

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLMİŞ BRONZ ESASLI
FREN BALATA MALZEMELERİNİN SÜRTÜNME - AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

85768

Mustafa BOZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(METAL EĞİTİMİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

55466

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARALIK 1999
ANKARA**

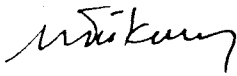
Mustafa BOZ tarafından hazırlanan TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLMİŞ
BRONZ ESASLI FREN BALATA MALZEMELERİNİN SÜRTÜNME-
AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek lisans
tezi olarak uygun olduğunu onaylarım



Doç. Dr. Adem KURT

Tez yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans
Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mehmet TÜRKER 

Üye : Doç. Dr. Adem Kurt



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ramazan ÇITAK



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına
uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. TOZ METALURJİSİ.....	4
2.1. Giriş ve Tarihsel Gelişim.....	4
2.2. Metalik Toz Üretim Yöntemleri	6
2.2.1. Kimyasal tepkimelerle toz üretimi	6
2.2.1.1. Gaz altında katının ayrışması (Doğrudan indirgeme)	6
2.2.1.2. Termal ayrışma (Karbonil)	6
2.2.1.3. Sıvı fazdan çöktürme	7
2.2.1.4. Gazdan çöktürme.....	7
2.2.2. Elektroliz yöntemi	8
2.2.3. Atomizasyon yöntemi.....	9
2.2.4. Mekanik öğütme.....	13
2.3. Toz Özellikleri	14
2.3.1. Kimyasal özellikler.....	15
2.3.2. Fiziksel özellikler	16
2.3.2.1. Parçacık boyutu.....	16
2.3.2.2. Parçacık şekli	17
2.4. Toz Metal Parça Üretim Süreci.....	18
2.4.1. Harmanlama.....	18

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLMİŞ BRONZ ESASLI
FREN BALATA MALZEMELERİNİN SÜRTÜNME - AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa BOZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ARALIK 1999**

ÖZET

Toz metalurjisi (T/M) yöntemi ile üretilen bronz esaslı balata malzemelerinin aşınma özellikleri araştırılarak, asbest esaslı balata malzemeleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bronz tozları 350, 500 ve 600 MPa presleme basınçlarında preslenerek 810 °C’de amonyak gazı atmosferinde 75 dakika süre ile sinterlenmiştir. Sinterlenmiş numunelerin aşınma karakteristikleri belirlenerek, asbest esaslı balata malzemesinin aşınma özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı sürtünme mesafesinde asbest esaslı balata malzemesine nazaran toz metal bronz balatalarda sıcaklık artışının düşük olduğu tespit edilmiştir. Metal esaslı balatalarda aşınma oranının, toz presleme basıncının artması ile azaldığı, fakat aşınma oranının asbest esaslı fren balatalarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bilim Kodu :6261801

Anahtar Kelimeler : Toz metalurjisi, Fren balatası, Aşınma

Sayfa Adedi : 86

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Adem KURT

**FRICITION-WEAR BEHAVIOUR OF BRONZE-BASED BRAKE
LININGS MANUFACTURED BY POWDER METALLURGY
TECNIQUE**

(M.Sc. THESIS)

Mustafa BOZ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECNOLOGY
DECEMBER 1999**

ABSTRACT

Wear characteristic of bronze-based brake linings manufactured by powder metallurgy tecnique have been investigated and compared to that of asbestos-based ones. Bronze powder was pressed under 350, 500 and 600 MPa pressure and sintered at 810 °C in the amonia atmosphere for 75 minutes. Wear characteristics of sintered specimens were determined and compared to that of asbestos brake lining. For the same friction distance, tempereture increase in the powder metal brake lining was lower than that of asbestos-based lining. It was determined that the wear ratio of powder metal brake lining was decreased with powder pressing pressure increasing but wear ratio was higher than that of asbestos brake lining.

Science Code : 6261801

Key Words : Powder Metallurgy, Brake Lining, Wear

Page Number : 86

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Adem KURT

TEŞEKKÜR

Endüstriyel amaçlı bu çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım G.Ü.T.E.F. Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Adem KURT'a, engin fikirlerinden faydalandığım G.Ü.T.E.F. Öğretim Üyesi Doç. Dr. Mehmet TÜRKER'e ve Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ'e, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Ramazan ÇITAK'a ve Yrd. Doç. Dr. Ramazan KAÇAR'a şükranlarımı sunarım.

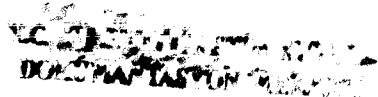
Ayrıca tez yazılımları sırasında yardımlarından dolayı Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Arş. Gör. Perihan ERDURANLI, Yunus TÜREN, Hayrettin AHLATÇI, Hüseyin KURT, İbrahim ÇİFTÇİ, Melik ÇETİN, Halil DEMİR ve ev arkadaşım Nizamettin KAHRAMAN'a, deney çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen SİNTEK A.Ş., GÜREL MAKİNE ve KALE BALATA'ya, bu çalışmalarım süresince yakın desteklerini gördüğüm Karabük Teknik Eğitim Fakültesinin Akademik ve İdari personeline, bu günlere gelmeme maddi ve manevi destek veren AİLEME ve HOCALARIMA, teşekkürlerimi sunarım.

Biricik Nişanlım'a Sevgilerimle !

Mustafa BOZ

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. T/M tarihçesinin teknikteki uygulamaları	5
Çizelge 2.2. Standart elek analizi takımı	17
Çizelge 2.3. T/M' nin otomotiv sektöründe uygulama alanları	25
Çizelge 3.1. Metallerin yapışmasını etkileyen faktörler	37
Çizelge 4.1. Tipik ıslak ve kuru balata bileşimleri.....	47
Çizelge 4.2 Bazı ülkelerde kullanılan kuru ve yağlı sürtünme için bronz esaslı malzemelerinin bileşimleri	50
Çizelge 4.3. Bronz esaslı sinter balata malzemelerin kullanım karakteristikleri ve özellikleri	51
Çizelge 4.4. Yeni sürtünme malzemesi ile bakır sürtünme malzemelerinin mekanik ve karakteristikleri	52
Çizelge 4.5. Kuru sürtünme için demir esaslı malzemeler	53
Çizelge 4.6. Demir asıllı balata malzemelerinin kullanım karakteristikleri ve özellikleri	54
Çizelge 4.7. Sinterlenmiş demirin mekanik özelliklerine fosfor'un etkisi	55
Çizelge 4.8. Disk ve kampana için kullanılan dökme demir analizi	56
Çizelge 5.1. Bronz esaslı toz metal fren balata numunelerinin bileşimleri ...	59
Çizelge 6.1. Bronz esaslı fren balata numunelerinin presleme basıncına bağlı olarak sinterleme öncesi ve sonrasındaki yoğunluk değişimi	65
Çizelge 6.2 Bronz esaslı toz metal fren balata numunelerinin ve asbest esaslı fren balata numunelerinin performans deneyi öncesi ve sonrası sertlik ölçümleri.....	66
Çizelge 6.3. Frenleme sayısına karşılık sürtünme katsayısının değişimi	68
Çizelge 6.4. Frenleme sayısı ile ortalama sıcaklığın değişimi	70
Çizelge 6.5. Dört farklı numune grubu için ölçülen aşınma miktarları.....	74



Çizelge 6.6. Dört farklı numune grubu için hesaplanan aşınma oranları ve aşınma dirençleri	76
Çizelge 6.7. T / M ile üretilen fren balata numunelerinin presleme basıncına göre % artış ve artış katları	76



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

sayfa

Şekil 2.1. Toz biriktirmede kullanılan örnek elektroliz şeması	8
Şekil 2.2 Geleneksel su ve gaz ile atomizasyon yöntemlerinin şematik gösterimi	10
Şekil 2.3. Dönen elektrot süreçleriyle savurma atomizasyonu	11
Şekil 2.4. Döner disk atomizasyon yönteminin şematik gösterimi	12
Şekil 2.5. Vakum atomizasyon yönteminin şematik gösterimi	13
Şekil 2.6. Mekanik alaşımlama işlemi sırasında : a) Top / toz etkileşiminin şematik görünümü, b) Kullanılan öğütme ortamlarından biri olan atritörün şematik görünümü	14
Şekil 2.7. Tek yönlü preslemenin uygulanan yoğunlaşma kademelerin şematik gösterimi	20
Şekil 2.8. Soğuk izostatik presleme (CIP) işlem akışı	21
Şekil 2.9. Sinterleme sırasında metalurjik bağların oluşumu ve gözeneklerin kapanması	23
Şekil 2.10. Genel olarak kullanılan T/M parçaları	26
Şekil 3.1. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları	31
Şekil 3.2. Islak balatada sürtünme katsayısının hız ve birim basınçla değişimi.....	32
Şekil 3.3. Kuru balatada basınç ve hızın sürtünme katsayısına etkisi.	33
Şekil 3.4. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi	34
Şekil 3.5. Adhesiv aşınma	36
Şekil 3.6. Abrasiv aşınma	38
Şekil 3.7. Tribo oksidasyon aşınması	39
Şekil 3.8. Yorulma aşınması	39
Şekil 3.9. Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınmanın belirlenmesi	40
Şekil 3.10. Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma	

deney yöntemleri	41
Şekil 3.11. Abrasiv aşınma deneylerinde kullanılan yöntemler	42
Şekil 4.1. Kuru balatada sıcaklığın dinamik sürtünme katsayısına etkisi.	46
Şekil 4.2. Sinterlenmiş bronz-grafit balata malzemesinin sürtünme ve aşınma karakteristiği	51
Şekil 5.1 Toz Presleme Kalıbı	60
Şekil 5.2. (a) Sinterleme fırını, (b) Sinterleme sıcaklığının zamana göre gösterimi.	61
Şekil 5.3. Standart fren balata aşınma deney düzeneği.....	63
Şekil 6.1. Presleme basıncına bağlı olarak yoğunluk değişimi	65
Şekil 6.2 Presleme basıncı ile performans deneyi öncesi ve sonrasındaki sertlik değişimi.	67
Şekil 6.3. Frenleme sayısı ile sürtünme katsayısının değişimi	69
Şekil 6.4. Frenleme sayısı ile sıcaklık değişimi.....	71
Şekil 6.5. 350 Mpa presleme basıncında üretilen balata numunesinin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi	72
Şekil 6.6. 500 Mpa presleme basıncında üretilen balata numunesinin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi	73
Şekil 6.7. 600 Mpa presleme basıncında üretilen balata numunesinin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi	73
Şekil 6.8. Asbest esaslı balata numunesinin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi	73
Şekil 6.9. Balata numunelerinin sıcaklık ile sürtünme katsayılarının değişiminin birlikte gösterimi	74
Şekil 6.10. Asbest ve T / M ile üretilmiş fren balata numunelerinin g. ve mm. cinsinden aşınma miktarları.....	75
Şekil 6.11. Balata numunelerinin aşınma oranı ve aşınma dirençleri	76
Şekil 6.12. T/M ile üretilen fren balata numunelerindeki presleme basıncındaki % artış ve artış katları.....	77

1.GİRİŞ

Günümüzde trafik kazalarının yol açtığı can kayıplarının pek çoğunun fren sistemlerinden kaynaklandığı yapılan incelemeler sonucu ortaya konmuştur. Bu sebeple fren sisteminin önemli bir elemanı olan balatalara gerekli önemin verilmesi gerekir.

Frenlerin fonksiyonu; hareket enerjisini absorbe ederek, ısıya çevirmek ve bu ısıyı da atmosfere yaymaktır. Eğer frenlere çıkabileceğinden daha fazla bir ısı verilirse fren balatalarındaki sürtünme katsayısının düştüğü görülecektir ve bu da frenlerin durdurma kabiliyetlerinin azalmasına neden olacaktır. Fren balatalarının etkisindeki bu azalmaya "balata aşınması" deyimini kullanılır. Balatalar bu aşınma noktası sıcaklığının altına soğudukça normal görevlerini yaparlar. Fren balataları sürekli olarak veya uzun süreli aşırı sıcaklıklara maruz kaldıklarında, balataların daimi olarak zarar görmesine neden olacaktır. Bu zarar kendini frenlerin performansındaki azalma, hatalı çalışma, hızlı balata aşınması ve ses olarak gösterir [1].

Frenlerdeki gürültü problemi genellikle güvenlik ve performanstan ziyade konforla ilişkilidir. Süspansiyon, kabin akustikleri ve hareket iletimi gibi arabaların diğer parçalarındaki iyileştirme dikkati frenlerde oluşan gürültüye çevirdi. Bununla birlikte gürültü seviyesi ile ilgili yasalar sürekli gürültü kaynaklarını kısıtlamaktadır. Fakat bu yasalar kesikli fren gürültüsünü kapsamamaktadır. Sessiz fren için ideal çözüm daha iyi bir çevre oluşturma ve özellikle durmanın sık sık gerçekleştiği yerlerde gürültü seviyesini azaltmağa yardımcı olacaktır [2].

Fren balatalarındaki aşınma noktasının bertaraf edilmesi için araştırmacılar iki yol izlemişlerdir. Birincisi; Fren balatalarının daha yeterli soğutulması, İkincisi ise; Fren balata malzemesini ısıya duyarlı olmayan bir sürtünme

malzemesinden imal etmek. Delko-Moraine araştırmacıları çözüme ulaşabilmek için ikinci yaklaşımı seçmişlerdir. Bu yaklaşım ; hiç sıcaklıktan etkilenmeden etkinliğini koruyacak bir balata malzemesi geliştirmek şeklindedir.

İlk zamanlarda fren ve kavrama elemanlarında kullanılan sürtünme elemanları genellikle odun ve deri gibi organik malzemelerden yapılmaktaydı. Çalışma şartları ağırlaştıkça, bu organik malzemeler yetersiz kaldı ve bunların yerini reçine bağlantılı asbest esaslı sürtünme malzemeleri aldı. Uzun yıllar boyunca bu malzemeler kullanıldı [3].

Fakat fren balatalarında aranan en önemli özellik, zor çevre ve şartlar altında bile güvenli kullanım ve rahatlık için; yüksek mukavemet, sabit sürtünme katsayısı, düşük aşınma oranı, düşük gürültü ve anti-titreşim karakteristikleri gibi çok sayıdaki özellikleri gerektirmektedir [4,5,6].

Asbest esaslı sürtünme malzemelerinin yüksek sıcaklıklara dayanmadığı ve kısmen yapılarının bozulduğu için istenen bu özellikleri yerine getirememektedirler. Ayrıca günümüzde asbest esaslı fren balatalarının, pek çok ülkede üretilmemesinin sebebi, asbest mineralinin kanserojen yapısı nedeni ile insanların sağığı üzerinde olumsuz etkisinden dolayıdır. Özellikle Afrika'da elde edilen mavi asbest türünün kanserojen etkisi nedeniyle, Amerika ve Kanada'da kullanımı yasaklanmıştır. Avrupa'da ise asbestli balata üretimine, önce 1991 yılı sonuna kadar izin verilmiş, ancak hala tam olarak asbestsiz balata kullanımına geçilememiştir.

Asbestin hastalık ve ölümlere neden olduğu ilk kez bir İngiliz doktoru MONTAGUE MURRAY tarafından 1900'lü yılların başında bir asbest işçisinin üzerinde yaptığı otopsi sonucu ortaya konmuştur [7]. Solunum yoluyla akciğerlere giren 0.1-1 mikron çapında, 5 mikron uzunluğundaki asbest liflerinin fiziksel etkiyle temas yerinde yaralama ve parçalama gibi

etkiler yaptığı, bunun sonucunda ise bronşlarda kasılmaların meydana geldiği, ayrıca akciğer zarında kireçlenmeler ile sertleşmelere neden olduğu ve akciğer kanserine yol açtığı görülmüştür [8]. Bir araştırma sonucu Almanya'da otolardan fren yoluyla çevreye 13000 kg asbestin atıldığı tespit edilmiştir [7].

Asbest esaslı sürtünme malzemelerinin bu zararlı etkileri ve yüksek sıcaklıklara çok duyarlı olmaları; bilim adamlarını yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı ve insan sağlığını tehdit etmeyen, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş sürtünme malzemelerine yöneltmiştir.

Toz metalurjisi üretim tekniğinin temel avantajlarından birisi, birbiriyle karışmayan malzemeleri toz halinde birleştirebilmektir. Bu avantaj, debriyaj ve fren balataları üretimini mümkün kılmıştır [9].

Metalik balataların, asbest esaslı balata türlerine göre 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. Dinamometre testlerinde, metalik sürtünme malzemeleri 230 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda asbest esaslı sürtünme malzemelerinden daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu göstermiştir. Bu sıcaklığın altında ise, metallerin sürtünmesi eşdeğerdir, ya da organiklerinkinden daha yüksektir [10,11].

2. TOZ METALURJİSİ

2.1. Giriş ve Tarihsel Gelişim

T/M (Toz Metalurjisi) ; Metal tozlarının karıştırılarak istenilen şekle sıkıştırılması ve sonrada kontrollü atmosferde sinterlenmesi ile parça üretme yöntemidir [12]. Bazı parçalar bu işlemi takiben kalibrasyon (yeniden presleme), yağ veya plastik emdirme, daha düşük ergime noktalı bir metal veya alaşım sızdırma, ısıtma işlemi veya kaplama işlemlerine tabi tutulabilir. Diğer bir ifadeyle T/M, elementel tozların, tam ve/veya yarı ön alaşımlanmış tozların bağlayıcılar ve yağlayıcılarla birlikte harmanlanarak uygun sıkıştırma yöntemleri ve sıcaklıklar kullanılarak arzu edilen şekilde üretilmeleri süreçlerini içeren oldukça kapsamlı ve çok disiplinli bir malzeme üretim yöntemidir [13].

T/M' nin en eski tarihi bilinmemekle birlikte M.Ö. 3000 li yıllara kadar uzandığı tahmin edilmektedir. Eski mısırlılar bu tarihlerde, demir oksidi indirgeyerek sünger demir oluşturmuşlar ve sonra sünger demirden istedikleri şekilde kütleler elde etmişlerdir [14,15].

19. yüzyıl sonlarında, endüstride platin ve iridium gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen metallerin kullanılması denenmiştir. Kimyasal bir yöntemle platin toz haline getirilmekte, bu toz çok yüksek basınçta sıkıştırılmakta ve sonra ısıtılmaktaydı. Böylece tozlar masif bir kütle haline gelmekteydi. 1826 yıllarında Rusya'da çıkarılan platin para, T/M'nin ilk endüstriyel tatbikatı olmuştur [16,17]. T/M tarihçesinin teknikteki uygulaması çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. T/M tarihçesinin teknikteki uygulamaları [13,16]

Malzeme	Keşif tarihi
Demirci kaynağı ile birleştirilmiş demir ve çelik tozlarından mamül silah ve ziynet eşyası veya kıymetli madenler.	Orta çağ
Sinterlenmiş platin	1800-1810
Madensel amalgamlı kurşun	1850-1855
Metallografitik karbon	1900-1903
Refrakter malzeme, molibden ve volfram	1903-1905
Toz alaşımlarından mürekkep ikili sistemlerin denge diyagramlarının etüdü	1905-1910
Gözenekli parçalar	1910-1912
Sinterlenmiş karbürler (Wc,Mo ₂ C)	1914-1917
Wolfram-Platin, Wolfram-Bakır, Wolfram-Gümüş, alaşımları	1917-1921
Sinterlenmiş Wolfram karbürler (demir asıllı bağlayıcılar)	1921-1922
Bronz alaşımlı yataklar	1925-1930
Sinterlenmiş mıknatıslar	1934-1941
Gözenekli demirden mamül yataklar	1935-1940
Sinterlenmiş demir ve çelik esaslı makina parçaları	1940-1950
Soğuk-sıcak izostatik presleme, toz dövme, toz ekstrüzyon	1950-1960
T/M yöntemleri ile tam olarak homojen, yoğun, ince taneli, segregasyonsuz, ve yüksek mukavemetli malzemelerin üretimi	1970-1980
Birçok yeni ve önemli toz prosesi teknolojileri geliştirilmeye başlanmış (hızlı karıştırma, mekanik alaşımlandırma ve toz enjeksiyon)	1980-1990

Günümüzde ise T/M, yüksek gözenekli metal filtrelerden kendinden yağlamalı yataklara, kontrollü gözeneklilik ile sinterlenmiş parçalara ve son olarak tam yoğunluktaki mamüllere kadar geniş ürün yelpazesini içermektedir [13].

2.2. Metalik Toz Üretim Yöntemleri

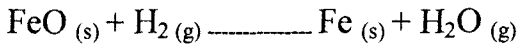
Metal tozların üretiminde temel olarak dört çeşit yöntem vardır. Kimyasal tepkimelerle toz üretimi, Elektroliz yöntemi, Atomizasyon yöntemi, Mekanik öğütme veya Mekanik alaşımlama [18].

2.2.1. Kimyasal tepkimelerle toz üretimi

Genelde tüm metal tozları kimyasal tekniklerle üretilebilir [13,18]. Kimyasal yöntemle üretimde, katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleri ile toz üretimi gerçekleştirilebilir. Bu yöntemle üretilen tozların ebatları 5-10 µm ila 100-500 µm arasında ve değişik şekilli olabilmektedir. Bu üretim yöntemi; gaz altında katının ayrışması, temel ayrışma, sıvıdan çökeltme ve gazdan çöktürme olmak üzere dörde ayırmak mümkündür [13,19,20].

2.2.1.1. Gaz altında katının ayrışması (Doğrudan indirgeme)

Bu yöntemde, saf metal oksit tozları gerek karbonmonoksit gerekse de hidrojen gazı ile tepkimeye sokularak yüksek sıcaklıklarda metal oksit indirgenmesi gerçekleşir [21]. Bu yöntemle, demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobaltın oksitleri indirgenerek bunların tozları üretilir. Gaz altında metal oksit indirgenmesine en iyi örnek demir oksit'in (FeO) indirgenmesi için geçerli olan tepkimedir[13].



2.2.1.2. Termal ayrışma (Karbonil)

Buhar fazında ayrışma ve yoğunlaşma süreçlerinin birleşimi ile metal tozlarını üretmek mümkündür. Bu süreçlerin birleşimdeki en temel örnekleri demir karbonil Fe (CO)₅ veya nikel karbonil Ni (CO)₄ tepkimelerini içeren üretim yöntemidir. Üretilen bu tozlar 2-4 µm veya 2-10µm arasında ve yaklaşık

%99.6 saflığındadır [19,20,21]. Diğer metallerden, bakır, krom, platin, radyum, altın, ve kobalt karbonil üretimi için gereken yüksek enerji ihtiyacı ile karbondioksit sirkülasyonunun beraberinde getireceği potansiyel tehlikelerden ötürü dünyada nikel ve demir karbonil üretimi tam olarak benimsenmiştir [13].

2.2.1.3. Sıvı fazdan çöktürme

Sıvı çözeltide, nitrat, klorür ve sülfatlar olarak bulunan tuzlar çökeltilir. Çökeltilen bu tuzlar ısıtılarak parçalanır. Tuz suda eritilir ve ikinci birleşik yardımı ile çökeltilir. Örnek olarak aşağıda gümüş nitratın potasyum karbonhidrat ile tepkimesini ele alalım [13].



Son ürün olan katı gümüş çözeltisi öğütülerek toz ürün haline gelir. Kimyasal yöntemlerle çökelti fazında elde edilen tozların tipik boyutları 1 µm dolayında olup yüksek derecede safiyete sahiptirler. Bu yöntemle, kobalt, nikel veya demir ile kaplanmış torya (ThO₂), titanya (TiO₂) ve volfram karbür (WC) ve süper alaşım malzemeleri üretilir [21].

2.2.1.4. Gazdan çöktürme

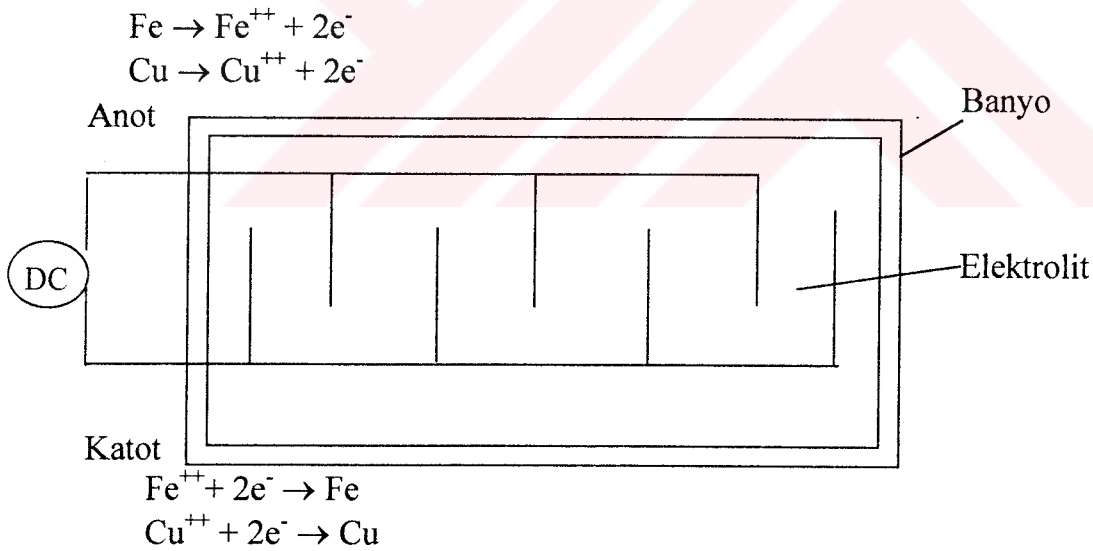
Gaz bileşiklerin oluşturduğu kimyasal tepkimeler sonucu reaktif metallerden ve nano ölçekli partiküllerden tozlar üretilir. Gaz esaslı tepkimelerin en büyük avantajı, tepkime sırasında toz üretiminde ergitmenin ortadan kalkması sonucu potanın kirlenmemesi ve yeniden kullanılabilir olmasıdır. Bu tür üretim sürecine en iyi örnek molibden trioksit'in saf hidrojen ile tepkimeye girerek metalik molibden tozunun üretimidir. Bu yöntemle, vanadyum, niobyum, volfram, hafniyum, gümüş, nikel ve zirkonyum metallerinin klorürleri, florürleri ve hatta oksitleri işleme sokularak çok küçük tane boyutlarında

metalik tozlar üretilir [13,22].

2.2.2. Elektroliz yöntemi

Yüksek iletkenliğe sahip metal tozlarını üretmenin bir başka yöntemi de elektroliz bir hücrenin katot çubuğunda metal tozlarını çöktürmektir. Bu yöntemi kullanarak % 94'e varan saflıkta Cu, Fe, Zn, Mn ve Ag tozlarını üretmek mümkündür [19].

Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilen bir elektroliz hücresinde uygulanan direkt voltaj altında Fe ve Cu anot-katot tepkimeleri gerçekleşir ve sülfat esaslı bir elektrolit içerisinde anot malzemesi çözülerek eksilir ve katotta artma veya depolanma gerçekleşir [12,13].



Şekil 2.1. Toz biriktirmede kullanılan örnek elektroliz şeması [13]

Üretilecek tozun ham maddesi anot'ta çözünerek katot'ta birikir. Hücreye verilen DC voltajı ise elektroliz biriktirmenin doğru yönde ilerlemesini sağlar [13].

Elektrolizle üretilen tozlar, yıkanarak elektrolitten ve tuzlardan iyice temizlenmesi gerekir (Kurutma inert gaz altında yapılarak oksitlenme önlenmelidir). Kurutulduktan sonra ince taneli toz haline gelinceye kadar öğütülür. Elektroliz hücresinde üretilen tozlar genellikle süngerimsi biçimlerde ve dendritik yapılara sahiptirler. Ancak maliyetinin yüksekliği nedeni ile üretimi sınırlıdır [18].

2.2.3. Atomizasyon yöntemi

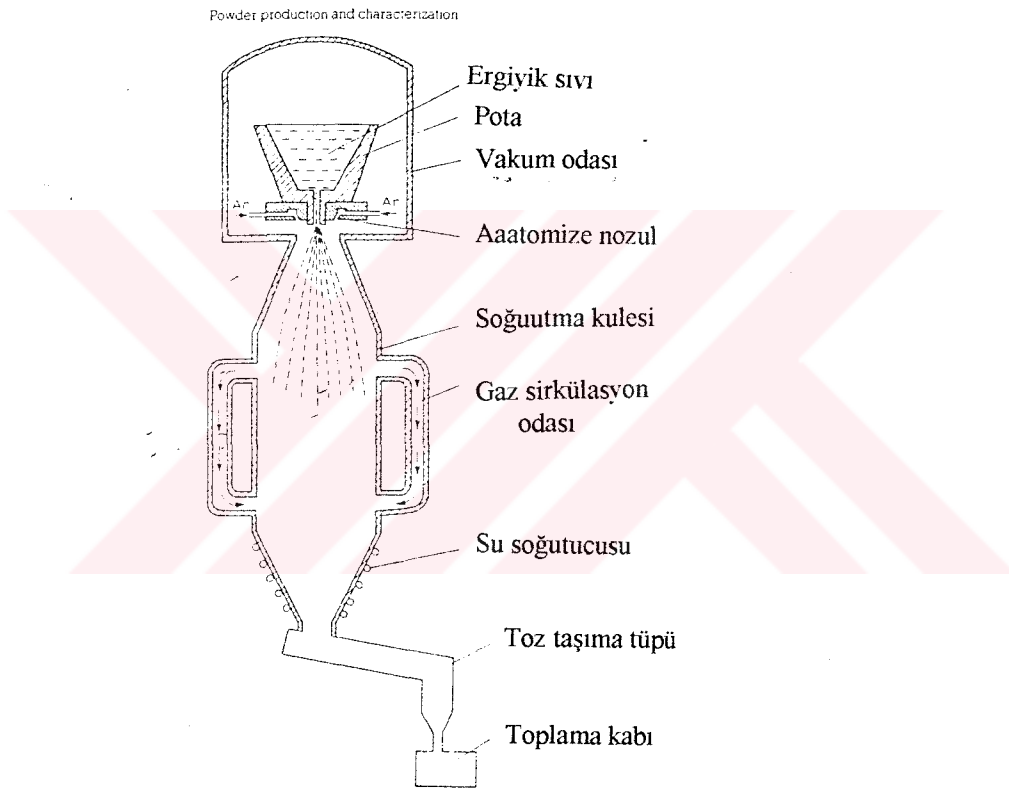
Bu yöntem, eritilebilen tüm metallere toz üretmede kullanılabilen bir yöntemdir. Genel anlamda atomizasyon, bir sıvı metalin 100-150 μm ' den daha az boyutlarda sıvı damlacıkları oluşturacak şekilde parçalanması ve bu parçacıkların, ani ve aşırı soğuması ile toz haline gelmesi olarak tanımlanır [13].

Dünyada üretilen tozların % 80'den fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir. Diğer üretim tekniklerine göre, şekli, tane büyüklüğü ve dağılımının kontrolü çok kolaydır. Özellikle alaşım tozların üretimi için çok uygundur. Çünkü en iyi homojenliği bu yöntem sağlar. Atomizasyon yöntemi ile toz üretmede 1) Su atomizasyonu, 2) Gaz atomizasyonu, 3) Döner disk atomizasyonu, 4) Dönen elektrod atomizasyonu gibi değişik teknikler kullanılır [19,23].

Şekil 2.2' de görüldüğü gibi, geleneksel atomizasyon süreçlerinde atomize edilecek olan metal ergitme potasından (tandişten) sıvı, hüzmeler halinde akarken tank içerisinde bu hüzmeye belirli bir açı ve hızla çarpan gaz veya su jetlerinin etkisiyle atomizasyon gerçekleşir. Ergitme işlemi ayrı bir potada olabileceği gibi, tandiş etrafına sarılan indüksiyon bobinler ile de gerçekleştirilebilir [20].

Su ile atomizasyon, sağladığı yüksek soğuma hızları sayesinde kitlesel

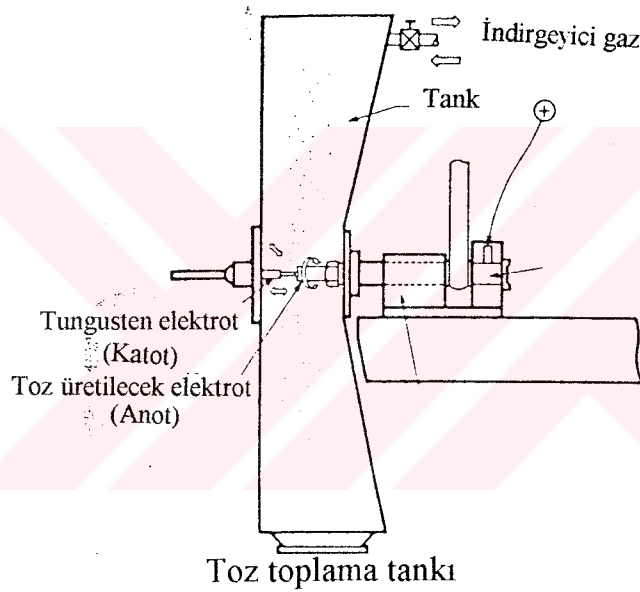
endüstriyel üretime uygun olmasına karşın üretilen tozlar düzensiz fleykler şeklindedir ve önemli miktarlarda oksit içerirler. Su ile atomizasyon 1600°C 'nin altında eriyen metallere elementel veya alaşım tozları üretmek için yaygın olarak kullanılır. Gaz ile atomizasyon süreçlerinde ise, hava, azot, helyum veya argon gazları kullanılır. Bu yöntemin su ile atomizasyon yöntemine olan en önemli üstünlüğü, tozların küresel biçimlerde üretilibilmeleridir [13,20].



Şekil 2.2 Geleneksel su ve gaz ile atomizasyon yöntemlerinin şematik gösterimi [13,20,41].

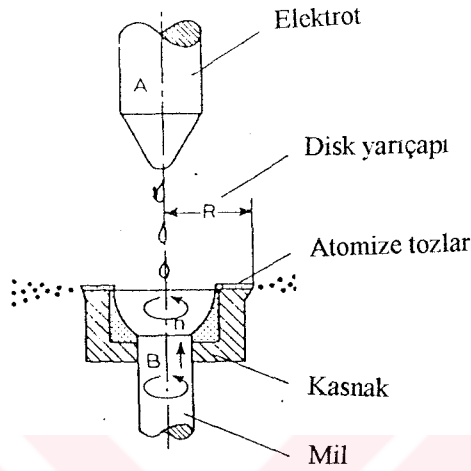
Bazı reaktif elementler (titanyum, zirkonyum gibi) metaller ile nikel esaslı süper alaşımların geleneksel atomizasyon süreçleriyle üretilmeleri mümkün değildir. Bu tür reaktif metallerin toz haline getirilmesinde Şekil 2.3'te sunulan dönen elektrot prosesi (rotating electrode process REP) adı verilen bir savurma atomizasyon yöntemi geliştirilmiştir [13].

Dönen elektrot atomizasyonunda, atomize edilecek olan metal çubuğu yatay eksen etrafında dönerken, kullanılan volfram katot malzemesi bu çubuk üzerinde ark oluşturur. Bu ark sonucu kısmi ergitme gerçekleşir ve metal çubuktan savrulan damlacıklar atomize olur. Volfram katot çubuğu veya plazma üreten uç kullanılarak gerçekleşen ark sayesinde metalik çubuktan küçük parçalar ergitilerek savrulur [13].



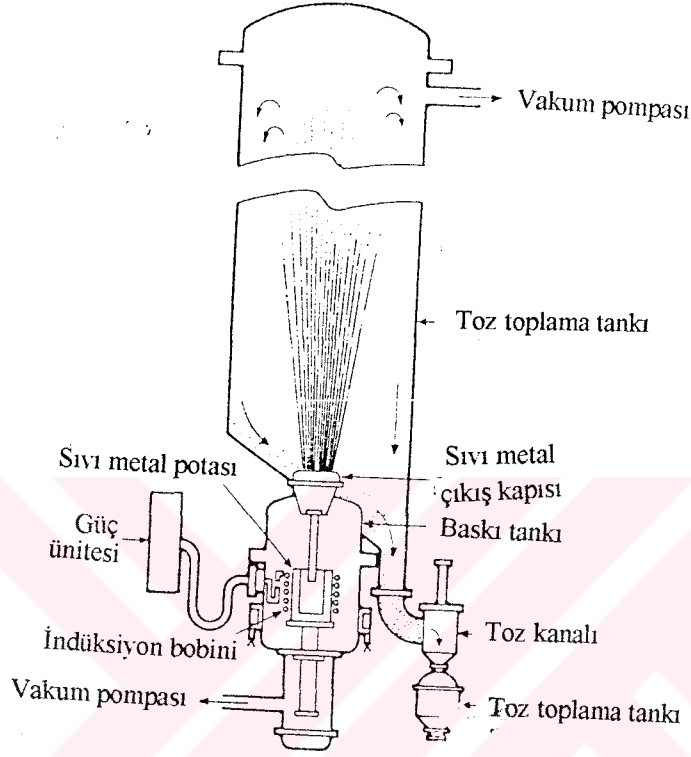
Şekil 2.3. Dönen elektrot süreçleriyle savurma atomizasyonu [41].

Şekil 2.4'te görülen dönen disk yönteminde ise, ergimiş metal bir potadan dönen bir disk üzerine dökülür. Ergimiş damlacıklar merkezkaç kuvvetinin etkisi ile dağılarak, asal bir gazla doldurulan bir odacıkta toplanır. Tane büyüklüğü 30-500 mikron arasında değişir ve taneler oldukça küreseldir [22].



Şekil 2.4. Döner disk atomizasyon yönteminin şematik gösterimi [41].

Bir başka atomizasyon yöntemi de vakum şartlarında gerçekleşen atomizasyon süreçleriyle gerçekleştirilir. Bu yöntem ile oksidasyona karşı duyarlı nikel, kobalt, demir ve alüminyum alaşımları için geliştirilmiş olup vakum ve hidrojen gazı altında atomizasyon gerçekleştirilir. Şekil 2.5’de gösterilen vakum atomizasyonu cihazında metal indüksiyon ocağında ergitilir ve üretilen vakum sonucu ergiyik içerisine daldırılan bir seramik tüp vasıtasıyla atomizasyon kazanına iletilir. Bu iletim sonucu ani olarak genişleyen sıvı metal önce damlacıklara ayrılır, daha sonra bu damlacıklar ani ve aşırı soğuyarak toz haline geçerler [13, 41].



Şekil 2.5. Vakum atomizasyon yönteminin şematik gösterimi [41]

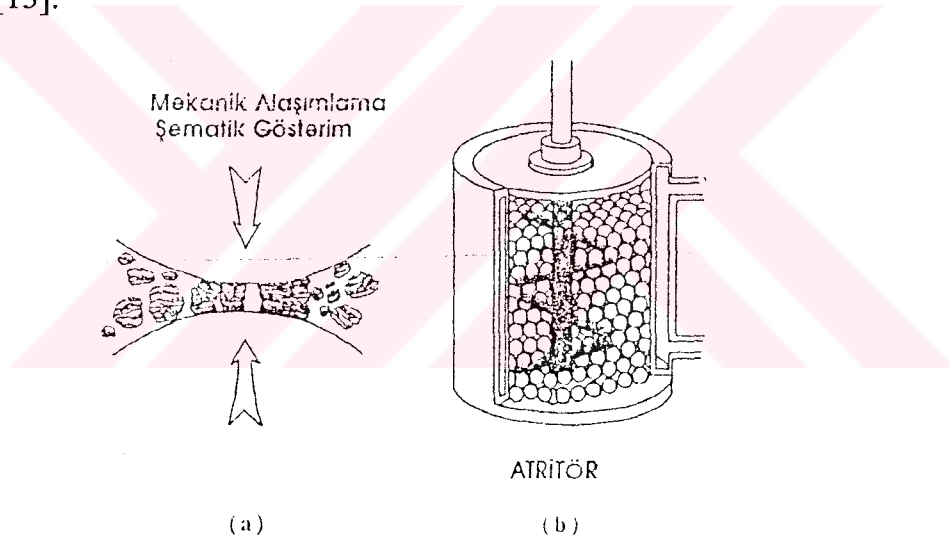
2.2.4. Mekanik öğütme

Mekanik yöntemle ekonomik olarak toz imali için, kimyasal bağları zayıf olan ve kayma sistemi az olan karışık kristalli yapılarda malzemeler ile, çok sert ve gevrek olan metal alaşımları ve seramikler kullanılır. Sünek malzemeler pul şeklinde tozların elde edilmesine neden olacağından, genellikle kolay parçalanan kırılğan, sert ve gevrek malzemeler bu metot için uygundur [24].

Bu şekilde üretilen başlıca metal tozları Al, Cu, ve prnçtir. Bunlardan başka, Sn, Pb, Mn, Co, Si, Zn, Fe, Fe-esaslı ve Cu- esaslı tozlarda üretilir. Mekanik öğütme sırasında üretilen tozun yapısına ve özelliklerine etki eden en önemli parametreler, öğütmede kullanılan toplam : toz ağırlık oranı, öğütme süresi ve

öğütmede kullanılan sıvı ya da öğütme atmosferidir. Öğütme işlemi sırasında, toz parçacığının üzerine darbe, aşındırma, kesme ve basma olmak üzere dört tür kuvvet etki eder. Darbe, öğütme ortamında kullanılan bilyaların ya da diğer tozların herhangi bir toz parçacığı üzerine anlık çarpmasıdır. Aşınma bilya/toz etkileşimi ile olabileceği gibi, toz / toz etkileşimleri sonucu da oluşabilir [25].

Klasik öğütme süreçleri ile mümkün olmayan katı alaşımlama işlemi, yüksek enerjili öğütme ortamı sağlayan atritör, gezegen bilya değirmeni, bazı titreşimli değirmenler ile laboratuvar ölçekli spex değirmenlerinde mekanik alaşımlama (MA) ile gerçekleştirilir. Şekil 2.6' da MA işlemi sırasında bilya/toz etkileşimi ile MA işleminin gerçekleştirildiği atritör cihazının şematik gösterimi sunulmuştur [13].



Şekil 2.6. Mekanik alaşımlama işlemi sırasında : a) bilya/toz etkileşiminin şematik görünümü, b) Kullanılan öğütme ortamlarından biri olan atritörün şematik görünümü [13].

2.3. Toz Özellikleri

Toz metalurjisi çok geniş bir alanda hizmet verdiği için, kullanılacağı yere göre tozların özelliklerinin dikkatli şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Metal tozlarını, geniş bir aralıkta mühendislik ihtiyaçlarını karşılamak üzere,

toz metalurjisi prosesi için oldukça fazla sayıda, tip ve derecede bulmak mümkündür. T/M parçalarının mekanik veya kimyasal özellikleri, üretim teknikleri ile ortaya çıktığı için tozların özelliklerinin belirlenmesinde, tozun boyutu, şekli ve yüzey alanı incelenmektedir [26].

Metal tozların özellikleri iki ana başlık altında incelenebilir.

- a) Tozların kimyasal özellikleri
- b) Tozların fiziksel özellikleri

2.3.1. Kimyasal özellikler

Kimyasal özellikler deyince bileşim ve saflık anlaşılır. Tozlarda bulunabilen katı yabancı maddeler genelde kimyasal indirgeme sonucu ortaya çıkmaktadır. Mesela; tozlar kimyasal indirgeme ile üretilmişse bazı oksit parçacıkları indirgemedi kalmış olabilir (Cu ve Fe oksit tozlarında olduğu gibi). Bu tanecikler tozun özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Bazen de bu yabancı maddeler kendini yüzey filmleri olarak gösterir. Atmosferle temas sonucu belli bir süre sonra tozlar oksitlenir. Tozların preslenmesi sırasında Cr, Zr, Al, Mg, Pb, ve Sn gibi metallerin dengeli oksitlerinin kalıp ve zımba yüzeylerinde olumsuz etkileri gözlenmiştir [12].

Metal tozların kimyasal özelliklerini tespit edebilmek için, standart kimyasal analiz yöntemleri kullanılabilir. Mesela, tozlardaki oksijen tayini için 5 gr. kurutulmuş toz numunenin 30 - 60 dakika süre ile hidrojen gazı altında 550 °C ila 1150 °C sıcaklıkta indirgenerek tartılması ile yapılır.

$$\% O_2 = \frac{W_i - W_s}{W_i} \times 100$$

W_i = İlk ağırlık

W_s = Son ağırlık

Bu değer SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , BeO , Mn_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , MgO vs. gibi dengeli

oksitleri içermez. Çünkü deney şartları altında bu gibi oksitler indirgenmez. Asitte çözünmeyen maddelerin tayini için ise, numune asit içinde kaynatılır ve filtre edilerek fırında 980 °C 'de yakılarak sonuç çıkarılır [12] .

$$\% \text{ Asitte çözünmeyen madde} = \frac{W_s}{W_i} \times 100$$

W_i = İlk ağırlık

W_s = Son ağırlık

2.3.2. Fiziksel özellikler

Tozların fiziksel özelliklerini, parçacık boyutu, şekli, özgül yüzey, görünür yoğunluk ve akış hızı belirlemektedir.

2.3.2.1. Parçacık boyutu

Herhangi bir teorik limit bulunmamasına rağmen, maksimum pratik boyut, toz karakteristikleri, parça yoğunluğu ve mümkün pres kapasitesi tarafından belirlenmektedir. Geleneksel preslenmiş T/M parçalarının büyüklüğü, tasarlanan alan 0.000 - 25 inç² ve yükseklik (presleme yönünde) 1/32 ila 6 inç arasındadır. Pratik yükseklik limiti 3 inç 'e yakındır. Verilen bir metal toz için gerekli yoğunluk ne kadar düşükse, bir özel pres üzerinde üretilebilir parça boyutu da o kadar büyüktür. Presleme yönünde nispeten uzun parçaları, toplam uzunluğu boyunca yeterli yoğunlukta üretmek zordur. Parça uzunluğunu kısıtlayan diğer bir faktörde metal tozlarının görünür yoğunluğudur [26].

Tozların tane büyüklükleri genellikle elek analizi ölçüm tekniği ile yapılmaktadır. Elek büyüklüğü, delik büyüklüğü ile ölçülür. Elek büyüklüğü meş (mesh) ile belirtilir. Çizelge 2.2'de elek analizi takımı gösterilmiştir [19].

Çizelge 2.2. Standart elek analizi takımı

Meş	Delik büyüklüğü (µm)
30	600
40	425
50	300
60	250
80	180
100	150
140	106
200	75
230	63
325	46

2.3.2.2. Parçacık şekli

T/M prosesi için en uygun olan parçalar, presleme yönünde üniform boyutlara sahip olanlardır (silindirik, kare ve dikdörtgen). Mesela; Radyal projeksiyonlu ve çevreli komlar ve dişliler. Bunların baskıları nisbeten basittir. Mükemmel küreler T/M metodu ile üretilemez. Çünkü, tozlar hidrolik olarak akamazlar. Parçacık boyu ve şekli çok yakından ilgili iki faktördür. Parçacıklar tek boyutlu (iğne, düzgün olmayan çubuk), iki boyutlu (dendiritik, pul), üç boyutlu (küresel, yumlu, düzgün olmayan, köşeli, gözenekli) olarak sınıflandırılırlar. Atomize Al ve Sn gibi demir dışı tozlar ve paslanmaz çelik gibi demirli alaşımlar, parçacık boyu azaldıkça daha küresel parçacıklar meydana getirme eğilimindedirler. Gaz veya hava atomizasyonu daha yuvarlak, su atomizasyonu düzgün olmayan şekiller oluştururlar. Parçacık şekli analizi, optik ve elektron mikroskopları ile yapılır [26]. Parçacık şekli tozların şu özelliklerini etkilemektedir;

a) Akış hızı : Küresel tozlar kolay akarken, pul şeklindeki tozlar kötü akış özelliği gösterirler ve düzgün olmayan şekilli tozlar ise hiç akamazlar. Akış hızı, 50 gr. kuru tozun hall akış hunisinden kendi halinde akış zamanıdır. Tozun akma özelliği şev açısından faydalanılarak da bulunabilmektedir. Şev açısı ; tozun yatay bir yüzey üzerine bir huniden serbestçe dökülmesi

halinde oluşturduğu yığının taban açısıdır.

b) Görünür yoğunluk : Belli bir hacimdeki sıkıştırılmamış toz kütlenin ağırlığıdır. Görünür yoğunluk g/cm^3 olarak ifade edilir. Küresel tozlar en yüksek, köşeli tozlar yüksek ve gözenekli tozlar ise düşük görünür yoğunluktadır.

c) Sıkıştırılabilirlik : Metal toz kütlelerinin, kolay sıkışabilme ve teorik yoğunluğa yaklaşabilme derecesine sıkıştırılabilirlik denir. Düzgün olmayan şekilli tozlar zor sıkıştırılır. Bunun için yağlayıcılar kullanılarak sıkıştırma işlemi kolaylaşmış olur. Buna karşın düzgün şekilli tozlar daha rahat sıkıştırılabilirler. Sıkıştırılabilirlik yoğunlaşma parametresi ile belirlenebilir.

$$\text{Yoğunlaşma parametresi} = \frac{\text{ham yoğunluk} - \text{görünür yoğunluk}}{\text{teorik yoğunluk} - \text{görünür yoğunluk}}$$

d) Sinterlenebilirlik : Küçük taneli ve düzgün olmayan şekilli toz taneciklerin birim yüzey alanları daha büyük olduğu için difüzyon, düzgün tanelere oranla daha hızlı olacaktır.

2.4. Toz Metal Parça Üretim Süreci

2.4.1. Harmanlama

İstenilen boyut, şekil ve bileşimdeki ham tozların yağlayıcı elemanlarla ve alaşım elemanlarıyla karıştırılması işlemidir. Bu işlem özel karıştırıcılarla homojen bir harman elde edilinceye kadar sürdürülür [12].

2.4.2. Şekillendirme ve pekiştirme

T/M ' nin şekillendirme ve pekiştirme aşamalarında bölüm 2.2. deki metalik toz üretim yöntemleri ile üretilen tozlar kullanılarak katı halde (dağılmayan ve

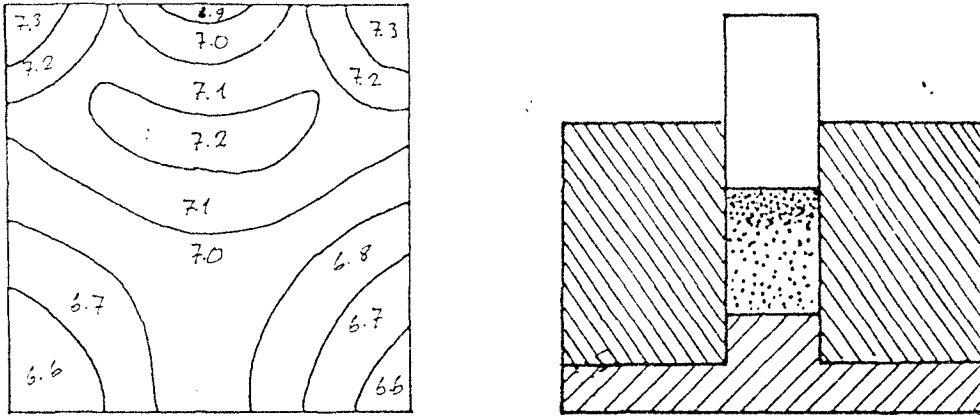
ele gelebilen) metal yapıları üretilir.

Toz karışımı dayanıklı bir kap içinde istenilen şekil ve boyutta sıkıştırılır. Böylece tozun gevşek haldeyken yeterli mukavemet ve yoğunluk kazanması sağlanır. Sıkıştırma oranı, gevşek toz hacminin sıkıştırılmış toz hacmine oranıdır. Bu oran kullanılan ham maddelerin özelliklerine bağlı olarak değişecektir ve genellikle 3/1 mertebesinde dir. Şekillendirme ve pekiştirme aşamasında presleme ve/veya kalıplama yöntemleri ile şekillendirildikten sonra belirli ham yoğunluğa ulaşmış parçalar yüksek sıcaklıklarda çeşitli atmosfer koşullarında ısıtılarak bünyede meydana gelen katı - hal yayınma olaylarının etkisiyle sinterlenir [12].

2.4.2.1. Presleme

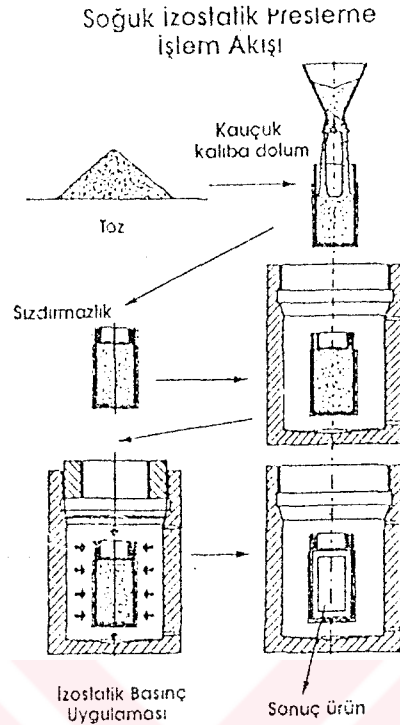
Presleme genellikle oda sıcaklığında özel şekilde hazırlanmış çelik kalıplarda yapılır. Tozun plastik özelliklerine göre 1-10 ton / cm² arasında değişen basınç tatbik edilir. Sinterlenmiş cisimlerin fiziksel özellikleri üzerinde yapılan araştırmalarda ise bazen 30 ton / cm² ye kadar ulaşan basınçlar da kullanılmıştır [16].

Geleneksel toz sıkıştırma işleminde şekil 2.7' de görüldüğü gibi, tek eksen boyunca uygulanan basınç sonucu kalıbı dolduran tozlar preslenerek şekillenir. Toz doldurulduktan sonra, üst baskı plakası (dalgiç piston) ile basma gerçekleşir ve sıkıştırılmış parça alt pistonun hareketi ile çıkarılır. Basma sırasında kalıbın aşınması problemi tozlara ve kalıp duvarlarına yağlayıcılar eklenerek giderilir [13].



Şekil 2.7. Tek yönlü preslemede yoğunluk dağılımının şematik gösterimi [13,19].

Tek yönlü preslemede uygulanan basınç arttıkça toz kütleinin yoğunluğu artar. Yani bünyedeki gözeneklilik düşer. Tek yönlü presleme ekonomik bir yöntem olmasına karşın, bazı dezavantajları ve sınırlılıkları vardır. Karmaşık şekillerdeki parçalar ile boy/en oranı yüksek olan ($L/D > 2.5$) metalik parçalarda istenen ham yoğunluklar gerçekleşemez. Bu yüzden karmaşık ve boy/en oranı fazla olan şekillerdeki parçaları basmak amacıyla soğuk izostatik (CIP) tozların preslenmesi işlemleri geliştirilmiştir. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi oda sıcaklığında gerçekleştirilen CIP işleminde, tozlar kauçuk bir kalıba doldurularak yağla dolu basma hücresinin içerisine yerleştirilir. Basma pistonu veya dalgıcı sayesinde yağ, kalıba her yönden eşit baskı yapar ve bu sayede basılmış numunelerin her tarafı aynı yoğunlukta olur [13].



Şekil 2.8. Soğuk izostatik presleme (CIP) işlem akışı [13]

İzostatik presleme, istenilen boyuta yakın boyut ve şekillerdeki T/M parçalarını üretmek için kullanılır. Geleneksel parça sıkıştırılması veya kalıplamadan farklı, izostatik presleme yağ, gaz veya su gibi bir basınçlı sistemde gerçekleştirilir. İzostatik preslemenin faydaları arasında :

- a) Kompleks şekil kabiliyeti
- b) Minimize edilmiş pahalı toz girişi
- c) Minimize edilmiş malzeme kaybı (kompleks şekil yapımında)
- d) Kompaktlaması zor parçalara uygulanabilme
- e) Genellikle bağlayıcıya ihtiyaç yoktur.
- f) Son derece yakın şekil üretilebilme
- g) Uniform yoğunluk ve özellikler sıralanabilmektedir [26].

Sıcak presleme veya basınç altında sinterleme, soğuk presleme ve sonra sinterlemeye nazaran daha az pratiktir. Sadece tel çekme haddelerinin, elmas alaşımlarının imali gibi istisnai hallerde kullanılmış olan bu yöntem , tozların veya özel bir şekilde ısıtılmış kömür, çelik veya grafit bir matris içine yerleştirilerek sıkıştırılmış parçaların sinterlenmesi esnasında basıncın tatbik edilmesinden ibarettir [16].

2.4.2.2. Sinterleme

Sinterleme toz metalurjisindeki önemli işlemlerden biridir. Şu an uygulama fırınlarındaki sinterleme, eskiden uygulanan birleştirme işlemi hataları üzerinde geliştirilmiştir [23].

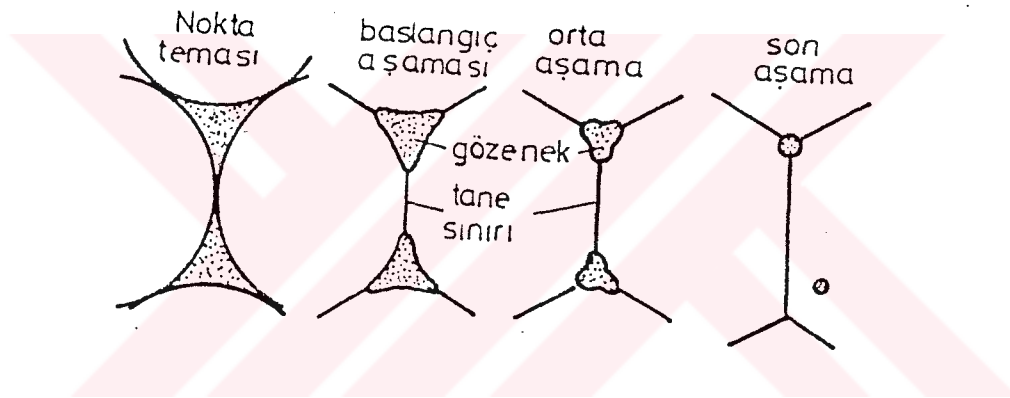
Sinterleme yüksek sıcaklıklar kullanılarak, preslenmiş ve ham yoğunluktaki toz parçacıklarının birleştirilmesi işlemi olarak tanımlanır.

Sinterleme süreçlerinde kullanılan sıcaklıklar genellikle sinterlenecek olan parçada katı-hal atom yayınma ve ergime sıcaklığının altında seçilirse de özellikle çok sistemli alaşımlarda sıvı-faz sinterlemesi olarak bilinen bir sıvı fazın varlığında da gerçekleşebilir. Toz parçacıkların yüksek yüzey enerjileri aşılacak ya da ortadan kaldırılarak gerçekleşen sinterleme sonucu parçacıklar arasında tam ve mükemmel bağlar oluşur ki bu suretle iç yapıdaki gözeneklilik sıfıra düşer. Hacim başına düşen yüzey enerjisi toz parçacık çapının tersi ile doğru orantılı olduğundan, küçük toz parçacıkları büyüklere kıyasla daha kolay sinterlenirler [13].

Sinterleme işlemi kullanılırken sinterleme esnasında, birleştirme ve sıcaklık şartları istenilen özellikleri elde edebilmek için kontrol altında tutulur. Malzemenin sinterlenmesi esnasında bir çok işlem basamakları da (Oksit indirgenmesi, bağlayıcıların kaldırılması veya kimyasal reaksiyonlar) meydana gelir. Mesela ; demirin sinterlenmesi esnasında, oksit indirgenmesi,

yağlayıcıların dağılımı, karbon kaybı olması, sıcaklığa bağlı olarak azot çözünübilirliği ile değişir. Yüzeyin gazı dışarı atması (desorption) α' dan γ fazına dönüşüm, 900 °C üzerindeki tane büyümesi ve sıcaklığa bağlı olarak (ki bu dönüşüm bronz için 800 °C dir) difüzyon artışı meydana gelir. Aynı zamanda boşluk morfolojisi değişir [23].

Esasında sinterleme sırasında metalurjik bağların oluşumu ve gözeneklerin kapanması yayınmaya bağlı olarak şekil 2.9 ' da görüldüğü gibi ilk, orta ve son aşamaları olan bir geometrik sıra takip eder [13].



Şekil 2.9. Sinterleme sırasında metalurjik bağların oluşumu ve gözeneklerin kapanması [19]

2.4.3. Sinterleme sonrası işlemler

T/M parçası genellikle sinterlemeden sonra kullanıma hazırdır. Ekonomik bakımdan arzu edilmese de bazı sinter sonrası işlemlere gerek duyulabilir. İlk sıkıştırma işleminde farklı bir kalıpta yüzey hassaslığı, yoğunluk ve ölçü hassaslığını sağlamak amacıyla yapılan sıkıştırma işlemine kalibrasyon veya yeniden presleme adı verilir. T/M parçasının gözeneklerini yağ, plastik vs. gibi metal olmayan bir malzeme ile doldurma gerekebilir. Gözeneklere düşük ergime noktalı bir metal veya alaşım emdirilerek yoğunluk, mukavemet,

sertlik, süneklik ve darbe mukavemetinde artış sağlanabilir. Kaplama işlemi yapılmadan önce yüzeydeki gözenekler reçine veya deformasyonla kapatılmalı. Buhar işlemi ile demir asıllı parçaların yüzeyleri manyetik demir oksit ile kaplanarak sertlik, baskı mukavemeti, aşınma ve korozyon dirençleri artırılır. Bu işlem 600 °C' de kuru basınçlı buharın parçalara uygulanmasıyla yapılmaktadır [12].

2.5. Toz Metalurjisi Uygulama Alanları

Çağın ekonomik dengeleri enformasyon, yeni malzeme, biyoteknoloji, nükleer, uzay ve havacılık teknolojileri olmak üzere beş teknoloji üzerine kurulmuştur. Yeni veya ileri malzeme teknolojisi, aslında diğer teknolojilerin de temelidir. Çünkü bütün teknolojilerin gelişmesi, yeni üretilen malzemelerin özellikleri ve performansı üzerine kurulmuştur. Diğer teknolojilerle de iç içe olan malzeme teknolojisindeki başlıca atılım, doğal kaynaklarla rekabet eden sentetik malzeme kaynaklarının bulunmuş olmasıdır. Maddenin moleküler yapıda kontrolü sayesinde yeni özellikleri olan malzemeler gündeme gelmektedir. Yeni veya ileri malzeme teknolojisinin de temeli toz metalurjisidir. Çünkü pek çok özelliklere sahip sentetik malzeme üretimi ancak metal tozlarının karışım teknolojisi ile mümkün olmaktadır [27].

T/M parçaları otomobillerin hareket sistemleri, çamaşır makinaları, güç makinaları, spor malzemeleri, fotokopi makinaları, yol ekipmanları, av malzemeleri, hidrolik sistemler, x ışınlarının korunma sistemleri, petrol ve gaz kuyularının kapama sistemleri ve kaset çalar gibi pek çok yerde kullanılmaktadır. İmalat endüstrisinde kullanılan T/M parçaları büyük ölçüde demir, çelik ve alaşımları, bakır ve bakır esaslı alaşımlar (prinç, tunç ve nikel, gümüş), alüminyum, paslanmaz çelik, nikel ve kalay esaslı tozlardan elde edilen alaşımlardır [15].

Dünya çapında üretilen tüm metalik tozlardan imal edilen sinter parçaların pazar paylarından en büyük kısmı, % 86 ile demir-çelik esaslı sinter parçalar almaktadır. İkinci sırada % 11 pazar payı toplamı ile bakır ve bakır esaslı sinter parçalar, üçüncü sırada % 0.6 ile alüminyum takip eder [13]. T/M' nin otomotiv sektöründe önemli uygulamaları çizelge 2.3' de sunulmuştur.

Genel olarak kullanılan toz metal parçaların örnekleri şekil 2.10' da verilmiştir.

Çizelge 2.3. T/M' nin otomotiv sektöründe uygulama alanları [13]

Dinamo regülatörü kontaklar	Pt-alaşımları, Fe
Yataklar	Cu, Pb, Sn, Fe, Al, grafit, tunç
Fren balataları	Fe, grafit, Cu, Zn, Sn
ABS fren sistemi sensör halkaları	Fe, P
Debriyaj ve fren balataları	Fe, grafit, Cu, Zn, Sn, Pb
Elektrik kontakları	W, Cu, Ag
Amortisör	Fe, Cu, takım çeliği
Buji	Fe, Zn, seramik esaslı tozlar
Vites kutusu parçaları	Fe, Cu, çelik



Şekil 2.10. Genel olarak kullanılan T/M parçaları [27]

2.6. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları

T/M üretim tekniği bütün dünya ülkelerinde hızla yayılmaktadır. ABD' de Japonya'da, Avrupa ve Avustralya'da T/M üretiminin sürekli olarak arttığı rapor edilmektedir. Bunun en büyük nedeni, daha ekonomik bir üretim tekniği olması ve diğer tekniklere kıyasla daha az enerji tüketilmesi [14].

T/M, demir ve demir dışı parçaların üretiminde kullanılan, son derece gelişmiş bir yöntemdir. Elementel veya alaşım tozları karıştırılır ve bir kalıp içerisinde preslenerek sinterlenir veya ısıtılarak partiküller arasında metalurjik bağın oluşması sağlanır. Esası talaşsız metal işleme metodudur. T/M nihai parçada başlangıçtaki ham maddenin % 97' sinden fazlasını kullanmaktadır. Bundan dolayı, T/M bir enerji ve malzeme tasarruf metodudur[26].

Daha önce döküm, talaşlı üretim, dövme gibi tekniklerle üretildikleri halde ekonomik sebeplerle T/M tekniğine değiştirilen sayısız parça vardır. T/M' nin diğer tekniklerle karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır[14,22,26].

T/M' nin avantajları;

- a) İşlemeyi (talaş kaldırma) elimine veya minimize eder
- b) Yakın toleranslar ve düzgün yüzeyler elde edilir
- c) Yoğunluk ve ergime noktalarındaki farklılıklardan ötürü başka yollarla imkansız olan alaşım ve karışımların veya kompleks parçaların üretimi mümkündür.
- d) Metal olmayan malzemeler, metal asıllı ürünlerin içinde ince ve homojen şekilde dağıtılabilir

e) Isıl işlemle mukavemeti veya aşınma direnci yükseltilebilen malzemeler sağlanabilir (gözeneklere arzu edilen yağlayıcı maddeler emdirilebilir) [26].

T/M' nin dezavantajları;

a) İlk yatırım (takımlar, presler ve sinter techizatı) oldukça pahalıdır. Seri üretim yapılmazsa amortisman değerleri yüksektir.

b) Metal tozların maliyeti, ingot halinde üretilen malzemelerden daha yüksektir

c) Toleranslar talaşlı işlemlere göre daha kabadır

d) Tozların kalıp içinde akışkanlığı sınırlıdır. Dolayısı ile yapılacak parçanın şekli kısıtlayıcı bir faktör olabilir [26].

3. SÜRTÜNME VE AŞINMA

3.1. Sürtünme ve Aşınmanın Önemi

Çok sayıda yapı elemanı sürtünmeli ya da kaymalı zorlamaya maruzdur. Bu sırada meydana gelen aşınma, parçaların ömrünü ve güvenilirliğini sınırlar.

Tekniğin her sahasında malzemelerin sürtünme özelliklerinden ve sürtünme kuvvetlerinden faydalanılarak çeşitli konstrüksiyonların gerçekleştirildiği ve çok çeşitli görevlerin yerine getirildiği görülmektedir. Bu görev, mesela kavramalarda olduğu gibi bir güç nakli, frenlerde olduğu gibi hareket halinde bulunan bir makina'nın kinetik enerjisinin alınarak durdurulması yani bir gücün yutulması veya sevk ve hareket silindirlerinde olduğu gibi bir hareketin iletilmesi gibi çok çeşitli hareketlerde olabilir [28].

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 hasılanın (GSMH) % 7' sine eşdeğer bir harcamanın yapıldığı tahmin edilmektedir [28,30].

3.2. Sürtünme

Genel anlamda sürtünme: Temas halindeki yüzeylerin ve birbiri üzerinde hareket eden ya da, hareket ihtimaline karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır [30,31].

Hareketin cinsine göre sürtünme: Kayma, yuvarlanma veya kayma yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olabilir. Birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasına yağlayıcı madde konulup, konulmaması bakımından da, temas yüzeylerinin durumuna göre , kuru, yarı sıvı ve sıvı sürtünme olarak üç halde de incelenebilir [8,29].

3.2.1. Sürtünme kanunları

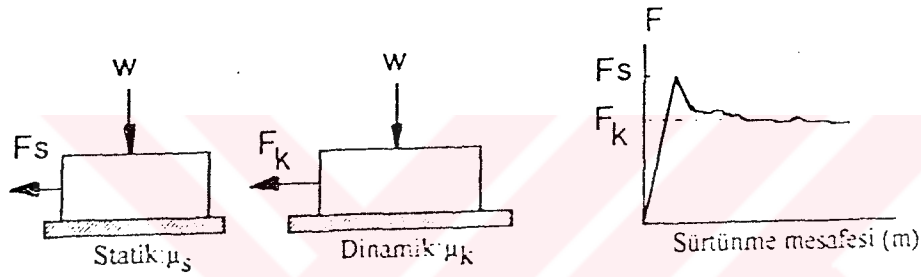
Sürtünme kanunlarının belirlenmesinde iki temel esas vardır. Bunlar büyük oranda uyumluluk gösterirler. Birinci kanun; temas eden yüzeyler arasında oluşan sürtünme kuvveti, görünür temas alanından bağımsızdır. İkinci kanun; Sürtünme kuvveti, cisimler arasındaki normal yük ile doğru orantılıdır. Böylece 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 ikisinc göre uygulanabilirliği daha düşük değerdedir. Üçüncü kural Coulomb tarafından 1785 yılında açıklanmıştır [30].

3.2.2. Sürtünme katsayısı

Sürtünme katsayısı TS 555'de, disk veya kampana ile disk veya kampana fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır diye tanımlanır. 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' sıcaklıklarda 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.

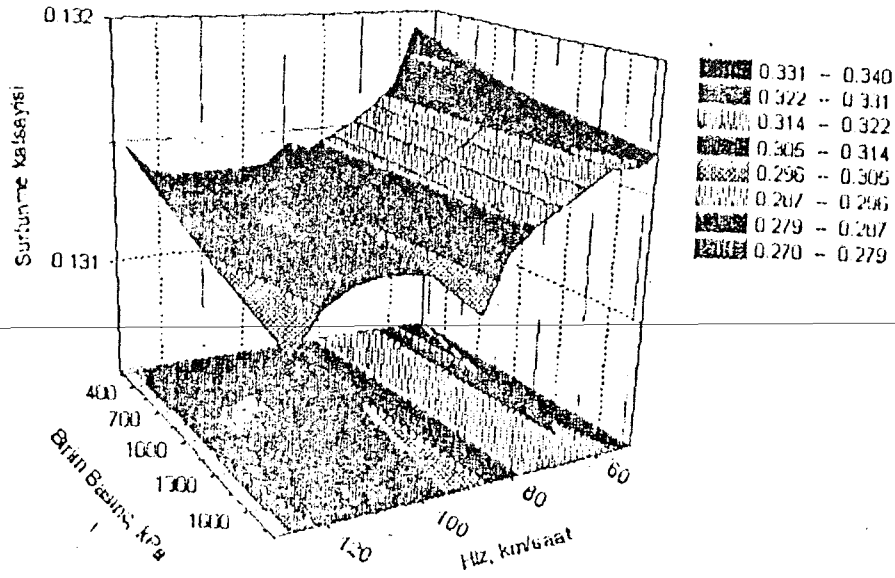
Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet (F_n) arasında; $F_s = \mu_s \times F_n$ bağıntısı mevcuttur. Burada, μ_s statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur (F_k). Bu durumda; $F_k = \mu_k \times F_n$ ilişkisi geçerlidir. Burada $\mu_k < \mu_s$ kinetik sürtünme katsayısıdır. Şekil 3.1' de statik ve dinamik sürtünme katsayıları görülmektedir [30, 31, 32].



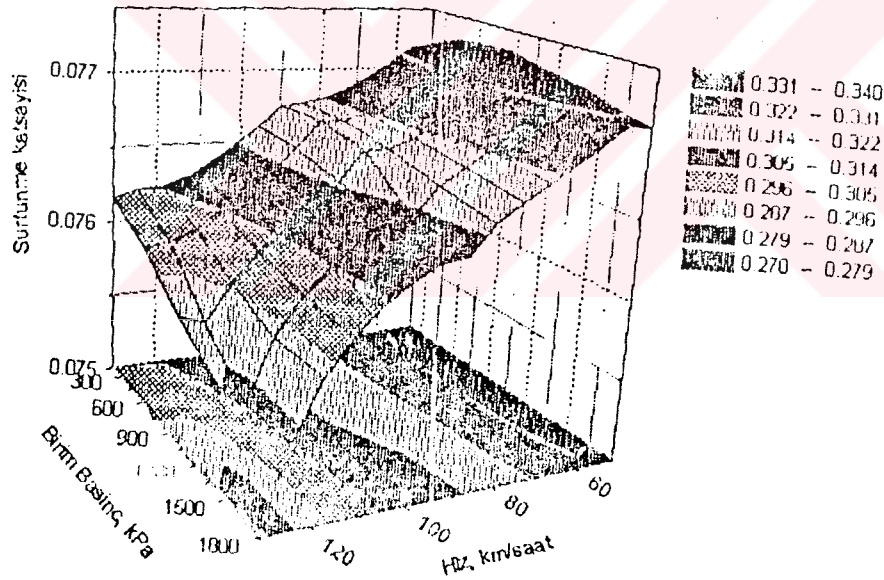
Şekil 3.1. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları[32]

Şekil 3.1' 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, basıncı, sıcaklığı gibi değişkenlere bağlıdır [9].

Şekil 3.2'de sürtünme hızı ile statik sürtünme katsayısı arasındaki bağıntı görülmektedir. İki yüzey arasındaki sürtünme hızının artmasıyla sürtünme katsayısı düşmektedir. Uygulanan basınçta sürtünme katsayısı üzerinde benzer bir etki gösterir.



(a)

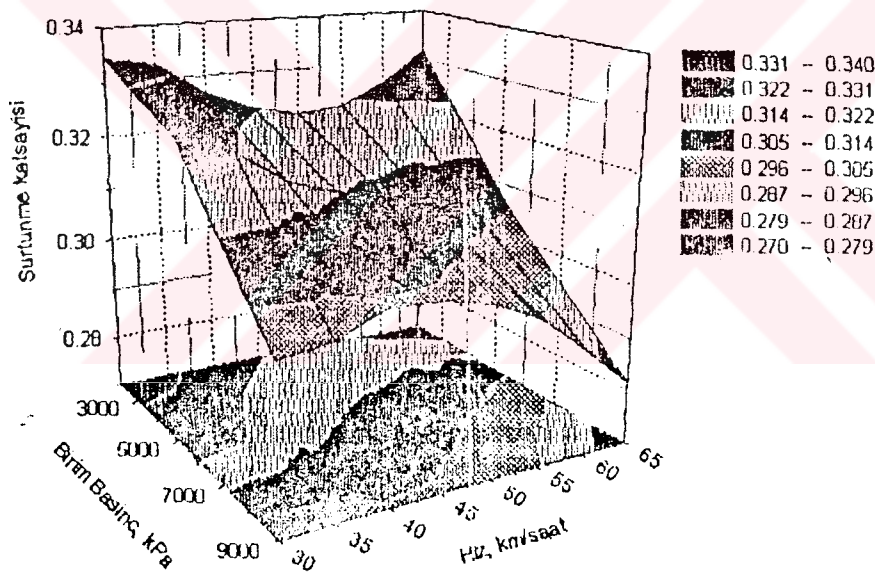


(b)

Şekil 3.2. Islak balatada sürtünme katsayısının hız ve birim basınçla değişimi. (a) Statik Sürtünme katsayısı, (b) Dinamik sürtünme katsayısı [9]

Islak balatalarda yüzey sıcaklığının 150°C üzerine çıkmasıyla sürtünme katsayısında önemli miktarda düşme olacaktır. Bu sıcaklık genelde "bozunum sıcaklığı" olarak anılır. Islak balatalarda genellikle aşınma hızları düşüktür [9,14,33].

Kuru balatalar, ıslak olanlara göre daha basit ve hafiftir. Şekil 3.3'de basınç ve hızın, otomobil disk freni dinamik sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini göstermektedir. Islak balatalarda olduğu gibi dinamik sürtünme katsayısında artan basınçla düşme meydana gelmektedir [9].



Şekil 3.3. Kuru balatada basınç ve hızın sürtünme katsayısına etkisi.[9]

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 yapan bütün

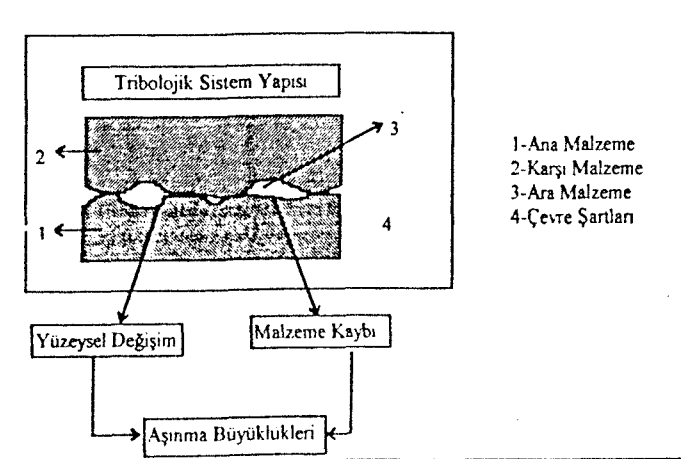
sistemlerde sürtünme istenmeyen bir olaydır ve azaltılması istenilir [30].

Buna göre sürtünme katsayısı (μ), sürtünme kuvvetinin değerini belirler. Sürtünme katsayısı, $0.001 < \mu \leq 10$ değerleri arasında değişir. Vakumda çok temiz yüzeyli metallerin birbirleri üzerinde kaydırılması sırasında sürtünme katsayısı $\mu > 10$ 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[32].

3.3. Aşınma

Aşınma, sürtünme sonucu meydana gelen katı cismin yüzeyini teşkil eden malzeme sahasında ve teknolojik olarak bilinen form değiştirme ya da madde değişimi dışında kalan kalıcı form değişimi ve/veya madde değişimidir[28]. Tribolojik sistemi, Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi ;

- ana malzeme (aşınan)
- karşı malzeme (aşındıran)
- ara malzeme
- yük, hareket (çevre ortamı) elemanlarından meydana gelir [32, 34, 36]..



3.3.1. Aşınma Hasarları

Aşınma, makine ve konstrüksiyon tasarımında çok önemlidir. Temas eden yüzeylerde sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının azalmasına neden olmaktadır. Aşınma sorunlarının yaşandığı tesislerde meydana gelen aşınma maliyetini beş grupta toplamak mümkündür [30].

- a) Aşınmış ve dolayısıyla kullanılamaz duruma gelmiş parçanın ve yenisinin maliyeti,
- b) Aşınma yüzünden tesisteki işlem parametrelerinin meydana getirdiği maliyet (kağıt fabrikasında aşınma yüzünden silindirlerin dönme hızının ve dolayısıyla üretimin artırılmaması örnek olarak verilebilir),
- c) Bakım ve onarım için tesisin durdurulması sebebiyle oluşan üretim kaybı ve dolayısıyla üretimin durdurulması ve yeniden başlatılması (ön ısıtma gibi) maliyeti,
- d) Aşınmanın önceden tahmin edilememesi yüzünden meydana gelecek kazaların sebep olduğu kayıplar,
- e) Yukarıdaki sorunların daha az yaşandığı rakip firmalarla rekabet edememenin meydana getirdiği maliyet.

3.3.2. Aşınma türleri

Bir tribolojik sistemin elemanları arasındaki karşılıklı zorlamalar neticesinde meydana gelen aşınmanın değişik türleri ve bundan dolayı da farklı sınıflandırılmaları gerekmektedir [32,36].

Aşınma yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, hız, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir [30].

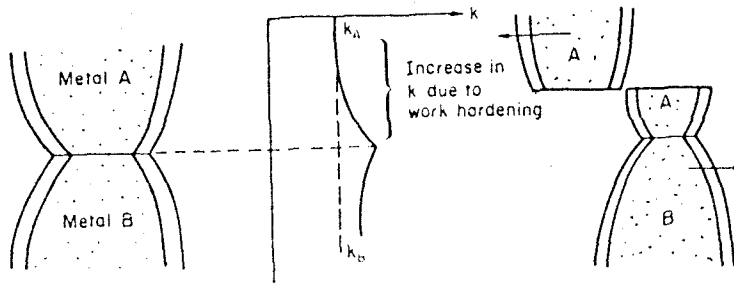
Genelde üç tür aşınma vardır. Bunlar; adhesiv, abrasiv ve tribo oksidasyon aşınma olarak bilinen erozif aşınma türleridir. Bunlardan başka yüzey yorulması ve kenar oyukları da aşınma türü olarak söylenebilir [21].

Evrensel bir aşınma türü olmadığı için, aşınmayı test edecek makine ve metot yoktur. Laboratuvar testleri, servis şartlarını taklit etmeyi amaçlar [35].

3.3.2.1. Adhesiv aşınma

Yapışma aşınma olarak ta bilinen adhesiv aşınma en yaygın olarak rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle adhesiv aşınma hasarlarının hazırlayıcı etkisi bulunmaz [30]. Bu tür aşınma, iki malzemenin birbiri üzerinde hareket etmesi sırasında yapışması ve kayması sonucunda küçük parçacıkların ayrılmasıyla oluşmaktadır. İki metal yüzeyi, birbiri ile temas ettiği taktirde, malzemelerin yüzeylerinde bulunan izler ,düzensizlikler, malzeme yüzeyinde bölgesel yüksek basınçlar oluştururlar ve yüzey filmlerinin kırılmasına neden olurlar. Temiz metal yüzeyleri birbirine temas ettirildiklerinde, yüzeylerdeki elektrostatik düzensizlikler sebebiyle kaynama için bir eğilim söz konusudur. Eğer bir yüzey diğer bir yüzey üzerinde hareket halinde ise, kaynamanın olduğu bölgeler kırılacaktır [29,30].

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.



Şekil 3.5. Adhesiv aşınma [31].

Çizelge 3.1.'de metallerin yapışmasını (adhezyonu) etkileyen faktörler gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Metallerin yapışmasını etkileyen faktörler [30].

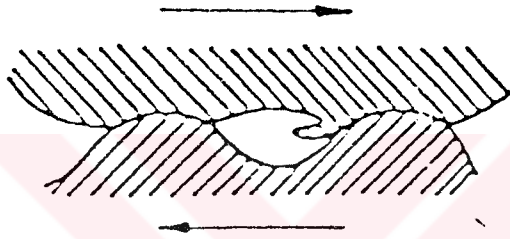
Özellik	Tür veya Büyüklük	Adhezyon Katsayısı
1. Yüzeye yardımcı bir madde sürme	Yüksek	Düşük
2. Kristal sistemi	Kübik	Yüksek
	Hegzegonal	Düşük
3. Deformasyon sertleşmesi katsayısı	Yüksek	Yüksek
4. Saflık	Yüksek	a
5. Sertlik	Yüksek	Düşük
6. Elastik Modül	Yüksek	Düşük
7. Ergime sıcaklığı	Yüksek	Düşük
8.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

a) Hegzagonal 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.

3.3.2.2. Abrasiv aşınma

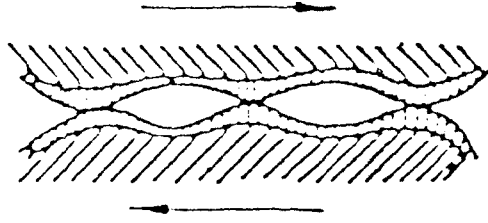
Sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasar olarak tanımlanır. Bu sert maddeler, yüzeylerde taşlama işleminde olduğu gibi bir malzemeden parça kopartılması olayı ile benzer işlem gösterirler [31]. Şekil 3.6.'da tipik bir abrasiv aşınma görülmektedir.



Şekil 3.6. Abrasiv aşınma [31].

3.3.2.3. Eroziv aşınma (koroziv aşınma) = tribo oksidasyon

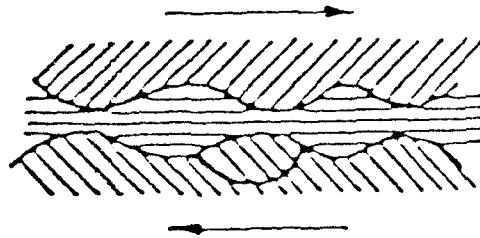
Temas yüzeylerinden en az birinin çalışma ortamında korozyon'a uğraması ve izafi hareket sebebiyle meydana gelen korozyon tabakasının silinerek alınması ve bunun devamlı olarak tekrarı ile meydana gelen aşınmadır. Sert olan ve koparak sürtünme yüzeyleri arasına giren parçacıklar abrasiv bir tesir yaparak aşınmayı artırıcı rol oynarlar [29]. Şekil 3.7.'de tribo oksidasyon aşınma görülmektedir.



Şekil 3.7. Tribo oksidasyon aşınması [32].

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 [8]. Bu elastik ve plastik olayların devam etmesi sonucu mikro çatlaklar oluşur, çatlak büyümesi olur ve aşınma parçacıkları kopar. Burada harcanan enerji, malzemede belirli ölçüde tahribat yapar. Mesela, fazla zorlanan balata malzemelerindeki sürtünme ısını alması için endotermik proses kullanımı (balata soğutma işlemi) gereklidir [28]. Şekil 3.8'de yorulma aşınması görülmektedir.



Şekil 3.8. Yorulma aşınması [32].

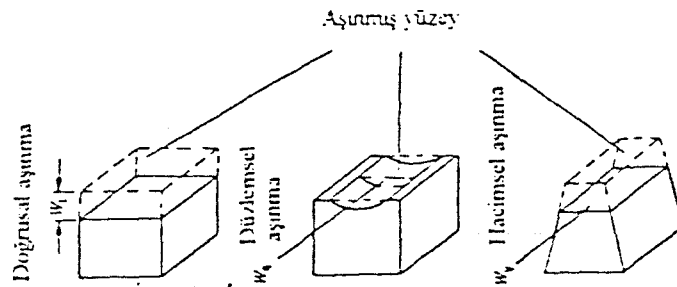
3.3.2.5. Oyuklanma korozyon

Oyuklanma bir aşınma mekanizması olarak düşünülmektedir. Metal yüzeyinin yorulması sonucu ortaya çıkan bir hasardır. Oldukça düşük gerilmeler altında yapılan hızlı uygulamalarda metal - metal yüzeyinde oyuklara benzer birçok

boşluk meydana gelebilir. Çatlaklar yüzeyin hemen altında, maksimum gerilmeye ulaştığı zaman yüzeyin altında bulunan bir boşluk veya inklüzyon köşesi ile birleşerek gerçekleşmektedir. Son teknolojik gelişmelere bağlı olarak çok temiz malzemelerin üretilmesi ile malzemedeki inklüzyon sayısı düşürülmektedir. Çalışmalar inklüzyon dokusunun ve segregasyonların oyuklaşmayı etkilediğini göstermiştir [30].

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 3.9'da doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınma söz konusudur [32].



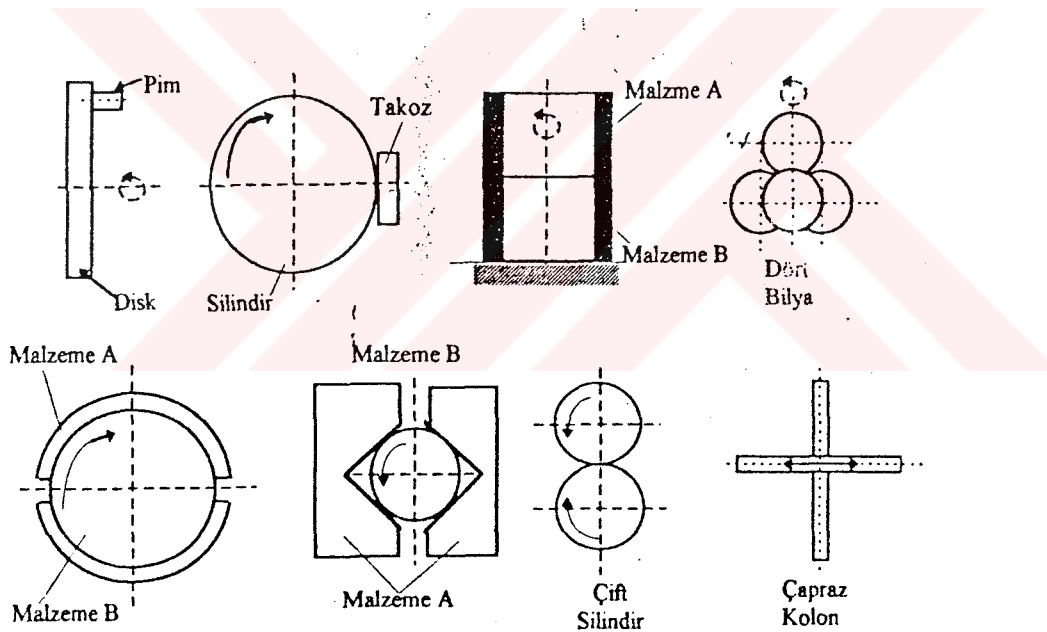
Şekil3.9. Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınmanın belirlenmesi[32]

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 [30].

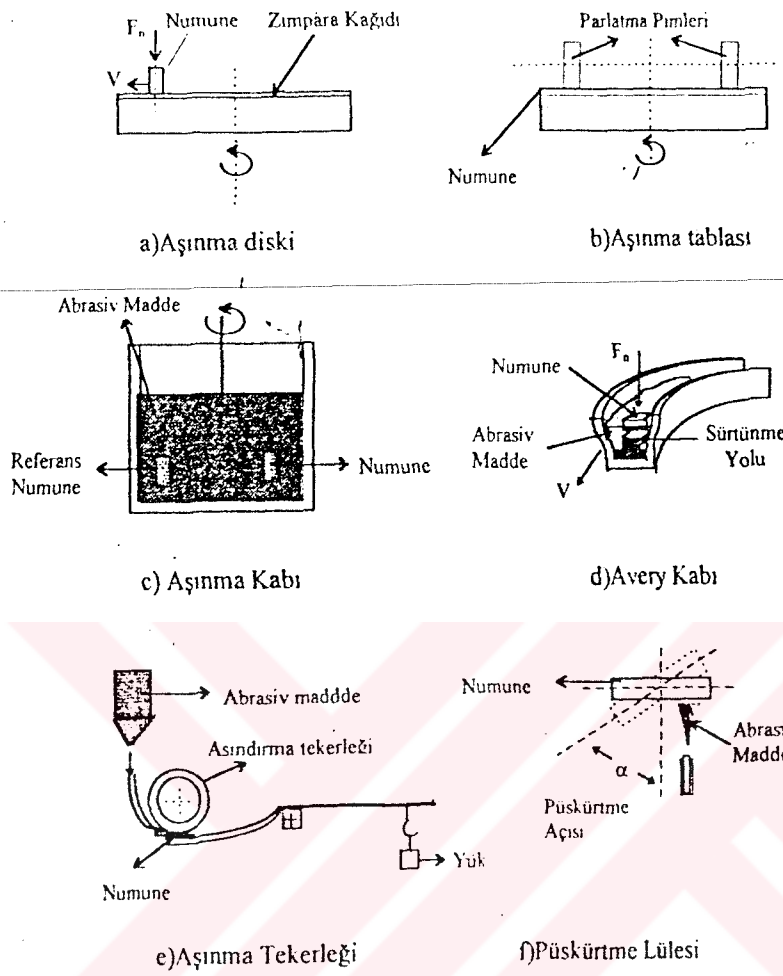
Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

a) Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhesiv (metal-metal) aşınmanın değerlerinin ölçüldüğü deneylerdir.



Şekil 3.10. Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri [30]

b) Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma deneylerinin ölçüldüğü deneyler.



Şekil 3.11. Abrasiv aşınma deneylerinde kullanılan yöntemler [30]

ASLE (American Society of Lubrication Engineers, 1976) tarafından yüz kadar deney sistemi belirtilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanları Şekil 3.10. ve 3.11'de görülmektedir. Ölçüm yöntemlerinden; ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop metotları aşağıda sırayla açıklanmıştır[30].

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} g 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, (g / km), (mg / m) ile ifade gibi bir birim alan için hesap edilecekse, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybindan hareketle, kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan gidilerek de bulunabilir. Bu tanımlara göre, en çok kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan bağıntı şudur [30].

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

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

$$\Delta G = \text{ağırlık kaybı (mg),}$$

$$S = \text{kayma mesafesi (m),}$$

$$M = \text{yükleme ağırlığı (N),}$$

$$d = \text{aşınan malzemenin yoğunluğu (g / cm}^3\text{),}$$

olarak verilmiştir. Aşınma oranının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r)

$$\text{olarak gösterilir. } W_r = \frac{1}{W_a} \text{ (N.m / mm}^{-3}\text{)}$$

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 ölçülmelidir [30].

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 ölçölür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet vickers veya brinel sertlik ölçme ucudur. Elmas pramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutundaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçölerek belirlenir [30].

3.4.4. Radyoizotop metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya α -parçacıklarıyla bombardıman edilerek, radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçöllebilmesi 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 metot değildir [30].

4. SÜRTÜNME ÇİFTLERİ VE BALATALAR

4.1. Sürtünme Malzemeleri

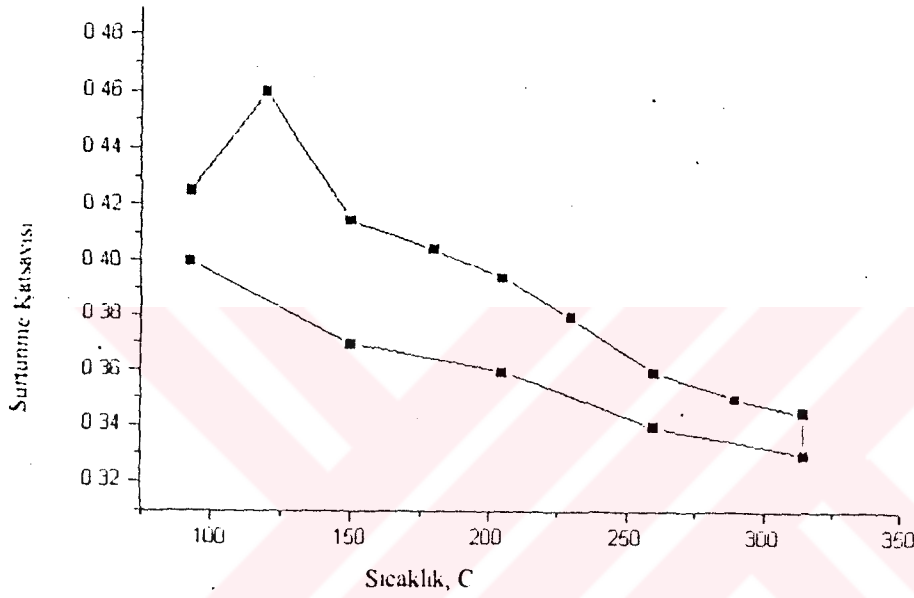
Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri mühendislikte yaygın olarak kullanılır. Bunlar ya sürtünme hareketinin iletimi, ya da frenleme ve yavaşlatma için kullanılır. En önemli sinterlenmiş balatalar demir ve bakır esaslı balatalardır [9,33].

Sürtünme malzemelerinin kullanım sebepleri özellikle sürtünme katsayılarının yüksek ve kayma özelliklerinin iyi olmasındandır. Ancak sürtünme malzemelerinin fonksiyonlarını beklediği 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[1,29].

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.

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 4.1. sıcaklığın kuru balata üzerindeki etkisini göstermektedir. Fren sırasında sıcaklık artmakta ve sürtünme katsayısı düşmektedir. Fren bırakılınca sıcaklık azalacağından sürtünme katsayısı yeniden eski değerine ulaşmaktadır. Bu davranım ve ulaşılan son değer (şekil 4.1. alt eğri) her balata malzemesi için farklı olabilir [9].



Şekil 4.1. Kuru balatada sıcaklığın dinamik sürtünme katsayısına etkisi.

Üst eğri; fren sırasında, alt eğri; fren bırakıldıktan sonra [9]

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. Mesela; bazı boyutlardaki kavrama ve frenler için daha çok enerji absorbe edebilirler [37].

Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri uygulama alanlarına göre kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılabilirler [28,30]. Islak şartlarda, güç değişimleri ve otomatik iletimleri sağlayan kavramalar şeklindeki sürtünme elemanları yağ içine daldırılır. Kuru şartlar altındaki sürtünme elemanları ise, (uçak frenleri ve

standart kavramalar şeklindeki sürtünme elemanları) yağsız olarak direk kontak halindedir [37]. Islak balatalarda Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi ana madde bakır, kuru balatalarda ise, daha az bakır ve daha fazla demir kullanılır [9].

Çizelge 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 esaslı ve demir esaslı olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Bu gruplar da ayrıca karışimsız, grafit karışımlı, seramik karışımlı olmak üzere aralarında sınıflandırılabilir. Genellikle seramik karışımlı 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 [9]. Sürtünme malzemelerini (balataları) dört başlık altında toplamak mümkündür.

4.1.1. 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 [4].

Asbest çeşitlerinin kimyasal bileşimleri ve yapıları farklıdır. Bunlardan

tanınmış olanları, chrysotil, antophyllit, tremolit, actinolit ve krokydolittir. Bunlar çeşitli renklerde olup, monoklin verhombik yapıya sahiptirler. 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 karakteristik gösterir duruma sokulmuştur [38]. 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 karakteristiklerini ve form dayanımını iyileştirmek için, sertleştirme (özel kalitelerde 24 saate kadar) yapılır. Bu işlem yapılmadığında, kullanım esnasında parçalanma meydana gelir [28].

4.1.2. Yağda çalışan balata malzemeleri

Yağ altında çalışan sürtünme kavramaları, giderek artan oranda kullanılmaktadır. Bunların sürtünme karakteristikleri, malzemenin bileşimi dışında gözenekliliğine, 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. Ayrıca yağ akışını sağlayacak ve teşekkül edecek ısının % 50 ila 70' ini yağla dışarı atacak soğutma kanalları yapılabilir. Yağda çalışan aşınma malzemeleri; çelik plakalar, kağıt malzemeler, asbest esaslı polimer bağlantılı malzemeler ve bakır esaslı sinter 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 [3].

4.1.3. 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. Bilhassa sürtünme katsayısının değeri çok küçük değerlere düşer. Bu yüzden sinterlenmiş balatalara ihtiyaç duyulmaktadır [29].

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 [9].

Fren balatalarında kullanılan sinter malzemeleri genellikle bakır (bronz) asıllı ve demir asıllı olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir [19,33,37]. Bu gruplarda ayrıca karışimsız, grafit karışımlı ve seramik karışımlı olmak üzere aralarında sınıflandırılabilirler [1,9].

4.1.3.1. 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 [28,33].

Servis sıcaklığının 1000 °C den yüksek olduğu yerlerde demir matrikslerin kullanılmasına rağmen, yüksek sürtünme şartlarında yaygın olarak kullanılan malzemeler bakır ve bronzdur [3]. Çizelge 4.2' de bazı ülkelerde kullanılan kuru ve yağlı sürtünme için bronz esaslı malzemelerinin bileşimleri görülmektedir[28]

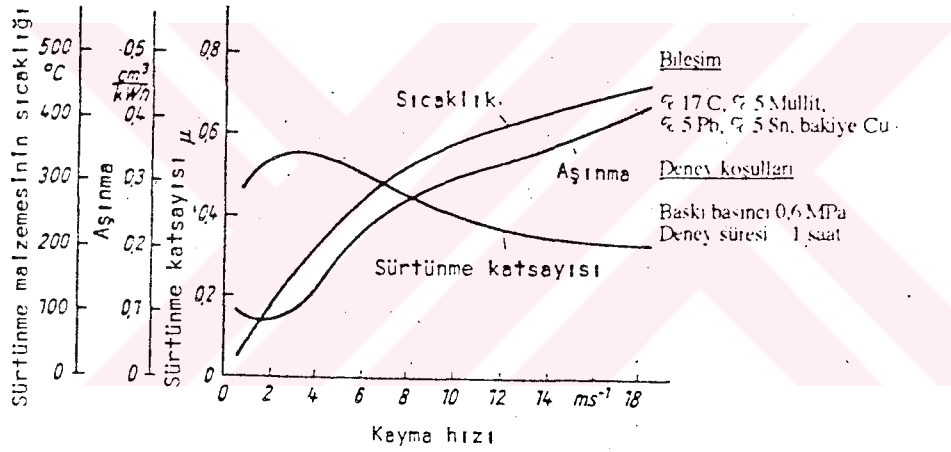
Çizelge 4.2 Bazı ülkelerde kullanılan kuru ve yağlı sürtünme için bronz esaslı malzemelerinin bileşimleri [28]

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		
İngiltere	5-10	Bakiye	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	4,5		

Bakır esaslı (bronz) balata imali için bronz madeninin 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, molibdensülfid, kalay, bizmut ve sürtünme özelliğini meydana getirecek olan silisyum, demir tozu ve korund tozu gibi dolgu maddeleri kullanılmaktadır [38]. Çizelge 4.3' te bronz esaslı balata malzemelerinin kullanım karakterstikleri ve özellikleri, Şekil 4.2' de ise % 17 grafit, % 5 kurşun, % 5 mullit, % 5 kalay ve % 63 bakır içeren malzemenin, sürtünme ve aşınma karakteristikleri görülmektedir.

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

Kullanım sahası	Baskı basıncı $p \leq 5 \text{ Mpa}$ (10 Mpa) Kayma hızı $v \leq 40 \text{ m / s}$ $p \cdot v \leq 1,5 \text{ kW / cm}^2$
Sürtünme katsayısı μ	0,15 ... 0,50
Aşınma	$p \cdot v = 0,8 \dots 1,0 \text{ kW / cm}^2$ olan orta yüklerde, $0,5 \text{ cm}^3 / \text{kWh}$
Sıcağa dayanıklılık	Sürekli çalışmada max. 450°C Kısa süreli çalışmada max. 650°C
Özgül ağırlık	$5 \dots 7 \text{ gr. / cm}^3$
Isı iletme kabiliyeti	$6 \dots 35 \text{ W / m.K}$
Sertlik	10 ... 50 BSD



Şekil 4.2. Sinterlenmiş bronz-grafit balata malzemesinin sürtünme ve aşınma karakteristiği [28]

Sürtünme ve aşınma miktarı, kayma hızı ve sıcaklığın fonksiyonu olarak değişir. Eğriler, yalnızca kullanım için bir fikir vermek üzere örnek olarak alınabilir. Bu malzemenin karşısında dökme demir, alaşımsız ve düşük alaşımlı ıslah çelikleri kullanılabilir [28].

Bakır esaslı sinterlenmiş malzemenin avantajları literatürde geniş olarak yer almaktadır. Fakat avantajları yanında dezavantajları da vardır [33].

- a) Yağlamanın olduğu yüksek kayma hızlarında, yetersiz sürtünme katsayısı,
- b) Yüksek kayma hızlarında ve yüksek yüklerdeki yetersiz aşınma direnci,
- c) Kuru sürtünmenin olduğu uygulamalarda, sınırlı olarak kullanılır,

Bu malzemeler pahalıdır ve az kalay ihtiva eder. Fiyatları, üretimin toplam maliyetinin % 50' sinden fazlasını kapsar. (Eğer kalay kullanılırsa oranı % 10' u geçmez)

Ukrayna Bilimler Akademisi Metal Seramik ve Özel alaşımlar Enstitüsü tarafından yeni bir bakır esaslı sinterlenmiş malzeme geliştirildi. Deneyler gerçek şartlarda test edildi. Bu malzeme kalay içermez ve sahip olduğu özellikler mevcut sürtünme malzemelerinden daha iyidir. Ancak diğerlerine göre daha pahalıdır. Bu yeni malzemenin üretimi, geleneksel sürtünme malzemelerinden farklı değildir. Sadece, yüksek sinterleme sıcaklığı (950-980) ve sinterleme sırasında basınç (20-30 kp / cm²) dir [33].

Bu yeni malzeme ile bakır sürtünme malzemelerinin mekanik karakteristikleri Çizelge 4.4' de görülmektedir.

Çizelge 4.4. Yeni sürtünme malzemesi ile bakır sürtünme malzemelerinin mekanik özellikleri [33]

Sürtünme malz. Özellikleri	Bakır esaslı sürt. malz.	Yeni sürtünme malz.
Brinel sertlik kp / mm ²	25-50	60-100
Kesme mukavemeti kp / mm ²	8-10	15-20
Burulma kp / mm ²	10-15	20-30

4.1.3.2. Demir esaslı balata malzemeleri

Sinter demir balataları, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya karşı dayanıklı olup, sadece eğilmeye karşı dayanıklı değildirler. Bu hatayı ortadan kaldırmak için sinter demir balatalar, bir saç levha üzerinde sinterlenerek kullanılırlar. Sinter demir balataların ısıyı çok iyi nakletme özelliklerinden dolayı yüksek sürtünme sıcaklıklarının meydana geldiği yerlerde kullanılmaktadırlar. Sinter demir balataların bu ısıyı nakletme özelliği, balatanın soğuk kalmasını temin etmekte ve bu durum balatanın ömrünü artırmaktadır. Sinter demir balataları, yüksek sıcaklıklarda perlit bünyenin meydana gelmesi ile iyi olan sürtünme durumları elde edilir. Fakat aşırı yüksek sıcaklıklar, madeni toz taneciklerinin yanması ve kömürleşmesi ile arzu edilmeyen bir sert sementit bünye meydana getirebilir [38].

Demir esaslı balata malzemeleri, özellikle kuru çalışan kavramalarda tercih edilir. Bronz esaslı malzemelere göre daha ucuzdur. Belirli kullanım alanları için, değişik bileşimlerde imal edilirler. Çizelge 4.5' de bazı ülkelerde kullanılan kuru sürtünme için demir esaslı malzemelerin bileşimleri görülmektedir [28].

Çizelge 4.5. Kuru sürtünme için demir esaslı malzemeler [28]

Ülke	Fe	Cu	Sn	Grafit	Pb	SiO ₂	MoS ₂	Diğer
A.B.D.	60 67,5 60-77 80		5	15 20-30 4	 2		2	%3 Bi, %14Mullit %5 Si, %7,5 Bi, %20 Mullit %3-10 Bi %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 , %3 Asbest
İtalya	62	16		13,4	8	0,6		

Sürtünme olayı esnasında şekillenmeyle, yapı elemanları ve atmosfer arasında değişik etkiler meydana gelerek, disk-balata çiftlerinin yüzeyinde metal

elemanlar oksit karbür ve grafitten oluşan kompleks yapılı bir tabaka oluşur ve böylece aşınma direnci önemli ölçüde yükselebilir. Bundan dolayı malzemenin bileşimi öyle seçilmelidir ki, kompleks tabaka geniş zorlanma sahasında dayanıklı olsun [28]. Çizelge 4.6'da demir esaslı balata malzemesinin kullanım özelliklerinden bazıları verilmiştir.

Çizelge 4.6. Demir asıllı balata malzemelerinin kullanım karakteristikleri ve özellikleri [28].

Kullanım sahası	Baskı basıncı $p \leq 6 \text{ MPa}$ (10 MPa) Kayma hızı $v \leq 60 \text{ m / s}$ $p \cdot v \leq 3 \text{ kW / cm}^2$
Sürtünme katsayısı μ	0,25 ... 0,65
Aşınma	$p \cdot v = 1,5 \dots 2,0 \text{ kW / cm}^2$ olan orta yüklerde, $0,5 \text{ cm}^3 / \text{kWh}$
Sıcağa dayanıklılık	Sürekli çalışmada max. 660°C Kısa süreli çalışmada max. 880°C
Özgül ağırlık	$5 \dots 7 \text{ gr. / cm}^3$
Isı iletme kabiliyeti	$1,2 \dots 35 \text{ W / m.K}$
Sertlik	15 ... 40 BSD

Son yıllarda yabancı literatürde çok az bilgi bulunmakta, üretim metotları veya bileşimleri 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 fosfor, metallerin ve demir esaslı alaşımların sürtünme özellikleri ve mekanik özellikleri üzerine olumlu etkiler sağlar [40].

Çizelge 4.7' de sinterlenmiş demirin mekanik özelliklerine fosfor elementinin etkileri görülmektedir.

Çizelge 4.7. Sinterlenmiş demirin mekanik özelliklerine fosfor'un etkisi [34]

Fosfor % Ağ.	Akma muk. kg / mm ²	% uzama	Brinel sertlik	Darbe muk. Kgm / 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 ilavesi, 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 [40].

4.1.3.3. 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 (SiO₂, Al₂O₃ 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 komponent içerdiklerinden dolayı kırılgandır ve çok az dayanıma sahiptirler. Bu nedenle, düz bir metal üzerine pres edilirler ve balata taşıyıcıya perçinle bağlanırlar [28].

4.2. 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 malzemede (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 iletme kabiliyetine sahip olması gerekir [29].

Genelde disk ve kampana imalinde perlitik dökme demir kullanılır. Dökme demir için % 3,40 dolaylarında karbon kullanılır ve bu dökme demirin sertliği 170 - 255 HB (kg. / mm²) arasında değişir [8]. Diğer alaşım yüzdeleri ise; Çizelge 4.8' de görülmektedir.

Çizelge 4.8. Disk ve kampana için kullanılan dökme demir analizi [8]

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

Ol'shevski ve Larin'in çalışmalarına göre [28], dökme demirlere eklenen fosfor, 0,118 ve 2,01 % (ağırlıkça) arasında bir değere yükseltirirse, bu malzemenin sürtünme katsayısı yükselir. Fren sistemi üzerinde bu katsayının kararlılığı ve bunlara ilaveten aşınma dirençleri de düzelir. Sürtünen dökme demirlerin en iyi fosfor bileşimi Ol'shevskiye göre % 1,5 - 2 arasında, Larin'e göre ise % 1,4' tür.

4.3. T/M ile Üretilmiş Demir ve Bronz Esaslı Fren Balataların Üretimi

Metalik bağlantılı balata malzemeleri, toz metalurjik yöntemlerle üretilirler. Yapı elemanları çok farklı yoğunlukta olacaklarından, bu yöntemin tarzı ve ayrıca işlem sırası büyük önem taşır [28]. Metal tozlar genellikle atomizasyon yöntemi ile üretilirken, bronz esaslı tozlar elektroliz ve atomizasyon yöntemleriyle üretilirler [37].

Karıştırma işleminden önce tozların birbirine yapışmalarını önlemek için, tozlar bir fırça yardımı ile elekten geçirilir. Karıştırma olayını güçlendirmek için sık sık iç karıştırıcılar, çarpma düzeneklerinin ilavesi ile çifte-konili veya Y-konili karıştırıcılar ya da şerit tip karıştırıcılar şeklindeki geleneksel tipteki karıştırıcılarla karıştırma tamamlanır. Tozların özgül 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 değiştirmez [4,9]. 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 iç yapısında difüzyon yoluyla kuvvetli bir bağlama olamadığından oldukça zayıftır [3,9]. 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 [3,4,9].

Bronz esaslı malzemelerin sinterlenmesi sırasında, kalay ve kurşun eriyerek sıvı bir faz meydana getirir. Kalay, bakır tarafından yavaş yavaş emilir. Metalik olmayan katkı elemanları, sinterleme sırasında değişmeyip sadece matriks içerisine gömülürler. Demir asıllı malzemeler ise, yüksek sıcaklıkta grafit demir tanelerine nüfuz ederler [9].

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 işlemi yapılır [4].

Taşlamadan sonraki işlem temizlemedir. Bu işlem hem görünüm güzelliğini sağlar ve hem de varsa gevşek kısımları döker. Gerektiği taktirde iç gerilmeleri azaltmak için bir ısıtma işlemi de yapılabilir [9].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, otomotiv endüstrisinde kullanılan toz metalurjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balatalarının performanslarının incelenmesi amacı ile yapılmıştır. Çalışmada, farklı presleme basınçlarında balata numunesi üretilerek Gebze Kale Balata laboratuvarlarında test edilmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar asbest esaslı fren balatalarının performans sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Kullanılan Toz Malzemeler ve Fren Balata Numunelerinin Hazırlanması

Balata malzemesi olarak Çizelge 5.1’de bileşimi verilen 2-40 μm boyutlarında (Toz Metal A.Ş., Sintek A.Ş. ve Gürel Makine A.Ş.’den temin edildi) bronz esaslı metal tozu kullanılmıştır. Bronz tozları harmanlama, presleme ve sinterleme işlemlerine tabi tutulmuştur.

Çizelge 5.1. Bronz esaslı toz metal fren balata numunelerinin bileşimleri (%)

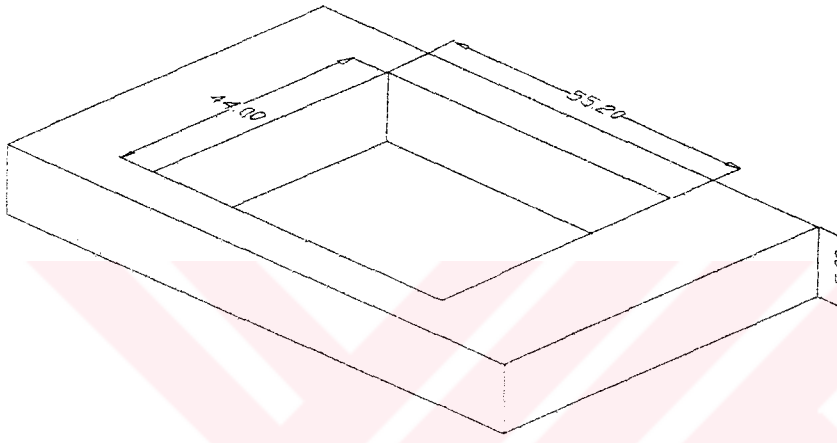
Bakır	Kalay	Demir	Kurşun	Karbon	Kükürt
68.02	10.05	10.57	8.67	2.67	0.007

5.1.1. Tozların harmanlanması (Karıştırılması)

2-40 μm boyutlarında ve çizelge 5.1’de bileşimi verilen bronz tozlar homojen bir karışım elde edebilmek için bilyalı döner değirmende 20 dakika karıştırılmışlardır.

5.1.2. Presleme

Şekil 5.1’de şematik olarak gösterilen 55.20 x 44 x 15 mm ebatlarında metalik kalıp içerisine yerleştirilen ham tozlar hidrolik pres yardımı ile saniyede 2.40 MPa hızda (2.40 MPa/s) 350,500 ve 600 MPa basınçlarda tek yönlü soğuk olarak preslenmiştir.



Şekil 5.1 Toz Presleme Kalıbı

Presleme işlemi Şekil 5.1’de görülen kalıpta tek eksenli olarak, metal toz doldurulduktan sonra, üst baskı plakası (dalgiç piston) yardımı ile yapılmıştır. Kalıp duvarlarının aşınma problemi ve sürtünmeyi azaltmak için kalıp yüzeyleri alkolle sıvılaştırılmış çinko stearat ile yağlanmıştır.

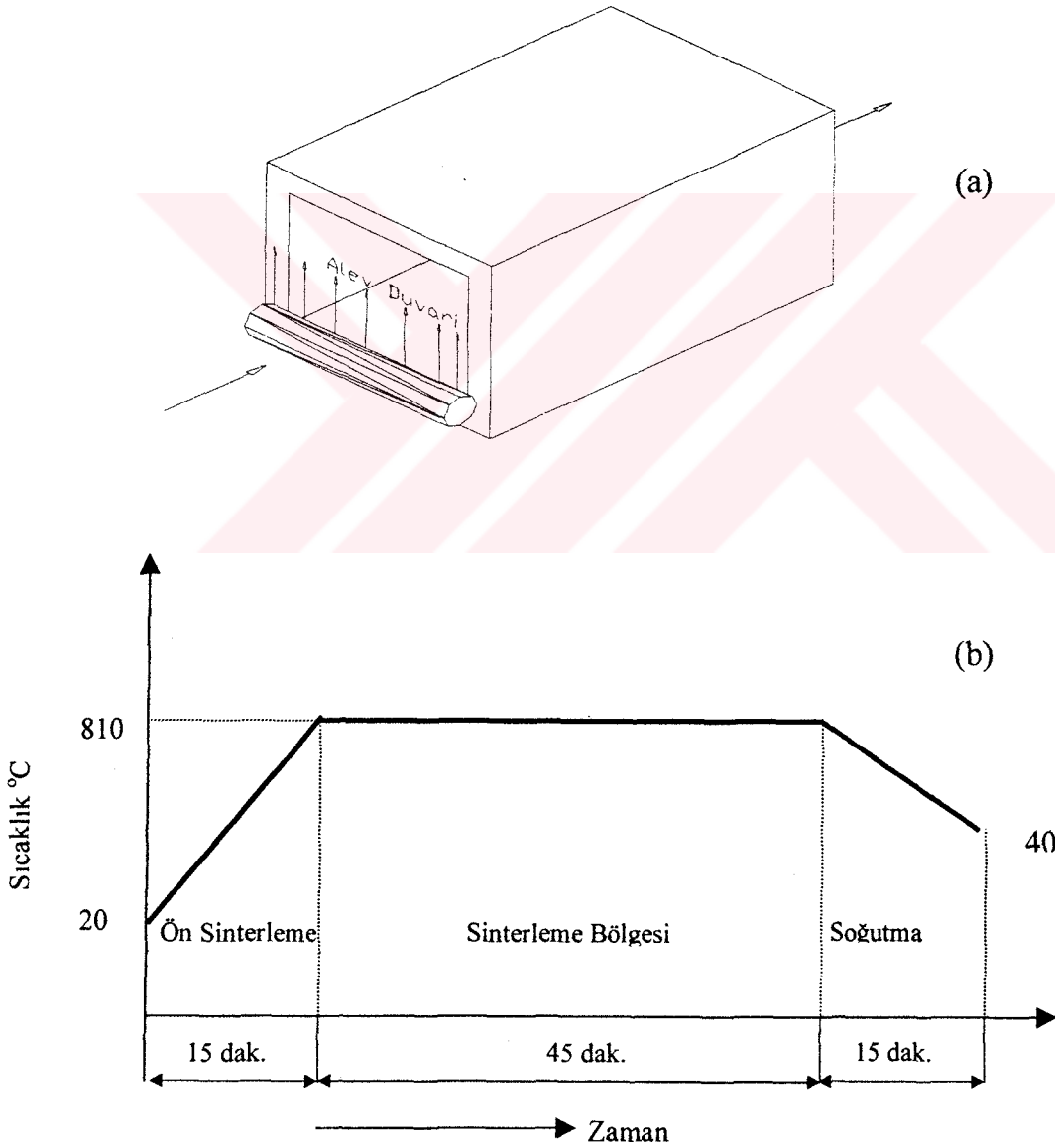
5.1.3. Sinterleme

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

Numuneler önce 850 ° C sıcaklıkta sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu sıcaklık sinterleme işlemi için fazla geldi ve malzemelerde kuma diye tabir edilen olay görüldü. Daha sonra Cu-Sn denge diyagramında sinterleme

sıcaklığı belirlenerek numuneler 810°C 'de 45 dakika süre ile sinterlenmiştir.

Sinterleme işlemi Şekil 5.2.a' da verilen dikdörtgen kesitli bant (konveyör) taşımalı bir fırında gerçekleştirilmiştir. Numunenin ilerleme yönüne dik yönlerde fırına indirgeyici olarak sürekli amonyak gazı verilmiştir. Fırının numune giriş ve çıkış kısımları atmosfere açık durumdadır. Bu noktalardan fırına oksijenin girişini önlemek amacıyla bütan gazı ile bir alev duvarı oluşturulmaktadır.



Şekil 5.2. (a) Sinterleme fırını, (b) Sinterleme sıcaklığının zamana göre gösterimi.

Sinterleme işleminin yapıldığı fırın üç farklı sıcaklık bölgesinden oluşmaktadır. Bunlar; Ön sinterleme, sinterleme ve soğutma bölgeleri. Sinterleme işlemi toplam 75 dakika sürmektedir. Ön sinterleme bölgesinde sıcaklık, sinterleme sıcaklığı olan 810 °C' ye 15 dakika' da yükselmiştir. Sinterleme bölgesinde sıcaklık, 810 °C' de 45 dakika sabit kalmıştır. Soğutma bölgesinde ise sıcaklık, 15 dakika içerisinde 40 °C' ye düşürülmüştür. Sinterlenen numuneler fırından alındıktan sonra oda sıcaklığında soğutulmaya bırakılmıştır.

Sinterlenmiş numunelerde az da olsa çarpılma meydana geleceği düşünüldüğünden performans deneyi öncesi fren balata test numuneleri taşlama işlemine tabi tutulmuştur.

5.2. Hazırlanan Fren Balata Numunelerinin Karakterizasyonu

Karıştırma, presleme ve sinterleme sonucu üretilen toz fren balata numunelerinin karakterizasyonu amacı ile sertlik ve yoğunluk ölçümleri yapılmıştır.

5.2.1. Sertlik ölçüm deneyleri

Deney numunelerinin yüzey sertlikleri, performans deneyi öncesi ve sonrasında dijital ekran sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde HRB cinsinden TSE R skalası 60 kg ağırlık, 12.70 mm çapında çelik bilye kullanılmıştır.

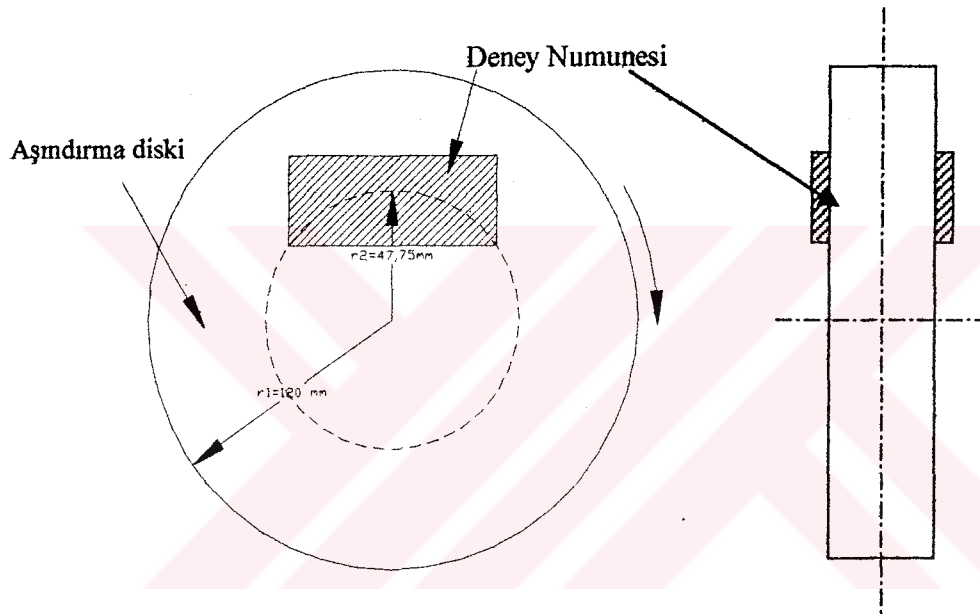
5.2.2. Yoğunluk ölçüm deneyleri

Sinterleme öncesi ve sonrasında bronz esaslı fren balata numunelerinin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Her bir basınç için ikişer adet üretilen toz metal fren balata numunelerinin hacimlerinin kütlelerine oranı ile

yoğunlukları hesaplanmıştır.

5.3. Performans Deneyleri

T/M ile üretilmiş bronz esaslı fren balata numuneleri ile asbest esaslı fren balata numuneleri, fren balata aşınma deney düzeneğinde performans deneyine tabi tutulmuşlardır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Standart fren balata aşınma deney düzeneği

110.5 HRB sertliğinde dökme demirden üretilmiş 650 devir/dakika hızla dönen 240 mm çapındaki diskin her iki tarafına 95.5 mm merkezli sürtünme çapında iki adet balata deney numunesi 14.5 barlık sabit basınç altında adhesiv olarak aşındırılmıştır. Fren balata adhesiv aşınma deneyinde 5'er saniye aralıklarla yapılan frenleme sonucunda sıcaklık ve sürtünme katsayısı değerleri standart fren balata aşınma deney düzeneğine bağlı bilgisayardan alınmıştır.

Performans deneyleri sonucunda farklı yoğunluklarda üretilmiş T/M balata numuneleri ile asbest esaslı fren balata numunelerinin aşınma performansları karşılaştırılmıştır.

5.4. Optik Mikroskop Analizi

Performans deneyleri sonucunda metal esaslı fren balata numunelerinin metalografik incelemesi, numunelerin yanal yüzeylerinden ve aşınma yüzeyinden OLYMPUS marka optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Aşınan yüzeylerden itibaren yapıda herhangi bir değişim olup olmadığı araştırılmıştır.

Numuneler optik mikroskop için 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı SiC su zımparası ile her seferinde 90 °C döndürülerek zımparalanmıştır. Zımparalanan yüzeyler 1 µm' lik elmas pasta kullanılarak parlatılmış ve parlatılan numuneler dağlama işleminden önce ve sonra metalografik olarak incelenmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER

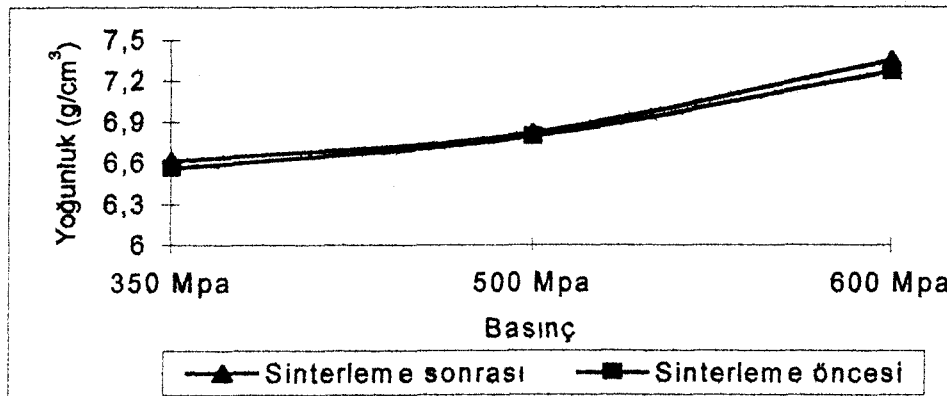
6.1.Karakterizasyon Sonuçları

Karıştırma, soğuk presleme ve sinterleme sonucunda bronz esaslı fren balata numunelerinin yoğunluk ve sertlik ölçüm sonuçları sırasıyla Çizelge 6.1 ve 6.2' de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Bronz esaslı fren balata numunelerinin presleme basıncına bağlı olarak sinterleme öncesi ve sonrasındaki yoğunluk değişimi ve teorik yoğunluğa yaklaşımı

Fren balata numuneleri	Presleme basıncı	Sinter. Öncesi Yoğunluk (g/cm ³)	Sinter. Öncesi Teorik Yoğ.Yak. %	Sinter. Sonrası Yoğunluk (g/cm ³)	Sinter. Sonrası Teorik Yoğ.Yak. %
T / M	350 MPa	6.566	74.7	6.615	75
	500 MPa	6.797	77.4	6.824	76
	600 MPa	7.270	82.8	7.354	83

T/M ile parça üretmede önemli bir özellik olan presleme basıncı ile yoğunluk artışı, bronz esaslı T/M fren balata numunelerinde de görülmüştür[Şekil 6.1]. Presleme basıncı 350 MPa' da sinterleme öncesi ve sonrası yoğunlukları sırası ile 6.566 g/cm³ ve 6.615 g/cm³ iken 600 MPa presleme basıncında yoğunluklar sırası ile 7.270 g/cm³ ve 7.354 g/cm³ 'e çıkmıştır. Ayrıca presleme basıncının artmasıyla teorik yoğunluğa yaklaşılmaktadır.



Şekil 6.1. Presleme basıncına bağlı olarak yoğunluk değişimi

Presleme basıncında %71'lik bir artış, hem sinterleme öncesi ve hem de sinterleme sonrası yoğunluklarında %15'lik bir artış sağlamıştır. Sinterleme sonrası yoğunluk artışı taneler arası metalurjik bağ oluşumu sırasında büzülmeye bağlı hacimsel küçülmedendir. Performans deneylerinde T/M ile karşılaştırmalı olarak incelenen asbest esaslı fren balata numunesinin yoğunluğu 2.029 g/cm^3 tür (Kale Balata A.Ş.).

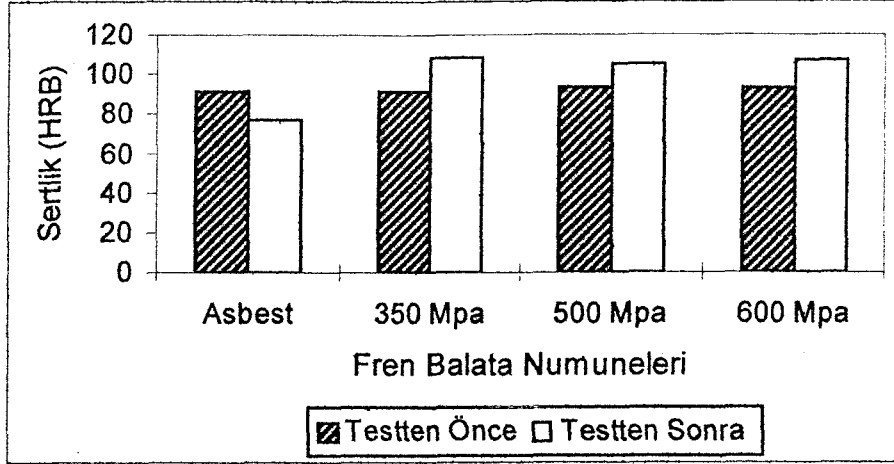
Bronz esaslı toz metal fren balata numunelerinin presleme basıncına bağlı olarak performans deneyi öncesi ve sonrası sertlik ölçümleri Çizelge 6.2' de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Bronz esaslı toz metal fren balata numunelerinin ve asbest esaslı fren balata numunelerinin performans deneyi öncesi ve sonrası sertlik ölçümleri

Fren balata numunesi		Asbest	350 MPa	500 MPa	600 MPa
Sertlik (HRB)	Deneyden Önce	91	91,50	93,66	93,16
	Deneyden Sonra	76,6	108,6	105,16	107,30

Balatalarda aşınma özelliğinin yanı sıra ısı iletme ve frenleme sırasında ezilme miktarı testleri de önemlidir. Ezilme miktarı oda sıcaklığında az ve sürtünmeye bağlı artan sıcaklıkla fazla olmaktadır. Ezilme miktarına bağlı olarak sıkışarak sertleşme meydana gelir. T/M balatalarda test sonrası sertlikte görülen artışın ezilmeye bağlı olduğu düşünülmektedir. T/M balatalarının gözenekli olması ezilme miktarını da artırmaktadır. Çizelge 6.2'de görüldüğü gibi düşük yoğunluklu numunede test sonrası ölçülen sertlik 108.6 HRB iken, yüksek yoğunluklu numunede 107.3 HRB olmuştur. Bu da gözenekli numunede ezilmenin daha fazla olduğunu ve buna bağlı sıkışmanın artmasıyla sertlikte artma meydana gelmiştir.

Asbest balatada deney sonrası sertlik düşmesi bu balatanın ısıyı iyi iletmemesi sonucu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.2 Presleme basıncı ile performans deneyi öncesi ve sonrasındaki sertlik değişimi.

6.2. Performans Deneyleri

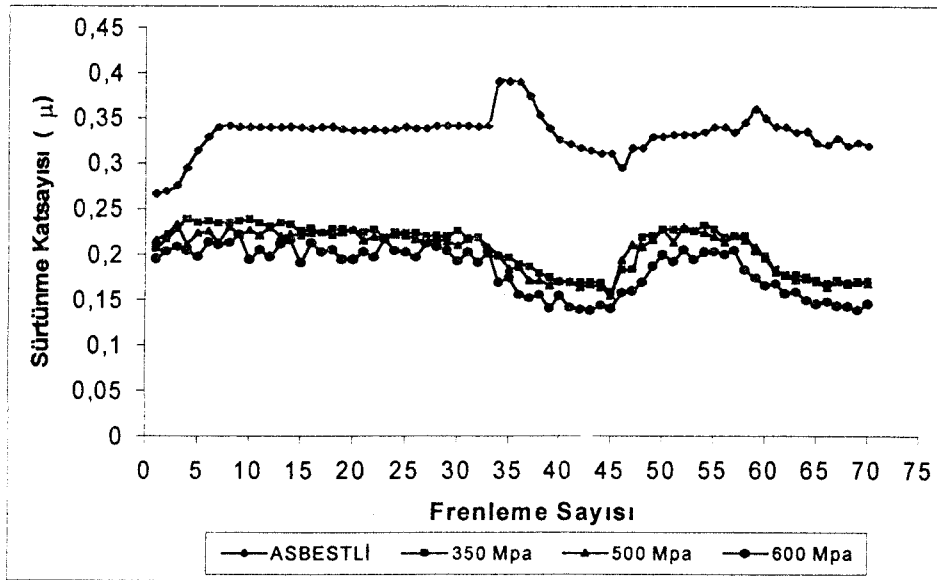
Dökme demirden üretilmiş dönen disk üzerine sabit basınç altında çift yönden iki adet balata deney numunesi Şekil 5.3'te gösterildiği gibi frenleme işlemi için sürtünmektedir. Fren balata aşınma deneyinde 5'er saniye aralıklarla 70 adet frenleme sonucunda dört farklı yoğunlukta hazırlanan balata numunesi üzerinde değişen sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerleri Çizelge 6.3 ve 6.4'te verilmiştir. Asbest esaslı balata numunelerinin ve T/M ile üretilen fren balata numunelerinin frenleme sayısı ile sürtünme katsayılarının değişimi Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Asbest esaslı balata numunelerinin ve T/M ile üretilen fren balata numunelerinin frenleme sayısı-sıcaklık değişimi Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Asbest esaslı balata numunelerinin ve T/M ile üretilen fren balata numunelerinin sıcaklık ile sürtünme katsayılarının değişimi Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Frenleme sayısına karşılık sürtünme katsayısının değişimi

FRENLEME SAYISI	FREN BALATA NUMUNESİ			
	ORTALAMA SÜRTÜNME KATSAYISI (μ)			
	ASBESTLİ	350 MPa	500 MPa	600 MPa
1	0,266	0,207	0,216	0,1955
2	0,268	0,2165	0,2225	0,2035
3	0,269	0,2285	0,2335	0,2085
4	0,295	0,239	0,2115	0,1545
5	0,315	0,2355	0,224	0,1915
6	0,33	0,237	0,226	0,2135
7	0,34	0,2205	0,213	0,211
8	0,342	0,2195	0,2305	0,3245
9	0,341	0,24	0,2225	0,222
10	0,34	0,2385	0,2265	0,1945
11	0,34	0,228	0,221	0,205
12	0,335	0,227	0,23	0,1975
13	0,337	0,229	0,24	0,212
14	0,334	0,2335	0,238	0,2155
15	0,337	0,226	0,24	0,191
16	0,341	0,229	0,224	0,213
17	0,337	0,224	0,2245	0,203
18	0,341	0,2285	0,2215	0,2055
19	0,338	0,2285	0,2245	0,207
20	0,337	0,226	0,227	0,207
21	0,337	0,225	0,2155	0,203
22	0,338	0,228	0,2195	0,197
23	0,337	0,219	0,2185	0,2175
24	0,338	0,221	0,2225	0,204
25	0,341	0,2145	0,221	0,203
26	0,339	0,224	0,2165	0,197
27	0,339	0,2205	0,215	0,2125
28	0,342	0,209	0,2235	0,209
29	0,342	0,2195	0,221	0,204
30	0,342	0,226	0,214	0,193
31	0,342	0,2185	0,217	0,203
32	0,335	0,219	0,219	0,1915
33	0,338	0,2005	0,2085	0,2035
34	0,391	0,176	0,1995	0,1695
35	0,391	0,182	0,1845	0,1745
36	0,39	0,175	0,186	0,156
37	0,375	0,1665	0,172	0,152
38	0,354	0,1635	0,172	0,156
39	0,339	0,1645	0,1665	0,141
40	0,327	0,16	0,171	0,1545
41	0,322	0,159	0,1715	0,1415
42	0,318	0,1605	0,166	0,1395
43	0,315	0,1575	0,1685	0,1385
44	0,311	0,1565	0,165	0,144
45	0,311	0,1585	0,1545	0,1405

Çizelge 6.3'ün devamı

46	0,295	0,1835	0,194	0,158
47	0,317	0,184	0,211	0,1595
48	0,317	0,21	0,2085	0,1695
49	0,33	0,2085	0,216	0,187
50	0,33	0,225	0,2275	0,1995
51	0,332	0,2245	0,2135	0,192
52	0,332	0,227	0,2305	0,2055
53	0,332	0,2255	0,226	0,1945
54	0,335	0,231	0,224	0,2025
55	0,34	0,2265	0,2195	0,203
56	0,34	0,2165	0,2135	0,2005
57	0,335	0,2165	0,2205	0,204
58	0,345	0,2205	0,2155	0,1825
59	0,36	0,203	0,2085	0,1745
60	0,35	0,198	0,196	0,166
61	0,341	0,183	0,1805	0,168
62	0,34	0,178	0,177	0,157
63	0,335	0,1645	0,1715	0,1585
64	0,336	0,1695	0,1735	0,1495
65	0,323	0,163	0,1705	0,1455
66	0,321	0,1645	0,164	0,148
67	0,328	0,1615	0,1705	0,1435
68	0,32	0,154	0,1675	0,1425
69	0,323	0,161	0,1695	0,139
70	0,32	0,171	0,1685	0,1455



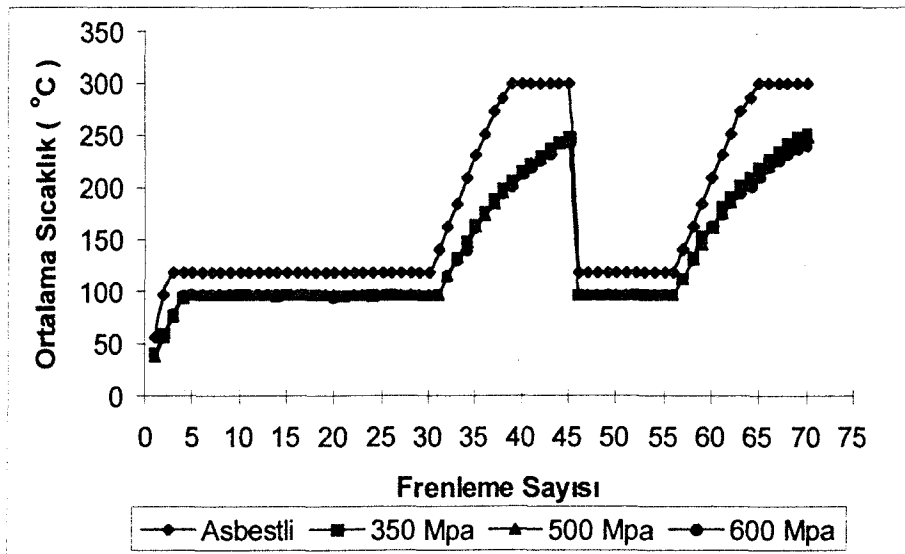
Şekil 6.3. Frenleme sayısı ile sürtünme katsayısının değişimi

Çizelge 6.4. Frenleme sayısı ile ortalama sıcaklığın değişimi

FRENLEME SAYISI	FREN BALATA NUMUNESİ			
	ORTALAMA SICAKLIK (°C)			
	ASBESTLİ	350 MPa	500 MPa	600 MPa
1	57	40	37	39
2	97	60	56	59
3	119	77	76	78
4	119	94	94	95
5	119	96	97	97
6	119	96	97	97
7	119	96	97	97
8	119	96	97	97
9	119	96	97	97
10	119	97	97	96
11	119	96	97	97
12	119	96	97	97
13	119	96	97	97
14	119	96	96	97
15	119	97	97	97
16	119	96	97	96
17	119	97	97	97
18	119	97	97	97
19	119	96	97	96
20	119	96	97	94
21	119	96	96	95
22	119	96	97	95
23	119	96	97	96
24	119	97	96	95
25	119	96	97	96
26	119	97	97	96
27	119	96	97	96
28	119	96	97	96
29	119	96	97	95
30	119	96	97	96
31	140	97	97	96
32	163	114	115	115
33	185	133	133	132
34	209	149	147	141
35	231	164	162	161
36	251	177	174	174
37	273	189	184	186
38	286	199	196	195
39	300	207	205	201
40	300	215	214	211
41	300	222	223	218
42	300	229	228	225
43	300	237	236	232
44	300	243	242	242

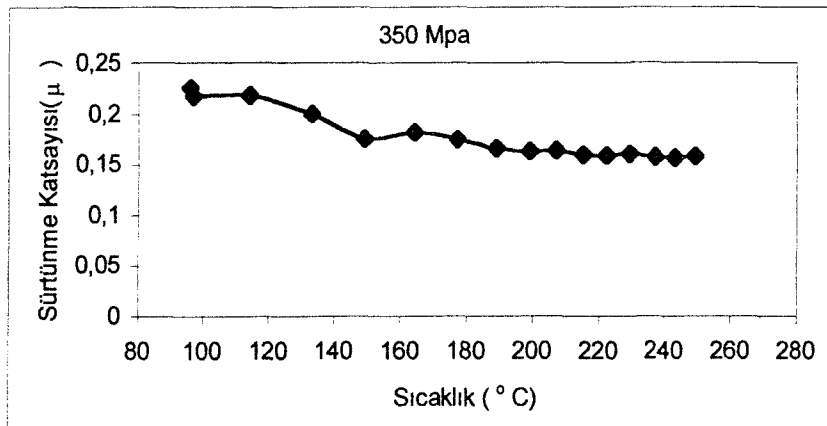
Çizelge 6.4'ün devamı

45	300	249	246	242
46	119	97	97	97
47	119	96	97	96
48	119	96	97	96
49	119	96	97	97
50	119	96	97	96
51	119	96	97	96
52	119	97	97	96
53	119	97	97	97
54	119	96	97	97
55	119	97	97	97
56	119	96	97	97
57	140	113	113	113
58	163	133	132	132
59	185	153	146	147
60	209	161	162	163
61	231	181	175	173
62	251	190	186	185
63	273	201	198	193
64	286	210	206	202
65	300	219	214	210
66	300	226	221	217
67	300	235	230	224
68	300	242	236	230
69	300	248	243	237
70	300	251	249	240

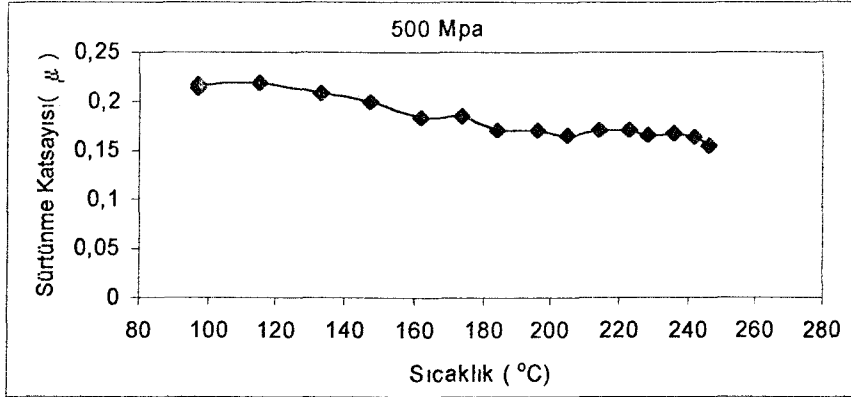


Şekil 6.4. Frenleme sayısı ile sıcaklık değişimi

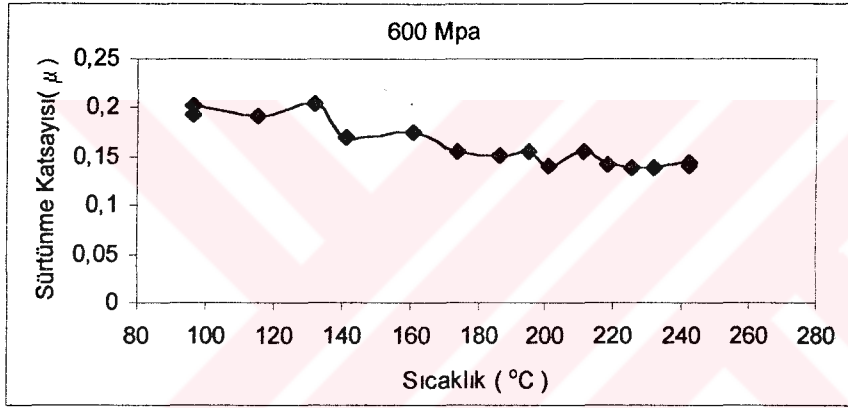
Sürtünme sırasında frenlerde sürtünme katsayısı başlangıçta yüksek sonra bir miktar düşmektedir. Frenlerde sürtünme katsayısının frenleme süresince sabit kalması istenir. Şekil 6.3'te görüldüğü gibi sürtünme katsayısı genelde sabit denilebilecek bir şekilde değişmektedir. Sıcaklığın artmasıyla sürtünme katsayısında düşme olması doğal bir sonuçtur. Asbestli ve T/M balatalarda frenleme sırasında ortaya çıkan sıcaklık malzeme özelliğine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Frenleme sıcaklığının değişimi incelenecek olursa asbest esaslı balatada sıcaklığın her frenleme için yüksek olduğu görülmekte, bununla beraber T/M balatalarda sıcaklığın yoğunluğa bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi de T/M balatalarda düşük yoğunluklarda gözenekler yalıtkanlık görevi yapmakta ve yüksek yoğunlukla T/M balatalarda gözeneklilik oranı azaldığı için ısı iletkenlik de artmaktadır. Metal balataların ısı iletkenliklerinin asbestli balatalara veya organik balatalara göre daha iyi olmasına bağlı olarak aynı frenleme sayısında örneğin 40 frenleme sonunda balata sıcaklığı 200 ° C iken asbestli balatada bu değer 300 ° C' dir. Bu, toz metal fren balata için bir avantaj oluşturmaktadır. Ancak toz metal balataların aşınma miktarı asbestli balatalara göre daha fazla olmuştur (Çizelge 6.5).



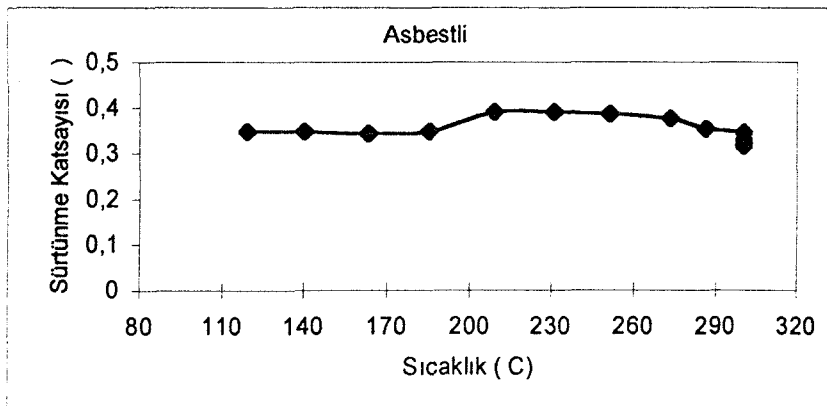
Şekil 6.5. 350 MPa presleme basıncında üretilen balata numunesinin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi



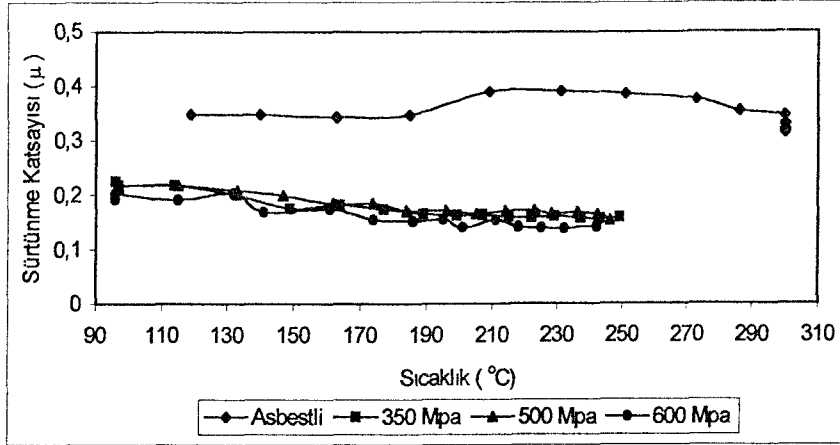
Şekil 6.6. 500 MPa presleme basıncında üretilen balata numunesinin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi



Şekil 6.7. 600 MPa presleme basıncında üretilen balata numunesinin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi



Şekil 6.8. Asbest esaslı balata numunesinin sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi



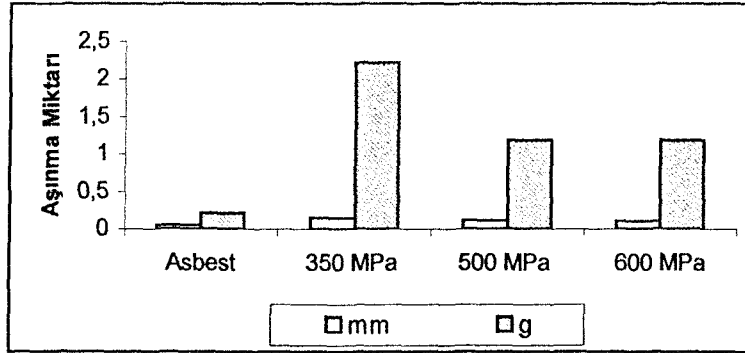
Şekil 6.9. Balata numunelerinin sıcaklık ile sürtünme katsayılarının değişiminin birlikte gösterimi

Fren balata aşınma deneyi sonucunda ölçülen ağırlık ve kalınlık cinsinden aşınma miktarları Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Dört farklı numune grubu için ölçülen aşınma miktarları

		FREN BALATA NUMUNESİ			
		Asbest	350 MPa	500 MPa	600 MPa
Aşınma Miktarı	mm	0,05	0,145	0,115	0,105
	g	0,22	2,215	1,185	1,184

T/M ile üretilen fren balata numunelerinde aşınma miktarı, presleme basıncındaki artış ile azalmıştır. Asbest ile üretilen numunenin aşınma miktarı ise T/M ile üretilen balata numunelerine göre çok daha düşüktür. Toz metal balatalardaki aşınma kaybının fazla olması yüzeye açık gözeneklerden frenleme sürtünme sırasında kütleli partikül kopmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.10. Asbest ve T/M ile üretilmiş fren balata numunelerinin g. ve mm. cinsinden aşınma miktarları

Performans deneyleri sonucunda aşınan numunelerin aşınma oranları ve aşınma dirençleri sırası ile denklem 1 ve denklem 2'ye göre hesaplanarak Çizelge 6.6'da verilmiştir.

$$W_a = \Delta G / d \times M \times S \dots \dots \dots \text{Denklem 1}$$

$$W_r = 1 / W_a \dots \dots \dots \text{Denklem 2}$$

Burada ;

W_a : aşınma oranı (mm^3 / Nm),

ΔG : aşınma miktarı (g),

d : yoğunluk (g / mm^3),

M : uygulanan yük (N)

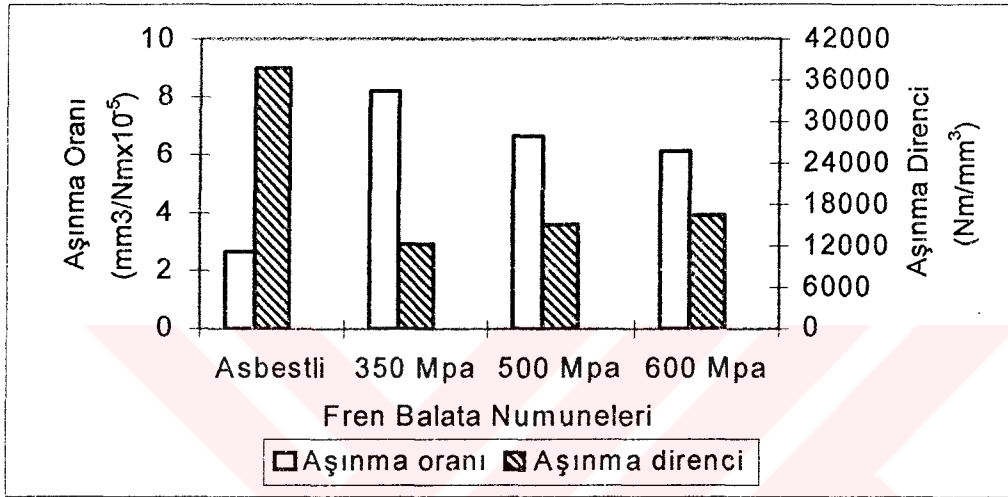
S : ise kayma mesafesi (m)

Deney numunesi 5'er saniye aralıklarla yapılan 70 frenleme sonunda 1137.5 m yol almıştır. Fren diskine temas eden balata yüzey alanı $24.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ve frenleme basıncı $14.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ (14.5 bar) olduğuna göre uygulanan yük ;

Frenleme basıncı = Uygulanan yük (M) / Balata alanı ise $M = 3596 \text{ N}$ bulunur.

Çizelge 6.6. Dört farklı numune grubu için hesaplanan aşınma oranları ve aşınma dirençleri

	FREN BALATA NUMUNESİ			
	Asbest	350 MPa	500 MPa	600 MPa
Aşınma oranı mm^3/Nm	2.651×10^{-5}	8.186×10^{-5}	6.284×10^{-5}	6.125×10^{-5}
Aşınma direnci Nm/mm^3	37762.94	12215.94	15088.23	16348.46



Şekil 6.11. Balata numunelerinin aşınma oranı ve aşınma dirençleri

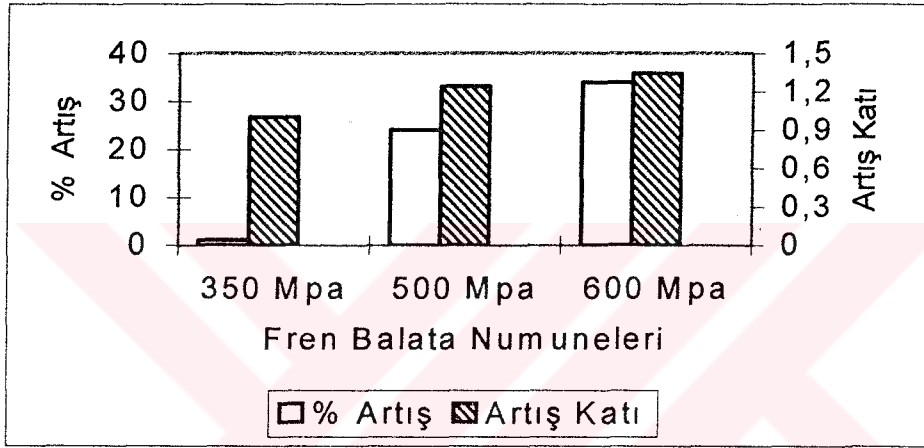
T/M ile üretilen fren balata numunelerinin aşınma oranları asbest esaslı fren balata numunesine göre yüksek iken aşınma dirençleri düşük bulunmuştur. T/M ile üretilen fren balata numunelerinin presleme basıncındaki artışa bağlı olarak aşınma oranı düşerken, aşınma dirençleri artma eğilimi göstermiştir.

350 MPa presleme basıncında üretilen numuneye göre 500 ve 600 MPa basınçlarda üretilen fren balata numunelerinin aşınma dirençlerindeki artış yüzdesi ve artış katları Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. T/M ile üretilen fren balata numunelerinin presleme basıncına göre aşınma dirençlerindeki % artış ve artış katları

Fren Balatası	% Artış	Artış Katı
350 MPa	1	1
500 MPa	24	1,24
600 MPa	34	1,34

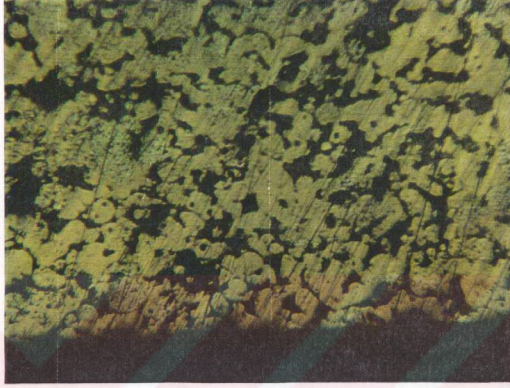
Şekil 6.12’de T/M ile üretilen fren balata numunelerindeki presleme basıncı ile % artış ve artış katları verilmiştir. 350 MPa presleme basıncında üretilen T/M fren balatasına kıyasla 500 MPa presleme basıncında üretilen balata numunesinin aşınma direnci % 24 (1.24 kat) artarken 600 MPa presleme basıncında üretilen fren balata numunesinin aşınma direnci % 34 (1.34 kat) artış göstermiştir.



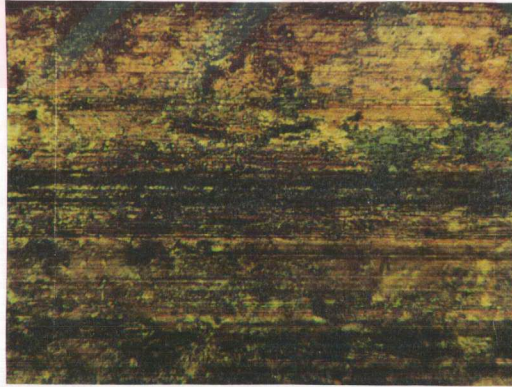
Şekil 6.12. T/M ile üretilen fren balata numunelerindeki presleme basıncına göre aşınma direncindeki % artış ve artış katları.

EKLER

Ek-1 : Ülkeler, nüfus yüzölçüm, karayolu uzunlukları, kaza sayısı motorlu taşıt sayısı gösterir cetvel	234
Ek-2 : İmar adaları özet cetveli.....	235
Ek-3 : D.O.P. hesap cetveli.....	236
Ek-4 : Parselasyon plan örneği	237
Ek-5 : İmar planı örneği.....	238
Ek-6 : Kamulaştırma yönetimi akış şeması	239
Ek-7 : Kamulaştırma planı.....	240
Ek-8 : Kamulaştırma cetveli	241
Ek-9 : Koordinat özet çizelgesi.....	242
Ek-10 : Çınaroba kasabası başpafta örneği.....	243
Ek-11 : Toplulaştırma sonrası mülkiyet dokusu.....	244
Ek-12 : Arazi toplulaştırma özeti.....	245
Ek-13 : Toplulaştırma öncesi mülkiyet dokusu.....	246
Ek-14 : Kıymet takdir komisyonu rapor örneği.....	247
Ek-15 : İmar kanuna göre arsa ve arazi düzenlemesi aşamaları.....	248
Ek- 16: Kamulaştırma davalarına ilişkin basına yansıyan bir örnek	249
Ek- 17: Karayolu geometrik standartları	250
Ek- 18: İmar planlamasına ilişkin diğer tanımlar	251
Ek- 19: Gelişim aşamalarına göre kadastro türleri	253
Ek- 20: Arazi toplulaştırması ile ilgili diğer tanımlar.....	255



Şekil 6.15. 600 MPa presleme basıncında preslenmiş T/M Fren balata numunesinin optik mikroskop görüntüsü x 100



Şekil 6.16. T/M Fren balata numunesinin optik mikroskop aşınma yüzey görüntüsü x 100

T/M balata malzemelerin metalografik incelemelerinde yoğunlaşma kademeleri net olarak görülmektedir. Artan sıkıştırma basıncıyla toz metal malzemelerde gözenek miktarında azalma ve gözenek boyutunda küçülme görülmektedir. 350, 500, ve 600 MPa' da preslenip, sinterlenen numunelerde gözenek miktarındaki değişim görülmektedir. (Şekil 6.13., 6.14. ve 6.15.). Sıkıştırmayla azalan gözenekler, sinterleme işlemi ile de küçük gözenekler kaybolurken gözenek boyutu büyük olanlar diğer gözenekler ile birleşerek gözenek büyümesi olmaktadır. Yüksek presleme basıncındaki numunede görülen iri gözenekler çevresindeki kritik yarıçaptan küçük gözeneklerin iri gözeneklerle birleşmesi sonucudur.

Aşınmış yüzeylerde (Şekil 6.16.) aşınmaya bağlı renk değişimi meydana gelmekle beraber, renk değişimi yüzeylerin pürüzlülüklerinde görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Toz metal balatalar ısı iletkenliklerinin iyi olması nedeniyle sürtünme sırasında daha az ısınmaktadırlar.
2. Toz metal balatalarda sürtünme sırasında yüzeye açık gözeneklerden partikül kopmasına baēlı olarak daha fazla aşınma görülmektedir.
3. Toz metal balatalarda aşınma kayıplarını azaltmak için yüksek yoēunluklara çıkılmalıdır.
4. Toz metal balata üretiminde çeşitli seramik tozu ilavesi ile aşınma kayıpları azaltılabilir.
5. Aşınma kayıplarını azaltmak için sinterlemeyi iyileştirici katkı elemanları ilave edilmelidir.
6. Deēiřik bileşim ve test şartlarında deneyler yapılarak T/M balatalarının performansları belirlenerek kullanım miktarının artırılmasına çalışılmalıdır.
7. Fren gürültü testleri de ayrıca denenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Reinsch, E. W., 1970, Sintered metal brake linings for automotive applications, Delco-Moraine division, General motors corp dayton, Chapter 2, 9-21, Ohio.
2. Mahdribin, Z. B., 1995, Analysis of disc brake squeal using the finite element method, Department of mechanical engineering, **Ph.D, Thesis**.
3. **Powder metallurgy practice and aplication**, 1966, Sintered friction materials, Chapter 9, 198-203.
4. **Powder metallurgy for engineerings**, 1970, Sintered metal friction materials Chapter 10,
5. Kato, T., Akira, M., 1994, The wear of aramid fiber reinforced brake pads, **Tribology Transactions**, V.37, 559-565, The University of Tokyo, Japan.
6. Handa, Y., Kato, T., 1996, Effects of Cu powder, BaSO₄ and cashew dust on the wear and friction characteristics of outomotive brake pads, **Tribology Transactipns**, V-39(2), 346-353, The Universty of Tokyo, Japan.
7. Gemalmayan, N., 1983, Hava kirliliğinde gizli tehlike asbest, **Tubitak Bilim ve Teknik Dergisi**, V-16, 32-33, Ankara.
- 8- Gemalmayan, N., 1984, Sürtünme malzemelerinin özelliklerinin deneysel incelenmesi, Gazi Üniversitesi Müh. Mimar. Fak., **Doktora Tezi**, Ankara.
- 9- Uygur, M. E., 1996, Balata üretim teknolojisi, **I. Ulusal Toz metalurjisi kongresi**, Bildiriler kitapçığı, Gazi Üniversitesi , Ankara.

- 10- Libsch, T. A., Rhee, S.K., 1978, Microstructural changes in semimetallic disc brake pads created by low temperature dynamometer testing, **Wear**, V-46, 208-212.
- 11- Liu, T., Rhee, S. K., 1978, High temperature wear of semimetallic disc brake pads, **Wear**, V-46, 213-218.
12. Uygur, M. E., 1986, Toz metalurjisi seminer notları, **SEGEM**, İstanbul.
13. Öveçoğlu, M. L., 1997, Toz metalurjisi tarihsel gelişim, üretim aşamaları ve yeni eğilimler, **9. Uluslararası metalurji ve malzeme kongresi**, 449-475, İstanbul, Türkiye.
14. Uygur, M. E., 1996, Toz metalurjisi ekonomik bir üretim tekniği, **1. Ulusal toz metalurjisi konferansı**, Gazi Üniversitesi, Ankara.
15. Powder Metallurgy Industry, 1995, Facts, 14.11.1997, <http://www.mpif.org/indust.html>, s.1-3.
16. Ersümer, A., 1970, Toz metalurjisi sert metal sinterleme , **İstanbul üniversitesi matbaası**, Gümüşsuyu, İstanbul.
17. Tsukeman, S. A., Robert, E.H., Massey, H.S.H., 1965, Powder metallurgy, **Lecturer in Metallurgy**, Universty of Sheffield, pp. 1-9, England.
18. German, R. M., 1994, Powder metallurgy science, **Metal powder industries federation**, Princeton, pp. 84-125.
19. Kurt, A., 1992, Toz metal bronz yatak malzemelerin özellikleri, **Yüksek lisans tezi**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
20. Roll, K.H., 1984, History of powder metallurgy, **Metals Handbook**, 9th edition, Vol.7, ASM Metals park, Ohio.

21. Thimmler, F., Oberacker, R., 1993, Introduction to powder metallurgy , Printed and bound in Great Britain at the university press, Cambridge.
22. Uygur, E.M., 1979, Metal tozlarının imali, **ODTÜ Uygulamalı araştırmalar dergisi**, cilt.2, sayı.5, Ankara.
23. Lawley, A., Apelian, D., Process control in powder metallurgy, Department of materials engineering, Drexel university, Philadelphia, USA.
24. Ekşi, A., 1996, Metal tozu üretim teknikleri, **Endüstriyel teknoloji**, cilt.2, sayı.2, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
25. Kara, H., Çelebi, İ. M., Aslanoğlu, Z., Öveçoğlu, M. L., 1995, Elementel volfram ve karbon tozlarının mekanik alaşımlama, sinterleme süreçleri ve karakterizasyonu, **8. Uluslararası metalurji ve malzeme kongresi**, 607-613, İstanbul, Türkiye.
26. The fundamental principles of powder metallurgy, 1997, **Powder metallurgy**, papers/powder metallurgy.html, pp.1-7.
27. Tanberk, O., 1997, Toz metalurjisinde Türkiye'nin yeri, **9. Uluslararası metalurji ve malzeme kongresi**, 11-15, İstanbul, Türkiye.
28. Topbaş, M. A., 1993, Endüstri malzemeleri, cilt.2, 219-264, Yıldız, İstanbul.
29. Gediktaş, M., 1968, Sürtünme malzemelerinin deneysel tayini, **İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu**, İstanbul.
30. Yılmaz, F., 1997, Sürtünme ve aşınma, **9. Uluslararası metalurji ve malzeme kongresi**, 229-247, İstanbul, Türkiye.

31. Ashby, M., Jones, R. H. D., 1996, Friction and wear engineering materials, **Cambridge University**, England.
32. Kayalı, E. S., 1996, Aşınma ve kaplı takımların aşınması, Nato-TU PVD kaplamaları projesi, **İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi**, İstanbul.
33. Fedorchesco, I. M., Kırýachek, V. M., 1970, New sintered friction materials, **Friction and antifriction materials**, N.Y., London.
34. Kjeldsteen, P., Trilk, N., Wear map production on P/M materials and the defination of transition, **The Danish for powder metallurgy**, Nordborg, Denmark.
35. Testing for materials selection, 1990, **Advanced materials and processes**, V. 137, Issue.6, pp.5-16.
36. Trilk, N. C., Eyre, T. S., Tribology Methodology, **Brunel University**, Kingston Lane, Uxbridge, U.K. (Fax: +895232806)
37. Klar, E., 1983, Powder metallurgy, **Metals Handbook 9th edition**, by the American society for metals, Chapter 25, pp.1-14, USA.
38. Demirsoy, M., 1973, Balatalar, **Mühendis ve Makina**, cilt.17, sayı.189, 157-170, Ankara.
39. TSE- 555, **Türk Standartları**, 1992, Automotive brake lining for road vehicles, Ankara.
40. Fedorchesco, I. M., Pamaioti, I.I., Derkacheva, G.M., Dzykovich, I.Y., Gordon, G.N., 1970, Studies of friction materials, **Friction and antifriction materials**, pp.139-150, N.Y., London.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında İspir’de doğdu. İlk Öğrenimini İspir Yatılı İlk Öğretim Bölge Okulu’nda, Lise öğrenimini Yatılı Endüstri Meslek Lisesi’nde tamamladı. 1991 yılında başlamış olduğu Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Metal Öğretmenliği Programını 1995 yılında bitirdi. Mezuniyetine müteakiben, Milli Eğitim Bakanlığı’na bağlı Bilecik Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi’nde 1 yıl görev yaptı. 1997 yılında Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen bu görevine devam etmektedir.



TEK. FAKÜLTESİNİN GÖREVLİSİ
KURUM BAŞKANLIĞI
KURUM BAŞKANLIĞI