

ÇİL DÖKÜM KAM MİLLERİNİN SERTLİK DERİNLİĞİNİN MEKANİK VE MİKROYAPI ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ayşen AYYILMAZ

Bahadır KARACA

Fatih ÖZAYDIN

Levent Cenk KUMRUOĞLU

Cumhuriyet Üniversitesi

ESTAŞ Eksantrik San ve Tic A.Ş

ESTAŞ Eksantrik San ve Tic A.Ş

Cumhuriyet Üniversitesi

ÖZET

Lamel Grafitli Dökme Demirlerin (LGDD-Gri Döküm) akıcılık kabiliyetinin yüksek olması ve hızlı katılaşmaya bağlı olarak yüzeylerinde oluşan aşınma direnci yüksek çil tabakası nedeni ile kam mili imalatında önemli bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada kam milinin kam bölgelerinde çil oluşturmak için soğutucular kullanılarak, 1420 °C döküm sıcaklığında kalıp doldurma hızı 10 sn olacak şekilde toplam 50 adet döküm yapılmıştır.

Gri döküm ve gri çil döküm kam milleri arasındaki mekanik özellikler, aşınma, çekme, sertlik deneyleri ve metalografik özellikler; optik mikroskop, SEM ve EDX ile incelenmiştir. İncelemeler gri döküm ve gri çil döküm kam millerinin pota başı ve pota sonu kamlarında yapılmıştır. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda en yüksek aşınma direnci gri çil döküm pota başı kam milinde 0.034 mm³, gri döküm pota başı kam milinde aşınma kaybı ise 0.254 mm³ olarak gözlenmiştir. Çekme deneyleri sonucunda çekme mukavemet değeri gri çil dökümde 275 N/mm² gri dökümde ise 260 N/mm² olarak ölçülmüştür. Sertlik değerleri ise gri çil döküm kam mili pota başı numunede 513 HBN, gri döküm kam milinde ise sertlik değeri 81 HBN olarak ölçülmüştür. Mikro yapı gri dökümde lamel grafit yapısından olup, gri çil dökümde mikro yapıda sementit ve ince lamelli yapı optik mikroskop ve SEM ile gözlenmiştir. Gri çil dökümde soğuma hızı gri dökme demirde olduğu gibi karbonun grafit yaprakları halinde çökmesine izin vermediğinden dolayı daha sert aşınmaya karşı daha dirençli bir yapı meydana gelmiştir.

Anahtar kelimeler: Döküm, Kam mili, Aşınma, Sertlik, Çekme Mukavemeti, Ledeburit

1.GİRİŞ

Demir alaşımları, dökme demirler ve çelik dökümler olmak üzere iki gruba ayrılır. % 2'ye kadar karbon (C) bulunan demir alaşımları çelik, % 2'den çok C bulunan demir alaşımları dökme demir olarak tanımlanmaktadır [1]. Dökme demirler, Dünyada ve ülkemizde en yaygın üretilen ve kullanılan malzeme grubundandır. Otomotiv endüstrisinde yaygın olarak LGDD kullanılmaktadır [2]. LGDD; katılaştığında bileşimindeki karbon, kısmen veya tamamen grafit olarak ayrılmaktadır. Kırık yüzeyi gri renktedir. LGDD, Fe-C-Si alaşımı olup, ötektik sıcaklığında östenitin katı eriyik olarak içerebileceğinden fazla karbonu içerir [1]. LGDD' de C % 3.3'ün altında kalmalı, Si ise % 1.2 olmalıdır, % 2'den fazla Si bulunması C' un östenit içinde çözünmesini engeller ve elde edilen sertlik değerleri düşük olur. Daha yüksek C ve Si değerlerinde de yeterli bir sertliğe ulaşılabilmesine rağmen maksimum değerlerin % 3.3 C ve % 2.0 Si ile sınırlandırılması uygun olmaktadır. LGDD' de grafit mümkün olduğunca ince lamelli olmalıdır [3]. LGDD'lerin çekme mukavemeti, sertliği ve mikro yapısı; kimyasal kompozisyon, kalıp karakteristiği, katılaşma sonrası soğuma hızı gibi pek çok faktöre bağlıdır. LGDD' de Si miktarı arttıkça ötektik ve ötektoid bileşimlerdeki karbon miktarı azalır. Fakat ötektik ve ötektoid sıcaklıkları yükselir. Silisyum, akıcılığı artırır ve sertlik düşüşüne sebep olur.

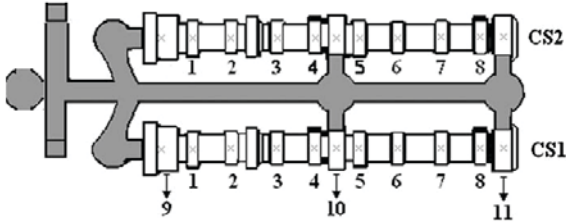
Çil döküm; katılaşma sırasında LGDD'nin, bazı kısımlarında soğumayı hızlandırmak için özel yöntemler (çil) uygulayarak yapılan bir dökme demir çeşididir. Kırılmış yüzeyinin hızlı soğumuş kısımlarında beyaz, normal soğumuş kısımlarında lamel grafitli dökme demir mikro yapısı görülür. Hızlı soğutulmuş çil döküm sert ve dayanıklıdır. Soğuma hızı LGDD' de olduğu gibi karbonun grafit yaprakları şeklinde çökmesine izin vermez karbon, demir, krom yada molibdenle birleşerek karbür oluşturur [1]. Oluşan demir karbon (Fe₃C-sementit), sert ve kırılgandır. Dökme demir çoğunlukla bu sementit yapıdan kırılır. Kırık yüzeye bakıldığında açık yada beyaz renkli görülür, bu nedenle bunlara beyaz dökme demir denir. Dökümde yüksek oranda demir-karbür oluşur ve yapı, LGDD kimyasal kompozisyonuna sahip olunmasına rağmen daha sert, aşınma dirençli ve kırılgan olur [4].

Sağlam bir çil döküm imal edebilmek için çil tasarım ve dizaynının iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Sıvı fazdan katı faza geçerken beyaz döküm yapısının elde edilebilmesi için gerekli ısı transferi kalıp içerisine yerleştirilen soğutucu çiller sayesinde

gerçekleştirilmektedir. Bu sayede çilin etki ettiği bölgede karbon grafit yerine karbür formunda ve dentritik ağ yapısı içerisinde sert ledeburitik yapı şeklinde bulunmaktadır. Bu yapıya ilaveten martenzitik yapıda aşırı soğumaya bağlı olarak çil döküm yüzeylerinde teşekkül edebilmektedir. Bu yapı mükemmel bir aşınma ve vibrasyon absorpsiyonu sağlamaktadır. İlaveten işlenebilme kabiliyetinin de iyi olması çil dökümü özellikler kam mili gibi aşınma ve yorulma dayanımı gerektiren komponentlerde vazgeçilmez kılmaktadır. Çil dökümde hızlı soğuyan bölgeler Fe-C elementlerinin Fe_3C yapısı başta olmak üzere farklı sitokimiyetrik oranlarında intermetalik yapılar şeklinde teşekkül edebilmektedir. Çilden uzak bölgelerde kısmen daha yavaş soğuyan bölgeler gri döküm ve rozet grafit yapısı şeklinde olmaktadır. Çil derinliği eriyik metalin kompozisyonuna, aşılama miktarına ve döküm sıcaklığına bağlı olarak kontrol edilebilmektedir [5]. Bu çalışma kapsamında çil dökümüne etki eden soğutucu çil konumu, aşılama ve döküm sıcaklığı gibi parametreler mekanik özellikler ve mikro yapı incelemesi ile açıklanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar için kam millerinin dökümünde 600x450x350 mm boyutlarında kum kalıp kullanılarak kam mili modelleri kalıplara önceden yerleştirilmiştir. Gri dökme demirin yüzeylerinde çil oluşturmak amacıyla model de bulunan kam yüzeylerine soğutucular yerleştirilmiştir. Ergitme işlemi 120 Kw gücünde, 2.500 kg kapasiteli indüksiyon ergitme ocağında 50Hz frekansta gerçekleştirilerek 1420°C'de döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Ergitme işleminde sıcaklıklar lazer tipi sıcaklık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Kum kalıba yapılan dökümler 10 saniye aralıklarla olacak şekilde toplamda 50 adet döküm yapılmıştır. Dökülen kam milinin şekli Şekil 1'de verilmektedir. Burada çil uygulanan kamlar 1'den 8'e kadar numaralandırılmıştır. 1 numara ile gösterilen kam pota başı, 8 numara ile gösterilen kam ise pota sonu olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kam mili ve çil uygulanan kam bölgeleri

Döküm işleminin bitiminde kum kalıplar soğuduktan sonra sarsaklarda bozularak kumlanmış, taşlanmış sonrasında ise kamlar su soğutmalı sistemde kesilerek incelenmiştir. İncelemeler hem mikro yapı için hem de aşınma deneyi sonrası aşınma karakterizasyonu için metal ve elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Metal mikroskobu görüntüleri kamlardaki çil ve perlit+grafit bölgelerini kapsayacak şekilde numunelerin parlatılması ve %3 Nital ile dağlanması sonrasında 100X ve 500X büyütmelerde çekilmiştir. Bu görüntüler Şekil 2.de verilmektedir.



(a)

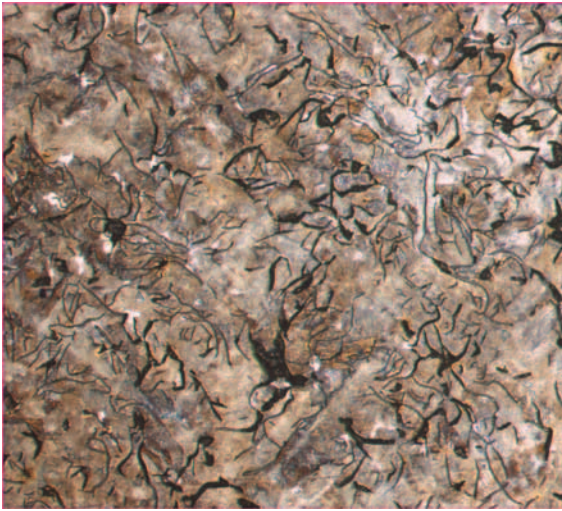


(b)

Şekil 2. Kamların çil bölgesine ait (a) 100X (b) 500X büyütmedeki mikro yapı fotoğrafları

Şekil 2 de gösterilen optik mikroskop görüntüleri, çil ile dökülen sıvı metalin temasına bağlı olarak meydana gelen yüksek termal iletkenliğe bağlı olarak hızlı soğuyan bölgelerdeki mikro yapının dentritik uzantılar içeren sementit ağırlıklı fazlardan teşekkül ettiği görülmektedir. Bu yapı yüksek yüzdelerde sementit içeren dönüşmüş ledeburit olarak tanımlanmaktadır [5]. Dönüşmüş ledeburit bölge çil derinliği olarak da anılmaktadır. Bu

bölge bileşime ve çil kalınlığına bağlı olarak 3-6 mm [6] ile 8-10 mm [5] gibi aralıklarda değişmektedir. Bu aralıklardaki ledeburitik bölgede sertlik değerleri 45-57 HRC arasında değişmektedir [5]. Çil derinliği belirli bir spesifik değerden sonra düşüşe geçmekte ve mikro yapı perlit ve düşük oranlarda ferrit ağı tarafından çevrilmiş grafit şeklinde oluşmaktadır. Çok daha yavaş soğuma hızlarında ise demirin içerisinde bulunan silisyum ve karbona bağlı olarak yoğun ferrit ve perlit yapıları kaba grafitleri çevrelemektedir. Bu tür mikro yapılarda sertlik değeri 30-35 HRC bandına düşmektedir. Çil uygulanmayan dökme demirde ise mikro yapı Şekil3 (a) ve (b) de gösterildiği gibi lamel grafitli dökme demir yapısı olup farklı tipteki grafit şekillerinin ferritik ve perlitik matris içinde dağılmış halidir [5-8].



(a)



(b)

Şekil 3. Çil uygulanmayan kamların (a) 100X (b) 500X büyütmedeki mikro yapı fotoğrafları



	Gri Döküm Sertlikler		Çil Döküm Sertlikler	
	Pota Başı	Pota Sonu	Pota Başı	Pota Sonu
1	180 HBN	186 HBN	509 HBN	501 HBN
2	177 HBN	172 HBN	471 HBN	456 HBN
3	172 HBN	170 HBN	473 HBN	452 HBN
4	168 HBN	170 HBN	465 HBN	452 HBN

Tablo 1. Kam bölgesinde çil zonu ve perlit+grafitik zon olmak üzere sertlik ölçümleri.

Şekil 2 ve Şekil 3'deki çil uygulanmış ve çil uygulanmamış numunelerin sertlik değerleri Brinell Hardness cinsinden (HBN) ölçülmüş olup sertlik sonuçları kamların ilgili bölgelerini gösterecek şekilde Tablo 1'de verilmektedir. Kam üzerinde çil uygulanan bölge Tablo 1'deki resim üzerinde 1,2,3,4 ile gösterilen bölgelerdir. Çil uygulanmış numunelerde sertlik değerleri çil uygulanmamış numunelere göre ani soğumanın etkisi ile yaklaşık 3 kat artmış, çil uygulanmamış numunelerde sertlik değeri 186 HBN' de kalırken çil uygulanmış numunelerde sertlik değeri 509 HBN' ye ulaşmıştır. Pota başı ve pota sonu numunelerin sertlik değerlerinde çok fazla değişiklik olmamıştır. Sertlik sonuçlarına göre pota başı ve pota sonunda yaklaşık 15 HBN değerinde bir sertlik farkı ölçülmüş olup bu fark kalıp içerisinde sıvı metalin hareketi ile kum kalıba ve çillere teması sonucu ısı kaybından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buradaki aşırı soğuma miktarı pota sonunda daha az olup çil etkisi daha az efektif olmakta ve sertlikte küçük bir miktar azalmaya neden olmaktadır.

Kamlarda elde edilen farklı sertlik değerlerinin aşınma davranışını ölçmek için aşınma deneyleri yapılmıştır. "Ball-on-disk" tipi kuru sürtünme testi (=aşınma testi) ASTM

G99-05 standardına uygun olarak, Tablo 2’de verilen parametrelere göre gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi sonuçları Tablo 3’de özetlenmiştir. Aşınma “Ball-on-disk” tipi tribometre cihazında kuru sürtünme testi şeklinde gerçekleştirildikten sonra optik mikroskop ile aşınma yüzeyleri hem numune üzerinde hem aşındırıcı karşıt parça olan bilye üzerinde incelenmiş ve bir dizi ölçüm yapılmıştır. Aşınma testleri Nanovea marka aşınma test cihazı (tribometre) kullanılarak yapılmıştır. ASTM G99-05 standardı aşınma hacminin ölçülmesini temel aldığından numune ve bilye üzerindeki aşınma hacimsel kayıpları doğrudan ölçüm ve matematiksel bağıntılar kullanılarak belirlenmiştir. Adı geçen matematiksel bağıntılar ilgili standart tarafından verilmiş olan eşitliklerdir ve aşınma yüzeylerinde yapılan bir dizi ölçüm sonucuna dayanmaktadır.

Test parametresi	Açıklama/Değer
Aşındırıcı bilye	100Cr6
Bilye sertliği (HRC)	65
Bilye çapı (mm)	5
Nominal yük (N)	15
Disk dönme hızı (rpm)	300
Kayma hızı (m/s)	0.095
Mesafe (m)	100
Sıcaklık (°C)	RT
Bağıl nem (%)	-

Tablo 2: Kuru Sürtünme Test Parametreleri

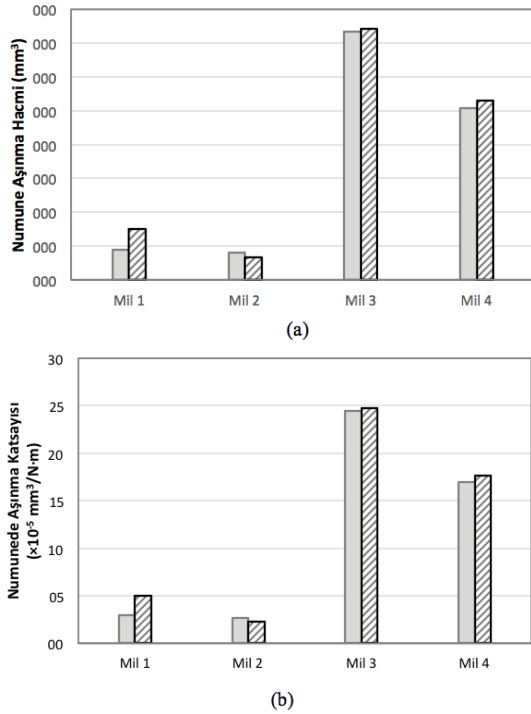
Numune Kodu	Sürtünme Katsayısı, μ	Aşınma Kaybı (mm ³)		Aşınma Katsayısı ($\times 10^{-5}$ mm ³ /N.m)	
		Numunede	Bilyede	Numunede	Bilyede
Mil 1, P.B	0.26	0.044	0.015	02.93	0.97
Mil 1, P.S	0.35	0.075	0.009	05.00	0.57
Mil 2, P.B	0.31	0.034	0.015	02.65	0.99
Mil 2, P.S	0.29	0.040	0.013	02.25	0.85
Mil 3, P.B	0.18	0.368	0.012	24.50	0.82
Mil 3, P.S	0.16	0.372	0.012	24.77	0.81
Mil 4, P.B	0.34	0.254	0.015	16.95	0.97
Mil 4, P.S	0.20	0.265	0.010	17.65	0.64

Tablo 3. Pota başı ve pota sonundan çil uygulanmış ve çil uygulanmamış numunelere ve karşıt bilyeye ait aşınma test sonuçları

P.B: Pota başından dökülen mil, P.S: Pota sonundan dökülen mil

Mil1 ve Mil 2 : Çil uygulanmış kamlar, Mil 3 ve Mil 4 : Çil uygulanmamış kamlar

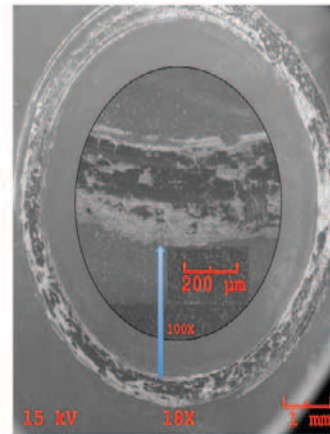
Bu deneylere ait, Pota başı ve pota sonundan çil uygulanmış ve çil uygulanmamış numunelere ve karşıt bilyeye ait aşınma test sonuçları Tablo 3’ de verilmektedir. Aşınma testi sonucunda genel anlamda çil uygulanmayan numunelerin sürtünme kat sayısının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi mikro yapıdaki homojen dağılmış lamel grafitlerin katı yağlayıcı görevi görmesindendir [7]. Bilindiği üzere grafit hegzağonal yapıda olup hegzağonal yapıdaki grafit plakaları bazal düzlemlerden kolaylıkla ayrılıp kam ve aşındırıcı karşıt bilye arasında yağlayıcı vazifesi görmüştür.

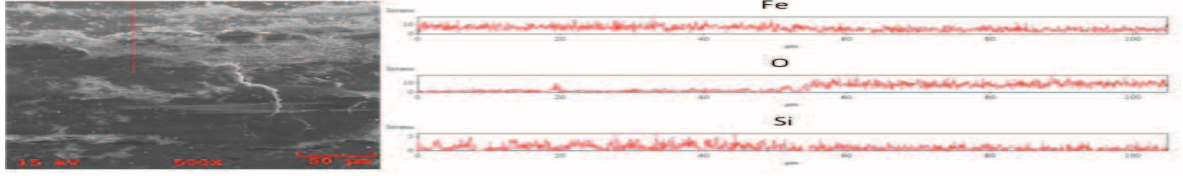


Şekil 4. Aşınma deney sonuçları (a) aşınma kaybı, (b) aşınma katsayı

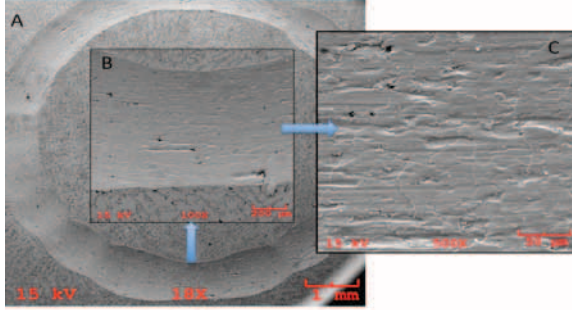
Şekil 4 a ve b aşınma deneyleri neticesinde elde edilen verilerin grafik halidir. Aşınma kayıplarının daha kolay bir şekilde kıyaslama yapılması amacı ile sunulmuştur. Mil 1 ve 2 çil uygulanan yüzeyde teşekkül eden ledeburitik mikro yapının aşınma kayıplarını göstermektedir. Sütunlardaki düz ve taralı desenler ise Kam 1 ve Kam 8 olarak gösterilmiştir, bu gösterimler ise sırası ile pota başı ve pota sonu ile dökülen kamları temsil etmektedir. Mil 1 ve Mil 2 toplam 50 adet dökülen dökümlerden ve aşınma testleri yapılan kamlardan rastgele seçilerek elde edilen verileri göstermektedir. Tüm aşınma deney sonuçları yaklaşık olarak aynı değerler civarında değişim göstermiştir. Temsilen iki numune değerleri verilmiştir. Aynı şekilde Mil 3 ve Mil 4 de çil uygulanmamış olan toplam 50 adet dökümün aşınma deneyi ortalaması alınarak elde edilmiş aşınma kayıplarıdır. Aşınma deneyleri sonucu her iki grup millerin aşınma hacimlerinin ortalamalarının kıyaslanması sonucunda çil uygulamasının aşınma kaybını hacimsel bazda 0.3 mm³ den 0.05 mm³ seviyelerine düşürmüştür, yaklaşık olarak 6 kat iyileşme göstermiştir. Şekil 5'de çil uygulanan numune üzerindeki aşınma izi SEM ve EDX çizgi analizi ile karakterize

edilmiştir. SEM görüntüleri kuru aşınma deneyi sürecinde karşıt malzeme olarak kullanılan küresel formdaki sert çelik bilyenin oluşturduğu iz topolojini göstermektedir. 1mm skalalı panel toplam aşınma iz yolunu, 200 µm skalalı dairesel panel ize ait detayı, yüksek büyütmedeki görüntü ve EDX çizgi analizini göstermektedir. Oluşan aşınma iz genişliği iz yolu boyunca 200-300 µm arasında değişiklik gösteriş olup yer yer adhesiv yer yer abrasiv karakterde olduğu düşünülmektedir, adhesiv karekterin aşınma parçalarının benzer kristal ve periyodik yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sürtünme sırasında açığa çıkan lokal ısılar bu tür bir adhezyonu ilerletmektedir. Lokal adacıklar şeklindeki açık gri bölgeler adhesiv kopmaları işaret etmektedir. EDX analizi ve ilgili SEM görüntü paneli aşınma sırasında sürtünen yüzeylerin de lamine olmasına bağlı olarak ara yüzeyde tekrar aşınma kattı boyunca veya belirli mesafelerde sıvandığını göstermektedir. Temel olarak incelenen Fe, C ve Si gibi 3 elementin çizgi analizinden aşınmaya uğrayan bölgede oksitlenme eğiliminin yüksek olduğunu göstermiştir. Oluşan oksit tabakası çizgi analizinde açıkça görülmektedir. EDX çizgi hattı boyunca oksit tabakasının olduğu bölgede Fe ve Si seviyesinin kısmen azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalma Oksijen deki pik şiddetinin artmasına bağlı olarak orantısız düzeyde gerçekleşmiştir. Aşınma hattının dar olması karşıt bilyenin kam mili içerisine dalma yapmadığını hatta aşınmanın karşılıklı olarak yani hem aşındırıcı bilye hem de kam milinin aşındığını işaret etmektedir. Her iki yüzeyinde aşınması ve üçüncü bir malzeme gibi ara yüzeyde sıvanması sürtünme katsayılarında farklılıklar arz edebilmektedir. İz hattı boyunca delamine olan veya partikül halinde ayrılmaya uğrayan sert mikro partiküllerin kimi zaman ara yüzeye yayıldığı kimi zamanda özellikler aşındırıcı bilyenin kenar kısmına denk geldiği zaman hat boyunca pulluk modeli şeklinde kazıma yaptığı gözlemlenmiştir.





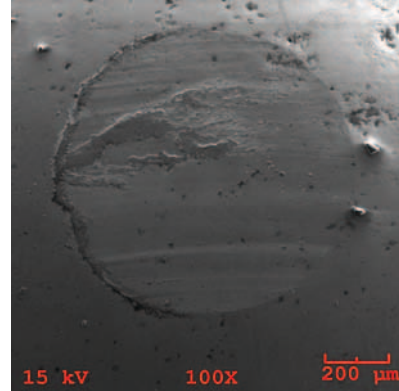
Şekil 5. Mil 2, Pota başı kamı aşınma izi 18X, 500X görüntüleri ve EDX çizgi analizi



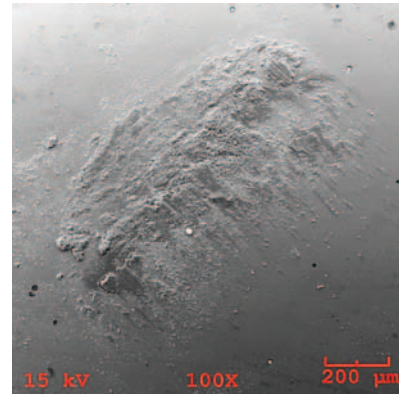
Şekil 6. Mil 4, (Çilsiz) Pota başı numunesi aşınma izi (A) 18X, (B) 100X, (C) 500X görüntüleri

Çil uygulanmayan kam millerinde aşınma izi bariz bir şekilde genişlemiş 700 ile 1000 μm arasında değişiklik göstermiştir. Şekil 6'da 1 mm skalalı panel (A) dairesel olarak hareket eden aşınma sistemindeki toplam izi göstermektedir. Bu panelin içindeki 300 μm skallı panel (B) ise ok ile gösterilen bölgeye ait detay görüntüsünü göstermiştir. C paneli ise 500 büyütmede çekilen SEM görüntüsü olup aşınmanın şiddetli abrasiv ve adhesiv olduğunu göstermektedir [9-11]. Altlık olarak kullanılan grafit lamelleri ağırlıklı demir anafazlı yumuşak yapı, sertleştirilmiş bilye karşısında yeterli seviyede yağlayıcı yüzey oluşturmamış ve agresiv seviyede aşınmaya uğramıştır. Aşınma testi yapılan tüm çil uygulanmamış numunelerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu tür aşınma çiftleri bir parçanın aşınması ve belirli bir süre sonra yenisi ile değiştirilmesi şeklinde tasarlanmalıdır. Nitekim kam milinde aşınma gerçekleşirken karşıt aşındırıcı olarak kullanılan bilyede ciddi seviyede bir aşınma gözlemlenmemiştir. Aşınma mekanizmasının daha iyi anlaşılması için farklı bir yaklaşım olarak aşındırıcı bilye aşınma yüzeyi SEM ile incelenmiş ve yüzey morfolojisi incelenmiştir (Şekil 7). Bilyelerin yüzeyinde oluşan düzleşme ve çizgiler göz önüne alınarak bir değerlendirme yapılacak olursa, Çil uygulanan kamın karşıt malzeme olarak kullanılan 65 HRC sertlikteki 100Cr6 malzemeden yapılan bilyeyi aşındırdığı görülmüştür.

Aşınan partiküllerin aşınma yönünde bilyeye sıvandığı ve biriktiği de Şekil 7 (a)'da görülmektedir. Öte yandan sertliği düşük olan demir matrisli çil uygulanmayan dökme demir kam numunede ise aşındırıcı bilyenin ciddi bir aşınma hasarı almadığı görülmektedir. Aşınma yüzeyindeki bilyenin orjinal çapının ve küresel formun düzleşmeye uğramadığı bilyenin aşınmadığına dair ip uçları vermektedir. Ayrıca kuyruklu yıldız şeklinde uzayan izler aşınmanın yer yer şiddetli abrazif davranış gösterdiğinin kanıtıdır. Sonuç olarak çil uygulanan dökme demirdeki dönüşmüş sert ledeburitik yapının aşınma direnci, kuru sürtünme şartlarında çil uygulanmayan numuneye oranla 6 kat artış göstermiştir.



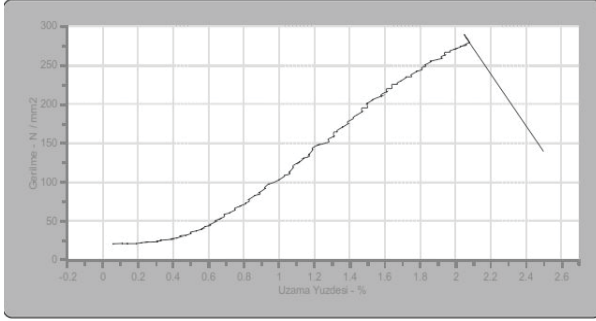
(a)



(b)

Şekil 7. Mil 2 (a) ve Mil 4 (b) Pota başı numunelerine ait bilye aşınma izleri

Sertlik ve aşınma direnci ile kıyas amacı ile her iki grupta numuneye çekme testleri uygulanmıştır. Çekme testleri UTS (En yüksek çekme mukavemeti) cinsinden kıyaslanmıştır. Çil uygulanan numunelerin çekme mukavemeti 275 N/mm² değerlerinde bulunmuştur (Şekil 8), çil uygulanmayan dökümlerde ise çekme mukavemet değerlerinin 260 N/mm² aralığında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 8. Çil uygulanan numuneye ait gerilme-uzama yüzdesi grafiği

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kam millerinde çil soğutucu uygulanması ile lamel grafitli mikro yapı, sementit fazının perlit içinde dağılması ile oluşan sert doğal kompozit bir mikro yapı elde edilmiştir.

Oluşan bu yapı sert doğal kompozit yapı dönüşmüş ledeburit olarak anılmaktadır ve 510 HBN sertlik değerine sahiptir. Çil uygulanması ile sertlik değerleri çilsiz duruma kıyasla 3 kat artmıştır.

Kam mili üretim sürecinde çil soğutucuların sertlik üzerine etkisinin incelenmesi sonucunda kalıp içi kam lokasyonları arasında 10 ile 20 HBN arasında sertlik farkı olduğu gözlenmiştir.

Aşınma deneyleri neticesinde çil uygulanan numunelerin aşınma dirençleri 6 kata kadar artırılmıştır. Ledeburit tabakası aşınma ve yapışarak ayrılmalara engel olmuş, kısmi olarak yüzeyde tabaka şeklinde ayrılma olduğu gözlenmiştir. Çil uygulanmayan numunelerde şiddetli tabaka kopmaları ve yivler gözlenmiştir.

Çekme testleri sonucunda çil uygulanan numunelerde en yüksek çekme değerleri 275 N/mm² civarında ölçülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; 2241-A Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı ile Tübitak tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] [http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gri%20\(esmer\)%20D%C3%B6kme%20Demir.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gri%20(esmer)%20D%C3%B6kme%20Demir.pdf)
- [2] Staudt, W., 1995, Motorculukta Metal Tekniği, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 12.
- [3] <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10988.pdf>
- [4] http://www.oerlikon.com.tr/files/dokme_demirler_ve_dokme_demirlerin_kaynagi.pdf
- [5] L.C Kumruoğlu /Materials and Desing 30 (2009) 927-938
- [6] Sfero chill döküm kam millerinde mangan fosfat kaplamanın aşınma direncine etkisi SAÜ. Fen Bil. Der. 17. Cilt, 3. Sayı, s. 471-476, 2013 SAU J. Sci. Vol 17, No 3, p. 471-476, 2013
- [7] İstanbul Teknik Üniversitesi Fem Bilimleri Enstitüsü Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Borlanması ve Özellikleri Y.Müh. Uğur Şen Doktora Tezi Aralık 1997
- [8] Demir Döküm Prof. Aram Ersümer İstanbul-1981 Birsen Kitabevi Yayınları
- [9] L. Ribeiro et al. / Wear 270 (2011) 535–540
- [10] Michalski et al. Wear 240 (2000) 168–179
- [11] R. Burdzik, P. Folega, B. Łazarz, Z. Stanik, J. Warczek, Archives of Materials Science and Engineering Attempt to assess operational wear of camshaft cams, Vol 57 Issue 2 October 2012