



T.C.

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERE UYGULANAN FARKLI
ISIL İŞLEM ŞARTLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Serkan KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR / 2022



T.C.

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERE UYGULANAN FARKLI
ISIL İŞLEM ŞARTLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Serkan KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Levent URTEKİN

KIRŞEHİR / 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serkan KAYA



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca benden yardımını, anlayışını, hoşgörüsünü, bilgisini, desteğini ve zamanını esirgemeyen, her konuda yol gösteren çok değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Levent URTEKİN'e içtenlikle saygılarımı sunar, teşekkürü borç bilirim.

Yaptığım çalışmama ışık tutan, bana daima yol gösteren ve benden bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Osman ÖRNEK'e, Sayın Doç. Dr. H. Bekir ÖZERKAN'a ve Arş. Gör. Faik YILAN'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ayrıca deney çalışmalarına destek veren Çemaş Döküm A.Ş ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme bana duydukları güven, verdikleri destek, gösterdikleri anlayış ve sevgi için, teşekkürü bir borç bilirim.

Nisan, 2022

Serkan KAYA

İçindekiler

| | |
|---|------|
| TEZ BİLDİRİMİ | 2 |
| ŞEKİL LİSTESİ | |
| Sayfa No: | II |
| SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ | V |
| ÖZET | VI |
| ABSTRACT | VIII |
| BÖLÜM 1 | 10 |
| GİRİŞ | 10 |
| BÖLÜM 2 | 12 |
| LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 12 |
| BÖLÜM 3 | 18 |
| 3.1. DÖKME DEMİRLER | 18 |
| 3.2. DÖKME DEMİRLERİN SINIFLANDIRMASI | 19 |
| 3.2.1. Beyaz Dökme Demir | 19 |
| 3.2.2. Lamel Grafitli Dökme Demir | 21 |
| 3.2.3. Küresel Grafitli Dökme Demir | 22 |
| 3.2.4. Östenitik (Austenitik) Dökme Demir | 22 |
| 3.2.5. Gri dökme demir | 23 |
| 3.2.6. Temper dökme demir | 23 |
| 3.3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN ISIL İŞLEMİ | 23 |
| 3.3.1. Östenitleme (Destabilizasyon) ısıl işlemi | 24 |
| 3.3.2. Kritik sıcaklık altı veya temperleme ısıl işlemi | 27 |
| 3.3.3. Sıfırlatı soğutma işlemleri | 28 |
| 3.3.4. Gerilme giderme ısıl işlemleri | 29 |
| 3.4. Uygulama Alanları | 30 |
| BÖLÜM 4 | 31 |
| MATERYAL (MALZEME) VE METOT | 31 |
| 4.1. Malzeme | 31 |
| 4.2. Isıl İşlemler | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3. Mikroyapı Analizleri | 36 |
| 4.4. Aşındırma Testi..... | 38 |
| 4.5. Sertlik Testi | 39 |
| 4.6. Düşme Testleri..... | 40 |
| BÖLÜM 5 | 41 |
| DENEYSEL SONUÇLAR VE BULGULAR..... | 41 |
| 5.1. Mikroyapı Analiz Sonuçları..... | 41 |
| 5.2. Aşındırma Testi Sonuçları | 43 |
| 5.3. Sertlik Testi Sonuçları | 49 |
| 5.4. Düşme Testi Sonuçları..... | 49 |
| BÖLÜM 6 | 51 |
| SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 51 |
| KAYNAKLAR..... | 53 |
| ÖZGEÇMİŞ | 57 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No:

| | |
|---|----|
| Şekil 1 ASM Handbook Volume 3 Demir Krom Faz diyagramı. | 10 |
| Şekil 2 A)% 1, B)%2, C)%3, D)%4, E)%5, F)%6 C içeren yüksek kromlu beyaz dökme demirin SEM görüntüleri | 21 |
| Şekil 3 EN GJS 400-250-18 mikroyapı resmi (Faz: %98 Ferrit %2 Perlit) %3 Nital..... | 22 |
| Şekil 4 Östenitik dökme demirin mikroyapısı görüntüsü | 23 |
| Şekil 5 Yüksek kromlu beyaz dökme demirin bileşime göre mikroyapıları a) Ötektik altı, b)Ötektik, c)Ötektik üstü | 24 |
| Şekil 6 %16 Cr içeren Yüksek kromlu beyaz dökme demirde çözeltiye alma sıcaklığı, kalıntı östenit miktarı ve su verme sonrası sertlik arasındaki ilişki | 26 |
| Şekil 7 Çözeltiye alma sıcaklığı, kesit kalınlığı, kalıntı östenit miktarı arasındaki ilişki | 26 |
| Şekil 8 15Cr-3Mo alaşımlı beyaz dökme demir alaşımının optik mikroyapıları, 1100 °C'de yapılan destabilizasyon işlemini takiben a) 25°C, b)95°C, c)196°C soğutulan numuneler | 29 |
| Şekil 9 HWS SINTO HSP-3 (Yatay kalıplama hattı) | 32 |
| Şekil 10 OBLF GS 1000 II Spektrometre | 33 |

| | |
|---|----|
| Şekil 11 Bilye yolluk-besleyici kırma makinesi..... | 33 |
| Şekil 12 LOCHER marka kontinü | 34 |
| Şekil 13 Yağda/Havada su verme ısıtma işlem programı | 35 |
| Şekil 14 Gerilim giderme fırını | 36 |
| Şekil 15 Numune kesme cihazı | 37 |
| Şekil 16 Mikroyapı analizi için çıkarılmış bilye görüntüsü | 37 |
| Şekil 17 Numune zımparalama ve parlatma cihazı | 38 |
| Şekil 18 Optik Mikroskop | 38 |
| Şekil 19 Aşındırma tamburu..... | 39 |
| Şekil 20 Rockwell sertlik cihazı | 40 |
| Şekil 21 Düşme test cihazı..... | 40 |
| Şekil 22 Deney numunelerinin mikroyapı görüntüleri (1-a, 2-b, 3-c, 4-d ve 5-e)..... | 42 |
| Şekil 23 1 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı | 44 |
| Şekil 24 2 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı | 45 |
| Şekil 25 3 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı | 46 |
| Şekil 26 4 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı | 47 |
| Şekil 27 5 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı | 48 |
| Şekil 28 Numunelerin sertlik sonuçları | 49 |
| Şekil 29 5 nolu bilyanın kırılma görüntüsü | 50 |

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No:

| | |
|--|----|
| Çizelge 1. Dökme demir türleri ile çelik döküm özelliklerinin kıyaslanması [24] | 18 |
| Çizelge 2. Dökme demirlerin kimyasal bileşim aralıkları [25] | 19 |
| Çizelge 3 Kritik sıcaklık altı ısıtma işlemi uygulanmış %2,6 C – %20 Cr – %2,5 Mo alaşımına ait sertlik değerleri [35] | 28 |
| Çizelge 4. Deney numunelerinin kimyasal analiz parametreleri | 31 |
| Çizelge 5 1 nolu deneyden elde edilen sonuçlar..... | 44 |
| Çizelge 6 2 nolu deneyden elde edilen sonuçlar..... | 45 |
| Çizelge 7 3 nolu deneyden elde edilen sonuçlar..... | 46 |
| Çizelge 8. 4 nolu deneyden elde edilen sonuçlar..... | 47 |
| Çizelge 9. 5 nolu deneyden elde edilen sonuçlar..... | 48 |
| Çizelge 10. Düşme test sonuçları | 50 |
| Çizelge 11 Hammadde maliyet karşılaştırma tablosu | 52 |

GRAFİK LİSTESİ

Sayfa No:

| | |
|--|----|
| Grafik 4.1 Gerilim giderme fırını sıcaklık zamanprogramı..... | 25 |
| Grafik 4.2 Havada su verme ısıtma işlem programı..... | 26 |
| Grafik 4.2 Gerilim giderme fırını sıcaklık zaman programı..... | 27 |

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Bu çalışmada, kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler **Açıklama**

| | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Cr | : Krom |
| C | : Karbon |
| Si | : Silisyum |
| Mn | : Mangan |
| Ce | : Seryum |
| Ni | : Nikel |
| Mo | : Molibden |
| °C | : Santigrad |
| °F | : Fahrenheit |
| M₇C₃ | : Krom Karbür |
| M₃C | : Demir Karbür |
| HRC | : Rockwell Sertlik |
| HB | : Brinell Sertlik |
| USD – \$ | : Amerikan Doları |
| FeC | : Demir Karbür |
| FeSiMg | : Ferro Silis Magnezyum |
| Matris | : Mikroyapıdaki faz oranı |

Kısaltmalar **Açıklama**

| | |
|-----------------|--|
| Treatman | : Sfero dökme demirde magnezyum ile küreselleştirme işlemi |
| Curuf | : Ergitme sırasında elementlerin oksitlenmesi sonucunda farklı yoğunluktan dolayı eriyik üzerinde oluşan oksit tabakaya verilen isimdir. |

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERE UYGULANAN FARKLI ISIL İŞLEM ŞARTLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Serkan KAYA

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Levent URTEKİN

Çimento ve maden endüstrisine kullanılan öğütücü bilya/silpeps üretiminde döküm yöntemi ile yaygın olarak yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler kullanılır. Bu sınıfta üretilen üretilen bilyeler yüksek kromlu beyaz dökme demir sınıfında olup bu malzeme içerisindeki krom oranını yükseldikçe aşınma direnci artmaktadır. Yumuşak klinker malzemelerde %12-14 Cr lu öğütücü bilyeler kullanılırken, gümüş ve bakır gibi cevherlerde %17-19 Cr kullanılmaktadır.

Hammadde maliyetinin azaltılması ve bununla beraber aşınma direncinin yüksek kromlu bilyelere nazaran düşürülmemesi amaçlanmıştır. Öğütücü bilyelerde ısıl işlem prosesinin de bilya ısıl işlem sonrası yoğun hava ile su verme prosesi uygulanmasından dolayı bütün yüzeyi homojen soğutulamamaktadır. Bu da değirmen içinde bilye de istenmeyen aşınma ve plastik deformasyon meydana getirmektedir. Homojen olmayan aşınma için ısıl işlem prosesinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bilya yüzeyinde homojen soğuma için yağda su verme prosesi yapılmıştır. Cr oranı düşürüldüğü için ham madde maliyetleri azaltılmıştır. Çimento değirmenlerinde kullanılan %17-19 Cr içeriğine sahip bilyalar dan en yoğun kullanılan Ø 90 mm çaplı bilya üzerinde deneyler yapılmıştır. Demir-Krom faz diyagramları incelendiğinde Cr miktarı % ağırlıkça 18'den 9-12 oranlarına indirilmesi ile aynı sertlik ve mikro yapı elde

edilmesi öngörülmüştür. Bu çalışmada krom oranını %17-19 dan %9-12 oranına indirilerek hem havada hem de yağda su verme çalışmaları yapıp aşınma oranları karşılaştırılmıştır. Krom oranın düşürülmesi ile beraber malzeme içerisindeki aşınmaya dayanıklı karbür fazlarının azalmasına, martenzit oranın artmasına sebep olacağından dolayı Karbon oranı mevcut üretimlerden daha düşük çalışılarak aynı aşınma direncine sahip malzeme elde etmeye çalışılmıştır. % Cr oranın düşürülmesi ile hammadde maliyetleri azaltılmıştır.

Çalışmanın ayrıntısına baktığımızda asıl amaçlanan mevcut seri üretimde olan % 17-19 Cr lu bilyalar ile aynı sertlik (Min. 58 HRc) ve mikroyapı ya (Min. %70 Martenzit) sahip düşük Cr lu bilya elde edilmiştir. Sonrasın da yüksek Cr lu ve düşük Kromlu bilyaların aşınma performanslarını karşılaştırılmıştır. Bir taraftan krom miktarının azaltıp diğer taraftan tasarlanan yağda soğutma tesisinde homojen soğutma yaparak homojen aşınma, mikroyapı ve sertlik özelliklerinde iyileşmeler incelenmiştir. Prototip tamburda zamana bağlı olarak bilyalar çevrim yaptırılıp mevcut bilya ile aynı veya daha az aşınma miktarı karşılaştırılmıştır.

Nisan 2022, 58 Sayfa.

Anahtar Kelimeler: Beyaz Dökme Demir, Öğütücü Bilye, Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demir, Aşındırıcı bilyeler, Krom oranın azaltılması, Aşınma özellikleri

ABSTRACT

MASTER of SCIENCE THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT HEAT TREATMENT CONDITIONS APPLIED TO HIGH CHROME WHITE CAST IRON ON MECHANICAL PROPERTIES

Serkan KAYA

**Kirsehir Ahi Evran University
Science and Engineering Institute
Department of Advanced Technologies**

Supervisor: Doç. Dr. Levent URTEKİN

Çemaş Casting Industry is the only manufacturer in Turkey that produces by casting method in the production of grinding balls/silpeps used in the cement and mining industry. The balls produced in the company are in the high chromium white cast iron class, and it is aimed to reduce the raw material cost by reducing the chromium content in this material and not to reduce the wear resistance compared to the high chromium balls. In the current heat treatment process, the whole surface of the ball cannot be cooled homogeneously, since the ball is cooled with air after the heat treatment. This causes non-homogeneous abrasion and plastic deformation of the ball in the cement mill. This study was aimed to develop the heat treatment process for non-homogeneous wear. For homogeneous cooling on the ball surface, the oil quenching process was carried out. Raw material costs have been reduced as the Cr ratio has been reduced.

Experiments were carried out on Ø 90 mm diameter balls, which are the most commonly used balls with 17-19% Cr content used in cement mills. When the iron-chromium phase diagrams were examined, it was predicted that the same hardness and microstructure would be obtained by reducing the amount of Cr from 18% by weight to 9-12%. In this study, the chromium ratio

was reduced from 17-19% to 9-12%, and both air and oil quenching studies were carried out and the wear rates were compared. It has been tried to obtain a material with the same wear resistance by working lower carbon ratio than the existing productions, since the reduction of the chromium ratio will cause the decrease of the wear-resistant carbide phases in the material and the increase of the martensite ratio. Raw material costs have been reduced by reducing the % Cr ratio.

When we look at the details of the study, the main aim is to obtain low Cr balls with the same hardness (Min. 58 HRc) and microstructure (Min. 70% Martensite) with 17-19% Cr balls in current mass production. Afterwards, the wear performances of high Cr and low Chromium balls were compared. Improvements in homogeneous wear, microstructure and hardness properties were investigated by reducing the amount of chromium on one hand and homogeneously cooling in the designed oil cooling facility on the other. In the prototype drum, the balls were cycled depending on time and the same or less wear amount was compared with the existing ball.

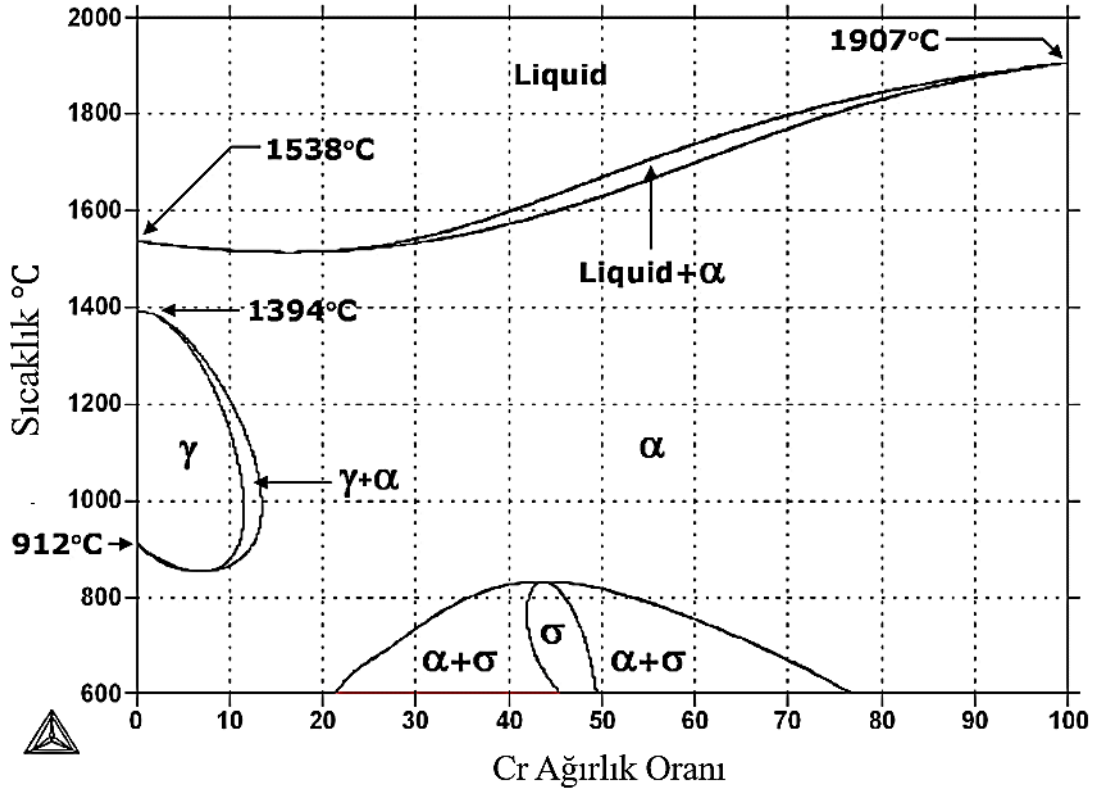
April 2022, 58 Pages.

Keywords: White Cast Iron, Grinding Ball, High Chrome White Cast Iron, Abrasive balls, Reduction of chromium, Wear properties.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bilya üreticisi anlamında tek yerli firma olan ÇEMAŞ Döküm A.Ş. kaliteyi ve rekabet koşullarını iyileştirmek için çeşitli ön çalışmalar yapmıştır. Isıl işlemden sonra mevcut soğutma sistemi hava sertleştirme ile gerçekleştirildiğinden homojen bir soğutma gerçekleştirilememektedir. Buda bilyanın çalışma şartlarında ciddi aşınma ve deformasyon sorunlarını meydana getirmektedir. Özellikle yapılan ön çalışmalarda Cr miktarının azaltılması, homojen soğutma (yağda) yapılması ile kalitenin artırılması ve maliyetin düşürülmesi ön görülmektedir. Yapılan deneysel ön çalışmalardan elde edilen veriler ve Demir-Krom faz diyagramları incelendiğinde Cr miktarı % ağırlıkça 18'den 9-12 oranlarına indirilmesi ile aynı sertlik ve mikroyapı elde edilmesi öngörülmüştür (Şekil 1). Yağda soğutma ile hızlı ve homojen soğutma sayesinde muadillerine göre aynı mekanik özellikte bilya üretilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma ile aşınma, deformasyon gibi çalışma şartlarına uygun bilya üretimi hedeflenmektedir.



Şekil 1 ASM Handbook Volume 3 Demir Krom Faz diyagramı.

Firma da bu kapsamda üretilen bilyelerin dünya piyasasında rekabet edebilmesi ve maliyetin düşürülebilmesi amacı ile çeşitli tasarım ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda firmanın bünyesinde kullanılan hava ile soğutma sistemi yerine yağda su verme ısıtma işlemi ile beraber bilya içerisindeki Cr miktarını düşürme çalışmaları yapılmıştır. Havada soğutma ısıtma işlemi ile bilyelerin bütün yüzeyi homojen soğuyamamaktadır. Üfleme yönüne göre bir taraf iyi soğurken diğer taraf yeterli soğuyamamaktadır. Yağda soğutma ile homojen bir faz yapısı elde edilme ve malzemenin mekanik özelliklerini (aşınma, sertlik, deformasyon) iyileştirdiği görülmüştür. Cr miktarının belli bir oranda düşürülmesine rağmen sertlik, mikroyapı gibi özelliklerinin değişmemesi sağlanmıştır. Bilyaların yeni Cr oranı ve kalıplarda tekrar üretilmesinden sonra yağda soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı (% faz oranları), sertlik (HRC), aşınma oranı (firma tarafından daha önce geliştirilmiş; çevirim sayısına bağlı ağırlıkça azalma oranı tespiti) ve düşme testleri yapılmıştır. Krom oranının düşürülmesi ile beraber malzeme içerisindeki aşınmaya dayanıklı karbür fazlarının azalmasına, martenzit oranının artmasına sebep olacağından dolayı Karbon oranı mevcut üretimlerden daha düşük çalışılarak aynı aşınma direncine sahip malzeme elde edilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Taşgın, Y., & Kaplan, M. yapmış olduğu bir çalışmada beyaz dökme demirli malzemelerde tespit edilen M_7C_3 karbürlerinin, malzemenin mikro yapısı üzerindeki etkileri gözlenmiştir. M_7C_3 karbürleri mikro yapı içerisinde genellikle altıgen görünümlü olarak ortaya çıkmaktadır. Malzemenin bünyesinde bulunan Cr; C'yi kendine doğru çekerek M_7C_3 oluşturabilir. M_7C_3 karbürü Sert bir faz haline gelerek, malzemenin aşınma oranını minimuma düşürmektedir. Cr ile sert ve Fe, Cr, C zengin olan $(Cr,Fe)_7C_3$ bileşiğini oluşturmaktadır [1]. Çetinkaya, C. çalışmasında, kumlama makinelerinde kullanılan yüksek kromlu beyaz dökme demirden üretilmiş türbin paletlerinin SiC abrasiv aşındırıcı karşısındaki aşınma davranışları incelenmiştir. Kimyasal bileşimleri farklı olan 5 farklı türbin paletlerinden elde edilen numuneler; 200 dev/dak sabit hızda 10, 25 ve 40 N'luk yüklerde, 60, 90 ve 120 m'lik yollarda aşındırılmış ve aşınma davranışları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar 3,3% C, 15.1% Cr ve 2,5% Mo içeren numunenin en az 2,94% C, 16.7% Cr ve 1.2% Mo içeren numunenin ise en fazla aşındığını göstermiştir [2]. Ngqase, M., & Pan, X., yaptığı çalışmada beyaz dökme demirler arasında normal beyaz dökme demirler, düşük alaşımlı beyaz dökme demirler, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler, nikel-krom beyaz dökme demirler, krom molibden beyaz dökme demirler Çin standardı, ASTM standardı ve Avustralya standardına sahip yüksek krom beyaz dökme demirler bulunduğunu çalışmasında göstermiştir [3]. Ngqase, M., & Pan, X., bu çalışma, Taguchi ve yapay sinir ağı (ANN) yöntemlerini kullanarak minimum kesme kuvvetlerini ve maksimum malzeme kaldırma hızıyla (MRR) işleme gücünü sağlamak için optimum parametrik kombinasyon için çok katmanlı sert kaplamalı karbür aletinin performansını ve dönüş sürecinin çoklu yanıt optimizasyonunu incelemiştir. Son zamanlarda yüksek krom beyaz dökme demir, havacılık, madencilik ve mineral işleme sektörlerinde giderek artan uygulamalar olduğunu ortaya koymaktadır. Karbür ek (TiC/TiCN/Al₂O₃) kesme aleti kullanılarak makine becerileri incelenmiştir. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri, MRR ve işlemin işleme gücü üzerindeki etkileri değişkenlik analizi kullanılarak analiz edilmiştir ve sonuçlar ANN kullanılarak ilişkilendirilmektedir. Kesme parametreleri ile süreç yanıtları arasındaki ilişkiyi oluşturmak için doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Doğrulama testi, ANN'nin tahmin doğruluğunun regresyon analizinden daha iyi olduğunu ortaya koymaktadır. Karbür aletlerin iyi performansı (optimum koşullarda) göz konusu olarak, ekonomik faydaların artmasıyla birlikte CN'nin yerini alabilir. Çok katmanlı sert kaplamalı

(TIC/TiCN/Al₂O₃) karbür aletler, HCWCI metalini kesmek için yeni piyasaya sürülmüştür ve kesme kuvvetleri, malzeme kaldırma hızı ve işleme gücü gibi makine özellikleri üzerindeki kesme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Ayrıca çok katmanlı sert kaplamalı karbür aletin performansı da incelenir. Yayınlanmış literatür de olduğu gibi RSM, süreç optimizasyonunda yıllar boyunca kullanılan köklü bir tekniktir; Ancak bu işte Taguchi yöntemi gibi yeni mevcut teknikleri kullanma girişimi ve HCWCI'nın dönüşünün değerlendirilmesi için ANOVA ve ANN ile yeni bir yaklaşım benimsenmiştir [4]. Abdel-Aziz, K., El-Shennawy, M., & Omar, A. A., bu çalışmada yüksek kromlu beyaz dökme demirler, şu anda yüksek aşınma direnci ve makul dayanıklılık gerektiren çeşitli uygulamalarda kullanılan aşınmaya dayanıklı önemli bir malzeme sınıfıdır. Bu alaşımların olağanüstü performansı, yüksek sertliğe sahip büyük miktarlarda krom karbonatların bulunmasından kaynaklanır. Bu karbürlerin boyutu, tipi ve morfolojisi aşınma direncini ve sertliği kontrol eder. Bu alaşımların mikro yapısal özellikleri ve dolayısıyla aşınma dirençleri, kimyasal bileşim veya katılaştırma oranı değiştirilerek veya döküm sonrasında özel ısı tedavisi ile kapsamlı bir şekilde değiştirilebilir. Tüm yüksek Kromlu WCI alaşımlarına yönelik ısı tedavileri, mikro yapılarını değiştirmek ve bu nedenle kişisel uygulama gereksinimlerine uyacak şekilde aşınma dirençlerini artırmak için gereklidir. Kimyasal bileşimlerde ve yüksek kromlu beyaz dökme demir alaşımlarının mikro yapısal özellikleri ve mekanik özellikleri ile ilgili olarak bu alaşıma uygulanan ısıl işlemede değişiklik yapılmıştır. Yüksek alaşımlı beyaz demirler, temel olarak aşınmaya dayanıklı uygulamalar için kullanılır ve aşındırıcı malzemelerin ezilmesi, zımparalanması ve genel kullanımı için kullanılan makinelerde gerekli forma sahiptir. Mikro yapıda M₇C₃ ötektik karbürü bulunması, aşınmaya dayanıklı uygulamalar için gereken yüksek sertliği sağlar. Bu demirler de karbür fazını destekleyen metalik matris, aşınmaya ve sertliğe karşı direnç arasında doğru dengeyi geliştirmek için alaşım içeriği ve ısı işlem parametreleri değiştirilerek ayarlanabilir. Tüm yüksek alaşımlı beyaz demirlerde, katılaştırma sırasında grafit oluşumunu önlemek, karbürü stabilize etmek ve demirden daha sert olan krom karbür oluşturmak için krom bulunur. Krom molibden beyaz demirler (ASTM A532 sınıf II) %11 - 23 Cr ve %3 Mo ve bazı Ni ve Cu içerir ve tedarik edilebilir; maksimum aşınma direnci ve dayanıklılık için, östenitik veya östenitik-martenzitik matrisli dökümden ya da martenzitik matris mikro yapısıyla bu demirler, tüm beyaz demirlerin sağlamlık ve aşınmaya karşı dayanıklılığının en iyi kombinasyonunu sağlar ve sert kaya madencilik ekipmanları, santrüfjü pompalar, kömür taşılama frezeleri ve tuğla kalıplarında kullanılırlar [5]. Karantzalis, A., Lekatou, A., & Mavros, H., yaptığı çalışmada birincil östenit yoğunluklardan ve M₇C₃ karbid/austenitten oluşan bir karışımdan oluşan ilk yüksek krom (%2.35 C, %18.23 CR) dökme demir mikro yapısı dört farklı ısı işlem ile kapsamlı bir şekilde

değiştirilmiştir. H.T. A: Destabilizasyon (970LC-2.5 600h), H.T. B: Destabilizasyon/subcritical işlemler (LC-970 13 C-2.5 h). Kritik altı işlem (600 LC-13 h) ve H.T. D: Subcritical/destabilite işlemler (600 LC-13 h + 970 LC-2.5 h). H.T.A, $M_{23}C_6$ tipi ikincil kübik karbür parçacıkların önemli ölçüde çökmesine neden olan martenzitik yapılara yol açar. H.T.B perlitik yapılar üretir ve daha fazla karbür çökeltiye ve önceden var olan karbür parçacık şekli modifikasyonlarına neden olur. H.T.C, ilk dökme olarak yapıyı daha fazla perlitik morfolojiye ve M_7C_3 birincil karbür yapısının küresel yapısının bozulması ile yoğun bir şekilde şekil değiştirir. H.T.D, birincil östenit matriste ikincil karbür parçacıklarının kapsamlı bir şekilde oluşumuna neden olur; ikincisi daha çok martenzit yapısı oluşur. Her bir ısı işleminin alaşımın sertliği üzerindeki etkisi, elde olan mikro yapı ile ilişkilidir. Yüksek krom beyaz demirlerin kritik ve kritik ısı işlem sırasında oluşan ikincil karbür parçacıkların oluşumuna, morfolojisine ve özelliklerine çeşitli araştırmalar yoğunlaşmıştır [6]. Ortega-Cubillos, P., Nannetti-Bernardini, P. A., Celso-Fredel, M., & Campos, R. A. yapmış oldukları çalışmada, kömür taşılama bileşenlerinde kullanılan yüksek krom beyaz dökme demir alaşım, üretiminde kullanılan termal işleme bağlı olarak farklı aşınma direnci gösteren bir malzemedir. Bu bağlamda %22 krom ve %3 karbon içeren bu alaşımın özellikleri, farklı ısı işlemler uygulaması ve aşınma direnci üzerindeki etkileri değerlendirilerek incelenmiştir. Alaşımın karakterizasyonu için aşağıdaki laboratuvar ekipmanı kullanılarak çeşitli deneysel testler yapılmıştır. Durometre, mikrodurometre, optik mikroskop, tarama elektron mikroskop (SEM), X ışını difüzyonu, emisyon spektral fotometrisi ve ASTM G65-04 (2010) standardına göre aşınma testi için ekipman. Elde edilen sonuçlar, matriste daha az miktarda austenit tutulduğunda ve ikincil krom karbonların yüksek çökmesi meydana geldiğinde, seçilen alaşımın aşınma direncinin arttığını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, alaşım daha önceden sürüldüğünde, endüstride uygulanan değer aksine daha yüksek sertlik değerleri ve iyi aşınma direnci elde etmek için alaşım dengelemesi için uzun süre kullanılmasının gerekli olmadığını da önerilmektedir. Bu çalışma iki numune grubunun analiz edilmesini içerir. Her ikisi de %22 krom ve %3 karbon içerir. Bunlardan biri, döküm işleminin ham sonucudur. Diğere ise bir ısı işlem uygulanmıştır. Destabilizasyon farklı uygulama süreleri ve sıcaklıkları uygulanarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak mikro yapısal analiz yapılmıştır. Aşınma direnci üzerinde tavlama etkisi gözlemlenmiştir. Sertlik ölçümleri ve ikincil karbür nicelleştirilmesi yapılmıştır. Bulunan değerler, diğer etütlere göre aşınma direnci sonuçlarıyla orantılı olduğunu gözlemlemişler [7]. Ngqase, M., & Pan, X., yapmış olduğu bu çalışma, X ışını difraksiyonu (XRD™) ve sertlik analizi yoluyla hipoeutectic HCWCI'nın farklı ısı tedavisi süreçlerinin matris yapıları, ikincil karbürler ve sertleşme davranışları üzerindeki etkisini araştırmaya

yöneliktir. HCWCI'nın ağırlıkça %25 Cr içeren hipoeutectic demirinin özellikler, %2.5 C, destabilizasyon işlemi, ortam sıcaklıklarına soğutma (yavaş ve hızlı soğutma), yapı üzerindeki etkileri ve sertlikleri X ışını kırınımı (XRD), element dağıtım analizi ve sertlik testleri irdelenerek incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre uygun ısı işlemlerle HCWCI alaşımının mekanik özelliklerinde önemli bir gelişmeye sahip olduğu görülmektedir. Sonuçlar, farklı destablite ısı tedavisi sıcaklıklarındaki östenit fazındaki değişiklik açısından ele alınmıştır. Yüksek krom beyaz dökme demir (HCWCI) aşınmaya dayanıklı dökme demir olarak bilinir ve aşınmaya dayanıklı uygulamalar için kullanılabilen mühendislik malzemeleri arasında en karmaşık mikro kompozit sistemlerden birini temsil eder. Çeşitli mekanik özellikleri ve aşınma özellikleri, belirli bir ortamın zorluklarının üstesinden gelmede geniş bir seçenek yelpazesi sunar. HCWCI'nın icadı bir atılım olarak kabul edilmiştir. HCWCI, %11-30 CR ve %1.8-3.6 C arasında içeren ferromanyetik bazlı alaşımlardır (tüm konsantrasyonlar % ağırlık cinsinden verilmiştir). Mo, MN, Cu, Ni gibi diğer bazı öğeler, vb., sertleşme özelliğini artırmak için alaşım elemanları olarak eklenebilir. Yüksek sıcaklık, östenit dengesini artırır ve daha yüksek tutulmuş östenit içeriği sertliği azaltır. Düşük sıcaklıklar düşük karbon martenzit ile hem sertlik hem de aşınma direncini azaltır. Tutma süresine “destabilizasyon” adı verilir, çünkü östenit matristeki karbon ve krom, ikincil karbürünün çökeltilerinden solüsyondan çıkmayı sağlar. Bu, austenitin alaşım içeriğini azaltır ve MS sıcaklığını yükseltir. Böylece, östenitlerin zorlamalı hava soğutma (FAC) üzerinde martenzit dönüşmesine olanak tanır. Ortaya çıkan mikro yapı, bir martensitik matris içindeki teğetsel M_7C_3 karbür ve ikincil karbidlerden ve bazı alıkonmuş östenit içerdiğini görülmüştür [8]. Sun, Z., & Jian, W., çalışmada dökme demir mikroyapısında büyük östenit kalıntılara sahip yüksek krom beyaz dökme demir, 500 ile 650⁰ C arasında ısı işlem görmüştür. Östenit kalıntıları, oda sıcaklığına soğurken marinelidlere dönüştürülür ve yüksek krom dökme demirin sertliğinin artmasına neden olur. Yüksek krom beyaz dökme demir, aşırı sıcaklık veya uzun süreli ısı tutma nedeniyle azaltılabilecek uygun uygulama sıcaklığında ve sıcaklık koruma zamanında maksimum sertliğe ulaşacak şekilde tasarlanmıştır. Aşınma testlerinin sonuçları, yüksek krom beyaz dökme demirin aşınma direncinde bir miktar iyileşmenin kritik altı ısı işlem ile elde edilebileceğini göstermektedir [9]. Kadhim, M. J., Abood, A. N., & Yaseen, R. S., yaptıkları çalışmada kalıntı östenit fazının mikro yapı üzerindeki etkisini ve dökümden yüksek kromlu beyaz dökme demir Fe-21Cr-3Ni-1.7Mo-2.4 C'nin davranışını belirlemek için farklı Mangan yüzdeleri (0.4, 0.9, 1.3, 1.7, 2.2 ve 2.6 wt. %) eklenmiştir. Tarama elektron mikroskopisi, enerji dağıtıcı spektroskopi analizi (EDS), X-ışını kırınımı ve sertlik testi kullanılarak ayrıntılı incelemeler gerçekleştirilmiştir. Artan Mangan miktarına bağlı olarak dökme alaşımların östenit fazının (γ) net bir şekilde iyileştirdiğini

göstermiştir. Tüm alaşımlar için östenit fazının morfolojisi, dendrit ve plaka karışımıdır. Östenitte aşaması, mangan eklenmesinin artmasıyla net bir şekilde olur. Dökülerek elde edilen alaşımlarında oluşan büyük karbür fazı, (Fe, Cr) $23C_6$ ve Mo_2C 'nin küçük karbür'leri ile M_7C_3 'dir. Mikro yapı analizi, tüm dökme alaşımlarda küçük miktarlarda martenzit ve delta ferrit bulunduğunu göstermiştir. Mangan içeriğinin artmasıyla sertlik sürekli olarak azaldı. Bu durum, ağırlıklı olarak karbür içeriğindeki küçük değişimlerden çok karbür yapısından kaynaklanmaktadır. Karbürler de, östenit matrisindeki miktarlardan daha düşük Mangan miktarlarının bulunduğu gözlemlenmiştir [10]. Ravi, A. M., Murigendrappa, S. M., & Mukunda, P. G., yapmış oldukları çalışmada yüksek krom beyaz dökme demir (HCWCI), çimento üretiminde, mineral işleme ve slurry pompalama endüstrilerinde aşınmaya dayanıklı malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Bu zorlu durumlarda aşınmaya karşı yüksek dirençleri, mikro yapılarında sert ötektik (CR, Fe) $7C_3$ karbides bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, HCWCI'nın %25 Cr içeren hipoeutectic demirinin özellikleri. %C 2.5 stabilizasyon dışı ısıl işlemleri, ortam sıcaklıklarına soğutma (yavaş ve hızlı soğutma) ve mikroyapı üzerindeki etkileri incelendikten sonra incelendi. HCWCI'nın hipoeutectic demirinin karakterizasyonu için, laboratuvar ekipmanı kullanılarak çeşitli deneysel testler yapılmıştır. Hafif optik mikroskop, tarama elektron mikroskop. Elde edilen austenit miktarı ayrıca erime işlemleri sırasında eriyen kalan metallere, destablite sıcaklıklarına, yaşlanma süresine ve ısı tedavisi işlemleri sırasında soğutma oranlarına bağlı olduğunu gözlemlenmişlerdir [11]. Gasan, H., & Ertürk, F., yapmış oldukları çalışmada hipoeutectic beyaz dökme demir, 2 saat boyunca 1173 K, 1273 K ve 1373 K (900 LC, 1000 LC ve 1100 LC) olmak üzere çeşitli destablizasyon ısısına maruz kalmıştır. İşlemsiz ve destablize numuneler optik metallografi, klasik doğrudan karşılaştırma ve Rietveld yöntemiyle karakterize edilmiştir. Karbürlerin hacim kesirleri optik metallografi ile ölçülmüştür. Ayrıca, elde tutulan östenit ve martenzit hacim yüzdeleri klasik doğrudan karşılaştırma yöntemiyle ölçülmüştür. Optik metallografinin sınırlamalarına ve klasik doğrudan karşılaştırma yöntemine rağmen, Rietveld yöntemi tüm fazların hacim fraksiyonlarını belirlemek için art arda ve doğru bir şekilde uygulandı. Ayrıca, Rietveld analizi, mikroyapısal parametreler ile aşınma davranışı arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılabilir fazların kristalsel özellikleri gibi belirli sonuçlar verdi. Mikro yapısal parametrelerin aşınma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek için dökme ve dengelenmiş alaşımlar üzerinde farklı kaydırma hızlarına sahip aşındırıcı aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, ikincil karbürlerin morfolojilerinin, fazların kristal özelliklerinin ve martenzit miktarının, alıkonan östenit ve karbürlerin doğru kombinasyonunun, alaşımın sertliğini ve aşınma davranışını etkileyen temel parametreler olduğunu gösterdi [12].

Bilyaların kimyasal analizlerinin ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çok sayıda literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırmalar bize beyaz dökme demirlerde alaşımlandırmanın aşınmaya ve tokluğa önemli etkisinin olduğu göstermiştir. Beyaz dökme demirin ilk ne zaman ve nasıl bulunduğu, tarihsel gelişimi araştırıldı [13]. Beyaz dökme demirlerin daha başka kullanım alanları araştırıldı [14]. Krom oranı düşürülen beyaz dökme demirlerde aşınmaya ve tokluğa karşı mukavemetin aynı olduğu yapılan laboratuvar çalışmaları ile tespit edilmiş olup çoğu literatür de bu çalışmalar yer almamaktadır. Bundan dolayı deneylerin Cr oranının azaltılarak Çemaş bünyesinde yağda su verme ile çeşitli deneylerin yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Literatürler çalışmaları kapsamında taranan makaleler aşağıda neden faydalandığı ve kaynaklar kısmında liste olarak sunulmaktadır.

Dökme demirlerin genel olarak tanımı, sınıflandırılması için yararlanılan kaynaktan beyaz dökme demirler, grafitli dökme demirler, lamel grafitli dökme demirler, küresel grafitli dökme demirler, östenitik dökme demirler, yüksek alaşımlı dökme demirler hakkında bilgiler verilip bu sınıfta üretilen dökme demirlerin mikroyapıları Çemaş Döküm ve internet sitelerinden yararlanılarak mikroyapı görselleri verilmiştir [15]. Dökme demir türleri ile çelik döküm arasında çeşitli özelliklerin mukayesesi için araştırma yapılmış olup karşılaştırma tablosu elde edilmiştir. [16]. Ayrıca Dökme Demir türlerinin karşılaştırmalı kimyasal analiz tablosu elde edilmiştir. [17]. Beyaz dökme demir ile ilgili uluslararası standartlar araştırılmış olup Astm A532 Standardına ulaşılmıştır. Bu standarda göre Beyaz Dökme Demir Sınıf ve tipleri için çizelgelerden faydalanmış Astm A532 'ye göre malzeme sınıfı ve sertlik gereksinimleri ve malzeme sınıfı ve kimyasal analiz çizelgesi alıntı yapıp çizelgeleri verilmiştir [18]. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerde içeriğindeki karbon oranına göre SEM mikroyapı analizleri ve resimleri araştırılıp incelendi [19]. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin incelenmesi, üretim yöntemleri, ergitme pratiği, korozyon direnci, kimyasal analizleri, kullanım sahaları, sertlik değerleri, A532'ye göre sınıf ve tiplerin sınıflandırılması için araştırmalar yapılmış ayrıca kullanım alanları incelenmiştir. Beyaz dökme demir alaşımlarının çimento, maden, seramik endüstrisinde öğütücü malzeme olarak kullanımı gün geçtikçe arttığı görülmüştür [20, 21, 22].

BÖLÜM 3

3.1. DÖKME DEMİRLER

Dökme demirler genel bir tanım olup, geniş kapsamlı özellikleri ile çok farklı demir alaşımlarının tamamını kapsar. Dökme demir sıcakta ve soğukta biçimlendirmeye elverişli olmayıp döküldüğü şekilde kullanılan bir demir-karbon-silisyum alaşımıdır. Bileşimindeki karbon %2-4, silisyum %3'e kadar olabilir. Dökme demirler çelik dökümlere göre daha kırılğan ve daha düşük mekanik özellikler sergilerler. Ancak maliyetleri daha düşük ve daha iyi döküm özelliklerine sahiptirler. Bunların yanı sıra, karbon ve silisyum oranları arasındaki denge değiştirilerek, çeşitli metalik ve metalik olmayan elementler ile alaşımlandırma yapılarak, ergitme, döküm ve ısıl işlem pratikleri değiştirilerek mukavemet, sertlik, işlenebilirlik, aşınma ve korozyon direnci vb. özellikleri istenen değerlere getirilebilir [23, 24]. Çizelge 1 'te dökme demir türleri ile çelik döküm arasında çeşitli özelliklerin mukayesesi verilmiştir. Burada 1 numara en iyisi iken 5 numara en kötü olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 1. Dökme demir türleri ile çelik döküm özelliklerinin kıyaslanması [24]

| Özellikler: | Gri Dökme Demir | Beyaz Dökme Demir | Temper Dökme Demir | Küresel Grafitli Dökme Demir | Çelik Döküm |
|------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------|
| Dökülebilirlik | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| İşlenebilirlik | 1 | - | 2 | 2 | 3 |
| Titreşim Söndürme Kabiliyeti | 1 | 4 | 2 | 2 | 4 |
| Yüzey Sertleşebilirliği | 1 | - | 1 | 1 | 3 |
| Elastisite Modülü | 3 | - | 2 | 1 | 1 |
| Darbe Direnci | 5 | - | 3 | 2 | 1 |
| Aşınma Direnci | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| Korozyon Direnci | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| Üretim Maliyeti | 1 | 1 | 3 | 2 | 4 |

3.2. DÖKME DEMİRLERİN SINIFLANDIRMASI

Demir alaşımları dökme demirler ve çelik dökümler olmak üzere iki ana bölüme ayrılırlar. Bileşiminde % 2'ye kadar karbon bulunan demir alaşımları çelik % 2'den büyük karbon bulunan demir alaşımları dökme demir sınıfına girmektedir. Demirin kullanım durumların ve özellikleri bakımından kimyasal bileşimin etkisi başlıca iki elemente bağlıdır: silisyum ve karbon. Bu sebepten dolayı, karbon ve silisyum dökme demirlerde mikroyapı özelliklerinin değiştirmektedir [25, 26]. Çizelge 2'de dökme demirlerin kimyasal bileşim aralıkları sunulmaktadır.

Çizelge 2. Dökme demirlerin kimyasal bileşim aralıkları [25]

| Element | Gri Dökme Demir | Beyaz Dökme Demir | Temper Dökme Demir | Küresel Grafitli Dökme Demir |
|----------|-----------------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| Karbon | 2,5-4,0 | 1,3-3,6 | 2,00-2,60 | 3,0-4,0 |
| Silisyum | 1,0-3,0 | 0,5-1,9 | 1,10-1,60 | 1,8-2,8 |
| Mangan | 0,25-1,0 | 0,25-0,80 | 0,20-1,00 | 0,10-1,00 |
| Kükürt | 0,02-0,25 | 0,06-0,20 | 0,04-0,18 | Maksimum 0,03 |
| Fosfor | 0,05-1,0 | 0,06-0,18 | Maksimum 0,18 | Maksimum 0,1 |

3.2.1. Beyaz Dökme Demir

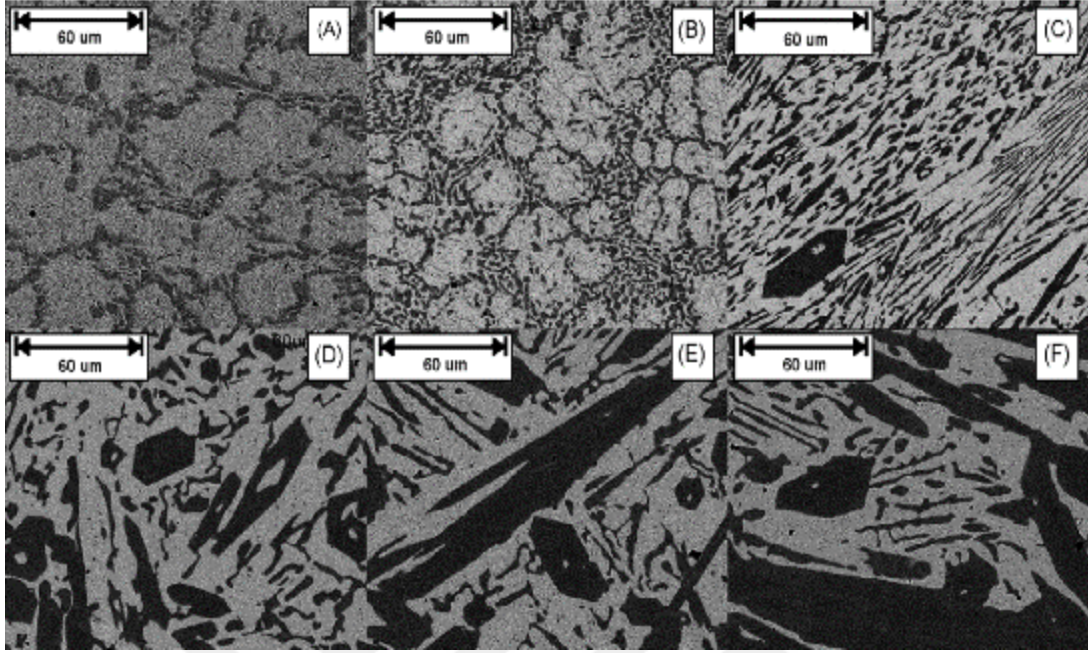
Beyaz dökme demir alaşımlarına bakıldığında bileşimindeki karbon ve sementit (demirkarbür Fe_3C) halinde olan dökme demirdir. Beyaz dökme demirlerin üretim ve alaşımlandırma işlemlerinin geliştirilmesiyle uygulama alanları da artmıştır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin yapısındaki sert krom karbürlerin malzemenin mekanik özellikleri ile aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir. Aşınma direncinin önemli olduğu ve sünekliğin istenmediği yerlerde kullanılmaktadır. Bu sebeple beyaz dökme demirler tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, segmanlar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek aşınma direnci gösteren uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Beyaz dökme demirlerde

yüksek aşınma direnci ve tokluk seviyelerine ulaşmak için uygun karbür ve matris yapılarının mikro yapı içinde yer alması gerekir. Matris için yapılacak en iyi seçim ikincil karbürlerle sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzittir. Diğer bir seçenek ise östenitin ısı ile sertleştirilmesidir. Artan karbon miktarı aynı zamanda martenzitin de aşınma direncini artırır. Isıl işlem sonrası martenzitik yapı içine dağılan ikincil karbürlerin aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir. Isıl işlem sonrası yapılan temperleme ise aşınma direncini düşürdüğü için tercih edilmemektedir [26, 27].

Beyaz dökme demir, katılaşma sonucu, karbonun grafit yerine demir karbür oluşturması ile meydana gelmektedir. Beyaz dökme demirde esas yapıyı gösteren ve aşınma özelliklerini ortaya koyan Fe-Cr-C üçlü sistemidir. Bu sistemde %15 kadar krom, sementit fazı içinde demirle yer değiştirebilir. Ancak daha yüksek krom içeriklerinde sementit kararsızdır ve M_7C_3 hegzagonal karbürüne dönüşür [30]. Döküm halindeki, alaşımsız beyaz dökme demirin mikroyapısı perlit anafazı içinde büyük miktarda demir karbürden oluşur. Beyaz dökme demirin beyaz diye adlandırılmasının nedeni kırılma yüzeyinin beyaz veya parlak kristalimsi bir yapıda olmasıdır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler 1915 yılında The Electro Metallurgical Company'nin Niagara Şelaleleri Araştırma Laboratuvarlarında bir İngiliz metalürjisi olan Frederick Becket tarafından yapılan araştırmalarda keşfedildi. Bu metalürjisinin amacı krom ağırlıklı yeni takım çelikleri geliştirmekle birlikte I. Dünya Savaşı sırasında takım çeliklerinin üretiminde ortaya çıkabilecek muhtemel ferro alaşım sıkıntılarına karşı alternatifler bulmaktı. Becket ilk yüksek alaşımlı dökme demiri 1916 yılında keşfetti ve bu alaşımın özellikleri ile uygulama alanlarını 1.245.552 numaralı ABD patentinde açıkladı. Becket'in bu araştırmasında üretilen yüksek C ve yüksek Cr'lu alaşımların alaşımsız beyaz dökme demirlerden daha az kırılma, olağanüstü aşınma dayanımlı, ısı ve korozyona karşı mükemmel dayanıma sahip oldukları tespit edilmiştir. %25-30 Cr'lu dökme demir alaşımların gelişmesi ve yaygınlaşması dökme demir teknolojisindeki en önemli aşamalardan biri olmuştur. Bu gelişme birkaç yıl sonra INCO tarafından aşınma dayanımlı dökme demirlerde nikel için uygulama alanı bulmayı amaçlayan bir araştırma programını da harekete geçirmiştir [28].

Yüksek kromlu beyaz dökme demirler öncelikle aşınma direnci gereken uygulamalarda, kırıcı, öğütücü ve abrasif malzeme tutucuları için üretilmektedir. Yüksek alaşımlı ve özellikle de yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirle cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım alet makinalarının pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörlerde kullanılmaktadırlar. Bu alanlarda kullanılan malzemelerin hızlı aşınması maddi zararlara ve iş kayıplarına sebep olmaktadır. Bundan dolayı daha sert, aşınmaya daha dayanıklı ve darbeye

karşı daha dirençli malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler bu amaca en uygun malzeme gruplarından biridir [30-32].



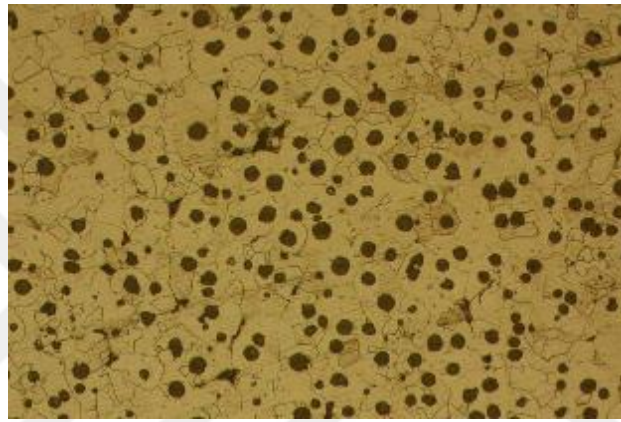
Şekil 2. A)% 1, B)%2, C)%3, D)%4, E)%5, F)%6 C içeren yüksek kromlu beyaz dökme demirin SEM görüntüleri [29]

3.2.2. Lamel Grafitli Dökme Demir

Lamel grafitli dökme demir, bileşimindeki grafit, yaprağımsı lameller (tabaka-pul) şeklinde olan dökme demirlerdir [25]. Kırıldığı zaman gri bir yüzey gösteren ve katılaşmadan sonra içerdiği karbonun büyük bir kısmı grafit yaprakları halinde bulunan, bileşimi, yapısı ve özellikleri geniş sınırlar içerisinde değişen dökme demir çeşitleri arasında en çok kullanılan dökme demir çeşididir. Diğer dökme demirlerde olduğu gibi lamel grafitlerin metalürjisi de Fe-C denge diyagramına dayanır. Bununla beraber, lamel grafitli dökme demir elde etmek için soğuma sırasında, normal olarak ötektik sıcaklığın hemen alt ve üst kısımlarında meydana gelen demir karbürün (Fe_3C) stabilitesini bozmak gerekir. Bu amaçla soğumanın yavaş olması kâfi olmakla beraber, bazı yabancı elemanlar (Si, Al, Cu, vs.) demir karbürü kararsız yapar ve grafit çekirdeklerinin oluşumuna sebep olurlar.

3.2.3. Küresel Grafitli Dökme Demir

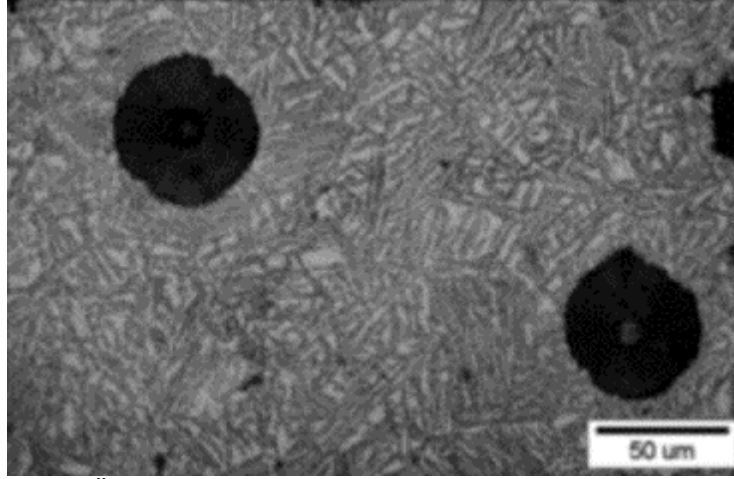
Küresel grafitli dökme demir, bileşiminde ki grafit küresel şekilde olan dökme demirdir. Bu dökme demire, nodüler veya sfero döküm de denir. Karbonun yapraksı lamelden, küre şekline dönüşmesini sağlamak amacıyla, ergimiş dökme demire %1-1,5 oranında magnezyum içeriğine sahip ferrosilis magnezyum (FeSiMg) veya Seryum (Ce) ile treatment yapılır. Özel olarak elde edilen bu dökme demire, grafit yapısından dolayı küresel grafitli dökme demir denir. Küre şekilli grafitler, dökme demire yumuşaklık (süneklik) kazandırır. Kırılmış yüzeyi parlak görünüşlüdür. Küresel dökme demirler, yüksek mukavemet, süneklik, tokluk, düşük ergime derecesi, iyi işlenebilirlik ve iyi akışkan özelliklerine sahip olduklarından dolayı dökme demirler grubu içerisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [33, 34].



Şekil 3. EN GJS 400-250-18 mikroyapı resmi (Faz: %98 Ferrit %2 Perlit) %3 Nital

3.2.4. Östenitik (Austenitik) Dökme Demir

Östenitik dökme demir, uygun ve yüksek miktarda alaşım elementlerinden dolayı ana dokusu östenitik olan ve içinde genellikle lamel veya küresel grafit bulunan dökme demirlerdir. Östemperlenmiş dökme demirlerin (ADI) mikro yapısında gördüğümüz fazlar ösferrit (östenit + ferrit) yapısındadır. Bu sınıftaki dökme demirlere özel ısıtma işlemleri uygulanarak çok yüksek mukavemetli dövme demir sınıfında malzemelere alternatif malzemeler geliştirilmiştir. %35'e kadar Nikel içerebilirler ve Ni-Resist adını alırlar. Korozyona karşı mukavemetli olup yüksek mekanik özellikleri mevcuttur. Grafit şekilleri biraz küresel şekli kaybetmiştir. Ana yapı östenit olup çok az miktarda perlit fazından meydana gelmişlerdir [41]. Şekil 4'te Östenitik dökme demirin mikroyapısı görüntüsü verilmiştir. Görselde siyah koyu bölgele grafitleri, ağsı yapı ise beyaz yapıyı göstermektedir [21].



Şekil 4. Östenitik dökme demirin mikroyapısı görüntüsü [21]

3.2.5. Gri dökme demir

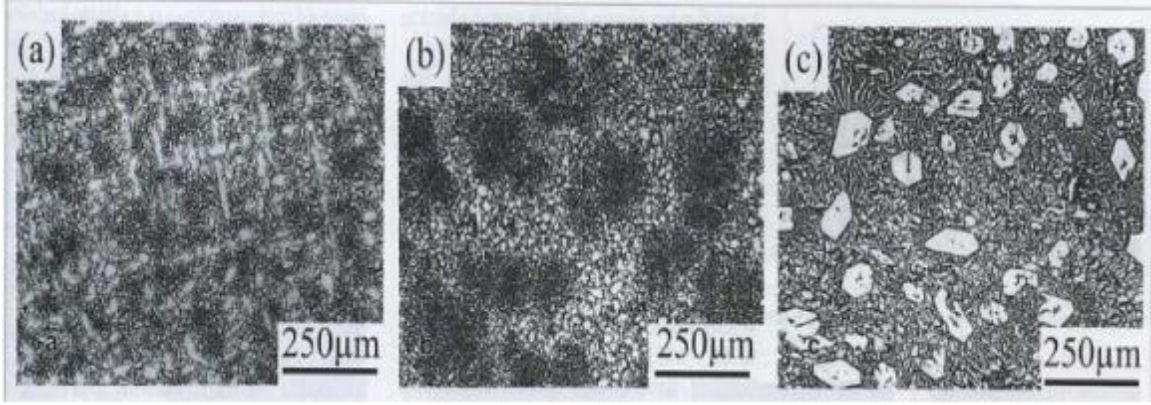
Dökme demirler arasında gri dökme demirler en yaygın olarak kullanılanıdır. Gri dökme demirlerde yer alan lamel grafitler üstün aşınma direnci sağlayan sertlik değerlerinde titreşimi söndürme ve sınırlı yağlamalı sürtünme direncine sahiptir. Bu sebeple gri dökme demirler mühendislik uygulama alanlarında bu gibi özelliklerinden dolayı yer almıştır [23-25].

3.2.6. Temper dökme demir

Temper dökme demir; alaşımsız beyaz dökme demirin ısı işleme ile üretilir. Temperleme ısı işleme esnasında, katılaşma durumunda oluşmuş sementit bozularak, grafit yığınları veya nodüller üretilir. Yuvarlanmış grafit şekli ile temper dökme demirin sünekliği ve iyi bir dayanıma sahip olmasını sağlar. Temper dökme demirler belirli uygulamalar için arzu edilen işlenebilirlik, tokluk, dökülebilirlik, süneklik, korozyon dayanımı ve ısı işlemlerinden dolayı üniform bir yapıya sahip olduğu için mühendislik malzemelerinin en önemlisidir. Temper dökme demir ferritik ve perlitik dökme demiri içermektedir. Yüksek dayanımlı perlitik temper dökme demirler perlitik değil temperlenmiş martensitik yapıya sahiptir [33].

3.3. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN ISIL İŞLEMİ

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde teşekkül eden M_7C_3 ötektik karbürleri düşük krom içerikli alaşımlı dökme demirlerde oluşan M_3C ötektik karbürlerine göre oldukça sert, kırılma aşınma dirençli ve düzensiz dağılıma sahiptir. Kromlu beyaz dökme demirlerde tokluk genel olarak karbon içeriğinin düşürülmesi, metal matris hacim oranının artırılması ile sağlanırken aşınma direnci karbür miktarının artırılması ile iyileştirilmektedir. Şekil 5’de yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin karbon içeriğinin karbür fazının dağılımına ve şekline olan etkisi verilmiştir.



Şekil 5. Yüksek kromlu beyaz dökme demirin bileşime göre mikroyapıları a) Ötektik altı, b)Ötektik, c)Ötektik üstü [34]

Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler üretimi sıradan demir türlerinden ayrı düşünülmesi gereken önemli bir malzeme grubudur. Bu dökme demir alaşımlarında alaşım içeriği %4'ün oldukça üzerindedir. Dolayısıyla diğer standart bileşimlerdeki dökümlerdeki gibi pota ilaveleri ile üretilemezler. Yüksek alaşımlı dökme demirler genellikle özel olarak donatılmış dökümhanelerde üretilirler. Bu demir alaşımları çoğunlukla elektrikli indüksiyon ocaklarında eritilir. Özellikle kimyasal bileşim ve sıcaklığın hassas kontrolü için elektrik ark ocakları ve indüksiyon ocakları kullanılır. Beyaz dökme demirleri üreten dökümhaneler genellikle bu malzemeleri ürettikten sonra ısıl işlem yaparlar. Bu ısıl işlemleri gerçekleştirmek için gerekli fırın ve soğutma ekipmanlarına sahip olmalıdır [35].

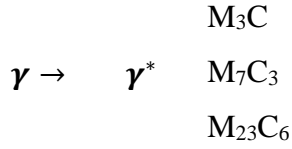
Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler öncelikle aşınmaya dayanıklı uygulamalarda, makinelerde, aşındırıcı malzemelerin ezilmesi, öğütülmesi ve taşınması için ihtiyaç duyulan parçalara kullanılır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin ısıl işlemi esnasında kırılma riskini ortadan kaldırmak için ısıtmanın ve soğutmanın kontrollü olarak yapılması gerekir. Ayrıca uygulanan başlıca ısıl işlemler destabilizasyon, kritik sıcaklık altı veya temperleme, sıfır altı soğutma işlemleri, küreselleştirme ve gerilme giderme ısıl işlemlerinden oluşmaktadır [36].

3.3.1. Östenitleme (Destabilizasyon) ısıl işlemi

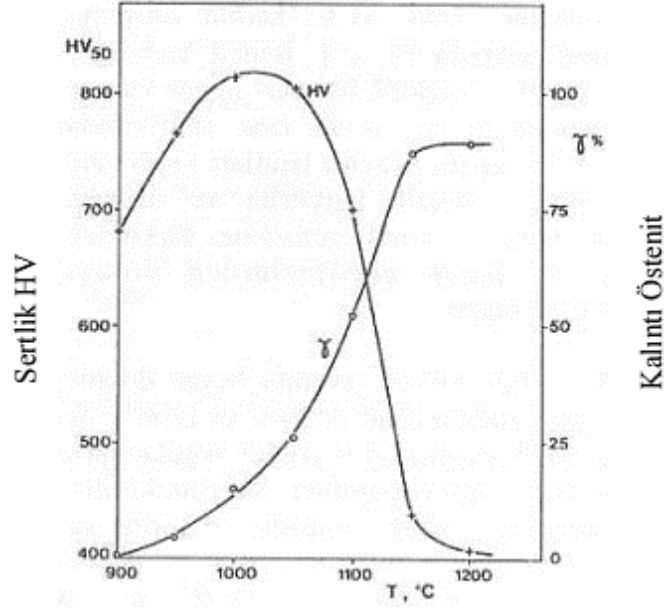
Destabilizasyon ısıl işlemi, 920-1060 °C sıcaklık aralığında 1-6 saat bekletme işlemidir. Kalın kesitli dökümlerin östenitleme işlemi genellikle sıcaklık aralığının üst noktasına yakın sıcaklıklarda yapılır. Döküm parçalar, krom-karbürlerin çözülmesi ve karbonun dengeli dağılımıyla yeterli sertliği vermesi için, östenitleme sıcaklığında yeterli sürede (en az 4 saat) tutulmalıdır. Kalın kesitli parçalar için 1saat/25,4 mm oranı yeterlidir. Yapısı tamamen perlitik

olan dökümlerde ısıtma işlem süresi azaltılabilir. Östenitleme işleminde ikincil karbürler matrisde çökelmekte, matris alaşım içeriği ve karbon miktarı azalmaktadır. Östenitik matrisdeki alaşım içeriğinin düşmesi, martensit oluşum başlangıç sıcaklığını (M_s) artırmakta ve oda sıcaklığına soğutma işlemiyle matris martensite dönüşebilmektedir. Döküm parçaların destabilizasyon sıcaklığından havada soğutma işlemi ile su verme çatlakları önlenirken, genellikle yeterli miktarda martensit yapı elde edilmektedir. Düşük kromlu alaşımlara yağda su verilmektedir.

Isıl işlem sırasında oluşan destabilizasyon tepkimesi

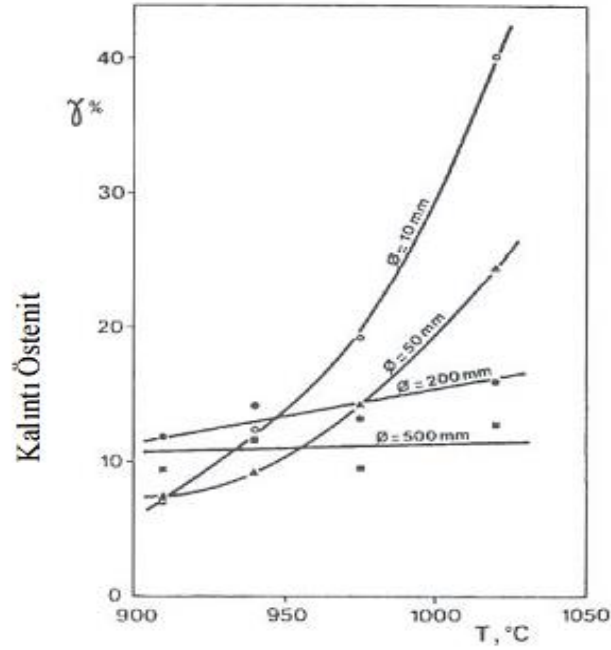


γ^* , Orijinal östenit matristen (γ) daha az alaşım içeren östenit'tir. Oluşan ikincil karbürlerin tipleri (M_3C , M_7C_3 , $M_{23}C_6$), matris bileşimine ve destabilizasyon sıcaklığına bağlıdır. Destabilizasyon işleminden sonra martensitçe zengin matris oluşmasına rağmen, %35 kadar östenit matriste kalabilmektedir. Destabilizasyon işleminden sonra kalıntı östenit miktarı alaşımın bileşimine, destabilizasyon sıcaklığına, zamana, döküm parçanın kesitine ve matris karbon içeriğine bağlıdır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan destabilizasyon işleminde, östenitteki yüksek karbon çözünürlüğü karbür çökmesinin itici gücünü azaltmaktadır. Yüksek karbonlu matris ile M_s sıcaklığı düşmekte, havada soğutulmuş yapıda büyük miktarda kalıntı östenit oluşmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yapılan destabilizasyon ısıl işleminde matrisin karbon içeriği belirgin bir şekilde düşmekte ve karbür çökmesi artmaktadır. Soğutmada oluşan düşük karbonlu martensit nispeten düşük sertliğe sahiptir. Isıl işlemde kalıntı östenit miktarı, çözeltilme sıcaklığı, kesit boyutu ve sertlik arasındaki ilişki Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Destabilizasyon işlemi takiben oluşan mikroyapı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişebilmektedir. Destabilizasyon sıcaklığı etkisinin büyük kesitlerde azaldığı Şekil 7'de görülmektedir. Büyük kesitli parçaların yavaş soğutulmasıyla ilave ikincil karbür çökmesi oluşabilmektedir. Çok düşük soğutma hızları, perlit oluşumuna ve düşük sertliğe sebep olmaktadır.



Çözeltiyeye Alma Sıcaklığı

Şekil 6. %16 Cr içeren Yüksek kromlu beyaz dökme demirde çözeltiyeye alma sıcaklığı, kalıntı östenit miktarı ve su verme sonrası sertlik arasındaki ilişki [33]



Çözeltiyeye Alma Sıcaklığı

Şekil 7. Çözeltiyeye alma sıcaklığı, kesit kalınlığı, kalıntı östenit miktarı arasındaki ilişki [35]

Destabilizasyon sıcaklığında bekletme süresi, genelde 1-6 saat arasında değişmektedir. Her 25 mm kesit kalınlığı için, 1 saat+15 dakika bekleme süresi bir kural olarak uygulanmaktadır. Destabilizasyon sıcaklığında optimum bekletme süresi alaşım kompozisyonuna, döküm parça kesit boyutuna ve döküm yapısına bağlıdır. Yüksek nikel ve bakırlı alaşımlarda ısıtım işlemi esnasında bu elementlerin matriste kalması için 6 saatlik süre ile bekletme işlemi gerekmektedir. Fazla miktarda ikincil karbür çökmesi için Ms sıcaklığı yeterli seviyede yükseltilir. Dökümlerde perlitik yapılar östenitik yapılardan daha az destabilizasyon süresine ihtiyaç duymaktadır. Perlitik yapıların destabilizasyon işleminde östenitik yapıların destabilizasyon işlemine göre daha yüksek sertlikler elde edilir. Destabilizasyon ısıtım işleminde matristen ayrılan alaşım elementleri ikincil karbürler şeklinde çökmektedir [36].

3.3.2. Kritik sıcaklık altı veya temperleme ısıtım işlemi

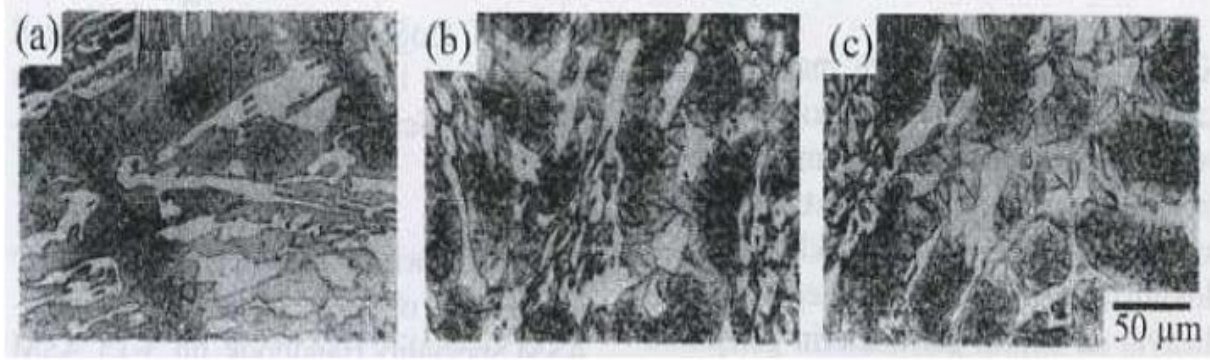
Yüksek kromlu beyaz dökme demirde destabilizasyon ısıtım işlemi sonrasında mikroyapı baskın olan martensitik yapı ile birlikte %35'e kadar östenit içerebilmektedir. Düşük miktarda kalıntı östenit için kritik sıcaklık altı ısıtım işlemler uygulanmaktadır. Kritik sıcaklık altı veya temperleme ısıtım işlemi 200 ve 600 °C sıcaklıkları arasında 2-6 saat süre ile bekletme işlemi içermektedir. Temperleme ısıtım işlemi esnasında ikincil karbür çökmesi ($M_{23}C_6$ karbür), ötektoit reaksiyon ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{alaşım karbür}$) ve perlit oluşumu ($\alpha + M_3C$) meydana gelir. Genellikle ikincil karbür çökmesi neden olan reaksiyon tercih edilmektedir. Soğutma esnasında martensit üreten herhangi bir kalıntı östenit, stabilize olabilmektedir. Oluşan reaksiyonlar malzeme bileşimine bağlı olduğu kadar işlem sıcaklığı ve süresine de bağlıdır. 400°C sıcaklığa kadar yapılan temperleme işlemi martensitin temperlenmesini gerçekleştirerek sertliği biraz düşürebilmektedir. İkincil karbür çökmesi ve östenit miktarının düşmesi ile sertliğin artması 400-500 °C sıcaklıklar arasında meydana gelmektedir. 600°C'den yüksek sıcaklıklar perlit oluşumuna veya östenit bozunumuna (ferrit ve alaşım karbürü olarak) neden olmaktadır. Bu işlem östenit miktarının azalmasına rağmen genellikle aşınma direncini ve sertliği düşürdüğü için tercih edilmez. %2,6 C – %20 Cr – %2,5 Mo alaşımının kritik sıcaklık altı ısıtım işleminden sonra gösterdiği sertlik değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3 Kritik sıcaklık altı ısıl işlemleri uygulanmış %2,6 C – %20 Cr – %2,5 Mo alaşımına ait sertlik değerleri [35]

| Kritik Sıcaklık altı Isıl İşlemi | | Sertlik (HV ₃₀) | |
|----------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|
| Sıcaklık (°C) | Zaman (saat) | %0.54 Si içeren döküm | %1.13 Si içeren döküm |
| Döküm Hali | - | 630 | 640 |
| 205 | 4 | 610 | 631 |
| | 8 | 606 | 631 |
| | 16 | 602 | 626 |
| 290 | 4 | 615 | 657 |
| | 8 | 601 | 636 |
| | 16 | 601 | 651 |
| 450 | 4 | 620 | 685 |
| | 8 | 618 | 693 |
| | 16 | 633 | 676 |
| 500 | 4 | 668 | 728 |
| | 8 | 683 | 723 |
| | 16 | 677 | 691 |
| 550 | 4 | 629 | 646 |
| | 8 | 625 | 602 |
| | 16 | 620 | 582 |

3.3.3. Sıfırlı soğutma işlemleri

Matris yapısında kalıntı östenitin dönüşümü, destabilizasyon ısıl işlemini takiben sıfırlı soğutma işlemleri ile yapılmaktadır. Sıfırlı soğutma işlemleriyle ilgilenilmesinin bir başka nedeni ise yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin üretiminde destabilizasyon ısıl işlemini çıkartmaktır. İkincil karbür çökmesiyle beraber düşünülen destabilizasyon ısıl işlemi beyaz dökme demir alaşımlarının kırılma tokluğunu olumsuz yönde etkileyebilmekte ve ısıl işlem esnasında uygulanan sıcaklık gradyanları istenmeyen kalıntı gerilmeler oluşturabilmektedir. Sıfırlı soğutma işlemleri uygulanmış %15Cr-%3Mo beyaz dökme demirin mikroyapısı martensit-östenit karışımı matriste ötektik ve ikincil karbürlerden oluşmaktadır (Şekil 8). Uygulanan sıcaklık azaldıkça matriste martensit miktarının arttığı ve daha az aşınma kaybı olduğu belirtilmiştir.



Şekil 8. 15Cr-3Mo alaşımlı beyaz dökme demir alaşımının optik mikroyapıları, 1100 °C’de yapılan destabilizasyon işlemini takiben a) 25°C, b)95°C, c)196°C soğutulan numuneler [34]

3.3.4. Gerilme giderme ısı işlemleri

Kalıntı gerilmeler döküm malzemelerde katılaşma ve destabilizasyon ısı işlemi sırasında kalın ve ince kesitlerde veya yüzey ve iç bölgelerde soğuma hızlarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Kalıp malzemesinin karakteristikleri kadar döküm malzemesinin özellikleri ve döküm dizaynının da kalıntı gerilmelerin oluşumu üzerinde etkili olabilmektedir. Destabilizasyon ısı işlemi gibi yüksek sıcaklık işlemi takiben soğutma işleminde döküm parça üzerinde sıcaklık farklılıklarının artması kalıntı gerilmenin artmasına neden olabilmektedir. Kalıntı gerilmeler, dökümlerin kalıp içinde yavaş, üniform ve yönlü soğutulmasıyla azaltılabilmektedir. Pearce [37], beyaz dökme demir alaşımlarında gerilme giderme ısı işlemi için 600-700°C sıcaklık aralıklarının kullanılmasını önermektedir.

%10, %16, %20 ve %26 Cr içeren ötektik ve ötektikaltı dökme demirlere ısı işlemlerin uygulanması üzerine yapılan çalışmada aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir [38]; Sertleştirme ısı işlemlerinde;

- Makro sertliğin sabit krom içeriğinde farklı karbon oranlarında çok fazla değişmediği,
- Kalıntı östenit hacminin sabit krom içeriğinde östenitleme sıcaklığı yükseldikçe arttığı,
- Yapıda, ötektik γ ve M_7C_3 karbürün bulunması durumunda, Cr/C oranı arttıkça kalıntı östenit hacminin azaldığı ve aynı Cr/C oranlarında yüksek östenitleme sıcaklıklarında daha fazla kalıntı östenit hacminin gözlemlendiği,
- Sertliğin kalıntı östenit hacmi ve ötektik karbürün tipine göre değiştiği ve maksimum sertlik değeri olan 800 HV’nin %20 kalıntı östenit hacmi içeriğinde gerçekleştiği belirtilmiştir.

Temperleme işlemlerinde;

- Sertliğin kalıntı östenit hacmine bağlı olduğu ve 800HV maksimum sertlik değerinin %20 kalıntı östenit hacminde sağlandığı,
- Temperleme sıcaklığına bağlı olmaksızın Cr/C oranı arttıkça sertliğin azaldığı açıklanmıştır [38].

3.4. Uygulama Alanları

Yüksek krom içeren beyaz dökme demirlerdeki üstün aşınma direnci ve tokluk, bu malzemelerin aşınmaya maruz birçok uygulamada kullanılmasının nedenidir. Cevher hazırlama, cam, porselen, toprak ve kimya sanayinde aşındırıcı maddeleri öğütme, nakletme, püskürtme, kırma ve karıştırmak için kullanılan makinaların aşınmaya maruz parçalar döküm yöntemi ile yüksek kromlu beyaz dökme demirden imal edilmektedir. Yüksek krom içeren beyaz dökme demirler sıvıların nakledildiği pompalarda, tuğla kalıplarında, yüzey temizleme ekipmanlarının da, kaya madenciliğinde kullanılmaktadır [34, 39, 40].

BÖLÜM 4

MATERYAL (MALZEME) VE METOT

4.1. Malzeme

Çizelge 4’de verilen kimyasal analiz çizelgesinde verilen analizlere uygun olarak ve belirtilen miktarlarda paslanmaz çelik, pik karbonu, açık çelik ve ferro krom kullanılarak dökümler yapılmıştır. Ergitmeler Eges marka (2014) 2 adet, 6 ton/saat kapasiteli induksiyon ocaklarında yapılmıştır.

Çizelge 4. Deney numunelerinin kimyasal analiz parametreleri

| DENEYLERİN KİMYASAL ANALİZİ | | | | | | |
|------------------------------------|---------|------------------|---------|--------|---------|-------------|
| | Sıra No | Çap (mm) Ø | % C | % Si | % Mn | % Cr |
| Deneyler | 1 | 90 | 2,0-2,1 | Max. 1 | 0,6-0,8 | 9,00-10,00 |
| | 2 | 90 | 2,0-2,1 | Max. 1 | 0,6-0,8 | 10,00-11,00 |
| | 3 | 90 | 2,0-2,1 | Max. 1 | 0,6-0,8 | 11,00-12,00 |
| | 4 | 90 | 2,0-2,1 | Max.1 | 0,6-0,8 | 12,00-13,00 |
| Standart Ürün | 5 | 90 | 2,1-2,3 | Max. 1 | 0,4-1 | 17-19 |

Deneyler Şekil 9’da görsellerde verilen HWS SINTO HSP-3 (Yatay kalıplama hattı) da yapılmıştır. Hattın kapasitesi 40 Kalıp/saattir. Kalıplama hattının kalıp boyutları

900x750x300+250 mm'dir. HWS SINTO HSP-3 kalıplama hattına kalıplama olarak Ø90 mm bilye modeli bağlanarak döküm prosesleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. HWS SINTO HSP-3 (Yatay kalıplama hattı)

Deney planı yapılan malzemeler ergitildikten sonra OBLF GS 1000 II marka spektrometre (Şekil 10) ile analizleri kontrol edildikten sonra kalıplanmış kalıplara döküm işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Ürünler HWS SINTO HSP-3 kalıplama makinesinde kalıplandıktan sonra kum kalıplardan çıkarıldıktan sonra hem kumlarından hem de birbiri ile bağlantılarından ayırmak için kullanılmıştır. Ayrıca, döküm kumunu temizlemek amacıyla bilye yolluk-besleyici kırma makinesinde yolluklarından ayrıldı (Şekil 11).



Şekil 10. OBLF GS 1000 II Spektrometre



Şekil 11. Bilye yolluk-besleyici kırma makinesi

4.2. Isıl İşlemler

Bilye yolluk-besleyici kırma makinesinden çıkan ürünler 5 nolu deney parametresi için tam otomatik, doğalgazlı bilgisayar kontrollü ısıl işlem fırınında ısıl işlem gerçekleştirildi. Isıl işlem yapılan ürünler 5 nolu deney için havada su verme ısıl işlem yöntemi ile soğutma prosesi gerçekleştirildi. Şekil 12’de LOCHER marka kontinü görseli verilmiştir. Kırılan bilyeler tam otomatik, doğalgaz ile çalışan bilgisayar kontrollü ısıl işlem fırının da (700kg/saat) ısıl işlem yapılmıştır.



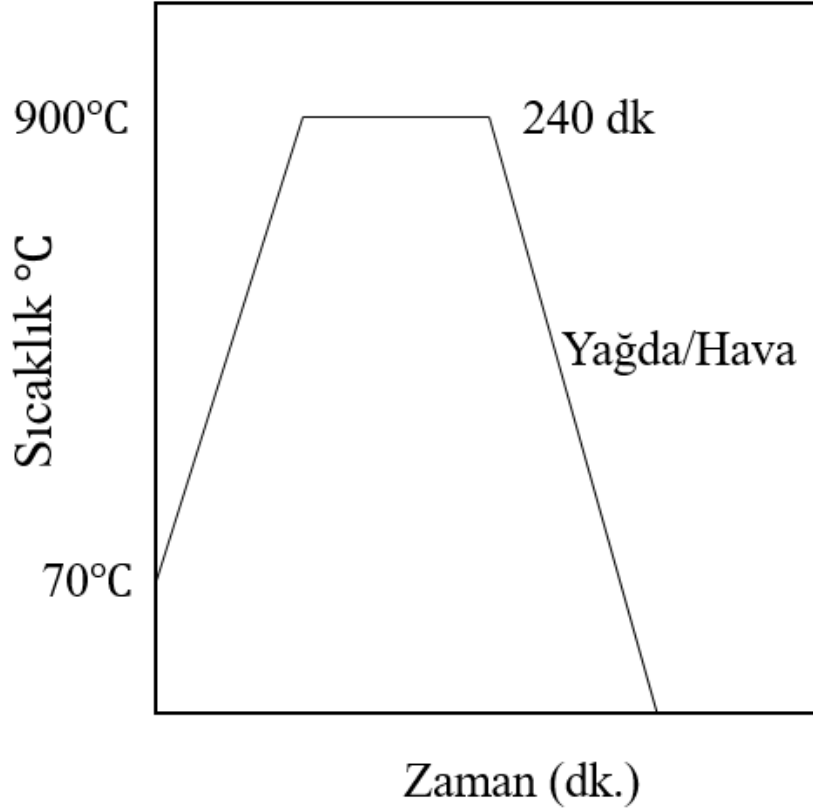
Şekil 12. LOCHER marka kontinü [22]

Deneylerde kullanılmak üzere üretilen düşük kromlu bilyeler prototip ısıtma fırınında (Şekil 13) ısıtma işlemleri yapılarak ısıtma işlem programına uygun bir şekilde yağda su verme gerçekleştirilmiştir (Şekil 13). Yağda su verme ısıtma işlem programına göre fırın içerisinde 4



Şekil 13. Prototip ısıtma fırını

saat 900°C de ısıtma işlem olan 70°C de ki yağ banyosuna atılmıştır. Şekil 13’de normal üretim olan %19 Cr’lu bilyeler de deney parametreleri sırasıyla ısıtma işlem programına uygun şekilde ısıtma işlem yapıp hava ile soğutulmuştur.



Şekil 13. Yağda/Havada su verme ısıl işlem programı

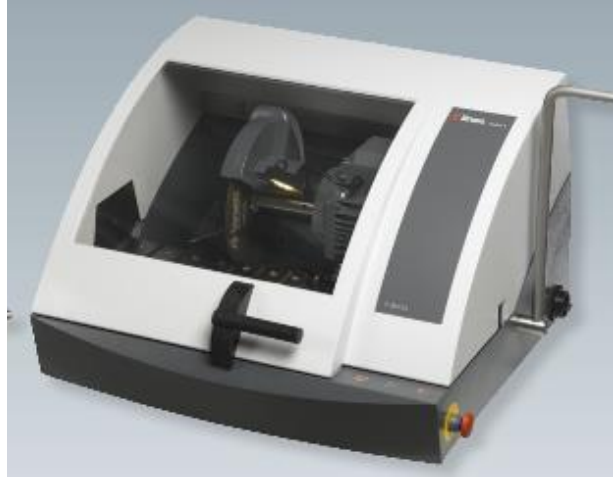
Isıl işlem yapılan bilyeler gerilim giderme tavlaması için Şekil 14’de görseli verilen sürekli tam otomatik elektrikli gerilim giderme fırını (ISTAS, 1200 kg/saat) gerilim giderme tavlaması yapılmıştır. Gerilim giderme test programı 280⁰C ye çıkarılarak 3 saat bekletilip sonra normal atmosfere çıkarılarak deney aşamalarına geçilmiştir. Gerilimleri alınmış tüm bilyeler kalite kontrol işlemleri gerçekleştirmek üzere ayrılmıştır.



Şekil 14. Gerilim giderme fırını [22]

4.3. Mikroyapı Analizleri

Mikroyapı analizleri için numuneler Şekil 15’de verilen Struers Labatom 5 marka kesme cihazı ile Şekil 16’daki gibi kesilerek mikroyapı numuneleri çıkarıldı.



Şekil 15. Numune kesme cihazı



Şekil 16. Mikroyapı analizi için çıkarılmış bilye görüntüsü

Numuneler Şekil 17’de görseli verilen LaboPol-5 numune zımparalama ve parlatma cihazında mikroskop görüntüsü alınabilmesi için polisaj işlemleri tamamlanır. Zımparalama işlemlerinden kesimden 5’er dk. süre ayarlanarak numuneler önce 120 grid. zımpara sonra 320 ve 1000 grid zımparalama işlemlerinden geçirilmiştir. Zımparalama işlemleri biten numuneler polisaj işlemi için pamuksu bir çuha üzerine maksimum 6 Mikronluk polikarbon elmas süspansiyon dökülerek yine 5 dk. sürede polisaj işlemi için parlatılarak incelenecek alanın tamamen çiziklerden arındırılmış mikroskop görüntüsü almak için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 17. Numune zımparalama ve parlatma cihazı

Polisajı tamamlanmış numuneler %3 Nitrik asit %97 Etil alkol çözeltisinde yaklaşık 1 dk. bekletilerek fazların dağılması sağlandı. En son dağılmış numuneler Şekil 18’de gösterilen Nikon Eclipse MA 100 optik mikroskop ile incelenir. Mikroskop bilgisayarında ki Metalim programı ile fazların % oranları ölçülmüştür.



Şekil 18. Optik Mikroskop [22]

4.4. Aşındırma Testi

Aşınma deneyleri Ø55 mm x L:700 mm boyutlarındaki laboratuvar ölçekli bond değirmeni kullanılarak yapılmıştır. Bond değirmeni tamburlu bilyalı bir değirmendir (Şekil 19). Bilyalar bu değirmende döndürülerek aşınma değerleri tespit edilmiştir. Testler 5 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada değirmende malzeme yok iken tamburlama işlemi sonrasında aşınma ölçülmüştür. Bu ölçümler %30 bilya doluluk oranında gerçekleştirilmiştir. Testler neticesinde bilyaların öğütme ve tamburlama işlemlerinin ardından aşınma değerleri karşılaştırılmıştır. Bond değirmeni (Aşındırma tamburu) dönüş hızı 70 dev/dk. ve bilya doluluğu %30 olarak ayarlanmıştır.



Şekil 19. Aşındırma tamburu

4.5. Sertlik Testi

Sertlik test analizler Çemaş Döküm A.Ş. firmasında yapılmıştır. Mergo GmbH marka Minor-69 tip Rockwell sertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Testler ASTM E18 Metalik Malzemelerde Rockwell Sertlik Testi için Standart Test Metodları göre gerçekleştirilmiştir. Rockwell Sertlik ölçüm cihazı tepe açısı 120° küre şeklindeki bir ucun ön yükleme yükü 10 kgf, ana yükün 150 kgf yük altında bir bilye üzerinde oluşturduğu izin derinliğinden yararlanarak ölçülen sertlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 20’de Rockwell sertlik cihazı gösterilmektedir.

Rockwell sertlik ölçme yönteminde batıcı uç olarak tepe açısı 120° olan basık elmas, konik ya da küresel çaplı çelik bilya kullanılır. Kullanılan batıcı ucun türü, yöntemin simgesinde belirtilir. Elmas uç kullanıldığında yöntem HRC ve HRA olarak ifade edilir. Çelik bilyada ise HRB ve HRF ifadeleri kullanılır. Bunlar arasındaki fark deney esnasında uygulanan kuvvet değerleridir. En çok kullanılan Rockwell sertlik ölçekleri B ve C ölçekleridir. Ölçü saati üzerindeki iki sıra numaralardan biri kırmızı, diğeri de siyahtır. Siyah renkli numaralarla Rockwell (A), (C) ve (D) sertlikleri, kırmızı renkli numaralarla diğer Rockwell sertlikleri ölçülür [9]. Rockwell sertlik deneyi (RSD), yapılmasının çok kolay olması ve özel bir ustalık gerektirmemesinden dolayı metallerin sertlik ölçümünde en yaygın kullanılan metottur. Rockwell sertliği, batma derinliğine karşı gelen birimsiz bir sayıdır. Batıcı uç, konik uçlu şeklindedir. Yumuşak malzemeler bilye batıcı uç ile ölçülür. Çok sert malzemeler elmas konik uç ile ölçülür.



Şekil 20. Rockwell sertlik cihazı [22]

4.6. Düşme Testleri

Numunelerin darbe dayanımı ile ilgili testleri Çemaş Döküm Sanayii A.Ş bünyesinde imalatı yapılan test cihazı kullanılarak yapılmıştır. (Şekil 20) Cihazın çalışma prensibi testi yapılan numunenin 7 metre yükseklikten bir çelik plaka üzerine tekrarlı serbest düşürülmesi şeklinde anlatılabilir. Testler 1-2-3-4-5 nolu deneylerde üretilen her bir tip Ø 90 mm çapa sahip bilya tiplerine uygulanmıştır.

Bilya çelik tabla üzerine düşme yaptıktan sonra cihazın yukarı taşıyıcı asansörü vasıtası ile bilya cihazın en üst noktasına çıkarılarak serbest düşme ile aşağıya bırakılır. Bu hareketin sürekli tekrarlanması esasına göre çalışır. Bilya çelik plaka üzerine düşüşünde cihaz üzerinde bulunan sensör vasıtasıyla bu düşmeyi algılamakta ve her düşme hafızaya kaydedilerek serbest düşme sayısı tespit edilebilmektedir.



Şekil 21. Düşme test cihazı [22]

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE BULGULAR

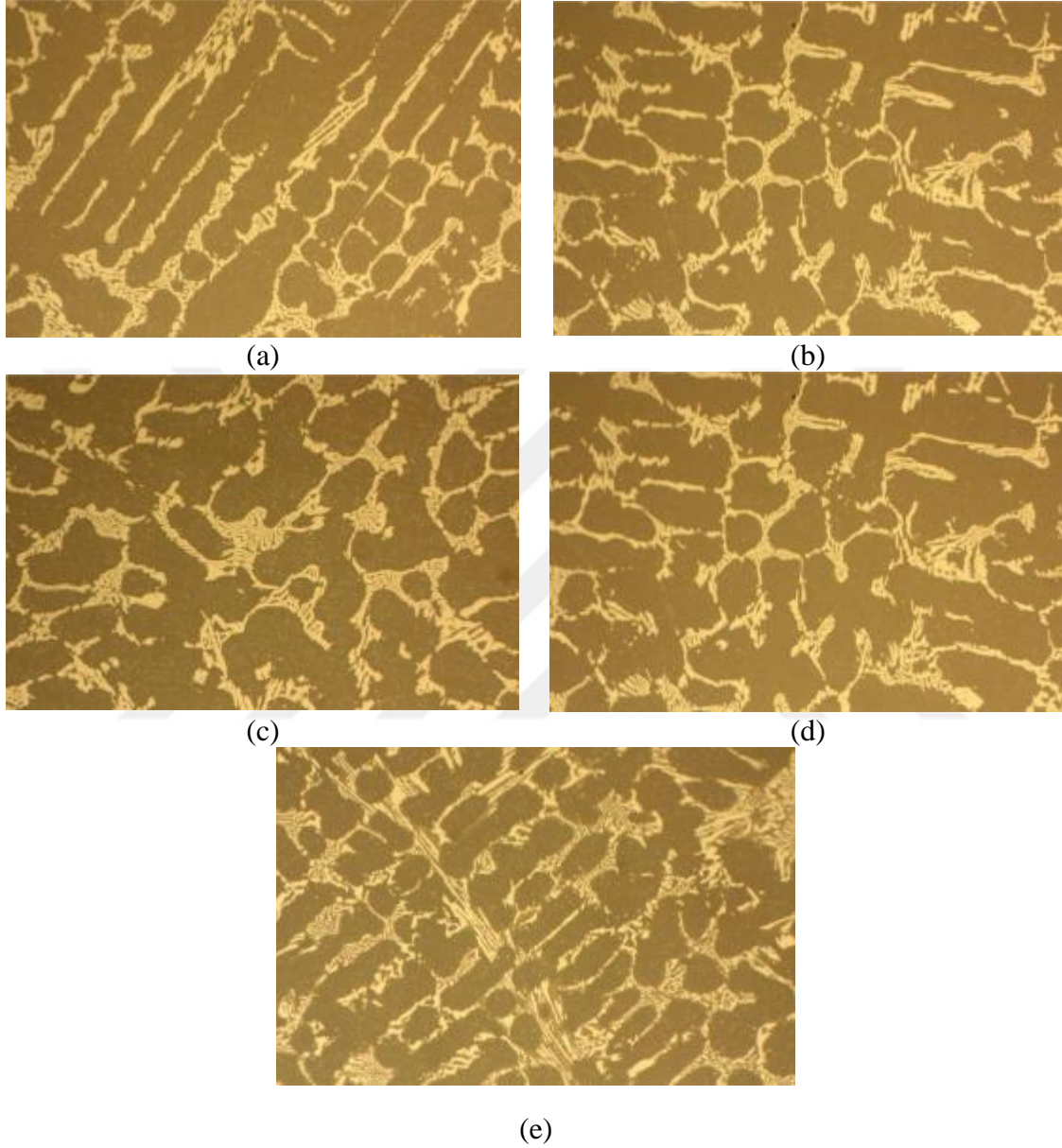
Çimento değirmenlerinde öğütücü olarak kullanılan bilyelerin performanslarının artışı için gerekli proses değişkenliklerinin neler olacağı ve hangi testlerin bilyenin hangi özelliklerinin doğrulanması için gerektiğini ortaya koymak için bir dizi test yapılmıştır. Bu testleri sonucunda elde edilen bulgular detaylı olarak irdelenmiştir. Gerilim giderme tavlama yapılmış bilyeler mikroyapı, sertlik ve aşınma % leri karşılaştırılmıştır. Bütün ısıtma işlem gören bilyeler Yüksek Cr'lu ve düşük kromlu bilyelerin aşınma performanslarını karşılaştırıldı. Krom miktarının azaltıp diğer taraftan tasarlanan yağda soğutma tesisinde homojen soğutma yaparak homojen aşınma, mikroyapı ve sertlik özelliklerinde iyileşmeler incelenmiştir. Prototip tamburda zamana bağlı olarak bilyeler çevrim yaptırılıp mevcut bilye ile aynı veya daha az aşınma miktarı karşılaştırılmıştır.

5.1. Mikroyapı Analiz Sonuçları

%9-10, %10-11, %11-12, %12-13 ve standart ürün %17-19 Cr lu bilyelerden alınan mikroyapılar incelenmiştir. Mikroyapı incelemelerinde temel amaç martenzit fazlarının küçük adacıklar halinde parçalanıp belirli bir düzende yan yana dizilemesidir. Birincil karbür fazlarının uzun çizgiler halinde olması istenmemektedir. Bu bağlamda, 1 nolu deney numunesi %9-10 Cr içeriğine sahip bu denemede martenzit fazları yapılan ısıtma işlemine rağmen birbirine birleşmiş halde kalmış olup birincil karbürler çizgisel halde kalmıştır. Martenzit fazları homojen çözülmüştür. Ayrıca birincil karbür fazları daha çizgisel şekilde homojen dağılmamıştır. Mikroyapı da istenmeyen bu fazlar çalışma şartlarında kırılmaya sebep olmaktadır. Krom oranı çok düşük olduğu için bu olumsuz durum gözlenmiştir. 1 nolu numunelerde yaklaşık olarak %77,4 martenzit ve %22,6 primer karbür tespit edildi (Şekil 22.1-a).

2 nolu deney numunelerinde %10-11 Cr oranı ile yapılmış olan bu deneyde martenzit fazları ısıtma işlemi ile adacıklar halinde parçalanmış olup birincil karbürler ağsı yapıya sahiptir. Mikroyapıda martenzit fazları homojen dağılmıştır. Yaklaşık olarak %76,6 martenzit ve %23,4 primer karbür tespit edildi (Şekil 22.1-b). Bu ağsı yapı bilyenin dokusunun birbirine tutunmasına katkı sağlamış olup ana yapıdan parça kopmasına veya aşınmasına engel olmaktadır. Bu yapının aşınma testlerinde oluşan aşınma kaybının 1 nolu deneye göre daha az olduğu görülmüştür. Bu yapı yapılan ısıtma işlemi sonrası yapılan su verme işleminde yağ banyosu

sayesinde homojen ve hızlı soğuma ile sağlanmış olup hızlı soğuma ile parçalanmış martenzit yapısının soğuma esnasında birleşmesine olanak vermemiş olup hızlı soğuma sağlanmıştır. Aşırı soğumadan oluşabilecek çatlaklar yağ banyosunun 70° C ye çıkarılması sebebiyle aşırı soğumaya sebebiyet vermemiş bilyelerde çatlak hatası görülmemiştir.



Şekil 22. Deney numunelerinin mikroyapı görüntüleri (1-a, 2-b, 3-c, 4-d ve 5-e)

3 nolu deney numunesinde % 11-12 Cr oranı ile yapılmış olan bu deneyde yine % 10-11 Cr oranı ile yapılmış olan deneyde ki benzer mikroyapıya sahip faz dağılımı elde edilmiştir. 3 nolu numunede yaklaşık olarak %75 martenzit ve %25 primer karbür tespit edildi (Şekil 22.1-c). 4 nolu numunede ise %12-13 Cr oranı ile yapılmış olan bu deneyde yine %10-11 ve %11-12 Cr oranı ile yapılmış olan deneyde ki benzer mikroyapıya sahip faz dağılımı elde

edilmiştir. Mikroyapıda mertenzit fazları homojen dağılmıştır. 4 nolu numunede yaklaşık olarak %77,3 martenzit ve %22,7 primer karbür tespit edildi (Şekil 22.1-d).. Son olarak 5 nolu deney numunesinde %17-19 Cr oranına sahip bu standart seri üretim bilyesinden Cr oranının fazla olması sebebiyle birincil karbür fazı ortalama %25'lerden %33'e çıktığı görülmüş olup faz dağılımında bir problem görülmemiştir. 5 nolu numunede yaklaşık olarak %77 martenzit ve %33 primer karbür tespit edildi (Şekil 22.1-e).

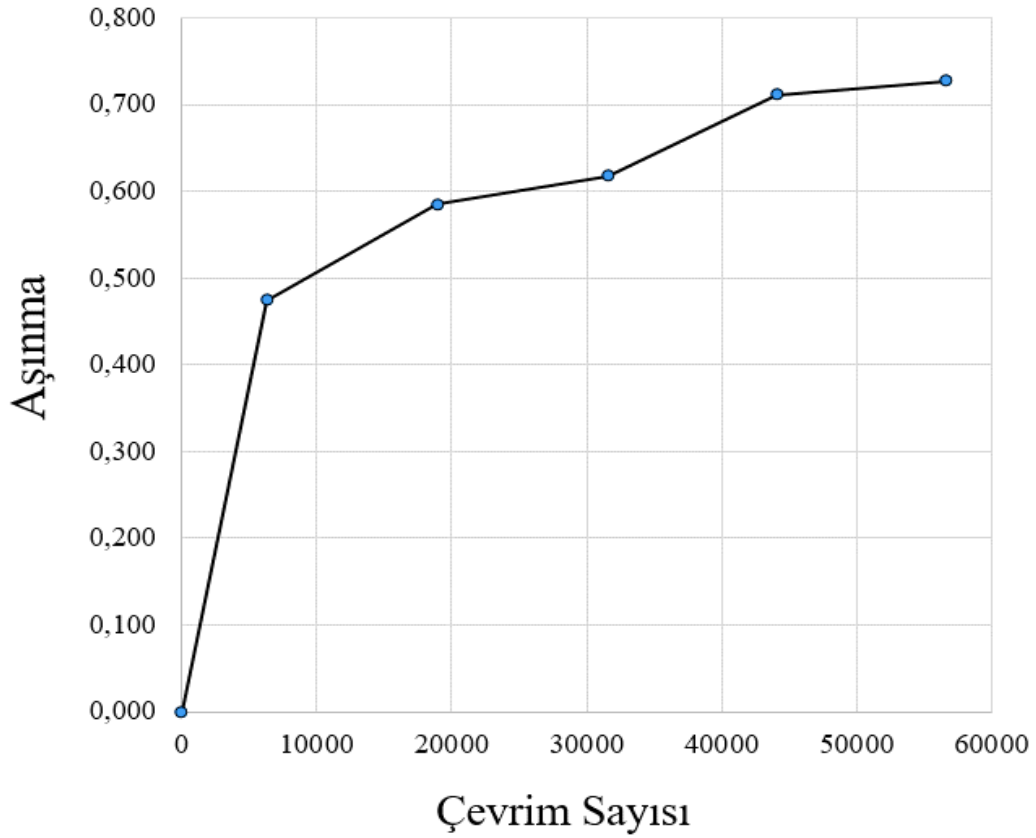
5.2. Aşındırma Testi Sonuçları

Belirlenen bilya analizlerine göre yapılan üretimler aşınma miktarını görmek için prototip değirmende aşınma performans deney / test çalışmaları yapılmıştır. Laboratuvar ortamında yürütülen deney çalışmalarında öğütücü bilyalarda meydana gelen aşınmanın ölçülebilmesine yönelik bir dizi deney yapılmıştır. Her ürün grubu için yapılan testler tamburlama 6300-18900-31500-44100-56700 devir (90-270-450-630-810 dk.) yaptırılarak Ø90 bilyelerin birbirine çarptırılarak aşınması sağlanmıştır. Aşındırma test tamburu %30 doluluk oranı ile çevrim yaptırılarak bilyalar en ağır şartlarda cevher birbirine çarptırılarak aşınma kayıpları incelenir. Ø90 mm çapa sahip bilyalar farklı zaman dilimlerinde aynı devirlerde tamburlanarak aşınma değerleri tespit edilmiştir.

Tamburlama işlemleri sırasında elde edilen aşınma verileri bilyaların aşınma performanslarının değerlendirilmesinde yol gösterici veriler sunmaktadır. Gerçek değirmen şartlarında öğütme için kullanılan hammadde doluluğunun artmasıyla bilyalar arası etkileşim azalmakta ve aşınma miktarlarında da azalma olacağı kaçınılmazdır. Her iki test çalışmasında devir sayısına karşılık birikimli aşınma değerleri tespit edilmiştir. Aşınma trendlerden de görüleceği üzere tamburlama devir sayısı ile aşınma değerleri arasında direkt bir ilişki bulunmaktadır. Tamburlama çevrimi sayısı belli bir değere kadar arttıkça aşınma değerleri de artış göstermektedir. Daha sonrasında daha az aşınma oluştuğu için grafikte aşınma eğrisinin eğimi yataya yakın olmaktadır.

Çizelge 5 1 nolu deneyden elde edilen sonuçlar

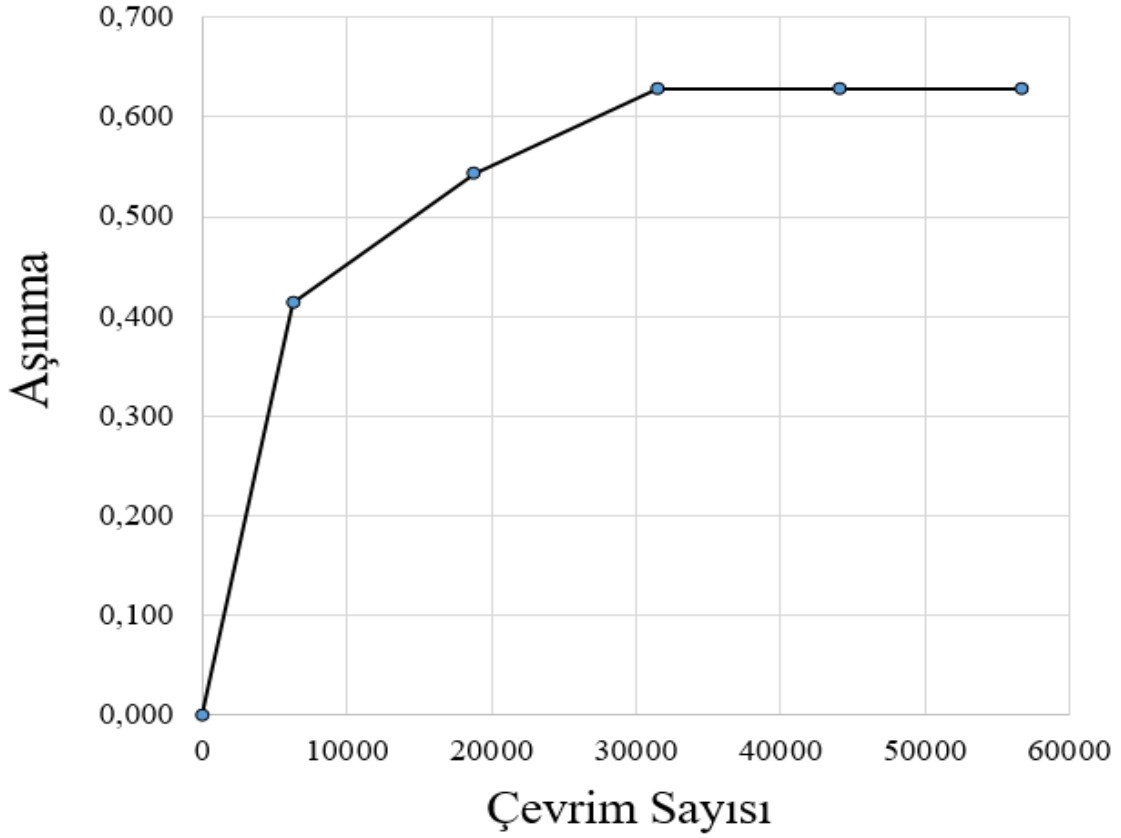
| Günlük tamburlama | Toplam tamburlama | Ağırlık Ölçümü | Aşınma yüzde |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------|
| 0 | 0 | 154,3056 | 0,000 |
| 6300 | 6300 | 153,5736 | 0,474 |
| 12600 | 18900 | 153,4028 | 0,585 |
| 12600 | 31500 | 153,354 | 0,617 |
| 12600 | 44100 | 153,2076 | 0,712 |
| 12600 | 56700 | 153,1832 | 0,727 |



Şekil 23. 1 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı

Çizelge 6 2 nolu deneyden elde edilen sonuçlar

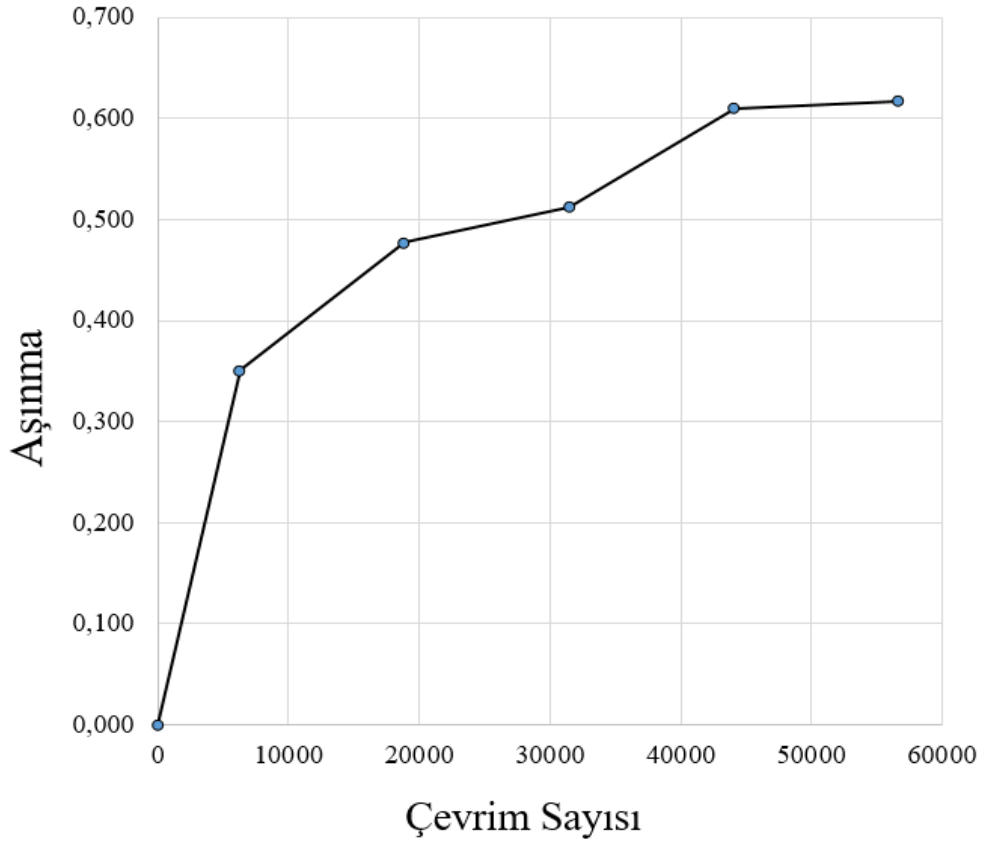
| Günlük tamburlama | Toplam tamburlama | Ağırlık Ölçümü | Aşınma yüzde |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------|
| 0 | 0 | 154,088 | 0,000 |
| 6300 | 6300 | 153,45 | 0,414 |
| 12600 | 18900 | 153,252 | 0,543 |
| 12600 | 31500 | 153,12 | 0,628 |
| 12600 | 44100 | 153,12 | 0,628 |
| 12600 | 56700 | 153,12 | 0,628 |



Şekil 24. 2 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı

Çizelge 7 3 nolu deneyden elde edilen sonuçlar

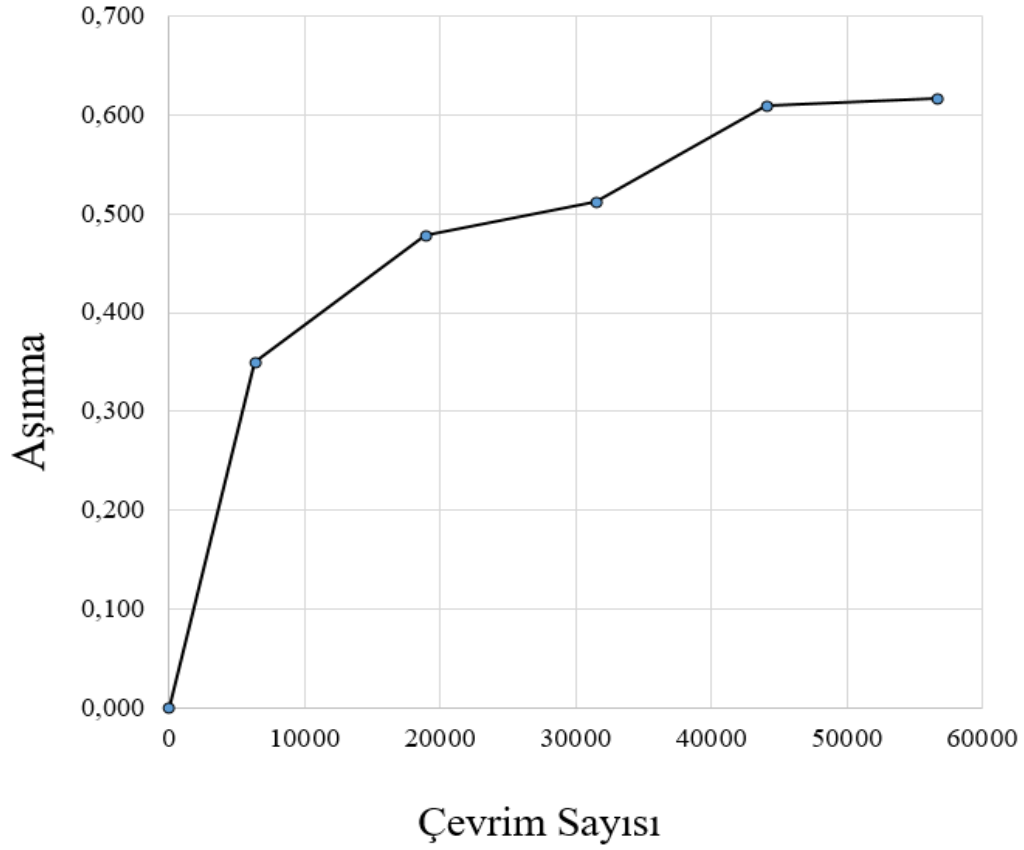
| Günlük tamburlama | Toplam tamburlama | Ağırlık Ölçümü | Aşınma yüzde |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------|
| 0 | 0 | 154,33 | 0,000 |
| 6300 | 6300 | 153,79 | 0,351 |
| 12600 | 18900 | 153,59 | 0,478 |
| 12600 | 31500 | 153,54 | 0,513 |
| 12600 | 44100 | 153,39 | 0,610 |
| 12600 | 56700 | 153,38 | 0,616 |



Şekil 25. 3 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı

Çizelge 8. 4 nolu deneyden elde edilen sonuçlar

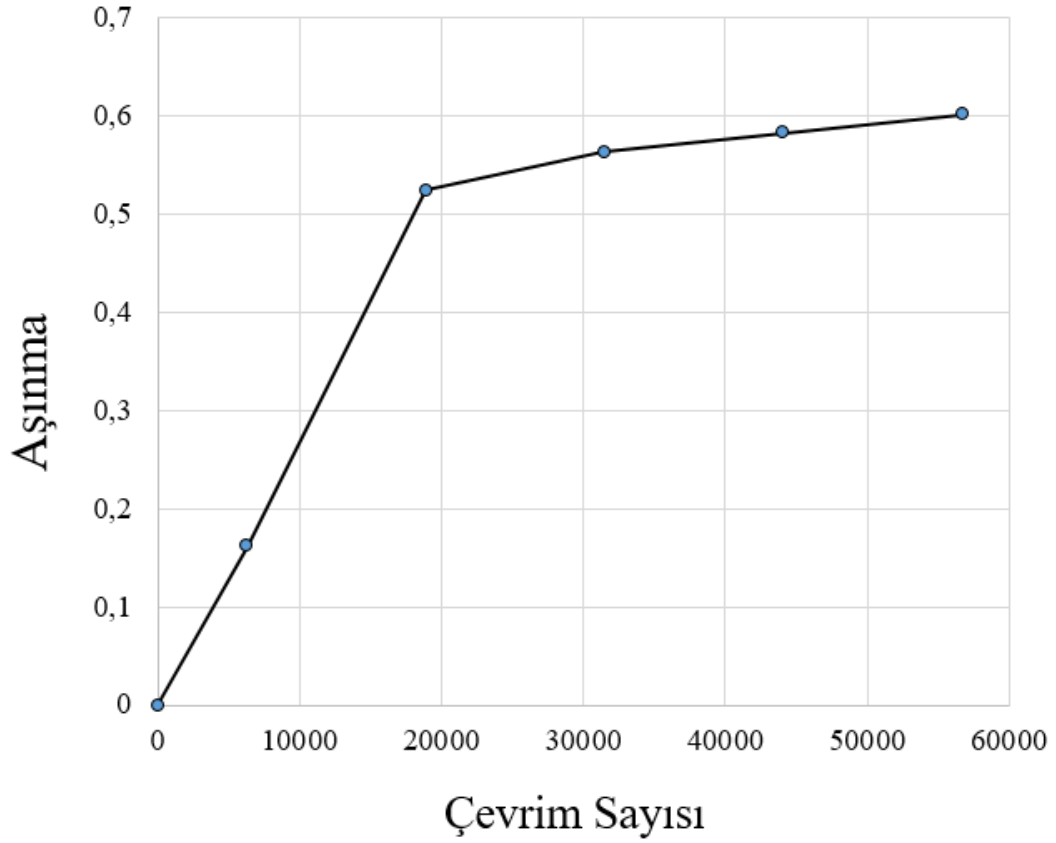
| Günlük tamburlama | Toplam tamburlama | Ağırlık Ölçümü | Aşınma yüzde |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------|
| 0 | 0 | 154,215 | 0,000 |
| 6300 | 6300 | 153,75 | 0,302 |
| 12600 | 18900 | 153,48 | 0,477 |
| 12600 | 31500 | 153,41 | 0,522 |
| 12600 | 44100 | 153,31 | 0,587 |
| 12600 | 56700 | 153,3 | 0,593 |



Şekil 26. 4 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı

Çizelge 9. 5 nolu deneyden elde edilen sonuçlar

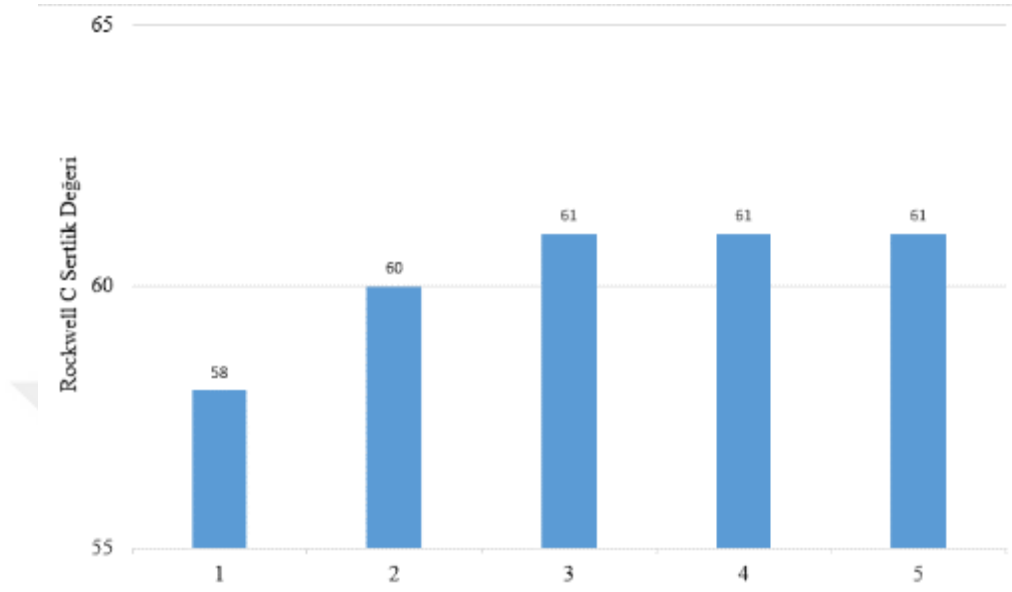
| Günlük tamburlama | Toplam tamburlama | Ağırlık Ölçümü | Aşınma kaybı yüzde |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| 0 | 0 | 154,5 | 0,000 |
| 6300 | 6300 | 154,25 | 0,162 |
| 12600 | 18900 | 153,69 | 0,524 |
| 12600 | 31500 | 153,63 | 0,563 |
| 12600 | 44100 | 153,6 | 0,583 |
| 12600 | 56700 | 153,57 | 0,602 |



Şekil 27. 5 nolu deneyin aşınma-çevrim sayısı

5.3. Sertlik Testi Sonuçları

Rockwell C sertlik değerleri hepsinde istenilen değerlerin üzerinde olup 1 nolu deneyde 58 HRC ölçülürken 3, 4, ve 5 nolu numunelerin sertlik değerlerinde ise 61 HRC ile aynı sonuç elde edilmiştir.



Şekil 28. Numunelerin sertlik sonuçları

5.4. Düşme Testi Sonuçları

Düşme testleri bilyanın tokluk/darbe dayanımı için kabul edilen minimum değer olan 10,000 çevrim sayısına kadar kırılma olmazsa test sonlandırıldı. Yapılan testlerin sonuçları incelendiğinde 1-2-3-4 nolu deneylerden alınan bilyelerin testleri sonucunda bilya yüzeylerinde gözle görünür bir deformasyon gözlenmezken 5 nolu deneyde bilye ortadan ikiye ayrılarak kırılma meydana gelmiştir (Şekil 29). Çizelge 11’de düşme testinden elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 29. 5 nolu bilyanın kırılma görüntüsü

Çizelge 10. Düşme test sonuçları

| Deney no | Düşme sayısı | Açıklama |
|-----------------|---------------------|--|
| 1 | 10,000 | Düşme testi sonunda Bilya yüzeyinde deformasyon/ezilmeler mevcut. Bilye Kırılmadı. |
| 2 | 10,000 | Düşme testi sonunda Bilya yüzeyinde deformasyon/ezilmeler mevcut. Bilye Kırılmadı. |
| 3 | 10,000 | Düşme testi sonunda Bilya yüzeyinde deformasyon/ezilmeler mevcut. Bilye Kırılmadı. |
| 4 | 10,000 | Düşme testi sonunda Bilya yüzeyinde deformasyon/ezilmeler mevcut. Bilye Kırılmadı |
| 5 | 1553 | Bilya kırıldı/ikiye ayrıldı. |

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, deney numunelerinin %10 Cr içerikli bilyaların değişken oranlarda krom ve karbon ile alaşımlandırılması ile yapılan test sonuçları incelenmiştir. Yapılan testlerin ardından ölçülen aşınma miktarları bilya sertliği ve mikroyapısı ile karşılaştırılmıştır. Bu incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yapılan deneyler sonucunda görülmüştür ki % 10-11-12 Kromlu bilyalar %17,75 kromlu bilyelere göre aynı sertlik ve çok az aşınma farkları ile performans verdiği görülmüştür. %9 Cr lu bilyede martenzit fazının homojen olmaması yanında sertlik değerinin 60 HRC'nin altında gelmesi nedeniyle aşınma oranın diğer bilyelere göre fazla olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile Cr oranını %5-7 arasında düşürerek hemen hemen aynı performansa sahip bilye üretimini sağlamıştır.
- Yağda su verilen 1-2-3-4 nolu Deney gruplarında sertlik ve mikroyapı ölçümlerinde birbirine çok yakın değerler bulunduğundan sertlik ve mikroyapının aşınma ile bir ilişkisi kurulamadı.
- 5 nolu yüksek kromlu üründe karbon miktarının 1-2-3-4 nolu deney gruplarına göre artışı ile birlikte mikroyapıda bulunan primer karbür miktarının arttığı tespit edildi. 5 nolu deney grubunda krom miktarının 1-2-3-4 gruplarına göre artışı ile bilyanın aşınmasında diğer gruplara göre kısmen de olsa daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- Aşınma miktarları açısından bakıldığında 1 nolu deney grubu hariç diğer 2-3-4-5 nolu deney gruplarında üretilen bilyeler karşılaştırıldığında benzer aşınma oranına sahip oldukları anlaşılmıştır.
- 1 nolu deneyde görüleceği üzere Krom oranını %9 lara düşürülmesi aşınma ve sertlik performanslarında olumsuz etkiye neden olmuştur. 2-3-4-5 Nolu deneylerde elde edilen bilyaların kullanıldığı test sonuçları incelendiğinde bilyaların sahip oldukları aşınma eğilimleri neredeyse aynı oldukları görülmektedir.
- 1 nolu denemede elde edilen bilya diğer 90 mm çaplı bilyalara göre daha az Krom içeriğine sahip olduğundan daha düşük sertlik ve Daha yüksek aşınma değerlerine sahip olmuştur.

- Krom oranının düşürülmesi ile beraber hammadde kullanımında tasarruf edilmesi kaçınılmazdır.

Çizelge 11 Hammadde maliyet karşılaştırma tablosu

| Hammadde | 17 Cr Bilya İçin Şarj Miktarı | 10 Cr Bilya İçin Şarj Miktarı | Hammadde Fiyatları Kg/TL | 17 Cr Bilya İçin Şarj Maliyeti | 10 Cr Bilya İçin Şarj Maliyeti |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 430 Paslanmaz | 945,17 | 684,262 | 13,5 | 12759,795 | 9237,537 |
| Açık Çelik | | 293,25 | 6,255 | 0 | 1834,27875 |
| Ferrokrom | 37,807 | | 24,15 | 913,03905 | 0 |
| Pik Karbon | 17,01 | 22,48 | 12,91 | 219,5991 | 290,2168 |
| Toplam | 1000 | 1000 | | 13892,43 | 11362,03 |

1 Ton ergitmede Çizelge 12 de görüleceği üzere sadece hammadde de %18,21 maliyet avantajı sağlanmıştır.

Bu sonuçlardan hareketle mevcut ürünlerin geliştirilmesi sürecinde standardizasyonun sağlanması için bilyalarda su verme prosesinde revizyon yapılması gerektiği, hava yerine yağda su verme prosesinin seçilmesi bilya kalitesinin yükseltilmesinde önemli sonuçları ortaya çıkaracağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Taşgın, Y., & Kaplan, M. (2007). Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Oluşan M_7C_3 Karbürlerin Mikroyapı Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 37-43.
2. Cetinkaya C., C., An investigation of the wear behaviours of white cast irons under different compositions, *Materials and Design*, 27, 2006, 437–445.
3. Ngqase, M., & Pan, X. (2019). An Overview on Types of White Cast Irons and High Chromium White Cast Irons. *International Conference on Multifunctional Materials (ICMM-2019)*. Johannesburg.
4. Ngqase, M., & Pan, X. (2020). Microstructural Investigation on Heat Treatment of Hypoeutectic High Chromium White Cast Irons. *International Conference on Multifunctional Materials (ICMM-2019)*.
5. Abdel-Aziz, K., El-Shennawy, M., & Omar, A. A. (2017). Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of Heat Treated High-Cr White Cast Iron Alloys. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(14), 4675-4686.
6. Karantzalis, A., Lekatou, A., & Mavros, H. (2009). Microstructural Modifications of As-Cast High-Chromium White Iron by Heat Treatment. *JMEPEG*, 174-181.
7. Ortega-Cubillos, P., Nannetti-Bernardini, P. A., Celso-Fredel, M., & Campos, R. A. (2015). Wear Resistance of High Chromium White Cast Iron for Coal Grinding Rolls. *Revista Facultad de Ingeniería*, 134-142.
8. Ngqase, M., & Pan, X. (2020). XRD Investigation on Heat Treatment of High Chrome White Cast Irons. *International Conference on Multifunctional Materials (ICMM-2019)*.
9. Sun, Z., & Jian, W. (2003). Effect of Subcritical Treatment on Microstructure and Wear Resistance of A High Chrome White Cast Iron. *Transactions Of Materials And Heat Treatment*, 24(3), 54-58.
10. Kadhim, M. J., Abood, A. N., & Yaseen, R. S. (2011). The Role of Manganese on Microstructure of High Chromium White Cast Iron. *Modern Applied Science*, 5(1), 179-185.
11. Ravi, A. M., Murigendrappa, S. M., & Mukunda, P. G. (2014). Machinability Investigations on High Chrome White Cast Iron Using Multi Coated Hard Carbide Tools. *Trans Indian Inst Met*, 67(4), 485-502.

12. Gasan, H., & Ertürk, F. (2013). Effects of a Destabilization Heat Treatment on the Microstructure and Abrasive Wear Behavior of High-Chromium White Cast Iron Investigated Using Different Characterization Techniques. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2013, 4993-5005.
13. Astm A532 Standard Specification For Abrasion-Resistant Cast Irons
14. ASM Handbook Formerly Ninth Edition, Metals Handbook Volume 15 CASTING S678-679-680-681-682-683-684-685 1992
15. Qatar National Cement Company Doha-Qatar 2010
16. Li, D., Ligang L., Chunlei, Y., Xuejun, R., Yang., Y and Yang Quingxiang, Phase diagram calculation of high chromium cast iron and influence of its composition, Materials and Design, 30, 2009, 340–345
17. Smith, F., W., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, (Çev. N., G., Kınıkoğlu), 2001.
18. Cetinkaya C., C., An investigation of the wear behaviours of white cast irons under different compositions, Materials and Design, 27, 2006, 437–445.
19. Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Mühendisliği Laboratuvarı Sertlik Ölçme Deneyi Deney Föyü Bursa, 2019
20. ASM Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams S 2.15 1992.
21. Çetin, A. 2022 Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin (ADI) mikroyapısı hakkında, <https://dokumhane.net/kutuphane/ostemperlenmis-kuresel-grafitli-dokme-demirin-adi-mikroyapisi-hakkinda/06.03.2022>
22. Çemaş Döküm A. Ş Kurumsal web sitesi, ısıtma işleminde kullanılan cihazlar, <https://cemas.com.tr/teknolojimiz.php?lang=tr&p=isil-islem,06.03.2022>.
23. Cevher, Ö., “Dökme Demirlerde Sert Faz Oluşumunun Önlenmesi ve Giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-9 (2006).
24. Sağlam, D., “Dökme Demirlerin Aşınma Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4, 38, 41-45, 48-51, 59 (2009).
25. Erdoğan, M.; “Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özelliği”, Cilt. 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 215-261 (2000).
26. Çavuşoğlu, E., Döküm Teknolojisi I. İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Ofset Atölyesi, İstanbul (1992).

27. Callister, W.D., “Materials Science and Engineering an Introduction”, John Wiley & Sons Inc., Canada, 360 (1997).
28. Gundlach, R., Doane, V., “Alloy Cast Irons”, ASM Handbook,; Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance, Vol 1, 10th ed., ASM International, Materials Park, USA, 85-98 (1990).
29. Tang, X.H., Chung, R., Li, D.Y., Hinckley, B., K. Dolman., “Variations in microstructure of high chromium cast irons and resultant changes in resistance to wear, corrosion and corrosive wear” *Wear*, 267: 116–121 (2009).
30. Say, Y., “Borürlerin Aşılaiıcı Olarak Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1, 9-12, 15-20, 36, 37 (2008).
31. Inthidech, P. Sricharoenchai, N. Sasaguri, Y. Matsubara, “Behavior of Hardness and Retained Austenite in Heat Treatment of High Chromium Cast Iron for Abrasive Wear Resistance”, *AFS Transactions*, 106: 899-910 (2004).
32. Sricharoenchai, P., Inthidech, S., Sasaguri, N., Matsubara, Y., “Effect of Alloying Elements on Behavior of Hardness and Retained Austenite of Eutectic High Chromium Cast Irons”, *AFS Transactions*, 911-923 (2004).
33. Li, D., Lu, L., Zhang, Y., Ye, C., Ren, X., Yang, Y., Yang, Q., “Phase Diagram Calculation of High Chromium Cast Irons and Influence of Its Chemical Composition”, *Materials and Design*, 30: 340-345 (2009).
34. Odabaşı, A., Göğtaş, C., Sezer, L., Ünlü, N., Eruslu, N., “Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Isıl İşlemi”, *Metal Dünyası*, 157: 104-108 (2006).
35. Pattyn, R.L., “Heat Treatment of High-Cr White Cast Irons”, *AFS Transactions*, 101, 161-165 (1993-1).
36. Şahin, Y., “Kumlama Makinesi Türbin Paletlerindeki Aşınma ve Mikroyapının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 31, 32, 40, 45-48 (2001).
37. Wei-ke, An., An-hui, Cai a., Yun, Luo., Hua, Chen., Wei-xiang, Liu ., Tie-lin, Li ., Min “Optimization of Composition of As-cast Chromium White Cast Iron Based on Wear-resistant Performance” *Materials and Design*, 30: 2339–2344 (2009).
38. Inthidech, P. Sricharoenchai, N. Sasaguri, Y. Matsubara, “Behavior of Hardness and Retained Austenite in Heat Treatment of High Chromium Cast Iron for Abrasive Wear Resistance”, *AFS Transactions*, 106: 899-910 (2004).

39. Su, Y.L., “Optimization of Hardenability of High Chromium White Cast Iron”, China Academic Journal Electronic Publishing House, 3 (4): 284-287 (2008).
40. Çapa, M., Gülmez, T., “X210 Cr 12 Çelik Hurdasından Üretilen Beyaz Dökme Demirin Aşınma ve Darbe Dirençlerinin Artırılması”, Journal of Engineering Environmental Science, 25: 497-502 (2001).
41. Wei, LI., “Effect of Microstructure on Impact Fatigue Resistance and Impact Wear Resistance of Medium Cr-Si Cast Iron”, Journal of Iron and Steel Research, 14: 47-50 (2007).



ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|------------------|--|
| Adı Soyadı | Serkan KAYA |
| Doğum Yeri | |
| Doğum Tarihi | |
| Uyruğu | <input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer: |
| Telefon | |
| E-Posta Adresi | |



| Eğitim Bilgileri | |
|---|-----------------------------------|
| Lisans | |
| Üniversite | Osmangazi Üniversitesi |
| Fakülte | Mühendislik-Mimarlık Fakültesi |
| Bölümü | Metalurji ve Malzeme Mühendisliği |
| Mezuniyet Yılı | 2005 |
| Yüksek Lisans | |
| Üniversite | Ahi Evran Üniversitesi |
| Enstitü Adı | Fen Bilimleri Enstitüsü |
| Anabilim Dalı | İleri Teknolojiler Anabilim Dalı |
| Programı | Metalurji ve Malzeme Mühendisliği |
| Makale ve Bildiriler | |
| <p>Uluslararası Konferans ve Sempozyumlar: Serkan KAYA, Levent URTEKİN ; “Yüksek Alaşımli Beyaz Dökme Demirlerde Farklı Kimyasal Analizlerde Farklı Isıl İşlem Su verme yöntemleri ile Aşınma Dayanımını Arttırma” IV. Ulusal Mühendislikte Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi (UMUH BILMES 2021)</p> | |