T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CU VE FE ESASLI T/M YATAK MALZEMELERİNİN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

SERKAN ÖZÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA ANABİLİM DALI
KONYA, 2007

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CU VE FE ESASLI T/M YATAK MALZEMELERİNİN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

SERKAN ÖZÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA ANABİLİM DALI
KONYA, 2007

Bu Tez 21/02/2007 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Oybirliği / Oy Çokluğu ile Kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU
(Danışman)

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
(ÜYE)

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İMREK
(ÜYE)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CU VE FE ESASLI T/M YATAK MALZEMELERİNİN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Serkan ÖZÇELİK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

2007, Sayfa:132

Jüri : Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İMREK
Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

Bu çalışmada, toz metalurjisi ile bakır ve demir esaslı kaymalı yatakların sürtünme kuvvetleri, sürtünme katsayıları ve aşınma miktarları gibi tribolojik özellikleri farklı hız ve yüklerde deneysel olarak incelenmiştir. Test yatakları piyasada üretim yapan firmalardan hazır olarak temin edilmiştir (İstanbul Tozmetal A.Ş.). Bu deneylerde; CuSn10 bronzu, CuSn10-Fe-Grafit, ASC 100.29 ve 69.02.507 tozundan üretilen kaymalı yatakların sürtünme ve aşınma özellikleri belirlenip, birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanılmıştır. Deneyler Üniversal torna tezgahında 10, 20, 30, 40 ve 50 N yük; 0.22, 0.44, 0.66 ve 0.94 m/sn hızlar kullanılarak kuru ortamda aşınma deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler grafikler halinde sunularak bakır ve demir esaslı yataklar için en uygun çalışma aralıkları ve yük taşıma kabiliyetleri belirlenmiştir. Yatakların mikroyapıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalurjisi, Triboloji, Sürtünme, Aşınma, Cu esaslı yataklar, Fe esaslı yataklar, Kaymalı yataklar.

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL EXAMINATION OF WEAR CHARECTERISTICS OF CU AND FE BASED JOURNAL BEARING MATERIALS

Serkan ÖZÇELİK

Selcuk Universty
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Education Department

Supervisor : Asist. Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

2007, Page :132

Jury: Asst. Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Assoc. Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İMREK
Assoc. Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

In this study,tribojial properties such as firiction forces, firiction coefficient and wear rate at different velocities and bearing loads for copper and ferrous based sintered. Journal bearings were investigated. Tested sintered journal bearings were supplied commercially from private sintered journal bearing manufaturer in İstanbul Tozmetal A.Ş. in this experiments, CuSn10 bronze, CuSn10-Fe-Grafit, ASC 100.29 and 69.02.507 powders that were manufactured journal bearings firiction and wear properties has been determinedand compared. SAE 1050 steel shaft has been used as counter abrader. Experiments have been carried out 10, 20, 30, 40 and 50 N loads; 0.22, 0.44, 0.66 and 0.94 sliding speeds, dry conditions by using univercial late counter. Test results were used to plot curves for copper and ferrous sintered bearings. Using the plotted curves, the most convenient working conditions and loading capacity of tested bearings with bearing were determined. Microstructure of self lubricating bearing metarials were studied.

Key Words: Powder metallurgy, Tribology, Friction, Wearing, Cu based bearings, Fe based bearings, Journal bearings.

ÖNSÖZ

Bilindiği üzere insanlığın gelişiminde rol oynayan malzemeler, teknikler ve yöntemler genellikle olmasını istemediğimiz savaşlar sayesinde ilerleme göstermiştir. Toz metalurjisi de bilinen en eski yöntem olmasına rağmen, en yeni ve en ileri üretim tekniklerinden biridir. Toz metalurjisi genellikle karmaşık şekilli parçaların ve diğer üretim teknikleri ile üretimi mümkün olmayan malzemeler için kullanılan yöntemlerden biridir.

Makine ve metal teknolojilerindeki gelişmeler ve yenilikler nedeniyle hızlı bir değişime uğrayan Toz Metal Endüstrisi zamanlar birçok alanda kendine kullanım yeri bulmuştur. Diğer yöntemlerde üretilen parçalar, hem süre hem de ekonomiklik açısından Toz Metalurjisi ile üretilen ürünlerden daha kötü sonuçlar vermiştir. Bunların dışında daha bir çok avantajı olan Toz Metalurjisi Türkiye ve Dünya'da hızla gelişmiş ve halen de bu gelişimini hızla sürdürmektedir.

Bu çalışmada Toz Metal Endüstrisi, Metal tozların özellikleri, toz üretim yöntemleri, toz metalurjisi parça üretimi anlatılmış ve Bakır ve demir esaslı T/M yatakların aşınma özellikleri karşılaştırılıp, incelenmiştir. Deneyler sonunda aşınan numunelerin SEM görüntüleri de çekilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın ilerleyen zamandaki çalışmalara faydalı olması dileğiyle.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının seçiminde ve çalışmalarım boyunca benden ilgi ve alakasını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden en üst düzeyde faydalandığım danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU başta olmak üzere, Numunelerin hazırlanması aşamasında çok büyük yardımlarını gördüğümüz Toz Metal A.Ş. mühendislerinden Aytaç ATAŞ'a, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığımız Prof. Dr. Remzi VAROL, Arş.Gör. Recai Fatih TUNAY hocalarıma, SEM incelemelerinde bana yardımcı olan Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde görevli mühendis İhsan AKŞİT'e ve beni yetiştirip bugünlere getiren aileme, ayrıca bütün bu tez çalışmaların boyunca en zor anlarda bile benden desteğini esirgemeyen eşime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET…….. i
ABSTRACT……... ii
ÖNSÖZ …… iii
TEŞEKKÜR…….. iv
İÇİNDEKİLER……... v
SİMGELER DİZİNİ …….. x
ŞEKİLLER DİZİNİ…… xi
TABLOLAR DİZİNİ……..xiv
1. GİRİŞ……1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI …… 3
3. TOZ METAL ENDÜSTRİSİ …… 12
3.1. Türkiye'de Toz Metal Endüstrisi …… 13
3.1.1. Toz Metalurji Derneği …… 13
4. METAL TOZLARIN ÖZELLİKLERİ…….…… 15
4.1 Tozların Kimyasal Özellikleri . …….. 15
4.2. Fiziksel Özellikler ……. 16
4.2.1. Tane boyutu dağılımı ……17
4.2.1.1. Tane Büyüklüğü Testi …….. 17
4.2. Toz Tane şekli ……..18
4.3. Görünür ve Ham Yoğunluk ……..... 19
4.4. Akış Hızı (Akıcılık) ……. 19
4.5. Sıkıştırılabilirlik …….. 20
4.6. Ham Mukavemet …… 20
5. METALİK TOZLARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ …… 21
5.1. Kimyasal Üretim Yöntemleri ……. 21
5.1.1. Gaz altında katının ayrışması …….. 22
5.1.2. Termal ayrışma …… 22
5.1.3. Sıvı Fazdan çöktürme ……. 23
5.1.4.Gazdan Çöktürme …… 23

5.2. Elektroliz Teknikleri ……24
5.3. Atomizasyon ……...25
5.4. Mekanik Öğütme …… 27
6. TOZ METAL PARÇA ÜRETİMİ ……. 30
6.1. Karıştırma …… 31
6.2. Presleme (Sıkıştırma) …… 32
6.2.1. Toz sıkıştırma / presleme yöntemleri …… 33
6.2.1.1. Sabit kalıp içinde eksenel sıkıştırma ……34
6.2.1.1.İzostatik presleme …… 35
6.2.1.2.Enjeksiyon ile kalıplama …….. 35
6.2.1.3. Ekstrüzyon ile sıkıştırma …….. 36
6.2.1.4.Haddeleme ile sıkıştırma …… 36
6.3. Sinterleme (Pişirme) ……... 37
6.4. Sinterleme sonrası işlemler ……..39
6.4.1. Gözeneklerin doldurulması (İnfiltrasyon) ……. 39
6.4.2. Yağ emdirme …… 40
6.4.3. Son Ölçüye Getirme ve Baskı (ikinci presleme) …… 40
6.4.4. Buharla İşlem …… 41
6.4.5. İkinci Presleme …….. 41
6.4.6. Talaş Kaldırma İşlemleri …… 41
6.4.7. Çapak Alma …….. 42
6.4.8. Birleştirme ve Montaj ……. 42
6.4.9. Isıl İşlem …….. 42
6.4.10. Yüzey Kaplama İşlemi …… 42
6.5. Toz Metalurjisi İle Üretimde İşlem Adımları ……. 44
6.6. T/M Parçalarının Özellikleri ……. 45
6.7. T/M Ürünlerinin Avantaj Ve Dezavantajları …… 47
7. T/M UYGULAMA ALANLARI …… 51
7.1. Talaşlı İmalat Gerektirmeyen Makine Parçaları ……..52
7.2. Takım Çelikleri ……53
7.3. Sert Metaller……. 53
7.4. Sermetler …… 54

7.5. Gözenekli Metaller ve Filtreler …… 54
7.6. Sürtünme Elemanları ……..55
7.7. Elektrik ve Magnetik Uygulamalar …… 56
7.8. Otomotiv Endüstrisi ……...57
7.9. Savunma Sanayinde Uygulama Alanları ……57
7.10. Diğer Uygulamalar …… 58
7.11. Kaymalı Yataklar …… 60
7.11.1. Kaymalı yatak malzemeleri …….. 61
7.11.2. T/M yöntemiyle imal edilen kaymalı yataklar …….. 62
8. AŞINMA …… 65
8.1 Adhesiv Aşınma …… 67
8.2. Abrasiv Aşınma ……. 67
8.3.Yorulma Aşınması (Pitting) …… 68
8.4.Korozif Aşınma …… 68
8.5.Yüzey Pürüzlülüğü …….. 69
9. MATERYAL VE METOD ……... 70
9.1. Test Yatağı …… 70
9.2. Deney Setinin Özellikleri ……... 72
9.3. Metalografik Çalışmalar ……76
9.4. Aşınma Deneylerinin Yapılışı …… 77
10. ARAŞTIRMA BULGULARI ……. 79
10.1. Mikro Yapı Çalışmaları ……98
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ……. 104
12. KAYNAKLAR ……106
EKLER ……... 111
EK-A1. 0,22 m/sn ve 20N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 111
EK-A2. 0,22 m/sn ve 40N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi… 111
EK-A3. 0,22 m/sn ve 50N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 112
EK-B1. 0,44 m/sn ve 20N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 112
EK-B2. 0,44 m/sn ve 40N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 113
EK-B3. 0,44 m/sn ve 50N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 113
EK-C1. 0,66 m/sn ve 20N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 114

EK-C2 0,66 m/sn ve 40N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi….. 114

EK-C3. 0,66 m/sn ve 50N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 115

EK-D1. 0,94 m/sn ve 20N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 115

EK-D2. 0,94 m/sn ve 40N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi..... 116

EK-D3. 0,94 m/sn ve 50N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…. 116

EK-E1. 0,22 m/sn ve 20 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi…….…… 117

EK-E2. 0,22 m/sn ve 40 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi…….. 117

EK-E3. 0,22 m/sn ve 50 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……...118

EK-F1 0,44 m/sn ve 20 yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……... 118

EK-F2. 0,44 m/sn ve 40 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……... 119

EK-F3. 0,44 m/sn ve 50 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi…….. 119

EK-G1. 0,66 m/sn ve 20 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……. 120

EK-G2. 0,66 m/sn ve 40 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……. 120

EK-G3. 0,66 m/sn ve 50 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi…… 121

EK-Ğ1. 0,94 m/sn ve 20 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi…… 121

EK-Ğ2. 0,94 m/sn ve 40 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……. 122

EK-Ğ3. 0,94 m/sn ve 50 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi…… 122

EK-H1. CuSn10 yataklarına ait 0,22 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……. 123

EK-H2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait 0,22 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……. 123

EK-H3. ASC 100.29 yataklarına ait 0,22 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi Sürtünme katsayısı değişimi…….. 124

EK-H4. 69.02.507 yataklarına ait 0,22 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……. 124

EK-I 1. CuSn10 yataklarına ait 0,44 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……125

EK-I2.CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait 0,44 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi….. …….. 125

EK-I3.ASC 100.29 yataklarına ait 0,44 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi…… 126

EK-I4. 69.02.507 yataklarına ait 0,44 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişim…… 126

EK-İ1. CuSn10 yataklarına ait 0,66 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……127

EK-İ2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait 0,66 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……127

EK-İ3. ASC 100.29 yatağına ait 0,66 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi …….. 128

EK-İ4. 69.02.507 yataklarına ait 0,66 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……128

EK-J1. CuSn10 yataklarına ait 0,94 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……129

EK-J2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait 0,94 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……129

EK-J3. ASC 100.29 yatağına ait 0,94 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi…….. 130

EK-J4. 69.02.507 yataklarına ait 0,94 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……130

EK-K1. CuSn10 yataklarına ait çevresel hıza bağlı devir sayısı sürtünme katsayısı değişimi……131

EK-K2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait çevresel hıza bağlı devir sayısı sürtünme katsayısı değişimi……...131

EK-K3. ASC 100.29 yataklarına ait çevresel hıza bağlı devir sayısı sürtünme katsayısı değişimi…….. 132

EK-K4. 69.02.507 yataklarına ait çevresel hıza bağlı devir sayısı sürtünme katsayısı değişimi…….. 132

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Toz metal parça üretim aşamaları…… 2

Şekil 3.1. Metal tozu tüketiminin sektörlere göre dağılımı …….. 12

Şekil 3.2. A.B.D.de yıllara göre demir tozu tüketimi …… 12

Şekil 4.1.Nikel tozların sinterlemede boyut oluşumunun safhaları…… 17

Şekil 4.2. Toz tane şekilleri …… 18

Şekil 4.3. Hail ve Scott akış hunileri ……. 19

Şekil 5.1. Elektroliz hücresi şeması ……24

Şekil 5.2. Atomizasyon işleminin başlaması …… 25

Şekil 5.3. Atomizasyon ünitesi ve kısımları …… 26

Şekil 5.4. Mekanik öğütme metodu ……27

Şekil 5.5.Mekanik alaşımlamada top/toz etkisi ve Atrinörün şematik görünümü . 28

Şekil 6.1. (a) Metalik toz ve ilaveleri. …… 31
(b) Karıştırıcı (Mikser) …….. 31

Şekil 6.2. Presleme işlemi …… 32

Şekil 6.3. Tek etkili presleme…… 34

Şekil 6.4. Çift yönlü çalışan bir pres tertibatı parçaları ……..35

Şekil 6.5. Soğuk İzostatik presleme işlem adımları …….. 35

Şekil. 6.6. Enjeksiyonla kalıplama …… 36

Şekil 6.7. Toz haddeleme …….. 37
(a) Tek metal, (b) İki metal ……... 37

Şekil 6.8. Sinterlemenin mikroyapıya etkisi …….. 38

Şekil 6.9. Sinterleme işlemi ……39

Şekil 6.10. Boyutlandırma ve yağ emdirme işlemi …… 40

Şekil 6.11. Sinterleme sonrası uygulanan işlemler ……43

Şekil 6.12. Bakır-Demir alaşımlı T/M parça üretim basamakları …….. 44

Şekil 6.13. Toz metal prosesinde işlem adımları ……....45

Şekil 6.15.Dövme-T/M biyel kollarının yorulma özelliklerinin karşılaştırılması... 46

Şekil 6.16. Kalıcı gözeneğin mekanik özelliklere etkisi ……47

Şekil 7.1 T/M ile üretilen bazı parçalar …… 51

Şekil 7.2. T/M yakıt pompası elemanları ……52

Şekil 7.3. Sert metal T/M uygulaması …… 54

Şekil 7.4. T/M sürtünme elemanlarından örnekler ……55

Şekil 7.5. (a) Elektrik kontakları , (b) Şekil Elektrik Kömürleri ……... 56
Şekil 7.6. T/M Malzemelerinde otomotiv uygulamaları……. 57
Şekil 7.7. Fotokopi tonerinin şekli…….. 59
Şekil 7.8. Toz Metal yöntemiyle üretilmiş kaymalı yataklar ……..62
Şekil 7.9. Toz metalurjisi yöntemiyle yatak üretiminde sıkıştırma aşamaları ……63
Şekil 7.10.Yağlama mekanizmaları …….. 64
Şekil 8.1. Dört aşınma tipinin şematik gösterimi …….. 68
Şekil 9.1. Kaymalı yatak numuneleri …….. 71
Şekil 9.2. Aşınma deneyinde kullanılan düzenek ……...73
Şekil 9.3. Kaymalı Yatak Aşınma Test Cihazı ……...74
Şekil 9.4. Kaymalı yatakta sürtünme kuvvetinin oluşumu ……75
Şekil 9.5. Metalografik çalışmalarda kullanılan bilgisayar destekli SEM cihazı ...76
Şekil 10.1. 0,94 m/sn çevresel hızda T/M yatakların yük ağırlık kaybı ilişkisi….. 79
Şekil 10.2. 0,66 m/sn çevresel hızda T/M yatakların yük ağırlık kaybı ilişkisi….. 80
Şekil 10.3. 0,44 m/sn çevresel hızda T/M yatakların yük ağırlık kaybı ilişkisi….. 80
Şekil 10.4. 0,22 m/sn çevresel hızda T/M yatakların yük ağırlık kaybı ilişkisi….. 81
Şekil 10.5. CuSn10 yataklarına uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi……. 82
Şekil 10.6. CuSn10-Fe-Grafit yatağına uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi...……. 82
Şekil 10.7 ASC 100.29 yataklarına uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi…… 83
Şekil 10.8 69.02.507 yataklarına uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi …… 83
Şekil 10.9. CuSn10 yataklarına uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişim grafiği …… 84
Şekil 10.10. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişim grafiği…… 84
Şekil 10.11. ASC 100.29 yataklarına uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişim grafiği…… 85
Şekil 10.12. 69.02.507 yataklarına uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişim grafiği …….. 86
Şekil 10.13.0,22 m/sn ve 10N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi 87
Şekil 10.14.0,22 m/sn ve 30N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi 87
Şekil 10.15. 0,44 m/sn 10N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…88
Şekil 10.16. 0,44 m/sn 30N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi....88

Şekil 10.17. 0,66 m/sn ve 10N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi……... 89
Şekil 10.18. 0,66 m/sn ve 30N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…….. 89
Şekil 10.19. 0,94 m/sn ve 10N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…….. 90
Şekil 10.20. 0,94 m/sn ve 30N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi…….. 90
Şekil 10.21. 0,22 m/sn ve 10 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……..…...91
Şekil 10.22. 0,22 m/sn ve 30 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……91
Şekil 10.23. 0,44 m/sn ve 10 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……92
Şekil 10.24. 0,44 m/sn ve 30 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……92
Şekil 10.25. 0,66 m/sn ve 10 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……93
Şekil 10.26. 0,66 m/sn ve 30 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……93
Şekil 10.27. 0,94 m/sn ve 10 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……94
Şekil 10.28. 0,94 m/sn ve 30 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi……...94
Şekil 10.29. 2000 m'lik kayma mesafesi V:0.94 m/sn'de aşınma faktörü……..96
Şekil 10.30. 2000 m'lik kayma mesafesi V:0.66 m/sn'de aşınma faktörü …… 96
Şekil 10.31. 2000 m'lik kayma mesafesi V:0.44 m/sn'de aşınma faktörü…….....97
Şekil 10.32. 2000 m'lik kayma mesafesi V:0.22 m/sn'de aşınma faktörü ……97
Şekil 10.33. Numunelerin kesilerek incelenmesi…… 98
Şekil 10.34. Deney yapılmamış numunelerin mikro yapıları…… 99
Şekil 10.35. 1100 d/dk ve 30 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri…. 100
Şekil 10.36. 355 d/dk ve 30 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri……101
Şekil 10.37. 1100 d/dk ve 40 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri…. 101
Şekil 10.38. 355 d/dk ve 50 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri……102
Şekil 10.39. 710 d/dk ve 30 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri……102
Şekil 10.40. 710 d/dk ve 20 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri……103

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Türkiye'de bulunan toz metalurji firmaları ……..14
Tablo 4.l. Standard Elek Takımı……. 18
Tablo 5.1. Bazı metal tozları ve üretim yöntemleri ……29
Tablo 6.1. T/M kimyasal bileşim mekanik özellikleri…… 45
Tablo 6.2. Çekme dayanımı bakımında malzemelerin karşılaştırılması……. 46
Tablo 7.1. Toz metalurjisi uygulamaları…… 58
Tablo 7.2. Bronz Yatakların Kimyasal Bileşenleri……. 60
Tablo 7.3. T/M Gözenekli Yatakların Özellikleri……... 61
Tablo 9.1. Kaymalı yatak numunelerin kimyasal bileşenleri……. 70
Tablo 9.2. SAE 1050 çelik mile ait milin kimyasal bileşenleri…… 72
Tablo 9.3. Numunelerin aşınma öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük değeri …… 72
Tablo 9.4. Yatak malzeme grupları için PV (N/mm sn) değerleri……. 78

SİMGELER DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	**Açıklama**
ASC	Demir Tozu + Grafit
d	Yatağın İç Çapı, (mm)
d/dk	Milin dönme devir birimi
F	Basma Kuvveti
F_N	Uygulanan Yük
Fn	Yatak Yükü, (N)
Fs	Sürtünme Kuvveti
HB	Brinell Sertlik Ölçüsü
k	Yay Rijitlik Katsayısı
L	Komparatör Mesafesi, Yatak Uzunluğu,
MPa	Megapascal
N	Newton
n	Mil Devir Sayısı, (d/d)
P	Yatak Kesit Alanına Düşen Basınç
x	Komparatör Sapma Miktarı
V	Milin ve Yatağın Çevresel Hızı, (m/d)
µm	Mikronmetre
µ	Sürtünme Katsayısı

KISALTMALAR

EPMA	Avrupa Toz Metalurji Derneği
MPIF	Metal Tozu Endüstri Federasyonu
TTMD	Türk Toz Metalurjisi Derneği
T/M	Toz Metalurjisi

1. GİRİŞ

Toz metalürjisi (T/M) çok küçük partikülleri birbirine bağlayarak parça haline getirme işlemidir. İnce partikül şeklindeki saf metaller, alaşımlar, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırılarak basınç altında şekillendirilirler. Daha sonra bu parçalar ana bileşenin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partiküllerinin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen özellikler elde edilir.

T/M, çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme operasyonlarının yerini almaktadır. (TTMD, 2005)

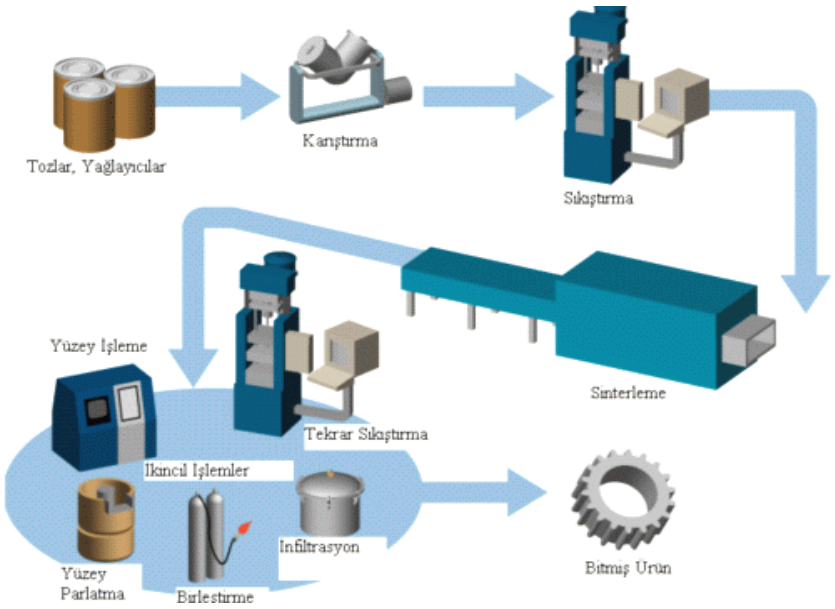
İlk toz metalurjisi uygulamaları kimyasal olarak elde edilmiş platin ve iridyum gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen malzemeler üzerinde çalışılmıştır. 1826 da Rusya'da tedavüle çıkarılan platin para toz metalurjisinin ilk endüstriyel uygulaması olmuştur. T/M'ni cazip kılan, ekonomik açıdan, çok yüksek hassasiyette karmaşık şekilli, yüksek kalitede parça üretiminin mümkün olmasıdır. T/M ile parça üretiminin ilk işlem adımları; presleme ve sinterlemedir. Bu aşamada toz metal sıcak izostatik presleme ve dövme ile önceden şekil verilmiş parçanın istenen oranda yoğunlaştırılması işlemleri yapılır. Uygulanan işlem adımları esnek, etkin, düşük maliyetli ve çevreye zararsız yöntemlerdir. Şekil 1.1'de bu yöntemler gösterilmektedir.

Ergime sıcaklığı yüksek olan metaller, T/M ile kolaylıkla şekillendirilebilirler. Döküm, gibi alışılagelmiş üretim tekniklerinde yaşanan oksidasyon, gaz absorpsiyonu ve yüksek yoğunluk farkından dolayı alaşım oluşturamama gibi bir çok problem T/M yöntemi ile kolaylıkla ortadan kaldırılabilir.

T/M'nin uygulamaları oldukça geniştir. Tungsten lamba filamentleri, dişçilik, dişli çarklar, kaymalı yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları,

ortopedik gereçler, ofis makineleri parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları ve jet motor parçaları metal tozlarından üretilen parçalara örnek olarak verilebilir. Ayrıca, metal tozları boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, zenginleştirilmiş un, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri ve katalizörlerin üretilmesinde de kullanılmaktadır.

Günümüzde özellikle T/M otomotiv sanayinde kullanılmaktadır. Bunun sebebi kolay üretimi, üretim hızı, hurda azatlımı gibi avantajlarıdır. Dünyada Toz metal üretiminin % 70'lik bölümü bu sektörde değerlendirilir. Fren diski, balata, burçlar, diferansiyel dişlileri, biyel kolu gibi birçok otomobil parçaları T/M yöntemiyle yapılamaktadır.



Şekil 1.1. Toz metal parça üretim aşamaları

Bu özellikleri itibarıyla, günümüz teknolojilerinde önemli kavramlar olan verimlilik, enerji ve hammadde üçlüsü ile uyum içerisindedir. Bu yüzden toz metalurjisi dünyada giderek yaygınlık kazanmakta olup, gerek teknolojik, gerekse de ekonomik açılardan diğer metalurjik üretim süreç ve teknolojilerine alternatif oluşturan bir teknolojidir. Bunun geçekleşmesinde özellikle son on yıl içinde geliştirilen yeni toz metalurjisi yöntemleri, büyük hacimli parçaların haricinde, diğer tüm parçaların imalatında kullanılabilen yeni bir metal işleme teknolojisi olmuştur. (TTMD, 2005).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Toz metalurjisi, tarihçesi M.Ö. 5000 yıllarına dayanan en eski ve en modem metal parça üretim metodudur. İnkalar altın tozların bu metotla mücevhere dönüştürmüşlerdir. Eski mısırlılar demir oksidi indirgeyerek "sünger demir" üretimini gerçekleştirmişlerdir (Büyükdavraz, 2000).

M.S. 300'lü yıllarda Hindistan'da, indirgenmiş demir tozlarından yaklaşık olarak 6.5 ton ağırlığında bir kütle bulunmuştur. 1750-1825 yılları arasında ise toz dövme yolu ile şekillendirilen platin laboratuar aletlerine olan ihtiyaç ile yeni toz birleştirme metottan bulunmuş ve bu toz metalurjisinin yeniden doğuşu olmuştur (German, 1984).

İlk olarak Lewis (1755), kursun-platin alaşımından kurşun oksidin giderilmesi sonucu süngerimsi bir platin kütlesinin kaldığını keşfetti. Buna benzer olarak ısıtmaya bağlı olarak arseniğin uçurulması ile dövülerek toz haline getirilebilen platin süngerinin kaldığı tespit edildi. Bu gelişmeyi takiben Rochon (1798) ve Tilloch (1805) platin tozlarından tam pekişmiş kompakt kütleler üretmeyi başarmışlardır.Bu gelişmelerden sonra 1829 yılında Wollaston (1829) tarafından sıvı çözeltilerde amonyak-platin klorür çökelmesi ile başlayan ve son olarak kati platin külçesine ulaşılan aşamalar modern anlamda toz metalurjisi tekniklerinin ilk uygulamaları olmuştur. 1826 da Rusya'da tedavüle çıkarılan platin para toz metalurjisinin ilk endüstriyel uygulaması olmuştur.

Toz metalurjisi yönteminde modern gelişmeler I.Dünya Savaşı yıllarında başlamıştır. Gözenekli gereçler, mıknatıslar ve emdirilmiş demir tozu parçalar bu yıllarda üretilmiştir. Otomotiv sanayinin gelişimi ile T/M yöntemleri birlikte gelişmiştir. 1940'lı yıllarda T/M ürünü olarak en çok bakır esaslı kendi kendini yağlayan yataklar üretilmiştir. 1950'li yıllardan itibaren demir ve çelik tozlarından üretilen dişliler, kamlar ve çeşitli şekiller piyasaya egemen olmaya başlamıştır. 1960'lı yıllarda tam yoğun T/M gereçler üretilmeye başlanmıştır.

Sinter bronz kaymalı yataklar 1930'lardan itibaren kullanılmalarına rağmen, bu yataklar hakkında, son 50 yıl içinde önemli araştırmalar yapılmıştır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalar, bakır ve kalayın malzeme özellikleri, bakır ve kalay alaşımları, yatak özelliklerinin optimizasyonu, toz kompozisyonları, presleme

tekniğindeki önemli gelişmeler, sinterleme koşulları, malzeme yapısının geliştirilmesi, tane büyüklüğünün dağılımı, toleransların kontrol edilmesi ve PV faktörlerinin incelenmesi hakkındadır.

Cusano vd. (1973), yaptıkları çalışmada kendinden yağlamalı gözenekli bronz yatakların tribolojik özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Oda sıcaklığında, farklı basınç ve hızlarda yaptıkları deneylerde PV değerinin 1,155 MPa m/sn değerlerinde en düşük sürtünme katsayısını elde etmişlerdir. PV=1,75 MPa m/sn değerinde ise yatağın kendi bünyesinde bulunan yağın yağlama işlemi için yeterli olmadığını görmüşlerdir.

Peissker (1974), farklı kompozisyonlardaki ön alaşımlanmış veya elamental kalay tozlarını artırarak/azaltarak üretilen bronz yataklardaki yağlama özellikleri, sinterlemede peritektik sıcaklıkları ve geçiş bölgelerini diyagramlarda göstermiştir.

Sarıtaş S. (1985) yılından bu yana Türkiye'de yapılan T/M çalışmalarının öncülerinden olmuştur. Bu konuda birde ders kitabı çıkaran Prof. Dr. Sarıtaş "Türk Toz Metalurjisi Derneği" başkanlığını yapmaktadır.

Backensto (1990), premix bronz toz1ardaki, Cu (bakır) ve Sn (kalay) tane büyüklüğünün ve kullanılan katı yağlayıcı cinsinin, sinterleme sonrası boyut değişimini nasıl etkilediğini araştırmıştır. Küçük taneli bakır tozunun kullanıldığı bronzlarda, sinterleme sonrası boyut değişiminin az olduğunu ve karışıma eklenen kalay tozu ile boyut değişiminin arttığını göstermiştir. 832 ^{o}C'nin üzerinde yapılan sinterleme işlemlerinde, boyut değişiminin azaldığı ve eklenen kalayın tane büyüklüğünün küçüldükçe, boyut değişiminin negatif yönde olduğunu göstermiştir. Yapıya eklenen küçük değerlerdeki fosfor eklemesi ile boyut değişiminin negatif yönde olduğunu tespit etmiştir.

Murali vd. (1988) çalışmalarında, elektrolitik ve atomizasyon metoduyla üretilmiş bakır tozlarına %10 kalay ve %0,3-1 oranında eklenen katı yağlayıcı içeren bronz numunelere pin-on test cihazında aşınma deneyleri uygulamışlardır. Elektrolitik bakır tozu kullanılan bronz yatakların aşınmasının daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Yağlayıcı olarak kullanılan sentetik grafitin, MoS_2 kullanılan yataklara göre aşınmasının 3 kat daha az olduğunu belirlemiştir.

Kurt vd. (1992), toz metal bronz yatak malzemelerin özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmada bronz tozundan üretilen kendi kendini yağlayan yatak

malzemelerinin üretimi gerçekleştirilmiş ve mekanik-tribolojik özellikleri incelenmiştir. Malzemelerden hazırlanan aşınma numuneleri pim-disk tipi aşınma deney setinde test edilmiştir. Çalışmanın son kısmında, toz metal bronz yatak malzemeleri eşdeğer döküm bronzu ile karşılaştırılmış ve aşınma davranışının daha üstün olduğu görülmüştür.

Kurt, (1992) yılında bronz yatakların üretim parametreleri ve aşınma özellikleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada toz metal bronz yataklar ile tam yoğun bronz yatakların, aşınma ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Hazırlanan sinter bronz yatakların ham yoğunluk ile sinterlemeden sonraki, son yoğunlukların presleme basıncı ile nasıl değiştiği ve bu malzemelerin döner aşınma diskindeki aşınma değerlerini belirlemiştir. Toz metal bronz yatakların aşınma özelliklerinin tam yoğun bronz yataklara göre daha iyi olduğunu belirlemiştir.

Kaneko ve Hashimato (1995), 90Cu-8Sn-2C kompozisyonundaki bronz yatakların statik yük altında karışık ve hidrodinamik yağlama şartlarında sürtünme parametresini incelemişlerdir. Deneyler, basınçlı yağ desteği ile düşük PV şartlarında gerçekleştirilmiştir. Hidrodinamik yağlamada ara rejimde (karışık sürtünme) bölgesinde düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Deney sonuçları ile teorik hesaplama sonuçları biri birine çok yakın bulunmuştur.

Arslan vd. (1996) yaptığı çalışmalarda, toz metal bronz yatak imalinde premix toz, saf kalay ve ön alaşımlı kalay (Cu-Sn_3) tozları kullanılarak imal edilen bronz yataklarda presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresinin, yatak özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Presleme basıncı ile sinterleme sonrası boyut değişiminin premix bronz tozundan imal edilen yataklarda az olduğunu göstermişlerdir. Presleme basıncının artması ile ham yoğunluk, son yoğunluk ve radyal kırılma dayanımının arttığı, ön alaşımlı kalay tozu kullanılan bronz yataklarda kırılma dayanımının önemli ölçüde yüksek olduğu ve tüm numunelerde 810 ^{o}C civarındaki sıcaklıklarda yapılan sinterlemenin ani boyut değişimine yol açtığı ön a1aşımlı kalay tozunun kullanıldığı bronz yataklarda bu tane irileşmesinin daha belirgin olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kurt vd. (1996), Kendinden yağlamalı bronz ve bakır yatakların aşınma davranışlarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmada bronz ve bakır tozlarından iki grup yatak üretmişlerdir. Deneyler sonucu belli bir sıkıştırma basıncına kadar, bronz

yatakların bakır yataklardan, yağ emdirilmiş yatakların, yağ emdirilmemiş yataklardan daha iyi aşınma davranışı gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Öveçoğlu M. L. (1997) Toz metalurjisi ve bu yöntemle yapılan Fe esaslı malzemeleri araştırmıştır. Kullanım yerlerini belirtmişlerdir.

Krisnalcant vd. (1998), premix Nu-bronzunu ile premix bronzların sinterlenmesinde, sinterleme paremetre1erinin mikro yapıyı nasıl etkilediğini ve bu malzemelerde çentik faktörünü incelemiştir. Çalışmalarında Nu-bronzunda üretilen sinter yataklarda çentik faktörünün % 15-45 oranında yüksek çıktığını ve sinterleme süresinin artması ile yapıdaki α fazında artmanın görüldüğünü belirlemişlerdir.

Savaşkan T., Pürçek G. (2000), Çinko-Alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların aşınma özelliklerini araştırma ve incelemelerinin sonucunda, çinko-alüminyum esaslı alaşımların genelde geleneksel bir yatak malzemesi olan CuSn12 bronzundan daha az aşındıkları gözlendi. Aynı şekilde çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların da CuSn12 bronzundan üretilen yataklardan daha üstün aşınma direncine sahip oldukları belirlendi. incelenen alaşımlar içerisinde en az aşınmanın ZnAl40Cu2Si1 alaşımından, yataklar içerisinde en az aşınmanın ise bu alaşımdan üretilen yatakta meydana geldiği görüldü.

Çuvalcı H. (2000), Çinko alüminyum esaslı ticari ZA-27 kaymalı yatağının sürtünme davranışlarını incelemiştir. Çinko alüminyum esaslı ZA-27 alaşımı döküm yöntemiyle üretilip bu alaşımdan ve piyasadan tedarik edilen ticari bronzdan talaşlı imalat yöntemiyle kaymalı yatalar imal edildi. Numuneler sürtünme deneyine tabi tutulup sonuçlar gözlenmiştir. Deney sonucunda yatak basıncının sürtünme faktörlerini etkilediği ve basınç arttıkça değerin önemli ölçüde düştüğü gözlendi.

Ünlü B., Yılmaz S., Varol R. (2001), T/M yatak malzemelerinin aşınma ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması için araştırma yapmıştır. Bakır ve demir esaslı farklı malzemeden yapılmış yatakların aşınma özellikleri deneyler yapılarak karşılaştırılmıştır.

Varol R. (2001), yaptığı çalışmada T/M yöntemiyle üretilen bronz ve demir esaslı kendi kendini yağlayan yatakların aşınma özelliklerini, farklı hız ve yükleme şartlarında incelemişlerdir. Sonuç olarak; demir ve bronz T/M yataklar için çevresel hız sabit tutulduğunda, yatak yükü büyüdükçe yağlamaya bağlı olarak aşınma

miktarının arttığını, 25 N'luk yük için demir esaslı T/M yatakların aşınma miktarının bronz T/M yataklardan daha fazla olduğunu bulmuştur.

Tunay R. F. (2001), yaptığı yüksek lisans çalışmasında T/M esaslı sinter bronz yatakların tribolojik özelliklerini tam değişken gerilme altında deneysel olarak incelemiştir. Hem sürtünme hem de aşınma deneylerinde T/M esaslı kendinden yağlamalı sinter bronz yataklarda, dışarıdan yağ beslemesi yapılmadığı durumlarda düşük sürtünme katsayıları tespit etmiştir.

Kurbanoğlu vd. (2001), Değişken yüklü T/M esaslı radyal kaymalı yatakta oluşan sürtünme kuvvetini ölçebilen ve elde edilen verileri bilgisayara aktarabilen bir deney düzeneği gerçekleştirmişlerdir. Söz konusu deney seti ile T/M esaslı yatakların aşınma ve sürtünme gibi tribolojik özelliklerine yağın ve yağ katıklarının, yağ debisinin, yağ sıcaklığının, yağ besleme basıncının, yükün ve mil hızı gibi faktörlerin etkisini incelemek mümkün olmaktadır, yaptıkları ilk deneylerde, 200N'luk yatak kuvvetinde sinter bronz yatakların sıvı sürtünme bölgesinde çalıştığını bulmuşlardır.

Karaarslan R. (2002), Titreşimli sabit gerilmede T/M esaslı radyal yatakların aşınma ve sürtünme özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmadaki yataklar bakır ve kalay içermekte olup, yataklar 40-50 μm çapında ve % 50 Cu ve % 10 Sn karışımındaki tozlardan meydana gelmektedir. Deney sonucunda yağ emdirilmiş numunelerde çok düşük sürtünme ve aşınma değerleri elde edilmiştir. Yağ içerindeki katkı maddelerinin bu değerleri daha da düşürdüğü gözlenmiştir.

Solmaz E., Babalık F.C., Öztürk F. (2002), Dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yataklarda çoklu kriter tabanlı tasarım optimizasyon çalışmalarında bulunmuşlardır. Bu araştırmada, dairesel hidrostatik yataklarda, yatak için gerekli olan toplam gücün ve yatakta meydana gelen sıcaklık artışının minimum değerlerde kalması için tek ve çok kriterli eniyileme çalışmaları yapılmıştır. Önerilen yaklaşımın etkinliği, tek ve çok kriterli çalışmalardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile verilmiştir. Elde edilen sonuçlar temelinde, hidrostatik yatak tasarımlarında çoklu kriterin tercih edilmesi önerilmiştir. Örnek bir uygulama çalışması ile önerilen yaklaşımın etkinliği gösterilmiştir.

Varol R., Tunay R.F., Tüfekçi K. (2002), Demir esaslı ve Bronz T/M parçaların elektron ışın kaynak yöntemi uygulanarak kaynaklanması incelenmiştir. Kaynak işleminde Demir esaslı malzemeler kendi aralarında ve Bronz malzemeler

kendi aralarında, bronz ve demir esaslı malzemelerin kaynaklanması kaynak parametreleri değiştirilerek kaynak yapılması denenmiştir. Kaynak bölgesinin metalografik incelemeleri yapılarak kaynak bölgesinde oluşan hatalar incelenmiştir. Bronz ve demir esaslı malzemeden numunelerin birbirleriyle kaynaklanmasında büyük problemler ortaya çıkmıştır. Aynı cins T/M malzemeden numunelerin kaynaklanmasında daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Ünlü B.S., Köksal N.S., Atik E. (2003), Bronz ve pirinç yatakların tribolojik özelliklerinin karşılaştırılması. Bu çalışmada, CuSn10 Bronzu ve CuSn30 pirincinden üretilen kaymalı yatakların sürtünme ve aşınma özelikleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deney radyal kaymalı yatak aşınma test cihazında 20 N yük, 1500 d/dak ve 2,5 saatte yapılmıştır. Sonuç olarak, kuru ortamda yapılan deneylerde yüksek sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı, yağlı ortamda ise çok daha düşük elde edilmiştir.

Ünlü B.S., Atik E., Meriç C., Köksal N. S. (2003) CuSn10 bronzundan üretilen kaymalı yatakların farklı yük ve hızlarda, kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme ve aşınma özellikleri incelenerek, birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanılmıştır. Deneyler radyal kaymalı yatak aşınma test cihazında, 10 ve 20 N yük, 750 ve 1500 d/dak hızları kullanılarak, kuru ve yağlı ortamlarda aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, teknik kuru ortamdaki sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı değerlerinin yağlı ortamdakilere göre daha yüksek olduğu elde edilmiştir.

Kumru, N., Tekin, A., Şahin, S. (2003) Toz Metalurjisi uygulamaları adındaki makalelerinde toz Metalurjisinin çok değişik alanlardaki uygulamaları derlenmiştir. Otomotiv alanında ki önemi de ayrıca açıklanmıştır.

Tunay vd. (2004), Yağ katkı maddelerinin kaymalı yataklardaki sürtünme katsayısına ve aşınmaya ilişkin deneylerinde üç farklı yük büyüklüğünde ve üç farklı hız kademesinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde hacimce %3 konsantrasyon oranında iki farklı ticari yağ katkı maddesi kullanılmıştır. Katkı maddelerinin sürtünme katsayısı ve aşınmaya etkileri yorumlanmıştır. Yapılan deneylerde sürtünmeyi azaltan katkı maddelerinin verimliliği, yağ ve katkı karışımının yapısına, sıcaklığa, temas geometrisine, temas yüküne, test frekansına ve yüzey pürüzlülüğüne

bağlı olduğunu, ayrıca sürtünmeyi azaltan katkı maddelerinin aşınmanın azaltılmasında da başarılı oldukları gözlemlenmiştir.

Yalçın vd. (2004), Çalışmada, Toz metal (T/M) yöntemiyle üretilen Demir (Fe) esaslı TM yatakların deneysel olarak belirlenmiş aşınma özellikleri bulanık mantık metoduyla modellenmiştir. Deneylerde kullanılan numuneler %1 C kalanı Fe kompozisyonlu %85 izafi yoğunlukta T/M yataklardır. Bu yatakların farklı çevresel hız, alınan yol ve yükleme şartlarındaki aşınma davranışları bir başka çalışmada daha önce deneysel olarak incelenmiştir. Yatak aşınması Üzerinde çalışılan yatak malzemesi için yatak aşınması değerleri ağırlık kaybı (gram) olarak belirlenmiştir. Mevcut deney sonuçlarına göre Bulanık Mantık(BM) modeli oluşturulmuştur. Her girdi-çıktı parametresi için uygun üyelik fonksiyonları ve alt küme aralığı belirlenmiştir.. Sonuçta deneysel verilere dayanarak oluşturulan BM modeli ile yatak aşınması değerlerinin oldukça hassas tahmin edilebildiğini göstermiştir.

Ünlü B.S.,Varol R., Yılmaz S.S. (2005), T/M yöntemiyle üretilmiş bakır Fe-Grafit, FeCu-Grafit ve bronz-demir esaslı CuSnFe-Grafit yatakların aşınma belirlenip, birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bronz T/M yatakların demir T/M yataklara göre daha düşük mekanik sahip olduğu belirlenmiştir. T/M yatakların ve milin yüzey pürüzlülüğü değerleri aşınma sonrası düşmüştür. En düşük sürtünme katsayısı, CuSn10 bronzunda gerçekleşmiştir. En düşük yatak ağırlık kaybı Fe-Grafit yatakta meydana gelmiştir. İçerisine bakır ilave edildiğinde, yatağın kendisi fazla aşınmış ve mili daha az aşındırmıştır. Bronz-demir yatak ise bronz ve demir arasında bir değerde aşınmış olup, mili ise daha az aşındırmıştır. Ayrıca çalışmada, 1120 $^{\circ}$C'de sinterlenerek imal edilen numuneler 20 N kuvvet, 1500 d/dak'da ve 150 dakika yağlı ortamda aşındırılmış, sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak Bronz T/M yatakların, demir T/M yataklara göre daha düşük mekanik özelliklere sahip olduğu ve T/M yatakların yüzey pürüzlülüğü değerleri aşınma sonrası düştüğü tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı CuSn10 da tespit edilmiştir.

Ünlü B.S., Atik E., Köksal N.S. (2005), Al esaslı alaşım ve partikül ilaveli yatakların aşınma özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada, saf Al içerisine değişik oranlarda (% 3 Mg + % 3 Si) alaşım elementi ve (%3 Al2O3 + %3 SiC) partikül ilavesiyle döküm yöntemiyle üretilen kompozit yapılardan elde edilen kaymalı

yataklar üretilmiştir. Bu yataklar, radyal kaymalı yatak aşınma test cihazında 20 N yükte ve 1500 d/dak da yağlı ortamda aşındırılarak tribolojik özellikleri incelenmiştir. Sonuçta; tribolojik özelliklerde iyileşmeler görülmüştür.

Ünlü B. S., Atik E. (2005), Kalay -Kurşun Esaslı Yataklardaki Alaşım Elementlerinin Aşınmaya Etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada; kalay kurşun esaslı SnPbAlZn alaşımı ve bu malzemelerin esasını oluşturan saf Sn, saf Pb ve alaşım elementlerinden saf Al ve saf Zn'dan üretilen kaymalı yatakların sürtünme ve aşınma özellikleri belirlenip, birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanılmıştır. Deneyler radyal kaymalı yatak aşınma deney cihazında 20 N yük, 1500 d/dak ve 2.5 saatte yapılmıştır. Sonuç olarak, SnPbAlZn malzemesi, saf durumda üretilen numunelere göre daha iyi aşınma direnci göstermiştir.

Matik, U., Çıtak, R. (2005), çalışmalarında Toz metalurjısı ile üretilmiş demir esaslı parçaların akımsız nikel kaplanmasında asidik ve bazik çözeltilerin kaplama miktarına etkisini incelemişlerdir. Kaplama işlemi sonrası yapılan hassas ağırlık ölçümü ve mikroskobik incelemelerle elde edilen kaplama miktarları belirlendi. İnceleme sonucu asidik çözeltiyle elde edilen kaplama miktarının daha fazla olduğu ve her iki çözeltiyle elde edilen kaplama oranlarının parçanın gözeneklilik oranına bağlı olarak arttığı tespit edildi.

Ünlü, B.S., Durmuş, H., Meriç, C. (2006), SnPbCuSb (Beyaz Metal) yataktaki alaşım elementlerinin aşınmaya etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada; kalay kurşun esaslı SnPbCuSb (beyaz metal) alaşımı ve bu malzemelerin esasını oluşturan saf Sn, saf Pb ve alaşım elementlerinden saf Cu dan üretilen kaymalı yatakların sürtünme ve aşınma özellikleri belirlenip, birbiriyle karşılaştırılmıştır. Alaşımı oluşturan Sb çok kırılgan bir malzeme olduğundan dolayı bu malzemeden yatak üretilememiştir. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanılmıştır. Deneyler radyal kaymalı yatak aşınma deney cihazında 20 N yük, 1500 d/dak ve 2.5 saatte yapılmıştır. Sonuç olarak, SnPbCuSb malzemesi, saf durumda üretilen numunelere göre daha iyi aşınma direnci göstermiştir.

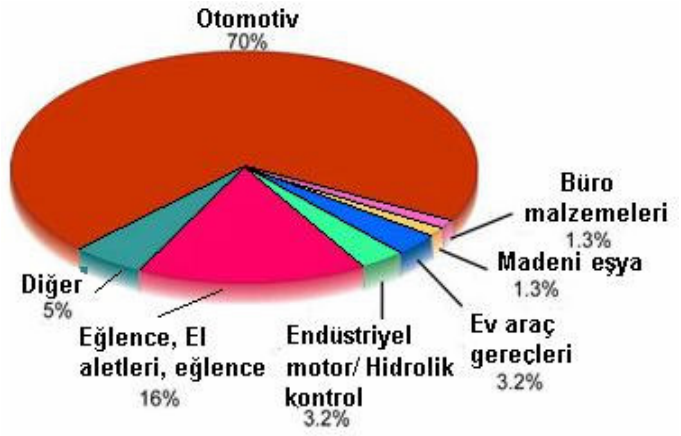
Bizim çalışmamızda da bakır ve demir esaslı yatakların yağsız ortamda aşınma özellikleri incelenmiştir. Çalışmamızda dört çeşit kaymalı yatak numunesi kullanılmıştır. Bunlar; CuSn10 bronzu, CuSn10-Fe-grafit, ASC 100.29 denilen demir numune ve 69.02.507 diye adlandırılan içerisinde bakır, demir, mobilden, nikel,

mangan gibi tozlar bulunan özel bir numuneden oluşur. Demir esaslı yataklar yaklaşık 6,2 g/cm^3 ve bronz yataklar ise 6,8 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir. Deneysel çalışmalar üniversal torna tezgahında özel arapatlar ve komparatörler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyde aşındırıcı olarak çapı 12 mm olan SAE 1050 (civa çeliği) çeliğinden mil kullanılmıştır. Deneyler, 10, 20, 30, 40, 50 N'luk yüklerde ve 0.22m/s, 0.44m/s, 0,66 m/sn ve 0.96m/sn çevresel hızlarda yapılmış ve çıkan değerler grafiksel olarak gösterilmiştir. Deneyler sonucunda Numunelerin mikroyapıları ve aşınma izleri SEM cihazında incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda 69.02.507 tozlarından üretilen numunede aşırı aşınma gözlenmiş ve En az ağırlık kaybı da CuSn10 bronzunda oluşmuştur. Daha çok demir numunelerin mili aşındırdığı gözlenmiş ve zaman zaman kilitlenmeler görülmüştür.

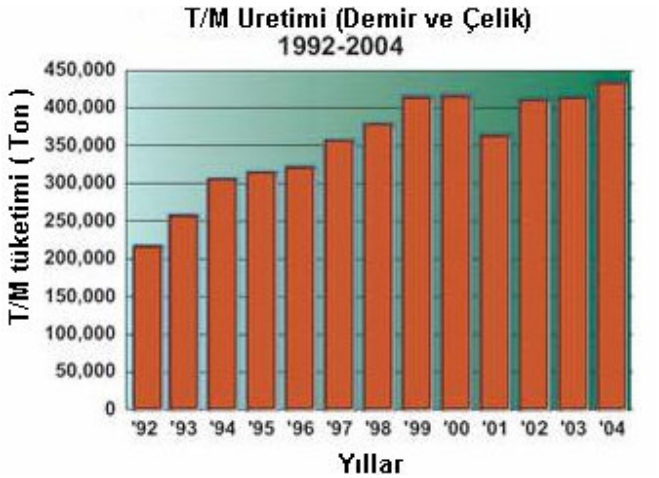
3. TOZ METAL ENDÜSTRİSİ

Hızla gelişen T/M endüstrisi kısa sürede dünyada yerini almıştır. Dünya T/M piyasası yıllık %12 oranında genişlemektedir. En çok kullanılan metal tozu %85'le demir çelik tozudur. İkinci sırada %6-7 ile bakır alaşımları gelir. Şekil 3.1'de toz kullanımının sektörlere göre dağılımı verilmiştir. Otomotiv sektörü % 70 ile en büyük paya sahip olmuştur. Şekil 3.2'de A.B.D.de yıllara göre demir tozu tüketimi gösterilmektedir (MPIF).

T/M'nin geliştirilmesi adına dünyada bazı birimler kurulmuştur. EPMA (Avrupa Toz Metalurji Derneği) Avrupa'da bu görevi üstlenmiş ve bir çok araştırmalar yapmıştır. Aynı zamanda MPIF Metal Tozu Endüstri Federasyonu gibi kurumlarda meydana getirilmiştir.



Şekil 3.1. Metal tozu tüketiminin sektörlere göre dağılımı (MPIF)



Şekil 3.2. A.B.D.de yıllara göre demir tozu tüketimi (MPIF)

3.1. Türkiye'de Toz Metal Endüstrisi

Türkiye'de bu sahadaki gelişme ve teknolojiler yakından takip edilmektedir. Bu sektörün yeni bir teknoloji olması dolayısıyla bu alanda faaliyet gösteren işletmelerin sayısı fazla değildir. Yaklaşık Türkiye'de yıllık 12000-15000 ton arsında toz metal üretimi yapılmaktadır. Türkiye bu sektörde ürettiği toz metal parçaların, ancak %20 sini ihraç edebilmektedir (Tanberk, 1997). Bu değerlerin küçük olmasının nedeni, bu teknolojinin yeteri kadar tanınmamasıdır. Bugün dünyada geçerli olan bütün toz metal teknikleri (haddeleme ile sıkıştırma, yüksek enerji veya hız şekillendirmesi ve diğer geliştirilmekte olan toz metal yöntemleri hariç) uygulama alanı bulduğunda, Türkiye'de de yapılabilmektedir. Ülkemizde toz metalurjisi uygulama sahası genellikle, otomotiv sanayisine yöneliktir. Bu sektörün ardından mermer işleme sanayinde de toz metal uygulama alanı bulmuştur. Bunun yanında kendinden yağlamalı yataklar, orta ve yüksek yoğunluklu makine parçaları debriyaj ve fren diskleri, elektrik kontak malzemeleri, yumuşak mıknatıslar, marş ve şarj dinamosu kömürleri, çeşitli metal filtreler gibi daha birçok parça üretimi de yapılmaktadır. Son yıllarda bilhassa toz metal parçaların ihracatında belirgin bir artış eğilimi vardır.

Toz Metalurjisi ve kaymalı yataklarla ilgili çalışmalar, özellikle Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi ve Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ankara Gazi Üniversitesi'nde hızla ilerlemektedir.

3.1.1. Toz Metalurji Derneği

Türk Toz Metalurjisi Derneği adıyla kurulan derneğin merkezi Ankara'dadır, yeri Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüdür. Türkiye'nin bütün illerinde faaliyet göstermektedir. Derneğin amacı Türkiye'de Toz Bilimi ve Teknolojisini geliştirmektir.

Türkiye'deki Toz metalurjisine dayalı çalışma yapan önemli bazı firmaların listesi Tablo 3.1'de gösterilmiştir (TTMD).

Tablo 3.1. Türkiye'de bulunan toz metalurji firmaları (TTMD)

FİRMA	İLİ	ÜRÜNLERİ
Gürel Makine	Gebze/KOCAELİ	Metal toz üretimi, metalurji kaplamaları.
Toz Metal A.Ş.	İSTANBUL	Toz metalürjisi otomotiv yedek parça imalatı
Maysan A.Ş.	BURSA	Otomotiv ve tekstil parçaları
Sinter Metal	İSTANBUL	Otomotiv yan sanayi toz metalurji ürünleri
Almet A.Ş.	Gebze/KOCAELİ	Alüminyum ve alaşımları tozları
Alserteknik A.Ş.	ANKARA	Seramik.
Sinter teknik A.Ş.	İSTANBUL	Çeşitli toz metal malzemeler.
Çinkur A.Ş.	KAYSERİ	Çinko tozu
Sonmak A.Ş.	ANKARA	Elmas kesici takımlar
Metin Oto. A.Ş.	İSTANBUL	Çeşitli T/M parçalar (Dinamo kömürleri)

4. METAL TOZLARIN ÖZELLİKLERİ

Toz metalurjisi ile imal edilen parçaların özelliklerini büyük oranda bu parçaların imalinde kullanılan tozların sahip olduğu özellikler belirlemektedir. Bu nedenle tozların özelliklerinin önemi ve aldıkları rolün iyi anlaşılması ve bazı uygun kantitatif karakterizasyon metotlarının uygulanması önemlidir (Kurt, 2001).

Toz metalurjisi üretim sürecinde elde edilecek ürünlerin mekanik özellikleri, yüzey kalitesi. boyut hassasiyeti yüzey pürüzlülüğü presleme basınçları vb. özellikler, kullanılacak metal tozunun özellikleri ile değişiklik gösterdiğinden metal tozlarının özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Toz özellikleri fiziksel ve kimyasal olarak iki ana alt bölümde ele alınabilir (Kurt, 2001).

4.1 Tozların Kimyasal Özellikleri

Metalsel tozların en önemli kimyasal özellikleri saflıklarıdır. Saflık adi kimyasal analizle tayin edilebilir ve sinterlenmiş cisimlerin imalatına ve bilhassa özelliklerine birinci derecede tesir eder. Metal tozların saflığı büyük ölçüde temel maddelerin özeliklerine bağlıdır. Mesela kendi oksitlerinin hidrojenle redüklenmesiyle elde dilen volfram, kobalt ve demir tozlarının saflığı, pratik olarak, kullanılan oksidin saflığındadır.

Oksijen ve karbon miktarının malzeme içinde ne şekilde bulundukları da önemlidir. Mesela oksijen levhaları, erimiş oksit veya absorbe edilmiş gazlar halinde bulunabilir. Oksitlerin redüklenmesi ile hazırlanan metalsel tozlar genellikle muntazam oksit kalıntıları ihtiva ederler. Elektroliz, granülasyon veya pülverizasyonla elde edilen tozlardan oksijen genellikle oksit kalıntıları halinde bulunur. Karbon ise serbest karbon (grafit), karbür veya katı solüsyon hallerinde bulunur.

Mekanik olarak hazırlanmış metalsel tozlar öğütücülerden elde edilen saf malzemeler ihtiva ederler (demir, manganez, karbon vs.). Mesela sert alaşımların imalinde kullanılan sert mamullerin veya bir karbürle bir yardımcı metal karışımının ince tozları, %0,5-1,5 demir ihtiva ederler. Elektrolize hazırlanan metalsel tozlar çok saftır; toplam saf malzeme %2'yi geçmez. Karbonil tozların ihtiva ettikleri

oksijen ve karbon miktarı %1,5'e kadar yükselebilir. Karbon monoksitin dekompozisyonundan ileri gelen bu saf maddeler tozun bir ön ısıtma işleminden sonra sinterlenmesiyle elimine edilebilirler. Demirde bulunan kükürt, fosfor, manganez silisyum gibi gayrı safiyetler tozlarda bulunmazlar.

Metalsel tozların renkleri kimyasal bileşimlerine, bilhassa ihtiva ettikleri oksijen miktarına bağlıdır. Elektrolize hazırlanmış bakır tozu, genellikle başlangıçta bakırın tipik kırmızı rengindedir. Fakat, elektrolitin elimine edilmesi ve yüzeysel kurutmadan sonra, bakır tozu oksidasyona uğrayarak parlaklığını kaybeder ve kırmızı-kahverengi bir renk alır. Redükleme ile hazırlanarak billurlaşmış ve oksijen ihtiva etmeyen volfram tozu açık gri renkte, alçak sıcaklıkta redüklenen ve çok az oksijen ihtiva eden tozun rengi koyu gri ile siyah arasındadır. Tozun rengi tanelerin büyüklüğüne de çok bağlıdır. Eşit miktarda oksijen ihtiva eden tozlardan ince öğütülmüş olanları kaba öğütülenlerden daha koyudur.

Çok miktarda 1 mikrondan küçük partiküller ihtiva eden ince metalsel tozlar piroforik özellikler gösterirler. Bu özellikler bir taraftan tozun geniş yüzeyine dolayısıyla büyük kimyasal katkısına, diğer taraftan metalsel oksitlere bağlıdır.

Oksalatın redüklenmesiyle elde edilen tozların ani tutuşma özellikleri bilhassa kobalt, nikel ve demir tozlarında görülür. Bu piroforik özellikler, yeni redüklenen tozun karbon dioksitle soğutulması veya redüklemenin grafit sepetlerde yapılmasıyla önlenir. Tozun kendi kendine tutuşması ise redüklemenin tekrar edilmesiyle önlenir.

Yukarda bahsi geçen bütün kimyasal özelliklerin, metalsel tozların sinterlemede kullanılabilmelerine büyük tesirleri vardır. Oksijen, karbon, kükürt, fosfor, demir vs. gibi gayrı safiyetlere ve karbon dioksit, su buharı vs. gibi absorbe edilmiş gazlara büyük ehemmiyet verilmelidir (Çalışkan, 2000).

4.2. Fiziksel Özellikler

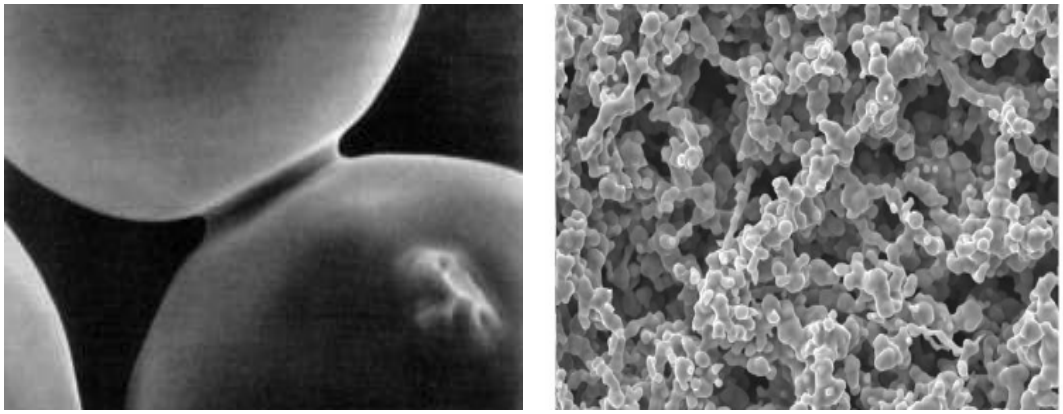
- Tane boyutu dağılımı
- Tane şekli
- Görünür ve ham yoğunluk
- Akış hızı (Akıcılık)
- Sıkıştırılabilirlik
- Ham mukavemet

4.2.1. Tane boyutu dağılımı

Metal tozların tanelerinin boyut ve şekilleri birbirinden farklıdır. Toz metalürjisinde kullanılan tozların tanelerinin boyutları 1-4 mikron arasındadır. Granülometrik dağılımı tayin etmek için toz tanelerinin ortalama büyüklüğüne göre elek analizi, mikroskobik muayene sedimantasyon vs. gibi farklı usuller tatbik edilir.

4.2.1.1. Tane Büyüklüğü Testi

Metal tozlarının tane büyüklüğü genellikle elek analizi ile yapılmaktadır. 1970'de ASTM tarafından kabul edilen Standard elek takımı tablo 4.1'de verilmiştir. Deney döküm kum tane büyüklüğü tespiti gibi yapılmaktadır. 45 mikronun altında tane büyüklükleri için elek metodu iyi netice vermez. Çok ince tozlar için sedimantasyon, ışık dağılması, yöntemleri kullanılır. Şekil 4.1'de metal tozlarda boyut oluşumu sırasındaki mikroyapılar görülmektedir (Sarıtaş, 1994).



(a) **(b)**

Şekil 4.1.Nikel tozların sinterlemede boyut oluşumunun safhaları a) 33 µm b)2-4 µm

Tablo 4.l. Standard Elek Takımı

Elek No. (mesh)	Delik, µm
30	600
40	425
50	300
60	250
80	180
100	150
140	106
200	75
230	63
325	45

4.2.1.2. Toz Tane şekli

Toz tane şekli tozun, akıcılığı, görünür ve ham yoğunluk değerleri, ham mukavemet, sıkıştırılabilirlik gibi özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Partiküllerin şekli tozun hazırlanışına bağlıdır. Aşağıda belli başlı toz tane şekilleri gösterilmiştir. Toz şekli tayini ışık ve elektron mikroskoplarıyla yapılmaktadır. Tozların şekilleri, biçimlendirmede çok etkilidir (German, 1984).

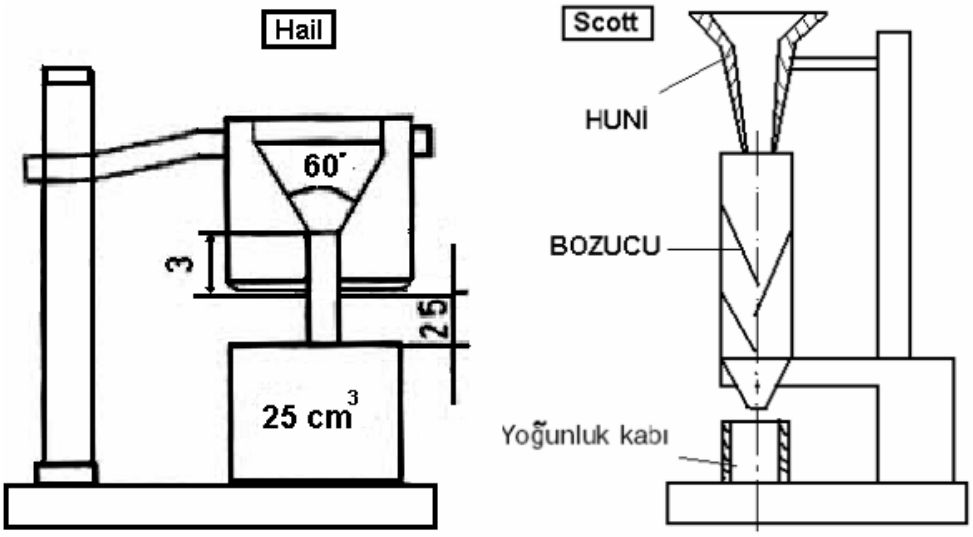
Mekanik usullerle hazırlanan metalsel tozların şekilleri küresel olmaktan çok uzaktır.Lamel şeklinde olan partiküllerin kenarları gayrı muntazam ve dantelli olup genişlik ve uzunlukları genellikle kalınlıklarından daha büyüktür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Toz tane şekilleri (German, 1984)

4.3. Görünür ve ham yoğunluk

Görünür yoğunluk, belli bir hacimdeki gerçek toz kütlesinin yoğunluğudur ve g/cm^3 olarak ifade edilir. Pres kalıplarının tasarımında en önemli toz özelliğidir. Görünür yoğunluk; toz şekline, tane büyüklüğüne ve metalin yoğunluğuna bağlıdır. Taneler küçüldükçe ve şekilleri küreselden uzaklaştıkça görünür yoğunluk azalır. Görünür yoğunluğu ölçmek için genellikle ASTM standartlarında Hail ve Scott olmak üzere iki akış hunisi kullanılır (Şekil.4.3).



Şekil 4.3. Hail ve Scott akış hunileri (German, 1984)

4.4. Akış hızı (Akıcılık)

Toz akış hızı, (g/s) ölçümü, tozların akma yeteneklerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Prensip olarak sabit ağırlıkta (50g) alınan tozların yer çekimi etkisinde bir huni içerisinden ne kadar sürede geçtiği tespit edilerek hesaplanır. Akış süresi, toz partikülleri arasındaki sürtünme, tozlarla huni yüzeyi arasındaki sürtünme, huni ağzı ve partikül boyutu arasındaki ilişki, partiküllerin şekli ve yoğunluğu, huninin geometrisi gibi faktörlere bağlıdır. Burada da Hail hunisi kullanılabilir. Bu nedenle bu test sadece mukayeseli karşılaştırma amacıyla serbest akabilir (yapışkan olmayan) tozlar için uygulanabilir (Kurt, 2001).

4.5. Sıkıştırılabilirlik

Yukarda incelenen fiziksel özellikler, tozların preslenmesinde büyük rol oynayan faktörlerdir. Belirli bir metal tozu kütlesinin basınç altında yoğunlaşma kabiliyetinin ölçüsüdür. Tozun preslenme esnasındaki hareketi, şekil verilebilme özelliğine (yani presleme ile elde edilen parçanın şekil ve kenarlarının kararlılığına) ve sıkıştırma endisi'ne tabidir. Şekil verebilme özelliği herhangi şekilli parçalar üzerinde tayin edilebilir. Bir tozun sıkıştırılabilirliği aşağıdaki kriterlere bağlıdır;

1. Tozun sertliğine,
2. Toz şekline,
3. Toz tane büyüklüğü dağılımına,
4. Kullanılan yağlayıcılara.

4.6. Ham mukavemet

Sıkıştırılmış toz kütlesinin pişirmeden önceki mukavemetidir. Ham mukavemet tozların birbirlerini kitlemelerinden ve kısmen de soğuk-kaynaklaşmadan oluşur. Presten çıkartılan parçaların boyutlarını koruyabilmeleri ve taşınabilmeleri için ham mukavemetleri çok önemlidir. Ham mukavemete etki eden faktörleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Toz şekli,
2. Toz tane büyüklüğü,
3. Sıkıştırılabilirlik,
4. Eklentiler.

Toz üretim teknikleri, toz şeklini ve tane büyüklüğünü belirler. Bu özellikler de tozdan üretilecek parçaların mekanik özelliklerini belirler (Kurt, 2001).

5. METALİK TOZLARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metal malzeme üretimi açısından ortalama boyutları birkaç mikrondan birkaç yüz mikrona kadar parçalanmış partiküller, toz olarak tanımlanmıştır. Tozun geometri şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, dendritik formlara kadar çok farklı olabilmektedir. Aynı şekilde tozun yüzey durumu da yani düzgün veya gözenekli olması da yine üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Tozun ortalama boyutları, şekli ve yüzey durumu parça imali açısından önemlidir.

Tüm malzemeleri toz haline getirmek mümkünse de, toz üretimi için seçilen yöntem ve üretim süreçleri malzemenin bazı spesifik özelliklerine bağlıdır. Metal tozu üretiminde dört temel yöntem vardır. Bunlar;

I) Kimyasal üretim yöntemi,

II) Elektroliz yöntemi,

III) Atomizasyon yöntemi (Sıvı- Gaz Atomizasyonu),

IV) Mekanik öğütme ve mekanik alaşımlamadır.

Herhangi bir üretim süreci çoğunlukla iki veya üç farklı üretim yönteminin birleşimidir. Örneğin, atomize olmuş ve elektrolitik tozlara atomizasyon/elektrolitik süreç sonrası indirgeme uygulanabilir veya bu işlem öncesi ve sonrası öğütülebilir. Yani atomizasyon ve öğütme dışındaki diğer metotlar da aynı zamanda uygulanabilir (Öveçoğlu, 1997).

5.1. Kimyasal Üretim Yöntemleri

Genelde tüm metal tozları kimyasal tekniklerle üretilir. Kimyasal yöntemlerle sentezlemede katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleri ile toz üretimi gerçekleştirilir. Bunlar;

1) Gaz altında katının ayrışması,

2) Termal ayrışma,

3) Sıvıdan çöktürme,

4) Gazdan çöktürme yöntemleridir.

5.1.1. Gaz altında katının ayrışması

Toz üretiminin en önemli şekli, metal oksitleri indirgeyici gaz ortamında indirgeyerek ayrıştırmaktır. Bu yöntemde saf metal oksit tozları, gerek karbon monoksit (CO) gerekse hidrojen (H_2) gazı ile tepkimeye sokularak, yüksek sıcaklıklarda metal oksit indirgenmesi gerçekleşir. Gaz altında metal oksit indirgemesine en bilinen örneklerden birisi demir oksidin (FeO) indirgenmesi için geçerli olan tepkimedir:

$$FeO(s) + H2(g) \longrightarrow Fe(s) + H2O$$

Oksitlerin veya diğer bileşiklerin hidrojen ile indirgemesi metallerin ergime sıcaklığının çok altında gerçekleştirilmektedir. İşlem genellikle tüp fırınlarda gerçekleştirilmektedir. Bir konteynır içerisine yerleştirilen oksit tozlar tüp içerisinden geçirilirken aksi yönde ise hidrojen akışı sağlanır.

Gaz altında ayrışma yöntemi kullanılarak üretilebilen diğer bazı metal tozları ise Cu, Co, Ni ve Re`dur. Renyum (Re) yüksek ergime sıcaklığına sahip olup yüksek dayanımlı Mo ve W alaşımlarında alaşım elementi olarak kullanılır (Kurt, 1996).

5.1.2. Termal ayrışma

Buhar fazında ayrışma ve yoğuşma süreçlerinin birleşimi ile metal tozlarını üretmek mümkündür. Bu süreçlerin bileşimdeki en temel örnekler demir karbonil $Fe(CO)_5$ veya nikel karbonil $Ni(CO)_4$ tepkimelerini içeren üretim yöntemleridir. Bu örneklerden ilkinde, nikel metali karbon monoksit ile tepkimeye sokularak nikel karbonil oluşturulur. Gaz molekülünün oluşumunda otoklav ortamında aynı anda basınç ve sıcaklık gereklidir. Moleküler haldeki karbonil 43°C'de ve yüksek basınçlarda sıvı haline gelinceye kadar soğutulur. Bir tepkime katalitiğinin etkisi ile yeniden ısıtıldığında buhar fazında ayrışır. Sonuçta metalik nikel tozu 2-4 μm boyutlarında ve yaklaşık %99.6 saflığında çökerek üretilir. Diğer metallerden bakır, krom, platin, rodyum, altın ve kobalt karbonil üretimi için aday metallerdir. Ancak bu metallerin termal ayrışması için gereken yüksek enerji gereksinimi ile karbondioksit sirkülasyonunun beraberinde getireceği potansiyel tehlikelerden ötürü dünyada daha çok nikel ve demir karbonil üretimi tam olarak benimsenmiştir.

5.1.3. Sıvı Fazdan çöktürme

Sıvı çözeltide nitrat, klorür ve sülfatlar olarak: bulunan metalik tuzlar metalik çökelti veya çökelti oluşturan metali üretmek için işleme tabii tutulabilirler. Çökeltilen yada çökelti fazı haline getirilen metalik tuzlar, toz üretimi uygun kaynak teşkil ederler. Tuz suda eritilir ve ikinci bileşik tarafından çökeltilir. Örnek olarak aşağıda gümüş nitratın, potasyum karbonitrat ile tepkimesini ele alalım.

$$AgNO_3(s) + NaCO_3H(s) = Ag^+ + NO_{3-} + Na+ + CO_3^{2-} + H^+$$
$$= Ag(k) + NaNO_2(s) + CO_2(g) + 0.5\ H_2(g)$$

Son ürün olan katı gümüş çökeltisi öğütülerek toz ürün haline getirilir. Metalik tuzların Sıvı çözeltiler içerisinde ayrışması ile elde edilen toz üretimine alternatif olarak metalik iyonlar, hidrojen ite tepkimeye sokularak metalik çözeltiler oluşturulabilir. Bu tür metalik çökeltilere örnek olarak bakır, nikel ve kobalt tozlan verilebilir. Kimyasal yöntemlerle çökelti fazında elde edilen tozların tipik boyutları 1 μm dolayında olup yüksek derecede safiyete sahiptirler (Büyükdavraz, 2000).

Sıvı fazdan çökelti ile geliştirilen toz üretim teknikleri özellikle kompozit tozların üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit çözeltiler yönteminde çökelti tepkimesi sırasında çekirdeklendirici bir faz kullanılır. Uygulamada kullanılan tantal tozlarının büyük bir çoğunluğu bu yöntemle elde edilir.

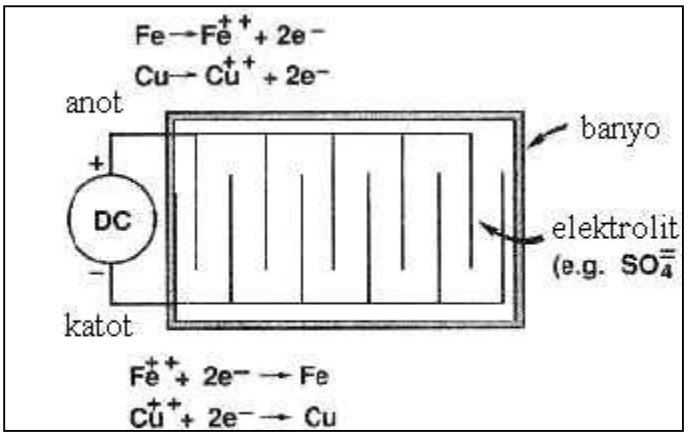
5.1.4.Gazdan Çöktürme

Gaz bileşiklerin oluşturduğu kimyasal tepkimeler sonucu reaktif metallerden ve nano ölçekli partikü1terden tozlar üretilir. Gaz esaslı tepkimelerin en büyük avantajı tepkime sırasında toz üretiminde ergitmenin ortadan kalkması sonucu potanın kirlenmemesi ve yeniden ku1lanılabilmesidir. Bu tür üretim sürecine en uygun örnek molibden trioksidin saf hidrojen ile tepkimeye girerek metalik molibden tozunun üretilmesidir. Gazdan çöktürme metodu ile vanadyum niyobyum volfram hafniyum, gümüş, nikel ve zirkonyum metallerinin klarürleri, flarürleri ve hatta oksitleri tepkimeye sokularak çok küçük tane boyutlarında metalik tozlar üretilir (Öveçoğlu, 1997).

5.2. Elektroliz Teknikleri

Sıcaklık, bileşim, çözeltinin tazeliği, akım yoğunluğu gibi şartların uygunluğu sağlandığında metaller süngerimsi veya toz yapısında katotta biriktirilebilir. Bu yöntemlerde metal tozu üretimi sulu çözeltiden veya sıvı tuz banyosundan metallerin elektroliz yöntemi ile ayrıştırılmasıyla yapılmaktadır. Bu yöntemle üretin tozların saflık dereceleri oldukça fazladır.

Yüksek iletkenliğe sahip metal tozlarını üretmenin bir başka yöntemi elektroliz bir hücrenin katot çubuğunda metal toz1arını çöktürmektir. Bu yöntemi kullanarak yüksek saflıkta Cu, Fe, Zn, Mn, Ag tozlarını üretmek mümkündür. Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilen bir elektroliz hücresinde uygulanan voltaj altında Fe ve Cu anot-katot tepkimeleri gerçekleşir (German, 1984). Sülfat esaslı bir elektrolit içinde, anot malzemesi çözülerek eksilip katotta artma ve depolama gerçekleşir.



Şekil 5.1. Elektroliz hücresi şeması (German, 1984)

Elektroliz sürecinin sonunda gözenekli katot dışarı alınır, kurutulur, istenen tane büyüklüğü elde edilene kadar öğütülür. Elektroliz hücresinde üretilen tozlar genellikle süngerimsi ve dentritik yapılara sahiptir. Tozların özellikleri elektrolitik biriktirme sırasındaki banyo şartlarına bağlıdır. Örneğin yüksek akım yoğunluğu ve asidik banyo şartlarında katotta gözenekli toz oluşur. Yüksek saflıktaki metal tozlarının üretiminde kullanılan elektroliz tekniklerin uygulanmasında bir takım zorluklar vardır. Bunların arasında katottaki birikmede kirlenmenin olması ve bundan dolayı işlemden hemen sonra katot ürününün zaman geçirmeden yıkanması

ve öğütülmesi belirtilebilir (Büyükdavraz, 2000). Son olarak tozlar hava içerisinde 100°C'de kurutulur. Elektroliz yöntemi ile üretilen tozların sıkıştırılabilirlilikleri ve presleme sonrası dayanımları yüksek olmaktadır. Bu yöntemle üretilen tozlar oldukça kırılgandır. Diğer yöntemlere göre maliyeti daha yüksek olduğundan çok tercih edilmemektedir (Baksan, 2005).

5.3. Atomizasyon

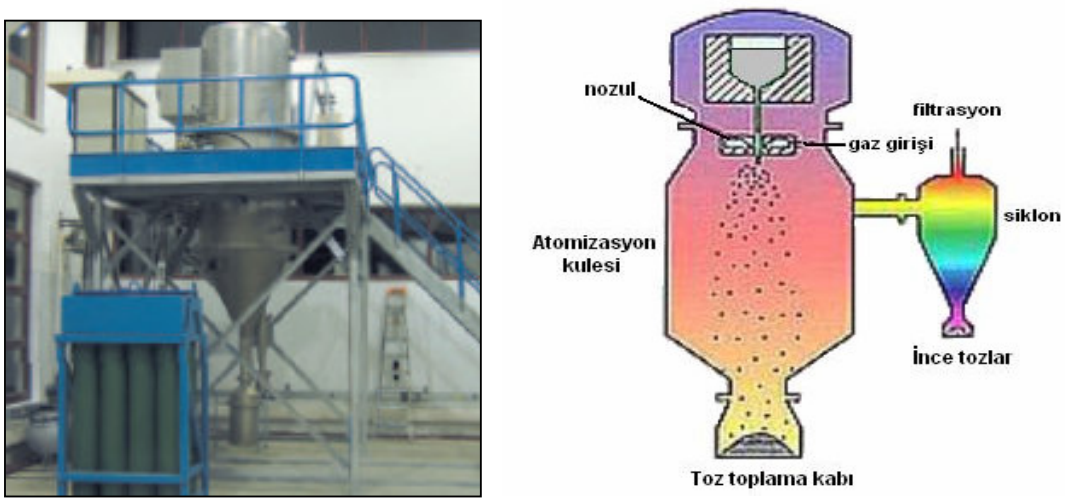
Atomizasyon, ergimiş metalin bir ergime potasından (tandiş) akıtılması esnasında yüksek basınçlı su veya gaz jetlerinden gönderilen su veya gazın ani soğutulmasıyla küçük toz parçaları haline getirilmesidir. Günümüzde atomizasyon yöntemiyle metal tozu üretimi önemli bir yer tutmaktadır. Atomizasyon yöntemleri su, gaz, santifrüj, döner elektrot ve vakum atomizasyon olmak üzere beş ana gruba ayrılmaktadır. Bunların içerisinde su atomizasyonu en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

Bu yöntemde sıvı metalin başka bir katı yüzeye çarpmadan önce küçük damlacıkların hızlı bir şekilde katılaşması ile elde edilir. Bu ise sıvı metalin, gaz veya sıvı akışkan jeti ile parçalanmasını sağlamak suretiyle gerçekleştirilir. Kullanılan gaz çeşitleri genellikle argon, azot veya hava, sıvı olarak ise su kullanılır. Püskürtme açısı ve konisi, akışkan hızı, debisi, akan metalin kalınlığı gibi bir çok parametrenin kontrolü ile çok farklı boyutlarda toz üretimi mümkündür. Katılaşma hızına bağlı olarak parçacığın şekli küresel halden, su veya düşük ısı kapasiteli gaz kullanılması halinde ise daha düzensiz parçacığa kadar farklılık gösterebilir.(Baksan, 2005). Şekil 5.2'de gaz atomizasyon sistemi ile parçalanma gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Atomizasyon işleminin başlaması.

Özellikle bir akışkan atomizasyonu da denilen gaz ve su atomizasyonu ucuz ve yüksek kapasitede toz üretimi için tercih edilmektedir (Beddow, 1978). Şekil 5.3'de gaz atomizasyon ünitesi ve kısımları görülmektedir. Burada ergimiş metalin bir ergime potasında (tandiş) akıtılması esnasında yüksek basınçlı su veya gazın etkisi altında ani ve aşırı soğutulması ile 100-150 µm'den daha küçük boyutlarda toz elde edilir.



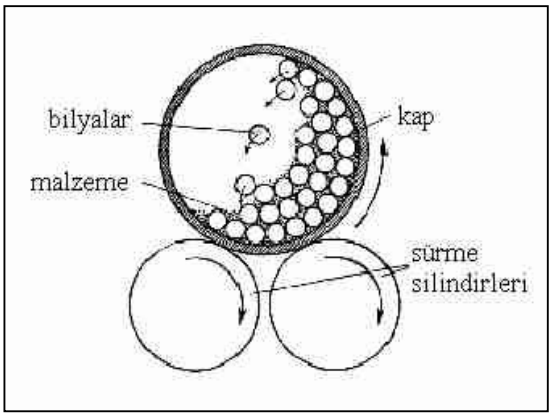
Şekil 5.3. Atomizasyon ünitesi ve kısımları

Pratikte bu yöntem ergitilebilen bütün metallere uygulanabilir, ticari olarak üretilebilen tozlar arasında, demir, takım çelikleri, alaşımlı çelikler, bakır, pirinç, bronz ve alüminyum, kurşun, kalay çinko ve kadmiyum gibi diğer düşük ergime dereceli metal tozları sayılabilir. Atomizasyon yönteminin avantajlarından biri de alaşım tozlarının ergitilmesinde rahatlıkla kullanılabilmesidir, bu yöntemle üretilen tozların bileşimleri her bir toz tanesinde aynı kalmaktadır.

Su atomizasyon yönteminde olduğu gibi gaz atomizasyon yönteminde de üfleçlerin özellikleri elde edilecek tozun şeklini yakından etkilemektedir. Genellikle istenen tane boyutu olabildiğince ince toz üretmektir, bunun için ise supersonik üfleçler geliştirilmiştir. Bu sayede çok ince boyutlu toz elde edilir.

5.4. Mekanik Öğütme

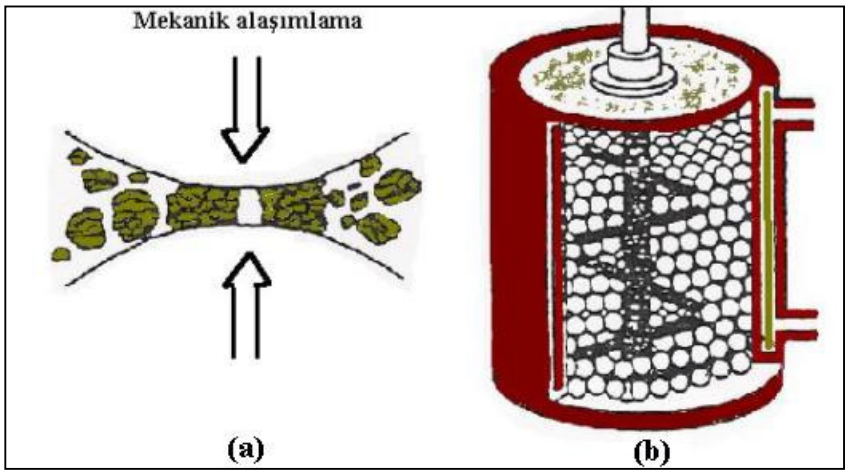
Öğütme veya sert metal topların çarpması sonucu darbe etkileri altında, özellikle gevrek ve kırılgan esaslı malzemelerin ufalanarak toz haline getirilmesi işlemi, toz üretim yöntemleri içerisinde en eski olanıdır. Bu şekilde üretilen başlıca metal tozları Al, Cu ve pirinçtir; bunlardan başka Sn, Pb, Mn, Co, Si, Zn, Fe, Fe esaslı, Cu esaslı tozlar da üretilir. Mekanik öğütme yöntemleri ile özellikle oksitleri indirgenmiş ve sünger biçimindeki metalik keklerden toz üretimi gerçekleşir (Şekil 5.4). Mekanik öğütme sırasında üretilen tozun yapısına ve özelliklerine etki eden en önemli parametreler öğütmede kullanılan top/toz ağırlık oranı, öğütme süresi ve öğütmede kullanılan sıvı veya öğütme atmosferidir (Öveçoğlu,1997).



Şekil 5.4. Mekanik öğütme metodu

Öğütme işlemi sırasında toz parçacığın üzerine darbe, aşındırma, kesme ve basma olmak üzere dört tür kuvvet etki eder. Darbe öğütme ortamında kullanılan topların yada diğer tozların herhangi bir toz parçacığı üzerine çarpmasıdır. Aşınma top/toz etkileşimi ile olabileceği gibi, toz/toz etkileşimleri sonucu da oluşur. Bu iki tür kuvvet etkisinin yanı sıra daha az önemli olan kesme ve basma kuvvetleri de topların tozlar üzerine olan etkileri sonucu oluşurlar. Klasik öğütme süreçlerinde toz boyutunun ufaltılması, boyut homojenizasyonun sağlanması ve/veya çeşitli tozların birleştirerek öğütülmeleri ile kompozit toz üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenir.

1960'larda Benjamin ve arkadaşları tarafından yapılan, yüksek enerjili bir öğütme işlemi olan mekanik alaşımlama yöntemiyle kontrollü mikroyapıya sahip ve ince tane boyutlu tozlardan oluşan kompozit metal tozların üretimi yaygın olarak yapılmaktadır. Şekil 5.5.(a)'da gösterildiği gibi başlangıçta tozlar sürekli olarak kırılır, parçalanır ve bu parçacıklar başka toz parçacıkları ile birleşerek son aşamada kompozit tozları oluştururlar. Gerçek anlamda mekanik alaşımlanmış tozların kimyasal bileşimleri ve parçacık boyutları birbirlerine oldukça yakın olduğu gibi biçimleri eş eksenlidir (Öveçoğlu, 1997).



Şekil 5.5. a)Mekanik alaşımlamada top/toz etkisi
b) Atrinörün şematik görünümü

Öğütülecek metal, içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyaların bulunduğu kaba yerleştirilir. Kap döndürülerek veya titreştirilerek bilyalar harekete geçirilirken, eğer öğütülen parçacıklar gevrek ise, bilyalarla çarpışma neticesinde çok küçük tozlara bölünür. Sünek parçacıklar ise, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşırlar ve ancak aşırı iş sertleşmesi neticesinde gevrekleşerek küçük tozlara bölünebilirler.

Öğütülecek metal, içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyaların bulunduğu kaba yerleştirilir. Kap döndürülerek veya titreştirilerek bilyalar harekete geçirilirken, eğer öğütülen parçacıklar gevrek ise, bilyalarla çarpışma neticesinde çok küçük tozlara bölünür. Sünek parçacıklar ise, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşırlar. Ancak aşırı iş sertleşmesi neticesinde gevrekleşerek küçük tozlara bölünebilirler.

Metal tozların üretiminde, tozların özelliğine bağlı olarak üretim yöntemleri farklılık göstermektedir. Tablo 5.1'de metal tozların üretim yöntemleri gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Bazı metal tozları ve üretim yöntemleri (Kurt, 2006)

Üretlen Miktar	**% 70**	**% 15**	**----------% 15----------**			
Toz Malzemesi	Atomizasyon	Kimyasal İndirgeme	Öğütme	Elektroliz	Isıl ayrışma	Sıvı-gaz çökeltme
Al alaşımları	**X**					
Berilyum			**X**	**X**		
Kobalt						
Bakır	**X**	**X**		**X**		**X**
Bakır alaşımları						
Cu-Al	**X**					
Cu-Pb	**X**					
Cu-Sn (bronz) *	**X**					
Cu-Zn (prinç)	**X**					
Cu-Ni-Zn	**X**					
Demir	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	
Demir alaşımları						
Alaşımlı çelik	**X**					
Paslanmaz çelik	**X**					
Tekım çeliği	**X**					
Mobilden		**X**				
Nikel		**X**			**X**	**X**
Nikel alaşımı	**X**		**X**			
Gümüş	**X**			**X**		**X**
Tantalium		**X**		**X**		
Kalay	**X**					
Titanyum	**X**	**X**			**X**	
Tungsten		**X**				
Zirkonyum	**X**				**X**	
* Bronz T/M tozları saf Cu ve Sn tozlarının karışımını ile elde edilir.						

6. TOZ METAL PARÇA ÜRETİMİ

Metal tozlarından parça üretebilmek için tozları parçanın şekline biçimlendirebilmek ve tozlar arasında bağ oluşturmak gereklidir. Biçimlendirme yöntemleri parçaya şekillerini verir, ancak gerekli mukavemet ancak sinterlemeden sonra oluşur. Biçimlendirilmiş mukavemetin (ham mukavemet), parçanın taşınabilmesi için gerekli mukavemetin üzerinde olması yeterlidir. Biçimlendirme soğuk veya sıcak olarak gerçekleştirilebilir. Otomasyona çok uygun olduklarından, en çok soğuk basınçlı biçimlendirme yöntemleri kullanılmaktadır.

Toz metalurjisi parça üretimi nihai ölçülerde ve hassas boyutlarda parça üretimine imkan verdiğinden çok önemli ve üretim miktarı ve karmaşıklığı göz önüne alındığında oldukça ekonomik sayılabilecek bir üretim tekniğidir. Parçayı oluşturan tozlar ve yağlayıcılar homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılırlar. Karışım daha sonra kalıbın içerisine doldurulur ve basınç altında sıkıştırılır, son olarak parçalar sinterlenir. Küresel ve iri bronz tozlarından filtre elemanlarının basınç kullanılmadan üretimi istisnai bir durumdur. Bu işlemde tozlar uygun şekilli kalıp içerisine doldurulur ve kalıpla birlikte sinterlenir. Tozları sıkıştırmanın tek eksenli presleme, haddeleme, ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama, izostatik presleme gibi bir çok metotları vardır. Bu metotların seçimi parça geometrisine ve üretim miktarına bağlıdır (TTMD, 2005).

T/M parça üretimi de çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar;

1) Toz hazırlama (Karıştırma),
2) Presleme (Sıkıştırma),
3) Sinterleme (Pişirme),
4) Sinterleme sonrası işlemlerdir.

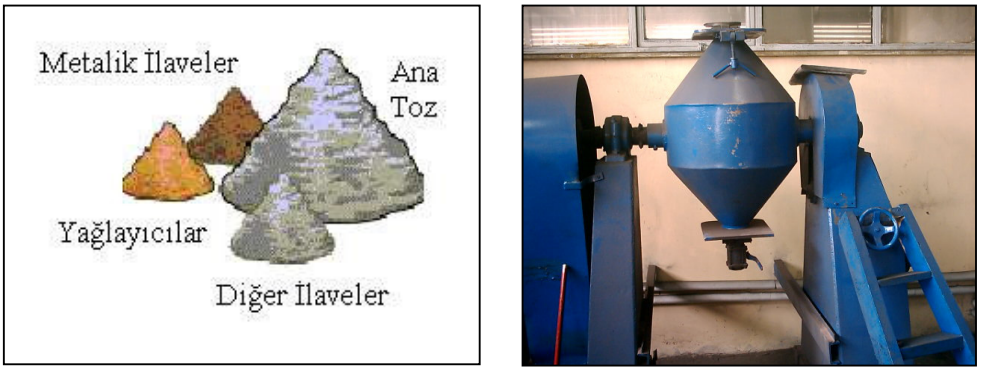
Bir parçanın bu yöntemle imal edilmesini gerekli kılan başlıca kriterler şu şekilde özetlenebilir. Bunlar;

- Metalik bünye içindeki elementlerin karışım olarak bulunmasının gerekli olması (sürtünme diskleri) veya alaşım yapılmasının zor veya imkansız oluşudur (örneğin çok farklı ergime sıcaklıkları nedeniyle).
- Saf metal haline eritilerek getirilmemesidir.

- Hacminin bir kısmının boş bırakılması zorunluluğudur (Kendinden yağlamalı burçlar).
- Üretim miktarı kalıp ve presleme amortismanlarını ekonomik kılacak düzeyde ise, alışılagelmiş yöntemlere göre hızlı ve ucuz olması, malzeme fire ve talaşını azaltması veya sıfırlamasıdır.
- Başka sebeplerle zorunlu olmasıdır.

6.1. Karıştırma

Metalik tozlar, yağlayıcılar ve isteğe bağlı alaşım elementleri ile homojen bir karışım elde etmek için karıştırılır. Tozlarla birlikte uygun bir yağlayıcı da belirli oranlarda (max % 0.5-1.5) olmak üzere ilave edilir. Yağlayıcı olarak metal parafinler ve mum kullanılır. Yağlayıcı kullanılmasının temel nedeni, sıkıştırma esnasında tozun kalıp cidarlarına yapışmasını engellemek ve tozların birbiri üzerinde daha rahat kaymasını ve şekil almasını ve preslenmiş parçanın kalıptan çıkışını kolaylaştırmaktır. Bunun faydası yoğunluğun her tarafta mümkün olduğunca aynı olmasını sağlamaktır. Karıştırma yönteminde önceden alaşımı yapılmış tozlar kullanmaksızın karıştırma sırasında alaşım yapma imkanı vardır. Demir tozlarının bu şekilde çok sıkışmaları ve alaşım elementlerinden dolayı sertleşmeleri önlenmiş olur. Ana alaşım elementi olan karbon toz grafit halinde karıştırılır. Şekil 6.1'de metal tozlar ve bunlara katılan katık maddeler gösterilmiştir (TTMD, 2005).



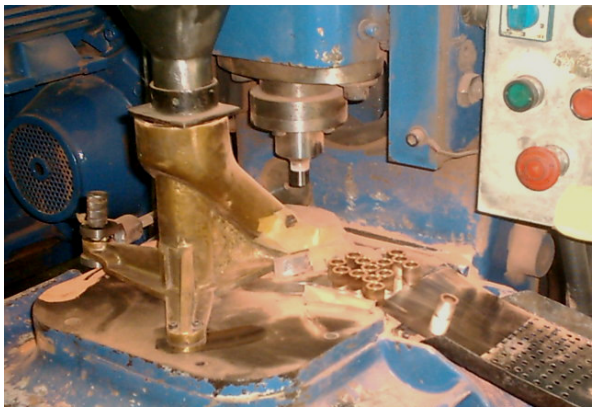
(a) (b)

Şekil 6.1. (a) Metalik toz ve ilaveleri. (b) Karıştırıcı (Mikser)

6.5. Presleme (Sıkıştırma)

T/M imalat sürecinde parça imal süresi ve oranı önemli bir faktördür. Bu nedenle tek eksenli kalıpta presleme (sıkıştırma) önemli bir parça şekil verme aşamasıdır. Metal tozlarının, üretilecek parçanın istenen yüzey kalitesine ve boyutlara göre hazırlanan kalıp içerisinde, basınç etkisi ile yeterli yoğunluğa getirme işlemine presleme adı verilmektedir. Toz tanecikleri, oldukça kompleks yüzeylere sahip olmasının yanında, havada çok moleküllü oksit ve gaz tabakalarıyla da kaplıdırlar. Presleme işleminin başlangıcında kalıp içerisindeki toz, yaklaşık olarak görünür yoğunluğa sahip, boşlukların çok fazla olduğu bir toz yığını halindedir. Presleme basıncı artarak, gözenekli tanecik yapısı bozularak gözeneklilik azalmaya başlar. Artan basınç ile birçok tanecik birbirine sürtünerek toz taneciklerinin yüzeyinde bulunan oksit ve gaz tabakalarının yırtılmasını sağlarlar. Böylelikle toz tane yüzeylerinin birbirine teması sağlanmış olur (Şekil 6.2).

Tozların preslenmesindeki ana amaç ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Sıkıştırma bir yük altında serbest yapıdaki toz partiküllerinin istenilen şekle ve forma dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir. Değişik sıkıştırma teknikleri olmakla beraber en yaygın kullanılanı tek etkili presleme işlemidir. Tek etkili presleme tekniği kesintisiz üretim, otomasyon sistemleri, yüksek miktarlarda metal ve seramik parçalar ile ilaç ve patlayıcı endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu nedenlerden dolayı çoğu T/M parçaları bu teknik kullanılarak üretilirler (Büyükdavraz, 2000).



Şekil 6.2. Presleme işlemi

Sıkıştırma üç aşamada ele alınabilir;

1. Sıkıştırma basıncının ilk uygulanmasına müteakip partiküllerin yer değiştirmesi ve yeniden pozisyon belirlemesi gerçekleşir. Plastik şekil değiştirme yoktur. Kısmi olarak bazı partiküllerde mekaniksel kırılmalar olabilir. Bu aşamada partikül boyutu, toz boyut dağılımı, partikül şekli ve yüzey özellikleri ile partiküller arası sürtünme önemli rol oynar.
2. Toz sıkıştırmanın ikinci aşamasında elastik ve plastik deformasyon faktörleri baskındır. Bu aşamada partiküller arası soğuk şekillendirmeye bağlı bağlar oluşabilir. Ayrıca partiküllerin mekaniksel kilitlenmeleri ile partikül-partikül etkileşimleri bu aşamada önem kazanan durumlardır.
3. Presleme basıncının arttığı sıkıştırmanın son aşamasında toz partiküllerinin kırılması ve plastik deformasyon ile boşlukların doldurulması sağlanmış olur. Bu aşamada toz partikülleri arasında soğuk kaynak olabilir.

Tozun sıkıştırılmasında kalıp duvarı ile toz taneleri arasında meydana gelen sürtünme, presleme basıncının tozun kalıp içindeki derinlik mesafesi ile azalmasına sebep olmaktadır. Tozun sıkıştırılmasında basınç, mukavemet, yoğunluk ilişkilerini etkileyen çok sayıda önemli iç ve dış etkiler vardır. İç etkenler sertlik, şekil değiştirme sertleşmesi, yüzey sürtünmesi ve malzeme özellikleridir. Dış etkenler arasında ise toz tane boyutu, şekli, yağlama çeşidi, sıkıştırma yöntemi gibi özelliklerdir (Büyükdavraz, 2000).

6.5.1. Toz Sıkıştırma / Presleme Yöntemleri

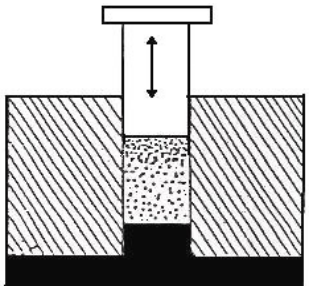
Presleme aşağıdaki gibi birçok çeşitli şekilde uygulanmaktadır. Bunlar;

1. Sabit kalıp içinde sıkıştırma,
2. İzostatik sıkıştırma,
3. Enjeksiyon ile kalıplama,
4. Ekstrüzyon ile sıkıştırma,
5. Yüksek enerjili sıkıştırma,
6. Haddeleme ile sıkıştırmadır.

6.2.1.5. **Sabit kalıp içinde eksenel sıkıştırma**

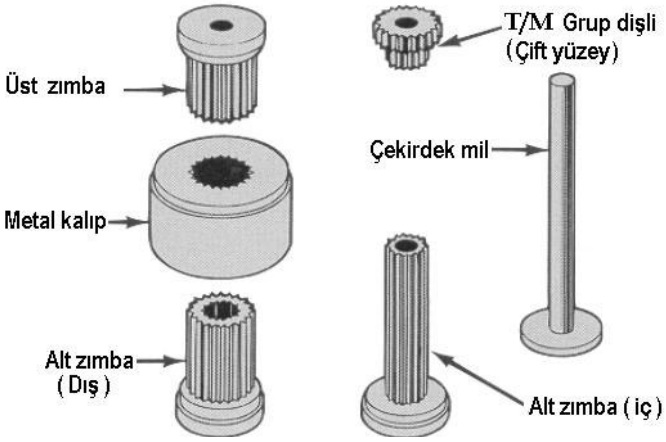
Soğuk olarak sabit bir kalıp içerisine dökülen metal tozları, eksenel bir kuvvet uygulanarak toz tanelerinin birbirine mekanik olarak bağlanması sağlanır. Kuvvetin uygulandığı yerin sayısına göre bu yöntem iki türe ayrılır. Bu yöntemler tek etkili presleme ve çift etkili preslemedir.

Şekil 6.3'de görülen tek etkili preslemede presleme işi üst zımba tarafından yapılır. Üst zımba ile sabit alt zımba arasında kalan tozun şekillendirilmesi işlemidir. Ancak parçanın ham yoğunluğunda, üst zımbadan uzaklaştıkça azalmalar söz konusudur. Bunun sebebi ise üst zımba tarafından iletilen kuvvetin zımbaya daha yakın tozlara nazaran daha alt tarafta kalan tozlara bu kuvvetin az iletilmesidir.



Şekil 6.3. Tek etkili presleme

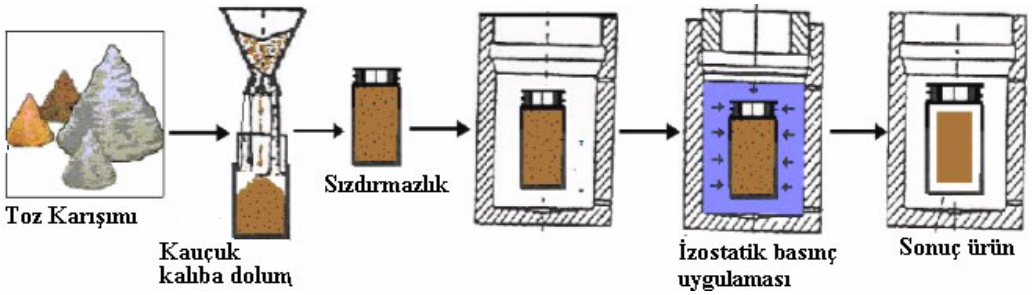
Çift yönlü preslemede ise toz alt ve üst zımba tarafından aynı anda sıkıştırılmaktadır. Alt ve üst zımba farklı basınlar uygulanabilir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Çift yönlü çalışan bir pres tertibatı parçaları

6.2.1.6.**İzostatik Presleme**

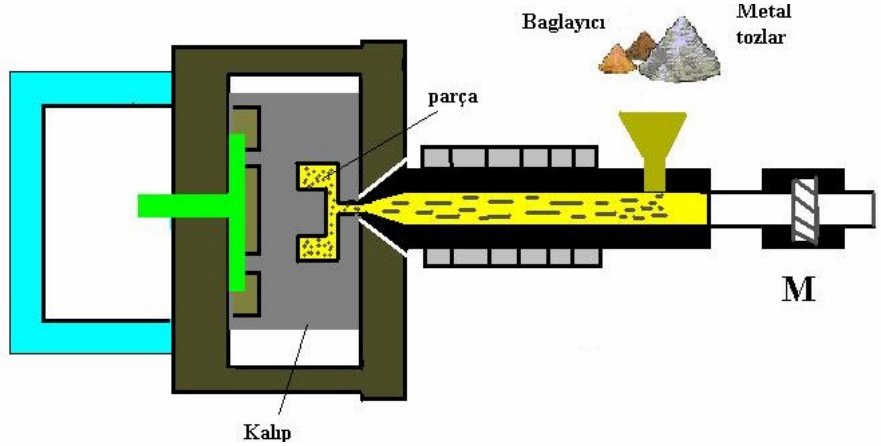
Tozların kalıp içerisinde tek yönlü preslenmesinde hareketli piston ile kalıp yüzeyi ve tozlarla kalıp yüzeyi arasında meydana gelen sürtünme nedeni ile uygulanan basınç tüm tozlara eşit olarak iletilemez. Bu durum özellikle H/D (H:Basılacak tozun kalıp içi yüksekliği, D: sıkıştırılacak alanın çapı) oranı büyük olan parçalarda homojen olmayan yoğunluk dağılımına neden olur. Parça iç yapısındaki homojen olmayan bu yoğunluk dağılımı nedeniyle preslenmiş parçalar sinterleme sırasında farklı boyutsal daralma miktarları nedeniyle şekilsel deformasyonlara maruz kalabilirler. Bunun giderilmesi için düşük basınçlarda preslenen numuneler soğuk veya sıcak izostatik presleme denen ve daha yüksek basınç altında bir akışkan yardımı ile sıkıştırma sağlayan sistemlerde homojen dağılımlı ve yüksek yoğunluklu parçalara dönüştürülürler. Şekil 6.5'de bu durum şematik olarak gösterilmiştir (Öveçoğlu, 1997)**.**



Şekil 6.5. Soğuk İzostatik presleme işlem adımları

6.2.1.7.**Enjeksiyon ile kalıplama**

Konvansiyonel metoda alternatif olarak basınçlı dökümde kullanılan metoda benzeyen bir enjeksiyon kalıplama yöntemi geliştirilmiştir. İlk olarak 1977 yılında uygulanan bu yöntemde tozlara plastiklik ve akıcılık kazandırmak amacıyla %8-20 arasında termoplastik polimer bağlayıcılar eklenerek, 140-150°C'ye kadar ısıtılarak bir bulamaç haline getirmiştir. Sonra bu bulamaç kalıp boşluğuna enjekte edilir. Enjeksiyondan sonra malzemeler 300-400 ^{o}C sıcaklıklarda uzun süreler tutularak polimer bağlayıcıların parçayı terk etmesi ile sağlanır (Şekil 6.6).



Şekil. 6.6. Enjeksiyonla kalıplama

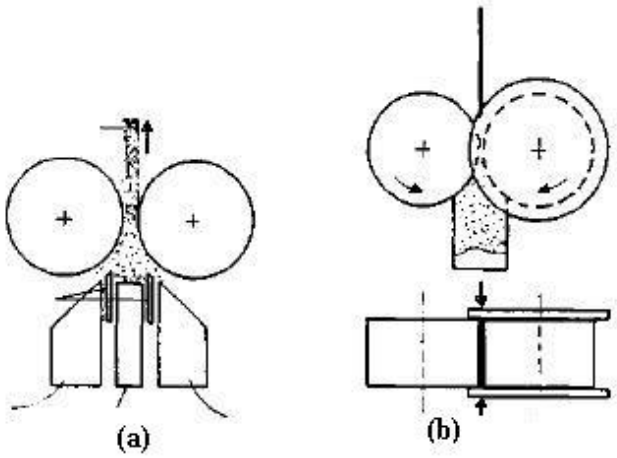
Enjeksiyon kalıplama veya presleme yukarıda ifade edildiği üzere diğer proseslerle eldesi güç küçük, kompleks ve ince et kalınlığına sahip parçaların üretimine oldukça caziptir. Ancak kalıp dizaynı ve kalıp imalatı oldukça pahalı olduğu için seri ve kütlesel üretimde kullanılır.

6.2.1.8. **Ekstrüzyon ile sıkıştırma**

Ekstrüzyon kelime olarak "kalıptan basma", "dar çıkım" anlamını taşır. Burada enjeksiyonla kalıplamada olduğu gibi bulamaç haline getirilen polimer-toz karışımı ekstrüzyon matrisinden geçirilerek yüksek ham yoğunluğa sahip çubuk veya profillerin imalatı gerçekleştirilir. Daha sonra parçalara bağlayıcı giderme ve sinterleme işlemleri uygulanır.

6.2.1.9.**Haddeleme ile sıkıştırma**

Şekil 6.7'de gösterildiği gibi tozlar bir besleyiciden haddelerin arasına akıtılarak sıkıştırılabilirler ve böylece sürekli biçimlendirme gerçekleştirilebilir, istendiği takdirde ikili, üçlü sandviç haddeleme mümkündür. Hadde silindirlerinden sonra yerleştirilecek bir fırınla sürekli pişirme ve onu takiben sıcak haddeleme işlemleri kullanılarak saç malzeme üretilebilir.



Şekil 6.7. Toz haddeleme: (a) Tek metal, (b) İki metal

6.3. Sinterleme (Pişirme)

Sinterleme, toz halindeki malzemenin düfizyon (atomik taşınım olayları) ile erime sıcaklığı altındaki (2/3 ile 4/5'i) bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılarak tozların birbirlerine değdikleri noktalardan başlayarak kaynaşmasıdır. Birden fazla alaşım elemanı içeren metal tozları genellikle ana metalin ergime sıcaklığının altında, bağlayıcı metallerin ergime sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta sinterleme işlemi yapılır. Böylelikle ergime sıcaklığı düşük olan alaşım elemanı, ana metalin tozlarını bağlamada kullanılmış olur (Büyükdavraz, 2000).

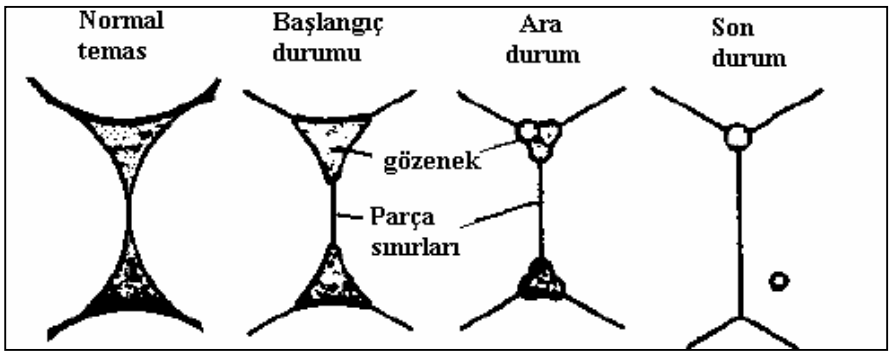
Soğuk olarak biçimlendirilmiş toz metal malzemeler çok kırılgandır. Toz taneleri, basınç altında mekanik olarak birbirlerini kilitlemişlerdir ve kısmen de soğuk kaynak oluşmuştur. Ancak, her iki mekanizma ile de oluşacak mukavemet parçaya yük taşıma özelliği vermez. "Ham mukavemet" olarak adlandırılan bu mukavemetin parçanın taşınması ve stoklanması için gerekli mukavemet kadar olması yeterlidir.

Soğuk biçimlendirilmiş metal tozları ergime sıcaklıklarının altında, kaynak oluşması sıcaklığında pişirildikleri zaman toz taneleri arasında metalürjik bağ oluşur ve parçanın mukavemeti ham mukavemetinin 100 katından daha yüksek değerlere ulaşır. Şekil 6.8'de sinterleme sırasındaki mikroyapı gösterilmiştir. Pişirmenin başarılı olması için toz tane yüzeylerinin oksitlerden temiz olması gereklidir.

Pişirilme sırasında ortamdaki hava yok edilmeli ve koruyucu atmosferler kullanılmalıdır. Pişirme atmosferi olarak genellikle indirgeyici gazlar kullanılmakta ve böylece toz yüzeylerinde önceden oluşmuş oksit tabakaları pişirme sırasında indirgenmektedir. Hidrojen en iyi indirgeyici gazdır, ancak pahalıdır. Bugün hidrojen üretici ortam olarak kırılmış amonyak kullanılmaktadır. Amonyak gazından ayrılan azot, çeliğin demir ve alaşım elementleriyle reaksiyona girerek oluşturduğu nitrürler ince tanelidir. Bu amonyağın özelliği de sertleştirme işlemini yapar. Kırılmış amonyakta %25 inert azot ve %75 indirgeyici hidrojen vardır (Sarıtaş, 1994). Ayrıca indirgeyici gaz olarak metan gazı da kullanılmaya başlanmıştır. Sinterleme işlemi, sıkıştırılmış gaz atmosferinde gerçekleşir. Bu işlem sonunda tozlar arasında metalik bağ oluşur ve oksitler indirgenir.

Pişirme sırasında;

1) Tozlar arasında metalürjik bağ oluşur,
2) Toz yüzeylerindeki oksitler indirgenir,
3) Kısmi yoğunlaşma oluşur,
4) Yağlayıcı olarak eklenen grafit demire yayılarak malzemenin son karbon seviyesini oluşturur.



Şekil 6.8. Sinterlemenin mikroyapıya etkisi (German, 1990)

Sinterleme işlemi özel olarak çok çeşitli şekillerde yapılan ve üretilen parçaya ve özelliklerine göre değişen sinterleme fırınları kullanılır (Şekil 6.9). Sinterleme sıcaklığının 1050º civarında olması halinde nikel-krom veya demir-krom-alüminyum rezistanslı fırınlar kafi gelir. Daha yüksek sıcaklıklar için (1000ºC-1600ºC) molibden

rezistanslı fırınlar, 1800º ve daha yüksek sıcaklıklar için ise yüksek frekanslı veya kısa devreli karbon tüplü fırınlar kullanılır. Toz metal yataklar genellikle 800 ˚C civarında sinterlenirken, demir yataklar 1100 ºC ve Alüminyum yataklar ise 600-610 ºC derecede sinterlenirler.

Aşağıda sinterlenen malzemeler için tatminkar sonuçlar veren fırınlar gösterilmiştir;

- Demir veya bronz gözenekli yataklar için : Nikel-krom, demir-alüminyum, molibden ve silisyum karbürlü fırınlar.
- Sert alaşımlar için : Kısa devreli karbon tüplü fırınlar, vakumlu yüksek frekans fırınlar veya A.B.D. de molibden rezistanslı özel fırınlar.
- Sinter mıknatıslar ve elmas alaşımları için : Molibden rezistanslı fırınlar veya kısa devreli karbon tüplü fırınlar.



Şekil 6.9. Sinterleme işlemi

6.4. Sinterleme sonrası işlemler

6.4.1. Gözeneklerin Doldurulması (İnfiltrasyon)

Parçanın yapıldığı malzemenin sinterleme sıcaklığından daha düşük ergime sıcaklığına sahip metal ile gözeneklerin doldurulması esasına dayanır, örneğin demir esaslı alaşımlarda sinterleme esnasında bakır kullanılarak gözeneklerin doldurulur.

Gözeneklerin doldurulması, geçirgenliği azaltır ve mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlar, fakat göz önüne alınması gereken bir konu da bu sırada parça

boyutlarında değişim görülmesidir. Bu işlemin diğer bir faydası da ısıl işlem sırasında istenen tabaka kalınlığının hesaplanmasında porozite olmadığı için kolaylık sağlamasıdır (Baksan, 2005).

6.4.2. Yağ Emdirme

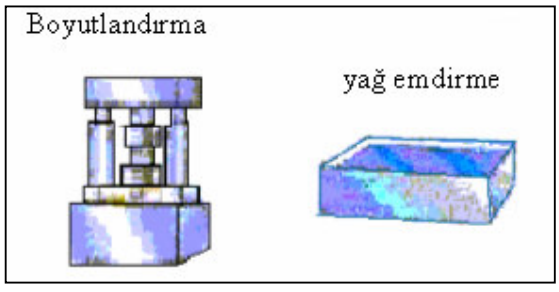
Sinterlenmiş parçaların korozyona karşı direncini artırabilmek için yağ veya metal olmayan maddeler emdirilmesi yoluna gidilebilir. Kaymalı yataklar sadece T/M metodu ile yapılabilir, bu yataklarda porozitelerin içine yağ emdirilmek suretiyle yağlamasız yatak yapımı gerçekleştirilir (Baksan, 2005).

Kaymalı yataklar genellikle, sinterleme sonunda 800-100 °C sıcaklıkta yağ banyolarında vakum altında 6-8 saat süre ile yağ emdirilir. Emdirilecek yağın cinsi, tane büyüklüğü ve şekline, sıkıştırma basıncına ve ortama bağlı değişir. Fakat genellikle SAE 60 ile SAE 20 viskozite değerindeki yağlar kullanılmaktadır.

6.4.3. Son Ölçüye Getirme ve Baskı (ikinci presleme)

Boyutlandırmak ve baskı sinterleme sonrası uygulanan ilave presleme işlemleridir. Son ölçüye getirebilmek ve yüzey kalitesini artırabilmek için orta kuvvette presleme işlemi yapılarak çok hafif plastik deformasyon sağlanır.

Baskı işleminin iki amacı vardır; hem boyut hassasiyetini artırmak, hem de parça yoğunluğunu artırmaktır. Bu iş için alışılagelmiş presler kullanılır (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Boyutlandırma ve yağ emdirme işlemi (TTMD)

6.4.4. Buharla İşlem

Sadece demir esaslı alaşımlara uygulanır, bunun için parçalar 550 °C sıcaklığa kadar ısıtılır ve sonra parça üzerine su buharı gönderilir, böylece parça üzerinde ve boşluklarında Fe_3O_4 oluşması sağlanır. Bu işlemle parçanın korozyon direnci, sertliği ve basma yüklerine karşı direnci artırılmış olur (TTMD).

6.4.5. İkinci Presleme

Mekanik ve manyetik özellikler gibi özellikler açısından bir önem arz ediyorsa parçaya tekrar presleme işlemi uygulanır ve böylece istenen özelliklerin elde edilmesi sağlanır. Preslenmiş parçaların 700-800 °C de ön sinterlenmesinde ilave edilen yağlayıcılar yanarak uzaklaşır ve parçada yeniden kristalleşme gerçekleşir. İşlem sırasında oluşan sertleşme ve iç gerilimler sonrası parçaya tekrar eski sünekliğini ve yoğunluğunu daha fazla artırabilmek gerekir, bu nedenle presleme yapılır ve parça bundan sonra sinterlenir (TTMD).

6.4.6. Talaş Kaldırma İşlemleri

T/M ile üretilmiş parçalar her ne kadar karmaşık şekilli ve hassas toleranslarda yapılabilseler de yine de bazı kısıtlamalar olabilir. Bu nedenle delme, talaş kaldırma, delme, diş açma gibi bazı talaşlı imalat metotlarının şekillendirme kalıpları üzerinde bulunması mümkün değildir. Sinterlenmiş parçalar için uygulanan işlem hızları aynı bileşimde dövme olarak imal edilmiş parçalara göre daha düşüktür, bu nedenle işlem hızları seçilirken buna dikkat edilmesi gerekir.

Kesici takım ömrünün artırılması için tozların içine talaşlı imalatı kolaylaştırıcı MnS ilave edilir. Sinterleme sonrasında da yapıda bu katkılar kaldığı için talaşlı imalatı olumlu yönde etkiler (Baksan, 2005).

6.4.7. Çapak Alma

Bu işlem, presleme ve talaşlı imalattan kaynaklanan çapakları almak için kullanılır. Çapak alma işlemi presleme sonrası parça üzerinde oluşan çapakların giderilmesi işlemidir. En genel uygulama tambur içinde aşındırıcı toz kullanarak yapılan çapak alma işlemidir.

6.4.8. Birleştirme ve Montaj

Kompleks ve büyük yapılı parçalar birleştirmek suretiyle elde edilebilmektedir. Birleştirme yöntemleri; Difüzyonla, sinter birleştirme ve lazer ile kaynaktır.

6.4.9. Isıl İşlem

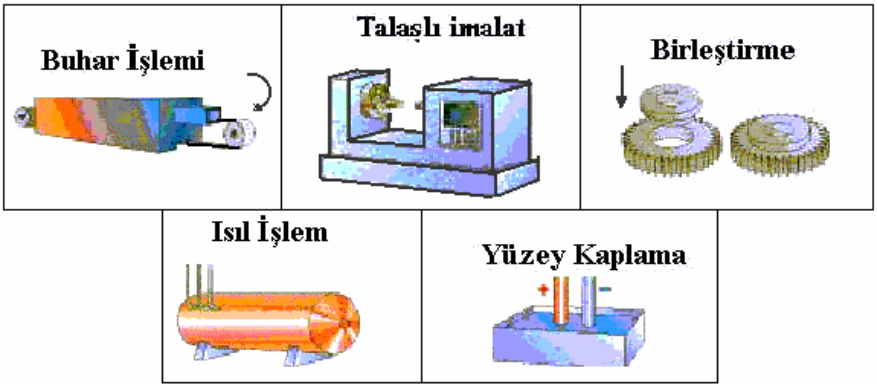
T/M ile üretilmiş parçada faz dönüşümleri parça içindeki porozite ile değil fakat parçayı oluşturan tozların bileşimi ve homojen olması ile ilgilidir. Bu nedenle her türlü T/M ile üretilmiş parçaya ısıl işlem uygulanabilir.

Su verme ile sertleştirme ve temperleme işlemleri sonucu T/M parça mukavemetinde, aşınma direncinde artış olurken sünekliğinde ise azalma görülür. T/M ile üretilmiş parçalara genellikle karbürleme, karbonitrürasyon gibi yüzey sertleştirme işlemleri uygulanır (Baksan, 2005).

6.4.10. Yüzey Kaplama İşlemi

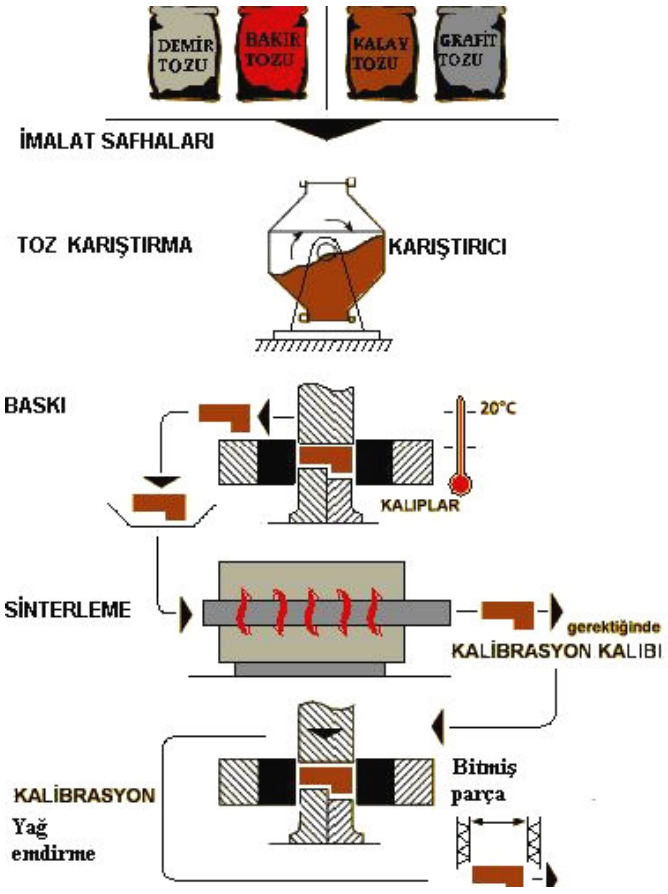
Eğer malzemenin korozyona karşı daha dirençli olması isteniyorsa elektroliz ile yüzey kaplaması yapılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta elektrolitin T/M parçanın boşluklarına girerek olumsuz etkilere neden olmasını engellemek için porozitenin daha önce bahsedildiği gibi gözeneklerin doldurulması gerekir.

Bahsedilen bütün işlemler preslenen parçanın istenilen ölçüye getirilmesi ve yoğunluk kazandırmak için uygulanmaktadır. Şekil 6.11'de sinterleme sonrası uygulanan işlemler gösterilmiştir (Baksan, 2005).



Şekil 6.11. Sinterleme sonrası uygulanan işlemler (TTMD)

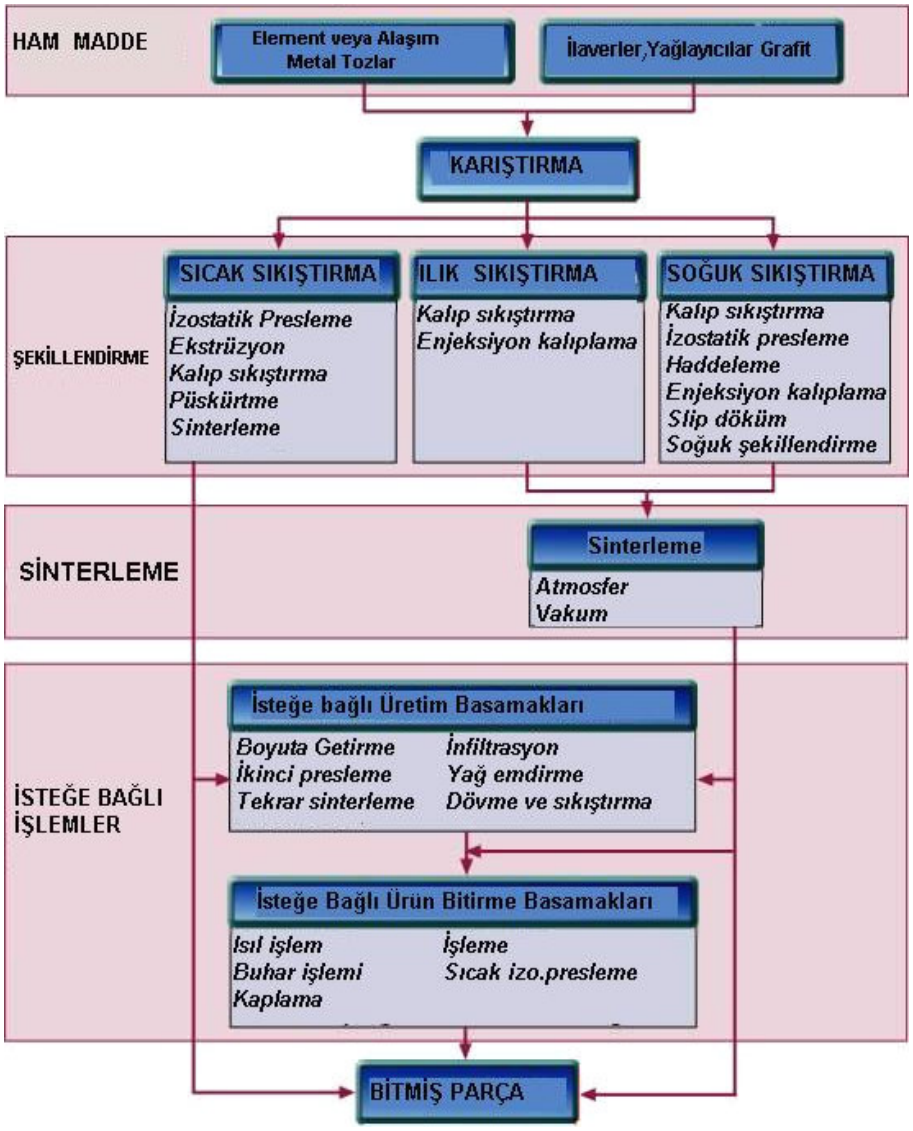
T/M parçaların üretiminde önemli olan bir konu da yukarıdaki yöntemlerin uygulanması sırasıyla yapılmalı ve en uygun yöntem seçilmelidir. Şekil 6.12'de metal tozlardan üretilen bir parçanın işlem akış şeması görülmektedir.



Şekil 6.12. Bakır-Demir alaşımlı T/M parça üretim basamakları (Karataş 1996)

6.5. Toz Metalurjisi İle Üretimde İşlem Adımları

T/M parça üretiminde ana işlem adımları karıştırma, presleme, sinterleme, bitirme işlemleri olsa da; bu ana işlem adımlarının arasında toz metal parçadan istenen özelliklere göre birçok ilave işlem uygulanır. Aşağıdaki şekilde toz metal yöntemi ile parça üretiminde, işlem basamakları gösterilmiştir (Şekil 6.13). Bugün dünyada geçerli olan bütün toz metal teknikleri Türkiye'de de yapılabilmektedir (Büyükdavraz, 2000).



Şekil 6.13. Toz metal prosesinde işlem adımları

6.6. T/M Parçalarının Özellikleri

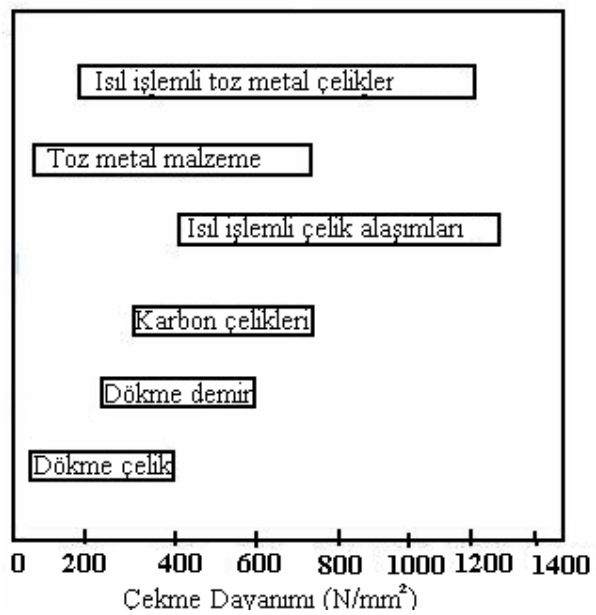
Sinterlenmiş malzemelerin özellikleri bir çok faktöre bağlıdır ve özel talepleri karşılamak için optimize edilebilir. Belirli bir uygulama için bir malzeme seçiminde, kimyasal bileşim ve parçaların yoğunluğu dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Kimyasal bileşim ve mekanik özellikler sinterlenmiş makine parçalarının özelliklerini belirlemede yaygınca kullanılan faktörlerdendir. Bazı örnekler tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. T/M kimyasal bileşim mekanik özellikleri

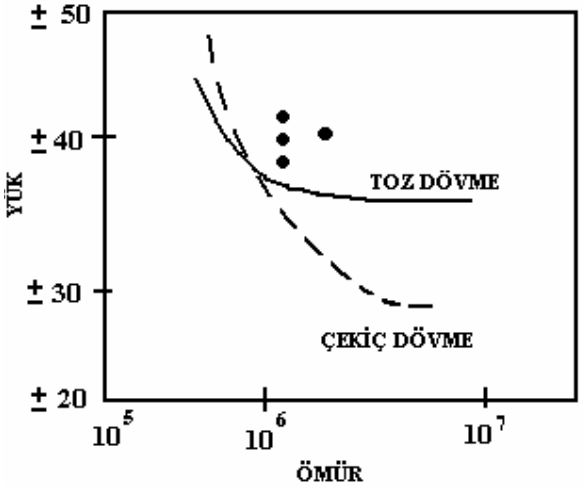
Kimyasal bileşim	**Mekanik özellikler**
Fe	Sertlik
Fe-Cu	Yoğunluk
Fe-Cu-C	Çekme ve akma mukavemeti
Fe-Ni-Cu-Mo-C	Çapraz kırılma mukavemeti
Fe-P	Young modülü
Fe-P-C	Young modülü

Toz metal parçalar, presleme sonrası sinterleme ile gerçek mekanik özelliklerine kavuşurlar. Metal tozları sinterleme öncesinde, sadece mekanik kilitlenme ile bir arada tutulurlar. Sinterleme ile mekanik bağlar, kimyasal bağlara dönüşerek gerekli mukavemeti kazanmış olurlar. T/M parçalar, çoğu zaman tam yoğun malzemelerin mekanik özelliklerinden daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Bunun sebebi T/M parçaların gözenekli yapıya sahip olmalarıdır. T/M parçalara uygulanan çeşitli işlemlerle T/M parçaların yoğunluğu, %99.9'lara kadar çıkartılabilmekte ve elde edilen mekanik özellikler bazen tam yoğun malzemelerin mekanik özelliklerinden de üstün olabilmektedir. Aşağıdaki tablo 6.2'de toz metal malzemeler ile diğer malzeme guruplarının akma mukavemet bakımından karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 6.2. Çekme dayanımı bakımında malzemelerin karşılaştırılması



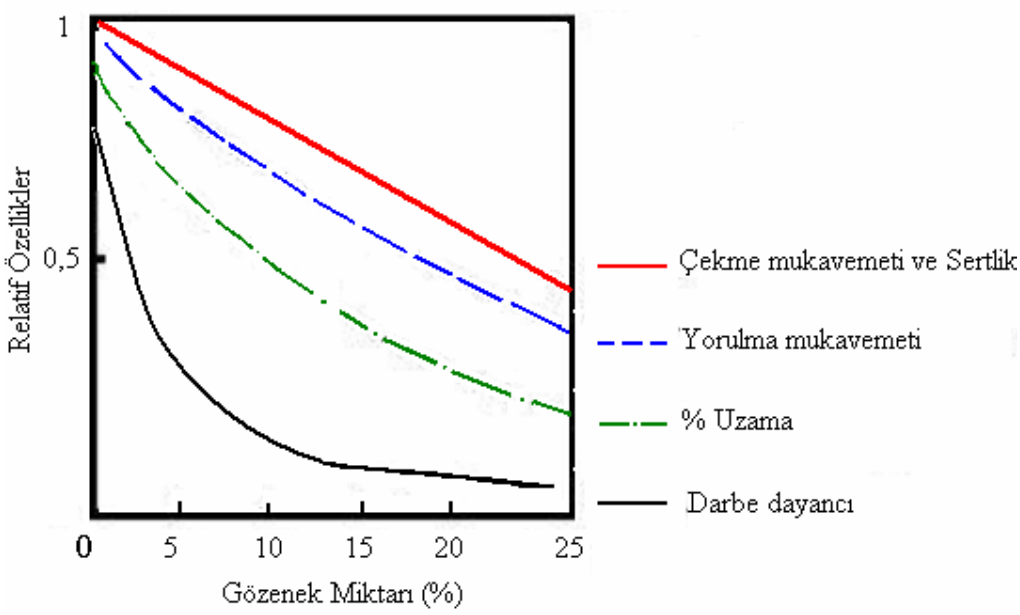
T/M çeliklerin yük taşıma kabiliyetleri bazen hadde çeliklerden bile üstündür. Bu durum T/M sonunda elde edilen çok iyi yüzey kalitesine bağlanmıştır. Şekil 6.15'de T/M ve çekiç dövme biyel kolları yorulmaya karşı dayanımları bakımından karşılaştırılmışlardır. Yorulma deneyi, motor silindirindeki şartlara benzer durumda yapılmıştır. Burada T/M parçaların, yüzey kalitelerinin çok iyi olması T/M parçaların yorulma dayanımının yükselmesini sağlamaktadır.



Şekil 6.14. Dövme ve T/M biyel kollarının yorulma özelliklerinin karşılaştırılması (Sarıtaş,1985)

Yapılan pek çok araştırma göstermiştir ki çekme mukavemeti ve mıknatıslık özellikle kalıcı gözenekle yavaş değişmektedir (Sarıtaş, 1985). Süneklik çok hızlı değişmektedir (Şekil 6.16).

T/M parçaların mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktör yoğunluk ve buna bağlı olarak da gözenek miktarıdır. Gözenek miktarının, çekme dayanımına etkisi daha az olmasına rağmen, sünekliğin ve özellikle darbe dayanımının çok etkilendiği görülmüştür (Sarıtaş, 1985).



Şekil 6.15. Kalıcı gözeneğin mekanik özelliklere etkisi (TTMD)

6.7. T/M Ürünlerinin Avantaj Ve Dezavantajları

Diğer imal usullerinde olduğu gibi toz metalürjisinin de belirli avantaj ve dezavantajları vardır. Toz yönteminin ekonomik bir şekilde ve başarıyla uygulanabilmesi için avantaj ve dezavantajların başlangıçta değerlendirilmesi gerekmektedir.

a) Avantajları

1. Talaşlı işlem gereksiniminin azaltılması veya tamamen elimine edilmesi:

Toz yöntemiyle elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey bitirme kalitesi çoğu ürün veya uygulama alanı için yeterli olduğundan ilave talaşlı işleme gerek yoktur. İstisnai şekilde boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesinin talebi halinde ürünler basma ve boyutlandırma gibi sekonder operasyonlara tabi tutulabilirler.

2. Yüksek üretim hızları :

Toz prosesindeki bütün adımlar basittir ve otomatizasyona uygundur. İş gücü gereksinimi düşüktür, ürün homojenliği ve aynı kalitede tekrar üretilebilirlik oranı diğer yöntemlere göre daha yüksektir.

3. Karmaşık şekillerin üretimi :

Yukarıda sözü edilen sınırlar dahilinde dişli çark ve kam mili gibi oldukça girift parçalar imal edilebilir. Ekonomik olarak talaşlı işlem ve dökümle şekillendirilemeyen parçalar toz yöntemiyle üretilebilirler.

4. Çok geniş bir kompozisyon aralığı :

Kompozisyon açısından oldukça yüksek saflığa sahip parçalar üretilebilir. Metal ve seramikler gibi birbiri içinde çözünmeyen ve farklı karakterdeki malzemeler de bir araya getirilebilir. Katı eriyik veya çözünürlük sınırları aşılarak aşırı doymuş katı çözelti alaşımları veya yüksek alaşımlı malzemelerde elde edilebilir.

5. Özelliklerin geniş bir aralıkta değişimi :

Toz metalürjisiyle üretilen parçaların yoğunluğu ve dolayısıyla içerdikleri gözenek oranı geniş bir aralıkta değişir. Çok yüksek oranda gözenek içeren filtreler gibi fonksiyonel amaçlı parçaların üretimi yanı sıra konstrüksiyon amaçlı yüksek mukavemetli parçalarda üretilebilir. Toz ürünlerin titreşim söndürme özellikleri yüksektir. Poröz yapılar döküm işleminde yağlayıcıların daha etkin ve istisnai bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Sürekli dökümde kalıp başlıkları içerisine yerleştirilen toz plakalar gözenekli oldukları için yağlayıcılar bu gözeneklerden sürekli olarak kalıp-ingot ara yüzeyine sevk edilebilir. Böylece yapışmaya mani olunarak hem ingotların yüzeylerin kalitesi arttırılır ve hem de çalışanlar için son derece tehlikeli olan sıvı metal akıntılarının oluşumu (kanama) önlenir. Modern sıcak

başlık kalıplarının imalatında bu plakaların kullanılmalarının diğer bir nedeni ise plakaların kalıp duvarı boyunca ısı transferini (primer soğuma) önleyerek kalıp içinde primer soğuma ile gerçekleşen katılaşmanın ortadan kaldırılmasıdır. Böylece kalıp içindeki katılaşma kalıp altı su spreyinin etkisiyle gerçekleştirilir ve ingot dökümlerdeki birbirinden farklı karakterdeki yapısal zonların teşekkülü önlenir. Magnetik, aşınma ve diğer özellikler özel bir uygulama alanının gereksinimlerini karşılayacak şekilde kontrollü olarak dizayn edilebilir.

6. Hurda miktarının azaltılması veya eliminasyonu :

Toz metalürjisi bilinen imal usulleri içerisinde malzeme kaybına sebep olmayan tek yöntemdir. Döküm, talaşlı işlem ve pres operasyonlarında hurda miktarı başlangıçtaki malzeme miktarının yarısına (%50) ulaşmaktadır. Hurda oranı özellikle pahalı malzemelerin şekillendirilmelerinde daha da önem kazanmaktadır. Toz metalürjisi ile bazen toplam maliyeti arttırmadan daha pahalı malzemeler kullanarak parça imalatı gerçekleştirilebilir (Çalışkan, 2000).

b) Dezavantajları

1. Düşük mekanik özellikler :

Çoğu kez toz metalürjisi parçalarının mekanik özellikleri döküm ve dövme ile üretilenlerin özelliklerinden daha düşüktür. Yüksek gerilmelerin söz konusu olduğu uygulama alanlarında bu parçalar kullanılamaz. Bununla birlikte ilave masrafların göze alınması halinde ürünlerin mukavemet değerleri farklı malzeme, alternatif yöntem veya ikincil proses teknikleri kullanımıyla yükseltilebilir.

2. Nispeten yüksek kalıp maliyeti :

Toz prosesinde yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve şiddetli aşınma söz konusu olduğu için kalıplar pahalı malzemelerden ve büyük kütleler halinde yapılmaktadır. Bu nedenle toz metalürjisi ile üretilecek parça sayısı en az 10.000 adet olmalıdır.

3. Yüksek malzeme maliyeti :

Birim ağırlık esasına göre toz malzemeler dövme ve döküm malzemelerden daha pahalıdır. Ancak hurda şeklinde malzeme kaybının olmayışı ve talaşlı işlemin eliminasyonu yüksek malzeme maliyetini dengelemektedir. Toz metalürjisi daha çok

birim parça başına malzeme maliyetinin yüksek olmadığı küçük parçaların imalatında kullanılır.

4. Dizayn sınırlamaları :

Toz metalürjisi prosesi bazı şekillerdeki parçaların üretimi için uygun değildir. Parçalar kalıptan kolay çıkarılabilecek şekillerde olmalıdır. Kalınlık : çap oranı sınırlıdır. İnce kesitlerin eldesi güç olup parça boyutu pres kapasitelerinin belirlediği sınırları içinde olmalıdır.

5. Parça kesiti boyunca özelliklerin değişim göstermesi :

Yoğunluğun parça içinde bir noktadan diğer bir noktaya değişimi özelliklerin de değişimine neden olmaktadır. Bunun ana nedeni parçaların tasarımı yapılırken dizayn kriterlerine riayet edilmemesidir. Üniform olmayan şekillerin toz metalürjisi ile üretilmesi halinde bu tip problemlerle karşılaşılabilir (Çalışkan, 2000).

7. T/M UYGULAMA ALANLARI

T/M uygulama alanları oldukça geniştir. Özellikle 1950'li yıllardan sonra metal işleme teknolojilerindeki gelişmelerle, toz metalurjisi her sektörde kendine uygulama alanı bulmuştur. Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, elektrik kontakları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıtları elemanları, ortapedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarj edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi T/M kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Metal tozlar boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mürekkepler, sert lehim bileşikleri ve katalizörlerde kullanılmaktadır. T/M kullanım alanlarından bir tanesi de savunma sanayisidir. Ateş sanatı olarak bilinen piroteknik uygulamalar savunma sanayisi için oldukça önemlidir. Piroteknik reaksiyonlar çok yüksek sıcaklık oluşturduklarından aydınlatmaya yol açarlar. Genellikle demir parçalarının üretiminde kullanılan T/M yöntemi otomotiv endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunlukta parçalara ihtiyaç duyulduğu otomotiv endüstrisi T/M yöntemini daha hafif parça üretimine doğru yöneltmektedir. Şekil 7.1'de bazı T/M parçalan gösterilmiştir.



Şekil 7.1 T/M ile üretilen bazı parçalar

T/M parçalarının üretiminde yoğunluk ve gözenek faktörü çok önem arz etmektedir. Çeşitli yoğunluk derecelerine göre de ürünler sınıflandırılmıştır.

1. Düşük yoğunluklu Parçalar (Filtreler),
2. Orta yoğunluklu sinter parçalar (Rotor, dişli),
3. Yüksek yoğunluklu sinter parçalar (Fren diski),

7.1. Talaşlı İmalat Gerektirmeyen Makine Parçaları

Talaşlı imalat gerektirmeyen makine parçalarının çoğu otomotiv sanayinde kullanılmaktadır. Bu parçalar tozun sıkıştırılıp pişirilmesiyle doğrudan son şekillerine sokulmaktadırlar. Malzeme tasarrufu %100 dür. 1950'li yıllara kadar genellikle düşük dayanım ve yoğunluklu parçalar üretilmekte idi; araba kapısı, kilit parçası gibi. Ancak. 1960'lardan sonra dayanım 550 MPa in üzerine çıkarılmıştır. Ayrıca, kullanılan toz alaşımları soğukta sertleşebilir seçilerek bu parçalara pişirmeden sonra ısıl işlem gereği de kalmamıştır. Şekil.7.2'de hiç talaşsız üretilen yakıt pompası elemanları görülmektedir. Bu elemanlar T/M yöntemleriyle üretilerek %50 maliyet ucuzlaması sağlanmıştır. Amortisör pistonu, hız kutusu senkromeçleri, zincir dişlileri, tekstil dişlileri, çeşitli sektör dişliler, mandallar ve daha yüzlerce parça T/M yöntemiyle talaşsız üretilmektedir.



Şekil 7.2. T/M yakıt pompası elemanları

7.2. Takım Çelikleri

T/M yöntemiyle üretilen takım çelikleri dökümle üretilen takım çeliklerine göre daha tok ve uzun ömürlüdürler. Bu üstünlüğün sebebi dökümle üretilen çelikte karbürler belirli bölgelere toplanıp irileşirken T/M çelikte çok ince ve homojen olarak dağılmaktadırlar. Genelde Co, W, C tozları takım çelikleri üretiminde kullanılanlarıdır (Sarıtaş, 1994).

Toz metal takım çelikler konusundaki çalışmalar tüm dünyada hızla gelişmektedir. Bu çalışmalar toz tane boyutu seçimi, uzun ömür ve deformasyon konusundadır. Yapılan çalışmalarda niyobyum katkılı takımlar üretilmiş ve ömürlerinin oldukça uzun olduğu elde edilmiştir.

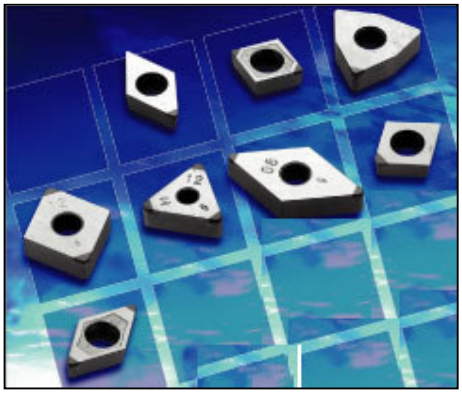
7.3. Sert Metaller

Sert metaller çok sert ve aşınmaya dayanıklı T/M yöntemleriyle üretilmiş malzemelerdir. İlk patentler 1920'li yıllarda Krupp tarafından Almanya'da alınmıştır. Ana bileşimde tungsten karbür sert faz, ısıya dayanıklı kobalt fazıyla bağlanır. Karbür ve metal tozları karıştırılıp sıkıştırıldıktan sonra kobaltın ergime sıcaklığında sıvı-fazlı pişirme yapılarak karbür taneleri birbirine kobalt ile bağlanır. Olay çimentonun çakılı bağlamasına benzediğinden "Semente Karbür" denmektedir.

Sert metaller aşınmaya dayanıldık uygulamalar için geliştirilmişlerdir. Bugün kesici takım, kaya delici, taş kesici ve şekillendirme kalıbı olarak kullanılmaktadırlar. Şekil 7.3'de T/M sert metal olarak kesici takımlar gösterilmiştir.

İlk geliştirilen sert metalde %3-13 arasında kobalt vardır ve gerisi tungsten karbürdür. Karbür taneleri 1-8 Hm arasındadır. Bu bileşim dökme demir ve çeşitli demir dışı alaşımların talaşlı imalatında kesici olarak kullanılır. Çeliğin kesilmesi için geliştirilen sert metalde %3-12 kobalt, %60-85 WC, %4-25 TiC ve %25 e kadar TaC bulunur.

Son yıllarda sert metallerin verimini daha da artırmak için yüzeyleri kaplanmaya başlanmıştır. Çeşitli kaplama teknikleriyle yüzeyler TiC ve/veya TiN ile 5 mm kalınlığında kaplanmaktadır. Böylece yüzeydeki sürtünme düşürülerek kesici takım ömrü artırılmıştır (Sarıtaş, 1994).



Şekil 7.3. Sert metal T/M uygulaması (Takım çelikleri)

7.4. Sermetler

Sermet, seramik ve metal kelimelerinin ilk hecelerinin birleştirilmesinden oluşmuştur. Çeşitli seramik fazların bir metal yada alaşımla bağlanmasını anlatır. Seramik fazın miktarı hacimce %15 ile %85 arasında değişebilir. Seramik ile metal faz arasında çok az çözülme vardır. Bileşik gereçlerin tersine, sermetlerde seramik faz elyaf yada tabaka halinde değildir ve eş eksenli tanecik kabul edilebilir.

Seramik taneciklerinin büyüklüğü sisteme bağlı olarak değişildik gösterir. Nükleer yakıt elemanı olarak kullanılan uranyum oksit için 50-100 µm olduğu gibi, ince taneli karbürler için 1-2 µm de olabilir.

Sermetler ilk üretildiğinde bunların ısıya dayanıklılık, korozyon direnci, süresi ve iletkenlik açısından çok iyi malzemeler olacağı düşünülmüştür. Ancak, yapılan çalışmalarda metal fazda süneklilik yeterli olmamıştır (Sarıtaş, 1994).

7.5. Gözenekli Metaller ve Filtreler

Bu gruba gözenekleri birbirine bağlı olan filtreler, alev engelleyiciler, sıvı depolayıcılar ve damperler girmektedir. Kullanılması gerekli toz uygulamaya göre değişmektedir. En çok bronz, paslanmaz çelik, nikel, titanyum ve alüminyum tozları kullanılmaktadır.

Filtreler gözenekli metallerin en geniş uygulama alanını kapsar. Organik filtreler kolay şekil değiştirdiğinden ve kağıt filtreler zayıf olduğundan toz metal

filtreler tercih edilmektedir. Ayrıca, toz metal filtreler daha geniş sıcaklık aralığında çalışabilirler.

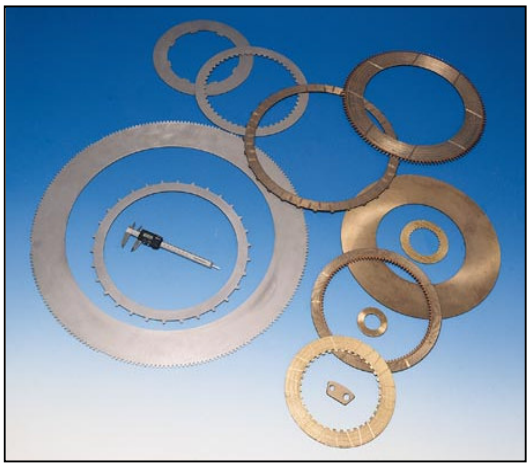
Filtre imalatında kullanılan tozlar küresel tozlardır ve oldukça iri olarak kullanılırlar. Tane büyüklüğü filtre edilecek maddelerin büyüklüğüne bağlıdır. Ancak, en çok 600 mm-1000 mm arası kullanılırken, 12,5 mm-180 mm arası gibi incelikler de kullanılmaktadır. Gözenek miktarı %40 ile %50 arasında tutulur (Sarıtaş 1994).

7.6. Sürtünme Elemanları

Sürtünme elemanları, makine parçalarının temaslarından oluşan mekanik enerjiyi ısıya çevirirler. Isı enerjisi emilir yada iletilerek o bölgeden uzaklaştırılır.

Metal esaslı sürtünme elemanları ağır hizmet uygulamalarında kullanılır. Uçak, tank, iş makineleri ve büyük preslerin frenleri ve debriyaj balataları gibi. Bazı örnekler şekil 7.4'de verilmiştir (Sarıtaş 1994).

Isıyı iletici toz olarak bakır ve kalay, sürtünme sağlayıcı toz olarak silikon karbür yada alümina kullanılır. Ayrıca, sürtünme katsayısını istenen değerde ayarlamak için kurşun, çinko ve grafit tozları eklenir.



Şekil 7.4. T/M sürtünme elemanlarından örnekler

7.7. Elektrik ve Magnetik Uygulamalar

Bu grubun içerisine direnç kaynağı elektronları, tungsten ve molibden filamanlar, elektrik kontak malzemeleri, metal - grafit fırçalar, süper-iletkenler ve mıknatıslar girmektedir. Şekil 7.5'de Elektrik kontak ve fırçalar görülmektedir.

Oksit yayılma-sertleştirilmiş bakır direnç kaynağı elektronları, normal elektronların 65 katına kadar uzun ömür göstermektedir. Çeşitli gümüş alaşımları her türlü elektrik kontaklarında kullanılmaktadır (Büyükdavraz, 2000). En sık olarak %85 Ag - %15 Ni alaşımı kullanılır.

Metal-grafit karışımı fırçalar elektrik motorlarının can damarlarıdır. Fırçalardaki metal miktarı %20 ile %99 arasında değişebilir. Metal olarak bakır yada gümüş kullanılmaktadır. Tungsten ampul filamanlarının tek üretim yolu T/M teknikleridir. Yapıya toryum oksit ve potasyum tozlarının katılması tane büyümesini engellediğinden filaman ömrünü uzatmaktadır (Tüfekçi, 2003).

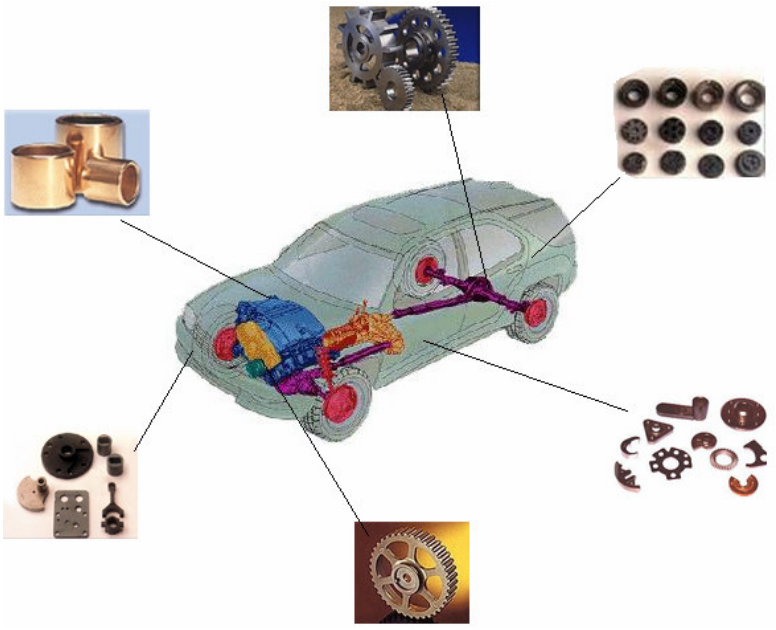
Süper-iletkenler son birkaç yılın en çok ilgi çeken araştırma konusudur. Süper-iletkenlik enerji tasarrufu için ideal olarak görülmektedir. 1954 yılında Nb3 Sn intermetalik bileşiğinde süper-iletkenliğin keşfedilmesinden beri bu alanda çok mesafe alınmıştır. Her geçen ay içerisinde geçmiş yıllarda yapılan ilerlemelerden daha fazlası yapılmaktadır.



Şekil 7.5. (a) Elektrik kontakları , (b) Şekil Elektrik Kömürleri (Fırçalar)

7.8. Otomotiv endüstrisi

Bugün toz metalurjisinin en çok uygu1ama alanı bulduğu sektör otomobil sektörüdür. Dünya toz üretiminin, yaklaşık %70'lik bölümü bu sektörde deger1endirilmektedir. Özellikle küçük parçaların imalatında ekonomik bir üretim süreci olan toz metalurjisi ile biyel kolu, çeşitli diferansiyel dişlileri, teker ve debriyaj göbekleri, fren diskleri gibi parçalar üretilmektedir (Şekil 7.6).



Şekil 7.6. T/M Malzemelerinde otomotiv uygulamaları

7.9. Savunma Sanayinde Uygulama Alanları

Karmaşık şekilli parçaların üretim kolaylığı, imalat maliyetleri açısından sivil amaçlı olduğu kadar askeri alanda uygulamaları kuşkusuz ki oldukça fazladır. Malzemeleri uygulama açısından iki ana grupta değerlendirmek mümkündür; alışılagelmiş T/M ile üretilmiş parçalar, diğeri ise piroteknik uygulamalar. Kısaca alışılagelmiş ve piroteknik uygulamalar olarak iki şekilde sınıflandırılır.

Alışılagelmiş T/M uygulamaları T/M ile üretilmiş parçaları kapsar, bunlar; çeşitli silah ve mermi parçaları, uçak, deniz ve yer teçhizatında ve taşıtlarında kullanılan parçalardır.

Piroteknik uygulamalarda ise metal ve metal olmayan malzemelerin tozları çeşitli organik maddelerle karıştırılarak hangi alanda kullanılmak isteniyorsa ona göre karışım hazırlanır. Bu grup içinde roket yakıtları, patlayıcılar, tutuşturucular, geciktiriciler, ateşleyiciler, aydınlatma bombaları, dumanlar vs. girer.

T/M parçaları veya toz metal genel uygulamalarının malzemeleri tablo 7.1'de gösterilmektedir.

Tablo 7.1. Toz metalurjisi uygulamaları

T/M Parçalar	Fe, Cu, Bronz, Takım Çelikleri, Paslanmaz Çelik
MIM	Fe, Au, Paslanmaz çelik
Elektrik Kontak Malzemesi	Ag ve AgCd Alaşımları
Aşınmaya Dirençli Kaplama	Fe, Ni ve Co Alaşımları
Brazing	Cu, Ag, Au ve Pd Alaşımları
Kaynak	Fe, FeSi45, FeMn
Diş Hekimliği	AgCuSn Amalgamları
Ergitme	Fe, Ni, Co, Cu Matları ve saflaştırma için Zn
Atık Çevrim (recycling)	Ag, Au, Pt, Co
Elektronik Lehim Pastaları	SnPb, Bi ve Sb Alaşımları
Kesici Takımlar	Cu, Co, Ni, Fe
Boya ve renklendiriciler	Cu, Al, Zn
Manyetik Malzemeler	Yumuşak ve sert manyetik malzemeler

7.10. Diğer Uygulamalar

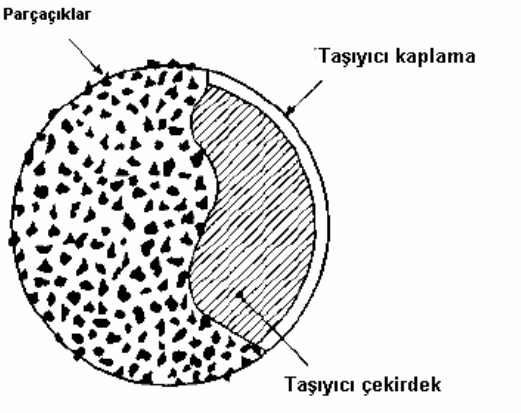
Yukarıda anlatılan uygulama alanları dışında daha az önem arz eden diğer uygulamalar da kısaca anlatılmıştır.

Tahribatsız çatlak muayenesi için demir oksit tozu kullanılmaktadır. Bu uygulamada kullanılan tozların kolay mıknatıslanır olması gereklidir.

Fotokopi ve benzeri kopyalama uygulamalarında tünerlerin içinde çeşitli metal ve termoplastik tozlar kullanılmaktadır.

Metal tozu "taşıyıcı" olarak çalışır. Şekil 7.7'de gösterildiği gibi metal tozu bir reçine ile kaplanır ve bu reçineye termoplastik renk vericilerin yapışması sağlanır. Metal tozu olarak küresel demir tozları kullanılmaktadır. Kullanılan metal tozu temizlenip yeniden kaplanarak tekrar kullanılabilir.

Demir tozları ot tohumlarının tahıl tohumlarından otomatik yöntemlerle ayrılmasında kullanılmaktadır. Hafif su serpilen karışıma demir tozlan püskürtülür ve karışım bir manyetik tambur etrafından dolaştırılır. Islanan şekli bozuk ot tohumlarına demir tozu yapışır ve tamburdan geçerken mıknatıs tarafından çekilerek ayrılmış olur (Sarıtaş, 1994).



Şekil 7.7. Fotokopi tonerinin şekli (Sarıtaş 1992)

Demir tozu gıda zenginleştirici olarak kullanılmaktadır. Demir-eksikliği kansızlığa yol açmaktadır. Demir sülfat, saf demir ve çeşitli demir tozları doğrudan gıdaya eklenmektedir. Sülfatlar suda kolay erirler, ancak reaktiftirler. A.B.D.'de yılda 500 ton saf demir tozu gıda zenginleştirici olarak kullanılmaktadır.

Diş dolgu amalgamlarının önemli bileşeni gümüş esaslı melal tozlarıdır. Gümüş miktarı %65 den fazla, %30 a kadar kalay ve %30 a kadar bakır olan alaşımdan talaş kaldırma yada atomizasyonla toz üretilir. Toz, sıvı cıva ile karıştırıldığında gümüş ve kalay cıva içinde çözülür. Ancak, çözünürlük sınırlı olduğundan tekrar çökelme ile metaller arası bileşik oluşturarak ayrışırlar. Sonuçta yapı reaksiyona girmemiş toz ve gümüş-cıva metaller arası bileşiklerden oluşan bir bileşik malzeme haline gelir.

Çeşitli metalik boyalar ve yaldızların üretiminde metal pulları kullanılmaktadır. Yaldız teknolojisi, altın pulunun süslemelerde kullanılmasıyla geçmiş yüzyıllarda başlamıştır. Bugün altın renkli bronz pullar daha ucuz olduklarından bu amaçla kullanılmaktadır. Halen bronz, bakır, alüminyum, nikel, çinko, gümüş ve paslanmaz çelik pulları çeşitli metalik boyaların esasını oluşturmaktadır (Sarıtaş, 1994).

Pul metaller folyodan yada atomize edilmiş tozlardan üretilirler. Folyo pulun kalınlığını, atomize toz da enini boyunu belirler. Daha sonra bilyalı değirmenlerde bir koruyucu ortam (çeşitli alkoller) içinde öğütülerek son boyutlara getirilir.

7.11. Kaymalı Yataklar

Yataklar, mil orta göbek bağlantılarının gövdeye desteklenmesine yarayan elemanlardır. Yataklar çalışma ortamlarına göre, (devir sayısı, darbeli ve darbesiz çalışma, ortam sıcaklığı vb.) yuvarlanmalı veya kaymalı yatak olarak seçilirler.

Kendi kendini yağlayan kaymalı yataklar T/M'nin 1920'li yıllara kadar uzanan en eski ve başarılı uygulamasıdır. Toz metal endüstrisinde %7-8'lik bir oranı teşkil etmektedir. Kaymalı yataklar T/M uygulamalarının en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Parçadaki gözenekler yağ deposu olarak çalışır. Mil dönmeye başlayıp ısınınca yağlar mile doğru akarak yağlamayı sağlar. Milin durarak soğuması halinde ise kılcal hareketlerden dolayı yağ tekrar gözeneklere döner. Pek çok kaymalı yatak ömür boyu yağlama etkisini devam ettirir. Ancak, bazı ağır hizmet yataklarında bir hazneden yağ sağlanabilir.

Gözenekli kaymalı yataklar üç gruba ayrılır: Sinterlenmiş bronz yataklar, demir esaslı sinterlenmiş yataklar ve demir-bronz sinterlenmiş yataklar, ilk ve en çok kullanılan T/M yatak %90 Cu - %10 Sn içeren bronz yataklardır. Bronz yatakların kimyasal bileşimleri tablo 7.2'de gösterilmiştir (Sarıtaş 1994).

Tablo 7.2. Bronz Yatakların Kimyasal Bileşenleri (Sarıtaş 1994)

Kurşun	-----	-----	2,0 – 4,0	2,0 – 4,0
Demir	Maks. 1,0	Maks. 1,0	Maks. 1,0	Maks. 1,0
Diğer	Maks. 0,5	Maks. 0,5	Maks. 1,0	Maks. 1,0
Bakır	87,5- 90,5	87,5- 90,5	82,6 – 88,5	82,6 – 88,5
Kalay	9,5 – 10,5	9,5 – 10,5	9,5 – 10,5	9,5 – 10,5
Grafit	Maks. 0,1	Maks. 1,75	Maks. 0,1	Maks. 1,75

Yatak tozuna istendiğinde katı yağlayıcı olarak %1-1.5 değerleri arasında grafit yada molibden disülfit karıştırılabilir. Kaymalı yataklardaki gözenek miktarı %15 ile %30 arasında değişmektedir. Sinterleme sonrası bu yatakların yağ, gres veya plastik emdirilir. Yatağın çalışması esnasında, gözenekler sıcaklığın etkisi ile küçülür ve gözeneklerdeki yağ yataktan mile doğru hareket etmeye başlar, böylece yatakta kendi kendine yağlama sağlanmış olur.

Sinterlenmiş bronz yataklar ASTM B438 e göre kurşunlu ve kurşunsuz olarak iki alt sınıfa ve onlar da gözenek miktarına göre dört türe ayrılırlar. Tablo 7.3'de çeşitli T/M yatakların mekanik özellikleri verilmiştir (Sarıtaş 1994).

Tablo 7.3. T/M Gözenekli Yatakların Özellikleri (Sarıtaş 1994).

	Bronz	**Demir**	**Demir-Bronz**
Çekme Mukavemeti, MPa	80-100	-----	80-200
Sertlik.B.S	30-40	40-50	-----
Maksimum statik yük, MPa	22-28	-----	28
Maksimum Yavaş Dönme Yükü, MPa	1,7-3,9	1,6-4,8	1,4-2,8
Maksimum hız, m/s	7,6	4,0	-----
Maksimum PV, MPa m/s	40000-50000	30000-40000	25000-50000
Maksimum çalışma sıcaklığı, °C	65	65	-----

7.11.1. Kaymalı yatak malzemeleri

Yatak malzemelerinden istenen özellikler şu şekilde sıralanabilir; İyi bir basma ve yorulma mukavemeti, aşınmaya ve korozyona dayanıklı, gömme kabiliyeti yani yağda bulunan veya dışardan gelen sert parçacıkları abrozyon aşınmasını önlemek için bünyesinde gömebilmeli, sürtünme katsayısı düşük olmalı, iyi bir yapışma kabiliyetine sahip olmalı, kolaylıkla işlenebilmeli, mümkün olduğu kadar ucuz olmalıdır. Teknikte kullanılan yatak malzemelerinin hiç biri tüm bu istenenleri karşılayamaz, her yatak malzemesinin belirli avantaj ve dezavantajları vardır. Bu sebepten dolayı çalışma ortamına göre yatak malzemesinin seçimi önemlidir. Pratikte kullanılan yatak malzemeler, metalik ve metalik olmayan yatak malzemeleri olarak iki gruba ayrılabilir (Akkurt, 1990).

Metalik yatak malzemeleri olarak beyaz metal, bakır alaşımları, toz metal yataklar, kadmiyum alaşımları, gümüş ve alüminyum alaşımları gibi metal yataklar sayılabilir. Metal olmayan yatak malzemeleri olarak teflon, naylon (poliamid), plesenk vb. malzemelerdir (Büyükdavraz, 2000).

7.11.2. T/M yöntemiyle imal edilen kaymalı yataklar

Toz Metalurjisinin en önemli uygulama alanlarında birisi gözenekli yataklardır. Uygulamalarda genellikle bronz ve demir alaşımı kaymalı yataklar kullanılmaktadır. Bronz yatakların mekanik özellikleri demir yataklara göre düşük olmakla birlikte sürtünmeleri daha küçük olduğu için tercih edilirler (Kurt, 1992). Şekil 7.8'de T/M yöntemiyle üretilmiş yataklar görülmektedir.

T/M kaymalı yataklarda demir miktarı arttıkça sertlik artar. Yani demir yatağa olumlu mekanik özellikler kazandırır. Fakat sürtünme miktarı fazladır. Bakır ile birlikte kullanılması yatağa akma mukavemeti kazandırıp sürtünmeyi azaltır.

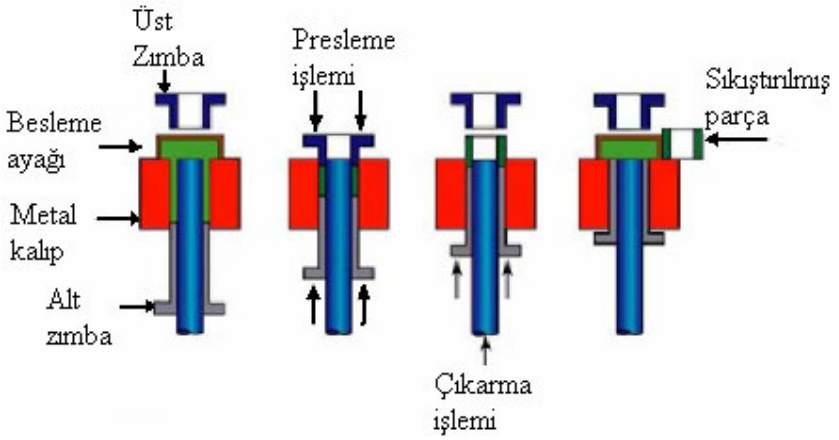


Şekil 7.8. Toz Metal yöntemiyle üretilmiş kaymalı yataklar

Toz metalurjisinin en önemli uygulama alanlarından birisi olan sinter (gözenekli) yataklar yağ emdirilerek kullanılırlar. Özellikle 1950'lerden sonra bu yatakların kullanımı giderek artmıştır. Bu yataklar daha çok, hızın küçük olduğu ve aşırı bir yağlama gerektirmeyen yataklarda kullanılmaktadır. Gözenekler hacimlerinin %15-30'unu oluştururlar. En çok kullanılan T/M kaymalı yataklar demir ve bronz içerikli yataklardır (Tüfekçi, 2003).

Kaymalı yataklar kullanımları esnasında dışarıdan gelen yükleri karşılarken kuvvet yönündeki hareketi engellemek ve diğer yönlerdeki harekete izin vermekle görevlidirler. Bunu gerçekleştirirken sürtünmeden kaynaklanan enerji kaybını en aza indirmelidirler. Kaymalı yatak malzemelerinin düşük sürtünme katsayısı, yüksek aşınma direnci, yüksek yük kapasitesi, statik ve dinamik yüklere yeterli dayanım, iyi ısıl iletkenlik özelliği, iyi korozyon dayanımı, yabancı partikülleri gömme özelliği ve düşük ısıl genleşme özelliklerine sahip olmaları gerekir. Uygulamada yataklar hidrostatik veya hidrodinamik olarak yağlanırlar. Ancak montaj sonrası yataklara yağ gönderme imkanı yoksa, bu durumda yataklara montaj öncesi yeterli yağ emdirilmeli veya yağlayıcı, yatak malzemesi içinde bulundurulmalıdır. Eğer yağlama eksikliğinden dolayı yataklarda kuru sürtünme ortaya çakarsa büyük konum hataları, dinamik kararsızlıklar, enerji kaybı, aşınma ve beraberinde yatak bölgesinde sıcaklık artışı meydana gelir (Günther, 1995).

T/M kaymalı yataklar yağlanma yeteneğinin üstün olmasından dolayı, diğer yöntemlerle üretilen yataklara tercih edilirler. Şekil 7.9'da basit şekilde kaymalı yatak üretimi gösterilmiştir. Kalıp içerisine doldurulan tozlar belirli yoğunlukta sıkıştırılır.

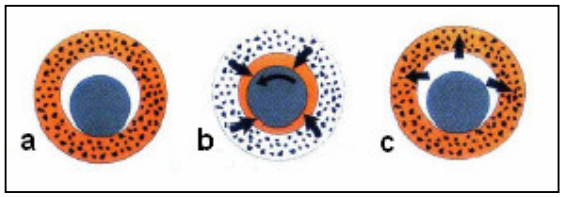


Şekil 7.9. Toz metalurjisi yöntemiyle yatak üretiminde sıkıştırma aşamaları

Gözenekli toz metal yataklar tam yoğun bir malzeme gibi görünseler de, sinterleme sonrası toz tanecikleri arasında binlerce küçük kanalcık ve gözenek mevcuttur (Şekil 7.10). Yatak elemanında gözenekler yağ deposu görevi yaparlar. Sinterleme sonrası gözeneklere, yağ banyolarında vakum altında sıvı veya gaz

yağlayıcılar emdirilir. Bu gözeneklere, gözenek hacminin % 90-95'lere varan değerlerde yağ emdirmek mümkündür.

Bu yataklarda çalışması esnasında, yatakla mil arasındaki sürtünmeden dolayı, yatak bölgesinde sıcaklık yükselir. Yağın metale göre ısıl genleşmesi daha büyük olduğundan ve milin yatağa oturduğu bölgede yağ filmi hidrodinamik basınç değişimi nedeniyle gözeneklerdeki yağ, mile doğru emilir (Şekil 7.10.b). Dönme işlemi bittiğinde ise yatak soğur ve kılcallık etkisi ile yağ tekrar geri emilir (Şekil 7.10.c), (Norbert, 1998).



Şekil 7.10. Yağlama mekanizmaları

8. AŞINMA

Aşınma tanımı çok geniş olmasıyla birlikte kabul edilen tanımlar şöyledir: aşınma; bir yüzeyden başka bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır. Diğer bir tanımı ise; aşınma, bir yüzey üzerinden tribolojik zorlamalar sonucunda devamlı ilerleyen malzeme kaybıdır. 1979 da Alman DIN 50320' ye göre ise aşınma; kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı ve gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçaların ayrılması ile meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulmasıdır. Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar; bölgesel ergimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel ayrılmalardır. Aşınmalar daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir. Sonuç olarak parçalar arasındaki boşluğun büyümesiyle şekillerini kaybederler ve amaçlarını yerine getiremez hale gelirler.

Bu nedenle makine ve makine parçalarından daha verimli ve daha uzun süre faydalanmak için, makineyi oluşturan elemanların ömürlerini tayin eden en önemli etkenlerden, aşınma ve sürtünme gibi etkenleri azaltmak gerekmektedir. Bir makina veya makina elemanında aşınma miktarı azaltılırsa bu elemanların çalışma ömrü uzayacak, ayrıca sürtünme kayıplarının azaltılmasıyla da büyük miktarda enerji tasarrufu sağlanacaktır. Çok ciddi ekonomik kayıplara neden olabilen aşınma yakından incelemeyi gerektiren teknolojik öneme sahip bir konudur.

Malzeme kaybının miktarı çok yakın olarak malzeme özelliklerine ve mikroyapısına bağlıdır. Yapılan uygulamalarda uygun malzeme seçimi önem kazanmaktadır. Birbiri ile sürekli hareket halinde bulunan makina parçalarının hayati önem taşıdıkları bilinmektedir. Aşınarak deforme olan parçaların dayanımı azalmakta ve kopma, kırılma veya yağsız ortamlarda birbirine yapışma gibi istenmeyen arızalara sebebiyet verebilir. Aşınmanın en aza indirilmesi; birbiri ile uyumlu en uygun malzeme seçiminin yanında çalışma şartları da çok önemlidir. Birbiri ile sürtünerek çalışan malzemelerin aşınması, yağlama sistemlerini kurarak en aza indirilir.

Triboloji birbiriyle temas halindeki iki nesnenin veya elemanın hareket etmesiyle oluşan etkileşiminin teknolojisi veya bilimi olarak tarif edilir. Sürtünme ve aşınma günümüzde tribolojinin bir alt birimi olarak kabul edilmektedir. Kısaca

triboloji, çeşitli yönleriyle sürtünme, aşıma ve yağlamayı içeren bir bilim ve teknoloji alanı olarak kabul edilir

Sanayide tribolojik sistemlerin korozyon ve yorulma problemleri kadar önemli olan aşınma, makine elamanlarında kaçınılmaz bir durumdur ve karmaşık bir özellik gösterir. Mühendislik malzemelerinin ömürlerini kısaltan ve giderilmesi mümkün olmayan aşınma birbiri üzerinde sürtünerek çalışan makine elemanlarının temas yüzeylerini değişikliğe uğratmaktadır (Ekinci, 2005).

Mühendislikte malzemede görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için şu şartların mevcut olması gerekir . Bunlar;

1. Mekanik bir etken,
2. Sürtünme (bağıl hareket),
3. Yavaş ve devamlı olması,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,

Aşınmanın başlaması ve devam edebilmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas yüzeyi, aşınma açısından oldukça önemlidir. Gerçek temas alanı, görünen temas alanından çok küçüktür. En hassas işlemlerde bile katı malzemelerin yüzeyi hiçbir zaman düz değildir. Yüzeyde birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler mevcuttur. Temas durumunda, bu pürüzler etkileşir. İlk temas, birkaç pürüz tepeleri arasında olur. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı, temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır (Ekinci 2005).

Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar; bölgesel ergimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel ayrılmalardır. Aşınmalar daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir. Bir aşınma olayını oluşturan unsurları şu şekilde sınıflandırmak mümkündür (Gürleyik 1986).

1. Ana Malzeme (aşınan),
2. Karşı Malzeme (aşındıran),
3. Ara Malzeme,
4. Yük,
5. Hareket.

Genel olarak aşınma, dış etkiler altında temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişimlerin sonucudur. Dış etkilerin, fiziksel ve kimyasal değişikliklerinin çokluğu nedeniyle pratikte bir aşınma hali değil birçok aşınma halleri vardır.Bunların başlıcaları Adhesiv, abrasiv,yorulma ve korozif aşınmalardır.

8.1 Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma (adhezyon aşınması) makine elemanlarında görülen en yaygın aşınma türüdür. Bu aşınmanın temel esası kaynak bağı teorisi ile açıklanabilir. Özellikle kayma sürtünmesi yapan ve metalografik yapıları benzeyen metallerin kaynaklaşmasıdır. Çok iyi parlatılmış yüzeylerin bile çok küçükte olsa bazı bölgeleri birbirine temas eder. Yüzeyde bulunan bu oksit tabakası parçalanarak aşınma çiftinde soğuk kaynaşma meydana gelir. Kayma hareketi esnasında bu noktalar kesilerek kopmanın başlar ve kopan partiküller yüzeyde çizilmelere yani aşınmaya sebep olur. (Levent, 2005)

8.6. **Abrasiv Aşınma**

Hareket halindeki yüzeylerden sert olanın yumuşak yüzeyden küçük parçacıkları koparması (kesme veya kazıma yoluyla) veya yüzeylerden arsında bulunan sert bir maddenin sürtünme esnasında yüzeylerden biri veya her iki yüzey üzerinden parçacık koparması abrasiv aşınması olarak tanımlanır (Şekil 8.1).

Sürtünen malzeme çiftinin yüzey sertlikleri arasındaki fark ve sert malzemenin yüzey pürüzlülüğü ne kadar artarsa abrasiv aşınması da ona bağlı olarak fazlalaşır.

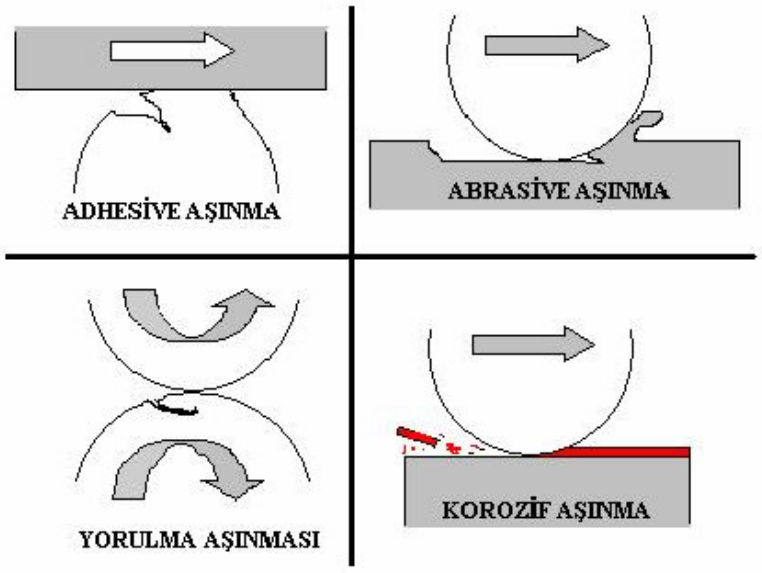
Bu aşınmayı önlemek için malzemelerin yüzeyleri sertleştirilmesi gerekir. Ayrıca sert malzemelerin dışardan yüzeyler arasına girmesini önlemek için iyi bir sızdırmazlık tertibatı kullanılmalıdır. Makineler ve sistemler sürekli temizlenmeli ve talaş ve pislikler giderilmelidir (Ekinci, 2005).

8.7.**Yorulma Aşınması (Pitting)**

İki parça arsındaki temasın tekrar edilen dönüşleri, aşınma parçalarının meydana gelmesi açısından adhesive ve abrasive aşınma için gerekli olmamaktadır. Fakat burada, aşınma parçalarının meydana gelmesi için esas olan temas, tekrarlarının belirli bir miktarının olduğu yerlerdeki aşınmanın diğer durumları mevcuttur. Bu şekildeki temas dönüşleri sonrası meydana gelen aşınma, yorulma aşınması olarak adlandırılmaktadır. Şekil.8.1'de yorulma aşınma aparatı modeli görülmektedir (Yıldız, 2006)

8.8.**Korozif Aşınma**

Korozif ortamda çizilerek veya yapışarak aşınmanın çok daha hızlı bir şekilde oluşmasıdır. İstenmediği halde kimyasal veya elektro kimyasal etki sonucu yüzey üzerinde başlayan malzeme değişimi korozyon olarak tanımlanabilir. Burada metallerin çoğu, korozyon etkisiyle kararlı hallerinden değişmeye zorlanır. Bu aşınma türü en tehlikeli tiptir. Tehlikenin boyutu Şekil 8.1'de gösterildiği gibi kopan parçalar çevre ve çevredekiler için önem arz eder (Yıldız, 2006).



Şekil 8.1. Dört aşınma tipinin şematik gösterimi (Yıldız, 2006)

8.9.**Yüzey Pürüzlülüğü**

İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, kalite açısından en önemli kriterlerden birisidir. Malzemelerin işlenmesi anında kullanılan her bir parametre yüzey hassasiyetini etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir. 1930'lu yıllarda yüzey pürüzlülük değerlendirmesi, o yüzeye bakarak veya dokunarak yapılırdı. Yüzeyde yüksek yansıma varsa yüzey pürüzsüz olarak düşünülürdü. Fakat bu teknolojinin hızına ayak uydurulmasıyla çeşitli yöntemler bulundu. Günümüzde yüzey pürüzlülüğünü ölçen bir çok çeşit yüzey pürüzlülük cihazı bulunmaktadır (Ay vd., 2006).

Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı, devir sayısı gibi parametrelere bağlıdır. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu yüzden makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça önemlidir. Çalışan ve sürtünen parçalar üzerindeki yüzey pürüzlülüğü değerleri değişiklik gösterir (Çaydaş, 2005).

Malzemelerde özelikle Toz metal malzemelerde Tane boyutu, yüzey pürüzlülüğü için çok önemlidir.

Son yıllarda yüksek hızlarda işlemenin mümkün olması ve kesici takımların kalitesindeki artış, taşlama yüzey kalitesine yakın yüzeylerin elde edilmesine imkan vermektedir. Üretim yöntemlerindeki çeşitlilik de en iyi yüzey pürüzlülüğü seçimini kullanım yerine bağlı olarak kolaylaştırmıştır. T/M malzemelerde Yüzey pürüzlülüğü tane boyutu ve yapısı, pres basıncı gibi özelliklere bağlıdır (Çaydaş, 2005).

9. MATERYAL VE METOD

9.1. Test Yatağı

Bu çalışmada kullanılan numunelerin tümü Tozmetal A.Ş. tarafından istekler doğrultusunda üretilmiştir. Bu tez çalışmasında dört değişik T/M malzemesi kullanılmıştır. Deneyde kullanılan numunelerin kimyasal bileşenleri Tablo 9.1'de gösterilmiştir. Kaymalı yataklara en uygun tozlar bronz ve demir içerikli tozlardır. Aşağıdaki numunelerin seçilme sebebi de budur. Burada dört numune de kaymalı yatak olarak kullanılabilir ama kullanım şartlarına uygun olanı seçilmelidir. Piyasada en çok kullanılanı ise CuSn10 bronzudur. Bronz ve Demir esaslı malzemelerin seçiminde ASTM standartları esas alınmıştır. Bu çalışmada yatakların son yoğunluğu tam yoğun malzemenin yoğunluğunun %85'i olarak alınmış ve sabit tutulmuştur. Ön alaşımlandırılmış ve homojen olarak karıştırılmış tozlar soğuk olarak tek etkili presler kullanılarak sıkıştırılmışlardır.

T/M malzemelerin yoğunluğu Tablo 9.1 de gösterilmiştir. Deneyler esnasında yataklara yağ beslemesi yapılmamıştır. Yataklar yağsız ortamda aşındırılmıştır.

Tablo 9.1. Kaymalı yatak numunelerin kimyasal bileşenleri

Sn	NUMUNE	Cu	Fe	Sn	Ni	Mo	MnS	Grafit-Yağlayıcı	Yoğ. g/cm^3
1.	CuSn10	89	-	10	-	-	-	1	7,55
2.	CuSn10Fe-Grafit	44,5	49,5	5	-	-	-	1	7,13
3.	ASC 100.29	-	98,9	-	-	-	-	1,1	8,80
4.	69.02.507	1,35	95,65	-	1,85	0,50	0,45	0,2	8,85

Kullanılan bronz tozları ortalama 50 µm ve demir tozları ortalama 200 µm tane büyüklüğündedir. Presleme sonrası 1. ve 2. T/M bronz yataklar 40 dakika 780 - 800ºC'de parçalanmış amonyak atmosferinde 3. ve 4. T/M demir yataklar 40 dakika 1120ºC'de metan atmosferinde sinterlenmişlerdir. Sinterleme sonrası yatakların boyutları; iç çap $12^{+0,05}$ mm, dış çap 22 mm ve yatak genişliği 10 mm, olarak ölçülmüştür. Şekil 9.1'de kaymalı yatak numunesinin resmi gösterilmiştir.

CuSn10 bronzu, kendinden yağlamalı yatak uygulamalarında, motor yatağı, ev aletleri ve elektrik motorlarında kullanılmaktadır. Bronz tozunun pahalılığı maliyetini arttırır. Bakır tozu akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve

şekillenebilirliği azaltır. Korozyon direncini yükselten etki gösterir. Kalay bronzlarının en önemli özelliği yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Bronz içindeki kalay miktarı arttıkça dayanım da artar. Bunların iyi yatak malzemesi olmasının nedeni de budur.

CuSn10Fe-Grafit, kendinden yağlamalı yataklarda kullanılmaktadır. Bronz tozu demir tozuna göre 2-2,5 kat pahalı olduğundan yatak maliyetini düşürmek için piyasa uygulamalarında %50 demir tozu katılmaktadır. Genelde yedek parça olarak arabalarda kullanılmaktadır.

ASC 100.29 yüksek karbonlu çelik, aşınmaya maruz aksamlarda ve plakalarda kullanılıyor. Demir ve grafit bileşimidir. Demir burada sertlik ve dayanımı arttırır. Grafitin ise ana maddesi karbondur. Yüksek erime noktasına sahiptir. Grafit, yağ haline getirilip makinelerde, çalışan parçaların birbirine sürtünürken aşınmasını azaltmak amacıyla yağlayıcı olarak kullanılır.

62.02.507 yüksek alaşımlı demir tozundan yapılıp, otomotiv uygulamalarında özellikle yağ pompa dişlileri ve rotor guruplarında kullanılıyor. Genelde yağlı ortamlarda çalışırlar. Nikel, molibden, bakır ve grafit içeriyor. Nikel malzemeleri numuneye sertlik katmış ve yüksek sıcaklıklarda mukavemeti arttırmıştır. Talaşlı işlenebilirliği de arttırır. Mobilden aşırı gevrekliği gidermek için az miktarda kullanılmıştır. Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemekle sıcak kırılganlı da önlemiş olur. Bu metaller bu numuneye aşırı sert hale getirmiştir. Bu nedenle dişli gibi kalıplı malzemelere daha elverişlidir.



Ş

Şekil 9.1. Kaymalı yatak numuneleri

Deneyde aşındırıcı olarak çapı 12 mm olan SAE 1050 (civa çeliği) çeliğinden mil kullanılmıştır. Tablo 9.2'de SAE 1050 çelik mile ait bilgiler verilmektedir. Bu çelik milin özgül ağırlıkları yaklaşık 7,8 g/cm^3'dür. SAE 1050 çelik miller 12 mm'ye kadar yağda 780-800 ºC'de, 12 mm'den büyük çaplarda ise 780-820 ºC'de suda sertleştirme yapılırlar. Tav sertliği azami 280 HB değerindedir.

Tablo 9.2. SAE 1050 çelik mile ait milin kimyasal bileşenleri

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Fe
SAE 1050	0,51	0,25	0,75	0,04	0,05	Kalan

Uygulamada kendi kendini yağlayan yatakların seçilmesi durumunda, muylunun yüzey sertlik değeri ve yüzey pürüzlülüğünün özel bir önemi vardır. Deney öncesi ve sonrası ölçülen pürüzlülük değeri Tablo 9.3'de verilmiştir.

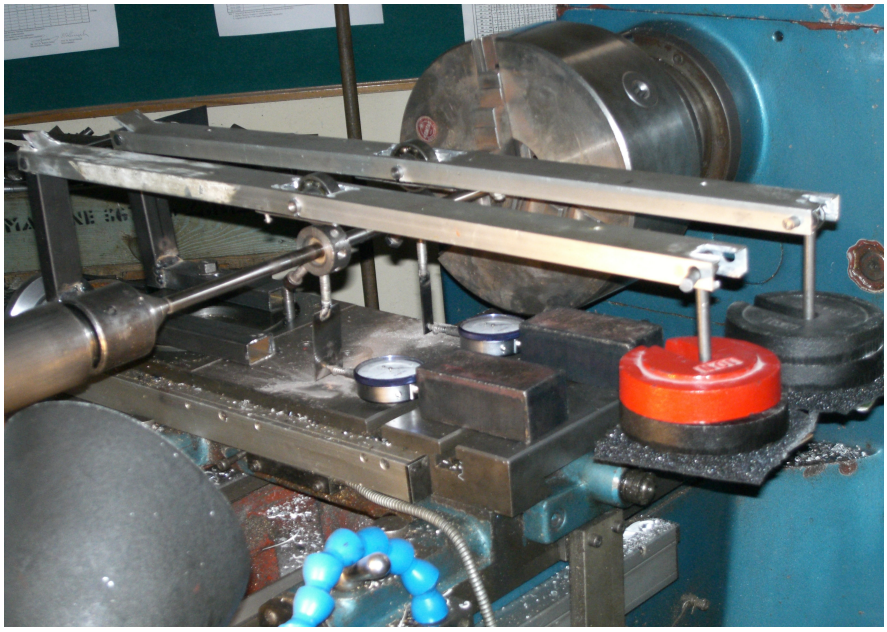
Tablo 9.3. Numunelerin aşınma öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük değeri

Pürüzlülük Ra (µm)	SAE 1050	CuSn10	CuSn10-Fe-Grafit	ASC 100.29	69.02.507
Aşınma Öncesi	2,65	2,51	1,76	2,48	3,19
Aşınma Sonrası	1,013	1,84	0,73	1,98	2,12

9.2. Deney Setinin Özellikleri

Bütün T/M parça üretim aşamalarından geçen numunelerin aşınma deneyleri özel olarak hazırlanmış aparatlar kullanılarak klasik üniversal torna tezgahında statik yük altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.2'de Üniversal torna tezgahından çevirme deney düzeneği görülmektedir. Bu tez Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi atölyelerinde yapılmıştır.

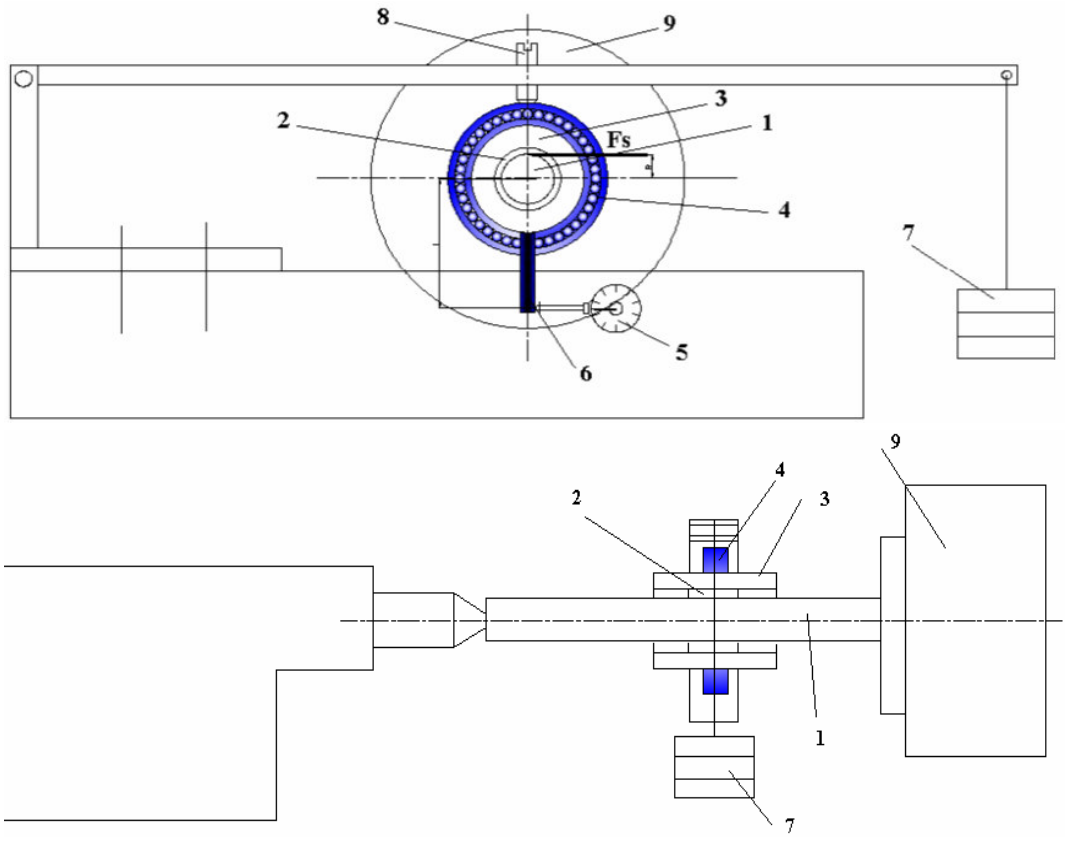
Deneyde aşındırıcı olarak SAE 1050 çeliği kullanılmış ve yataklar bu mil üzerinde aşındırılarak değerler tespit edilmiştir. Milin bir ucu punta ile desteklenmiş ve mil üzerinde çalışan yatakların üzerine ise özel olarak hazırlanmış yatak tutucuları monte edilmiştir.



Şekil 9.2. Aşınma deneyinde kullanılan düzenek

Kaymalı yataklarda genellikle yatak malzemesi, mil malzemesine göre daha düşük aşınma dayanımına sahip malzemelerden seçilir. Böylece milin aşınması büyük oranda azaltılmış olur. Bu nedenle kaymalı yatak aşınma cihazları, yatak malzemelerinin aşınmasını incelemek üzere tasarlanmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan kaymalı yatak aşınma cihazı ile yatak malzemelerinin aşınma davranışlarının incelenmesinin yanı sıra, kolaylıkla takılıp sökülebilen ve milin sadece kaymalı yatak içinde çalışan kısmından oluşan numune kullanılarak, milin aşınma davranışlarını incelemek de mümkün olmuştur. Böylece farklı yatak malzemesi geliştirebilmenin yanında mil malzemesi ve bunlara yapılacak işlemlerin de aşınmaya etkisi incelenebilmiştir.

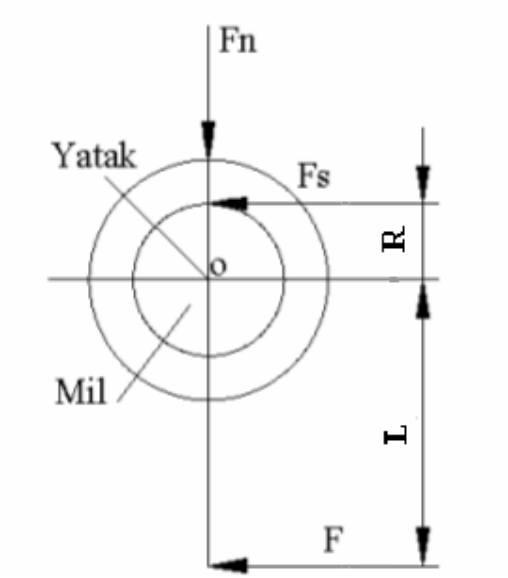
Test düzeneğinde aynı zamanda sürtünme kuvveti de bulunabilmektedir. Bu aşınma test cihazı; kaymalı yatak üzerine rijit bir çubukla basılı bir ağırlık ve belirli bir mesafeden yatağa bağlı bir çubuk ve komparatörden ibarettir. Yatağın dönme yönünde oluşan sürtünme kuvveti ve buna bağlı çubuğun oluşturduğu yer değiştirmenin ölçülmesiyle sürtünme katsayısı belirlenir (Şekil 9.3).



1.Aşındırıcı mil, 2.Kaymalı yatak numunesi, 3.Kaymalı yatak tutucusu,
4.Yük Temas Noktası (Rulman), 5. Komparetör, 6.Plaka, 7.Ağırlık,
8.Yük pimi, 9.Torna Aynası

Şekil 9.3. Kaymalı Yatak Aşınma Test Cihazı

Kuru ortamda yapılan deneylerde, komparatörün yay katsayısı düşük olduğundan sürtünme kuvvetinin etkisi ile komparatör katranının aşırı hareketlilik oluşmaktadır. Bu nedenle komparatörün uç tarafına k=0.98N/mm bası yayı bağlanmıştır. Sürtünme kuvvetinin etkisiyle yeterli miktarda oluşan deplasmanlar bu yolla ölçülmüştür. Ayrıca bağlanan numunenin kaymasını önlemek, istenen sürtünmeyi sağlaması için kaymalı yatak tutucusu üzerine, yük temas noktasında bir rulman kullanılmıştır. Sürtünme kuvveti ve yüklerin oluşumu şekil 9.4'de gösterilmiştir.



Şekil 9.4. Kaymalı yatakta sürtünme kuvvetinin oluşumu

$$Fs = F.L \tag{9.1}$$

burada Fs sürtünme kuvveti, F basma kuvveti, L ise komperatör mesafesi

$$F = k.x \tag{9.2}$$

k yay rijitlik katsayısı, x komperatör sapma miktarıdır. 9.2. numaralı denklemi 9.1. numaralı denklemde yerine yerleştirildiğinde;

$$Fs = k.x.L \tag{9.3}$$

Denklemi elde edilir. Fs sürtünme kuvveti;

$$Fs = F_N.\ \mu \tag{9.4}$$

F_N uygulanan yük, μ sürtünme katsayısıdır. 9.4. numaralı denklemi 9.3. numaralı denklemin yerine konulduğunda sürtünme katsayısı komperatörün sapma miktarına bağlı olarak bulunmaktadır.

9.3. Metalografik Çalışmalar

Aşınma deneyleri sonunda numune gruplarından örnekler alınarak, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkez'indeki LEO 440 marka SEM cihazında incelenmiştir. Bu cihaz dijital ve bilgisayar kontrollü olarak çalışmaktadır. X5 - X300.000 arası büyütme kapasitesine sahiptir. Elektron kaynağı tungsten filamenti olup, tanecik boyutu ve kristollagrafik fazları dedekte etme kabiliyetine sahiptir. Hazırlık basamaklarından geçtikten sonra numune Elektron Mikroskobunda incelenmeye hazır hale gelir. Numunenin yapısına göre değişmekte olan vakum süresi beklenir; bu süre ortalama 30dk.'dır. Vakum süresi tamamlandıktan sonra numunenin yüzey şeklinin resmi alınabilir. İnceleme süresi tamamen malzemenin yapısına bağlıdır.

Numunelerin üzerinde aşınmanın maksimum olduğu bölgelerden X100 büyütmeli fotoğraflar alınarak aşınma izleri rahatça görülmüştür. Ayrıca üzerinde deney yapılmayan numunelerin de iç yapıları X200 büyütmeli olarak incelemeye alınmıştır. Şekil 9.5'de kullanılan SEM cihazı gösterilmiştir.



Şekil 9.5. Metalografik çalışmalarda kullanılan bilgisayar destekli SEM cihazı

9.5. Aşınma Deneylerinin Yapılışı

İsteğe bağlı olarak üretilmiş olan kaymalı yatak numunelerine torna tezgahı üzerinde bir düzenek kullanılarak statik yük altında, aşınma deneyleri uygulanmıştır.

Aşındırıcı olarak kullandığımız SAE 1050 çelik mil Şekil 9.2'deki torna tezgahının aynası ile punta arasına bağlanmış ve daha sonra T/M yatakların deney yapılabilmesi için özel yatak tutucuları hazırlanmıştır. Yataklara, bu özel tutucuların üzerine takılan ağırlıklar yardımı ile yük uygulanmıştır. İstenilen çevresel hıza uygun ayna devir sayısı ayarlanarak deneylere başlanmış ve 200 metrelik yol için gerekli süre belirlenmiştir. Deney başlangıcında 1/10000 g hassasiyetli terazide tartılan numunelere belirlenen yük ve çevresel hızda aşınma deneyleri uygulanmış ve her 200 m yol alındıktan sonra tezgah durdurulmuş, numunelerin üzerin her ağırlık ölçümü numunelerin gözeneklerinde kalan kopmuş metal artık ve yağlar hexan içerisinde çözündürülüp, temizlendikten sonra tartılmış ve ağırlıklar kaydedilmiştir. Bu işlemlere 2000 m yol değerine ulaşıncaya kadar aynı şekilde devam edilmiştir. Uygulanan çevresel hızlar 0.22m/s, 0.44m/s, 0,66 m/sn ve 0.96m/s olarak seçilmiştir. Deneylerde, yataklara uygulanan yükler deney sonuna kadar sabit tutulmuştur. Deney esnasında uygulanan yükler 10 N, 20 N, 30 N, 40 N ve 50 N'dur. Yapılan her bir deney 10 sefer tekrarlanmış, toplam 200 deneysel çalışması yapılmıştır.

Deneyler sonucunda oluşan aşınmalar, yataklarda özgül yatak yükü (P) ve yatak çevresel hızı (V) büyüklüklerden önemli ölçüde etkilenmektedirler. Burada kaymalı yatakların yük taşıma kapasiteleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

Özgül yatak yükü;

$$P = F / d.L \ (N/mm^2) \qquad (9.5)$$

Yatak çevresel hızı;

$$V = \Pi.d.n / 60 \qquad (9.6)$$

9.5 ve 9.6 denklemlerinden aşağıdaki PV formülü bulunmaktadır.

$$P.V = F_n.\ \Pi.d.n / L.d \qquad (9.7)$$

Burada;

P: Yatak kesit alanına düşen basınç, (MPa)

V: Milin çevresel hızı, (m/d)

Fn: Yatak yükü, (N)

L:Yatak uzunluğu, (mm)

n: Mil devir sayısı, (d/d)

d: Yatağın iç çapı, (mm)

Kaymalı yatak numuneleri için ayrı ayrı yatak yükü ve çevresel hızlara bağlı olarak hesaplanan PV değerleri Tablo 9.4'de gösterilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde yük arttıkça PV değerlerinde artış gözlenmiştir. Ayrıca çevresel hız ile PV değerleri arasında doğru orantı vardır.

Tablo 9.4. Yatak malzeme grupları için PV (N/mm sn) değerleri

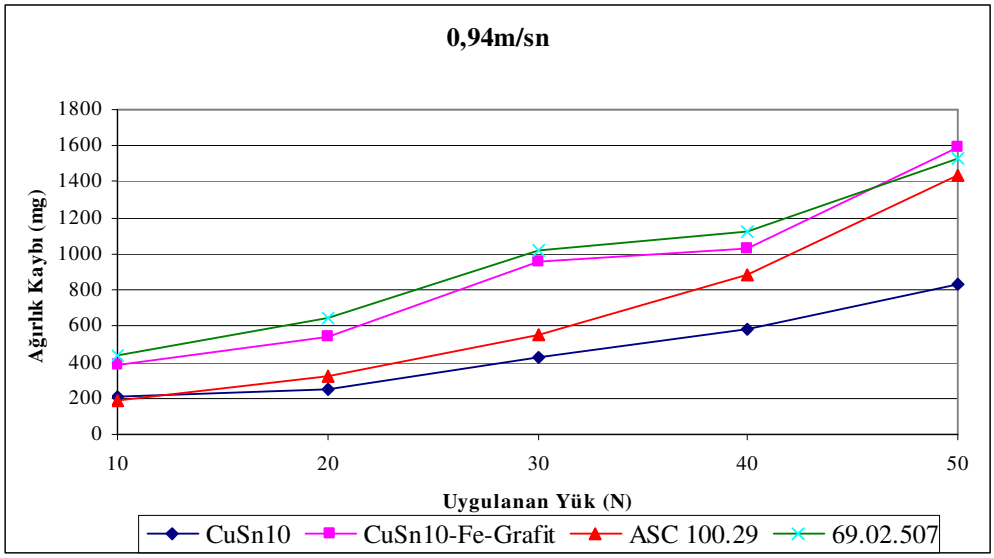
Yatak Malzemesi	Yatak Yükü (N)	Çevresel Hız m/sn			
		0,94	0,66	0,44	0,22
CuSn10	10	78,3	55	36,6	18,3
CuSn10-Fe-Grafit					
ASC 100.29					
69.02.507					
CuSn10	20	156,6	110	73,3	36,6
CuSn10-Fe-Grafit					
ASC 100.29					
69.02.507					
CuSn10	30	235	165	110	55
CuSn10-Fe-Grafit					
ASC 100.29					
69.02.507					
CuSn10	40	313,33	220	146,6	73,33
CuSn10-Fe-Grafit					
ASC 100.29					
69.02.507					
CuSn10	50	391,66	275	183,3	91,6
CuSn10-Fe-Grafit					
ASC 100.29					
69.02.507					

11. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışmalar sonunda, her bir numune farklı yükler altında karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 10.1, Şekil 10.2, Şekil 10.3 ve Şekil 10.4'de gösterilmiştir. T/M yataklarda kullanılan malzemeye göre en düşük ağırlık kaybı CuSn10 numunesinde gözlenmiştir. Şekil 10.1'de görüldüğü üzere CuSn10 bronzu ve ASC tozundan üretilen numunede daha az ağırlık kaybı oluşmuştur. En az ağırlık kaybı CuSn10 bronzunda ortaya çıkmıştır. Fakat ASC 100.29 tozu yüksek yüklerde daha kötü sonuçlar vermeye başlamıştır. Bunun nedeni yük arttıkça yağın viskozitesi azalmakta ve yük taşıma kabiliyeti de azalmaktadır. Demir numunelerin özellikle de Fe-Grafit yatağının daha çok mili aşındırdığı tespit edilmiştir.

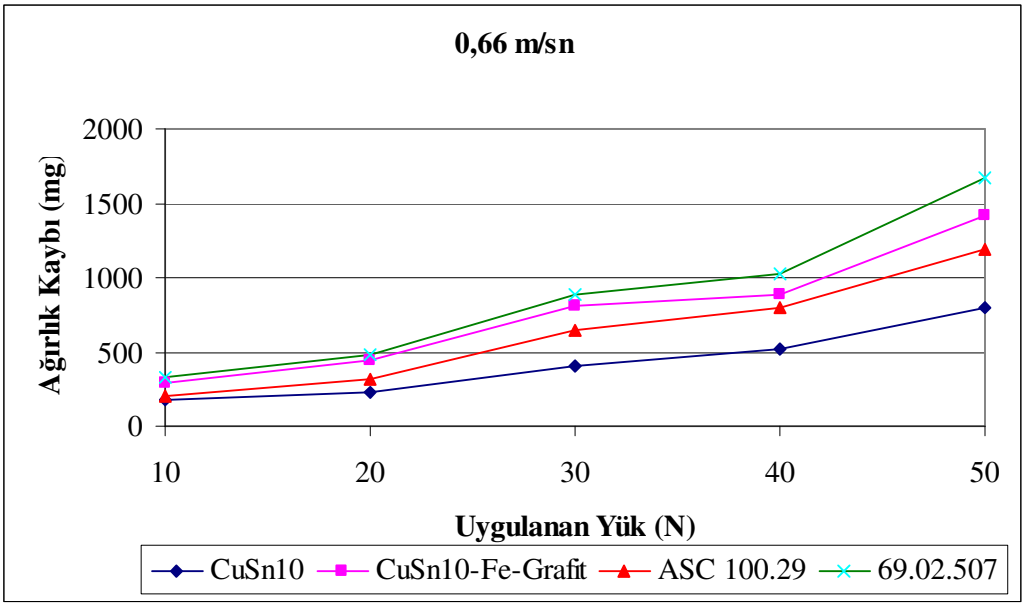
Grafiklere bakıldığında deney başlangıcında yani ilk 20 N'a kadar olan bölümde değerler yakın iken, uygulanan yük miktarı arttıkça farklar ortaya çıkmaktadır ki buda numunelerin taşıma kapasitelerini ve aşınma özelliklerini göstermektedir. En fazla ağırlık kaybı önce 69.02.507 daha sonra CuSn10Fe-Grafit numunede meydana gelmiştir. Zira bunun sebebi 69.02.507 numunesinde, grafik miktarının az olmasından kaynaklanmaktadır.

Ünlü B.S.,Varol R. Sarper S. (2005), CuSn10, CuSn10Fe-Grafit, Fe-Grafit, ve FeCu – Grafit numunelerinden yaptığı deneyler sonucunda an az ağılık kaybı Fe-Grafit numunesinde oluştuğu fakat milin de bu yatak malzeme tarafından en fazla aşındığı ortaya çıkmıştır.

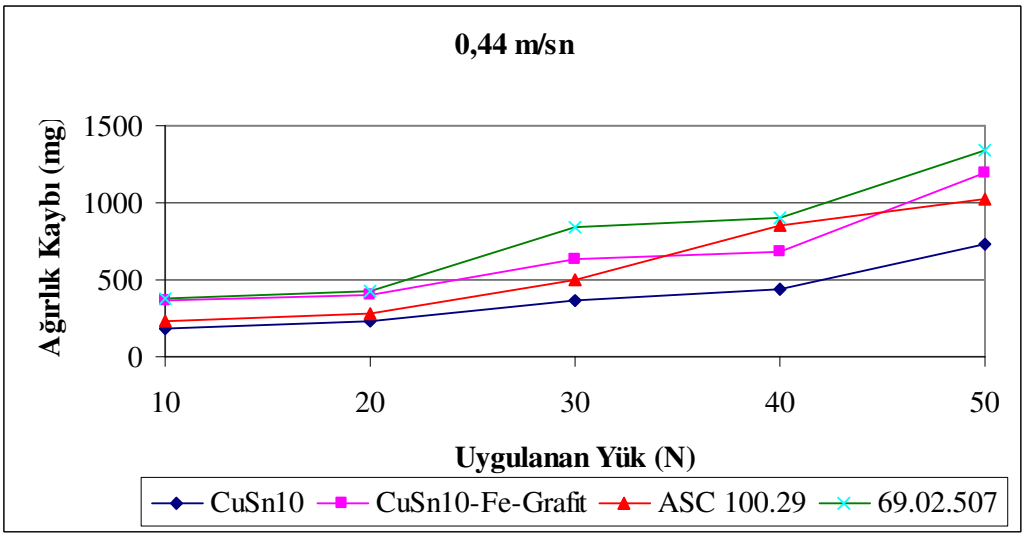


Şekil 10.1. 0,94 m/sn çevresel hızda T/M yatakların yük ağırlık kaybı ilişkisi

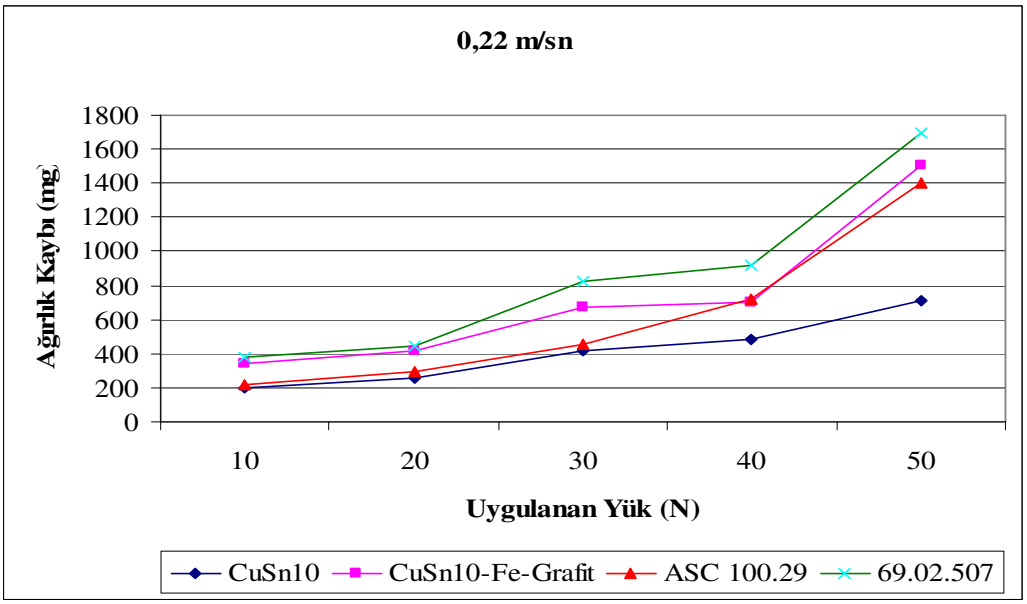
Şekil 10.2 ve 10.3'de görüldüğü gibi, bütün numunelerde özellikle de CuSn10 bronzu ve ASC 100.29 numunelerinde 40 N'dan sonra aşırı bir aşınma yani ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bunun sebebi yataklardaki yağın özelliğini kaybetmesi veya yatakların taşıma kapasitesinin sonuna gelindiği şeklinde açıklanabilir.



Şekil 10.2. 0,66 m/sn çevresel hızda T/M yatakların yük ağırlık kaybı ilişkisi



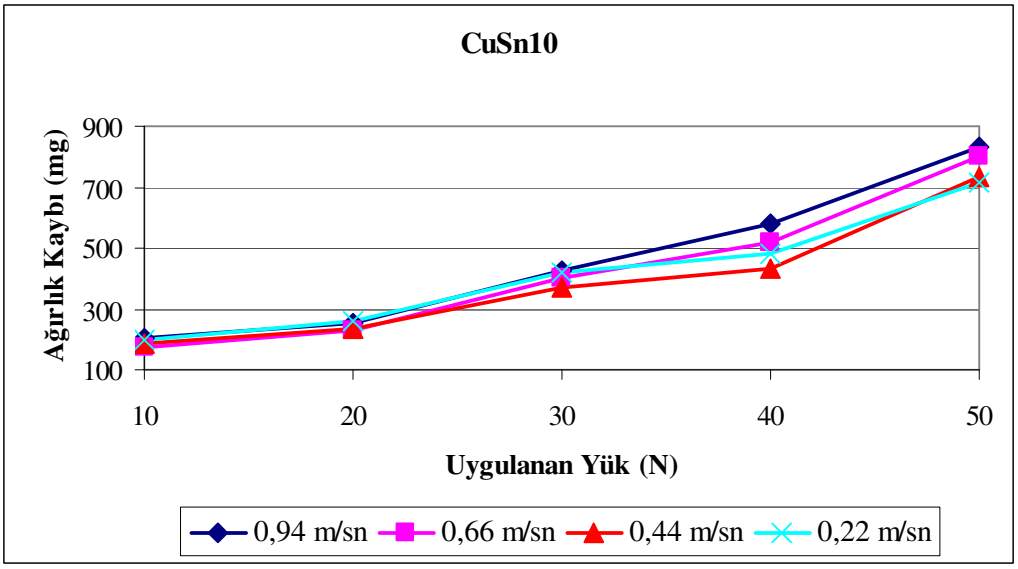
Şekil 10.3. 0,44 m/sn çevresel hızda T/M yatakların yük ağırlık kaybı ilişkisi



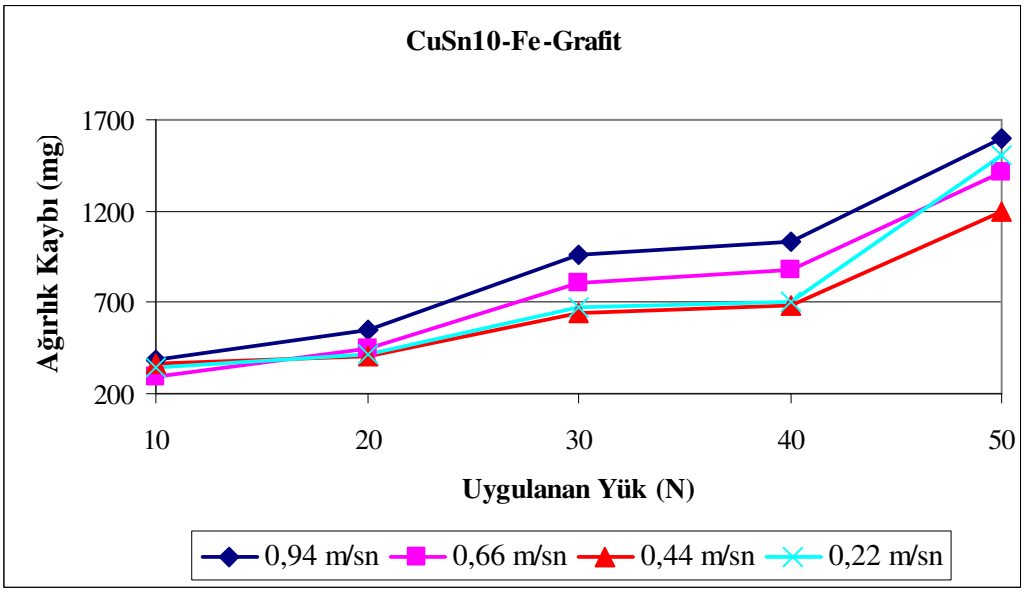
Şekil 10.4. 0,22 m/sn çevresel hızda T/M yatakların yük ağırlık kaybı ilişkisi

Aşınma deneylerinde, her bir numunenin aşınma miktarı farklı yük ve çevresel hızlarda incelenmiştir. Her bir T/M kaymalı yatak numunesine uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi Şekil 10.5'de CuSn10, Şekil 10.6'da CuSn10-Fe-Grafit, Şekil 10.7'de ASC 100.29, Şekil 10.8'de 69.02.507 numuneleri için verilmiştir. Aşağıdaki grafiksel eğrilerde farklı çevresel hızlardaki ağırlık kayıpları kolayca fark edilmektedir. Yük miktarı arttıkça ağırlık kaybının arttığı ve genelde en yüksek ağırlık kaybının 50 N yükte, 0,94 m/sn çevresel hızlarda gerçekleştiği belirlenmiştir.

20 N'luk yüklerde özellikle 0,22 m/sn'lik hızda ağırlık kaybı en yüksek seviyelerde olmaktadır. Yük değeri 50 N olduğunda, yüksek hızlarda en fazla yük kaybı gerçekleşmektedir. Özellikle yük sabit kaldığında, çevresel hız değeri azaldıkça yatak aşınması artmaktadır. Yüksek yüklerde ise bu artış tersine dönüşmüştür. Yüksek yükte yatağın sıcaklığın artması yağın özelliğini kaybetmesine ve yatağın yük taşıma kapasitesini azaltmaktadır. Bu nedenle kaymalı yataklarda basınç ve hız değerinin seçilmesinde önemli bir faktör olduğu ortaya çıkmaktadır.

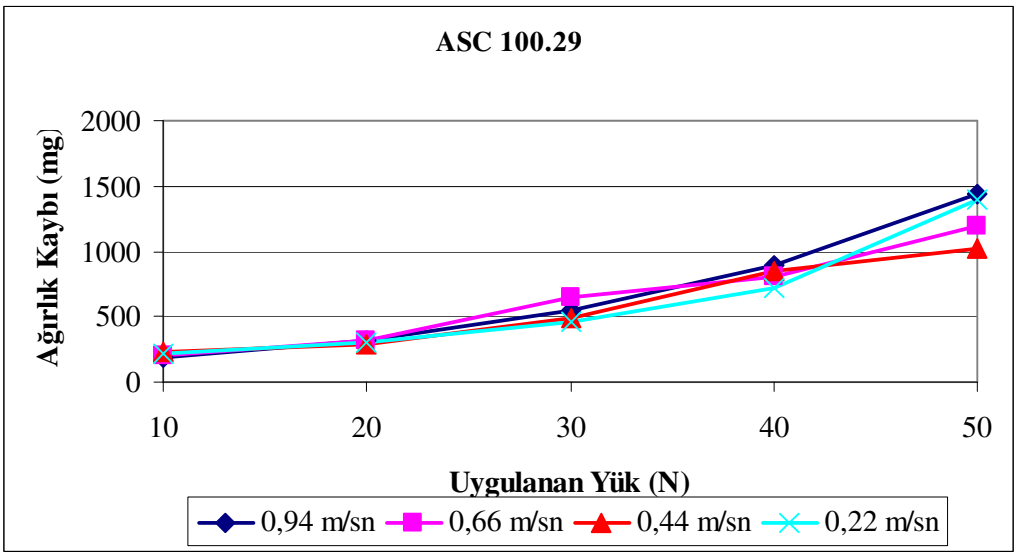


Şekil 10.5. CuSn10 yataklarına uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi

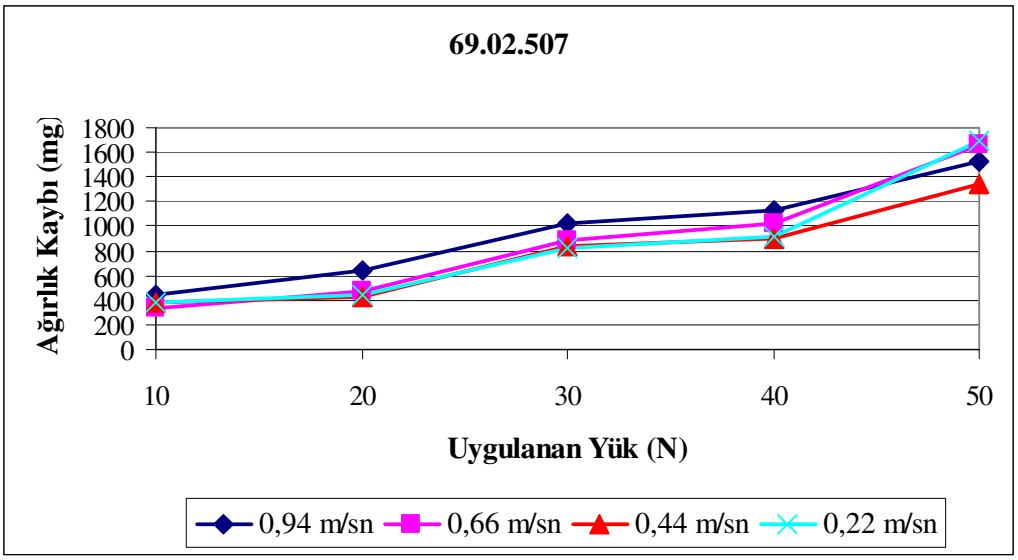


Şekil 10.6. CuSn10-Fe-Grafit yatağına uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi

Şekil 10.6'da görüldüğü gibi, ASC 100.29 demir numunesinde farklı yük ve hızlarda ağırlık kaybı değerlerinin birbirine yakın olduğu fark edilmiştir. Fakat bu yakın değerler yük arttıkça değişmiştir. ASC 100.29 numunesi 0,22 m/sn hızda çalışırken 40 N yüke kadar düzenli bir artış sergilemekte, 40-50 N arasında ağırlık kaybında aşırı bir çıkış gözlenmiştir.

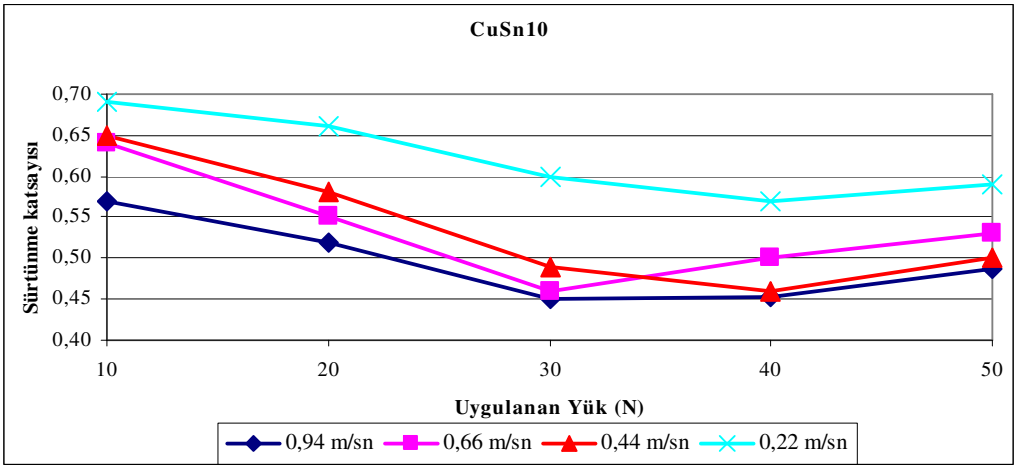


Şekil 10.7 ASC 100.29 yataklarına uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi

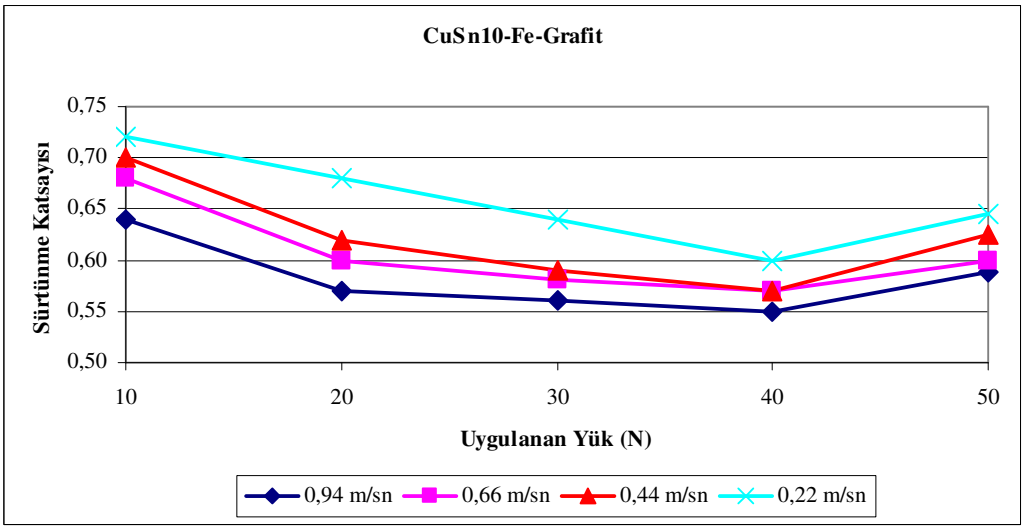


Şekil 10.8 69.02.507 yataklarına uygulanan yük ve ağırlık kaybının hıza göre değişimi

Sürtünme katsayısı, deneylerde değişken parametre olarak seçilen mil devir sayısı, yatak yükü, yatak sıcaklığı ve yatak malzemesine bağlı olduğu gibi, milin yüzey pürüzlülüğü, yatağın yüzey pürüzlülüğü , mil yatak toleransı, malzemelerin sertlikleri, sinter yatakların gözeneklilik durumları gibi daha pek çok özelliğe bağlıdır (Tüfekçi, 2003). Düşük yüklerde sürtünmenin daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni yataklardaki yüzeyin ısınmamış ve yağlayıcının ön plana çıkmamış olmasıdır. Uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişimi; Şekil 10.9'da CuSn10, Şekil 10.10'da CuSn10-Fe-Grafit, Şekil 10.11'de ASC 100.29, Şekil 10.12'de 69.02.507 numuneleri için verilmiştir.

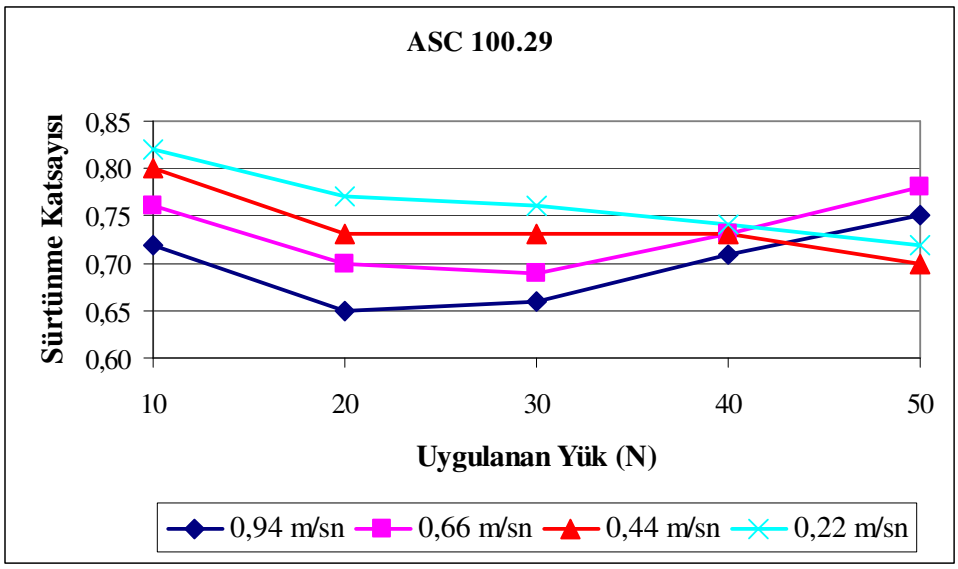


Şekil 10.9. CuSn10 yataklarına uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişim grafiği



Şekil 10.10. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişim grafiği

Kaymalı yatakların gözeneklerinde bulunan yağın dışarı çıkıp sürtünme yüzeylerini yağlaması için gerekli şartların bu değerlerde optimum düzeyde sağlandığını göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken; basınç ve hız değerinin nasıl seçilmesi gerektiğinin bilinmesidir. Neticede burada PV değeri önem arz eder.



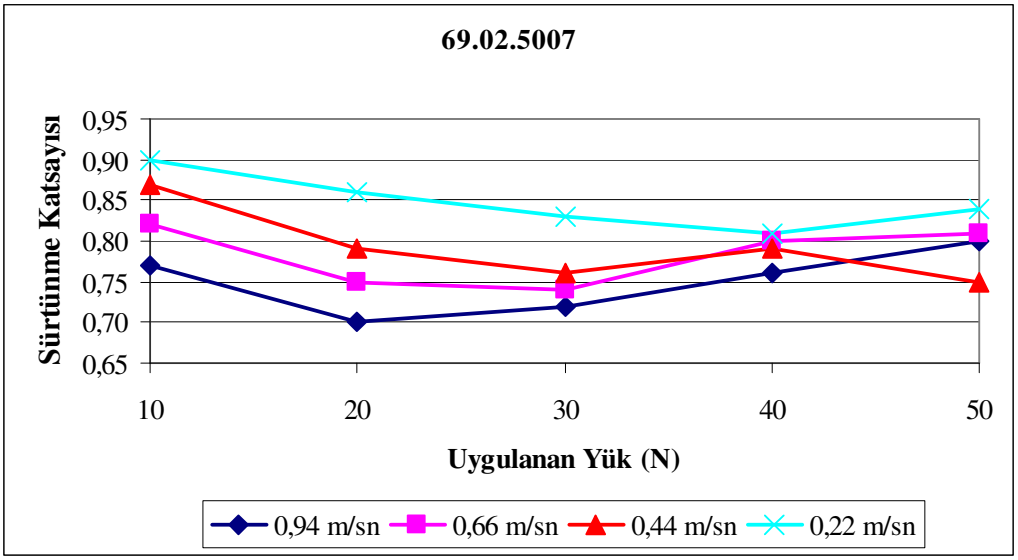
Şekil 10.11. ASC 100.29 yataklarına uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişim grafiği

Yapılan deneylerde en düşük sürtünme katsayısının en düşük 0,45 ile en yüksek 0,68 değeri arasında CuSn10 bronzunda hesaplanmıştır. Demir esaslı yatakların aşınma miktarlarının yüksek çıkması, yağlamanın tam olarak gerçekleşemediği durumlarda mil ve yatağın temas noktalarında adhezyon aşınmasına uğradığını göstermektedir. Arada kalan tozların aşınmayı daha da arttırdığı gözlenmiştir.

10 N yükte çalışırken sürtünme kuvveti değerlerinin maksimum olması yatakların ısınmadığı ve gözeneklerin açılıp yağlayıcının devreye girmediğinin göstergesidir. 20 ve 30 N yüklerde ise sıcaklığın belirli bir noktaya kadar artmasıyla yatağın içerisinde bulunan yağ genleşmekte ve viskozitesinin düşmesiyle gözeneklerden çıkışı kolaylaştırmaktadır. Bu şartlarda sürtünme katsayısında düşüşler gözlenmektedir.

Yüksek yüklerde sıcaklığın artmasıyla birlikte yağın kimyasal özelliğindeki bozulmalar yük taşıma kabiliyetini azaltmakta ve sürtünme katsayısını artırmaktadır.

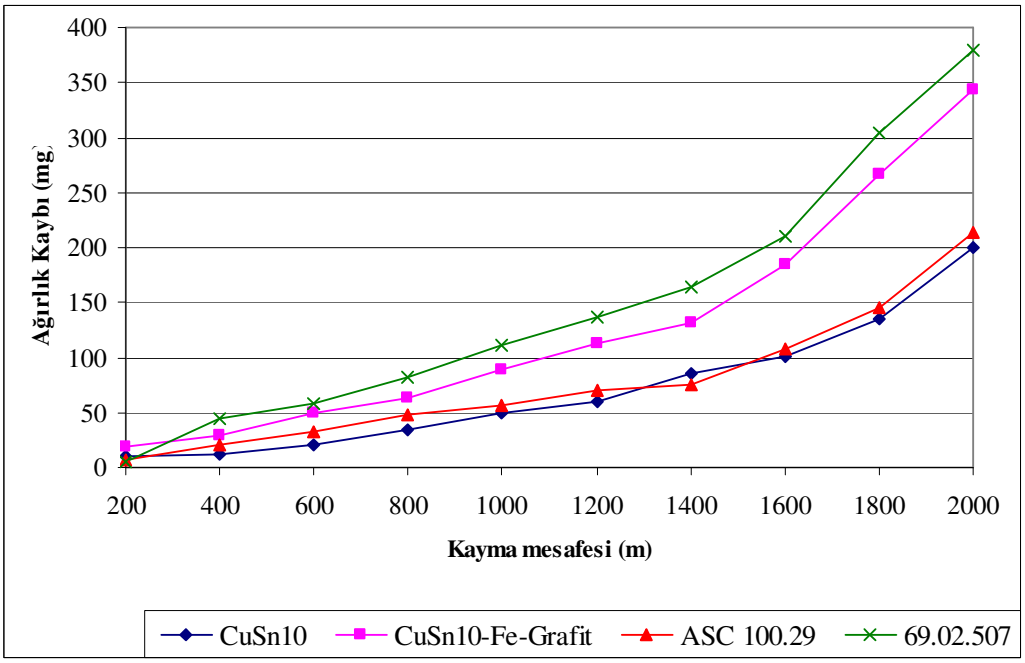
Ünlü B.S.,Varol R. Sarper S. (2005), yaptığı çalışmada da en düşük sürtünme katsayısının CuSn10 bronzunda ortaya çıktığı görülmüştür. Yapılan daha bir çok benzeri çalışmada bu bronz numunenin aynı sonuçları verdiği bizim çalışmamızın da literatüre uygunluğunu kanıtlamaktadır.



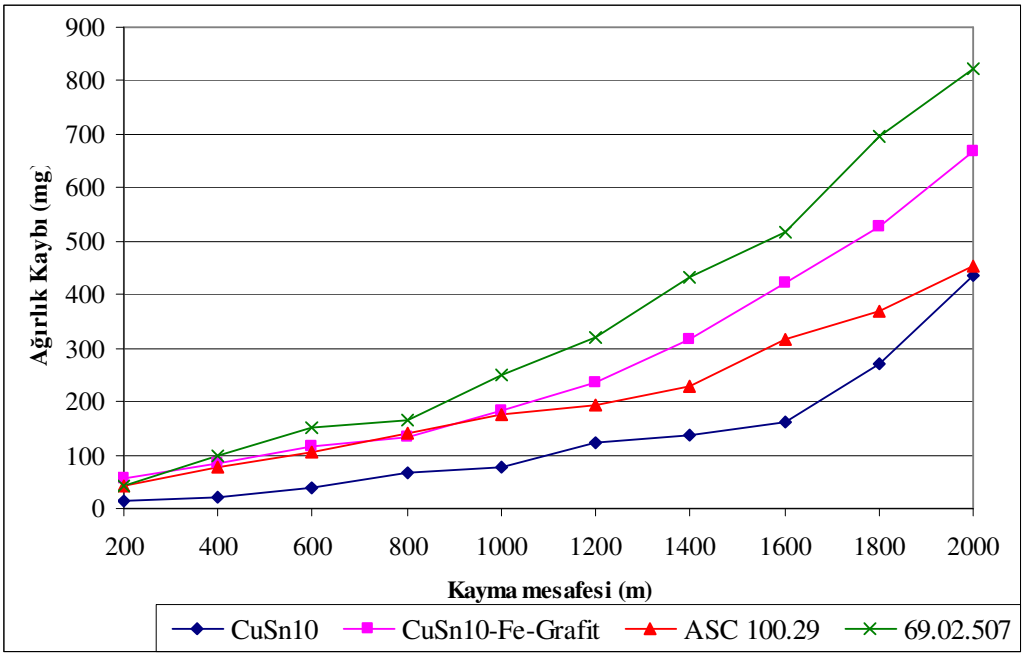
Şekil 10.12. 69.02.507 yataklarına uygulanan yük ve sürtünme katsayısının hıza göre değişim grafiği

Sabit bir hızda (0,22 m/sn) yapılan deneyde kayma mesafesi ve ağırlık kaybı değişimi, Şekil 10.13'de 10 N, Şekil 10.14'de 30 N yük için verilmiştir. 20, 40, 50 N'luk yükler için ise ekler bölümünde verilmiştir. Eğrilerden görüleceği üzere kayma mesafesi arttıkça ağırlık kaybı artmıştır. En yüksek ağırlık kaybının 2000 m mesafede 69.02.507 numunesinde 50 N'da gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca yük ve kayma mesafesine bağlı olarak ağırlık kaybında artışlar gözlenmiştir. Kısaca kayma mesafesi arttıkça ağırlık kaybı artmaktadır.

Şekil 10.13'e bakıldığında 10 N yük altında CuSn10 ile ASC 100.29 numunesinin ağırlık kaybı değerleri birbirine yaklaşık olduğu tespit edilmiş ve kayma mesafesi değeri 1600 m olmasıyla ağırlık kaybı değerlerindeki artışın daha fazla olduğu görülmüştür. Grafikteki eğrilere göre 69.02.507 yatak numunesindeki ağırlık kaybı 2000 m kayma mesafesinde 10 N yük altında 380 mg iken, aynı yük altında 30 N yükte 823 mg olarak ölçülmüştür.

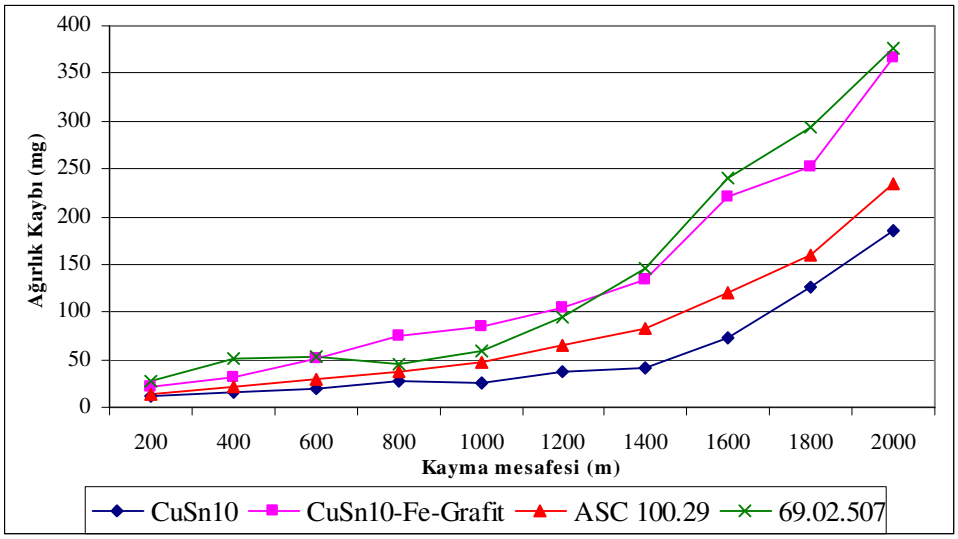


Şekil 10.13. 0,22 m/sn ve 10N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi

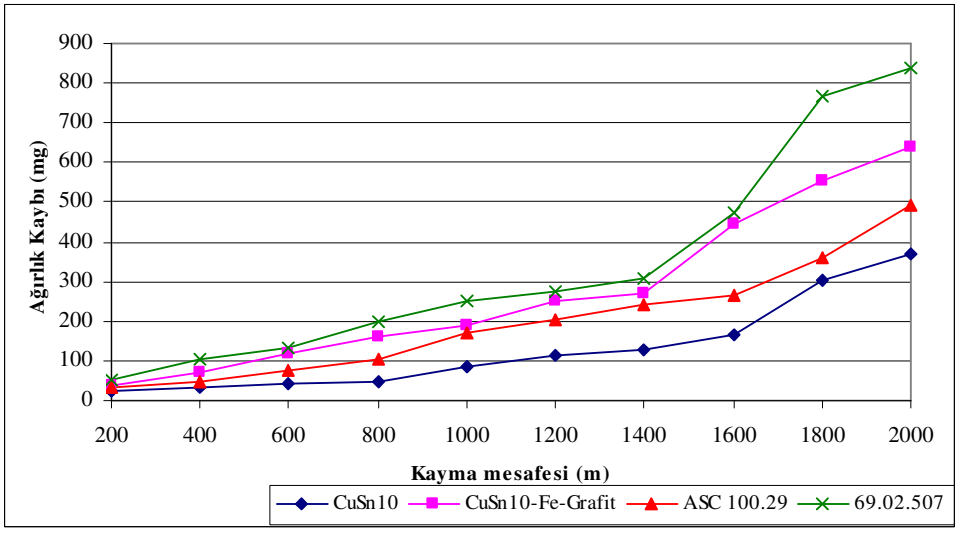


Şekil 10.14. 0,22 m/sn ve 30N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi

Sabit bir hızda (0,44 m/sn) yapılan deneyde kayma mesafesi ve ağırlık kaybı değişimi, Şekil 10.15'de 10 N, Şekil 10.16'de 30 N yük için verilmiştir. 20, 40, 50 N yük uygulandığında çıkan grafikler EK-B1, EK-B2, EK-B3'de gösterilmiştir. 710 d/dk devirde de 1600 m mesafeden sonra aşırı derece aşınma meydana gelmektedir. Büyükdavraz, (2000) bronz yataklar üzerinde yaptığı çalışmalarda da aynı sonuca elde etmiştir. Bunun sebebi, önceden de bahsettiğimiz gibi yatakların ısınmasıyla yağın kimyasal özelliğinin kaybolması ve yük taşıma kapasitesinin azalmasıdır.

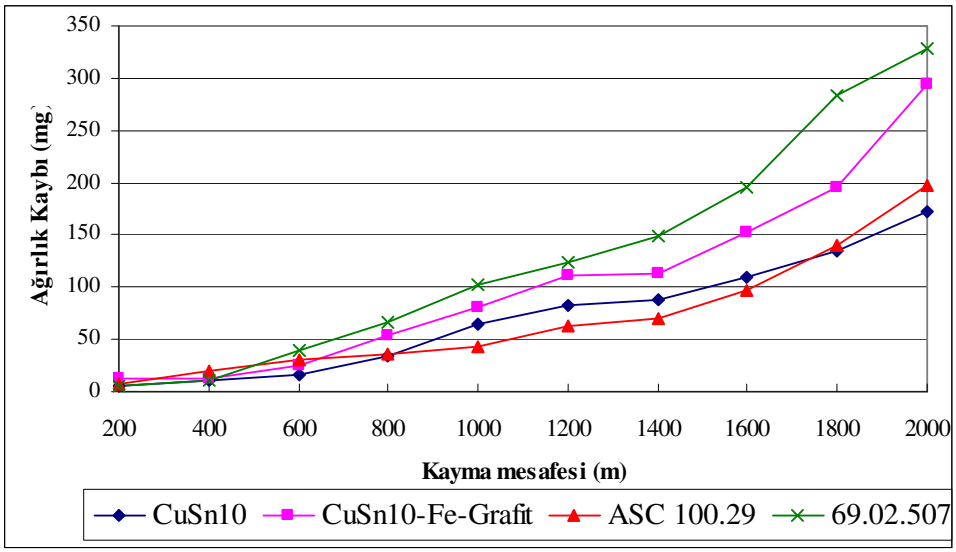


Şekil 10.15. 0,44 m/sn ve 10N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi

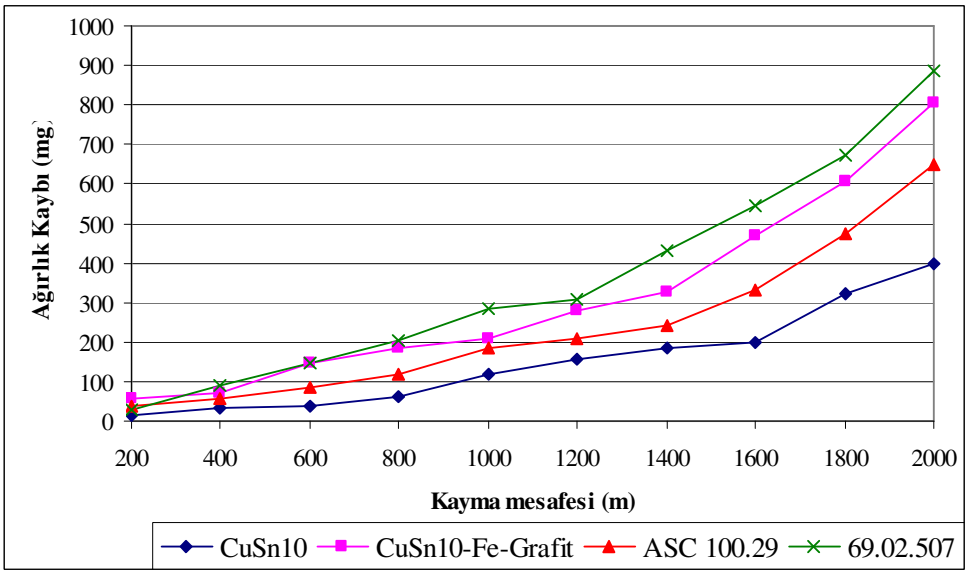


Şekil 10.16. 0,44 m/sn ve 30N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi

Sabit bir hızda (0,66 m/sn) yapılan deneyde kayma mesafesi ve ağırlık kaybı değişimi, Şekil 10.17'de 10 N, Şekil 10.18'de 30 N yük için verilmiştir. Diğer yük grupları için (20-40-50 N) ölçülen değerler EK-C1, EK-C2, EK-C3'de verilmiştir.

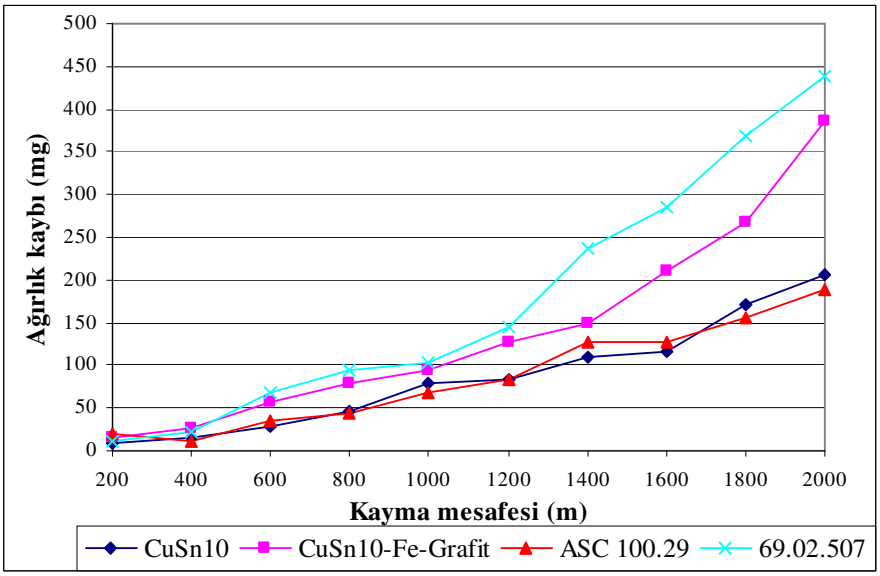


Şekil 10.17. 0,66 m/sn ve 10N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi

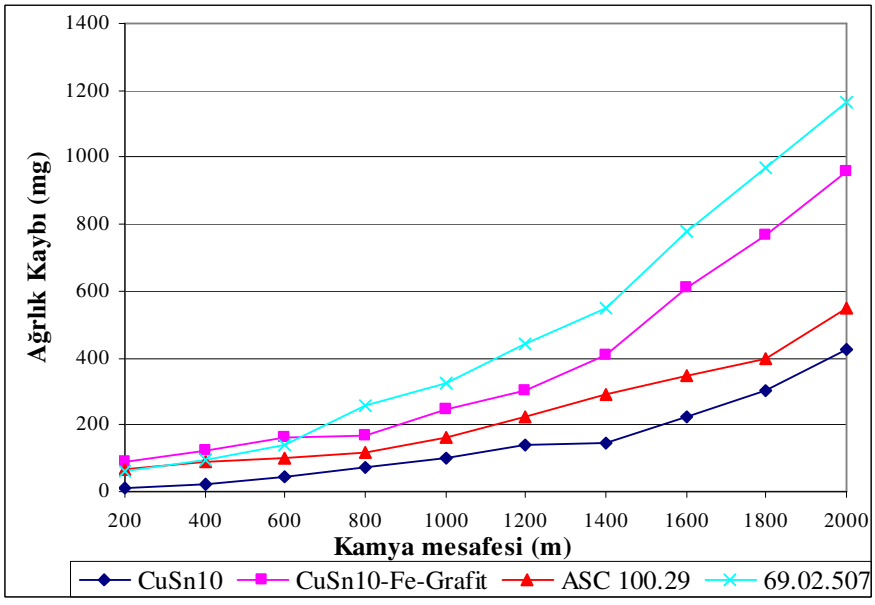


Şekil 10.18. 0,66 m/sn ve 30N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi

Sabit bir hızda (0,94 m/sn) yapılan deneyde kayma mesafesi ve ağırlık kaybı değişimi, Şekil 10.19'da10 N, Şekil 10.20'de 30 N, yük için verilmiştir. 20, 40, 50 N yükler için grafiksel eğriler EK-D1, EK-D2, EK-D3'de gösterilmiştir.



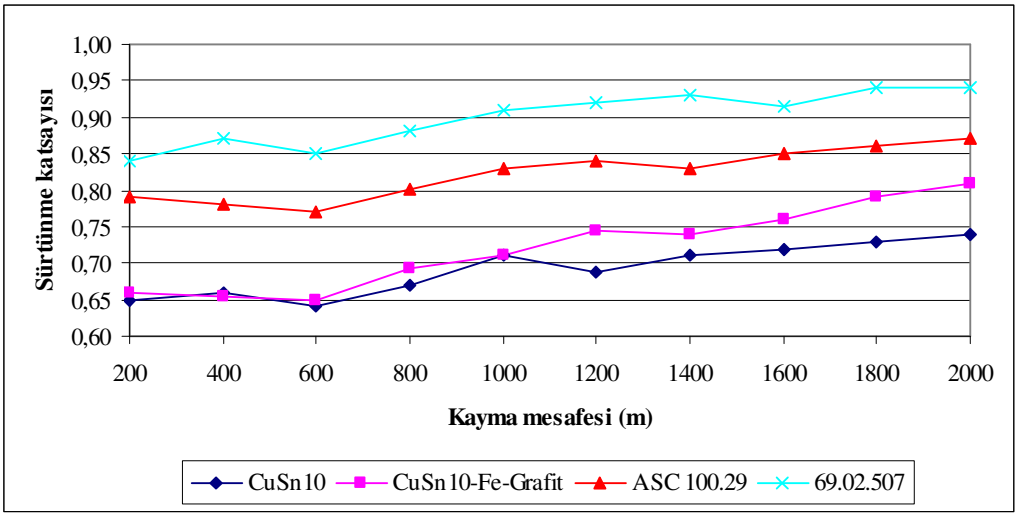
Şekil 10.19. 0,94 m/sn ve 10N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



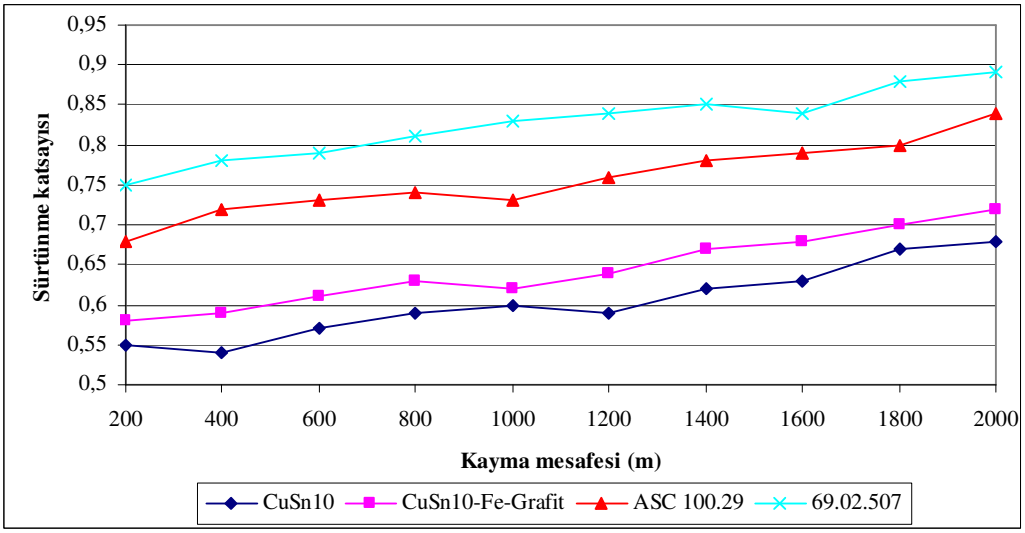
Şekil 10.20. 0,94 m/sn ve 30N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi

Sabit bir hızda (0,22 m/sn) yapılan deneyde kayma mesafesi ve sürtünme katsayısı değişimi, Şekil 10.21'de10 N, Şekil 10.22'de 30 N, yükler için verilmiştir.

Her bir numune ayrı ayrı sabit bir devirde ve beş farklı yük altında deneye alınmıştır. Kayma mesafesinin artmasıyla sürtünme katsayısı değerlerinde de artış gözlenmektedir. Bu artış miktarı çok düşük olsa da yapılan bütün deneylerde mutabık sonuçlar alınmıştır. Ekler kısmında diğer yükler için grafiksel eğriler verilmiştir.

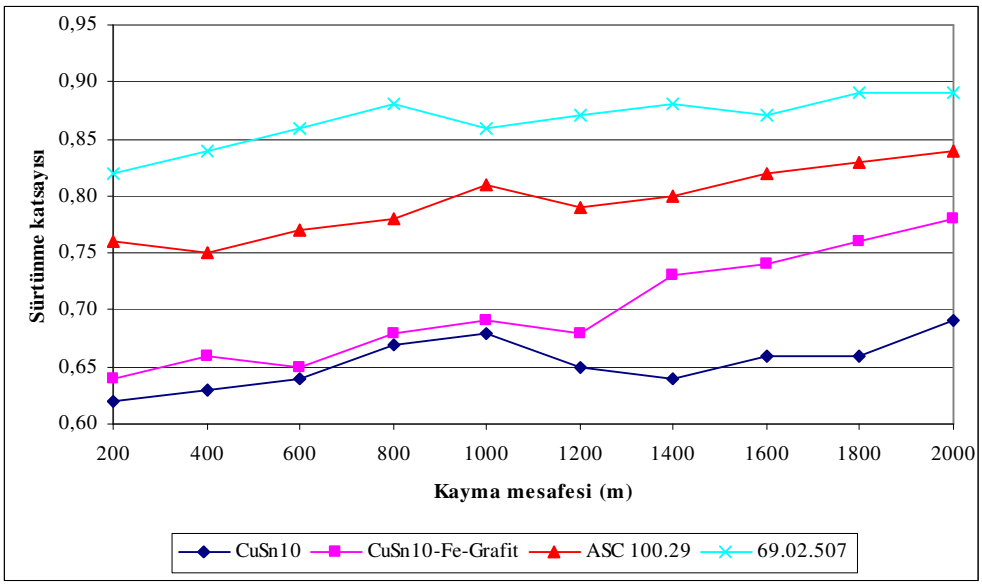


Şekil 10.21. 0,22 m/sn ve 10 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi

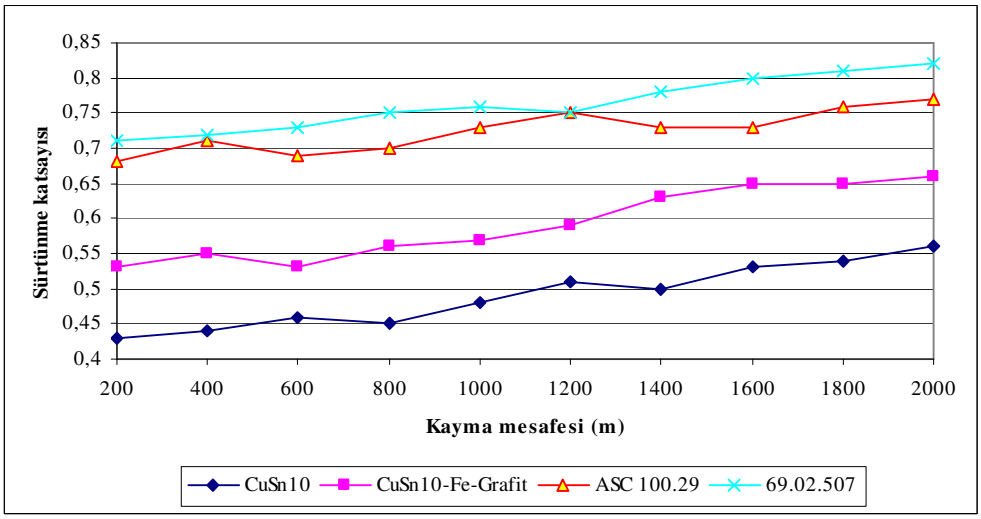


Şekil 10.22. 0,22 m/sn ve 30 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi

Sürtünme katsayısının kayma mesafesine bağlı olarak değişiminde sabit bir devir için, beş tür yük altında incelenmiştir. Bu sayede çevresel hızın da etkisi merceğe alınmıştır. Adhesiv aşınmadan dolayı yüzeylerde bir takım çizikler meydana gelmektedir. İşte bu sebeplerden dolayı aşağıdaki eğrilerde, numuneler arasında büyük faklılıklar ortaya çıkmıştır (Şekil 10.23, Şekil 10.24, EK-F1, EK-F2, EK-F3).

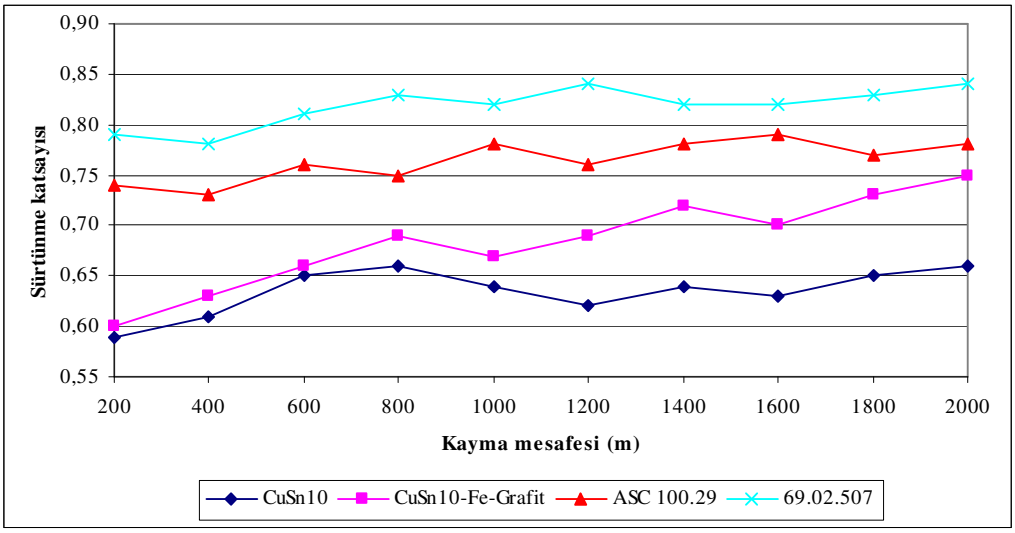


Şekil 10.23. 0,44 m/sn ve 10 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi

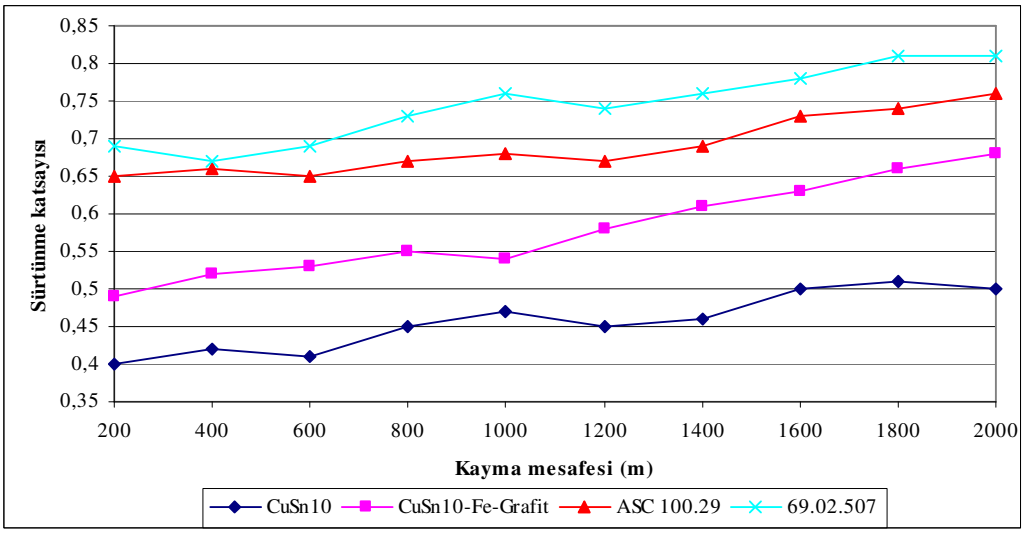


Şekil 10.24. 0,44 m/sn ve 30 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi

Bronz içerikli numunelerin demir içerikli numunelere göre daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu; sabit bir hızda (0,66 m/sn) kayma mesafesi ve ağırlık kaybı değişimi grafiklerinde açıkça görülmektedir (Şekil 10.25, Şekil 10.26, EK-G1, EK-G2, EK-G3). Ayrıca her bir numune için devir sayısı sürtünme katsayısı eğrileri ekler bölümünde gösterilmiştir.

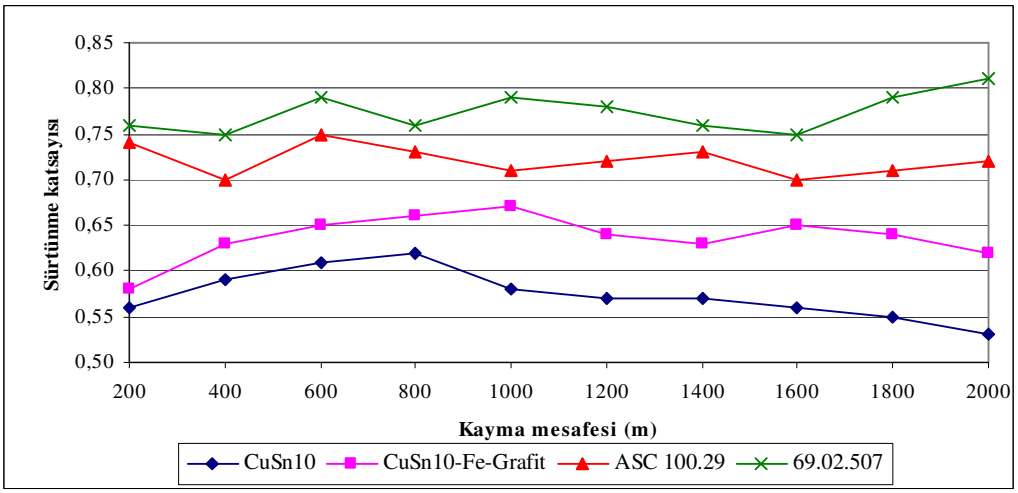


Şekil 10.25. 0,66 m/sn ve 10 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi

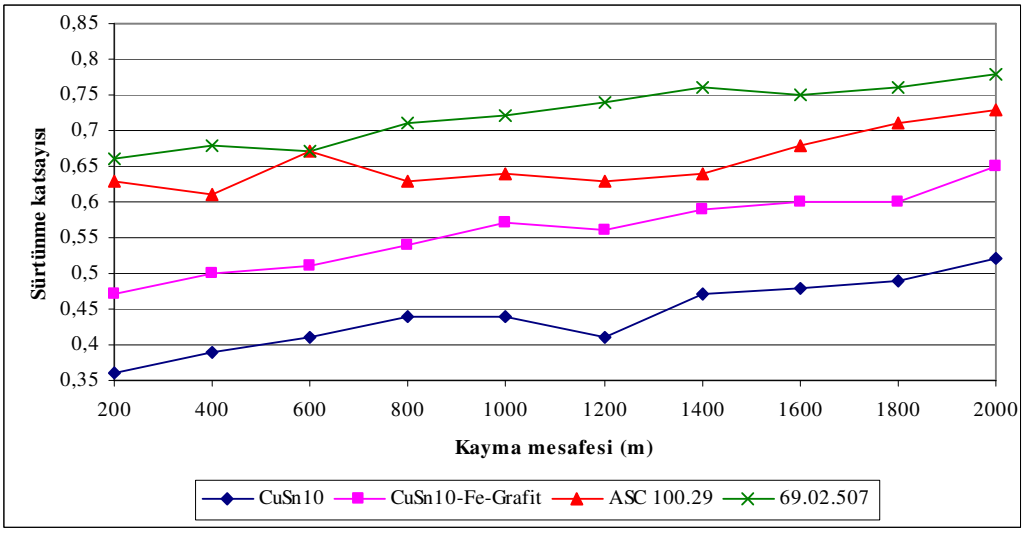


Şekil 10.26. 0,66 m/sn ve 30 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi

Sürtünme katsayısı; deneylerde bir çok özeliğe bağlıdır. Deney esnasında bunlardan mil devir sayısı, yatak yükü, yatak sıcaklığı ve yatak malzemesi, malzemenin yüzey pürüzlülüğü, toleransı, sertlikleri zaman zaman sabit kaldığı kabul edilmiştir. Yukarıdaki bütün devirlerdeki grafiklerin 20, 40 ve 50 N'luk sonuçları ekler bölümünde ayrıca verilmiştir. Sürtünme katsayısı grafiklerine bakıldığında sürtünme katsayısı değerinde aşırı sapma görülmemesi deneylerden olumlu sonuçlar alındığını göstermektedir (Şekil 10.27, Şekil 10.28, EK-Ğ1, EK-Ğ2, EK-Ğ3).



Şekil 10.27. 0,94 m/sn ve 10 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 10.28. 0,94 m/sn ve 30 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi

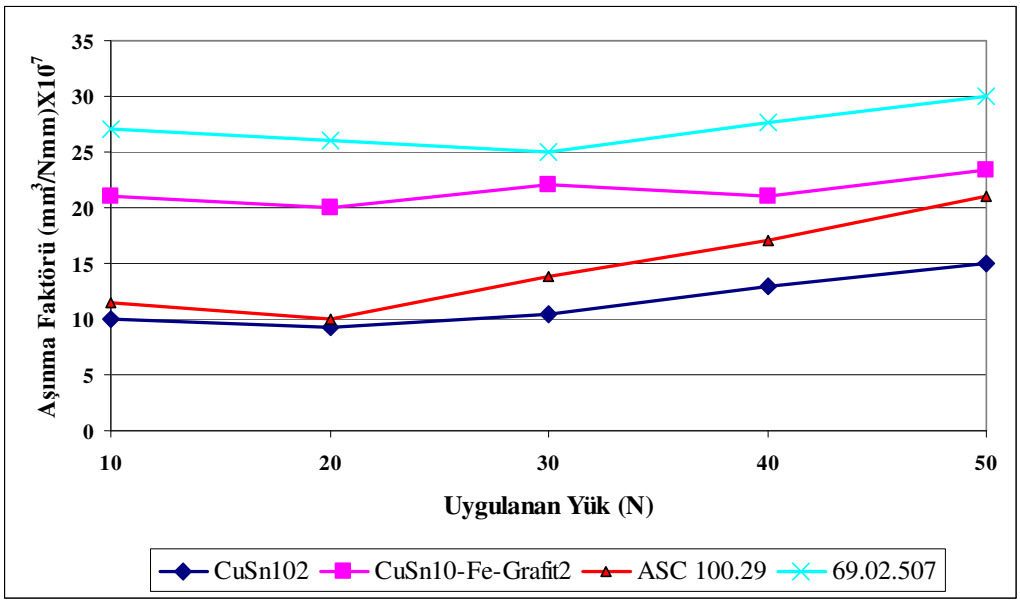
2000 m'lik kayma mesafesinde dört farklı çevresel hızlarda ve farklı yük uygulamalarında aşınma faktörleri Şekil 10.29, Şekil 10.30, Şekil 10.31, Şekil 10.32'de gösterilmiştir.

Şekiller incelediğinde tüm TM malzemeler için çevresel hız değeri düştükçe aşınma hızının arttığı ve özellikle tüm hızlarda 40N ve 50 N değerinde aşınma hızının çok hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür. Yine tüm yataklar için ideal yükün 20N ile 30N olarak gözükmektedir. Bu değerde tüm yataklarda aşınma hızları diğer hız ve yüklere göre daha düşük değerdedir. CuSn10 kaymalı yatak ile ASC100.29 tozundan imal edilmiş kaymalı yatakların paralel bir aşınma hızı görülmüştür. Hatta 20N yükte tüm hızlarda ASC100.29 tozunun daha iyi bir aşınma hızına sahip iken bu yükten sonra yüksek hız ve yükte bu aşınma hızı artmaktadır. Diğer kaymalı yataklar ise bu iki T/M yatağa göre daha hızlı aşınmaktadır. 69.02.507 tozundan imal edilmiş T/M yatak tüm deneylerde çok fazla aşınma hızına sahiptir. Bunun nedeni ise bu yatağın imalat esnasında grafit oranının çok düşük olduğundan yatak yeterince kendi kendini yağlayamamaktadır. Demir esaslı kaymalı yataklar daha düşük yüklerde kullanılması daha uygun olmaktadır. Bronz numunelerin ise daha yüksek yüklerde ve çevresel hızlarda ideal bir aşınma hızlarına sahip olmaktadır (Schatt 1997, Akkurt 1990).

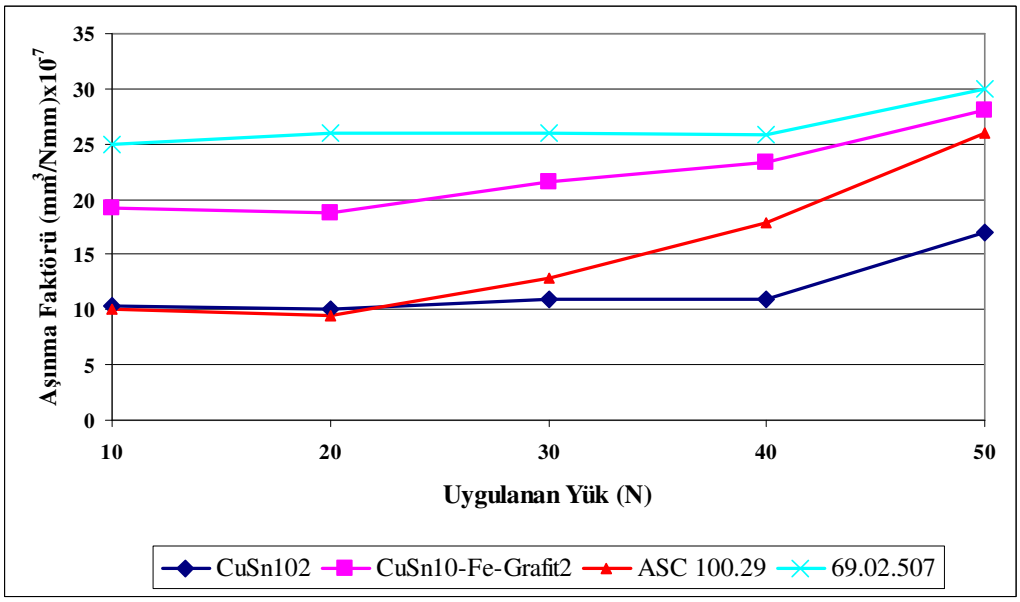
Deneysel çalışmalar incelendiğinde çıkan veriler, aşınma hızının genelde 10-30 N yükler arasında düştüğünü daha sonra artışlar meydana geldiğini göstermiştir. 40-50 N yük arasında aşırı derecede bir aşınma hızı artışı meydana gelmiştir. Bunun sebebi sürtünme neticesinde sıcaklığın etkisiyle yağlayıcının kimyasal özelliğini kaybetmesidir. En yüksek aşınma hız değeri 0,22 m/sn çevresel hızda 50 N yük altında 69.02.507 tozundan üretilen kaymalı yatak numunesinde 32 $(mm^3/Nmm)x10^{-7}$ olarak ölçülmüştür. Aşağıda aşınma faktörü hesaplamasında kullanılan formül denklem 10.1'de gösterilmiştir.

$$\boxed{A_f = \frac{v}{F.L}} \qquad (10.1)$$

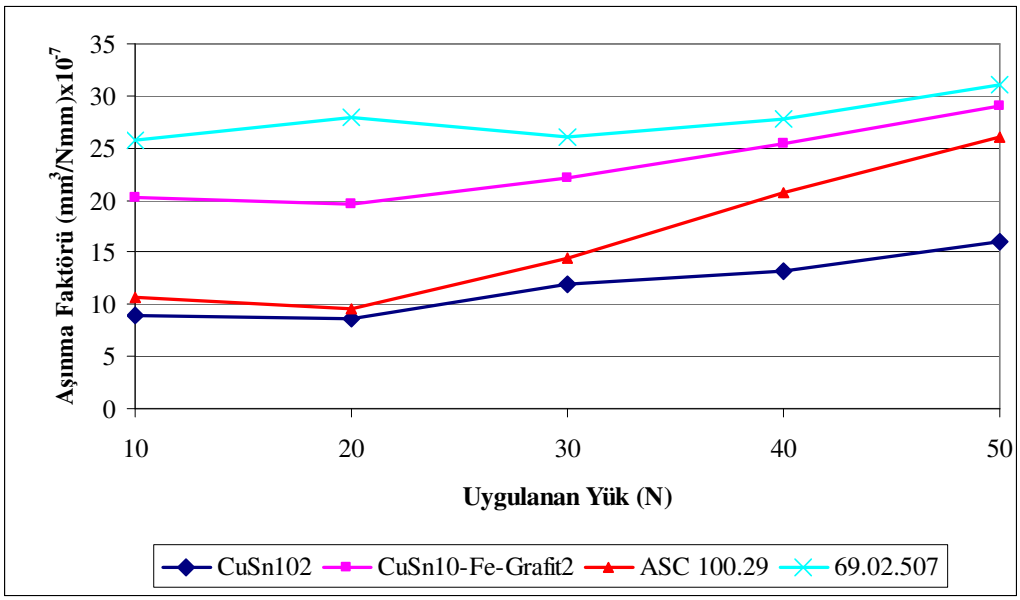
A_f : Aşınma faktörü (mm^3/Nmm)
v : Hacim (mm^3)
F : Uygulanan yük (N)
L : Kayma mesafesi (mm)



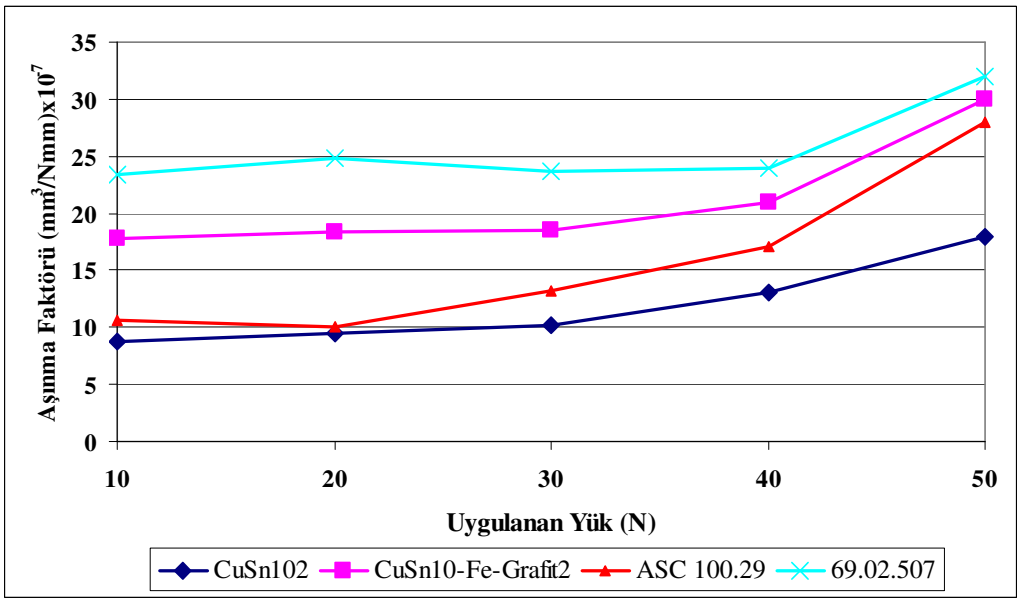
Şekil 10.29. 2000 m'lik kayma mesafesi V:0.94 m/sn'de aşınma faktörü ile yük değişimi



Şekil 10.30. 2000 m'lik kayma mesafesi V:0.66 m/sn'de aşınma faktörü ile yük değişimi



Şekil 10.31. 2000 m'lik kayma mesafesi V:0.44 m/sn'de aşınma faktörü yük değişimi



Şekil 10.32. 2000 m'lik kayma mesafesi V:0.22 m/sn'de aşınma faktörü ile yük değişimi

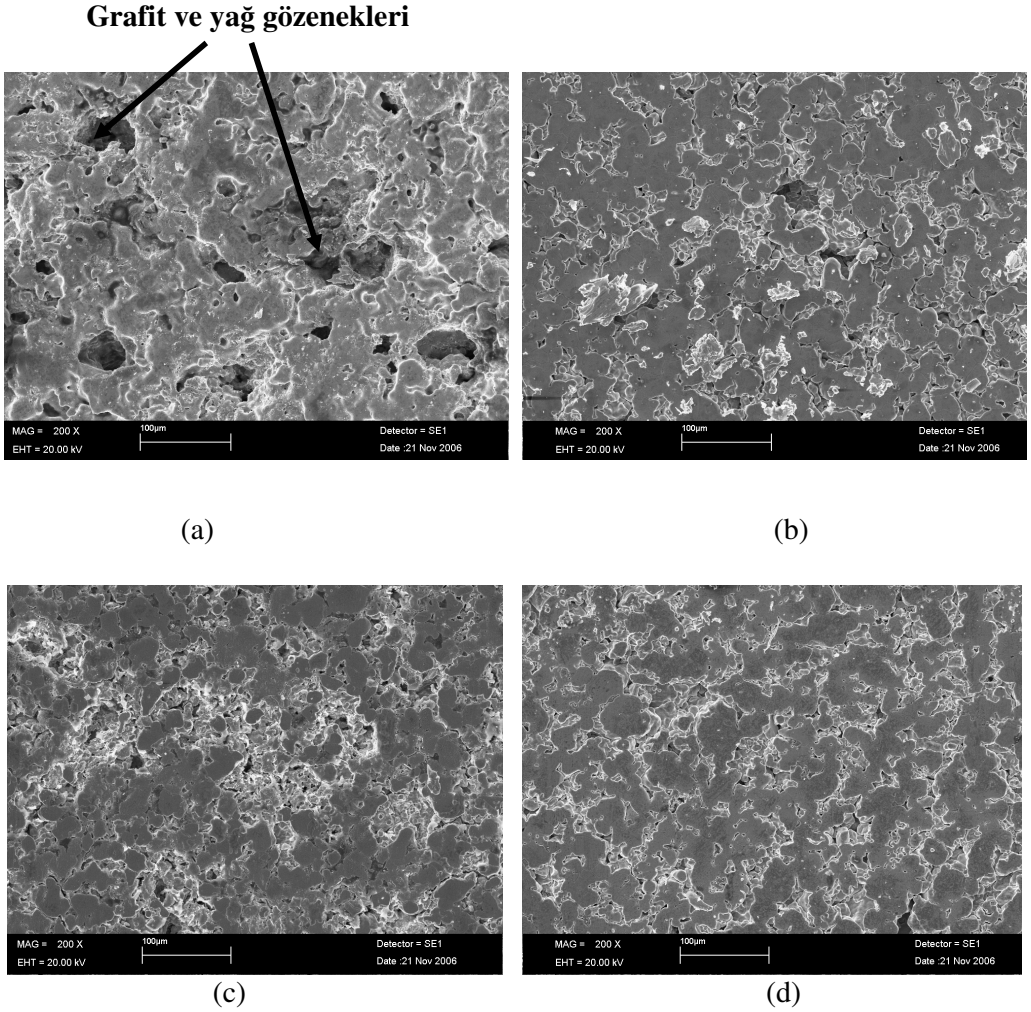
10.1. Mikro Yapı Çalışmaları

Üzerinde çalışılan yatak malzemelerin mikro yapı incelemeleri, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde aşınma deneyleri tamamlandıktan sonra incelenmiştir. Numunelerin gözenek dağılımı, gözenek büyüklüğü ve gözeneklerin birbiriyle bağlantısını incelemek için dağlanmamış halde, X100 büyütmeli SEM görüntüleri alınmıştır. Aşınma testi yapılan numunelerin X100 büyütmeli olarak aşınma izleri incelenmiştir. Ayrıca deney yapılmamış numunelerin de iç yapısı X200 büyütmeli olarak resimlendirilmiştir. Deney yapılan numunelerin iç yatak kısımlarındaki aşınma izlerinin daha net görüntülenmesi ve kolay gözlemlenmesi amacıyla, aşınmanın maksimum olduğu yerlerinden kesilerek incelemeye alınmıştır (Şekil 10.33).

Aşındırılmamış numunelerin mikro yapıları Şekil 10.34'de gösterilmiştir. Resimler incelendiğinde gözenelerin genelde küçük boyutlu (CuSn10 hariç) ve homojen dağıldığı gözlenmiştir. Bu durum yağ emmede ve çalışma esnasında yağ filminin oluşmasına önemli katkıda bulunur. İri yerel gözeneklerin yapıda bulunması yağlama esnasında istenmeyen bir durumdur (Arslan vd.,1996). Mikro yapılara bakılacak olursa CuSn10 bronz numunenin iç yapısında büyük boşluklar gözlenmektedir. Diğer numunelerde ise tanelerin eşeksenli ve homojen dağıldığı, tane boyutlarında önemli farklılıklar olmadığı, tane sınırlarının normal dağılım gösterdiği gözlenmektedir. Numunelerin iç yapı incelemelerine bakıldığında ise siyah kısımların grafit olduğu ve 69.02.507 numunesindeki grafitin diğerlerine göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.



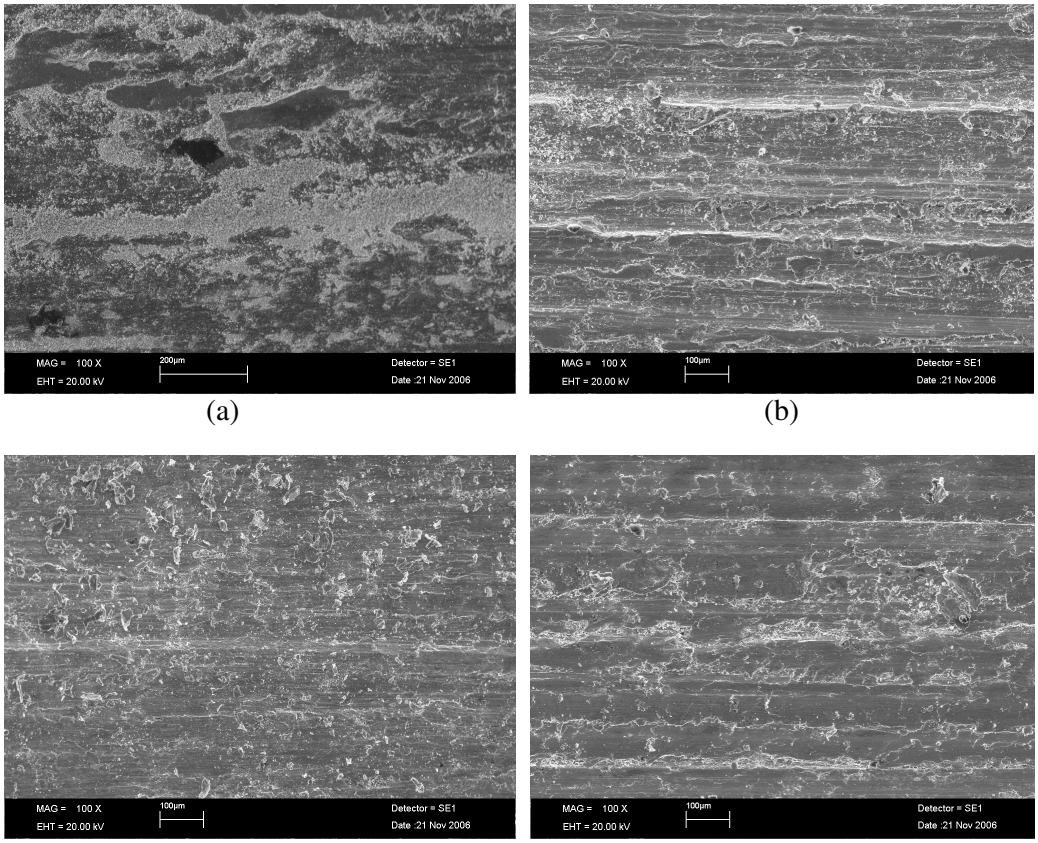
Şekil 10.33. Numunelerin kesilerek incelenmesi



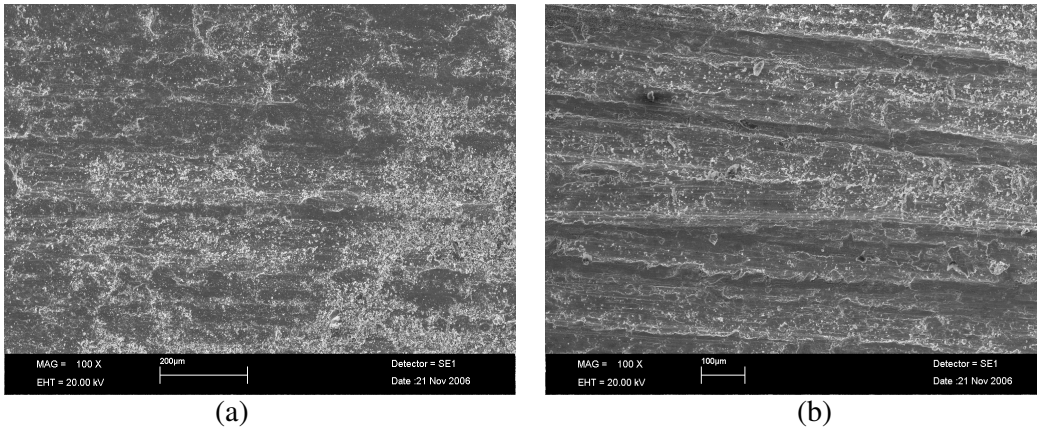
Şekil 10.34. Deney yapılmamış numunelerin mikro yapıları
1. CuSn10 bronz yatağın mikro yapısı
2. ASC 100.29 yatağın mikro yapısı
3. CuSn10-Fe-Grafit yatağın mikro yapısı
4. 69.02.507 yatağın mikro yapısı

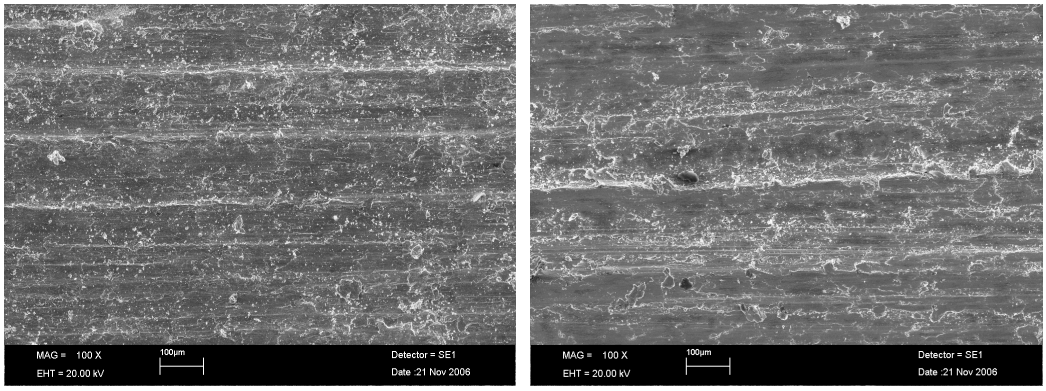
SEM cihazında numune gruplarının dağlanmamış haldeki X100 büyütmeli aşınma yüzeyi resimleri Şekil 10.35, Şekil 10.36, Şekil 10.37, Şekil 10.38, Şekil 10.39, Şekil 10.40'da gösterilmiştir. Farklı devirlerde ve farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde sonucunda çıkan SEM görüntülerinden, aşınma çizikleri net olarak görülebilmektedir.

Görüntülerin geneline bakıldığında, CuSn10 Bronzunda aşınmaya ait çiziklerin daha az hatta olmadığı gözlemlenmiştir. Bu da bu numunenin mil üzerindeki etkisinin az olduğunu dolayısıyla mili daha az aşındırdığını söyleyebiliriz.



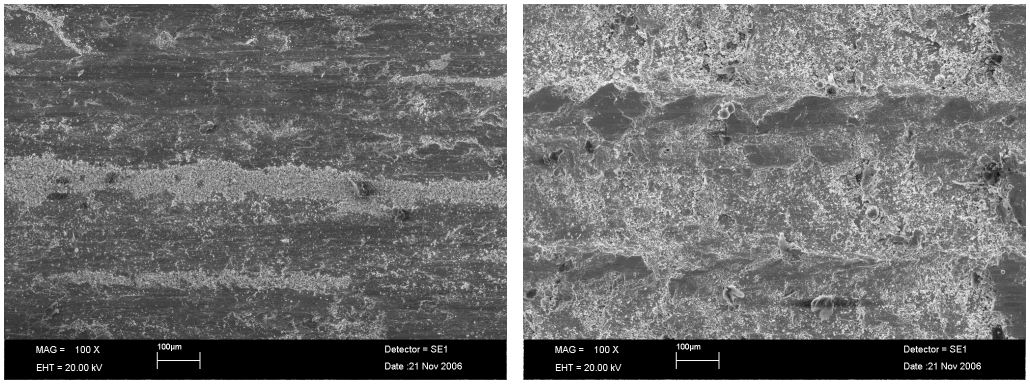
Şekil 10.35. 1100 d/dk ve 30 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri
a) CuSn10 bronz yatağın aşınma izleri
b) ASC 100.29 yatağın aşınma izleri
c) CuSn10-Fe-Grafit yatağın aşınma izleri
d) 69.02.507 yatağın aşınma izleri



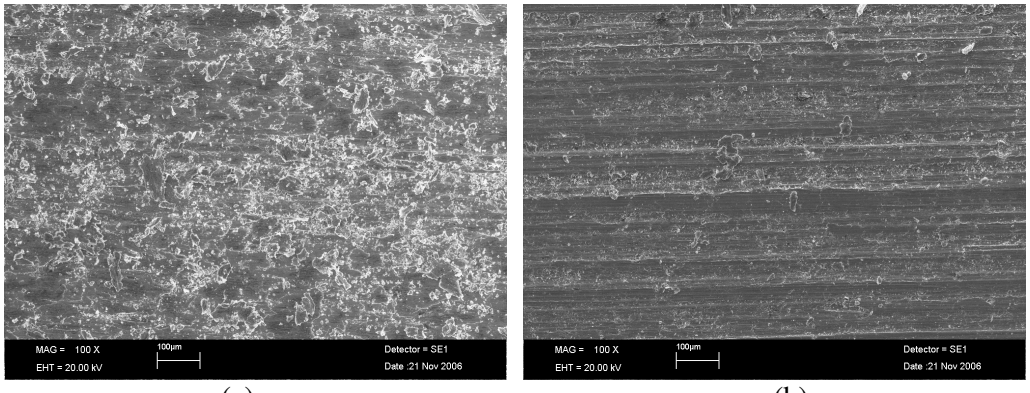


(c) (d)

Şekil 10.36. 355 d/dk ve 30 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri
a) CuSn10 bronz yatağın aşınma izleri
b) ASC 100.29 yatağın aşınma izleri
c) CuSn10-Fe-Grafit yatağın aşınma izleri
d) 69.02.507 yatağın aşınma izleri

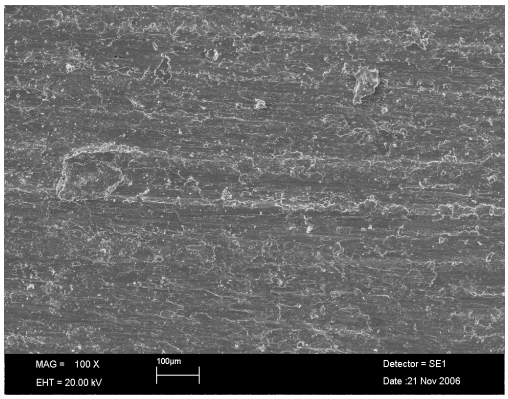


(a) (b)

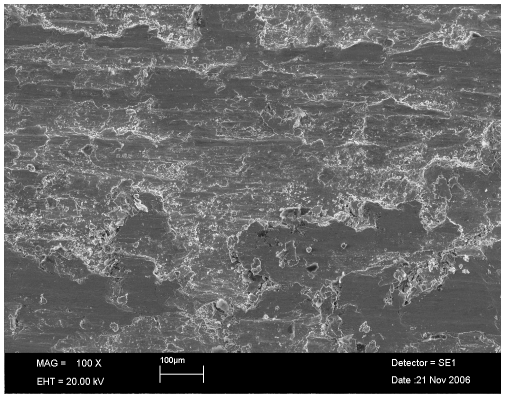


(a) (b)

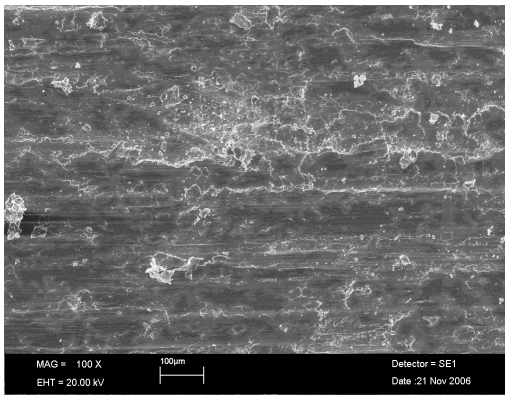
Şekil 10.37. 1100 d/dk ve 40 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri
a) CuSn10 bronz yatağın aşınma izleri
b) ASC 100.29 yatağın aşınma izleri
c) CuSn10-Fe-Grafit yatağın aşınma izleri
d) 69.02.507 yatağın aşınma izleri



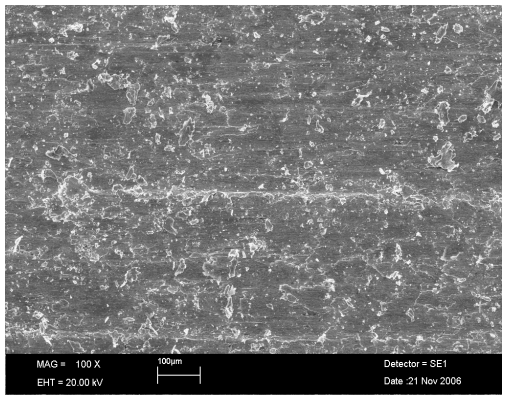
(a)



(b)

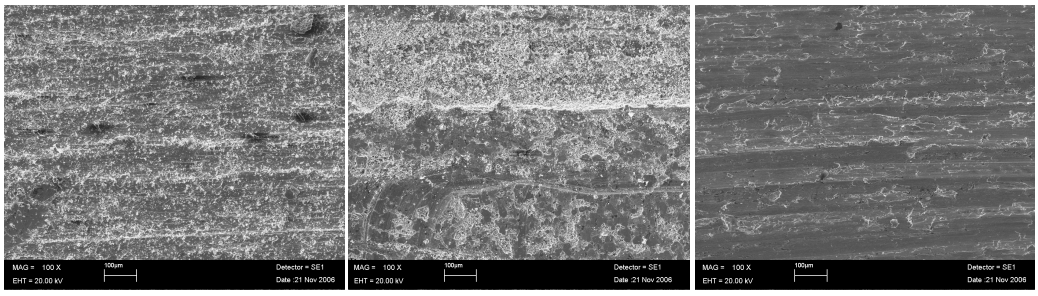


(b)



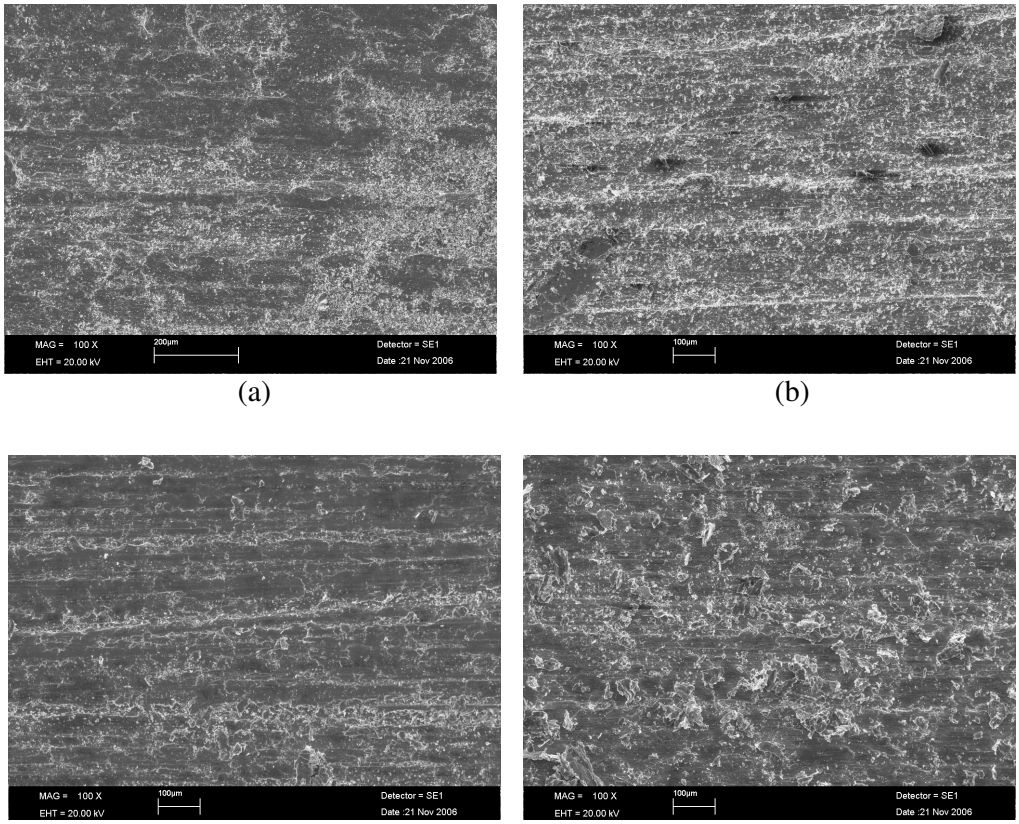
(d)

Şekil 10.38. 355 d/dk ve 50 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri
a) CuSn10 bronz yatağın aşınma izleri
b) ASC 100.29 yatağın aşınma izleri
c) CuSn10-Fe-Grafit yatağın aşınma izleri
d) 69.02.507 yatağın aşınma izleri



(a) (b) (c)

Şekil 10.39. 710 d/dk ve 30 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri
a) ASC 100.29 yatağın aşınma izleri
b) CuSn10-Fe-Grafit yatağın aşınma izleri
c) 69.02.507 yatağın aşınma izleri



Şekil 10.40. 710 d/dk ve 20 N yük altında çalışan numunelerin aşınma izleri
a) CuSn10 bronz yatağın aşınma izleri
b) ASC 100.29 yatağın aşınma izleri
c) CuSn10-Fe-Grafit yatağın aşınma izleri
d) 69.02.507 yatağın aşınma izleri

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bütün deneyler sonucunda farklı içerikli T/M kaymalı yatakların aşınma özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kaymalı yatakların aşınma özellikleri hakkında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. T/M yataklar üzerine uygulanan yük artıkça, ağırlık kaybının arttığı görülmüştür. En yüksek ağırlık kaybı 50 N yük altında, 0.94 m/sn çevresel hızda ve 69.02.507 yatak numunesinde ortaya çıkmıştır. 69.02.507 kaymalı yatak numunesi bu nedenle yağ pompa dişlisi, rotor yağlı ortamlarda çalışmaktadır. Kaymalı yatak uygulamasına müsait değildir. Bronz içerikli yatakların daha uygun olduğu tespit edilmiştir.
2. Çevresel hız ve uygulanan yük sabit bırakılıp ağırlık kaybı değerlerine bakıldığında, Bronz içerikli numunelerin daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Zira numuneler arasında en az ağırlık kaybı CuSn10 bronzunda oluşmuştur. Demir numunelerin ÖZELLİKLE DE Fe-Grafit numunesinin fazla yüklenme durumunda mili aşırı derece aşındırdığı ve zaman zaman kilitlenmeler olduğu görülmüştür. Sonuç olarak demir esaslı kaymalı yataklar düşük devirlerde, bronz esaslı olanların ise yüksek devirlerde daha iyi sonuçlar vermektedir.
3. En düşük sürtünme katsayısı CuSn10 bronz numunede, en yüksek sürtünme katsayısı ise 69.02.507 numunesinde bulunmuştur. Numuneler arasında en iyi yağlama özelliklere sahip olan CuSn10 bronz yatağın olduğu kanısına varılmaktadır.
4. Deneyler neticesinde kayma mesafesi ile ağırlık kaybının doğru orantılı olduğu ispatlanmıştır. Yük sabit tutulup, kayma mesafesi attığında ağırlık kaybının da arttığı görülmüştür.
5. Yatakların uygun PV değerinde kullanılması durumunda aşınma miktarı azalmaktadır. Çevresel hız sabit bırakılıp, yük miktarı arttırıldığında PV değerlerinde de artışlar gözlenmiştir. Ayrıca çevresel hızın arttırılmasıyla da PV değerlerindeki artışlar meydana gelmiştir. Kaymalı yatak seçinde önem arz eden PV değeri, daha iyi aşınma kuvveti ortaya çıkartır.

Diyebiliriz ki uygun PV değeri kullanılması durumunda aşınma miktarı azalmaktadır.

6. Uygulanan yük ve çevresel hızın sabit olduğu durumda numunelerden en düşük sürtünme katsayısına sahip olanın, μ=045 değeri ile CuSn10 bronzu olduğu ortaya çıkmıştır.
7. Deney yapılmamış halde kaymalı yatak numunelerin mikro yapıları incelendiğinde en büyük boşluklara, farklı gözenek dağılımına sahip olanın CuSn10 bronzu olduğu gözlenmiştir. Bu numunenin sağladığı avantajlar da yağlamanın daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır.
8. Mikroyapı incelemelerine bakıldığında CuSn10 bronzundaki farklılık ortaya çıkmıştır. Diğer demir içerikli numunelerde bilhassa 69.02.507 numunede derin çizikler meydana geldiği açıkça görülmektedir.
9. SEM sonuçlarına bakıldığında CuSn10 Bronz malzemesindeki aşınma izleri diğer numunelere göre daha az olmuş ve derin izler oluşmamıştır. Bu sebeple de mili daha az aşındırmıştır. 69.02.507 numunesinde ise sert malzeme oluşundan dolayı aşınma daha belirgin yapısı daha sıkı olduğu gözlemlenmiştir.

12. KAYNAKLAR

1. AKKURT, M. 1990. Makine Elemanları, Cilt I, İstanbul.
2. ARSLAN, F., CİNBAT, S., DÖNMEZ, A.G. 1996. Gözenekli Bronz İmalinde Üretim Parametrelerinin Yatak Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 429-440, Ankara.
3. AY, İ., DEMİRCİOĞLU, T.K. 2006. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Balıkesir.
4. BACKENSTO, A.B. 1990. Effects of Lubricants on the Properties of Copper-Tin Powders and Compacts, Advances in P/M, Proc.of PM Conf., APMI, pp. 303-3014, N.Jersey.
5. BAKSAN, B., GÜRLER, R. 2005. Toz Metalurjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması, Osmangazi Üniversitesi Metalurji Enstitüsü, Eskişehir.
6. BEDDOW, J.K. 1978. The production of metal powders by atomization, hayden and son Ltd, Philadelphia.
7. BÜYÜKDAVRAZ, M. 2000. Sinter Bronz Yatakların Tribolojisi, Y.Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
8. CUSANO, C. PHELAN, R.M. 1973. Experimental Investigation of Porous Bronze Bearings, Journal of Lubrication Technology, Vol.95,pp. 173-180.
9. ÇAYDAŞ, U., HASÇALI, A. 2005. CNC tornada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, Teknoloji Dergisi, Sayı 2, Cilt 8, Sayfa 167-172. Elazığ.
10. ÇUVALCI, H. 2000. Çinko-Alüminyum Esaslı Ticari ZA-27 Kaymalı Yatağın Sürtünme Davranışının İncelenmesi, Trabzon.
11. DEMİRAL, M., YAŞAR, M. 2006. CU-AL-FE alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi, Teknoloji Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, Sayfa 17-26. Z.K.Ü., Zonguldak.
12. EKİNCİ, Ş., 2005. Tuz Banyosunda Nitrürlemenin AISI 4140 Çeliği Üzerindeki Aşınmaya Etkisi, Y.Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
13. ERSÜMER, A.1970. Toz Metalürjisi Sert Metal Sinterleme Kitabı, İTÜ Matbaası, İstanbul.
14. GERMAN, R.M. 1984. Powder Metallurgy Seience. Metal Powder Industrics Federation, Princeton, 278p., New Jersey.

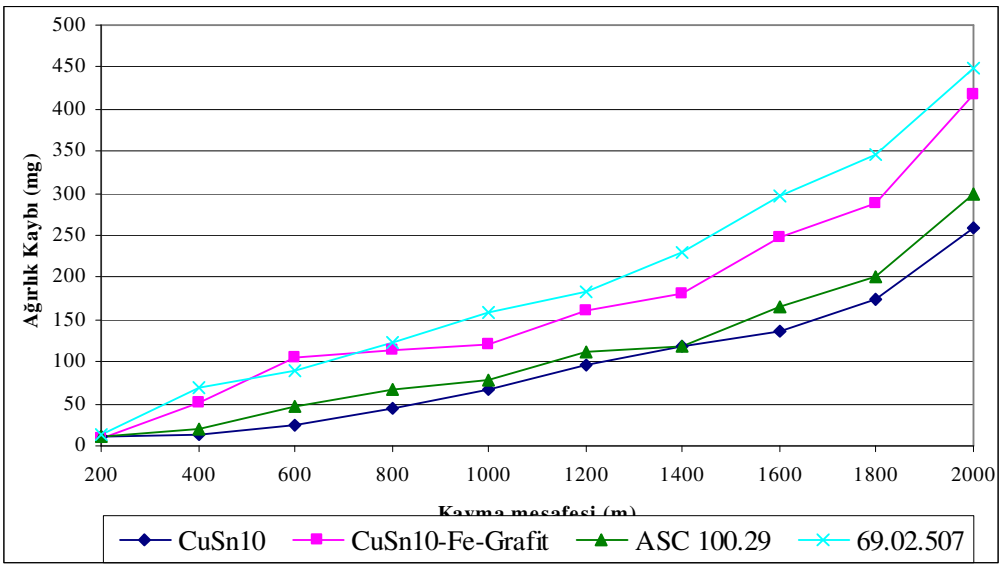
15. GERMAN, R.M. 1985. Liquid Phease Sintering, Plenum Pres, 185p. New York.
16. GÜNTHER, B., KANAZAWA, I. Self Lubricating Iron Base Materials by Mechanical Alloying, EURO PM 95 Proceedings, pp. 119-125, Birmingham.
17. GÜRLEYİK, M.Y. 1986. "Soğuk Deformasyonla aşınma direnci arttırılabilir.", 2. Ulusal Makine ve İmalat Kongresi, Sayfa 501-510, ODTÜ, Ankara.
18. HASHİMATO, Y., KONEKO, S. 1995. A Study of the Mecanism of Lubrication in Porous Journal Bearings Effects of Dimensionless Oil Feed Pressure on Frictional Charecteristics, Journal of Tribology, 291-296.
19. KARAARSLAN, R. 2002. Titreşimli sabit gerilmede T/M esaslı radyal yatakların aşınma ve sürtünme özelliklerini deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
20. KARATAŞ, Ş., ZEREN, M. 1996. Elmaslı Kesici Takımların Mikroyapısal Dizaynı Üzerine Araştırmalar, I. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 459-463. Ankara.
21. KUMRU, N., TEKİN, A., ŞAHİN, S. 2003. Toz Metalurjisi Uygulamaları, Metal Dünyası Dergisi, Celal Bayar Üniversitesi. Manisa.
22. KURBANOĞLU C., DURAK, E., TUNAY R.F. 2001. Değişken Yüklü T/M Esaslı Kaymalı Yataklardaki Sürtünme Kuvvetinin Ölçülmesi, TMMOB-IV. Ulusal Ölçüm bilim Kongresi, s.33-46, Eskişehir.
23. KURT, A. 1992. Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri, Y.Lisans Tezi, G.Ü.F.B.E., Ankara.
24. KURT, A., SARITAŞ, S. 1992. Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerin Özellikleri. 5. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi. s. 551-563, Ankara.
25. KURT, A., TÜRKER, M., SARITAŞ, S. 1996. Toz Metalurjisi Metoduyla Üretilmiş Bakır Yatakların Aşınma Özellikleri, 1 Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı. s. 419-427, Ankara.
26. KURT, A. 2001. Kendi Kendini Yağlayan Toz Metal Yataklar, Türk Toz Metalurjisi Derneği Haber Bülteni, Sayı 17, Sayfa 4,Ankara.
27. KURT, A.O. 2006. Toz Metalurjisi Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak. Malzeme Metalurji Mühendisliği, Sakarya.

28. KURT, A.O., KUBAT, C., ÖZTEMEL. 2006. Web-Based Virtual Testing and Learning in Material Science and Engineering, Int. J. Eng. Educ. (Special Issue: Knowledge Building in Materials Science) 22 (5) pp.986-992, Sakarya.
29. LEVENT, M. 2005. Dişli çarklarda aşınma, Lisans Tezi, S.Ü.Teknik Eğitim Fakültesi, Konya.
30. MATİK, U., ÇITAK, R. 2005. Toz metalurjısı ile üretilmiş demir esaslı parçaların akımsız nikel kaplanmasında asidik ve bazik çözeltilerin kaplama miktarına etkisi, Teknoloji Dergisi, Cilt. 8, Sayı 1, Sayfa 51-56. Zonguldak.
31. MURALİ, K., ASHOK, S., KRİSHNA, C. 1998. Low Cost Alternative to MoS_2 as Solid Lubricant for Bronze Bearings, PM World Congress, Tribology/Friction, 307-315.
32. ÖVEÇOĞLU, M.L. 1997. Toz Metalurjisi, 9. Uluslararası Makine ve malzeme Sempozyumu, 449-475, İstanbul.
33. PEİSSKER, E. 1974. Pressing and Sintering Charecteristics of Powder Mixtures for Sintered Bronza 90/10 Containing Different Amounts of Free Tini Modern Devolopments in Powder Metallurgy, 3, 597-615.
34. SARITAŞ, S. 1985. Çelik Toz Dövmecilik, ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi, 3(11), 1-26, Ankara.
35. SARITAŞ, S. 1994. Toz Metalürjisi, Makina Mühendisleri El Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 65-82, Ankara.
36. SAVAŞKAN, T., PÜRÇEK, G. 2000. Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Aşınma Özellikleri, Tübitak, s.25-35, Trabzon.
37. SCHATT, W., WİETERS, K.P. 1997. Powder Metallurgy, Processing and Materials, EPMA Shrewsbury, UK p492.
38. SOLMAZ, E., BABALIK, F.C., ÖZTÜRK F. 2002. Dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yataklarda çoklu kriter tabanlı tasarım optimizasyon çalışmaları, U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt.7, Sayı. 1, Sayfa. 57-70. Bursa.
39. TANBERK, O. 1997. Toz Metalurjisinde Türkiye'nin Yeri, 9.Uluslararası Makine ve Malzeme Sompozyumu, Sayfa 477-481. İstanbul.

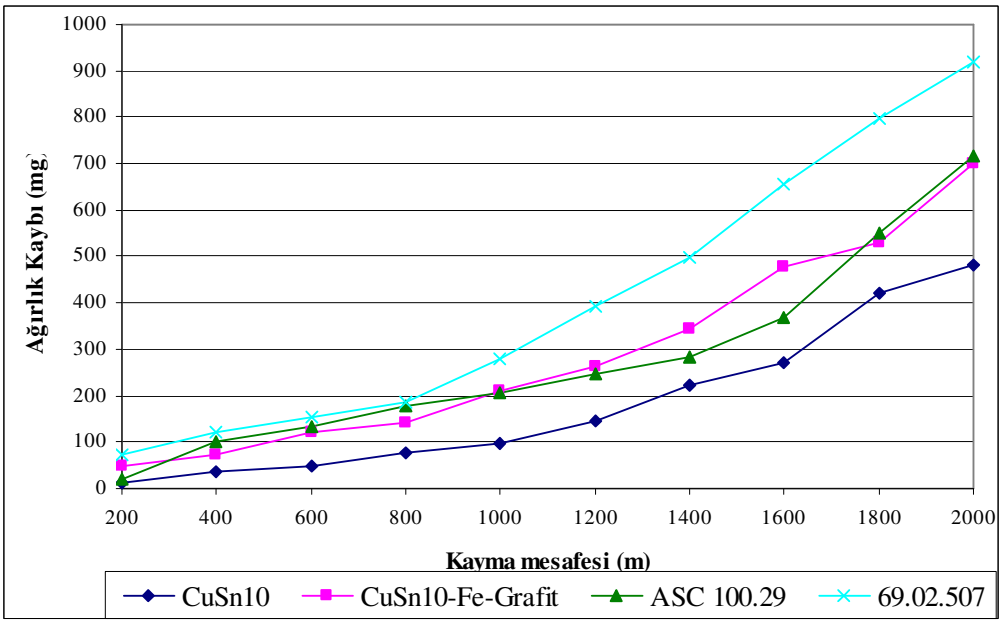
40. TUNAY, R.F. 2001. Tam Değişken Gerilmede T/M Esaslı Radyal Yatakların Aşınma ve Sürtünme Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
41. TUNAY, R.F., TÜFEKCİ, K., DURAK, E., KURBANOĞLU, C. 2004. Yağ katkı maddelerinin kaymalı yataklardaki sürtünme katsayısına ve aşınmaya etkilerinin deneysel incelenmesi, On Birinci Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, Antalya.
42. TÜFEKÇİ, K. 2003. Dinamik Yüklenmiş T/M Yatakların Farklı Sıcaklık Şartlarındaki Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Y.Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
43. TÜFEKCİ, K., KURBANOĞLU, C., DURAK, E., TUNAY, R.F. 2006. Friction and Wear Properties of Cu and Fe-Based P/M Bearing Materials, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.20. No 4. pp.513-521. Isparta.
44. Türk Standartları. 1978. Toz Metalurjisi Terimler, TS 3087.
45. ÜNAL, R., AKSOY, A. 2005. Gaz Atomizasyon Yöntemiyle Metal Tozu Üretiminde Değişken Toz Boyutuna Etkisi, T.T.M.D. Haber Bülteni, Sayı.30, Sayfa.4, Dumlupınar Üniversitesi Müh. Fakültesi, Kütahya.
46. ÜNLÜ, B., YILMAZ, S., VAROL, R. 2001. T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, Makina Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2005-2, sayfa 31-37.
47. ÜNLÜ, B.S., KÖKSAL N.S., ATİK E. 2003. Bakır Esaslı Bronz ve Pirinç Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması, D.E.Ü. Müh. Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, c.5, s.103-108, İzmir.
48. ÜNLÜ, B.S., ATİK E., MERİÇ C., KÖKSAL N. S. 2003. CuSn10 Yatak Malzemesinin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, P.Ü. Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, c.11, s. 41-45, Denizli.
49. ÜNLÜ, B.S., YILMAZ S.S., VAROL R. 2005. T/M Yatak Malzemelerin Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi. S. 31-37., Manisa.
50. ÜNLÜ, B.S., ATİK, E. 2005. Kalay-Kurşun Esaslı Yataklardaki Alaşım Elementlerinin Aşınmaya etkisi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Sayı.1, Sayfa 1-5. Manisa.

51. ÜNLÜ, B.S., ATİK, E, KÖKSAL, N.S. 2005. Al Esaslı Alaşım ve Partikül İlaveli Yatakların Aşınma Özellikleri, Metal Dünyası Dergisi, Sayı 145, 125-128.
52. ÜNLÜ, B.S., DURMUŞ, H., MERİÇ, C. 2006. SnPbCuSb (Beyaz Metal) Yataktaki Alaşım Elementlerinin Aşınmaya Etkisinin İncelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı 4, Sayfa 15-20. Manisa.
53. VAROL, R. 2001. Cu ve Fe Esaslı T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma Özellikleri, D.E.Ü. Müh. Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 3, Sayı 1. Sayfa 81-90, İzmir.
54. VAROL, R., TUNAY, R.F., TÜFEKÇİ, K. 2002. Toz Metal T/M Parçaların Elektron Işın Kaynağı İle Birleştirilmesi, Mühendis ve Makine, 43(513), 32-35. Isparta.
55. YALÇIN, B., VAROL, R., YILMAZ, N. 2004. Demir Esaslı Toz Metal (T/M) Yatakların Aşınma Özelliklerinin Bulanık Mantıkla (BM) Modellenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı.4, Sayfa. 1-8. Isparta.
56. YILDIZ, T., GÜR, A.K. 2006. Aşınma sistemleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Elazığ.
57. WANG, Y., BERGSTRO, J., BURMAN C. 2006. Four-point bending fatigue behaviour of an iron-based laser sintered material, Elsevier, Vol. 172, pp.77-87, Amsterdam.
58. Web Site: http://www.epma.com, EPMA, European Powder Metallurgy Association.
59. Web Site: http://www.mpif.org, MPIF, Metal Powder Industries Federation.
60. Web Site: http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm, TTMD, Türk Toz Metalurjisi Derneği.
61. Web Site: http://www.sinter-metal.com, Sinter Metal Technologies.
62. Web Site: http:// www.teknolojikarastirmalar.org.

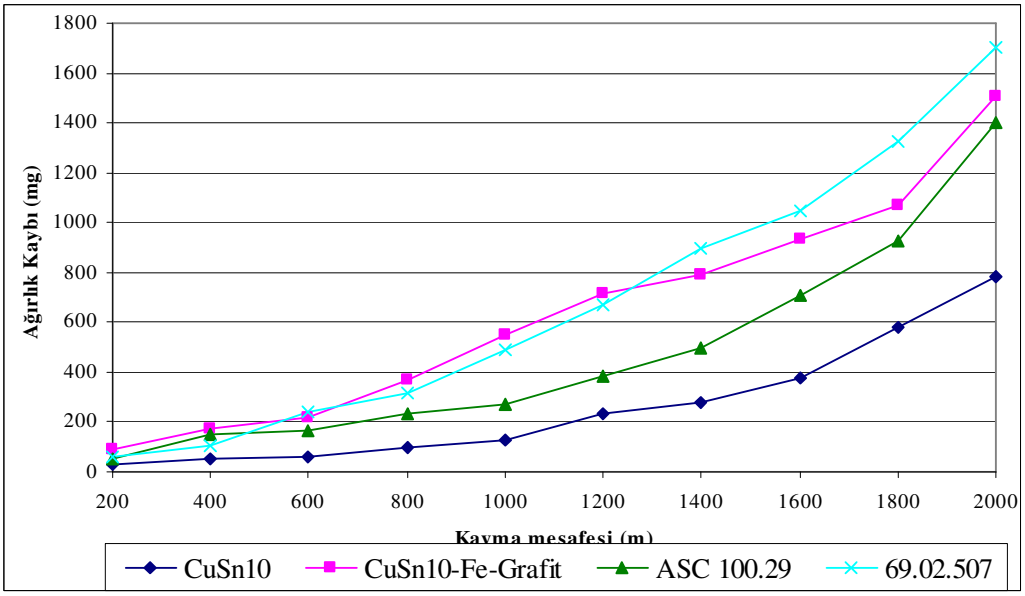
EKLER



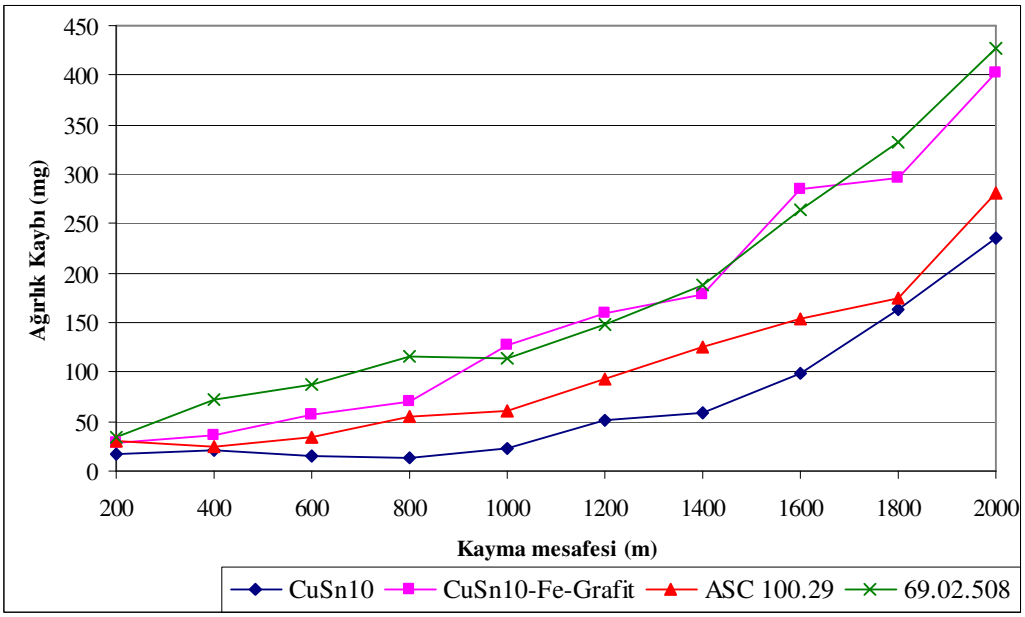
EK-A1. 0,22 m/sn ve 20N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



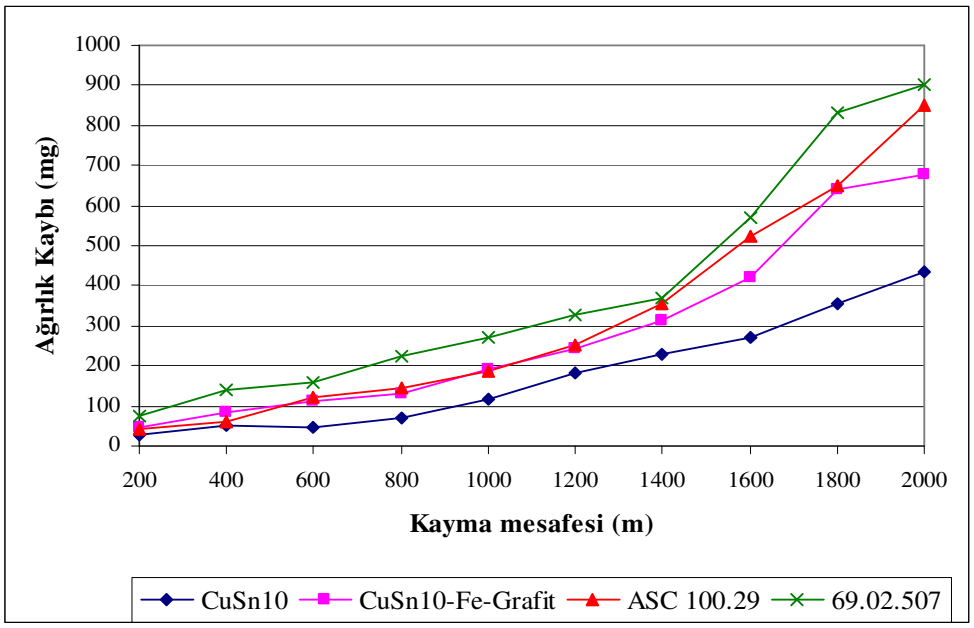
EK-A2. 0,22 m/sn ve 40N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



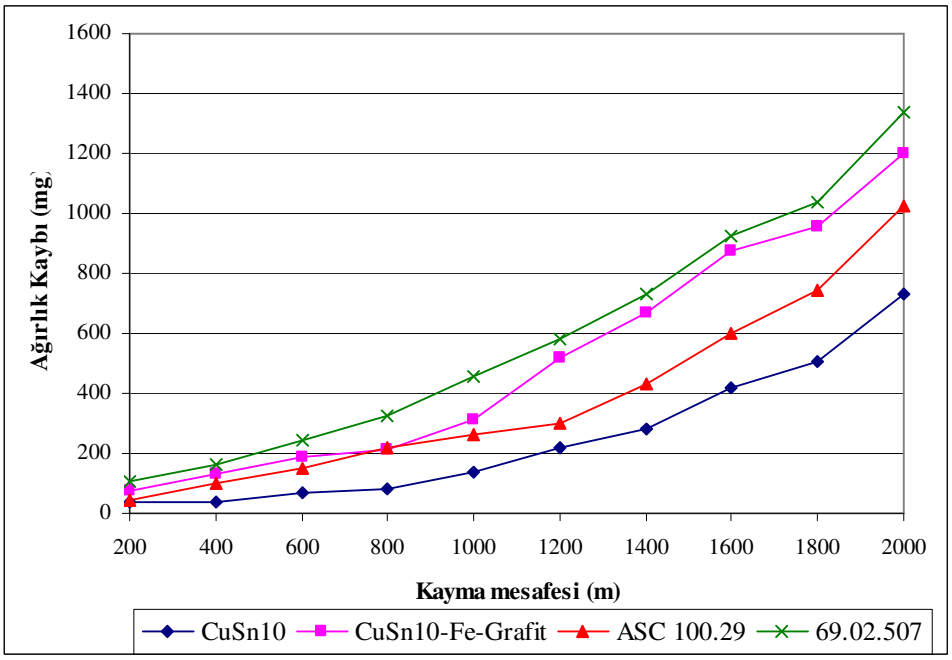
EK-A3. 0,22 m/sn ve 50N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



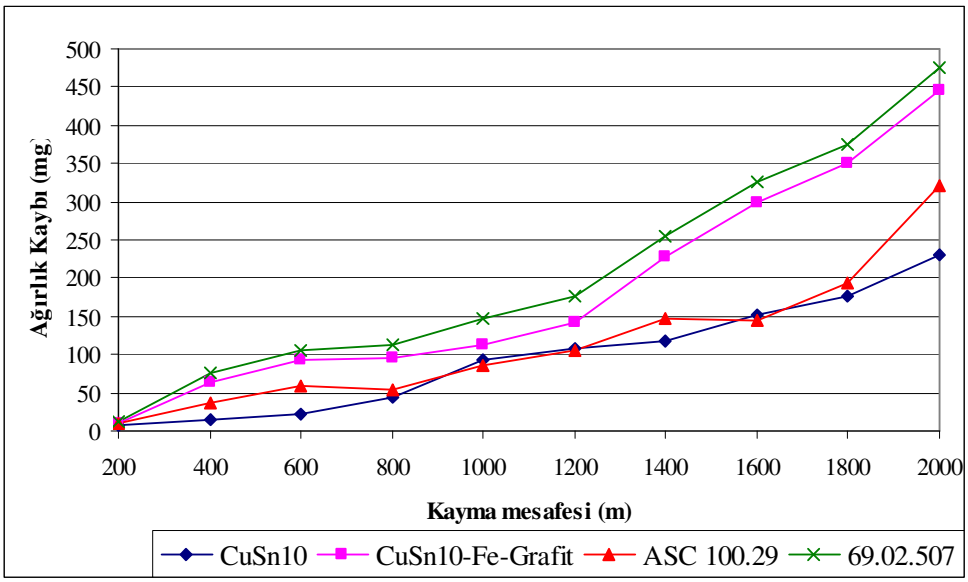
EK-B1. 0,44 m/sn ve 20N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



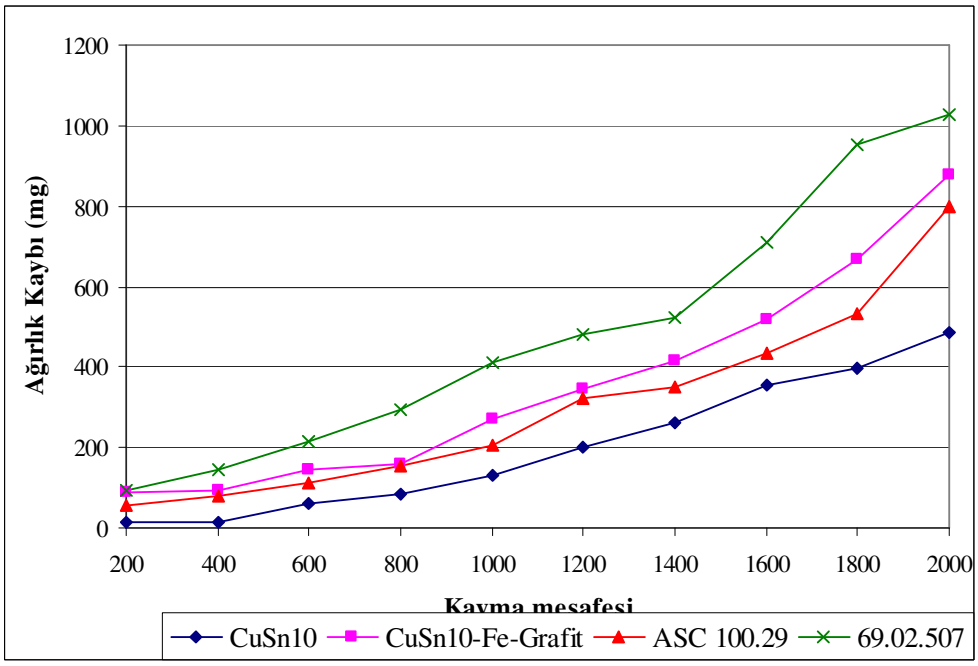
EK-B2. 0,44 m/sn ve 40N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



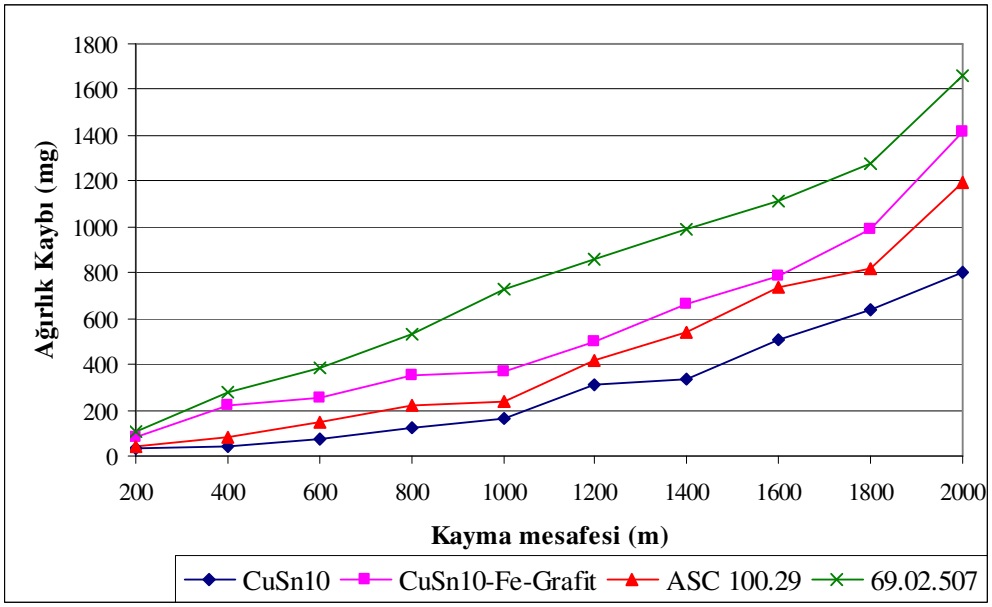
EK-B3. 0,44 m/sn ve 50N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



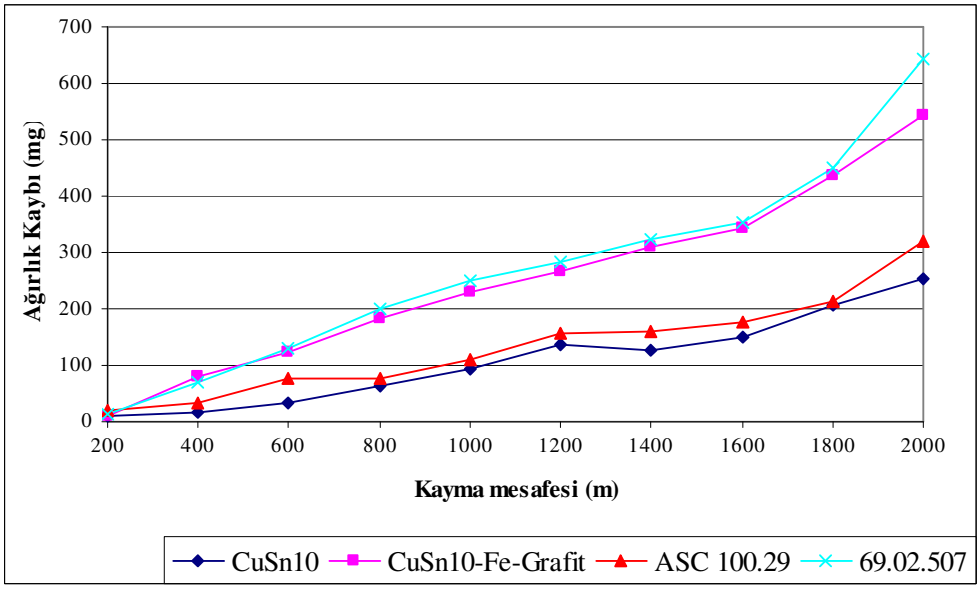
EK-C1. 0,66 m/sn ve 20N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



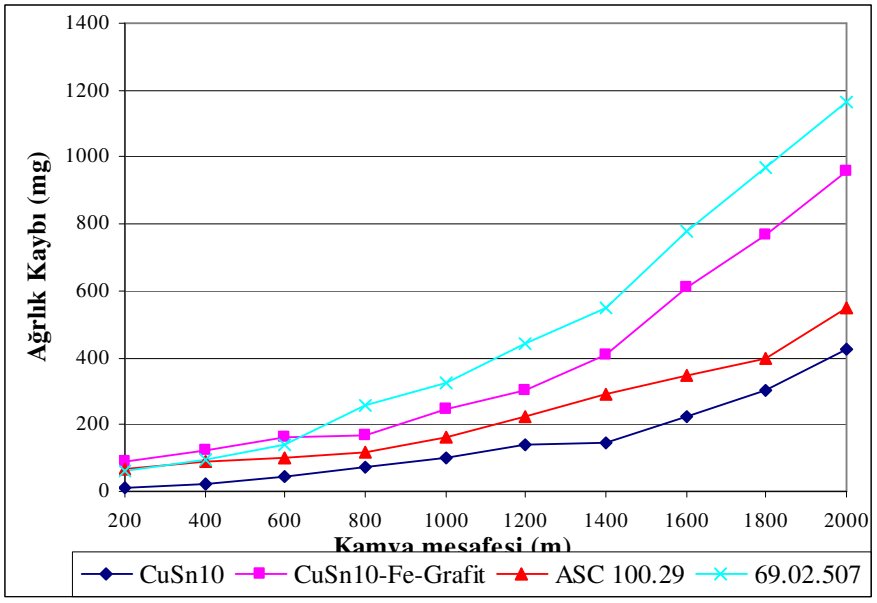
EK-C2 0,66 m/sn ve 40N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



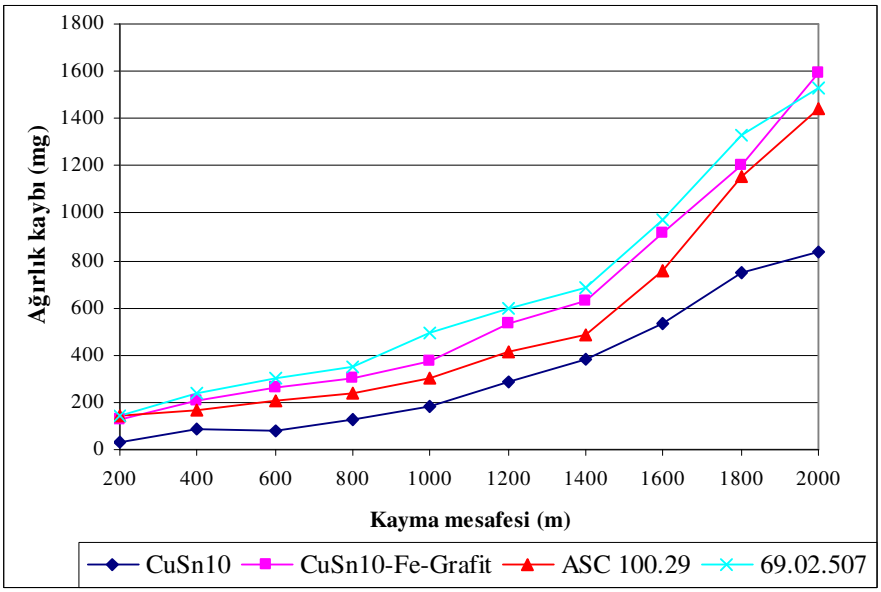
EK-C3. 0,66 m/sn ve 50N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



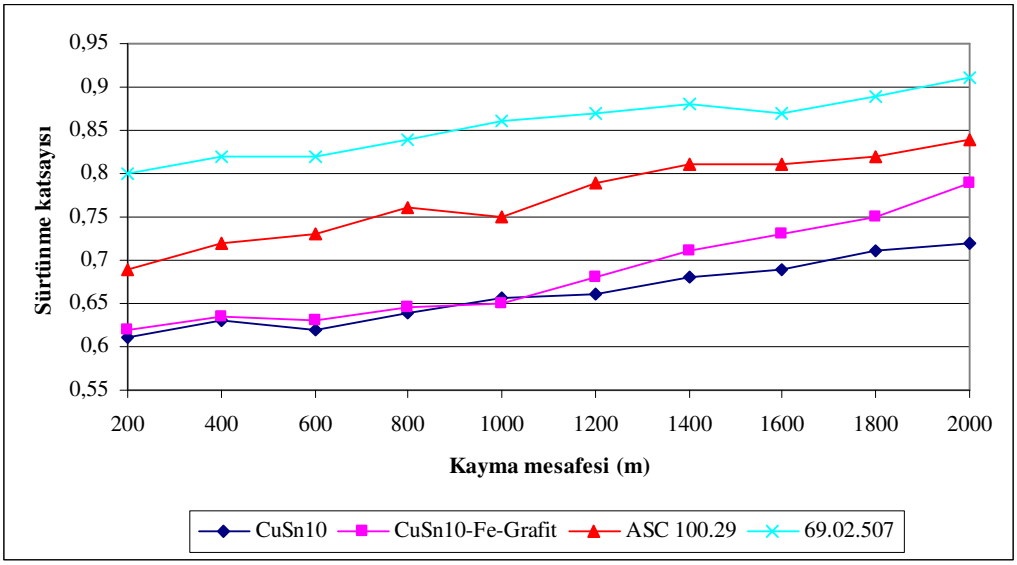
EK-D1. 0,94 m/sn ve 20N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



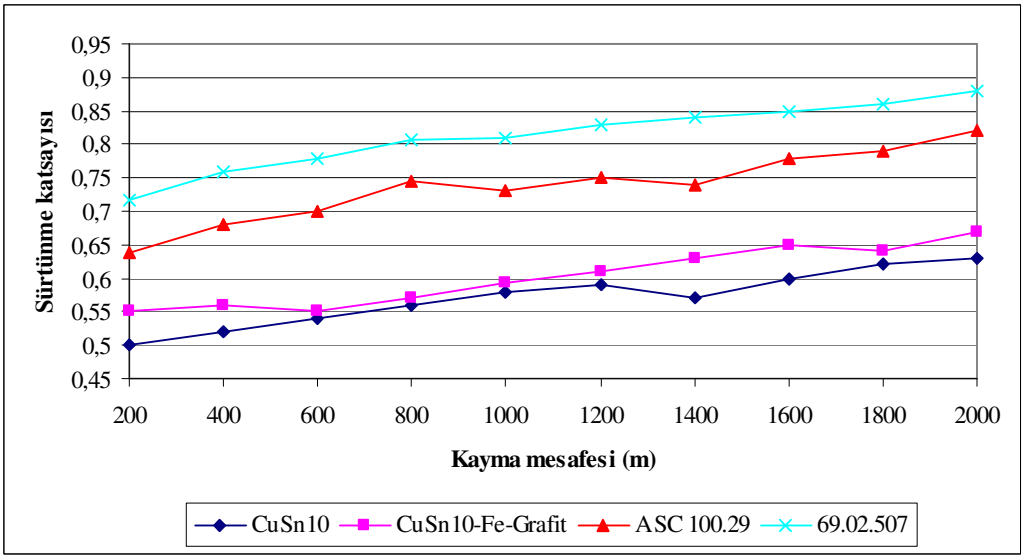
EK-D2. 0,94 m/sn ve 40N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



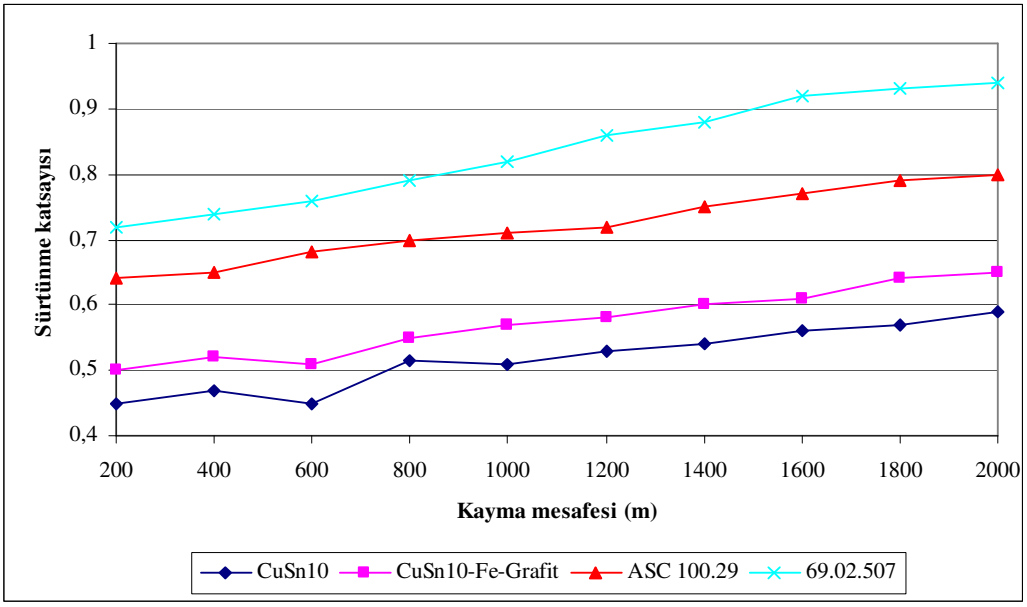
EK-D3. 0,94 m/sn ve 50N yük altında kayma mesafesi ağırlık kaybı değişimi



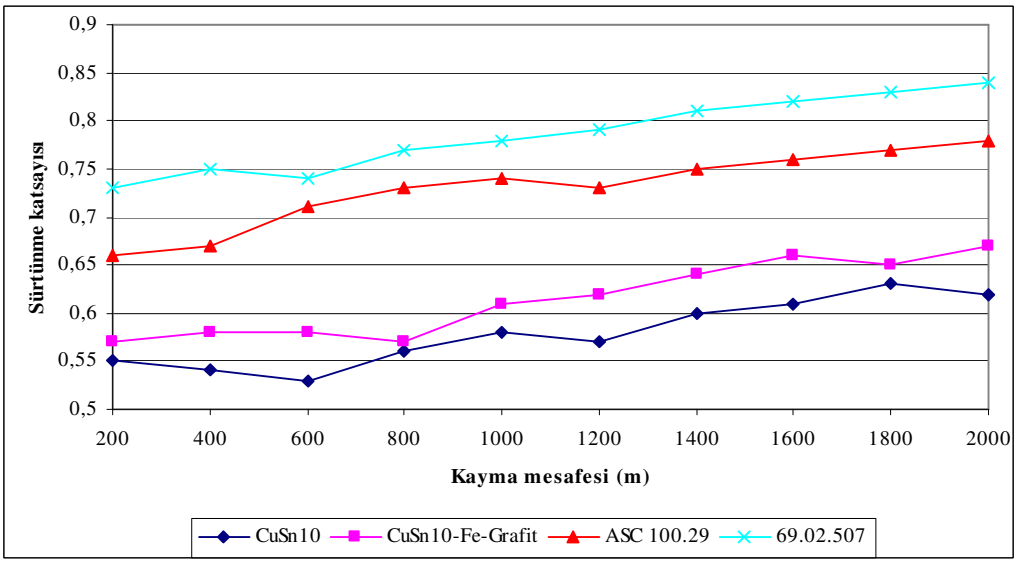
EK-E1. 0,22 m/sn ve 20 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi.



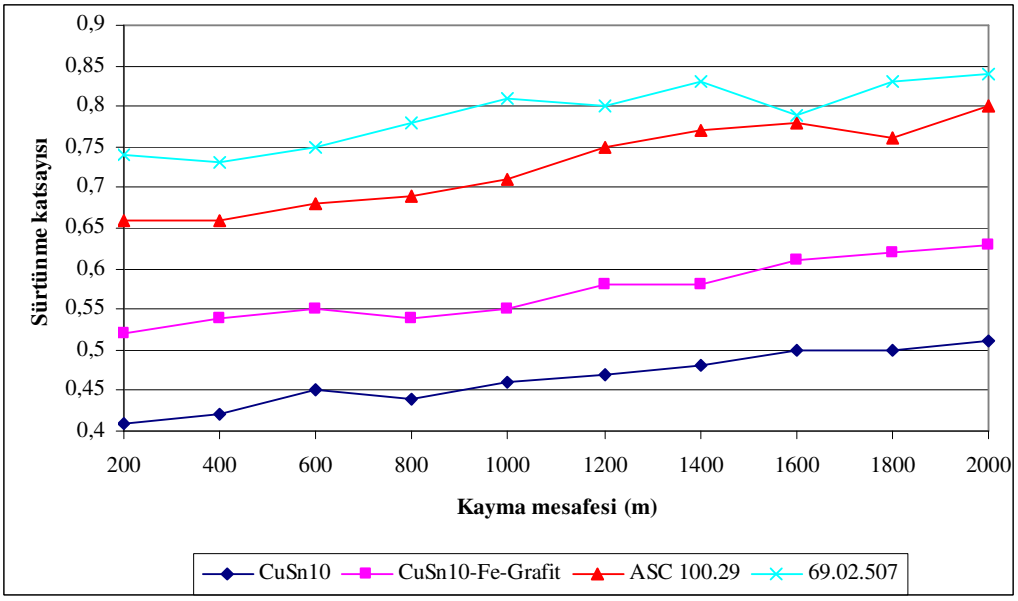
EK-E2. 0,22 m/sn ve 40 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi.



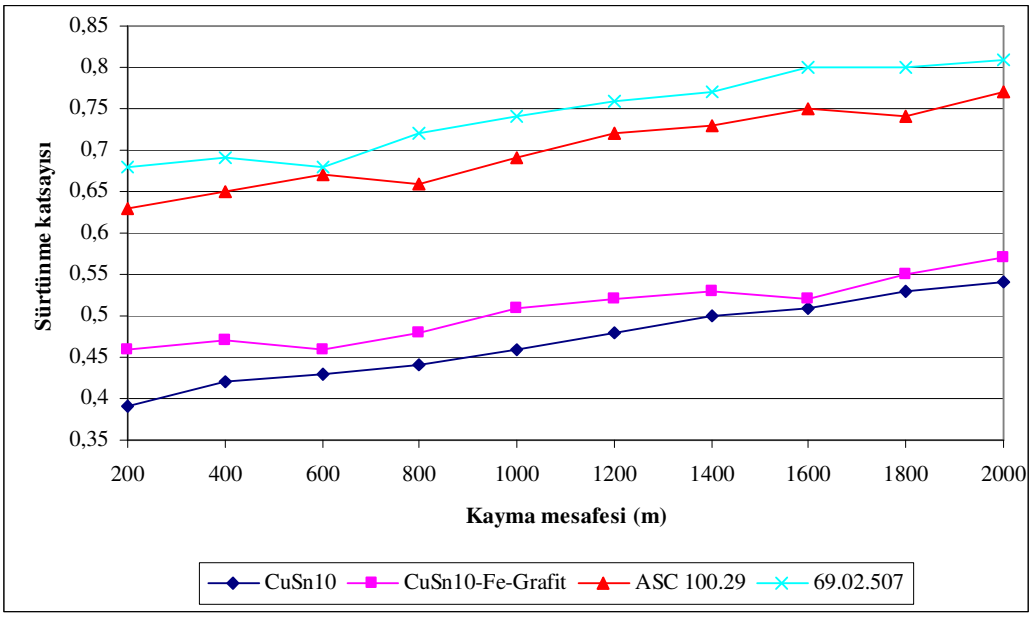
EK-E3. 0,22 m/sn ve 50 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi.



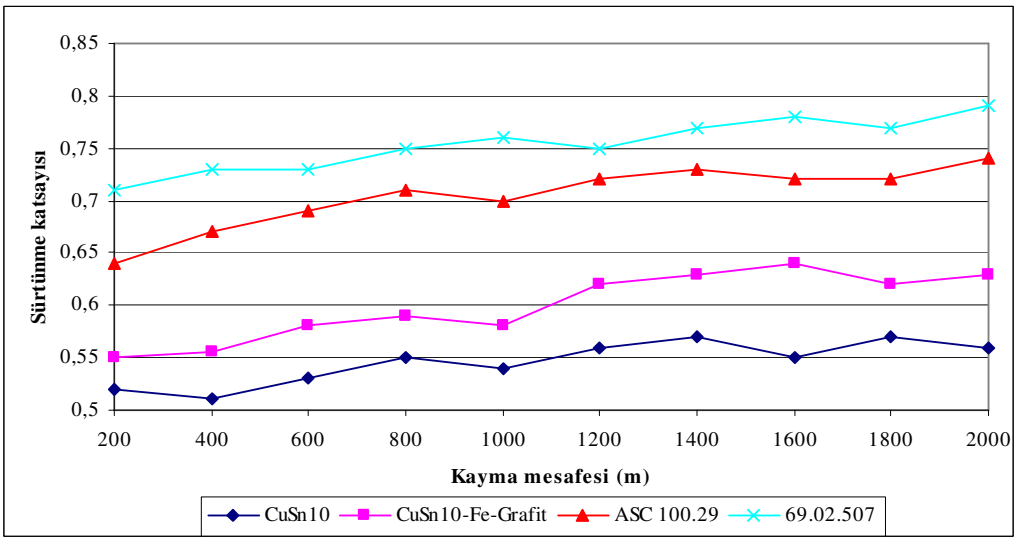
EK-F1. 0,22 m/sn ve 20 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi.



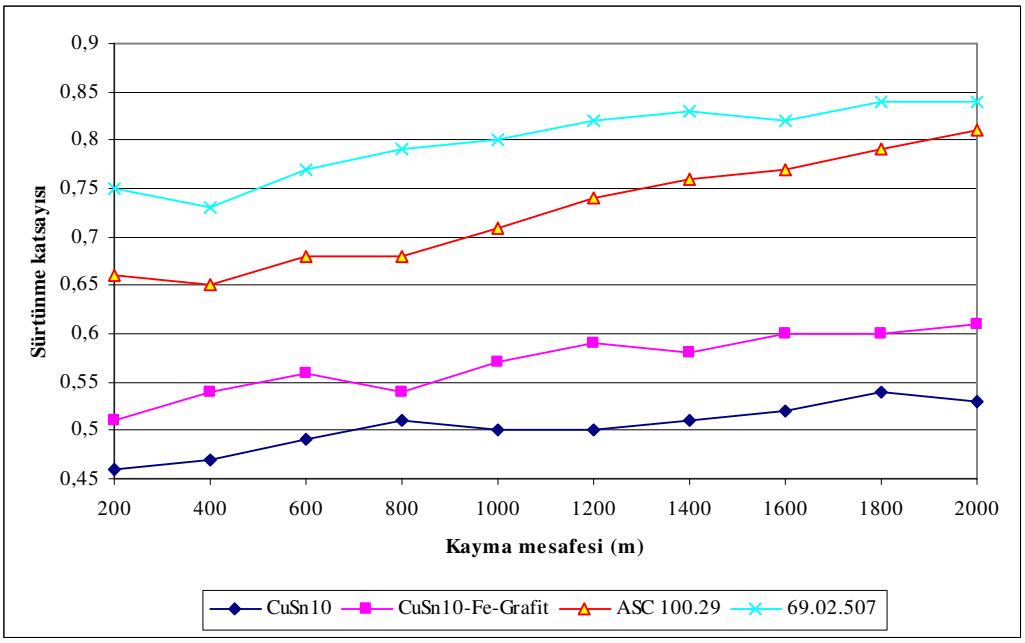
EK-F2. 0,44 m/sn ve 40 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



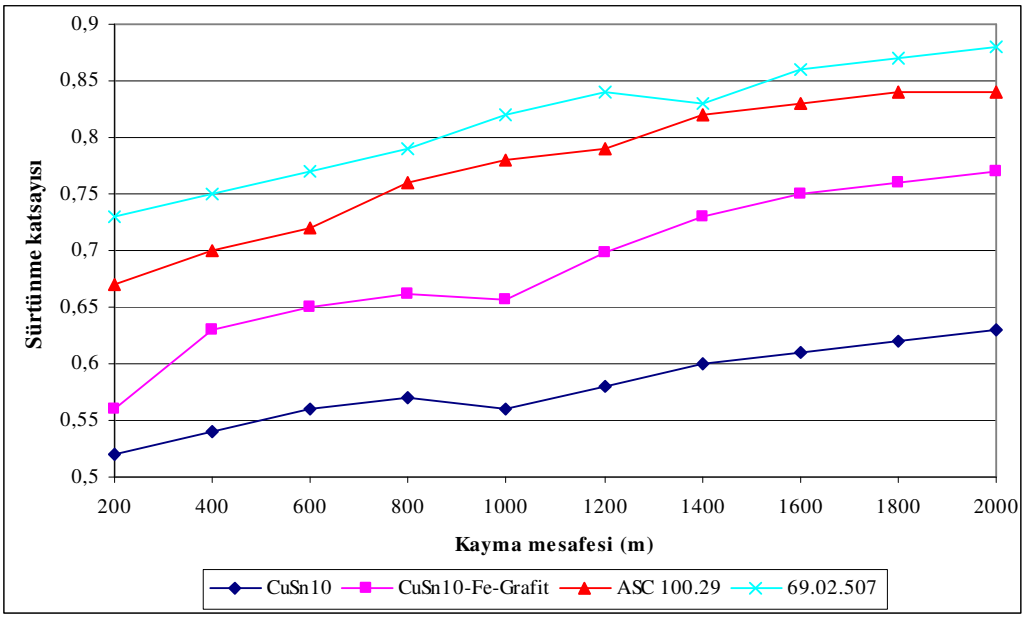
EK-F3. 0,44 m/sn ve 50 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



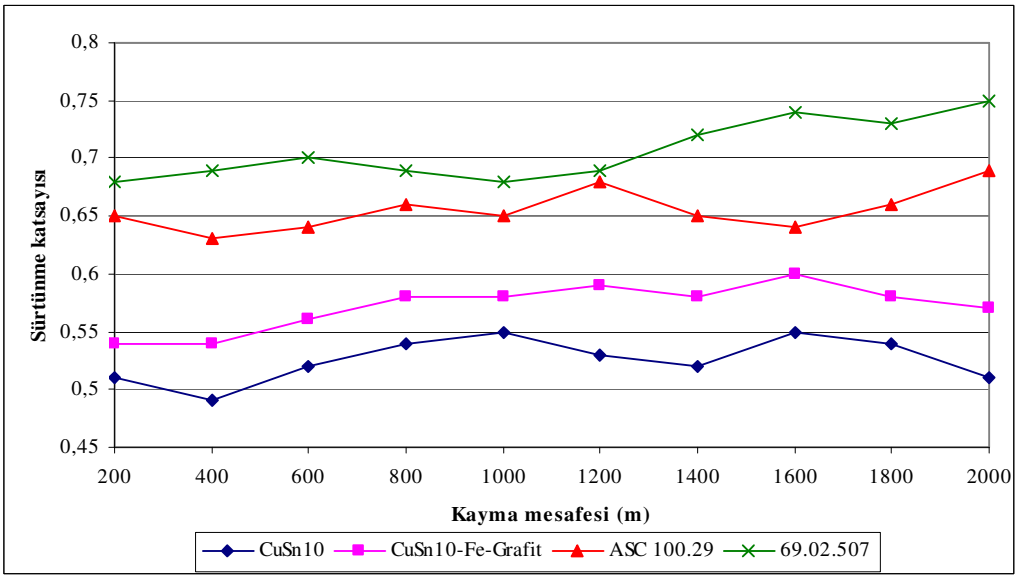
EK-G1. 0,66 m/sn ve 20 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



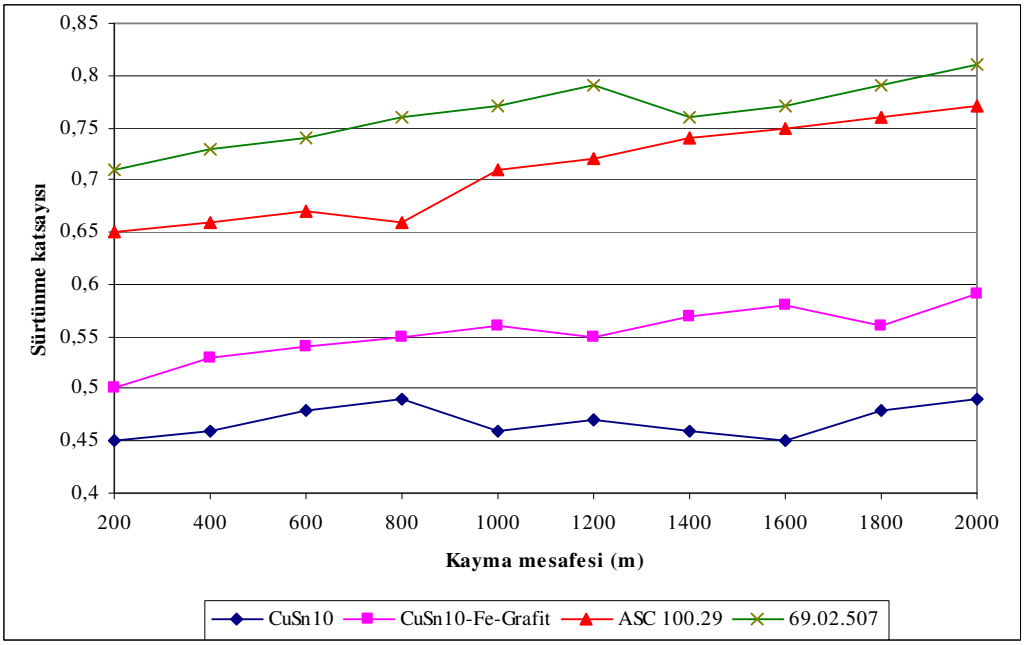
EK-G2. 0,66 m/sn ve 40 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



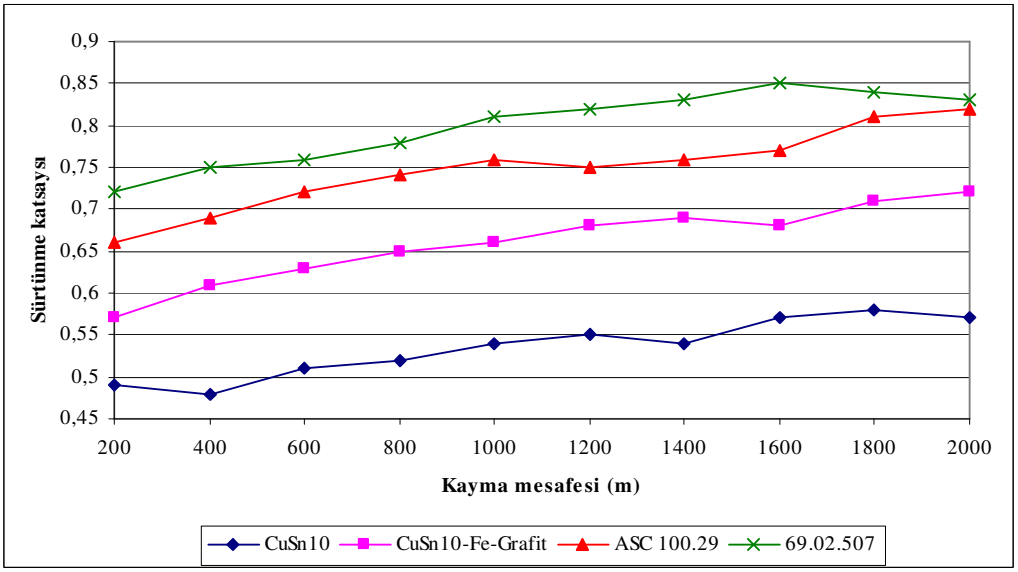
EK-G3. 0,66 m/sn ve 50 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



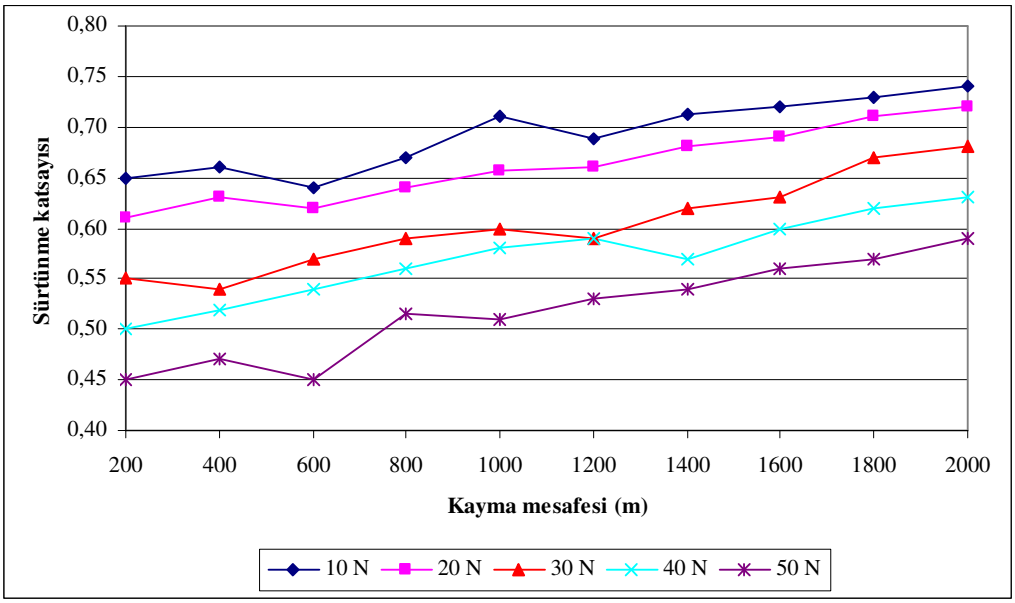
EK-Ğ1. 0,94 m/sn ve 20 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



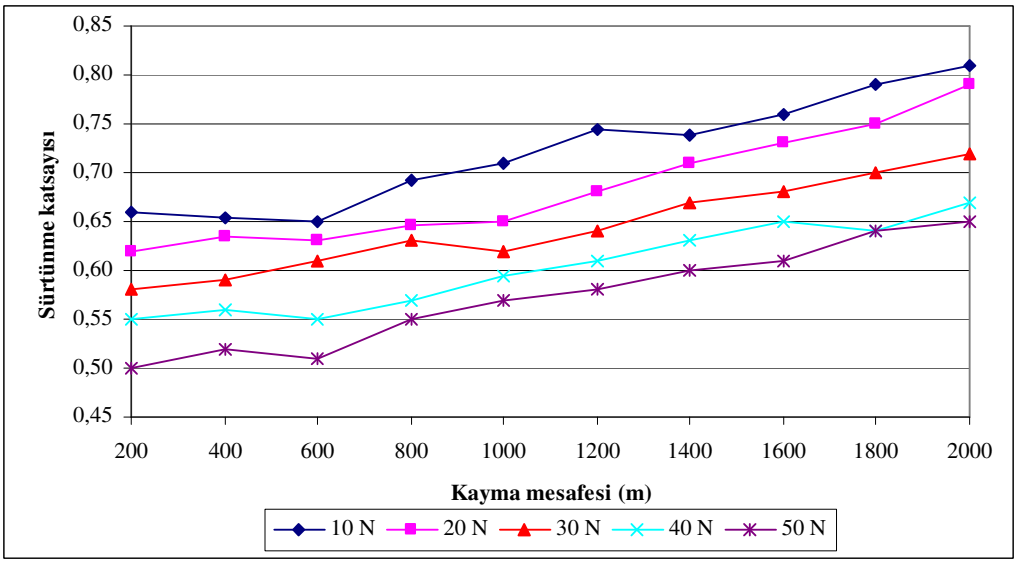
EK-Ğ2. 0,94 m/sn ve 40 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



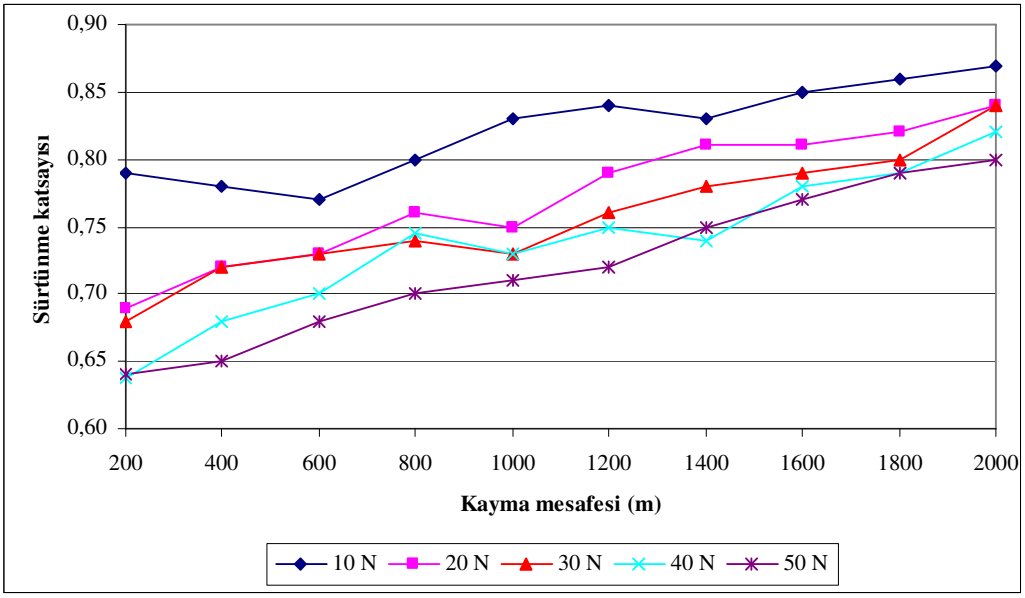
EK-Ğ3. 0,94 m/sn ve 50 N yük altında kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



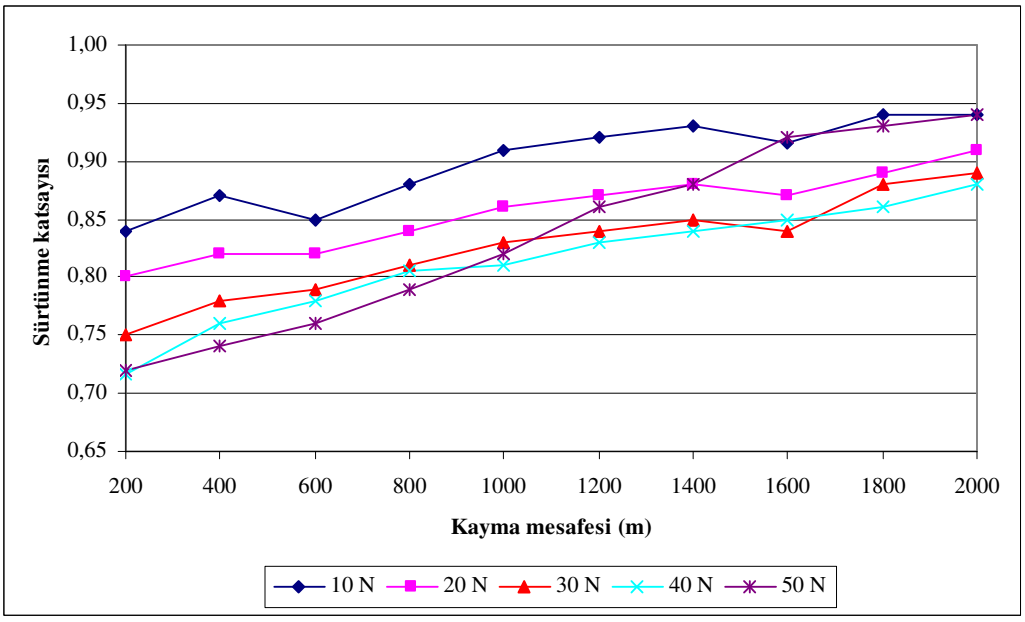
EK-H1. CuSn10 yataklarına ait 0,22 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



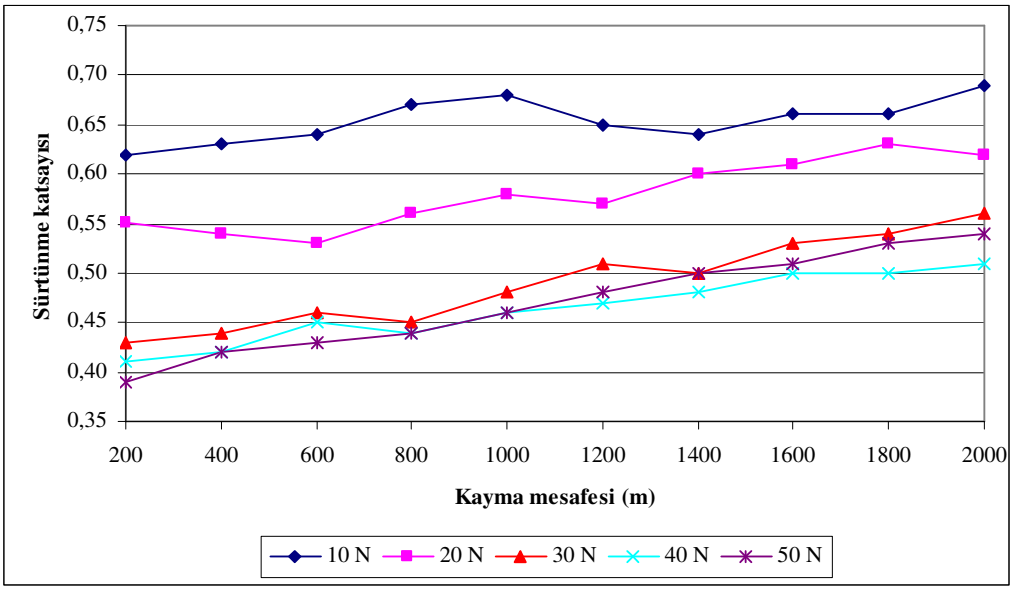
EK-H2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait 0,22 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



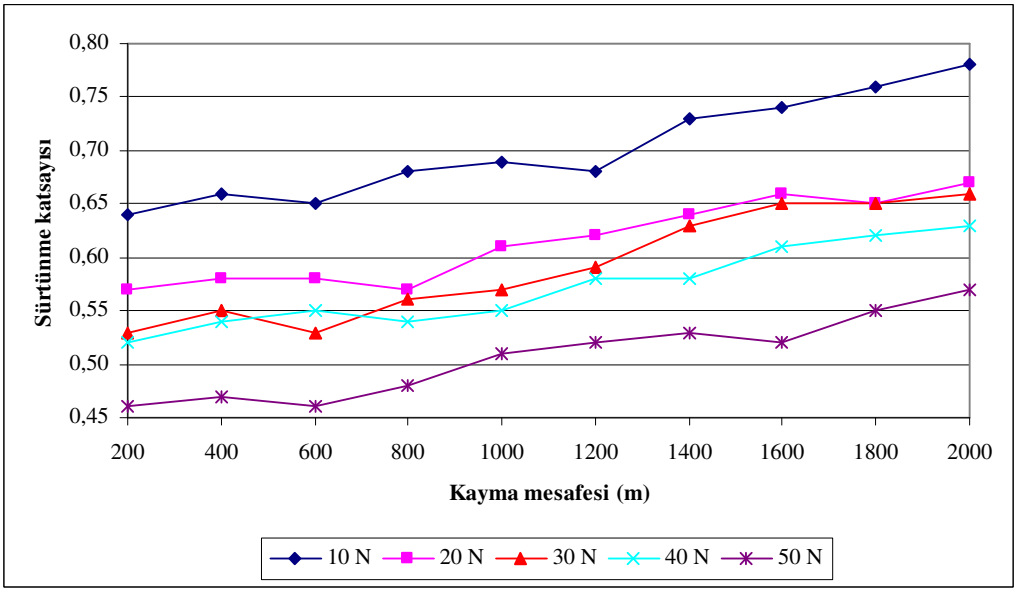
EK-H3.ASC 100.29 yataklarına ait 0,22 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi Sürtünme katsayısı değişimi



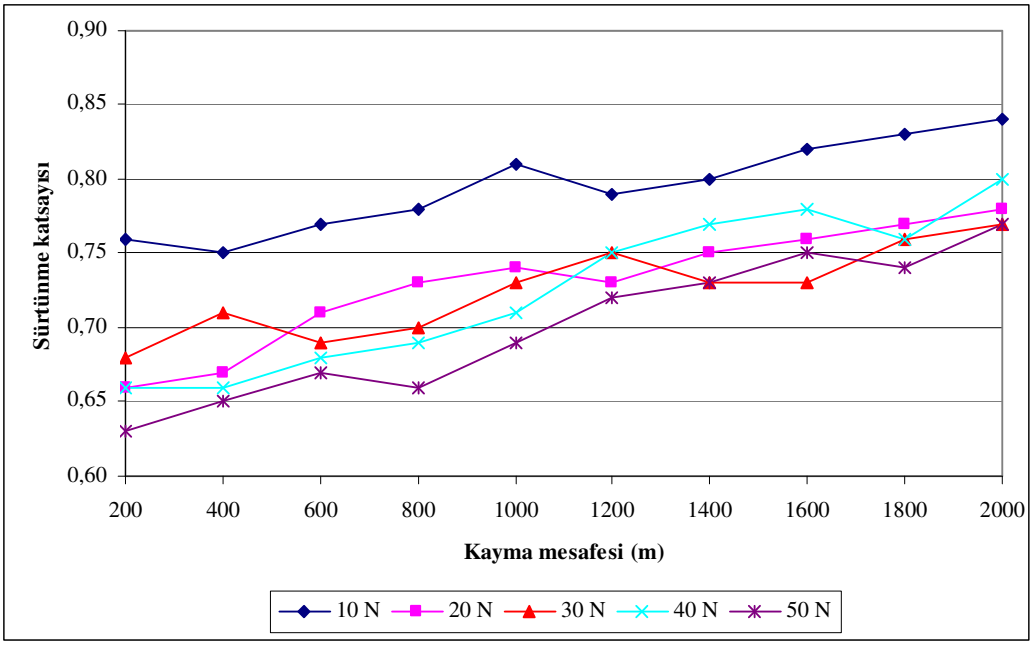
EK-H4. 69.02.507 yataklarına ait 0,22 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



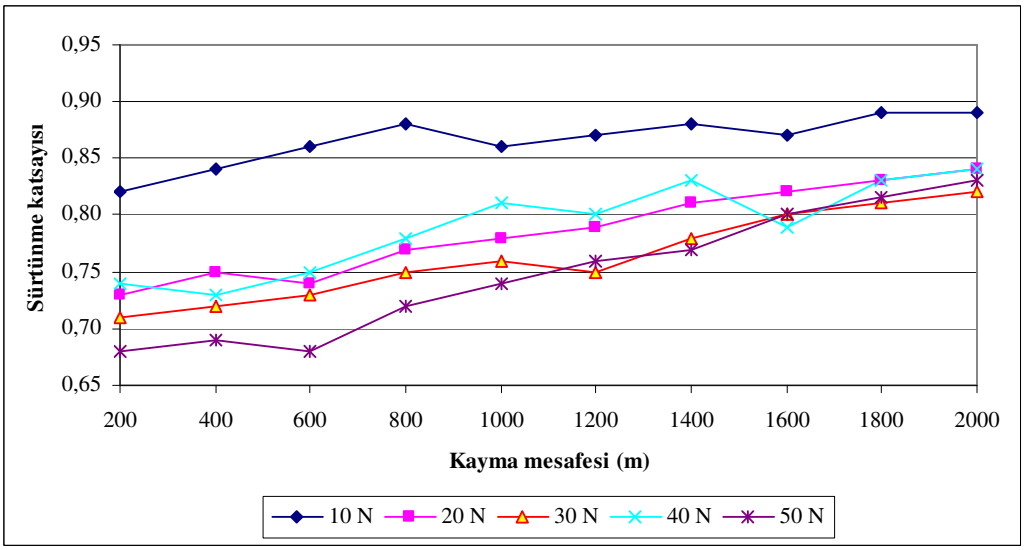
EK-I1. CuSn10 yataklarına ait 0,44 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



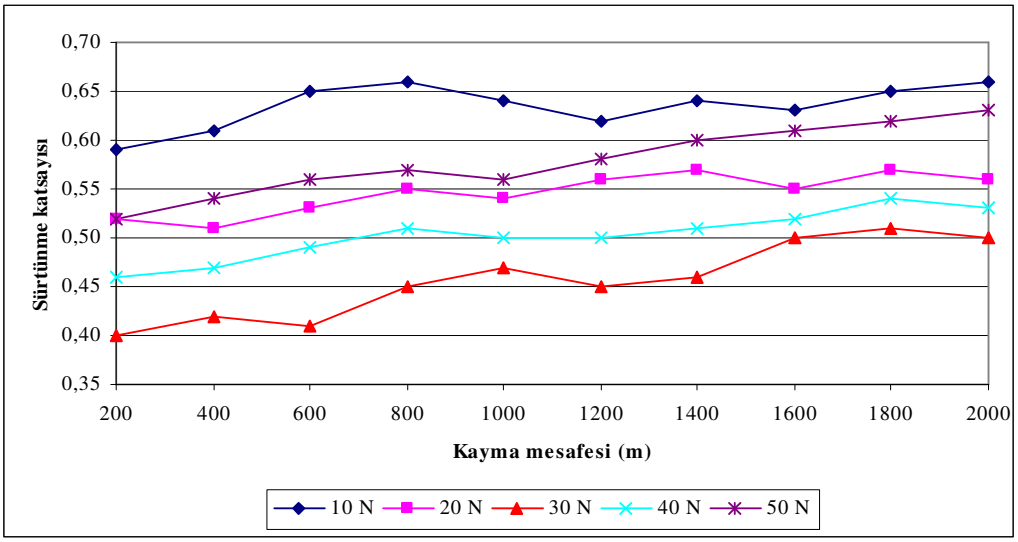
EK-I2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait 0,44 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



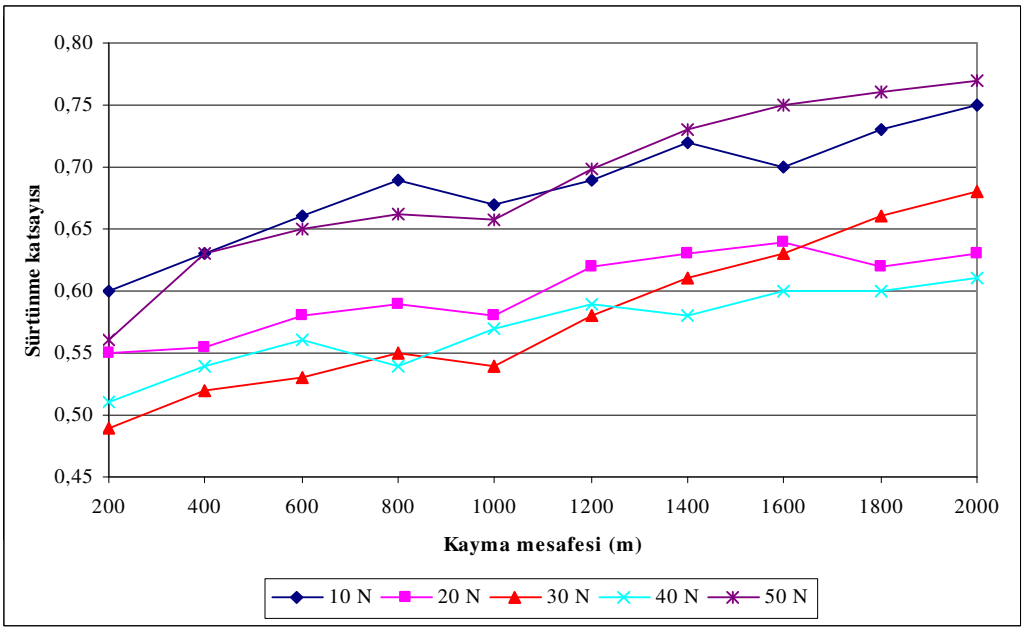
EK-I3.ASC 100.29 yataklarına ait 0,44 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



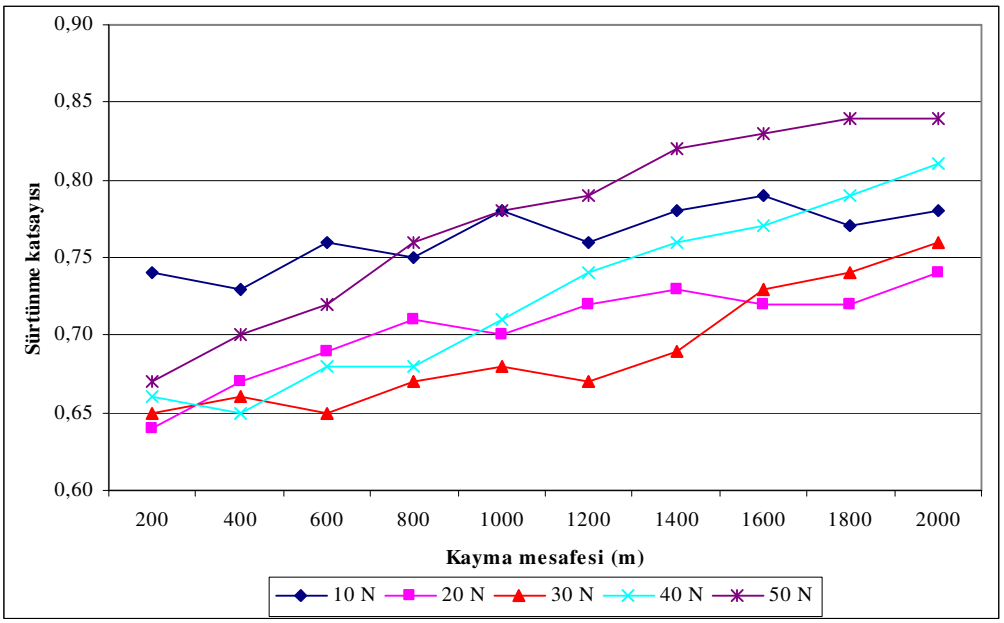
EK-I4. 69.02.507 yataklarına ait 0,44 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



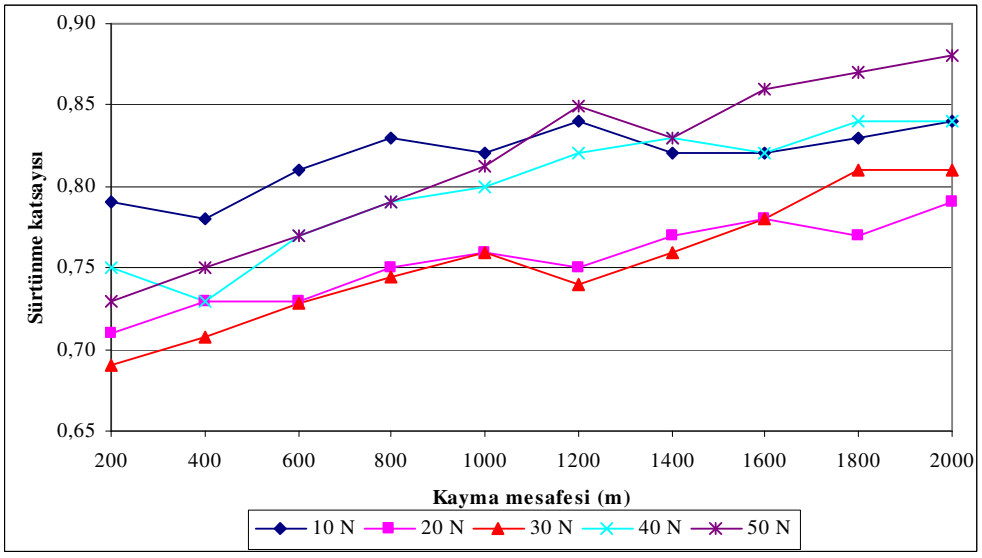
EK-İ1. CuSn10 yataklarına ait 0,66 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



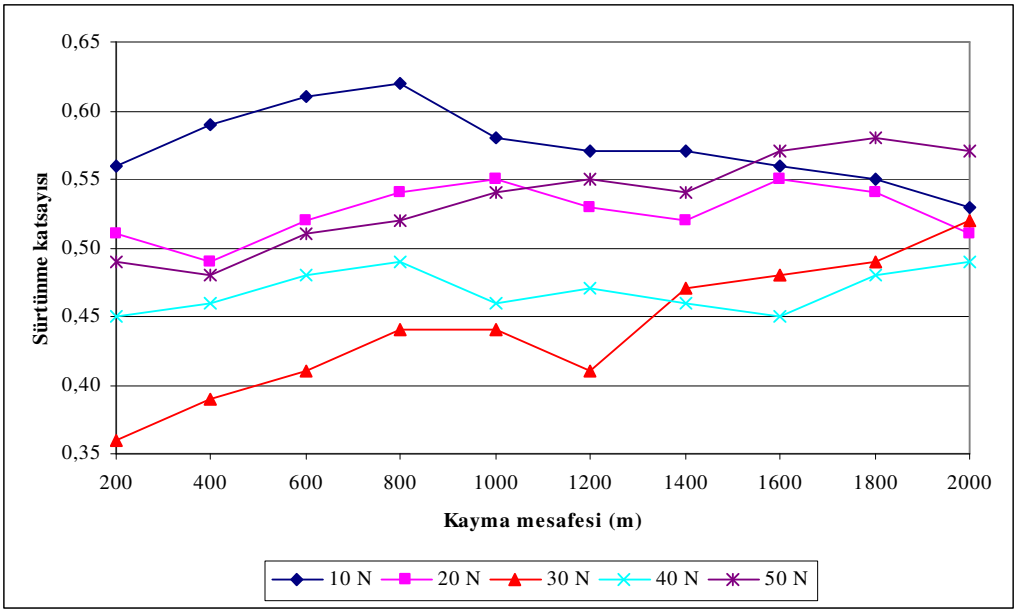
EK-İ2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait 0,66 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



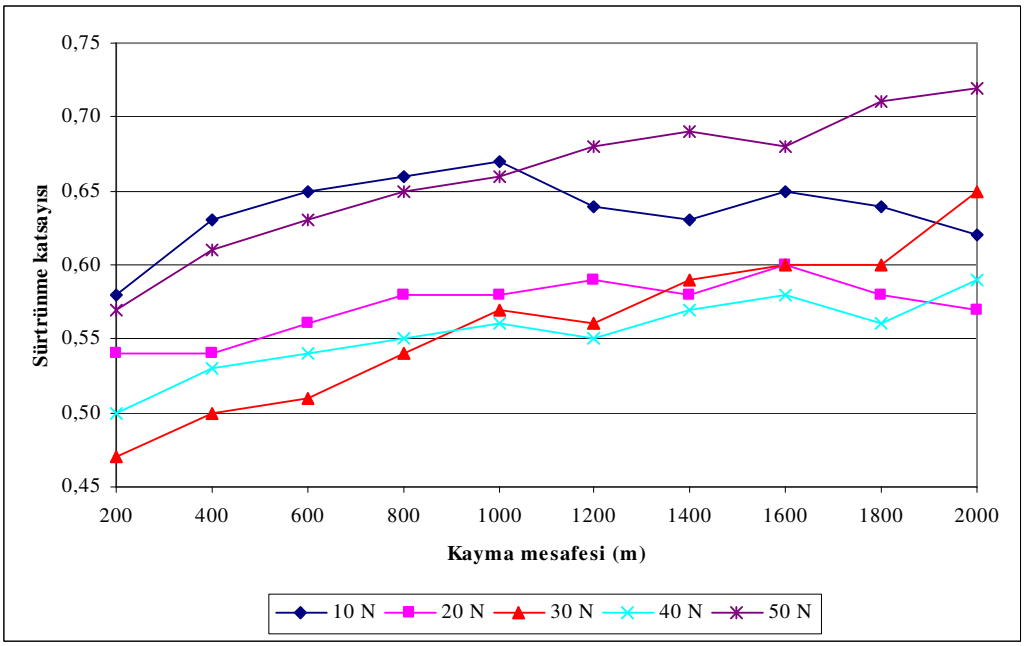
EK-İ3.ASC 100.29 yatağına ait 0,66 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



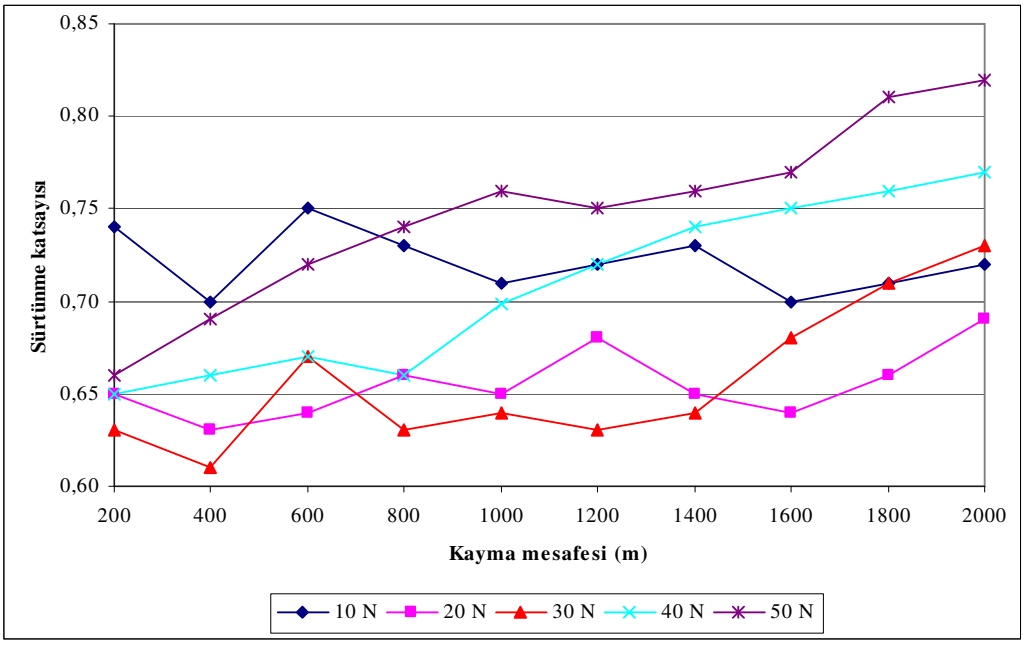
EK-İ4. 69.02.507 yataklarına ait 0,66 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



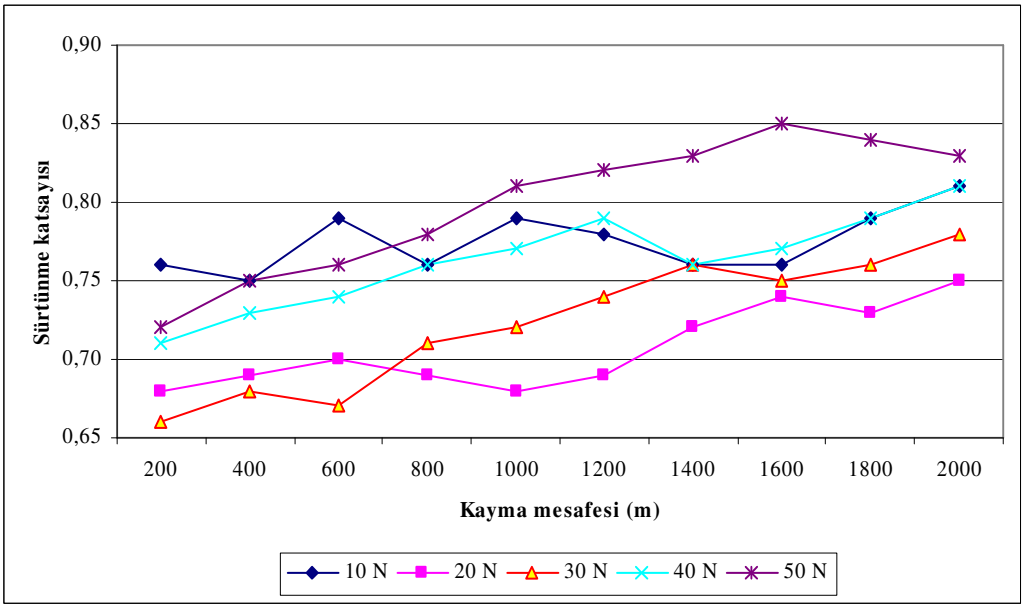
EK-J1. CuSn10 yataklarına ait 0,94 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



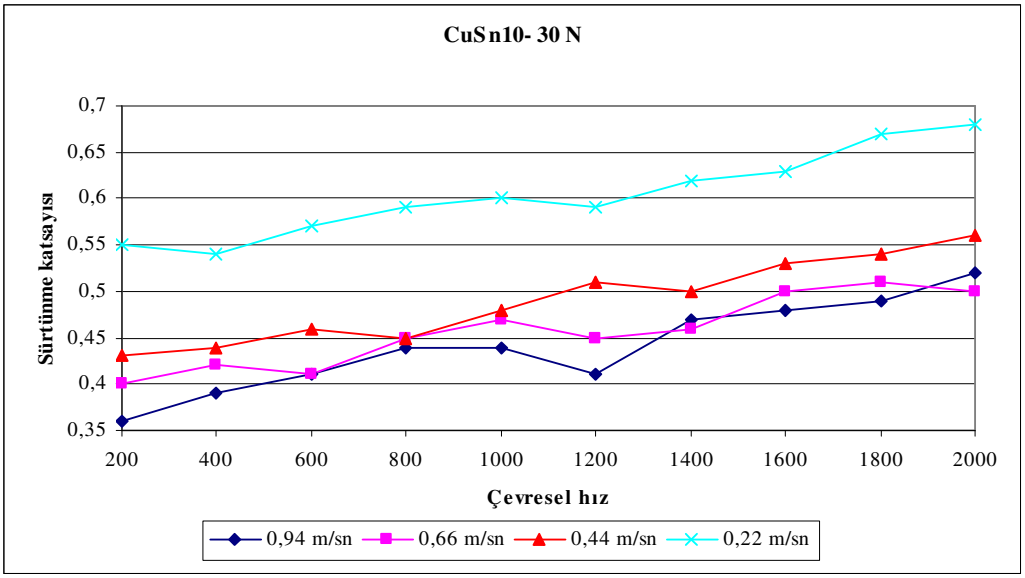
EK-J2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait 0,94 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



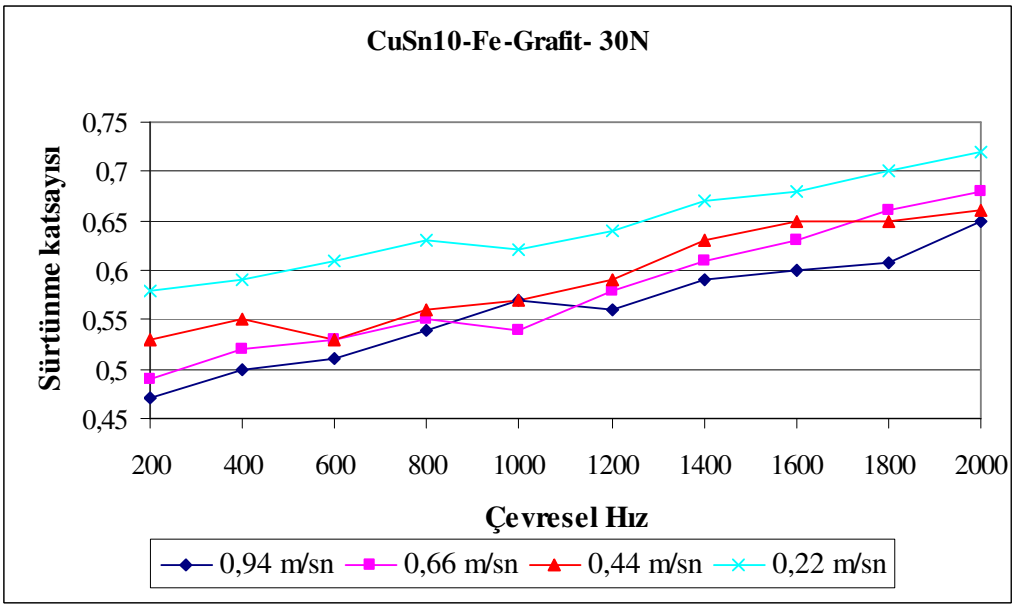
EK-J3.ASC 100.29 yatağına ait 0,94 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



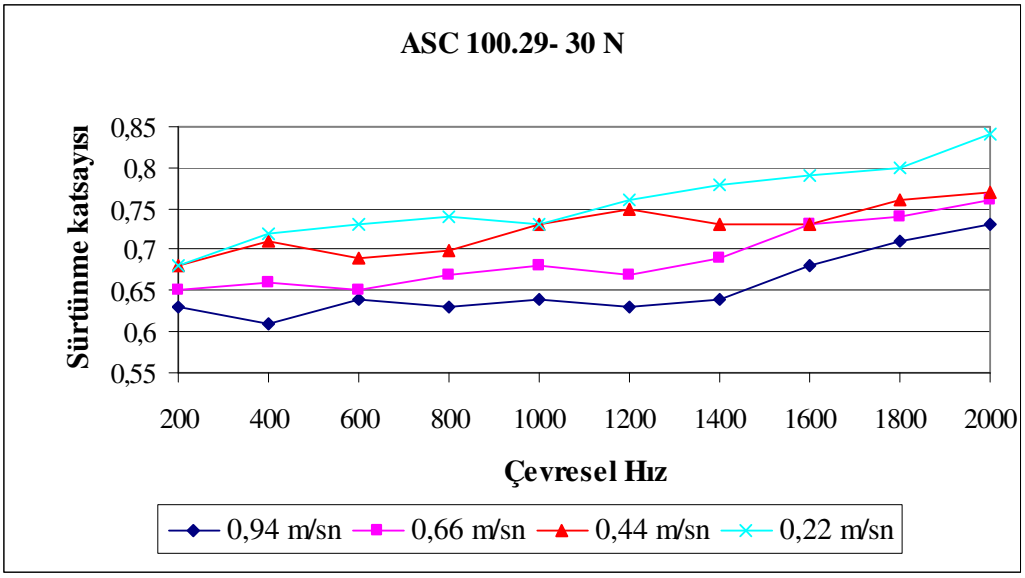
EK-J4. 69.02.507 yataklarına ait 0,94 m/sn'de yüke bağlı kayma mesafesi sürtünme katsayısı değişimi



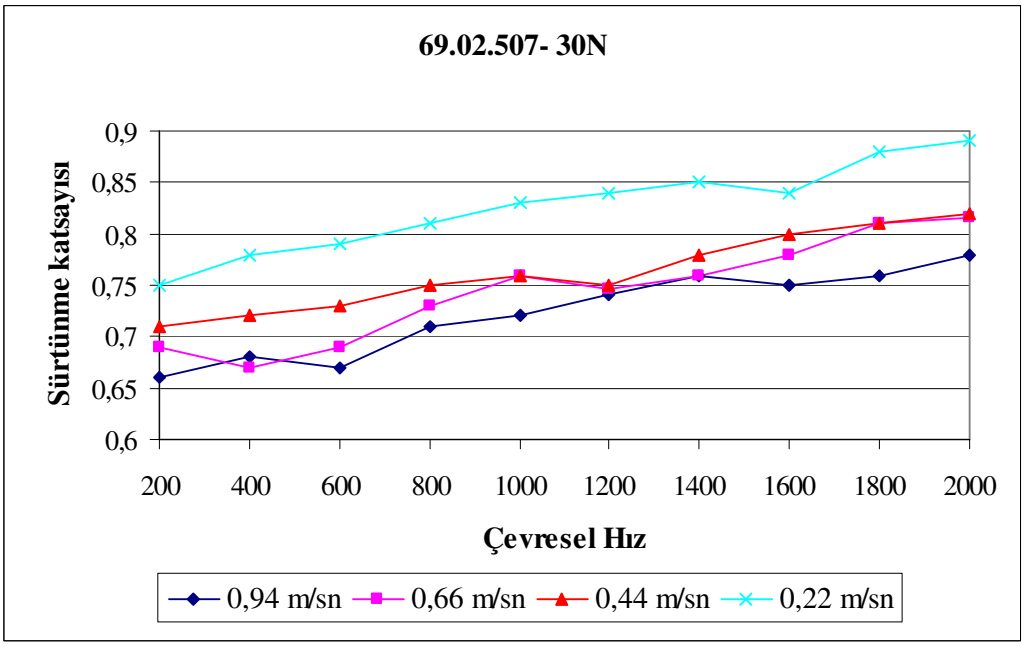
EK-K1. CuSn10 yataklarına ait çevresel hıza bağlı devir sayısı sürtünme katsayısı değişimi



EK-K2. CuSn10-Fe-Grafit yataklarına ait çevresel hıza bağlı devir sayısı sürtünme katsayısı değişimi



EK-K3. ASC 100.29 yataklarına ait çevresel hıza bağlı devir sayısı sürtünme katsayısı değişimi



EK-K4. 69.02.507 yataklarına ait çevresel hıza bağlı devir sayısı sürtünme katsayısı değişimi