

Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Özelliklerine Sepiyolit'in Etkisi

Mustafa BOZ*, Adem KURT**
*ZKÜ. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, 100. Yıl, 78050, KARABÜK
**Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada toz metalurjisi yöntemi ile bronz esaslı fren balataları üretilmiş ve üretilen balataların sürtünme-aşınma özellikleri incelenmiştir. İkinci aşamada bronz esaslı balata malzemesine farklı oranlarda (0,5 - 4 %) sepiyolit tozu ilave edilerek, yeni balata numuneleri üretilmiş ve üretilen sepiyolit katkılı balata numunelerinin sürtünme aşınma davranışları belirlenerek bronz esaslı balata numuneleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla fren balata numunelerinin yoğunluk, sertlik, sürtünme katsayısı, sürtünme kuvveti ve aşınma miktarları tespit edilmiş, numunelerden sinterleme öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüleri ile aşınan yüzeylerden SEM görüntüleri alınmış ve farklı bileşimdeki numunelerin aşınma mekanizmaları tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda, bu çalışmada kullanılan bronz esaslı metal tozundan üretilen fren balata numunelerinin optimum sürtünme-aşınma davranışlarının 350 MPa presleme basıncında ve 820 °C sinterleme sıcaklığında olduğu belirlenmiştir. Bütün balata numunelerinin aşınma direnci ve sürtünme katsayısı değerleri SAE-J661 standart aralığında çıkmıştır. Aşınma direnci açısından en iyi sonucu % 0,5 sepiyolit içeren sürtünme malzemesi verirken, sürtünme katsayısı açısından en iyi sonucu % 2 Sepiyolit katkılı sürtünme malzemesi vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Malzemeleri, Sepiyolit, Toz Metalurjisi, Aşınma, Fren Balatası

The Influence of Sepiolite Content on Friction-Wear Behaviour of Bronze Based Friction Materials

ABSTRACT

This study was carried out in two stages. In the first stage, bronze based brake linings were produced by powder metallurgy route and friction-wear performances of these linings were tested. In the second stage, new brake linings were produced by adding some sepiolite powder to the bronze based lining material (0, 5 – 4 %). The wear behaviour of these sepiolite added new brake linings was determined and a comparison was made with the bronze based ones. For this purpose, density, friction coefficient, friction force and mass loss of the brake lining's specimens were determined. Microstructure photographs of the specimens before and after testing were taken and the worn surfaces were examined using SEM to determine wear mechanisms. Optimum friction-wear behaviour of bronze based brake lining was obtained using samples pressed at 350 MPa sintered at 820 °C. Wear resistance and friction coefficient values of all the brake lining specimens were found to be in the range specified in SAE-J661 standard. In terms of wear resistance, the best result was found on 0,5 % Sepiolite containing specimen while 2 % Sepiolite containing specimen gave the best result in terms of friction coefficient.

Keywords: Friction Materials, Sepiolite, Powder Metallurgy, Wear, Brake Linings

1. GİRİŞ

Günümüzde yüksek sıcaklıklara duyarlı ve insan sağlığını tehdit eden asbest esaslı sürtünme malzemelerinin yerine toz metalurjisi yöntemi ile üretilen, yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve insan sağlığını tehdit etmeyen sürtünme malzemeleri üretilmeye çalışılmaktadır (1,2). Toz metalurjisi (T/M) üretim tekniğinin temel avantajlarından birisi, üretim yöntemleri ile üretilmesi zor olan malzemelerin üretilmesidir (3). Bu avantaj, debriyaj ve fren balataları üretimini mümkün kılmıştır (4). Metalik balataların, asbest esaslı balatalara göre avantajları, daha büyük hızda enerji emmeleri ve daha fazla aşınma direncine sahip olmalarıdır. Sürtünme katsayıları da sıcaklık ve basınçla daha az değişir (5,6). Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri mühendislikte yaygın olarak, ya sürtünme hareketinin iletimi, ya da frenleme ve yavaşlatma için kullanılırlar (4,7).

Frenlerin birinci fonksiyonu hareketli bir sistemi durdurmak, ikinci fonksiyonu ise hareket enerjisini emmeleri, ısıya çevirmek ve bu ısıyı da atmosfere atmasıdır. Eğer frenlere çıkabileceğinden daha fazla ısı verilirse fren balatalarındaki sürtünme katsayısının düşeceği görülür. Bu da frenlerin durdurma kabiliyetlerinin azalmasına neden olur. Fren balatalarının etkisindeki bu azalmaya "balata aşınması" denir. Balatalar aşınma noktası sıcaklığının altına soğudukça normal görevlerini yaparlar (8,9).

Sürtünme malzemelerinin kullanım sebepleri özellikle sürtünme katsayılarının yüksek ve kayma özelliklerinin iyi olmasındandır. Ancak sürtünme malzemelerinin fonksiyonlarını beklendiği gibi yapabilmeleri için, yalnız sürtünme katsayısının yüksek olması yetmez. Sürtünme katsayısının yüksek olmasından ziyade zorlanmalar altında ve özellikle yüksek sıcaklık-

larda mümkün olduğu kadar sabit sürtünme katsayısı değerini muhafaza etmesi gerekir. Bundan başka aşınma miktarının az olması, karşı malzemenin çizilip hasara uğratılmaması, mekanik mukavemetin de maruz kalınan zorlamalara dayanabilecek değerde olması gerekir (8,10).

Aşınma, mühendislikte düzenli olarak karşılaşılan üç problemten biridir. Diğer ikisi ise, kırılma ve korozyon'dur. Sürtünme ve aşınma yüksek performans isteyen mühendislik uygulamaları için malzeme seçiminde önemli parametrelerden biridir. Çoğu sürtünme malzemeleri genellikle kırılma dayanımı ve sertlikleri gibi mekanik özellikleri için optimize edilirler. Oysa ki bu mekanik özellikler tek başına aşınma için güvenilir bir tercih değildir (11).

Genellikle toz metal malzemelerin aşınması fiziksel, kimyasal ve sistem değişikliklerine neden olan karmaşık bir işlemdir. Sürtünme ve aşınma özellikleri üzerinde test sıcaklığı, kayma hızı, uygulanan kuvvet ve çevrenin önemli etkisinin olduğu bilinmektedir (12). Yüksek sıcaklıklarda toz metal malzemelerin aşınma oranında önemli artışlar olduğu görülmüştür. Bu artışın sebebi ilk oksit tabakasından sonra, temiz yüzeyin yeniden oksitlenmesi ve yüzeyden oksit tabakasının yeniden kalkması sebebiyledir (13). Sıcaklık ve dönme hızının artması ile yüksek aşınmadan düşük aşınmaya ve arkasından yüksek aşınmaya gidip geldiği gözlemlenmiştir (14).

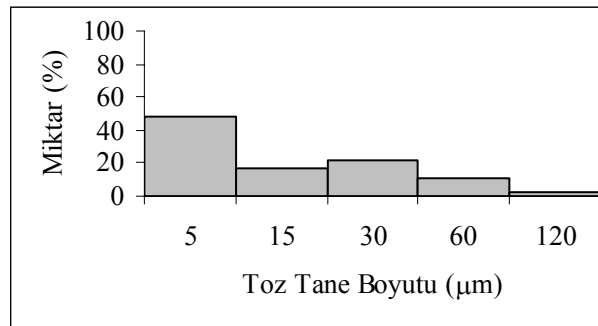
Sürtünme esnasında malzemede yüzey ve yüzey altı çatlaklar oluşur, bu çatlaklar birleşir ve malzemeden küçük parçacıklar kopar. Aşınma esnasında oluşan parçacıkların sürtünmesi sonucu ince tozlar oluşur. Bunun için metaller kırılmadan önce yüksek temas gerilmelerini azaltmak için plastik olarak deforme olurlar (15). Kayma çiftlerinin tribolojik davranışı, uygulanan yük, çevre şartlarına ve mikroyapı gibi parametrelere bağlıdır. Bu demektir ki; kayma hızı, uygulanan yük, ortamın ısı, kayma yüzeyinin son durumu, tane boyu, tane şekli ve gözenek gibi birçok etken sürtünme ve aşınmada etkili olabilir (16-19). Bazı durumlarda sürtünme kuvvetinin, fren ve balata ara yüzeylerinde eşit dağılmadığı bilinmektedir. Özellikle uzun süreli frenlemlerde sürtünme yüzeyindeki sıcaklık ve frenleme kuvveti periyodik olarak değişir. Bu değişim de sürtünme katsayısının azalan ve artan değerlerde olmasına sebep olur (20).

Asbest esaslı sürtünme balata malzemeleri insan sağlığını tehdit eden kanserojen madde içerdiklerinden, kullanılmaları pek çok ülkede yasaklanmıştır. Bu yüzden son yıllarda asbest esaslı balata malzemeleri yerine alternatif olarak toz metalurjisi ile üretilen bronz esaslı fren balataları geliştirilmiştir. Fakat, Sepiyolit tozu ilaveli bronz esaslı balata malzemesi üretimi konusunda literatürde yeterli araştırma mevcut değildir. Dolayısıyla bu çalışmada, (T/M) ile üretilen fren balatalarının sürtünme-aşınma özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla otomotiv sanayisinde kullanılan T/M balata malzemelerine çeşitli oranlarda sepiyolit tozu ilave edilerek performansları geliştirilmeye çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, T/M yöntemi ile fren balatası üretiminde 0,2-80 µm boyut aralığındaki bronz esaslı (70 % Cu, 8 % Sn, 11 % Fe, 8.5 % Pb ve 2.5 % grafit) toz malzeme kullanılmıştır. Ayrıca, bronz esaslı balata tozlarına Şekil 1'de toz tane boyutu dağılımı verilen sepiyolit tozu % 0.5, 1, 2 ve 4 oranlarında ilave edilerek yeni bir sürtünme balata malzemesi üretilmiştir. Üretilen sepiyolit ilaveli balata malzemesi ile bronz esaslı balata malzemesinin sürtünme-aşınma özellikleri açısından mukayesesi yapılmıştır.

Sepiyolit, magnezyum dihidrosilikattan ibaret bir kil minerali olup, ideal formülü, $Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4(OH_2)_4 \cdot 8H_2O$ şeklindedir. Asbest ile aynı sınıftan bir mineral olmasına rağmen kanserojen etkisi yoktur.

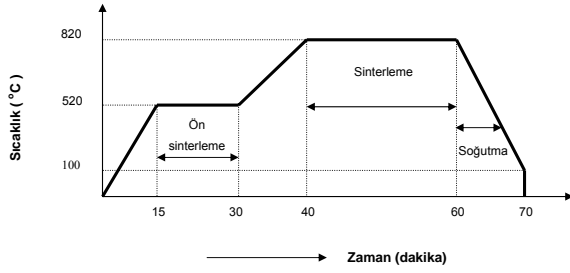


Şekil 1. Sepiyolit toz tane boyutu dağılımı

2.1. Balata Malzemelerinin Hazırlanması

Hazırlanan tozlar üç boyutlu hareket edebilen "Turbula T2C" tipi bir karıştırıcıda 10 dakika süre karıştırılmıştır. Karışım tozları, tek yönlü hidrolik pres ile 25x25x7 mm ebatlarındaki kalıp içerisine yerleştirilerek preslenmiştir. Tozların preslenmesinde 350, 500 ve 600 MPa presleme basınçları kullanılmıştır. Bronz esaslı T/M balata malzemesinin yapılan sürtünme-aşınma pilot deneylerinde optimum sürtünme katsayısı değeri 350 MPa presleme basıncında elde edilmiştir. Dolayısıyla deneylerde 350 MPa presleme basıncı kullanılmıştır. Balata malzemelerinin sinterleme işlemi ise T/M ile parça üreten bir fabrikada, dikdörtgen kesitli bant taşımali sinterleme fırınında yapılmıştır. Fırın, numunelerin ilerleme yönüne dik yönlerde indirgeyici olarak amonyak gazı veren ve fırının giriş ve çıkış kısımları atmosfere açık olduğundan, bu noktalardan fırına oksijen girişini engelleyebilmek için bütan gazı ile alev perdesi oluşturan bir sisteme sahiptir.

Yapılan pilot çalışmalarda önce 780, 800, 820 ve 850 °C sinterleme sıcaklıkları seçilmiştir. Malzemelerin aşınma dirençleri baz alınarak optimum sinterleme sıcaklığının 820 °C olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, sepiyolit ilaveli balata malzemelerinin sinterleme işlemi 820 °C'de yapılmıştır.



Şekil 2. Sinterleme işleminin aşamaları

Sinterleme işlemi, Şekil 2'de şematik olarak görüldüğü gibi ön sinterleme, sinterleme ve soğutma bölümleri olmak üzere üç farklı sıcaklık bölgesinden oluşmaktadır. Bu işlem toplam 70 dakikada tamamlanmıştır. Numuneler, içerisindeki yağ vb. kalıntıların dışarı atılması amacı ile ön sinterleme bölgesi olan 520 °C sıcaklıkta 15 dakika bekletildikten sonra, sinterleme sıcaklığı olan 820 °C'ye 10 dakikada yükseltilmişlerdir. 820 °C'de 20 dakika sabit sıcaklıkta kalan numuneler, soğutma bölgesinde 10 dakikada 100 °C sıcaklığa soğutulmuşlardır. Sinterlenen numuneler fırından alındıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmışlardır.

2.2. Karakterizasyon Testi

Üretilen fren balata malzemelerinin karakterizasyonu amacı ile sinterleme öncesi ve sonrası yoğunlukları, aşınma öncesi ve sonrası sertlikleri tespit edilmiştir. Malzemelerin yoğunlukları, $d = m / v$ formülü ile hesaplanmıştır. Burada; yoğunluk (d), kütle (m) ve hacim (v) dir. Numunelerin sertlik ölçümleri "Instron Wolpert" marka sertlik ölçüm cihazında Vickers yöntemi ile 1 Kg yük uygulanarak yapılmıştır. Sertlik ölçümleri için aşınan yüzeyden, aşınma öncesi ve sonrasında beş değişik yerden sertlik ölçümü yapılarak ortalamaları alınmıştır. Numunelerden sinterleme öncesi ve sonrası mikroyapı görüntüleri Nikon marka optik mikroskop ile tespit edilmiştir. Ayrıca, SEM görüntüleri Jeol SN-5600 marka cihazda numunelerin aşınmış yüzeylerinden alınmıştır.

2.3. Performans Testi

Üretilen fren balata malzemelerinin performansını belirlemek amacı ile sürtünme katsayısı, ve aşınma miktarları tespit edilmiştir. Performans deneyleri SAE-J661 normuna göre test yapan ve Gazi Üniversitesi

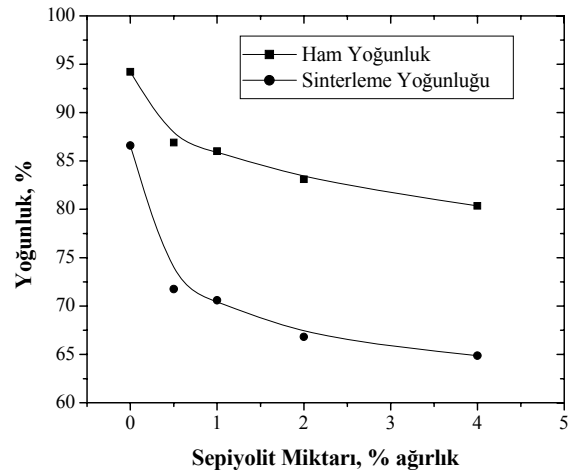
Çizelge 1. Sürtünme aşınma deney şartları

İşlem Basamakları	Hız Dev/dak	Sıcaklık °C			Yük Kg.	Sürtünme		Bekleme		Uygulama sayısı	Seçilen ölçüm
		Min.	Mak.	Periyot		Dak.	Sn.	Dak.	Sn.		
Yanma	308	82	93	0	45	20	0	0	0	1	0
Düzenleme	205	82	93	0	23	5	0	0	0	1	0
I. Alıştırma	411	93	93	0	68	0	10	0	20	20	5
I. Yorma	411	93	288	28	68	10	0	0	0	1	0
I. Toparlama	411	260	93	56	68	0	10	0	20	20	5
Aşınma	411	193	204	0	68	0	20	0	10	100	10
II. Alıştırma	411	93	343	28	68	10	0	0	0	1	0
II. Yorma	411	316	93	56	68	0	10	0	0	1	0
II. Toparlama	411	93	93	0	68	0	10	0	20	20	5

Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'nde bulunan, Hindistan yapımı Friction Coefficient Test Rig cihazında yapılmıştır. Performans testleri, her bir test numunesi için Çizelge 1' de verilen deney şartlarında yapılmıştır. Aşındırma işleminde 250 HV sertlikte ve 280 mm çapında gri dökme demirden üretilmiş aşındırıcı disk kullanılmıştır. Deney sonuçları aşınma test cihazına bağlı bir bilgisayardan alınmıştır.

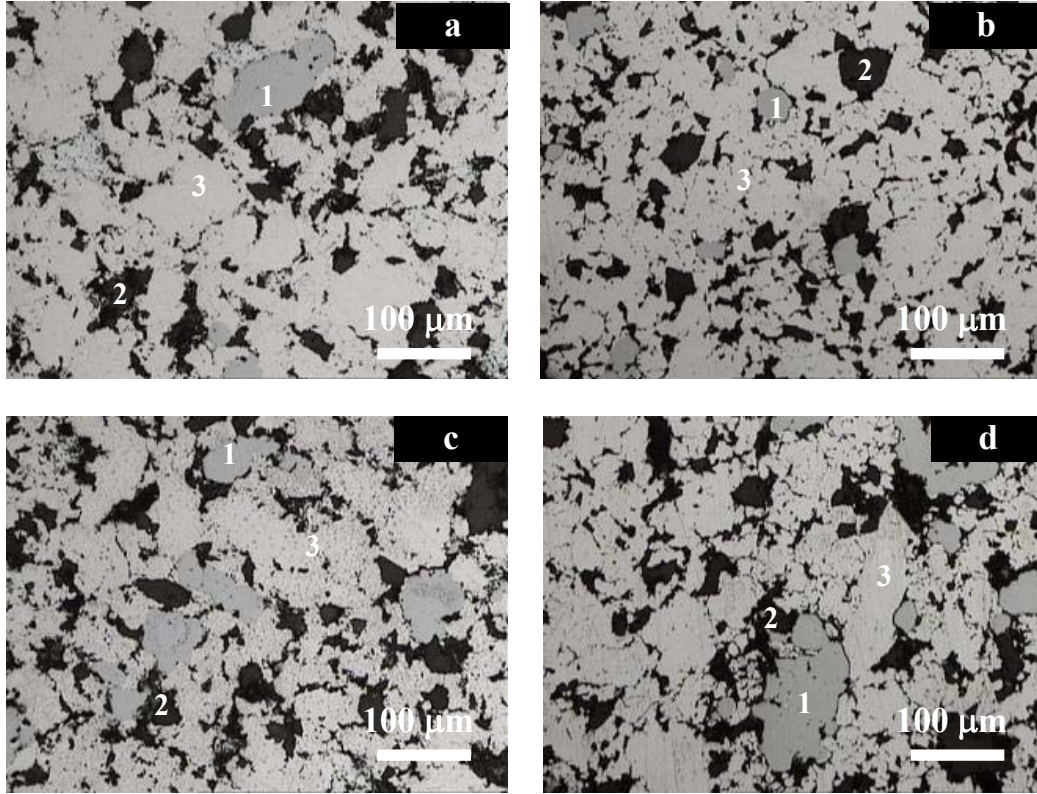
3. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

T/M yöntemi ile üretilen bronz esaslı balata malzemesi ve bu malzemeye değişik oranlarda sepiyolit ilavesi ile hazırlanan numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası yoğunlukları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Fren balata malzemesinin sepiyolit ilavesine bağlı sinterleme öncesi ve sonrası yoğunluk değişimi.

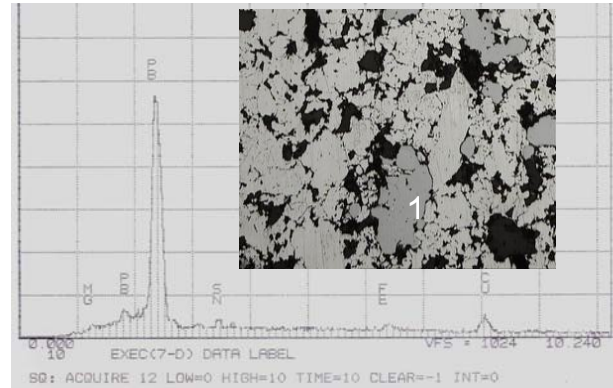
Şekil 3'de sepiyolit miktarının artmasına bağlı olarak ham yoğunluk ve sinterleme sonrası yoğunlukta düşme olduğu gözlenmiştir. Sinterleme öncesi yoğunlukların düşmesinin sebebi, Şekil 4'te görüldüğü gibi sepiyolit tozunun bronz esaslı tozların sıkıştırılabilirlik özelliğini azaltmasına bağlı olarak gözenek miktarı ve boyutunun artmış olmasındandır. Bu da daha düşük yoğunlukta bir malzeme elde edilmesine sebep olmuştur. Ayrıca sepiyolit tozunun metal tozlarına göre oldukça düşük yoğunlukta olmasının da etkisi vardır. Sinterleme sonrası yoğunlukların düşmesi ise sinterleme esnasında düşük ergime sıcaklığına sahip metal tozlarının (Pb,Sn)



Şekil 4. Sepiyolit artışı ile kurşun ve boşluk morfolojisindeki değişim. a) Sinterleme öncesi % 0.5 Sepiyolit, b) Sinterleme sonrası % 0.5 Sepiyolit, c) Sinterleme öncesi % 4 Sepiyolit ve d) Sinterleme sonrası % 4 Sepiyolit (1: Kurşun, 2: Gözenek, 3: Matris)

bir kısmı buharlaşarak yapıyı terk ederken hala yapı içerisinde sıvı halde bulunan elementlerin boşluklara girerek gözeneklerin kapanmasını engellemiştir (Şekil 5). Boşluklara dolan kurşunun malzeme içerisinde meydana getirdiği gerilmeden dolayı, malzemelerin hacimce genişlemeleri de sinterleme sonrası yoğunlukları düşürmüştür (Çizelge 2).

Sepiyolit yaklaşık olarak % 20 civarında su ihtiva ettiğinden, numunelerin sinterleme esnasında su kaybindan dolayı yoğunluklarda azda olsa bir düşüş olabilir. Arık ve arkadaşları (86) kahve rengi sepiyolitte sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen kayıpları ve yapısal dönüşümleri incelemişlerdir. Kahverengi sepiyolitin ısıtma ile 250 °C'ye kadar zeolitik suyunu, 250-450 °C arasında kristal suyunu, ve 450-850 °C arasında ise bünye suyunu kaybettiği tespit edilmiştir. Arık'a göre bu sıcaklığa kadar ısıtılan sepiyolitin su kaybı yaklaşık olarak % 23'tür. Dolayısıyla yoğunluk düşmesinde bir etkisinin olabileceği düşünülebilir.



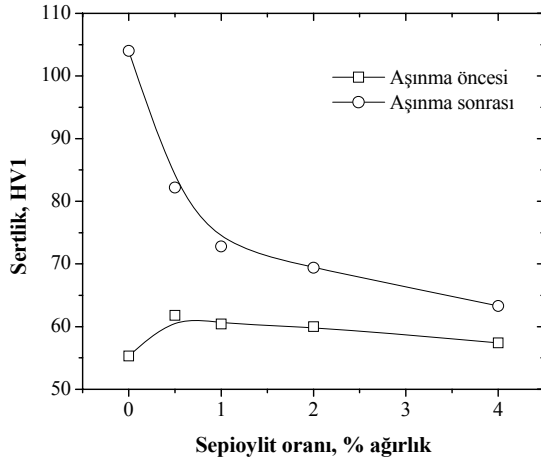
Şekil 5. Sinterleme sonrası % 4 sepiyolit ilaveli numunede 1 rakamı ile gösterilen bölgeden alınan EDS sonucu.

Çizelge 2'de görüldüğü gibi, ana malzemeye ilave edilen sepiyolit oranının artması ile sürtünme malzemelerinde sinterleme ile ağırlık kaybı olurken, malzemelerin hacimlerinde doğrusal bir artış olmuştur. Sinterleme esnasında hacimdeki artışın sebebi olarak, hem kurşun ve kalay, hem de sepiyolitteki suyun buharlaşması ile oluşan gazların hızlı atılamaması sebep

Çizelge 2. Sinterleme ile numunelerdeki ağırlık kaybı ve hacimdeki artış

Numune	Ağırlık Kaybı g (%)	Hacim Artışı (mm ³)
Ana malzeme	0,075	8,71
Ana malzeme + % 0.5 Sepiyolit	0,021	9,30
Ana malzeme + % 1 Sepiyolit	0,023	9,45
Ana malzeme + % 2 Sepiyolit	0,024	9,48
Ana malzeme + % 4 Sepiyolit	0,023	9,50

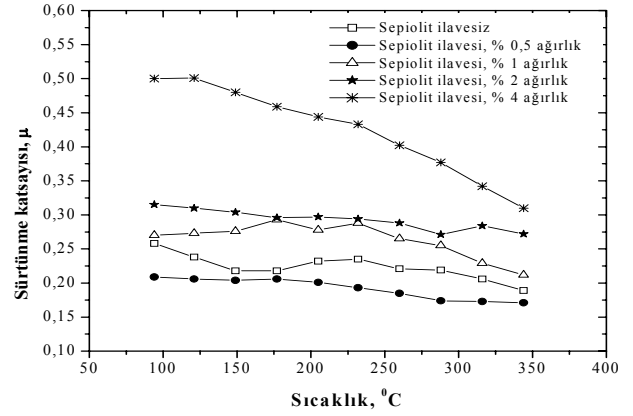
olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, dışarı çıkamayan sıvı malzeme bulunduğu yerde gerilim oluşturarak malzemelerin hacimce küçülmelerini engellemiştir.



Şekil 6. Fren balata malzemesinin sepiyolit ilavesine bağlı aşınma öncesi ve sonrası sertlik değişimi.

Şekil 6 incelendiğinde, sepiyolit ilaveli sürtünme malzemelerinin aşınma öncesi sertliği ana malzemenin aşınma öncesi sertliğine göre biraz yüksektir. Ancak aşınma sonrası sertlikler incelendiğinde ana malzemenin sertliğinin yaklaşık % 100 arttığı görülmektedir. Bu sonuç, sürekli ısınıp soğuyan ve zaman zaman su ile temas halinde olan malzemeler için iyi bir sonuç değildir. Çünkü balatalardaki fazla sertleşme frenleme esnasında gürültü ve ses olarak kendini göstermektedir (22). Ayrıca balata malzemesinin çok sert olması karşı malzemeyi de aşındıracağından pek tercih edilmez. Burada önemli olan malzemelerin sürtünme ile birlikte sertliklerinin kararlı kalmasıdır. Sepiyolit ilaveli sürtünme malzemelerinin aşınma sonrası sertliklerinin aşınma öncesi sertliklere göre daha az değiştiği görülmektedir. Aşınma sonrası sepiyolit ilavesiz sürtünme malzemesindeki bu yüksek sertlik artışının sebebi, sürtünme-aşınma esnasında malzemenin daha kolay deforme olabilmesi ile açıklanabilir. Sepiyolit ilaveli sürtünme malzemelerinin aşınma sonrası sertliklerinin daha az değişmesi ise sepiyolit'in sürtünme esnasında malzemelerdeki meydana gelebilecek deformasyonu engellediği şeklinde düşünülmektedir.

Yapılan deneylerde numunelerin özelliklerini belirleyen en önemli parametrenin aşınma ve 2.yorma işleminin olduğu belirlenerek Şekil 7'de grafiksel olarak artan sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 8'de ise sepiyolit miktarındaki artışa bağlı olarak aşınma miktarları görülmektedir.



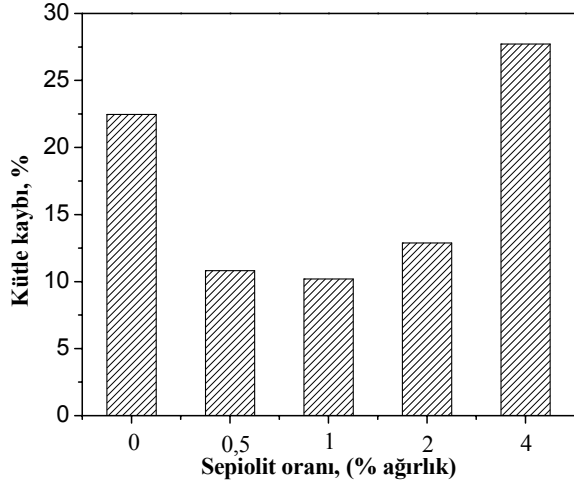
Şekil 7. Sepiyolit ilavesine bağlı olarak, artan sıcaklık ile sürtünme katsayısındaki değişim.

Fren balatalarından istenen en önemli özelliklerden birisi, frenleme esnasında sürtünmeden dolayı açığa çıkan ara yüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimin minimum seviyede olmasıdır (23,24).

Şekil 7 incelendiğinde 93-345 °C sıcaklık aralığında en düşük sürtünme katsayısı değerini (0,209-0,174) % 0,5 sepiyolit ilaveli sürtünme malzemesi verirken, en yüksek sürtünme katsayısı değerini (0,500-0,310) ise % 4 sepiyolit sürtünme malzemesi vermiştir. Ostermeyer (25) sürtünme katsayısının dinamiği üzerine yapmış olduğu çalışmada sürtünme katsayısının arayüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak azalacağını belirtmiştir. 93-345 °C sıcaklık aralığında sürtünme katsayısı açısından en büyük düşüşü % 4 sepiyolit ilaveli sürtünme malzemesi göstermiştir ki daha 120 °C'den sonra sürtünme katsayısında lineer olarak bir düşme görülür. Diğer numuneler ise oldukça kararlı bir sürtünme katsayısına sahiptir. Artan sıcaklıkla % 4 sepiyolit ilaveli numunedeki sürtünme katsayısının düşüş eğilimi göstermesinin sebebi, yüksek sepiyolit oranlarında düşük yoğunluklu malzeme üretildiği için, frenleme sırasında açığa çıkan ısının iletimi azalmakta ve ara yüzeydeki sıcaklık artışı sürtünme katsayısını düşürmektedir.

Genellikle sürtünme katsayısı (μ) 0.1 ile 0.7 arasında, sürtünme kuvveti ve disk-balata ara yüzey sıcaklığına bağlı olarak değiştiği literatürde vurgulanmıştır (26). Ayrıca disk ile balata ara yüzeyindeki sıcaklığın ortalama 300 ila 350 °C civarında olduğu SAE-J661'de belirtilmiştir. Şekil incelendiğinde sonuçların literatürle paralel olduğu görülmektedir.

Şekil 7 incelendiğinde sürtünme katsayısında az miktarda düşme şeklinde inişli çıkışlı sürekli bir değişim görülmektedir. Anderson (27) bunun sebebini, sürtünme süresince disk yüzeyindeki temas bölgelerinin içine doğru ısıdaki periyodik olarak sürekli değişimden kaynaklandığını belirtmiştir. Bu etkiden dolayı sürtünme katsayısında sürekli bir değişim meydana gelir. Ayrıca bu durumu Stachowiak ve Batchelor (28) sürtünme çiftlerinin yüzeyindeki pürüzlerde birleşme olması ve büyümesi ile açıklar. Bu durumda bir yapılaşma ve bir bırakma hali sürekli tekrarlanır, bu da sürtünme katsayısında sürekli artma ve azalmaya neden olur.

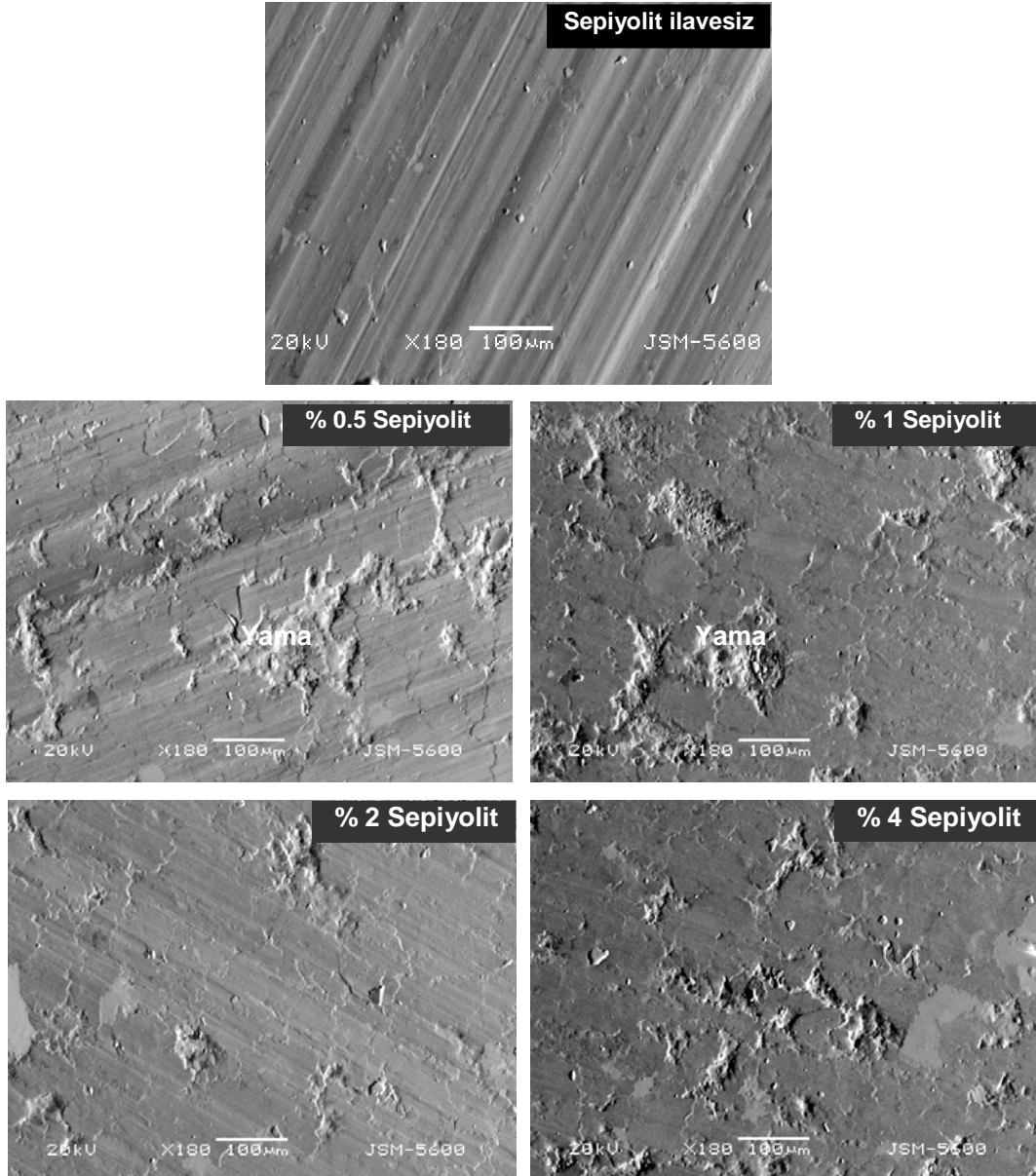


Şekil 8. Değişen sepiyolit oranına bağlı aşınma miktarındaki değişim

Bilindiği gibi fren balatalarından aşınmanın sıfır olması beklenemez. Çünkü aşınma direnci çok yüksek

sürtünme malzemeleri karşı malzemenin aşınmasına sebep olur. Bu nedenle balata malzemelerinde aşınma direncinden ziyade sürtünme katsayısının sıcaklık karşısındaki değişimi önemli görülür. Bu çalışmada sürtünme malzemesi olarak kullanılan ana malzemenin aşınma miktarı % 22,46 bulunmuştur. Ana malzemeye % 0.5 ve % 1 sepiyolit ilave edildiğinde aşınma miktarlarının % 10'a düştüğü görülmüştür. % 2 ve % 4 sepiyolit ilave edilmiş numunelerde aşınma miktarları sırasıyla % 12.88 ve 27.72 değerlerindedir. % 4 sepiyolit ilave edilmiş numunenin aşınma miktarındaki artışın sebebi, gözeneklerin artması ve aşınma esnasında bu gözeneklerden daha çok partikül kopması olarak düşünülebilir.

Şekil 9'da sürtünme malzemelerindeki aşınma mekanizması ve aşınma miktarı daha iyi görülmektedir. Şekil 10'da ise % 4 sepiyolit ilaveli sürtünme malzemesinden alınan EDS analiz sonucu verilmiştir.



Şekil 9. Artan sepiyolit miktarına bağlı olarak numunelerin aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri

Sürtünme malzemelerinin aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntülerinde % 0.5 sepiyolit ilavesi ile aşınma çizgilerinin azaldığı görülmektedir. Aşınma yüzeyleri incelendiğinde numunelerin hepsinde aynı aşınma mekanizması görülmüyor. Numunelerin yüzeyleri küçük adhesiv noktaları ve geniş abrasiv bölgelerinden meydana gelmiştir. Ancak, numunelerin yüzeyinde oluşan yamaların oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bu yamalar sepiyolit miktarının artmasına bağlı olarak daha da küçülmektedir. Stachowiak ve Batchelor (28) çalışmalarında aşınan metalin sertliği (Hm) ile aşındırıcı diskin sertliği arasındaki oranın (Ha) aşınmada bir kriter olduğunu ortaya koymuşlardır. $Hm/Ha < 0.8$ ise metalde aşırı abrasiv aşınmanın meydana gelebileceğini vurgulamışlardır. Deneylerde kullanılan aşındırıcı diskin sertliği 280 HV ve deney numunelerinin sertliği ise ortalama 65-100 HV5 olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla balata numunesinin disk sertliğine oranı yaklaşık 0.4 tür. Buradan da görüleceği gibi yüksek bir abrasiv aşınmanın olması doğaldır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada; değişik oranlarda sepiyolit tozu ilave edilerek T/M yöntemi ile bronz esaslı balata üretilmiş ve üretilen balataların sürtünme-aşınma özellikleri incelenerek aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir.

- 1.Fren balatası olarak üretilen malzemelerin optimum sürtünme-aşınma özellikleri 350 MPa presleme basıncında ve sinterleme sıcaklığının 820 °C olduğu tespit edilmiştir.
- 2.Balata malzemesine ilave edilen sepiyolit tozunun artışa bağlı olarak sinterleme yoğunluğunu düşürdüğü görülmüştür.
- 3.Aşınma sonrası sepiyolit ilavesiz malzemenin sertliği yaklaşık % 100 artarken, sepiyolit ilaveli sürtünme malzemelerinin sertliklerinde oldukça düşük sertlik artışı görülmüştür.
- 4.Sürtünme ile ara yüzey sıcaklığının artmasına bağlı olarak en yüksek sürtünme katsayısı değerini % 4 sepiyolit ilaveli malzeme gösterirken, en kararlı sürtünme katsayısını % 1 ve % 2 sepiyolit ilaveli balata malzemesi vermiştir.
- 5.En yüksek aşınma % 4 sepiyolit ilaveli malzeme de olurken, en düşük aşınmanın % 0,5 ve % 1 sepiyolit ilave edilmiş balata malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma DPT destekli 2003 K 120470-12 nolu proje ile desteklenmiştir. Devlet Planlama Teşkilatına ve Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

1. Boz, M., Kurt, A., "Wear behaviour of organic asbestos based and bronze based powder metal brake linings", *Materials & Design*, 26 (2005)717-721.

2. Boz, M., Kurt, A., *Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Özelliklerine Çinko'nun Etkisi*, Gazi Üniversitesi, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 1, 115-121, 2006.
3. Tsukeman, S. A., Robert, E.H., Massey, H.S.H., "Powder metallurgy, lecturer in Metallurgy", Universty of Sheffield, England, 1965.
4. Uygur, M. E., "Balata üretim teknolojisi", I. Ulusal Toz metalurjisi kongresi, Bildiriler kitapçığı, Gazi Üniversitesi, 6-17, Ankara, 1996.
5. Libsch, T. A., Rhee, S.K., "Microstructural changes in semimetallic disc brake pads created by low tempereture dynamometer testing", *Wear*, 46 (1978) 208-212.
6. Liu, T., Rhee, S. K., "High temperature wear of semimetallic disc brake pads", *Wear*, 46(1978) 213-218.
7. Fedorchesco, I. M., Kıryachek, V. M., "New sintered friction materials", *Friction and Antifriction Materials*, 4 (1970) 139-142.
8. Reinsch, E. W., "Sintered metal brake linings for automotive applications, Delco-Moraine division", General motors corp dayton, 9-21,Ohio, 1970.
9. Sands, R.L., "Sintered friction materials", *Powder metallurgy practice and application*, George Newnes Ltd, 198-203 London, 1966.
10. Gediktaş, M., "Sürtünme malzemelerinin deneysel tayini", İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu,16-80, İstanbul 1968.
11. Mimaroglu, A., Çalışkan, M., Calli, I., "Evaluation of sintering temperature and tribological properties of ceramic materials with Cr₂O₃, SiO₂ and MnO₂ additive compounds", *Industrial Lubrication and Tribology*, 53 (2001) 192-197.
12. Dalal, H.M., Chiu, Y.P. and Rabinovicz, C.Z., "Evaluation of hot pressed silicon nitride as a rolling bearing material", *ASLE Trans.*, 18 (1975) 211-14.
13. Mimaroglu, A. And Yılmaz, F., "Influence of carbide size, hardness and temperature on sliding friction and wear of a boundary lubricated high speed steel and Si₃N₄ ceramics", *Stle*, 40 (1997) 173-77.
14. Childs, T.C.T. and Parker, I.K., "The friction cutting of sialon and silicon nitride ceramics", *Proc. Japan Int. Trib. Conf.*, 373-378, 12-17 temmuz, Nagoya, Japan 1990.
15. Ajayi, O.O. and Ludema, K.C., "The effect of microstructure on wear modes of ceramic materials, proceedings of the international conference on wear of materials", *American Society of Mechanical Engineers*, 1991,307-318.
16. Habig, K.H. and Woydt, M., "Sliding friction and wear of Al₂O₃, ZrO₂ Si₃N₄, Proc.", 5th Innernational Cong. On Tribology, 106-113, Finland 1989.
17. Kato, K., "Ceramic friction and wear mechanism", *Tribology*, 35 (1989) 133-144.
18. Wang, Y.S., Hsu, S.M. and Munro, R.G., "Ceramic wear maps: Alumina", *Lubrication Engineering*, 47 (1991) 63-69.
19. Habig, K.H., "Sliding wear of ceramic-caramic, ceramic-steel and steel-steel pairs in lubricated and unlubricated contact", *Wear*, 133 (1989) 1-22.

20. Lee, K. and Barber, J.R., "An experimental investigation of frictionally excited thermoelastic instability in automotive disk brakes under a drag brake application", Trans. ASME J. Tribology, cilt 116, sayfa 409- 414, 1993.
21. Kurt, A, Boz, M., Effect Of SiO₂ On Wear And Friction Coefficient In Friction Materials, Proceedings of the 2003 *International Conference on Powder Metallurgy & Particulate Materials*(, volume 6, 128-136, USA, 2003.
22. Gediktaş, M., "Sürtünme Malzemelerinin Araştırılması", İstanbul Teknik Üniversitesi, 20-55, Türkiye, 1968.
23. Persson, B.N.J., "Theory of Friction", The American Physical Society, 50 (1994) 47- 71.
24. Tabor, D., "Friction as a dissipated process. Friction of organic polymers in fundamentals of friction", *Macroscopic and Microscopic Processes*, 220 (1996) 3-5.
25. Ostermeyer, G.P., "On the dynamics of the friction coefficient", *Wear*, 254 (2003) 852-858.
26. Moore, D.F., "Principples and Application Tribology", Pergamon Press, 165-196 Oxford, 1975.
27. Anderson, A.E., "Friction, lubrication and wear technology", *ASM Handbook*, 8 (1992) 569-577.
28. Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., "Engineering Tribology", Heineman, 256-285, Boston 2001.

