



**DEMİRYOLU ARAÇLARINDA KULLANILAN
DÖKME DEMİR SABOLARIN MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE BN İLAVESİNİN
ETKİSİ**

Gülcan TIĞCI

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**DEMİRYOLU ARAÇLARINDA KULLANILAN DÖKME DEMİR
SABOLARIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE BN
İLAVESİNİN ETKİSİ**

Gülcan TİĞCI

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**KARABÜK
Ekim 2020**

Gülcan TİĞCI tarafından hazırlanan “DEMİRYOLU ARAÇLARINDA KULLANILAN DÖKME DEMİR SABOLARIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE BN İLAVESİNİN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr.Üyesi Harun ÇUĞ
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/08/2020

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ (KÜ)

...../...../2020

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Gülcan TIĞCI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEMİRYOLU ARAÇLARINDAKİ FREN MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Gülcan TIĞCI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr.Üyesi Harun ÇUĞ

Ekim 2020, 71 sayfa

Bu çalışmada, lokomotiflerde kullanılan dökme demir saboların karakterize edilip, dökme demir saboların kimyasal kompozisyonuna bağlı kalarak toz metalurjisi yöntemi kullanılarak BN (Bor Nitrür) ilavesi ile BN ilavesinin aşınma performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda dökme demir sabolar kimyasal olarak analiz edilmiş ve tüm elementler toz halinde temin edilmiş, ardından BN ilave edilmiş toz kompozisyonları soğuk ve sıcak presleme tekniği ile üretilmiştir. BN'süz, %0.25, %0,5 ve %1 BN ilaveli olmak üzere toplamda 4 farklı kompozisyon oluşturulmuştur. Soğuk presleme oda şartlarında 10 mm çapa sahip çelik kalıp içerisinde 700 MPa basınç altında yapılmıştır. Sıcak presleme 15 mm çapa sahip grafit kalıpta argon atmosferinde 45 MPa basınç altında 900 °C sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Daha sonra soğuk ve sıcak preslenen numuneler 1200 °C sıcaklığında 2 saat süre ile argon atmosferinde sinterlenmiştir. Üretimi yapılan kompozisyonlar yoğunluk ölçümü, mikroyapı inceleme, mikro sertlik ölçümü ve kuru aşınma testine tabi

tutulmuştur. Yoğunluk ölçümlerinde genel olarak sıcak preslemeye tabi tutulan numunelerin yoğunlukları soğuk presleme işlemine nazaran daha yüksek çıkmıştır. Sertlik değeri BN ilavesi ile paralel olarak azalırken, aşınma verilerinde ise BN ilavesi ile kütle kaybında azalma görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Sabo, toz metalurjisi, mikroyapı, mekanik özellikler, aşınma.

Bilim Kodu : 914.3.019

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF BN ADDITION ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF CAST IRON BRAKE SHOES USED IN RAILWAY VEHICLES

Gülcan TIĞCI

Karabük University

Graduate Education Institute

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Harun ÇUĞ

October 2020, 71 pages

In this study, it was aimed to characterize the cast iron sabots used in locomotives and to investigate the effect of BN addition and BN addition on the wear performance using the powder metallurgy method by adhering to the chemical composition of the cast iron sabots. In this context, cast iron sabers were chemically analyzed and all elements were supplied in powder form, and then BN added powder compositions were produced by cold and hot pressing technique. A total of 4 different compositions were created without BN, with 0.25%, 0.5% and 1% RH addition. Cold pressing was made in a steel mold with a diameter of 10 mm under 700 MPa pressure under room conditions. Hot pressing was carried out in a graphite mold with a diameter of 15 mm in an argon atmosphere under 45 MPa pressure at 900 °C. Then the cold and hot pressed samples were sintered at 1200 °C for 2 hours in argon atmosphere. The compositions produced were subjected to density measurement, microstructure

examination, micro hardness measurement and dry wear test. Generally, in density measurements, the densities of the samples subjected to hot pressing were higher than the cold pressing process. While the hardness value decreased in parallel with the addition of BN, a decrease in mass loss was observed with the addition of BN in the wear data.

Key Word : Brake shoe, powder metallurgy, microstructure, mechanical properties, wear.

Science Code : 914.3.019

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr.Üyesi Harun ÇUĞ'asonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Toz metalurjisi ile ilgili deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN'e, Kardemir A.Ş Mekanik ve Fizik Test Labratuvarında çalışan ARKIN ARKUN ve ŞULE DUYGU'ya teşekkür ederim.

Bana çalışmamda özveri ile yaklaşp büyük destek olan sevgili Nurettin KARGAOĞLU'na ve çalışmalarımı destekleyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
FREN	3
2.1. DEMİRYOLU ARAÇLARINDA FRENLEMENİN TARİHSEL GELİŞİMİ 3	
2.2. DEMİRYOLU ARAÇLARI FREN SİSTEMLERİ	4
2.2.1. Vakumlu Fren Sistemi	5
2.2.2.Havalı Fren Sistemleri	6
2.2.2.1. Otomatik Havalı Fren Sistemi	6
2.2.2.2. Düz Hava Fren Sistemi	7
2.2.2.3. Tek Borulu Kademeli Tahliye Havalı Fren Sistemi	8
2.2.2.4. İkiz Borulu Kademeli Tahliye Havalı Fren Sistemi	8
2.2.3. Elektrodinamik Fren Sistemi	9
2.2.4. Mekanik Fren Sistemi.....	11
2.2.5. Elektromanyetik Fren Sistemi	12
2.3. FREN SABOLARI.....	14
2.3.1. Sabo Çeşitleri.....	15
2.3.1.1. K Tipi Sabo	17

	<u>Sayfa</u>
2.3.1.2.LL Tipi Sabo	18
BÖLÜM 3	21
AŞINMA	21
3.1. KAYMA MESAFESİ İLE AŞINMA HACMİ VE AŞINMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞİŞİMİ	22
3.2. AŞINMA ORANLARI VE AŞINMA YÜZEYLERİNİN ÇEŞİTLERİ	23
3.3. AŞINMA TİPLERİ VE MEKANİZMALARI.....	25
3.3.1. Adhesif Aşınma	25
3.3.2. Abrasif Aşınma	26
3.3.3. Eroziv Aşınma	27
3.3.4. Yorgunluk/Delaminasyon Aşınma	27
3.3.5. Korozif Aşınma	28
3.4. YAĞLAMA.....	28
BÖLÜM 4	30
TOZ METALURJİSİ	30
4.1. METAL TOZLARI	32
4.1.1. Mekanik Yöntemler	32
4.1.2. Kimyasal Yöntemler	32
4.1.3. Elektroliz Yöntemi.....	33
4.1.4. Atomizasyon Yöntemi.....	34
4.2. TOZ İŞLEME.....	35
4.3. TOZ METALURJİSİ MALZEME ÖZELLİKLERİ	37
4.3.1. Metal Tozlarını Birleştirmek İçin İşleme Seçenekleri.....	38
4.4. TAM YOĞUNLUK İŞLEMLERİ.....	40
4.5. SON İŞLEMLER	41
4.6. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	43
BÖLÜM 5	44
LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	44

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	48
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
6.1. GİRİŞ.....	48
6.2. DENEYSEL ÇALIŞMADA İZLENEN İŞLEM BASAMAKLARI	48
6.3. DENEYSEL ÇALIŞMA ORTAMI.....	49
6.4. DENEYSEL ÇALIŞMA İÇİN GEREKLİ OLAN TOZLARIN TEMİNİ.....	49
6.5. TOZLARIN KARIŞTIRILMASI VE SIKIŞTIRILMASI	50
6.6. SİNTERLEME İŞLEMİ.....	52
6.8. OPTİK MİKROSKOP İNCELEMELERİ.....	54
6.8.1. Metalografik İncelemelerde Kullanılan Numunelerin Hazırlanması	54
6.8.2. Dağlayıcıların Hazırlanması ve Dağlama İşleminin Yapılması	55
6.9. NUMUNELERİN SERTLİK ÖLÇÜMLERİ VE AŞINMA DENEYİNİN UYGULANMASI	56
BÖLÜM 7	60
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	60
7.1. GİRİŞ.....	60
7.3. MİKROYAPI SONUÇLARI	62
7.4. SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI	64
7.5. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI	65
BÖLÜM 8	68
GENEL SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Otomatik havalı fren sistemi prensibi.....	6
Şekil 2.2. Düz hava fren sistemi prensibi.....	7
Şekil 2.3. Tek borulu kademeli tahliye havalı fren sistemi prensibi.....	8
Şekil 2.4. İkiz borulu kademeli tahliye havalı fren sistemi prensibi.....	9
Şekil 2.5. Elektrodinamik fren sistemi çalışma prensibi.....	10
Şekil 2.6. Cer motorundan tekerleklere fren gücü iletimi.....	11
Şekil 2.7. Tokyo 7000 serisi EMU tipi aracın bojisindeki disk frenler.	12
Şekil 2.8. Aks göbeğine bağlı bir disk fren örneği.....	12
Şekil 2.9. Elektromanyetik fren sistemi prensibi.	13
Şekil 2.10. Elektromanyetik frenin yandan görünüşü.....	14
Şekil 2.11. Kardemir’de bulunan DE10000 Tülomsaş lokomotiflerinde kullanılan kompozit sabo.....	15
Şekil 2.12. Döküm sabo ve kompozit sabolu tekerleklerin yuvarlanma yüzeyi.....	16
Şekil 2.13. Kod bulundurmeyen döküm sabo ve kod bulunduran K tipi kompozit sabo.....	18
Şekil 3.1. Tekrarlanan temaslarda üç temsili aşınma eğrisi tipi.....	22
Şekil 3.2. Temsili yüzeylerde yüzey pürüzlülüğü değişimi.	23
Şekil 3.3. Metalik malzemelerin özel aşınma oranının farklı yağlama koşullarında değişim dağılımı	23
Şekil 3.4. Farklı çalışma koşullarında üç çeşit seramikten oluşan aşınmış yüzey morfolojileri.....	24
Şekil 3.5. Adhesif aşınma örneği.	25
Şekil 3.6. Abrasif aşınma mekanizmasının şematik diyagramı. (a) Tek gövdeli aşınma. (b) İki gövdeli aşınma.....	27
Şekil 3.7. Yağlama yöntemleri. (a) Hidrodinamik yağlama. (b) Sınır yağlama. (c) Karışık yağlama.....	29
Şekil 4.1. Toz metalurji prosesi.....	31
Şekil 4.2. Kimyasal yöntemle demir tozu imalatı.....	33
Şekil 4.3. Kimyasal yöntemle demir tozu imalatı.....	34
Şekil 4.4. Atomizasyon yöntemi.....	35
Şekil 4.5. Metal tozlarının sıkıştırmasına yönelik üç temel yaklaşım.....	38

Sayfa

Şekil 6.1. Deneysel işlemlere ait akış şeması.....	49
Şekil 6.2. Tozların preslendiği kalıp	51
Şekil 6.3. Preslemede kullanılan hidrolik pres.....	52
Şekil 6.4. Atmosfer kontrollü sıcak pres.....	52
Şekil 6.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan atmosfer kontrollü ısıl işlem fırını	53
Şekil 6.6. Sinterleme işlemi gerçekleştirilen sade alaşımlı ve BN takviyeli kompozit malzemeler.....	53
Şekil 6.7. Nikon marka optik mikroskop.	54
Şekil 6.8. a) Yüzey hazırlama cihazı b) Hassas kesme cihazı c) Bakalit cihazı d) Yüzey hazırlama cihazı	55
Şekil 6.9. EMCO Test marka universal mikro sertlik cihazı.	57
Şekil 6.10. Tribometre aşınma test cihazı	58
Şekil 6.11. Mikroyapı, sertlik ve aşınma deneylerinin yapıldığı bakalite alınmış numuneler.	59
Şekil 7.1. Yoğunluk ölçüm sonuç grafiği	61
Şekil 7.2. Mikroyapı sonuçları	62
Şekil 7.3. Sertlik ölçüm sonuçları	65
Şekil 7.4. Aşınma testi kütle kaybı grafiği.....	66
Şekil 7.5. Üretimi yapılan numunelerin aşınan yüzey görüntüleri.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. K tipi ve LL tipi saboların karşılaştırılması.	19
Çizelge 6.1. Tozlar ve özellikleri.	50
Çizelge 6.2. Kompozit malzeme üretimi için kullanılan tozların kimyasal kompozisyonları	50
Çizelge 7.1. Yoğunluk ölçüm sonuçları.	61
Çizelge 7.2. Sertlik ölçüm sonuçları	64
Çizelge 7.3. Aşınma testi sonrası kütle kaybı veriler	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

BN	: bor nitrür
Al	: alüminyum
C	: karbon
Cr	: krom
Fe	: demir
Mn	: mangan
Ni	: nikel
Si	: silisyum
Cr ₂ O ₃	: krom oksit
NiO	: nikel oksit
μ	: Mikro

KISALTMALAR

TM : Toz Metalurjisi

DV : Distribütör Valfi

N : Newton

UIC : International Union of Railways (Uluslararası Demiryolları Birliği)

TCDD: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

EN : Europeane Norm (Avrupa Normu)

dB : Desibel

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, lokomotiflerde kullanılan dökme demir saboların karakterize edilip, dökme demir saboların kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak toz metalurjisi yöntemi kullanılarak BN (Bor Nitrür) ilavesi ile BN ilavesinin aşınma performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bölüm 2’de fren, demiryolu araçlarında frenlemenin tarihsel gelişimi, demiryolu araçları fren sistemleri, fren saboları yer almaktadır.

Bölüm 3’te aşınma, kayma mesafesi ile aşınma hacmi ve aşınma yüzey pürüzlülüğü değişimi, aşınma oranları ve aşınma yüzeylerinin çeşitleri, aşınma tipleri ve mekanizmaları, yağlama yer almaktadır.

Bölüm 4’te toz metalürjisi, metal tozları, toz işleme, toz metalurjisi malzeme özellikleri, tam yoğunluk işlemleri, son işlemler, toz metalurjisinin avantaj ve dezavantajları yer almaktadır.

Bölüm 5’te literatürde yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Bölüm 6’da deneysel çalışmalar, deneysel çalışmada izlenen işlem basamakları, deneysel çalışma ortamı, deneysel çalışma için gerekli olan tozların temini, tozların karıştırılması ve sıkıştırılması, sinterleme işlemi, yoğunluk ölçümü, optik mikroskop incelemeleri, numunelerin sertlik ölçümleri ve aşınma deneyinin uygulanması yer almaktadır.

Bölüm 7’de deneysel sonuçlar; yoğunluk ölçüm sonuçları, mikroyapı sonuçları, sertlik ölçüm sonuçları ve tartışmaya yer verilmiştir.

Bölüm 8’de genel sonuçlar yer alırken son olarak kaynakça ve özgeçmişe yer verilmiştir.

BÖLÜM 2

FREN

Frenler; yavaşlamayı sağlamak, hızlanmayı (yokuş aşağı) kontrol etmek veya park edildiklerinde stabil durmalarını sağlamak amacıyla demiryolu taşıtlarında kullanılır. Temel ilke karayolu taşıtına benzese de kullanım ve işletme özellikleri birden fazla bağlantılı vagonu kontrol etme ve ana taşıyıcı olmadan bırakılan taşıtlarda etkili olma ihtiyacı nedeniyle daha karmaşıktır. Herhangi bir fren sisteminin kontrolünde, araçta frenleme hareketini yöneten önemli faktörler; basınç, temasta olan yüzey alanı, ısı üretim miktarı ve kullanılan fren malzemesidir. İnsan hayatının ve fiziksel kaynakların güvenliğini göz önünde bulundurarak frenin temel gereksinimleri şunlardır:

1. Acil bir durumda aracı mümkün olan en kısa mesafeden durdurmak için fren yeterince güçlü olmalıdır.
2. Fren uygulaması sırasında kayma olmamalıdır ve acil durumlarda sürücünün araç üzerinde uygun kontrolü olması gerekir.
3. Frenlerin etkinliği, uzun süreli uygulamalarda sabit kalmalıdır.
4. Fren, sürücü bulunmasa bile aracı sabit bir konumda tutmalıdır [1].

2.1. DEMİRYOLU ARAÇLARINDA FRENLEMENİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Fren sistemine sahip ilk demiryolu taşıtları madenlerde raylar üzerinde çalışan küçük yük vagonlarıydı. Madenciler ahşap bir bloğu tekerleğe doğru itmek için bir kaldıraç sistemi kullanıyorlardı. Bununla birlikte, bu tür manuel frenler demiryolu taşıtının kütlesi ve hızı arttıkça yetersiz kalıyordu. Bu nedenle hareket gücü kullanılan fren sistemleri geliştirilmiştir.

1860'lı yıllarda ekspres trenler İngiltere'de yaklaşık 80 km/s hıza ulaşıyordu. Ancak o yıllarda bir trendeki tüm vagonlarda fren bulunmuyordu. Son vagona manuel fren

kullanan freni bulunur ve durulması gerektiği zaman lokomotifte bulunan makinist sinyal vermek için düdüğü kullanırdı. Bu ilkel sistem kaçınılabilecek birçok kazayana sebep oldu. Bu nedenle demiryolu şirketleri; vakumlu fren ve havalı fren sistemlerini geliştirdi. Bu iki sistemden sadece havalı frenler günümüzde kullanılmaktadır.

Bir Amerikalı olan George Westinghouse hava frenini icat etti. 1869 yılının Nisan ayında halkı havalı fren sistemi ile donatılmış bir Portekiz Demiryolu treninin deneme gösterisine davet etti. Tren, hemzemin geçitte durmuş olan bir at arabasına çarpmamak için acil fren yapmak zorunda kaldı. Bu ünlü olay, ABD'deki tüm büyük demiryollarının Westinghouse'un yeni hava freni sistemini benimsemesini sağladı. 1878'de Westinghouse, Galton tarafından İngiltere'de yapılan ünlü bir deneyde yer aldı. Bu deney boyunca 96 km/s hızla giden bir tren rekor kırarak sadece 183 metre mesafede durmayı başardı. Westinghouse'un 1879'da havalı fren sistemi için geliştirdiği üç valf, çok yakın bir zamana kadar sadece hafif modifikasyonlarla kullanılmaya devam edecek kadar yüksek bir tasarım standardına sahipti. Bir hava freni sisteminde basınçlı hava, piston tahrikli bir fren pabuçunu tekerleğe doğru iter. Fren pabuçları, dökme demir ve sentetik malzemeler dâhil olmak üzere birçok farklı maddeden yapılabilir. Bazı modern sistemlerde, frenleme kuvveti doğrudan tekerleğe uygulanmaz. Örneğin, bir disk fren sisteminde kuvvet, fren kaliperleri aks üzerine monte edilmiş veya tekerleğe takılı disklerin her iki tarafına sıkılarak uygulanır ve böylece tekerleği durdurur [2].

2.2. DEMİRYOLU ARAÇLARI FREN SİSTEMLERİ

Demiryolu taşıtlarında kullanılan fren, aktivasyon yöntemine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

1. Vakumlu fren sistemi
2. Havalı fren sistemi
3. Elektrodinamik fren sistemi
4. Mekanik fren sistemi
5. Elektromanyetik fren sistemi

2.2.1. Vakumlu Fren Sistemi

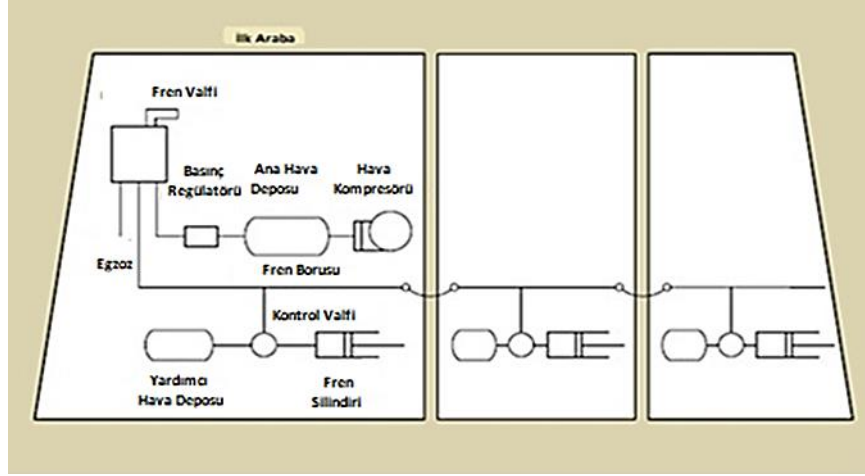
Vakumlu fren sistemi, fren kuvvetini vakumlu fren silindirinde pistonun alt tarafına etkiyen atmosferik basınçtan alırken pistonun üzerinde bir vakum bulunur. Tren borusu, antrenörün uzunluğu boyunca uzanır ve ardışık antrenörlerle hortum kaplini tarafından bağlanır. Vakum, tren borusunda ve vakum silindirinde lokomotif üzerine monte edilmiş ejektör veya aspiratör tarafından oluşturulur.

Vakumlu fren sistemi aşağıdaki sınırlamalara sahiptir:

1. Fren silindiri pistonunun tek bir tren borusu nedeniyle her fren uygulamasından sonra bırakması daha uzun sürer. Çok uzun bir trende, tam bir fren uygulaması için tren borusuna kayda değer miktarda hava verilmeli ve freni serbest bırakmak için kayda değer miktarda hava boşaltılmalıdır.
2. Vakumlu frenler yüksek hızlı trenler için uygun değildir. Fren uygulaması için mevcut maksimum basınç sadece atmosferiktir. Fren gücü yüksek yükler ve hız için yetersizdir.
3. Vakumun ulaşılabilirliği üzerindeki pratik sınır, fren blokları üzerinde gerekli kuvveti oluşturmak için çok büyük bir fren pistonu ve silindirin gerektiği anlamına gelir.
4. Tren borusundaki vakumun varlığı döküntülerin emilmesine neden olabilir [3].

2.2.2.Havalı Fren Sistemleri

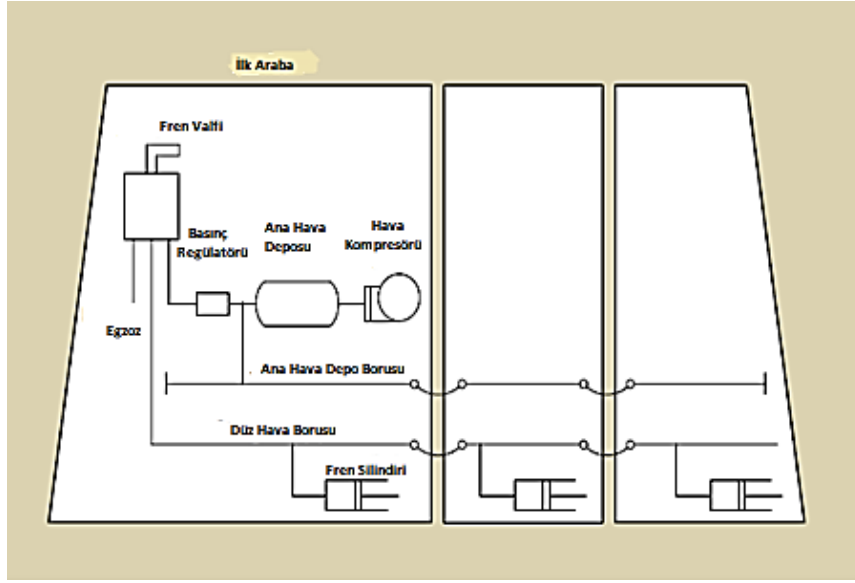
2.2.2.1. Otomatik Havalı Fren Sistemi



Şekil 2.1.Otomatik havalı fren sistemi prensibi.

Şekil 2.1’de otomatik bir hava freni sistemi gösterilmektedir. Her iki ile dört vagona monte edilen hava kompresörleri, hava frenlerine basınçlı hava sağlar. Yaklaşık 8 kg/cm²’ye kadar sıkıştırılan hava antrenör tabanlarının altına ana hava deposuna bağlanır. Basınç regülatörü ile hava basıncı 5 kg/cm²’ye düşürülür ve hava; fren valfi, fren boruları ve kontrol valfleri vasıtasıyla yardımcı hava deposuna verilir. Fren borularındaki her bir antrenörün yardımcı hava deposundaki basınçlı hava 5 kg/cm² ise frenler devreye girmez. Aktif fren valfi, basınç regülatöründen gelen hava akışını keser ve fren borularındaki hava basıncı düşer. Hava basıncındaki düşüş her bir kılavuzdaki kontrol valfleri tarafından tespit edilir. Kontrol valfleri daha sonra yardımcı hava deposundan fren silindirlerine basınçlı hava akışını düzenler. Fren silindirleri, vagonun yavaşlatılması ve durdurulması için temel fren mekanizmalarını çalıştırır. Kontrol valfleri, yardımcı hava deposundaki fren borularının basınç düşüşüyle orantılı bir basınçta fren silindirlerindeki havanın akışını düzenler.

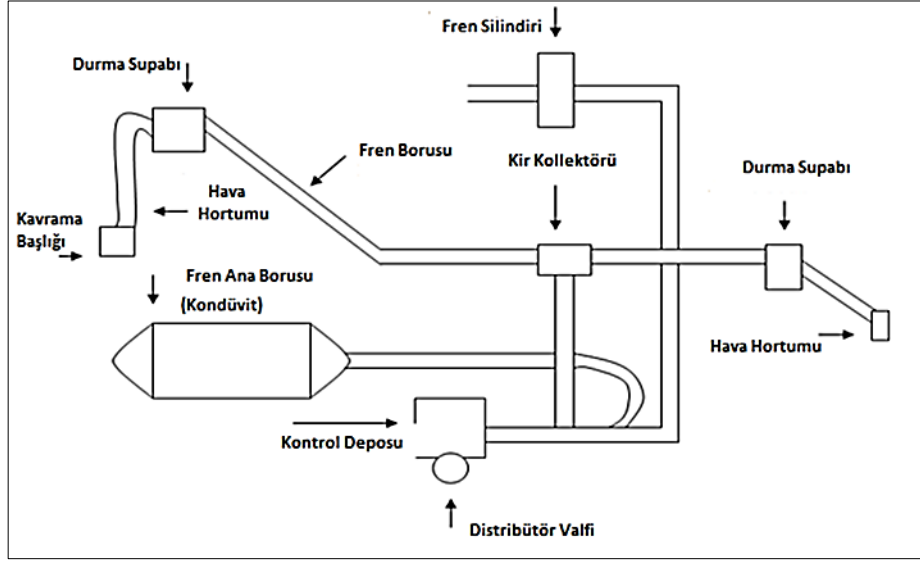
2.2.2.2. Düz Hava Fren Sistemi



Şekil 2.2. Düz hava fren sistemi prensibi.

Düz hava fren sistemi, Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Düz hava fren sistemi, otomatik hava fren sistemindeki gibi her vagona bir kontrol vanasına veya yardımcı hava deposuna sahip değildir. Fren valfinin çalıştırılması, basınçlı havayı düz hava borusundan fren silindirlerine zorlayarak temel fren mekanizmasını harekete geçirir. Düz hava boruları normal çalışma koşullarında basınçlı hava içermediğinden antrenör bağlanmadığında frenler devreye girmez. Bundan kaçınmak için düz havalı fren sistemi, otomatik havalı fren sistemi ile birlikte kullanılabilir. Ana hava depo borusu olarak adlandırılan başka bir borunun ilk vagonun son vagona kadar kullanılmasıyla da önlenir. Ana hava depo borusundaki hava basıncı, otomatik hava fren sisteminin fren borularındaki basınçlı hava gibi davranır. Bu ana hava depo borusundaki basınçlı hava düşerse veya hava borularından ya da antrenörler vb. arasındaki hava hortumlarından sızarsa, basınç düşüşü algılanır ve frenler otomatik olarak uygulanır.

2.2.2.3. Tek Borulu Kademeli Tahliye Havalı Fren Sistemi



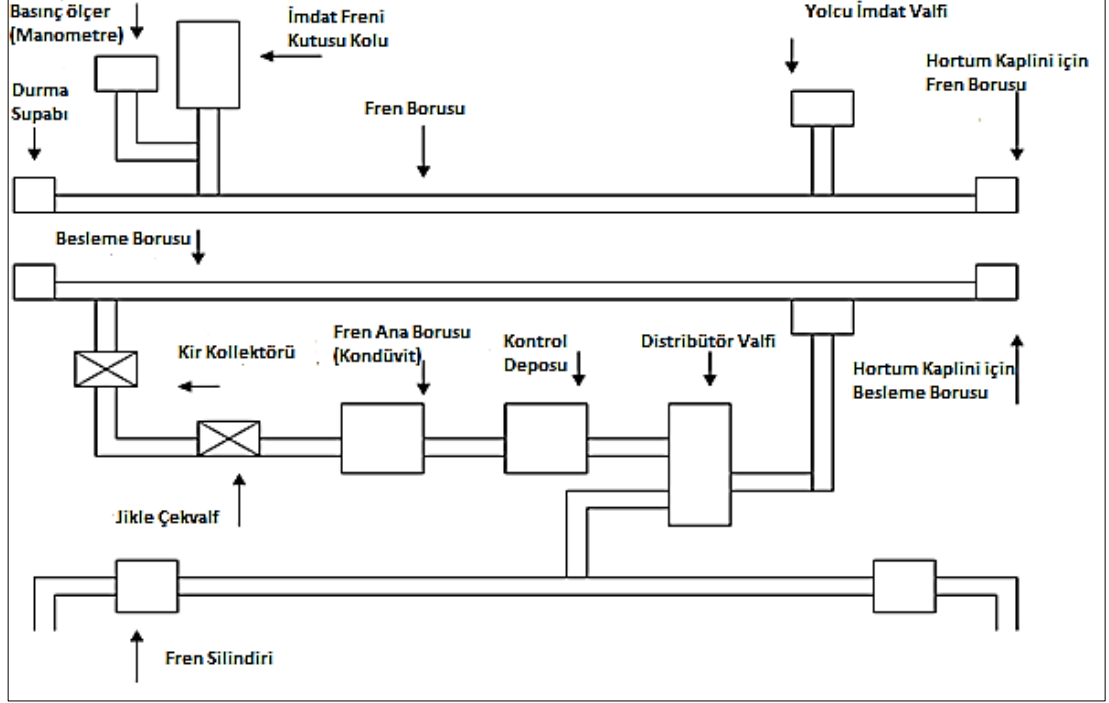
Şekil 2.3. Tek borulu kademeli tahliye havalı fren sistemi prensibi.

Tek borulu kademeli tahliye havalı fren sistemi, Şekil 2.3'te gösterilmiştir. İşlem, yardımcı deponun DV'den şarj edilmesi dışında ikiz boru sistemiyle aynıdır. Tek borulu sistemde besleme borusu olmadığından besleme borusu yerine tek borulu sistem kullanılır. Dereceli serbest bırakma hava fren sistemi ile karşılaştırıldığında ikiz borulu dereceli serbest bırakma hava fren sistemi yolcu vagonları için daha uygundur.

2.2.2.4. İkiz Borulu Kademeli Tahliye Havalı Fren Sistemi

İkiz borulu kademeli tahliye havalı fren sisteminde Şekil 2.4'te fren borusu, yolcu imdat valfi tarafından 5 kg/cm^2 'ye şarj edilir. Yardımcı rezervuar, besleme borusu tarafından 6 kg/cm^2 'de çek valf ve tıkaç bobini ile şarj edilir. Fren silindiri atmosfere D.V.'deki bir delikten bağlanır. Frenler tamamen serbest durumdayken yolcu fren yapmak için otomatik fren valf kolunu kademeli bir uygulama ile adımlarla veya bir darbeye acil durum uygulaması için aşırı konuma getirebilir. Bu hareketle, fren borusu basıncı azaltılır ve farklı basınç D.V. tarafından algılanır. Kontrol haznesinde kilitli referans basıncına karşı yardımcı depodan gelen hava fren silindirine girer ve frenler uygulanır. Serbest bırakma sırasında fren silindiri içerisindeki hava, fren borusu basıncındaki artışa bağlı olarak aşamalı olarak verilir. Fren borusu basıncı

4,8kg/cm²'ye ulaştığında, fren silindiri tamamen boşaltılır ve frenler tamamen serbest bırakılır [4].



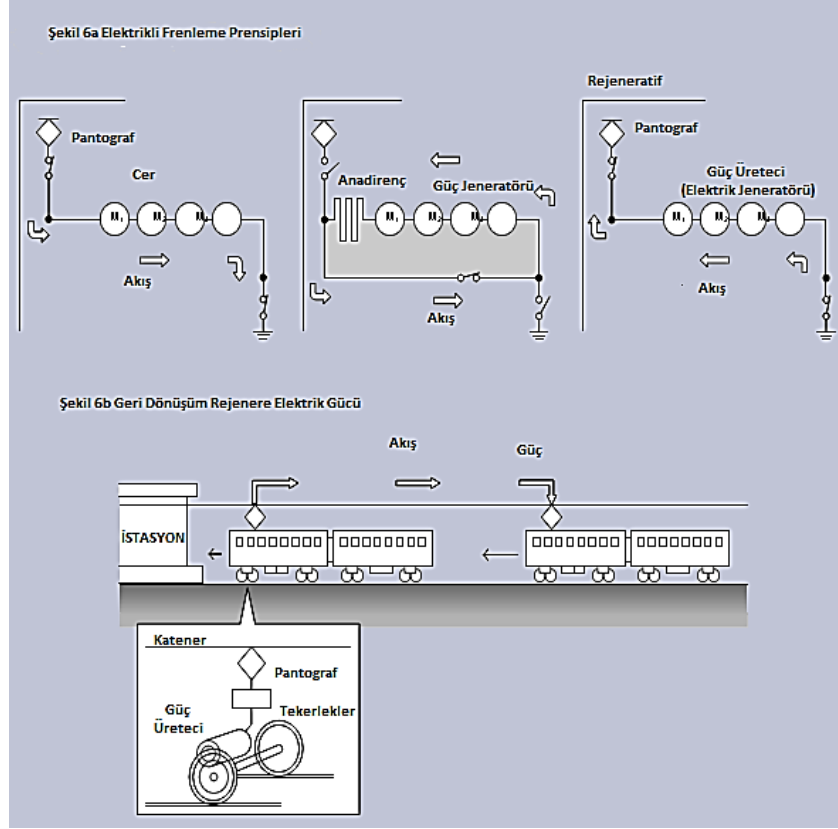
Şekil 2.4. İkiz borulu kademeli tahliye havalı fren sistemi prensibi.

2.2.3. Elektrodinamik Fren Sistemi

Elektrikli lokomotifler tarafından kullanılan diğer bir fren sistemi de kinetik enerjiyi ısı olarak dağıtan motoru frenleme jeneratörüne dönüştüren elektriksel dinamik frenlemedir. Rejeneratif frenleme, üretilen elektriği ısı olarak dağıtmak yerine kullanır ve enerji tasarrufu kabiliyeti nedeniyle daha yaygın şekilde kullanılır.

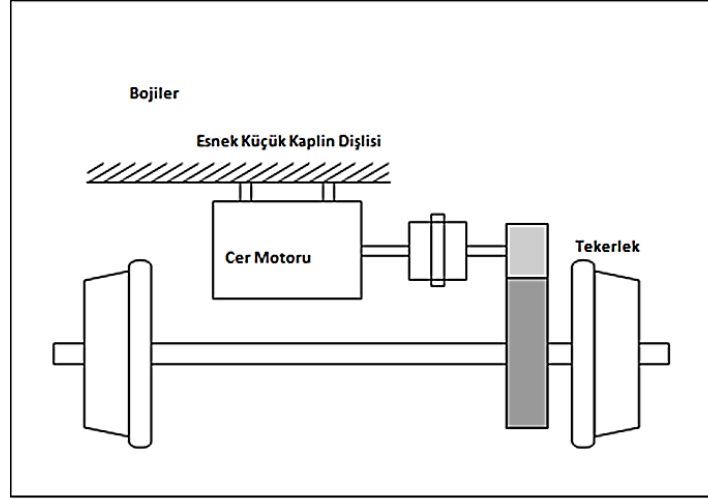
Şekil 2.5'te elektrik çekiş, dinamik frenleme ve rejeneratif frenleme sistemlerinin prensiplerini göstermektedir. Her ne kadar motoru treni sürse ve hızlandırsa da frenleme sırasında, bunun yerine, bir ana direnç (reosta), armatürler ve bir saha sisteminden oluşan bir devrenin bir parçasını oluşturan bir elektrik jeneratörü gibi davranır. Elektrik devrenin içinden akar ve trenin kinetik enerjisini ısıya dönüştüren ve böylece fren görevi gören ana direnç tarafından tüketilir. Rejeneratif frenleme aynı devre tipini kullanır, ancak frenleme ile üretilen elektrik ana direnç tarafından tüketilmez. Bunun yerine üstteki tellere iletilir. Bu elektriğin akışı pantografin

altındaki bir denetleyici tarafından kontrol edilmekte ve bölü saniye zamanlama ile açılıp kapanmaktadır.



Şekil 2.5. Elektrodinamik fren sistemi çalışma prensibi.

Elektrikli fren sistemleri ekonomiktir; çünkü mekanik fren sistemlerinden farklı olarak sürtünme elemanlarını kullanmazlar. Rejeneratif fren sistemi daha da ekonomiktir çünkü trenin kinetik enerjisinden rejenere edilen elektrik tavan teline iletilir ve diğer demiryolu taşıtlarına güç sağlamak için kullanılır (Şekil 2.6). Elektrikli fren sistemlerindeki en büyük sorun, karmaşık devrelere sahip oldukları için zaman zaman arızalanmalarıdır. Bu nedenle acil durum freni olarak kullanılamazlar. Elektrikli bir fren sisteminde, çekiş motorunun (jeneratör) fren gücü dişlilere, tekerleklere iletilir (Şekil 2.6). Üretilen elektrik frenleme kuvvetini kontrol etmek için ayarlanır [5].



Şekil 2.6. Cer motorundan tekerleklere fren gücü iletimi.

2.2.4. Mekanik Fren Sistemi

Mekanik frenleme sistemleri tarafından kullanılan temel frenleme cihazları şunlardır: Tekerlek gövdesi yüzeyi üzerine monte frenleri, aksa monte disk frenleri ve tekerlek-monte disk frenleri. Bu fren mekanizmaları, diske sürtünme kuvveti uygulayan bir fren pabucu ile kullanılır. Uygulanan basınç, frenleme kuvvetini kontrol etmek için ayarlanır. Tekerlek yüzeyi freninde, fren pabucu tekerlek yüzeyine sürtünme kuvveti uygulayarak kayar bir etki yaratır. Yüksek hızlı trenler bu tür frenleri kullanamazlar; çünkü bunun kullanılması tekerlek yüzeyine zarar verebilir. Bu nedenle aksa veyatekerleğe monte disk frenlerini kullanırlar. Aksa monte disk frenler, yük vagonlarında sıklıkla kullanılır. Bunun nedeni yeterli alanın bulunmasıdır. Tekerleğe monte disk frenler ise motor bobinlerinde kullanılır, çünkü çekiş motorları aksa monte edilmiş bir fren için yeterli alana sahip değildir. Her iki sistemde de fren balatasını diske doğru iterek fren silindirin e basınçlı hava veya yağ uygulanır. Fren diskleri, yalnızca frenleme sırasında yararlı olan ölü ağırlıklardır, bu nedenle operatörler daha hafif diskler takabilir. Karbon/karbon kompozit çoklu diskler ve alüminyum kompozit diskler daha hafif ağırlıklar sunar ve yaygın olarak kullanılır. Karbon/karbon kompozit çoklu disk, alternatif karbon-karbon rotorları ve stator bölümlerine sahiptir. Frenleme sırasında tekerleği veya aksı yavaşlatan sürtünme kuvvetini oluşturmak için birbirlerine sürtünürler. Disk, geleneksel malzemelerden daha hafiftir ve iyi ısıya dayanıklı özelliklere sahiptir. Alüminyum kompozit fren diskleri, günümüzün dövme

çelik ve dökme demir fren disklerinden çok daha hafif yapılabilir. Dahası yapıları hem dingil hem de tekerleğe monte diskler için ortaktır, tasarım olmadan çok daha hafif bir disk elde eder [2].



Şekil 2.7. Tokyo 7000 serisi EMU tipi aracın bojisindeki disk frenler.

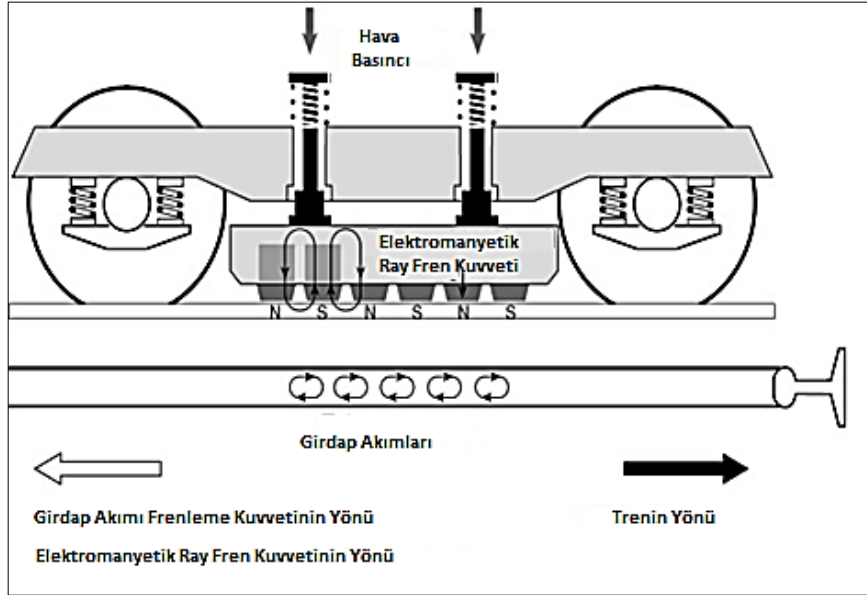


Şekil 2.8. Aks göbeğine bağlı bir disk fren örneği.

2.2.5. Elektromanyetik Fren Sistemi

Geleneksel tren fren sistemlerinde, büyük ölçüde tekerlek yüzeyi ile ray arasındaki adhesif aşınmadan kaynaklanan yapışma görülür. Yüksek hızlı trenlerde ise, hız arttıkça yapışma azalır, bu nedenle trenin tekerlek kaymasını önlemek için frenleme kuvvetini azaltılması gerekir. Bu sonuç daha uzun fren mesafesi demektir. Bu sorunun

üstesinden gelmek için yapışmaya neden olmayan elektromanyetik bir fren sistemi geliştirilmiştir. Rayların üst yüzeyinde oluşan girdap akımlarından elde edilen manyetik itme kuvvetini kullanarak bir frenleme kuvveti oluşturur. Daha önce girdap akımları rayı yanlara doğru bükeceği varsayımı nedeniyle kullanılmamıştır. Bu girdap akımları ve sürtünme kuvveti kullanan bir elektromanyetik frenin geliştirilmesi ile çözülür. Şekil 2.9’da elektromanyetik fren prensibi gösterilmektedir. Boji üzerindeki elektromanyetik fren, kutuplar arasında manyetik alanlar oluşturan alternatif kuzey ve güney kutupları yaratan bataryalara bağlanır. Manyetik alanlar rayların üst yüzeyinde girdap akımları oluşturur bu da trenin hareketine zıt bir yönde hareket eden, yani bir frenleme kuvveti oluşturur. Elektromanyetik frenin saha görüntüsü Şekil 2.10’da gösterilmektedir [5].



Şekil 2.9. Elektromanyetik fren sistemi prensibi.



Şekil 2.10. Elektromanyetik frenin yandan görünüşü.

Sonuç olarak:

1. Hava frenleri, vakumlu frenlere göre daha verimlidir; bununla birlikte önemli bir durma mesafesi gerektirirler bu nedenle acil durum frenlemesi için kullanılamazlar.
2. Mekanik frenler, başka bir frenleme tekniğine paralel olarak yedek tutulmalı ve motoru düşük hızda tamamen durdurmak için kullanılmalıdır.
3. İstenilen frenleme kuvvetleri geniş bir aralıkta elde edilebilir, yüksek hız aralığında rejenerasyon frenlemesi ve düşük hız aralığında reosta frenleme kullanılır.
4. Elektrodinamik fren sistemleri zaman zaman arızalanır; çünkü karmaşık devre sistemlerine sahiptir. Bu nedenle acil durum freni olarak kullanılamazlar [3].

2.3. FREN SABOLARI

Genellikle 160 km/s'in altında çalışacak şekilde tasarlanan demiryolu araçları verimli, güvenli ve düşük maliyetli olan nispeten basit bir mekanizmaya dayalı olarak çalışan yüzey fren sistemi ile donatılmıştır [2,3]. Bu tür sistemler, tekerlek yüzeyine uygulanan ve bastırılan fren pabuçları tarafından oluşturulan sürtünme kuvvetlerine dayanmaktadır. Böylece frenleme işlemi sırasında, kinetik ve potansiyel enerji

(yokuşlarda çalışırken) tekerlek/fren blokları ara yüzünde üretilen ısı biçiminde yayılır ve trenin hızı buna uygun olarak düşer.

Doğrudan tekerlek üzerinde üretilen geciktirme momentlerine dayanan tüm sistemlerin tekerlek/ray adezyonuna bağlı olduğunu ve bu nedenle maksimum fren kuvvetinin mevcut adezyon kuvvetiyle sınırlandırıldığını fark etmek gerekir. Özellikle fren pabuçları doğal olarak tekerlek yüzeyini taşlar ve temizler. Ayrıca tekerlek ve rayın yapışma koşullarını iyileştirmek için uygun şekilde davranır. Bununla birlikte, sürtünme çiftinin şiddetli termal rejimi hem tekerleklere hem de fren pabuçlarına etki edebilir ve hatta zarar verebilir.

Trafik güvenliği için önemli bir bileşen olan fren bloklarının hızdan, özgül basınçtan, sıcaklıktan ve çevresel koşullardan bağımsız olarak yüksek ve sabit sürtünme katsayısı gibi bazı gereksinimleri yerine getirmesi gerekir. Düşük aşınma oranı, hafiflik, düşük gürültü ve korozyon direnci ve uygun termodinamik özellikler de bunun için istenen özelliklerdir [6].



Şekil 2.11. Kardemir’de bulunan DE10000 Tülomsaş lokomotiflerinde kullanılan kompozit sabo.

2.3.1. Sabo Çeşitleri

Sabolar, özel imalat talimatnamelerine göre pik (döküm) veya kompozit malzemeden yapılır. Tekerlek malzemesinden daha yumuşak olmalıdırlar. Kalınlığı genel olarak 60

mm'dir ve 10 mm kalıncaya kadar kullanılabilir. Tek veya iki parçalı olarak imal edilebilirler. İki parçalı sabolarda sabonun bağlandığı parçaya pabuç (çarık) denir. Aynı pabuca birden fazla sabo bağlamak da mümkündür. Son zamanlarda kompozit malzemedeki yapılan sabolar dayanıklılığı, hafifliği ve değişimindeki kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir.

Demiryolu taşımacılığında yük vagonları için şu anda 3 tip sabo kullanılmaktadır. Bunlar döküm (P10), K ve LL tipi sabolardır. Döküm sabo (P10) teknik özellikleri UIC-832 fişinde tanımlanmış olup, yük vagonlarında eskiden beri kullanılmaktadır ve gri dökme demirden imal edilmektedir. K ve LL tipi sabo ise son 10 yılda geliştirilmiştir ve kompozit malzemedeki imal edilmektedir. Tekerlek yuvarlanma yüzeyindeki pürüzler ve bozukluklar daha fazla gürültü çıkmasına neden olmaktadır. Frenleme esnasında ergimiş ufak metal parçacıkların tekerlek yuvarlanma yüzeyine kaynaşmasından dolayı; yük vagonlarında hala geniş ölçüde kullanılan döküm sabolar, yuvarlanma yüzeyinde kompozit sabolardan daha fazla pürüzlülük meydana getirmektedir. Döküm saboların tersine kompozit sabolar gürültüye neden olan tekerlek yuvarlanma yüzeyini parlatmaktadır. Şekil 2.12'de en soldaki tekerlektakımında kompozit sabo, diğer ikisinde döküm sabo kullanılmıştır. Tekerlek yüzeyleri üzerindeki gürültüye neden olan pürüzlülüğe açıkça görülmektedir.



Şekil 2.12. Döküm sabo ve kompozit sabolu tekerleklerin yuvarlanma yüzeyi.

Döküm saboların avantajları:

1. Sürtünme katsayıları hemen hemen hava şartlarından bağımsızdır.
2. Malzeme özelliği üreticiden bağımsızdır.
3. Frenleme esnasında meydana gelen ısının uygun olarak dağılmasını garanti etmektedir.
4. Ufak apletlikler, sonraki fren uygulamaları sırasında torna edilmektedir.
5. Tekerlek yüzeyinin sabit pürüzlülüğünden dolayı, sabit adezyon seviyesi korunmaktadır.
6. Kompozit sabolara göre maliyeti daha düşüktür.

Döküm sabonun esas dezavantajı; sürtünme katsayısının hıza ve uygulama kuvvetine iki kat bağımlı olmasıdır.

Kompozit sabo; Kuzey Amerika ve Güney Afrika gibi ülkelerde uzun süredir kullanılmasına rağmen Avrupa'daki işletme şartlarının (yük trenlerine tahsisli hatlar, düşük frenleme performansı (yükli vagon için %65 fren ağırlığı oranına karşı ~%30), uzun sinyal mesafeleri, düşük hızlarda (27 km/saat) uzun eğimlerden iniş) tamamen farklı olması nedeniyle transfer edilememiştir.

2.3.1.1. K Tipi Sabo

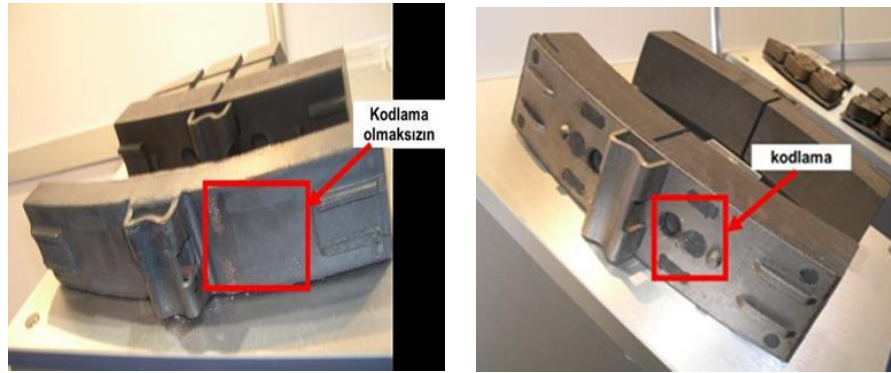
Yük vagonlarında K tipi kompozit fren sabolarının kullanımı UIC tarafından onay verilmiştir. UIC, TSI ve OTIF şartlarına göre K tipi kompozit fren sabosu onayına sahip tipler:

1. CoFren C810
2. CoFren C333
3. Frenoplast FR513
4. Honeywell Jurid 516M

K tipi sabo yeni imal edilen vagonlarda gürültüyü azaltmak için tercih edilen çözümlerden biridir. K tipi sabo, EN 13979-1 (ve uygulama dokümanı UIC 510- 5 fişi)

şartlarını taşıyan tüm mono blok tekerleklerde kullanılabilir. R2, BV2, R8, R9 malzemeden yapılmış ve kasnaklı tekerlek takımları hariç mevcut tüm monoblok tekerlek tiplerinde kullanımı uygundur. SS trafiğinde kullanılan vagonlar üzerinde kullanımı için, EN 13979-1'e (ve uygulama dokümanı UIC 510-5 fişi) uyumlu tekerleklerin kullanımı tavsiye edilmektedir.

K tipi sabolarda Şekil 2.13'te görülen kodlama ile P10 döküm sabolu vagonlara yanlışlıkla takılması veya tersinin yapılması engellenmiştir.



Şekil 2.13. Kod bulundurmeyen döküm sabo ve kod bulunduran K tipi kompozit sabo.

2.3.1.2.LL Tipi Sabo

Yük vagonlarını K tipi sabo ile donatmaktansa LL sabo ile donatmak daha az maliyetli olduğundan, LL tipi kompozit fren sabolarının kullanımına UIC tarafından onay verilmiştir. LL tipi sabonun test sonuçları istenilen seviyeye gelinceye kadar UIC şartlarına göre geçici onaya sahip tipleri şunlardır:

1. Becorit IB116
2. CoFren C952
3. CoFren C952-1
4. Honeywell J777
5. Icer Rail/Becorit IB116

Yük vagonlarında LL tipi sabolar tercih etmek, demiryolu taşımacılığında gürültüyü

düşük maliyetli bir çözüm ile azaltmaktır ve bu yöntem gelişimi açık olan bir çözüm yoludur. Yük taşımacılığında kullanılan vagonlarda var olan döküm saboların K tipi sabo ile değiştirilmesinin maliyeti yüksek olduğundan dolayı K tipi sabo yerine LL tipi sabo ile değiştirilmesi maliyet açısından daha uygun gözükmektedir.

Tüm hız ve yük aralığı boyunca döküm saboya göre aynı sürtünme davranışını elde etmek çok zordur. Test sonuçları tutarlı olmadığı için mevcut vagonlardaki döküm saboların birebir değişimini gerçekleştirmek için daha fazla incelemeye gerek vardır. Son temel sorun ise frende kalma durumunda istenilen gereksinimlerin geliştirilememesidir.

LL tipi sabo, EN 13979-1 (ve uygulama dokümanı UIC 510-5 fişi) şartlarını taşıyan tüm mono blok tekerleklerde kullanılabilir. R2, BV2, R8, R9 malzemenen yapılmış ve kasnaklı tekerlek takımları hariç mevcut tüm mono blok tekerlek tiplerinde kullanımı uygundur. SS trafiğinde kullanılan vagonlar üzerinde kullanımı için, EN 13979-1'e (uygulama dokümanı UIC 510-5 fişi) uyumlu tekerleklerin kullanımı zorunludur.

Çizelge 2.1. K tipi ve LL tipi saboların karşılaştırılması.

Özellikler	K Tipi	LL Tipi
Gürültü Azalması	8-10 dB	Henüz belirsiz, K tipinden 2 dB az bekleniyor
Yeni Ekipman Gereksinimi	Fren sisteminde değişiklik gerektirmekte	Fren sisteminde çok az değişiklik gerektirmekte
Fren Karakteristiği	Hızdan bağımsız	Hıza bağımlı (döküm sabonun aynısı)
Onay	2003'ten beri tam onaya sahip tipler mevcut	2005'ten beri geçici onaya sahip tipler mevcut
Fren Sistemi Onayı	Yeni onay gerekli	Onaya gerek yok

K tipi ve LL tipi kompozit saboların avantajları:

1. Saboların uzun kullanım ömrü,
2. Döküm saboya göre daha az ses çıkarmaları,
3. Kullanılan tekerlek ömrünü uzaması,
4. İşletme maliyetini azaltması,

BÖLÜM 3

AŞINMA

İki katı yüzey temas ettiğinde, temas halinde bulunan yüzeylerde hasar meydana gelir. Aşınma; katı metalintemas halinde olan bir veya her iki yüzeyinden parça kopması olarak yorumlanabilir. Aşınma; “birim zaman veya kayma mesafesi başına çıkarılan malzemenin kütle, hacim veya yükseklik kaybı” olarak tanımlanan “aşınma oranı” ile ölçülür. Aşınma; hafif ve şiddetli aşınma olarak karakterize edilir [7].

Aşınma oranı, çalışma koşullarına ve malzeme seçimlerine bağlı olarak 10-15 ila 10-1 mm³/Nm aralığında önemli ölçüde değişir (Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1978). Rabinowicz, 1980). Bu sonuçlar çalışma koşulları, tasarım ve malzeme seçiminin aşınmayı kontrol etmenin anahtarı olduğunu gösterir. Bu gereklilikleri karşılamanın bir yolu olarak aşınma modları ve aşınma oranlarının tahmini için aşınma haritaları kullanılır (Lim ve Ashby, 1987; Hokkirigawa ve Kato, 1988). Bir aşınma haritası, tribolojik koşulların en iyi tariflerinden biri olarak kabul edilir ve çok çeşitli çalışma koşullarında malzeme seçiminde faydalanılır.

Tribosistemleri tasarlamak ve aşınma haritasına göre malzeme seçmek için aşınma oranını, aşınma modlarının çeşitlerini ve aşınma mekanizmalarını anlamak esastır. Aşınma; mikro kırılma nedeniyle fiziksel ayrılma, kimyasal çözülme veya temas ara yüzünde erime yoluyla malzemenin uzaklaştırılmasının sonucudur. Ayrıca birkaç tür aşınma vardır: Adhesif, abrasif, yorulma ve korozif aşınma olarak sınıflandırılır. Ana aşınma modu, yüzey malzemesi özellikleri, sürtünme şekli, ısınma, kimyasal film oluşumu ve aşınmanın neden olduğu dinamik yüzey tepkilerini içeren nedenlerden dolayı değişebilir.

Aşınma mekanizmaları sürtünme sırasındaki karmaşık değişiklikler göz önüne

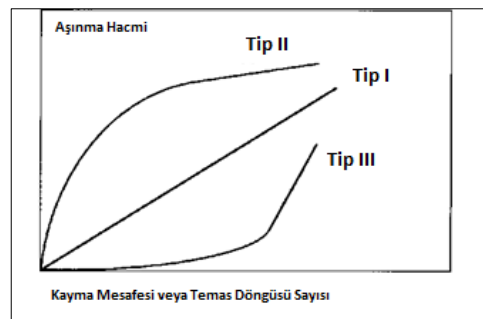
alınarak tanımlanmaktadır. Genel olarak aşınma; tek bir aşınma mekanizması aracılığıyla gerçekleşmez, bu nedenle her aşınma modunda her aşınma mekanizmasının anlaşılması önem kazanır [9].

3.1. KAYMA MESAFESİ İLE AŞINMA HACMI VE AŞINMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞİŞİMİ

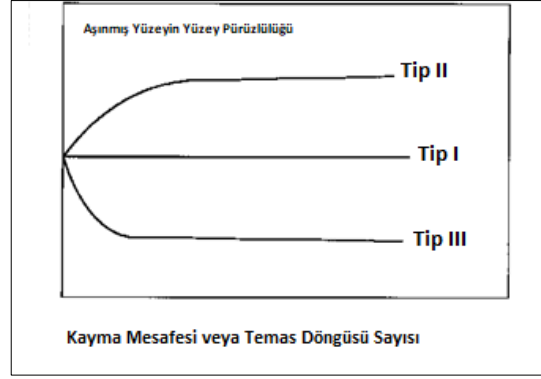
Aşınma hacmi, aşınma yüzeyi pürüzlülüğü ve aşınma partikülü şekli aşınmayı karakterize etmede bize önemli bilgiler verir.

Üç temsili aşınma hacmi eğrisi tipi Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Tip I tüm süreç boyunca sabit bir aşınma oranı gösterir. Tip II, başlangıçta yüksek bir aşınma oranından düşük aşınma oranına geçişi göstermektedir. Bu tür aşınma metallerde oldukça sık görülür (Chiou ve ark. 1985). Tip III ise düşük aşınma oranının yorulma kırılması nedeniyle yüksek aşınma oranına geçişini göstermektedir. Bu tür aşınma seramiklerde sıklıkla gözlenir (Cho ve ark. 1989).

Öte yandan aşınma yüzeylerindeki üç temsili pürüzlülük eğrisi türü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Tip I, yüzey pürüzlülüğünün başlangıç değerinden değişmediği sabit aşınma durumunu gösterir. Tip II, yüzey pürüzlülüğünün belirli bir değere yükseldiği ve orada kaldığı sürekli aşınma durumunu gösterir. Tip III, başlangıç işleminde ve yüzey pürüzlülüğünün büyük ölçüde azaldığı ilk yerleşme ve sabit aşınma durumunu gösterir. Genellikle yüzey bitirme için zımparalamada ve cilalamada gözlenir.



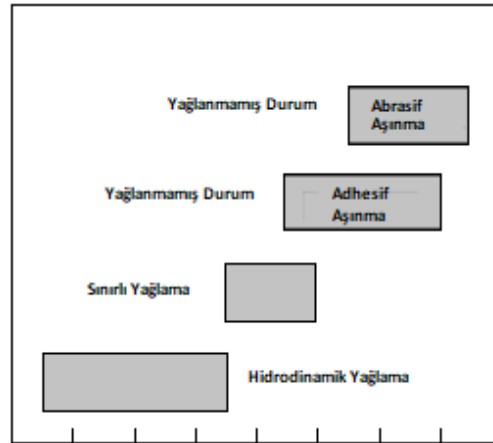
Şekil 3.1. Tekrarlanan temaslarda üç temsili aşınma eğrisi tipi.



Şekil 3.2. Temsili yüzeylerde yüzey pürüzlülüğü değişimi.

3.2. AŞINMA ORANLARI VE AŞINMA YÜZEYLERİNİN ÇEŞİTLERİ

Genel olarak aşınma; kaybedilen hacim miktarı ve aşınma yüzeyinin durumu ile değerlendirilir. Aşınma derecesi, aşınma oranı, spesifik aşınma oranı veya aşınma katsayısı ile tanımlanmaktadır. Aşınma oranı Şekil 3.3'te gösterilen aşınma hacmi eğrisinin eğimine karşılık gelen birim mesafe başına aşınma hacmi olarak tanımlanır. Belirli aşınma oranı, birim mesafe ve birim yük başına aşınma hacmi olarak tanımlanır. Aşınma katsayısı, spesifik aşınma oranının ürünü ve aşınma malzemesinin sertliği olarak tanımlanır.

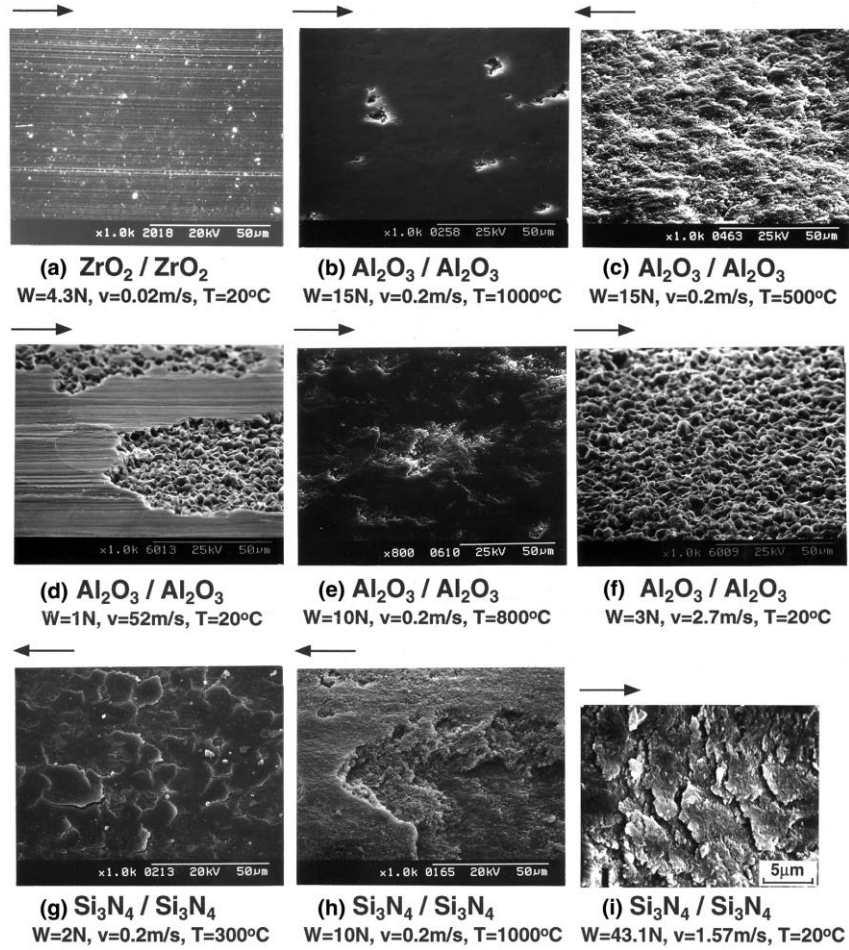


Şekil 3.3. Metalik malzemelerin özel aşınma oranının farklı yağlama koşullarında değişim dağılımı

Şekil 3.4'te farklı temas koşulları altında gözlemlenen seramiklerin aşınma yüzeylerinin çeşitlerini göstermektedir. Aşınma yüzeyleri malzemelere ve sürtünme

koşullarına bağlı olarak oldukça farklı görünmektedir. Bu temas koşullarında küçük değişiklikler tribosisteme girdiğinde aşınmanın önemli ölçüde değişebileceği anlamına gelir.

Şekil 3.4'te gösterilen sonuçlar, aşınma ile ilgili şu notu açıkça göstermektedir (Bayer, 1994): “Aşınma önemli bir özellik değildir, bu bir sistem tepkisidir.” Dinamik parametrelerden, çevresel parametrelerden ve malzeme parametrelerinden oluşan bir tribosistemde nispeten küçük bir değişiklik olsa bile önemli ölçüde aşınma değişiklikleri gözlemlenir [10].



Şekil 3.4. Farklı çalışma koşullarında üç çeşit seramikten oluşan aşınmış yüzey morfolojileri

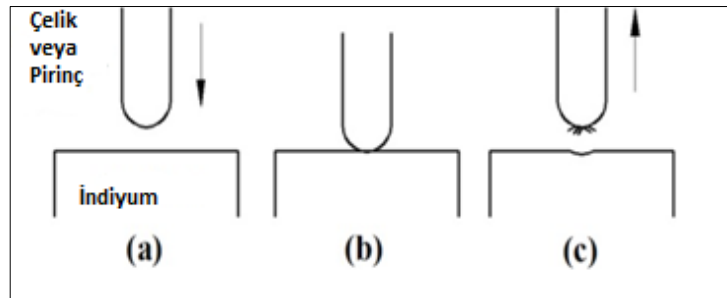
3.3. AŞINMA TİPLERİ VE MEKANİZMALARI

Mevcut literatür ve mevcut araştırmalara dayanarak farklı metal çiftleri için beş önemli aşınma mekanizması bulunduğunu söyleyebiliriz. Bu beş mekanizma řu şekilde sıralanmaktadır:

1. Adhesif aşınma
2. Abrasif aşınma
3. Eroziyon aşınma
4. Yorgunluk/delaminasyon aşınma
5. Korozif aşınma

3.3.1. Adhesif Aşınma

İki yüzey arasında bulunan mevcut koruyucu yüzey tabakaları bir müddet sonra etkisini kaybeder. İzafi olarak birbirine sürtünen iki cisim arasında sıcaklık artışına bağlı olarak mikro kontak üzerinden atomik bağlar (mikrodalgalar) oluşur. Yapışkan bağların mukavemeti yumuşak sürtünme ortamından büyükse, yumuşak malzeme yüzeyinden deforme olan parçacık ayrılır ve daha sert olana aktarılır. Aktarılan malzeme daha sert sürtünme partneri üzerinde kalabilir veya ayrılabilir. Normal olarak yapışma, iki benzer kimyasal bileşim metalinin temas ettiği veya temas yüzeyinin oksit tabakasından (vakumlu veya atıl bir atmosfer) uzak olduğu durumlarda meydana gelir.



Şekil 3.5. Adhesif aşınma örneği.

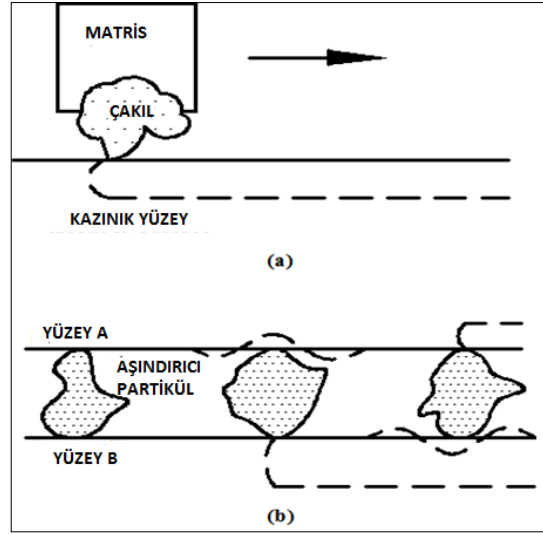
Şekil 3.5'teki gibi kurşun ve indiyum gibi yumuşak ve sünek metal bloğuna çelik veya pirinç vb. ucu yuvarlatılmış çubuk bastırıldığında, güçlü yapışma meydana gelir.

Çubuk geri çekildiğinde bir yumuşak metal (indiyum) parçası çubuğa yapışır. Bu durum temas bağlantılarının yapışma kuvvetinin, indiyumun yapışkan kuvvetinden daha güçlü olduğunu göstermektedir. Dökme malzemeye alaşım elementi eklenmesi, katı yüzeyler arasındaki yapışmayı değiştirebilir. Örneğin çeliğe kükürt eklenmesi işlenebilirliğini arttırır. Ayrıca, kayma işlemi sırasında demir sülfür yüzeyden çıkar ve aşınmanın yanı sıra sürtünmeyi de azaltır.

Benzer şekilde dökme demir, demir bazlı alaşımlardan daha iyi tribolojik özellik sergiler. Bunun nedeni; grafitin temas bölgesi üzerinde bulunması ve yağlayıcı film etkisi oluşturmalarıdır. Birbirine benzemeyen metallerde birbiri ile temas ettiğinde genellikle zayıf yapışmasergilerler. Bununla birlikte diğer yüzeyler atomik olarak temiz ise yapışma bu durum için de güçlü olacaktır. Çözünürlükten bağımsız olarak yumuşaklık derecesi de yapışmada önemli bir rol oynar. Yumuşak metaller, yüksek adezyondan sorumlu olan geniş bir gerçek temas alanı sergiler. Temas yüzeylerinde kayganlaştırıcıların kullanılması yüzey enerjisini azaltmasına rağmen sıvı filmin veya önceden var olan filmin kondensatı yapışmayı önemli ölçüde artırabilir [11].

3.3.2. Abrasif Aşınma

Yumuşak katı bir yüzey boyunca kayan sert parçacıklar veya çıkıntılar nedeniyle aşınma meydana gelir. Oyuklanma, kazınma ve partikül ayrılması ile sonuçlanır. Birbirine sürtünen iki cisim yüzeylerinde bulunan sert parçacıklar ve sürtünen iki cisim arasına giren partiküller nedeniyle yüzeylerinde kazınma olarak adlandırılan oluklar meydana gelir. Temel abrasif aşınma mekanizması, Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. İki abrasif aşınma modu vardır: Bir yüzeyde aşındırıcı izlerin oluşacağı tek gövdeli abrasif aşınma (Şekil 3.6 (a)). Tek gövdeli abrasif aşınmaya yönelik en iyi örnek taşlama, kesme ve talaşlı imalat işlemleridir. Her iki yüzeyde de aşındırıcı işaretlerin olacağı iki gövde abrasif aşınmasıdır. (Şekil 3.6 (b)). Tribolojik sistemlerde, döküntü temas yüzeyleri arasında sıkışır ve bir veya iki temas yüzeyinde oyuklar oluşturur. Sertlik, abrasif aşınmayı kontrol etmek için önemli bir özelliktir. Deneysel kanıtlar abrasif aşınmanın sertlikle ters orantılı olduğunu gösterir [12].



Şekil 3.6. Abrasif aşınma mekanizmasının şematik diyagramı (a) Tek gövdeli aşınma (b) İki gövdeli aşınma.

3.3.3. Eroziyon Aşınma

Katı yüzey ve sıvı arasındaki mekanik etkileşim nedeniyle oluşan aşınmaya veya katı yüzey ile sıvı içerisinde bulunan partiküllerin metal yüzeyine çarpması sonucu oluşan aşınmaya eroziyon aşınma denir. Metal yüzeyine partiküllerin çarpması sonucunda, metal yüzeyinde çukurlar ve büyük ölçekli yüzey altı deformasyonu meydana gelir. En iyi örnek, farklı hızlarda yağmur damlacıklarının toprağa çarpması verilebilir.

Pratik açıdan eroziyon aşınma önemlidir. Bununla birlikte seramik yüzeylerle yapılan bazı deneylerde, silisyum karbür partiküllerin yüksek hızda çarpması lokal yüzey erimesine neden olur. Malzeme kaybı ve metal atomlarının bağlanma enerjisi arasında temel bir ilişki vardır. Atomik bağ olarak daha güçlü metalik bağ enerjisine sahip metallerin bağ enerjisi olarak daha zayıf metallerden daha düşük eroziyon aşınma gösterdiği kanıtlanmıştır.

3.3.4. Yorgunluk/Delaminasyon Aşınma

Döngüsel kuvvetler nedeniyle yüzey yorgunluğundan kaynaklanan kırılma sonucu oluşan aşınma, yorulma/delaminasyon aşınması olarak adlandırılır. Bir dizi çukur veya boşlukla sonuçlanır. Genellikle rulmanlar vb. gibi yuvarlanan veya kayan temas

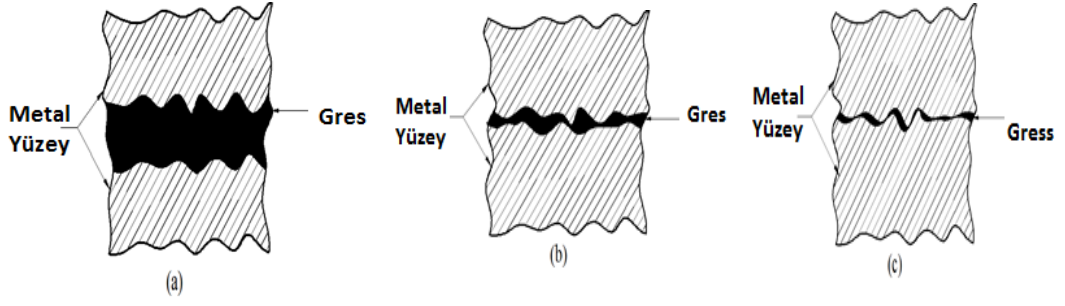
gövdelerinde meydana gelir. Tekrarlanan döngüsel yükleme sonrasında alt yüzeyde veya yüzeyde bir çatlak gözlenir. Yeraltı çatlakları yayılır, diğer çatlaklarla bağlanır, yüzeye ulaşır ve aşınma parçacıkları oluşturur. Benzer şekilde yüzey çatlakları aşağı doğru yığın halinde hareket eder, diğer çatlaklarla bağlantı kurar ve bir aşınma parçacığını serbest bırakır. Çatlak ilerlemesi, bir dizi faktörden etkilenir. Havadaki bağıl nem önemli faktörlerden biridir. Deneysel olarak çatlak büyümesinin kuru havadan ziyade yüksek nemli ortamda hızlı bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenir.

3.3.5. Korozif Aşınma

Korozif aşınma, kayma esnasında oksidatif ortamda gerçekleştiğinde meydana gelir. Kuru kayma sırasında normal ortamdaki oksijen veya ortamda bulunan diğer gazlar katı yüzeyle reaksiyona girebilir. Aşınma önleyici katkı maddelerinin veya diğer kimyasal solisyonların aşırı varlığı da korozif aşınmaya neden olur. Yüksek sıcaklıkta oksijen kayan yüzeyle etkileşime girebilir ve oksidatif aşınma olarak adlandırılan oksitler oluşturabilir. Örneğin Inconel'in oksidasyonu (bir miktar demir içeren nikel-krom alaşımları) 100 °C'de meydana gelir ve sonuçta Nikel Oksit (NiO) ve krom oksit (Cr_2O_3) oluşur. Bununla birlikte sıcaklık 280 °C'ye yükseltildiğinde yüzeye yakın $NiFe_2O_4$ ve metal arayüze yakın Cr_2O_3 spinel içerir. Zayıf mekanik olarak uyumlu olmayan aşındırıcı/oksit tabakasının oluşumu ile sonuçlanır.

3.4. YAĞLAMA

Yağlama, sürtünme kuvvetini azaltmak için temas yüzeyleri arasında yağlayıcıların sokulması işlemidir. Yağlayıcının temel özelliği, çok daha düşük kesme mukavemeti üretmesi ve kayan yüzeyler arasında bir tabaka oluşturmasıdır [25]. Bazı yağlama sistemlerinde yağlayıcı film yüzey temaslarını tamamen ayırmasa da oluşan bağlantıların gücünü azaltır. Diğer durumlarda kayganlaştırıcı film yüzeyleri tamamen ayırır ve yüzey teması oluşmaz. Yağlama rejimleri normalde mekanik sistemde yer alan baskın yağlama mekanizmasıyla ilişkilendirilir. Üç ana yağlama yöntemi vardır: (1) Hidrodinamik (veya tam film) yağlama, (2) sınır yağlama ve (3) karışık yağlama.



Şekil 3.7. Yağlama yöntemleri (a) Hidrodinamik yağlama (b) Sınır yağlama (c) Karışık yağlama.

Hidrodinamik yağlamada (Şekil 3.7 (a)), nispi hareket halinde olan iki temas yüzeyi arasında yeterli sıvı basıncı sağlanır. Sıvı tabakaları temas yüzeylerini tamamen ayırır ve yükü destekler. Sınır yağlama rejiminde (Şekil 3.7 (b)), hidrodinamik yağlama ile karşılaştırıldığında yüksek sürtünme katsayısı ve aşınma değerlerine yol açan sık sık temas teması arasında ince mono tabaka sıvı filmi oluşur. Karışık film yağlama (Şekil 3.7 (c)), tam film yağlama ve sınır yağlama birleşimidir. Sınır yağlama, ortalama film kalınlığının kompozit pürüzlülüğünden daha az olduğu rejim olarak tanımlanabilir [13].

BÖLÜM 4

TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi (TM) metal tozlarının üretimi ve kullanımınıdır. Tozlar genellikle 1000 nm'den (1 mm) daha küçük partiküller olarak tanımlanır. TM'de kullanılan metal parçacıkların çoğu 5 ila 200 μ m (0,2 ila 7,9 mil) arasındadır. Bunu bir bağlamda ifade etmek gerekirse, bir insan saçı tipik olarak 100 μ m (3,9 mil) aralığındadır.

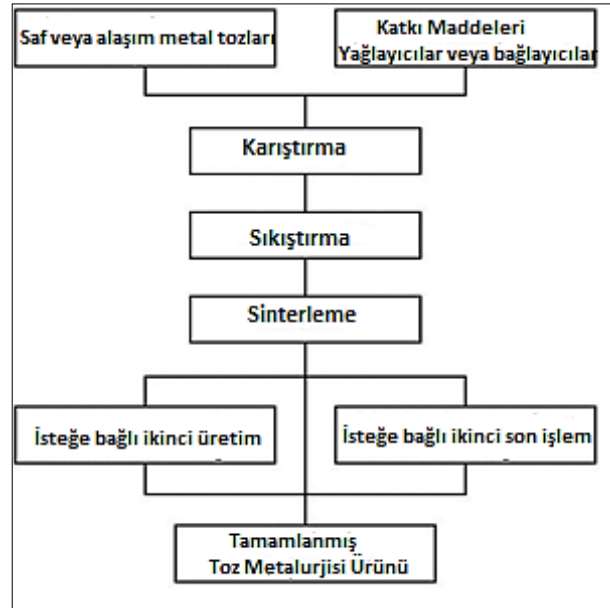
TM kullanımının üç ana nedeni; ekonomik, özgünlük ve zorunlu uygulamalarıdır. Yüksek hassasiyette yüksek hacimli parça gerektiren bazı uygulamalar için maliyet kapsayıcı faktördür. Bu segmentin en iyi örneği, otomotiv endüstrisi için üretilen parçalardır (demir TM yapısal parçalarının yaklaşık %70'nin kullanıldığı). Toz metalurjisi parçaları motor, şanzıman ve şasi uygulamalarında kullanılır. Bazen benzersiz bir mikroyapı veya özellik toz metalurjisi prosesi kullanımını zorunlu kılar: Örneğin; gözenekli filtreler, kendinden yağlamalı rulmanlar, dispersiyonla güçlendirilmiş alaşımlar işlevsel olarak derecelendirilmiş malzemeler (Örn. Titanyum-hidroksiapatit) ve tungsten karbür veya elmas kompozitler. Toz metalurjisinin zorunlu uygulamaları arasında refrakter metaller ve reaktif metaller gibi diğer tekniklerle işlenmesi zor olan malzemeler bulunur. Bu kategorideki diğer örnekler molibden disilikid ve titanyum alüminid veya amorf metaller gibi özel bileşiklerdir [14].

Toz metalurjisi endüstrisi, döküm, dövme, derin çekme gibi diğer metal işleme uygulamalarıyla doğrudan rekabet eden tanınmış bir metal şekillendirme teknolojisidir. Sektör, toz tedarikçileri ve parça üreticileri ile karıştırma ekipmanı, toz işleme ekipmanları, sıkıştırma presleri, sinterleme fırınları vb. tedarik eden şirketlerden oluşmaktadır.

Toz metalurjisi prosesi içerisinde birçok avantajı barındırmaktadır. Bu yöntem, diğer metal şekillendirme teknolojilerine kıyasla malzeme ve enerji tasarrufludur. Toz metalurjisi karmaşık şekilli parçalar yapmak için uygun maliyetlidir ve işleme ihtiyacını en aza indirir. Geniş bir mühendislik ürün yelpazesi mevcuttur ve uygun malzeme veya proses seçimi yoluyla malzemede gerekli mikro yapı geliştirilebilir. Toz metalurjisi parçaları iyi yüzey kalitesine sahiptir aynı zamanda mukavemeti veya aşınma direncini arttırmak için ısıl işlemden geçirilebilir. TM prosesi parça parça tekrarlanabilirlik sağlar ve orta ila yüksek hacimli üretime uygundur. Gerektiğinde kendi kendini yağlama veya filtreleme için kontrollü mikro gözeneklilik sağlanabilir. Boyutsal hassasiyet iyi olmakla birlikte, genellikle işlenmiş parçalarınkiyle uyuşmaz. TM yöntemiyle üretilmiş çelik malzeme, dövülmüş çeliklere kıyasla daha düşük süneklik ve daha az darbe direncine sahiptir [15].

Toz metalurji prosesi 4 basit adımdan meydana gelir:

1. Toz üretimi
2. Karıştırma veya harmanlama
3. Sıkıştırma
4. Sinterleme [16]



Şekil 4.1. Toz metalurji prosesi.

4.1. METAL TOZLARI

Metal tozlarının imalatında kullanılan teknikler, tozların birçok özelliklerini tayin eder. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden karmaşık şekle kadar çok farklı olabilmektedir. Tozun yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Malzemelerin çoğu özelliklerine uygun bir teknik kullanılarak toz haline getirilebilir. Birçok toz üretim tekniği arasından ticari olarak şu teknikler kullanılmaktadır:

1. Mekanik: İşleme, frezeleme ve mekanik alaşım dahil
2. Kimyasal: Elektrolitik çökeltme, bir katının bir gazla ayrışması, termal ayrışma, bir sıvıdan çökeltme, bir gazdan çökeltme, katı-katı reaktif sentez dahil
3. Fiziksel: Atomizasyon teknikleri dahil

Çoğu metal toz halinde bulunur. Bazıları birçok farklı yöntemle elde edilebilirken, diğerleri için sadece birkaç seçenek mümkündür. Tozun özellikleri üretildiği yöntem ile belirlenir. Şekil, boyut, boyut dağılımı, yüzey alanı, görünür yoğunluk, akış, durma açısı, sıkıştırılabilirlik ve mukavemet toz üretim yöntemine bağlıdır. [17]

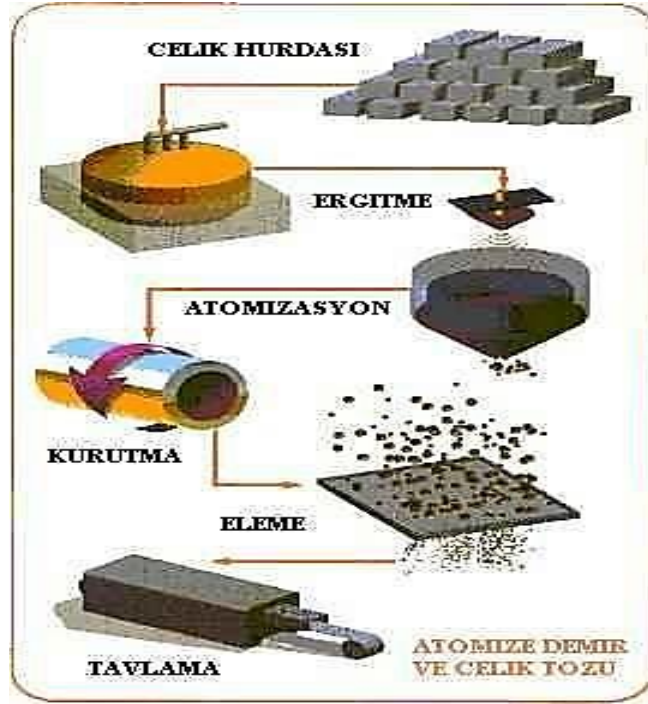
4.1.1. Mekanik Yöntemler

Mekanik yöntemler talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlama olmak üzere üç grupta incelenebilir.

4.1.2. Kimyasal Yöntemler

Metal tozlarının kimyasal yöntemle üretimi, metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobalt) CO veya hidrojen gibi indirgeyici gazlarla oksitlerinden kimyasal olarak indirgenmesidir [18]. Kimyasal yöntemle üretilen sünger-demir tozu bu yöntemin önemli bir uygulama örneğidir. Sünger demir, demir oksit cevherinin uygun nitelikte indirgeyici elemanlara indirgenerek süngerimsi bir kütleye dönüştürülmesiyle elde edilir. Magnetit (Fe_3O_4), kok ve kireç taşı ile karıştırılır ve seramik kaplara doldurulur. Karışım seramik kaplar içerisinde 1260 °C sıcaklıktaki fırınlarda 68 saat

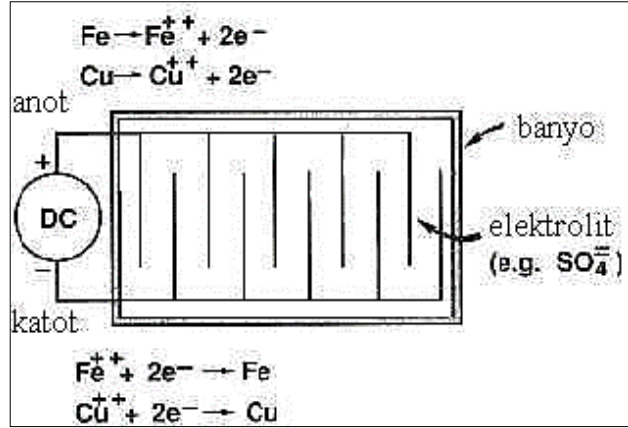
bekletilir. İndirgenmenin tamamlanması ile sünger demir elde edilir. Şekil 4.2’de kimyasal yöntemle demir tozu imalatı görülmektedir. Elde edilen sünger demir külçeleri yüksek sıcaklıkta (1260 °C) birbirine kaynak olmuş tozlardan oluştuğundan öğütülerek istenilen tane büyüklüğüne getirilir. Hidrojen gazı altında 870 °C’de tavlanaarak oksijen ve karbondan mümkün olduğu kadar arıtılır ve son olarak elekten geçirilir [18].



Şekil 4.2. Kimyasal yöntemle demir tozu imalatı.

4.1.3 Elektroliz Yöntemi

Elektroliz yöntemiyle, oksitlerden oluşan tozlar katoda akım vermek suretiyle elektrolitik banyoda çökertilir ya da iyi kırılabilme özelliğinde katot da toplanır (Şekil 4.3). Banyo teknesi kurşun kaplıdır. Elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfirik asit kullanılır. Anot bakır katod ise antimuanlı kurşundur. Elektroliz yöntemi ile genel olarak bakır tozları imal edilir. Elektroliz yönteminde, elektrolitik banyoda çökertilen veya katotta toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilir ve üretilen tozlar yıkanarak elektrolitten iyice temizlenir. Kurutma asal gazlar altında yapılarak oksitlenme önlenir. Elektroliz sırasında oluşan parçacıklar dendritik bir yapı gösterirlerse de daha sonraki işlemlerle bu yapı kaybolur. Elektrolitik tozların en büyük avantajı yüksek safiyetleri, dolayısıyla iyi sıkıştırabilme özelliklerine sahip olmalarıdır [19].



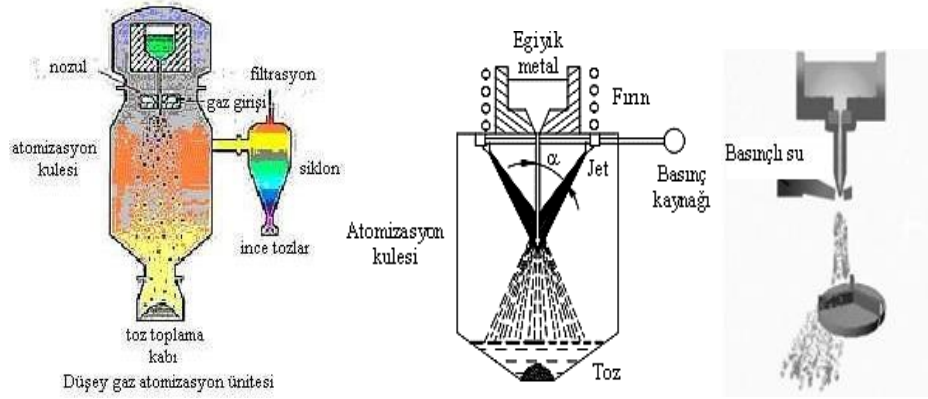
Şekil 4.3. Kimyasal yöntemle demir tozu imalatı.

4.1.4 Atomizasyon Yöntemi

Atomizasyon, bir sıvı demetinin farklı boyutlardaki çok sayıda damlacıklara ayrılmasıdır. Temel prensip; bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesidir (Şekil 4.4). Hava, azot ve argon sıklıkla kullanılan gazlardır ve su ise çok sık tercih edilen sıvıdır. Burada gaz veya sıvı, ergiyik haldeki metal demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacıklara ayırır. Damlacıklar daha sonra katılaşarak metal tozlarını oluştururlar. [20]

Bu üretim yöntemi üç ana bölüme ayrılır:

1. Ergitme
2. Atomizasyon
3. Katılaşma ve soğuma



Şekil 4.4. Atomizasyon yöntemi.

4.2. TOZ İŞLEME

Tozların çoğu, bitmiş üründe istenen özellikleri elde etmek için diğer tozlar, bağlayıcılar ve yağlayıcılarla karıştırılır.

Yüksek hacimli TM parçalarının üretimi için sert kalıplarda sıkıştırma yapılır. Çoğu durumda metalik tozlar, sıkıştırma sırasında parçacıklar arası sürtünmeyi azaltmak ve kalıp-duvar ve çekirdek-çubuk arayüzelerindeki sürtünmeyi azaltarak sıkıştırılmış parçaların fırlatılmasını kolaylaştırmak için bir yağlayıcı (örneğin etilen bis-stearamid) ile karıştırılmaktadır.

Sertleşebilirlik yerel kimyasal bileşim ile belirlenir ve ortaya çıkan mikro yapılar genellikle oldukça karmaşıktır. Kimyasal analiz, materyallerin homojen olmayan doğasından ötürü zor olabilir. TM malzemelerindeki metalik elementlerin kimyasal analizi için numune hazırlama talimatları MPIF Standard 67'de (Ref 2) verilmektedir.

Sert kalıplarda sıkıştırılan karmaşık çok seviyeli TM parçaları aynı ön yoğunluğa sahip olmayacaktır. Amaç; genellikle sıkıştırılmış parça boyunca mümkün olduğu kadar homojen bir yoğunluk elde etmek olmakla birlikte, daha uzun ve çok seviyeli parçalar bitişik bölgeler arasındaki yoğunluk farklılıklarının mevcudiyetine tabidir. Bunun nedeni sürtünme etkileri ve sıkıştırma aracı sapmalarıdır. Daha uzun parçalar nötr bir bölgeye veya yoğunluk çizgisine sahip olacaktır (tozun en az göreceli hareketini

yaşayan bölgesi). Nötr bölgenin konumu üst ve alt zimbaların uyguladığı basınç değiştirilerek ayarlanabilir.

Sert kalıplardaki sıkıştırma, kalıp boşluğundan çıkarılabilen parça şekilleri ile sınırlıdır. Alttan kesimli, ters konik, dişli vb. parçalar genellikle pratik değildir.

İki ana tip sıkıştırma presi vardır; mekanik ve hidrolik. Bazı hibrit presler her ikisinin de özelliklerini sunar.

Bazı TM parçaları sıkıştırılmak yerine kalıplanır (şekillendirilir). İnce partikül boyutlu metal tozlar (5 ila 20 mm veya 0,2 ila 0,8 mil), bağlayıcılar ve plastikleştiricilerle karıştırılır ve MIM için bir besleme stoğu oluşturmak üzere işlenir. Kalıplama, plastik enjeksiyon kalıplamada kullanılanlara benzer makineler kullanılarak yapılır. Parçalar kalıplandığı ve sıkıştırılmadığı için bozulmaya veya boyut kontrolü sorunlarına yol açan yoğunluk gradyanları içermezler. İşlem, yüksek nispi yoğunlukları olan karmaşık şekilli küçük ve orta ölçekli TM parçalarına uygulanır.

Bazı metal tozları sıkıştırılmaz. Toz parçacıkları serttir ve sınırlı plastisiteye sahiptir. Sert kalıp sıkıştırma, bu tür tozların birleştirilmesi için uygun değildir. Sıcak presleme, ekstrüzyon veya sıcak izostatik presleme (HIP) gibi başka yollarla işlenmelidir. Yüksek derecede reaktif metal tozları ayrıca sert kalıp sıkıştırma için uygun değildir. Genellikle vakumlu sıcak preslenmiş veya kapsüllenmiş ve ekstrüde edilmiş veya HIP'lenmiş olmalıdır [21].

Sert kalıpla sıkıştırılmış parçalar ve MIM parçaları, sinterleme olarak bilinen bir işlemde mukavemetlerini arttırmak için termal olarak işlenir. Parçalar, genellikle indirgeyici bir atmosferde, sıkıştırılmış metal tozu parçacıkları arasında metalürjik bağlar oluşturmak için malzemenin birincil bileşeninin erime noktasının altında bir sıcaklığa ısıtılır. Sinterleme bir "büzülme" işlemidir. Sistem, çeşitli difüzyon işlemleri ile toplam yüzey alanını azaltmaya çalışır. Bitişik metal parçacıklar arasında metalürjik bağlar (mikroskopik kaynaklar) oluşur (toz parçacıklarının yüzeyinde oksitler azaldıktan sonra), gözenek yüzeyleri daha az düzensiz şekillenir ve daha küçük gözenekler pahasına daha büyük gözenekler büyür. Sinterleme genellikle

sürekli örgü kayışlı fırınlar kullanılarak gerçekleştirilir. Daha yüksek sıcaklıklar için (>1150 °C veya 2100 °F) itici, rulo ocak veya yürüyen kirişli fırınlar kullanılabilir. Kesikli fırın işleme özel uygulamalar için kullanılır (örneğin, basınç destekli sinterleme) [22].

4.3. TOZ METALURJUSİ MALZEME ÖZELLİKLERİ

TM parçalarının çoğu gözenekli yapıya sahiptir. Bu, parçaların yüzeye bağlı gözeneklerinin yağla emprenye edildiği kendinden yağlamalı rulmanlar yapmak için TM yöntemini ideal kılmaktadır. Sürtünme ısısı nedeniyle yatak yüzeyi ısındığında gözeneklerden yağ açığa çıkar. Yatak soğuduğunda, yağ kılcal hareketle gözenek kanallarına geri emilir. TM parçalarındaki gözenekliliğin parçaların fiziksel, mekanik, manyetik, termal, aşınma ve korozyon özellikleri üzerinde etkisi vardır.

Sinterlenmiş çeliklerin termofiziksel özelliklerine, özellikle ısıl genleşme katsayılarına ve ısıl iletkenliklerine, parçaların tasarımında ve ısıl işlem süreçlerinin modellenmesinde ihtiyaç duyulmaktadır. TM topluluğunda yoğunluğun bu özellikler üzerindeki etkisi konusunda görüşler farklıdır. Bununla birlikte Danninger, dilatometri ile ölçülen 1000 °C' ye (1832 °F) kadar termal genleşme katsayısının 5,97 ila 7,53 g/cm³ arasında bir yoğunluk aralığında gözeneklilikten (yoğunluk) neredeyse bağımsız olduğunu göstermiştir. Ek olarak, ısıl iletkenlik ve özgül ısıyı ölçmek için lazer flaş kullanılarak aynı sıcaklık aralığında termal iletkenlik tespit edilmiş ve daha sonra termal iletkenlik bu parametrelerden ve yoğunluklara göre hesaplanmıştır:

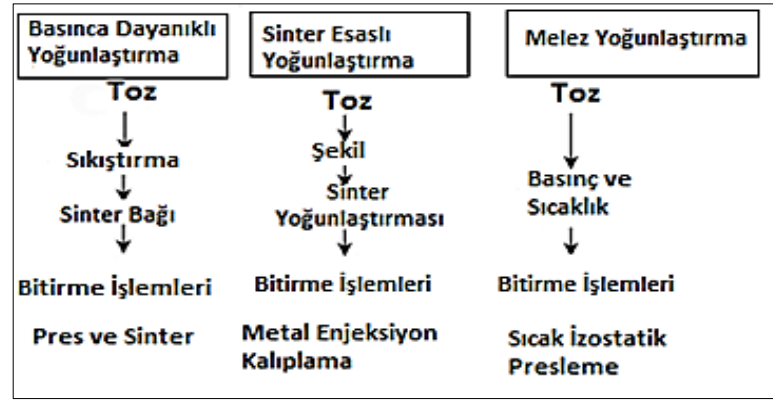
Burada α ısıl yayınımdır, l ısıl iletkenliktir, r yoğunluktur ve C_p sabit basınçta özgül ısıdır.

Bu denklemde termal iletkenliğin yoğunluğa bağlı olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, düşük ve orta sıcaklık aralığında farklı standart TM çelik kaliteleri incelendiğinde gözenekliliğin yoğunluğa etkisi, alaşım elementleri tarafından uygulanan etkiden biraz daha düşük olduğu gözlemlenir. Bu nedenle, her iki termofiziksel özellik de kimyasal bileşime göre gözeneklilikten önemli ölçüde daha az

etkilenir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen çelikler genellikle kabul edilenden daha çok dövme çeliklere benzemektedir [23].

4.3.1. Metal Tozlarını Birleştirmek İçin İşleme Seçenekleri

Şekil 4.5'te gösterildiği gibi metal tozlarının konsolidasyonuna yönelik üç temel yaklaşım vardır.



Şekil 4.5. Metal tozlarının sıkıştırmasına yönelik üç temel yaklaşım.

Basınca dayalı sıkıştırma, sıkıştırma işlemi yoluyla yoğunluk oluşturur, daha sonra kompaktlarda mukavemet geliştirmek için sinterlenir. Sert kalıp sıkıştırma bu kategoriye girer ve TM yapısal parçalarının yüksek hacimli üretimi için en uygun maliyetli yöntemdir. Bu yöntemin uygulanabilir olması için metal tozlarının düzensiz bir şekle ve iyi akış özelliklerine ihtiyacı vardır, sıkıştırılabilir olmalı ve iyi ön mukavemete sahip olmalıdırlar. (Ön yoğunluk, preslenmiş bir kompaktı tanımlamak için kullanılan terimdir.) Küresel şekle sahip aşırı sert partiküller, sert kalıp sıkıştırmada kullanım için uygun değildir. Sıkıştırma sınırlı kalıplarda yüksek basınçta gerçekleşir (kalıplar genellikle soğuk iş takım çeliği veya çimentolu karbürden yapılır). Demirli tozlar için sıkıştırma basınçları genellikle 400 ila 700 MPa (60 ila 100 ksi), alüminyum ve alüminyum alaşımlı tozlar için 100 ila 400 MPa (14,5 ila 60 ksi) ve bakır ve bakır alaşımlı tozlar için ise yaklaşık 400 MPa (60 ksi) civarındadır.

Sıkıştırma basıncı arttıkça ön yoğunluk artar ve daha yüksek sıkıştırma basınçlarında dengelenir. Toz parçacıkları plastik deformasyon sonucu sertleşir ve daha fazla plastik

akışına neden olmak için daha yüksek basınçlar gereklidir. Ek olarak, partikül düzenlenmesine yardımcı olmak ve toz ile sıkıştırma araçları arasındaki kurgusal kuvvetleri azaltmak için tipik olarak karıştırılan yağlama maddesinin sonunda gidecek yeri yoktur. Çünkü parçacıklar arasındaki tüm boşluklar ya metal akışı ya da mevcut tozlar tarafından kapatılmıştır. Düşük sıkıştırma basınçlarında daha fazla yağlayıcı yararlıdır, ancak ilave yağlayıcının daha fazla yoğunlaşmayı engellediği bir geçiş noktası vardır.

Sert sıkıştırma işleminin sıkıştırılabilirlik kısıtlamalarının üstesinden gelmek için sıcak sıkıştırma işlemi geliştirilmiştir. Toz karışımı ve sıkıştırma araçları yaklaşık 120 °C'ye (250 °F) ısıtılır ve toz tek bir baskı darbesiyle sıkıştırılır. Demir tozlarında yüksek basınç ile birlikte ön yoğunluğu 7.3 g/cm³'e kadaryükseltmek mümkündür. Sıkıştırılmakta olan toz karışımının gözeneksiz yoğunluğunun yaklaşık %98'dir. Sıcak sıkıştırma için özel yağlayıcılar ve bağlayıcı ile işlenmiş premiksler geliştirilmiştir. Özel yağlama maddesinin verimliliği, sert kalıp sıkıştırma için tipik olarak kullanılan ağırlıkça %0,8'den ağırlıkça %0,6'ya düşürülmüştür.

Sinterlemeye dayalı yoğunlaştırmada, bileşenin şekli bir kalıplama işleminde (örneğin, MIM) oluşturulur ve sinterleme, yüksek sıcaklıklar ve ince parçacık boyutlu tozların kullanılmasıyla artırılır. Sinterleme sırasında geniş bir büzülme meydana gelirken esasen izotropiktir, böylece iyi tolerans elde edilebilir. MIM için kullanılan besleme stoğundaki metal tozu yüklemesi yaklaşık %60'dır. Karışımı kalıplanabilir hale getirmek için eklenen bağlayıcılar ve plastikleştiriciler, son sinterlemeden önce çıkarılmalıdır. Bu "debinding" adımı, MIM işleminin hız kontrol aşamasıdır. Tozların kalıplanması veya şekillendirilmesini içeren diğer sinterleme bazlı yoğunlaştırma işlemleri kaymalı döküm ve bant dökümdür.

Hibrit Yoğunlaştırma: Bazı malzemeler için basınç ve sıcaklığın aynı anda uygulandığı bir hibrit yoğunlaştırma işlemi kullanılır. Daha önce belirtildiği gibi bazı tozlar çok sert, küresel şekilli veya çok reaktif sert kalıp sıkıştırma için uygun değildir. Bu durumda, güç ekstrüzyonu (tipik olarak kapsüllemeden sonra) veya HIP gibi işlemler kullanılır. Sıcak presleme (genellikle vakumda) veya kıvılcım sinterleme de kullanılabilir [24].

4.4. TAM YOĞUNLUK İŞLEMLERİ

Yüksek yoğunluk, yüksek performanslı parçalar için bir gerekliliktir. Gözeneksiz bir yapı yani tam yoğunluk sağlamak için farklı sinterleme yöntemleri; basınç destekli yöntemler uygulanır. Çoğu zaman basınçsız sinterlemenin yeterli olmadığı durumlarda, gözeneklerin ortadan kaldırılması için basınç ve sıcaklığının birlikte uygulanması gerekmektedir.

Petro kimya, havacılık, biomedikal, metal işleme, savunma gibi uygulamalardaki yüksek performanslı malzemeler gözeneksiz mikroyapılardır. Genelde tek sinterleme işlemi ile istenilen özelliklere ulaşılamaz, çünkü gözenekler büyük veya gaz ile dolu ise gözeneklerin giderilmesi zor olabilir, ek işlem gerekir ve maliyeti artar. Pek çok malzeme sıcaklığı artınca daha yumuşak, sünek hale gelir ve pekleşmeden şekil değiştirir (Howard ve Sanderow 1998).

Toz metalürji endüstrisinin sürekli gelişmektedir ve yüksek yoğunlukları ulaşabilmesi özellikle çelikler için çalışmalar yapılmaktadır. Alaşım tasarımı, sıvı faz sinterleme, teçhizat iyileştirme (presleme yöntemleri) faktörlerindeki gelişmeler ile üretilen malzemelerin özelliklerinde hayati gelişmeler sağlanmıştır. Tam yoğunluk, toz metalürjisi yönteminin geleceği için önem arz etmektedir. Toz metalürjisinde yüksek yoğunluklara ulaşmak için sıkıştırma yoğunluklu, sinterleme ağırlıklı ve birleşik yöntemler aşağıdaki gibidir (Rutz ve Hanejko 1994).

1. Sıcak sıkıştırma
2. Sıcak kalıp sıkıştırması
3. Çift presleme ve çift sinterleme (DPDS)
4. Yüksek hızlı sıkıştırma (HVC)
5. Soğuk izostatik presleme (CIP)
6. Toz dövme (PF)
7. Yüksek sıcaklık sinterleme (HTS)
8. Sıvı faz sinterleme (LPS)
9. Katkılı üretim (AM)
10. Sıcak izostatik presleme (HIP)

Sıcak sıkıştırma, tek eksenli olarak uygulanan basınç kullanılarak rijit bir kalıpta gerçekleştirilir, düşük gerilme oranı olan bir işlemdir. Grafit kalıpları kullanılabilir, bu durumda indüksiyonla ısıtma kullanılabilir. Sıcak presleme çevrim süreleri sert kalıp sıkıştırma ile karşılaştırıldığında yavaştır. Vakum bazen kompaktın kirlenmesini en aza indirmek için kullanılır. Elmas-metal-kompozit kesme aletleri genellikle sıcak preslenir. Kıvılcım sinterleme sıcak presleme ile ilgili bir işlemdir. Kıvılcım sinterlemesinde, konsolidasyon sırasında zımbalara, kalıba ve toz kütesine doğrudan dirençli ısıtma uygulanır.

Sıcak izostatik presleme tüm yönlerden aynı anda basınç uygular. Bir basınç farkı oluşturmak için tozlar, yüzeye ve birbirine bağlı gözenekliliğe sahip olmadıkları veya HIP işleminden önce kapsüllenmeleri gereken noktaya kadar işlenmelidir. HIP'ten önce, bir kaba toz doldurulur ve uçucu kirleticileri uzaklaştırmak için vakum altında ısıtılır. Tahliye ve gazdan arındırma işleminden sonra kap kapatılır. Konteyner konsolidasyon sıcaklığında yumuşak ve deforme olabilen herhangi bir malzemedен, örneğin cam, çelik veya paslanmaz çelikten imal edilebilir (seçim sıkıştırılmakta olan toz ile uyumluluğa bağlıdır) [15].

4.5. SON İŞLEMLER

TM, şekillendirme işlemi olarak kabul edilir ve birçok TM parçasınabitirme işlemi uygulanır. Bazen parçaların presleme ve sinterleme işlemi sırasında tutulabileceğinden daha yakın toleranslar gerekir, boyutsal değişkenliklerini azaltmak için boyutlandırılabilirler.

TM parçalarında yüzeyde bulunan porozlar yağ ile emprenye edilebilir ve bu kendinden yağlamalı rulmanların temelini oluşturur. Geleneksel rulmanlar hacimce %10 ila %30 yağ emebilir.

Reçine emdirme ile yüzeye bağlı gözeneklilik sızdırmaz hale getirilerek TM kısımlarında basınç sızdırmazlığı sağlanabilir. Vakum işleme genellikle TM parçalarını emprenye etmek için kullanılır. Basınç sızdırmazlığının geliştirilmesine ek olarak, TM parçalarının reçine emprenye edilmesi kaplamaya izin verir (aksi takdirde,

kaplama çözeltileri yüzeye bağlı gözeneklere hapsolür). Reçine emdirme, TM parçalarının delinebilirliğini önemli ölçüde geliştirir [25].

TM parçaları için işleme parametreleri, döküm veya ferforje bileşenler için kullanılanlardan farklıdır. TM malzemeleri gözenekler içerir. Malzemenin sertliğine bağlı olarak, kesme aletinin çevresindeki malzeme daha fazla veya daha az yoğunlaşacaktır. Gözeneklilik miktarı azaldıkça TM parçaları daha çok benzer bir mikroyapıya sahip döküm veya dövme parçalara benzer. TM parçalarının işlenebilirliğini arttırmak için sıkıştırmadan önce TM malzemesine manganez sülfür (MnS) gibi işlenebilirlik yardımcıları ilave edilebilir.

Toz metalurjisi parçaları döndürülebilir, frezelenabilir, delinebilir, dış açılabilir ve taşlanabilir. İşlenebilirlik, malzemenin yoğunluğuna ve mikro yapısına bağlıdır. Belirli bir yoğunluk ve mikroyapıdaki bir PM malzemesi için işlenebilirlik; gerçekleştirilen kesme işleminin tipine, kesici takım malzemesine ve kullanılan besleme ve hızlara bağlı olacaktır.

Demirli TM parçaları sertlik, mukavemet ve aşınma direncini artırmak için ısıt işlemden geçirilebilir. Nötr sertleştirme için yağ söndürme ve temperleme kullanılabilir. TM parçalarının indüksiyonla sertleştirilmesi de mümkündür. Gaz halinde karbonlama, nitrürleme, karbonitrürleme ve nitrokarbürleme işlemleri uygulanabilir. 7.1 g/cm³ (0,26 lb/inç³) altındaki yoğunluklarda demir içeren parçalara dikkat edilmelidir, çünkü parçanın çekirdeğine gaz girmesi tokluk kaybına yol açabilir. Tuz banyolarının kullanımından kaçınılmalıdır çünkü tuz yüzeye bağlı gözeneklere nüfuz eder ve daha sonra korozyon sorunlarına yol açar. Mikro sertleştirme sertlik testi, yüzey sertleştirilmiş PM parçalarının etkili kasa derinliğini belirlemek için kullanılır. Endüksiyonla sertleştirilmiş bir parça gibi sertleştirilmiş tabaka ile parçanın geri kalanı arasında net bir fark olduğu durumlarda, kasa derinliği metalografik bir tahmin yapılabilir.

Toz metalurjisi parçaları genellikle dönen varillerde aşındırıcı bir ortamda yuvarlanır veya bunları temizlemek ve çapakları gidermek için titreşimli tüplerde çalkalanır. Genellikle su emilimini en aza indirmek için yuvarlanmadan önce reçine veya

yağemdirilir. Suya pas önleyiciler eklenmelidir. Parçalar kuru döndürülebilir veya kurumaya kadar ısıtılabilir [15].

4.6. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Avantajları:

1. Talaşlı imalat işleminin ortadan kaldırılması veya azaltılması
2. Yüksek üretim oranları
3. Karmaşık şekiller
4. Kompozisyonlarda geniş çeşitlilikler
5. Geniş özellik varyasyonları

Dezavantajları:

1. Düşük güç özellikleri
2. Yüksek takım maliyetleri
3. Yüksek malzeme maliyeti
4. Boyut ve şekil sınırlamaları
5. Boyutsal değişiklikler
6. Sinterleme sırasında
7. Yoğunluk değişimleri
8. Sağlık ve güvenlik tehlikeleri [26]

BÖLÜM 5

LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde literatürdeki BN matrise ilave elinden takviye elemanlarının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi, aşınma hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Erden ve Türkmen “Effect of Boron Nitride Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of PM Steels” adlı çalışmasında toz metalurjisi yöntemiyle ürettikleri çeliklere farklı miktarlarda ekledikleri BN miktarının mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Farklı miktarda BN alaşımlı toz metalurjisi çeliklerini farklı oranlarda % BN ilave ederek 1150 °C’de sinterleme ve presleme ile üretmişlerdir. Bu çalışma sonucunda; sinterleme sırasında veya sonrasındaki soğutma sırasında oluşan çökelti sertleşmesi; taneciğin büyümesini önlemiş ve küçük östenit tanelerinin oluşumuna yol açmış ve çeliğin mukavemetini, çekme dayanımını, uzama, sertlik değerlerini arttırmıştır. %0,1 ve %0,2 BN ilave ettikleri toz metalurjisi çelikleri, alaşımsız toz metalurji çeliklerine kıyasla daha küçük tane yapısına sahip olduğunu saptamışlardır [1].

Li, Cai ve Yang “Effects of BN on The Microstructural Evolution and Mechanical Properties of BAS-BN Composites” adlı çalışmalarında BAS-BN seramik kompozitlerine, ağırlıkça farklı miktarda BN ekleyerek ve 1500 °C’de sıcak presleyip, sinterleme ile sentezlenerek mikro yapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve BAS-BN kompozitlerinin eğilme mukavemeti, kırılma tokluğu ve mikroyapıları incelenmişlerdir. Bu çalışma sonucunda; BN-BAS camı ile iyi bir kimyasal ve fiziksel uyumluluğu olduğunu, BN ve BAS’ın birleşiminin mükemmel bir güçlendirme-sertleştirme etkisine sahip olduğunu görmüşlerdir [2].

Zhang, Teng ve Li “Mechanical Properties and Microstructures of Hot-Pressed MgAlON-BN Composites” adlı çalışmasında sıcak preslenmiş MgAlON-BN

kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri, h-BN hacim fraksiyonlarının fonksiyonu olarak oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta incelenmiş, mikroyapıları SEM, TEM, HREM ve XRD teknikleri kullanılarak incelemiştir. Bu çalışma sonucunda; h-BN'nin MgAlON tane sınırı içinde homojen bir şekilde dağıldığını, MgAlON/h-BN kompozit seramiklerinin mükemmel işlenebilirliğini görmüşlerdir. Kristal olmayan malzemenin yüksek sıcaklıkta yumuşaması eğilme mukavemetinin azalmasına yol açtığını görmüşler ve son olarak yüksek performanslı bir MgAlON/h-BN kompozit malzeme elde etmek için bazı iyileştirmelere ihtiyaç olduğu; ilk olarak başlangıç tozlarının morfolojik ve kimyasal karakterizasyonu kontrol edilerek gerçekleştirilebilen homojen bir mikroyapı istendiği. İkinci olarak kompozit malzeme oda sıcaklığına soğutulduğunda mikro yapıyı ve MgAlON matrisi ile h-BN tanecikleri arasındaki termal uyumsuzluğu kontrol etmek için uygun bir BN ilavesi uygun olacağını saptamışlardır [3].

Liu, Chai ve Huang “Effect of Boron Nitride Nanotubes Content on the Mechanical Properties and Microstructure of Ti (C, N) - Based Cermets” adlı çalışmasında Bor nitrür nanotüpleri (BNNT’ler) takviyeli Ti (C, N) bazlı sermetler sıcak presleme ile imal etmiş ve BNNT içeriğinin mekanik özellikleri ve mikro yapıları üzerindeki etkisi, Ti (C, N)/BNNT bileşiklerinin sertleştirme ve güçlendirme mekanizmaları analiz edilerek araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda; BNNT’lerin Ti (C, N) bazlı sermetlere dahil edilmesi eğilme mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu yapılan Vickers sertliği testi sonucunda görülmüş, farklı miktarlarda katılan Bor nitrür nanotüp içeriğinin Ti (C, N) bazlı sermetlerde eğilme mukavemeti, kırılma tokluğunu ve tane sınırını değiştirdiğini, saptamışlardır [4].

Vernersson, Abbasi ve Olofsson “Wear of Railway Brake Block Materials at Elevated Temperatures; Pin on Disc Experiments” adlı çalışmasında döküm diskiyle yapılan deneysel çalışmalarda bazı fren blok (kompozit, pig ve döküm sabo) malzemelerinin kontrollü yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımlarını pin diskaşınma testi methoduyla incelemiştir. Bu çalışma sonucunda; çalışılan üç organik kompozit malzeme için aşınma oranını yüksek sıcaklıklarda farklı aşınma özellikleri gösterdiği, artan sıcaklıkla ise azaldığını saptamışlardır. Sinter blok malzemesinin ise sıcaklıkla

yalnızca zayıf bir aşınma oranı gösterdiği tespit edilmiş ve incelenen sıcaklıklar için net bir termal sigorta sıcaklığı gözlemlenmemiştir [5].

Lyu, Zhu ve Olofsson “Wear Between Wheel and Rail: A Pin-on-Disc Study of Environmental Conditions and Iron Oxides” adlı çalışmasında pim diskaşınma cihazı testi kullanılarak çevresel koşulların ve demir oksitlerin tekerlek-ray temasında aşınma direncine etkisini incelemiştir. Aşınma mekanizmaları, taramalı elektron mikroskopu kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışma sonucunda; aşınma mekanizmalarının çevre koşullarına oldukça bağımlı olduğu gözlenmiştir. Genel olarak, her üç test sıcaklığında da bağıl nemi artıran oksitlenmiş disklerle aşınma oranları düştüğünü, temiz test diskleri için, aşınma oranında bağıl neme karşı daha az homojen bir değişiklik olduğunu, mevcut araştırmada okside edilmiş disklerin aşınma testleriyle simüle edilmesi sonucunda aşınma oranları nem ile değişkenlik göstermiştir. Ayrıca oksit tabakasının aşınma oranını arttırdığı sonucu Kalousek gözlemiyle uyumludur, bir ray yüzeyinde martensitik tabakanın kolayca oksitlendiğini ve aşınmayı hızlandırmaya yardımcı olduğunu tespit eder. Düşük nem seviyesi sonuçları göz önüne alındığında, sıcaklık düşürülürken aşınma hızındaki artış eğilimleri, Waara'nın tam ölçekli test sonuçları ile uyumludur. Sonuçları Hardwick'in çalışmasıyla karşılaştırarak, artan nemin oda sıcaklığında 20 °C'deki aşınma oranını değiştirmedeği görülmekte, bununla birlikte, Hardwick'in sonuçları, temas su damlacıkları uygulanırken aşınma oranlarında bir düşüş olduğunu göstermektedir. Ancak testlerinde nem seviyesi doygunluk oranının altındaydı bu nedenle çelik yüzeylerdeki nemden dolayı herhangi bir damlacık oluşmadı. Ancak, daha yüksek nem seviyelerinde sonuçlar ters yönde olduğunu gözlemlenmiştir [6].

Sundh, Olofsson ve Sundvall “Seizure and Wear Rate Testing of Wheel Rail Contacts Under Lubricated Conditions Using Pin on Disc Methodology” adlı çalışmasında farklı temas koşulları altında bir yağlayıcı madde seçimi arasındaki aşınma oranının farkını belirlemek için disk üzerine pim diskaşınma cihazı testi kullanılarak bir deneysel temas simüle edilmiştir. Yağlama maddesi seçimi, çevresel olarak uyarlanmış yağlar, mineral yağlar ve farklı miktarlarda EP ve AW katkı maddeleri içeren greşlerden oluşmuştur. Bu çalışma sonucunda; uygulanan yağlama miktarının ve türünün, aşınma oranı ve aktif aşınma mekanizması için belirleyici olduğunu gözlemiştir. Yağlama

koşulları altında, ciddi aşınma geçişin başlatıldığı ve aşınma oranının hızlı bir şekilde arttığı, yüksek aşınma oranlarından kaçınmak için tekerlek ve ray arasındaki temasın yağlanması gerektiğini göstermiştir [7].

BÖLÜM 6

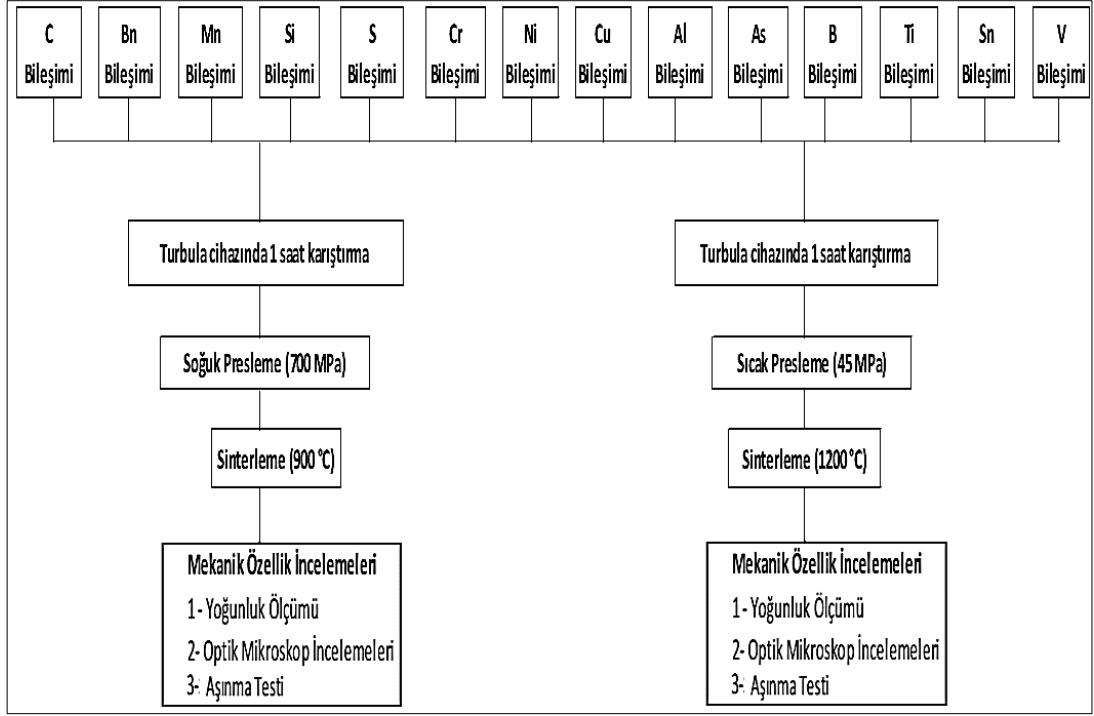
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, lokomotiflerde kullanılan dökme demir saboların kompozisyonlarının toz metalürjisi yöntemiyle üretilmesini, üretimi esnasında kompozisyona belli oranlarda BN ilave ederek mikro yapı, mekanik özellikler ve aşınma karakteristiğinde meydana gelecek değişiklikler incelenmesi amaçlanmıştır. Bölüm 6.2’de deneysel çalışmalarda izlenen işlem basamaklarını açıklanmaktadır. Bölüm 6.3’te deneysel çalışma ortamının hazırlanışı, Bölüm 6.4’te deneysel çalışma için gerekli tozların temini, Bölüm 6.5’te ise istenilen kimyasal bileşimde hazırlanan tozların karıştırılması ve uygun basınçta preslenmesi anlatılmaktadır. Bölüm 6.6’da sinterleme işleminin basamakları, Bölüm 6.7’de sinterlenen numunelere uygulanan sertlik ve aşınma testi açıklanırken, Bölüm 6.8’de sinterlenen numunelerin tarama elektron mikroskop incelemeleri anlatılmaktadır. Tarama elektron mikroskobu ve aşınma testi Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM Laboratuvarlarında, mikroyapı ve sertlik testleri KARDEMİR A.Ş Kalite Metalurji ve Labartuvarlar Müdürlüğü Mekanik Fizik ve Test Labaratuvarında yapılmıştır.

6.2. DENEYSEL ÇALIŞMADA İZLENEN İŞLEM BASAMAKLARI

Deneysel çalışmada izlenen akış şeması Şekil 6.1’de görülmektedir. Şekil 6.1’den de görüldüğü gibi deneysel çalışmalar tozların temini, istenilen kimyasal bileşimlerde karıştırılması, preslenmesi, sinterlenmesi, mekanik testlerin yapılması ve SEM aşamalarını kapsamaktadır.



Şekil 6.1. Deneysel işlemlere ait akış şeması.

6.3. DENEYSEL ÇALIŞMA ORTAMI

Deneysel çalışma ortamının önemli bir kısmı Karabük Üniversitesi, Demir Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Tozların tartılması ve üretilen numunelerin hem ve sinterleme sonrası yoğunluk ölçümlerinin yapılması için RADWAG AS-60-220 C/2 hassas terazi kullanılmıştır. BN tozlarının presleme için kullanılan 100 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır.

6.4. DENEYSEL ÇALIŞMA İÇİN GEREKLİ OLAN TOZLARIN TEMİNİ

BN ilaveli sabo üretimi için gerekli olan tozların temini yapılmış olup, toz boyutu ve saflık değeri gibi özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Tozlar ve özellikleri.

	Tozlar	Toz Boyutu	% Saflık Değeri
1	BN	<1 nm	98
2	Al	40-50 nm	99,99
3	C	40-50 nm	99,99
4	Mn	40-50 nm	99,99
5	Ni	40-50 nm	99,99
6	Si	40-50 nm	99,99

Çizelge 6.1’de belirtilen tozlar, Çizelge 6.2’de verilen kimyasal bileşenlerde karıştırılmıştır. Üretimi yapılan kompozisyonlar yoğunluk ölçümü, mikroyapı inceleme, mikro sertlik ölçümü ve kuru aşınma testine tabi tutulmuştur.

6.5. TOZLARIN KARIŞTIRILMASI VE SIKIŞTIRILMASI

Temin edilen tozlar Çizelge 6.2’de kimyasal kompozisyonu verilen oranlarda hassas terazi ile 0,0001 gr hassasiyetinde tartılmıştır. Tartımı yapılan tozlar 1 saat süreyle karıştırılmıştır.

Çizelge 6.2. Kompozit malzeme üretimi için kullanılan tozların kimyasal kompozisyonları.

	Bileşen	BN (%ağ)	C (%ağ)	Mn (%ağ)	Si (%ağ)	Fe (%ağ)
1	1 No.lu numune	0	3,56	0,943	2,204	Kalan
2	2 No.lu numune	0,25	3,56	0,943	2,204	Kalan
3	3 No.lu numune	0,5	3,56	0,943	2,204	Kalan
4	4 No.lu numune	1	3,56	0,943	2,204	Kalan

Üretimi yapılacak olan kompozisyonlar iki farklı yöntemle imal edilmiştir. Bunlardan ilki soğuk preslemedir. Bu yöntemde karıştırma işleminin ardından tozlar 10 mm çapa sahip çelik kalıp (Şekil 6.2) içerisinde Şekil 6.3’te görünen hidrolik preste 700 MPa basınç altında preslenmiştir. İkinci yöntem ise sıcak presleme yöntemidir. Bu yöntemde de soğuk presleme sonrası üretilen ve sertliği en yüksek çıkan kompozisyon

seçilmiş ve o kompozisyonun sıcak preste üretimi yapılmıştır. Sıcak preslemede hazırlanan tozlar atmosfer kontrollü fırında grafit kalıp içerisinde 900 °C sıcaklıkta 45 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır.

Üretilen tozların preslenmesinde kullanılacak hidrolük pres Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Kalıp 4140 çeliğinden imal edilmiştir ve iç çapı 10 mm, yüksekliği 120 mm olup Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Preslenmede 100 ton basma kapasiteli pres kullanılmıştır. Kalıba presleme işleminden önce 15-20 gr toz karışımı koyulmuştur. Preslendikten sonra yaklaşık 20 mm yüksekliğinde 10 mm ve 15 mm çapında numune elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Tozların preslendiği kalıp.



Şekil 6.3. Preslemede kullanılan hidrolik pres.



Şekil 6.4. Atmosfer kontrollü sıcak pres.

6.6. SINTERLEME İŞLEMİ

Üretilen numunelerin sinterleme işlemleri argon atmosferinde yapılmıştır. Sıcak preslenen numuneler 900 °C sıcak preslenmiş ve ardından diğer tüm numunelerle birlikte argon atmosferinde 1200 °C’de sinterleme işlemine tabi tutulmuştur.

Üretilen numunelerin sinterleme işlemi Karabük Üniversitesi, Demir Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında bulunan Şekil 6.5’te gösterilen atmosfer kontrollü ısıtma işlem fırınında yapılmıştır.



Şekil 6.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan atmosfer kontrollü ısıtma işlem fırını.

Presleme ve sinterleme işlemleri ile üretimi gerçekleştirilen numunelerin görüntüleri Şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.3. Sinterleme işlemi gerçekleştirilen sade alaşımlı ve BN takviyeli kompozit malzemeler.

6.7. YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ

Elde edilen numunelerin yoğunluklarının ölçümü için, Karabük Üniversitesi Teknoloji Demir Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarındaki Precisa XS 220A marka 0,1

mg hassasiyete sahip elektronik tartı ve yoğunluk ölçüm cihazıyla Archimets prensibiyle yapılmıştır.

6.8. OPTİK MİKROSKOP İNCELEMELERİ

Mikroyapı incelemeleri, KARDEMİR A.Ş., Kalite Metalurji ve Labartuvarlar Müdürlüğü, Mekanik Fizik ve Test Laboratuvarında bulunan X25-X1500 büyütme kapasiteli Nikon Eclipse MA 200 marka optik mikroskop ile yapılmıştır. Üretilmiş olan dört numunenin de değişik bölgelerinden 2 adet 200 μ (100x), 3 adet 50 μ (500x) büyüklüklerde görüntüler alınarak bu görüntülerin bütün mikroyapıyı temsil edebilir nitelikte olmasına önem verilmiştir. SEM incelemeleri ise Karabük Üniversitesi, Demir Çelik Enstitüsü, MARGEM laboratuvarında yapılmıştır.

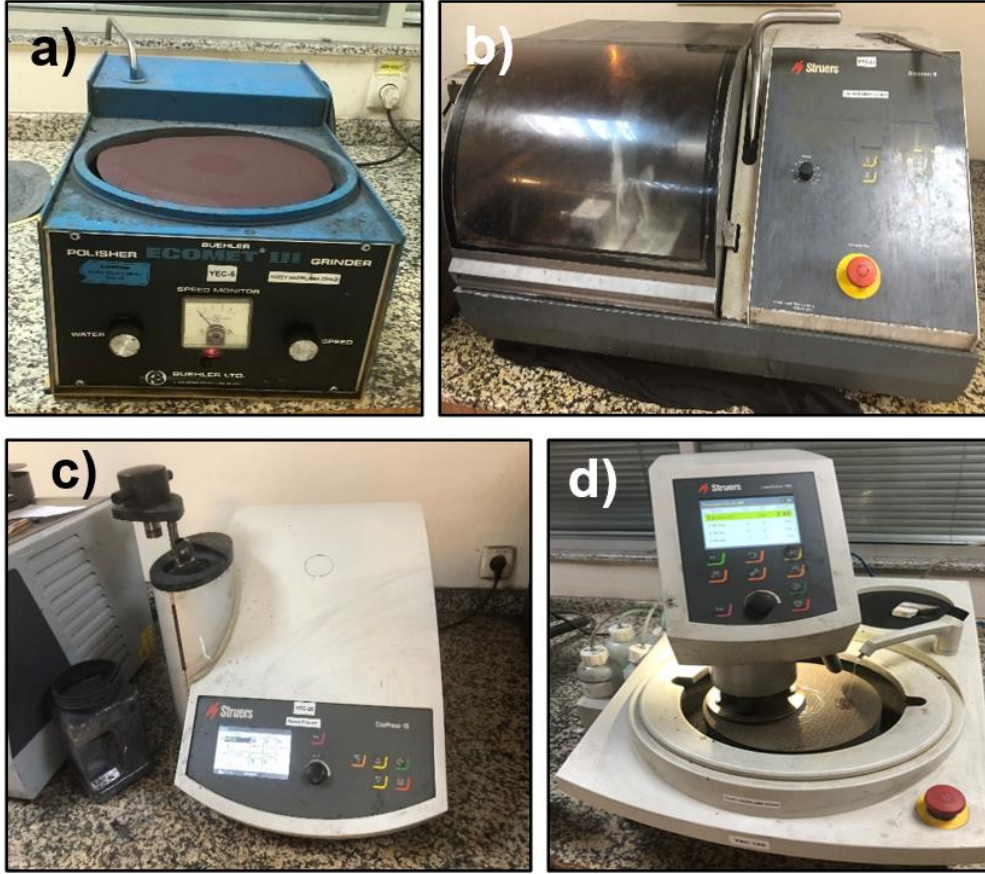


Şekil 6.4. Nikon marka optik mikroskop.

6.8.1. Metalografik İncelemelerde Kullanılan Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada argon atmosferinde sinterlenerek üretilmiş numunelerin mikroyapısını incelemek amacıyla optik mikroskop kullanılmıştır. Farklı bileşimlere sahip sabo numuneleri öncelikle Şekil 6.8.b'deki hassas kesme cihazında kesilerek numuneler uygun boyuta getirildi. Şekil 6.8.a'daki yüzey hazırlama cihazında yüzeydeki pürüzler yok edilinceye kadar zımparalanmıştır. Ardından Şekil 6.8.c'deki bakalit cihazında

numunelerin bakaliti alınmıştır. Bakaliti alınan numunelere yüzey parlatma işlemi uygulanmıştır. Yüzey hazırlama cihazında farklı solisyon ve keçeler kullanılarakdağlamaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6.8. a) Yüzey hazırlama cihazı b) Hassas kesme cihazı c) Bakaliti cihazı d) Yüzey hazırlama cihazı

6.8.2. Dağlayıcıların Hazırlanması ve Dağlama İşleminin Yapılması

Metelografik incelemeler için parlatılan ve dağlamaya hazır hale getirilen numuneler için etanol içerisinde %2 nitrik asit karıştırılarak elde edilen nital çözeltisi hazırlanmıştır. Dağlama işlemi, numunelerin Nital çözeltisi içerisinde daldırılarak 8-10 saniye bekletilmesiyle yapılmıştır. Dağlama işlemi yapıldıktan sonra dağlanan yüzeyler alkollü su ile temizlenip kurutulmuş ve ardından optik mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir.

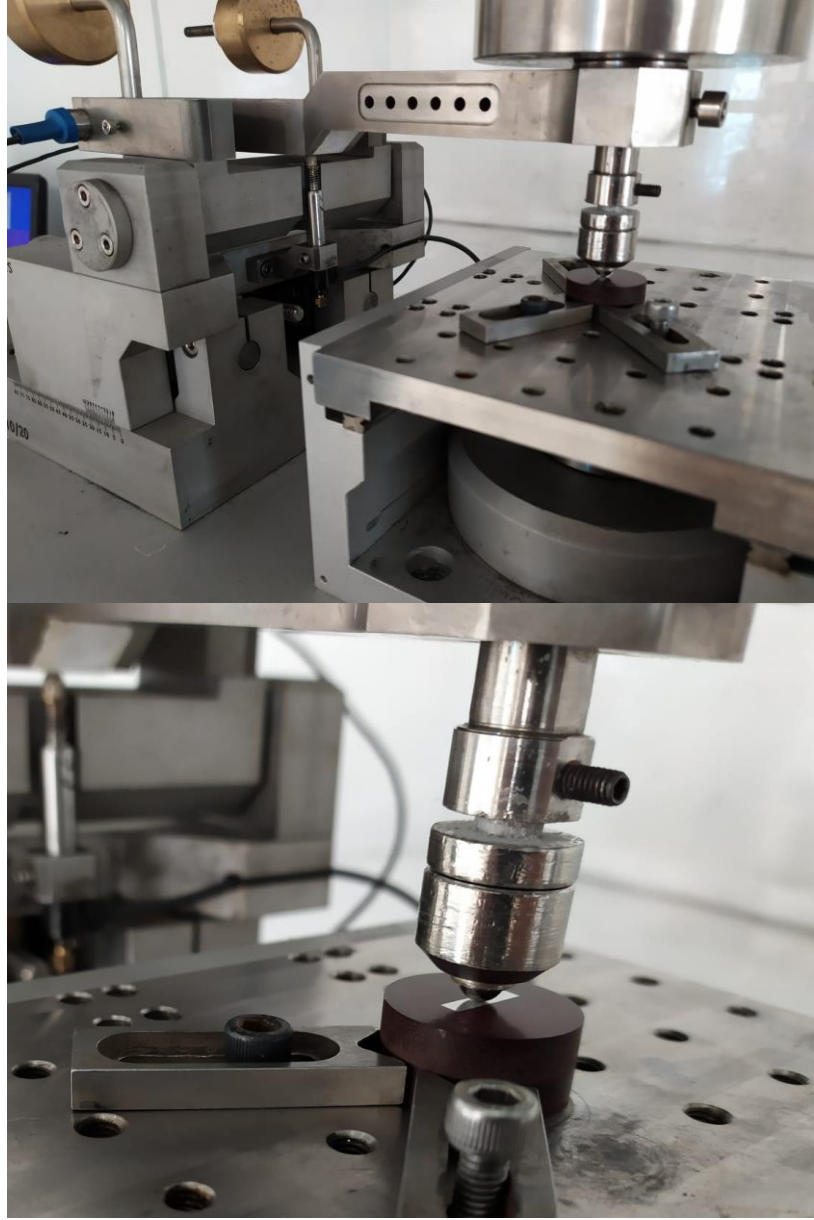
6.9. NUMUNELERİN SERTLİK ÖLÇÜMLERİ VE AŞINMA DENEYİNİN UYGULANMASI

Numunelerin sertlik ölçümleri KARDEMİR A.Ş, Kalite Metalurji ve Labartuvarlar Müdürlüğü, Mekanik Fizik ve Test Labaratuvarında, aşınma deneyleri Karabük Üniversitesi, Demir Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarındaki cihazlarda yapılmıştır. Numunelerin yüzeyleri Struers Tegramin 30 model cihaz ile zımparalanarak hazır hale getirildi ve sertlik ölçümleri Şekil 6.9’da gösterilen EMCO test marka mikro sertlik cihazında 15 saniye sürede HV 0,5 yük ile uygulanarak gerçekleştirildi. Her bir numune için 5 adet sertlik ölçümü alınmıştır ve ortalaması alınan ölçüm değerleri aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

Aşınma testi MARGEM laboratuvarında bulunan Tribometre isimli aşınma test cihazında 30 N yük altında 200 metre sürtünme mesafesinde ileri geri tip aşınma test yöntemi ile yapılmıştır. Test sonucunda numunelerin ağırlık kayıpları üzerinden aşınma sonuçları yorumlanmıştır.



Şekil 6.9. EMCO Test marka universal mikro sertlik cihazı.



Şekil 6.10. Tribometre aşınma test cihazı.



Şekil 6.11. Mikroyapı, sertlik ve aşınma deneylerinin yapıldığı bakalite alınmış numuneler.

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. GİRİŞ

Bu bölüm, toz metalurjisi ile farklı üretim teknikleri ile üretilen numunelerin BN ilave miktarına bağlı olarak deneysel sonuçlarını ve bu sonuçların değerlendirilmesini içermektedir.

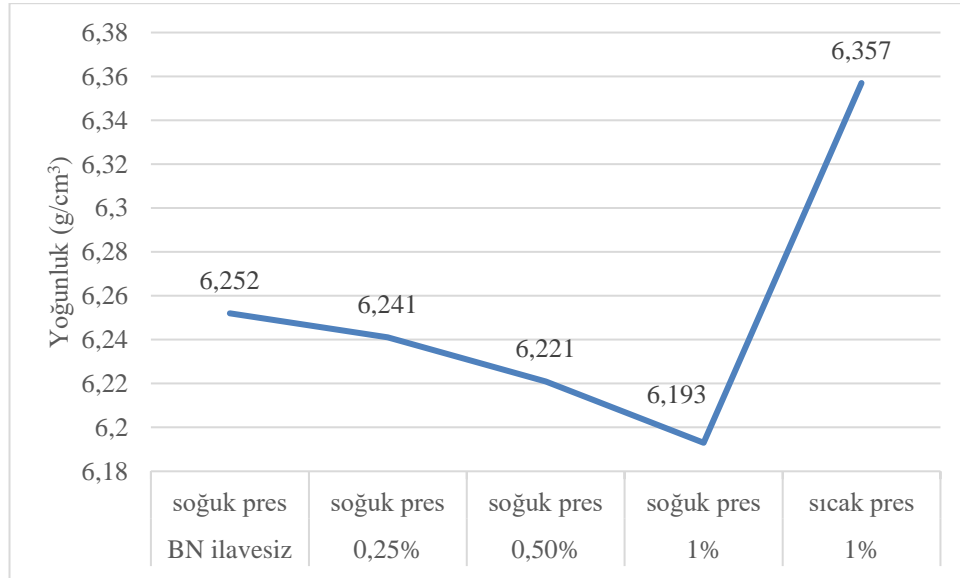
7.2. YOĞUNLUK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Bor Nitrür ilavesi ile genel olarak yoğunluk düşmüştür. Soğuk presleme ile elde edilen numunelerin yoğunlukları karşılaştırıldığında, BN ilavesiz numunesinin en yüksek yoğunluğa, %1 BN ilave numunenin en düşük yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Sıcak ve soğuk presleme ile elde edilen numuneler kıyaslandığında ise sıcak presleme ile edilen numune en yüksek yoğunluğa sahip olup, soğuk presleme ile elde edilen numuneden yoğunluğunun yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sıcak presleme ile elde edilen numune, ilgili beş numunenin yoğunluğundan yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni sıcak preslemenin, numune üzerindeki yoğunluğu artırıcı etkisinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilir.

Çizelge 7.1. Yoğunluk ölçüm sonuçları.

Numune	Yoğunluk (gr/cm ³)
Soğuk presleme BN ilavesiz	6,252
Soğuk presleme %0,25 BN	6,241
Soğuk presleme %0,5 BN	6,221
Soğuk presleme %1 BN	6,193
Sıcak presleme %1 BN	6,357


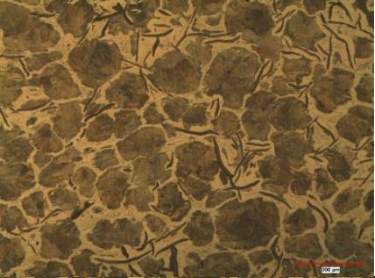
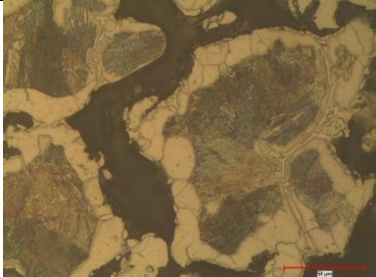
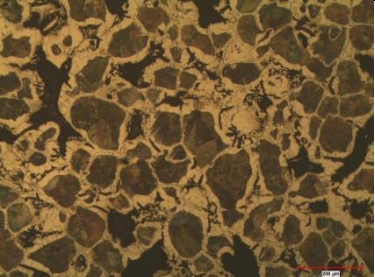

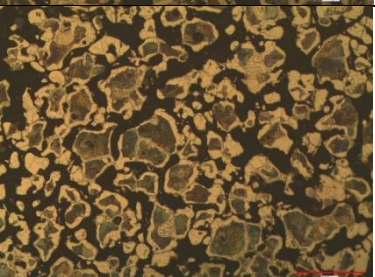
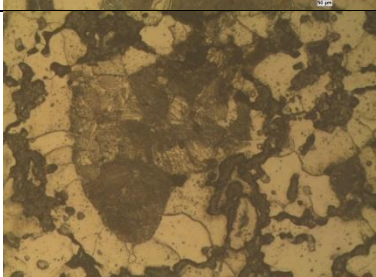
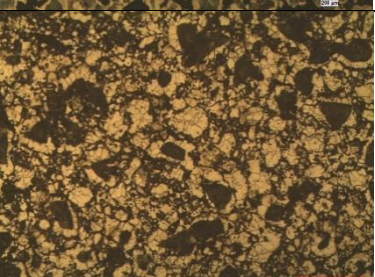


İlgili numunelere ait yoğunluk grafiği incelendiğinde de BN ilavesi ile yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Ama BN ilaveli sıcak preslemenin yoğunluğu arttırmaktadır. Sonuç olarak BN ilavesi ile soğuk presleme yoğunluğu azaltmakta fakat BN ilaveli sıcak presleme ise yoğunluğu diğer numunelere göre yoğunluğu arttırmaktadır.



Şekil 7.1. Yoğunluk ölçüm sonuç grafiği.

7.3. MİKROYAPI SONUÇLARI

Elde edilen numunelerin mikroyapı görüntüleri optik mikroskop yardımı ile elde edilmiştir ve Şekil 7.2’de gösterilmiştir.

Numune	100X Büyütme	500X Büyütme
Soğuk presleme BN ilavesiz		
Soğuk presleme %0,25 BN		
Soğuk presleme %0,5 BN		
Soğuk presleme %1 BN		
Sıcak presleme %1 BN		

Şekil 7.2. Mikroyapı sonuçları (100x ve 500x büyütme).

Soğuk presleme birbiri ile kıyaslandığında; Bor Nitrür ilavesinin miktarı arttıkça yapıda tane boyutunun küçüldüğü görülmektedir. Bor Nitrür miktarının %0'dan %1'e kadar ilavesi ile tane boyutunun küçüldüğü mikroyapıda açıkça görülmektedir. Ayrıca dayanım artışının diğer bir sebebi de ilave edilen Bor Nitrür çökeltilerinin tane içinde ve tane sınırlarında oluşmasından kaynaklı olarak dayanım artışına ikinci bir sebebiyet de vermiş olduğu düşünülmektedir.

Bor Nitrür ilavesi tane içinde ve tane sınırlarında yığılması dislokasyon hareketini engellemesinden dolayı ve ayrıca tane büyümesini engellemesinden dolayı dayanıma katkı sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra soğuk preslenmiş Bor Nitrür ile sıcak preslenmiş %1 Bor Nitrür kıyaslandığında uygulanan sinterleme sürecinde tane büyümesi gözlemlenmiştir. Bu da sertlik ve aşınma değerlerinde düşüşe sebebiyet vermiştir şeklinde açıklama yapılabilir.

Gerekçe olarak da sıcak preslemede önce 900 °C'de sıcak preslendikten sonra 1300 °C'de de ilave bir sinterleme yapılması, Bor Nitrür çökeltilerinin büyümesine ve dislokasyon hareketlerini engellemeyi azaltmasıdır. Ayrıca sinterleme sıcaklığının, ikinci bir sinterleme ile tane büyümesine sebebiyet vermesi, dayanımın düşmesine neden olmaktadır.

7.4. SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

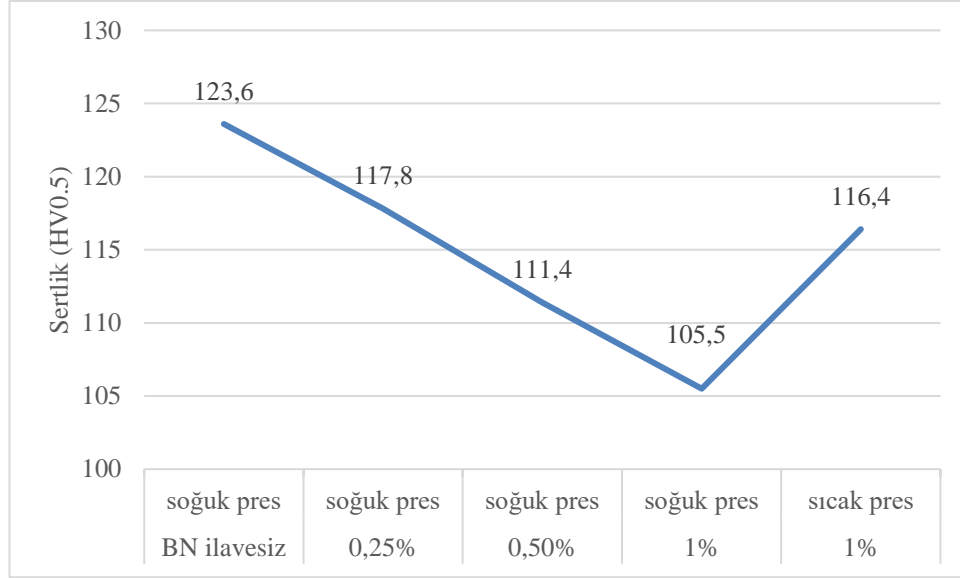
Sertlik ölçümleri 0,5 HV yük altında yapılmıştır. Her numune üründen alınan 5 adet sertlik ölçümünün ortalama değerine göre ilgili veriler çizelge ve grafikte verilmiştir.

İlgili çizelge ve grafik incelendiğinde; BN ilavesinin olmadığı numunenin sertliği, BN ilaveli diğer numunelere kıyasla en yüksek sertlikte olduğu görülmektedir. BN ilaveli numuneler birbiri ile kıyaslandığında ise, BN ilave miktarının artması, sertliği azaltmaktadır. Dolayısıyla BN ilavesinin en fazla olduğu numune, numuneler içerisinde sertlik değeri en düşüktür. Ancak sıcak presleme ile elde edilen numune, sıcak presleme sertliği arttırdığından dolayı, çalışmadaki diğer numunelerle karşılaştırıldığında ortalama bir sertliğe sahiptir denilebilir. BN ilavesi sertlik azaltmakta olup, sıcaklık ise BN ilavesi ile düşen sertlik değerini arttırmaktadır. Sıcak ve soğuk presleme ile elde edilen %1 BN ilaveli numune sertliklerinin karşılaştırılmasında ise sıcak presleme numune sertliğinin, soğuk presleme numune sertliğinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Özetle ilgili numuneler içerisinde en yüksek sertliğe sahip olan numune BN ilavesiz olanıdır. En düşük sertliğe sahip olan numune ise soğuk preslenerek ve %1 BN ilaveli numunedir.

Çizelge 7.2. Sertlik ölçüm sonuçları.

Numune	Ortalama Sertlik (HV0,5)
Soğuk presleme BN ilavesiz	123,6
Soğuk presleme %0,25 BN	117,8
Soğuk presleme %0,5 BN	111,4
Soğuk presleme %1 BN	105,5
Sıcak presleme %1 BN	116,4



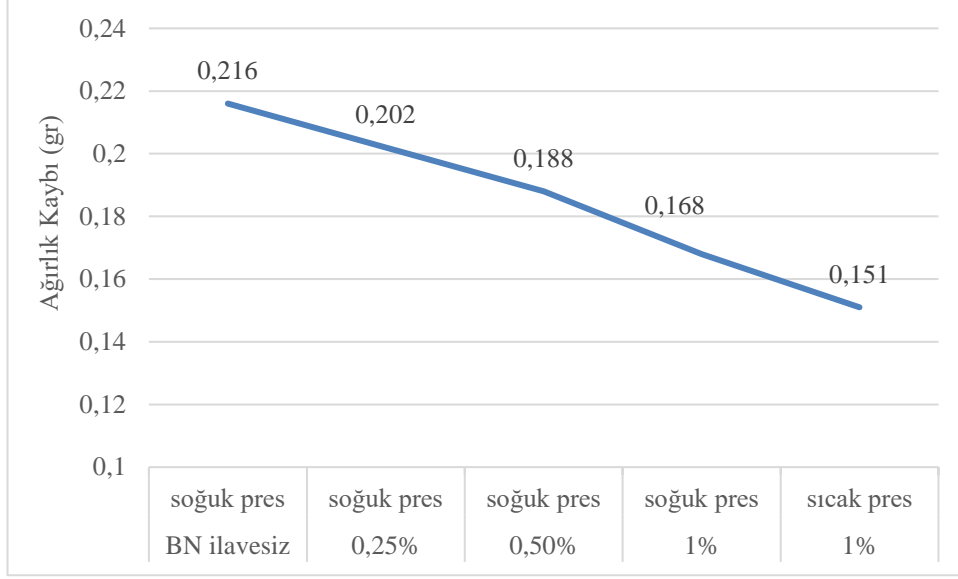
Şekil 7.3. Sertlik ölçüm sonuçları.

7.5. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI


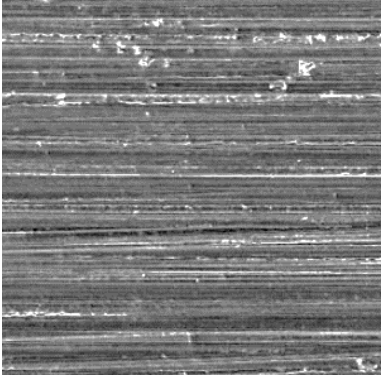
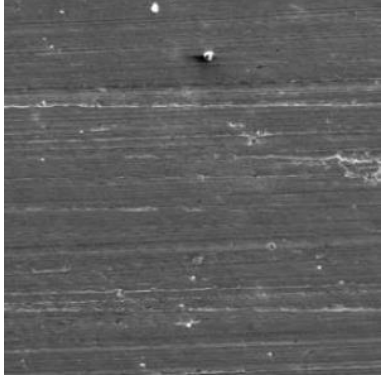
Tablo 7.3'te üretimi yapılan numuneler için 20 N yük altında yapılan aşınma testi sonrası kütle kaybı sonuçları verilmiştir. Şekil 7.4'te görüldüğü üzere en düşük aşınma kaybı Sıcak presleme %1 BN numunede ve en yüksek aşınma kaybı ise Soğuk presleme BN ilavesiz numunede görülmüştür.

Tablo 7.3. Aşınma testi sonrası kütle kaybı veriler (Yük 20 N).

Numune	Ağırlık kaybı (gr)
Soğuk presleme BN ilavesiz	0,216
Soğuk presleme %0,25 BN	0,202
Soğuk presleme %0,5 BN	0,188
Soğuk presleme %1 BN	0,168
Sıcak presleme %1 BN	0,151



Şekil 7.4. Aşınma testi kütle kaybı grafiği (Yük 20 N).

Numune	Aşınma yüzey görüntüleri
Soğuk presleme BN ilavesiz	
Soğuk presleme %1 BN	
Sıcak presleme %1 BN	

Şekil 7.5. Üretimi yapılan numunelerin aşınan yüzey görüntüleri (X500).

Çizik yüzey fotoğraflarında görüleceği gibi en derin ve geniş aşınma izleri Soğuk presleme BN ilavesiz numunenin yüzeyinde görülmektedir. Soğuk presleme %1 BN numunenin yüzeyindeki çizikler yüzeysel ve dar olmasına rağmen Sıcak presleme %1 BN numunenin yüzeyindeki çizikler daha yüzeysel ve dardır. Bulunan sonuçlar aşınmış yüzeyden alınan görüntüleri desteklenmektedir. Bu resimlerde de görüleceği gibi numunelerde BN artışıyla beraber genişlikleri ve derinlikleri azalmaktadır.

BÖLÜM 8

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle üretilen saboya BN ilavesi eklenerek üretilen numunelerin mikroyapı karakterizasyonu ve mekanik testleri yapılmıştır. Elde edilen genel sonuçlar ve bu sonuçlar ışığında yapılan öneriler aşağıda verilmiştir.

Mikroyapı sonuçlarına göre; Sıcak presleme ile tane boyutu büyümesi gerçekleşmektedir. Bu durum dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla sinterleme sıcaklığının yüksek olması, dayanımı düşürmektedir.

Yoğunluk ve sertlik sonuçlarına göre; BN ilavesi ile yoğunluk ve sertlik düşmüştür. Sertlik ve yoğunluğun düşmesi, soğuk presleme ile elde edilen numunelerde gerçekleşmiştir. BN ilaveli sıcak presleme, BN ilaveli soğuk preslemeden farklı olarak, yoğunluk ve sertlikte artışa neden olmuştur. Sıcak presleme ile elde edilen BN ilaveli numunenin yoğunluğu en yüksek değere ulaşmıştır. Sertlikte ise, sıcak presleme ile elde edilen BN ilaveli numunenin sertliği diğer numunelerle karşılaştırıldığında ortalama bir sertliğe sahiptir.

Aşınma sonuçlarına göre; BN artışıyla beraber genişlikleri ve derinlikleri azalmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Bureika, G. and Mikaliunas, S., “Research on the compatibility of the calculation methods of rolling-stock brakes”, *Transport*, 23 (4): 351-355 (2008).
2. Hasegawa, I. and Uchida, S., “Railway technology today 7. braking systems”, *Japan Railway & Transport Review (JRTR)*, 20: 52-29 (1999).
3. Sharma, R. C., Pathak, R. K. and Dhingra, M., “Braking system in railway vehicle”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 4 (1): 206-211 (2015).
4. Zhang, Z. and Dhanasekar, M., “Dynamics of railway wagons subjected to braking/traction torque”, *Vehicle System Dynamics*, 47 (3): 285-307 (2009).
5. Liudvinavicius, L. and Lingaitis, L. P., “Electrodynamic braking in high-speed rail transport”, *Transport*, 22 (3): 178-186, (2007).
6. Cruceanu, C. and Craciun, C., “Aspects regarding the braking capacity of composite brake shoes for railway vehicles” *Materiale Plastice (Mater. Plast.)*, 56 (1): 18-21 (2019).
7. Akbayır, Ö., “Yük vagonlarında kullanılan sabo çeşitleri ve karşılaştırması”, *I. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı (IWRSE'12)* (2012).
8. Halling, J. “Principles of tribology”, *ISBN: 978-0-333-24686-3* (1978).
9. Kato, K. Zhou, F. and Adachi, K., “Wear-mechanism map of amorphous carbon nitride coatings sliding against silicon carbide balls in water”, *Surface and Coatings Technology*, 200 (16-17): 4909-4917 (2006).
10. Adachi, K. Kato, K. and Chen, N., “Wear map of ceramics”, *Wear*, 203-204: 291-301 (1997).
11. Devaraju, A., “A critical review on different types of wear of material”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 6 (11): 77-83 (2015).
12. Kovarikova, I. and Szewzycova, B., “Study and characteristic of abrasif wear mechanism”, *Materials Science* (2009).

13. Akagaki, T. and Kato, K., "Simulation of flow wear in boundary lubrication using Vickers inden-tation method", *STLE Trib. Trans.*, 31 (3): 311-316 (1988).
14. German, R. M., "Powder metallurgy & particulate materials processing", *Metal Powder Industries Federation*, Princeton, NJ (2005).
15. James, W. B., "Powder metallurgy methods and applications", *ASM Handbook Powder Metallurgy*, 7: 9-19 (2015).
16. Oğuz, E., "The development and application of powder metallurgy manufacturing methods in automotive industry ", *International Journal of Engineering Research and Development*, 9 (3): 100-114 (2017).
17. Kuhn, H. A., Lawley, A., "Powder Metallurgy Processing", *Academic Press*, New York, San Francisco, London (1978).
18. Saito T., Fukui, M. and Takeishi, H., "Anisotropic SM-Fe-N magnets produced by compression shearing method", *Applied Physics Letters*, 89 (16) (2006).
19. German, R. M., "Progress in powder metallurgy", *Annual Powder Metallurgy Conference Proceeding*, Metal powder Industries Federation, American Powder Metallurgy Institute, USA.
20. Jones, W. D., "Fundamental principles of powder metallurgy", *Edward Arnold Publishers Ltd*, (1960).
21. Erden, M. A., "Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen mikroalaşım çeliklerinin mikroyapı mekanik özellik ilişkisinin araştırılması", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2015).
22. Beiss, P. and Sander, C., "Elastic properties of sintered iron and steel", *Proceedings of the 1998 Powder Metallurgy World Con- gress*, 2: 552-561 (1998).
23. German, R. M., "Powder metallurgy & particulate materials processing", *Metal Pow-der Industries Federation* (2005).
24. Williams, B., "Recent trends in hot isostatic pressing (hip): processing and applications", *Powder Metall. Rev.*, 1 (1): 23-29 (2012).
25. Christopherson, D. Jr., "Characterization of pm machinability: practical approach and analysis", *Int. J. Powder Metall.*, 44 (2): 15-20 (2008).
26. Tadayuki, T., "Recent technology of powder metallurgy and applications", *Hitachi Chemical Technical Report No.54*, pp. 12-20 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Gülcan TİĞCI 1993 yılında Karabük’de doğdu; öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Safranbolu Fatih Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında Kardemir A.Ş ‘de Demiryolu İşletme ve Bakım Mühendisi olarak göreve başladı halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yeni Mah. Ünsal Tülbentçi Sok. Meltem Sit.

B. Blok Daire: 12

Safranbolu / KARABÜK

Tel : (541) 687 9288

E-posta : gulcantigci@gmail.com