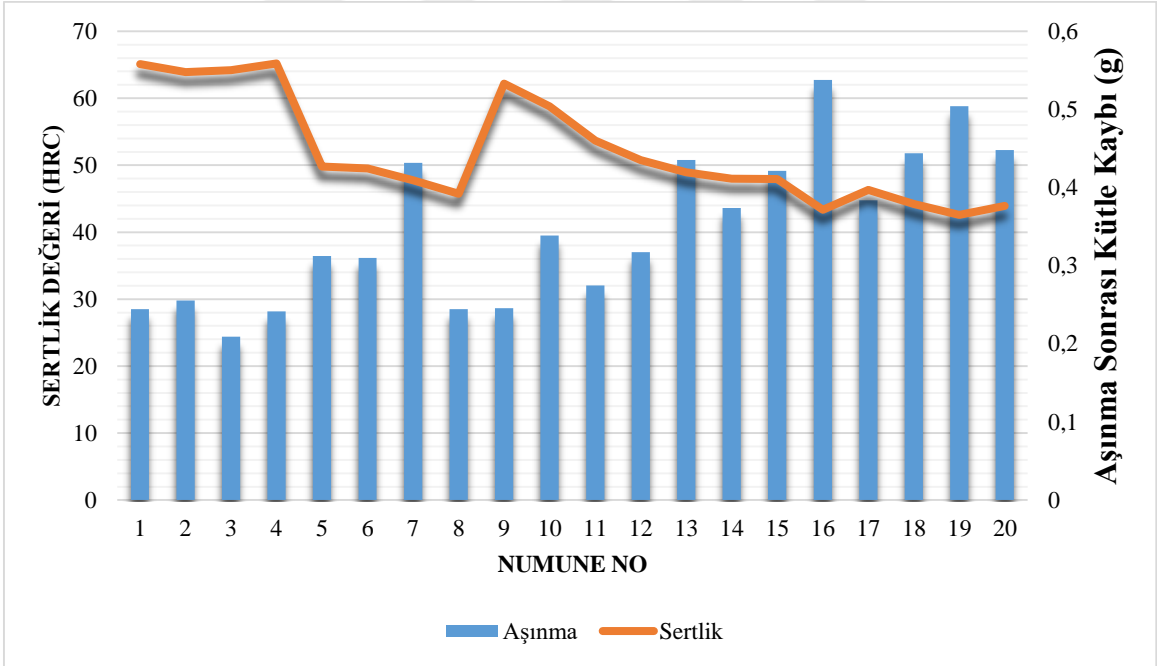
Şekil 7.68. Ce Alaşımli numunelerin 4.9 N yük altında aşınma ve sertliği

Şekil 7.68'de görüldüğü üzere sertlik değeri ve aşınma direncinin en yüksek 900 °C'de 1 saat östenitleşme sıcaklığında tutulan, suda soğutma işlemi uygulanan 1 numaralı numunedir. Şekilde de görüldüğü üzere 8. ve 9. numune arasında sertlik değerinde gözle görülür fark bulunmaktadır. Bu farkın toklukla ilgili olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 7.69. Ce Alaşımli numunelerin 9.8 N yük altında aşınma ve sertliği

Şekil 7.69.'da görüldüğü üzere sertlik değeri ve aşınma direncinin en yüksek 900 °C'de 1 saat östenitleşme sıcaklığında tutulan, suda soğutma işlemi uygulanan 1 numaralı numunedir.



Şekil 7.70. Ce Alaşımli numunelerin 14.7 N yük altında aşınma ve sertliği

Şekil 7.70'de görüldüğü üzere uygulamada tercih edilmeyecek olan aşınma direnci ve sertliği de düşük olan 950°C'de östenitleşme sıcaklığında 1 saat bekletilen, tuzlu ortamda 650°C'de 12 saat difüzyon işlemine tabi tutulan ve havada soğutma işlemine tabi tutulan 16. numunedir.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yüksek kromlu beyaz dökme demir (YKBDD) malzemedan üretilen ve bu malzemenin B ve Ce alaşımları ile alaşımlandırılmış numunelerin talaşlı imalat işlemlerinden geçerek 15 mm çapında küçük numuneler haline getirilmiş ve farklı sürelerde ve sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulmuştur. Müteakibinde tuzlu suda ve havada soğuma işlemleri uygulanmıştır. Tüm bu işlemlerin numunelerin iç yapısında değişikliğe sebep olduğu tespit edilmiştir. Metalografik çalışmalarda tespit edilen bu mikro yapıdaki değişiklikler neticesinde malzemelerin aşınma dirençleri ve sertliklerini de etkilemiştir.

Sertlik değeri en yüksek bulunan Ce alaşımlı malzemelerden ise 950 °C’de 2 saat ısıl işleme tabi tutulmuş ve suda soğumaya bırakılan 65,2 HRC sertlik değerine sahip bulunan Ce.4 numunesidir. Müteakibinde B alaşımlı malzemelerden 950 °C’de 1 saat ısıl işleme tabi tutulmuş ve 600 °C tuz ortamında 3 saat soğutmaya bırakılmış ve son olarak havada soğumaya bırakılan 62,27 HRC sertlik değeri olan B.9 numunesidir.

Sertlik değerlerinin önemli olduğu kadar malzemenin uygulama alanlarında kullanımında etkili olması da önemlidir. Malzemenin sertliğinin yüksek olmasının yanında tokluğununda yüksek olması istenir. İlk dört numune iki alaşımda da doğrudan su verme işlemine tabi tutulmuştur. Sertlikle ilgili şekiller incelendiğinde genel anlamda bu sekiz numunenin sertliği çok yüksek çıkmaktadır. Doğrudan su verme işlemine tabi tutulan malzemeler kırılğan yapıya sahip oldukları için YKBDD’lerin kullanılacağı alanlarda tercih edilmeyeceği değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda tercih edilebilecek yüksek aşınma direncine ve sertliğe sahip olan, Ce alaşımlı numuneler arasında 950°C’de 1 saat östenitleşme sıcaklığında bekletilen, tuzlu ortamda 600°C’de 3 saat difüzyon işlemine tabi tutulan ve son olarak havada soğumaya bırakılan ve 62,18 HRC sertlik değerine sahip 9 numaralı numunedir. B alaşımlı numuneler arasından ise 950°C’de 1 saat östenitleşme sıcaklığında bekletilen, tuzlu ortamda 600°C’de 3 saat difüzyon işlemine tabi tutulan ve son olarak havada soğumaya bırakılan ve 62,27 HRC sertlik değerine sahip 9 numaralı numunedir.

En yüksek sertlik ve aşınma direncini tespit etmek maksadıyla sıcaklık olarak 950 °C sıcaklıkta ölçüm yapılmıştır. Buradan yola çıkarak, bu tür alaşımlı malzeme ile yapılacak çalışmalarda tespit edilen mikro yapı değişiklikleri, aşınma dirençleri ve sertlik değerleri

mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. İstenilen performans, aşınma direnci, sertlik vb. özellikler özellikle bu tür malzemelerin günlük hayatta kullanılan öğütücüler, kırıcılar ve kesici takımlar için önem arz etmektedir.

Üretimde kullanılan ötektiküstü yüksek kromlu beyaz dökme demirler nihai duruma getirilene kadar belirli işlemlerden geçer. Bu işlemlerde maliyetin düşük, kalitenin yüksek olması önem arz etmektedir.

Numunelerin farklı sıcaklık ortamlarına tabi tutulması ile sertliklerinde ve aşınma değerlerinde dalgalanmalar gözlenmiş olsa da genel olarak bakıldığında malzemelere her ne kadar fazla ısı işleme tabi tutulursa sertlik değerleri azalır. Ancak bu durumlarda dahi ortalama bulunan değerler orijinal numunenin sertliğinden fazladır.



9. KAYNAKÇA

- Akdemir, Ö. (1994). Alaşımly Beyaz Dökme Demirlerin Mikro Yapı Analizi ve Aşınma Özellikleri. İstanbul.
- Arıkan, M. M. (1999). Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Alaşım Etkilerinin ve Isıl İşlemin Etkisi. İstanbul.
- Blickensderfer, R., & Tylczak, J. H. (1989). Evaluation of Commercial US Grinding Ballas by Laboratory İmpact and Abrasion Tests. *Minerals and Metallurgical Processing*. içinde
- Chung, R., Tang, X., Li, D., Hinckley, B., & Dolman, K. (2009). Effects of Titanium addition on Microstructure and Wear Resistance of Hypereutectic High Chromium Cast Iron Fe-25wt.%Cr-4wt.%C. *Wear* (Cilt 267, s. 356-361). içinde
- Çetin, A. (2020). *Yüksek Alaşımly Beyaz Dökme Demirler*. <https://dokumhane.net/kutuphane/yuksekalasimli-beyaz-dokme-demirler/> adresinden alındı
- Çetinkaya, C. (2003). Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demir Malzemelerin Al₂O₃ ile Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 6(3), 559-567.
- Davis, J. (1996). *ASM Specialty Handbook Cast Irons* (s. 108-110). içinde ASM International Handbook Committee.
- Fairhurst, W., & Röhring, K. (1974). Abrasion-Resistant High-Chromium White Cast Irons. *Foundry Trade Journal*.
- Fidaner, S., Çelik, S., Doğmuş, H., Süzen, C., & Duran, A. (1979). *Genel Dökümcülük Bilgisi*. İstanbul: Milli Eğitim Basımevi.
- Güçer, P. (2017). *Yüksek Alaşımly Dökme Demirler*. <https://docplayer.biz.tr/25733037-Yuksekalasimli-dokme-demirler.html> adresinden alındı
- Handbook. (1992). Friction, Lubrication, and wear technology. 18, 127-160. (A. International, Çev.) Ohio.
- Jackson, R. (1970). The austenite liquidus surface and constitutional diagram for the Fe-Cr-C metastable system. *Journal of the Iron and Steel Institute*. içinde
- Kalyon, A. (2015). Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının ve İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Karabük.
- Karadere, İ. (2007). *Beyaz ve Yüksek Alaşımly Dökme Demirler*. <https://docplayer.biz.tr/19179259-6-beyaz-ve-yuksekalasimli-dokme-demirler.html> adresinden alındı
- Kaya, S. (2022). Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlere Uygulanan Farklı Isıl İşlem Şartlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması. Kırşehir.
- Kerküt, E. (2008). Ötektik Üstü Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirin İyapı, Aşınma ve Darbe Direnci Özelliklerine "TiBAI" in Etkisi. Elazığ.

- Laird II, G., Nielsen, R., & Macmillan, N. (1991). Factors effecting eutectic solidification of Cr-Ni (Si-Mn) white cast irons. *Materials Science And Technology*. içinde
- Laird II, G., Nielsen, R., & Macmillan, N. (1991). On the nature of eutectic carbides in Cr-Ni white cast irons. *Metallurgical Transsactions*. içinde
- Laird, G., Gundlach, R., & Röhring, K. (2000). *Abrasion-Resistant Cast Iron Handbook*. Des Plaines: American Foundry Society.
- Liu, Z., Li, Y., Chen, X., & Hu, K. (2008). Microstructure and Mechanical Properties of High Boron White Cast Iron. *Materials Science and Engineering A* (Cilt 486, s. 112-116). içinde
- Mataray, F., & Usseglio Nanot, R. (1970). *Factors Affecting the Structure of Chromium and Chromium-Molybdenum White Irons*.
- Mutlu, Ş. (2012). Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Nb, Ti, V, Mg Elementlerinin Mikroyapı Aşınma ve Darbe Direncine Etkisinin İncelenmesi.
- Öztürk, S. (2018). *Dökme Demirler*. <https://docplayer.biz.tr/51483645-Dokme-demirler-prof-dr-sultan-ozturk-ktu-metalurji-ve-malzeme-muhendisligi-bolumu-prof-dr-sultan-ozturk.html> adresinden alındı
- Pearce, J. (1984). Structure and wear performance of abrasion resistant chromium white cast irons. *AFS Transactions* (Cilt 126, s. 599-622). içinde
- Pearce, J., & Elwell, D. (1995). Efficient Heat Treatment of High Chromium Iron Castings for Abrasion-Resistant Applications. *Cast Metals Development Ltd. International Conference*.
- Radzikowska, J. (2005). Effect of Specimen Preparation on Evaluation of Cast Iron Microstructures. *Materials Characterization* (Cilt 54, s. 287-304). içinde
- Rajagopal, V., Malicsi, A., & Iwasaki, I. (1992). Effect of Chromium on the Cast-Iron Media Properties and Performance in Wet Grinding. *Mining, Metallurgy & Exploration* (Cilt 9, s. 34-40). içinde
- Raynor, G., & Rivlin, V. (1988). Phase Equilibria in Iron Ternary Alloys. *The Institute of Metals* (Cilt 13). içinde London.
- Sağlam, C. (2009). Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Alaşım Elementleri İlavesinin Etkisi.
- Wu, X., Xing, J., Fu, H., & Zhi, X. (2007). Effect of Titanium on the Morphology of Primary M7C3 Carbides in Hypereutectic High Chromium White Iron. *Materials Science and Engineering A* (Cilt 457, s. 180-185). içinde
- Yıldırım, H. (2014). Beyaz Dökme Demirlerin Üretilen Maden Kırıcılarında Molibdenin Mikroyapıya ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Çorum.
- Zhi, X., Xing, J., Gao, Y., Fu, H., Peng, J., & Xiao, B. (2008). Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of a Ti-Bearing Hypereutectic High Chromium White Cast Iron. *Materials Science & Engineering A* (Cilt 487, s. 171-179). içinde

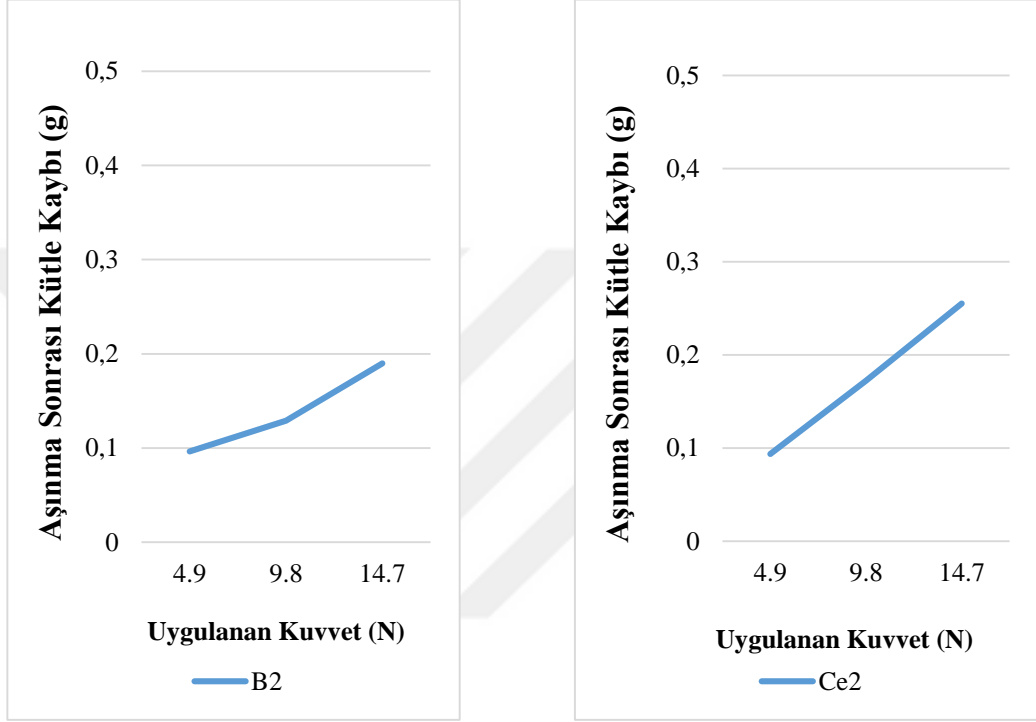
Zhongli, L., Xiang, C., Yanxiang, L., & Kaihua, H. (2008). Effect of Chromium on Microstructure and Properties of High Boron White Cast Iron. *Metallurgical and Materials Transactions A* (Cilt 39, s. 636-641). içinde



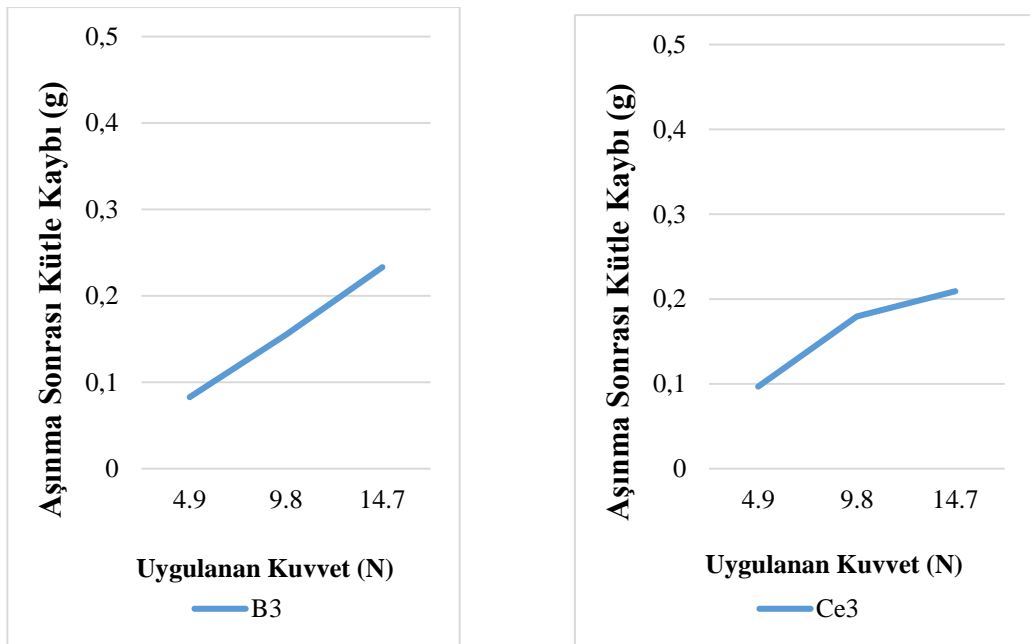
EKLER

B ve Ce alaşımlı numunelerin eklerde belirtildiği üzere (6 numaralı B alaşımlı numune haricinde) grafikleri kuvvet artışı ile aşınma miktarı paralellik göstererek artmaktadır.

EK-1. B VE CE ALAŞIMLI 2 VE 3 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI

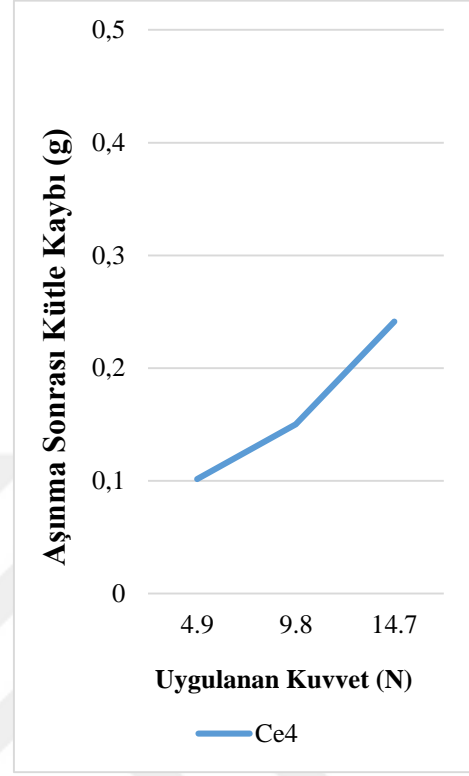
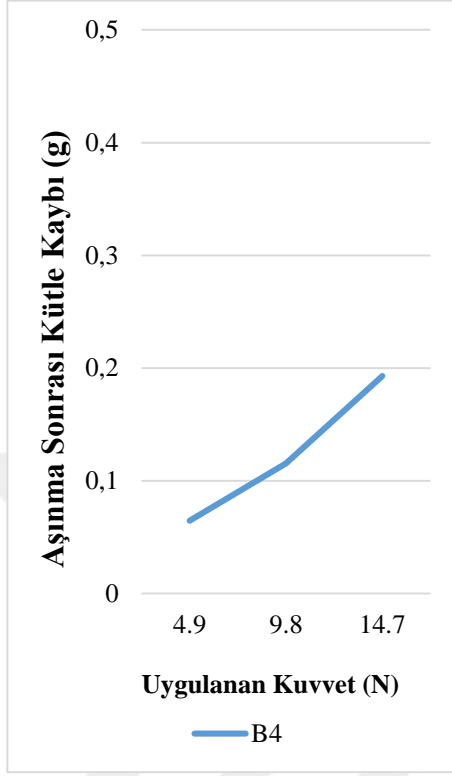


2 numaralı alaşımlı numunelerin yük altında aşınma miktarları

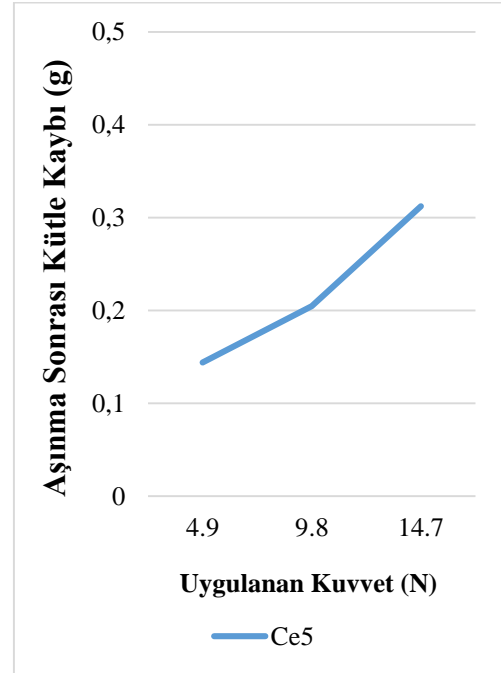
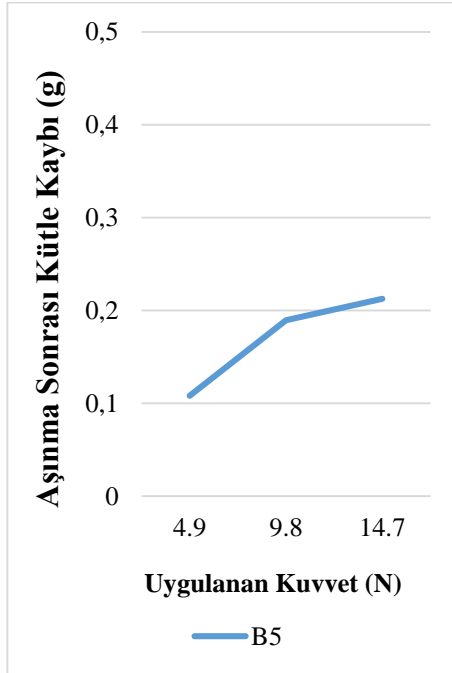


3 numaralı alaşımlı numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-2. B VE CE ALAŞIMLI 4 VE 5 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI

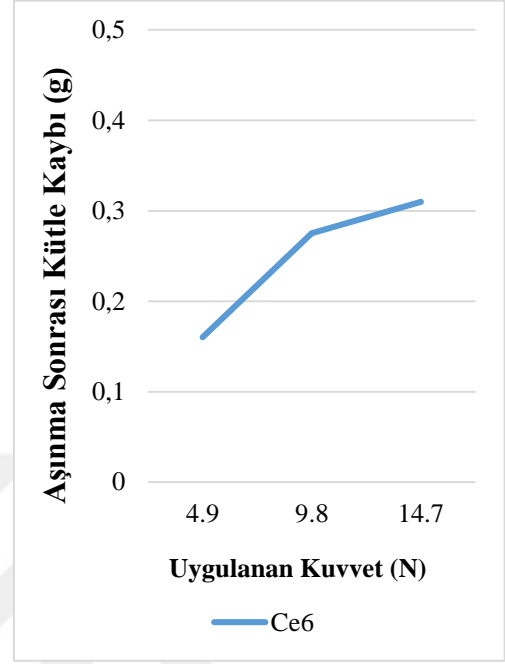
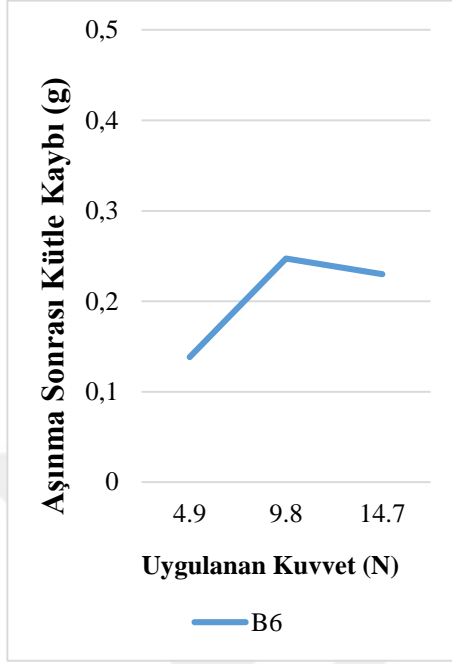


4 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları



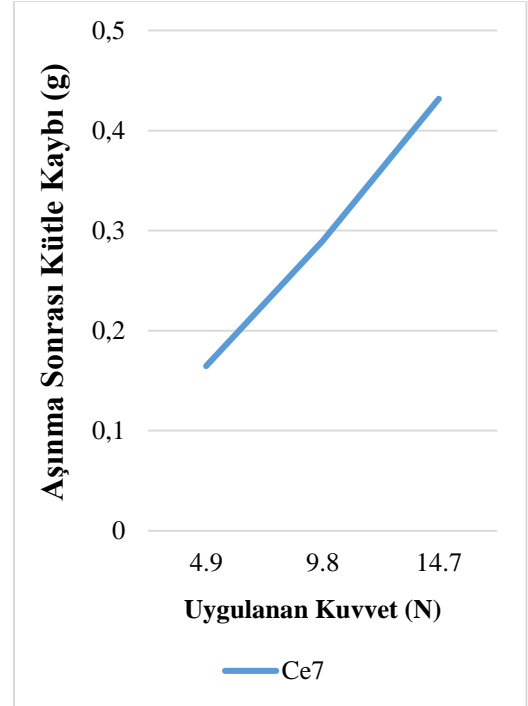
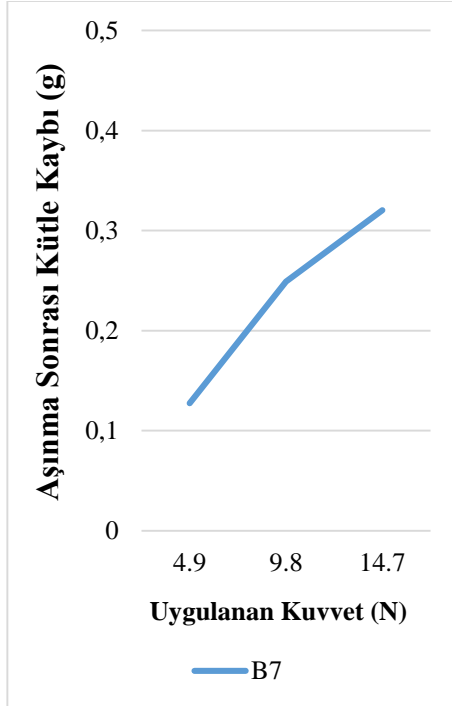
5 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-3. B VE CE ALAŞIMLI 6 VE 7 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI



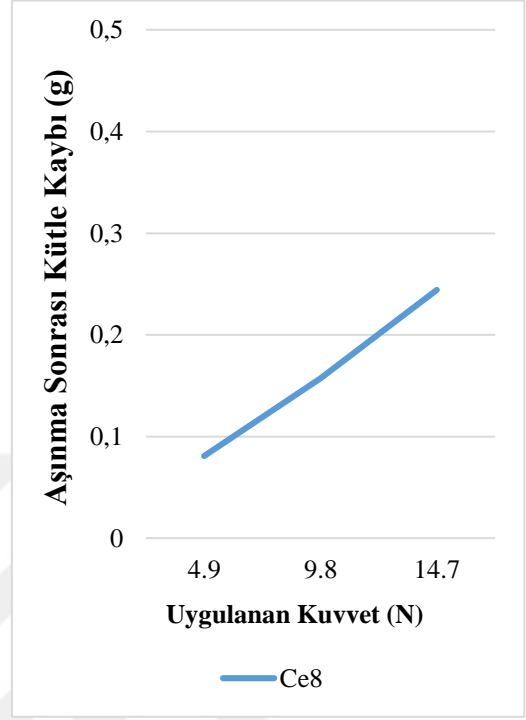
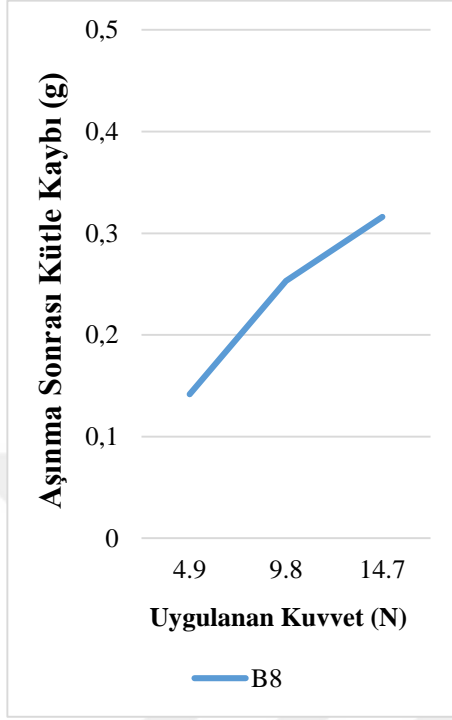
6 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

B ve Ce alaşımli 6 numaralı numunelerin şekil 7.57.'de görüldüğü üzere 9.8 N kuvvete(dahil) kadar aşınma miktarı artmaktadır. Ancak kuvvet artışı devam ettiğinde diğerlerinden farklı bir yol izleyerek B alaşımli malzemenin aşınma miktarında düşüş gözlemlenmiştir.

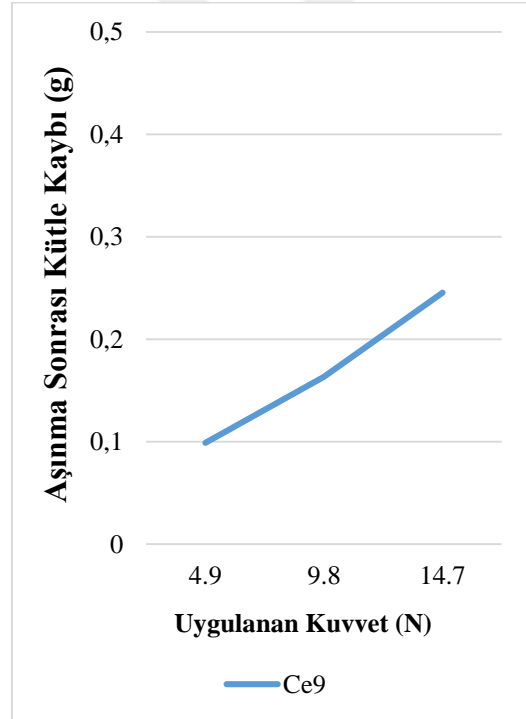
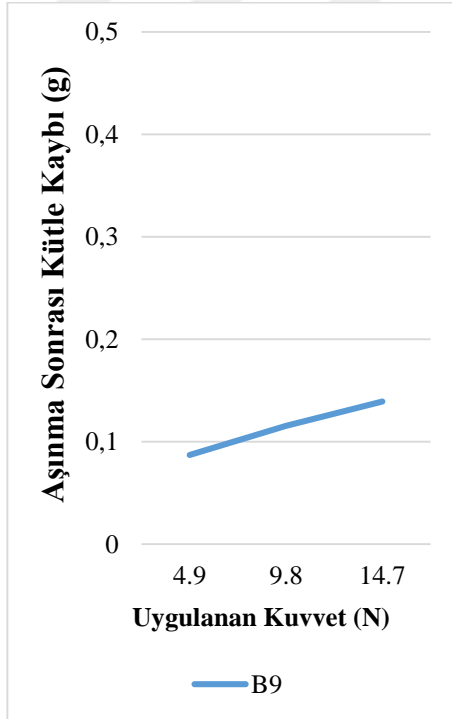


7 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-4. B VE CE ALAŞIMLI 8 VE 9 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI

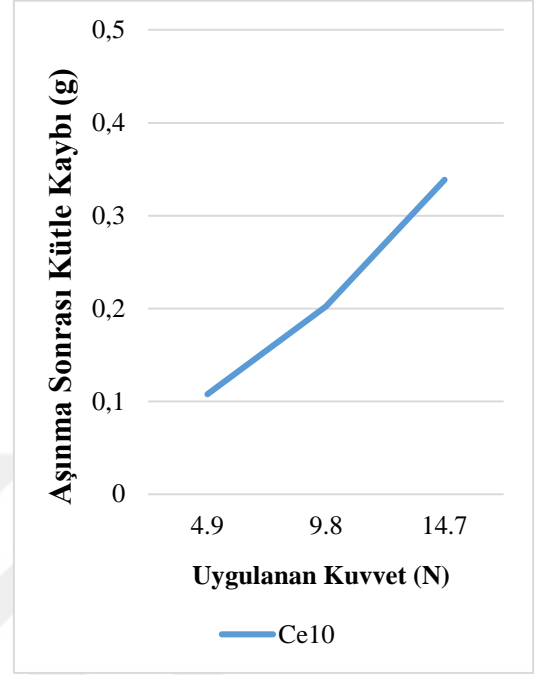
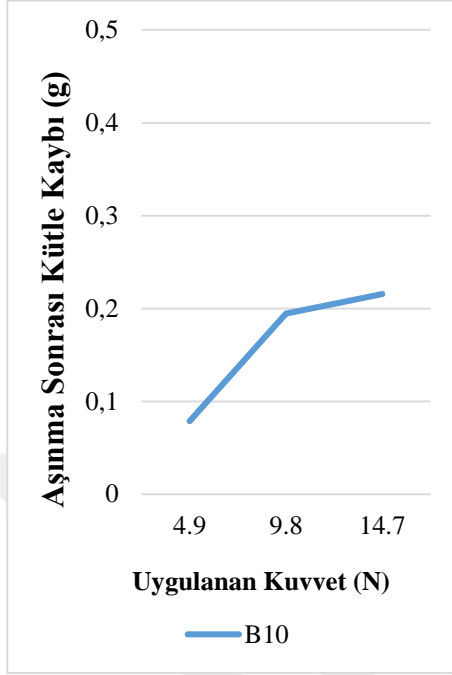


8 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

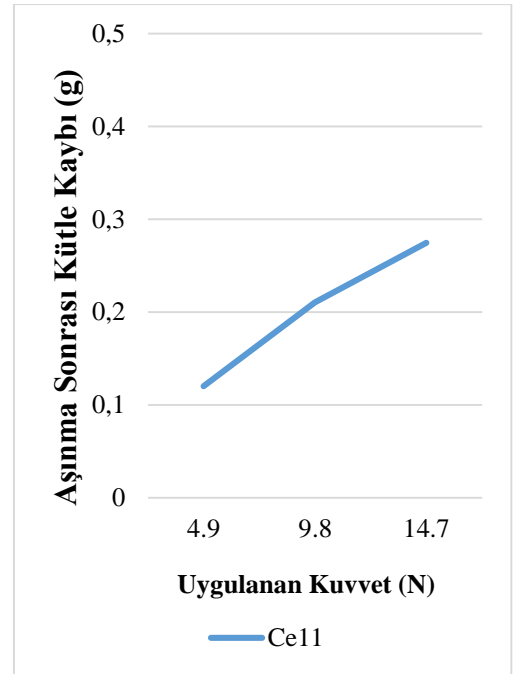
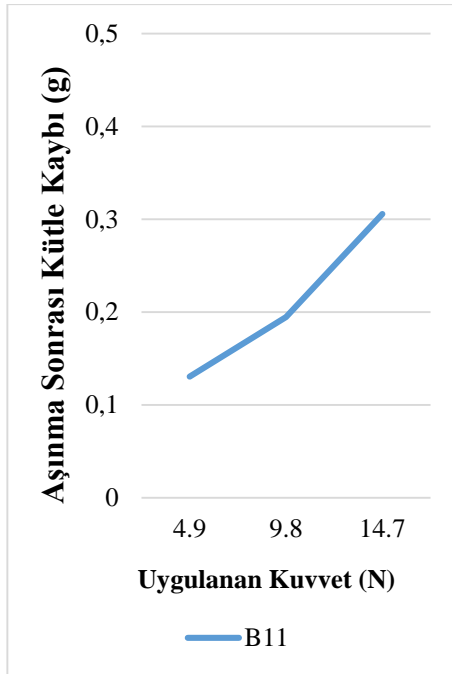


9 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-5. B VE CE ALAŞIMLI 10 VE 11 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI

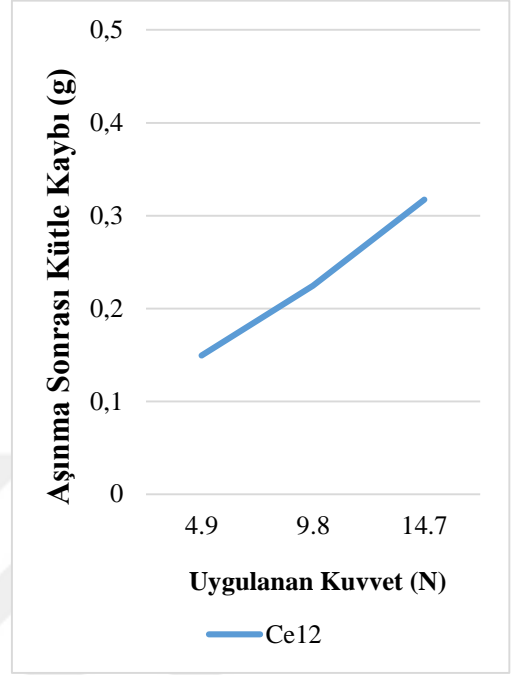
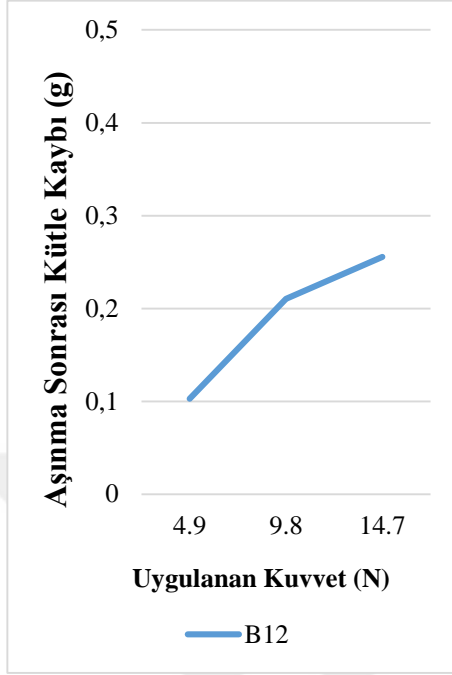


10 numaralı alaşimli numunelerin yük altında aşınma miktarları

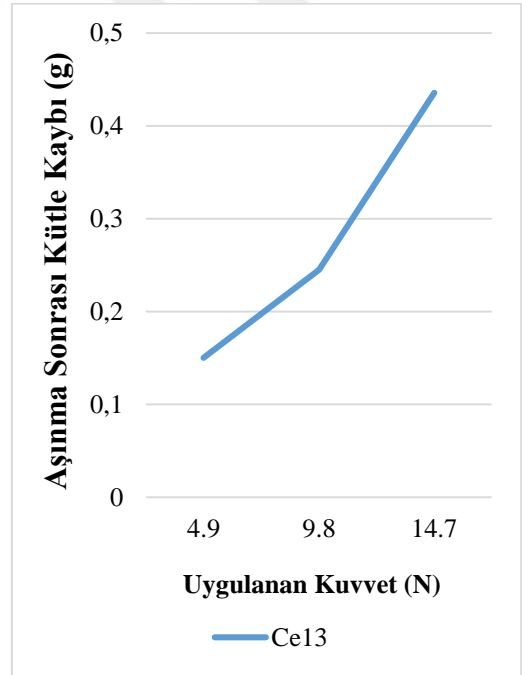
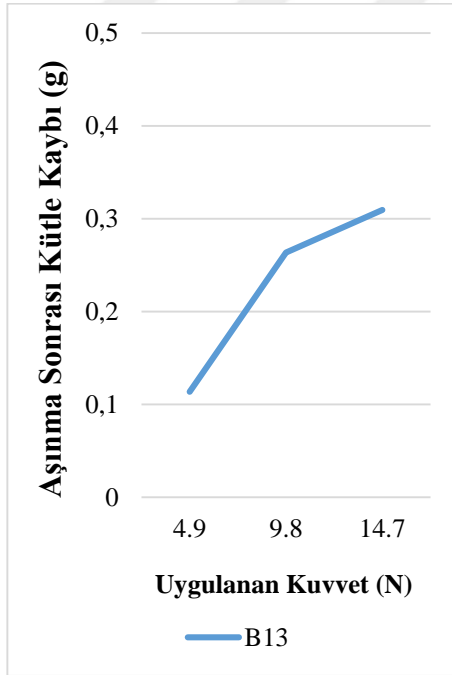


11 numaralı alaşimli numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-6. B VE CE ALAŞIMLI 12 VE 13 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI

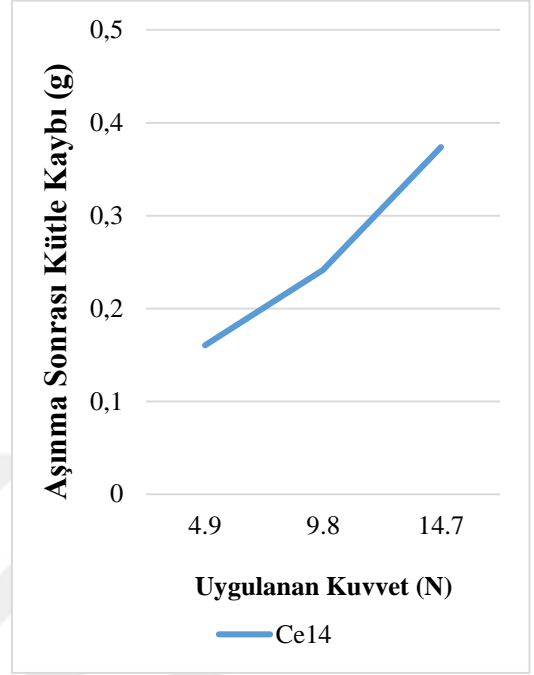
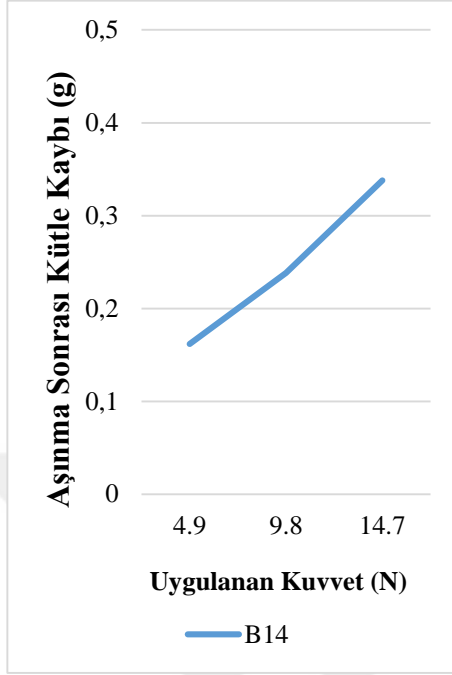


12 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

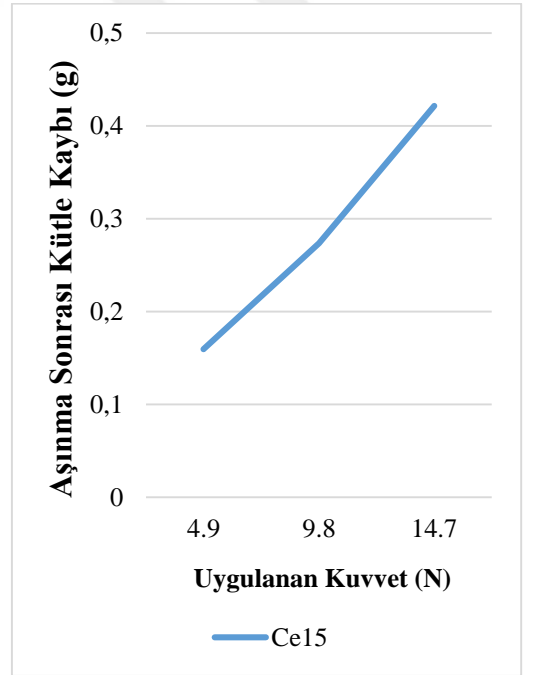
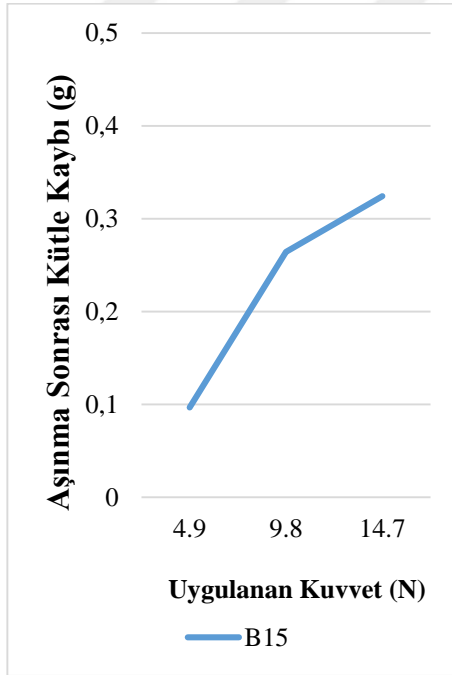


13 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-7. B VE CE ALAŞIMLI 14 VE 15 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI

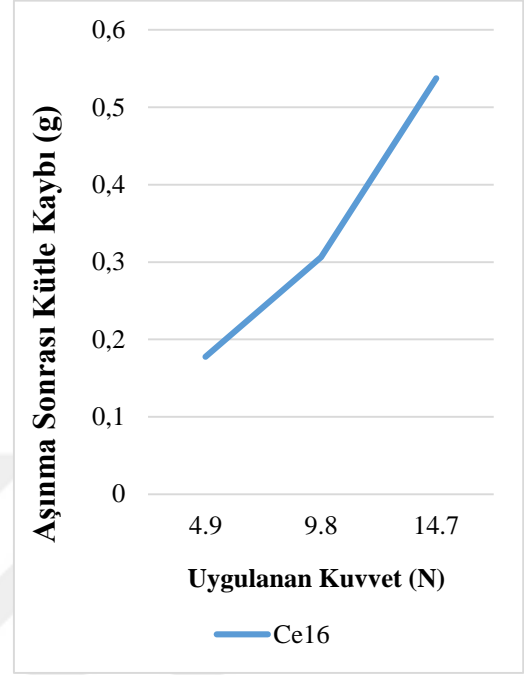
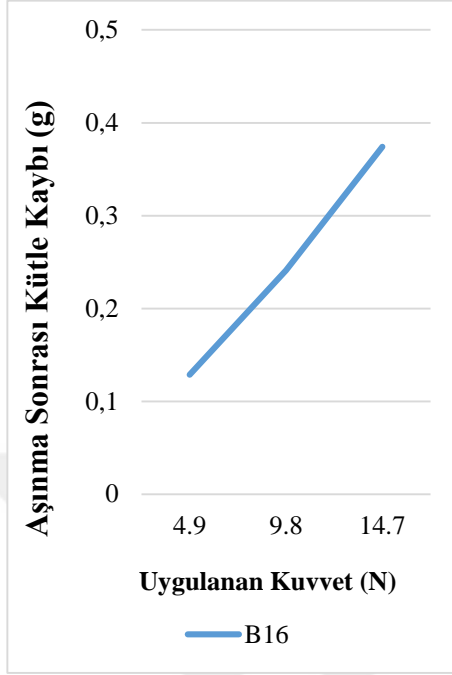


14 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

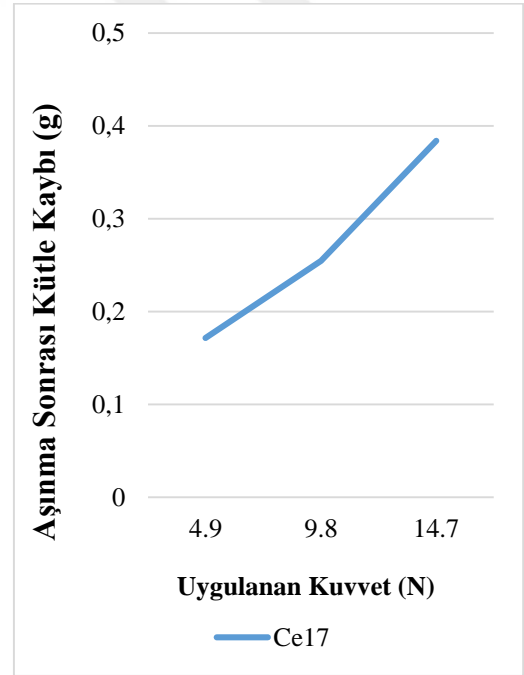
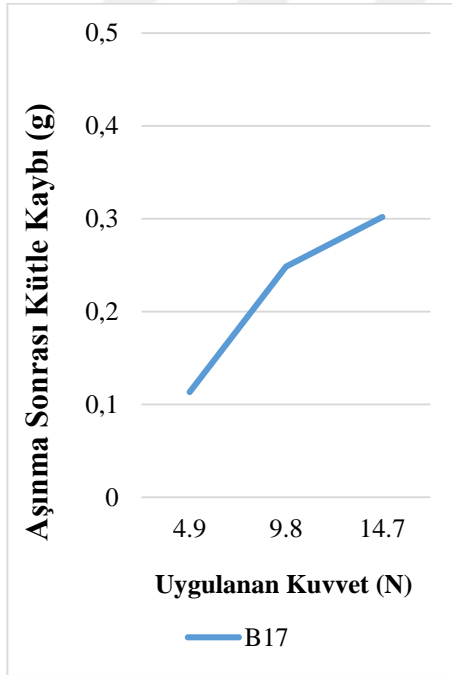


15 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-8. B VE CE ALAŞIMLI 16 VE 17 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI

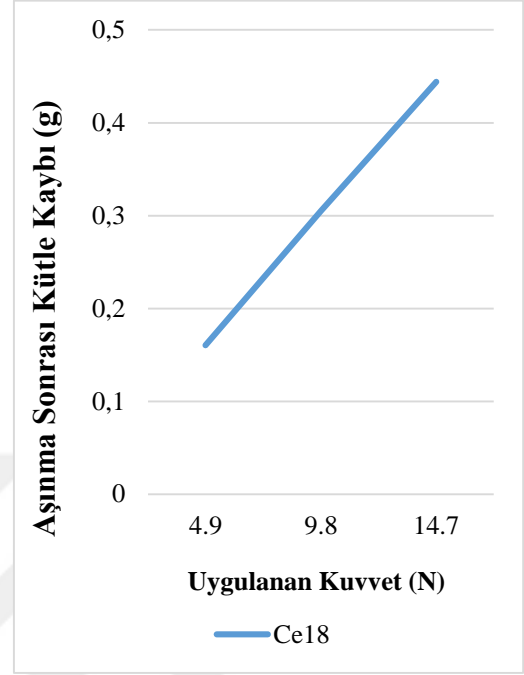
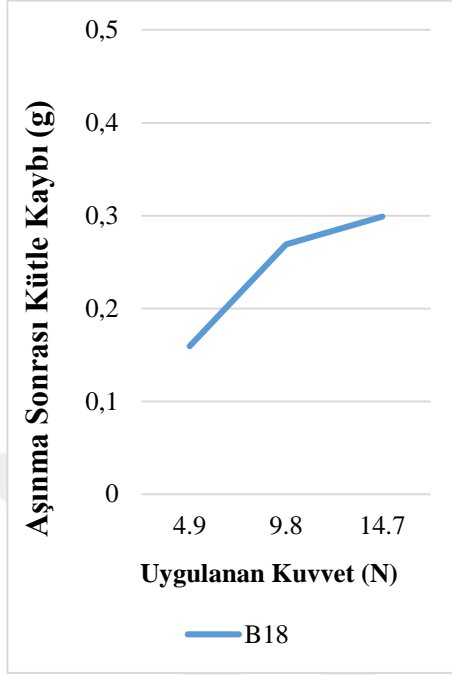


16 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

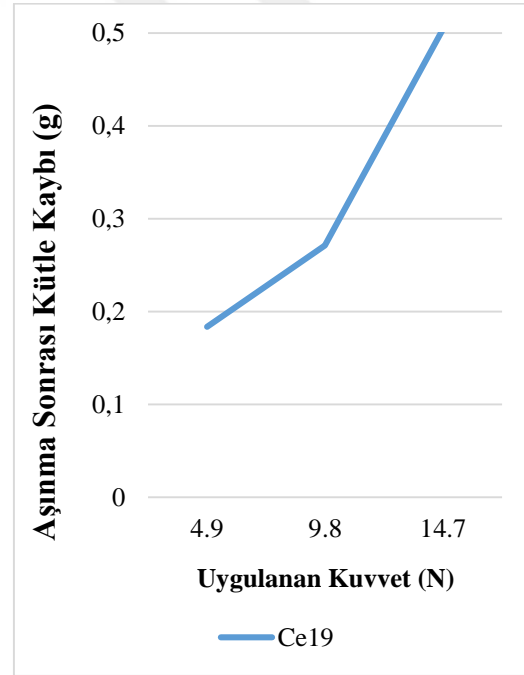
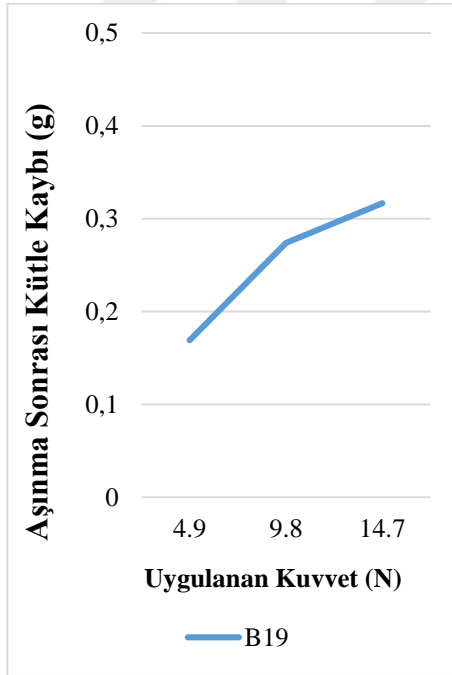


17 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-9. B VE CE ALAŞIMLI 18 VE 19 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI

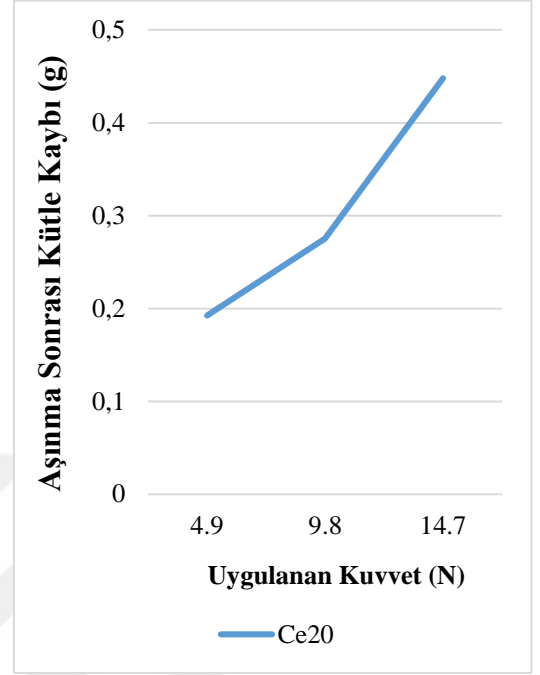
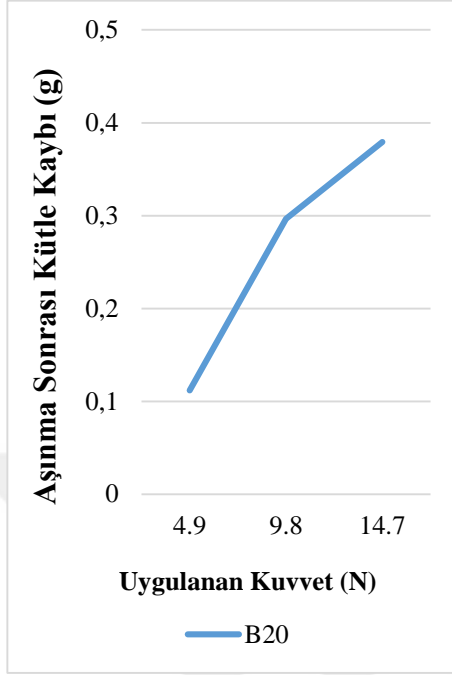


18 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları



19 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları

EK-10. B VE CE ALAŞIMLI 20 NUMARALI NUMUNELERİN AĞIRLIĞA BAĞLI AŞINMA MİKTARLARI



20 numaralı alaşımli numunelerin yük altında aşınma miktarları