

## Kam mili üretiminde kullanılan gri dökme demir ve sfero dökme demirlerde çil oluşumunun mekanik özelliklere etkisi

### Effect of chill formation on the mechanical properties and microstructure of grey and nodular cast irons used in automotive industry

Halit SÜBÜTAY<sup>1\*</sup>, Mehmet ŞİMŞİR<sup>1</sup>, Murat AYDIN<sup>2</sup>, Bahadır KARACA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.  
subutayh@gmail.com, msimsir@cumhuriyet.edu.tr

<sup>2</sup>ESTAŞ Eksantrik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, Sivas, Türkiye.  
murat.aydin@estas.com.tr, bahadir.karaca@estas.com.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 27.02.2015  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.17048  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Otomobillerde kullanılan kam milleri dökme demirden (gri dökme demir, küresel dökme demir) veya çelikten üretilmektedir. Bu çalışmada gri ve küresel grafitli dökme demirin yüzeylerinde çil oluşumunun sertlik, aşınma, darbe tokluğu ve mikro yapı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, gri ve küresel dökme demirlerden çilli ve çilsiz olmak üzere dört farklı kam mili hazırlanmıştır. Kam milleri döküm yöntemiyle üretildikten sonra mekanik testler yapılmıştır. Yüzeyde oluşan çilin dökme demirin sertliğini ve aşınma direncini artırdığı, gri çil ve küresel çil dökme demirin aşınma miktarının hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Maksimum sertlik gri çil dökme demirde elde edilmiştir. Gerçekleştirilen darbe tokluğu testi sonucunda darbe tokluğunun çil oluşumu ile azaldığı tespit edilmiştir. Maksimum darbe tokluğu Küresel dökme demirde elde edilmiştir. Dökme demirlere ait mikro yapı optik mikroskopta incelendi ve aşınma yüzeyleri ise taramalı elektron mikroskobu ile incelenerek aşınma mekanizmaları değerlendirildi.

**Anahtar kelimeler:** Kam mili, Dökme demir, Çil oluşumu, Mekanik özellik, Mikro yapı

#### Abstract

Cam shafts used in automobiles are produced by cast iron (grey cast iron, nodular cast iron) or steel. In this study, effect of chill formation on the surface of grey and nodular cast irons is investigated on the wear behavior, hardness, impact toughness and microstructure of grey and nodular cast irons. For this purpose, four types cam shaft made of grey cast iron with and without chill on the surfaces and nodular cast iron with and without chill on the surfaces, were casted. Mechanical tests were conducted after the camshafts have been produced by casting method. Surface hardness and wear resistance of grey and nodular cast irons have been improved by chill formation on the surfaces and it is concluded that the amount of wear on the surfaces of grey cast iron with chill and nodular cast iron with chill is almost the same. Maximum hardness value was obtained on the surface of grey cast iron with chill. The impact toughness has been found to decrease by chill formation. Maximum impact toughness value was obtained on nodular cast iron. Microstructures of grey cast iron with and without chill and nodular cast iron with and without chill were examined under optical microscope and worn surfaces of cast irons were examined by scanning electron microscopy (SEM). Wear mechanisms of the four types of cast iron were evaluated by SEM examination.

**Keywords:** Cam shafts, Cast irons, Chill formation, Mechanical properties, Microstructure

## 1 Giriş

Dökme demirlerin çok geniş aralıkta değişen mukavemet, sertlik, korozyon direnci, kolay işlenebilme, aşınmaya dayanıklılık, titreşimleri yutma ve düşük maliyeti gibi özelliklerinden dolayı çok geniş alanda kullanılmaktadır. Yeni malzemelerin güçlü rekabetine rağmen dökme demirler binlerce mühendislik uygulamaları içinden halen uygun ve ekonomik malzeme olarak rağbet görmektedirler [1]. Dökme demirlerde karbon miktarının büyük kısmı katılaşma sırasında ayrışır ve dökme demirin mikro yapısında ayrı bir yapı elemanı olarak görülür. Karbonun oluşturduğu şekil ve biçim dökme demirin tipini belirlemekte ve dolayısıyla mekanik özelliklerine etki etmektedir. Dökme demirlerde değişik grupların oluşumunu, kimyasal kompozisyon, soğuma hızı, döküm sıcaklığı, üretim yöntemleri gibi değişkenler belirlemektedir [2],[3]. Gri dökme demirde grafitin kristalizasyonu için kararlı oksitler oluşturan Al, Ca, Ba ve Sr gibi elementlere ihtiyaç vardır. Bu oksitler Mn (Al, Ca, Sr) S sülfürlerin çekirdekleşmelerini sağlarlar ve daha sonrada bu sülfürler üzerinde kristal kafes parametrelerinin iyi uyumu nedeni ile grafitler kristalleşir [4]. Sıvı metal kalıba

döküldüğünde, kalıp duvarında başlayan katılaşmayla birlikte çil oluşumu başlar, bu oluşumu önlemek amacıyla Ca-Si aşılama yapılır. Bu işlem katılaşmanın denge diyagramına göre gerçekleşmesini sağlar. Aşılama ile ergiyik metal içerisindeki ötektik hücre sayısı artar [3]. Küresel dökme demirde grafitler küreler halindedir. Bu durum sıvı gri dökme demire magnezyum ve seryum ilavesi ile gerçekleşir. Kimyasal bileşimi gri dökme demire benzer, ancak kükürt ve fosfor oranları çok azdır. Sünekliklerinin yanında iyi bir akma dayanımına sahiptir [5]. Özdemir çalışmasında, ultrasonik ses dalgalarının içyapıdaki ve grafit yapısındaki değişimlere karşı duyarlı olduğunu belirtmiş, ultrasonik ses dalgalarının bu duyarlılıklarından dolayı mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılabileceği belirtmiştir [6]. Dökme demirlerin yüzeyinde çil oluşumunun mekanik ve mikroyapı üzerine etkileri konusunda halen çalışmalar sürdürülmektedir [7].

Çil oluşumunda dikkat edilmesi gereken birincil ve en önemli olay besleme tasarımıdır, çünkü bu esnada hızlı soğuma sonucu katılaşma büzülmesi meydana gelmektedir [8].

Ovalı ve Erdoğan yaptıkları çalışmada, uygun soğutucu kalınlığının belirlenmesi ile numune yüzeyinde homojen bir çil derinliği ve dağılımı elde edilebileceğini ve soğutucu

kalınlığının çil morfolojisini de önemli derece de etkilediğini ortaya koymuşlardır [9]. Dökme demirlerde kalıp malzemesinden difüzyon katsayısına kadar çil oluşum eğilimini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Kalıp malzemesi olarak kullanılan malzemeler farklı ısıl iletim katsayılarına sahip oldukları için çil oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler [10]. Çil eğiliminde grafit çekirdeklenme potansiyeli (Nv), ötektik hücrelerin büyüme parametresi, sıcaklık aralığı ve ötektik öncesi östenit hacim oranı ile ilişkilidir [11]. Ötektik hücre sayılarının artması özellikle grafit büyümesi üzerine çeşitli faktörlerin etkisi ile belirlenir. Sb, Bi, Ba ve S ilavesi grafit çekirdeklenmesini teşvik eder. Optimum bir sonuç elde etmek için, büyüme ve çekirdeklenmenin üzerine elementlerin etkileri aşılmalı tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır [12]. Silisyum ilavesi; grafit oluşumunu desteklerken ötektik büyüme katsayısının düşürür ve ötektik hücrelerinin büyümesini engeller. Aynı zamanda sıvı-katı sıcaklık aralığını genişletir, grafit çekirdeklenme potansiyelini artırır, ötektik öncesi östenit hacim oranını düşürür. Sonuç olarak silisyum ilavesi mutlak çil eğilimi azalır. Minimum et kalınlıkta çil döküm için veya kama şeklinde dökümlerde çil derinliği, çil oluşum eğilimi ile ilgili olup, Si içeriği arttıkça çil derinliği azalmaktadır [11]. Döküm sırasında soğutma hızı büyük ölçüde tasarım ve doğal sıcaklık tarafından yönetilir. Hızlı soğutmanın amacı öncelikle mikro yapıyı geliştirme amaçlıdır. Hızlı soğutma grafitleşmeyi önleyici etki yapar. Döküm kam milinde, aşınmaya dayanıklı bir kam yüzeyi elde etmek isteniyorsa çil soğutma hızını arttırmak ve sert ledebüritik yapı oluşturmak gereklidir. Zhongbao yapmış olduğu çalışmada; düşük alaşımlı çil dökme demir kullanılarak motor kam mili üretiminin gelişmiş bir yol olduğunu, uygun çil derinliği ve sertliğin sağlanabileceğini ayrıca kam mili üretimi için döküm sıcaklığının 1350-1400 °C arasında olabileceğini göstermiştir [13]. Kam millerinde görülen en önemli sorunlardan biri aşınma olup, bu konuda çok sayıda çalışma halen devam etmektedir [14],[15]. Yılmaz yapmış olduğu çalışmada, DIN GG25 ve GGG70 dökme demirlerinin triboljik (sürtünme, aşınma, yağlama) özelliklerini incelemiştir. Grafitin yağlayıcı etkisinden dolayı aşındırıcı malzemelere bağlı olarak grafitin 8 ila 91 kat oranında aşınmayı azalttığını göstermiştir [15].

Yukarıdaki literatür çalışması dikkate alındığında bu çalışmanın amacı; gri ve küresel grafitli dökme demirin yüzeylerinde çil oluşumunun sertlik, aşınma, darbe tokluğu ve mikro yapı üzerine etkisini ortaya koymaktır.

## 2 Malzeme ve metot

Çalışma da kullanılan kam miline ait kimyasal kompozisyon Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan kam millerinin kimyasal kompozisyonları.

| C       | Si      | Mn      | P    | S    | Mg    | Al    | Fe   |
|---------|---------|---------|------|------|-------|-------|------|
| 3.1-3.6 | 1.7-2.2 | 0.6-1.1 | 0.08 | 0.09 | 0.001 | 0.006 | Bal. |

Kam millerinin dökümü için, 600x450x350 mm boyutunda kum kalıp kullanıldı. Eksantrik modelleri kalıplara önceden yerleştirildi. Gri dökme demir ve küresel dökme demirin yüzeylerinde çil oluşturmak amacıyla model de bulunan kam yüzeylerine hızlı soğutma sonucu çil yapısı oluşturmak amacı ile soğutucular kum kalıplara yerleştirilmiştir. Döküm işlemi 120 Kw gücünde, 2.500 kg kapasiteli indüksiyon ergitme Ocağında 50 Hz frekansta gerçekleştirildi. Döküm 1440 °C sıcaklığında gerçekleştirildi. Kum kalıplara dökümü yapılan

kam milleri soğuduktan sonra kalıp bozularak çıkarıldı. Kuşlama, yolluk ve besleyicilerin ayrılması, çapakların alınması, kaba ve ince taşlama işlemleri gerçekleştirilerek kam mili son haline getirildi.

### 2.1 Metalografik çalışmalar

Üretilen kam millerinden mikroyapı incelemeleri için numuneler kesildi. Numuneler sırasıyla kalımdan inceye doğru zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapıldı. Dağlayıcı olarak %2’lik Nital çözeltisi kullanıldı. Mikroyapı incelemesi NİKON MA200 marka optik mikroskopta gerçekleştirildi.

### 2.2 Sertlik testi

Çalışmada kullanılan numunelerin sertlik ölçümleri WILSON marka sertlik ölçüm cihazı kullanılarak yapıldı. Makro sertlik ölçümünde, konik elmas uca ön yük olarak 10 kg daha sonra 140 kg yük uygulanarak batma derinliği HRc cinsinden değer alınmıştır. Gri dökme demir ve Küresel grafitli dökme demir de ise sertlik çok düşük olduğundan bu dökme demirlerin göbek kısmından Brinell sertlik değeri alındı. Ayrıca çilin olduğu bölgeden mikro sertlik ölçümleri yapıldı. Çil derinliğini belirlemek için kam kesitinden çil oluşum bölgesinden çilsiz bölgeye kadar 1 mm aralıklarla mikro sertlik ölçümü yapıldı. Mikro sertlik ölçümleri için SHIMATSU marka mikro sertlik ölçüm cihazı kullanıldı.

### 2.3 Darbe testi

Darbe numuneleri boyutları ASTM E 8M standardına uygun olarak 10x10x55 mm boyutlarında tel erozyon makinesi kullanılarak hazırlandı. Darbe deneyleri oda sıcaklığında BROOKS marka darbe cihazı kullanılarak gerçekleştirilerek, enerji emebilme kapasiteleri ölçüldü.

### 2.4 Aşınma testi

Hazırlanan  $\phi$ 12.7x12.7 mm boyutundaki silindirik aşınma numuneleri yüzeyleri temizlendi. Aşınma deneyleri çok amaçlı sürtünme ve aşınma tezgâhında pin-on-ring sisteminde, oda sıcaklığında, sabit devirde (300 dev/dk) yapıldı. Aşındırıcı makara yüzeyi borlanmış AISI 5115 çeliği olup yüzey sertliği yaklaşık 2300 HV’dir. Aşınma deneylerinden önce numunelerin başlangıç ağırlıkları 0.1 mg hassasiyetinde terazi kullanılarak tespit edildi.

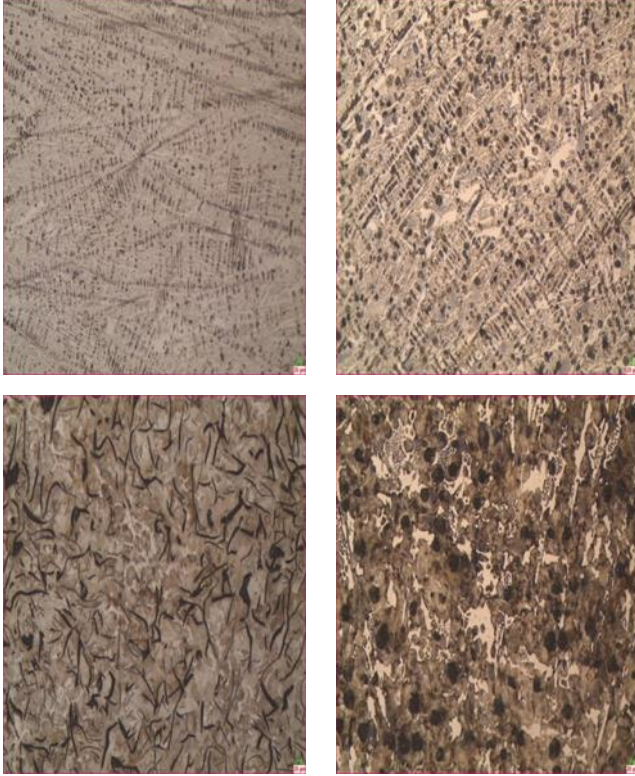
## 3 Tartışma

### 3.1 Mikroyapı

Gri çil dökme demir mikroyapısı Şekil 1a’da verilmiş olup, dentritik (dallantılı) yapı ile birlikte sementit + ledebürit (çil) yapısını içermektedir. Ayrıca yapıda çil bölgesinde serbest halde yapraklı grafitlerin bulunduğu ancak grafit sayısının merkezden yüzeye doğru gittikçe azaldığı ve hatta yüzeye yakın yerlerde oluşmadığı görülmüştür. Bununla beraberin soğutma hızının yüzeyde çok hızlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Küresel çil dökme demirin mikroyapısı Şekil 1b’de gösterilmiş olup, matriks fazın mikro yapısı gri dökme demirin yapısının aynı olduğu sadece grafitin şeklinin küresel olduğu görülmektedir. Aynı gri çil döküm yapısında olduğu gibi küre grafitlerin sayısının merkezden yüzeye doğru azaldığı tespit edilmiştir ancak yüzeyde tamamıyla küresel grafitler yok olmamıştır. Çil derinliği gri dökme demirde yaklaşık olarak 5 mm iken, küresel dökme demirde yaklaşık 4 mm olarak ölçülmüştür. Bu durum gri dökme demirde çil oluşum eğiliminin daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Gri dökme

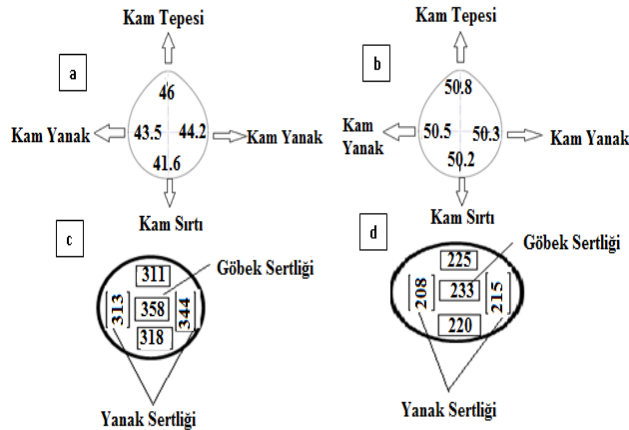
demirin mikro yapısı Şekil 1c'de görülmekte olup, ana matriks ferritten oluşmakta ve ferrit içinde serbest halde bulunan yapraklı grafitlerden oluşmaktadır. Küresel grafitli dökme demirde (Şekil 1d); matriks ferrit ve perlit ayrıca matriks içine dağılmış küresel grafitlerden oluşmaktadır.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan dökme demirlerin mikro yapı görüntüleri (100X). a): Gri çil dökme demir, b): Küresel çil dökme demir, c): Gri dökme demir, d): Küresel dökme demir.

### 3.2 Sertlik

Farklı kamlardan Şekil 2'de gösterilen her noktadan üç adet sertlik ölçümü yapıldı ve ortalamaları verildi.



Şekil 2: Sertlik değerlerinin şematik görünümü. a): Küresel çil (HRC), b): Gri çil (HRC), c): Küresel dökme demir (HB), d): Gri dökme demir (HB).

Kam milinde tepe sertliği çok daha önemli olduğundan Tablo 2'de sertlik ölçümü yapılan numunelerin tepe sertliği verilmiştir. Sertlik ölçüm sonuçlarına bakıldığında küresel

grafitli dökme demirin göbek sertliğinin, gri dökme demirin göbek sertliğinden fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi; küresel dökme demirin mikroyapısında var olan perlit fazından kaynaklanmaktadır. Ayrıca küresel dökme demirin yapısında bulunan grafitler küresel şekilde bulunduğu için grafitlerin malzeme yüzeyinde kapladığı alan daha azdır. Çil oluşturulmuş millerin sertlik ölçümleri sonucuna bakıldığında ise gri çil dökme demirin sertliğinin, küresel çil dökme demirin sertliğinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum gri dökme demirin çil oluşturma eğiliminin daha fazla olmasından kaynaklandığını ortaya koymaktadır.

Tablo 2: Makro sertlik değerleri.

| Malzeme                          | Kam Tepe Sertliği |
|----------------------------------|-------------------|
| Gri Dökme Demir                  | 233 HB            |
| Küresel Grafitli Dökme Demir     | 358 HB            |
| Küresel Grafitli Çil Dökme Demir | 46 HRC            |
| Gri Çil Dökme Demir              | 50,8 HRC          |

Mikro sertlik ölçüm sonucunda küresel grafitli çil dökme demirin çil derinliği yaklaşık olarak 4 mm iken gri çil dökme demirin çil derinliği yaklaşık olarak 5 mm olarak tespit edilmiştir. Çil derinliği değerinden de görüldüğü gibi gri çil dökme demirin çil oluşturma eğilimi daha fazladır.

### 3.3 Darbe testi

Oda sıcaklığında yapılan darbe testi sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 3'te görülmektedir. Test sonucunda küresel grafitli dökme demirin darbe enerjisinin, çalışmada kullanılan diğer dökme demirlere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Gri ve küresel grafitli dökme demirler aralarında karşılaştırıldığında gri dökme demirin yapısında bulunan flake (yapraksı) grafitler çentik etkisi oluşturduğu için darbe enerjisi daha düşüktür. Küresel grafitli dökme demirin darbe tokluğunun yüksek olması, bu dökme demir türünden imal edilecek olan kam milinin kullanıldığı ortamda meydana gelecek dinamik zorlamalara daha fazla dayanacağı sonucuna varılabilir.

Dökme demirler ile bunların yüzeylerinde çil oluşturulmuş yapılar karşılaştırıldığında; çil oluşturulmuş dökme demirlerin yüzeylerinin mikro yapısından dolayı sert olması nedeni ile darbe enerjilerinde azalma olduğu görülmektedir.

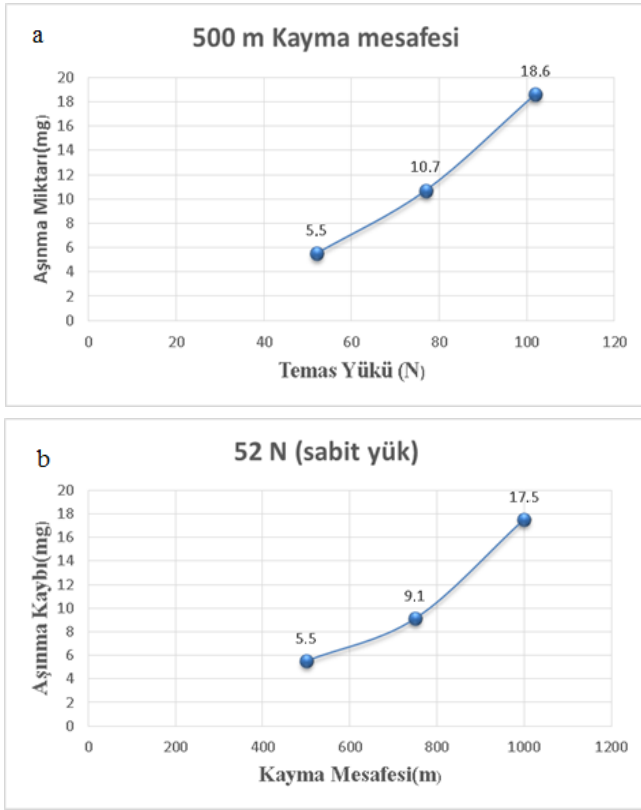
Tablo 3: Darbe testi sonuçları.

| Malzeme                          | Darbe Enerjisi (Joule) |
|----------------------------------|------------------------|
| Gri Dökme Demir                  | 5                      |
| Gri Çil Dökme Demir              | 4                      |
| Küresel Grafitli Dökme Demir     | 50                     |
| Küresel Grafitli Çil Dökme Demir | 28                     |

### 3.4 Aşınma deneyi

Aşınma testleri sabit devir hızında (300 dev/dk) iki aşamalı olarak yapılmıştır.

Birinci aşamada; kayma mesafesi 500 m sabit tutularak 52, 77 ve 102 N'luk temas yüklerinde uygulanarak yükün etkisini ayrıca temas yükü 52N sabit tutularak 500, 750 ve 1000 m kayma mesafelerinde uygulanarak kayma mesafesinin aşınma miktarına etkisi araştırıldı. Birinci aşama için sadece gri dökme demir kullanıldı. Aşınma test sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Gri dökme demirden imal edilmiş kam milinin aşınma kaybı. a): Yükün etkisi, b): Koşma mesafesi etkisi.

Şekil 3a'da 500 m kayma mesafesinde numuneye uygulanan temas yükü arttıkça aşınma kaybı da artmaktadır. Gri dökme demir yumuşak bir malzeme iken yapısında bulunan yapraklı grafitler nedeni ile gevrekleşmektedir. Yapıda ki bu grafitler malzemede çentik etkisi yaparak aşınma esnasında az da olsa kılcal çatlaklara neden olmaktadır. Şekil 3b'de ise 52 N sabit temas yükü altında yapılan deneyde gri dökme demir için kayma mesafesi arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Parça aynı yük altında daha uzun süre koşurulunca yapıda bulunan flake grafitlerin yapıdan kopma eğilimi artmaktadır.

İkinci aşamada ise; aynı devir hızında ve sabit 500 m kayma mesafesinde iki farklı yük altında (77 ve 102N) malzemenin aşınma miktarına etkisi araştırıldı. Tablo 4'te aşınma test sonuçları sunulmuştur.

Tablo 4: Aşınma deney şartları ve aşınma kayıpları.

| Malzeme                 | Kayma Mesafesi (m) | Temas Yüğü (N) | Aşınma Miktarı (mg) |
|-------------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Gri Dökme Demir         | 500                | 77             | 10.7                |
|                         |                    | 102            | 18.6                |
| Gri Çil Dökme Demir     | 500                | 77             | 0.9                 |
|                         |                    | 102            | 1.0                 |
| Küresel Dökme Demir     | 500                | 77             | 1.1                 |
|                         |                    | 102            | 1.3                 |
| Küresel Çil Dökme Demir | 500                | 77             | 1.0                 |
|                         |                    | 102            | 1.2                 |

Aşınma miktarı malzemenin yüzey sertliğine de bağlıdır. Sertliğin artması ile aşınma direncinin arttığı hem literatür incelemesinden hem de yapılan çalışmadan tespit edilmiştir. Gri çil dökme demirin yüzeyinde bulunan çil yapısı sayesinde sertlik gri dökme demire oranla aşırı bir artış göstermiş olup bu nedenle aşınma sonucu malzeme kaybında büyük ölçüde düşüş olmuştur. Ayrıca temas yükünün artması ile aşınma kaybı artmaktadır.

Küresel grafitli dökme demirin yapısında bulunan perlit fazı sonucu sertlik gri dökme demire oranla yüksektir, ayrıca yapıda ki grafitler küresel halde bulunduğundan aşınma sonucu kam milinden malzeme kaybı gri dökme demire oranla daha az olmuştur. Sabit kayma mesafesinde uygulanan temas yükü arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır.

Aynı gri çil dökme demirde olduğu gibi, küresel çil dökme demirin yüzeyinde bulunan çil yapısı sayesinde sertlik artmış ve bu nedenle aşınma miktarı azalmıştır. Küresel grafitli çil dökme demirin sertliği gri çil dökme demire göre daha düşük olmasına rağmen aşınma kayıpları hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir.

Malzemelerin aşınma mekanizmalarını tanımlayabilmek için aşınmış yüzeyler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülendi. SEM görüntüleri ve oluşan aşınma mekanizmaları aşağıda verilmiştir;

Gri dökme demirin aşınma yüzeyi görüntüleri Şekil 4'te sunulmuştur.

Görüntülere bakıldığında b ve c fotoğraflarında çok ince yivler görülmektedir. Bu nedenle gri dökme demirden imal edilmiş kam milinin aşınmasında abrasif aşınma mekanizmasının görülme oranı düşüktür. Şekil 4a ve 4b fotoğraflarına bakıldığında ise yapıda ana aşınma mekanizmasının adhezif aşınma olduğu anlaşılmaktadır. Adhezif aşınmanın oluşum mekanizması incelendiğinde, yük uygulandığı zaman iki yüzeyin temas noktalarındaki gerilmeler kolaylıkla akma sınırına erişir ve adezyon etkisi ile yerel kaynamalar oluşur. Yanal kuvvetlerin makaslama etkisi ile zayıf parçadan kopan malzeme yüksek mukavemetli parçaya transfer olur. Bunun sonucunda adhezif aşınma meydana gelir. Adhezif aşınma en tahrif edici aşınma türüdür.

Gri dökme demirde ana aşınma mekanizması adhezif aşınmadır, Aşınma yüzeyinde görülen siyah şekilsiz noktalar malzeme kopması sonucu oluşan boşluklardır.

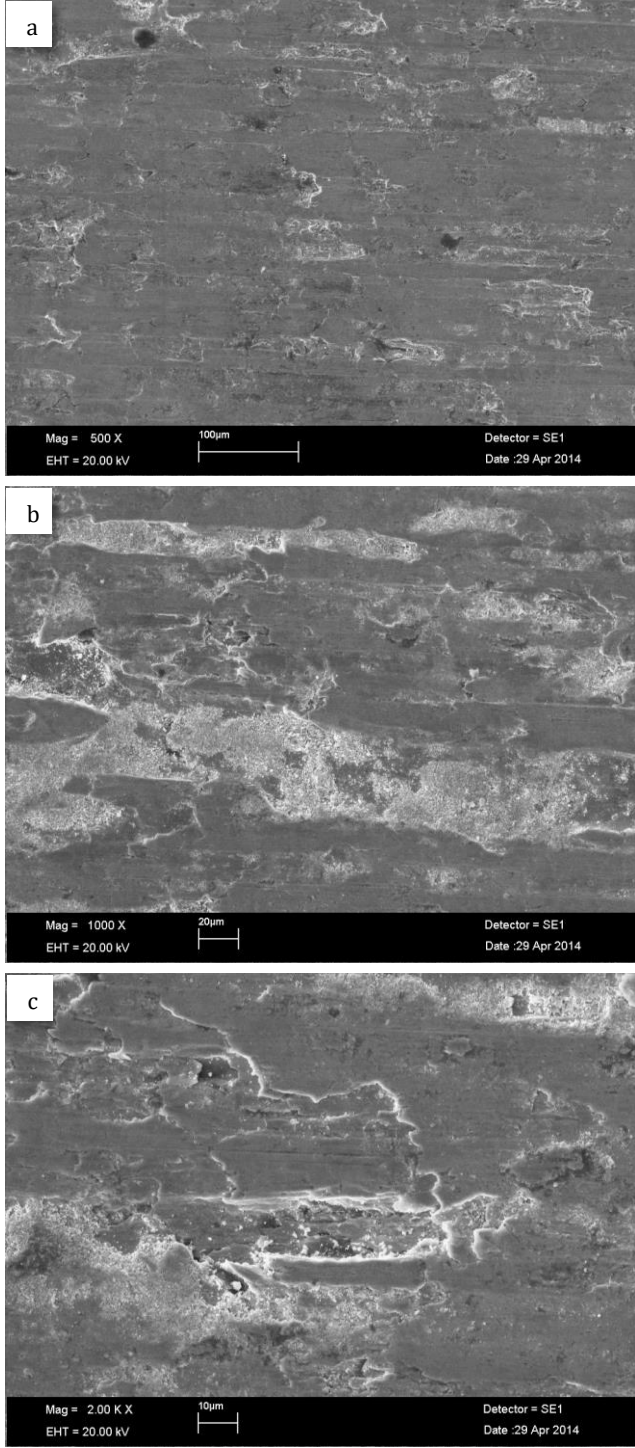
Gri çil dökme demirin SEM görüntülerinde (Şekil 5) aşınmış yüzeylerde ana aşınma mekanizması olarak adhezif aşınma meydana geldiği görülmüştür, parçanın yapısında bulunan grafitler aşındırıcı malzemenin etkisi ile koparak malzemeye yapışmıştır, ana aşınma mekanizması adhezif olmakla birlikte bunun yanında abrasif aşınmada mevcuttur.

Yapı sert olduğundan bazı kısımlarda çizikler meydana gelmiştir, bu çizikler malzemede abrasif aşınmanın olduğunun göstergesidir.

Yapıda karbürler (sementit) yüksek olduğundan dolayı sertlik yüksektir ve bu nedenle aşınma direnci gri dökme demire oranla daha fazladır.

Küresel grafitli dökme demirde aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi incelendiğinde (Şekil 6) yapıda belirgin olarak çizik şeklinde yivler görülmektedir.

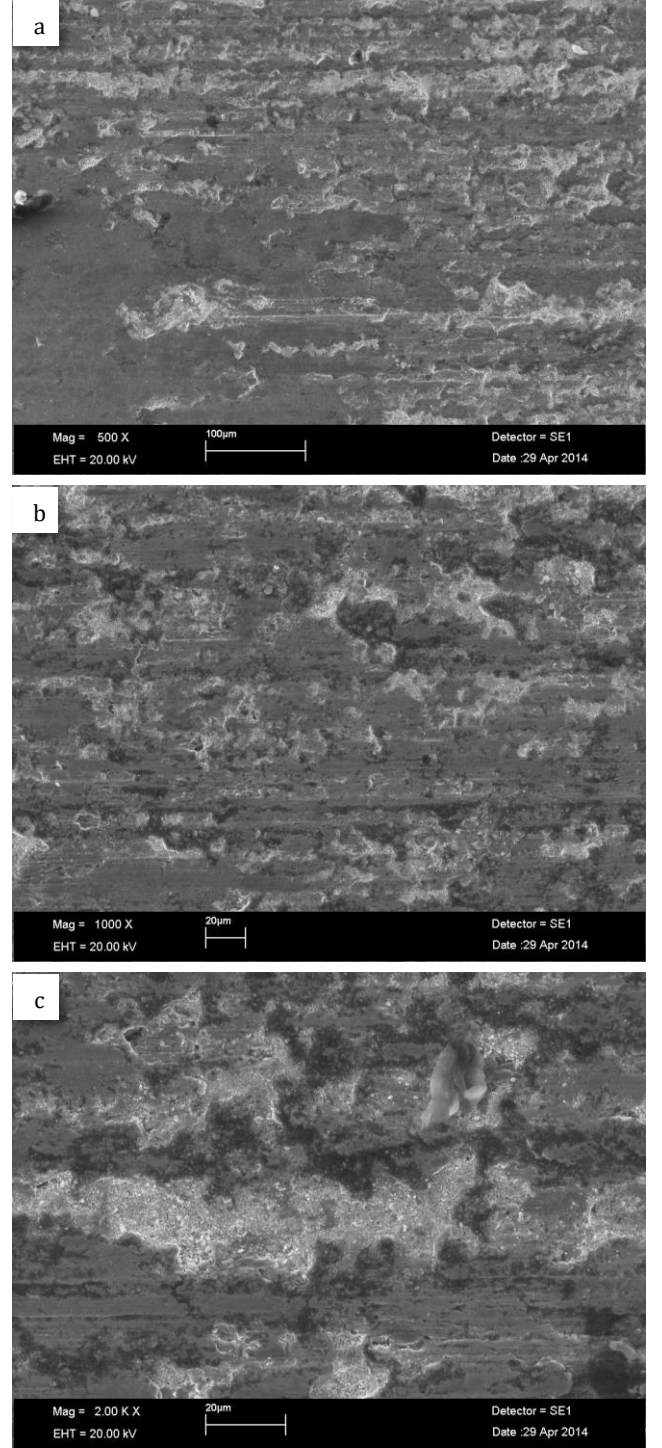
Bununla beraber yapıda derin olmayan mikro çatlaklar da mevcuttur. Yapıda abrasif ve adhesif aşınma mekanizmalarının ikisinin de mevcut olduğu görülmektedir.



Şekil 4: Aşınma sonrası Gri dökme demirin SEM görüntüsü. a): 500X, b): 1000X, c): 2000X.

Yapıdaki grafitler küresel halde bulunduğu için parça kopması gri dökme demire oranla daha azdır. Abrasif aşınma belirgin bir şekilde olmasına karşı gri çil dökme demirdeki kadar fazla değildir. Burada ana mekanizma yine adhesif aşınma olduğundan küresel grafitli dökme demirde malzeme kaybı Tablo 4'teki sonuçlara bakıldığında gri çil dökme demir ve

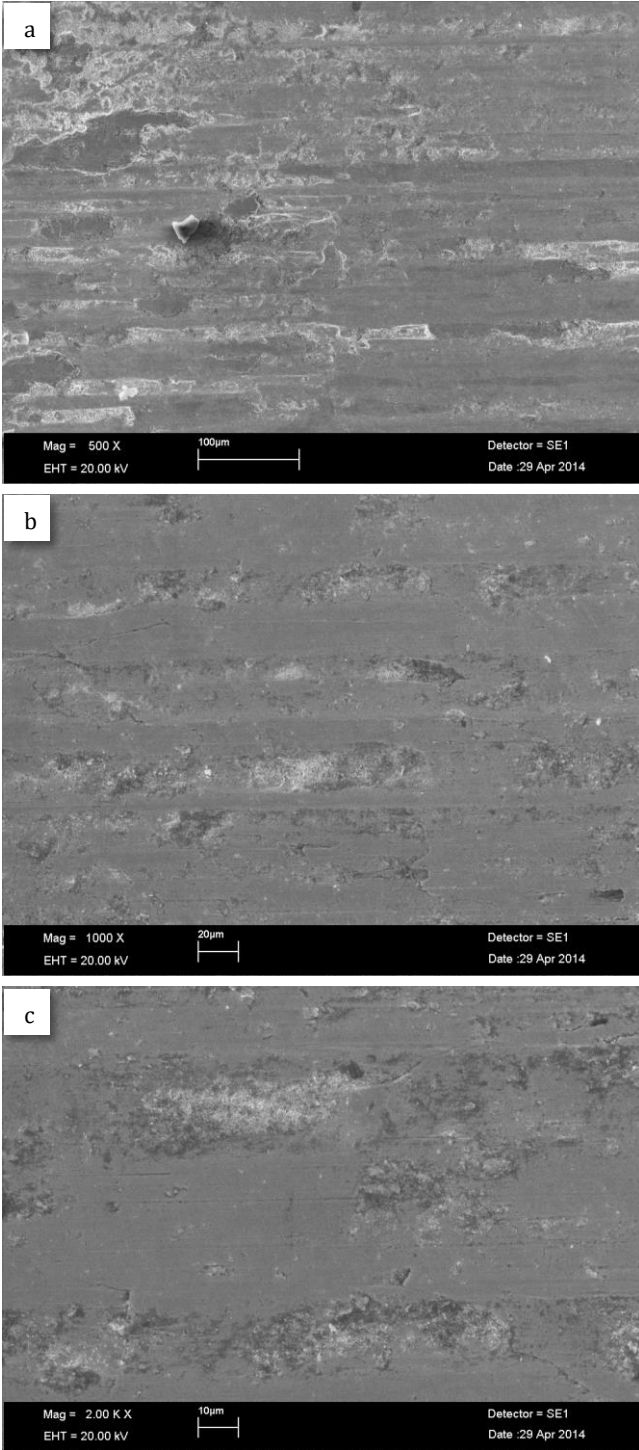
küresel çil dökme demire oranla daha fazladır. Küresel grafitli çil dökme demirin aşınma yapısı incelendiğinde (Şekil 7) yapıda oluşturulan çilin aşınma direncini artırmada önemli derecede bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.



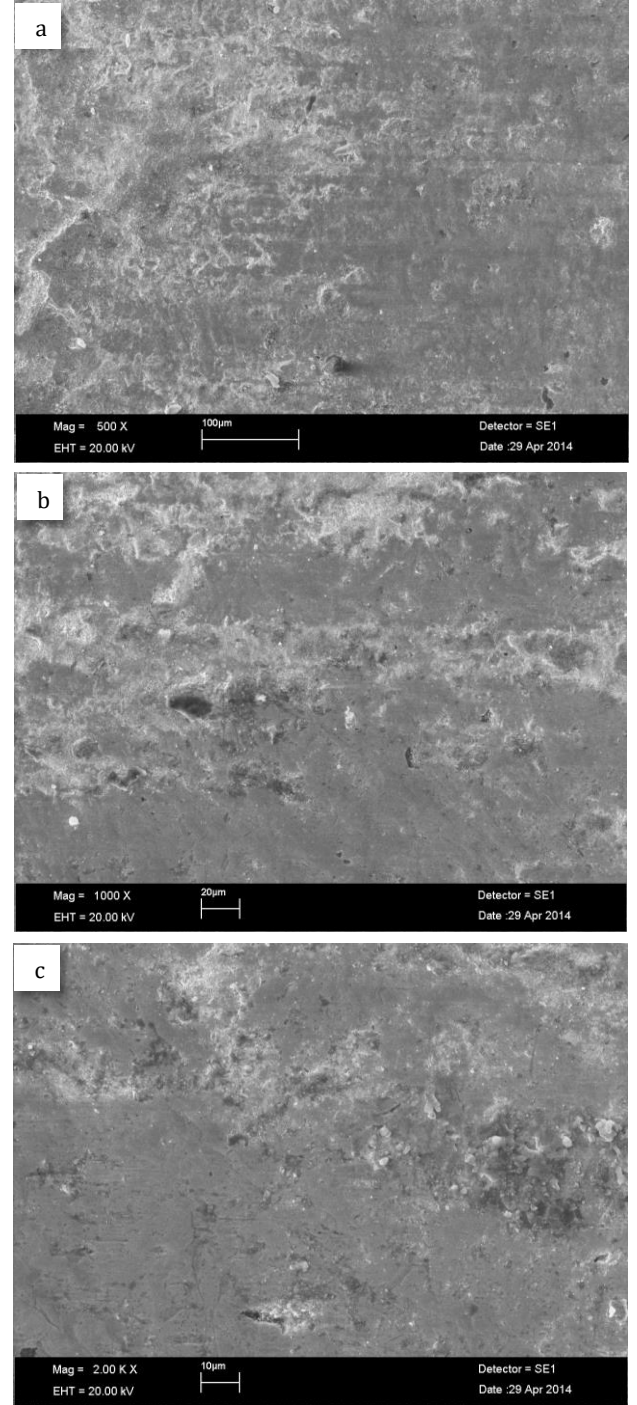
Şekil 5: Gri Çil Dökme demirin SEM görüntüleri. a): 500X, b): 1000X, c): 2000X.

Yapıda düşük oranlarda çizik şeklinde yivler görülmektedir ve derin değildir, buda abrasif aşınma sonucu oluşan malzeme kaybının son derece az olduğunu gösterir, yapıda genelde adhesif aşınma mekanizması göze çarpmaktadır. Sertliğin yüksek olması ve yapıda ki grafitlerin küresel şekilde olması

aşınmaya karşı dayanımı artırarak yüksek aşınmanın meydana geldiği yerlerde parçanın rahat bir şekilde kullanılmasına olanak tanır.



Şekil 6: Küresel grafitli dökme demir SEM görüntüleri.  
a): 500X, b): 1000X, c): 2000X.



Şekil 7: Küresel Çil Dökme Demirin SEM görüntüleri. a): 500X, b): 1000X, c): 2000x.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada, kam millerinde kullanılan gri ve küresel grafitli dökme demirlerin üretimi esnasında döküm işleminin gerçekleştirileceği kum kalıplara çil yerleştirilerek kam

yüzeylerinde hızlı soğutma sağlanarak çil yapısı oluşturulmuş ve çilin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi incelenmiştir. Araştırma neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Çalışmada en yüksek sertlik ve çil derinliği gri çil dökme demir de elde edilmiştir. Bu sonuçtan gri çil dökme demirin çil oluşturma kabiliyetinin daha kolay olduğu anlaşılmaktadır,
2. Darbe testi sonucu en yüksek darbe enerjisi küresel grafitli dökme demirde elde edilmiştir. Burada en büyük etken yapıda bulunan küresel grafitlerdir. Gri dökme demirde ise yapıda bulunan yapraksı grafitlerin çentik etkisinden dolayı darbe enerji çok daha düşüktür,
3. Aşınma testi sonucunda gri dökme demirden imal edilen kam milinin mikroyapısındaki yumuşak ferrit fazından ve yapıda serbest halde bulunan yapraksı grafitlerden dolayı aşınma miktarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Küresel grafitli dökme demirde ise, mikroyapıda bulunan, ferrit fazına kıyasla sert olan perlit fazı ve grafitin küre şeklinde olması malzeme aşınma yüzeyinde daha az alan kaplamasından dolayı aşınma miktarı azalmıştır. Yapıda çil meydana getirilmesi ile aşınma miktarının en iyi sonuçları elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan gri çil dökme demirin sertliği küresel grafitli çil dökme demire oranla daha yüksek olduğundan en iyi aşınma direncini gösteren malzeme olmuştur,
4. Aşınma mekanizmaları incelendiğinde dökme demirlerin aşınması sonucu malzeme kaybı daha çok adhezif aşınma sonucu olduğu görülmüştür.

## 5 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından "2241-A Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı" kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## 6 Kaynaklar

- [1] Çavuşoğlu N. *Döküm Teknolojisi-1*. İstanbul, Türkiye, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1981.
- [2] Stefanescu DM. *ASM Handbook, Volume 15, Casting*. 9<sup>th</sup> ed. Ohio, USA, ASM International, 1988.
- [3] Başpınar MS. "Grafitleştirme Tavlamaşının Santrifüjle Dökülmüş Gri Dökme Demirin Mikro Yapı ve Sertlik Dağılımına Etkisi". *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Denizli Bilim Günleri*, Denizli, Türkiye, 5-7 Mayıs 1999.

- [4] İzgiz S. "Laplancge Garfitleşme Yatkınlığı ve Silindir Gömleklerinin Savurma Dökümünde Karbon ve Silisyum Miktarları". *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası*, 153, 41-55, 2010.
- [5] Erdoğan M, Güneş İ, Başpınar MS. "Küresel Grafitli Dökme Demir Yüzeylerinin MoSi<sub>2</sub> ile Yüzey Modifikasyonu". *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7, 43-52, 2010.
- [6] Özdemir Ö. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimine Etki Eden Parametrelerin Teorik İncelenmesi Ultrasonik Ses Hızı Yöntemiyle Tahribatsız Kontrolü ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2007.
- [7] Nayak N, Lakshminarayanan PA, Gajendra Babu MK, Dani AD. "Predictions of Cam Follower Wear in Diesel Engines". *Wear*, 260(1-2), 181-192, 2006.
- [8] Hemanth J. "Fracture Toughness and Wear Resistance of Aluminium-Boron Particulate Composites Cast Using Metallic and Non-Metallic". *Materials & Design*, 23(1), 41-50, 2002.
- [9] Ovalı İ, Erdoğan M. "Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Yüzeyde Çil Oluşumu ve Çil Derinliğinin Araştırılması". *Politeknik Dergisi*, 15(1), 43-47, 2012.
- [10] Yavuz K. GGG-70 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demir Kam Millerinin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [11] Fraş E, Görny M, Lopez HF. "Mechanism of the Silicon Influence on Absolute Chilling Tendency and Chill of Cast Iron". *Archives of Metallurgy and Materials*, 54(1), 103-110, 2009.
- [12] Jinghui THZ, Peiyue Z. "The Relationship between the Eutectic Cell Number and Chill Tendency in Grey Cast Iron". *Foundry*, 6, 1986.
- [13] Zhongbao W. "The Process of Chilled Cast Iron Camshaft". *Motorcycle Technology*, 8, 2000.
- [14] Gül F, Şenel L. "Ferritik ve Perlitik Küresel Grafitli Dökme Demirin Üç Gövdeli Abrasiv Aşınma Davranışı Üzerine Aşındırıcı Parçacık Boyutunun Etkisi". *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1(1), 57-64, 2012.
- [15] Yılmaz İÖ. Otomotiv Sac Şekillendirme Kalıplarında Kullanılan Malzemelerin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2012.