

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUVARS VE DİATOMİT KATKILARININ BRONZ
ESASLI BALATALARIN AŞINMA ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat BEREK

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Adem DEMİR

Nisan 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUVARS VE DİATOMİT KATKILARININ BRONZ
ESASLI BALATALARIN AŞINMA ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

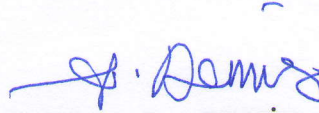
Sedat BEREK

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

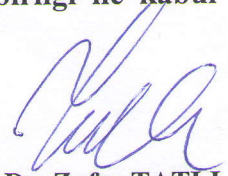
Bu tez 30 / 04 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Adem DEMİR
Üye



Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI
Üye

TEŞEKKÜR

Tez çalışmaları sırasında beni yönlendiren, çalışmaların sonuçlanması için benimle yakından ilgilenen ve her türlü desteği veren değerli hocam Doç. Dr. Adem DEMİR'e çok teşekkür ediyorum.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını gördüğüm başta Arş. Gör. Fatih ÇALIŞKAN'a, Özgür ÖZGÜN'e ve Arş. Gör. Tahir AKGÜL'e teşekkür ediyorum. Tozların temininde yardımcı olan Baran Makine ve Gürel Makine A.Ş. yetkililerine teşekkür ediyorum. Mikroyapı çalışmalarında yardımcı olan Arş. Gör. Murat ÇOLAK ve Uzman Fuat KAYIŞ'a teşekkür ediyorum. Desteklerinden dolayı iş yerimdeki mesai arkadaşlarımdan; Üret. ve Müh. Hiz. Ks. Müd. A.Kadir TORUN'a, Mak. Müh. A.Nihan AYGÜN'e, Tic. Uzmanı Selver CANGÜL'e, Met. Teknikeri Vedat ATEŞ'e, Malz. Alım Şefi Metin ALTUN'a, Bil. Teknikeri Murat SÖKMEN'e, Met. Teknisyeni Murat DÜNDAR'a ve diğer mesai arkadaşlarımdan tümüne teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca Ömür AYDIN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anneme ve her zaman rahmetle andığım babama, tezin hazırlanması sırasında gösterdiği sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşime özellikle teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| TEŞEKKÜR..... | ii |
| İÇİNDEKİLER..... | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | vii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | viii |
| | |
| TABLolar LİSTESİ..... | xv |
| ÖZET..... | xvi |
| SUMMARY..... | xvii |
| | |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2. | |
| TOZ METALURJİSİ TEKNİĞİ..... | 3 |
| 2.1. Giriş..... | 3 |
| 2.2. Toz Metalurjisinin Uygulama Alanları..... | 3 |
| 2.3. Toz metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları..... | 5 |
| 2.3.1 Avantajları..... | 5 |
| 2.3.2 Dezavantajları..... | 5 |
| 2.4. Metalik Toz Üretim Yöntemleri..... | 6 |
| 2.5. Toz Metal Parça Üretim Proseslerinin Aşamaları..... | 8 |
| 2.5.1. Tozların harmanlanması ve karıştırılması..... | 8 |
| 2.5.2. Presleme | 9 |
| 2.5.2. Presleme teknikleri..... | 11 |
| 2.5.3..Sinterleme | 13 |
| 2.5.3.1. Sinterleme teknikleri..... | 17 |
| 2.6. T/M’de Kullanılan Tozların Özellikleri ve Belirlenmesi..... | 19 |

| | |
|--|----|
| 2.6.1. Tozların fiziksel özellikleri | 19 |
| 2.6.2. Tozların kimyasal özellikleri | 24 |
| BÖLÜM 3. | |
| TRIBOLOJİ | 26 |
| 3.1. Sürtünme ve Aşınmanın Önemi | 26 |
| 3.2. Sürtünme..... | 26 |
| 3.2.1. Sürtünme kanunları..... | 28 |
| 3.2.2. Sürtünme teorileri..... | 28 |
| 3.2.3. Sürtünme katsayısı..... | 29 |
| 3.3. Aşınma..... | 31 |
| 3.3.1. Aşınmanın temel unsurları..... | 33 |
| 3.3.2. Aşınma mekanizmaları..... | 34 |
| 3.3.2.1. Yapışkan aşınma(Adhesiv)..... | 34 |
| 3.3.2.2. Kazıma aşınma (Abrasiv)..... | 37 |
| 3.3.2.3. Erozyon aşınma (Erozif)..... | 38 |
| 3.3.2.4. Yorulma aşınması..... | 39 |
| 3.3.2.5. Fretaj aşınması..... | 39 |
| 3.4. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri | 40 |
| 3.4.1. Ağırlık farkı metodu..... | 41 |
| 3.4.2. Kalınlık farkı metodu..... | 42 |
| 3.4.3. İz değişimi metodu..... | 42 |
| 3.4.4. Radyoizotop metodu..... | 42 |
| BÖLÜM 4. | |
| OTOMOTİV FREN SİSTEMİ VE BALATALAR | 43 |
| 4.1.Giriş | 43 |
| 4.2. Taşıt Frenleri..... | 44 |
| 4.2.1. Disk frenler | 46 |
| 4.2.2. Kampanalı frenler | 47 |
| 4.3. Sürtünme Malzemeleri(Balatalar)..... | 49 |
| 4.3.1. Polimer bağlı asbest esaslı balata malzemeleri..... | 51 |
| 4.3.2. Yağda çalışan balata malzemeleri..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 4.3.3. Sinterlenmiş balata malzemeleri..... | 52 |
| 4.3.3.1. Bakır esaslı balata malzemeleri..... | 53 |
| 4.3.3.2 Demir esaslı balata malzemeleri..... | 55 |
| 4.3.3.3. Seramik katkılı sinter balata malzemeleri..... | 57 |
| 4.4. Karşı Malzeme-Disk ve Kampana Malzemesi..... | 57 |
| 4.5. T/M yöntemi İle Demir ve Bronz Esaslı Fren Balataların Üretimi... | 58 |
| 4.6. Balatalardan İstenilen Özellikler..... | 59 |

BÖLÜM 5.

| | |
|--|----|
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... | 61 |
| 5.1. Toz Malzemelerden Fren Balatata Malzemesi Hazırlanması..... | 61 |
| 5.1.1. Tozların harmanlanması ve karıştırılması..... | 62 |
| 5.1.2. Presleme..... | 63 |
| 5.1.3. Sinterleme..... | 64 |
| 5.2. Aşınma Deneyleri..... | 66 |
| 5.3. Optik Mikroskop Analizi..... | 68 |
| 5.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları..... | 69 |

BÖLÜM 6.

| | |
|---|-----|
| DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA..... | 71 |
| 6.1. Balata Malz. Mikroyapı Resimleri ve Aş. Cihazı Perf. Test Son..... | 71 |
| 6.1.1. Kuv. Kat. Blt. Malz. Mik. Res. Ve Aş. cih. Perf. Test son..... | 71 |
| 6.1.1.1. % 3 grafitli ve iç. Kuv. Bulunmayan K1 blt. malz.... | 71 |
| 6.1.1.2. % 3 grafit ve % 2 Kuv. K2 blt. malz..... | 74 |
| 6.1.1.3. % 3 grafit ve % 4 Kuv. K3 blt. malz..... | 78 |
| 6.1.1.4. % 3 grafit ve % 6 Kuv. K4 blt. malz..... | 82 |
| 6.1.1.5. % 3 grafit ve % 8 Kuv. K5 blt. malz..... | 86 |
| 6.1.2. Diat. Kat. Blt. Malz. Mik. Res. Ve Aş. cih. Perf. Test son..... | 90 |
| 6.1.2.1. % 0 grafit ve % 2 Diatomtli G0-1 blt. malz..... | 91 |
| 6.1.2.2. % 0 grafit ve % 4 Diatomtli G0-2 blt. malz..... | 93 |
| 6.1.2.3. % 0 grafit ve % 6 Diatomtli G0-3 blt. malz..... | 96 |
| 6.1.2.4. % 0 grafit ve % 8 Diatomtli G0-4 blt. malz..... | 100 |
| 6.1.2.5. % 1 grafit ve % 2 Diatomtli G1-1 blt. malz..... | 102 |

| | | |
|--|-----|-----|
| 6.1.2.6. % 1 grafit ve % 4 Diatomtli G1-2 blt. malz..... | 104 | |
| 6.1.2.7. % 1 grafit ve % 6 Diatomtli G1-3 blt. malz..... | 105 | |
| 6.1.2.8. % 1 grafit ve % 8 Diatomtli G1-4 blt. malz..... | 107 | |
| 6.1.2.9. % 2 grafit ve % 2 Diatomtli G2-1 blt. malz..... | 109 | |
| 6.1.2.10. % 2 grafit ve % 4 Diatomtli G2-2 blt. malz..... | 111 | |
| 6.1.2.11. % 2 grafit ve % 6 Diatomtli G2-3 blt. malz..... | 112 | |
| 6.1.2.12. % 2 grafit ve % 8 Diatomtli G2-4 blt. malz..... | 114 | |
| 6.1.2.13. % 3 grafit ve % 2 Diatomtli G3-1 blt. malz..... | 115 | |
| 6.1.2.14. % 3 grafit ve % 4 Diatomtli G3-2 blt. malz..... | 118 | |
| 6.1.2.15. % 3 grafit ve % 6 Diatomtli G3-3 blt. malz..... | 122 | |
| 6.1.2.16. % 3 grafit ve % 8 Diatomtli G3-4 blt. malz..... | 125 | |
| 6.2. Sürtünme Katsayısı-Katkı Maddesi Oranı-Yük Sonuçları..... | 127 | |
| | | |
| BÖLÜM 7. | | |
| GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | | 135 |
| 7.1. Genel Sonuçlar..... | 135 | |
| 7.2. Öneriler..... | 136 | |
| | | |
| KAYNAKLAR..... | 137 | |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 143 | |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|-----------------|--|
| T/M | : Toz metalurjisi |
| PŞV | : Plastik şekil verme |
| SEM | : Taramalı elektron mikroskobu |
| EDS | : Elektron dağılım spektrometresi |
| TS | : Türk sıtandartları |
| F _s | : Kaymayı başlatan kuvvet |
| F _n | : Temas yüzeyine etki eden normal kuvvet |
| μ _s | : Statik sürtünme katsayısı |
| F _k | : Kaymayı devam ettiren kuvvet |
| μ _k | : Kinetik sürtünme katsayısı |
| μ | : Sürtünme katsayısı |
| W _a | : Aşınma oranı |
| ΔG | : Ağırlık kaybı (mg) |
| S ₁ | : Kayma mesafesi (m) |
| M | : Yükleme ağırlığı (N) |
| d | : Aşınan malzemenin yoğunluğu (gcm ⁻³) |
| W _r | : Aşınma direnci |
| HB | : Brinell sertliği |
| HRC | : Rockwell sertliği |
| K _{1c} | : Kırılma tokluğu (MPa/m) |
| B | : Numunenin kalınlığı (cm) |
| W | : Kırılma tokluğu numunesinin genişliği (cm) |
| S | : Numunenin temas ettiği ara mesafe (cm) |
| P | : Uygulanan maksimum yük (kN) |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 2.1. | T/M ile üretilmiş çeşitli ürünler..... | 4 |
| Şekil 2.2. | Toz metalurjisinin kullanım alanları..... | 4 |
| Şekil 2.3. | Partikül paketlenmesinde basınç ile teorik yoğunluk değişiminin gösterilmesi..... | 10 |
| Şekil 2.4. | Partiküllerde presleme basıncına bağlı olarak porozite, temas sayısı ve temas alanının değişimi..... | 11 |
| Şekil 2.5. | Sinterleme sıcaklığının toz biriket özelliklerine etkisi..... | 14 |
| Şekil 2.6. | Küreden-küreye sinterlemede iki tür sinterleme mekanizması boyun büyümesi için yüzeyden malzeme taşıma mekanizması yüzey kaynaklarından sağlanır..... | 15 |
| Şekil 2.7. | Sinterlemenin ilk aşamasında tanecikler arası boyun oluşumu..... | 15 |
| Şekil 2.8. | Orta devre sinterlemede iki muhtemel gözenek tane sınırı görünümü: a) tane sınırlarındaki gözenekler yoğunlaşır. b) izole gözenekler yoğunlaşmaz..... | 16 |
| Şekil 2.9. | Sıvı faz sinterlemesinde aşamaların şematik olarak gelişimi..... | 18 |
| Şekil 2.10. | Toz üretim yöntemine göre tane şekillerinin değişimi..... | 20 |
| Şekil 2.11. | Demir tozları için basınç-yoğunluk eğrileri..... | 22 |
| Şekil 2.12. | Demir tozları için görünür yoğunluğa bağlı ham mukavemet..... | 24 |
| Şekil 3.1. | Kuru kayma boyunca kristal kafesin elastik deformasyonu..... | 27 |
| Şekil 3.2. | Statik ve dinamik sürtünme katsayıları | 30 |
| Şekil 3.3. | Kuru balatada basınç ve hızın sürtünme katsayısına etkisi..... | 31 |
| Şekil 3.4. | Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi..... | 33 |
| Şekil 3.5. | Adhesiv aşınma | 35 |
| Şekil 3.6. | Adhesiv aşınmada aşınma bölgeleri | 36 |
| Şekil 3.7. | Abrasiv aşınma..... | 37 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 3.8. | Tribo oksidasyon aşınması | 38 |
| Şekil 3.9. | Yorulma aşınması..... | 39 |
| Şekil 3.10. | Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınma..... | 40 |
| Şekil 4.1. | Bir otomobilin hidrolik fren sistemi..... | 45 |
| Şekil 4.2. | a) Kampana tipi fren, b) Disk tipi fren | 45 |
| Şekil 4.3. | Bir disk fren ve elemanları | 46 |
| Şekil 4.4. | Kampanalı fren | 47 |
| Şekil 4.5. | Kuru balatada sıcaklığın dinamik sürtünme katsayısına etkisi | 50 |
| Şekil 4.6. | Sinterlenmiş bronz-grafit balata malzemesinin sürtünme ve aşınma özelliği..... | 54 |
| Şekil 5.1. | Bilyalı döner değirmen | 63 |
| Şekil 5.2. | Üretilen balata malzemeleri | 63 |
| Şekil 5.3. | Presleme kalıbı | 64 |
| Şekil 5.4. | Presleme kalıbı kesiti | 64 |
| Şekil 5.5. | Sinterleme fırını..... | 65 |
| Şekil 5.6. | Sinterleme sıcaklığının zamana göre gösterimi..... | 66 |
| Şekil 5.7. | Balata aşınma test cihazı..... | 67 |
| Şekil 5.8. | Balata aşınma test cihazı şematik gösterimi..... | 67 |
| Şekil 5.9. | Balata yuvaları..... | 68 |
| Şekil 5.10. | Diskli fren sisteminin şematik görünüşü..... | 68 |
| Şekil 5.11. | Nikon Eclipse L 150 marka optik mikroskop cihazının fotoğrafı.. | 69 |
| Şekil 5.12. | Jeol JSM 6060 LV marka SEM cihazının fotoğrafı..... | 70 |
| Şekil 6.1. | a) K1 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) K1 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 71 |
| Şekil 6.2. | a) K1 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi..... | 72 |
| Şekil 6.3. | K1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 73 |
| Şekil 6.4. | K1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 74 |
| Şekil 6.5. | a) K2 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) K2 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 74 |
| Şekil 6.6. | a) K2 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının | |

| | | |
|-------------|--|----|
| | EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) Balata malzemesinin genel analizi..... | 76 |
| Şekil 6.7. | K2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 77 |
| Şekil 6.8. | K2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 78 |
| Şekil 6.9. | a) K3 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) K3 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 78 |
| Şekil 6.10. | a) K3 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi..... | 79 |
| Şekil 6.11. | K3 balata malzemesinin SEM mapping elementel analizi a) K3 balata malzemesinin SEM görüntüsü b) Silisyum (Si) elementel dağılımı c) Bakır (Cu) elementel dağılımı d) Demir (Fe) elementel dağılımı e) Oksijen (O) elementel dağılımı f) Kurşun (Pb) elementel dağılımı g) Kalay (Sn) elementel dağılımı..... | 80 |
| Şekil 6.12. | K3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 81 |
| Şekil 6.13. | K3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 82 |
| Şekil 6.14. | a) K4 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) K4 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 82 |
| Şekil 6.15. | a) K4 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi..... | 83 |
| Şekil 6.16. | K4 balata malzemesinin SEM mapping elementel analizi a) K4 balata malzemesinin SEM görüntüsü b) Bakır (Cu) elementel dağılımı c) Demir (Fe) elementel dağılımı d) Oksijen (O) elementel dağılımı e) Kurşun (Pb) elementel dağılımı f) Silisyum (Si) elementel dağılımı g) Kalay (Sn) elementel dağılımı..... | 84 |
| Şekil 6.17. | K4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 85 |
| Şekil 6.18. | K4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 86 |
| Şekil 6.19. | a) K5 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) K5 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 86 |
| Şekil 6.20. | a) K5 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının | |

| | | |
|-------------|---|-----|
| | EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) 4 noktasının EDS analizi f) 5 noktasının EDS analizi g) 3 noktasının EDS h) Balata malzemesinin genel analizi..... | 88 |
| Şekil 6.21. | K5 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 89 |
| Şekil 6.22. | K5 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 90 |
| Şekil 6.23. | G0-1 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 91 |
| Şekil 6.24. | G0-1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 91 |
| Şekil 6.25. | G0-1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 92 |
| Şekil 6.26. | a) G0-2 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) G0-2 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 93 |
| Şekil 6.27. | a) G0-2 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi..... | 94 |
| Şekil 6.28. | G0-2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 95 |
| Şekil 6.29. | G0-2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 96 |
| Şekil 6.30. | a) G0-3 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) G0-3 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 96 |
| Şekil 6.31. | a) G0-3 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) 4 noktasının EDS analizi | 97 |
| Şekil 6.32. | G0-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 98 |
| Şekil 6.33. | G0-3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 99 |
| Şekil 6.34. | G0-4 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 100 |
| Şekil 6.35. | G0-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman | |

| | | |
|-------------|--|-----|
| | grafığı..... | 101 |
| Şekil 6.36. | G0-4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 101 |
| Şekil 6.37. | G1-1 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 102 |
| Şekil 6.38. | G1-1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafığı..... | 103 |
| Şekil 6.39. | G1-1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 103 |
| Şekil 6.40. | G1-2 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 104 |
| Şekil 6.41. | G1-2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafığı..... | 104 |
| Şekil 6.42. | G1-2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 105 |
| Şekil 6.43. | G1-3 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 105 |
| Şekil 6.44. | G1-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafığı..... | 106 |
| Şekil 6.45. | G1-3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 107 |
| Şekil 6.46. | G1-4 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 107 |
| Şekil 6.47. | G1-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafığı..... | 108 |
| Şekil 6.48. | G1-4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 109 |
| Şekil 6.49. | G2-1 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 109 |
| Şekil 6.50. | G2-1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafığı..... | 110 |
| Şekil 6.51. | G2-1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 110 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Şekil 6.52. | G2-2 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 111 |
| Şekil 6.53. | G2-2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 111 |
| Şekil 6.54. | G2-2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 112 |
| Şekil 6.55. | G2-3 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 112 |
| Şekil 6.56. | G2-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 113 |
| Şekil 6.57. | G2-3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 113 |
| Şekil 6.58. | G2-4 balata malzemesinin optik mikroskopta a) 100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü | 114 |
| Şekil 6.59. | G2-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 114 |
| Şekil 6.60 | G2-4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 115 |
| Şekil 6.61. | a) G3-1 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) G3-1 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 115 |
| Şekil 6.62. | a) G3-1 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi..... | 116 |
| Şekil 6.63. | G3-1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 117 |
| Şekil 6.64. | G3-1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 117 |
| Şekil 6.65. | a) G3-2 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) G3-2 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 118 |
| Şekil 6.66. | a) G3-2 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) 4 noktasının EDS analizi f) 5 noktasının EDS analizi g) Balata malzemesinin genel analizi | 120 |
| Şekil 6.67. | G3-2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 121 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Şekil 6.68. | G3-2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 121 |
| Şekil 6.69. | a) G3-3 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) G3-3 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 122 |
| Şekil 6.70. | a) G3-3 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) 4 noktasının EDS analizi f) 5 noktasının EDS analizi..... | 123 |
| Şekil 6.71. | G3-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 124 |
| Şekil 6.72. | G3-3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 125 |
| Şekil 6.73. | a) G3-4 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) G3-4 balata malzemesinin SEM görünümü..... | 125 |
| Şekil 6.74. | a) G3-4 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b)1 noktasının EDS analizi..... | 126 |
| Şekil 6.75. | G3-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği..... | 126 |
| Şekil 6.76. | G3-4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b)..... | 127 |
| Şekil 6.77. | 7 m/sn hızda aşındırılan balata malzemelerinin hız-aşınma kaybı oranı..... | 129 |
| Şekil 6.78. | 8 ve 11 m/sn hızlarında aşındırılan balata malzemelerinin hız-aşınma kaybı oranı..... | 130 |
| Şekil 6.79. | K grubu balata malzemelerinin % Kuvars miktarı-Sürtünme katsayısı(μ) grafiği..... | 131 |
| Şekil 6.80. | İçerisinde grafit bulunmayan G grubu balata malzemelerinin % Diatomit miktarı-Sürtünme katsayısı(μ) grafiği..... | 132 |
| Şekil 6.81. | İçerisinde % 1 grafit bulunan G grubu balata malzemelerinin % Diatomit miktarı-Sürtünme katsayısı(μ) grafiği..... | 133 |
| Şekil 6.82. | İçerisinde % 2 grafit bulunan G grubu balata malzemelerinin % Diatomit miktarı-Sürtünme katsayısı(μ) grafiği..... | 134 |
| Şekil 6.83. | İçerisinde % 3 grafit bulunan G grubu balata malzemelerinin % Diatomit miktarı-Sürtünme katsayısı(μ) grafiği..... | 134 |

TABLolar LİSTESİ

| | | |
|------------|--|-----|
| Tablo 3.1. | Metallerin yapışmasını etkileyen faktörler..... | 35 |
| Tablo 4.1. | Tipik ıslak ve kuru balata bileşimleri..... | 50 |
| Tablo 4.2. | Bazı ülkelerde kullanılan kuru ve yağlı sürtünme için bronz esaslı malzemelerin bileşimleri..... | 53 |
| Tablo 4.3. | Bronz esaslı sinter balata malzemelerin kullanım karakteristikleri ve özellikleri..... | 54 |
| Tablo 4.4. | Kuru sürtünme için demir esaslı malzemeler ve bileşimleri..... | 55 |
| Tablo 4.5. | Demir esaslı balata malzemelerinin kullanım karakteristikleri ve özellikleri..... | 56 |
| Tablo 4.6. | Sinterlenmiş demirin mekanik özelliklerine fosfor'un etkisi..... | 56 |
| Tablo 4.7. | Disk ve kampana için kullanılan dökme demir analizi..... | 58 |
| Tablo 5.1. | Ağırlıkça %3 grafit ilave edilmiş ön alaşımlı bronz tozlarına (80-10-10), ağırlıkça % kuvars ve % demir(Fe) ilavesi..... | 61 |
| Tablo 5.2. | Ön alaşımlı (80-10-10) bronz tozlarına ağırlıkça % grafit, % diatomit ve % demir (Fe) ilavesi..... | 62 |
| Tablo 6.1. | Balata malzemelerinin hızlara göre aşınma kayıpları(w) ve sürtünme katsayıları(μ) değerleri..... | 128 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Bronz, fren balatası, toz metalürjisi, sinterleme, sürtünme ve aşınma

Bu çalışmada farklı oranlarda kuvars ve diatomit tozları başlangıç tozları içerisine ilave edilerek Toz Metalürjisi (T/M) yöntemiyle bronz esaslı balata malzemesi üretilmiştir. Farklı kompozisyonlarda hazırlanan balata numuneleri 500 MPa basınç altında sıkıştırılarak şekillendirilmiştir. Numuneler argon ortamında 530 °C'de 15 dakika ön sinterleme ve 800 °C'de 60 dakika sinterleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Aşınma testleri özel olarak tasarlanmış aşınma cihazı kullanılarak 314 N sabit yük ve farklı hızlar (7, 8, 11 m/s) ile gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı çalışmaları, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu(SEM) ile yapılmıştır.

PRODUCTION OF BRONZE LININGS AND PERFORMANCE TESTS

SUMMARY

Key Words: Bronze,brake lining,powdre metalurgy,sintering,friction adn wear

In this study, different rates of the kuvars and diatomite powders were added in starting powders of bronze based brake linings and produced by powder metalurgy (P/M) method with a differnet alloy composition. Bronze based linings were sintered under argon atmosphere in a alumina tube furnace. Pre-sintering conditions were 530 °C for 15 min and sintering conditions were 800 °C for 60 min. Wear tests under 314 N load and different velocities (7,8,11 m/s) were performed. SEM and optical microscope examinations were carried out for polished and wear scars of bronze besed linings.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, taşıtların fren sistemlerinde sürtünme malzemesi olarak kullanılan fren balatalarının Toz Metalurjisi (T/M) yöntemleri ile üretiminin yapılabilirliğini araştırılmıştır. Atomizasyon yöntemiyle üretilmiş Bronz tozuna Grafit, Kuvars (SiO_2) ve Diatomit katılarak Bronz esaslı olarak T/M yöntemiyle üretilen Sinterlenmiş balata malzemelerinin aşınma ve sürtünme özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Fren, hareket halinde olan aracı en kısa mesafede veya en az zamanda yavaşlatma veya durdurma işlemidir. Frenleme kuvveti, hareket halinde bulunan bir aracın hızını kesip yavaşlatmak veya durdurmak için uygulanan kontrollü bir kuvvettir. Frenleme esnasında balata dönmekte olan kampana/disk'e basınç uygulayıp sürtünme meydana getirir. Araç sürtünme kuvvetinin yavaşlatma etkisi ile kontrollü olarak yavaşlar veya durur [1].

Frenleme; kontrollü gücün, hızı azaltmak, durdurmak ya da aracı sabit tutmak amacıyla iki yüzeyin sürtünme oluşturacak şekilde birbirine sürtünmesi ile kullanılmasını kapsamaktadır. Sürtünme temastaki iki yüzey arasında birbirlerine göre hareketlerine gösterilen direnç olarak belirtilmektedir. Balatalar, kampana ya da disk frenlerle temas ederek aracın hareketini etkileyen ve harcanan sürtünme malzemeleridir [2].

Farklı fren durumlarının performansı, esas olarak balata malzemesinin kompozisyon ve mikro yapısı tarafından kontrol edilmektedir. Sürtünme malzemesi olarak tek bir malzemenin kullanımının yetersiz olduğunun anlaşılması ile bu tür ve bundan başka çeşitli uygulamalar için de çok fazlı kompozit yapıdaki malzeme geliştirilmektedir. Bu çok fazlı sürtünme malzemesi içindeki her bir bileşenin rolü, yoğun olarak çalışılmakta ve daha iyi sürtünme performansı sağlamak amacıyla yeni katkı malzemeleri ilave

edilmektedir [3].

Zamanla otomobillerin boyutlarındaki değişimler, araç ağırlığını etkilemiş, dolayısıyla yeni ve işlevsel frenlerin ve sürtünme malzemelerinin (balataların) geliştirilmesi, otomobil taşımacılığı ve güvenlik açısından önemli ve çok çalışılır bir konu olmuştur [2].

Organik esaslı sürtünme malzemelerinin (balataların) kullanılmaları, dayanabilecekleri maksimum sıcaklık ile sınırlıdır. 400–450 °C de meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sebebi ile organik maddeleri ihtiva eden (asbest vb.) yapı bozulmaya ve çok çabuk aşınmaya başlar. Özellikle sürtünme katsayısının değeri çok küçük değerlere düşer. Bu yüzden sinterlenmiş (metalik) balatalara ihtiyaç duyulmaktadır [4].

Metalik balataların diğerlerine olan avantajları, daha büyük hızda enerji absorbe etmeleri ve daha fazla aşınma mukavemetine sahip olmalarıdır. Bunlar daha yüksek sıcaklıklara dayanabildikleri gibi, daha fazla ısı iletirler. Sürtünme katsayıları, sıcaklık ve basınçla daha az değişir ve sıcak, soğuk, yağ, tuzlu su gibi etkenlerden daha az etkilenirler [5].

Çalışmamızda ürettiğimiz Metalik balataların bir çeşidi olan Bronz esaslı balataları yüksek sürtünme şartlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [6].

BÖLÜM 2. TOZ METALURJİSİ TEKNIĞI

2.1. Toz Metalurjisine Giriş

Toz metalurjisi (T/M), metal ve seramik tozlarının basınç ve sıcaklık yardımıyla katı ve dayanıklı parça haline getirilmesi tekniği olarak ifade edilebilir. Kısaca çeşitli toz malzemelerden istenilen şekil ve özelliklere sahip parçaların üretilmesi tekniğidir.

T/M sayesinde, döküm, kaynak, talaşlı imalat ve plastik şekil verme (PŞV) gibi yöntemlerle üretilmesi oldukça zor veya imkânsız olan çeşitli alaşımlar kolaylıkla ürün haline getirilebilmektedir. Özellikle ergime sıcaklığı çok yüksek olan molibden, tungsten, platin gibi metallere parça üretiminde bu yöntem tercih edilmektedir. Aynı zamanda bu yöntemin kullanılmasıyla dökümde (yoluk ve besleyiciden kaynaklanan kayıplar) ve talaşlı imalatta meydana gelen kayıplar önlenebilmektedir. T/M, bahsedilen kayıpları önlemesi bakımından ve işçiliğin az olması bakımından ekonomik bir üretim sağlamaktadır. T/M ile malzeme üretimi uzun yıllardır uygulanan bir yöntemdir.

2.2. Toz Metalurjisinin Uygulama Alanları

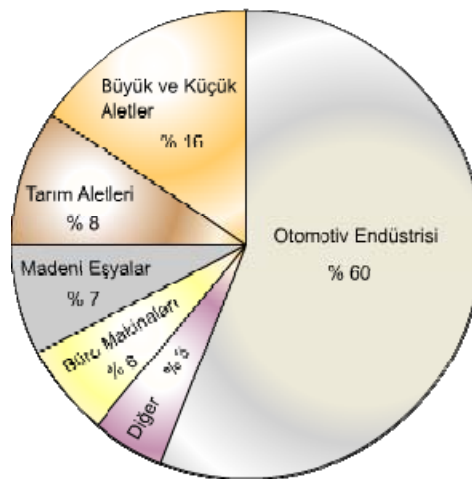
Toz metalurjisi çok değişik alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar takım çelikleri, paslanmaz çelikler, süper alaşımlar, refrakter olan W ve Mo gibi malzemelerin kullanılmasıyla üretilen aşınmaya dayanıklı parçaların imalatı, magnetik alaşımlar, bakır, alüminyum ve titanyum alaşımları, nükleer malzemeler, sermetler ve değerli metallerdir[7]. Toz metalurjisi otomotiv endüstrisi başta olmak üzere pek çok alanda kendinden yağlamalı yataklar, elektrik kontakları, ofis makine parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, jet motor parçaları, kaynak elektrotları, lehimleme aletleri, katalizörler, yüksek sıcaklık filtreleri, nükleer güç yakıt

elemanları, devre levhaları, dişçilik gibi uygulama alanları vardır [8]. Bu uygulamalardan bazıları şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. T/M ile üretilmiş çeşitli ürünler [9]

Toz metalurjisi üretim yöntemi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızla gelişmektedir. 1991 yılı verilerine göre ülkemizin toplam demir bazlı sinter üretimi 3000 ton civarında olup bu üretim ağırlıklı olarak otomotiv sektörü olmak üzere, beyaz eşya ve dayanıklı tüketim malları sektörüne, elektronik sektörüne, savunma sanayisine ve diğer birçok sektöre yönelik yapılmaktadır [10].



Şekil 2.2. Toz metalurjisinin kullanım alanları [11]

2.3. Toz Metalürjisinin Avantaj ve Dezavantajları

2.3.1. Avantajları

Toz metalürjisinin önemi döküm, talaşlı imalat ve PŞV ile şekillendirilmesi oldukça zor ya da imkânsız olan çeşitli alaşımların bu yöntemle kolaylıkla ve ekonomik bir şekilde ürün haline getirilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Eğer bir malzemenin dökümü zorlukla gerçekleştiriliyorsa, yüksek mekanik özellikler arzu ediliyorsa, gevrek olduğu için PŞV ile şekillendirilemiyorsa, hassas boyut kontrolü isteniyorsa çözüm olarak T/M tekniğine başvurulur. Toz metalurjisi diğer imalat yöntemleri ile kıyaslandığında aşağıda sayılan avantajları ortaya çıkmaktadır [12].

- Üretim hızı oldukça yüksektir. İşgücü ihtiyacı azdır.
- Karmaşık şekilli ve hassasiyet gerektiren parçalar kolaylıkla üretilebilir.
- Birbiri içinde çözünmeyen farklı karakterdeki malzemeler bir araya getirilerek üretim yapılabilir.
- Üretilen malzemeler üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Üretilen parçaların tane boyutu küçük, çekme mukavemeti yüksek ve işlenebilirlik kabiliyeti yüksektir.
- Toz metalürjisiyle üretimde malzeme kaybı oldukça azdır. Özellikle döküm ve talaşlı imalatta medyana gelen malzeme kaybı düşünüldüğünde büyük ölçüde malzeme tasarrufu sağlar.
- Toz metalurjisi ile üretilen parçalara genellikle talaşlı imalat gibi ek işlemler gerekmez.
- Üretimin hızlılığı, malzeme israfının az olması ve işçiliğin az olması nedeniyle ekonomik bir üretim sağlar.

2.3.2. Dezavantajları

T/M yukarda bahsedilen avantajların yanında aşağıda belirtilen bazı dezavantajlara da sahiptir [12].

- Bazı yöntemlere göre zaman zaman düşük mekanik özellikler sergileyebilir. Bunun sebebi yapı içinde gözeneklerin bulunmasıdır.

- Üretim için gerekli olan kalıpların maliyeti yüksektir.
- Kalınlık/çap oranı çok büyük olan parçaların üretiminde zorluklar yaşanmaktadır. Parça boyutları, pres kapasitesinin belirlediği sınırlarda olmak zorundadır. Aynı zamanda homojen yoğunlukların elde edilebilmesi için parça boyutlarında sınırlamalar olmaktadır. Genellikle 20 kg'a kadar T/M parça üretimi yapılabilmektedir.
- Preslenen parçaların geometrisinin kalıptan bozulmadan çıkabilecek şekilde olması gerekmektedir.
- Presleme aşamasında heterojen basınç dağılımı nedeniyle parça kesiti boyunca yoğunluk ve özelliklerde farklılıklar görülmektedir [12].

2.4. Metalik Toz Üretim Yöntemleri

Toz metalurjisi ile üretim yapılırken farklı yöntemlerle hazırlanan tozlar kullanılmaktadır. Metal tozlarının üretiminde kullanılan teknikler, tozların birçok özelliğini belirlediğinden toz hazırlama yöntemi oldukça önemlidir. Tozun sahip olduğu özellikler direkt olarak preslenme davranışını, sinterleme davranışını ve son ürün özelliklerini etkilemektedir [13].

Temel olarak dört değişik toz üretim tekniği vardır. Bunlar:

- Mekanik yöntem
- Atomizasyon yöntemi
- Kimyasal yöntem
- Elektrolitik yöntem

Ekonomik olarak üretim sağlanabildiğinden bazı tozların üretimi mekanik Öğütme ile gerçekleştirilmektedir. Mekanik yöntemde katı hal malzemeye Öğütme uygulanarak toz oluşturulur. Öğütme işlemi kırıcı, girdaplı, taraklı ve bilyalı değirmenler ile yapılmaktadır.

Diğer bir metalik toz üretim yöntemi olan atomizasyon yönteminde bir potada ergitilmiş metal, alt taraftan küçük bir delikten sızdırılarak bir nozülden püskürtülen gaz veya sıvı jetlerinin etkisiyle küçük damlacıklara parçalanır ve damlacıklar

birbirleri ile veya katı yüzeylerle temasa geçmeden hızlıca soğutulur. Ana fikir ergimiş metali yüksek enerjili gaz veya sıvı çarpmasına maruz bırakarak daha küçük parçalara ayırmaktır. Hava, azot ve argon en çok kullanılan gazlardır. Sıvılar içinde en çok su kullanılır. Nozülün tasarım ve geometrisi, atomize eden akışkanın basıncı ve hacmi, sıvı metalin akış çapı gibi parametreler değiştirilerek toz boyutu dağılımı kontrol edilebilir. Tanecik şekli ise katılaşma hızıyla belirlenir. Katılaşma hızının yavaş olması ile küresel şekilli tanecikler elde edilirken; katılaşma hızının artmasıyla daha karmaşık şekiller elde edilir. Ticari olarak demir, takım çelikleri, alaşımli çelikler, bakır, pirinç, alüminyum, kalay, kurşun, çinko ve kadmiyum tozlarının üretilmesinde kullanılır. Krom içeren alaşımlar gibi kolayca oksitlenen metallerde atomizasyon, argon gibi asal gazlar yardımıyla gerçekleştirilir. Atomizasyon, alaşımı oluşturan tüm metallerin ergimiş durumda tamamen alaşımlandığı için, özellikle alaşımların toz halinde üretilmesinde faydalı bir yöntemdir. Böylece her toz taneciği hemen hemen aynı kimyasal bileşime sahip olur [14].

Ergitilebilen bütün malzemeler atomize edilebilir. Atomizasyon işlemi farklı yöntemlerle gerçekleştirilir. Bunlar; gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, santrifüj atomizasyonu, döner elektrot atomizasyonudur [15].

Bir başka toz üretim yöntemi olan kimyasal toz üretim yönteminde katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleriyle toz üretimi yapılmaktadır. Bu yöntemle üretilen tozların boyutları 5–10 µm ila 100–500 µm arasında ve değişik geometrik şekillerde olabilmektedir [16].

Genel olarak kimyasal yöntemle toz üretiminin avantajları şöyle sıralanabilir [17].

- Katı redüktif olarak kullanılan karbonun ucuz olması
- Metal oksitlerin kolaylıkla bulunabilmesi
- Gözenekli toz üretilebilmesi.
- Metal ve oksitlerin boyut kontrolünün yapılabilişidir.

Yüksek iletkenliğe sahip metal tozlarının üretiminde kullanılan elektrolitik yöntemde, ana fikir elektrolitik bir hücrenin katot çubuğunda metal tozlarının

çöktürülmesidir. Bu yöntem kullanılarak %94'e varan saflıkta Cu, Fe, Zn, Mn ve Ag tozları üretilmektedir. Elektrolitik yöntemle üretilen tozlar genellikle süngerimsi biçimlerde ve dendritik yapıdadır. Maliyetinin yüksek olması nedeniyle elektrolitik toz üretim yöntemi pek kullanılmaz [13].

2.5. Toz Metal Parça Üretim Proseslerinin Aşamaları

İstenilen özelliklere sahip tozların üretilmesiyle başlayan toz metalurjisi yönteminin işlem basamakları bu kısımda ele alınmıştır:

2.5.1. Tozların harmanlanması ve karıştırılması

Toz metalurjisinde genellikle toz karışımları kullanıldığından, tozların kompaktlama işlemine tabi tutulmadan önce etkin bir şekilde karıştırılması gereklidir. Karıştırma işleminin temel amacı toz karışımının homojen olmasını sağlamaktır. Değişik boyut, şekil ve yoğunluktaki tozların homojen olarak karışmaları üretilecek parçanın performansını arttırmaktır [13,18].

Toz kütlesi içerisinde standart dağılımlar bulunmadığı zaman karıştırma işlemi öncesinde harmanlama yapılmalıdır. Düzenli boyut dağılımı elde etmek ve preseleme ve sinterleme özelliklerini iyileştirmek için harmanlama işlemi önerilmektedir. Karıştırma ve harmanlamayı bazı faktörler etkilemektedir. Bunlar;

- Tozların fiziksel karakteristikleri
- Karıştırıcı boyutları
- Karıştırıcıdaki toz hacmi
- Karıştırma hızı
- Karıştırma süresi
- Nemlilik ve atmosfer koşulları
- Dönme hızıdır.

Toz karışımları hazırlanırken içerisine belli oranlarda yağlayıcı ilavesi yapılır. Yağlayıcı ilavesinin temel amacı, rijit kalıp içerisinde gerçekleştirilen presleme

işleminde, toz karışımı ile kalıp yüzeyi ve toz tanecikleri arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır. Yağlayıcı kullanılmadığı zaman toz karışımı ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünme nedeniyle basınç dağılımındaki homojensizlik artar, dolayısıyla preslenen kompakt bünyesinde gerilme farklılıkları oluşur. Kompakt bünyesinde oluşan bu gerilme farklılıkları ise, sinterleme esnasında distorsiyonlara yol açar ve kompaktı kalıptan çıkarmak zorlaştırır. Kullanılan yağlayıcı miktarı arttıkça parçayı kalıptan çıkarmak için gerekli kuvvet azalacaktır. Ancak fazla miktarda yağlayıcı madde kullanıldığında sinterleme esnasında kompakt yüzeylerinde kabarcıklar oluşur. Buna bağlı olarak yüzey kalitesi azaltmaktadır.

Karışıma ilave edilen yağlayıcılar genellikle kuru toz şeklindedir. Zira sıvı şeklindeki yağlayıcılar tozun akma kabiliyetini düşürür. Metal tozları için en çok kullanılan yağlayıcılar stearik asit, çinko stearat, lityum stearat, kalsiyum stearat gibi metal stearatları ile sentetik mumlardır. Organik stearatlar, sinterlemeden sonra kalıntı bırakmadıklarından geniş kullanım alanına sahiptirler. Karışımdaki tüm toz partiküllerinin yağlayıcı ile temas etmeleri için yağlayıcı tozun mümkün olduğu kadar ince olması istenir. Yağlayıcı miktarı preslenen parçanın şekline bağlı olarak % 0,5 – 1,5 oranlarında tutulmalıdır. Karmaşık şekilli parçaların düşük basınçlarla kalıptan çıkartılabilmeleri için yağlayıcı miktarı fazla olmalıdır. Yağlayıcıların yoğunluğu toz yoğunluklarından daha düşük olduğundan, kompaktlanan parçanın yoğunluğundaki artış sadece düşük yağlayıcı ilavelerinde görülür. Bu yüzden yağlayıcı ilavesi optimum düzeyde tutulmalıdır. Yağlayıcıyı metal toz karışımına ilave etmenin yanı sıra diğer bir seçenek de kalıp yüzeylerinin yağlanmasıdır [18].

2.5.2. Presleme

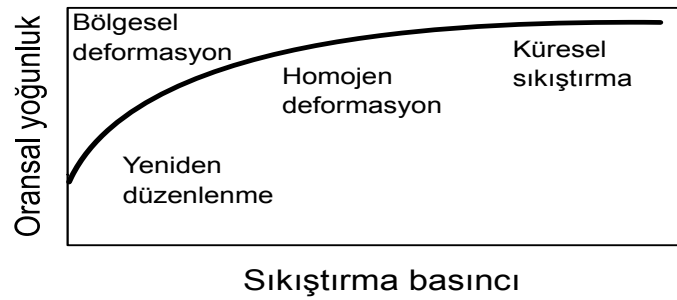
Metal tozları kalıpla şekillendirildiğinde tozun serbest olarak kalıp boşluğunu çok iyi ve tam olarak doldurması arzu edilmektedir. Tozlar kalıp içinde soğuk olarak preslendiğinde teorik yoğunluğa mümkün olduğunca yaklaşılması arzu edilir. Eşit presleme basıncına rağmen her metal tozunda presleme sonucunda ulaşılan yoğunluk, o malzemenin teorik yoğunluğuna göre çok farklıdır. Bu durum;

– Tozun malzeme cinsine (özellik yüzey, üretim yöntemleri)

- Tozun tane iriliği, şekli ve yüzey durumuna
- Tozun görmüş olduğu ön işlemler gibi önemli faktörlere bağlıdır.

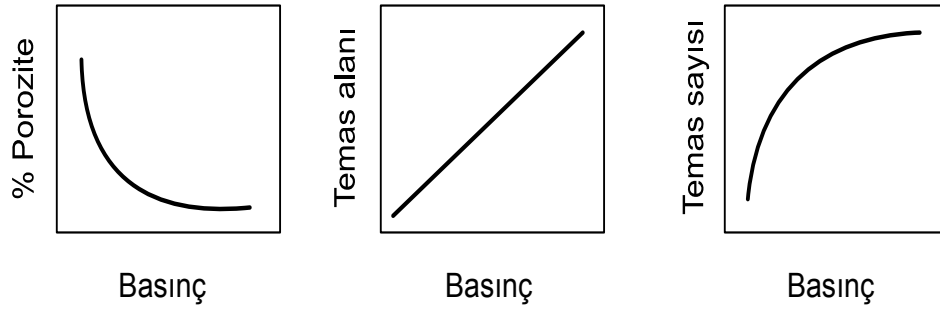
Malzeme ne kadar yumuşaksa, preslenebilirliği o derece yüksektir. Preslenebilirlik, toz tanelerinin preslemede kendi aralarındaki ve tanelerle kalıp arasındaki sürtünmeyle de yakından ilişkilidir.

Aşağıda presleme anında uygulanan basınç ile yoğunluk değişiminin basitleştirilmiş bir diyagramı verilmiştir. Bu diyagram birbirinden açıkça ayrılamayan dört bölgeden oluşmaktadır. Yoğunlaşma hızı, kompakt yoğunluğu arttıkça sürekli olarak azalmaktadır. Gözenek miktarı, koordinasyon sayısı ve temas alanı uygulanan basınç ile değişmektedir.



Şekil 2.3. Partikül paketlenmesinde basınç ile teorik yoğunluk değişiminin gösterilmesi [19]

Partiküller üzerine basınç uygulanmasıyla birlikte ilk anda noktasal temaslarda elastik deformasyon meydana gelir. Basıncın artmasıyla partiküller yeniden düzenlenir ve kayma ile temas eden partikül sayısı artar. Eş zamanlı olarak, temas alanları genişler ve her temas noktasının etrafındaki plastik deformasyon bölgesi genişleyerek yayılır. Temas noktalarında basıncın yoğunlaşmasıyla, gözenek boyutu ve gözenekliliği azaltacak şekilde komşu gözeneklere kütle akışı meydana gelir. Genişleyen temas noktalarıyla beraber deformasyon sertleşmesi meydana gelir. Her iki etken de ileriki seviyelerde yoğunlaşma için gerekli olan gerilme miktarını arttırmaktadır. Yüksek yoğunluklarda etkili bir deformasyon ve gerçek partikül karakterleri kaybolur. Küresel şekilli bronz partiküllerin kompaktlanması sırasındaki porozite, temas alanı ve temas sayısının kompaktlama basıncı ile değişimi şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Partiküllerde presleme basıncına bağlı olarak porozite, temas sayısı ve temas alanının değişimi [20]

Sıkıştırma esnasında basınç arttıkça bölgesel deformasyon, pürüzleri yassılaştırır ve deformasyon temas bölgelerine yayılır. Temas bölgelerinde gerilme dağılımları değişkenlik göstermektedir. En büyük basma gerilmesi temas noktalarının merkezinde iken en küçük basma gerilmesi temas noktalarının kenarlarındadır. Düşük basınçlarda gerilme temas noktalarında yoğunlaşır. Daha yüksek basınçlarda kompakt boyunca homojen deformasyon meydana gelir. Üçüncü aşamada kütle boyunca deformasyon sonucu sertlik değerlerinde artış sağlanır. Çok yüksek sıkıştırma basınçlarında üç ya da daha fazla parçacığın birleşme noktalarında küçük gözenekler bırakacak şekilde küresel deformasyon meydana gelir. Bu durum 1 GPa'lık gerilme ve % 95 teorik yoğunluk değerinde başlar. Sıkıştırmanın bu aşaması pratikte çok ender görülür. Sıkıştırma sonrasında basıncın azalmasıyla kompakt elastik olarak rahatlamakta ve bu durum geriye doğru yaylanma olarak nitelendirilmektedir [20].

2.5.2.1. Presleme teknikleri

Presleme işlemi genel olarak soğuk ve sıcak presleme şeklinde iki ana gruba ayrılabilir. Soğuk presleme yöntemlerinde, preslemeden sonra sıcaklık uygulanırken sıcak presleme yöntemlerinde basınç ve sıcaklık aynı anda uygulanır. Soğuk veya sıcak izostatik presleme teknikleri, rijit kalıplarla presleme tekniğine göre üründe ölçü hassasiyeti ve iyi mekanik özellikler sağlamak bakımından çok daha üstündür. Bu presleme tekniklerinde, toz yığınları üzerine uygulanan basınç homojen olarak dağıldığı için düşük basınçlar altında bile yüksek yaş mukavemet ve yüksek yaş

yoğunluk değerleri elde edilebilir. Özellikle sıcak izostatik presleme tekniğiyle üretilen parçaların çekme mukavemeti ve yorulma dayanımı gibi mekanik özellikleri diğer tekniklerle üretilen parçalara göre çok daha üstündür.

Dinamik presleme yöntemlerinde toz sıkıştırma hızı klasik yöntemlere nazaran çok yüksektir. Bu presleme yöntemlerinde preslenecek toz önce yumuşak çelikten yapılmış bir kapsül içine doldurulur. Vakumla kapsülün içindeki hava alınarak kapsülün ağzı kaynak edilerek kapatılır ve kapsülün çevresine gömlek şeklinde patlayıcı madde doldurulur. Patlayıcı maddenin patlaması sonucu meydana gelen yüksek basınç dalgalarının, parça yüzeyinde iç bölgelere doğru ilerlemesiyle presleme sağlanır. Yüksek basınç sonucu meydana gelen şok dalgaları, parça üzerine, parçanın etrafındaki patlayıcı maddenin infilak ettirilmesi ile aktarıldığında direkt presleme; patlama ile tahrik edilen yüksek hızlı bir piston tarafından aktarıldığında ise endirekt presleme gerçekleşmektedir.

Son yıllarda geliştirilmiş olan bu yöntemle, klasik yöntemlerle preslenmesi güç ya da mümkün olmayan veya sinterleme esnasında kimyasal reaksiyona giren alaşımlar ve metal tozu karışımları preslenebilmektedir.

Triaxial presleme yönteminde parça hem çevre yüzeyinden izostatik olarak hem de bir pistonla aksenal yönde sıkıştırılmaktadır. Böylece yalnız izostatik sıkıştırma yöntemine göre çok daha yüksek homojen bir presleme elde edilmektedir.

T/M parçaların üretiminde dövme, ekstrüzyon ve vibrasyonla presleme yöntemleri de kullanılmaktadır. Bunların yanında çubuk, levha, şerit ve tüp gibi basit geometrik şekillere sahip parçaların üretiminde kullanılan sürekli presleme yöntemi de kullanılmaktadır [21].

Sıcaklık ve basıncın aynı anda uygulandığı sıcak presleme yöntemleri de T/M parçaların üretiminde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemde şekillendirme ve sinterleme işlemleri birlikte gerçekleştirildiğinden yüksek bir yoğunluk ve hızlı bir üretim sağlanır. Presleme ve sinterlemenin birlikte yapılması

soğuk yoğunlaştırmaya göre yüksek dayanım, sertlik ve yoğunluk yanında parçada gaz miktarı ve büzülmenin daha düşük olması gibi üstünlükler sağlar.

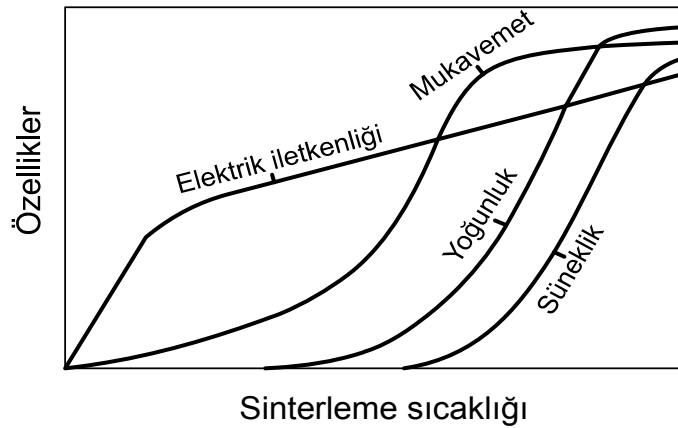
Sıcak presleme yöntemlerini, sıcak presleme, sıcak ekstrüzyon ve sıcak izostatik presleme, sıcak dövme şeklinde gruplandırmak mümkündür. Sıcak presleme, sıcak ekstrüzyon ve sıcak dövmeye göre daha sınırlı uygulanan bir yöntemdir [21].

2.5.3. Sinterleme

Sinterleme, preslenmiş yaşı birikmelere mukavemet kazandırmak amacıyla kontrollü bir atmosferde ve yüksek sıcaklıklarda uygulanan pişirme işlemi olarak ifade edilmektedir. Parçaların kalıp içerisinde sıkıştırılarak şekillendirilmesi sonucunda parçada meydana gelen mekanik bağlar, sinterleme işlemi sayesinde metalik bağlara dönüşerek bu sayede parçaya mukavemet kazandırılmış olur. Sinterleme öncesi ve sonrasındaki mukavemetler arasında yüz kat kadar bir fark bulunmaktadır.

Sinterleme işlemi, tek bileşenli sistemlerde metalin mutlak ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yapılırken; birden fazla bileşenli sistemlerde genellikle ergime sıcaklığı en düşük olan bileşenlerin ergime sıcaklığının üstünde yapılmaktadır. Sinterleme sıcaklığı kompaktı oluşturan ana malzemenin ergime sıcaklığının %70-80'i arasında olurken; bazı refrakter malzemeler için ergime sıcaklığının %90'ına çıkılabilir [8].

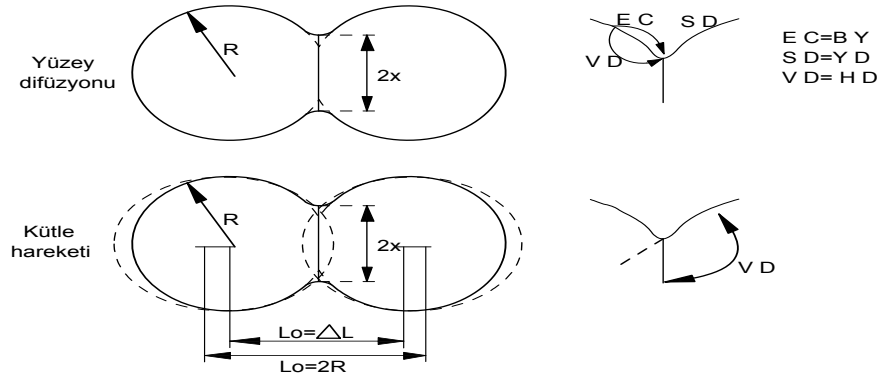
Fe esaslı malzemeler için sinterleme sıcaklığı 1100–1200 °C arasındadır. Sinterleme sıcaklığı ile sinterleme süresi arasında önemli bir ilişki olup süre kısaltılmak isteniyorsa sinterleme sıcaklığının artırılması gerekmektedir. Sinterleme sıcaklığının 1150 °C 'yi aşması sinterleme maliyetini yükseltir. Sinterleme sıcaklığının artması ile malzemenin elektrik iletkenliği, mukavemet, yoğunluk ve süneklik gibi özellikleri artmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Sinterleme sıcaklığının toz biriket özelliklerine etkisi [18]

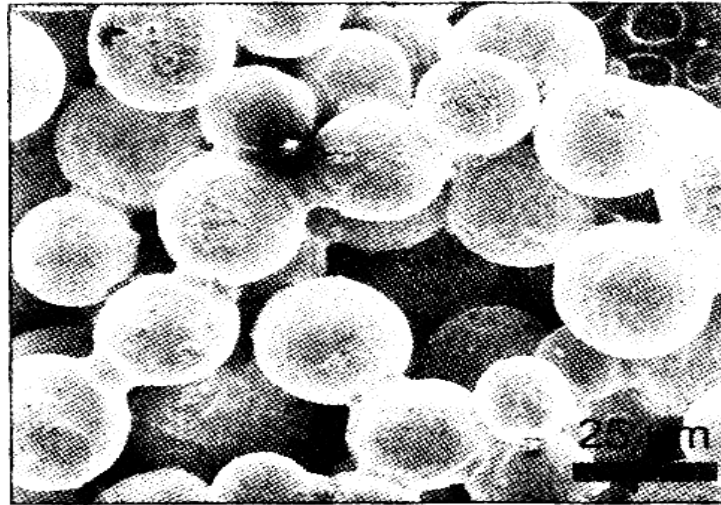
Sinterlemeyi gerçekleştiren itici güç sistemin iç enerjisindeki azalmadır. Bu azalmayı sağlayan faktörler, partikül temas alanlarının büyümesi sonucu yüzey alanının azalması, gözenek hacminde azalma veya gözeneklerin küreselleşmesi, çok bileşenli sistemlerde katı fazın sıvı faz içinde çözünmesi sonucu oluşan konsantrasyon farkının giderilmesidir [22].

Sinterleme sırasında meydana gelen boyutsal değişimler, gözeneklerin şekil ve boyut değişimi ve tane büyümesi gibi olaylar, mikro yapı içerisinde sıcaklıkla meydana gelen bazı atomsal taşınım mekanizmalarıyla gerçekleşir. Atomal taşınım mekanizmaları, hacim difüzyonu, yüzey difüzyonu, tane sınırları difüzyonu, buharlaşma, yoğunlaşma ve plastik akıştır. Yüzey difüzyonu ile boyutsal değişim olmaz. Ancak Şekil 2.6'da görüldüğü gibi sinterleme esnasında hacim difüzyonu boyutsal değişmeye neden olmaktadır. Bu mekanizma hacim difüzyonunu, tane sınırı difüzyonunu, plastik ve viskoz akışı kapsamaktadır. Şekilde, BY = buğulanma yoğunlaşma, YD = yüzey difüzyonu, VD = gözenek difüzyonu, HD = hacim difüzyonudur.



Şekil 2.6. Küreden-küreye sinterlemede iki tür sinterleme mekanizması boyun büyümesi için yüzeyden malzeme taşıma mekanizması yüzey kaynaklarından sağlanır [13].

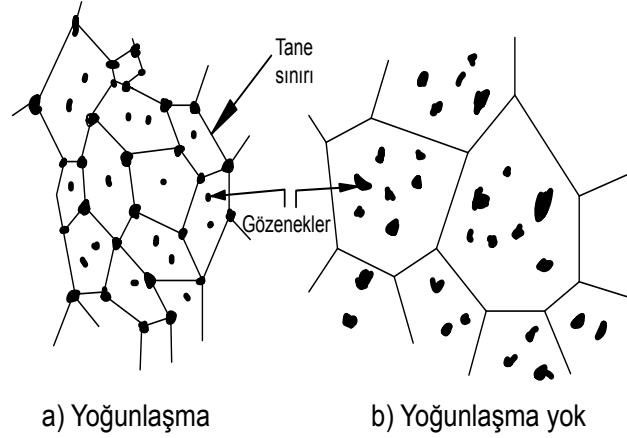
Sinterleme işlemi üç devrede gerçekleşmektedir. Bunlar; ilk devre sinterlemesi, orta devre sinterlemesi ve son devre sinterlemesi olarak ifade edilmektedir. Sinterlemenin ilk devresinde kütle taşınım mekanizmasına bağlı olarak tanecikler arasındaki temas noktalarında boyun büyümesi başlar. Bu durum Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil.2.7. Sinterlemenin ilk aşamasında tanecikler arası boyun oluşumu [13].

Orta devre sinterlemesi, sinterlenen biriketlerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli olup, bu devrede yoğunluk artışı ve tane büyümesi görülmektedir. Gözeneklerin yapısı düzelmekte, ancak açık gözenekler son sinterleme devresine kadar kalmaktadır. Bu devrede tane sınırı ve gözenek geometrisi sinterlenme oranını kontrol etmektedir. Sıcaklık artışı ile tane sınırı hareket oranı artmakta, gözenekler daha yavaş hareket ettiğinden gözeneklerden tane sınırı ayrılması meydana

gelmektedir. Gözenekler toplam tane sınırını azaltmaktadır. Gözeneklerin tane kenarında tutulmaları için gerekli enerji düşük olup gözenek ve tane sınırı ayrı olursa sistem enerjisi yeni oluşan ara yüzey alanı miktarı oranında artmaktadır. Şekil 2.8’de tane kenarındaki ve tane içerisindeki gözenek dağılımının yoğunlaşmaya etkisi verilmektedir.



Şekil 2.8. Orta devre sinterlemede iki muhtemel gözenek tane sınırı görünümü: a) tane sınırlarındaki gözenekler yoğunlaşır. b) izole gözenekler yoğunlaşmaz [13]

Son sinterleme devresi, içerisinde gözenek izolasyonu, hacim difüzyonu ve bunlara bağlı olarak büzülmenin olduğu yavaş bir işlemdir. Bu devrede düşük yayınma ve yüksek tane boyutu büyüme oranı, gözenek sayısını azaltmakta; buna karşılık gözenek büyümesine neden olmaktadır. Son sinterleme devresinde gözenek giderme oranı gözenek yoğunluğuna, gözenek yarıçapına, hacim difüzyonuna, tane boyutuna ve gerilme etkilerine bağlıdır [13].

Sinterlemede değişik atmosferler kullanılmaktadır:

- Oksitleyici atmosferler: Hava, CO_2 ve H_2O
- Redükleyici atmosferler: H, Metan CH_4 ve amonyak, CO
- Vakum, helyum, argon ve azot içeren atmosferler
- Nitrürleyici atmosferler: Amonyak [23].

2.5.3.1. Sinterleme teknikleri

Sinterleme işlemi genel olarak üç farklı şekilde yapılmaktadır.

Katı hal sinterlemesi

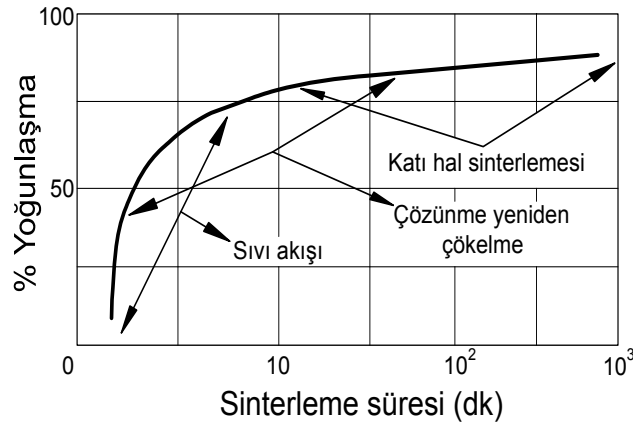
Tek bir elemandan oluşan malzemelerin sinterlenmesinde katı hal sinterlemesi kullanılmakta olup; tek fazlı partiküllerden oluşan kompaktların sinterlenmesi sırasında mikroyapıda meydana gelen değişimler, parçanın boyutu ile beraber fiziksel ve mekanik özelliklerinde de değişimler meydana getirmektedir. Sinterleme için itici güç sisteminin serbest enerjisinin düşürülmesidir. Partiküllerin ve tanelerin büyümesi, toplam tane sınırı alanının azalması, serbest enerjide düşmeye neden olmaktadır. Tane sınırlarının eğrilik derecesi büyüdükçe sınırın hareket hızı artmaktadır. Atomların ve sınırın hareketine etki eden en önemli faktör sıcaklık olup, sıcaklığın artışı ile atom yayınımları hızla artmaktadır. Tane sınırının bu şekildeki hareketi küçük tanelerin kaybolmasını, büyük tanelerin oluşmasını sağlamaktadır[24].

Sıvı faz sinterlemesi

Sıvı faz sinterlemesi esnasında sıvı faz ve katı bir toz kümesi aynı anda bulunmaktadır. Genellikle sıvı faz sinterlemesi parçacıklar arasında bağ oluşumunu arttırmakta ve sinterleme hızına katkıda bulunmaktadır. Sıvı fazın oluşturduğu kılcal çekim kuvvetleri sayesinde partiküller birbirlerini çekmekte ve herhangi bir basınç olmaksızın hızlı bir yoğunlaşma meydana gelmektedir. Oluşan sıvı faz, partiküller arasındaki sürtünmeyi azaltarak yeniden düzenlenmeyi hızlandırmaktadır. Parçacıklar arası bağlanmaya, mukavemet, süneklik, iletkenlik, manyetik geçirgenlik ve korozyon direnci gibi, gözenek yapısında ve parça özelliklerinde meydana gelen önemli değişiklikler eşlik eder. Sıvı faz sinterlemesi esnasında sıvı faz elde etmek için kimyasal yapıları farklı tozlar kullanılmaktadır. İki tozun birbirleriyle etkileşimi sıvı faz oluşturmaktadır. Sıvı faz oluşturmak için diğer bir yöntem, ön alaşımlandırılmış bir metal tozunu sıvılaştırma ve katılaştırma eğrileri arasındaki bir

sıcaklığa kadar ısıtmaktır. Sonuçta oluşan katı ve sıvı fazların karışımı süpersolidüs sinterlemesine yol açar [25].

Geleneksel sıvı faz sinterlemesinin üç kademesi ve sinterleme süresine bağlı olarak % yoğunlaşma miktarının değişimi Şekil 2.9'de verilmiştir. Sıvı faz sinterlemesinin ilk aşamasında düşük ergime sıcaklığına sahip olan bileşenler sıvı hale geçmekte, sıkıştırma sonucunda aralarında bulunan kılcal boşluklar nedeniyle oluşan kuvvetler, oluşan sıvı fazın boşluklara ilerlemesini sağlamaktadır. Islatıcı sıvıya bağlı olarak kapiler kuvvetler, sıvıyı parçacıklar üzerine ve parçacıklara yakın bir çevreye çekecek şekilde rol oynamaktadır. Oluşan sıvı faz katı parçacıklar arasına sızarken katı parçaların birbirleri üzerine kaynamalarına neden olmaktadır. Böylece mikroyapı yeniden düzenlenmeye başlamakta; parçacıklar, birbirini izleyen ve bir arada büyüyen parçacıklar gibi yakın olarak yeniden paketlenmektedir. Bu işleme paralel olarak meydana gelen viskoz akış ile mikro yapıda bulunan gözenekler giderilmektedir [19, 25].



Şekil 2.9. Sıvı faz sinterlemesinde aşamaların şematik olarak gelişimi [13,22]

Sıvı faz sinterlemesinin son aşaması katı hal kontrollü sinterlemedir. Katı hal iskelet yapının varlığı nedeniyle bu aşamada yoğunlaşma yavaşlamaktadır.

Geçici sıvı faz sinterlemesi:

Sıvı faz sinterlemesinin iki farklı alternatifinden biri geçici sıvı faz sinterlemesidir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip katı faz çözünme oranının yüksek olduğu

durumlarda geçerli olan bu mekanizmada preslenmiş kompakt sinterleme sıcaklığına çıkartılırken sıvı faz oluşur ve oluşan sıvı faz, iç yayınmayla katı ergiyiğe geçerek yok olur. Kompakt sinterleme sıcaklığında bekletilirken sürecin sonunda oluşan homojen bir katı ergiyik veya iki veya daha fazla katı fazdan oluşan heterojen bir alaşım olabilir.

2.6. T/M’de Kullanılan Tozların Özelliklerinin Belirlenmesi

Toz metalurjisi ile üretilen parçalar, endüstrinin çok değişik alanlarında kullanıldığı için, tozların özelliklerinin uygulama alanının gereksinimlerine göre dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Tozların özelliklerinin birçoğunu üretim teknikleri belirlemektedir. Tozların özelliklerinin araştırılmasında tozun tane büyüklüğü, tane şekli, yüzey alanı, içyapısı ve kimyasal analizi gibi değişkenler dikkate alınmaktadır. Bu parametrelere bağlı olarak görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, toz akış hızı ve ham mukavemet değerleri farklılıklar göstermektedir.

Tozların özelliklerinin tespitinde nasıl numune alınacağı ASTM standartlarında belirtilmiştir. Alınan numunenin miktarı çok az olduğundan tüm tozu temsil etmesine dikkat edilmelidir. Numune alma statik ve hareketli olmak üzere iki farklı şekilde yapılır. Statik numune almada, sabit bir toz varilinin farklı birkaç noktasından numune alınır. Hareketli numune almada ise toz kütlesi hareket halindeyken numune alınmaktadır. Deneyler için genellikle 100 g toz yetmektedir. Toz metalurjisinde kullanılan tozların özellikleri, fiziksel özellikler ve kimyasal özellikler olmak üzere başlıca iki ana gruba ayrılabilir.

2.6.1. Tozların fiziksel özellikleri

Tozların fiziksel özellikleri; tane şekli ve boyutu, yoğunluk, akıcılık ve sıkıştırılabilirlik olarak sıralanabilir. Metal tozlarının tane büyüklüğü genellikle elek analizi ile belirlenmektedir. Tane boyutunda esas olan parçacık boyutlarının belirlenmesidir. Tozun tamamının aynı boyutta olduğu söylenemez, ancak ortalama boyuttan söz edilebilir. Boyut analizleri ile her bir aralıktaki tozun % miktarı ve

ortalama tane boyutu belirlenir. Tozun şekli, tane boyutunun tespitinde çok önemlidir. Küresel tozlarda sadece çapın bilinmesi yeterli iken pul şeklindeki toz parçacıklarının pul kalınlığı ile düzlem yönündeki boyutun ölçülmesi gerekir. Alanı değişik şekilli tozlarda yüzey alanından gidilerek tane boyutu tespit edilir. Yüzey küreye denkleştirilerek tane boyutu bulunur [11].

Tozlarının en önemli özelliklerinden biri olan tane şekli, tozların, akıcılık, görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve ham mukavemet gibi özelliklerini etkileyen önemli bir etkidir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi tozların tane şekilleri, tozların üretim metoduna göre değişik şekillerde olabilmektedir. Genellikle küresel şekilli toz taneleri gaz atomizasyonu ile elde edilirken, gaza oranla daha hızlı soğutucu olan su atomizasyonu ile karmaşık tane şekillerine sahip tozlar elde edilmektedir.



Şekil 2.10. Toz üretim yöntemine göre tane şekillerinin değişimi [26]

Herhangi bir tozun görünür yoğunluğu, tozların preslenmesi için dizayn edilen kalıptaki boşlukların boyutlarını belirleyen en önemli faktördür. Görünür yoğunluğun tespiti için gevşek, birbirine yapışık olmayan belirli miktardaki metalik toz hacmi bilinen bir kaba tam olarak doldurulur ve kütlesi ölçülür. Daha sonra kütlenin hacme oranıyla görünür yoğunluk tespit edilir. Kabin gevşek olarak doldurulması tozun eğimli plaklar üzerine düşürülmesi ile sağlanır. Demir tozlarının görünür yoğunlukları gözlenebilir farklılıklar gösterirler [27].

Yüksek görünür yoğunluğa sahip tozların kullanılmasıyla, kalıp konstrüksiyonu için gerekli malzeme ve zamandan tasarruf etmek, kalıp ömrünü arttırmak ve kırılma riskini azaltmak mümkündür. Bu, yüksek basınç gerektiren yüksek yoğunluklu parçalar üretildiğinde özel bir avantajdır. Bununla birlikte genellikle yüksek görünür yoğunluğa sahip tozlar, kaba tanelere sahip olduğundan, iyi sinterlenebilme özelliğine sahip değildirler. Bunun sonucu olarak bu tozlardan yapılan parçaların çekme mukavemeti ve uzama değerleri, özellikle tek sinterleme uygulandığında düşük olmaktadır.

Bir tozun akıcılık özelliği, o tozun doldurma davranışı ile belirlenir. Akıcılık, toz ile kalıbı doldurmak için gerekli zamana ve özellikle tozun dar aralıklara dolum derecesine bakılarak tayin edilir. Bu nedenle en iyi akış özelliğine sahip tozları seçmek çok önemlidir. İyi derecede bir akma oranı, kalıba dolum için gerekli zamanı azaltarak üretim hızının artmasını sağlar. Fakat istisnai olarak ince taneli tozlar, kalıpla zımba arasındaki boşluklara girebilir. Bu olumsuzluk akma oranını azaltan yağlayıcıların tozlara karıştırılması ile giderilebilir.

Bir tozun basınç altında sıkışabileceği miktar veya başka bir deyişle yoğunlaşma miktarı sıkıştırılabilirlik olarak ifade edilmektedir. Farklı bir yaklaşıma göre sıkıştırılabilirlik, 465 MPa basınçta elde edilen yoğunluk olarak tanımlansa da bu, sınırlı anlam taşımaktadır. Çünkü yoğunluğun basınca göre değişimi doğrusal değildir ve yüksek yoğunluğa sahip malzeme üretimi için 465 MPa çok düşük bir basınç değeridir.

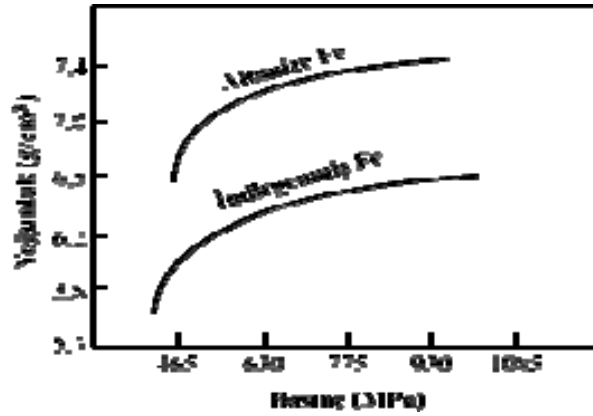
Sıkıştırılabilirliği tanımlamak için diğer bir yöntemde aşağıdaki değişkenlerden yararlanılmaktadır.

$$\text{Yoğunlaşma parametresi} = \frac{\text{Parça yoğunluğu} - \text{Görünür yoğunluk}}{\text{Teorik yoğunluk} - \text{Görünür yoğunluk}} \quad 2.1$$

Buradaki parça yoğunluğu herhangi bir parça için olabilir. Yapılan ölçümler, görünür yoğunluğun artmasıyla sıkıştırılabilirliğin arttığını, düşük basınçlarla bile oldukça

yüksek yoğunlaşma sağlanabildiğini, yüksek basınçlarda yoğunluk artışının fazla olmadığını ve sıkıştırılabilirliği değerlendirebilmek için yoğunluk-basınç eğrilerine bakmak gerektiğini göstermiştir.

Şekil 2.11’de iki tip demir tozunun basınç ve yoğunluk ilişkisi verilmiştir. Burada, normal demir tozu ile yüksek sıkıştırılabilirliğe sahip demir tozu arasındaki fark görülmektedir.



Şekil 2.11. Demir tozları için basınç-yoğunluk eğrileri [21].

Toz metalürjisiyle parça üretiminde, görünür yoğunluğu yüksek tozların kullanılması daha uygundur. Böylece daha yüksek parça yoğunluğu elde edilebilir. Bunun tanımı için 'sıkıştırma oranı' kullanılır. Sıkıştırma oranı, gevşek toz hacminin, bu tozdan yapılan parça hacmine oranıdır. Çoğu kez düşük sıkıştırma oranı tercih edilmektedir. Böylece kalıp boşluğu ve takım boyutları küçülmekte, takımın kırılma ve aşınma riski azalmakta, pres hareketi azalmakta ve kalıbın daha hızlı doldurulmasıyla hızlı üretim sağlanmaktadır [21].

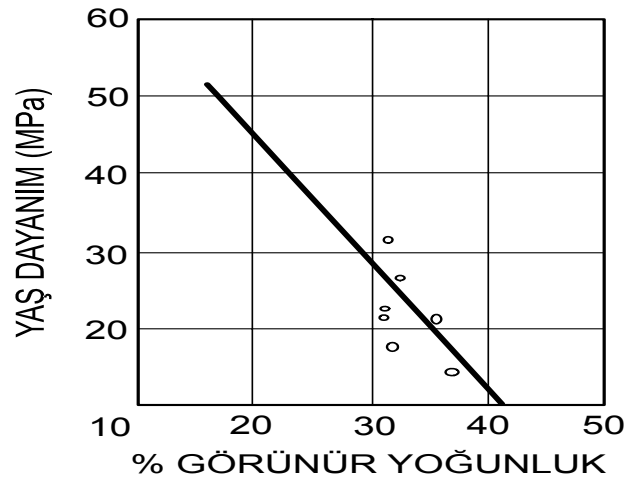
Sıkıştırmaya etki eden bazı faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Metale veya alaşımların tabii sertlikleri: Bazı metaller fazla miktarda soğuk işlem sertleşmesi eğilimindedirler. Presleme sırasında tozlarda deformasyon meydana geldiğinden tozun işleme sertleşme özelliği sıkışabilmeye çok etki eder.
- Tane şekli genellikle ne kadar düzensiz olursa onun sıkıştırılabilirliği de o kadar düşük olur

- c) İç gözeneklilik: Bir toz içindeki küçük iç gözeneklilik presleme esnasında kapalı gözeneklerin olmasına sebep olur ve taneler içinde hava hapseder. Bu nedenle taneleri gözenekli olmayan tozlar daha yüksek sıkışabilme özelliğine sahiptir.
- d) Tane boyutu dağılımı: Eşit boyut dağılımlı tozlar nispeten düşük sıkışma özelliği gösterirler. En fazla boşluğu elde eden tane boyut karışımları yüksek sıkıştırma özelliğine sahiptir.
- e) Ametallerin varlığı: İndirgenmemiş oksitler gibi ametaller sert ve düşük özgül ağırlıkta olduklarından sıkıştırılabilmeyi azaltırlar.
- f) Katı yağlayıcıların kullanımı: Metal tozlarının preslenmesine yardım etmesi için karıştırılan katı yağlayıcılar hafif ve fazla yer kaplamalarından dolayı sıkışabilmeye etki ederler [21].

Toz metalürjisi biriketleri için önemli özelliklerden biri de, yaş dayanımlarıdır. Gözenekler biriketlerin kesit alanını azalttığı için mukavemeti düşürmektedir. Ayrıca gözenekler, stres yoğunlaşmasına ve çatlak oluşmasına neden olurlar. Bu nedenle toz biriketlerin mukavemetleri %100 yoğun biriketlerden çok düşüktür. Biriketleme tane boyutu şekli ve taneler arası sürtünme gibi değişik toz karakterlerine bağlıdır. Yağlayıcı ve biriket boyutları da biriketlemeye etki eder. Parçaların ham mukavemeti tanecik yüzeylerindeki düzensizliklerin mekanik bağlanması ile meydana gelir. Sıkıştırma esnasındaki plastik deformasyon mukavemeti arttırmaktadır.

Genellikle toz yüzey alanının artışıyla ham mukavemet de artar. Bu, tane yüzey pürüzlülüğünün arttırılması ve tane boyutunun azaltılması ile gerçekleştirilebilir. Bu özellikler aynı zamanda görünür yoğunluğu azaltmaktadır. Şekil 2.12 demir tozları için görünür yoğunluğa bağlı ham mukavemetin değişimini göstermektedir [28].



Şekil 2.12. Demir tozları için görünür yoğunluğa bağlı ham mukavemet [28]

Oksitlerin ve diğer yabancı maddelerin azaltılmasıyla da ham mukavemet artar. Ham mukavemete, ham yoğunluk ve sıkışabilirlik gibi değişkenler de etki etmektedir. Ham yoğunluk veya sıkıştırma basıncı, mekanik iç bağlanmanın esası olan tane hareketi ve deformasyonuna yardım eder. Sıkıştırma basıncı arttırıldıkça buna bağlı olarak ham mukavemet de artar [28].

2.6.2. Tozların kimyasal özellikleri

Metal tozların en önemli kimyasal özellikleri bileşim ve saflıklarıdır. Saflıkları, kimyasal analizle tayin edilebilir sinterlenmiş cisimlerin imalatına ve bilhassa özelliklerine birinci derecede tesir eder. Metal tozlarının saflığı büyük ölçüde maddelerin saflığına bağlıdır. Mesela kendi oksitlerinin hidrojenle redüklenmesiyle elde edilen volfram, kobalt ve demir tozlarının saflığı, pratik olarak kullanılan oksitin saflığındandır.

Oksijen ve karbon gibi gayri safiyetlerin malzeme içinde ne şekilde buldukları da önemlidir. Örneğin oksijen, oksit levhaları, erimiş oksit ve absorbe edilmiş gazlar halinde bulunabilir. Oksitlerin redüklenmesi ile hazırlanan metalsel tozlar genellikle muntazam oksit kalıntıları ihtiva ederler. Elektroliz, granülizasyon veya pülverizasyonla elde edilen tozlardan oksijen genellikle oksit kalıntıları halinde

bulunur. Karbon ise serbest karbon(grafit), karbür veya katı solüsyon hallerinde bulunur.

Mekanik olarak hazırlanmış metal tozları öğütücülerden ileri gelen gayri safiyetler ihtiva ederler (demir, manganez, karbon gibi). Elektrolizle hazırlanmış metalsel tozlar çok saftırlar. Toplam gayri safiyetleri % 2'yi geçmez. Karbonil tozların ihtiva ettikleri oksijen ve karbon miktarı % 1,5 kadar yüksek olabilir. Bu gayri safiyetler tozun bir ön ısıtma işleminden sonra sinterlenmesi ile ortadan kaldırılabilir. Demirde bulunan kükürt, fosfor, manganez, silisyum gibi gayri safiyetler tozlarda bulunmazlar.

Birçok hallerde tozlarda bazı gayri safiyetlerin bulunmasına müsaade edildiği gibi; sinterlenen malzemenin tozlarına yabancı maddeler de katılabilmektedir. Örnek olarak elektrik ampullerinde kullanılan volfram tozuna toryum veya alüminyum oksit katılması gösterilebilir.

Bütün kimyasal özelliklerin tozların sinterlenmesinde önemli tesirleri vardır. Bu nedenle etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekir.

İlave olarak katılan malzemelerin miktarının artmasıyla da ham mukavemet azalır. Demire grafit veya yağlayıcı ilavesi gibi bazı alaşım elementleri biriketlerin ham mukavemetlerini azaltabilir. Metal tozuna yağlayıcı katılarak yapılan biriketlerin ham mukavemetleri, yağlayıcı katılmadan yapılanlardan epeyce düşüktür [11].

BÖLÜM 3. TRIBOLOJİ

3.1. Sürtünme ve Aşınmanın Önemi

Triboloji, birbirine göre izafi hareket yapan ve temasta olan yüzeylerde sürtünme aşınma ve yağlama konuları ile bunlara bağlı konuların inceleme dalıdır. Yeni bir bilim dalı olup 1967 'de ortaya çıkmıştır. Esas olarak Yunanca bir terim olan "TRIBOS" kelimesinden türetilmiş olup (ovalama, kaydırma), disiplinler arası bir bilim dalıdır [29].

Çok sayıda yapı elemanı sürtünmeli ya da kaymalı zorlamaya maruz kalır. Bu sırada meydana gelen aşınma, parçaların ömrünü ve güvenilirliğini sınırlar. Tekniğin ne sahasında malzemelerin sürtünme özelliklerinden ve sürtünme kuvvetlerinden faydalanılarak çeşitli konstrüksiyonların gerçekleştirildiği ve çok çeşitli görevlerin yerine getirildiği görülmektedir. Bu görev, kavramalarda olduğu gibi bir güç nakli frenlerde olduğu gibi hareke; halinde bulunan bir makine'nin kinetik enerjisinin alınarak durdurulması yani bir gücün yutulması veya sevk ve hareke; silindirlerinde olduğu gibi bir hareketin iletilmesi gibi çok çeşitli hareketlerde olabilir [30].

Aşınma çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı esnasında kırılma kadar tehlikeli bir problem olmasa bile, çok büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerde aşınma nedeniyle gayri safi milli hâsılanın (GSMİİ) % 7'sine eşdeğer bir harcamanın yapıldığı tahmin edilmektedir [30,4].

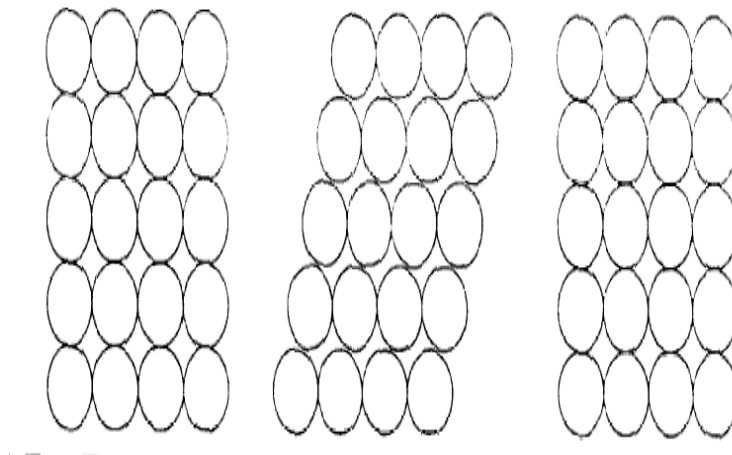
3.2. Sürtünme

Genel anlamda sürtünme: temas halindeki yüzeylerin ve birbiri üzerinde hareket eden ya da, hareket ihtimaline karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır [4,31].

Hareketin cinsine göre sürtünme; kayma, yuvarlanma veya kayma yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olabilir. Birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasında yağlayıcı madde konulur, konulmaması bakımından da, temas yüzeylerinin durumu göre, kuru, yarı sıvı ve sıvı sürtünme olarak üç halde de incelenebilir [29,32,33].

Leonardo da Vinci gibi birçok bilim adamı, kuru sürtünme ile ilgilenmişlerdir. Çoğu araştırmacılar yüzey pürüzlülüğü, adhezyon, elastisite veya kuru sürtünme boyunca yüzey geçişleri gibi kuru sürtünmenin bir tek parametresi ile ilgilenmişlerdir [34]. Son zamanlarda sürtünmenin meydana gelme nedenleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Sürtünmenin sebebi; bir yüzeydeki atomların diğer yüzeydeki atomlar üzerinde hareket ettiği zaman katı yüzeyin kayması esnasında meydana gelen kafes hareketidir. Çünkü bir yüzeyin diğer bir yüzey üzerinde hareketi sonucunda mekanik enerjinin bir bölümü ses dalgaları ve ısıya dönüşür. Birbirleri ile temastaki her katı malzemenin kristal kafesi atomik düzeyde denge durumundadır. Sürtünen çiftlerden birine kavına gerilmesi uygulandığında her kafes elastik olarak deforme olur [35]. Eğer kayma daha da artarsa ve kararsız duruma gelirse atomlar yeni bir denge durumuna geri döner. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bütün deformasyon enerjisi yok olana kadar kristal kafes hareket eder [36].



Şekil 3.1. Kuru kayma boyunca kristal kafesin elastik deformasyonu.

3.2.1. Sürtünme kanunları

Sürtünme kanunlarının belirlenmesinde iki temel esas vardır. Bunlar büyük oranda uyumluluk gösterirler. Birinci kanun; temas eden yüzeyler arasında oluşan sürtünme kuvveti, görünür temas alanında bağımsızdır. İkinci kanun: sürtünme kuvveti, cisimler arasındaki normal yükü doğru orantılıdır. Böylece bir cisim diğeri üzerinde kayarken, eğer normal yük iki katına çıkarılırsa, sürtünme kuvveti de iki katına çıkar. Bu kural daha çok "Amontos" kuralı olarak bilinir ve ilk kez 1699 yılında Fransız bilim adamı Amontos tarafından çıkarılmıştır. Üçüncü kural olarak da kinetik sürtünme kayma hızından yaklaşık olarak bağımsızdır. Bu kuralın ilk ikisine göre uygulanabilirliği daha düşük değerdedir. Üçüncü kural Coulomb tarafından 1785 yılında açıklanmıştır [4].

3.2.2. Sürtünme teorileri

a) Mekanik kilitleme teorisi; 1699'da Amontos tarafından bulunan bu teoriye göre yüzeylerdeki girintiler ve çıkıntılar bir biri içerisine geçerler. Yüzeyleri hareket ettirmek için uygulanan kuvvetin pürüzleri kesecek büyüklükte olması gerekir.

Kesmeyi gerçekleştiren bu kuvvete sürtünme kuvveti denir. Bu teori sürtünmedeki enerji kaybını açıklayamamaktadır.

b) Moleküler çekim teorisi; Tomlinson tarafından ortaya atılan bu teoriye göre temas eden yüzeylerin molekülleri arasında bir bağ oluşur ve sürtünme kuvveti moleküller arası bağı yenen kuvvettir. Bu teori yapışkan aşınmanın anlaşılmasına yardımcı olan bir teoridir.

c) Elektrostatik kuvvetler; bu teoriye göre sürtünme iki karşı yüzeyde zıt elektrostatik yük birikmesine sebep olur. Bu şekilde meydana gelen zıt yükler arasındaki çekme kuvveti yüzeyleri birlikte tutar.

d) Kaynaklaşma, kesme-kazıma; 1950'de Bowder ve Tabor tarafından ortaya atılan bu teori deneysel yolla elde edilen değerlerle uyumlu sonuçlar vermektedir. Bu teoride birbiri üzerine bastırılan yüzeylerin temasta olan pürüzleri (asperitileri) yüksek basınçlar nedeniyle bölgesel olarak kaynaşır. Hareketi başlatabilmek için kaynaşan noktaları kesmek gerekir. Eğer iki yüzeyden biri diğeri göre sert ise sert

yüzeyin asperitileri yumuşak yüzeye gömülür. O halde de hareketi başlatabilmek için sert yüzeyin yumuşak yüzeyi kazınması gerekir.

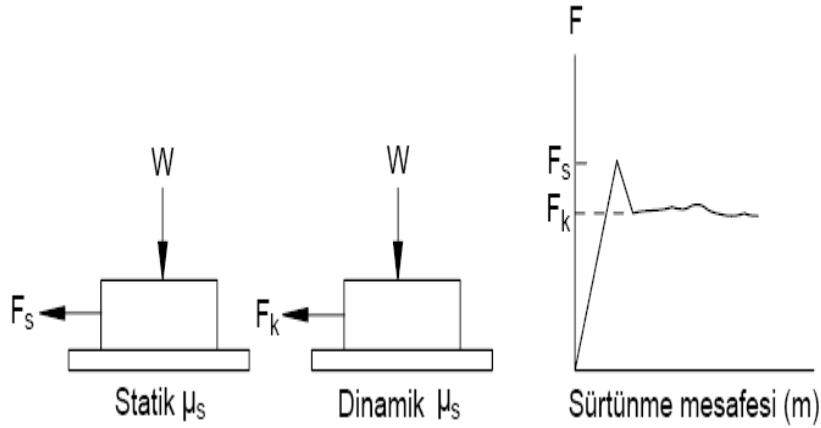
Yapılan ölçümlerde taslanmış iki yüzeyin gerçek temas alanının görünen toplam yüzeyin çok küçük bir miktarı olduğu görülmüştür. Teorik olarak ilk değme halinde en yüksek üç noktaca oturma olur. Bu noktaların elastik ve plastik deformasyonu sonucu değme alanı genişler ve diğer tepelikler birbiri ile temas eder. Yüzeyleri bastıran kuvvetin büyüklüğü kuvvete bağlı olarak, yüzey teması gittikçe genişler ve sonunda bir denge oluşur [37].

3.2.3. Sürtünme katsayısı

Sürtünme katsayısı TS 555'e göre, disk veya kampana ile disk veya kampana fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır. Yine TS 555'e göre sürtünme katsayısı, sıcak ve soğuk sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Soğuk sürtünme katsayısı, aşınma deneyi esnasında 100, 150 ve 200 °C'de ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Sıcak sürtünme katsayısı ise, 300, 350 ve 400 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır.

Bilindiği gibi iki malzeme birbiri ile temas edecek şekilde yerleştirilirse, malzemelerin birbiri üzerinde kaymasını sağlamak için uygulanan kuvvete dik yönde olacak şekilde bir sürtünme kuvveti (direnç) oluşur.

Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet (F_n) arasında; $F_s = \mu_s \times F_n$ bağıntısı mevcuttur. Burada, μ_s statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur (F_k). Bu durumda; $F_k = \mu_k \times F_n$ ilişkisi geçerlidir. Burada $\mu_k < \mu_s$ kinetik sürtünme katsayısıdır. Şekil 3.2' de statik ve dinamik sürtünme katsayıları görülmektedir[26,33,38]

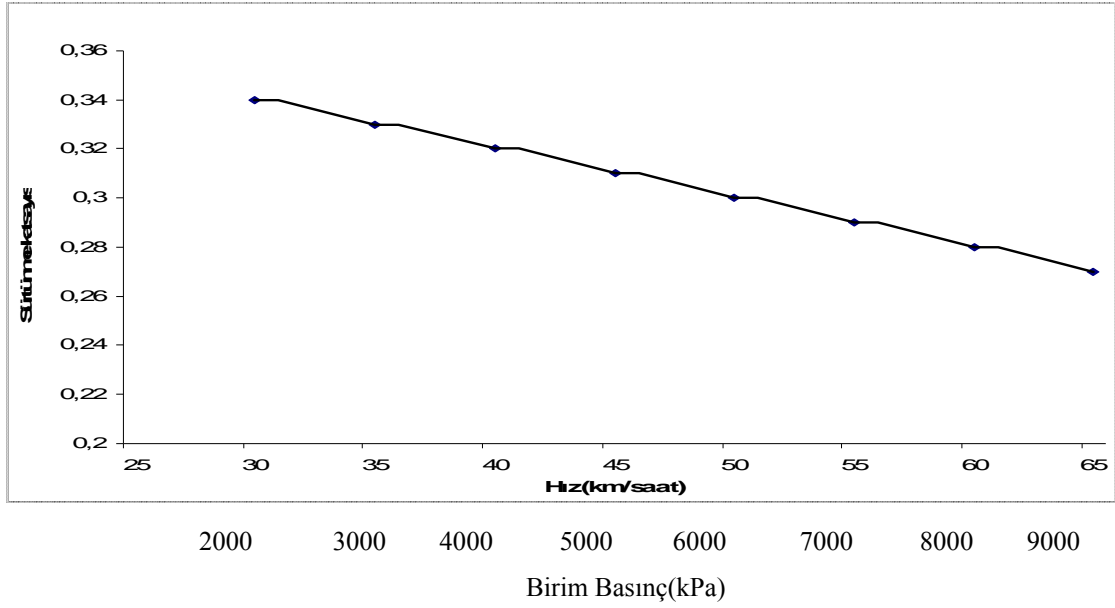


Şekil 3.2. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları [39].

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, sürtünme statik veya dinamik olarak tanımlanabilir. Statik sürtünme katsayısı, sıfır hızındaki iki yüzeyin sürtünme değeridir. Dinamik sürtünme katsayısı ise, sıfırdan büyük hızlarda ölçülen sürtünme değeridir. Sürtünme katsayısı, sürtünme hızı, basınç ve sıcaklık gibi değişkenlere bağlıdır [40]. İki yüzey arasındaki sürtünme hızının artmasıyla sürtünme katsayısı düşmektedir. Uygulanan basınçta sürtünme katsayısı üzerinde benzer bir etki gösterir.

Islak balatalarda yüzey sıcaklığının $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerine çıkmasıyla sürtünme katsayısında önemli miktarda düşme olacaktır. Bu sıcaklık genelde “bozunum sıcaklığı” olarak anılır. Islak balatalarda genellikle aşınma hızları düşüktür [40,41,42].

Kuru balatalar, ıslak olanlara göre daha basit ve hafiftir. Şekil 3.3 basınç ve hızın, otomobil disk freni dinamik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Islak balatalarda olduğu gibi dinamik sürtünme katsayısında artan basınçla sürtünme katsayısında düşme meydana gelmektedir.



Şekil 3.3. Kuru balatada basınç ve hızın sürtünme katsayısına etkisi.

Pratikte sürtünme denilince akla gelen kinetik sürtünmedir. Aşınmada, enerji kaybı ve sıcaklık artışı gibi olaylar sürtünme sebebiyle oluşmaktadır. Bu duruma göre, uygulama alanlarını göz önünde bulundurarak sürtünmenin hem istenen hem de istenmeyen bir olay olduğu söylenebilir. Fren, kavrama ve sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında istenilen bir olay olduğu için, sürtünme artırılmaya çalışılır. Oysa, diğer izafi hareket yapar bütün sistemlerde sürtünme islenmeyen bir olaydır ve azaltılması istenilir [4].

Buna göre sürtünme katsayısı (μ) sürtünme kuvvetinin değerini belirler. Sürtünme katsayısı, $0,001 < \mu \leq 1,0$ değerleri arasında değişir. Vakumda çok temiz yüzeyli metallerin birbirleri üzerinde kaydırılması sırasında sürtünme katsayısı $\mu > 1,0$ değerindedir. Çok hafif yüklü bir rulmanda ise $\mu = 0,001$ değerindedir. Birçok malzemenin havada birbiri üzerinde kayması durumunda sürtünme katsayısı ($0,1 < \mu < 1$) arasındaki değerlerde, yani daha dar bir aralıktaki değerlerdedir [39].

3.3. Aşınma

Birbirine göre bağlı hareket yapan ve aynı zamanda temasta olan iki yüzeyden küçük parçacıklar kalkar. Kalkan bu parçacıkların gitmesi ile aşınma meydana gelir.

Mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının ömürlerine bu aşınmanın büyük etkisi vardır. DIN 50320'de aşınma cisimlerin yüzeylerinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin koparak ayrılması nedeni ile istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir şeklinde tarif edilir [43].

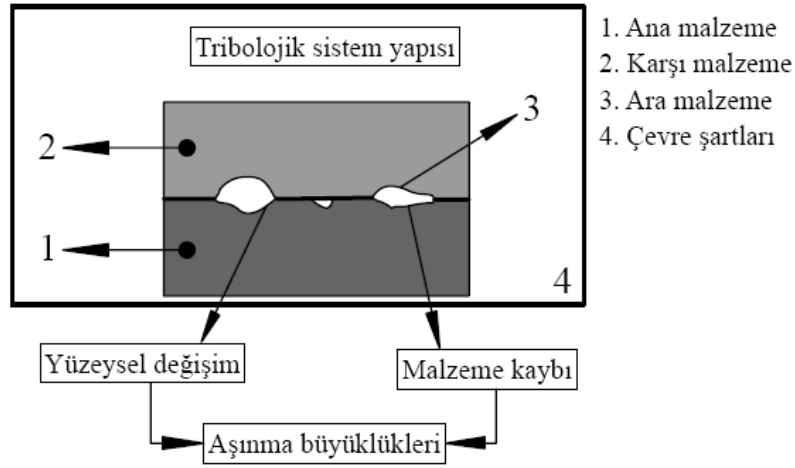
Aşınma mekanik, kimyasal veya elektro-kimyasal etkenlerin tribo-sistem içinde etkileşimleri ile meydana gelir. Aşınma iş sertleşmesi, oksitlenme, metal transferi, faz değişikliği, yağ ve kir filmleri gibi çok sayıda olaya bağlıdır. Pek çok malzeme çiftinin sürtünme katsayısı 0.1 ile 1 (μ) arasında değiştiği halde aşınma hızları çok farklı değerlerde olmaktadır. Mühendislik malzemelerindeki yıpranmanın aşınma sayılması için;

- a) Mekanik bir etkinin olması,
- b) Sürtünmenin olması,
- c) Yavaş fakat devamlı olması,
- d) Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- e) İsteğimiz dışında meydana gelmesi gerekir.

Bu şartlardan biri sağlanmıyorsa meydana gelen yıpranma aşınma değildir [44].

Tribolojik sistem, karşılıklı etkileşen elemanlarda hız, ısı şartlar ve yükün etkisi ile sonuçlanan aşınma olayını inceler. Tribolojik sistemi, Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi :

- ana malzeme (aşınan)
- karşı malzeme (aşındıran)
- ara malzeme
- yük, hareket (çevre şartları) elemanlarından meydana gelir [39,45,46].



Şekil 3.4. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi [4,39].

Aşınmanın incelendiği eleman esas sürtünme elemanıdır. Karşı eleman katı, sıvı veya gaz halinde olabilir. Eğer ortam vakumlu ise iyi temizlenmeyen yüzeylerde yağlayıcı özellik gösteren ara maddeler olabilir. Bu haldeki sürtünmeye teknik kuru sürtünme denir. Vakumsuz ortamda ise çevre devreye girer ve sistem elemanları sayısı üç tanedir. Eğer yağlama da var ise eleman sayısı dördür [37].

3.3.1. Aşınmanın temel unsurları

Aşınmanın başlaması ve devam etmesi için sürtünmenin olması gerekir. Sürtünen iki yüzeyin temas alanına mekanik etkileşim alanı denir. Bu alanın aşınmaya etkisi büyüktür. Yüzeylerin gerçek temas alanı görünen temas alanından çok küçüktür. Çok hassas işlenen yüzeylerde dahi yüzeylerde pürüzler bulunur. Yüzeylerin etkileşimi bu pürüzlerde olur. Pürüzler arası girintilerde ise etkileşim yoktur ve temas alanı dışında kalır. Yüklemenin şekli ve değeri temas alanını, dolayısıyla aşınmayı etkileyen iki önemli faktördür. Yükün değeri arttıkça gerçek temas alanı artar. İki cisim birbirine göre kayma, yuvarlanma ve kaymalı-yuvarlanma hareketi veya çarpma hareketi yapabilir. Hareketin yönü ve hareketin miktarı aşınma miktarına ve aşınma cinsine tesir eder. Ayrıca sıcaklığın da aşınma üzerinde büyük etkisi vardır [47].

3.3.2. Aşınma mekanizmaları

Bir tribolojik sistemin elemanları arasındaki karşılıklı zorlamalar neticesinde meydana gelen aşınmanın değişik türleri ve bundan dolayı da farklı sınıflandırılmaları gerekmektedir [39,46]. Aşınma yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, hız, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir [4].

Genelde üç tür aşınma vardır. Bunlar: adhesiv, abrasiv ve tribo oksidasyon aşınma olarak bilinen erozif aşınma türleridir [48]. Bunlardan başka fretaj aşınması ve yorulma aşınması da aşınma türü olarak söylenebilir [37].

Evensel bir aşınma türü olmadığı için, aşınmayı test edecek makine ve metot yoktur. Laboratuvar testleri, servis şartlarını taklit etmeyi amaçlar [47].

3.3.2.1. Yapışkan aşınma (Adhesiv)

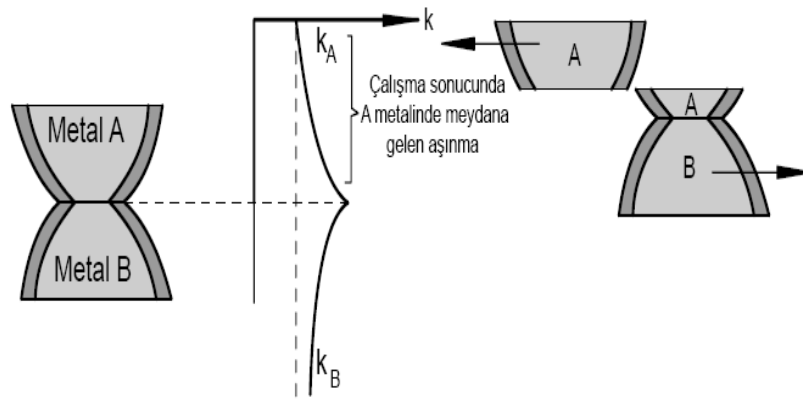
Yapışma aşınma olarak ta bilinen adhesiv aşınma en yaygın olarak rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle adhesiv aşınma hasarlarının hazırlayıcı etkisi bulunmaz [4].

Bu aşınma çok düşük hızlarda da meydana gelmekte olup, uygulamada daha çok yüksek hız ve yüklerde görülen bir aşınma tipidir. Temasta olan yüzeyler birbirlerini pürüzlü noktalarda etkilerler. Gerçek temas alanı çok küçük olduğundan yüzeylere uygulanan yükün etkisi ile temas eden yüzeylerde temas artar. Temastaki pürüzler basıncı taşıyamayacak duruma geldiğinde akma sınırı aşılır ve plastik deformasyon meydana gelir [49].

Eğer malzemenin plastik olma kabiliyeti yüksek ise mikro adhezyon alanları hızlı bir şekilde temas yüzeyine tamamen yayılır. Malzeme molekülleri birbiri ile temasa geçerek temas noktalarında kaynak bağları meydana gelir. Yatay bir kuvvet ile yüzeyler birbirine göre hareket ettirilmek istenirse kaynak olan noktalar kesilebilir. Eğer kesilme tam ara yüzeyde gerçekleşir ise aşınma meydana gelmez. Eğer kopma

yüzeylerden birinde gerçekleşir ise diğer yüzeye malzeme transferi olur. Sürtünmenin devam etmesi halinde transfer olan malzeme kopmak sureti ile aşınma ürününü meydana getirir [33,37].

Şekil 3.5'de görüldüğü gibi A ve B atomları arasındaki yapışma yeteri kadar iyi ise, yumuşak olan A metalinden kopan parçacıklar taşınacaktır. Eğer, A ve B malzemeleri aynı ise, aşınma her iki yüzeyde de meydana gelecektir. Tablo 4.1.'de metallerin yapışmasını (adhezyonu) etkileyen faktörler gösterilmektedir.



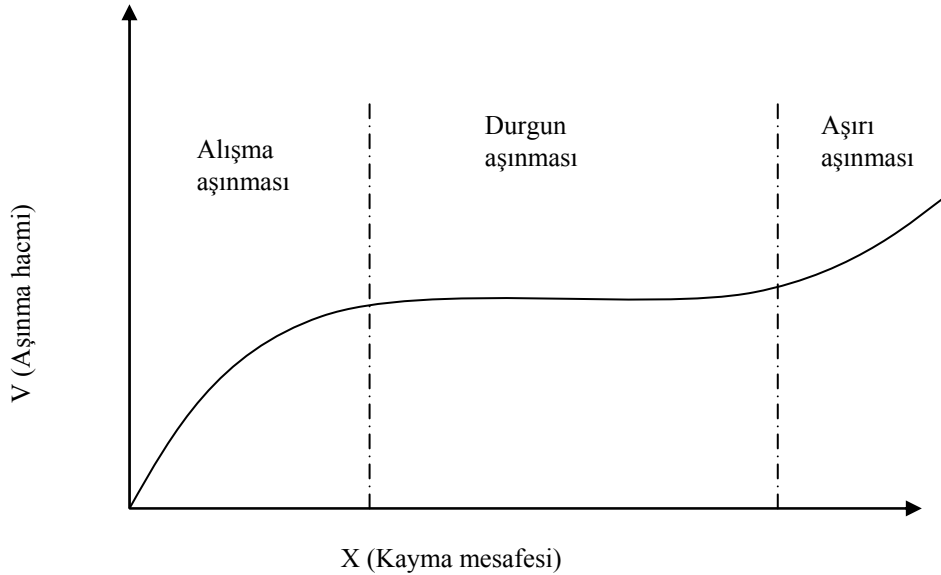
Şekil 3.5. Adhesiv aşınma [31].

Tablo 3.1. Metallerin yapışmasını etkileyen faktörler [4].

| Özellik | Tür ve Büyüklük | Adhezyon Katsayısı |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 1. Yüzeye yardımcı bir madde sürme | Yüksek | Düşük |
| 2. Kristal sistemi | Kübik | Yüksek |
| | Hegzegonal | Düşük |
| 3. Deformasyon sertleşmesi katsayısı | Yüksek | Yüksek |
| 4. Saflık | Yüksek | a |
| 5. Sertlik | Yüksek | Düşük |
| 6. Elastik Modül | Yüksek | Düşük |
| 7. Ergime sıcaklığı | Yüksek | Düşük |
| 8. Yeniden Kristalleşme sıcaklığı | Yüksek | Düşük |
| 9. Atomik yarıçap | Düşük | Düşük |
| 10. Yüzey enerjisi | Yüksek | b |

a) Hegzahonal sıkı paket yapıda olan Zn metali üzerinde çalışılmıştır. Büyük oranlarda bir değişimin olmadığı görülmüştür. Aksine yüzey merkezli yapıda olan Cu üzerindeki çalışmalar büyük ölçüde etkinin varolduğunu göstermiştir.

b) Fiziko-kimyasal olarak yapılan araştırmalara bağlı olarak yüksek yüzey enerjisinin yüksek adhezyona sebep olacağı söylenmektedir. Mekanik açıdan yüksek yüzey enerjili malzemeler oldukça serttir ve düşük adhezyon katsayısına sahip malzemelerdir. Alışma aşınması; Şekil 3.6' de görüldüğü gibi üç aşınma bölgesinden meydana gelmektedir [37].



Şekil 3.6. Adhesiv aşınmada aşınma bölgeleri.

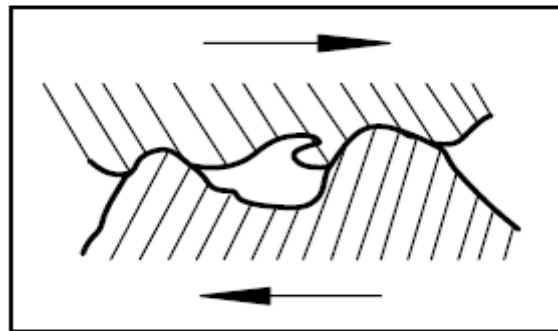
Yüzeyler hareket ettirildiğinde başlangıçta yüzeylerin teması sivri tepeliklerde olduğundan yüksek gerilmeler meydana gelir ve aşınma hızla artar. Sivri noktaların düzleşmesi ile ve kopan partiküllerin yağlar tarafından uzaklaştırılması ile yüzey teması çok geniş bir alana yayılır. Dolayısıyla gerilme düşer ve aşınma miktarı azalır. Aşınmanın başlangıcına alışma aşınması (rodaj) denir. Bu aşınma halinde yüklerin yüksek olması tehlikelidir. Tüm yağlamak sistemlerde alışma aşınması uygun şartlarda gerçekleşir ise faydalıdır. Alışma aşınması ile aşınma miktarı atılarak yüzeyler düzgünleşir. Dolayısıyla temas alanı artarak yük düşer. İkinci bölgedeki aşınmaya durgun aşınma denir ve uzun süre önemli bir aşınma meydana gelmez. Tezgah ve makinelerin ömrünü bu aşınma tayin eder. Durgun aşınma sonunda aşırı

aşınma meydana gelir. Bu aşınma durumunda malzeme çiftleri birbirine tamamen yapışabilir [29].

3.3.2.2. Kazıma aşınma (Abrasive)

Sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sen bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasar olarak tanımlanır. Bu sert maddeler, yüzeylerde taşlama işleminde olduğu gibi bir malzemeden parça kopartılması olayı ile benzer işlem gösterirler [31].

Yüzeylere baskı kuvveti uygulandığı zaman sert yüzey üzerindeki asperitiler yumuşak yüzeye gömülür Dolayısıyla yüzeyleri hareket ettirmek için bir kuvvet uygulandığı zaman asperitiler yumuşak yüzeyi kazırlar. Aşınma yumuşak ve sert iki yüzey arasında olduğu gibi sert taneciklerin yüzey üzerinde akması ile de gerçekleşir. Şekil 3.7.'de tipik bir abrasiv aşınma görülmektedir. Üç cisimli aşınmada yüzeyler arasındaki sert tanecikler tam bir kayma hareketi yapmaz, bazen de yuvarlanırlar. Bu nedenle aşınma daha yavaş olur. Metalin (aşınan malzeme) sertliği (Hm) ve aşındırıcının sertliği (Ha) olmak üzere H_m/H_a bir kriter olarak kullanılır. $H_m/H_a < 0.8$ ise metalde çok aşırı kazıma aşınması meydana gelir. Talaşlı imalatta islenen durum budur. $H_m/H_a > 0.8$ ise kazıma aşınması düşüktür. $H_m/H_a \geq 1$ ise metalde kazıma aşınması meydana gelmediği kabul edilir [50].



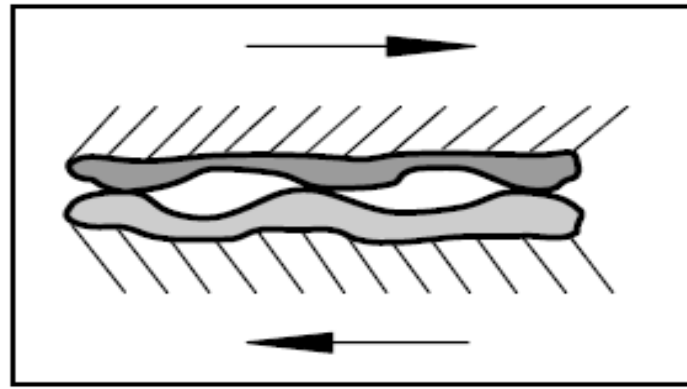
Abrasiv Aşınma

Şekil 3.7. Abrasiv aşınma.

Kayma ve abrasiv aşınma arasındaki fark çok belirgin değildir. Her ikisi de temiz yüzeylerde partikül (talaş) oluşmadan önce, meydana gelen deformasyona bağlı olarak bir aşınma alanı halkasının parçalarıdır [51]. Kayma aşınmasının ilerlemesine bağlı olarak abrasiv duruma göre değişik bir aşınma boyutuna geçebilir. Örneğin. Kaymanın ilk aşamalarında oluşan partiküller her iki kayma bileşenini de aşındırabilir. Sert partiküllerin boyutunun kritik bir değerin altına düşmesine göre abrasiv aşınmadan kayma aşınmasına bir geçiş olduğu belirtilmiştir [52].

3.3.2.3. Erozyon aşınma (Erozif)

Temas yüzeylerinden en az birinin çalışma ortamında korozyon'a uğraması ve izafi hareket sebebiyle meydana gelen korozyon tabakasının silinerek alınması ve bunun devamlı olarak tekrarı ile meydana gelen aşınmadır. Sert olan ve koparak sürtünme yüzeyleri arasına giren parçacıklar abrasiv bir tesir yaparak aşınmayı artırıcı rol oynarlar [38]. Şekil 3.8.'de tribo oksidasyon aşınma görülmektedir.



Erozif Aşınma

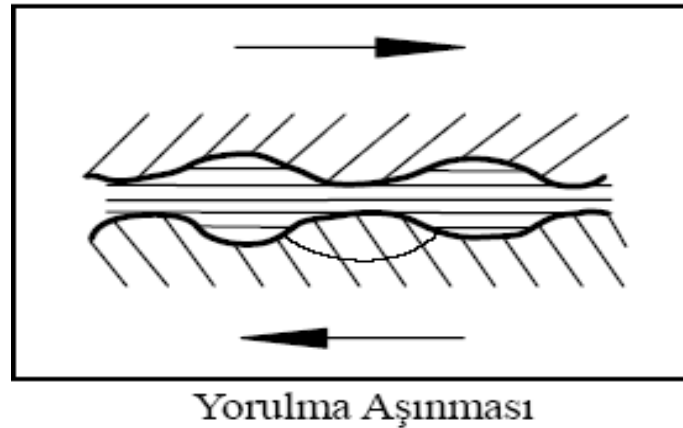
Şekil 3.8. Tribo oksidasyon aşınması (33).

Katı tanecik erozyonunda: katı bir cisim bir yüzeye dik olarak çarparsa ikinci yüzeyde plastik deformasyon veya kırılma meydana gelir. Çarpılan yüzey sünek ve çarpan cisim çok sert ise yüzeyde çukur oluşur. Malzeme kaybı meydana gelmeyebilir. Darbeler devam ettiği takdirde yorulmadan dolayı malzeme kaybı başlar. Erozyon aşınması tanecik darbe hızı arttıkça aşınmada lineer bir değişim gösterir. Sıvı tanecik erozyonunda ise; basınçlı sıvı jetleri katı cisim gibi davranır.

Sıvı jetleri yüzeye çarptığı zaman ses dalgalan oluşur ve bunlar çekme-basma şeklinde yüzeyde yayılır. Sonuçta yüzeylerde plastik deformasyon ve pürüzler oluşur [43].

3.3.2.4. Yorulma aşınması

Temas yüzeylerinde oluşan küçük çukurcuklar halinde kendini gösterir. Genellikle dişli çarklar, kamlar, rulmanlar gibi makine elemanlarında yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde oluşur ve zamanla yorulma sonucu zararlı hale gelirler [32]. Bu elastik ve plastik olayların devam etmesi sonucu mikro çatlaklar oluşun çatlak büyümesi olur ve aşınma parçacıkları kopar. Burada harcanan enerji, malzemede belirli ölçüde tahribat yapar. Mesela, fazla zorlanan balata malzemelerindeki sürtünme ısısını almak için endotermik işlem kullanımı (balata soğutma işlemi) gereklidir [37]. Şekil 3.9'da yorulma aşınması görülmektedir.



Şekil 3.9. Yorulma aşınması.

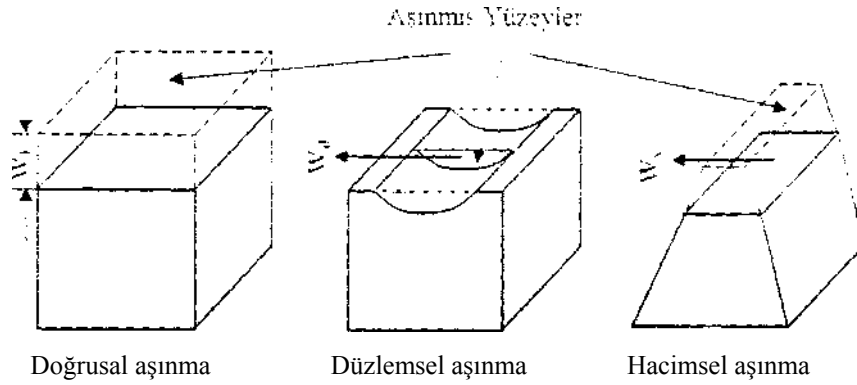
3.3.2.5. Fretaj aşınması

Küçük genlikli izafi hareket yapan iki yüzey arasında meydana gelen aşınmadır. İzafi hareket gel-git şeklinde olup genliği 20-400 μm olmalıdır. Fretaj aşınma kaybı çok azdır. Fakat yorulma çatlaklarının başlangıç yerlerini oluşturur. Hareket etmeyen makinelerde (kamyon ile taşınan otomobil), bilyeli

yataklarda titreşim var ise fretaj meydana gelir. Titreşim çok sert kuvvetler oluşturursa yüzeylerden birinde izler meydana gelir [44].

3.4. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, temas eden parçalardan birinde veya her ikisindeki hacim veya ağırlık kaybı esas alınarak yapılır. Aşınma doğrudan veya dolaylı ölçümlerle verilebilir. Aşınma deneyinde kullanılan deney sistemine bağlı olarak şekil 3.10'da doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınma söz konusudur [39].



Şekil 3.10. Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınma [39].

Endüstride kullanılan alet ve ekipmanlarda aranılan özelliklerden biri de servis ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyeti artırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde, ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model, basit geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir [4].

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

- a) Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhesiv (metal-metal) aşınmanın değerlerinin ölçüldüğü deneylerdir.
- b) Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma deneylerinin ölçüldüğü deneyler.

ASLE (American Society of Lubrication Engineers, 1976) tarafından yüz kadar deney sistemi belirtilmiştir. Ölçüm yöntemlerinden; ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop metotları aşağıda sırayla açıklanmıştır.

3.4.1. Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçüm yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınmaması, bu yöntemin dezavantajıdır. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-3} veya 10^{-4} gr, hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi ile yapılır. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı, (gr / km), (mg / m) ile ifade gibi bir birim alan için hesap edilecekse, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle, kullanılan malzemenin yoğunluğu ve dene}' numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek de bulunabilir. Bu tanımlara göre. en çok kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan bağıntı şudur [4].

$$W_a = \frac{\Delta G}{d \cdot M \cdot S} \quad (\text{mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$$

Burada:

W_a = aşınma oranı ($\text{mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$),

ΔG = ağırlık kaybı (mg),

S = kayma mesafesi (m),

M = yükleme ağırlığı (N),

d = aşınan malzemenin yoğunluğu (gr / cm^3),
olarak verilmiştir. Aşınma oranının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir. $W_r = \frac{1}{W_a}$ ($\text{N.m} / \text{mm}^{-3}$)

3.4.2. Kalınlık farkı metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımı ile $\pm \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir [4].

3.4.3. İz değişimi metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (Çapının) değişimi ölçülür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet vickers veya brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas pramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutundaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir [4].

3.4.4. Radyoizotop metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya α -parçacıklarıyla bombardıman edilerek, radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi yöntemin avantajıdır. Fakat ekonomik olmaması nedeni ile ancak özel amaçlarda kullanılabilir. Özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılan bir metod değildir [4].

BÖLÜM 4. OTOMOTİV FREN SİSTEMİ VE BALATALAR

4.1. Giriş

Fren sürtünme elemanları, hareket ile ortaya çıkan mekanik enerjiyi, balata tarafından absorbe edilen ısı enerjisine dönüştürmektedir. Fren bileşenlerinin başlıcaları dönen/hareketli parçalar tekerlek, aks, disk ya da kampana frenler gibi; sabit parçalar ise dönen parçalara baskı ya da yük uygulayarak, sürtünme kuvveti yoluyla yavaşlatma ve durdurma görevi üstlenen balatalardır.

Frenler temel olarak blok fren, kampana (band) fren, iç-pabuç fren ve bu çalışmanın kapsamında incelenen disk frenler şeklinde sınıflandırılabilir. Fren sistemi için geliştirilen, sürtünme malzemeleri olan balatalar, geniş bir aralıkta olacak olan fren pedal basıncına, araç hızına, sıcaklık, nem ve diğer çevresel şartlara karşı sürtünme kuvvetini/katsayısını sabit ve güvenilir tutacak şekilde üretilmeli ve dizayn edilmelidir.

Farklı fren durumlarının performansı, esas olarak balata malzemesinin kompozisyon ve mikro yapısı tarafından kontrol edilmektedir. Sürtünme malzemesi olarak tek bir malzemenin kullanımının yetersiz olduğunun anlaşılması ile bu tür ve bundan başka çeşitli uygulamalar için de çok fazlı kompozit yapıdaki malzeme geliştirilmektedir. Bu çok fazlı sürtünme malzemesi içindeki her bir bileşenin rolü, yoğun olarak çalışmakta ve daha iyi sürtünme performansı sağlamak amacıyla yeni katkı malzemeleri ilave edilmektedir.

Örneğin, kullanılan katkı malzemeleri arasında bağlayıcı olarak kullanılan reçine, malzemenin sürtünme özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. Genellikle termoset fenolik reçine bağlayıcı ve fiber takviyesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca dolgu

malzemeleri ve metalik partiküller de daha iyi sürtünme özellikleri için malzemeye ilave edilmektedir [3].

4.2. Taşıt Frenleri

Fren, hareket halinde olan aracı en kısa mesafede veya en az zamanda yavaşlatma veya durdurma işlemidir. Frenleme kuvveti, hareket halinde bulunan bir aracın hızını kesip yavaşlatmak veya durdurmak için uygulanan kontrollü bir kuvvettir. Frenleme esnasında balata dönmekte olan kampana/disk'e basınç uygulayıp sürtünme meydana getirir. Araç sürtünme kuvvetinin yavaşlatma etkisi ile kontrollü olarak yavaşlar veya durur. Hareket halinde bulunan her cisim kinetik enerjiye sahiptir. Yani kinetik enerji hareket halindeki cismin hızının karesi ile kütesinin çarpımının yarısına eşittir [1]. Frenleme; kontrollü gücün, hızı azaltmak, durdurmak ya da aracı sabit tutmak amacıyla iki yüzeyin sürtünme oluşturacak şekilde birbirine sürtünmesi ile kullanılmasını kapsamaktadır. Sürtünme temastaki iki yüzey arasında birbirlerine göre hareketlerine gösterilen direnç olarak belirtilmektedir. Balatalar, kampana ya da disk frenlerle temas ederek aracın hareketini etkileyen ve harcanan sürtünme malzemeleridir.

Fren performansındaki gelişmeler otomotiv endüstrisindeki gelişmelerin önemli bir kısmıdır. Yıllar boyu otomobillerin boyutlarındaki değişimler, araç ağırlığını etkilemiş, dolayısıyla yeni ve işlevsel frenlerin ve sürtünme malzemelerinin geliştirilmesi, otomobil taşımacılığı ve güvenlik açısından önemli ve çok çalışılır bir konu olmuştur [2].

Araçlardaki fren ekipmanlarının kararlı, tekrarlanabilir ve sıcak, soğuk, ıslak ve kuru ortamlar gibi farklı çevresel şartlarda etkin durdurma davranışına sahip olması gerekmektedir[1].

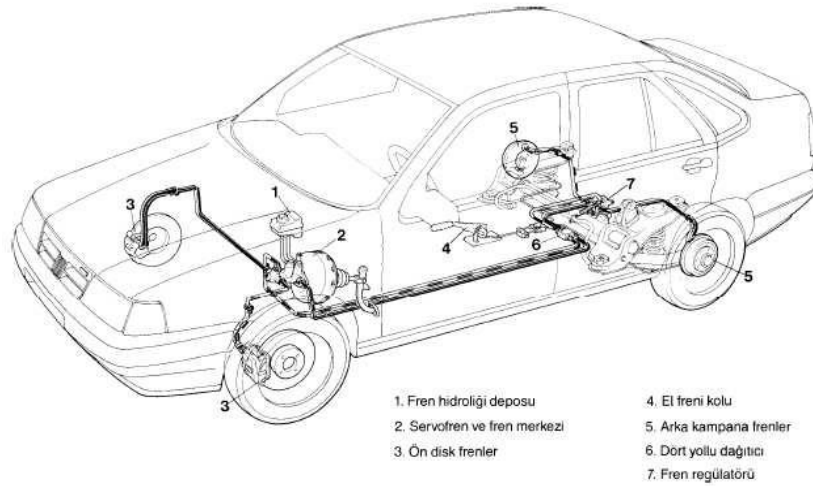
Otomotiv fren sistemi üç ana bölüme ayrılabilir [53]:

1. Rotor – tekerlek ile birlikte dönen kısımdır. Sürtünme çiftinin ilk parçasıdır. Çoğunlukla ve yaygın olarak kullanılan parçalar dökme demirden yapılırken, çeliğin

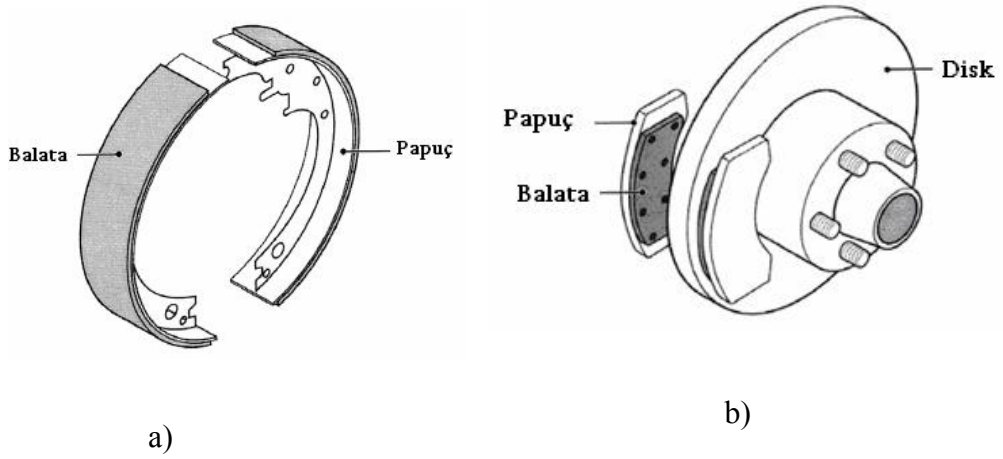
ve son yıllarda metal matriksli kompozit malzemelerin de fren disk malzemesi olarak kullanımı mevcuttur.

2. Balata – sürtünme çiftinin ikinci parçasıdır. Hidrolik piston yardımıyla diski sıkıştırarak, sürtünme ile kinetik enerjiyi ısıya çevirir.

3. Hidrolik sistem – hidrolik presten gelen fren kuvvetini fren balatasına iletir. Şekil 4.1.'de örnek bir otomobilin hidrolik fren sistemi, Şekil 4.2.'de ise kampana ve disk fren sistemleri görülmektedir.



Şekil 4.1. Bir otomobilin hidrolik fren sistemi [54]



Şekil 4.2. a) Kampana tipi fren, b) Disk tipi fren [2]

Taşıtlarda tekerlek freni olarak sürtünmeli frenler kullanılmaktadır. Genel olarak doğrudan doğruya tekerleğe bağlı olan bu frenler iki ana fonksiyonu yerine getirirler.

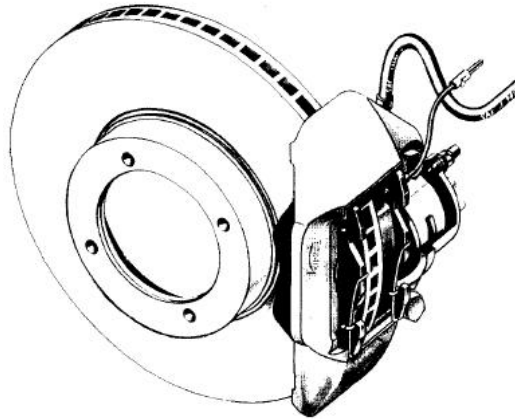
1. Fren momentinin oluşturulması,

2.Enerji değişiminin gerçekleşmesi (kinetik veya potansiyel enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesi ve bu ısının atılması) [54].

4.2.1. Disk frenler

Prensip olarak tekerlekle eş aksenli olarak monte edilmiş olan metal bir disk tekerlekle birlikte dönmeindedir. Semer adı verilen ve tekerlek askı kollarına bağlı olan bir parça diski genel olarak bir köşesinden kavrar. Ender olarak diski çepeçevre kavrayan semerler de mevcuttur. Semerin iç kısımlarında diskin iki yüzeyine yaslanan balatalar frenleme sırasında hidrolik basınç ile diski her iki yönden eşit kuvvetle sıkıştırırlar. Diskin semer tarafından örtülü olmayan kısımları hava akımlarına açık bulunduğundan kolayca soğutulmaktadır. Çamur ve balata tozları merkezkaç kuvvetle ya da hava akımı ile temizlenirler. Fren cevap süresini uzatan nem oldukça hızlı buharlaştığından cevap abuklaşır.

Disk kaba kirlenmelere karşı bir amurluk sacı ile korunmaktadır. Şekil 4.3.'te bir disk fren ve elemanları görölmektedir [54].



Şekil 4.3. Bir disk fren ve elemanları [54].

Diskli frenlerde ısının havaya iletilmesinin kolay olması ve her iki dönüş yönünde aynı frenlemeyi sağlamaları nedeniyle otomotiv alanında en çok kullanılan fren sistemidir.

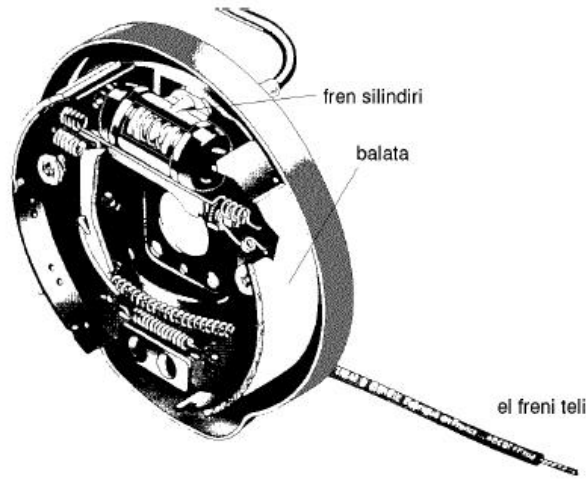
Diskler yüzeydeki yabancı maddelerden kolay kurtulur. Diskli fren balatasının disk

üzerindeki kuvvet dağılımı kampanalı fren tipine oranla daha kararlı ve daha homojendir. Yüksek hızlardaki frenlemede, ani kavrama eğilimi daha düşüktür.[1].

Günümüzde kullanılan frenlerde, fren sürtünme katsayısı genellikle $\mu = 0,3-0,4$ arasında değişmektedir. Balata yüzeyine gelen ortalama fren basınçları ise $P = 600-800 \text{ N/cm}^2$ arasındadır. Bu değer 1200 N/cm^2 ye kadar çıkabilir. [1, 54].

4.2.2. Kampanalı frenler

Kampanalı frenlerde fren yüzeyi silindriktir. Çeşitli tipleri olmakla birlikte karayolu taşıtlarının tekerlek frenlerinde içten pabuçlu olanlar kullanılmaktadır (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Kampanalı fren

Sürtünme malzemelerinin karşı yüzeyle iyi bir alışma göstermesi, atmosfer şartlarında yapısını koruması, değişik basınçlara karşı mukavim olması gerekmektedir. Ayrıca dış zorlamalara karşı sürtünme katsayısı değerinin ve dağılımının büyük sapma göstermemesi ve sıcaklık karşısında yapısının bozulmaması istenir [1]. Soğuma, kirlilik ve diğer birçok faktör göz önüne alındığında genellikle araçların ön frenlerinde disk tipi, arka frenlerinde ise kampana tipi frenler kullanılmaktadır. Sürtünme malzemesi olarak nitelendirilen balatalar kampana ya da disk frenlerle birlikte kullanılmaktadır. Fren disklerin de kullanılan tipine 'pad', kampana tipi frenlerde kullanılan tipine ise 'segment ya da strip (kabuk)' denmektedir. Ağır ticari araçlarda kullanılan tip ise 'blok' olarak

adlandırılır [55].

Disk frenlerde, balatalar diski karşılıklı olarak sıkıştırırlar. Balata-disk arasındaki sürtünme kuvveti balataların normal kuvvetine diktir ve etkilemez. Böylece frenleme kuvveti, iki parça arasındaki sürtünme katsayısı sabit olarak kabul edildiğinde, uygulanan yüke lineer olarak bağlı olacaktır. Bunu sonucu olarakta kampana frenlere nazaran daha üstün fren pedal hissi olur [53].

Fren sürtünme ve aşınma özellikleri, sıcaklığa, sürtünme hızına ve basınca bağlı olduğu gibi fren dizaynına ve balata kompozisyonuna da bağlıdır. Fren balataları aşınan element olarak kullanılmakta ve dolayısıyla sürtünme davranışını başlıca belirleyen malzeme olmaktadır. Yine de sürtünme çiftinin diğeri olan kampana ya da disk malzemesi balata sürtünmesini ve aşınmasını etkilemektedir. [55].

Kampana frenlerde ağırlıkla kampana sürtünme yüzeyine yük (tipik olarak 50–70%) uygulayan fren balataları ile içten genişleyen papuç kullanılır. Birçok otomotiv disk frenlerinde ise disk yüzeyine uygulanan yük (7–25 %) daha küçük bir orandır. Disk frenlerin açıkta olan yüzey alanları geniş ve daha iyi dizayn edilmiş olduğundan daha hızlı soğurlar fakat bu durumda da dışarıdan gelecek sıvılara ya da katı kirliliklere karşı korumasız kalırlar. [55]. Kampana frenler, Çevresel etkilere (su, toz, kirlilik v.s. gibi) karşı daha dayanıklıdır [53].

Diskli frenler oldukça verimlidirler ve aşırı ısınmadan doğan balata ile disk arasındaki sürtünme kayıplarına (fade) karşı dayanıklıdır. Aşırı ısınmalar, hem balatanın hem de kampananın sürtünme yüzeylerinde zamanla cam gibi bir parlaklık oluşturur ve frenleme etkisinde zayıflama meydana gelir.

Diskli frenler açık havaya açıktır ve daha küçük sürtünme yüzeylerine sahiptir. Diskli frenlerin nem ve dış kirliliklere açık oluşu şikâyet konusu olmakla birlikte diskli frenlerin kuru ve ıslak havada rahatlıkla çalıştıkları belirlenmiştir. Diskli frenlerde sürtünme yüzeyi çok dar olduğundan daha büyük frenleme kuvvetlerine ve basınçlarına ihtiyaç duyulabilir [1]

4.3. Sürtünme Malzemeleri(balatalar)

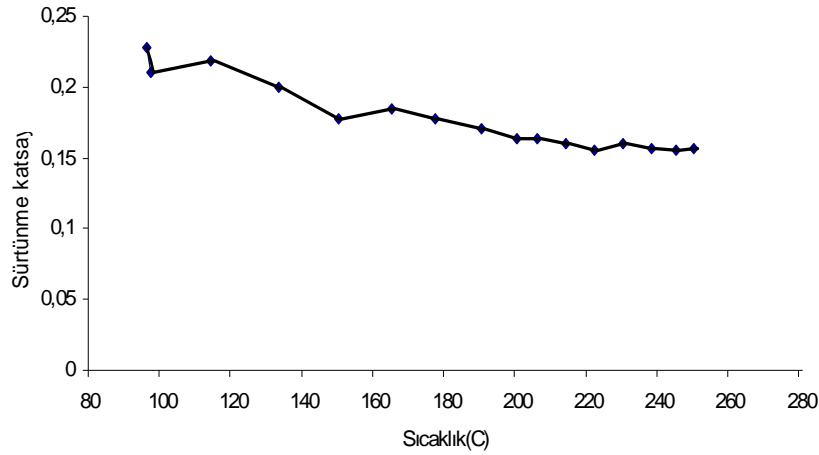
Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri mühendislikte yaygın olarak kullanılır. Bunlar ya sürtünme hareketinin iletimi, ya da frenleme ve yavaşlatma için kullanılır [40,42].

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. Çok defa sürtünme katsayısının yüksek olmasından ziyade zorlanmalar altında ve özellikle yüksek sıcaklıklarda mümkün olduğu kadar sabit bir değeri muhafaza etmesi ve az bir dağılma göstermesi esas özelliği teşkil eder. Bundan başka aşınma miktarının az olması, karşı malzemenin çizilip hasara uğratılmaması, mekanik mukavemetin de maruz kalınan zorlamalara dayanabilecek değerde olması gerekir [61,33].

Türk standartlarında (TS). sürtünme malzemeleri (balatalar) için üç değişik standart hazırlanmıştır. TS 864 nolu standart debriyaj balataları için. TS 925 sürtünme kaplamaları adı altında, debriyaj balataları için kaplama malzemelerini sınıflandırmakta, TS 555 ise taşıtların fren balatalarını sınıflandırmaya yöneliktir [56].

Bilindiği gibi sürtünme esnasında yüzeylerin pürüzlülüğü ve enerji absorpsiyonu sonucu meydana gelen sıcaklık, sürtünme katsayısını önemli ölçüde etkiler, ısınan malzeme de sürtünme katsayısının düşmesine neden olur ve sistem görev yapamaz hale gelir.

Şekil 4.5. sıcaklığın kum balata üzerindeki etkisini göstermektedir. Fren sırasında sıcaklık artmakta ve sürtünme katsayısı düşmektedir [57].



Şekil 4.5. Kuru balatada sıcaklığın dinamik sürtünme katsayısına etkisi [57].

Metal esaslı sürtünme malzemelerinin (balataların) aşınma dayanımı ve yüksek ısı dayanımı. organik esaslı sürtünme malzemelerine (balatalarına) göre daha yüksektir. Hatta daha yüksek enerji absorbe edebilme kapasitesine sahiptir. Örneğin bazı boyutlardaki kavrama ve frenler için daha çok enerji absorbe edebilirler [58].

Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri uygulama alanlarına göre kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılabilirler [30,4].

Islak şartlarda, güç değişimleri ve otomatik iletimleri sağlayan kavramalar şeklindeki sürtünme elemanları yağ içine daldırılır. Kum şartlar altındaki sürtünme elemanları ise, (uçak frenleri ve standart kavramalar şeklindeki sürtünme elemanları) yağsız olarak direk kontak halindedir [58]. Islak balatalarda Tablo 4.1’de görüldüğü gibi ana madde bakır, kuru balatalarda ise, daha az bakır ve daha fazla demir kullanılır [40].

Tablo 4.1. Tipik ıslak ve kuru balata bileşimleri.

| | Cu | Fe | Pb | Sn | Zn | SiO ₂ | Grafit |
|-------|-------|-------|-----|-----|-----|------------------|--------|
| Islak | 65-75 | - | 2-5 | 2-5 | 5-8 | 2-5 | 10-20 |
| Kuru | 10-15 | 50-60 | 2-4 | 2-4 | - | 8-10 | 10-15 |

Fren balatalarında kullanılan sinter malzemeleri ayrıca bakır (bronz) asıllı ve demir asıllı olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Çoğunlukla performansı geliştirmek için organik ilavesi ile katı durum sinterlemesi olur. Bu durum istenen çok yüksek güçler için geliştirilmiştir. Örneğin, sinterlenmiş bronz ve mullit balatalar yarış arabalarında kullanılır. Grafit ile sinterlenmiş demir ağır iş makinelerinde, hem disk hem de kampana fren balataları için kullanılır [59].

Bu gruplar da ayrıca karışimsız, grafit karışımı, seramik karışımı olmak üzere aralarında sınıflandırılabilir. Genellikle seramik karışımı malzemeler, daha yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar, fakat ısı iletkenlikleri biraz daha azdır. Büyük uçaklarda demir asıllı veya özel balata alaşımları tercih edilir. Çünkü bronz asıllı malzemelerin 850 °C civarında yumuşamalarına karşılık, demir asıllılar 1100 °C'nin üzerine çıkabilirler [40]. Sürtünme malzemelerini (balataları) dört başlık altında toplamak mümkündür.

4.3.1. Polimer bağlı asbest esaslı malzemeler

Asbest esaslı malzemelerin kullanımı, hareketli sistemden ısı formunda enerji dağıtım problemlerinde ilk önemli ilerlemeyi temsil etmiştir. Gelişme, asbestin dayanımını ya da sürtünme özelliklerini artıran geliştirilmiş reçinelerle ilerlemiştir [60].

Asbest çeşitlerinin kimyasal bileşimi ve yapısı ayrı ayrıdır. Bunlardan tanınmış olanları, chrysotil, antophyllit, tremolit, actinolit ve krokydolittir. Bunlar çeşitli renklindedirler. İlk yapılan balatalar, örülmüş asbest malzemelerden olup asfalt ve reçine emdirilmişlerdir. Balatanın sürtünme katsayısı kullanılan asbest miktarına, ona karıştırılan dolgu maddelerine ve bağlayıcı maddelere bağlıdır. Balatanın ana maddesi, asbest ; prinç, çinko veya demir olmayan bir maddeden yapılmış ve tel örgü ile donatılmıştır. Prinç ve çinko tellerin kullanılması ile balataların sürtünme katsayıları her durumda sabit olan bir özellik gösterir duruma sokulmuştur [3].

Klasik üretim tarzı olarak kısa lifli asbest, diğer gerekli maddelerle karıştırılmakta, soğuk olarak preslenmekte ve ayrıca sıcak sıkıştırma yapılmaktadır. Normal şartlarda

üretim sonrası 150 ila 250 °C sıcaklıklar arasında, sürtünme özelliklerini ve form dayanımını iyileştirmek için, sertleştirme (özel kalitelere 24 saate kadar) yapılır. Bu işlem yapılmadığında, kullanım esnasında parçalanma meydana gelir [28].

4.3.2. Yağda çalışan balata malzemeleri

Yağ altında çalışan sürtünme kavramaları, giderek artan oranda kullanılmaktadır. Bunların sürtünme özellikleri, malzemenin bileşimi dışında gözeneğine, sürtünme yüzeyinin pürüzlülüğüne ve yağın kalitesine yakından bağlıdır. Kavrama olayında karışık sürtünmeye ulaşabilmek için, yağ filminin çok çabuk yırtılması gerekir. Bunun için, balata malzemesinin yapısı dışında, kanal, çıkıntı, sinüsoidal formda oyuklar açılması mümkündür [1].

Ayrıca yağ akışını sağlayacak ve teşekkül edecek ısının % 50 ila 70'ini yağla dışarı atacak soğutma kanalları yapılabilir. Yağda çalışan aşınma malzemeleri; çelik plakeler, kağıt malzemeler, asbest esaslı polimer bağlantılı malzemeler ve bakır esaslı siner malzemeler diye ayırmak mümkündür. Yağda çalışan balata malzemeleri yumuşak olması nedeni ile daha çok otomatik vitesli otomobillerde debriyaj balatası olarak kullanılırlar. Sürtünme katsayıları 0,002 ila 0,008 arasındadır ve çalışma sıcaklığı 120 °C'yi aşarsa aşınma hızla yükselir [28].

Yağda çalışmanın en büyük avantajı, malzemedeki çizilmeleri önlemesidir. Mesela: küçük soğuk kaynak alanlarını sert partiküller aşındırırken, katı yağlamaların uygulamaları çizilme eğilimini azaltacaktır [6].

4.3.3. Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri

Organik esaslı sürtünme malzemelerinin kullanılmaları, dayanabilecekleri maksimum sıcaklık ile sınırlıdır. 400–450 °C de meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sebebi ile organik maddeleri ihtiva eden (asbest vb.) yapı bozulmaya ve çok çabuk aşınmaya başlar. Özellikle sürtünme katsayısının değeri çok küçük değerlere düşer. Bu yüzden sinterlenmiş balatalara ihtiyaç duyulmaktadır [4].

Metalik balataların diğerlerine olan avantajları, daha büyük hızda enerji absorbe etmeleri ve daha fazla aşınma mukavemetine sahip olmalarıdır. Bunlar daha yüksek sıcaklıklara dayanabildikleri gibi, daha fazla ısı iletirler. Sürtünme katsayıları, sıcaklık ve basınçla daha az değişir ve sıcak, soğuk, yağ, tuzlu su gibi etkenlerden daha az etkilenirler [5].

Fren balatalarında kullanılan sinter malzemeleri genellikle bakır-kalay (bronz) asıllı ve demir asıllı olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir [45,59]. Bu gruplarda ayrıca karışimsız, grafit karışımlı ve seramik karışımlı olmak üzere aralarında sınıflandırılabilirler [61,5].

4.3.3.1. Bakır esaslı balata malzemeleri

Bakır esaslı malzemeler genellikle sıvı veya yarı sıvı sürtünmenin olduğu yerlerde kullanılır. Kuru sürtünmede ise ancak ısı etkisinin daha hafif olduğu yerlerde kullanılır [28,37].

Servis sıcaklığının 1000 °C den yüksek olduğu yerlerde demir matrikslerin kullanılmasına rağmen, yüksek sürtünme şartlarında yaygın olarak kullanılan malzemeler bakır ve bronzdur [6]. Tablo 4.2' de bazı ülkelerde kullanılan kuru ve yağlı sürtünme için bronz esaslı malzemelerinin bileşimleri görülmektedir [28].

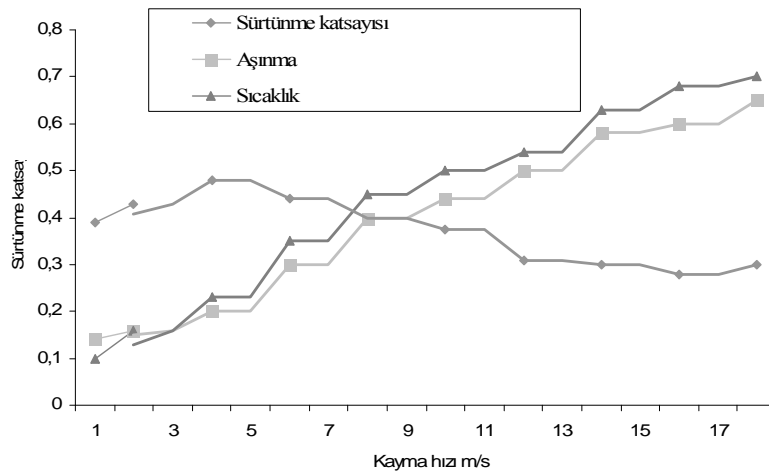
Tablo 4.2 Bazı ülkelerde kullanılan kuru ve yağlı sürtünme için bronz esaslı malzemelerinin % bileşimleri [28].

| Ülke | Fe | Cu | Sn | Grafit | Pb | SiO ₂ | MoS ₂ | Diğer |
|------------|------|-------|------|--------|------|------------------|------------------|----------------------------------|
| A.B.D. | 5-10 | 60-75 | 4-10 | 3-10 | 7,5 | 2-7 | 3-12 | |
| Almanya | 7,9 | 67,8 | 5,2 | 6,5 | 1,8 | 3,3 | <4 | %3Al ₂ O ₃ |
| Avustralya | 8 | 68 | 5 | 6,2 | 1,5 | 2,5 | <3 | %3Al ₂ O ₃ |
| B.D.T. | 4-7 | 65-80 | 7-9 | 3-8 | 5-10 | 2-4 | | |
| İngilere | 5-10 | Kalan | 3-10 | 0,8 | 1-10 | 1,5-5 | <4 | |
| İsveç | 4,5 | 68,5 | 8 | 6 | 3 | 4 | 6 | |
| İtalya | 7 | 68 | 5,5 | 6 | 9 | 45 | | |

Bakır esaslı (bronz) balata imali için bronz madenininde elde edilmesinde, bakır-çinko alaşımı oranı 9.1 olarak alınmaktadır. Bazı durumlarda çinkonun yerini kalay almakla beraber, bu sürtünme katsayısına hiçte iyi tesir etmez. Sinter bronz balataların imalinde, kayma özelliğini verecek olan grafit tozu, molibden-sülfid, kalay, bismut ve sürtünme özelliğini meydana getirecek olan silisyum, demir tozu ve korund tozu gibi dolgu maddeler; kullanılmaktadır [3]. Tablo 4.3' te bronz esaslı balata malzemelerinin kullanım ve özellikleri ve Şekil 4.6'da ise %17 grafit, %5 kursun, %5 mullit, %5 kalay ve % 63 bakır içeren malzemenin sürtünme ve aşınma özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.3. Bronz esaslı sinter balata malzemelerin kullanım karakteristikleri ve özellikleri [28].

| | |
|--------------------------|---|
| Kullanım şartları | Baskı basıncı $p \leq 5$ MPa Kayma hızı $v \leq 40$ m / s $p \cdot v \leq 1,5$ kW / cm ² |
| Sürtünme katsayısı μ | 0,15 0,50 |
| Aşınma | $P \cdot v = 0,8 \dots 1,0$ kW / cm ² olan orta yüklerde, 0,5 cm ² / kWh |
| Sıcaklığa dayanıklılık | Sürekli çalışmada max. 450 °C Kısa süreli çalışmada max. 650 °C |
| Özgül ağırlık | 5 ... 7 gr. / cm ³ |
| Isı iletme kabiliyeti | 6 ... 35 W / m.k |
| Sertlik | 10 ... 50 BSD |



Şekil 4.6. Sinterlenmiş bronz-grafit balata malzemesinin sürtünme ve aşınma özelliği [28].

Aşınma miktarı, kayma hızı ve sıcaklığın fonksiyonu olarak değişir. Ayrıca kullanım için bir fikir vermek üzere Örnek olarak alınabilir. Bu arşısında dökme demir, alaşımsız ve düşük alaşımlı ıslah çelikleri sinterlenmiş malzemenin avantajları literatürde geniş olarak yer fakat avantajları yanında dezavantajları da vardır [31].

4.3.3.2. Demir esaslı balata malzemeleri

Sinter demir balataları, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya karşı dayanıklı olup. sadece eğilmeye karşı dayanıklı değildirler. Bu problemi ortadan kaldırmak için sinter demir balatalar, bir sac levha üzerinde sinterlenerek kullanılırlar. Sinter demir balataların ısıyı çok iyi iletme özelliklerinden dolayı yüksek sürtünme sıcaklıklarının meydana geldiği yerlerde kullanılmaktadırlar. Sinter demir balataların bu ısıyı iletme özelliği, balatanın soğuk kalmasını temin etmekte ve bu durum balatanın ömrünü artırmaktadır. Sinter demir balataları, yüksek sıcaklıklarda perlit bünyenin meydana gelmesi ile iyi bir sürtünme özelliği sağlar. Fakat aşırı yüksek sıcaklıklar, madeni toz taneciklerinin yanması ve kömürleşmesi ile arzu edilmeyen bir sert sementit bünye meydana getirebilir [3].

Demir esaslı balata malzemeleri, özellikle kuru çalışan kavramalarda tercih edilir. Bronz esaslı malzemelere göre daha ucuzdur. Belirli kullanım alanları için. değişik bileşimlerde imal edilirler. Tablo 4.4’de bazı ülkelerde kullanılan kuru sürtünme için demir esaslı malzemelerin bileşimleri görülmektedir.

Tablo 4.4. Kuru sürtünme için demir esaslı malzemeler ve bileşimleri [28].

| Ülke | Fe | Cu | Sn | Grafit | Pb | SiO ₂ | MoS ₂ | Diğer |
|---------|-------|-----|----|--------|-----|------------------|------------------|-----------------------------------|
| A.B.D. | 60 | - | 5 | 15 | - | - | - | %3Bi,%14Mullit |
| | 67,5 | - | - | - | - | - | - | %5Si,%7,5Bi,%20Mullit |
| | 60-77 | - | - | 20-30 | - | - | - | %3-10 Bi |
| | 80 | - | - | 4 | 2 | - | 2 | %3 Al ₂ O ₃ |
| Almanya | 70-90 | 16 | - | 15-20 | <5 | - | - | Max. %0,8 P |
| B.D.T. | 60-72 | <15 | - | 9 | <13 | 3 | - | BaSO ₄ , %Asbest |
| İtalya | 62 | 16 | - | 13,4 | 8 | 0,6 | - | - |

Sürtünme olayı esnasında şekillenmeyle, yapı elemanları ve atmosfer arasında değişik etkiler meydana gelerek, sürtünme çiftlerinin yüzeyinde metal elemanlar oksit karbür ve grafitten oluşan karmaşık yapılu bir tabaka oluşur ve böylece aşınma direnci önemli ölçüde yükselir. Bundan dolayı malzemenin bileşimi öyle seçilmelidir ki, karmaşık tabaka geniş zorlanma sahasında dayanıklı olsun [28].

Tablo 4.5. Demir esas balata malzemelerinin kullanım karakteristikleri ve özellikleri[28].

| | |
|------------------------------|---|
| Kullanım şartları | Baskı basıncı $p \leq 6$ MPa Kayma hızı $v \leq 60$ m / s $p \cdot v \leq 3$ kW / cm ² |
| Sürtünme katsayısı (μ) | 0,25 ... 0,65 |
| Aşınma | $P \cdot v = 1,5 \dots 2,0$ kW / cm ² olan orta yüklerde, 0,5 cm ² / kWh |
| Sıcaklığa dayanıklılık | Sürekli çalışmada max. 660 °C Kısa süreli çalışmada max. 880 °C |
| Özgül ağırlık | 5 ... 7 gr. / cm ³ |
| Isı iletme kabiliyeti | 1,2 ... 35 W / m.k |
| Sertlik | 15 ... 40 BSD |

Son yıllarda yabancı literatürde çok az bilgi bulunmakta, üretim metotları veya kompozisyonları hakkında bilgi vermeden sinterlenmiş demir asıllı sürtünme malzemelerini geliştirme amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Genel olarak demir-grafit kompozisyonları % 50 üzerinde grafit içerir. Sonuç olarak bu malzemelerin avantajları hakkında fazla bilgi edinilememiştir. Aynı zamanda, literatür verilerinden bilindiği gibi (Tablo 4.6) fosfor, metallerin ve demir esaslı alaşımların sürtünme özellikleri ve mekanik özellikleri üzerine olumlu etkiler sağlar [2].

Tablo 4.6. Sinterlenmiş demirin mekanik özelliklerine fosfor'un etkisi [40].

| Fosfor % Ağırlık | Akma muk. kgf / mm ² | % Uzama | Brinel Sertlik (BSD) | Darbe muk. kgf / cm ² |
|---------------------|------------------------------------|---------|-------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 13,14 | 6,7 | 30 | 0,28 |
| 0,4 | 33,3 | 14,7 | 76 | 0,5 |
| 0,8 | 56,9 | 18 | 146 | 0,1 |

Fosfor eklemek, demir tozunun sinterleme özelliğine oldukça iyi bir şekilde etki eder. Bu durum, demir tozunun oluşumuna göre, partiküllerin yüzeyinde görülür ve

demir tozu 1050 °C'de erir. Bu durum dökme demirlerin sürtünme özelliklerinde fosforun etkisi ile ilgili çalışmaların sonucudur [2].

4.3.3.3. Seramik katkılı sinter balata malzemeleri

Daha yüksek güçler için, metalik olmayan katkı içeren metalik bağlantılı balata malzemeleri kullanılır. Metalik olanlar; bakır alaşımları, demir ve demir alaşımları, metalik olmayanlar ise; tercihen (SiO_2 , Al_2O_3 veya mullit) ve silikatlardır. İlave katkı olarak düşük sıcaklıkta ergiyen metaller, sülfür ve sülfat, karbür, grafit ve sinter metalik tozlar kullanılabilir. Metalik olmayan miktar, hacim olarak % 50 veya daha fazla olabilir. Metal seramik balata malzemelerinin sürtünme katsayısı 0.3–0.7 arasındadır. Bunlar 1000 °C sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Yüksek miktarda metalik olmayan eleman içerdiklerinden dolayı kırılğandır ve çok az dayanıma sahiptirler. Bu nedenle, düz bir metal üzerine pres edilirler ve balata taşıyıcıya perçinle bağlanırlar [28].

4.4. Karşı Malzeme - Disk ve Kampana Malzemesi

Karşı malzemenin, sürtünme özellikleri ile verimli bir şekilde çalışabilmesi için. sistemin mekanik ve ısıl zorlamalarına karşı dayanıklı olması gerekir. Balata ve karşı malzemedeki (diskte) sürtünmeden dolayı kısa zamanda meydana gelen sıcaklık artışının, biran önce sistemden uzaklaştırılması istenir. Bunun için disk ve kampana malzemesinin yüksek ısı iletim katsayısına sahip olması gerekmektedir.

Sürtünmeye bağlı sıcaklık artışı nedeni ile disk veya kampananın bozulmadan, minimum deformasyon göstermesi için ısıl genleşme katsayısının küçük olması istenir. Ayrıca fren esnasında kısa zamanda meydana gelen yüksek ısı miktarları, kampana veya disk tarafından alınıp iletilerek dışarıya verileceğinden, disk ve kampana malzemesinin yüksek ısı iletim kabiliyeti ve üst yüzeyin de yüksek radyasyon katsayısına sahip olması gerekir [4].

Genelde disk ve kampana imalinde perlitik dökme demir kullanılır. Dökme demir için % 3.40 dolaylarında karbon kullanılır ve bu dökme demirin senliği 170 - 255

HB (kg / mm²) arasında değişir [62]. Diğer alaşım yzdzeleri ise: Tablo 4.7.'de görülmektedir.

Tablo 4.7. Disk ve kampana için kullanılan dökme demir'in % analizi [62].

| Cu | Si | Mn | S | P (max) |
|------|-----------|-----------|------|---------|
| 3,40 | 2,00-2,40 | 0,60-0,90 | 0,15 | 2 |

Olveshevski ve Larin'in çalışmalarına göre [28], dökme demirlere eklenen fosfor, (ağırlıkça) % 0,118 ve % 2,01 arasında bir değere yükseltilirse, bu malzemenin sürtünme katsayısı yükselir. Fren sistemi üzerinde bu katsayının kararlılığı ve bunlara ilaveten aşınma dirençleri de düzeler. Sürtünen dökme demirlerin en iyi fosfor bileşeni Ol'shevskiye göre % 1.5–2 arasında. Larin' e göre ise % 1.4' tür.

4.5. T/M Yöntemi ile Demir ve Bronz Esaslı Fren Balataların retimi

Metalik bağlantılı balata malzemeleri, toz metalurjisi yöntemi ile üretilirler. Yapı elemanları çok farklı yoğunlukta olacaklarından, bu yöntemin tarzı ve ayrıca işlem sırası bykneme taşır [28]. Metal tozlar genellikle atomizasyon yöntemi ile üretilirken, bronz esaslı tozlar elektroliz ve atomizasyon yöntemleriyle üretilirler [51].

Karıştırma işleminden önce tozların birbirine yapışmalarını önlemek için, tozlar bir fırça yardımı ile elekten geçirilir. Karıştırma olayını güçlendirmek için sık sık i karıştırıcılar, çarpma düzeneklerinin ilavesi ile ifte-konili veya Y-konili karıştırıcılar ya da şerit tip karıştırıcılar şeklindeki geleneksel tipteki karıştırıcılarla karıştırma tamamlanır. Tozların zgl ağırlıkları birbirinden çok farklı olduklarından depolama esnasında karışımın segregasyonunu önlemek için ağırlığın % 0,5' i kadar hafif yağ ilave edilebilir. Bu yağ, karışımı oksitlenmeye karşı koruduğu gibi sinterleme safhasının hemen başlangıcında buharlaşarak karışımın özelliklerini değiştirmeyiz, Toz karışımları, genellikle soğuk olarak 200–600 MPa basınçta mekanik preslerle preslenirler [28].

Balatanın çap ve yüzey paralelliğinin $\pm 0,02$ mm toleransında sağlanması gerekmektedir. Bu toleransı sağlamak için, pres piston yüzeylerinin hassas olarak ayarlanmasına, hassas takımlara ihtiyaç vardır. Sinterleme öncesinde balata malzemesi, henüz içyapısında difüzyon yoluyla kuvvetli bir bağlama olamadığından oldukça zayıftır [5,6]. Parçalar sinterlenmek üzere yapışmayı önleyici bir tutkalla kaplanarak üst üste dikey olarak dizilirler ve koruyucu gaz atmosferini muhafaza eden bir silindir içine yerleştirilerek, fırın silindirin üzerine indirilir. Sinterleme sıcaklığı bronz asıllı malzemeler için 700–850 °C, demir asıllı malzemeler için 900–1100 °C dir. Sinterleme süresi 4 ila 6 saat arasında değişir [6,63].

Bronz esaslı malzemelerin sinterlenmesi sırasında, kalay ve kurşun eriyerek sıvı bir faz meydana getirir. Kalay, bakır tarafından yavaş yavaş emilir. Metalik olmayan kalk; elemanları, sinterleme sırasında değişmeyip sadece matriks içerisine gömülürler. Demir asıllı malzemeler ise, yüksek sıcaklıkta grafit demir tanelerine nüfuz ederler.

Balata malzemelerinde sinterleme esnasında az da olsa meydana gelmesi mümkün olan deformasyonu (büzülme, çarpılma) sinterlemeden sonra gidermek ve balata yüzeylerinin paralelliğini istenilen toleransa getirebilmek amacıyla taşlama (yassılaştırma) işlemi yapılır.

Taşlamadan sonraki işlem temizlemedir. Bu işlem hem görünüm güzelliğini sağlar ve hem de varsa gevşek kısımları döker. Gerekli taktirde iç gerilmeleri azaltmak için bir ısıl işlem de yapılabilir [5].

4.6. Balatalardan istenilen özellikler

Balata malzemelerinde istenilen özellikleri belirtmek için çalışma şartlarının çok iyi bilinmesi gerekir. Özellikle balata yüzeyine etki eden basınç, aracın hızı ve sürtünmeden dolayı balata yüzeylerinde oluşan sıcaklık yükselmelerinin önemli olduğu görülür. Çalışma şartlarının hafif-orta-ağır olmasına göre balatadan istenen özellikler de değişmektedir. Balataların denenmesinde basınç-hız-sıcaklık değerlerinin birbiriyle olan kombinasyonları göz önüne alınır ve basınç-hız değerleri

birbiri ile paralel olarak arttırılır [63].

Literatürde balatalardan istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenmiştir [63].

1. Her çalışma şartlarında sabit sürtünme performansı,
 2. Sürtünme katsayısının sıcaklık, fren basıncı ve hızdan bağımsız olması veya sürtünme davranışındaki değişimin az olması,
 3. Yüksek sıcaklık direnci,
 4. Yüksek ısı iletkenliği,
 5. İyi korozyon direnci,
 6. Yüksek mekanik mukavemet,
 7. Düşük gürültü seviyesi,
 8. Hava koşullarından etkilenmeme,
 9. Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması,
 10. Yüksek aşınma mukavemeti ve karşı malzemede düşük aşınma
- İstenmektedir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, otomotiv sektöründe kullanılan ve toz metalurjisi ile üretilmiş olan bronz esaslı fren balata malzemelerinin aşınma performanslarının incelenmesi amacı ile yapılmıştır. Çalışmada bronz esaslı fren balata malzemelerine değişik oranlarda kuvars (silika), diatomit ve grafit ilavesi yapılarak, sabit yükte ve değişik hızlarda aşınma davranışları incelenmiştir.

5.1. Kullanılan Toz Malzemelerin ve Fren Balata malzemelerinin Hazırlanması

Çalışmamızda; bronz balatalarda kuvars (SiO_2), diatomit ve grafitin aşınma davranışlarına olan etkileri araştırılmıştır. Balata malzemesi olarak Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de bileşimi verilen gaz atomizasyonu yöntemiyle hazırlanmış bronz tozlarının boyutları 2–40 μm ve 150 μm arasında değişmektedir. Kullanılan tozlar Baran Makine ve Gürel Makine A.Ş.’den ayrı ayrı temin edilmiştir. Grafit ve kuvars ilavesi yapılan numuneler K grubu, grafit ve diatomit ilavesi yapılan numuneler ise G grubu olarak adlandırılmıştır.

Tablo 5.1. Ağırlıkça %3 grafit ilave edilmiş ön alaşımlı bronz tozlarına (80-10-10), ağırlıkça % kuvars ve % demir(Fe) ilavesi.

| Balata malzemesi | % Kuvars Oranı | % Ağırlık | |
|------------------|----------------|-----------|-----|
| | | Cu-Sn-Pb | Fe |
| K1 | — | 87,3 | 9,7 |
| K2 | 2 | 85,5 | 9,5 |
| K3 | 4 | 83,7 | 9,3 |
| K4 | 6 | 81,9 | 9,1 |
| K5 | 8 | 80,1 | 8,9 |

Tablo 5.2. Ön alaşımlı (80-10-10) bronz tozlarına ağırlıkça % grafit, % diatomit ve % demir (Fe) ilavesi.

| Balata malzemesi | % Grafit Oranı | % Diatomit Oranı | % Ağırlık | |
|------------------|----------------|------------------|-----------|-----|
| | | | Cu-Sn-Pb | Fe |
| G0-1 | — | 2 | 88,2 | 9,8 |
| G0-2 | — | 4 | 86,4 | 9,6 |
| G0-3 | — | 6 | 84,6 | 9,4 |
| G0-4 | — | 8 | 82,8 | 9,2 |
| G1-1 | 1 | 2 | 87,3 | 9,7 |
| G1-2 | 1 | 4 | 85,5 | 9,5 |
| G1-3 | 1 | 6 | 83,7 | 9,3 |
| G1-4 | 1 | 8 | 81,9 | 9,1 |
| G2-1 | 2 | 2 | 86,4 | 9,6 |
| G2-2 | 2 | 4 | 84,6 | 9,4 |
| G2-3 | 2 | 6 | 82,8 | 9,2 |
| G2-4 | 2 | 8 | 81 | 9 |
| G3-1 | 3 | 2 | 85,5 | 9,5 |
| G3-2 | 3 | 4 | 83,7 | 9,3 |
| G3-3 | 3 | 6 | 81,9 | 9,1 |
| G3-4 | 3 | 8 | 80,1 | 8,9 |

5.1.1. Tozların harmanlanması (Karıştırılması)

Bronz esaslı balata malzemesi hazırlanmasında, Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de bileşimi verilen 2-40 μm ve 150 μm boyutları arasındaki tozlar ile homojen bir karışım elde edebilmek için bilyalı döner değirmende 30 dakika karıştırılmışlardır.



Şekil 5.1. Bilyalı döner değirmen

5.1.2. Presleme

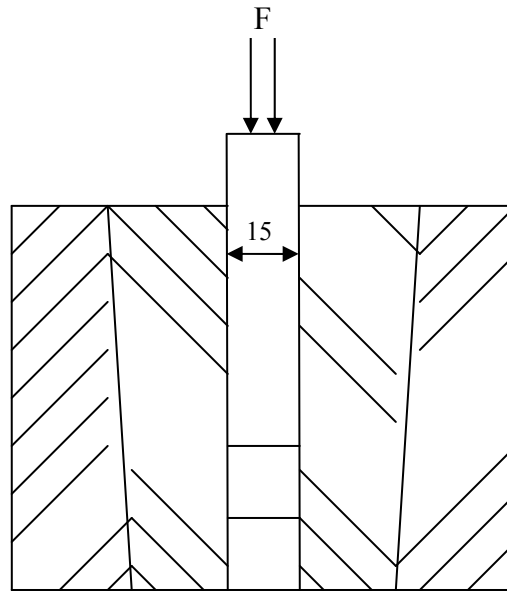
Şekil 5.2’de gördüğümüz ve boyutları 15 x 15 x 9 mm ebatlarında olan balata malzemelerinin preslenmesi için Şekil 5.3.’de resmini ve Şekil 5.4’de kesitini göstermiş olduğumuz metalik kalıp kullanılmıştır. Kalıp içerisine yerleştirilen tozlar hidrolik pres yardımı ile saniyede 2.40 MPa hızda 500 MPa basınç da tek yönlü soğuk olarak preslenmiştir.



Şekil 5.2. Üretilen balata malzemeleri



Şekil 5.3. Presleme kalıbı



Şekil 5.4. Presleme kalıbı kesiti[64].

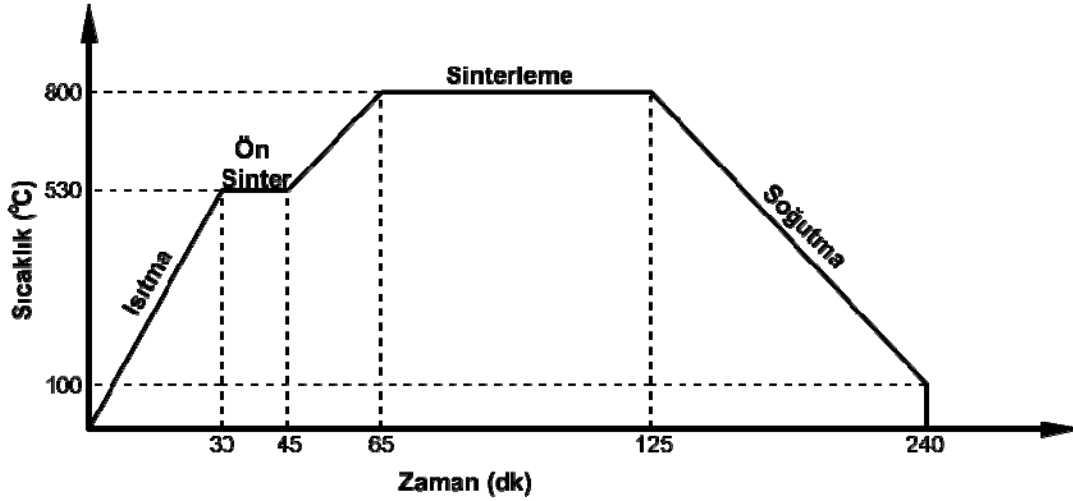
5.1.3. Sinterleme

Preslenmiş numunelerde toz parçacıkların yüksek yüzey enerjilerinin ortadan kaldırılarak parçacıklar arasında difüzyon yoluyla tam ve mükemmel bağlar oluşturulması amacı ile sinterleme yapılmıştır.



Şekil 5.5. Sinterleme fırını.

Sinterleme çalışmaları için Şekil 5.5 de görülen gaz akışına uygun mulit seramik tüp fırın kullanılmıştır. Sinterleme sırasında da koruyucu atmosfer olarak argon gazı kullanılmıştır. Bu çalışmada kati hal sinterlemesi yerine elementel tozların çok farklı erime sıcaklıklarından faydalanılarak sıvı faz sinterlemesi kullanılmıştır. Sıvı faz sinterlemesi için üç farklı sıcaklık bölgesi oluşturulmuştur. Bunlar; ön sinterleme, sinterleme ve soğutma bölgeleridir. Cu-Sn denge diyagramından faydalanılarak belirlenen sinterleme işlemi Şekil 5.6'da şematik olarak görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı olarak numuneleri önce 30 dakikada 530 °C'ye çıkarılmış ve 15 dakika süre ile ön-sinterleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Daha, sonra numuneler 20 dakikada 800 °C'ye çıkarılmış ve 60 dakika 800 °C'de sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi toplam 75 dakika sürmektedir.



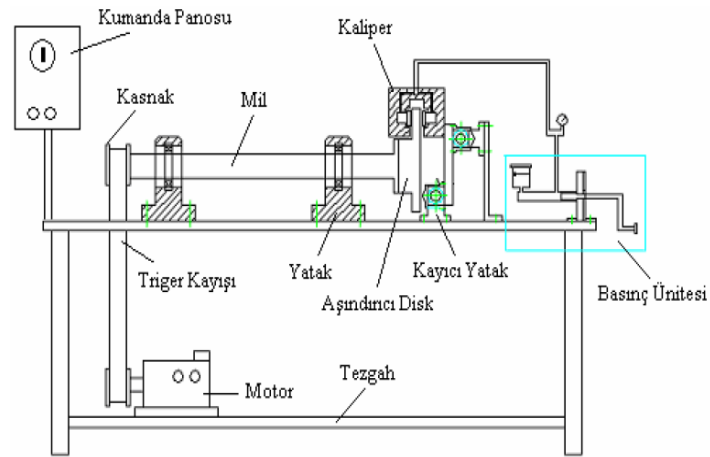
Şekil 5.6. Sinterleme sıcaklığının zamana göre gösterimi.

5.2. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri laboratuarda bulunan; Şekil 5.7’de resmi olan ve Şekil 5.8’de şematik olarak gösterdiğimiz balata aşınma cihazı ile yapılmıştır. Cihaz laboratuvar şartlarında önceki çalışmalar sırasında tasarlanmış ve monte edilmiştir [64]. Bu cihazda hareketi veren 5.5 KW lık elektrik motoru, frekansı değiştirerek devir ayarı yapan inventör, araçlarda kullanılan fren diski ve balataları tutan semer bulunmaktadır. Bu semer sürtünme kuvvetine göre sürtünmesiz olarak doğrusal hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Semerin bu hareketi bir transducer yardımıyla çok hassas olarak ölçülerek bilgisayara aktarılabilmektedir. Sürtünme kuvveti ile hareket edebilen balata numunelerinin takılı olduğu semer bir yay tarafından tutulur. Bu yaylanma miktarı bilinen yüklerle kalibre edilerek transducerden alınan hareket miktarı ile ortaya çıkan sürtünmeden kaynaklanan yük arasında bir bağıntı kurulur. Bu bağıntı ya göre ölçülen hareket miktarı sürtünme kuvvetinin bulunmasını sağlar. Sürtünme kuvveti elde edilince uygulanan yüke orantılanarak sürtünme katsayısı bulunur ve bilgisayar yardımıyla sürtünme aşınma grafikleri çizilir.



Şekil 5.7. Balata aşınma test cihazı



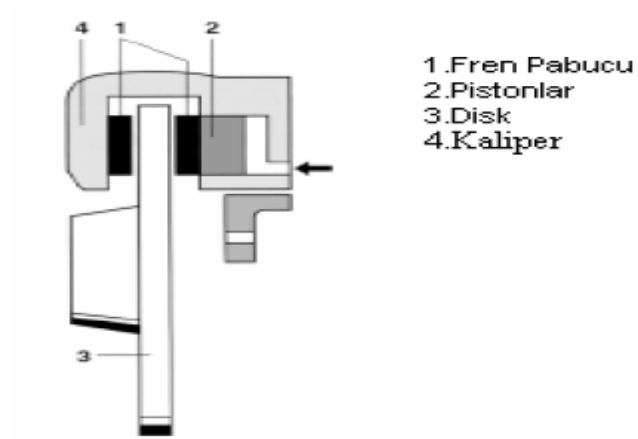
b.

Şekil 5.8. Balata Aşınma test cihazının şematik gösterimi[64].

Aşınma testlerinde kullanılan cihazın aşındırıcı diski 110,5 HRB sertliğinde dökme demirden üretilmiş olup 240 mm çapındadır. Numuneler diskin iki tarafında yer alan balata tutuculara disk merkezinden 95,5 mm uzaklığa temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Aşınma testleri 314 N sabit yük altında ve farklı hızlar (7, 8, 11 m/s) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Diskli fren sisteminin şematik görünüşü Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Balata yuvaları



Şekil 5.10. Diskli fren sisteminin şematik görünüşü[64]

5.3. Optik Mikroskop Analizi

Üretilen Bronz esaslı balata malzemelerinin optik mikroskop incelemesi Şekil 5.11’de gösterilen “Nikon Eclipse L 150” marka cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 5.11. Nikon Eclipse L 150 marka optik mikroskop cihazının fotoğrafı.

Üretilen Bronz esaslı balata malzemesi metalografik numune hazırlama teknikleri ile Sırasıyla 320,400, 600, 800,1000 ve 1200 mesh zımpara kağıtları kullanılarak kaba ve ince olarak zımparalanmıştır. Daha sonra 1 μ m'lik elmas pasta yardımıyla parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Metalografik olarak hazırlanan parlatılan numuneler %10 oranında HCl asit ile dağlama işleminden sonra farklı büyütmelerde mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.

5.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ve EDS analizleri “Jeol JSM 6060 LV” marka cihazla yapılmıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Jeol JSM 6060 LV marka SEM cihazının fotoğrafı.

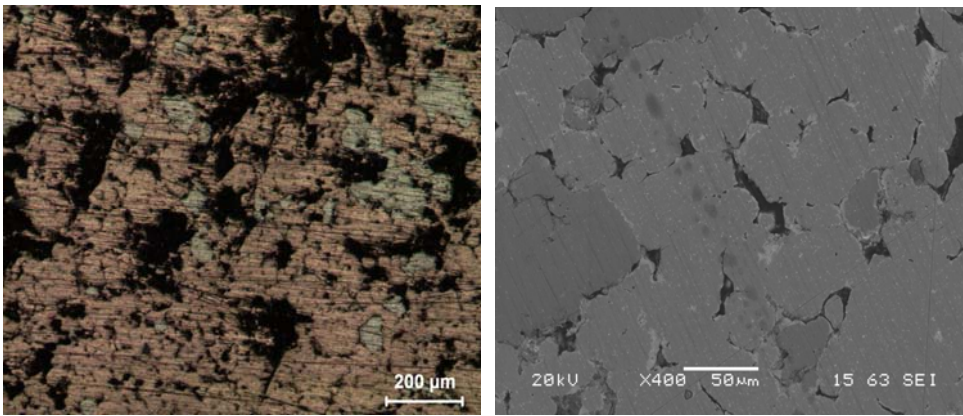
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Balata Malzemelerin Mikroyapı Resimleri ve Aşınma Cihazı Performans Test Sonuçları

6.1.1. Kuvars katkılı balata malzemelerin mikroyapı resimleri ve aşınma cihazı performans test sonuçları

Katkı malzemelerinin konsantrasyonu, şekli, dağılımı ve boyutu balataların tribolojik ve termal özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. K grubu (K1,K2,K3,K4,K5) balata malzemeleri Tablo 5.1'deki değerlere göre Cu-Sn-Pb (%90-%10-%10) alaşımlı tozlara demir(Fe), her numune için % 3 grafit ve %0, %2, %4, %6, %8 kuvars ilave edilerek sisteme giren her bir toz ayrı ayrı katılmış, bilyalı değirmenlerde karıştırılmış, sinterlenmiş ve aşağıdaki mikroyapı görüntüleri çekilmiş, aşınma deneyleri ise 314 N sabit yükte 7 m/sn, 8 m/sn ve 11 m/sn olmak üzere üç farklı hızda yapılmıştır.

6.1.1.1 % 3 Grafit'li ve içerisinde katkı (Kuvars-Diatomit) bulunmayan K1 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

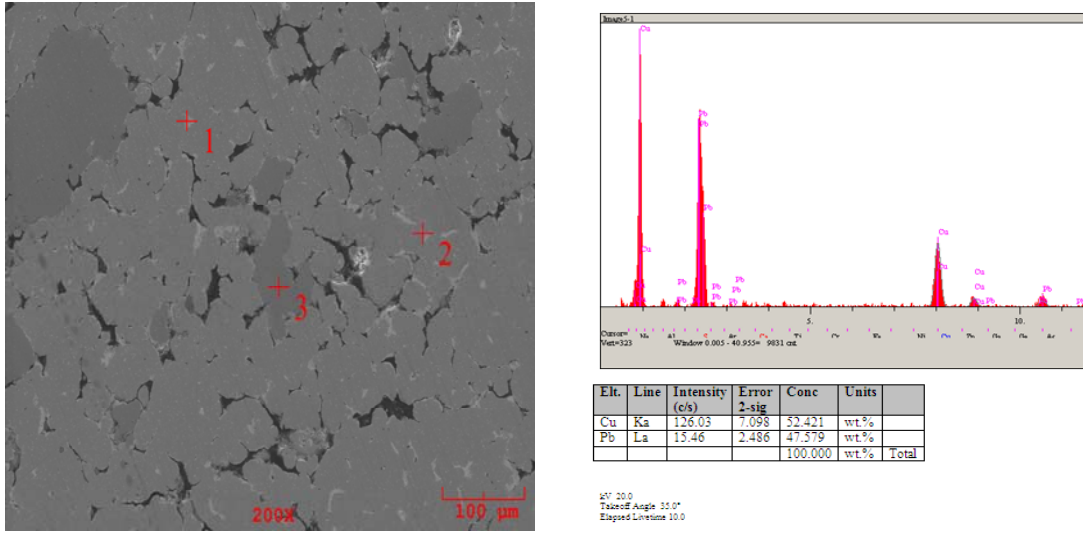


a)

b)

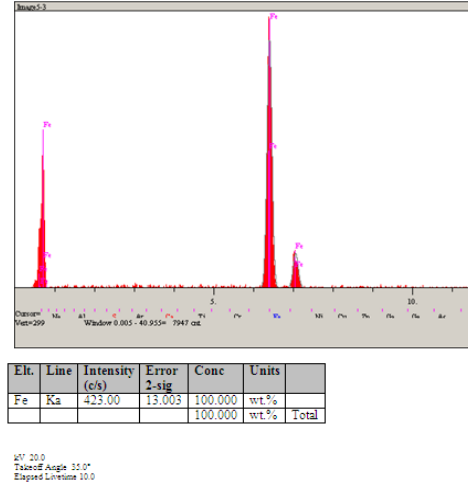
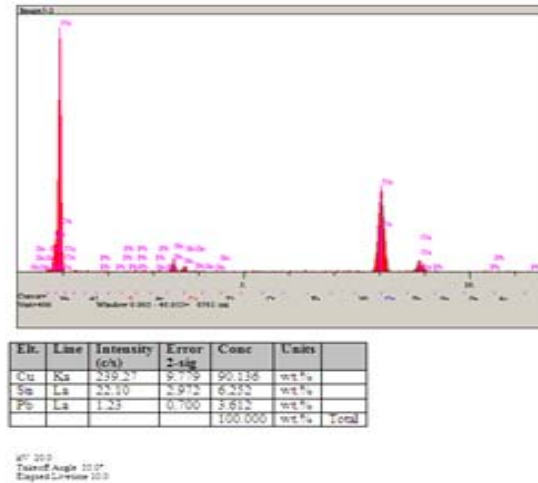
Şekil 6.1. a) K1 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) K1 balata malzemesinin SEM görünümü.

Şekil 6.1 'de K1 balata malzemesinin mikroyapı görüntülerine baktığımızda; optik mikroskopta siyah görülen kalıntı gözenekler SEM mikroskobunda siyahımsı şekilde gözükmektedir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere Kuvars numunenin içerisinde istenen (homojen) şekilde dağılmıştır.



a)

b)



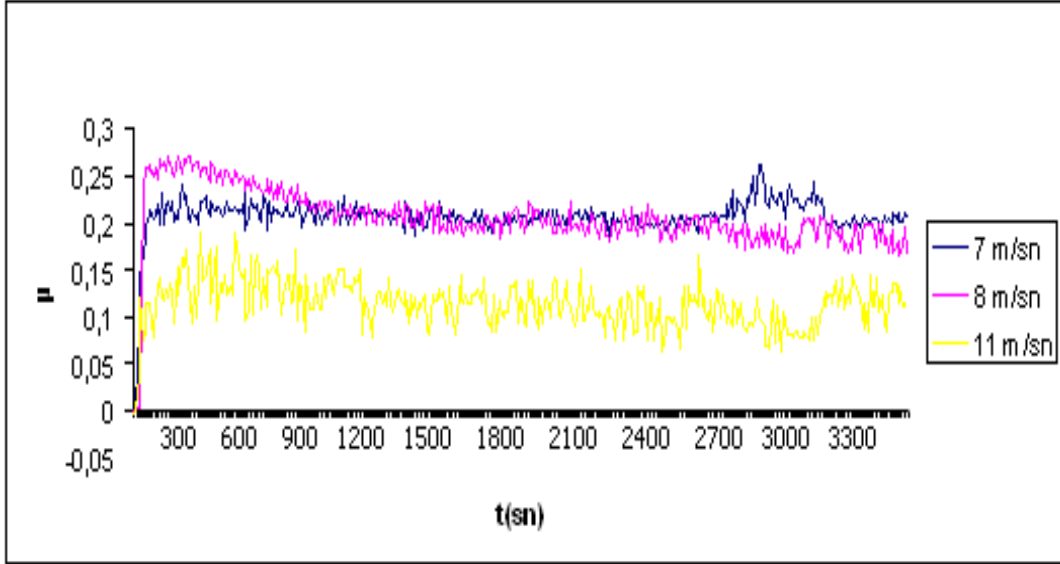
c)

d)

Şekil 6.2. a) K1 balata malzemesinin SEM'de, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi

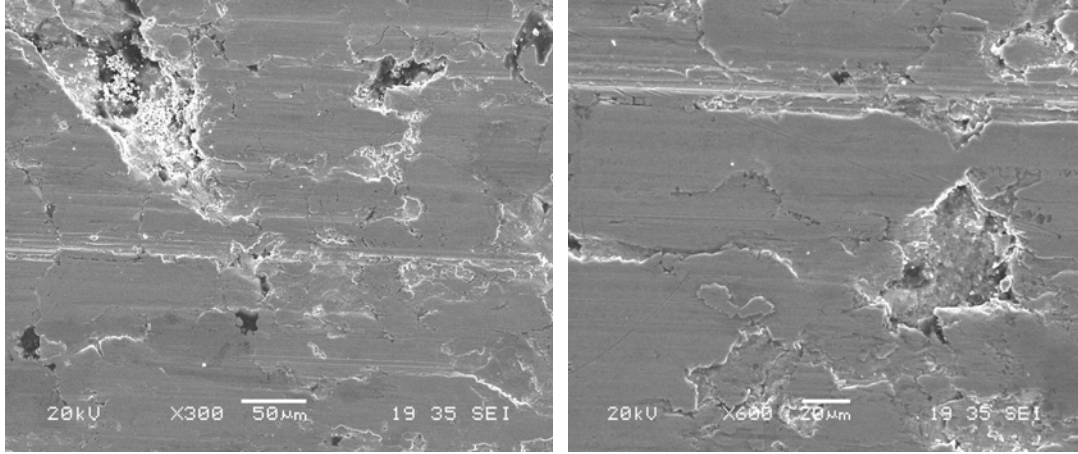
Şekil 6.2 'de 1 nolu noktanın analizinde Cu-Pb tanesi görülmektedir. 2 nolu noktanın analizinde Cu-Sn-Pb alaşımı görülmekte ve Sn ve Pb; Cu'nun tane köşelerinde çökelmiş durumdadır. Sinterlemenin orta devresinde malzemenin yoğunluğunun artmasıyla Cu tanesi büyürken Sn ve Pb; Cu tanesiyle bronz alaşımını oluşturmuştur.

3 nolu noktanın analizinde Fe tanesi görülmektedir. Bu durumun neticesinde; sürtünme katsayısı özellikle 7 ve 8 m/sn hızlarında dengelenmiş durumdadır.



Şekil 6.3 K1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği.

Şekil 6.3'de K1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiğine baktığımızda; genel olarak her hız için sürtünme katsayısı ilk dakikalarda yükselmiş daha sonra diskin ve balatanın ısınmasıyla belli bir değere düşerek sabit devam etmiştir. Hız arttıkça sürtünme katsayısında düşüş gözlenmiştir. Sürtünme katsayısının dengede olduğu değerler bütün hızlarda 1200 ile 2500 saniyeleri arasındadır. Malzemenin Şekil 6.1 ve 6.2'deki görüntülerinden görüldüğü üzere farklı farklı fazların bulunması yüzey pürüzlülüğü koruyarak sürtünme katsayısının dengelenmesine yardımcı olmuştur. Zaten malzemeye grafit ve kuvars katmamızın nedeni gözenekliliği ve yüzey pürüzlülüğünü artırmaktır. 7 m/sn ile 8 m/sn'nin sürtünme katsayılarının birbirine yakın olması hızların yakın olmasından kaynaklanmaktadır.



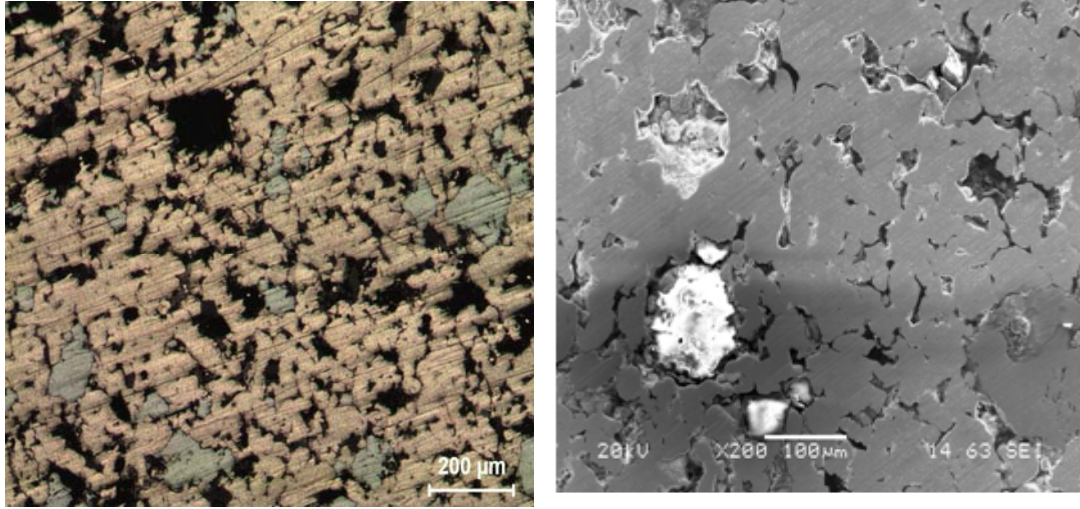
a)

b)

Şekil 6.4. K1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

Şekil 6.4’de K1 balata malzemesinin aşınma izlerine baktığımızda malzeme içerisindeki grafitin yağlayıcı etkisi nedeniyle aşınma abrasiv (kazıma) aşınması şeklindedir.

6.1.1.2 % 3 Grafit ve % 2 Kuvars içeren K2 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



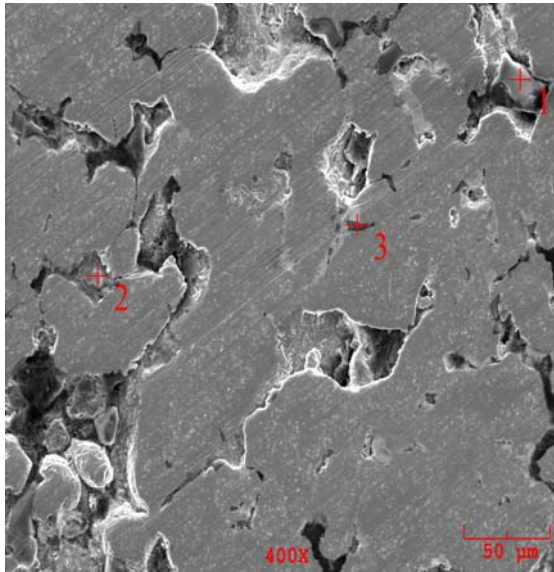
a)

b)

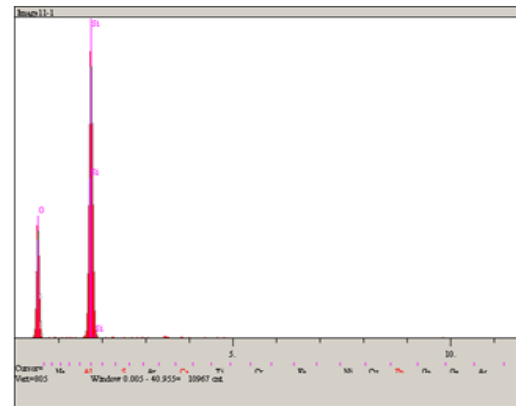
Şekil 6.5. a) K2 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) K2 balata malzemesinin SEM görünümü.

Şekil 6.5 ’te K2 balata malzemesinin mikroyapı resimlerine baktığımızda % 2 oranında katılan kuvars taneleri optik mikroskop’ta siyah olarak gözükmekte,

SEM’de beyaz olarak gözükmektedir. Sıvı faz sinterlemesi sırasında; Cu, Sn, Pb bronz kalayımı oluştururken, kuvars numunenin Şekil 6.6’daki EDS piklerinde görüldüğü üzere gözenekler içinde ve bronzun tane sınırında yer alarak malzemenin pürüzlülüğünü artırmış ve sert yapı oluşturmuş bu da sürtünme katsayısını yükseltip, dengelemiştir (Şekil 6.7).



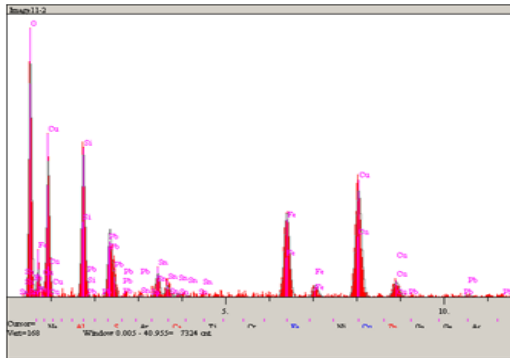
a)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units |
|------|------|-----------------|-------------|---------|------------|
| O | Kα | 232.43 | 9.641 | 63.150 | wt.% |
| Si | Kα | 723.74 | 17.013 | 36.850 | wt.% |
| | | | | 100.000 | wt.% Total |

20.0 kV
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

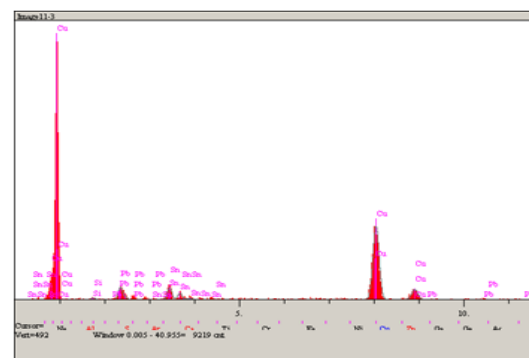
b)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units |
|------|------|-----------------|-------------|---------|------------|
| O | Kα | 119.47 | 6.910 | 39.912 | wt.% |
| Si | Kα | 89.28 | 3.974 | 8.037 | wt.% |
| Fe | Kα | 79.22 | 3.627 | 12.043 | wt.% |
| Cu | Kα | 110.79 | 6.655 | 31.704 | wt.% |
| Sn | Lα | 17.99 | 2.682 | 3.887 | wt.% |
| Pb | Lα | 2.01 | 0.897 | 4.417 | wt.% |
| | | | | 100.000 | wt.% Total |

20.0 kV
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

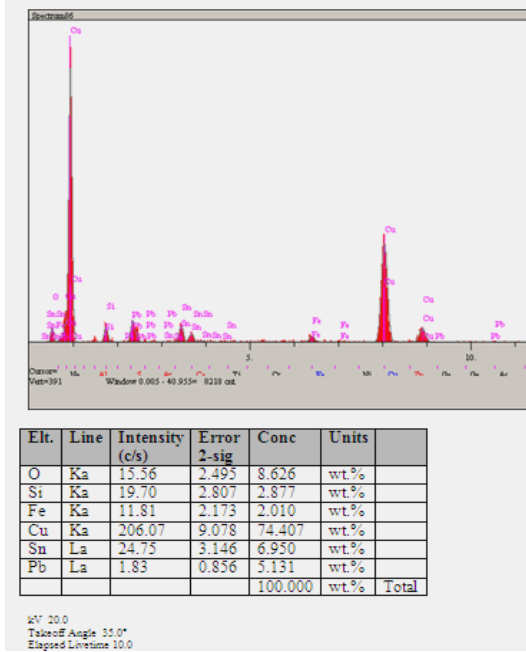
c)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units |
|------|------|-----------------|-------------|---------|------------|
| Si | Kα | 3.93 | 1.253 | 0.647 | wt.% |
| Cu | Kα | 224.71 | 9.480 | 85.855 | wt.% |
| Sn | Lα | 27.44 | 3.312 | 8.125 | wt.% |
| Pb | Lα | 1.81 | 0.850 | 3.374 | wt.% |
| | | | | 100.000 | wt.% Total |

20.0 kV
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

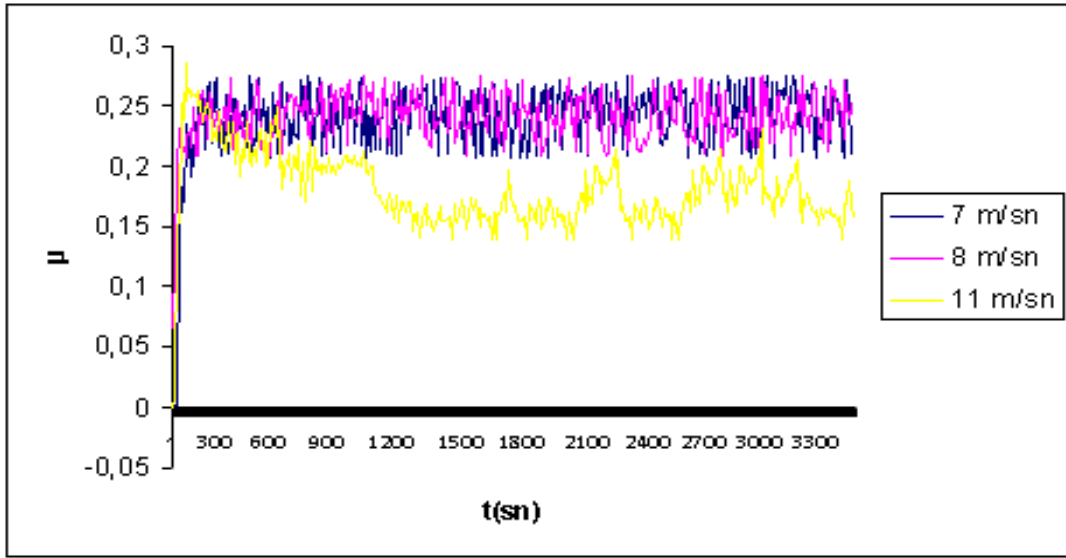
d)



e)

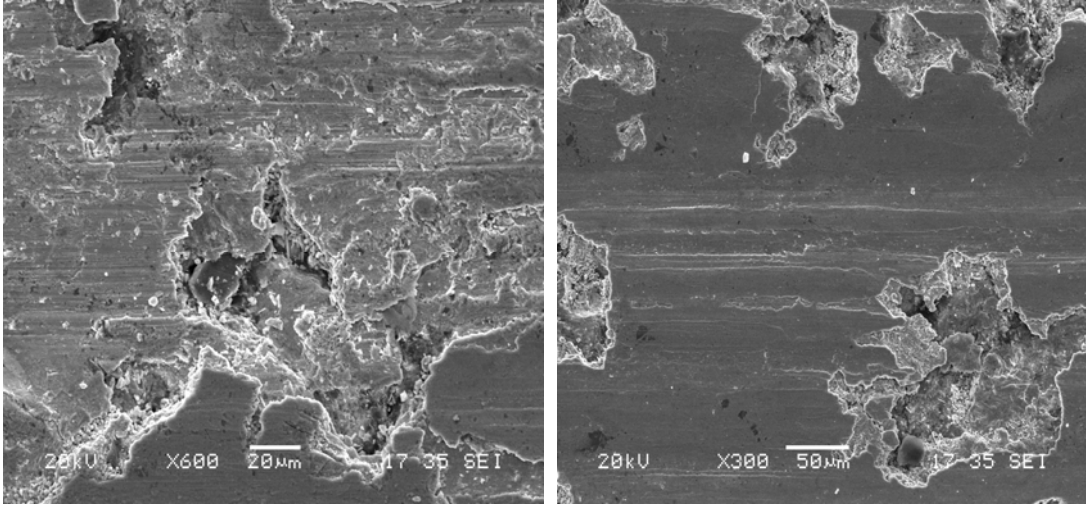
Şekil 6.6. a) K2 balata malzemesinin SEM’de, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) Balata malzemesinin genel analizi

Şekil 6.6’da K2 balata malzemesinin EDS analizleri incelendiğinde 1 nolu noktada kuvars(SiO_2) tanesi belirgin şekilde gözükmektedir. Kuvars taneleri; balata malzemesinin yüzeyinde bronz alaşımının taneleri etrafında ve gözenekler içindedir. Bu durum muhtemelen sinterleme evrelerinden olan orta devre sinterleme sırasında bronz alaşımı oluşurken kattığımız grafit ve kuvars oluşan gözeneklere ve bronz tanelerinin tane sınırında çöküp, farklı fazları oluşturmuştur. 2 nolu noktanın analizine bakıldığında kuvars tanesinin; Cu-Pb-Sn alaşımının taneleri arasındaki gözenekte ve Fe tanesinin sınırında bulunmaktadır. 3 nolu noktanın analizine bakıldığında Si ince tane olarak Cu-Pb-Sn alaşımın kenarında yer edinmiştir. Balata malzemesinin genel EDS analizi verilerine incelediğimizde kuvars numune içerisinde istenen şekilde(eşit) dağılmıştır. Bunun sonucu olarak sürtünme katsayısı bütün hızlarda dengelenmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. K2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği.

Şekil 6.7’de K2 balata malzemesinin hızlara göre sürtünme katsayısının başlangıçta biraz yüksek olduğu, zamanla dengelenmiş durumda olduğunu görmekteyiz. Malzemenin mikroyapı görüntülerinden(Şekil 6.5 ve 6.6) anlaşılacağı üzere malzemeye katılan kuvars gözenekliliği artırmış bu da bütün hızlarda sürtünme katsayısının yüksek çıkmasına neden olarak aşınma kaybının K1 balata malzemesine göre yüksek çıkmasına neden olmuştur. Hız arttıkça sürtünme katsayısı düşmüştür ve 7 m/sn ve 8 m/sn hızlarında sürtünme katsayısı daha kararlı bir seyir izlemiştir. Aşınan yüzeylerin mikro yapıları incelendiğinde % 3 grafitle beraber malzemeye % 2 oranında katılan kuvars gözenekliliği artırarak abrasiv karakterde aşınmaya neden olup, aşınma kaybını yükseltmiştir (Şekil 6.8).

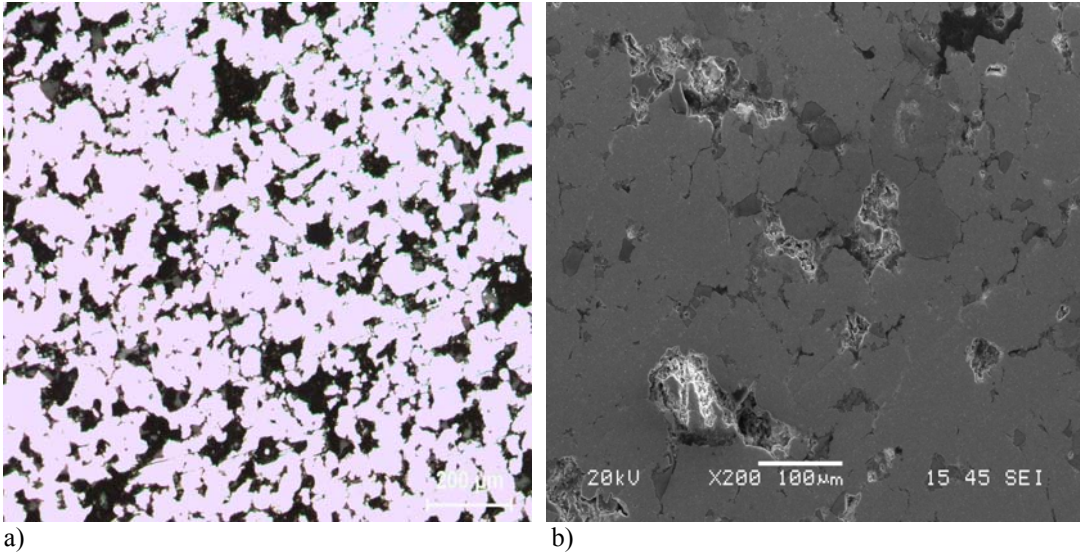


a)

b)

Şekil 6.8. K2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.1.3 % 3 Grafit ve % 4 Kuvars içeren K3 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

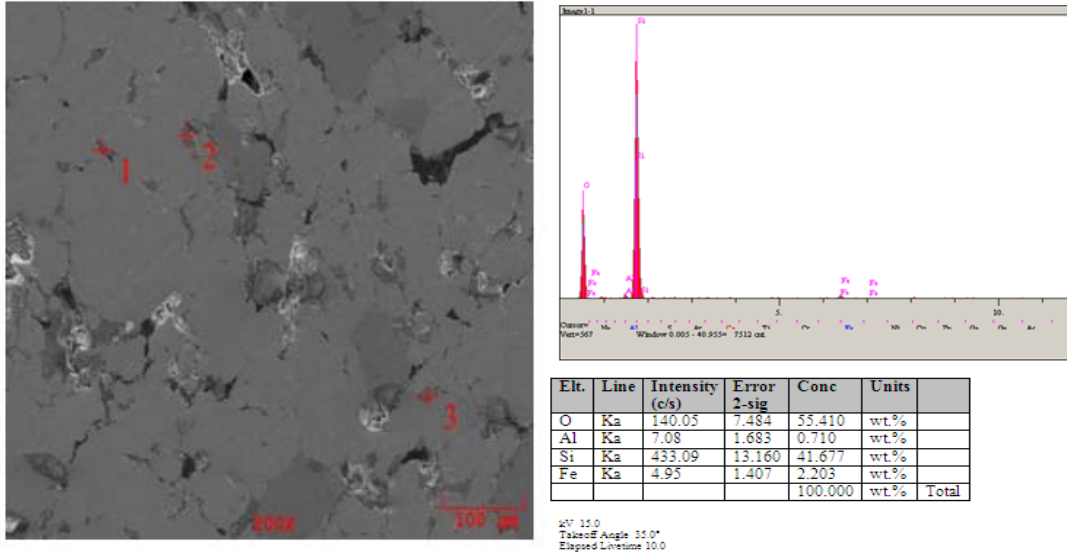


a)

b)

Şekil 6.9. a) K3 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) K3 numunesinin SEM görünümü

Şekil 6.9’da K3 balata malzemesinin mikroyapı resimlerine baktığımızda kuvars oranının (%6) artmasıyla kuvars taneleri daha belirgin gözükmemektedir ve malzemedeki gözeneklilik artmıştır.

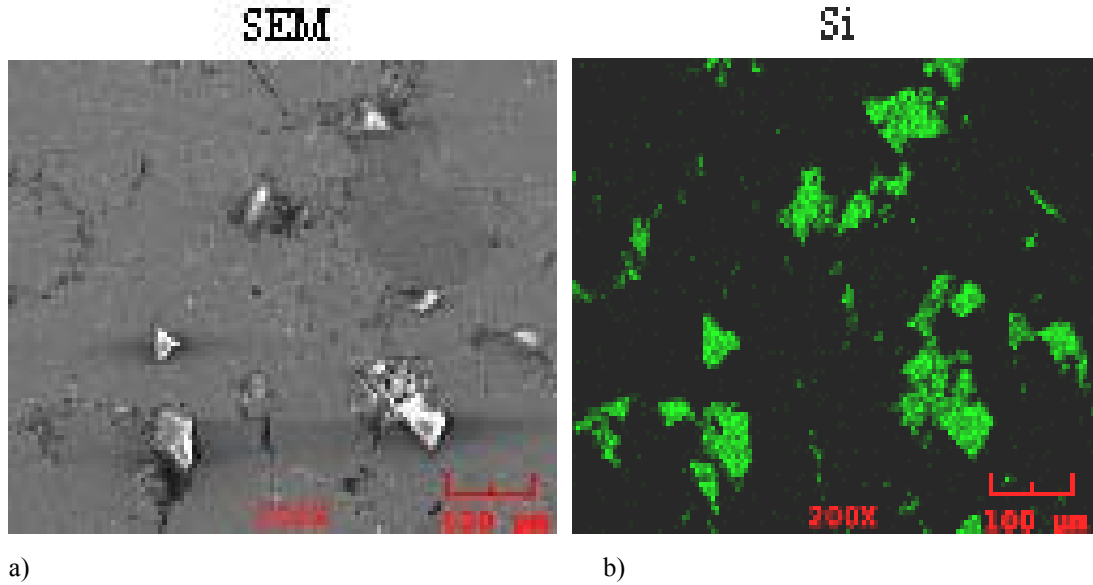


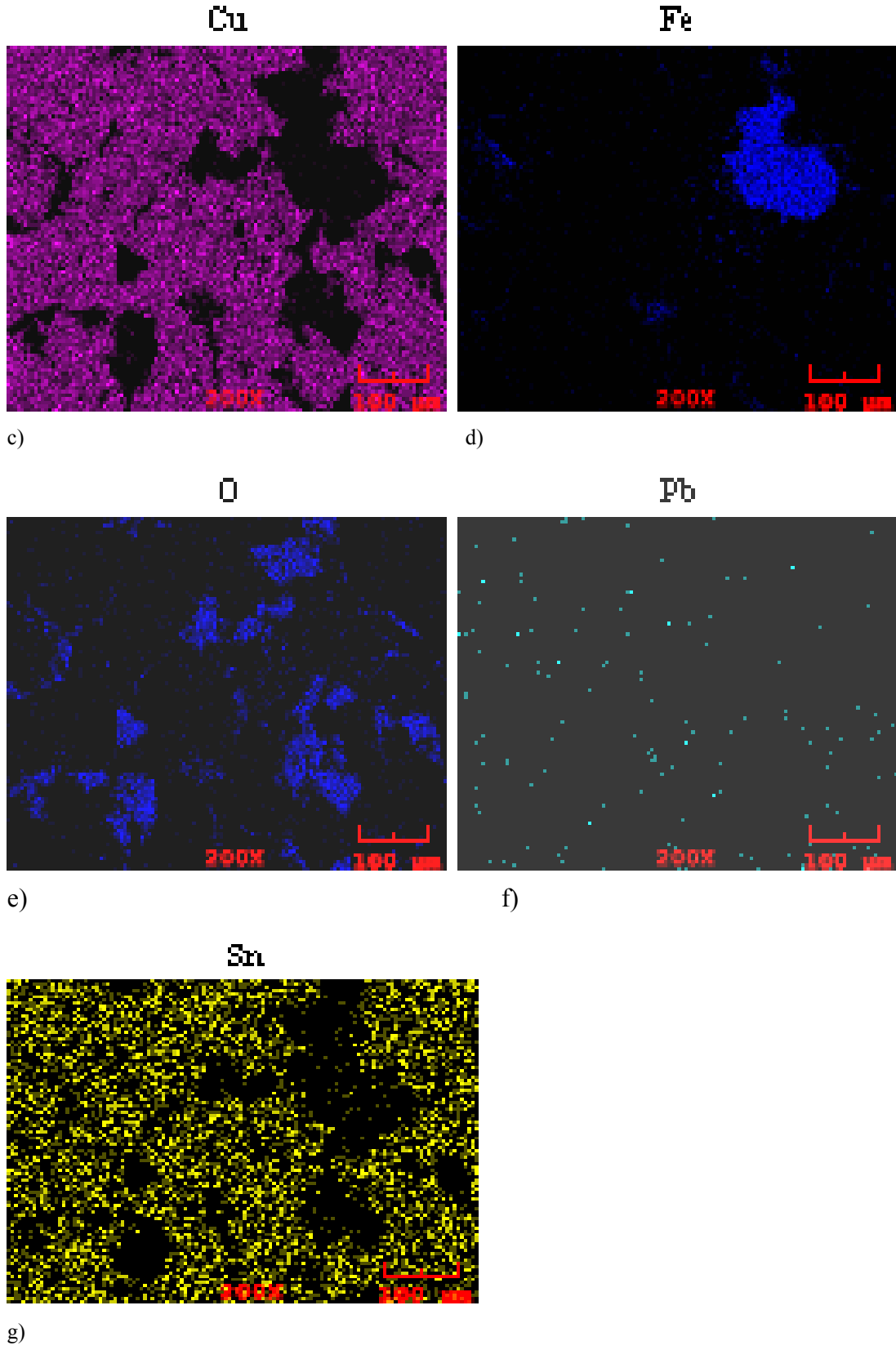
a)

b)

Şekil 6.10. a) K3 balata malzemesinin SEM’de, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi

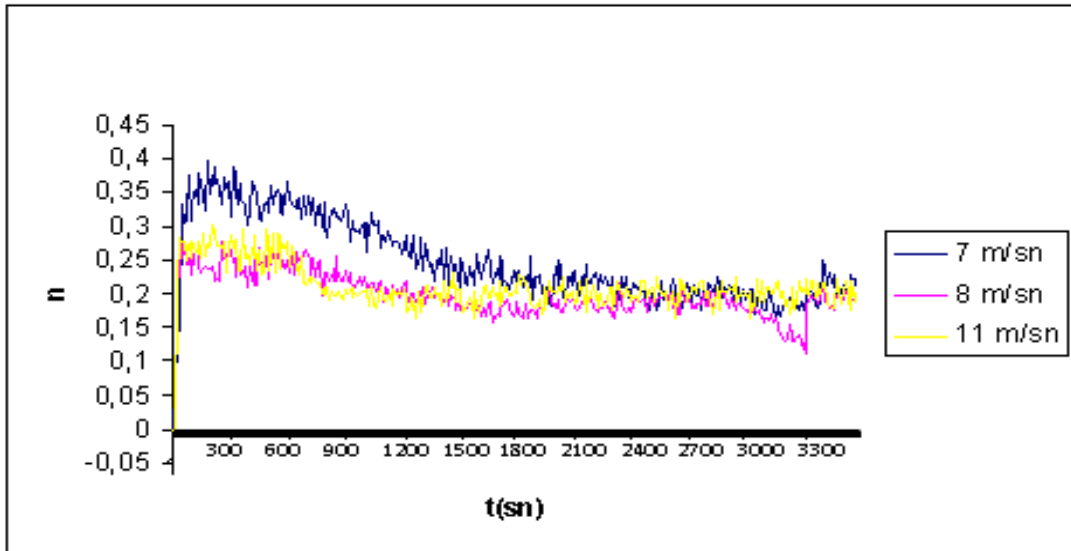
Şekil 6.10.’da görülen K3 balata malzemesinin EDS analizi incelendiğinde 1 nolu noktada kuvars(SiO_2) tanesi gözenek içinde bronz alaşımının tane sınırında belirgin şekilde gözükmetedir.





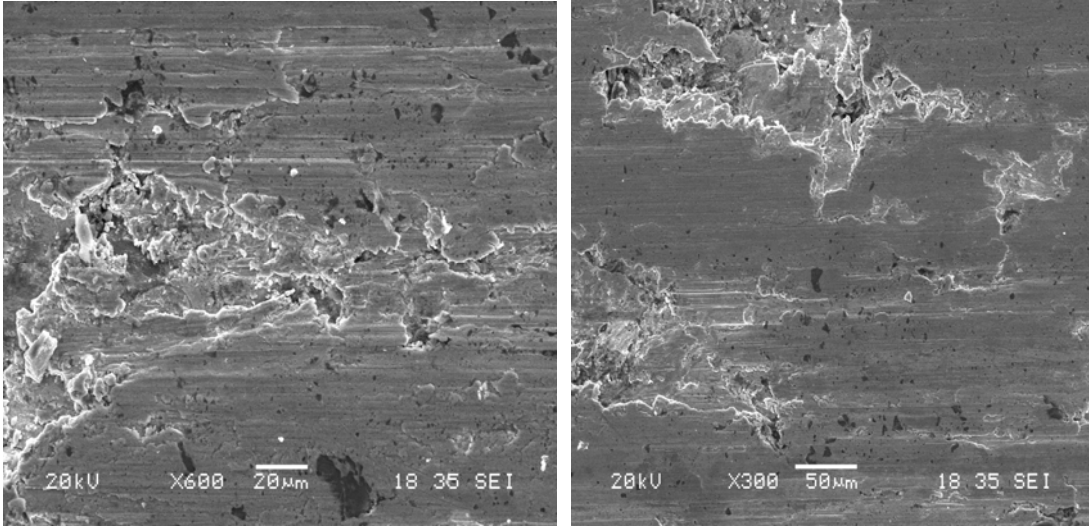
Şekil 6.11. K3 balata malzemesinin SEM mapping elementel analizi a) K3 balata malzemesinin SEM görüntüsü b) Silisyum (Si) elementel dağılımı c) Bakır (Cu) elementel dağılımı d) Demir (Fe) elementel dağılımı e) Oksijen (O) elementel dağılımı f) Kurşun (Pb) elementel dağılımı g) Kalay (Sn) elementel dağılımı

Şekil 6.11’de K3 balata malzemesine kattığımız partiküllerin dağılımından anlaşılacağı üzere kuvars katılan bütün numunelerin SEM görüntülerine beyaz ve köşeli olarak gözükten tanelerin kuvars (SiO_2) olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca Bronz’un alaşım oluşturduğu Cu, Sn, Pb aynı bölgelerde yoğunlaştığından anlamaktayız. Muhtemelen Sıvı faz sinterlemesi sırasında; sıvı hale geçen Cu ve Sn bronz alaşımı oluşurken kattığımız katkı(kuvars),oluşan bronz tanesinin köşelerinde çökelmiş durumda, bazende Fe’nin tane sınırında yer almaktadır. Malzemeye Fe katmamızdaki amaç matris olan bronzdan daha sert bir yapı oluşturmak; grafit ve kuvarsla birlikte yüzey pürüzlülüğünü artırarak sürtünme katsayısını dengeleyip yükseltmektir. Zaten malzemenin aşınma davranışlarından bütün hızlarda sürtünme katsayısı dengelenmiş vaziyettedir (Şekil 6.12)



Şekil 6.12. K3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği.

Şekil 6.12’de K3 balata malzemesinin aşınma davranışlarına baktığımızda; bütün hızlarda sürtünme katsayısı 1500 saniyeden sonra dengelenmiş durumdadır. Bunun nedeni disk ve balatanın ısınmasıdır. K2 balata malzemesine göre K3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı bütün hızlarda düşüş göstermiştir. Bunun neticesi olarak malzemenin aşınma kaybı düşmüş ve düşük abrasiv aşınma davranışı oluşmuştur (Şekil 6.13).

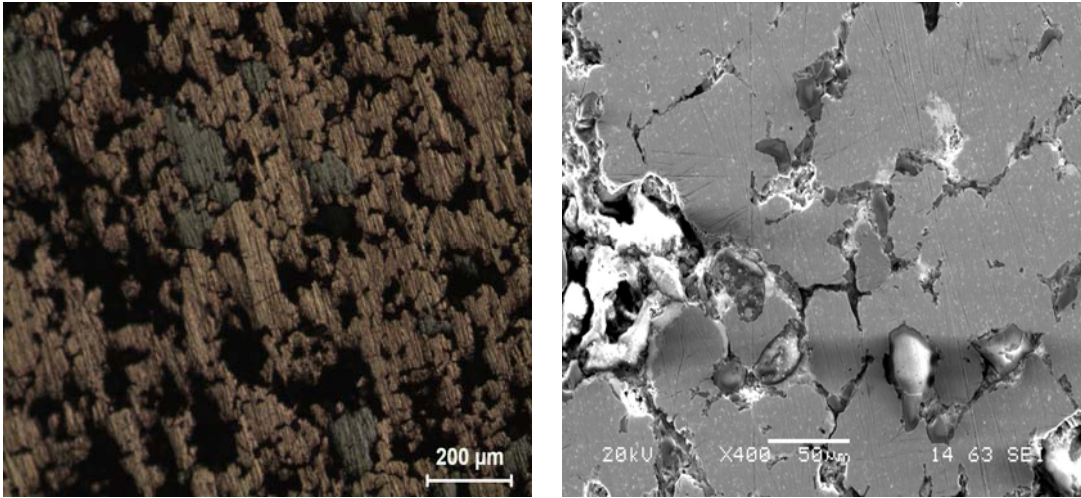


a)

b)

Şekil 6.13. K3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.1.4 % 3 Grafit ve % 4 Kuvars içeren K4 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

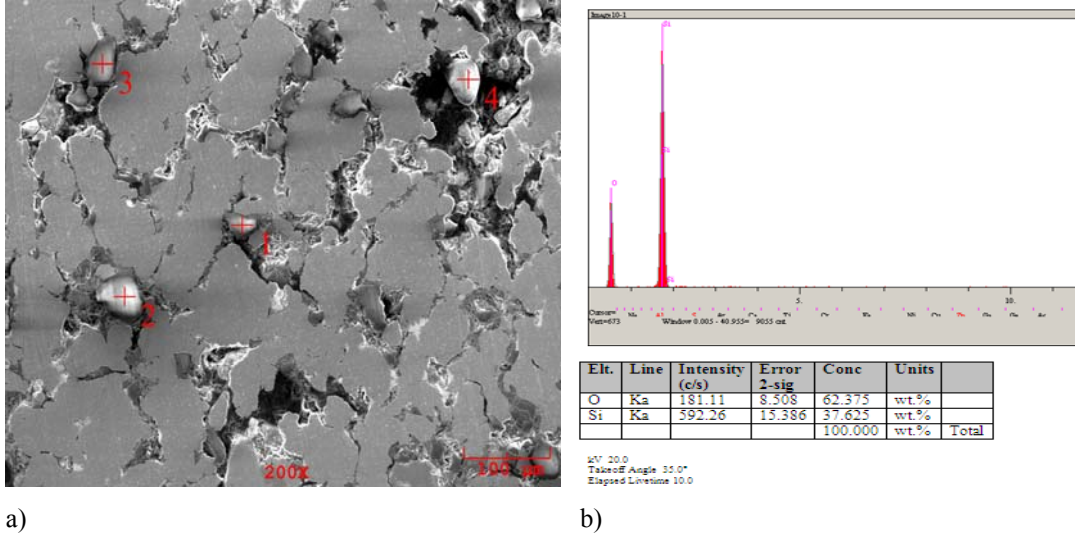


a)

b)

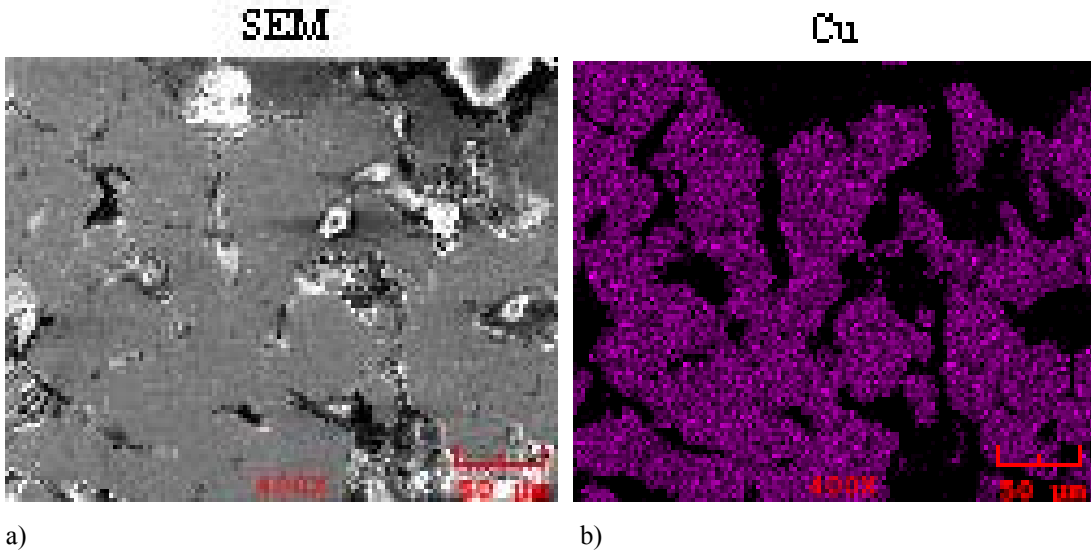
Şekil 6.14. a) K4 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) K4 balata malzemesinin SEM görünümü

Şekil 6.14’de K4 balata malzemesinin görüntü resimlerinde kuvars taneleri artan kuvars oranına paralel olarak daha da belirginleşmekte bu da aşınma sırasında sürtünme katsayısını yükseltmektedir (Şekil 6.17).

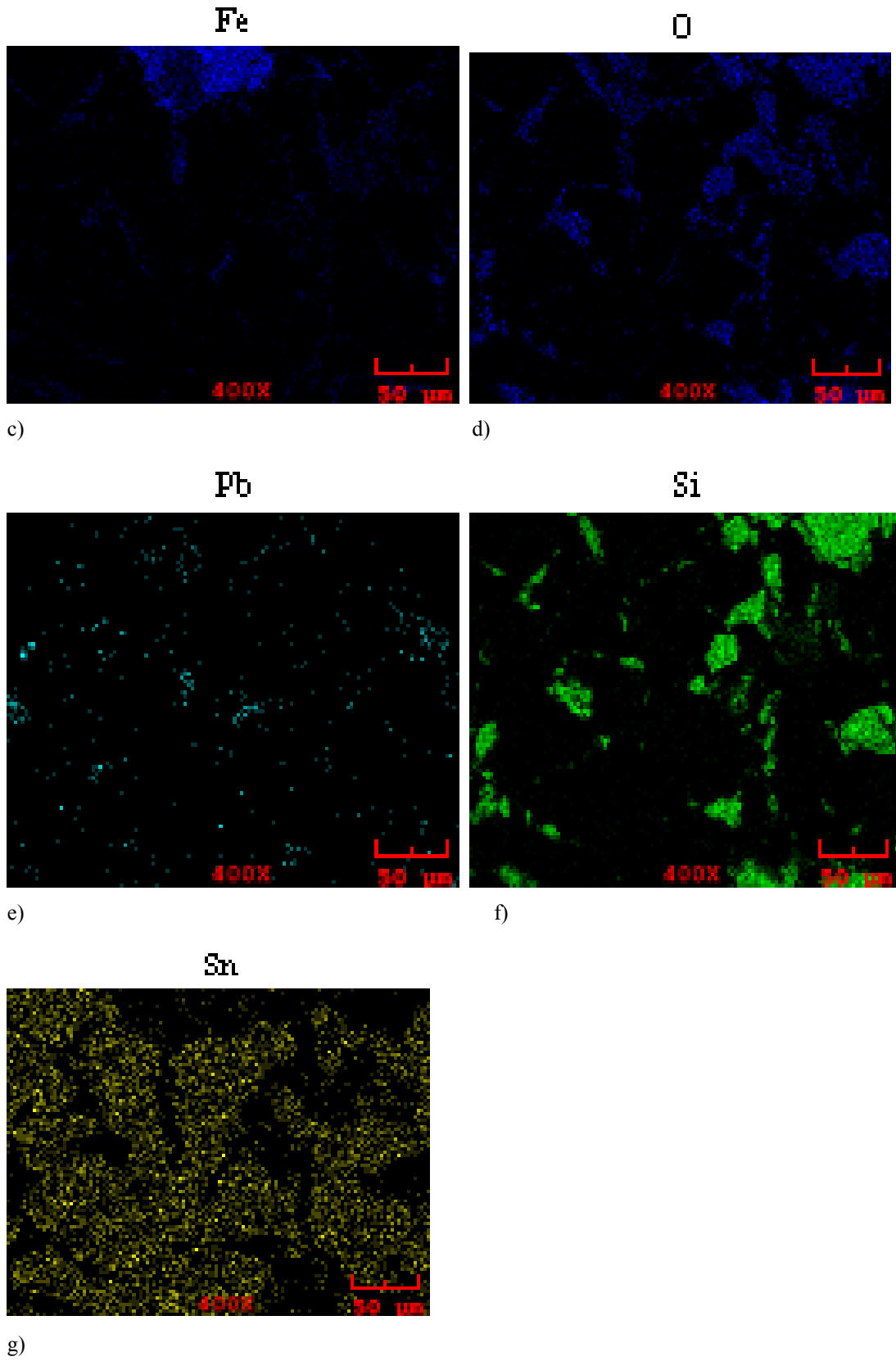


a) b)
Şekil 6.15. a) K4 balata malzemesinin SEM’de, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi

Şekil 6.15’te görülen K4 balata malzemesinin EDS analizini incelediğimizde; bütün bütün noktalarda (1, 2, 3, 4) kuvars belirgin şekilde gözükmemektedir. Artan kuvars miktarına paralel olarak numunedeki gözenekler artmış ve kuvars gözenekleri içinde kendine yer edinmiştir. Balata malzemesinin SEM mapping analizinde kuvarın oranının gözeneklerin oranına paralel olarak arttığı görülmektedir (Şekil 6.16).

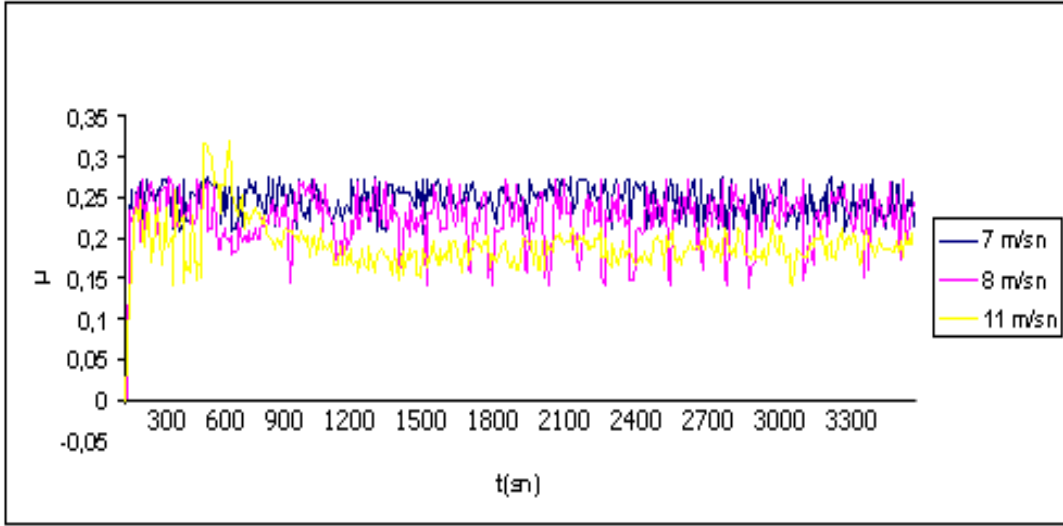


a) b)



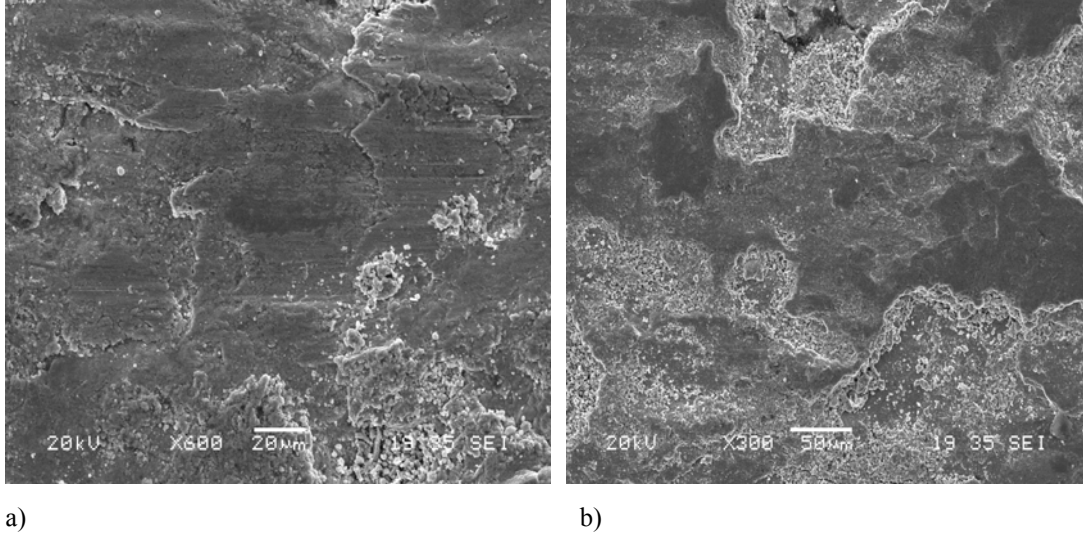
Şekil 6.16. K4 balata malzemesinin SEM mapping elementel analizi a) K4 balata malzemesinin SEM görüntüsü b) Bakır(Cu) elementel dağılımı c) Demir (Fe) elementel dağılımı d) Oksijen (O) elementel dağılımı e) Kurşun (Pb) elementel dağılımı f) Silisyum(Si) elementel dağılımı g) Kalay (Sn) elementel dağılımı

Şekil 6.16 'da K4 balata malzemesinin Map analizi incelendiğimizde artan kuvars (SiO_2) oranına doğru orantılı olarak bronz matrisi içinde gözeneklik artmış kuvars taneleri daha da belirginleşmiş durumdadır. Bu durum bütün hızlarda sürtünme katsayısını artırmıştır (Şekil 6.17)



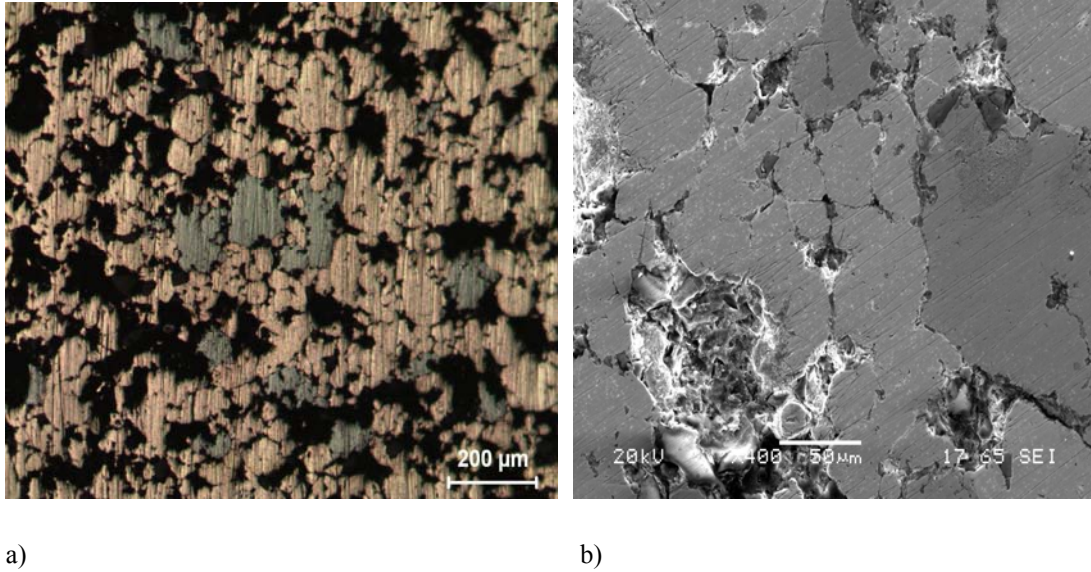
Şekil 6.17 K4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.17'de K4 balata malzemesinin aşınma davranışları incelediğimizde 7 m/sn ve 11 m/sn hızlarında daha kararlı (az değişen) bir sürtünme katsayısı görmekteyiz. Daha önceden söz ettiğimiz gibi kuvarsin artması bütün hızlarda sürtünme katsayısını yükseltmiştir. Adesiv ve abrasiv aşınma neticesinde malzemedan daha fazla kopmalar olarak aşınma kaybı artmış ve aşınma izleri derinleşmiştir (Şekil 6.18)



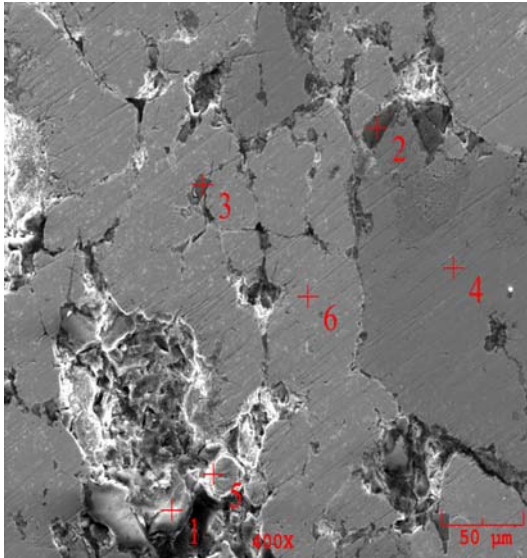
Şekil 6.18. K4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.1.5 % 3 Grafit ve % 8 Kuvars içeren K5 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

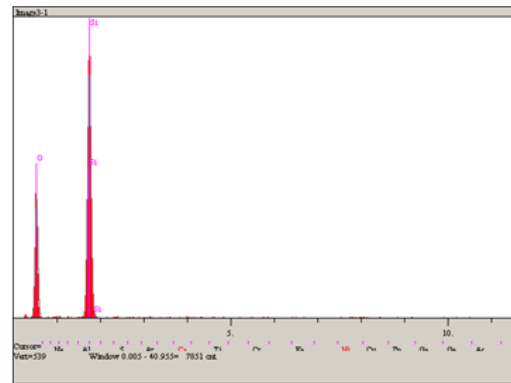


Şekil: 6.19. a) K5 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) K5 numunesinin SEM görünümü

K5 balata malzemesinin mikroyapı resimlerinde görüyoruz ki malzemedeki % 8 oranında katılan kuvars taneleri sinterleme sırasında muhtemelen malzeme içinde iyice yayılmış ve küçük taneler olarak katılmıştır (Şekil 6.20). Bu durum malzemenin tribiyolojik özelliğinin etkileyerek bütün hızlarda sürtünme katsayısının düşük çıkmasına neden olmuştur (Şekil 6.21).



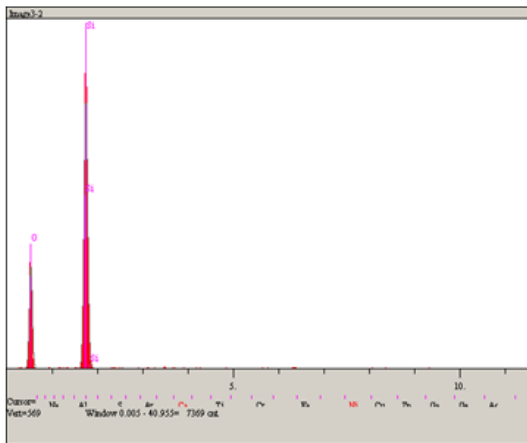
a)



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| O | Ka | 183.74 | 8.572 | 66.488 | wt.% | |
| Si | Ka | 460.77 | 13.574 | 33.512 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

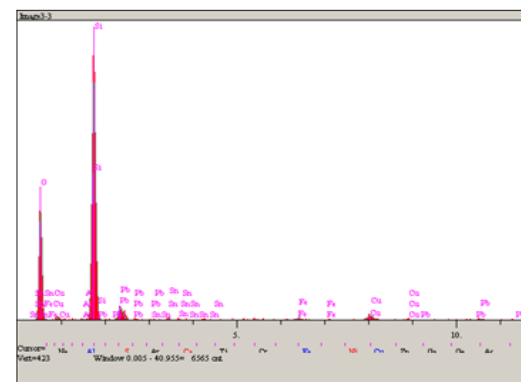
b)



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| O | Ka | 142.43 | 7.545 | 62.665 | wt.% | |
| Si | Ka | 457.30 | 13.520 | 37.335 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

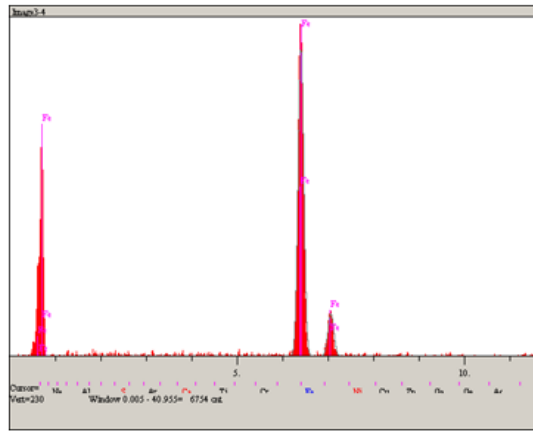
c)



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| O | Ka | 131.11 | 7.239 | 56.291 | wt.% | |
| Al | Ka | 1.86 | 0.862 | 0.174 | wt.% | |
| Si | Ka | 356.17 | 11.931 | 28.880 | wt.% | |
| Fe | Ka | 4.29 | 1.309 | 0.879 | wt.% | |
| Cu | Ka | 11.76 | 2.168 | 4.172 | wt.% | |
| Sn | La | 2.37 | 0.973 | 0.744 | wt.% | |
| Pb | La | 3.25 | 1.140 | 8.860 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

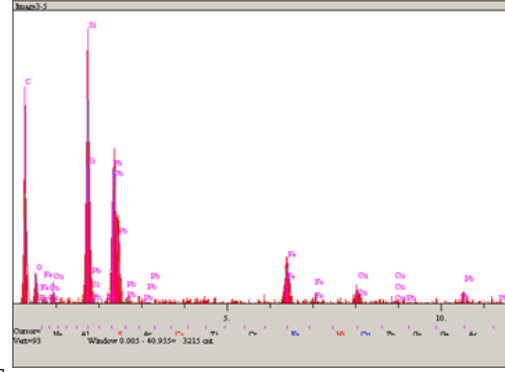
d)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|------|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| Fe | Ka | 328.14 | 11.451 | 100.000 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

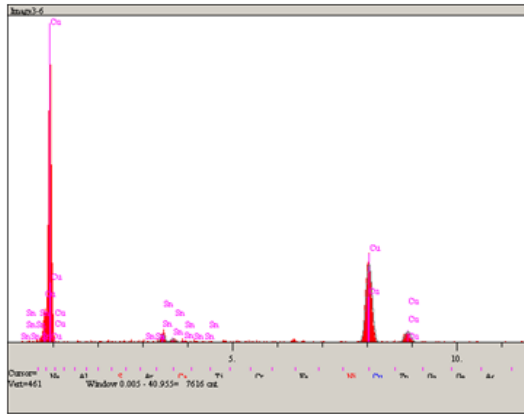
e)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|------|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| C | Ka | 32.30 | 3.594 | 59.518 | wt.% | |
| O | Ka | 7.53 | 1.736 | 10.616 | wt.% | |
| Si | Ka | 68.98 | 5.252 | 7.440 | wt.% | |
| Fe | Ka | 17.58 | 2.651 | 5.004 | wt.% | |
| Cu | Ka | 6.83 | 1.652 | 3.386 | wt.% | |
| Pb | La | 3.70 | 1.216 | 14.036 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

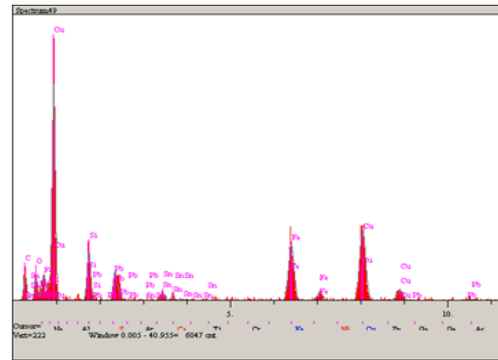
f)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|------|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| Cu | Ka | 190.08 | 8.719 | 94.792 | wt.% | |
| Sn | La | 14.47 | 2.406 | 5.208 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

g)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|------|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| C | Ka | 17.20 | 2.622 | 32.167 | wt.% | |
| O | Ka | 16.45 | 2.565 | 10.943 | wt.% | |
| Si | Ka | 39.01 | 3.949 | 3.880 | wt.% | |
| Fe | Ka | 67.70 | 5.203 | 11.851 | wt.% | |
| Cu | Ka | 94.07 | 6.133 | 31.321 | wt.% | |
| Sn | La | 7.11 | 1.686 | 1.743 | wt.% | |
| Pb | La | 3.17 | 1.126 | 8.094 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

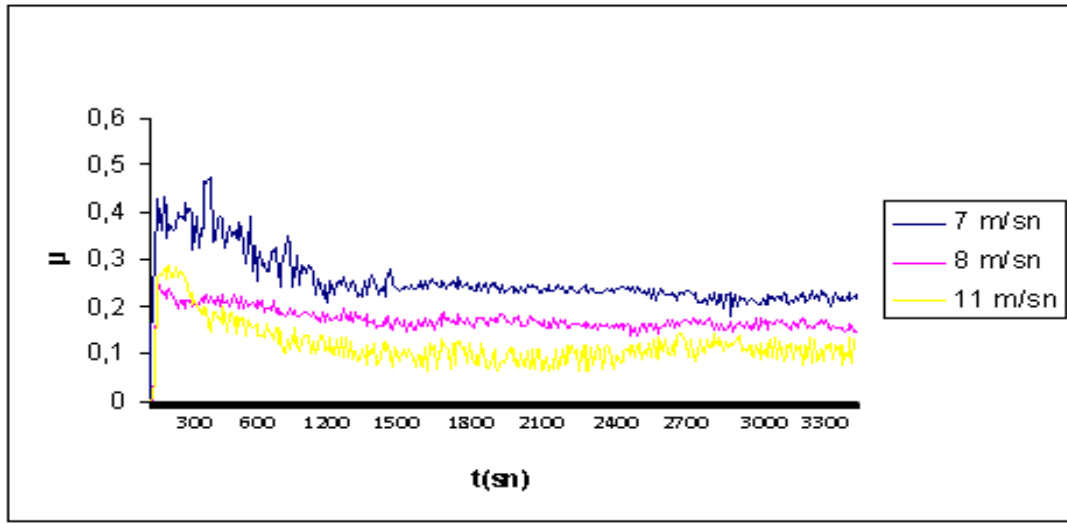
kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

h)

Şekil: 6.20. a) K5 balata malzemesinin SEM'de, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) 4 noktasının EDS analizi f) 5 noktasının EDS analizi g) 6 noktasının EDS analizi h) Balata malzemesinin genel analizi

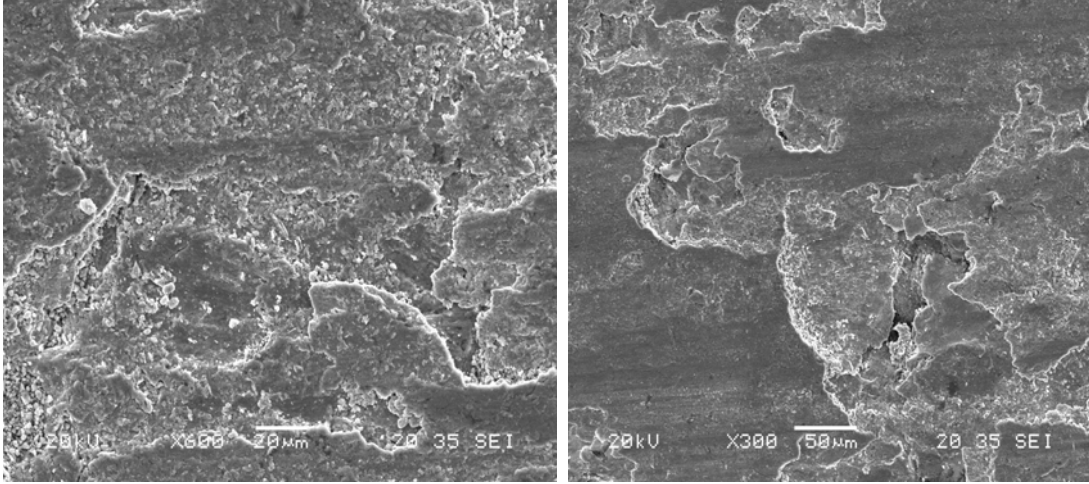
Şekil 6.20'de K5 balata malzemesinin EDS analizinde görüyoruz ki; 1 nolu noktada kuvars belirgin şekilde gözenek içinde bulunmaktadır. 2 nolu noktada kuvars demirin tane sınırında bulunmaktadır. 3 nolu noktada kuvars bronz alaşımının içerisinde yer almaktadır. 4 nolu noktada malzeme içerisinde erimeden olduğu şekilde duran demir (Fe) tanesini görülmektedir. 5 nolu noktanın analizinde grafit ve kuvars gözenek içinde bronz alaşımının tane sınırında bulunmaktadır. 6 nolu noktanın analizinde sıvı

faz sinterlemesiyle alaşım oluşturmuş olan Cu-Sn-Pb alaşımını göstermektedir, Pb' taneseli olarak küçük (Cu ve Sn'den) olduğundan analizde gözükmemektedir. Fakat varlığı göz ardı edilmemelidir. Resmin genel analizi incelendiğinde malzemeye % 8 oranında kattığımız kuvars sinterleme sırasında parçalanmış, gözenekliği artırmış; fakat küçük taneler halinde malzeme içinde dağıldığından bütün hızların sürtünme katsayıları düşük çıkmıştır (Şekil 6.21).



Şekil 6.21. K5 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.21'de K5 balata malzemesinin aşınma davranışlarında bütün hızlarda ilk etapta yükselme olmuş; fakat balatanın ve diskin ısınmasıyla sürtünme katsayısı dengelenmiştir. Bütün hızlarda sürtünme katsayısı düşük çıkmasına rağmen; 1200 saniyeden sonra kararlı sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bronz balatalara kuvars mineral katkısı % 6 oranına kadar sürtünme katsayısını dolayısıyla frenleme etkisini artırmıştır. Kuvars ilavesi ayrıca aşınma kaybını azaltmıştır. Bu da bronz balataların ömrünü artırmıştır. Aşınma abrasiv(yapışma) aşınmasıyla birlikte ağırlıklı olarak adesiv karakterdedir (Şekil 6.22).



a)

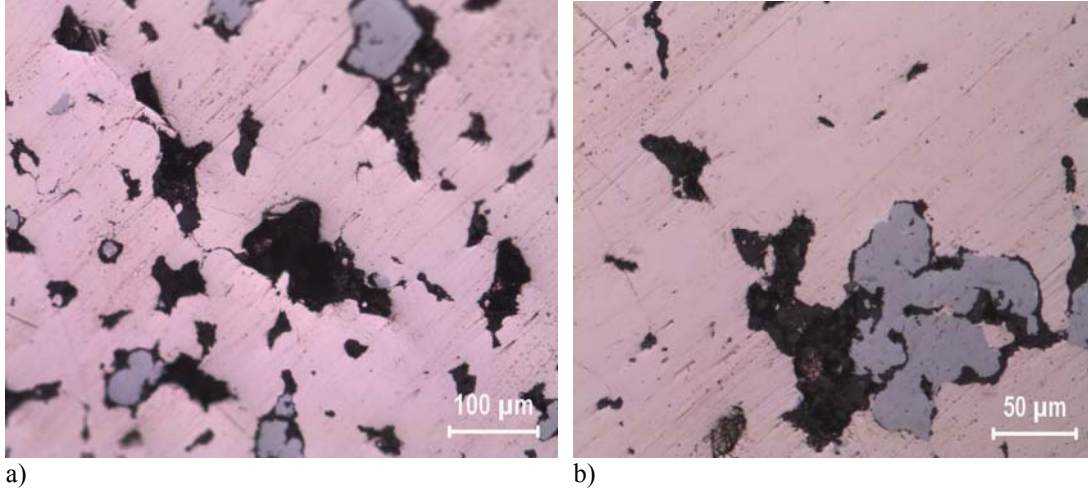
b)

Şekil 6.22. K5 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.2 Diatomit katkılı balata malzemelerin mikroyapı resimleri ve aşınma cihazı performans test sonuçları

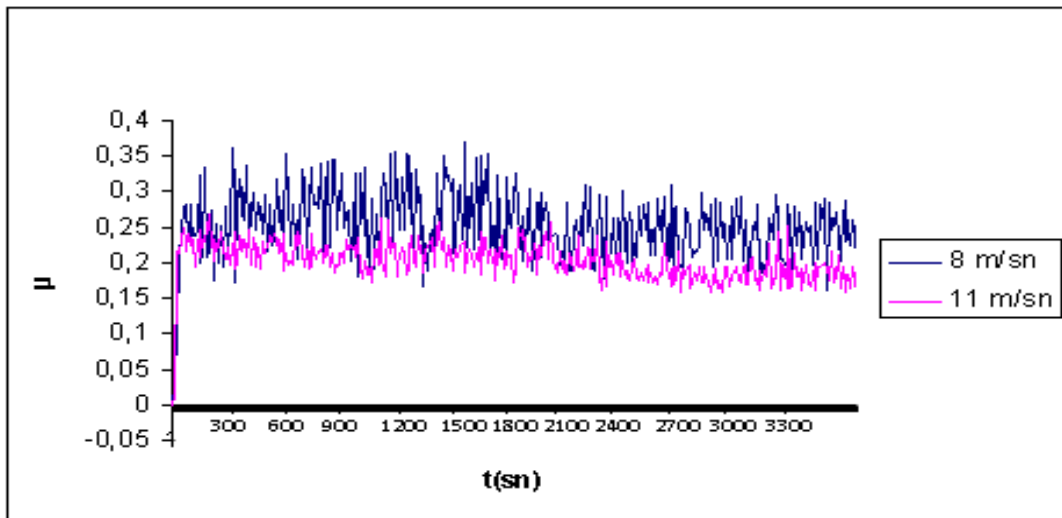
Aşağıdaki balata malzemelerinden; G0-1,G0-2,G0-3,G0-4,G1-1,G1-2,G1-3,G-4,G2-1,G2-2,G2-3,G2-4 balata malzemelerine 314 N sabit yükte 8 m/sn ve 11 m/sn olmak üzere iki farklı hızda, G3 1,G3-2,G3-3,G3-4 balata malzemelerine ise 314 N sabit yükte 7 m/sn,8 m/sn ve 11 m/sn olmak üzere üç farklı hızda balata aşınma test cihazında yapılmıştır. Cihaz çalıştıktan sonra yük artırılarak uygulanmış ve anılan yükte sabitlenmiştir.

6.1.2.1. % 0 Grafit ve % 2 Diatomit'li G0-1 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



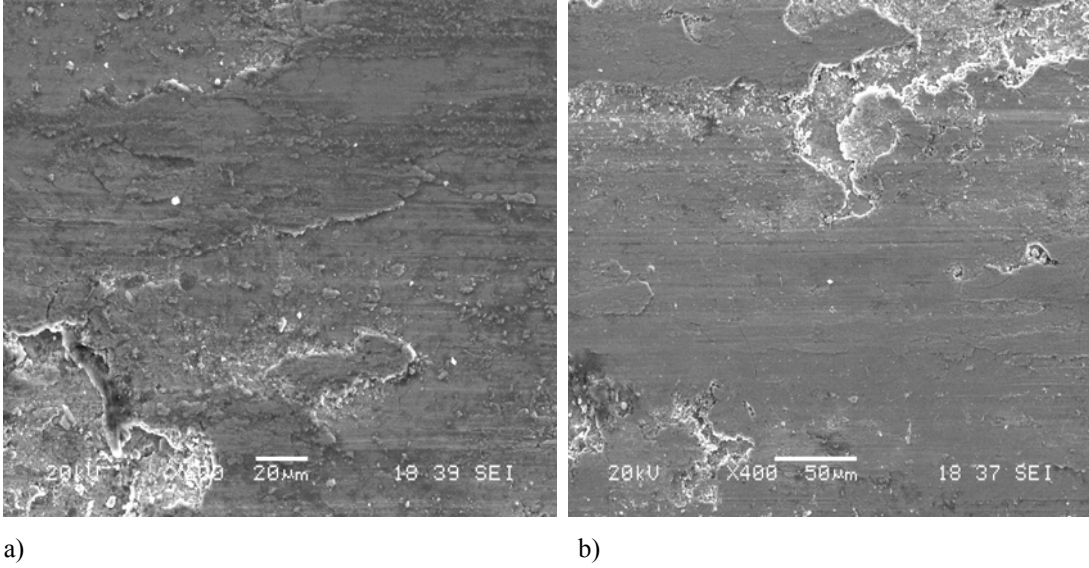
Şekil: 6.23. G0-1 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.23.'de G0-1 balata malzemesinin optik mikroskopta çekilmiş görüntülerini incelediğimizde; beyaz renkte olan bölgeler ana matris olan Cu-Sn-Pb bronz alaşımını, gri renkte olan taneler ise sinterleme sırasında erimeden duran Fe taneleridir. Diatomit taneleri ise siyah olarak gözüken gözenek ve kısımlarda muhtemelen birikmiş durumdadır ve koyu gri renkte olup demir tanelerinden yaklaşık olarak 10-12 kat daha küçük boyutlara sahiptir. Görüntüler bize balata malzemesinin iyi sinterlendiğini göstermektedir.



Şekil 6.24. G0-1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

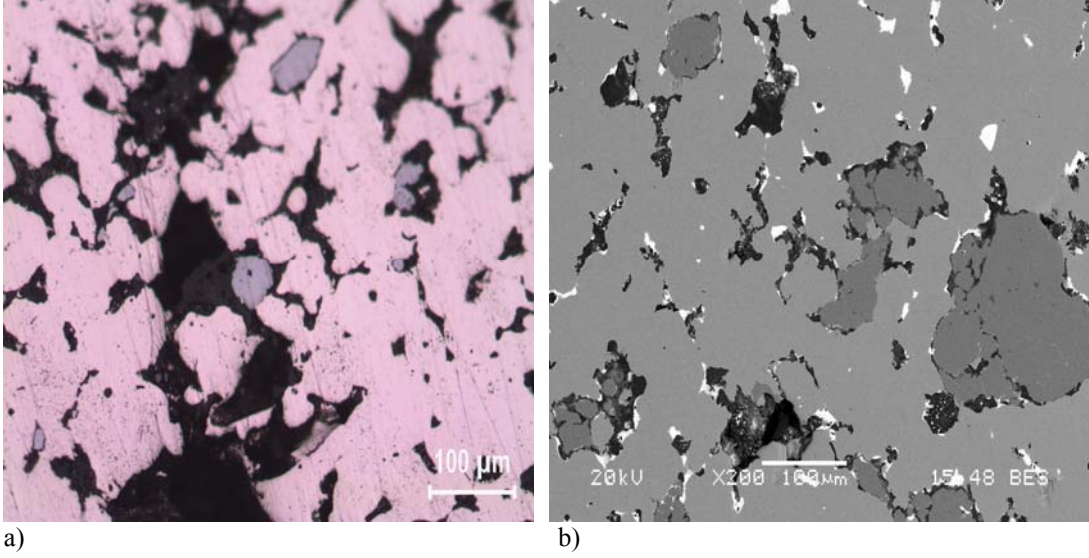
Şekil 6.24’de G0–1 balata malzemesinin hızlara göre sürtünme katsayısının zamana göre değişimine baktığımızda; malzemenin sürtünme katsayısı özellikle 11 m/sn hızda, 8 m/sn hızı göre daha kararlı bir davranış göstermiştir.



Şekil 6.25 G0–1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

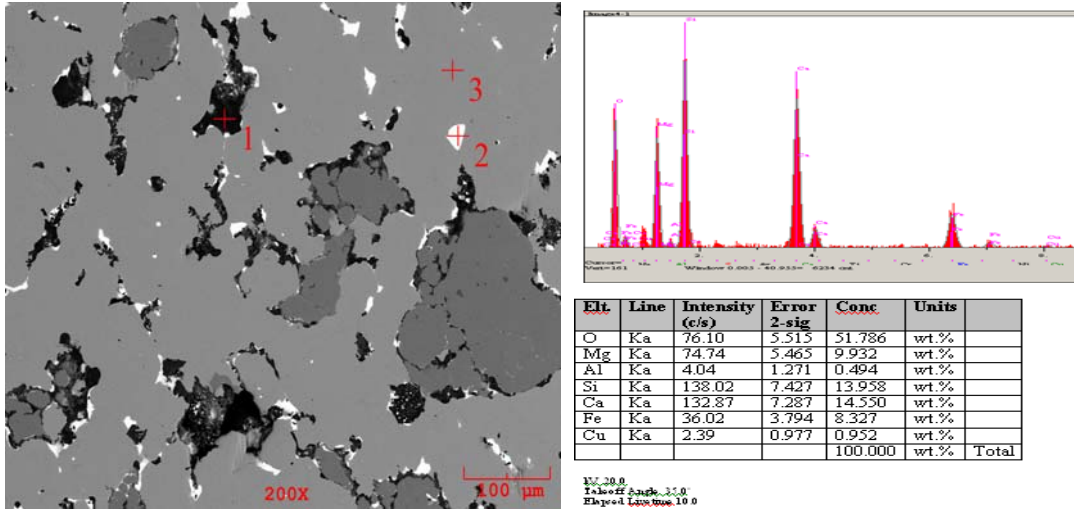
Şekil 6.25’de G0–1 balata malzemesinin aşınma izlerine baktığımızda; Adhesiv(yapışkan) aşınma mekanizmasıyla diske göre yumuşak olan balata malzemesinin yüzeyinden kopan patiküller bölgesel olarak iz bırakmıştır. Literatür kısmının Bölüm 3.3.2.1’de bahsedildiği üzere temasta olan yüzeyler birbirlerini pürüzlü noktalarda etkilerler. Gerçek temas alanı çok küçük olduğundan uygulanan yükün etkisiyle plastik temastaki iki yüzey (balata ve disk) arasındaki temas artar. Temastaki pürüzler basıncı taşımayacak duruma geldiğinde akma sınırı aşılır ve plastik deformasyon meydana gelir ve yumuşak malzeme(balata)’den parçacıklar kopar [49].

6.1.2.2. % 0 Grafit ve % 4 Diatomit'li G0-2 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

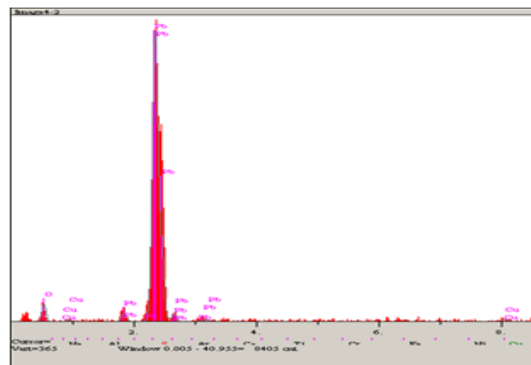


Şekil 6.26. a) G0-2 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) G0-2 balata malzemesinin SEM görünümü

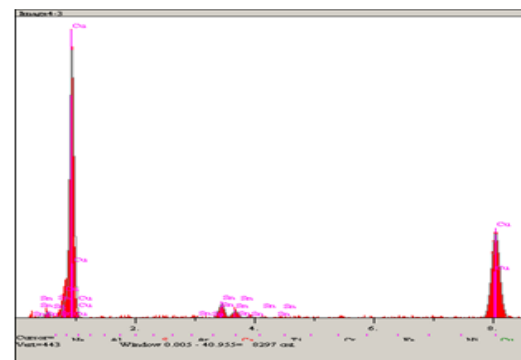
Şekil 6.26'da G0-2 balata malzemesinin görüntü resimleri bize sıvı faz sinterlemesinde, malzemeye katılan %4 oranında diatomit malzemenin yüzey pürüzlülüğünü artırarak gözenekliliğin artmasına neden olduğunu göstermiştir.



a)



b)

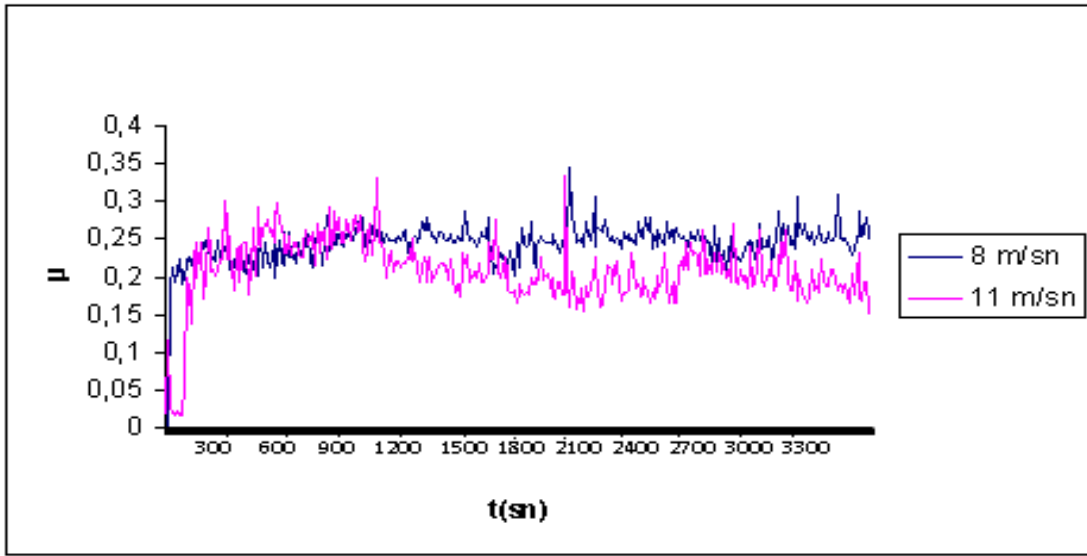


c)

Şekil 6.27. a) G0-2 balata malzemesinin SEM'nde, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi

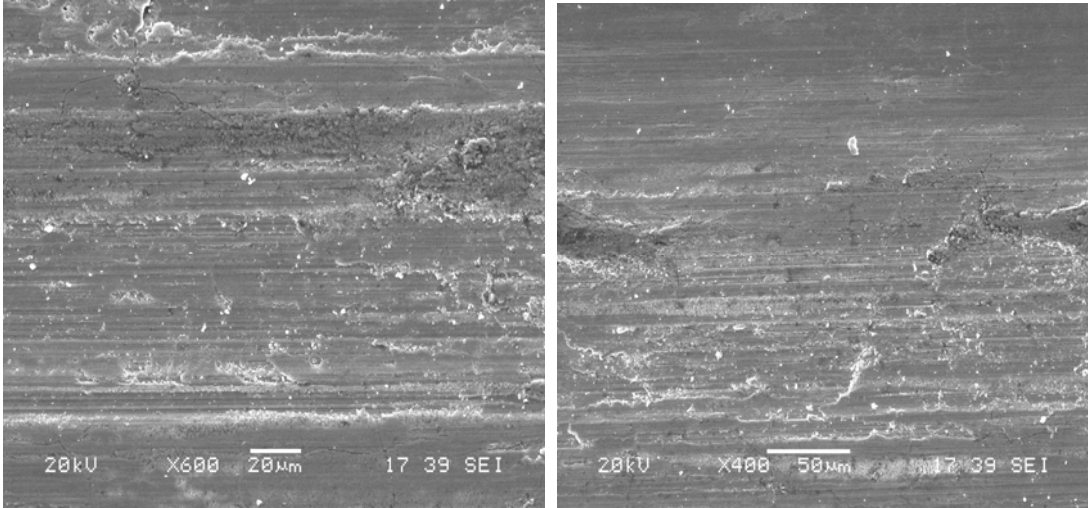
d)

Şekil 6.27'deki G0–2 balata malzemesinin EDS analizlerini incelediğimizde; 1 nolu noktada sıvı faz sinterlemesi sırasında oluşan bronz tanesinin köşesinde yer alan diatomit tanesini görmekteyiz. Analizde diatomit'i oluşturan Si elementi dışında Mg, Al, Ca, gibi elementlerin olması diatomit'in doğal olarak yapısında bulunmasından kaynaklanmaktadır. 2 nolu noktanın EDS analizinde Pb'nin bronz tanesinin içinde görüyoruz. 3 nolu noktanın analizinde kalay bronzu tanesini görüyoruz.



Şekil 6.28. G0–2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.28 'de içerisine % 4 diatomit katılan G0–2 balata malzemesinin aşınma davranışına baktığımızda; diatomitin artmasıyla malzeme yüzeyinde yüzey pürüzlülüğü artmış ve bu da özellikle 8 m/sn hızda sürtünme katsayısını dengelemiştir. Aşınma izlerinin mikroyapı resimlerinde; düşük adesiv karakter aşınma şeklini görmekteyiz (Şekil 6.29). Fakat malzemenin aşınma kaybı % 2 diatomit içeren G0–1 balata malzemesine göre yüksek çıkmıştır.

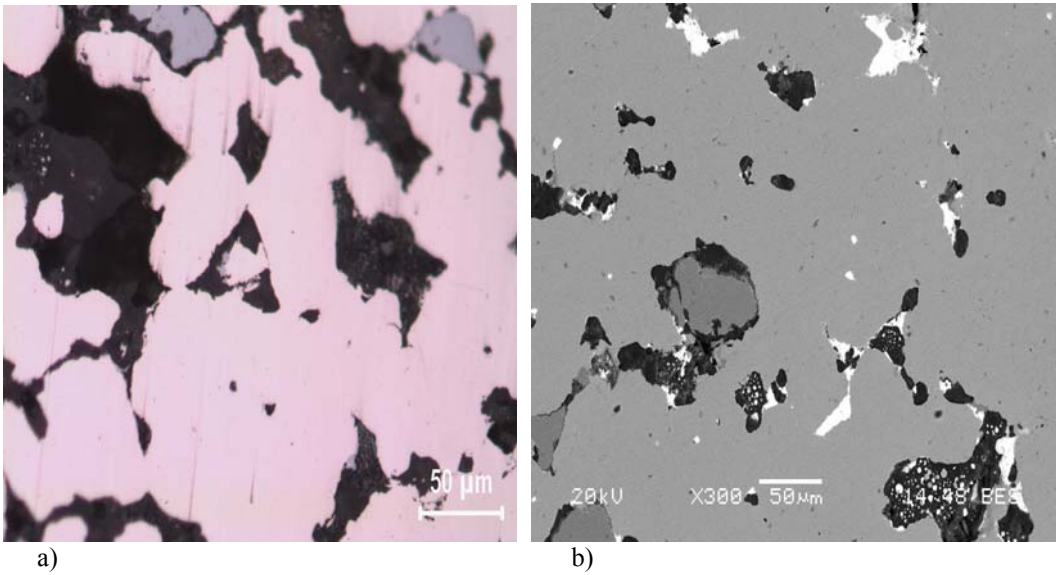


a)

b)

Şekil 6.29. G0-2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.2.3. % 0 Grafit ve % 6 Diatomit’li G0-3 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

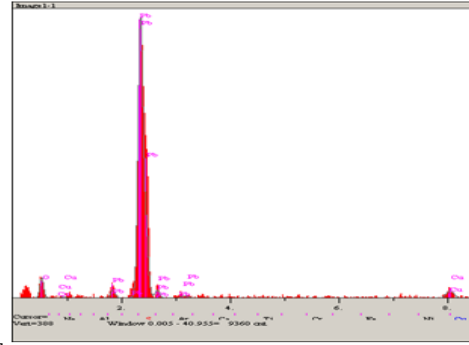
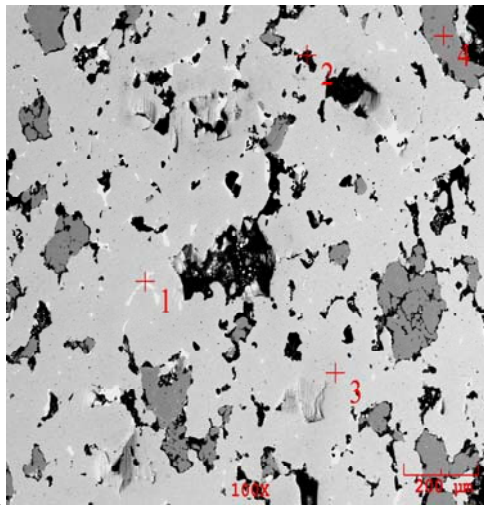


a)

b)

Şekil 6.30. a) G0-3 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) G0-3 balata malzemesinin SEM görüntüsü

Şekil 6.30’da G0-3 balata malzemesinin görüntülerinden görüldüğü üzere diatomit oranı arttıkça malzemenin yüzeyinde siyah bölgelerin oranı artmış durumdadır. Malzemenin EDS analizlerinde yapı detaylı şekilde irdelenmektedir (Şekil 6.31).

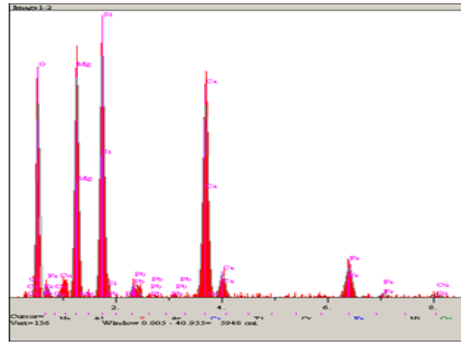


| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| O | Ka | 23.52 | 3.066 | 16.686 | wt. % | |
| Cu | Ka | 16.59 | 2.375 | 5.716 | wt. % | |
| Pb | La | 31.82 | 3.566 | 77.598 | wt. % | |
| | | | | 100.000 | wt. % | Total |

W: 20.0
Takeoff Angle: 35.0
Elapsed Live time: 10.0

a)

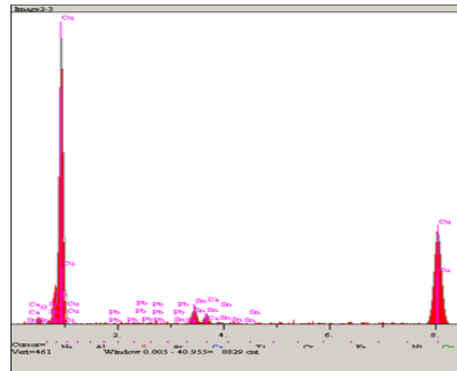
b)



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| O | Ka | 79.30 | 5.631 | 50.126 | wt. % | |
| Mg | Ka | 103.06 | 6.419 | 12.633 | wt. % | |
| Si | Ka | 121.81 | 6.979 | 11.865 | wt. % | |
| Ca | Ka | 116.46 | 6.824 | 12.664 | wt. % | |
| Fe | Ka | 21.97 | 2.964 | 4.887 | wt. % | |
| Cu | Ka | 2.84 | 1.066 | 1.079 | wt. % | |
| Pb | La | 2.33 | 0.964 | 6.746 | wt. % | |
| | | | | 100.000 | wt. % | Total |

W: 20.0
Takeoff Angle: 35.0
Elapsed Live time: 10.0

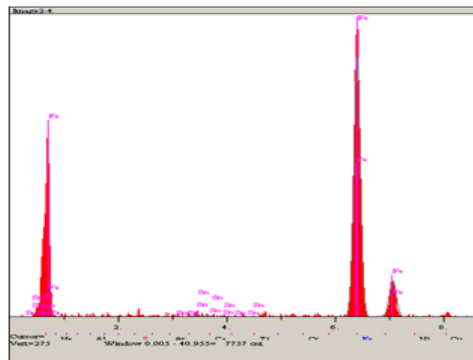
c)



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| O | Ka | 7.44 | 1.724 | 4.229 | wt. % | |
| Ca | Ka | 1.41 | 0.751 | 0.156 | wt. % | |
| Cu | Ka | 230.55 | 9.601 | 82.700 | wt. % | |
| Sn | La | 27.03 | 3.288 | 7.467 | wt. % | |
| Pb | La | 1.95 | 0.883 | 5.449 | wt. % | |
| | | | | 100.000 | wt. % | Total |

W: 20.0
Takeoff Angle: 35.0
Elapsed Live time: 10.0

d)



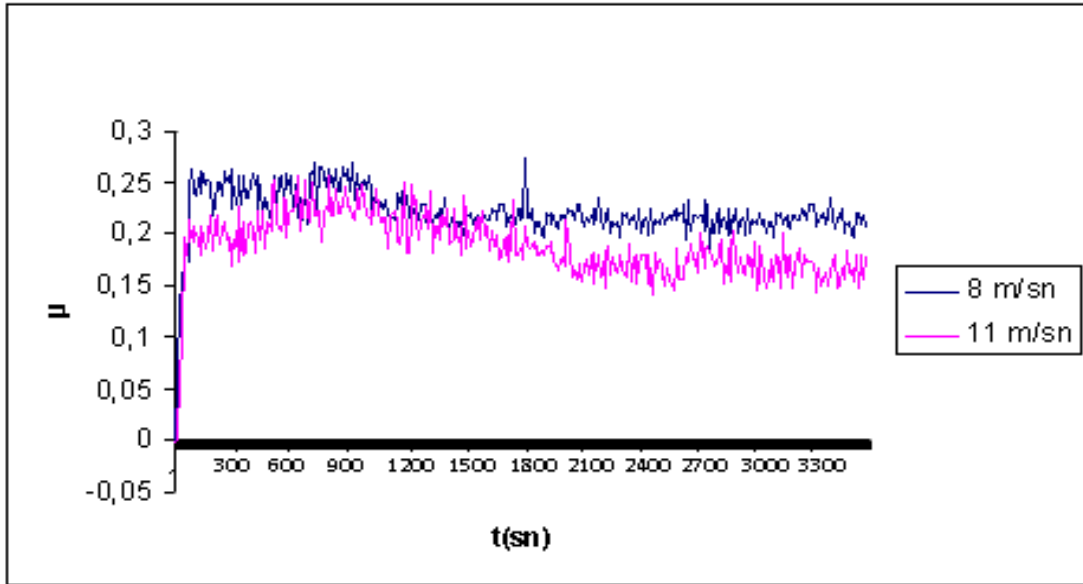
| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| Fe | Ka | 373.45 | 12.218 | 99.381 | wt. % | |
| Su | La | 3.54 | 1.189 | 0.619 | wt. % | |
| | | | | 100.000 | wt. % | Total |

W: 20.0
Takeoff Angle: 35.0
Elapsed Live time: 10.0

e)

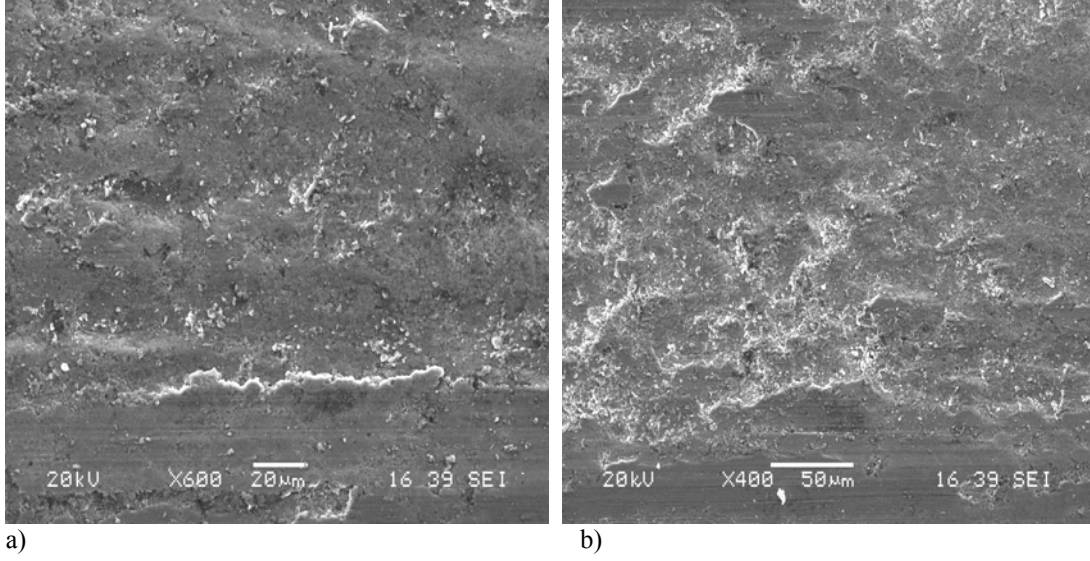
Şekil 6.31. a) G0-3 balata malzemesinin SEM'de, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) 4 noktasının EDS analizi

Şekil 6.31'deki G0-3 balata malzemesinin EDS analizlerini incelediğimizde; 1 nolu noktada daha önceden bahsettiğimiz üzere sinterleme sırasında alaşım oluşturan Sn ve Cu içinde küçük tane olarak duran Pb tanesi görülmektedir. 2 nolu noktada Diatomit'in Fe ile birlikte bronz tanesinin köşesinde yer almaktadır. 3 nolu noktada bronz tanesinin tane köşesindeki gözenekte Pb yer almaktadır. 4 nolu noktada ise sinterleme sırasında erimeden duran Fe tanesi görülmektedir. Balata malzemesine grafit katmadığımız için; EDS analizlerinde grafitin temel elementi olan C(karbon) bulunmamaktadır. Diatomit oranının artması farklı farklı fazların oranını artırarak sürtünme katsayısını dengelemiştir (Şekil 6.32).



Şekil 6.32. G0-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

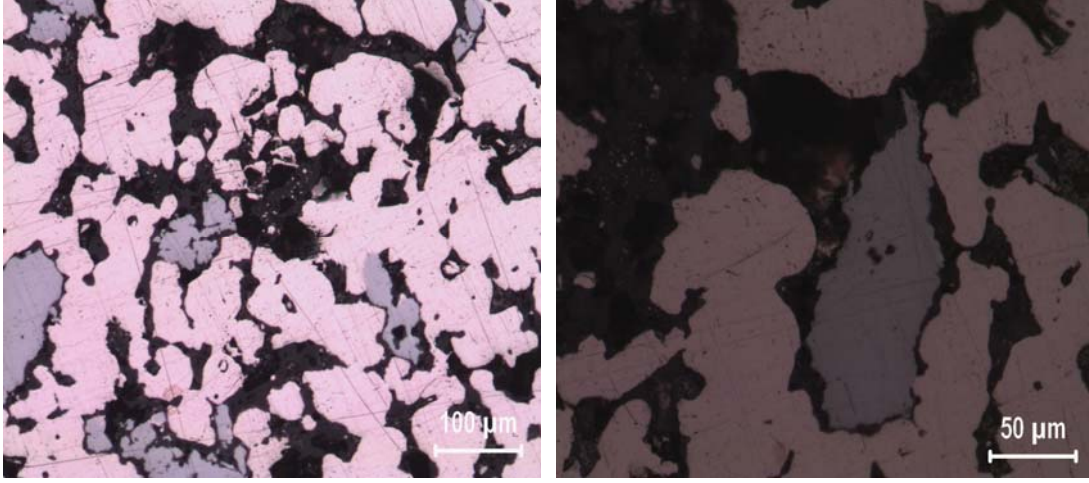
Şekil 6.32.'de G0-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiğini incelediğimizde; her iki hızın sürtünme katsayıları 600-1500 sn aralığında birbirlerine yakın olmasına karşın; 1500 sn'den sonra sürtünme katsayıları dengelenmiştir.



Şekil 6.33. G0-3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri(a ve b).

Şekil 6.33’de G0-3 balata malzemesinin aşınma izlerini incelediğimizde; Bowder ve Tabor tarafından ortaya atılan teoride birbiri üzerine bastırılan yüzeylerin(balata ve disk) temasta olan pürüzleri (asperitileri) yüksek basınçlar nedeni ile bölgesel olarak kaynaşır. Hareketi başlatabilmek için kaynayan noktaları kesmek gerekir. Eğer iki yüzeyden biri diğerine göre sert(disk yüzeyi) ise sert yüzeyin asperitileri yumuşak yüzeye(balata yüzeyi) gömülür. O halde de hareketi(disk’in dönmesi) başlatabilmek için sert yüzeyin yumuşak yüzeyi kazınması gerekir [37]. Hareket sonucunda kaynayan noktalar kesilir ve malzeme yüzeyinden kopmalar olur ve yumuşak malzeme aşınır.

6.1.2.4. % 0 Grafit ve % 8 Diatomit'li G0-4 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

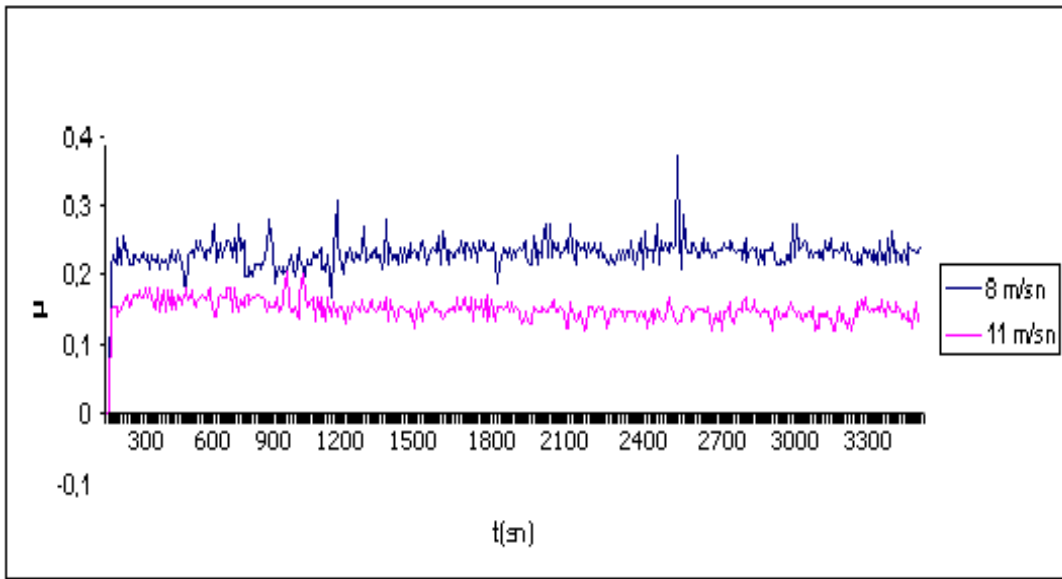


a)

b)

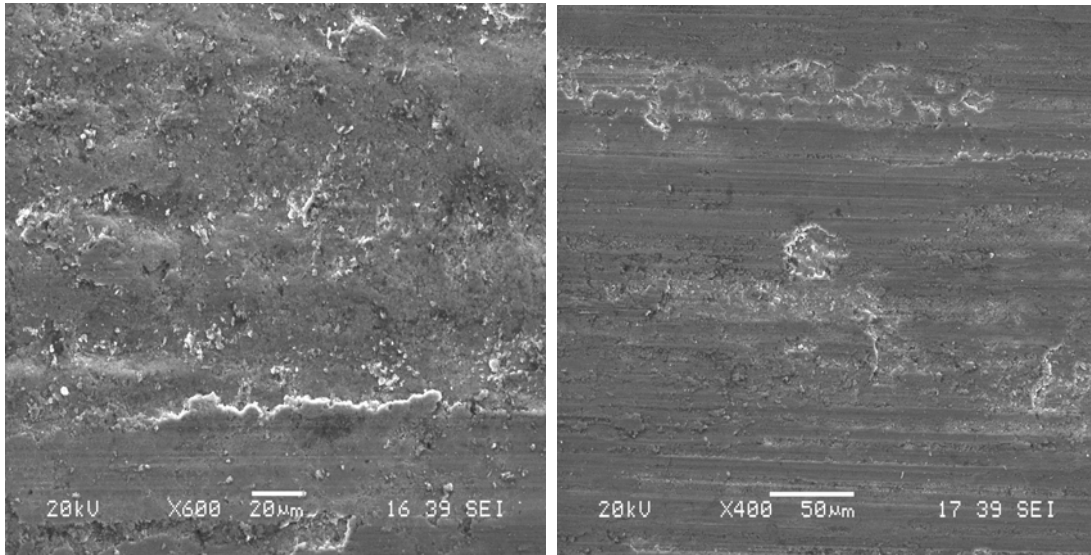
Şekil: 6.34. G0-4 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.34'de G0-4 balata malzemesinin görüntüleri bize literatür kısmının sıvı faz sinterlemesi kısmında geçen; Sıvı fazın oluşturduğu kılcal çekim kuvvetleri sayesinde partiküller birbirlerini çekmekte ve herhangi bir basınç olmaksızın hızlı bir yoğunlaşma meydana gelmektedir. Oluşan sıvı faz, partiküller arasındaki sürtünmeyi azaltarak yeniden düzenlenmeyi hızlandırmaktadır. Parçacıklar arası bağlanmayla birlikte gözeneklerin yapısında önemli değişiklikler meydana gelir [25]. Malzemeye kattığımız diatomit oranı arttıkça yoğunlaşma azalır, gözeneklilik artar ve sürtünme katsayısı düşer (Şekil 6.35).



Şekil 6.35. G0-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.35’de G0-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı her iki hız için genelde dengelenmiş vaziyettedir. Bu da diatomitin sürtünme katsayısını dengelendiğini kanıtlamaktadır.



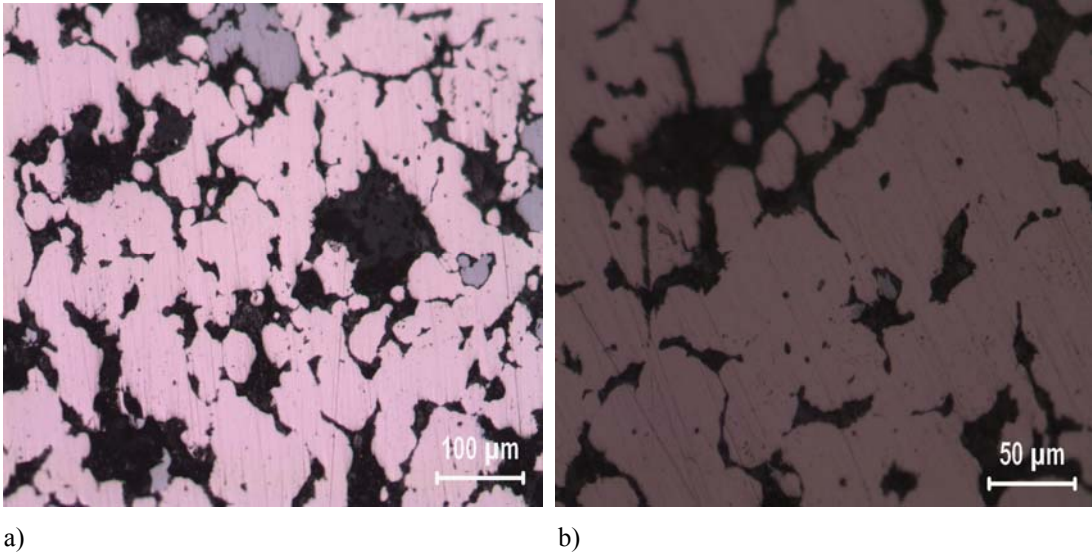
a)

b)

Şekil 6.36. G0-4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

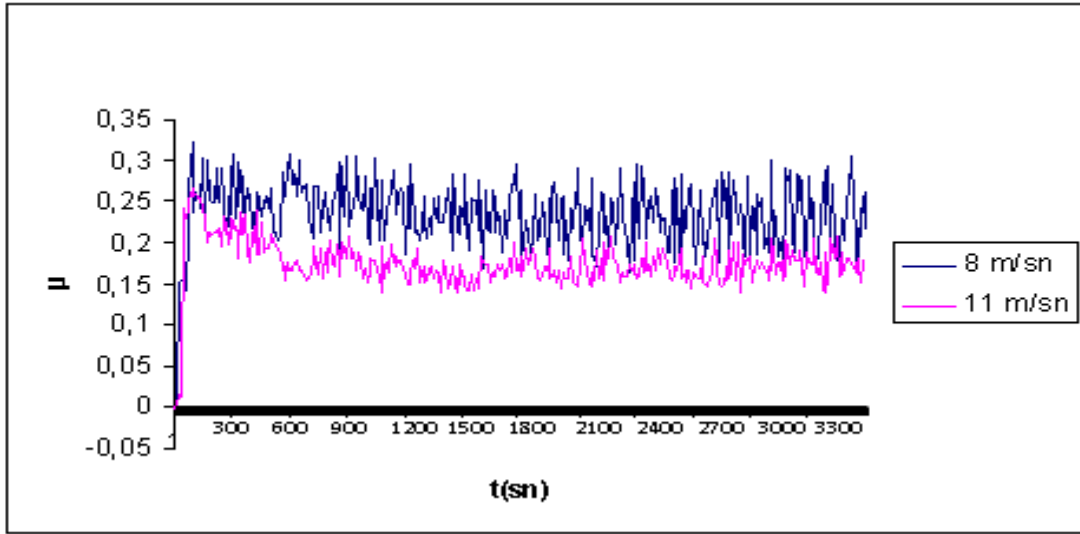
Şekil 6.36'da G0–4 balata malzemesinin aşınma izlerinin görüntü resimleri abrasiv aşınma mekanizmasına güzel bir örnektir. Ayrıca diatomitin artması aşınma izlerinin derinliğini artırmasına karşın; balatanın aşınma kaybı düşük çıkmıştır.

6.1.2.5. % 1 Grafit ve % 2 Diatomit'li G1–1 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



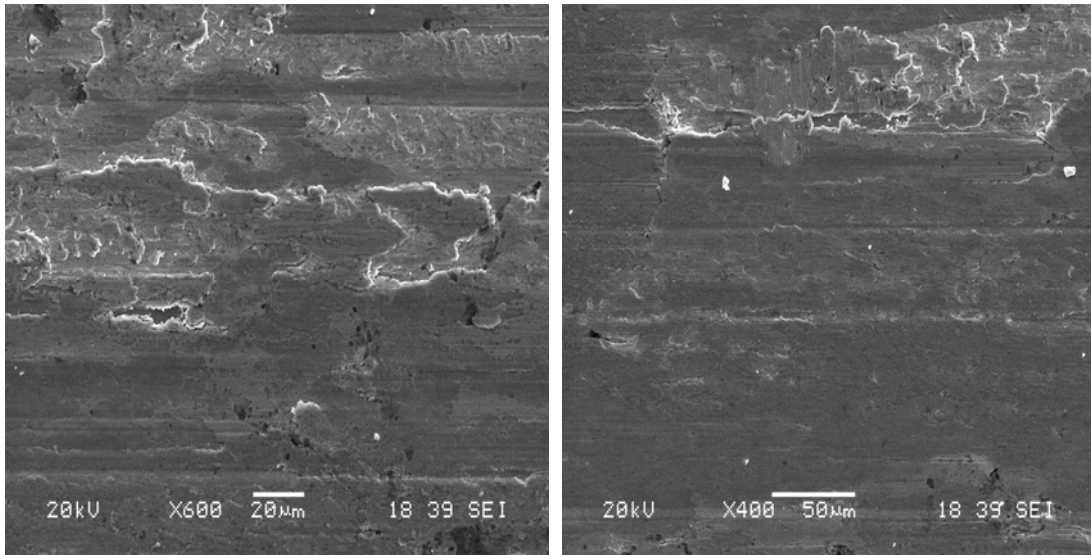
Şekil 6.37. G1–1 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.37.'de G1–1 balata malzemesinin görüntü resimleri bize % 1 grafit ve % 2 oranında katılan diatomit'in malzeme içinde farklı fazların oluşmasını sağlamış. Bu durum özellikle yüksek hızda(11 m/sn) sürtünme katsayısını dengelemiştir (Şekil 6.38). Zaten Grafit yağlandırıcı tabaka oluşturduğu için büyük gözenekler ve zayıf sinterlenmelere neden olmaktadır.



Şekil 6.38. G1-1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.38.'de G1-1 balata malzemesinin aşınma davranışını incelediğimizde malzemeye katılan grafit (%1) ve diatomit (%2) oranının düşük olması nedeniyle malzemenin sürtünme katsayı değerlerinde fazla bir değişim olmamış (G0-4 balata malzemesine göre) ve 11 m/sn hızda sabit(dengeli) bir sürtünme katsayı değeri elde edilmiştir.



a)

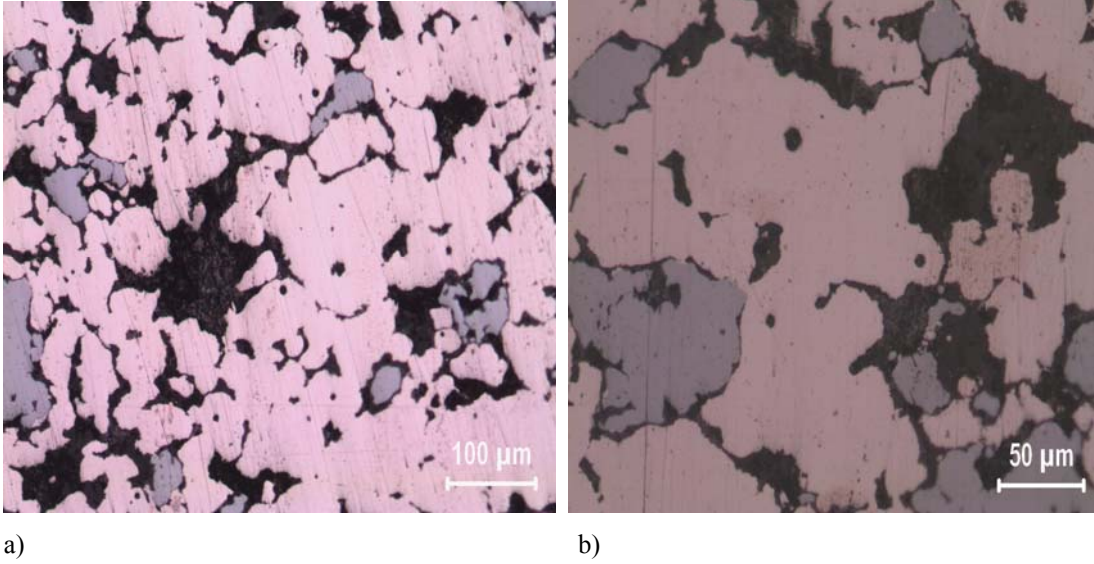
b)

Şekil 6.39. G1-1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM'de aşınma görüntüleri(a ve b).

Şekil 6.39'da G1-1 balata malzemesinin aşınma izlerinin resimleri bize malzemeye düşük oranda katılan grafit ve diatomit'in malzeme yüzey pürüzlülüğünü fazla

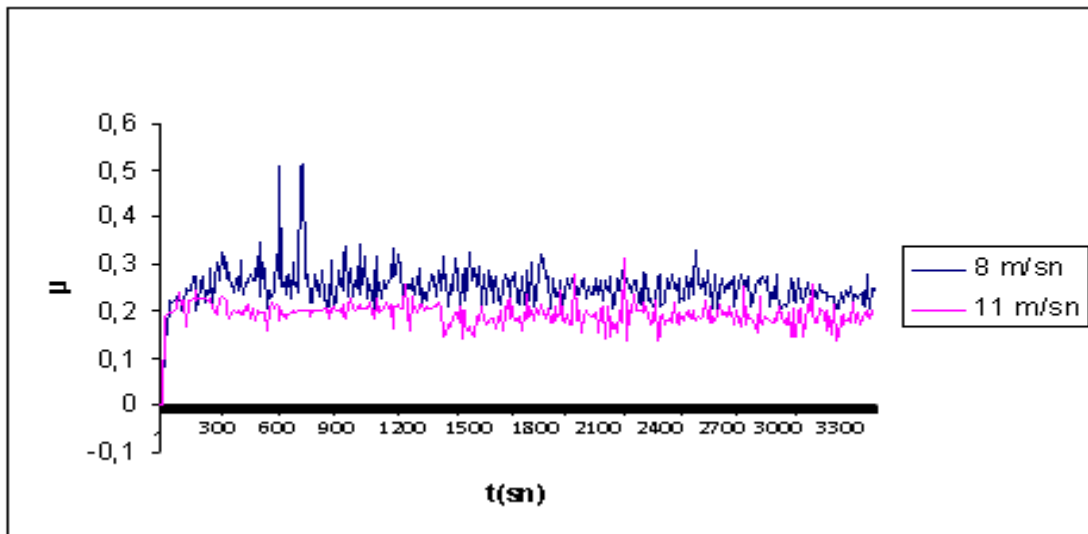
artırmadığı için; kazıma aşınması (abrasiv) mekanizmasıyla oluşan kopmalar fazla olmamıştır. Yani düşük abrasiv aşınma olmuştur.

6.1.2.6. % 1 Grafit ve % 4 Diatomit'li G1-2 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



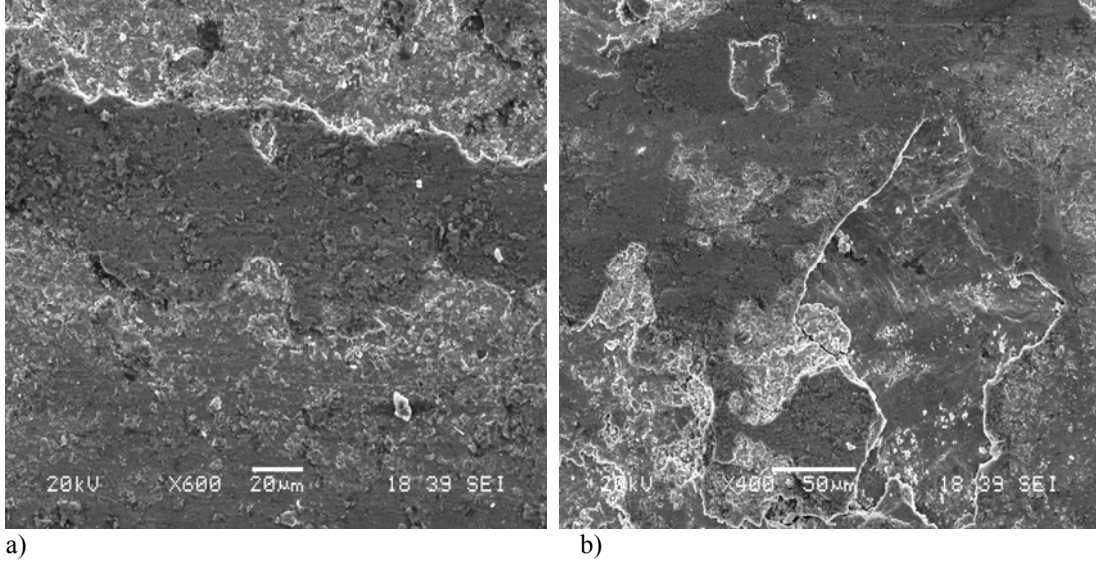
Şekil 6.40. G1-2 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.40'da G1-2 balata malzemesinin görüntüleri bize daha önceden bahsettiğimiz üzere artan diatomitle birlikte bronz matrisinin taneleri arasındaki farklı farklı fazlar artmış ve bu da sürtünme katsayısını bütün hızlarda dengelemiştir (Şekil 6.41).



Şekil 6.41. G1-2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

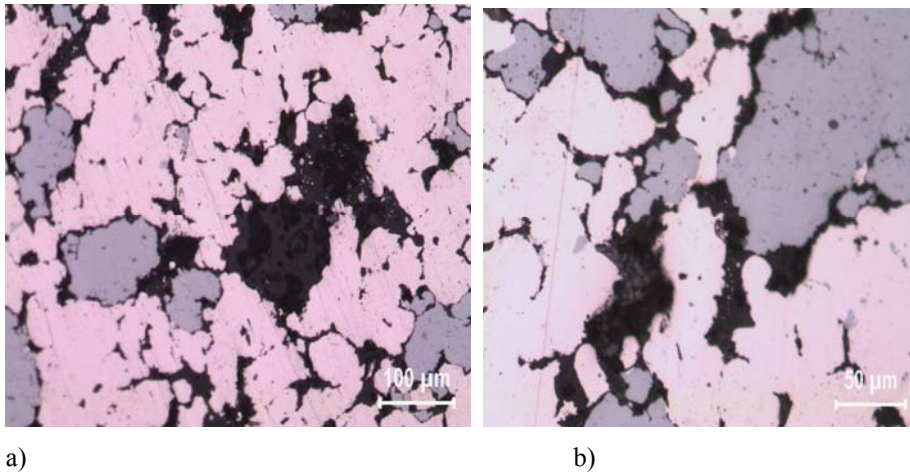
Şekil 6.41'de G1-2 balata malzemesinin aşınma davranışını bize daha önceden bahsettiğimiz farklı farklı fazların ve gözeneklerin artması olayından dolayı her iki hız (7 ve 8 m/sn) için sürtünme katsayısını dengelemiştir.



Şekil 6.42. G1-2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM'de aşınma görüntüleri(a ve b).

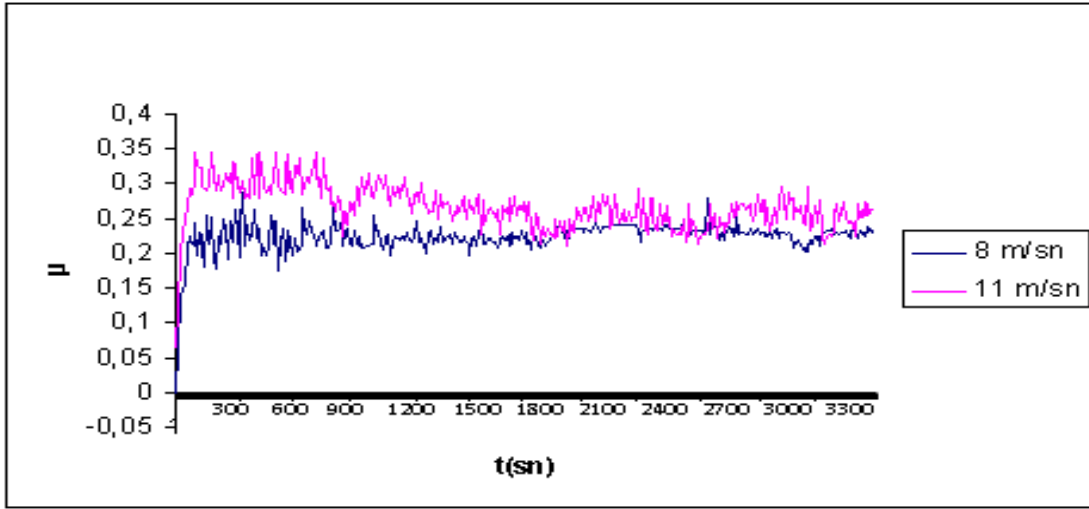
Şekil 6.42'de G1-2 balata malzemesinin aşınma izlerine baktığımızda; a'da adhesiv (yapışkan) aşınma, b'de abrasiv(kazıma) aşınması mekanizması gözükmemektedir. Diatomitin artmasıyla birlikte aşınma kaybı artmıştır.

6.1.2.7. % 1 Grafit ve % 6 Diatomit'li G1-3 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



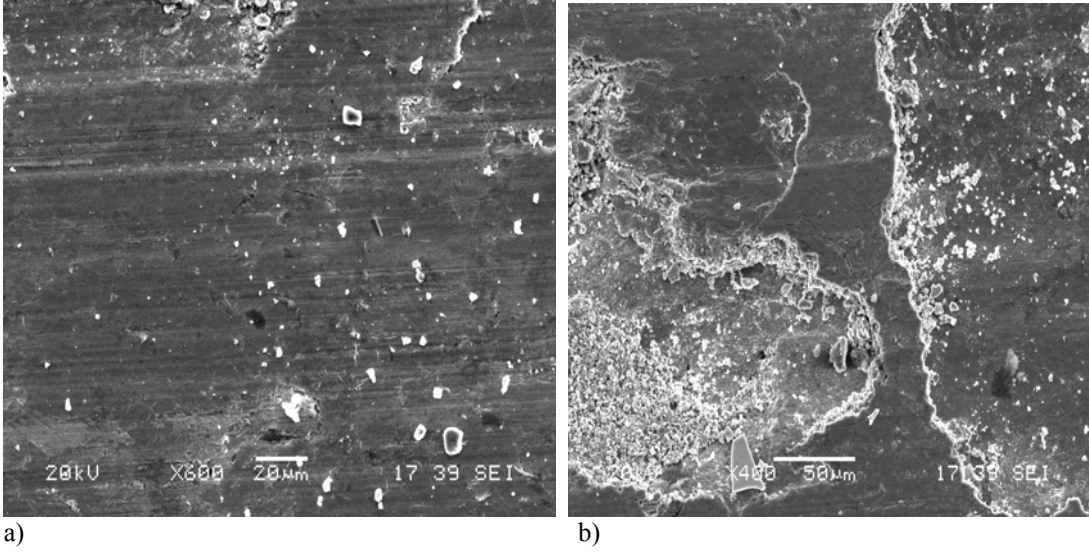
Şekil 6.43. G1-3 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.43'de G1-3 balata malzemesinin görüntüleri bize; malzemeye katılan % 6 oranındaki diatomit'in gözenekliliği ve malzeme içinde farklı fazların oluşmasına neden olmuştur. Bu durum sıvı faz sinterleme sırasında bronz alaşımı oluşurken diatomit ve grafit taneleri matris içinde farklı fazların oluşmasına neden olmasıyla açıklanır. Demek ki grafit ve diatomit oranının artmasıyla malzeme içinde farklı fazlar artmaktadır ve bu durumun sonucu olarak sürtünme katsayısı her iki hız için yükselmiştir (Şekil 6.44).



Şekil 6.44. G1-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

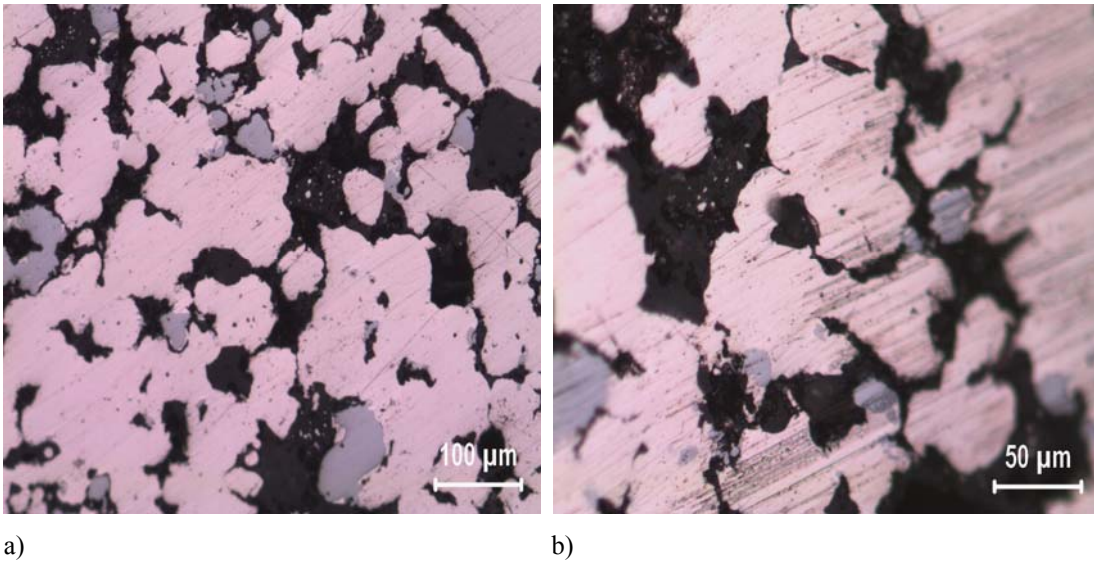
Şekil 6.44.'de G1-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı; özellikle 11 m/sn hızında daha dengeli durumdadır. Bunun nedeni önceden bahsettiğimiz üzere diatomit ve grafit farklı fazların oluşmasını sağlayarak sürtünme katsayısını yükseltip dengelemesidir.



Şekil 6.45. G1-3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri(a ve b).

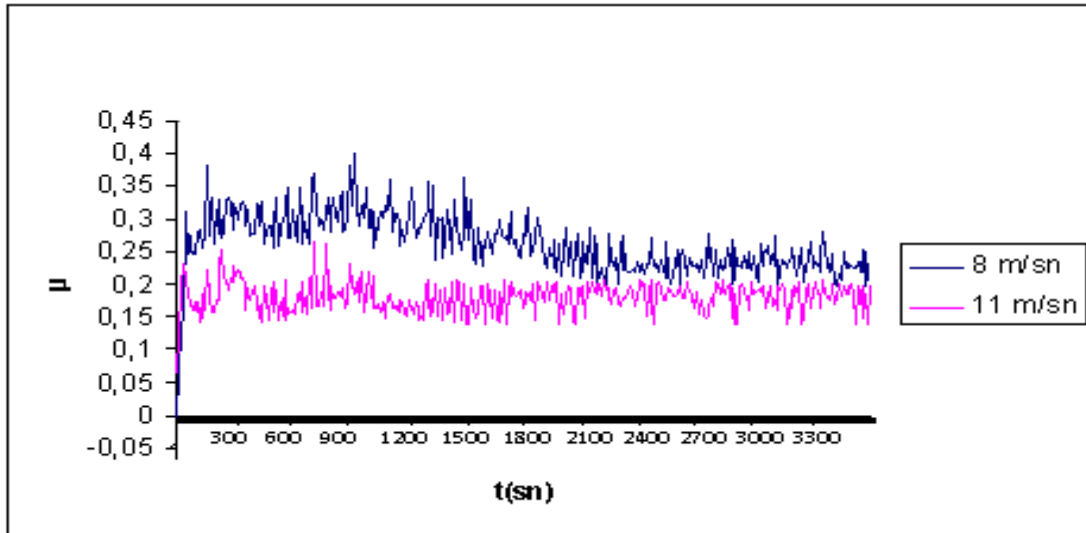
Şekil 6.45’de G1-3 balata malzemesinin aşınma izlerine baktığımızda Grafit ve diatomit yine gözenekliliği gözeneklilik de aşınma mekanizmasını değiştirerek farklı pürüzlülükte yüzeyler oluşturmuştur

6.1.2.8. % 1 Grafit ve % 8 Diatomit’li G1-4 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



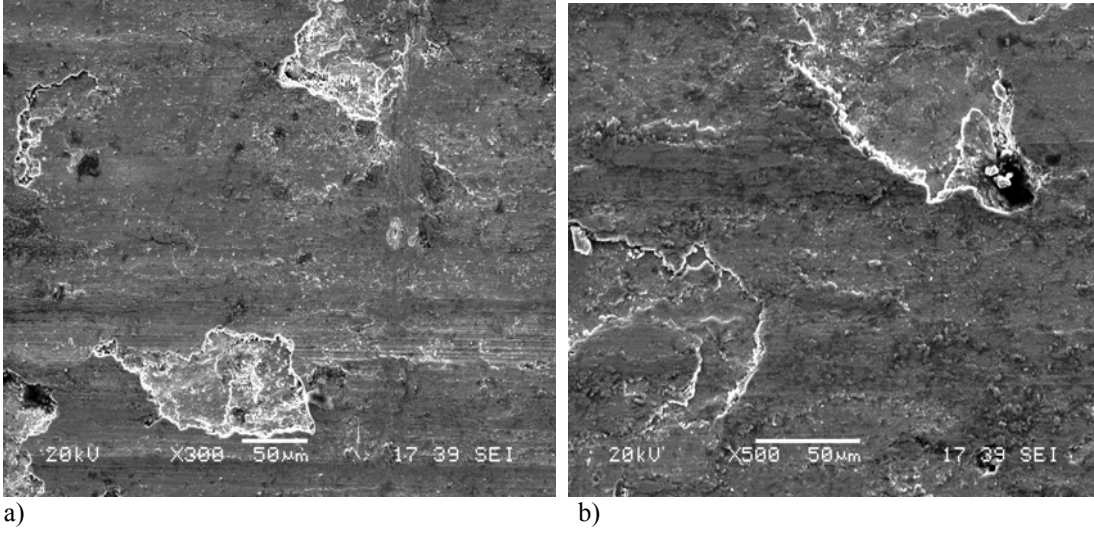
Şekil 6.46. G1-4 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.46'da G1-4 balata malzemesinin görüntü resimlerinden anlaşılacağı üzere, malzemeye katılan grafit ve diatomit farklı fazların oluşmasını sağlamıştır. Zaten malzemeye katılan grafit ve diatomit ilavesi ile balata numunelerinin mikro yapısını ve sürtünme özelliklerinin değiştirilmesi amaçlanmaktadır. Sürtünme elemanlarının da yüzey pürüzlülüğünü koruyabilmek için hem gözenek bulunması hem de farklı sürtünme davranışları sergileyen partiküllerin bir arada bulunması istenir. Katılan grafit ve diatomit gözenekliliği artırırken sürtünme sırasında da sürtünme özelliklerini dengeleyici olarak düşünülmüştür. Demir tozları ise bakırdan daha sert olduğundan yumuşak ve sert fazları bir arada tutarak yüzey pürüzlülüğünün muhafazası sağlamıştır. Balata malzememize kattığımız grafit ve diatomit sürtünme katsayısını dengelemiştir (Şekil 6.47).



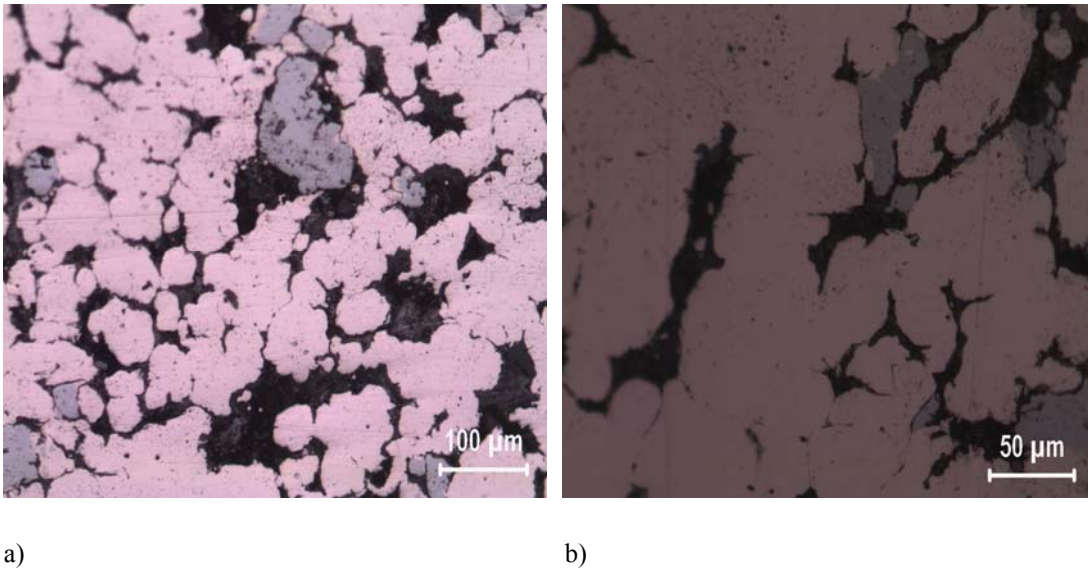
Şekil 6.47. G1-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.47'de G1-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı her iki hız(8 ve 11 m/sn) için 2100 sn'den sonra kararlı hale gelmiştir. Aşınan yüzeylerin mikroyapı resimlerini incelediğimizde abrasiv karakterde aşınma oluşmuştur (Şekil 6.48).



Şekil 6.48. G1-4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri(a ve b).

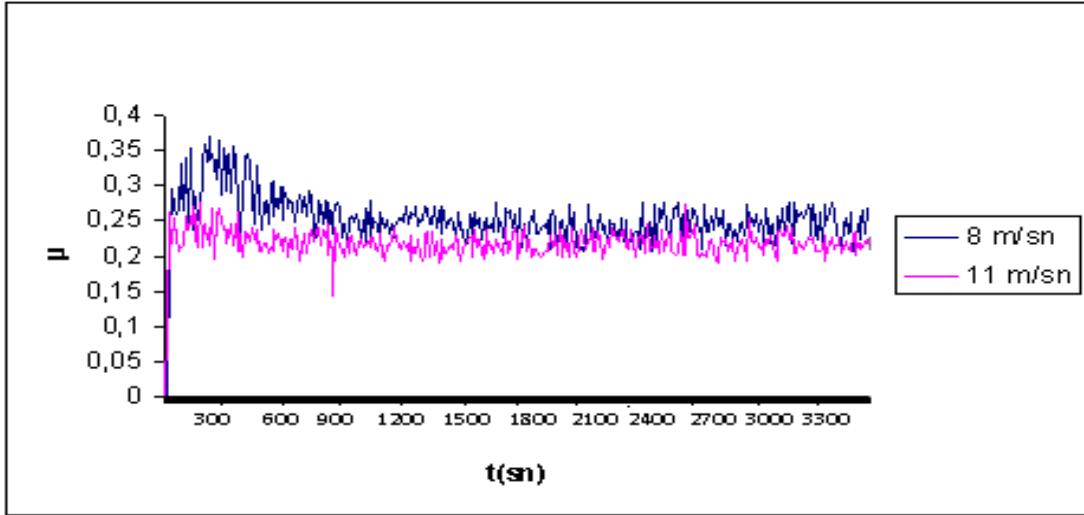
6.1.2.9. % 2 Grafit ve % 2 Diatomit’li G2-1 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



Şekil 6.49. G2-1 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

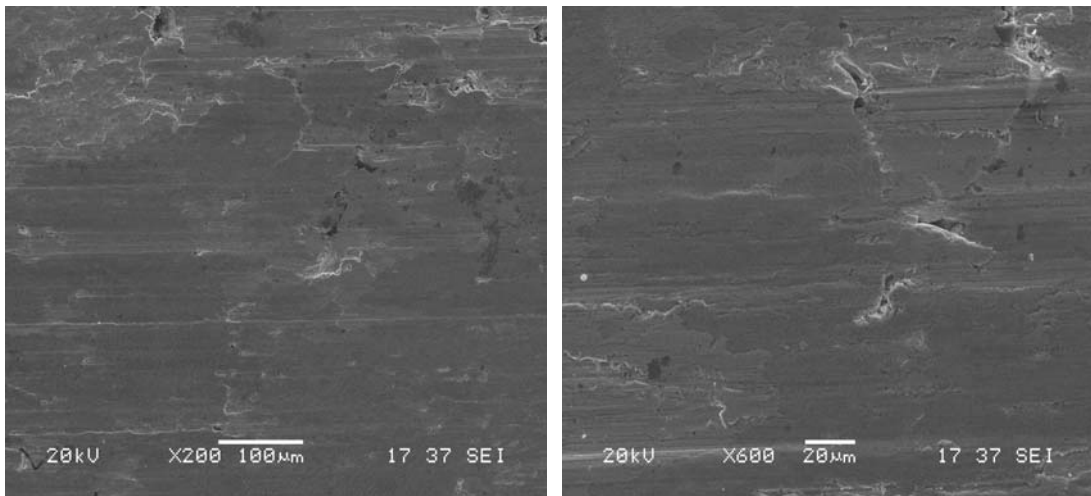
Şekil 6.49’da G2-1 balata malzemesinin görüntü resmine baktığımızda; malzemeye katılan % 2 oranındaki grafit ve % 2 oranındaki diatomit taneleri metal tozlarından daha küçük olduğundan toz taneleri arasında kalan gözeneklerde ve tane sınırlarında birikerek gözenekliliği artırmıştır. Bu durum sinterleşmeyi azaltarak taneler arasında

zayıf bağların oluşmasına yol açmaktadır. Resimlerde gözükten siyah bölgeler gözenekleri ve tane sınırında biriken diatomit ve grafit alanlarını göstermektedir. Bu durumun neticesi olarak sürtünme katsayısı dengelenmiş vaziyettedir (Şekil 6.50).



Şekil 6.50. G2-1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.50'de G2-1 balata malzemesinin aşınma davranışlarını incelediğimizde; Şekil 6.49'da yorumumu yaptığımız nedenden dolayı sürtünme katsayısı dengelenmiş durumdadır. Ayrıca aşınma kaybı yüksek çıkmıştır. Balata malzemesinin aşınma sonrası SEM'deki görüntülerinin incelediğimizde; balata yüzeyinden kopan parçaların balata yüzeyine sıvandığını görmekteyiz (Şekil 6.51).

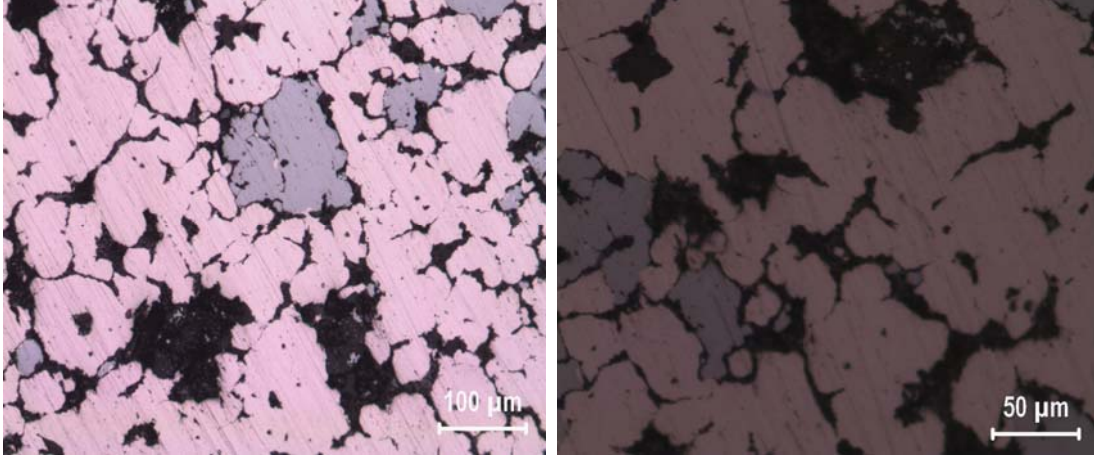


a)

b)

Şekil 6.51. G2-1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM'de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.2.10. % 2 Grafit ve % 4 Diatomit'li G2-2 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

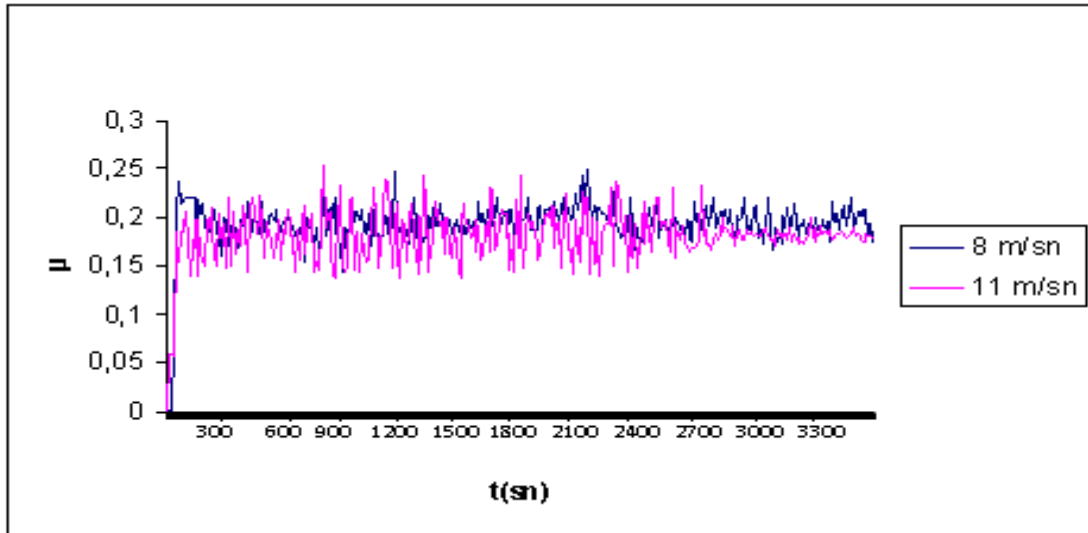


a)

b)

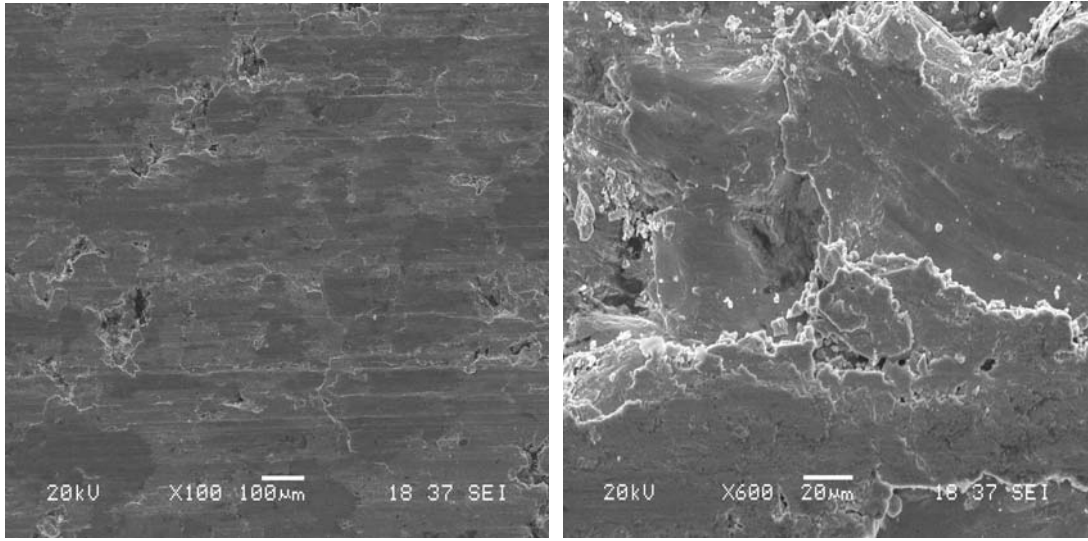
Şekil 6.52. G2-2 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.52'de G2-2 balata malzemesinin görüntülerinden anlaşılıyor ki; malzemeye % 4 oranında katılan diatomit daha önceden bahsettiğimiz üzere grafitle beraber malzeme içinde gözenekliliği artırmış; sinterleme sırasında zayıf bağların oluşmasını sağlayarak; sürtünme katsayısını dengelemiştir (Şekil 6.53).



Şekil 6.53. G2-2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.53'de G2-2 balata malzemesinin her iki hızda (8 m/sn ve 11 m/sn) birbirine yakın çıkmasının nedenini malzeme yüzeyinde oluşan tribioksit tabakasına bağlayabiliriz ve bu durumun sonucu olarak 8 m/sn hızda sürtünme katsayısı düşmüş ve değişken olmuştur. Balata malzemesinin aşınma izlerine baktığımızda; a'da düşük abrasiv aşınma, b'de ise yüksek abrasiv aşınma sonucu balatadan kopan parçacıklar balata yüzeyine sıvanmış vaziyettedir (Şekil 6.54).

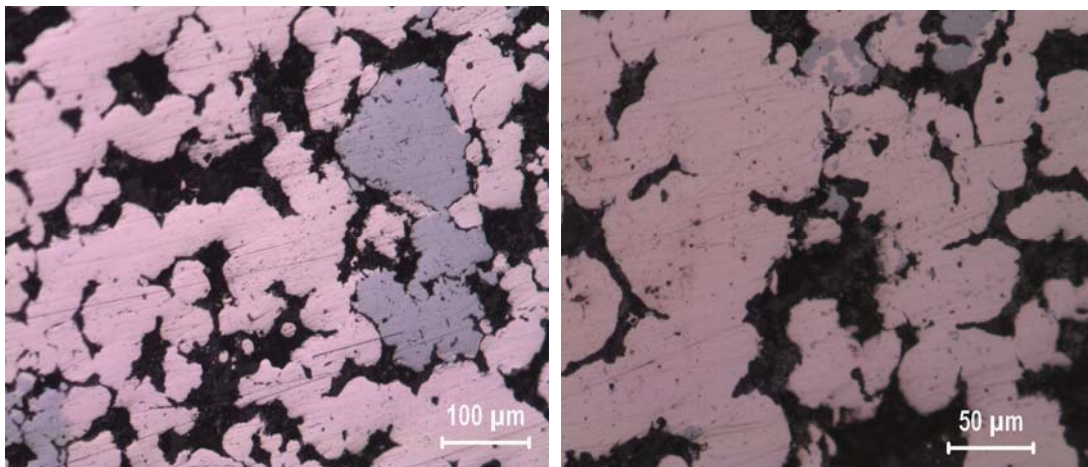


a)

b)

Şekil 6.54. G2-2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM'de aşınma görüntüleri(a ve b).

6.1.2.11. % 2 Grafit ve % 6 Diatomit'li G2-3 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçlar

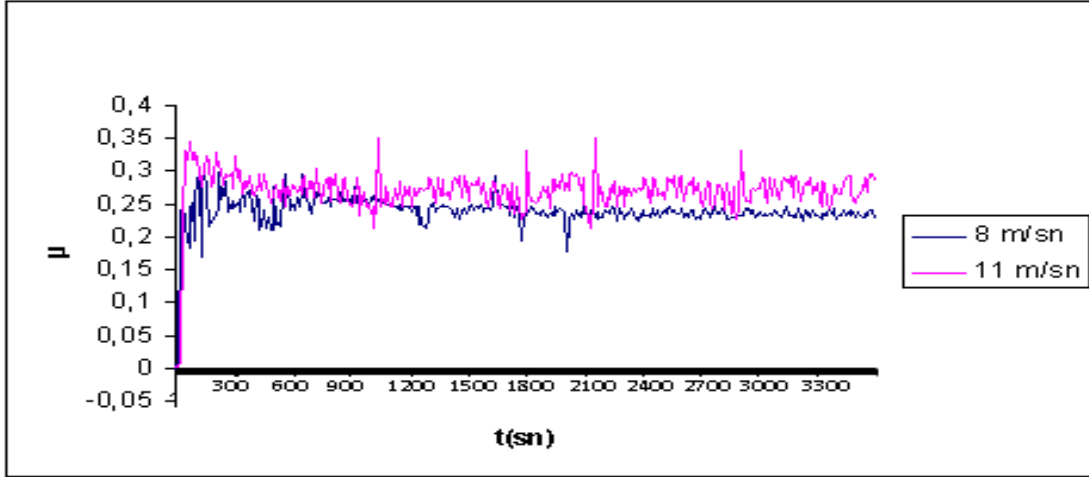


a)

b)

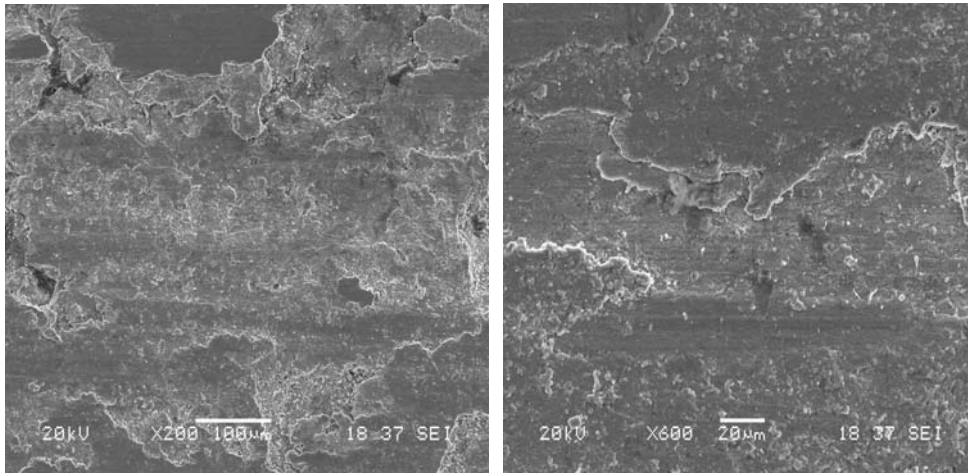
Şekil 6.55. G2-3 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.55'de G2-3 balata malzemesinin optik mikroskop resimlerinden anlıyoruz ki; balata malzemesine % 6 oranında katılan diatomit grafitle beraber malzemedeki gözenekliliği artırmış ve bunun sonucu olarak sürtünme katsayısı her iki hız için dengelenmiş fakat yükselmiştir (Şekil 6.56).



Şekil 6.56. G2-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.56'da G2-3 balata malzemesinin 11 m/sn hızda aşınma davranışının düzgün devam etmekte ve sürtünme katsayısı dengelenmiş vaziyettedir. Balata malzemesinin aşınma sonrası görüntüleri bize ilk etapta aşınma mekanizmasının adhesiv karakterde olduğunu fakat hareket sonucu(diskün dönmesiyle) aşınma mekanizması abrasiv karakterde olmuştur (Şekil 6.57).

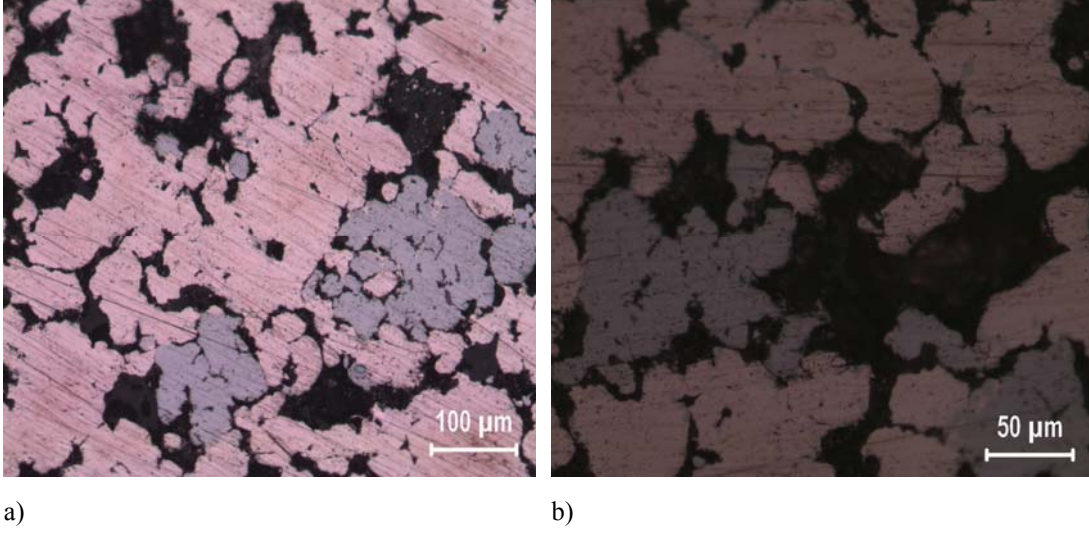


a)

b)

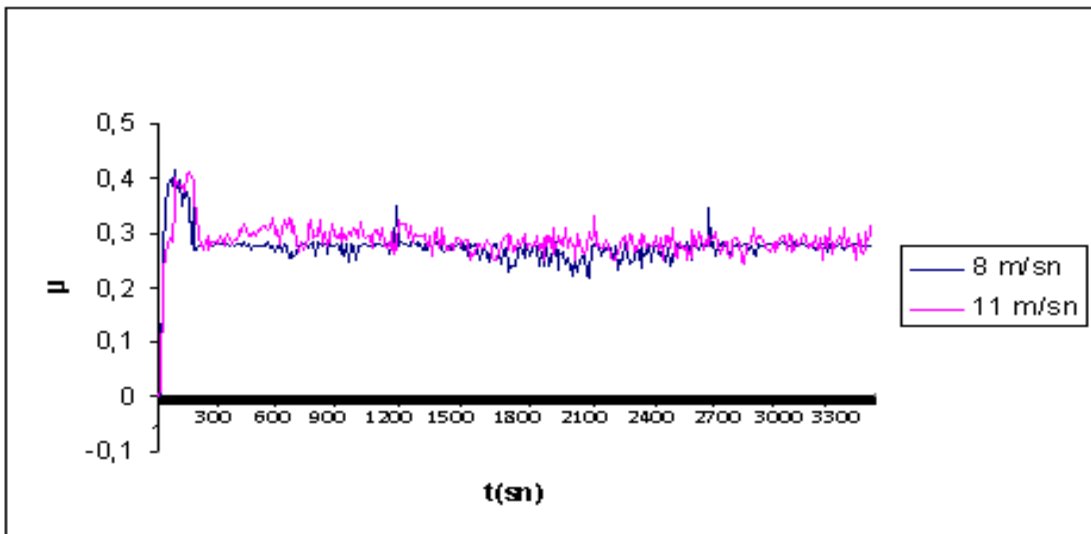
Şekil 6.57. G2-3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM'de aşınma görüntüleri(a ve b).

6.1.2.12. % 2 Grafit ve % 8 Diatomit'li G2-4 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



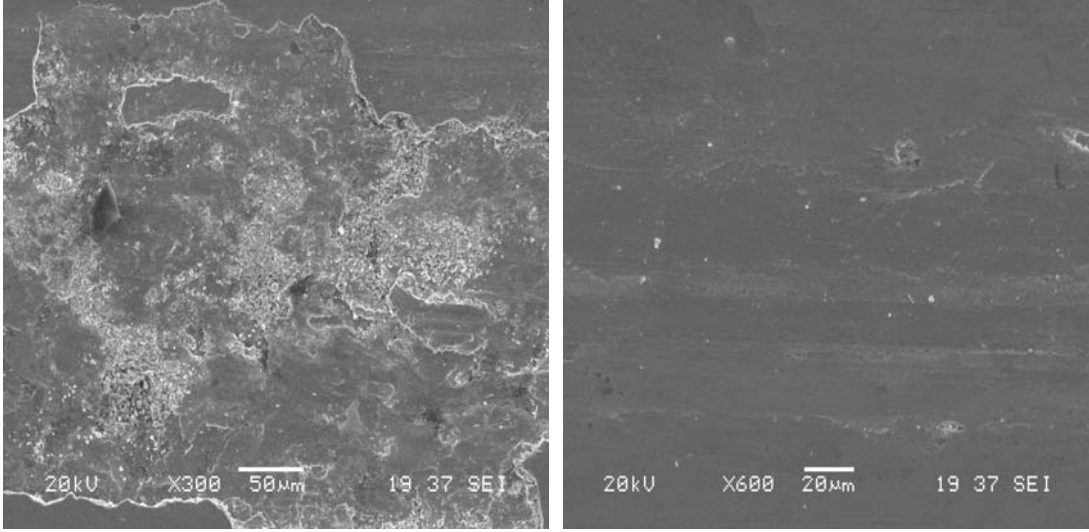
Şekil 6.58. G2-4 balata malzemesinin optik mikroskopta a)100 büyütmede ve b) 200 büyütmede çekilmiş görüntüsü

Şekil 6.58'de görüntü resimleri olan G2-4 balata malzemesi % 8 diatomit katkısıyla birlikte her iki hızda düzgün bir aşınma davranışı göstermiş ve sürtünme katsayısını dengelemiştir (Şekil 6.59). Bu durum daha önceden bahsettiğimiz ve resimlerde net bir şekilde görülen farklı farklı fazlardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.59. G2-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Balata malzemesinin aşınma izleri görüntülerini incelediğimizde; a'da adesiv ve abrasiv aşınma bir arada bulunmakta, b'de ise ağırlıklı olarak abrasiv karakterli aşınma görülmektedir (Şekil 6.60).

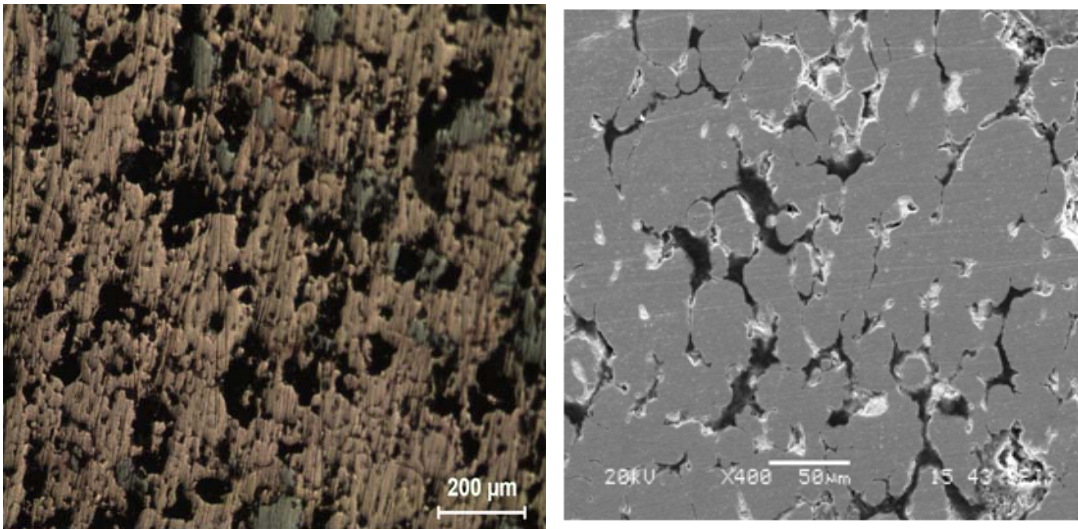


a)

b)

Şekil 6.60. G2-4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM'de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.2.13. % 3 Grafit ve % 2 Diatomit'li G3-1 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

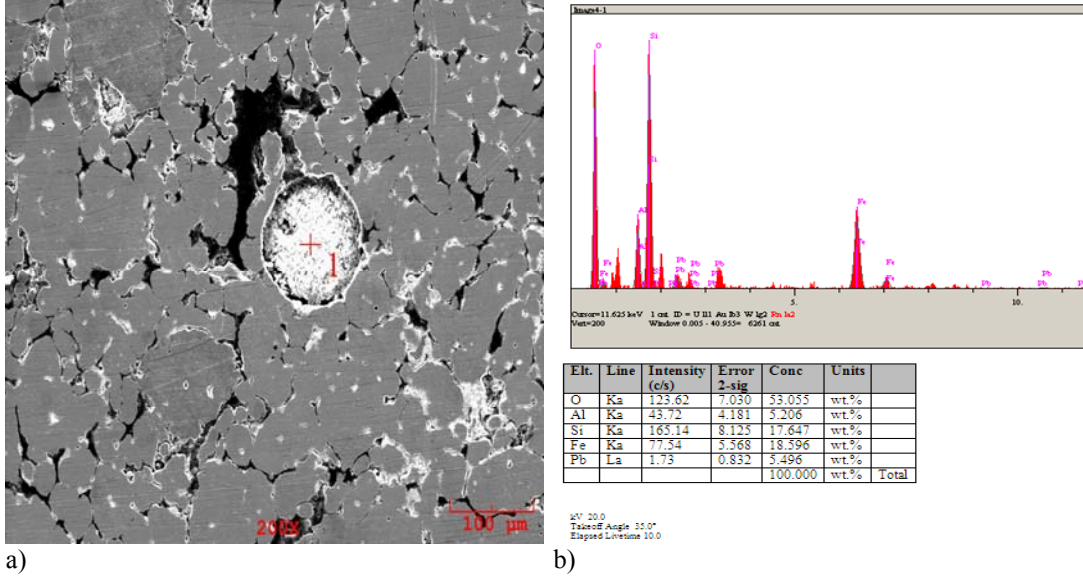


a)

b)

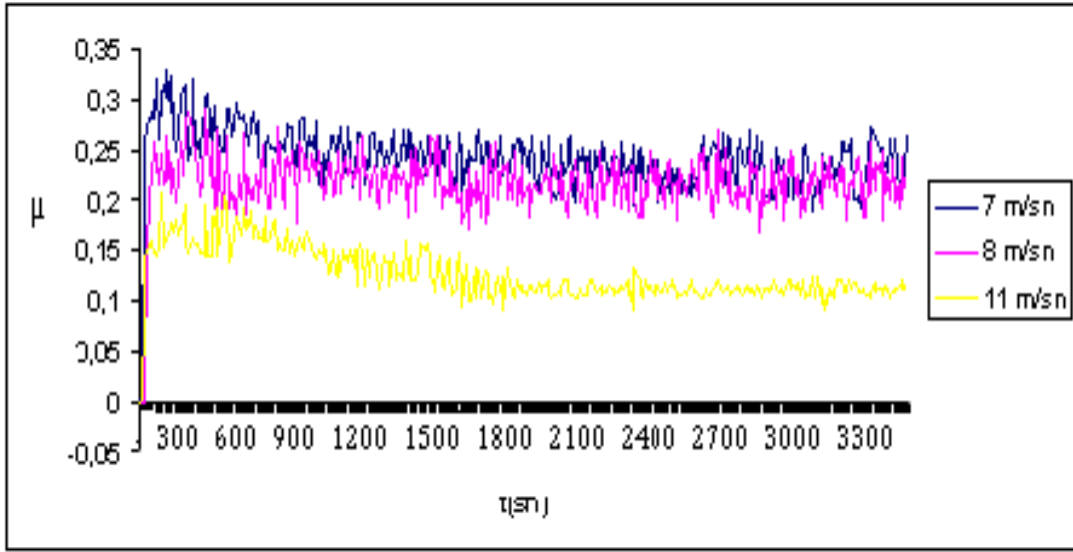
Şekil 6.61. a) G3-1 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) G3-1 balata malzemesinin SEM görünümü

Şekil 6.61’te G3–1 balata malzemesinin mikroyapı görünümüne baktığımızda; malzemeye %3 oranında katılan grafit ve % 2 oranında katılan diatomit; daha önceden bahsettiğimiz üzere gözenekliliğe ve farklı farklı fazların oluşmasına neden olmuş ve bu sayede sürtünme katsayısı özellikle 7 ve 8 m/sn hızlarında dengelenmiş vaziyettedir (Şekil 6.63).



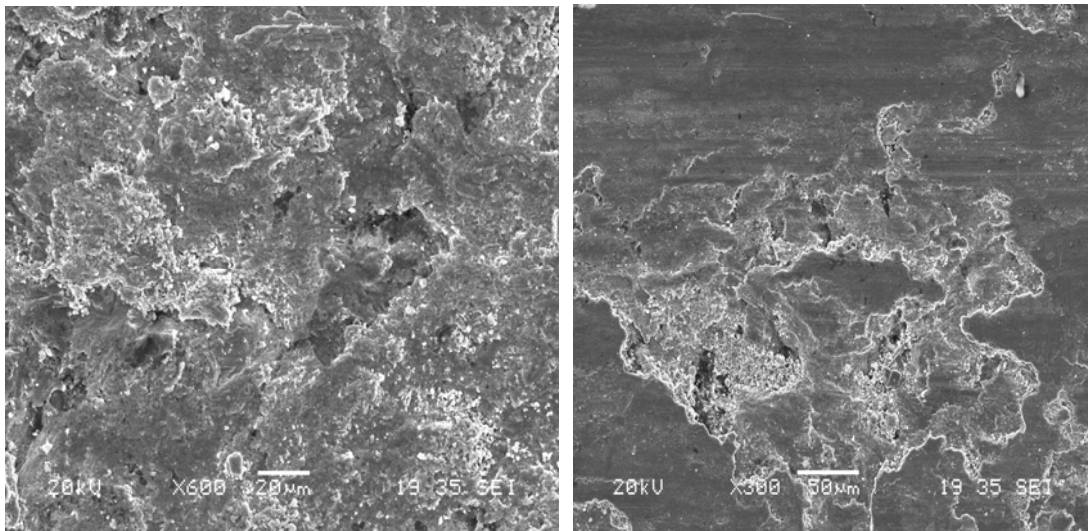
Şekil 6.62. a) G3–1 balata malzemesinin SEM’de, EDS piki b) 1 noktasının EDS analizi

Şekil 6.62’de görülen G3–1 balata malzemesinin EDS analizi incelendiğinde 1 nolu noktada diatomit Fe tanesinin içerisine girmiş vaziyettedir. Diatomit kuvarsla aynı elementlere (SiO_2) sahiptir; fakat malzeme içerisinde aglomera(topaklaşmış) şekildedir. Ayrıca bazı balata malzemesinin SEM görüntülerinde görüldüğü gibi Al elementi gibi elementler bulunmaktadır. Bunun nedeni kuvars ve diatomit’in doğal haliyle doğadan alınıp kullanıldığından içerdiği Al_2O_3 (%2-4), demir oksit (%0,5-2) bileşikleridir.



Şekil 6.63. G3-1 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.63’de G3-1 balata malzemesinin aşınma davranışlarını incelediğimizde grafit oranının (% 3) artması malzemedeki gözenekliliği artırarak bütün hızlarda (7, 8 ve 11 m/sn) sürtünme katsayısını düşürmüştür. Aşınan yüzeylerin mikroyapı resimlerinde malzemeye % 3 oranında katılan kuvarsın etkisiyle beraber abrasiv karakterde aşınma neticesinde aşınma ürünü olan parçacıklar balata yüzeyine yapışmış durumdadır. Aşınma kaybı grafit oranının artması neticesinde yüksek çıkmıştır (Şekil 6.64).

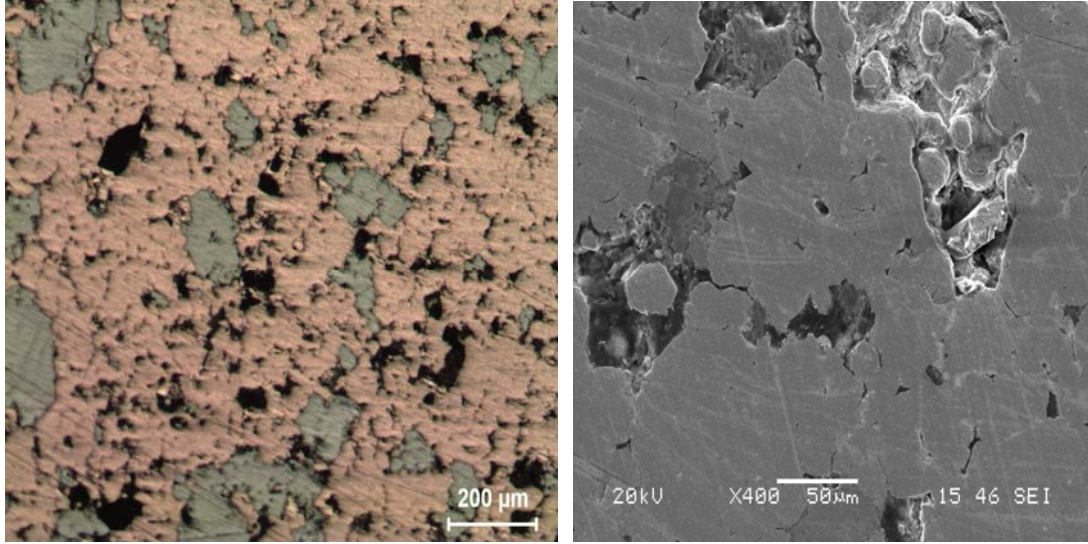


a)

b)

Şekil 6.64. G3-1 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.2.14. % 3 Grafit ve % 4 Diatomit'li G3-2 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

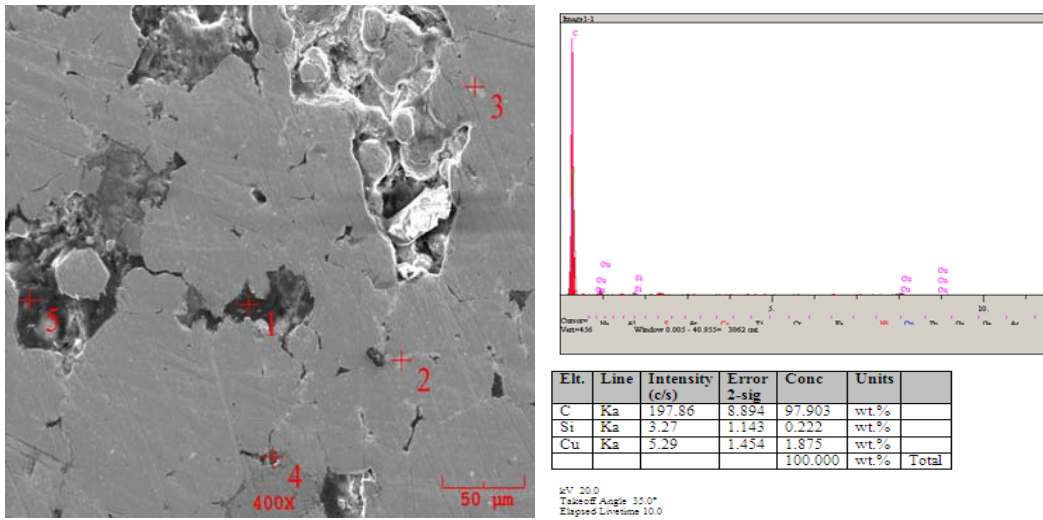


a)

b)

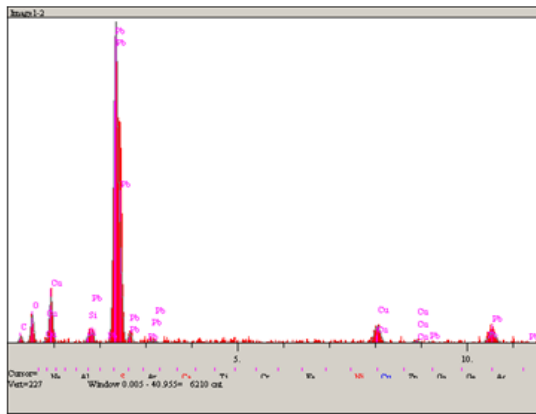
Şekil 6.65. a) G3-2 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) G3-2 balata malzemesinin SEM görünümü

Şekil 6.65'de G3-2 balata malzemesinin mikroyapı görüntülerine baktığımızda diatomit oranının artmasıyla daha önceden bahsettiğimiz üzere malzeme içindeki pürüzlülük artmıştır.



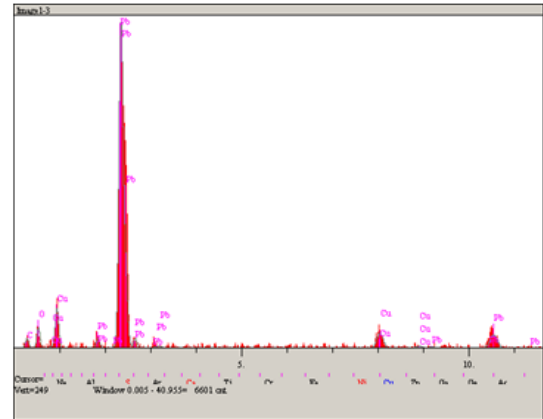
a)

b)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|------|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| C | Ka | 4.62 | 1.359 | 12.276 | wt.% | |
| O | Ka | 16.80 | 2.591 | 18.838 | wt.% | |
| Si | Ka | 4.89 | 1.398 | 0.754 | wt.% | |
| Cu | Ka | 19.95 | 2.824 | 11.064 | wt.% | |
| Pb | La | 14.14 | 2.377 | 57.067 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

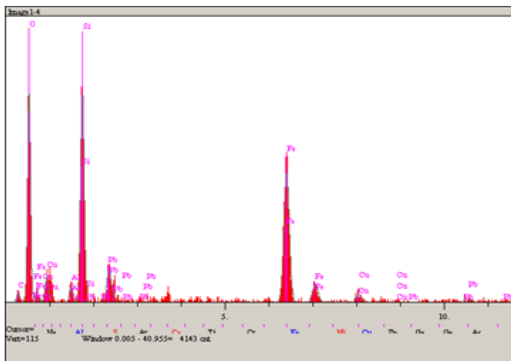


| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|------|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| C | Ka | 6.44 | 1.604 | 13.525 | wt.% | |
| O | Ka | 13.23 | 2.300 | 12.688 | wt.% | |
| Cu | Ka | 19.45 | 2.788 | 8.587 | wt.% | |
| Pb | La | 20.50 | 2.863 | 65.201 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

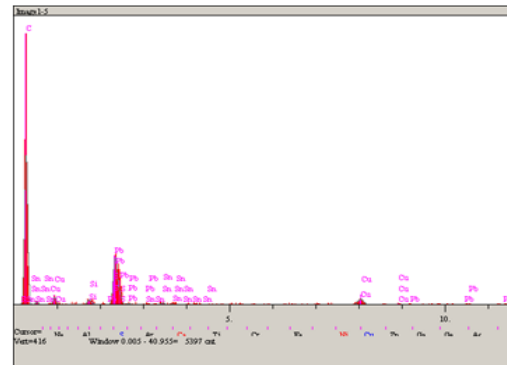
c)

d)



| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|------|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| C | Ka | 3.80 | 1.233 | 10.215 | wt.% | |
| O | Ka | 72.02 | 5.363 | 43.004 | wt.% | |
| Al | Ka | 6.40 | 1.599 | 0.909 | wt.% | |
| Si | Ka | 88.26 | 5.938 | 10.579 | wt.% | |
| Fe | Ka | 82.01 | 5.723 | 22.031 | wt.% | |
| Cu | Ka | 4.57 | 1.351 | 2.152 | wt.% | |
| Pb | La | 3.14 | 1.119 | 11.110 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

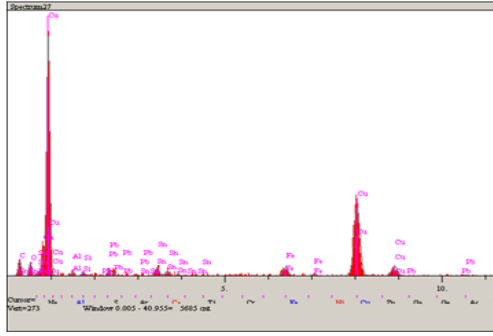


| Elt. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|------|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| C | Ka | 200.18 | 8.947 | 86.961 | wt.% | |
| O | Ka | 3.47 | 1.178 | 3.478 | wt.% | |
| Si | Ka | 8.31 | 1.823 | 0.401 | wt.% | |
| S | Ka | 0.00 | 0.000 | 0.000 | wt.% | |
| Cu | Ka | 14.30 | 2.391 | 3.417 | wt.% | |
| Sn | La | 3.92 | 1.251 | 0.720 | wt.% | |
| Pb | La | 2.70 | 1.038 | 5.023 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

e)

f)



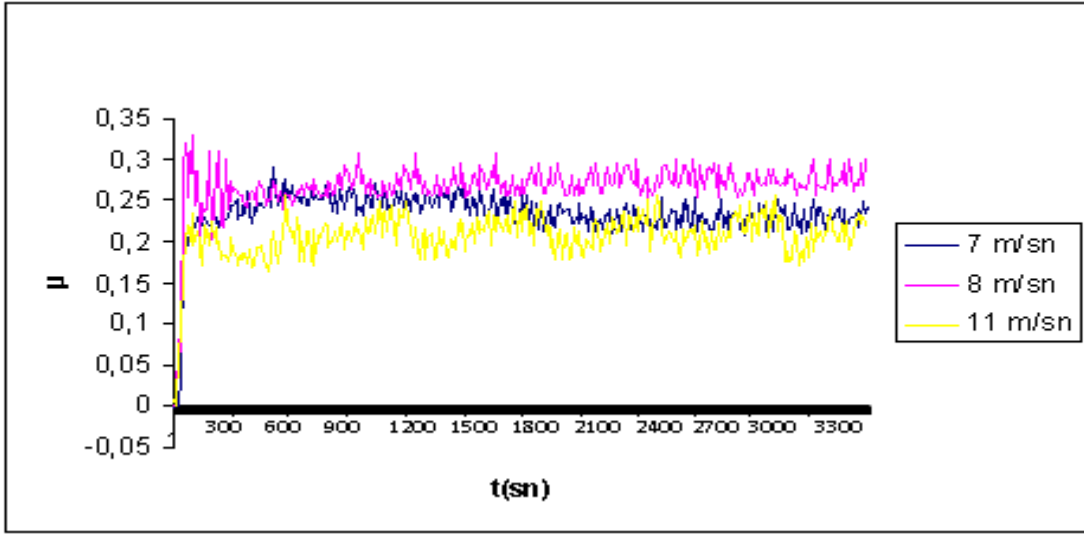
| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|------------|
| C | Ka | 13.96 | 2.362 | 31.853 | wt.% |
| O | Ka | 11.05 | 2.102 | 8.816 | wt.% |
| Al | Ka | 3.13 | 1.118 | 0.494 | wt.% |
| Si | Ka | 3.97 | 1.259 | 0.510 | wt.% |
| Fe | Ka | 13.33 | 2.308 | 2.461 | wt.% |
| Cu | Ka | 121.84 | 6.978 | 47.500 | wt.% |
| Sn | La | 10.61 | 2.060 | 3.067 | wt.% |
| Pb | La | 1.75 | 0.835 | 5.300 | wt.% |
| | | | | 100.000 | wt.% Total |

EV: 20.0
TakeOff Angle: 35.0°
Elapsed Lifetime: 10.0

g)

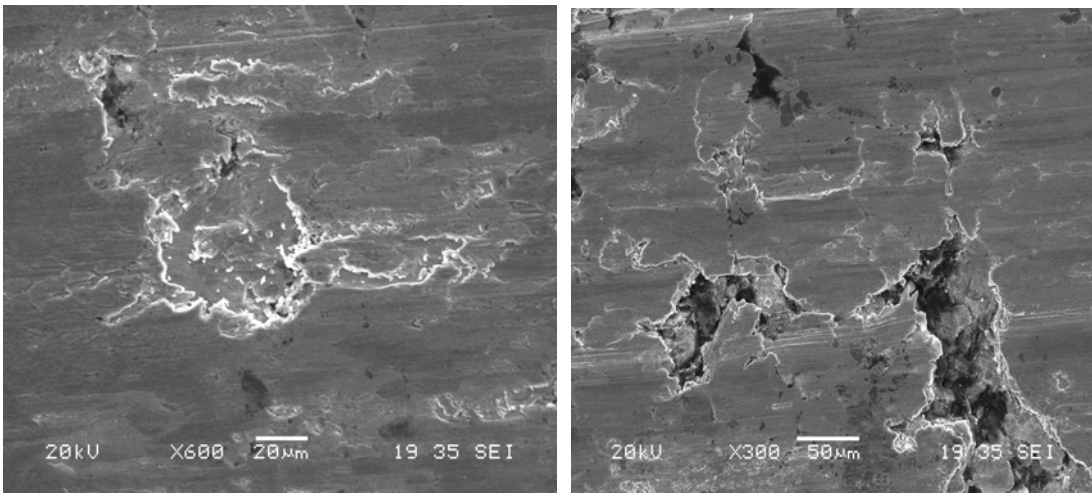
Şekil 6.66. a)G3–2 balata malzemesinin SEM’de, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) 4 noktasının EDS analizi f) 5 noktasının EDS analizi g) Balata malzemesinin genel analizi

Şekil 6.66’da görülen G3–2 balata malzemesinin EDS analizi incelendiğinde 1 nolu noktada grafit tane sınırında diatomit tanesi bulunmaktadır. 2 nolu noktada diatomit grafitle beraber bronz alaşımının tane sınırında ve içerisine iyice girmiş vaziyettedir. 3 nolu noktada grafit gözenek içinde olup bronz alaşımının tane sınırında yer almaktadır. 4 nolu noktada diatomit ve grafit gözenek içinde olup bronzun içerisinde yer almaktadır. Oksijen (O) atomu genellikle malzeme içerisindeki gözeneklerde bulunmaktadır. 5 nolu noktada 4 nolu noktadakinine benzer bir yapı bulunmaktadır. Resmin genel analizi incelendiğinde ise Diatomit’in resim içerisindeki oranıyla da anlaşılacağı gibi istenen bir dağılım gerçekleşmektedir. Malzeme yüzeyinde farklı farklı fazların olması sürtünme katsayısını kararlı (dengeli) hale getirmiştir (Şekil 6.67).



Şekil 6.67. G3-2 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.67’de balata malzemesinin aşınma davranışlarına baktığımızda genel olarak sürtünme katsayısı bütün hızlarda çabuk dengelenmiş durumdadır. Bunun nedeni diatomit oranının artmasıdır. Aşınma izleri mikroyapı resimlerinde abrasiv aşınma neticesinde balata yüzeyinden aşınarak kopan parçacıklar balata yüzeyine sıvanmış vaziyettedir (Şekil 6.68) ve aşınma izlerinin derinliği artmış ve aşınma kaybı yükselmiştir. Bronz balatalarda diatomit mineral katkısı % 6 oranına kadar sürtünme katsayısını, dolayısıyla frenleme etkisini artırmıştır. Diatomit ilavesi ayrıca aşınma kaybını azaltmıştır. Bu da bronz balataların ömrünü artırmıştır.

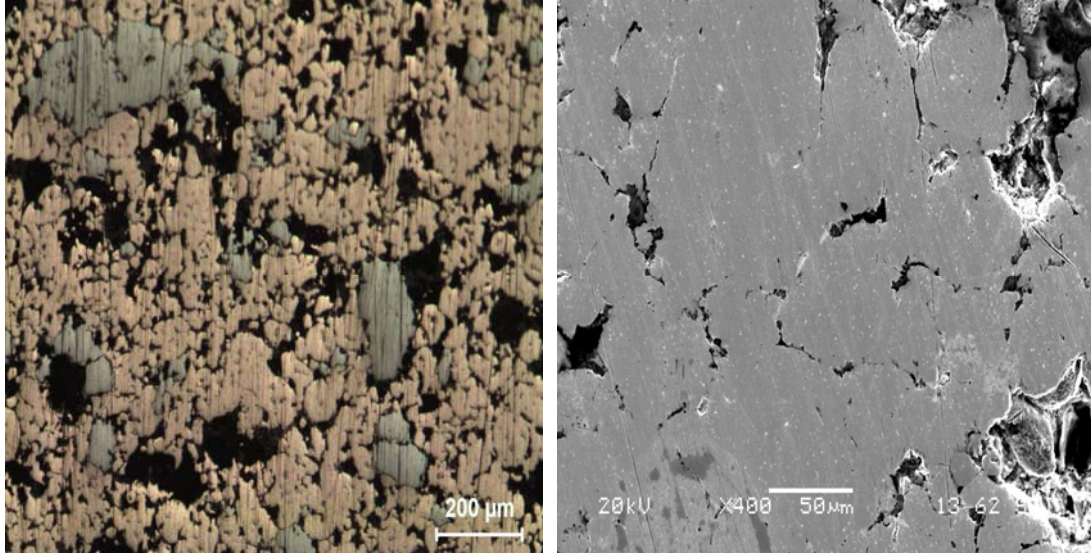


a)

b)

Şekil 6.68. G3-2 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri(a ve b).

6.1.2.15. % 3 Grafit ve % 6 Diatomit'li G3-3 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları

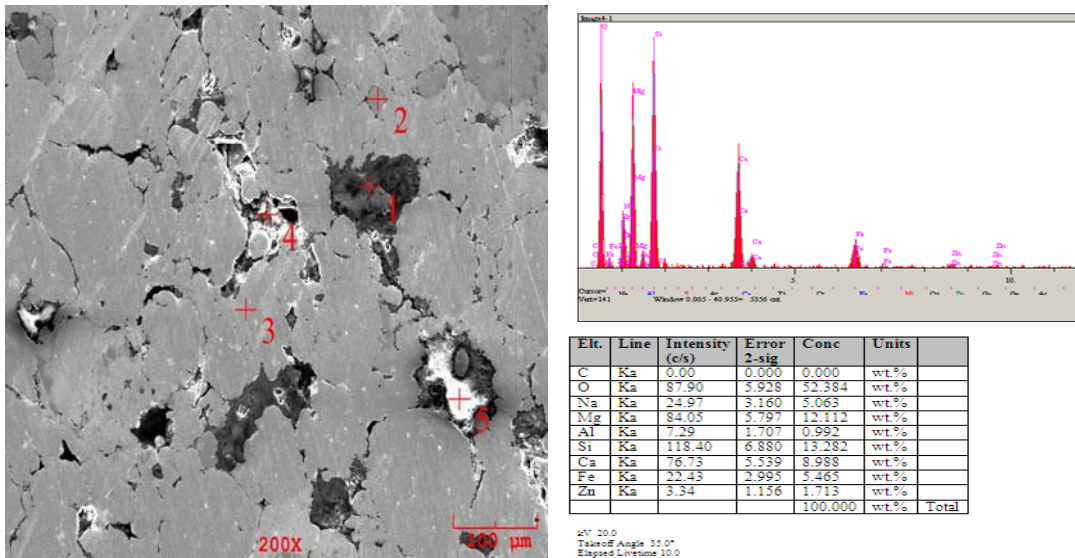


a)

b)

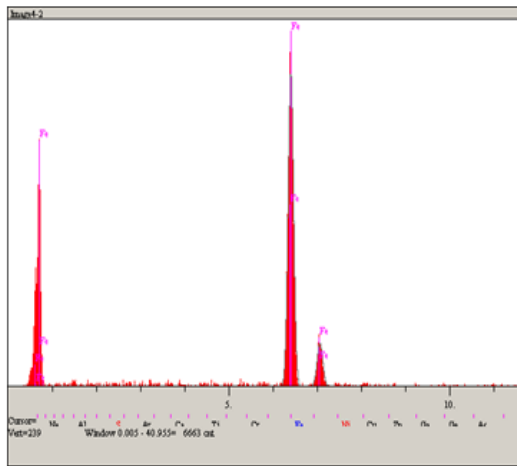
Şekil 6.69. a) G3-3 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü, b) G3-3 balata malzemesinin SEM görünümü

Şekil 6.69'da G3-3 balata malzemesinin mikroyapı görüntülerine baktığımızda; malzemeye katılan % 6 oranındaki diatomitle beraber % 3 oranındaki grafit; malzeme sinterlenirken oluşan bronz taneleri arasına, köşelerine girerek hem gözenekliliği artırmış hem de farklı fazların oluşmasını sağlamıştır.



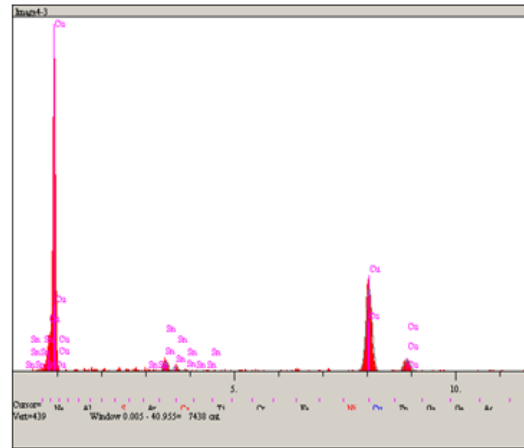
a)

b)



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| Fe | Ka | 320.36 | 11.317 | 100.000 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

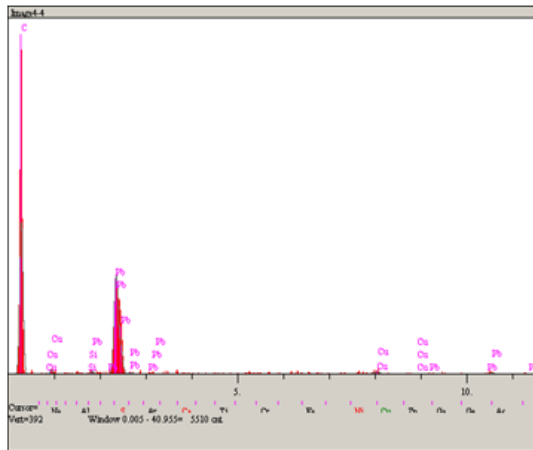
kV 20.0
TakeOff Angle 35.0°
Elapsed Lifetime 10.0



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| Cu | Ka | 177.55 | 8.425 | 93.936 | wt.% | |
| Sn | La | 15.73 | 2.508 | 6.064 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
TakeOff Angle 35.0°
Elapsed Lifetime 10.0

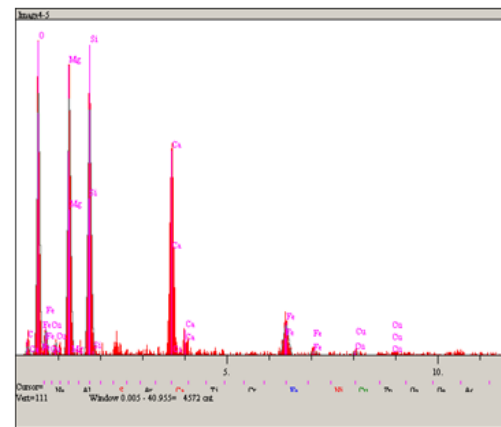
c)



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| C | Ka | 155.48 | 7.883 | 89.046 | wt.% | |
| Si | Ka | 0.00 | 0.000 | 0.000 | wt.% | |
| Cu | Ka | 5.32 | 1.438 | 1.737 | wt.% | |
| Pb | La | 3.63 | 1.205 | 9.217 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
TakeOff Angle 35.0°
Elapsed Lifetime 10.0

d)



| El. | Line | Intensity (c/s) | Error 2-sig | Conc | Units | |
|-----|------|-----------------|-------------|---------|-------|-------|
| C | Ka | 2.85 | 1.067 | 12.434 | wt.% | |
| O | Ka | 75.11 | 5.481 | 53.381 | wt.% | |
| Mg | Ka | 83.47 | 5.777 | 14.876 | wt.% | |
| Si | Ka | 86.08 | 5.867 | 12.745 | wt.% | |
| Fe | Ka | 15.94 | 2.525 | 5.254 | wt.% | |
| Cu | Ka | 2.28 | 0.954 | 1.310 | wt.% | |
| | | | | 100.000 | wt.% | Total |

kV 20.0
TakeOff Angle 35.0°
Elapsed Lifetime 10.0

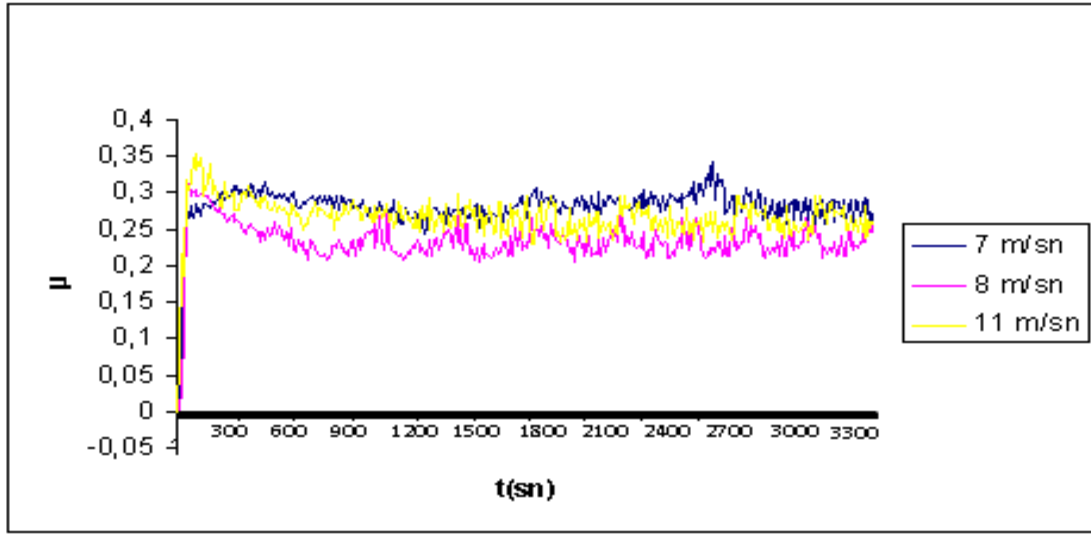
e)

f)

Şekil 6.70. a) G3-3 balata malzemesinin SEM'de, EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi c) 2 noktasının EDS analizi d) 3 noktasının EDS analizi e) 4 noktasının EDS analizi f) 5 noktasının EDS analizi

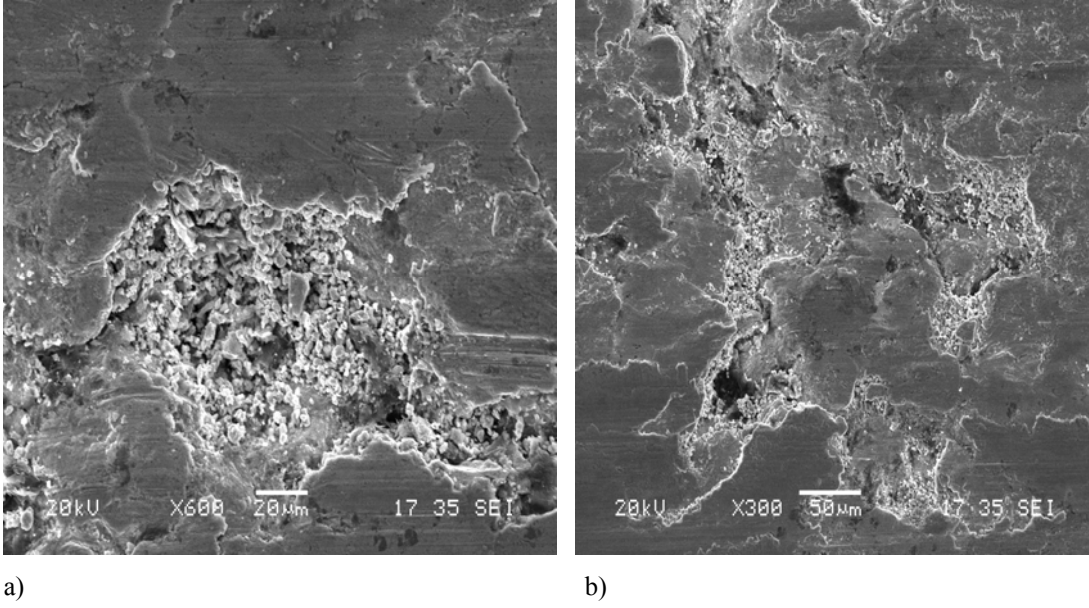
Şekil 6.70'de görülen G3-3 balata malzemesinin EDS analizi incelendiğinde 1 nolu noktada gözenek içindeki diatomit bulunmaktadır, analizde ortaya çıkan Na, Mg, Zn

elementleri daha önceden zikrettiğimiz diatomiti doğadan olduğu gibi alıp kullanmamızdan kaynaklanmaktadır. 2 nolu noktada Fe tanesini göstermektedir. 3 nolu noktada Cu-Sn-Pb alaşımını göstermektedir, Pb'nin tane boyutu küçük olduğundan EDS analizinde gözükmemekte fakat varlığı gözardı edilmemelidir. 4 nolu noktada grafit gözenek içinde olup belirgin şekilde bronzun içerisine sokulmuştur. 5 nolu noktada diatomit belirgin şekilde gözükmemekte olup gözenek içinde ve Fe diatomitin tane sınırındadır. Malzemenin EDS analizlerinden anlaşılacağı üzere farklı fazların oranı artmış ve neticesinde bütün hızlarda sürtünme katsayısı çabuk dengelenmiş ve kararlı devam etmiştir (Şekil 6.71).



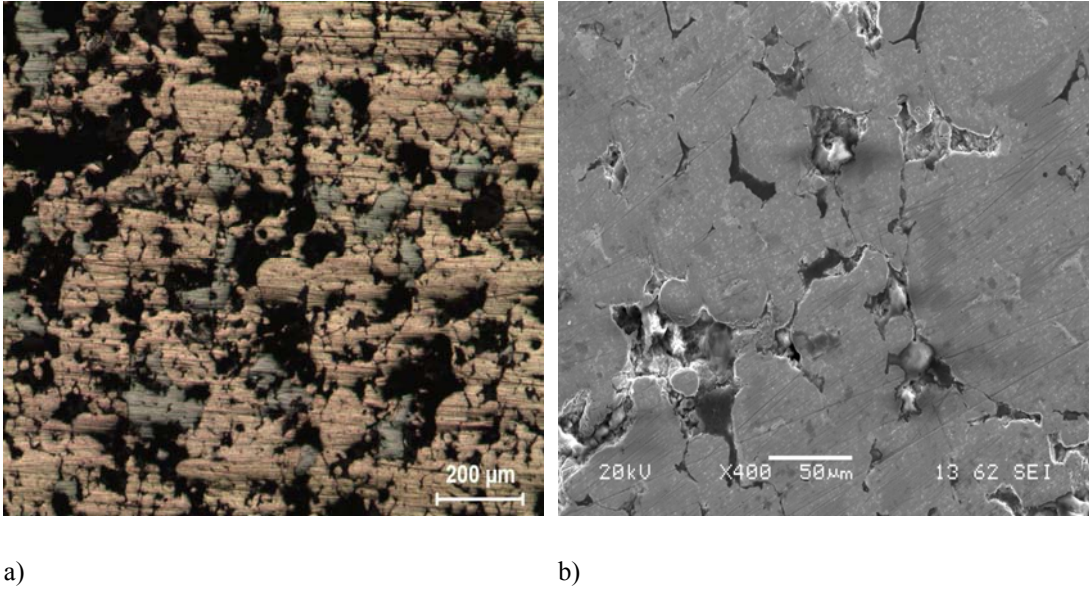
Şekil 6.71. G3-3 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.71 'de Şekil 6.66'da yapılan yorumun neticesinde; bütün hızlarda sürtünme katsayısı birbirlerine yakın değerlerde devam etmiştir. Aşınma izlerinin mikroyapı resimlerine baktığımızda; derin oyuklar malzeme yüzeyinde oluşmuştur (Şekil 6.72).



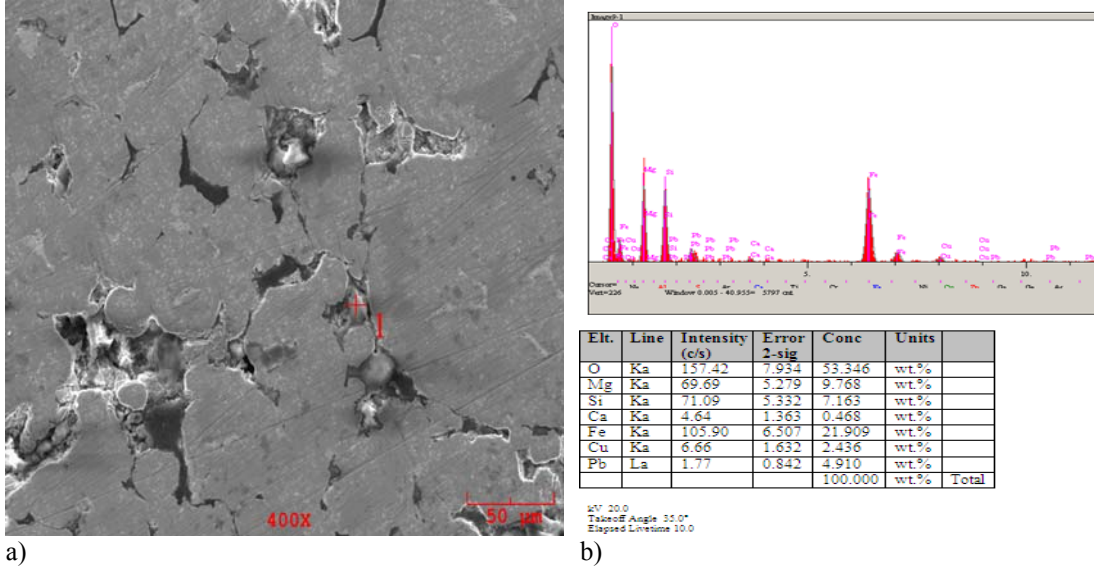
Şekil 6.72. G3-3 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.1.2.16. % 3 Grafit ve % 8 Diatomit’li G3-4 balata malzemesinin mikroyapı ve aşınma deney sonuçları



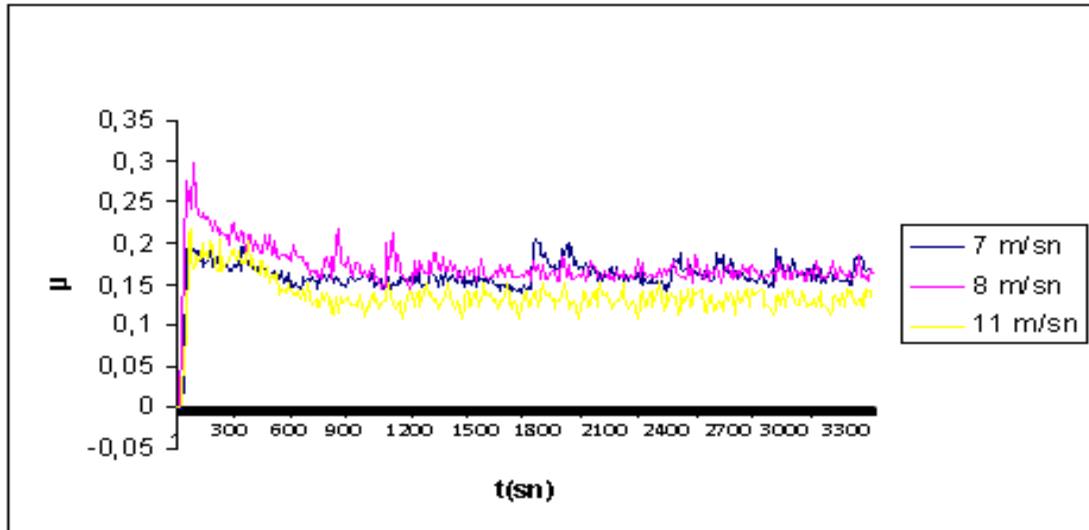
Şekil 6.73. a) G3-4 balata malzemesinin optik mikroskop görünümü b) G3-4 balata malzemesinin SEM görünümü

Şekil 6.73’de G3-4 balata malzemesinin görüntü resimlerinde; optik mikroskopta siyah görülen bölgelerin SEM’de kuvars taneleri ve gözenekler olduğu anlaşılmıştır. Diatomit oranının artmasıyla beraber gözeneklilik artmıştır.



Şekil 6.74. a) G3-4 balata malzemesinin SEM’de EDS pikleri b) 1 noktasının EDS analizi

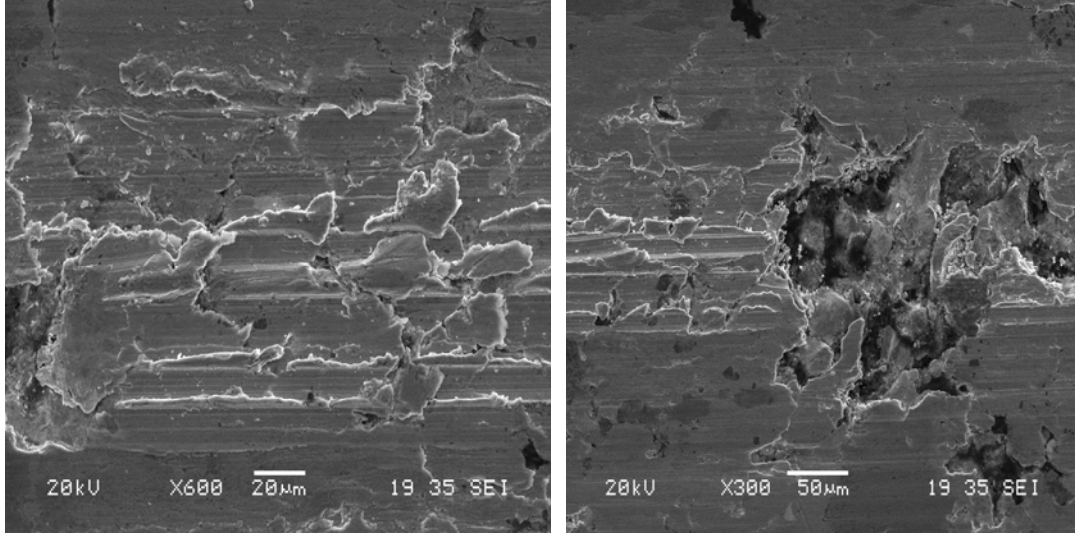
Şekil 6.74’de görülen G3-4 balata malzemesinin EDS analizi incelendiğinde 1 nolu noktada gözenek içindeki diatomit bulunmakta ve Fe’nin tane sınırında yer almaktadır.



Şekil 6.75. G3-4 balata malzemesinin sürtünme katsayısı-zaman grafiği

Şekil 6.75’de G3-4 balata malzemesinin aşınma davranışları bize malzemeye katılan % 3 grafit ve % 8 oranındaki diatomitin sürtünme katsayısına yardımcı olduğu fakat aynı zamanda sürtünme katsayısı düşürdüğünü göstermektedir. Aşınma izlerinin mikroyapı resimlerini incelediğimizde aşınma neticesinde kopan balata malzemesi

balata yüzeyine sıvanmış vaziyettedir (Şekil 6.76). Bu durumun neticesinde aşınma kaybı düşük çıkmıştır.



a)

b)

Şekil 6.76. G3-4 balata malzemesinin aşınma deneyleri sonrasında SEM’de aşınma görüntüleri (a ve b).

6.2. Balata malzemelerinin Sürtünme Katsayısı-Katkı maddesi Oranı-Yük Sonuçları

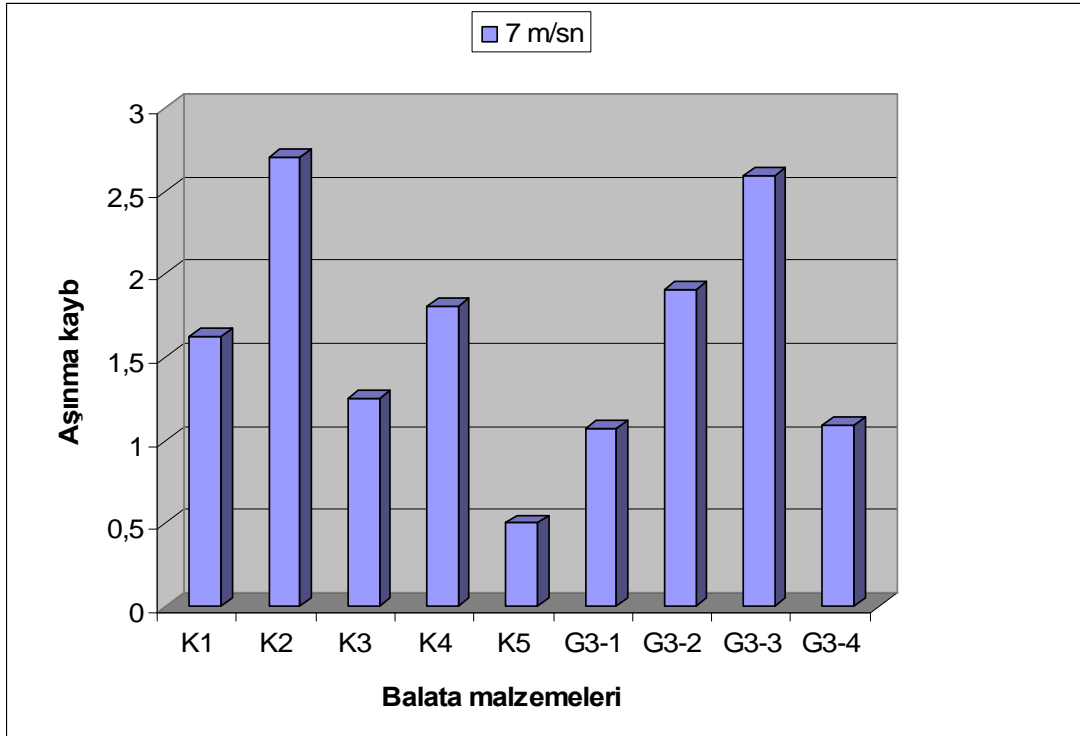
Bu çalışmada geleneksel olarak kullanılan fren balataları yerine bronz esaslı fren balataları üretilmiştir. K grubu bronz balataları üretilirken; Cu-Sn-Pb (%90-%10-%10) ön alaşımlı tozlara demir (Fe), içerisine her numune için % 3 grafit ve sırasıyla %0, 2, 4, 6 ve 8 oranlarında kuvars kullanılmıştır. G grubu bronz balataları üretilirken Cu-Sn-Pb ön alaşımlı tozlara grafit katılmadan; sırayla %2, 4, 6 ve 8 diatomit katılarak G0-1, G0-2, G0-3, G0-4 balata malzemeleri; % 1 grafit, sırayla %2, 4, 6 ve 8 diatomit katılarak G1-1, G1-2, G1-3, G1-4 balata malzemeleri; % 2 grafit, sırayla %2, 4, 6 ve 8 diatomit katılarak G2-1, G2-2, G2-3, G2-4 balata malzemeleri ve % 3 grafit, sırayla %2, 4, 6 ve 8 diatomit katılarak G3-1, G3-2, G3-3, G3-4 balata malzemeleri üretilmiş sabit yük (314 N) ve farklı hızlarda (7, 8 ve 11 m/sn) aşınma performansları test edilmiştir. Bronz balataların sürtünme deneyi sonuçları; sabit grafit-farklı kuvars; farklı grafit-farklı diatomit oranları ve yük ilişkileri ile birlikte bir önceki bölümde analiz edilmişti. Bu bölümde ise sayılan parametrelerin sürtünme özelliklerine etkileri önemli genel sonuçları ile birlikte

verilecektir. Tablo 6.1’de ilk deneyden itibaren balata numunelerinin alıştırma süreci hariç alan kısımlarının sürtünme katsayısının ortalaması alınmıştır. K1, K2, K3, K4, K5 ve G3-1, G3-2, G3-3, G3-4 balata malzemeleri 314 N sabit yük ve 7, 8 ve 11 m/sn hızlarında balata aşınma cihazında aşındırılmıştır. Diğer balata malzemeleri (G0-1, G0-2, G0-3, G0-4, G1-1, G1-2, G1-3, G1-4, G2-1, G2-2, G2-3, G2-4) ise 314 sabit yük 8 ve 11 m/sn hızlarında balata aşınma cihazında aşındırılmıştır. Tablo 6.1’deki değerlere baktığımızda genel olarak hız arttıkça sürtünme katsayısı düşmüştür. K grubu balata malzemelerinde; kuvars oranı arttıkça 7 m/sn hızda sürtünme katsayısı % 6 kuvarslı K4 balata malzemesine kadar yükselmiş, % 8 kuvarslı K5 balata malzemesinde düşüş göstermiştir. Aşınma kaybı değişken olmuştur. G grubu balata malzemelerinden; içerisinde grafit bulunmayan balata malzemelerinde; % 6 diatomite kadar diatomit oranı arttıkça sürtünme katsayısı düşüş göstermiştir. % 8 diatomitte tekrar yükselmiştir. Aşınma kaybı ise değişken olmuştur.

Tablo 6.1. Balata malzemelerinin hızlara göre aşınma kayıpları(w) ve sürtünme katsayıları(μ) değerleri

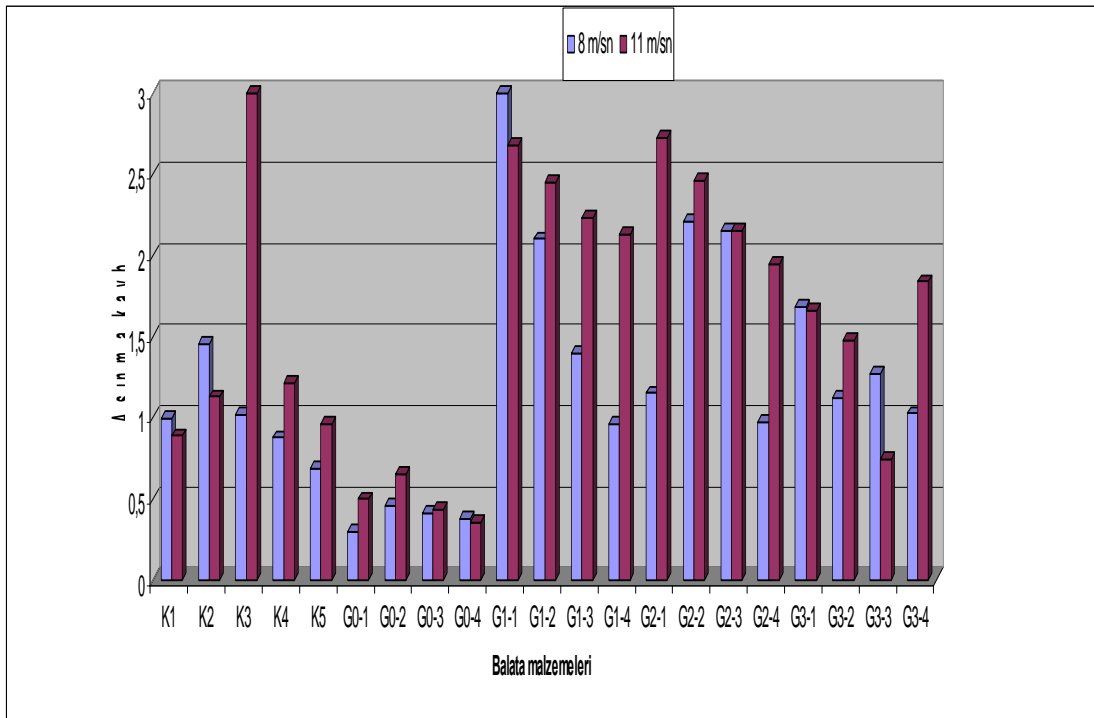
| Balata malzemesi adı | 7 m/sn | | 8 m/sn | | 11 m/sn | |
|----------------------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|
| | w | μ | w | μ | w | μ |
| K1 | 1,6266 | 0,2 | 0,9955 | 0,19 | 0,889 | 0,12 |
| K2 | 2,7022 | 0,26 | 1,457 | 0,24 | 1,1288 | 0,17 |
| K3 | 1,2577 | 0,23 | 1,0177 | 0,18 | 995 | 0,19 |
| K4 | 1,8088 | 0,25 | 0,8752 | 0,22 | 1,2133 | 0,2 |
| K5 | 0,5022 | 0,24 | 0,6844 | 0,17 | 0,96 | 0,19 |
| G0-1 | — | — | 0,2977 | 0,25 | 0,4977 | 0,17 |
| G0-2 | — | — | 0,4577 | 0,24 | 0,6533 | 0,18 |
| G0-3 | — | — | 0,4121 | 0,22 | 0,4355 | 0,17 |
| G0-4 | — | — | 0,3733 | 0,23 | 0,3562 | 0,16 |
| G1-1 | — | — | 3,2888 | 0,23 | 2,6785 | 0,15 |
| G1-2 | — | — | 2,1022 | 0,26 | 2,4521 | 0,18 |
| G1-3 | — | — | 1,4 | 0,25 | 2,2311 | 0,2 |
| G1-4 | — | — | 0,964 | 0,23 | 2,1333 | 0,18 |
| G2-1 | — | — | 1,152 | 0,25 | 2,7244 | 0,22 |
| G2-2 | — | — | 2,2088 | 0,2 | 2,461 | 0,18 |
| G2-3 | — | — | 2,1511 | 0,28 | 2,153 | 0,23 |
| G2-4 | — | — | 0,975 | 0,29 | 1,95 | 0,25 |
| G3-1 | 1,071 | 0,23 | 1,6844 | 0,21 | 1,6622 | 0,11 |
| G3-2 | 1,9066 | 0,22 | 1,12 | 0,27 | 1,4755 | 0,2 |
| G3-3 | 2,5955 | 0,27 | 1,2711 | 0,24 | 0,7417 | 0,23 |
| G3-4 | 1,093 | 0,15 | 1,0266 | 0,16 | 1,84 | 0,13 |

Şekil 6.77'deki değerlere baktığımızda kuvars ve diatomit oranı arttıkça aşınma kaybında yükselme olmuş %6 kuvars ve % 6 diatomitten sonra iyi düşüş olmuştur.



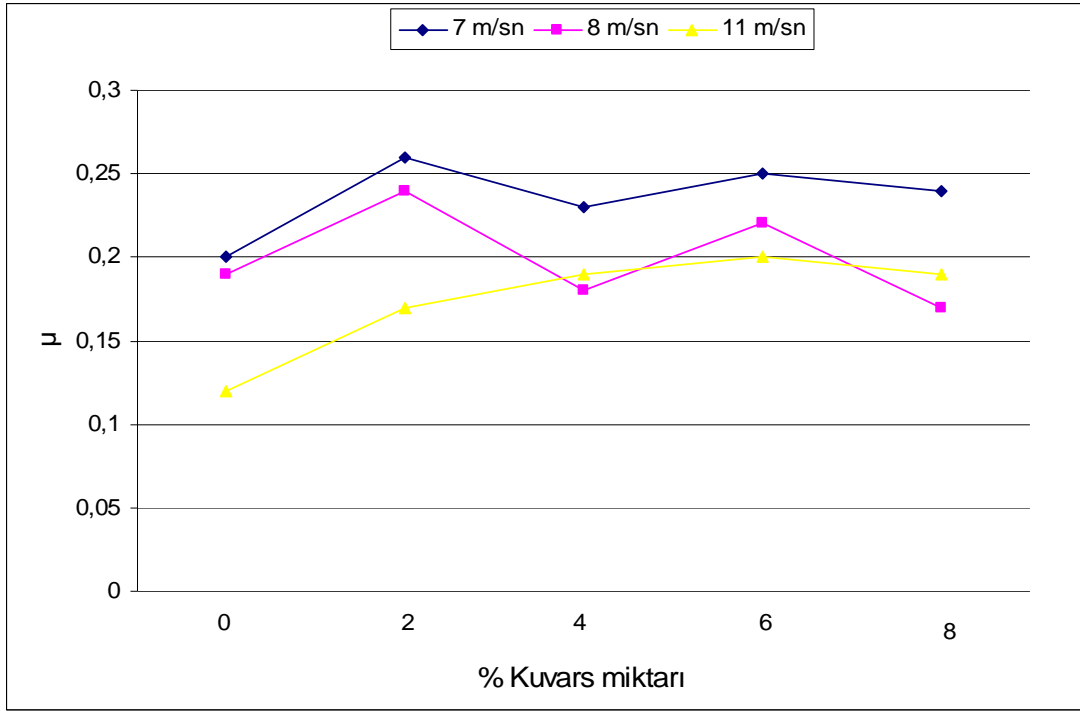
Şekil 6.77. 7 m/sn hızda aşındırılan balata malzemelerinin hız-aşınma kaybı oranı

Şekil 6.78 'deki grafiği incelediğimizde; genelde bütün balata malzemelerinde hız arttıkça aşınma kaybı artmıştır. Diatomit katkılı balata malzemelerinin aşınma kayıpları kuvars katkılı balata malzemelerinkinden yüksek çıkmıştır; grafit oranı %1 ve diatomit oranı %2 olan G1-1 balata malzemesinin aşınma kayıpları en yüksek çıkmıştır.



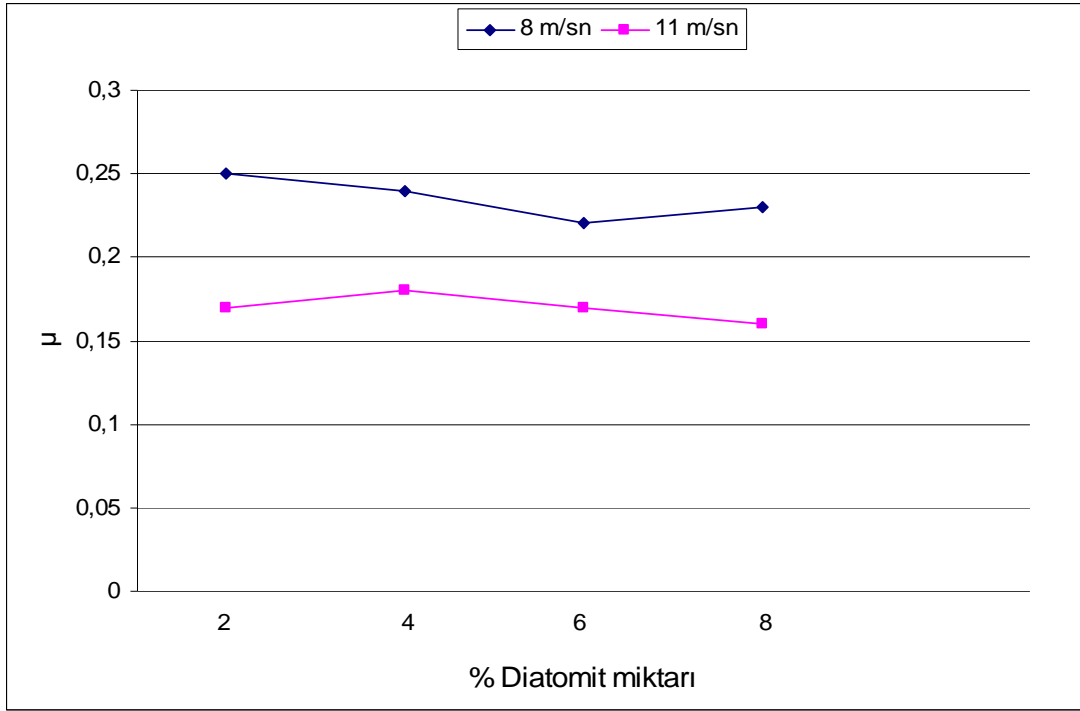
Şekil 6.78. 8 ve 11 m/sn hızlarında aşındırılan balata malzemelerinin hız-aşınma kabı oranı

Şekil 6.79'da K grubu balata malzemelerinin hızlara ve artan kuvars miktarına göre sürtünme katsayı değerlerini incelediğimizde; daha önceden bahsettiğimiz üzere hız arttıkça sürtünme katsayısı hız'a ters orantılı olarak düşmüştür, sadece 11 m/sn hızda %4 ve %6 kuvars içeren balata malzemelerinin sürtünme katsayıları 8 m/sn hızlardaki sürtünme katsayılarına göre yüksek çıkmıştır.



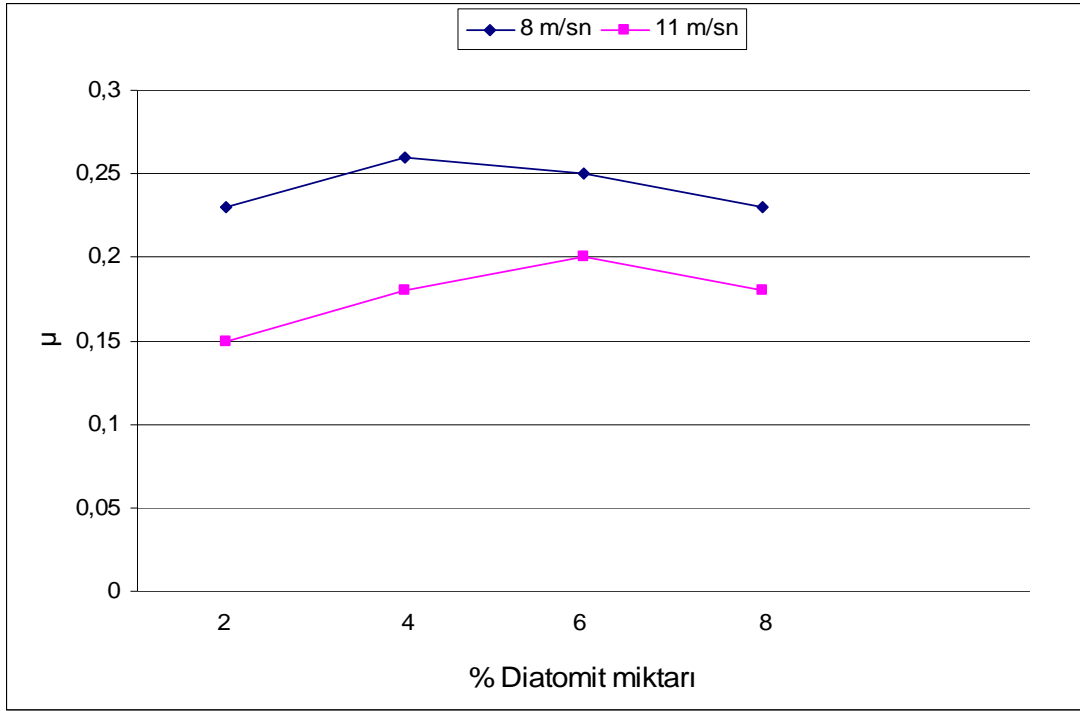
Şekil 6.79 K grubu balata malzemelerinin % Kuvars miktarı-Sürtünme katsayısı(μ) grafiği

Şekil 6.80’de İçerisinde grafit katılmayan G grubu balata malzemelerinin hızlara ve artan diatomit oranına göre sürtünme katsayı değerlerini incelediğimizde; 8 m/sn hızda diatomit oranı arttıkça sürtünme katsayısı düşüş göstermiş; fakat %6 diatomitten sonra artan sürtünme katsayısı tekrar yükselmiştir. 11 m/sn hızda ise diatomit oranı arttıkça ilk etapta sürtünme katsayısı yükselmiştir, % 4 diatomitten sonra sürtünme katsayısı diatomit oranına ters orantılı olarak azalmıştır.



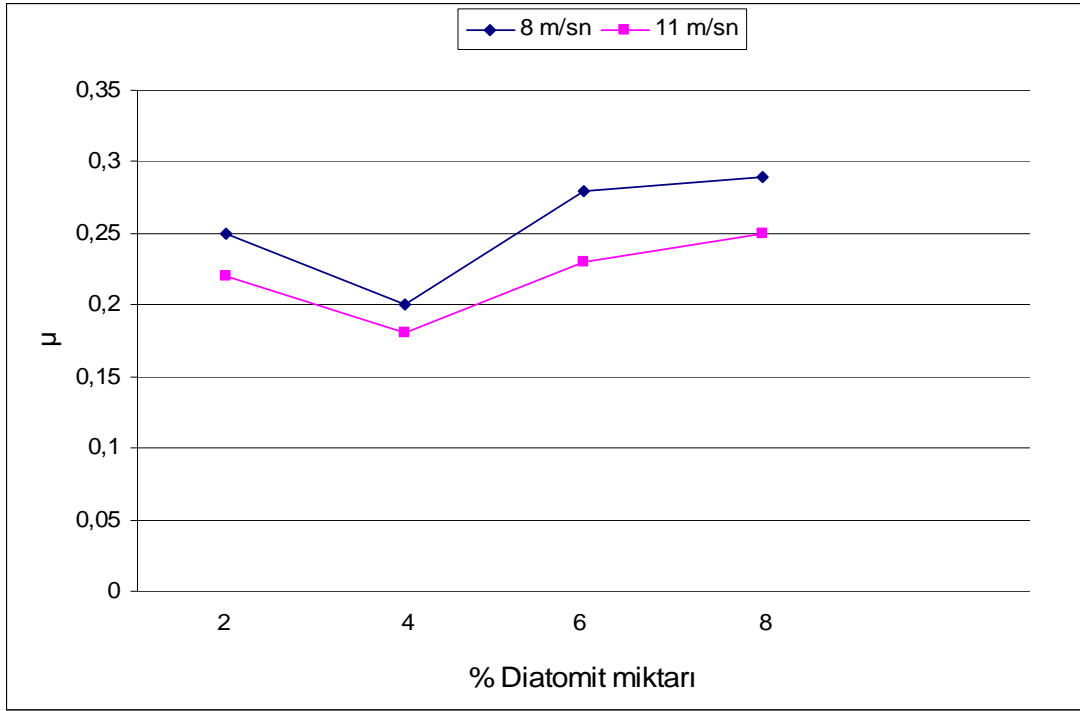
Şekil 6.80. İçerisinde grafit bulunmayan G grubu balata malzemelerinin % Diatomit miktarı-Sürtünme katsayısı(μ) grafiği

Şekil 6.81’de içerlerine %1 oranında grafit kattığımız G grubu balata malzemelerinin hızlara ve artan diatomit oranına göre sürtünme katsayı değerlerini incelediğimizde; Her iki hız (8 ve 11 m/sn) için diatomit oranı arttıkça sürtünme katsayısı ilk etapta yükselmiştir. Sürtünme katsayısı 8 m/sn hızda, % 4 diatomitten sonra diatomit oranının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı devamlı düşüş göstermiştir, 11 m/sn hızda ise; %6 diatomitten sonra sürtünme katsayısı düşüş göstermiştir.



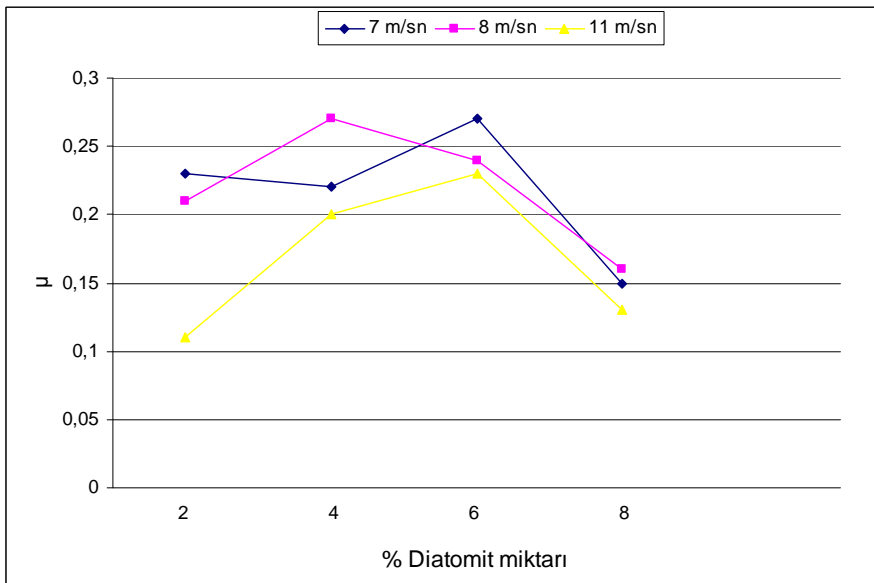
Şekil 6.81. İçerisinde % 1 grafit bulunan G grubu balata malzemelerinin % Diatomit miktarı- Sürtünme katsayısı(μ) grafiği

Şekil 6.82’de içerlerine %2 oranında grafit kattığımız G grubu balata malzemelerinin hızlara ve artan diatomit oranına göre sürtünme katsayı değerlerini incelediğimizde; malzemeleri aşınmaya tabi tuttuğumuz her iki hızda (8 ve 11 m/sn) için diatomit oranı arttıkça sürtünme katsayısı ilk etapta düşmüş; fakat diatomit oranı arttıkça sürtünme katsayısı yükselmiştir.



Şekil 6.82. İçerisinde % 2 grafit bulunan G grubu balata malzemelerinin % Diatomit miktarı- Sürtünme katsayısı(μ) grafiği

Şekil 6.83'te içerlerinde %3 oranında grafit kattığımız G grubu balata malzemelerinin hızlara ve artan diatomit oranına göre sürtünme katsayı değerlerini incelediğimizde; bütün hızlarda değişken bir sürtünme katsayı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.83. İçerisinde % 3 grafit bulunan G grubu balata malzemelerinin % Diatomit miktarı- Sürtünme katsayısı(μ) grafiği

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Genel Sonuçlar

Yapılan çalışmalar bronz esaslı kompozit fren balata malzemelerinin üretimlerinin başarı ile gerçekleştirildiğini göstermiştir. Fren balatası olarak üretilen malzemeler için optimum sürtünme-aşınma özellikleri 500 MPa presleme basıncında ve sinterleme sıcaklığının 800°C olduğu tespit edilmiştir. Her balata malzemesi için elde edilen sürtünme katsayısı sonuçları 314 N sabit yük 7, 8, 11 m/sn hızlarında tablo ve grafiklerle incelenmiştir. Grafit, Kuvars ve diatomit sürtünme katsayılarını belli bir orana kadar kullandıklarında yükseltmiştir. Sürtünme katsayısını dengelemiştir. Balata malzemelerinin sürtünme katsayı değerleri 0,12–0,29 değerleri arasındadır.

1. Tüm aşınma deneyleri sonucunda;

a) 7 m/sn hızda sürtünme katsayısı en büyük olan K grubu balata malzemesi % 2 kuvarslı K2 balata malzemesidir.

b) 7 m/sn hızda sürtünme katsayısı en büyük olan G grubu balata malzemesi % 3 grafit ve % 6 diatomitli G3–3 balata malzemesidir.

c) 8 m/sn hızda sürtünme katsayısı en büyük olan K grubu balata malzemesi K2 balata malzemesidir

d) 8 m/sn hızda sürtünme katsayısı en büyük olan G grubu balata malzemesi % 2 grafit ve % 8 diatomitli G2–4 balata malzemesidir

e) 11 m/sn hızda sürtünme katsayısı en büyük olan K grubu balata malzemeleri K3 ve K5 balata malzemeleridir.

f) 11 m/sn hızda sürtünme katsayısı en büyük olan G grubu balata malzemesi G2–4 balata malzemesidir.

2. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda;

a) 7 m/sn hızda aşınma kaybı en fazla olan K grubu balata malzemesi K2 balata malzemesidir.

b) 7 m/sn hızda aşınma kaybı en fazla olan G grubu balata malzemesi G3–3 balata malzemesidir.

c) 8 m/sn hızda aşınma kaybı en fazla olan K grubu balata malzemesi K2 balata malzemesidir.

c) 8 m/sn hızda aşınma kaybı en fazla olan G grubu balata malzemesi G1–1 balata malzemesidir.

d) 11 m/sn hızda aşınma kaybı en fazla olan K grubu balata malzemesi K3 balata malzemesidir.

e) 11 m/sn hızda aşınma kaybı en fazla olan G grubu balata malzemesi G2–1 balata malzemesidir.

7.2. Öneriler

1. Bronz tozlarını biz ön alaşımlandırılmış olarak hazır alıp kullandık, bunun yerine sisteme giren her elementin tozu ayrı ayrı alınıp kullanılabilir.
2. Biz katı yağlayıcı olarak grafiti kullandık; grafitin dışında farklı katı yağlayıcılar kullanılabilir.
3. Biz seramik katkı olarak kuvars ve diatomiti kullandık; bunların yerine farklı farklı seramik esaslı katkı maddeleri kullanılabilir.
4. Katkı maddelerinin oranları değiştirilebilir.
5. Farklı sinterleme sıcaklıklarında ve hızlarında çalışılabilir.
6. Aşınma deneyleri farklı basınç ve hızlarda yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] MUTLU, İ., “Seramik Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım, 2002.
- [2] PAUSTENBACH, D. J., FINLEY, B. L., LU, E. T., BRORBY G. P., SHEEHAN P. J., Environmental and occupational health hazards associated with the presence of asbestos in brake linings and pads (1900 to present): a state of-the-art review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 2004, 7:33–110.
- [3] MORSHED, M.M., HASEEB A.S.M.A., Physical and chemical characteristics of commercially available brake shoe lining materials: a comparative study. *Journal of Materials Processing Technology* 155–156, 2004,1422–1427. Chapter 1.
- [4] YILMAZ, F. “Sürtünme ve aşınma”, 9. Ulusal Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, Türkiye, 229–247, 1997.
- [5] ROHATGİ, P.K. LIU, Y., RAY, S., Friction and wear of metal-matrix composites. *ASM Handbook, Vol 18, University of Wisconsin-Milwaukee.process engineering. CRC Press LLC*, 2002.
- [6] STAAB, G. H., *Laminar composites. Butterworth-Heinemann*, 1999, Chapter 1.
- [7] ÖZAKÇA, M., “Mechanical Properties of Compacted and Sintered Powder Metallurgy Blanks”, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi F.B.E.,1989.science and technology. *The Technical University of Budapest*, 1998, Chapter 12.
- [8] ATAŞ, A., “Alaşımli Demir Tozu Peletlerinin Sinterleme Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., F.B.E., 2003, İstanbul

- [9] FUJIKI, A., “Present State and Future prospects of Powder Metallurgy Parts For Automotive Applications”, *Materials Chemistry and Physics*, 67, 298-306, 2001
- [10] SARITAŞ, S. , “Yayınlanmamış Rapor”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 1991
- [11] BOCCHINI, G. F., and LINDSKOG, P. F., “Applications and Developments of Sintered Ferrous Materials” *Powder Metallurgy-An overview*”, The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy, 287, (ed: I. Jenkins and J.V. Wood).
- [12] DEMİR, A., “Toz Metal Bir Çeliğin Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, F.B.E., 1992, Ankara
- [13] GERMAN, R. M., “Powder Metallurgy, 8. Particulate Materials Processing”, MPIF, 2005, USA
- [14] HÖGANAS, A. B., 1996, “Production of Iron and Steel Powders”, chapter 2, s: 3-21, Höganäs PM School
- [15] OKUMUŞ, C., ÖVEÇOĞLU, M. L., “Toz Metalurjisinde Atomizasyon Yöntemi ve Bu Yöntemle Üretilen Fe Esaslı Malzemeler”, *Metal Dünyası*, 1 (8), 26-39, 1993
- [16] ÖVEÇOĞLU, M. L., 1997, “Toz Metalurjisi Tarihsel Gelişim, Üretim Aşamaları ve Yeni Eğilimler”, 9. Ulusal Metalurji ve Malzeme Kongresi, 449-475, İstanbul, Türkiye
- [17] LENEL, V. F., “Production of Iron Powder by Reduction of Iron Oxide”, *Metals Handbook*, Volume 7, p: 79-82, 1993, USA
- [18] UPADHYAYA, G. S., “Sintered Metallic and Ceramic Materials-Sintered Low-Alloy Ferrous Materials”, John Wiley & Sons LTD, West Sussex, England, 2000
- [19] ÖZKAL, B., “Wolfram Ağır Alaşımlarında Başlangıç Toz Özelliklerinin Sıvı Faz Sinterlemesi Yoluyla Yoğunlaşma Süreçlerine Olan Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., F.B.E., 2002, İstanbul
- [20] BRADBURY, S., “Powder Metallurgy Equipment Manual”, 1986, U.S.A
- [21] ALPUGAN, Z., “T/M’de Presleme Tekniği ve Nükleer Yakıt (UO₂) Üretimine Uygulanması”, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma

Enstitüsü, 1981, TÜBİTAK

- [22] GERMAN, M. R., “Sintering Theory and Practice”, Wiley-Interscience, 1996, Newyork, USA
- [23] WILYAM, P. R., “Sintering with Nitrogen Based Atmospheres”, Powder Metallurgy, 28. 85–87,1985
- [24] YILMAZ, S. B., “Toz Metalurjisi ile Üretilen Bağlı Grafitli Demir Parçalarda Kullanılan Farklı Demir Tozu Cinslerinin Parçalardaki Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, F.B.E., 1999, İstanbul
- [25] JAMES, B. A., “Liquid Phase Sintering in Ferrous Powder Metallurgy”, Powder Metallurgy, Volume 28, Number 3, 1985
- [26] GERMAN, R. M., “Powder Injection Molding”, MPIF, 1990, Newyork
- [27] TÜRK STANDARTLARI, “Metalik Tozların Görünür Yoğunluğunun Scatt Hacim Ölçme ile Tayini”, TS 4481, Nisan, 1985
- [28] Metals Handbook, 9th edition, Volume 7, Powder Metallurgy, ASM, U.S.A.,1984
- [29] SZERİ, A.Z., MCGRAW, Hill, “Tribology (Friction, Wear, Lubrication)”, Hemispherepub.i Washington, 1: 30-75, 1980.
- [30] TOPBAŞ, M. A. “Endüstri malzemeleri”, cilt 2, Yıldız Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 219–264(1993).
- [31] ASHBY, M.F. and JONES, D.R.H. “Engineering materials 1, 2nd edition”, Butterworth, Hineman 1: 295, 1996.
- [32] GEMALMAYAN, N., “Sürtünme malzemelerinin özelliklerinin deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 30-83 (1984).
- [33] GEDİKTAŞ, M, “Sürtünme malzemelerinin deneysel tayini”, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, 10–80, 1968.
- [34] HOLİNSKİ, R., “Fundamentals of dry friction and some practical examples”, Industrial Lubtication and tribology, 53:61-65, 2001.

- [35] PERSSON, B.N.J., “theory of Friction”, The ,American Physical Society, 50:47-71, 1994.
- [36] TABOR, D., “Friction as a dissipated process. Friction of organic polymers in fundamentals of friction”, 220:3, 1996.
- [37] MOORE, D.F., “Principles and Application Tribology”, Pergamon Press, Oxford, 109-156, 1975.
- [38] TÜRK STANDARTLARI, “Metalik Tozların Görünür Yoğunluğunun Scatt Hacim Ölçme ile Tayini”, TS 4481, Nisan, 1985.
- [39] KAYALI, E.S., “Aşınma ve kaplı takımların aşınması”, Nato-TU PVD kaplamaları projesi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 5-18, 1996.
- [40] UYGUR, M. E., “Balata üretim teknolojisi”, I. Ulusal Toz metalurjisi kongresi, Bildiriler kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 6-17(1996).
- [41] UYGUR, M.E., “Toz metalurjisi ekonomik bir üretim tekniği”, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 477-484(1996).
- [42] FEDORCHESCO, I.M., KIRYACHEK, V.M., “New sintered friction materials”, Friction and Antifriction Materials. 4.139–142, 1970.
- [43] ALİSİON, V.V., KROGELSKY, I.V., “Tribology Handbook”, Pergamon Press, Oxford, 2:35-56, 1981.
- [44] TUÇ, B., “Tribology”, Basılmamış Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003.
- [45] KJELDSTEEN, P., TRİLK, N., “Wear map production on P/M materials and the definition of transition”, The Danish for Powder Metallurgy, Nordborg, Denmark, 50-110, 1995.
- [46] TRİKL, N.C., EYRE, T.S., “Tribology Methodology”, Brunel University, Kingston Lane, Uxbridge, U.K., 114-145, 1993.
- [47] Testing for materials selection, “Advanced materials and processes”, International Journal of Fatigue, 13.99–191, 1991.
- [48] THIMMLER, F., OBERACKER, R., “Introduction to powder metallurgy”, Printed and Bound in Great Britain at the University Press, Cambridge, 99-126, 1993.

- [49] BEDGE, D., STARCEVIĆ, J., Topographic properties of the contact zones of wear surfaces in disc brakes, *Wear*, 254:195-202, 2003.
- [50] STACHOWIAK, G.W., BATCHELOR, A.W., "Engineering Tribology", Heineman, Boston, 1:36-44, 2001.
- [51] RIGNEY, D.A., "Sliding wear of metals", *Ann. Rev. Mater. Sci.*, 18:141-163, 1988.
- [52] GODET, M., "The trird-body approach: A mechanical view of wear", *Wear*, 100:437-452, 1984.
- [53] ERIKSSON, M., Friction and contact phenomena of disc brakes related to squeal. Comprehensive Summaries Of Uppsala Dissertations From The Faculty Of Science And Technology, Uppsala 2000
- [54] GÖKTAN, A.G., GÜNEY, A., EREKE, M., Taşıt frenleri. İTÜ Makine Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı İTÜ Makine Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı İstanbul, Ocak 1995.
- [55] ANDERSON, A.E., Friction and wear of automotive brakes. ASM Handbook, Vol 18.
- [56] TSE-555, "Automotive brake lining for road vehicles", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 6-33, 1992.
- [57] BOZ, M., "Toz metalurjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 60-85, 1999.
- [58] KLAR, E., "Powder metallurgy, Metals Handbook 9th edition", by the American Society for Metals, USA., 25:1-14, 1983.
- [59] ARNOLD, E., ANDERSON, "Friction, Lubrication and Wear Technology" ASM Handbook, 18:569-577, 1983.
- [60] CLAYTON, A., "Sintered metal friction mateerials" Powder metallurgy for engineerings, 10: 166-187(1970).
- [61] SANDS, R.L., "Sintered friction materials", Powder metallurgy practice and application, George Newnes Ltd, London, 9:198-203(1966).

- [62] KONCZOS, G., BÁRSONY, I., DEÁK, P., Introduction to materials science and technology. The Technical University of Budapest, 1998, Chapter 12.
- [63] AKBULUT, H., Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matriksli kompozit üretimi ve mikroyapı özellik ilişkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ,1995.
- [64] ALBAYRAK, B. ,“Bronz balataların üretimi ve performans testleri ” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Şubat, 2009

ÖZGEÇMİŞ

Sedat BEREK, 23.07.1979 tarihinde Diyarbakır'ın Silvan ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Silvan'da tamamladı. 1997 yılında Silvan Endüstri Meslek Lisesi, Metal İşleri Bölümünden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünü 2003 yılında bitirdi. 2003 yılında MKE Seymen Müdürlüğü'ne memur olarak atandı. Halen aynı kurumda çalışmaya devam etmektedir.