

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada tez konusunun önerilmesinde ve yönlendirilmesinde yardımcı olan danışmanım Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi sayın Doç. Dr. Hüseyin TURHAN'a, Metalurji Bölümü ve Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM'a ve döküm işlemlerimde yardımını esirgemeyen Mekanik Metalurji Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Halis ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda fikirlerini ve yardımlarını esirgemeyen Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi sayın Yrd. Doç. Dr. Melek YILGIN'a, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Programı'nda görevli sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAZ'a, Elektrik Programı'nda görevli sayın Öğr. Gör. Ümit Tamer BAŞARAN'a, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Arş. Gör. Ömer GÜLER ve Arş. Gör. Seval Hale GÜLER'e, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü araştırma görevlilerinden Dr. İlyas SOMUNKIRAN'a, Arş. Gör. Serkan ÖZEL'e de teşekkürler ederim.

Ayrıca deneysel çalışmalarım sırasında kullanılan numunelerin hazırlanmasında ve düzeneğin sağlıklı şekilde çalışmasında elinden gelen yardımı esirgemeyen, fedakârlıkla çalışan Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Teknikeri Halis COŞGUN'a, Makine Teknisyeni Mutemet YILDIZ'a ve Teknisyen Halit YILDIRIM'a teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLolar LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. BAKIR, ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM BRONZLARI.....	3
2.1. Bakırın Kullanım Alanları.....	3
2.2. Alüminyumun Kullanım Alanları.....	3
2.3. Bakır ve Alüminyumun Elektrikteki Yeri.....	4
2.4. Bakır ve Alüminyumun Teknik Değerlendirilmesi.....	4
2.5. Cu-Al Faz Diyagramı.....	5
2.6. Bakır-Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri.....	7
3. CuCrZr ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ.....	9
3.1. Bakır Alaşımları İçerisinde CuCrZr Alaşımının Yeri, Kullanım Alanları ve Özellikleri	9
3.2. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Gelişimi.....	12
3.3. Bakır- Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Standartları ve Bileşimleri.....	13
3.4. ASTM C18200 ve ASTM C18150 Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	13
3.5. ASTM C18200 ve ASTM C18150 Alaşımlarının Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.....	14
3.6. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Mikro Yapıları.....	15
3.7. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının İşlenebilirliği.....	16
3.8. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Korozyon Dirençleri.....	16
3.9. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Kirletici Elementler ve Etkileri.....	16
3.10. Gazların Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Mekanik ve Döküm Özellikleri Üzerine Etkileri	18
3.11. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Ergitme Pratiği.....	18
4. BAKIR-KROM-ZİRKONYUM ALAŞIMLARINDA ÇÖKELME SERTLEŞMESİ.....	20
4.1. Yaşlandırılabilir Bakır Alaşımları.....	20

4.2. Cu-Cr ve Cu-Zr Alaşımlarında Çökelme Sertleştirilmesi ve Soğuk Deformasyonun Malzemeye Etkisi.....	21
4.3. Cu-Cr-Zr Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesi ve Sonrasında Yapı Değişimleri.....	22
4.4. Soğuk Deformasyonun Çökelme Sertleştirmesinde Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımına Etkileri.....	24
4.5. Zirkonyumun CuCrZr Alaşımlarında Çökelme Sertleştirmesine Etkileri.....	24
4.6. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesi Sonrası Fazların İncelenmesi.....	25
4.7. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Isıl İşlemlerinde ve Sonrasında Sorunlar ve Sebepleri	27
4.8. Bakır-Krom-Zirkonyumun Isıl İşlemi Sırasında Kullanılan Fırınlar.....	28
5. AŞINMA.....	29
5.1. Tanım.....	29
5.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	30
5.3. Aşınma Mekanizmaları.....	30
5.3.1. Adhezif Aşınma.....	33
5.3.2. Abrasif Aşınma.....	33
5.3.3. Tribooksidasyon.....	34
5.3.4. Yorulma Aşınması.....	34
5.3.5. Ablativ Aşınma.....	35
5.3.6. Diğer Aşınma Mekanizmaları.....	36
5.4. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri.....	35
5.4.1. Aşınma Deneyleri.....	35
5.4.2. Ölçüm Yöntemleri.....	37
6. ELEKTRİK AKIMI ALTINDA AŞINMA DAVRANIŞI.....	39
6.1. Elektrik Akımı ve Manyetik Alanın Aşınmaya Etkisi.....	39
6.2. Akımın Transfer Edilen Tabaka Üzerine Etkisi.....	41
6.3. Ortamın Aşınma Şekline ve Miktarına Etkisi.....	41
6.4. Yapılan Çalışmalar ve Sonuçları.....	42
6.4.1. Kullanılan Teçhizat ve Yöntemler.....	42
6.4.2. Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar.....	44
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	47
7.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	47
7.2. Metalografik Çalışmalar.....	48

7.3. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) İncelemeleri ve EDS (Noktasal Analiz) Çalışmaları	48
7.4. Sertlik Deneyleri.....	48
7.5. Çentik Darbe Deneyleri.....	48
7.6. Çekme Deneyleri.....	49
7.7. Isıl İletkenlik Deneyleri.....	49
7.8. Aşınma Deneyleri.....	51
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	54
8.1. Numunelerin Mikro Yapı Sonuçları.....	54
8.2. Çekme Deneyi Sonuçları.....	61
8.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	62
8.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	63
8.5. Isıl İletkenlik Ölçüm Sonuçları.....	64
8.6. Aşınma Davranışlarının Değerlendirilmesi.....	65
8.7. Aşınan Yüzeylerin Analizi.....	69
8.8. Deneysel Çalışmaların Sonuçları.....	80
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Cu-Al faz diyagramı.....	5
Şekil 2.2 Bakırca zengin Cu-Al faz diyagramı.....	7
Şekil 3.1 CuCr'ye ait % 0,65 Cr oranını gösteren bölgenin faz diyagramı.....	11
Şekil 3.2 CuCrZr alaşımına ait % 4,6 Cr oranını gösteren bölgenin faz diyagramı.....	12
Şekil 3.3 Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının yorulma dayanımı.....	15
Şekil 3.4 Empüritelerin elektrik iletkenliğine etkileri (20 °C'de).	17
Şekil 4.1 CuCr'a ait % 0.65 Cr oranını gösteren bölgenin faz diyagramı.....	25
Şekil 4.2 CuCrZr alaşımının 940 °C'deki üçlü faz diyagramı.....	26
Şekil 5.1 Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi.....	29
Şekil 5.2 Fazla aşınma mekanizmalarının birbiri üzerine yığılması.....	31
Şekil 5.3 Abrasif aşınma tipleri.....	34
Şekil 5.4 Aşınma türlerinin şematik resimleri.....	36
Şekil 6.1 Tribometre.....	39
Şekil 7.1 Çentik darbe deneyi numunesi.....	48
Şekil 7.2 Çekme deneyi numunesi.....	48
Şekil 7.3 Isıl iletkenlik deneyi numunesi.....	49
Şekil 7.4 Isıl iletkenlik deney düzeneği.....	50
Şekil 7.5 Aşınma düzeneğine ait şematik gösterim.....	51
Şekil 7.6 (a) Aşınma düzeneğine ait bir fotoğraf.....	51
Şekil 7.6 (b) Aşınma düzeneğine ait bir fotoğraf.....	52
Şekil 8.1 (a) C18150 numunesine ait mikro yapı fotoğrafı (x100).....	53
Şekil 8.1 (b) C18150 numunesine ait mikro yapı fotoğrafı (x1000).....	54
Şekil 8.2 (a) N1 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).....	54
Şekil 8.2 (b) N1 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).....	55
Şekil 8.3 (a) N2 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).....	55
Şekil 8.3 (b) N2 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).....	56
Şekil 8.4 (a) N3 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).....	56
Şekil 8.4 (b) N3 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).....	57
Şekil 8.5 (a) N4 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).....	57
Şekil 8.5 (b) N4 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).....	58
Şekil 8.6 (a) N5 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).....	59
Şekil 8.6 (b) N5 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).....	59

Şekil 8.7 Dendrit kolları arası mesafe-% Al katkısı ilişkisi.....	61
Şekil 8.8 Alüminyum katkılı alaşımların gerilme-% uzama eğrileri.	62
Şekil 8.9 % Al miktarına bağlı kırılma mukavemeti eğrisi.....	63
Şekil 8.10 % Al miktarına bağlı sertlik değerleri eğrisi.....	64
Şekil 8.11 Alaşımların % Al katkısı-ısıl iletkenlik katsayısı ilişkisi.....	64
Şekil 8.12 NA, N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin elektrik iletkenliği-% Al katkısı değişimi.....	65
Şekil 8.13 Er-Bakır İşletmesi'nden C18150 alaşımının kullanıldığı ortama ait fotoğraflar.....	66
Şekil 8.14 C18150 numunesinin farklı hızlarda akım yön ve şiddeti - ağırlık kaybı ilişkisi.....	67
Şekil 8.15 C18150 numunesinin farklı hızlarda akım yön ve şiddeti - sıcaklık ilişkisi.....	68
Şekil 8.16 (a) C18150 numunesinin – akım yönünde, farklı akım değerlerinde, 1, 2, 4.2 m/s hızlardaki sıcaklık – ağırlık kaybı ilişkisi.....	68
Şekil 8.16 (b) C18150 numunesinin + akım yönünde, farklı akım değerlerinde, 1, 2, 4.2 m/s hızlardaki sıcaklık – ağırlık kaybı ilişkisi.....	69
Şekil 8.17 a; C18150 (+), X5Cr18Ni9 (-) ve b; C18150 (-), X5Cr18Ni9 (+) akım yönünde, 10 A, 1 m/s'de aşınma yüzey fotoğrafları.....	70
Şekil 8.18 (a) A13 numunesinin yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 1 m/s).....	70
Şekil 8.18 (b) A17 numunesinin yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 1 m/s).....	71
Şekil 8.19 (a) A13 numunesinin nokta belirlemeli SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 1 m/s).....	72
Şekil 8.19 (b) A17 numunesinin nokta belirlemeli SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 1 m/s).....	72
Şekil 8.20 (a) A13 numunesinin EDS analizi (10 A, +/-, 1 m/s).....	74
Şekil 8.20 (b) A17 numunesinin EDS analizi (10 A, +/-, 1 m/s).....	75
Şekil 8.21 a; C18150 (+), X5Cr18Ni9 (-) ve b; C18150 (-), X5Cr18Ni9 (+) akım yönünde, 10 A, 4,2 m/s'de aşınma yüzey fotoğrafları.....	75
Şekil 8.22 (a) A14 numunesinin yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 4,2 m/s).....	76
Şekil 8.22 (b) A16 numunesinin yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 4,2 m/s).....	76
Şekil 8.23 (a) A14 numunesinin nokta belirlemeli SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 4,2 m/s).....	77
Şekil 8.23 (b) A16 numunesinin nokta belirlemeli SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 4,2 m/s).....	77
Şekil 8.24 (a) A14 numunesinin EDS analizi (10 A, +/-, 4,2 m/s).....	79
Şekil 8.24 (b) A16 numunesinin EDS analizi (10 A, +/-, 4,2 m/s).....	79

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Elektrolitik bakır ve elektrolitik alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri.....	4
Tablo 2.2 Bakır ve alüminyum iletkenin fiziksel karşılaştırması.....	5
Tablo 3.1 Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının standartları ve bileşimleri.....	13
Tablo 3.2 CuCr1 ve CuCrZr alaşımlarının mekanik özellikleri.....	14
Tablo 3.3 CuCr1 ve CuCrZr alaşımlarının fiziksel özellikleri.....	14
Tablo 3.4 Kalıntı oksit gidericilerin elektrik iletkenliğine etkileri.....	17
Tablo 4.1 Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ısıtma işlemlerinde ve sonrasında karşılaşılan sorunlar ve sebepleri.....	27
Tablo 5.1 Aşınma şekilleri ve mekanizmaları.....	32
Tablo 7.1 Al katkısız numune (NA) ve %1 (N1), %2 (N2), %3 (N3), %4 (N4) ve %5 (N5) Al katkılı numunelerin kimyasal bileşimleri.....	46
Tablo 8.1 N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin ortalama dendrit kol aralığı değerleri.....	61
Tablo 8.2 N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin çentik darbe deney sonuçları.....	62
Tablo 8.3 N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin ortalama sertlik değerleri.....	64
Tablo 8.4 NA, N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin elektrik iletkenliği değerleri.....	65
Tablo 8.5 Aşınan numunelerin aşınma şartlarını gösteren tablo.....	69
Tablo 8.6 A13 numunesinde işaretli noktaların % atomik ağırlıklarını veren analiz sonuçları (10 A, +/-, 1 m/s).....	73
Tablo 8.7 A17 numunesinde işaretli noktaların % atomik ağırlıklarını veren analiz sonuçları (10 A, +/-, 1 m/s).....	74
Tablo 8.8 A14 numunesinde işaretli noktaların % atomik ağırlıklarını veren analiz sonuçları (10 A, +/-, 4,2 m/s).....	78
Tablo 8.9 A16 numunesinde işaretli noktaların % atomik ağırlıklarını veren analiz sonuçları (10 A, +/-, 4,2 m/s).....	78

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÜMİNYUM İLAVELİ ASTM C18150 ve ASTM C18200 ALAŞIMLARININ MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Çiğdem GÖKÇEN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 86

Bu yüksek lisans tezinde; CuCr1 [ASTM C18200] ve CuCrZr [ASTM C18150] alaşımlarının farklı oranlarda alüminyum ile alaşımlanması sonucunda mekanik özelliklerindeki değişimlerin kıyaslanması yapılmıştır. Elde edilen yeni alaşımların ısı iletkenlik değerlerinden hareketle elektrik iletkenlik seviyeleri hakkında yorum getirilmeye çalışılmıştır.

Yüksek iletkenlik seviyesine sahip CuCrZr alaşımlarının farklı hızlarda, farklı DC akım değerlerinde ve yönlerinde paslanmaz çelik diske karşı akım altında aşınma davranışları incelenmiştir.

Ayrıca adhezif aşınma, abrasif aşınma, tribooksidasyon, yorulma aşınması ve diğer aşınma mekanizmaları, aşınma deneyleri ve ölçüm yöntemleri tanıtılmıştır. Örneklerle elektrik akımının aşınma davranışına etkileri açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahatar Kelimeler: CuCr alaşımı, CuCrZr alaşımı, akım altında aşınma, mekanik özellikler.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ADDED ASTM C18150 AND ASTM C18200 ALLOYS

Çiğdem GÖKÇEN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy Education

2007, Page: 86

In this master thesis it has been compared the changes of mechanical properties CuCr1 [ASTM C18200] and CuCrZr [ASTM C18150] alloys by addition of aluminum in different ratios. The main aim was the interpreting of the electrical conductivity levels of the produced new alloys with regard to thermal inductivity.

The wear behaviors of test materials have been investigated against to a stainless steel disc under different speeds and under three different direct currents in two directions.

However in this work adhesive wear, abrasive wear, tribooxidation, fatigue and the other mechanisms, wear test methods and measurement techniques after literature knowledge have been presented. The explanation of effects of the electrical current on the wear behaviors of test materials was purposed with typical samples.

Keywords: CuCr alloys, CuCrZr alloys, wear under electrical current, mechanical properties.

1. GİRİŞ

Bakır, insanoğlu tarafından kullanılan metaller içerisinde, uygarlıkların biçimlendirilmesindeki rolü bakımından en önde gelen birkaç metalden biridir. Kimyasal, fiziksel ve estetik özellikleri bakıra, endüstride ve yüksek teknoloji uygulamaları alanında çok geniş bir kullanım sahası sunmaktadır. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği ile, haddeden çekilebilme ve dövülebilme özelliklerine sahip olan bakır; aynı zamanda paslanma ve aşınmaya karşı da dirençlidir. Bakırın, çinko, alüminyum, kalay, nikel gibi metallerle çok çeşitli alaşımları bulunmaktadır. Bakırın çinko ile alaşımından pirinç, alüminyum ya da kalay ile alaşımından ise bronz elde edilmektedir. Bu alaşımlar ile bakıra değişik özellikteki uygulamalarda kullanımı için yeni karakteristikler kazandırılmaktadır.

Yukarıda sıralanan özellikleri ile bakır, endüstrinin temel girdilerinden biri olmuştur. Bakırın en temel kullanım alanları; elektrik ve ısı üretim ve iletim endüstrisi, elektronik ve iletişim sektörleri, inşaat sektörü, ulaşım sektörü ve makine-teçhizat imalat sanayidir. Bakırın bunların dışında da pek çok kullanım alanlarını saymak mümkündür. Bakırın bir başka özelliği de bütün diğer metaller arasında geri kazanımı en fazla olan metal olmasıdır. 1997 yılı itibariyle bütün bakır tüketiminin % 37'si geri kazanılmış bakırdır. Fiziksel ve kimyasal özelliklerini yitirmeden tekrar tekrar kullanılabilme özelliği nedeniyle bakır, bazı uzmanlar tarafından yenilenebilir kaynak olarak da tanımlanmaktadır. İkincil bakır olarak da adlandırılan geri kazanılmış bakırın, doğrudan cevherden üretilen birincil bakırdan ayırt edilmesi oldukça güçtür.

Malzeme seçimi yaparken mukavemet, elektrik ve/veya ısı iletkenliği, yoğunluk ve diğer özellikleri göz önünde tutmak gerekir. Buna ilave olarak yapım ve kullanma süresince malzemenin durumunu, şekillenme, talaş kaldırma, elektriksel kararlılık, kimyasal dayanıklılık ve radyasyon özellikleri ile fiyat ve piyasada bulunuşu düşünülmelidir. Örneğin, elektrik kabloları değişik sıcaklık derecelerine dayanıklı olmalı, yarı iletkenler uzun bir kullanım süresince akım/gerilim karakteristiklerini muhafaza edebilmelidirler (Onaran, 2000).

Malzemelerin kontrol edilebilen iletkenlik, dielektrik, manyetik özellikleri mühendislik uygulamalarında oldukça önemlidir. Bu özelliklerin değiştirilebileceği sınırları etkileyen faktörlerden biri malzemenin kristal yapısıdır (Vlack, 1972). Bir malzemenin iletkenliğinde sıcaklık, malzeme bileşimi, ısıl işlem ve ısıl işlem sonucu oluşan mikro yapı, tane boyutu, sertlik gibi pek çok faktörün etkisi dikkate değerdir. Örneğin; 7020, 2024 alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlem sonunda; malzemenin sertliği ile elektriksel iletkenliği arasında bir ilişki olduğu görülmüştür (Yıldız, 2002).

Elektrik akımı altında çalışan malzemelerde, aranan iyi mekanik özellikler yanında, aşınma mekanizması da önemlidir. Örneğin elektrik motorlarında, elektrik

kuvveti ile işleyen demiryolu hatlarında elektrik akımı altında malzemelerin gösterdikleri aşınma özellikleri çoğu araştırmacı tarafından incelenmeye değer görülmüştür (Csapo ve diğ., 1995; Holm, 1967; Lancaster ve Stanley, 1964).

Son dönemlerde CuCrZr alaşımları termonükleer reaktörlerde ısı değiştirici ve soğutucu bloklarda da tercih edilmeye başlanmıştır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra ısı ve elektrik iletkenliklerinin de birlikte istendiği durumlarda bakır-krom-zirkonyum (CuCrZr) alaşımlarının kullanımı önem kazanmaktadır (Fabritsiev ve diğ., 1996; Edwards ve diğ., 1993).

CuCrZr alaşımları; mükemmel elektrik ve ısı iletkenlikleri, korozyona karşı gösterdikleri üstün dayanım, üretim kolaylıkları ve aynı zamanda yorulma dirençlerinin yüksek olması sebebiyle birçok uygulamada tercih edilmektedirler. Bakır alaşımları içinde CuCrZr alaşımları yüksek mukavemetleri, ısı ve elektrik iletkenlikleri ile dikkat çeker (Batra ve diğ., 2002). Bu özellikleri sayesinde elektrik iletim hatlarında kullanıldıkları gibi kaynak elektrotu olarak da kullanılırlar.

Bu çalışmada; yukarıda özellikleri belirtilen CuCr1 [ASTM C18200] ve CuCrZr [ASTM C18150] alaşımları kullanılacaktır. Bu malzemelerin farklı oranlarda alüminyum ile alaşımlanması sonucunda mekanik özelliklerindeki değişimlerin kıyaslanması yapılmıştır. Elde edilen yeni alaşımların ısı iletkenlik değerlerinden hareketle elektrik iletkenlik seviyeleri hakkında yorum getirilmeye çalışılmıştır.

Yüksek iletkenlik seviyesine sahip CuCrZr alaşımlarının farklı hız, akım değeri ve yönünde paslanmaz çelik diske karşı akım altında aşınma davranışları incelenmiştir.

2. BAKIR, ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM BRONZLARI

2.1. Bakırın Kullanım Alanları

Bakır, dünyada çelikten sonra en çok kullanılan mühendislik malzemelerinden biridir. Saf bakır sünektir. Plastik şekil değiştirme özelliği yüksektir ve korozyona dayanıklıdır. Alaşımlandırma ile mukavemeti büyük oranda artırılabilir. Isıl iletkenliğinin yüksek olması (gümüşten biraz daha az) nedeniyle ısıtma ve soğutma sistemlerinin üretiminde; yüksek elektriksel iletkenliği nedeniyle de, iletken tel üretiminde yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Günümüzde üretilen bakırın % 70'e yakını iletken tel olarak kullanılmaktadır. Bakır alaşımları da endüstride ve günlük hayatta geniş kullanım alanı bulmuştur (Weissavach, 1993).

Bakır pek çok metalle alaşımlar oluşturur. Bunlardan en tanınmış ve önemlileri çinko ile oluşturduğu pirinç, kalayla oluşturduğu tunç ve bunun dışında diğer pek çok metallerle oluşturduğu metal bronz alaşımlarıdır (Yıldırım, 1984).

2.2. Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyum alaşımları genellikle düşük özgül ağırlık ve yüksek dayanıklılık derecesinin arzulandığı yerlerde kullanılır. Kendisi gibi hafif olan dayanıklı alaşımlarının bulunması ile uçak ve taşıt endüstrisinde geniş kullanım alanı bulmuştur. Saf alüminyumun korozyon etkilerine dayanıklılığı bu metalden mutfak ve laboratuvar eşyaları yapımına neden olmuştur. Demir-çelik endüstrisinde arıtıcı olarak, elektroteknikte tel ve benzeri iletken malzemelerin yapımında, içten yanmalı motorlarda ısı ve ağırlık etkisini azaltmak için piston, silindir kapakları, silindir blokları yapımında alüminyum ve alaşımları kullanılmaktadır (Yıldırım, 1984; Yıldırım ve diğ., 2001).

Alüminyum, katkı maddeleri etkisiyle fazla özgül ağırlık artışı göstermez. Her türlü imalat işlemlerine elverişlidir. Asitlere dayanıklı, bazlara ve deniz suyuna dayanıksızdır. Normal atmosferik ortamlarda yüzeyini kaplayan oksit katı onu dış etkilere korur (Yıldırım, 1984; Yıldırım ve diğ., 2001).

Alüminyum alaşımlarının yapılmalarının genel amaçları; alüminyumdan daha dayanıklı malzemeler elde etmek, talaş kaldırarak işlenmeyi iyileştirmek, ısıl işlemlere yatkınlığı sağlamak, döküm yeteneğini düzeltmek ve yüksek sıcaklıklara dayanabilen malzemeler üretmektir (Yıldırım, 1984; Yıldırım ve diğ., 2001).

2.3. Bakır ve Alüminyumun Elektrikteki Yeri

Enerji taşıma hatlarında kullanılan iletkenlerin hem enerji taşıması ve hem de mekanik bakımdan uygun olarak seçilmesi lazımdır. Bakır iletkenlerin çok pahalı ve ağır olmaları nedeniyle enerji taşıma hatlarında kullanılmasından vazgeçilmiştir. Bunun yerine akım taşıma kapasitesi ve hafif oluşu da dikkate alınarak alüminyum iletkenler tercih edilmiştir. Bakıra nazaran üçte bir ağırlığında ve bakırdan daha ucuzdur. İletkenliği bakırın iletkenliğinin 0,61 katı kadardır. Bu bakımdan aynı gücün taşınması istendiğinde bakır iletken yerine alüminyum iletken seçilmesi halinde, alüminyum iletkenin kesitini 1,6 misli daha büyük seçmek gerekir. İletkenin daha büyük kesitte seçilmesi, bakır iletkenine nazaran daha büyük çapta iletken kullanılmasına ve dolayısıyla iletkenin daha büyük kuvvetlere maruz kalmasına neden olacaktır (Dengiz,1991).

Pek çok ülkede alüminyumun, elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinin tüm elemanları için bakırın yerine, ana iletken malzemesi olarak kabul edilmesinin nedenleri oldukça fazladır. Özellikle, iletkenlerde ucuzluk ve hava hattı direk konstrüksiyonlarında hafiflik çok önemlidir. Çünkü ağır iletkenler, ağır direk yapılarına ihtiyaç gösterir. Ayrıca; alüminyum iletkenlerin taşınması, işlenmesi ve montajı, ağır bakır iletkenlere göre daha kolaydır. Alüminyumun hafifliği, ağır bakır iletkenlere göre birçok avantaj sağlamaktadır.

2.4. Bakır ve Alüminyumun Teknik Değerlendirilmesi

Alüminyum ve bakırın, fizik ve mekanik özellikleri bakımından iki ayrı metal olduğu unutulmamalıdır. Elektrolitik bakır ve elektrolitik alüminyum Tablo 2.1’de mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bakır iletken değeri 1 olarak kabul edilmek şartı ile eşdeğer alüminyum çıplak yuvarlak iletkenin fiziksel karşılaştırılması Tablo 2.2’de verilen gibidir.

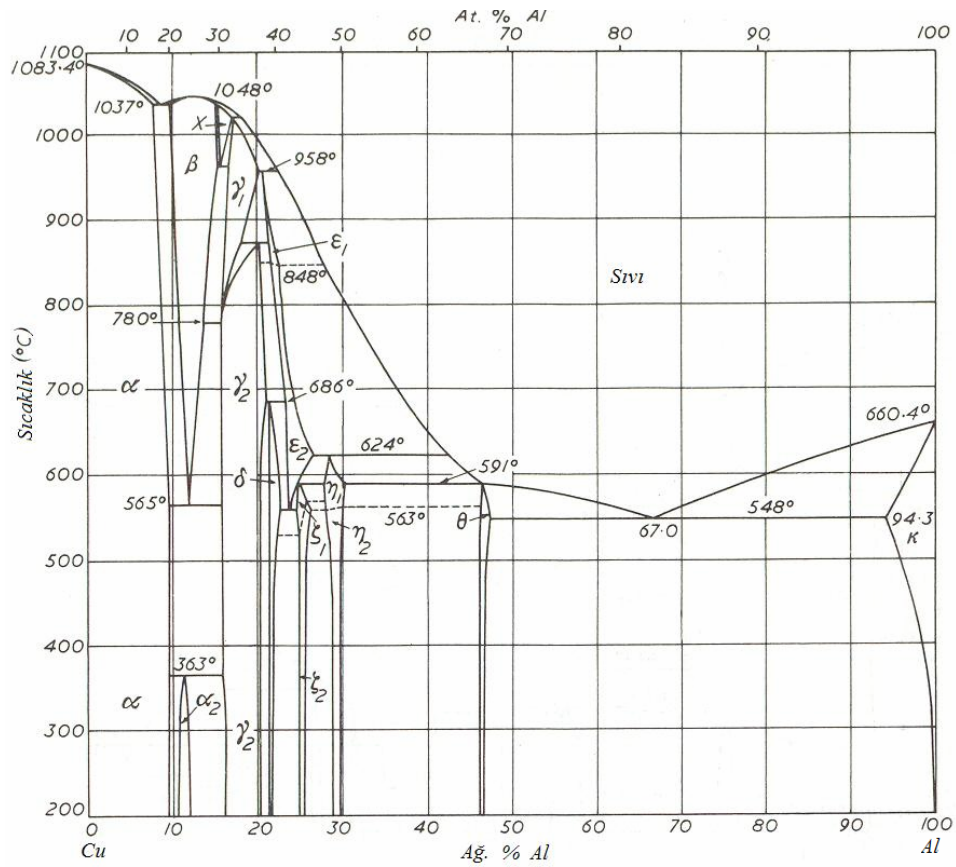
Tablo 2.1 Elektrolitik bakır ve elektrolitik alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri.

Özellikler	Birim	Elektrolitik-Cu	Elektrolitik-Al
Özgül Ağırlık	kg/dm ³	8,95	2,7
Çekme Gerilmesi (sert...tavlı)	MPa	450...240	180...80
Kopma Uzaması (sert...tavlı)	%	1...35	2...35
Elastisite Modülü	MPa	120	70
Ergime Noktası	°C	1083	660
Isı genleşme katsayısı	10 ⁻⁶ / °C	16,6	23,8
+20 °C’de direnç ısı değişim katsayısı	1/ °C	0,0039	0,0040
+20 °C’de iletkenlik	IACS %	97...100	61...62
+20 °C’de özgül direnç	Ωmm ² /m	0,01786	0,02857

Tablo 2.2 Bakır ve alüminyum iletkenin fiziksel karşılaştırması.

ŞARTLAR	B A K I R	ALÜMİNYUM
EŞİT KESİT	1	1
* Ağırlık	1	0,3
* İletkenlik	1	0,625
* Akım Taşıma Kapasitesi	1	0,8
EŞİT İLETKENLİK	1	1
* Kesit Alanı	1	1,6
* Çap	1	1,3
* Ağırlık	1	0,49
EŞİT SICAKLIK ARTIŞI	1	1
* Kesit Alanı	1	1,4
* Çap	1	1,17
* Ağırlık	1	0,42

2.5. Cu-Al Faz Diyagramı



Şekil 2.1 Cu-Al faz diyagramı (Brandes, 1983).

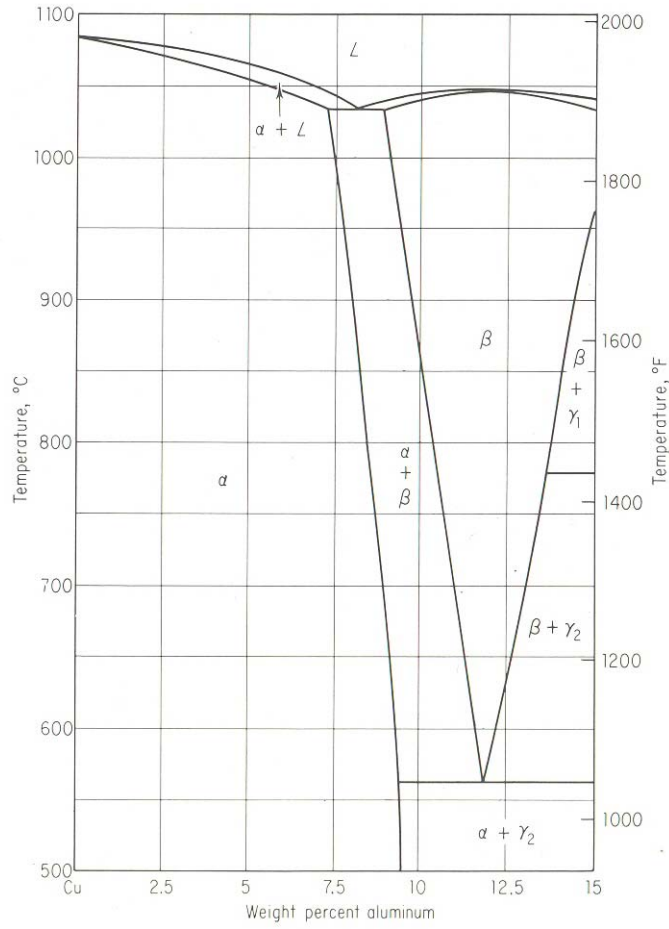
Cu-Al faz diyagramının tümü Şekil 2.1’de görülmektedir (Brandes, 1983). Bakır-alüminyum alaşımları (alüminyum bronzları) kimya endüstrisinde, madencilikte, deniz suyu bulunan tesislerde, tuzlalarda, kondansör borusu olarak (CuAl5), sıcak armatürlerde ya da hidroliklerin kumanda ünitesinde (CuAl10Fe3Mn1) kullanılırlar. Son belirtilen alaşım, çok metalli alüminyum bronzu olarak da adlandırılır ve çok metalli alüminyum bronzlarının özellikle asitlere karşı olan korozyon direnci, nikel (% 6’ya kadar), mangan (% 3’e kadar) ilavesiyle önemli ölçüde artırılabilir. Nikel içeren çok metalli alüminyum bronzlarından yapılmış gemi civataları (yaklaşık % 10 Al, % 5 Ni, % 4 Fe, % 3 Mn ve Cu), örneğin deniz suyuna karşı pirinç ve kalay bronzundan daha dayanıklıdır (Topbaş, 1993).

Şekil 2.2’de bakır-alüminyum faz diyagramının bakırca zengin kısmı görülmektedir. Alüminyumun α katı eriyiği içerisinde maksimum çözünürlüğü 565 °C’de yaklaşık olarak % 9.5’dir. β fazı; 565 °C’de bir ötektoid reaksiyonla ($\alpha + \gamma_2$) faz karışımına dönüşür (Avner, 1974).

Ticari değere sahip alüminyum bronzları en çok % 4–11 oranlarında alüminyum içerir. En dayanıklı alaşımlar, % 4’den fazla alüminyum içeren homojen α fazlı alaşımlardır (Topbaş, 1993). % 7,5–11 aralığında alüminyum içeren alaşımlar iki fazlı alaşımlar iken, % 7,5’e kadar alüminyum içeren alaşımlar genel olarak tek fazlı alaşımlardır. Demir, nikel, mangan ve silisyum gibi diğer elementler de alüminyum bronzlara sıkça ilave edilir. Demir (% 0,5–5), mukavemeti ve sertliği artırır ve tane inceltir. Nikel (% 5’e kadar), demirle aynı etkiye sahiptir, fakat demir kadar etkili değildir. Silisyum (% 2’ye kadar), alüminyum bronzunun işlenebilirliğini artırır (Avner, 1974).

Tek faz alüminyum bronzları; su ve atmosferle ilgili korozyon direncine ilave olarak, iyi soğuk işlem ve iyi mukavemet özellikleri gösterirler. Soğutma tüplerinde, soğuk iş kalıplarında, aşınmaya dayanıklı kazanlarda, somun ve civatalarda ve denizcilik uygulamalarında koruma kaplaması olarak kullanılırlar (Avner, 1974).

$\alpha + \beta$ alüminyum bronzlarına, çeliğe benzer yapıları elde etmek için ısıtma işlemi uygulanabilir. Primer α yapısı ve tanecikli ötektoid ($\alpha + \gamma_2$) yapısı, % 10 alüminyum bronzunu temsil eder. Ötektoid sıcaklığın üstündeki ocakta soğutma işlemi, perlit benzer katmanlı bir yapı oluşturur. İki fazlı alaşım 815–870 °C’ler arasında suya çekilirse, martenzite benzeyen iğnemsî bir yapı oluşur. Suya çekilmiş alaşımlar, mukavemeti ve sertliği artırmak için 370–600 °C arasında temperlenir. Isıl işlem görmüş alüminyum bronzlar; dişlilerde, pervane göbeklerinde, bıçaklarda, pompa parçalarında, mil yataklarında, contalarda, alevlenmeyen parçalarda, çizim ve şekil verme kalıplarında kullanılırlar (Avner, 1974).



Şekil 2.2 Bakırca zengin Cu-Al faz diyagramı
(Metals Handbook, 1988).

2.6. Bakır-Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

Bu alaşımlar “Alüminyum Bronzu” olarak bilinirler ve yaklaşık % 15 alüminyuma kadar değişik bileşimlerde olabilirler. Alüminyum bronzları alaşıma ilave edilen katkı elemanlarına, elde edilen alaşımın mekanik özelliklerine, yapı türlerine ve kullanma alanlarına göre sınıflandırılırlar. Alüminyum bronzları genel olarak iyi mukavemet, korozyon, süneklilik, sertlik ve gerilim uygulamalarında kullanılırlar. Ayrıca uygun yağlama yapıldığında, yüksek aşınma dayanıma sahip olduklarından; dişli, yatak ve kalıp yapımı gibi uygulamalarda da kullanılırlar (Rowley, 1984; Avner, 1974) .

Alüminyum bronzlarının mekanik özellikleri; başta alüminyum olmak üzere, alaşım elementlerinin miktarına bağlıdır. Alüminyum bronzlarında mekanik özellikleri etkileyen diğer bir etken de, alaşımlara uygulanan ısıt işlemler ve kontrol edilebilen katılaşma hızlarıdır.

Alüminyum bronzları çok yavaş soğutulursa sert ve kırılgan yapılar ortaya çıkar (Yılmaz ve Şen, 1996; Higgins, 1985).

Alüminyum bronzları; kimya, kâğıt, tekstil ve gemi sanayisinde korozyona dayanıklı alaşım olarak kullanılır.

Korozyona çok iyi dayanıklılık ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet özellikleri bulunan alüminyum bronzları, bakırdan başka % 11'e kadar alüminyum ve bazen ayrıca demir, manganez ve nikel içerirler (Ersümer, 1976).

Artan alüminyum miktarı ile alüminyum bronzlarının mukavemeti de yükselir. Dökme alüminyum bronzlarında çekme mukavemetinin en az 350 ila 600 MPa olması istenir. Brinell sertliği için asgari 80 ila 150 HB arasındaki değerler şart koşulur (Ersümer, 1976).

Yüksek sertlik ve aşınma mukavemetleri dolayısı ile alüminyum bronzlarının işlenmesi güçtür. Bilhassa talaş kaldırmak için yüksek alaşımlı takım çelikleri veya sinterlenmiş metal karbür esaslı malzemeler kullanılır. % 9'dan fazla alüminyum ihtiva eden alaşımlara sıcak şekil verilir.

Şekil 2.2'deki diyagramdan da görüldüğü gibi, bakır-alüminyum alaşımları değişik bir dönüşüm davranışı sergilerler; ısıtma işlem karakteristikleri farklıdır. Sertlik ve mukavemet artışının temini için burada çökelme fazı partikülleri; bastırılmış bir ötektoid alaşım yapısından ayrıştırılarak matris içinde üretilir. α fazı, içerisinde en çok % 9,4 alüminyum eritebilir. Oda sıcaklığında yapı, denge halinde; sadece % 8 alüminyum içeren, soğuk ve sıcak plastik deformasyon yeteneği yüksek α katı eriyik fazından ibarettir (Demirci, 2004).

3. CuCrZr ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

3.1. Bakır Alaşımları İçerisinde CuCrZr Alaşımının Yeri, Kullanım Alanları ve Özellikleri

Yapısal sertleşmeli ve maksimum mekanik mukavemeti elde etmek üzere işlem görmüş endüstriyel bakır alaşımlarının tümü ele alındığında, maksimum mekanik mukavemetin elektriksel iletkenlikle ters yönde değiştiği görülür. Bu nedenle de bu alaşımlar üç gruba ayrılabilir (Oğuz, 1990):

1. Yeterli elektriksel iletkenlik ve mekanik karakteristikli alaşımlar (örneğin; kromlu bakır, zirkonyumlu bakır).
2. Orta elektriksel iletkenlik ve yüksek mekanik karakteristikli alaşımlar (örneğin; kobalt-berilyumlu bakır, nikel-silisyumlu bakır).
3. Çok yüksek mekanik karakteristik ve nispeten zayıf elektriksel iletkenlikli alaşımlar (örneğin; berilyumlu bakır).

Tekniğin ve endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamak, özellikle yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra ısı ve elektrik iletkenliklerinin de birlikte istendiği durumlarda bakır-krom-zirkonyum (CuCrZr) alaşımlarının kullanımı önem kazanmaktadır (Fabritsiev ve diğ., 1996; Edwards ve diğ., 1993).

Birinci grup alaşımlar elektriksel ve/veya ısı iletkenliğinin esas olduğu yerlerde kullanılırlar (Oğuz, 1990). Her geçen gün bir yenisi eklenen ve özellikleri sürekli geliştirilmekte olan bu alaşımların kullanım yerlerine örnek olarak; kontak malzemeleri, elektrik direnç kaynağı elektrotları, motor parçaları ve son yıllarda kırılma tokluğu istenen nükleer uygulamalar ve özellikle füzyon reaktörleri verilebilir (Eşiz, 2003). Yukarıdaki gruplandırmada ikinci gruba dâhil olan alaşımlar; iletkenliğin ikinci derecede ya da ilgi alanının dışında olduğu veya elastisite modülünün zayıf olması (yaylar, membranlar), manyetik olmayışı (denizcilik aparatları), darbe etkisiyle kıvılcım çıkarmama (maden, baruthane aletleri) niteliklerinden faydalanılmak istendiği hallerde kullanılır (Oğuz, 1990).

Bakır-zirkonyum (Cu-Zr) alaşımları üzerine başarılı ilk laboratuvar çalışmaları 1928 yılında Allibone ve Sykes adlı bilim adamları tarafından vakum ve indüksiyon fırınlarında yapılmıştır. Bu çalışmalarda vakum ve indüksiyon fırınlarında % 30 zirkonyum içeren alaşımların ergitmesi gerçekleştirilmiştir (Eşiz, 2003).

İlk zamanlarda ticari alanda pek rağbet görmeyen Cu-Zr alaşımları ancak 1936 yılında kullanılma fırsatı bulmuştur. Patenti Mallory'ye verilen, % 0,1–0,5 Zr içeren Cu-Zr alaşımı direnç kaynağında elektrot malzemesi olarak ve patenti Philips'e verilen, % 0,1–3 Zr içeren

Cu-Zr alaşımı elektronik uygulamalarda destekleyici tel malzemesi olarak kullanılmıştır (Eşiz, 2003).

1830'dan beri gümüş kaplama uygulamalarında yüksek iletkenlik gereksiniminden dolayı yüksek sıcaklıkta tavlannmış yüksek iletkenlikli bakır kullanılmaktaydı. 2. Dünya Savaşı'ndan sonraki dönemde ise bu alaşımların yetersiz olduğu anlaşılmış ve özellikle modern dizaynlarda olmak üzere gerilme-sıcaklık altında daha yüksek performans gösterebilecek malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu zaman içerisinde yaklaşık % 1 Cd ya da Cr içeren bakır alaşımlarının, % 15–20 düzeyinde iletkenlik kaybına uğramaları pahasına, bakır-gümüş alaşımlarına nazaran daha yüksek tavlama sıcaklığına sahip oldukları anlaşılmıştır (Eşiz, 2003).

Günümüzde de kullanılan bu iki alaşım, direnç kaynağı elektrodu ve yüksek performanslı değiştirici gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ne yazık ki, bugüne kadar Cu-Cr alaşımlarının sadece sıcağıdaki davranış özellikleri geliştirilebilmiştir. Diğer yandan bu alaşımların yüksek sıcaklıklarda çentiğe duyarlı oldukları belirlenmiştir. Bu özellik, Cu-Cr alaşımının değiştirici parçası olarak kullanıldığı alanlarda önemli bir dezavantaja sahiptir. Çünkü böyle değiştiriciler, yüksek sıcaklık ve gerilim altında ve yüksek hızlarda çalışıldığı için çatlama ve kırılma gösterebilmektedir. Bu olumsuzluğu gidermek için Battelle Memorial Enstitüsü'nde alternatif malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda; makul fiyatlarında, iletkenliği Cu-Cr alaşımlarının % 90'ı kadar olan ve 400°C üzerinde tavlانarak kararlılığı sağlanan, oda sıcaklığında Cu-Ag alaşımlarına göre daha yüksek dayanıma sahip değiştirici malzemeleri üretmek istenmiştir. 1956–1957 yıllarında oksijensiz bakıra % 0,18–0,35 zirkonyum ilavesiyle elde edilen alaşımın istenen tüm bu özellikleri sağladığı görüldü (Eşiz, 2003).

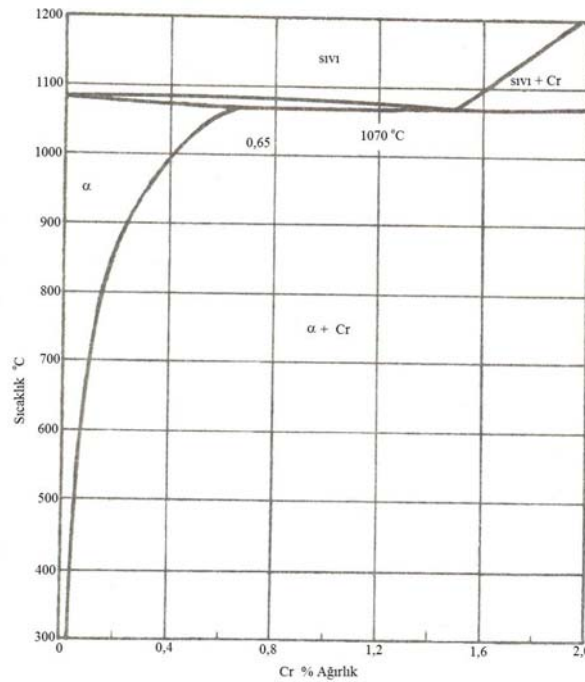
1960 yılında Saarivita zirkonyumun bakır içindeki katı çözünürlüğünü yeniden incelemiş ve zirkonyumun 980 °C olan ötektik sıcaklıkta maksimum % 0,15 çözünürlüğe ulaştığını belirlemiştir. Zwicker ise, zirkonyumun bakır içindeki çözünürlüğünün yine ötektik sıcaklıkta en çok % 0,11 olduğunu belirtmiştir (Gusel, 2000).

Saarivirta (1960 yılında), 2,06 mm çapındaki tellerle yaptığı çalışmada % 0,03'den % 0,23'e kadar zirkonyum içeren ve ısıl işlem gören alaşımların oda sıcaklığındaki özelliklerini inceledi. Yapılan çalışmalarda, bakır alaşımlarında % 0,05 ila 0,15 arasında zirkonyum katılmasının daha iyi sonuçlar verdiği belirlendi. Daha sonra Saarivirta ve Taufebaltt, ticari saflıktaki % 0,10–0,15 zirkonyum içeren oksijen içermeyen yüksek iletken (OFHC) bakırla, argon yalıtımıyla üretilmiş % 0,7 bakır-krom alaşımının kısa süreli yüksek sıcaklık özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları araştırmada bakır-zirkonyum alaşımlarının yüksek sıcaklıkta daha iyi tel çekilebilme özelliği gösterdiğini, 400 °C'de yapılan çekme

testlerinde bakır-krom alaşımlarına göre % 50 daha fazla kopma uzaması değerine sahip olduklarını ve belirtilen koşullara 5 saat daha fazla dayanabildiklerini bulmuşlardır (Gusel, 2000).

Bakır-zirkonyum alaşımları üzerine yapılan araştırmalar Amerika'nın yanı sıra Fransa'da da sürmüştür. Amerika'dakilerden farklı olarak Fransa'da alınan patentlerde alaşımların içinde az bir miktar fosfor, silisyum ve demir bulundurunken, ayrıca bu alaşımlar yaşlanma sertleşmesi göstermemektedir. Her ne kadar pahalı ve zahmetli de olsa; bakır-zirkonyum alaşımları, yüksek elektrik iletkenlikleri ve yüksek sıcaklıklardaki özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı değiştirici malzemesi olarak başarıyla kullanılmıştır (Eşiz, 2003).

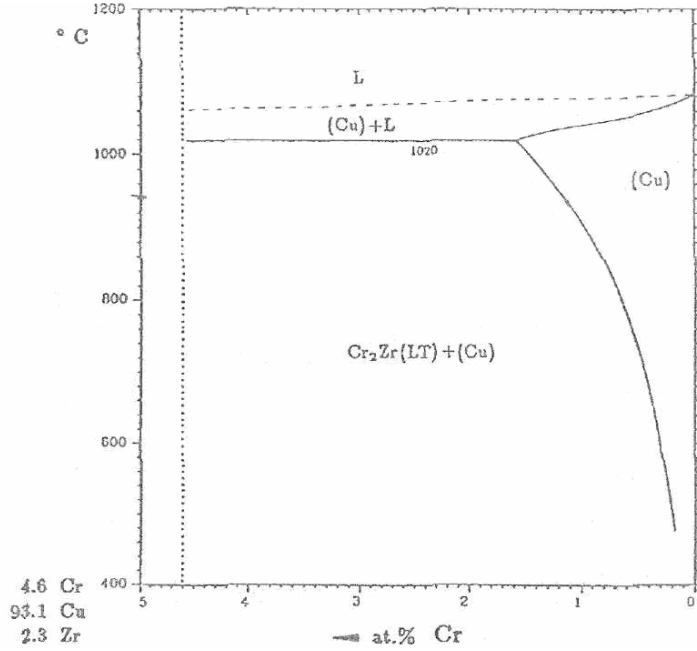
Bu alaşımların geliştirilmesi için yapılan deneysel çalışmalarda, sürünme davranışının özellikle yüksek verimli makinelerde ve uçak sanayisinde kullanılacak malzemenin uygunluğu açısından belirleyici bir özellik olduğu saptanmıştır. Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda, gerilim altında malzemenin yüksek derecede sürünme dayanımına sahip olması istenir. Bu sebeple alaşımların özellikleri bu yönde geliştirilmiştir (Eşiz, 2003).



Şekil 3.1 CuCr'ye ait % 0,65 Cr oranını gösteren bölgenin faz diyagramı (Oğuz, 1990).

Şekil 3.1'de gösterilen bakır-krom faz diyagramından da gözlenebileceği gibi, sistem dar bir katılma aralığına sahiptir. Şekil 3.1'de kromun bakır içerisinde maksimum çözünürlüğünün % 0,65 civarında olduğu görülmektedir. Bu hem çözeltili alma işleminin

gerçekleşeceği tek fazlı bölgenin, hem de ısıtım işlem yapabilecek bileşimin sınırını belirtmektedir.



Şekil 3.2 CuCrZr alaşımına ait % 4,6 Cr oranını gösteren bölgenin faz diyagramı (Eşiz, 2003).

Sisteme zirkonyum eklendiğinde çözeltiye alma işleminin gerçekleşeceği tek fazlı bölgenin sınırlarının daha da genişlediği ve 1020 °C'de bakır içinde kromun maksimum çözünürlüğünün % 1,5 olduğu Şekil 3.2'de görülmektedir (Kocabalkanlı, 1992).

3.2. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Gelişimi

Bakır-krom-zirkonyum üçlü alaşımının oluşturulması sürecinde, bakır-zirkonyum alaşımlarının iletkenlik özelliklerinin istenen değerlere ulaştığı gözlemlenmiş; ancak bu alaşımların oda sıcaklığındaki sertlik ve dayanım değerlerinin yetersiz olduğu, buna karşılık bakır- krom alaşımlarının istenen dayanım değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu durum bu iki alaşımın birleştirilebileceği düşüncesini doğurmuş ve bakır-krom-zirkonyum üçlü alaşımının oluşturulabilmesi için deneysel çalışmalara başlanmıştır. Yapılan testler ve ön çalışmalar sonucunda; bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklardaki çekme özelliklerinin ve sürünme direncinin, ayrıca tel haline çekilebilirliğinin bakır-krom ve bakır-zirkonyum alaşımlarına göre daha iyi olduğu saptanmıştır (Eşiz, 2003).

Bakır-krom alaşımlarının en ciddi dezavantajı, çözünürlüğün en yüksek olduğu

sıcaklıkta tane büyümesinin önlenmesinin çok zor olmasıdır. Bu alaşıma yapılan zirkonyum ilavesiyle çözünme sıcaklığının düştüğü ve böylece tane büyümesinin engellendiği ve kromun alaşımdaki çözünürlüğünün arttığı kanısına varılmıştır (Eşiz, 2003).

Bakır-zirkonyum alaşımıyla karşılaştırıldığında, yapılan testler sonucu bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının daha yüksek sürünme direncine sahip olduğu ve en önemlisi ikincil sürünmelerin çok düşük bir hızda gerçekleştiği belirtilmiştir. Bakır-zirkonyum alaşımlarının iyi olan sürünme direnci, iletkenlik ve çentik hassasiyeti gibi özelliklerini optimize etmek amacıyla oluşturulan bakır-krom-zirkonyum alaşımları, günümüzde de bir gelişim sürecindedir (Eşiz, 2003).

3.3. Bakır- Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Standartları ve Bileşimleri

Tablo 3.1 Bakır- krom-zirkonyum alaşımlarının standartları ve bileşimleri.

STANDART	SEMBOLÜ	BİLEŞİMİ	
ISO	5182 A2/2	Cu	% 98,3
DIN	17 666-2.1293	Cr	% 0,3-1,2
BS	CC102-4577 A2/2	Zr	% 0,03-0,3
		Kirletici elementler	< 0,2

3.4. ASTM C18200 ve ASTM C18150 Alaşımlarının Kullanım Alanları

CuCr1 [ASTM C18200] yaklaşık % 1 krom içeren, yüksek iletkenliğe ve saf bakırdan çok daha iyi mekanik özelliklere sahip bir bakır alaşımıdır. Dövme ve ısıl işlem ile bu alaşımdan çok daha iyi mekanik özellikler ve sertlik değeri elde edilebilir. Bu alaşımdan üretilen akım taşıyıcı kollar ve kablo bağlantı parçaları, alaşımsız bakırlardan daha dayanıklı olduğu için elektriksel ve termal iletkenler olarak değer kazanmıştır. Direnç kaynağında elektrot, elektrot tutucusu ve dikiş kaynak diski olarak kullanılır.

CuCrZr [ASTM C18150] yaklaşık olarak; % 1 krom ve % 0,1 zirkonyum içerir. Alaşım, sıcak dövme ile şekillendirmeden sonra, çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlemleri ile yüksek sertlik ve iletkenlik kazanır. Direnç kaynağında; düşük karbonlu çeliklerin ve galvanizli sacların nokta elektrodu, elektrot tutucusu ve dikiş kaynak diski olarak kullanılır. Erozyon makinelerinde dalıcı elektrot olarak kullanılır. Çelik ve alüminyumun sürekli dökümünde kalıp olarak seçilebilir. Mekanik gerilme altında çalışan elektriksel parçalar ve trafolarda irtibat

barası olarak değer taşır. Demir dışı metallerin kalıplanmasında alçak yükte çalışacak kalıp olarak kullanılır.

Zirkonyum-bakır, krom-bakır ve berilyum-bakırı da içeren pek çok bakır esaslı alaşımlar yaşlandırılabilirler. Bu malzemeler kıvılcım üretmez kalitededirler. Tutuşabilir gaz ve akışkanlar ile temas halindeki takımlar için kullanışlıdır (Erdoğan, 1998).

3.5. ASTM C18200 ve ASTM C18150 Alaşımlarının Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

CuCr1 ve CuCrZr alaşımlarının mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’de verilmiştir. Bu iki alaşımın genel karakteristikleri az farklı olduğundan aynı bahis içinde irdelenmiştir; özellikle bu alaşımların ısı işlemleri aynı koşullar altında gerçekleştirilir ve çevre sıcaklığında mekanik nitelikleri, aynı durumlar için, birbirlerine yakındır (Oğuz, 1990).

Tablo 3.2 CuCr1 ve CuCrZr alaşımlarının mekanik özellikleri (Eşiz, 2003).

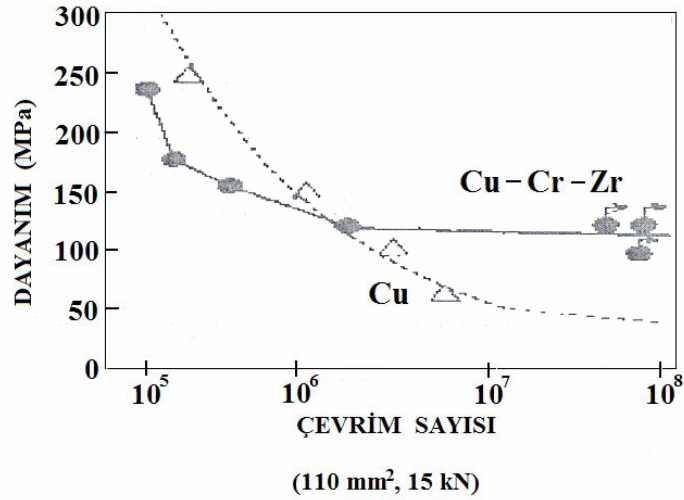
Cu - % 1Cr	Döküm	Soğuk Şekil Verilmiş ve Yaşlandırılmış		Plastik Şekil Verilmiş	
		% 10 Sekillendirilmiş	% 25 Sekillendirilmiş	Çözeltiliye Alınmış	Yaşlandırılmış
Çekme Mukavemeti MPa	350	470–480	520	235–240	330–410
Akma Mukavemeti MPa	190	285	320	310	220
% Uzama	150	150	100	500	220

Tablo 3.3 CuCr1 ve CuCrZr alaşımlarının fiziksel özellikleri (Eşiz, 2003).

Bileşim	Cu - % 1 Cr alaşımı	
Yoğunluk	8,83–8,92 gr/cm ³	
Isıl Genleşme Katsayısı	15,8*10 ⁻⁶ /C (0-100 °C)	
	17*10 ⁻⁶ /C (100-300 °C)	
Ergime Sıcaklığı	1076 °C	
Özgül Isı (20 °C)	0,092 cal/gr/°C	
Isı İletkenliği (20 °C)	Çözeltiliye Alınmış	0,4 cal/cm ² /cm/sn/°C
	Yaşlandırılmış	0,74 cal/cm ² /cm/sn/°C
Elektrik İletkenliği (20 °C)	Çözeltiliye Alınmış	% 40–50 I.A.C.S.
	Yaşlandırılmış	% 80–90 I.A.C.S.
Elektriksel Direnç (20 °C)	Çözeltiliye Alınmış	3,83 µΩ/cm ²
	Yaşlandırılmış	2,10 µΩ/cm ²

Elektriksel Direncin Sıcaklık Katsayısı	Çözeltiye Alınmış	0.002 /°C
	Yaşlandırılmış	0.003 /°C

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları, elektrik ve ısı iletkenliklerinin yüksek oluşu ile bakır alaşımları içinde öne çıkan alaşımlardır. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının dirençleri ve ısıda yumuşamaları, oksijen içermeyen yüksek iletkenliğe sahip bakıra oranla daha iyidir. Bunun yanında bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında yüksek sıcaklıkta mukavemet değişiminin, oksijen içermeyen yüksek iletkenliğe sahip bakıra nazaran daha az olduğu Şekil 3.3'e dayanarak söylenebilir (Eşiz, 2003).



Şekil 3.3 Bakır - krom - zirkonyum alaşımlarının yorulma dayanımı (Nagasawa, 2001).

Kromlu bakır (Cu-Cr) ve krom zirkonyumlu bakır (Cu-Cr-Zr) alaşımlarının genel karakteristikleri birbirinden az farklıdır. Özellikle ısıl işlemleri aynı koşullar altında gerçekleştirilir ve çevre sıcaklığında mekanik nitelikleri, aynı durumlar için birbirlerine yakındır. Kromlu bakıra az miktarda zirkonyum ilavesinin anlamı bu alaşımın sıcakta mekanik mukavemetinin iyileştirilmesinde yatar (Oğuz, 1990).

3.6. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Mikro Yapıları

Son zamanlarda birçok bakır-krom ötektik mikro yapının izotermal kararlılıkları incelendiğinde yüksek sıcaklıklarda ergiyen alaşımların mükemmel mikro yapısal kararlılık gösterdikleri gözlenmektedir. Bu alaşımlar genellikle üniform mikro yapı gösterdiklerinden katılaşma sırasında ortaya çıkan dallanma, bantlaşma veya ara yüzey tabakaları gibi yapısal hatalar kolayca belirlenebilmektedir (Eşiz, 2003).

Metalografik incelemelerde değişik katılaşma hızları altında iki tip yapının ortaya çıktığı gözlenmektedir. Birinci tip yapı; düşük katılaşma hızlarında yüksek oranda dendritik yapıya eğilimin olduğu yapıdır. İkinci tip yapı ise dallanmamış veya düzenli krom lifli yapısıdır. Katılaşma ilerledikçe büyük çapa sahip lifler büyümekte ve küçük çapa sahip olanlar erimektedir (Eşiz, 2003).

3.7. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının İşlenebilirliği

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları 900 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda birbiri içerisinde homojen çözünebilirler ve bu sıcaklıklarda yumuşak ve kolaylıkla işlenebilir özelliklere sahiptirler. Yaşlandırma işleminden sonra da sertlik değerleri 140 HB'ye kadar çıkmaktadır ve kesilmesi zordur. Ancak mekanik işlenmelerinde problem çıkmamaktadır (Eşiz, 2003).

3.8. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Korozyon Dirençleri

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları korozyona karşı gösterdikleri direnç, saf bakırın korozyon direnciyle yaklaşık olarak aynı değerdedir. Bu yönleriyle bakırın kullanıldığı gıda ve kimya endüstrisinde de kullanılabilmektedirler. Yüksek sıcaklıklarda oksitlenme açısından da bakırla karşılaştırılabilirler. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemleri mekanik özelliklerde belirgin yükselişler görülürken, korozyon direncinde artış görülmemektedir (Eşiz, 2003).

3.9. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Kirletici Elementler ve Etkileri

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının üretiminde çeşitli oksit giderici maddeler kullanılır. Üretimin her aşamasında olduğu gibi, oksit giderici madde seçiminde de en önemli kriterlerden bir tanesi maliyettir. Ekonomik şartlar göz önüne alındığında, en çok tercih edilen oksit giderici madde bakır-fosfordur. Ancak oksit giderici kalıntılarının alaşımın elektrik ve ısı iletkenliğine etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin alaşım içerisindeki fosfor, belirli bir limiti aştığında alaşımın iletkenliği önemli ölçüde düşmekte ve fosfor kalıntıları, mekanik özellikleri de belirgin bir şekilde etkileyip düşürmektedir. Alaşımın içinde bulunan tüm yapı kirletici elementler elektrik iletkenliğini azaltacak yönde etki ederler. Katı eriyik içerisindeki bir kalıntı tamamen ya da kısmen ikincil bir faz olarak yapıda ortaya çıkabilir. Bu

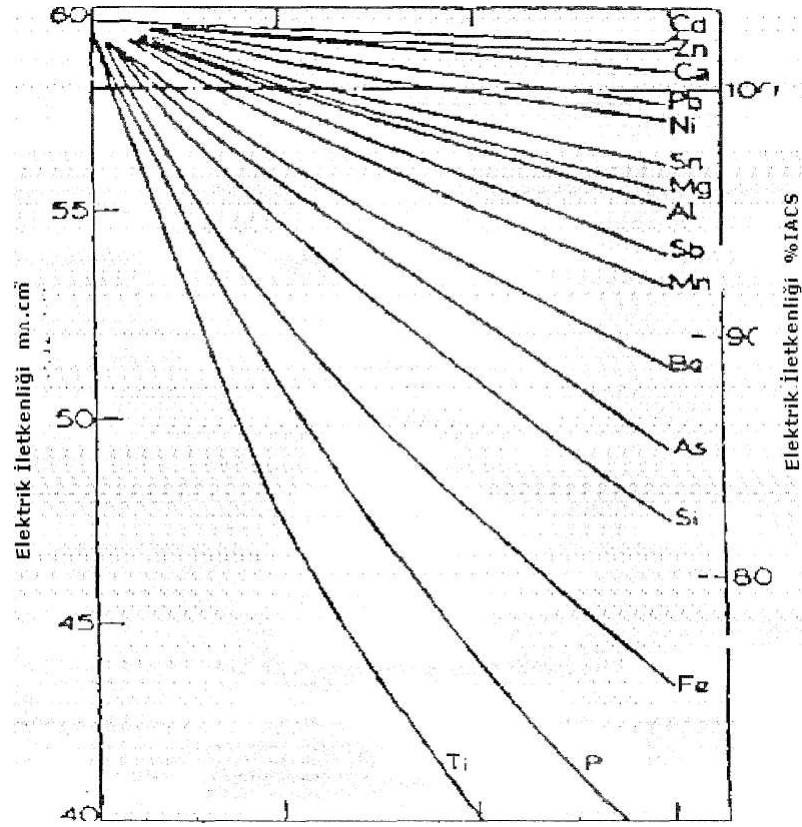
hali, ilk halinden daha da zararlıdır. Kalıntı elementlerin elektrik iletkenliğine etkileri Şekil 3.4’de gösterilmiş ve Tablo 3.4’de özetlenmiştir (Eşiz, 2003).

Elektriksel iletkenliğin önemli bir kriter teşkil ettiği bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında, iletkenlikteki düşüşün en aza indirgenmesi için fosfor vb. kalıntıların, mümkün olduğunca alaşım içerisinde az miktarlarda kalmasını sağlamak gerekmektedir (Murthy, 1984). Yarı doymuş durumdaki bir kalıntı elementi özel ısıtma işlemleri uygulayarak çökelti haline getirmek ve kalıntıların oksidasyonunu sağlamak, elektrik iletkenliğini az da olsa arttırmak için kullanılabilecek yöntemlerdir (Murthy, 1984).

Tablo 3.4 Kalıntı oksit gidericilerin elektrik iletkenliğine etkileri.

Kullanılan Oksit Giderici Miktarı	Fosfor		Kalsiyum-Borür	
	Kalıntı fosfor %	Elektrik İletkenliği % I.A.C.S.	Kalıntı Kalsiyum-Borür %	Elektrik İletkenliği % I.A.C.S.*
0.01	0.005	98.01	-	-
0.05	0.028	90.39	-	98.48
0.10	0.060	76.10	-	100.90
0.20	0.071	70.25	-	100.27

*I.A.C.S.: International Annealed Copper Standart.



Şekil 3.4 Kalıntı elementlerin bakırın elektrik iletkenliğine etkileri (20 °C'de).

3.10. Gazların Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Mekanik ve Döküm Özellikleri Üzerine Etkileri

Yapıdan ayrılması bir hayli zor olan gazlar büzüşmeyi, büzüşme de gözenekliliği etkilemektedir. Çözültiden ayrılan gazların döküm kalıbı içerisinde dışarıya çıkmaları sağlanmazsa, kalıp içerisinde katılaşmaya başlayan ergiyik metale gazlar tarafından basınç uygulanır ve bu da metalin daha fazla büzüşmesine yol açar. Yani gazlar kalıp içerisinde kendilerine yer edinmiş olurlar. Bunun sonucunda katılaşan metalde boşluklar görülür (Stomarhima ve diğ., 1981).

Gazlar, bakır alaşımlarının yapısındaki gözeneklere nüfuz ettiğinden yapıya zarar vermekte ve alaşımın mekanik özelliklerini düşürmektedir. Bu sebeple ergiyik içerisinde bulunan gazların, döküm işlemi yapılmadan önce mutlaka ergiyikten ayrılması gerekir. Hızlı soğuma etkisiyle meydana gelen katılaşma sonucunda gazların yayınma mesafesi çok kısılır ve çentik etkisi yaparlar, alaşımın fiziksel özelliklerini ve çekme özelliklerini düşürürler. Soğuma hızı düşük olduğunda, yapıyı gerilimli bir hale getirirler ve alaşımın mekanik özelliklerini düşürürler. Sıcaklığın düşmesiyle çözünürlüğü azalan ve sıvı çözültiden ayrılan gazlar tane sınırlarında veya dallantıların arasında birikerek bu bölgeleri zayıflatırlar, alaşımın fiziksel

özelliklerini kötü yönde etkilerler. Metal içerisindeki gazda oksijen varsa oksit, kükürt varsa kükürttrioksit (SO_3) oluşur (Eşiz, 2003).

Alaşım içerisinde sınırlı miktarlarda bulunan gazların, alaşıma düşük hızda yapılacak bir katılaştırma işleminde iç büzölmelerin dengelenmesine yardımcı rol oynadıkları bilinmektedir. Ancak bu yardım çok da belirgin düzeyde değildir. Bakır alaşımlarında; yolluk, çıkıcı ve besleyici teknikleriyle yapıda bulunan gazları tamamen uzaklaştırmak fazlasıyla zordur. Arta kalan gazların, yapıda bulunan dallantılar arasındaki gözeneklerin düzenlenmesine ve bu gözeneklerin yapının kararlılığına ve çekme özelliklerine olan zararlı etkilerinin de minimum düzeye inmesine olumlu etkileri vardır (American Foundrymen's Society, 1973).

3.11. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarının Ergitme Pratiği

Zirkonyum içeren alaşımların hazırlanması için vakum altında ergitme ve döküm tavsiye edilir. Böylece zirkonyumun oranını yarı yarıya azaltmak olanağı elde edilirken yüksek sıcaklıkta dayanım üzerine bu elementin faydalı etkisi de korunmuş olmaktadır (Oğuz, 2003).

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ergitilmesinde tüm demir dışı metal dökümhanelerinde kullanılan fırınlar uygun görölmektedir. Fakat fırın atmosferinin ve sıvı metalin kalite kontrolü açısından orta ve yüksek frekanslı indüksiyon fırınları ile endirekt ark fırınları tercih edilmektedir. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ergitme işlemi normal olarak bir örtü altında gerçekleşmektedir. Örtü olarak grafit tozu kullanıldığında, grafit tozunun kum ve tozdan arındırılmış olması gerekmektedir. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında örtü olarak ergitme işlemi sırasında yavaşça ergiyerek koruyucu bir cüruf tabakası oluşturan cam ve boraks kullanılmaktadır. Ayrıca ergitme işleminde florür esaslı örtüler de kullanılabilir (Eşiz, 2003).

4. BAKIR-KROM-ZİRKONYUM ALAŞIMLARINDA ÇÖKELME SERTLEŞMESİ

4.1. Yaşlandırılabilir Bakır Alaşımları

Yaşlandırılabilir bakır alaşımları, esasen yöntemin gereği olarak alaşım elementleri oranının düşük olması dolayısıyla, diğer bakır alaşımlarına göre şu genel özellikleriyle teknolojik kullanımda tercih edilirler (Demirci, 2004):

- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliklerinde, alaşım elementlerinden doğan kayıpların çok daha az oluşu,
- Yüksek mukavemet,
- Isıya dayanıklılık (daha yüksek sıcaklıkta nispeten daha uzun sürelerde mukavemetini koruyabilmesi),
- Yüksek aşınma dayanımı,
- Yaşlandırma öncesi deformasyon yeteneğinin iyi oluşu.

Paramanyetiklik (manyetize edilemeyi) ve korozyon dayanımları, genel Cu alaşımlarının yaşlandırmadan bağımsız karakteristikleridir. Buna göre yaşlandırılabilir Cu alaşımları; elektrik iletkenliği, paramanyetiklik ve/veya korozyon dayanımının yanında, onlara ek olarak mukavemet beklentilerinin yüksek olduğu teknik parçaların üretiminde öncelikli kullanım alanı bulurlar. Her türlü elektrik iletken veya korozyona maruz membranlar ve yaylar, redüktör parçaları, pimler ve civatalar, direnç kaynağı elektrotları vb. yanında darbeli çalışacak veya kıvılcımla yangın veya patlama tehlikesi olacak yerlerde kullanılacak yüksek mukavemette ve sertlikte aletlerin imalinde kullanılan özel alaşım grubunu oluştururlar (Demirci, 2004).

Bu özellikteki bakır alaşımları üretim yöntemlerine göre;

- Yaşlandırılabilir bakır-döküm alaşımları,
- Yaşlandırılabilir bakır-dövme alaşımları

olarak iki grupta ele alınabilir (Demirci, 2004).

4.2. Cu-Cr ve Cu-Zr Alaşımlarında Çökelme Sertleştirilmesi ve Soğuk Deformasyonun Malzemeye Etkisi

Yaşlandırılabilir bakır-dövme alaşımı Cu-Cr alaşımı olup, yaşlandırma uygulama değerlerini yaklaşık olarak faz diyagramından ve ilgili standartlardan yararlanarak bulmak mümkündür (Demirci, 2004).

Bakır-krom alaşımlarında krom oranı katkısı % 0,5 ile % 1 arasında değişmektedir. Bu alaşımlara çökelme sertleştirilmesi işlemi uygulanırken çözeltiye alma işlemi 980 °C ile 1010 °C arasında ya tuz banyosunda ya da atmosfer kontrollü fırınlarda gerçekleştirilir. Çözeltiye alma işlemi görmüş Cu-Cr yumuşak ve kırılımandır. Bu nedenle soğuk işlenebilirliği alaşımsız bakır gibidir (Chandler, 1992).

Cu-Cr alaşımının sertliğini arttırmak amacıyla, çözeltiye alma işleminden sonra birkaç saat boyunca 400–500 °C arasında yaşlandırma yapılır. Böylece istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere ulaşılmış olur. Bakır-krom alaşımları için tipik bir yaşlandırma işlemi 455 °C sıcaklıkta, 4 saat ve üzerinde yapılır (Chandler, 1992).

Genel olarak bakır-krom alaşımları her ne kadar yaşlandırılabilirse de, Cu-Cr ikili alaşımı intermetalik faz içermediği için, ulaşılabilecek mukavemet artışı çok sınırlıdır. Sertlik artışı Cr esaslı partiküllerin çökmesiyle sağlanır (Demirci, 2004).

Yaşlandırılabilir dövme alaşımları ise esas itibarıyla bakırın düşük oranlı Be, Co, Ni, Zr alaşımları olup % 5'e kadar alaşım elementi içerirler. Döküm alaşımı gibi bunlar için de sıcak yapay yaşlandırma uygulanır (Demirci, 2004).

Bakır-zirkonyum alaşımlarında çökelme sertleştirilmesi, bakır yüzdesi en az % 99,7 olan ve Zr oranı % 0,13 ile % 0,30 arasında değişen alaşımlarda gerçekleştirilir. Bu alaşımlarda çözeltiye alma işlemi için 900–980 °C arasında bir sıcaklığa çıkılır, daha sonra da soğuk şekillendirme işlemi gerçekleştirilir. Çökelme sertleştirilmesi için 1–4 saat arasında 500–550 °C sıcaklıkta yaşlandırma işlemi yapılır. Yaşlandırma öncesi soğuk şekillendirme yapılmışsa yaşlandırma sıcaklığı 370–480 °C arasına düşürülür. Ancak yaşlandırma süresi yine 1 ile 4 saat arasında seçilir (Chandler, 1992; Lyman, 1992).

Çözeltiye alma sıcaklığı 900–980 °C'ye yükseltildiğinde elektrik iletkenliğinin düşmesini önlemek için yaşlandırma sıcaklığı düşürülmelidir. Bakır-zirkonyum

alaşımlarının dayanımının artırılması, özellikle soğuk işlem görmelerine bağlıdır (Chandler, 1992).

4.3. Cu-Cr-Zr Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesi ve Sonrasında Yapı Değişimleri

Alaşımları çökelti sertleştirilmesi ile sertleştirmenin ana fikri bu malzemelere hareketlilik kazandıran ve şekil alabilmelerini sağlayan dislokasyonların bloke edilmesidir. Malzeme eğer arı metalse bu malzemeyi sertleştirmek için çökelme sertleştirilmesi uygulanamaz. Çünkü bunlarda kafes içerisinde çözünmüş, dislokasyonları bloke etme görevini yükleneyecek bir atom bulunmamaktadır. Metalik bir malzemenin çökelme yolu ile sertleştirilebilmesi için iki koşul sağlanmalıdır. Bunlardan ilki; ana metal kristalinin kısmi çözündürebilirliği olan bir katı eriyik olması, ikincisi de ana kristalin çözündürebilirliğinin yükselen sıcaklıkla artıp düşen sıcaklıkla azalması gereğidir (Vlack, 1975).

Çökelme sertleşmesi işlemi, kullanım sıcaklığında, katı halde, termodinamik denge halinde, en az iki fazlı yapıdayken, hızlı soğutmak suretiyle denge yapısı fazlarının oluşumuna fırsat verilmeyerek, tek fazlı metastabil yapıya dönüştürülebilen alaşımlara uygulanabilir. Teknik kullanımda bu işlemin anlam kazanabilmesi için söz konusu alaşımın metastabil yapısından (aşırı doymuş katı eriyik) çöktürülecek ikincil fazların yüksek sertlik ve mukavemette olması gerekir. Teknik kullanımda uygulama alanı bulan böyle çöktürmeler, genellikle, belirtilen özelliklere sahip intermetalik faz partikülleridir (Demirci, 2004).

Çökelme sertleşmesine uygun olan bileşimler fazlar dengesinde doyma eğrisinin izdüşümü içerisinde kalan bileşimlerdir. Alınan bu bölgedeki bileşim ikinci fazın tam doymun olduğu bileşimdedir ve yükselen sıcaklık ile birlikte doyma değeri birin altına düşer. Yükselen sıcaklıkla birlikte metalin ikinci fazı çözündürebilirliği artmaktadır, bu durum bu ikinci fazın ana faz içinde rahatlıkla çözünmesine neden olur. Bu işleme çözeltiye alma işlemi denir ancak çözeltiye almanın üst sıcaklığı olan ötektik sıcaklık aşılmamalıdır. Çünkü aksi haşde tane sınırlarında ergime tehlikesi ortaya çıkar. Dolayısıyla çözeltiye alma tavının sıcaklık aralığı doyma sıcaklığı ile ötektik sıcaklık arasında olmalıdır (Vlack, 1975).

Çözeltiye alma işlemi uygulanmış bir malzeme soğuma sırasında doymunluk sıcaklığından itibaren dengeli fazların ayrışmasına izin vermeyecek kadar yüksek bir hızla oda sıcaklığına soğutulacak olursa, ikinci fazın atomları dengeli katılaştırmadıklarından dislokasyonların deformasyona uğrattığı kafes parametresi bölgelerine yerleşirler. Bu

sayede dislokasyonlar bloke edilmiş olur ve şekil değiştirme özelliğinin azalmasına rağmen mukavemet ve sertlik değerlerinde bir yükselme gözlenir. Buna yaşlanma sertleşmesi denir (Vlack, 1975).

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları işlem kademelerine tabi tutulmadan sıcak veya soğuk işlenebilmektedirler. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ısıtım işlem kademeleri döküm işleminden sonra döküm parçasının ya sıcak ya da soğuk işlem görmüş parçaların sırasıyla genellikle yüksek sıcaklıklarda çözeltiye alma, su verme işlemlerini takip eden belirli bir sıcaklık aralığında yaşlandırma işlemlerini kapsamaktadır (Batra ve diğ., 2002).

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları genellikle 800–900 °C arasında sıcak haddeme görürler. Çünkü sıcak haddeme sırasında 700 °C'nin altında çökeltme sertleşmesi meydana gelebilmektedir. Bakır-krom alaşımları böyle yüksek sıcaklıklardaki işlemlerde kırılma veya çatlak oluşumu eğilimine sahiptirler. Fakat dikkatli bir sıcak işlem uygulanarak bu eğilim azaltılabilmektedir (Dusashevich ve Cvetkovski, 2002).

Çözeltiye alma işlemi genellikle koruyucu bir atmosfer altında 400–600 °C arasında belirli bir süre numuneleri fırında tutarak sağlanmaktadır. Yaşlandırma işleminden sonra yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bu yüksek değerlerin elde edilme nedenlerinden biri krom-zirkonyum (Cr_2Zr) intermetalik bağlantısının gerçekleşmesidir. Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarına uygulanan ısıtım işlem kademeleri ile yüksek mukavemet ve mekanik özelliklerin yanında iyi ısıtım ve elektrik iletkenlikleri kazandırılmaktadır (Dusashevich ve Cvetkovski, 2002).

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının optimum özelliklerde kullanımı yaşlandırma sürelerinin ve sıcaklıklarının iyi bir şekilde seçilmesine bağlıdır. CuCrZr alaşımları için yaşlandırma sıcaklıkları 480–550 °C arasında en yüksek mukavemeti ve istenilen değerleri vermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda aşırı yaşlandırma yapılırsa sertlik ve mukavemette düşme gözlemlenmektedir (Ivanov ve Nikolaev, 2002). Düşük sıcaklıklarda yaşlanma sadece Guinier-Preston bölgelerinin teşekkülü ile sonuçlanır. Isıtım işlem yüksek sıcaklıklarda yürütüldüğü zaman, aşırı yaşlanma meydana gelir ve çökelti taneleri irileşir ve bakır matrisle tutarlılık kaybolur (Tu ve diğ., 2002).

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları, ısıtım işleminden sonra hemen hemen saf bakırın üç katı kadar bir sertlik değerine ulaşırlar. Çok önemli bir özellik olan elektrik iletkenlikleri saf bakırla karşılaştırıldığında önemsiz ölçüde düşüktür. Endüstriyel kullanımda bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının yaşlanma süreleri ve dereceleri çok önemlidir. Yaşlanma işlemi sırasında Cr ve Cr_2Zr intermetalik bağının çökeltme prosesine dikkat edilmelidir (Ivanov, 2002).

4.4. Soğuk Deformasyonun Çökelme Sertleştirmesinde Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımına Etkileri

Bakır-krom-zirkonyum alaşımları yüksek elektrik ve ısı iletkenlikleri sayesinde elektroteknik uygulamalarında geniş uygulama imkânı bulmaktadır. Ayrıca otoklav elektrik ark kaynaklarında kullanılmaktadırlar. CuCrZr alaşımlarından yapılan elektrotların ömrü diğer elektrotların iki katı kadardır. Yani bu alaşımlar, CuCr ve CuZr elektrotlarının yaptığı işin iki katını yapabilmektedirler (Durashevich ve Cvetkovski, 2002).

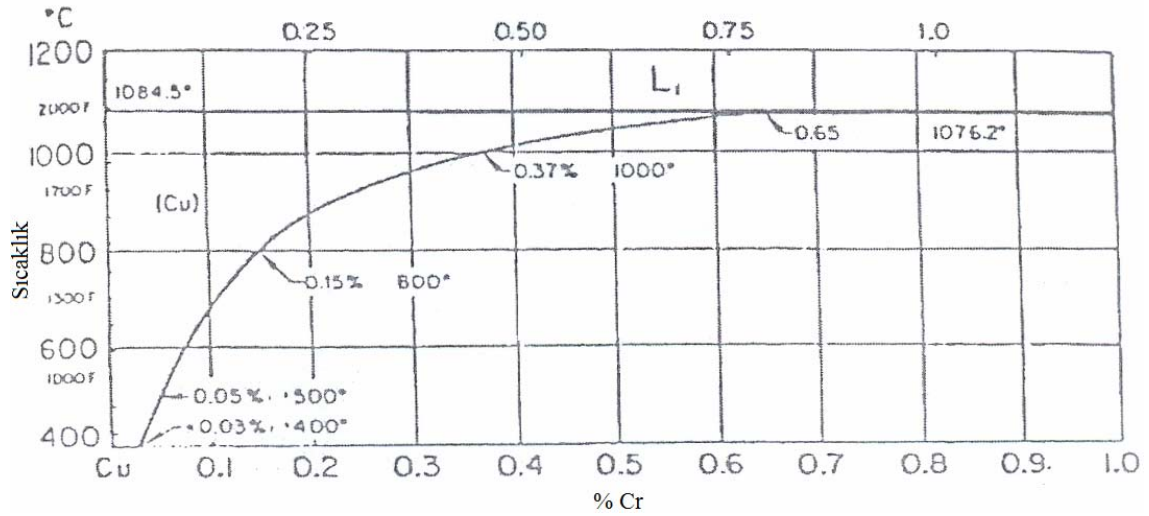
Çökelme sertleştirme yapılmış Cu-Cr-Zr alaşımı; yüksek mukavemet gücü, düşük fiyat, yüksek ısı/elektrik iletkenliği özelliklerinin tümünün yüksek kalitede olması sebebiyle büyük oranda ilgi çekmektedir (Tang ve diğ., 1985).

Çözeltiye alma işlemi uygulandıktan sonra CuCrZr alaşımı homojen α -yapısına sahiptir. Yaşlandırma sırasında Cr parçacıkları veya Cr_2Zr intermetalik bileşiği, doymuş matristen çökler. Doygun α katı eriyiğinden çökelen ikinci fazın parçacıkları çökelme işleminde rol oynar. Bu çökelen parçacıkların boyutları, şekli ve hacim oranları sertleşme derecesini etkiler. Alaşımın yumuşamasını yavaşlatmak için çökelti boyutlarının olabildiğince optimumda tutulması ve hacim oranının olabildiğince artırılması gerekir (Durashevich ve Cvetkovski, 2002).

Termomekanik işlemler CuCrZr alaşımının dayanımını arttırmak için uygulanır. Bu işlemlerde yaşlandırma öncesi soğuk deformasyon işlemi önemlidir. Yaşlandırma sonrası soğuk deformasyon uygulamasına ise seyrek başvurulur. Yaşlandırma sırasında çökelme işlemi gerçekleşir ve sonrasında soğuk deformasyon uygulanır. İstenilen en iyi sertliğe ulaşılması için termomekanik işlemlerde parametrelerin optimal olması gerekir (Durashevich ve Cvetkovski, 2002).

4.5. Zirkonyumun CuCrZr Alaşımlarında Çökelme Sertleştirmesine Etkileri

Bakır-krom alaşımlarına ait faz diyagramına bakıldığında kromun bakır içerisindeki maksimum çözünürlüğü % 0,65 olduğu görülür. Bölüm 3’de de belirtildiği gibi bu; hem çözeltiye alma işleminin gerçekleşeceği tek fazlı bölgenin, hem de ısı işlem yapılabilecek bileşimin sınırını belirlemektedir (Eşiz, 2003).



Şekil 4.1 CuCr'a ait % 0,65 Cr oranını gösteren bölgenin faz diyagramı (Eşiz, 2003).

Sisteme zirkonyum eklendiği durumdaki faz diyagramı Şekil 3.2'de verilmişti. Sisteme zirkonyum eklenmesiyle çözeltiye alma işleminin gerçekleşeceği tek fazlı bölgenin sınırlarının genişlediği, bakır içinde kromun maksimum çözünürlüğünün 1020 °C'de % 1,5 olduğu görülmektedir.

Çökelme sertleştirme sırasında oluşan çökeltilerdeki zirkonyum; Cr_2Zr şeklinde bir intermetalik bağ oluşturup mekanik özellikleri ve çekme mukavemetini olumlu yönden etkilerken, elektrik iletkenliğine etkisi çok azdır (Miller, 1954). Cr_2Zr çökeltileri tane sınırlarında ve dislokasyonlarda çökerek mekanik özellikleri artırmaktadır (Mihara ve diğ., 1998).

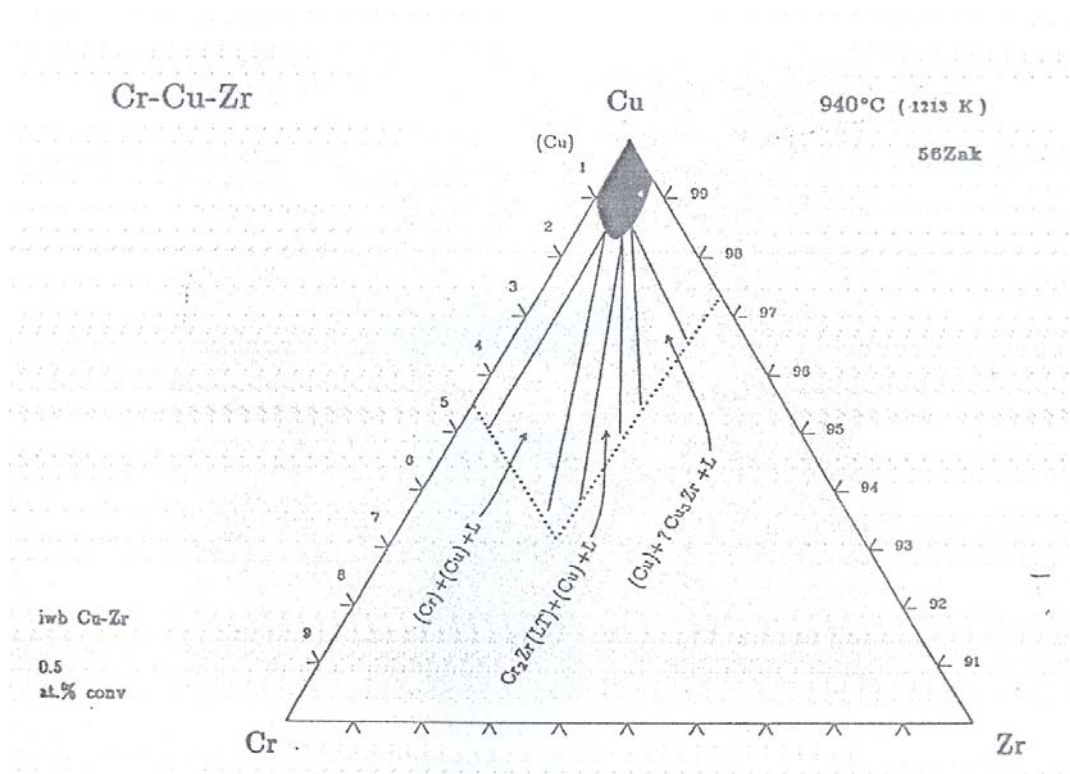
4.6. Bakır-Krom-Zirkonyum Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesi Sonrası Fazların İncelenmesi

CuCrZr alaşımları mükemmel elektriksel iletkenlik, ısı iletkenliği ve korozyona karşı gösterdikleri üstün dayanımdan ve üretim kolaylıklarından ve aynı zamanda yorulma dirençlerinin yüksek olmasından dolayı birçok uygulamada tercih sebebidir. Cu alaşımlar içinde CuCrZr alaşımları yüksek mukavemetleri, ısı ve elektrik iletkenlikleri ile dikkat çeker (Batra ve diğ., 2002). Bu özellikleri sayesinde elektrik iletim hatlarında kullanıldıkları gibi kaynak elektrotu olarak da kullanılırlar (Eşiz, 2003).

Son dönemlerde Cu-Cr-Zr alaşımları termonükleer reaktörlerde ısı değiştirici ve soğutucu bloklarda da tercih edilmeye başlanmıştır. Bu alaşımların tüm bu özelliklerinin, mikro yapıları ve çökelen parçacıkların boyutu ve cinsiyle ilgili olduğu unutulmamalıdır (Batra ve diğ., 2002). Krom ve zirkonyumun bakır içinde çözünürlüklerinin çok düşük olmasına karşın çökelti sertleştirme sonucu çözeltiye alma işlemiyle yüksek sertlik ve mukavemet sağladıkları gözlemlenmiştir (Lakhtin, 1971).

Önceden yapılan bir çok TEM araştırmalarının sonuçları; uygun şekilde yaşlandırılmış Cu-Cr ve Cu-Cr-Zr alaşımlarının yüksek mukavemetli olduğunu göstermektedir. Bu alaşımlar; aşırı yaşlandırma işlemi ile gevşek bağ oluşturan ve süper doymuş bakır matrisden atom dizilişi açısından süregelen (koherent) çökelmiş kromca zengin küçük partiküller bulundurulur (Ardell, 1985; Fujii ve diğ., 2000).

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında çökeltme sertleşmesi gerçekleşirken parçacık dağılım mekanizması sertliği arttıran başlıca unsurdur. Bunun yanında mikro yapının kontrolü ve özelliklerin geliştirilmesi için en uygun üretim teknikleri seçilmelidir (Fuxiang ve Jusheng, 2002).



Şekil 4.2 CuCrZr alaşımının 940 °C'deki üçlü faz diyagramı (Villars ve diğ., 1993).

Bakır-krom-zirkonyum alaşımında 600–1040 °C sıcaklıklar arasındaki fazlar incelendiğinde; 940 °C'da Cu fazı, Cr fazı ve Cr₂Zr veya Cr₃Zr fazları ve mevcut sıvı faz denge halinde bulunmaktadır (Fuxiang ve Jusheng, 2002). Cu+Cr+Cr₂Zr, Cu+Cr₂Zr+L ve Cu+L+Cr₃Zr üçlü fazlar olarak incelendiğinde izotermal bölgede oldukları görülmüştür (Fuxiang ve Jusheng, 2002).

Isıl işlem sonrası tipik bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsünde çökeltiler gözlemlenmek istenirse, burada üç faz görünür. Bunlar bakır fazı, kromca zengin faz olan krom çökeltiler ve zirkonyumca zengin olan Cr₂Zr fazlarıdır (Eşiz, 2003).

4.7. Cu-Cr-Zr Alaşımlarının Isıl İşlemlerinde ve Sonrasında Sorunlar ve Sebepleri

Tablo 4.1 Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarının ısıt işlemlerinde ve sonrasında karşılaşılan sorunlar ve sebepleri (Eşiz, 2003).

Sorunlar	Sebepler
Malzeme sertliğinde düşüş gözleniyor.	• Çözeltiyeye alma sıcaklığı düşük tutulmuştur. • Yaşlandırma sıcaklığı çok yüksek ve/veya yaşlandırma süresi uzun tutulmuştur. • Soğutma suyu sıcaklığı olması gerekenden daha yüksek seçilmiştir. • Malzemede çökelmeyi engelleyecek bazı kalıntı elementler bulunmaktadır.
Malzemede kısmi ergimeler gözleniyor.	• Çözeltiyeye alma sıcaklığı ötektik sıcaklığın üzerinde tercih edilmiştir.
Çözeltiyeye alma işleminden sonra malzeme yüzeyinde kabuklanmalar gözleniyor.	• Çözeltiyeye alma işleminin gerçekleştirildiği fırında atmosfer kontrolü yeterli değildir.
Isıl işlem sonrasında iletkenlik değerlerinin istenilen ve beklenenin altında olduğu gözleniyor.	• Malzemede iletkenliği düşürecek miktarda yapıda zararlı elementler vardır. • Çözeltiyeye alma sıcaklığı gerekli olan sıcaklığın altında tutulmuştur, yani

	çözeltiye alma işlemi tam olarak gerçekleştirilememiştir. • Yaşlandırma süresi yeterli gelmemiştir ve/veya yaşlandırma sıcaklığı olması gerekenin altındadır.
--	--

4.8. Bakır-Krom-Zirkonyumun Isıl İşlemi Sırasında Kullanılan Fırınlr

Bakır-krom-zirkonyum alaşımlarında çözeltiye alma işlemleri hem tuz fırınlarında hem de vakum fırınlarında gerçekleştirilebilmektedir. Tuz fırınları küçük veya orta boyutlu parçalarda kullanım kolaylığı ve daha ucuz oluşları nedeniyle tercih edilmektedirler. Tuz fırınlarında çözeltiye alma işlemi tuz banyoları içinde gerçekleşmektedir. Sıcaklığı 1100 °C'a kadar yükselebilen bu fırınlarda, çözeltiye alma işleminin gerçekleşmesi için numuneler yüksek sıcaklığa dayanıklı özel sepetler ile tuz banyosuna daldırılır. CuCrZr alaşımları için yaklaşık 1020 °C sıcaklıkta çözeltiye alma işlemi gerçekleştirilir. Çözeltiye alma işleminden sonra sepetler fırından çıkarılır ve su verme işlemine geçilir. Bu fırınlar kesintili ya da sürekli çalıştırılabilir (Topbaş, 1992).

Numuneler 950 °C, 1000 °C ve 1050 °C sıcaklıklarda yaklaşık bir saat vakumda tutularak çözeltiye alınırlar ve otomatik sistemle çözeltiye alma işlemi sonunda parçalara su da verilir. Bu fırınlarda numuneler çözeltiye alınıp su verildikten sonra 470–500 °C civarında vakum altında yaşlandırılabilirler (Çardak, 2000).

5. AŞINMA

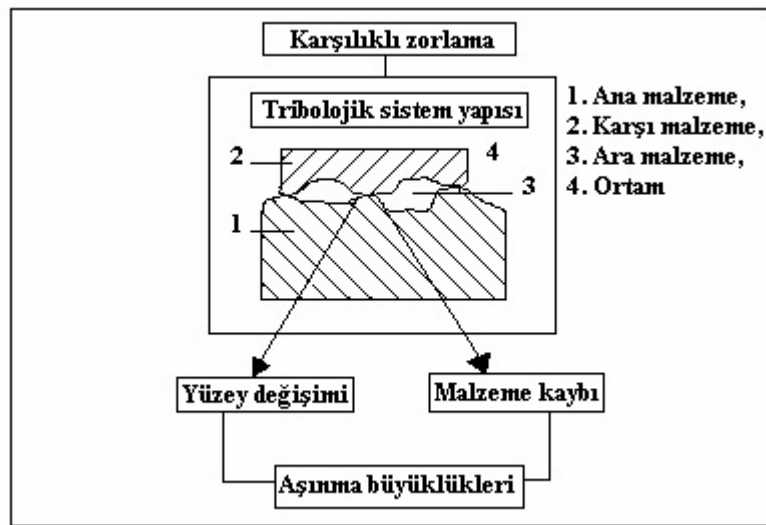
5.1. Tanım

Aşınmanın tanımı değişik şekillerde yapılabilmektedir. Aşınma G. Fleischer tarafından şu şekilde ifade edilmiştir: Aşınma; sürtünme sonucu meydana gelen, katı cismin yüzeyini oluşturan malzeme sahasında ve teknolojik olarak bilinen form değiştirme ya da madde değişimi dışında kalan, kalıcı form ve\veya madde değişimidir (Topbaş, 1993).

Aşınma tribolojinin ana bölümlerindendir. Triboloji ilk defa İngilizcede; “birbiriyle izafi hareket halinde etkileşen yüzeylerin ve bununla ilgili uygulamaların bilim ve teknolojisi” şeklinde tarif edilerek kabul görmüştür (Turhan, 1994).

Moore’a göre (1974) aşınma, kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro taneciklerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır. Diğer bir tanıma göre de aşınma, katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkmasıdır (Özsaraç ve Durman, 2000). DIN50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçaların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır (Yılmaz, 1997).

Aşınma sistemi; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, izafi hareket ve çevre unsurlarından meydana gelir. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte “Tribolojik Sistem” diye adlandırılır (Pekin ve diğ., 1993).



Şekil 5.1 Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi (Buytoz, 2003).

5.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Sürtünen malzemelerin özelliklerinin yanı sıra, sürtünme koşulları, sınır yüzeyinin şekli, sıcaklık ve başka birçok etken aşınmayı etkiler. Bununla beraber malzemelerde sertlik, tokluk, korozyona dayanıklılık ve yüksek ergime sıcaklığı çoğunlukla aşınma dayanımını artıran özellikler olarak bilinmektedir (Turhan, 1994).

Aşınmayı etkileyen faktörler birçok değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir.

- 1- Ana malzemeye bağlı faktörler:
 - a- Malzemenin kristal yapısı,
 - b- Malzemenin sertliği,
 - c- Elastisite modülü,
 - d- Deformasyon davranışı,
 - e- Yüzey pürüzlülüğü,
 - f- Malzemenin boyutu.
- 2- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi.
- 3- Ortamın etkisi:
 - a- Sıcaklık,
 - b- Nem,
 - c- Atmosfer.
- 4- Servis koşulları:
 - a- Basınç,
 - b- Hız,
 - c- Kayma yolu (Kayalı ve diğ., 1997).

5.3. Aşınma Mekanizmaları

Triboproses esnasında çeşitli değişken etkiler meydana gelebilir ve aşınan-aşındıran çiftin yüzey özelliklerinde önemli değişimler olabilir. Dıştan etki eden yük, hız, hareket tarzı ve çalışma, yol, zaman ve sıcaklık gibi temel büyüklükler, tribosistemin yapısı üzerine arzu edilen yararlı büyüklüklere dönüştürülebilirler.

Tribolojik olaylar; hem statik, hem de statik olmayan, örneğin katsayısı ve aşınma miktarının zorlanmaya bağlı olarak değiştiği tarzda olabilir. Statik olmayan durum, aşınma mekanizmasında aşınmaya esas belirli bir parametrede bir değişim göstermesi ve aşınmayı azaltan bir yüzey tabakasının ortaya çıkması sonucu olabilir (Topbaş, 1993).

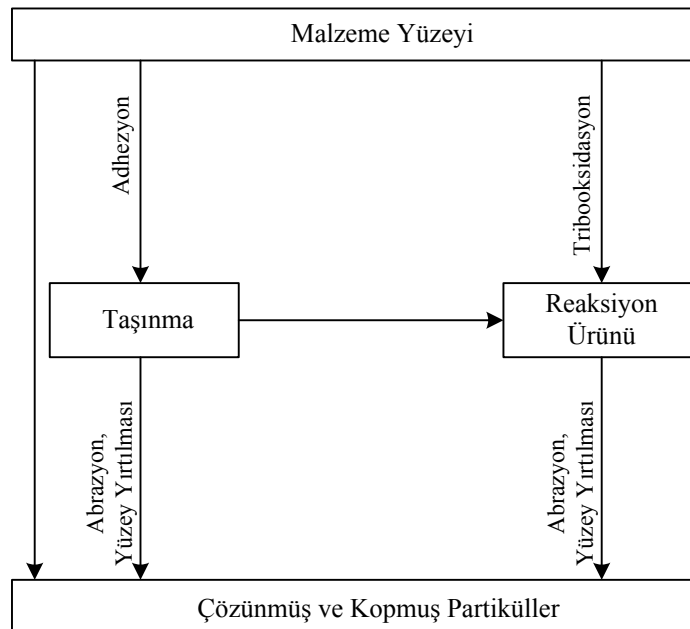
Aşınma, tribosisteme iştirak eden elemanlarda değişken etki yapar. Deformasyon, adhezyon, submikroskobik ve mikroskobik sınır tabaka alanında çatlak teşekkülü ve gelişmesi gibi malzeme değişimleri görülür. Olayların analiziyle, zamanla meydana gelen değişimler ya da değişik zorlanma koşullarında gerçek değerler bulunarak, aşınmanın mekanizması saptanabilir. Bu olaylar, esas olarak şu gruplarda belirtilebilir:

- Adhezif aşınma (kaynak aşınması, yapışma aşınması),
- Abrasif aşınma (mikro kesilme, şekil değiştirme aşınması, eskime aşınması),
- Tribooksidasyon (korozif aşınma, sürtünme oksidasyonu, madde değişimi aşınması, sürtünme korozyonu, alıştırma pası, tribo korozyon),
- Yorulma aşınması,
- Ablativ aşınma.

Diğer aşınma mekanizmaları ise;

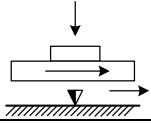
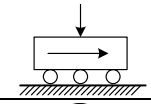
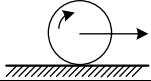
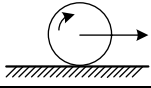
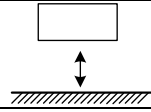
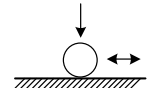
- Erozif aşınma,
- Öğütmeli aşınma,
- Oymalı aşınma,
- Kazımalı aşınma.

Fazla aşınma mekanizmalarının birbiri üzerine yığılmasını gösteren blok şema Şekil 5.2’de, aşınma şekilleri ve mekanizmalarını içeren bir tablo da Tablo 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Fazla aşınma mekanizmalarının birbiri üzerine yığılması (Turhan, 1998).

Tablo 5.1 Aşınma şekilleri ve mekanizmaları (Turhan, 1994).

İzafi Hareketin		Tribolojik Sistem		Aşınma Mekanizmaları					Yüzeyin Görünümü
Adı	Şekli	Sürtünme Elemanları	Ara Madde	Adhezyon	Abrasyon	Yüzey Yorulması	Tribo oksidasyon	Ablativ	
Kayma		Kıta/Kıta	Y A Ğ L A M A S I Z	++	++	+	++	+	Plastik Deformasyon ve Yenme
Taneli Kayma				+	+++	++	+	+	Yarık Oyuk Çizgi
Yuvarlanma				+	⊥	+	⊥	⊥	Soyulma
Kaymalı Yuvarlanma				++	F++	++	++	+	Plastik Deformasyon ve Yenme
Çarpma				⊥	⊥	++	++	⊥	Plastik Deformasyon ve Kırılma
Titreşim-Salınım				Hareketlerin ve Aşınma Mekanizmalarının Kombine Etkileri					
Hidro Aşınma	 Akış Kavıtasyonu	Kıta/Sıvı	Parçacıklı veya Parçacıksız	-	+	+	⊥	-	Yüzeyde Dalgalılık

5.3.1. Adhezif Aşınma

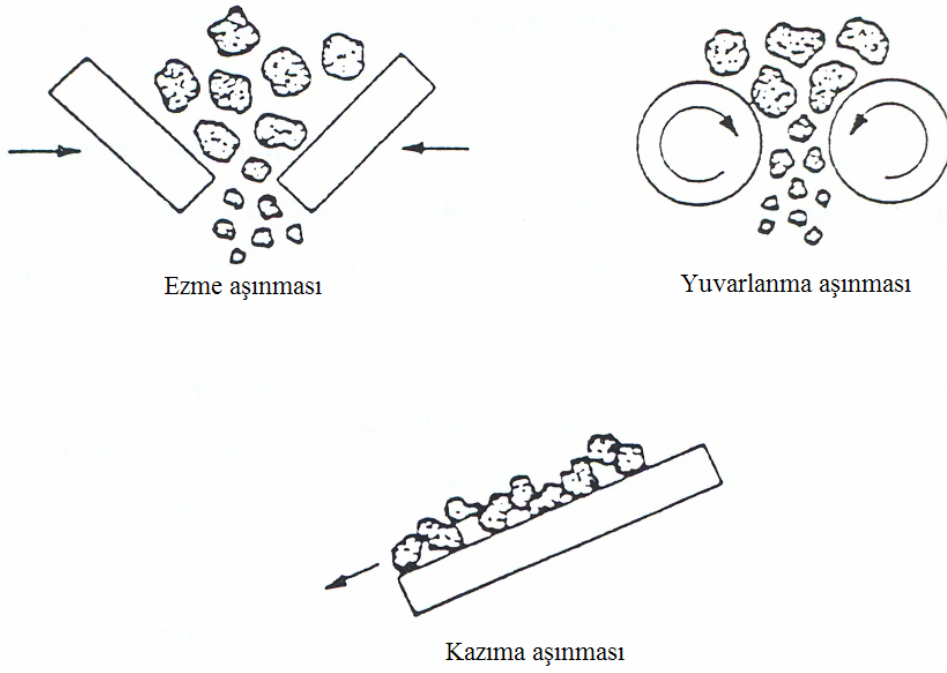
Birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiriyle temasta bulunan benzer kafes yapılı iki metalik yüzey arasında adhezyon kuvveti dediğimiz bir çekim söz konusudur. Bu kuvvetin meydana gelebilmesi için malzemelerin moleküllerini birbirlerine çok yaklaştırmak gerekir. Zaten temas halindeki iki metal, birbiriyle yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşir. Malzeme ağırlığından veya bir dış kuvvetin tesiriyle, çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek olan basınç veya gerilme çok büyük olacaktır. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti yüksek ise, mikro adhezyon alanları şiddetle temas yüzeyine tamamen yayılacaktır. Böylece yüzeyde adsorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanacaktır (Çay, 2002).

5.3.2. Abrasif Aşınma

Abrasif aşınma, bir yüzeyden malzeme kaybına neden olabilen mekanik aşınma yöntemlerinden birisidir. Bu tip aşınmada sert ve keskin partiküller, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaşı kaldırma etkileri gösterirler. Bu sert parçacıklar yumuşak olan yüzeye gömülür ve karşı malzemeyi aşındırır (Özmen ve diğ., 1991). Özellikle sünek malzemede, aşındırıcı sürtünme olmadan da iz meydana geldiği gözlenebilir (Topbaş, 1993).

Bu aşınma, iki elemanlı ve üç elemanlı olmak üzere ikiye ayrılır. İki elemanlı abrasif aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbirleriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrasif aşınmada ise, ana ve karşı malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden kopan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapmaları söz konusu olabilir (Buytoz, 2003).

Abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Çeşitli tip abrasif aşınmalar Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Abrasif aşınma tipleri (Buytoz, 2003).

5.3.3. Triboksidasyon

Abrasif aşınma ile kimyasal maddelerin birlikte meydana getirdiği aşınma şeklidir. Korozif aşınma da denilen triboksidasyon aşınması durumunda, ana malzeme ile karşı malzeme arasında tribolojik zorlanmalardan meydana gelen kimyasal reaksiyon etkindir. Malzeme yüzeylerinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen, bu yüzey tabakalarının triboksidasyon sonucu özelliklerinin değişmesi, aşınmayı hızlandırmaktadır (Çay, 2002). Aşınma yoğunluğu; oyulmuş tabaka teşekkülü ile yükselebilir ya da, aşınmaya dayanıklı ve iyi yapışan tabaka teşekkülü ile azalabilir. Bu aşınma şeklinde; malzeme çifti ve ara tabakanın (örneğin yağ) konsantrasyonu uygun seçilerek, sıkı yapışan ve aşınmaya dayanıklı tabaka sağlanmasına ve aşınmanın azaltılmasına çalışılır (Topbaş, 1993).

Triboksidasyon aşınması, özellikle metalik malzeme yüzeyinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur; bu ise, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur (Çay, 2002).

5.3.4. Yorulma Aşınması

Titreşim (yorulma) aşınması, titreşim zorlamalarında yorulma kırılması hasarı olarak ortaya çıkar. Bu aşınmada, iç yapı tahribatı, çatlamlar, lokal ayrılmalar görülür (Turhan, 1994).

Değişken ve tekrarlı yüklemeler sonucu meydana gelir. Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden, yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür (Kayalı ve diğ., 1997). Yüzey mikro yapısında tekrar eden elastik ve plastik deformasyon olayları; kritik gerilme durumları ve dislokasyon yığılmaları yapar (Topbaş, 1993). Sonuçta malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur; bu da, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine neden olur (Kayalı ve diğ., 1997).

5.3.5. Ablativ Aşınma

Bu aşınma, sürtünme ısısı etkisiyle yüzey bölgelerinde sıcaklığın yükselmesi halinde kendini gösterir. Bu ise atomlar veya moleküllerin çözülmesi şeklinde ortaya çıkar. Uçan bir tür parçanın dünya atmosferine girişinde sürtünme ısısından dolayı çok yüksek sıcaklığa erişmesinden meydana gelen endoterm bir reaksiyondur (Turhan, 1994).

5.3.6. Diğer Aşınma Mekanizmaları

Aşınma mekanizmalarından erozif aşınma, bir sıvı veya taşıyıcı içerisinde bulunan sert aşındırıcı etkili taneciklerin malzeme yüzeyinden hızla kayması veya yuvarlanması sırasında, yüzeye temas eden taneciklerin uzun bir periyot sonunda metal yüzeyinden çok sayıda parça koparılması ile oluşan aşınma türüdür.

Öğütmeli aşınma, yüksek basınçlar altındaki partiküllerin metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılarak koparılması ile meydana gelir.

Oymalı aşınma, malzeme yüzeyinin çok yüksek gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya kopmasıyla meydana gelir.

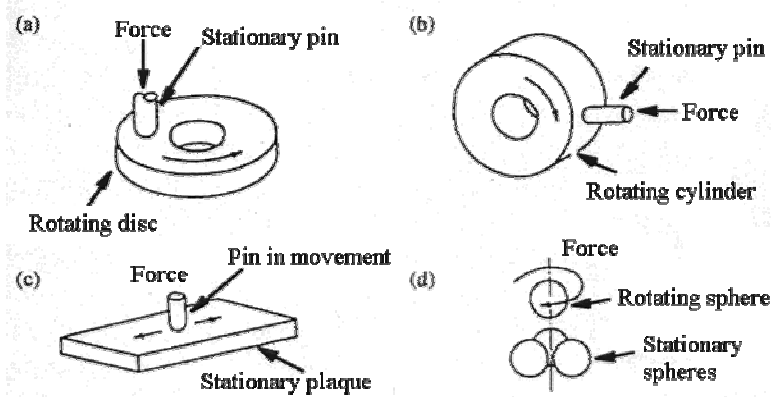
Kazımalı aşınma, karşılaşan yüzeylerde mikro kaynaşmanın meydana geldiği adhezif aşınmaya bir miktar benzemektedir. Aralarındaki fark ise, şu şekilde açıklanabilir. Adhezif aşınma birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma ise birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelir. Ancak kazımalı aşınma, çok düşük genlikteki titreşim hareketleri (vibrasyon) gösteren sistemlerde, mikro kaynaşmanın oluşmasıyla meydana gelir (Buytoz, 2003).

5.4. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

5.4.1. Aşınma Deneyleri

Makine elemanlarında aranılan özelliklerden bir tanesi kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyeti arttırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tespiti için de mutlaka birçok laboratuvar deneylerinin yapılması gerekir. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model basit bir geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunu üzerinde yapılabilir. Aşınma deneylerinde aşınma ölçüm deney yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop metotları mevcuttur (Buytoz, 2003).

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, temas eden parçalardan birinde veya her ikisinde hacim ve ağırlık kaybı esas alınarak yapılır (Kayalı ve diğ., 1991).



Şekil 5.4 Aşınma türlerinin şematik resimleri (Buytoz, 2003).

Sürtünme, aşınma ve yağlamanın bir karakterizasyonunu veren birkaç teknik vardır. Tribolojik davranışların çalışılmasında basit geometrik kavramlar kullanılır. Bunlar;

- Pin on disk testi,
- Blok on disk testi,
- Çok yönlü test,
- Hareketli tabaka üzerinde hareketli pin testi olarak sınıflandırılabilir.

Sürtünme, bir enerji kaybı yöntemidir. Bu yüzden uygulanan yükün sürtünme bileşeni kuvvet sensörleri ile ölçülür. Aşınma deneylerinden elde edilecek bilgiler;

1. Kullanılan donanım (temas geometrisi),
2. Aşınan pin ve aşındıran diskin ölçüleri,
3. Temas eden en az iki malzeme,
4. Yüzey durumu,
5. Uygulanan normal kuvvet, F_n ,
6. Uygulanan basınç, P_a ,
7. Kayma mesafesi,
8. Zaman, t ,
9. Hız, V ,
10. Test sıcaklığı, T ,
11. Atmosfer,
12. Yağlayıcı,
13. Test sayısı (Buytoz, 2003).

5.4.2. Ölçüm Yöntemleri

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü için kullanılan yöntemler:

- 1) Ağırlık farkı yöntemi,
- 2) Kalınlık farkı yöntemi,
- 3) İz değişimi yöntemi,
- 4) Radyo izotop yöntemi

olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerden ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması nedeniyle en çok kullanılan yöntem ağırlık farkı yöntemidir. Ağırlık kaybının ölçülmesi, 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi yardımı ile yapılır. Aşınma miktarı gram veya mili gram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (gr/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesaplanacaksa (gr/cm^2) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybindan hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan gidilerek bulunabilir (Korkut, 1997).

Bu tanımlara göre, ağırlık farkı ölçme metodunda en çok kullanılan bağıntı şudur:

$$W_a = \Delta m / M.s.p$$

Burada;

$$W_a = \text{Aşınma oranı (mm}^3/\text{N.m)},$$

$$\Delta m = \text{Ağırlık kaybı (gr)},$$

$M = \text{Yükleme ağırlığı (N)},$

$s = \text{Aşınma yolu (m)},$

$\rho = \text{Yoğunluk (gr/cm}^3\text{)}.$

olarak verilmiştir. Aşınma oranının (W_a) tersi ise, aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir.

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

Başka bir bağıntı olarak da, bir km'lik kayma yoluna karşılık gelen yükseklik kaybı bağıntısı vardır ki, genellikle iki elemanlı abrasif aşınmanın hesaplanmasında kullanılır;

$$V_s = 10^4 \Delta m / F \cdot \rho \cdot s \text{ (}\mu\text{m/km)}$$

Burada;

$V_s = 1 \text{ km aşınma yoluna karşılık gelen yükseklik kaybı (}\mu\text{m)},$

$\Delta m = \text{Ağırlık kaybı (gr)},$

$F = \text{Aşınma yüzeyi (cm}^2\text{)},$

$\rho = \text{Yoğunluk (gr/cm}^3\text{)},$

$s = \text{Kayma yolu (km)}.$

olarak alınır. Deney malzemesi yükseklik kaybının, karşılaştırma malzemesinin yükseklik kaybına olan oranı, aşınma orantısı sayısını (W_g) verir.

$$W_g = V_s \text{ (deney numunesi)} / V_s$$

Bu orantı sayısının ters değeri ise, bağıl aşınma direnci (R) olarak tanımlanır.

$$R = 1 / W_g$$

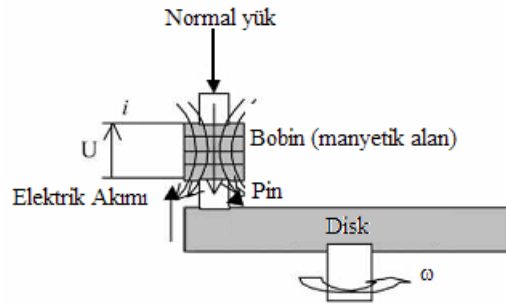
Üç elemanlı abrasif aşınmada ise, genellikle DIN 50320'de verilen boyutsuz aşınma oranı formülü yaygın olarak kullanılır (Buytoz, 2003).

6. ELEKTRİK AKIMI ALTINDA AŞINMA DAVRANIŞI

6.1. Elektrik Akımı ve Manyetik Alanın Aşınmaya Etkisi

Aynı anda bir manyetik alanın ve elektrik akımlarının aşınmaya etkisini incelemek; malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden her birinin ayrı ayrı etkisini anlamayı gerektirir (Zaidi ve diğ., 2001).

Elektrik motorlarında, trenlerdeki askı donanımında ve makinede parça işlemede olduğu gibi birçok dinamik kontakt, manyetik alanda ve/veya elektrik akımı geçişinde meydana gelir (Zaidi ve diğ., 2001). Örneğin, elektrik kuvveti ile işleyen demiryolu hatlarında, ray üzerinde araçların çekilmesi için gerekli enerji çelik/bakır kayan kontakt çifti tarafından elektriksel akım başlığı ile taşınır (Bouchoucha, 1988). Bu sistemlerde kayma müddetince çift, elektriksel ve mekanik parametrelerin çoğunda ağır koşullar altında bulunur (Holm, 1967).



Şekil 6.1 Tribometre (Senouci ve diğ., 1999).

Mekanik ve elektrik kontakt aşınması; abrasif aşınma, erozif aşınma, oksidasyon aşınması, talaş kaldırma, yapı modifikasyonu gibi hasar süreçlerini içerir. Mekaniksel abrasif aşınma; uygulanan normal yük ile artar, bununla beraber elektriksel aşınma; uygulanan normal yük ile azalır (Senouci ve diğ., 1999).

Malzemenin manyetik büzülmesi ya da deformasyonu, manyetik alan uygulaması müddetince meydana gelir (Durand, 1968; Hartemann, 1990). Kayan çiftten geçen elektrik akımı; yüzey sıcaklığını, oksitlenmeyi ve kontakt davranışını etkiler. Malzemelerin manyeto tribolojik etkileşimi; bazı araştırmacılar tarafından, özellikle frenleme ve kesme aletlerinin ömrünü ve makinede işledikten sonraki yüzey kalitesini artırmak için incelenmiştir. Ferromanyetik ve ferromanyetik olmayan malzemelerin sürtünme

davranışının, bir DC manyetik alanın varlığında değiştiği gözlenmiştir (Zaidi ve diğ., 2001).

Elektriksel kayan kontaktların tribolojik davranışı çeşitli yazarlar tarafından çalışılmıştır (Csapo ve diğ., 1995; Holm, 1967; Lancaster ve Stanley, 1964). Ancak bu yazarlar, müşterek bir görüşe sahip olamamışlardır. Holm (1967); kontakt yüzey sıcaklığını artıran elektrik akımı geçişinin, temas metalleri arasındaki bağ enerjisinde azalmaya yol açtığını ve kaymayı kolaylaştırdığını söylemiştir. Buna karşılık Lancaster ve Stanley (1964) ise; gerçek kontakt yüzeyinde bir azalmaya yol açan elektrik akım uygulaması ile temas eden malzemelerin oksitlenmesinin, bir yağlama etkisi gösterdiği fikrini ortaya atmıştır.

Elektrik akım uygulaması sayesinde, Joule ısısı yoluyla sıcaklık artışı; kontakt yüzeyinde bir yumuşamaya neden olur. Akım, kontakt ara yüzeyinde adhezyonu artırabilir (Fechant, 1996). Sürtünme kuvveti ve yüzey kalitesinin değişimi; yüzey üzerindeki bu etki ile açıklanabilir. Yalın metal-metal ile kontakt gerçekleştirildiğinde ara yüzde oluşan oksidin kopmasından sonra, kontakt yüzeyinin adhezyonu tercih edilen bir durumdur. Kayma müddetince hızlı bir biçimde devam eden oksit aktarımı, sürtünme katsayısında büyük değişime ve yüzey düzensizliklerine sebep olur (Zaidi ve diğ., 2001).

Yalıtkan karakteristikli oksitlerin büyümesini kolaylaştıran kontakt yüzeyindeki ısı üretiminden dolayı, elektrik iletkenliğinin azalması anlamına gelen elektrik kontakt direnci artar. Kayma müddetince, elektrik kontakt direnci; kontakt konstrüksiyonu (tertibî) direnci ile yüzeysel tabaka direncinin toplamıdır. Yüzeyleri, oksit filmler gibi yalıtım malzemeleri örttüğü zaman, bahsedilen yüzeysel tabaka direnci ortaya çıkar. Metalin oksitlenmesi yüksek kontakt sıcaklığı ile kolaylaştırılır ve bu; oksijen iyonlarının iç kısma, bazen de metal iyonlarının dış kısma difüzyonu şeklinde meydana gelir. Bununla beraber, eğer oksit film elektrik akım akışını önlemek için yeterince kalın (birkaç nanometrenin üzerinde) ise akım yalnızca, filmin kırıldığı ve metal-metal kontaktlarının bulunduğu, etkilenmemiş yüzeylerden geçerek gidebilir (Zaidi ve diğ., 2001). Kontakt çiftinin her tarafında transfer edilen tabaka oksitlendiği zaman, sürtünme ile bu tabaka, enkaz halinde kontakt yüzeylerinden kaldırılır. Enkazın bir bölümü kayma hareketi ile ara yüzden uzaklaştırılmakla beraber; ara yüzdeki oksit enkazındaki birikme, kontakt direncinde bir artma ile sonuçlanır.

Kayan yüzeylerin bu analizinde; sürtünme müddetince oksitlenmenin elektrik akım yoğunluğuna bağlı olduğu görülmüştür. Oksit tabakasının büyüme miktarı ve kalınlığı elektrik yoğunluğuna bağlıdır. Sonuç olarak, çiftin tribolojik davranışı aslında ara yüzeyde gelişen oksitlerin mekaniksel özellikleri tarafından kontrol edilir (Zaidi ve diğ., 2001).

Senouci ve arkadaşları tarafından (1999); grafit/bakır elektriksel kayan kontakt üzerine akımın etkisi, $P = 20$ N normal yük altında, çevre koşullarında ve kayma hızı $v = 2$ m/s iken incelenmiştir. Sürtünme çifti testi bu şartlarda; $\mu = 0,17$ sürtünme katsayısını vermiştir. Bu çalışmada, kayan kontaklara doğru 10 A'lık bir elektrik akımı geçişi, sürtünme katsayısının azalmasına etki etmiştir. Bu azalmanın akımın yönüne bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bakır anot iken; $\mu = 0,12$ ve kontakt elektrik potansiyeli 2 V civarında, bakır katot iken; $\mu = 0,14$ ve elektrik potansiyelindeki düşüş 1 V civarında bulunmuştur. Yüzey sürtünmesinde kontakt polaritesi; kontak üzerindeki elektrik potansiyeli düşüşünde, aşınma ve hasar mekanizmalarında önemli rol oynar.

6.2. Akımın Transfer Edilen Tabaka Üzerine Etkisi

Kayma yüzeylerinin analizi yapılırken sürtünme süresince transfer edilen tabakanın, elektrik akım yoğunluğu ve polariteye bağlı olduğu görülmüştür. Tabakanın büyüklük ve kalınlığı, elektrik yoğunluğuna bağlıdır. Tabakanın oluşumu (içeriği) ise polariteye bağlıdır.

Senouci ve arkadaşları tarafından 1999b'de yapılan çalışmada çevre şartlarında (oda sıcaklığında), bakır yüzeyi üzerindeki tabaka; bakır anot iken, ince bir bakır oksit tabakasıdır. Bakır katot iken bu tabaka; karbon-bakır oksitten oluşan karışık, kalın bir tabakadır. Bakır katot iken, bakır üzerine transfer edilen karbon tabaka; elektrik potansiyelindeki düşüşü açıklar. Bakır anot iken, argon ya da vakum gibi etkisiz ortamda kayan bakır yüzey, oksit tabakasından mahrumdur ve bakır üzerindeki aşınma hasarı abrasiftir. Bakır toz parçaları tabakası, kayan grafit yüzey üzerine transfer edilir. Bakır katot iken, kalın bir karbon tabakası bakır yüzeyi üzerinde gözlenir.

6.3. Ortamın Aşınma Şekline ve Miktarına Etkisi

Akım yoğunluğu ve polaritesinin aşınmaya etkisi önemlidir. Ancak bulunan ortamın da etkisi incelenmelidir. Aşınma oranı çevre şartlarına bağlıdır. Elektrik akımı bu bağımlılığı artırır (Senouci ve arkadaşları, 1999a).

Senouci ve arkadaşları tarafından (1999a) çelik/bakır kontağı ile yapılan çalışmada; ikili üzerinde yüksek yoğunluklu bir elektik akımı bulunmaktadır ve bu akım, sürtünme katsayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Ancak bu çalışmada ortam oksijen ise, 30 A'e kadar artırılan elektrik akımı ile sürtünme katsayısının sabit kaldığı, ortam argon ise arttığı gözlenmiştir. 30 A'in üzerinde, oksijen ya da hava ortamında; elektrik arkı oluşur, kayan yüzey zarar görür ve sürtünme katsayısı sabit değildir. Argon ortamda, kontakta dağılmış Joule ısınma etkisi, artan elektrik akım yoğunluğu ile sürtünme katsayısını artırır.

Elektrik akımı; bakır anot iken oksitlenmeyi ve bakır katot iken abrazyonu artırır. Bu şartlarda çevredeki oksijenin de aşınmanın miktarı üzerine büyük etkisi olur. Oksijen ortamında, elektrik akımının varlığında bakırın aşınması, akımın olmadığı duruma nazaran daha azdır.

Elektrik akımı yoğunluğu ve polaritesi koruyucu argon gazı ortamında önemli bir etkiye sahip değildir. Oksitlenmenin yokluğu metal/metal kontağının sürdürülmesini sağlar. Bununla birlikte, elektrik akım yoğunluğu artışı ile bakır yüzeyinde abrazyon etkisi kendini gösterir. Sürtünme katsayısı μ ve elektrik kontakt direnci R_c değerleri sabittir. Oksijen ortamda aşınma ise; elektrik yoğunluğu ve polariteye bağlıdır. Aşınma biçimi; bakır anot iken oksitlenme şeklinde görülür. Bakır katot iken akım yoğunluğu ve polaritesinin etkisi ile abrasif tipe değişir (Senouci ve diğ., 1999a).

Normal yük, hız, madde sıcaklığı ve/veya elektrik akım yoğunluğunun desteklendiği ve desteklenmediği durumlar için bu mekanizmalar tekrarlandığı zaman etkiler birbiriyle kıyas edilebilir. Bu etkiler, tribo kontakt etrafındaki ortama bağlıdır. Hava ya da oksijen altında meydana gelen sürtünmede, sürtünme katsayısı hemen hemen değişmez, fakat argon altında artar. Ancak aşınma; oksijen altında ve bakır katot iken artar ve oksijen altında ve bakır anot iken azalır (Senouci ve diğ., 1999a).

Uygun elektrik akım yoğunluğunda ve polaritede, kayan elektrik kontakt çiftinin (bakır/çelik) aşınma davranışı, mekanik parametreler tarafından sürekli olarak değiştirilir. Bunun sonucunda kontakttaki elektrik arkı ya da abrasif aşınma ile yüzeyler zarar görebilir, oksitlenme ile de yüzeyler korunabilir (Senouci ve diğ., 1999a).

6.4. Yapılan Çalışmalar ve Sonuçları

6.4.1. Kullanılan Teçhizat ve Yöntemler

Senouci ve arkadaşları tarafından (1999b) yapılan çalışmada; 120 mm çapında paslanmaz çelik (Cr Ni 18 10) paslanmaz çelik disk ve 2,2 mm çapında yüksek saflıkta (% 99,99) bakır tel kullanılmıştır. Kullanmadan önce, bakır teller 600 °C'de 2 saat vakum altında tavlansmıştır. Çiftin sürtünme davranışı oksijen, hava ve argon ortamda; normal yükte, belli kayma hızında ve elektrik akım yoğunluğu ve polaritesinde çalışılmıştır.

Senouci ve arkadaşları tarafından (1999b) yapılan çalışmada deneyler wire-on-disc düzeni şeklinde değiştirilmiş ve tanımlanmış pin-on-disc düzenindeki tribometrede uygulanmıştır (Paulmier ve diğ., 1990). Normal yük bir P ağırlığı vasıtasıyla dik olarak uygulanmıştır. Doğru elektrik akımı I , merkezkaç kuvvetin etkisini bertaraf etmek için

dönme eksenindeki bir civa kontakttan geçerek diske taşınmıştır. Uygun bir devre ile de kontakt elektrik direnci (R_c) kaydedilmiştir.

1997’de Chen ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise kullanılan deneysel yöntem şu şekildedir: Elektriksel kayma testleri; kuru çevre şartlarında, sertleştirilmiş bir AISI 52100 çelik diske karşı Cu - % 15 Cr bileşiği ile değiştirilmiş pin-on-disc aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir.

Chen ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmada (1997) çelik disklerin taşlama izlerine paralel yüzey pürüzlülüğü (R_a) 0,18 μm , taşlama izlerine dik yüzey pürüzlülüğü 0,216 μm olarak belirlenmiştir. Aşınma testleri öncesi, kompozit pinler 600 gritlik SiC kâğıtlara sürtülmüş ve sonra temizleyici ile 5 dakika metil alkolde temizlenmiştir. Disk ise olduğu gibi metil alkolle temizlenmiştir. Pin, 10^{-7} hassasiyete sahip bir terazi ile tartılmıştır. Disk; 2,5 ve 5,83 m/s arasındaki kayma hızlarına karşılık gelen 600, 800, 1000, 1200, 1400 devir/dakikalık hızlarda döndürülmüştür. 0,98’den 8,82 N’a değişen normal yük uygulanmıştır.

Chen ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (1997) D.C. güç kaynağından alınan bir elektrik akımı, kompozit pin ve çelik diskten oluşmuş kayan ara yüzler arasına uygulanmıştır. Çelik disk anot iken kompozit pin katoda bağlanmıştır. Elektrik akımı 0 ve 50 amper arasında değiştirilmiş ve maksimum gerilim 12 V’ta tutulmuştur. Kayma müddetince, Cu - % 15 Cr pinin sıcaklığı, kayan yüzeyin 1,5 mm altına sıkıştırılan bir termokupla takip edilmiştir. Yaklaşık olarak kütle sıcaklığına ait 1000 veri kaydedilmiş ve her test için ortalama bir sıcaklık hesaplanmıştır. 8 kanallı bir ara birim aracılığıyla sürtünme katsayısı ve kütle sıcaklığı her 4 saniyede bir kaydedilmiştir.

Tu ve arkadaşları tarafından 2002’de yapılan çalışma da; elektrik akımı altında, bir pin-on-disk aşınma test cihazında, hava ortamında, Vickers sertliği 83 olan pirinç diske karşı Cu-Cr-Zr alaşımı pin olacak şekilde bir aşınma çalışması yapılmıştır. Pin numunesi kenarları 10 mm olan bir kare kesite sahiptir. Aşınma testi müddetince, kare kesitin bir tarafı kayma yönündedir ve kayma yüzeyine dik tarafın uzunluğu 22 mm’dir. Pirinç disk 45 mm çapında ve 10 mm kalınlığındadır. Aşınma testleri 14 m/s kayma hızında ve 0,2 MPa’lık normal bir basınca karşılık 20 N’luk normal bir yükte yapılmıştır. Elektrik akımı 0 ve 30 A arasında değiştirilmiştir. Aşınma testinden önce, tüm numune yüzeyleri 800 grit zımpara kağıdı ile cilalanmış, alkolle temizlenmiş ve kurulanmıştır.

Bu çalışma için Cu – 0,4 ağırlık % Cr – 0,2 ağırlık % Zr alaşımı bir vakum indüksiyon ocağında imal edilmiştir. İngot sıcak haddeden 15 mm. çapında bir çubuk olarak çekilmiş ve soğutulmuştur. Sürekli dökümle üretilen çubuk 0,5 saat için 920 °C’de işlenmiş, bir elektrik direnç fırınında sırasıyla 420, 460, 500 ve 540 °C’de 2 saat yaşlandırılmış ve sonra havada soğutulmuştur. 10 mm x10 mm x 22 mm boyutlarındaki numuneler aşınma testi için

makinede yapılmış ve çubuklar yaşlandırılmıştır. Philips CM200 elektron mikroskobu ile mikro yapı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 10 kg yük kullanılarak Vickers sertlik değerleri alınmıştır. Her durumda yapılan beş ölçümün ortalama değeri rapor edilmiştir. Sürekli çalışma ortamı ölçümlerini temin etmek için; makinede işlenen numuneler, numuneye aktarılan karşı parça kavisli oluncaya kadar ön aşındırılmıştır. Alıştırdıktan sonra, numunelerin kütlesi orijinal kütle gibi göz önünde tutulmuş ve o zaman normal aşınma testleri başlatılmıştır. Pin ve disk numunelerinin kütle kaybı testler boyunca önceden belirlenmiş zaman aralıklarında analitik bir denklemle ölçülmüştür. Aşınma oranı, birim kayma mesafesi başına malzemelerin kütle kaybı olarak tayin edilmiştir. Numunelerin aşınmış yüzeyleri, EDS teçhizatı bulunduran S-570 SEM taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.

6.4.2. Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Senouci ve arkadaşları tarafından (1999a ve b) yapılan çalışmalarda çevre şartlarında (oda sıcaklığında), bakır yüzeyi üzerindeki tabaka; bakır anot iken, ince bakır oksitten oluşan bir tabakadır. Bakır katot iken bu tabaka; karbon-bakır oksit karışımından oluşan kalın bir tabakadır. Bakır katot iken, bakır üzerine transfer edilen karbon tabaka; elektrik potansiyelindeki düşüşü açıklamaktadır. Bakır anot iken, argon ya da vakum gibi tesirsiz ortamda kayan bakır yüzey, oksit tabakadan mahrumdur ve bakır üzerindeki aşınma hasarı abrasiftir. Bakır toz parçalarının tabakası, kayan grafit yüzey üzerine transfer edilmiştir. Bakır katot iken, kalın bir karbon tabakası bakır yüzey üzerinde gözlenmiştir.

Chen ve arkadaşları tarafından yapılan (1997) çalışmada görülen şudur ki; daha yüksek akım altındakinden daha düşük akımda, aşınma değerindeki farklılık daha büyüktür. Farklı tribolojik parametrelerin sebep olduğu bu farklılık, elektrik akımı artırıldığı zaman daha küçük olmaktadır. Bir başka deyişle; daha düşük elektrik akım seviyesinde, aşınma değerine, normal basınç ve kayma hızının etkileri baskındır (egemendir). Daha yüksek elektrik akımında, aşınma değerine normal basınç ve kayma hızının etkileri, elektrik akımının etkileri tarafından bastırılmıştır.

Sürtünme yoluyla ısınma, plastik deformasyon, Joule ısı ve ark sonucu ergimenin sebep olduğu kütle sıcaklığındaki artış, Cu-% 15Cr pin ve çelik diskin her ikisini de yumuşatacaktır (Chen ve diğ., 1997). Cu-% 15Cr pinin ısıl iletkenliği AISI 52100 çelik diskinkinden daha yüksek olduğu için, en yüksek sıcaklık çelik diskte ortaya çıkacaktır (McNab, 1980). Aşınma testleri sonrası çelik disklerin incelemesi; elektriksel kayma sonrası çelik disk üzerinde derin kesik olduğunu ve ciddi şekilde oksitlenmiş kayma izleri olduğunu göstermiştir. Elektrik akımı

artışı ile kayma izi derinliğinde artma ve kompozit pinin aşınmış yüzeyine çelik transfer edildiği gözlenmiştir (Chen ve diğ., 1997).

Kayan yüzeylere elektrik akımı geçişi uygulandığı zaman, ark erozyonu meydana gelmiş ve sıcaklık yoğun şekilde artmıştır. Kompozit pin ve çelik diskin her ikisinin de yumuşaması, daha düşük bir sürtünme katsayısını ve alt yüzey deformasyon tabakasının kalınlığında bir azalmayı da beraberinde getirmiştir. Ark erozyonundan dolayı, elektriksel kayma müddetince, çelik disk ciddi olarak aşındırılmış ve önemli miktarda çelik tanecikleri kompozit pine geri transfer edilmiştir. Sertleştirilmiş üst yüzey tabakası kompozit şekillenmiştir. Tasfiye edilmiş bu kompozit tabaka; oksitlerden, aşınma enkazından, arkın aşındırdığı parçacıklardan ve çelik partiküllerden oluşmuştur. Sertleştirilmiş tabaka nedeniyle kompozitin aşınma değeri artan elektrik akımı ile azalmıştır (Chen ve diğ., 1997).

Chen ve arkadaşları tarafından yapılan (1997) çalışmada; elektro tribolojik davranış ve mikro yapı değişimine göre kuru kaymalı Cu-% 15Cr kompozitlerde aşağıdaki sonuçlar alınmıştır:

1. Ortalama sürtünme katsayısı artan elektrik akımı ile azalmıştır. Elektrik olmadan kayma durumunda kompozitin sürtünme katsayısı 0,99 iken, 50 A akım altında kayma durumunda 0,49'a kadar düşmüştür.
2. Artan elektrik akımı ile aşınma değeri azalmıştır. Farklı tribolojik parametrelerin neden olduğu aşınma değerindeki farklılık, elektrik akımı arttığında azalma göstermiştir.
3. Artan elektrik akımı ile kütle sıcaklığı artmıştır. 50 A akımda elektriksel kaymada, kütle sıcaklığı elektrik olmadan kayma için gözlenen kütle sıcaklığının hemen hemen iki katına çıkmıştır.
4. Elektriksel kaymadan sonra sertleştirilmiş üst yüzey gözlenmiştir. Tasfiye edilmiş yapı; oksitler, aşınma enkazı, geri transfer olmuş; çelik ve arkın aşındırdığı partiküllerden oluşmuştur. Alt yüzey deformasyon tabakasının kalınlığı artan elektrik akımı ile azalmıştır.
5. Sertleştirilmiş üst yüzey tabakası, elektrik akımı uygulanmış durumda aşınma değerindeki azalmayı açıklamaktadır.

Tu ve arkadaşları tarafından yapılan (2002) çalışmada yaşlandırma işleminin mikroyapı üzerine etkileri ve böylece elektrik akımı altındaki şartlarda pirinç diske karşı CuCrZr alaşımının kayma aşınma davranışı incelenmiştir. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar alınmıştır:

1. Akım ortamında kayma aşınması müddetince kütle kaybı, yaşlandırılmış CuCrZr pin için artan kayma mesafesi ile daima lineer olarak artmıştır. CuCrZr pin aşınma oranı başlangıçta

yaşlandırma sıcaklığı ile azalmış ve sonra 500 °C’de minimuma ulaşmıştır. CuCrZr alaşımı en iyi aşınma direncini 2 saat boyunca 500 °C’de yaşlandırıldığı durumda göstermiştir.

2. Elektrikli kayma şartları altında; adhesif aşınma, abrasif aşınma ve ark aşınması etkili mekanizmalardır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneyisel çalışmalar için numuneler döküm yöntemiyle elde edildi. Bunun için Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü'nde 50 kW'lık güç kapasitesine sahip, 1800 °C'ye kadar ergitme yapabilen bir indüksiyon metal ergitme fırını kullanıldı. % 1, % 2, % 3, % 4 ve % 5 oranlarında alüminyum katkılı CuCrZr alaşımları adı geçen indüksiyon fırınında 1060 °C sıcaklığa çıkıldıktan sonra ergimiş halde kokil kalıplara döküldü.

Tablo 7.1'de elde edilen numunelerin spektral analiz cihazından alınan kimyasal bileşimleri görülmektedir. Bütün numunelerin spektral analizleri REPAMET firması tarafından Alman malı NITON XL serisinden cihaz ile belirlenmiştir.

Tablo 7.1 Al katkısız numune (NA) ve % 1 (N1), % 2 (N2), % 3 (N3), % 4 (N4) ve % 5 (N5) Al katkılı numunelerin kimyasal bileşimleri.

ALAŞIM ELEMENT	NA	N1	N2	N3	N4	N5
Cu	98,27	98,57	96,8	95,4	95,5	94,5
Sn	-	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Fe	-	0,10	0,0644	0,0675	0,0681	0,0739
Si	-	0,08	0,0825	0,0953	0,1	0,114
Cr	1,19	0,98	1,22	1,06	0,817	0,882
Al	-	0,65	1,74	3,13	3,38	4,35
Co	-	0,029	0,0288	0,0217	0,0141	0,0132
Bi	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Zr	0,02	0,02	0,0119	0,015	0,0137	0,0158

Alüminyum katkısız CuCrZr (ASTM C18150) numunesi standartlara uygun olarak üretildiğinden impürite oranında olabilen diğer elementlerin spektral analizlerinin belirlenmesine gerek duyulmadı. Bu numunenin elektrik baralarında kullanımından kaynaklanan aşınma sorunları olduğu bilinmektedir. Örneğin; ülkemizde ER-BAKIR A.Ş.'nde (Denizli) bu aşınmadan kaynaklanan büyük ekonomik kayıpların olduğu tarafımızca tespit edildi. Bu amaçla CuCrZr alaşımı DC elektrik akımı ve bu akımdan kaynaklanan ısı etkisine tabi tutularak aşınma davranışları incelenmeye çalışıldı.

Aynı alaşıma farklı oranlarda Al ilave edilerek (% 1–% 5) alüminyum katkısının bu alaşımın mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkileri araştırıldı.

7.2. Metalografik Çalışmalar

Deney numunelerinin mikro yapısını ve bu yapılar arasında oluşabilen farkları belirlemek için numuneler 1200 grite kadar zımparalanarak yüzeyleri temizlendi. Sonra numunelerin 6 µ ve 1 µ elmas pastadan ve alüminadan geçirilen yüzeyleri saf alkolle silinerek metalografik anlamda parlatma işlemleri tamamlandı. Metalografik incelemeler için parlatılan numuneler, 80 ml. distile su + 5 ml. H₂SO₄ + 10 gr. K₂Cr₇O₇ dağlama ayırıcı ile dağlandı. Dağlama işlemi öncesinde yapının daha iyi gözlemlenebilmesi için dağlama ayırıcına 2 damla HCl ilave edildi. Numuneler dağlama ayırıcı içerisinde 3–30 saniye boyunca bekletildi. Dağlama işleminden sonra numunelerin metal mikroskopunda metalografik yapılarını gösteren fotoğrafları çekildi.

7.3. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) İncelemeleri ve EDS (Noktasal Analiz) Çalışmaları

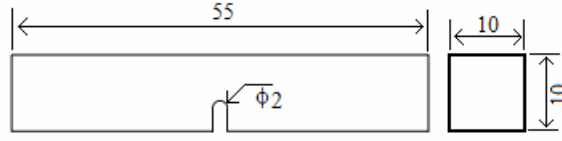
Deney numuneleri İnönü Üniversitesi'ndeki SEM mikroskobu ile tarandı. Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin aşınan yüzeylerinden farklı büyütmelerde fotoğraflar çekildi. SEM'in bir ünitesini oluşturan EDS cihazında numunelerin mikro yapısında görülen ve tanımlanması gereken bazı noktaların, noktasal analizleri alındı. Bunlardan elde edilen piklerin grafik çıktıları alınarak tartışma ve sonuçların belirlenmesinde ayrıntılı bir şekilde değerlendirildi.

7.4. Sertlik Deneyleri

Tablo 7.1'deki alaşımların yüzey sertlikleri Instron Wolpert GmbH 1996 Alman yapımı sertlik ölçme cihazında tespit edildi. Numunelerin yüzey sertlikleri 62,5 kg yük altında 2,5 mm çapındaki bilye ile Brinell cinsinden ölçüldü. Bu ölçümlerin ortalama sertlik değerleri alındı.

7.5. Çentik Darbe Deneyleri

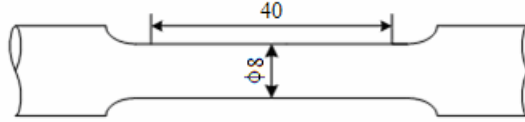
Numunelerin tokluklarını belirlemek amacıyla standartlara göre hazırlanan ve Şekil 7.1'de görülen çentik darbe test numuneleri; Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü'nde bulunan INSTRON marka cihazda test edilmiştir.



Şekil 7.1 Çentik darbe deneyi numunesi.

7.6. Çekme Deneyleri

Tablo 7.1’de verilen alaşımların çekme gerilmesi testleri için 8 x 40 TS 13 A tipi çekme deneyi numuneleri hazırlandı (Şekil 7.2). Bunlardan her bir numune için iki adet çekme deneyi yapıldı. Deneyler H50 KM 411 seri numaralı 50000 N’luk Hounsfield 1990 İngiliz yapımı çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak çekme gerilmeleri GPa cinsinden hesaplanmıştır.



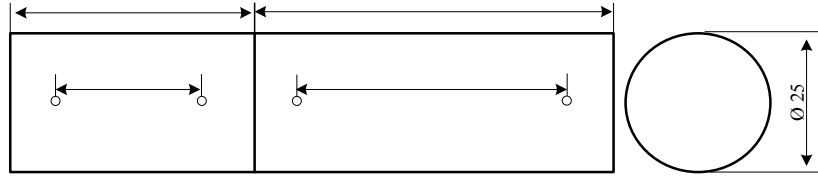
Şekil 7.2 Çekme deneyi numunesi.

7.7. Isıl İletkenlik Deneyleri

Hazırlanmış metal çubukların ısı iletkenlik katsayıları; Fırat Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü’nde bulunan CUSSONS Marka Thermal Conductivity cihazı ile belirlendi. Bu cihaz, hem iyi iletkenlerin hem de ince izolasyon malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarını bulmak amacı ile geliştirilmiştir. Deneyde kullanılan metal çubuklara ve cihaza ait ölçülendirme Şekil 7.3 ve Şekil 7.4’de verilmektedir.

Isıl iletkenliği belirlenecek metaller 25 mm çaplı ve 38 mm uzunluğunda hazırlanmış kalıplara döküldü. Bu çubuklar üzerine iki termoçiftin yerleştirilmesi için Şekil 7.3’de görüldüğü gibi belirli uzaklıkta iki delik açıldı. Yüksek iletkenliğe sahip bakır çubuk üste olacak şekilde ısı iletkenliği belirlenecek metal çubuk ile birlikte ısıtıcı blok-kalorimetre arasına yerleştirildi. Dewar kabı kapatıldıktan sonra ısıtıcı bloğun 110 V’ta ısınması sağlandı. Suyun giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı en az 4 °C olacak şekilde kalorimetreden çıkan suyun debisi ayarlandı. Her bir termoçiftin sıcaklıkları kaydedilerek kararlı hale geldiği andan itibaren en az 6 ölçüm alındı. Her bir termoçiftin sıcaklıkları aritmetik yoldan bulundu. Suyun debisi ve giriş-çıkış sıcaklıkları da kaydedilerek aşağıdaki formülünden ısı iletkenlik katsayıları belirlendi.

Deneylerde şu metaller kullanılmaktadır: 1 tane 25 mm çaplı 64 mm uzunluğunda Cu çubuk (kesit alanı $4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$), 1 tane 25 mm çaplı 38 mm uzunluğunda ısı iletkenlik ölçümü yapılacak malzeme (kesit alanı $4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$). Termoçiftin yerleştirilmesi için her bir metal çubukta iki delik açılmıştır. Metal çubukların boyutları ve termoçiftlerin yerleştirildiği yerler Şekil 7.3’de görölmektedir. Termoçiftlerin yerleştirildiği noktalar şekilde T1, T2, T3 ve T4’le gösterilmiştir.



Şekil 7.3 Isıl iletkenlik deneyi numunesi.

Numunenin ısı iletkenlik katsayısının ölçülmesinden önce cihaz, Cu ve paslanmaz çelikle kalibre edildi. Daha sonra çalışmada kullanılacak numuneler cihaza uygun şekilde yerleştirildi. Gerekli ölçümler alındıktan sonra iletilen ısıya, metalin uzunluğuna, kesit alanına ve sıcaklık farkına bağlı olan ısı iletkenlik katsayısı;

$$K = \frac{J.M.L.(W_2 - W_1)}{A.t.\Delta T} \quad (\text{W/m.K})$$

formülüyle hesaplanır. Formüldeki;

38

J: Dönüşüm faktörü (J/kcal),

M: Toplam su kütlesi (kg),

L: Termoçiftler arası uzaklık (m),

25

W_1 : Suyun giriş sıcaklığı (K),

T1

T2

T3

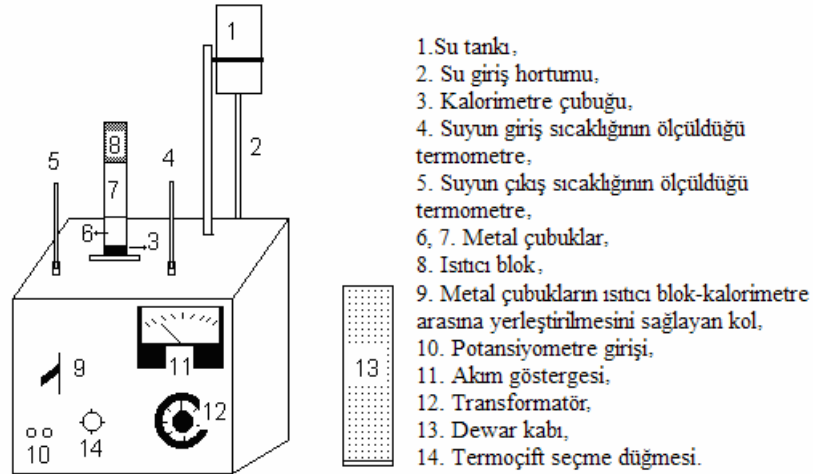
W_2 : Suyun çıkış sıcaklığı (K),

A: Numunenin kesit alanı (m^2),

t: Suyun M kg. toplanma zamanı (s),

ΔT : Termoçift sıcaklıkları farkı (K)

değerlerini ifade etmektedirler. Ölçümün yapıldığı deney düzeneği Şekil 7.4’de şematik olarak gösterilmiştir.



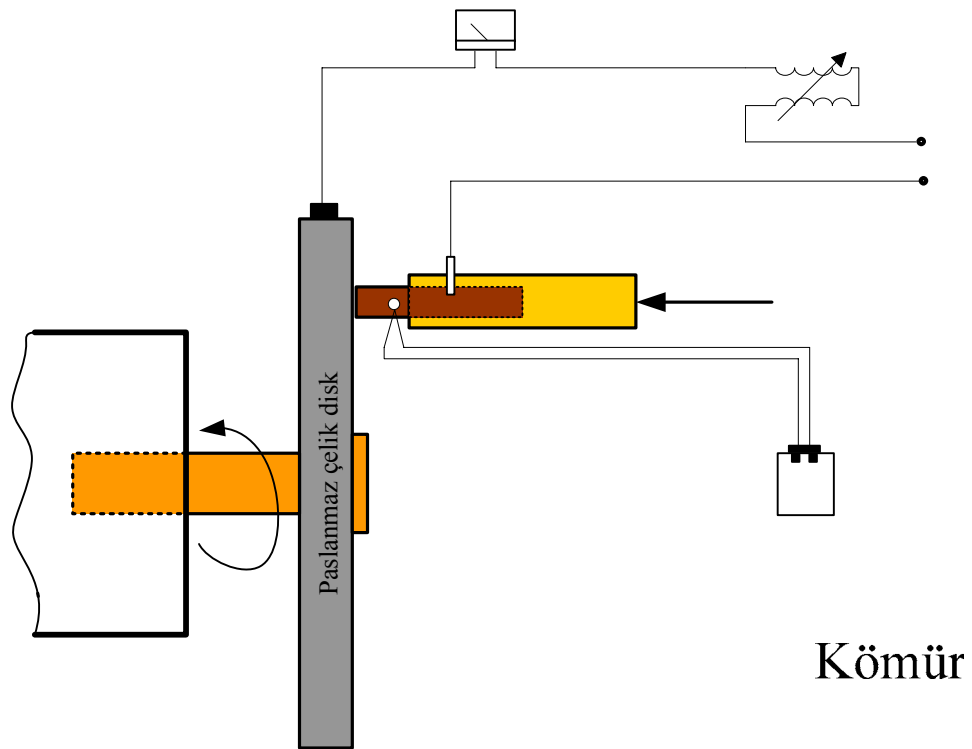
Şekil 7.4 Isıl iletkenlik deney düzeneği.

7.8. Aşınma Deneyleri

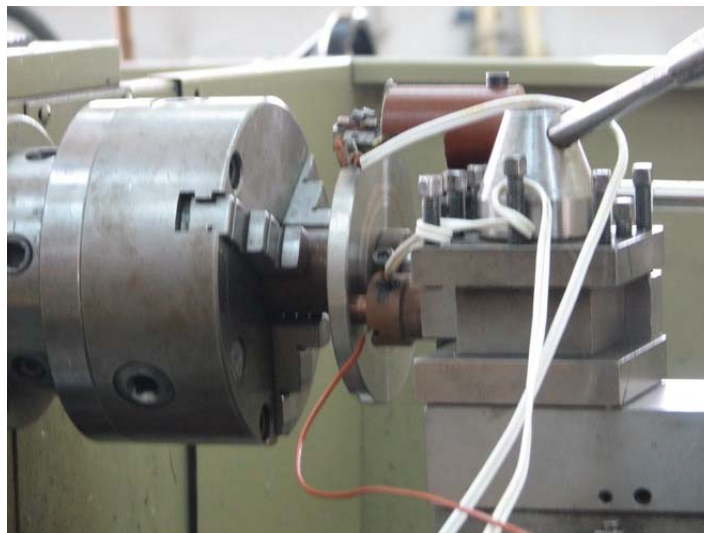
Yapılan aşınma çalışmasında pin-on-disc tribometre düzeneği kurulmuştur. Bu düzeneğe ilave olarak; aşınan ve aşındırandan akım akmasını sağlayacak olan bir DC güç kaynağı (Şekil 7.7), akım ölçümleri için bir ampermetre (Şekil 7.5 ve Şekil 7.7), sıcaklık ölçümü için de pinin aşınan yüzeyinden 9 mm içeride olacak şekilde OMEGA HH21 mikroişlemcili T tipi (NiCr-NiAl) termokupl (Şekil 7.5 ve Şekil 7.7) yerleştirilmiştir. Pini ve diski tutması amacıyla teflon malzeme (Şekil 7.5) kullanılmıştır, teflonun kullanılmasında esas amaç yalıtımı sağlamaktır.

Tablo 7.1’de verilen numunelerin adhezif aşınma deneyleri; atmosfer ortamında, yaklaşık 40 N sabit yük altında, 30 dakikalık sabit sürede, akımın 3 farklı (1 A, 2.5 A ve 10 A) değerinde, bakır pin / çelik diskin farklı polaritelerinde (+ / -, - / +) ve üç farklı hızda (1 m/s, 2 m/s ve 4,2 m/s) tekrarlanarak yapılmıştır. Kullanılan aşınma deney cihazının numune boyutları ile birlikte şematik olarak gösterimi Şekil 7.5’de ve deney düzeneğinin genel işleyişini ve görüntülerini gösteren fotoğraflar Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de verilmiştir.

Numuneler; 12 mm çapında, 20 mm uzunluğunda CuCrZr alaşımıdır. Aşındırıcı ise 120 mm çapında, 10 mm kalınlığında X5Cr18Ni9 paslanmaz çelik disklerdir. Ağırlık kayıplarından hareketle 10^{-5} hassasiyetinde dijital terazi kullanılarak numunelerin aşınma kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca aşınmaya tabi tutulan numuneler üzerine yerleştirilen termokupl aracılığıyla, her 1 dakikada ortalama sıcaklık ölçümleri alınarak (Şekil 7.5), akım etkisinde ortaya çıkan sıcaklığın aşınma değişimine etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 7.5 Aşınma düzeneğine ait şematik gösterim.



Şekil 7.6 (a) Aşınma düzeneğine ait bir fotoğraf.

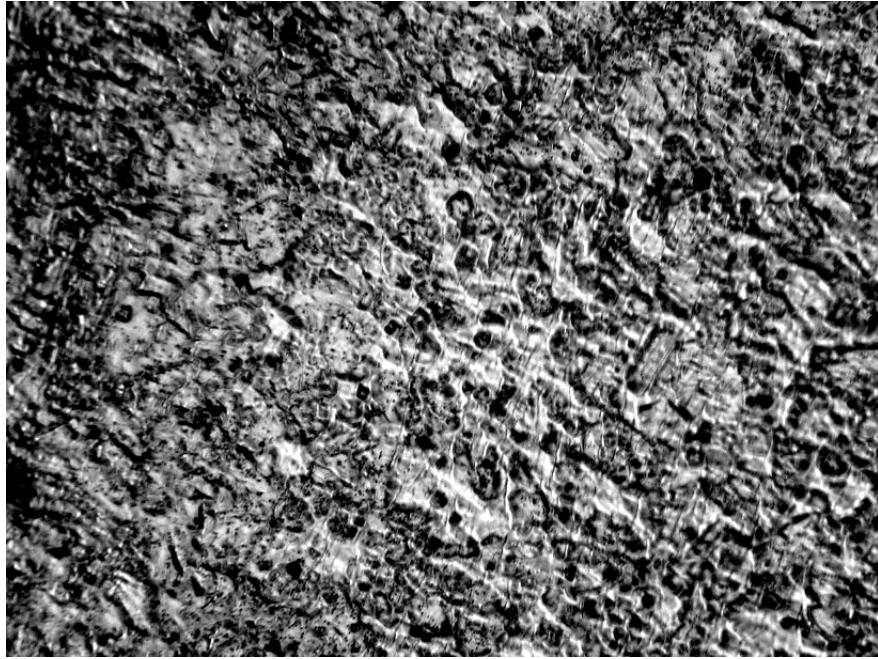


Şekil 7.6 (b) Aşınma düzeneğine ait bir fotoğraf.

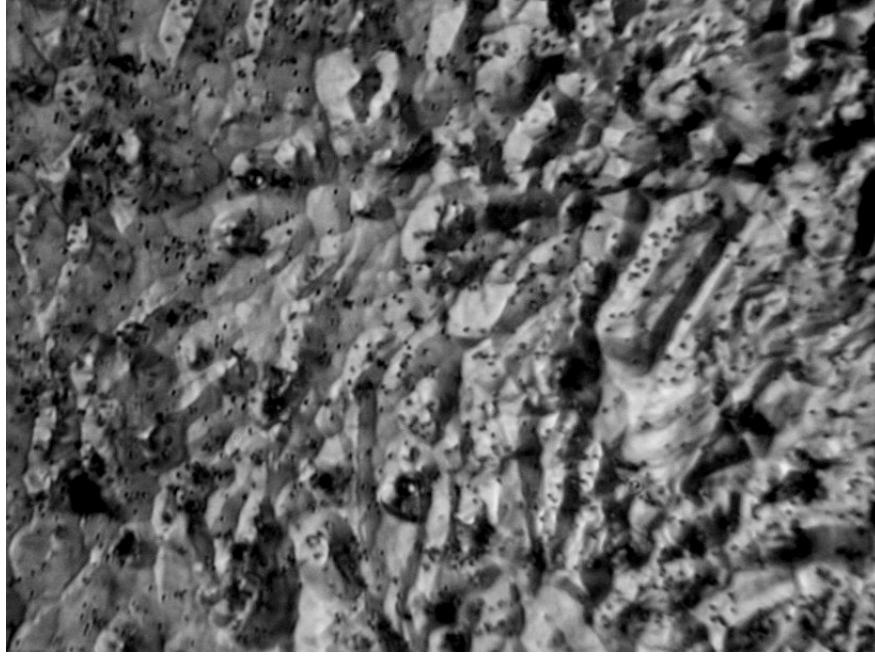
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

8.1. Numunelerin Mikro Yapı Sonuçları

Aşınmaya tabi tutulan ASTM C18150 numunesinin optik mikroskoptan alınan mikro yapı fotoğrafı Şekil 8.1'de görülmektedir. Aynı numunenin 1000 büyütmedeki mikro yapısını gösteren fotoğrafı Şekil 8.1 (b)'de verilmiştir. Fuxiang'a göre bu fotoğrafta görülen koyu noktalar Cr_2Zr intermetalik bileşikler olup; bunlar bakır fazı, kromca zengin faz olan krom çökelti ve zirkonyumca zengin olan Cr_2Zr fazlarıdır. Krom çökelti ve Cr_2Zr çökeltilerine göre daha küçük ancak renk olarak daha koyudur. Zirkonyum görüntülerde daha açık renklidir (Fuxiang, 2002).

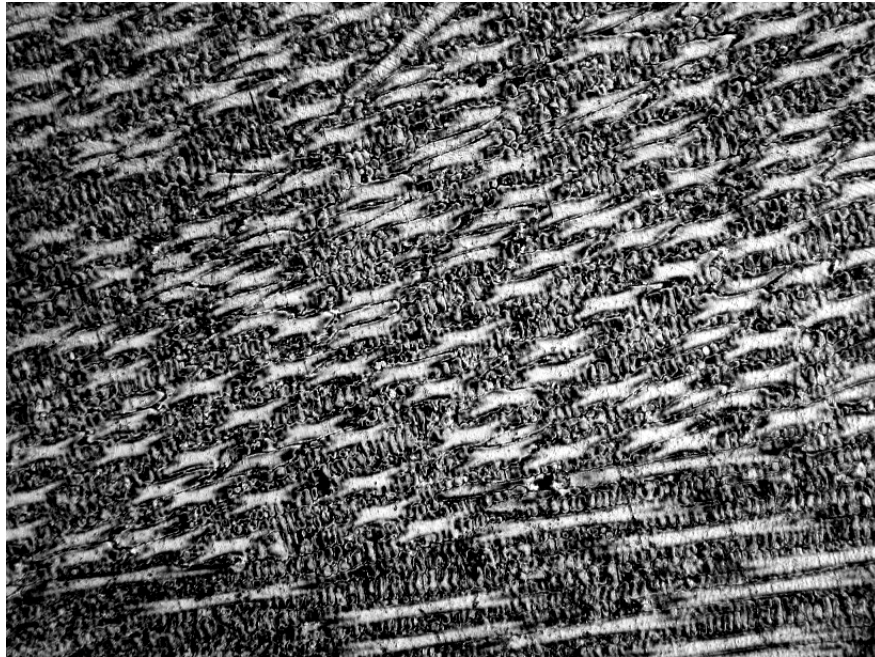


Şekil 8.1 (a) C18150 numunesine ait mikro yapı fotoğrafı (x100).

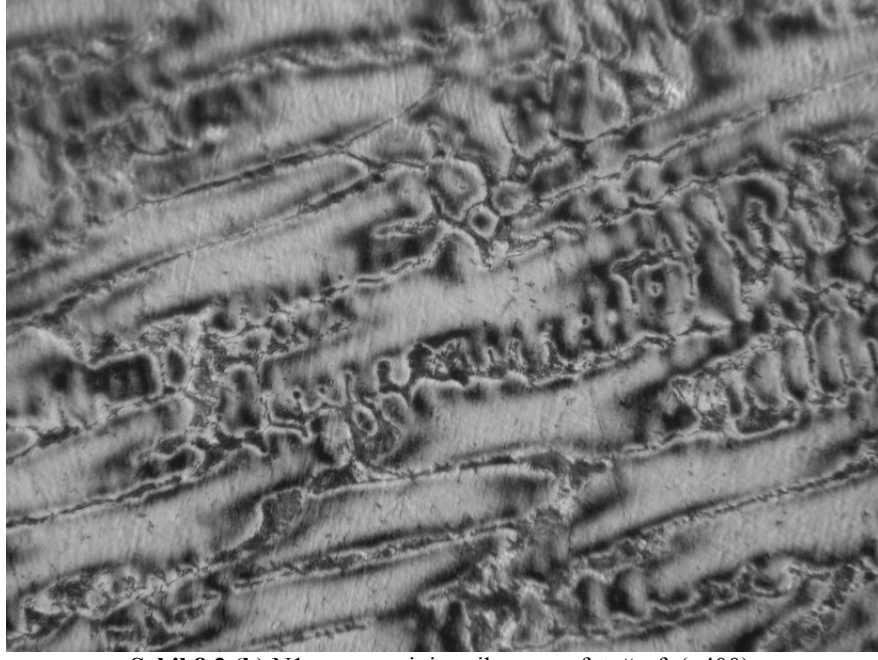


Şekil 8.1 (b) C18150 numunesine ait mikro yapı fotoğrafı (x1000).

% 0,65 Al ilavesi ile C18150 alaşımında dokunun değiştiği ve yeni mikro yapıda homojen bir dağılım meydana geldiği görülmektedir (Şekil 8.2 (a)). Aynı alaşımın 400 büyütme optik fotoğrafına bakıldığında, açık renkli bölgelerin dendritler arası, diğer bölgelerde ise dendritlerin yapılandığı görülmektedir. Yani % 0,65'lik Al ilavesi ile ilk yapının değiştiği ve dendritik yapının başladığı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 8.2 (a) N1 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).

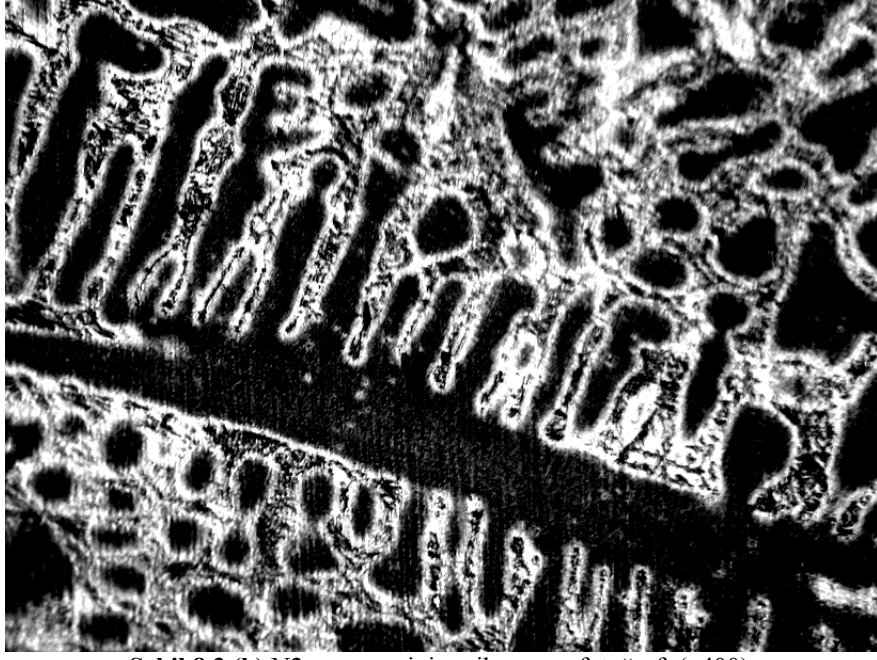


Şekil 8.2 (b) N1 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).

% 1,74 Al ilavesi ile dendritik yapının % 0,65'lik Al katkılı alaşıma kıyasla tamamen netleştiği, dendritler ile dendritler arası bölgelerin çok daha açık olarak ortaya çıktığı Şekil 8.3'de görülmektedir. Şekil 8.2 (% 0,65 Al katkılı) ve Şekil 8.3 (% 1,74 Al katkılı) karşılaştırıldığında dendritlerin ve tane yapılarının az daha büyüdüğü fark edilmektedir. Ayrıca dendritlerin farklı yönlerde geliştiği ve tanelerin oluştuğu Şekil 8.3 (a)'da görülmektedir.



Şekil 8.3 (a) N2 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).

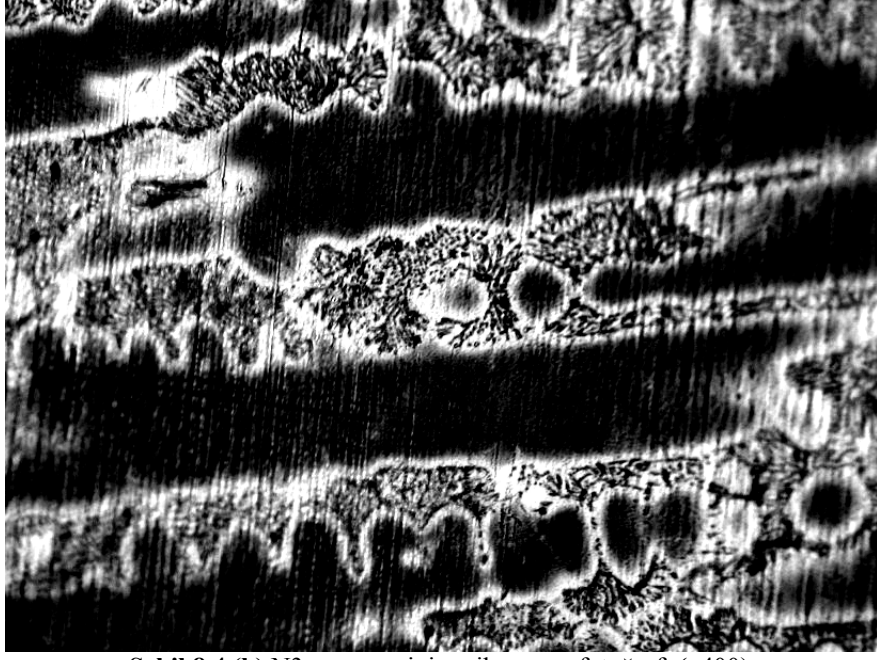


Şekil 8.3 (b) N2 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).

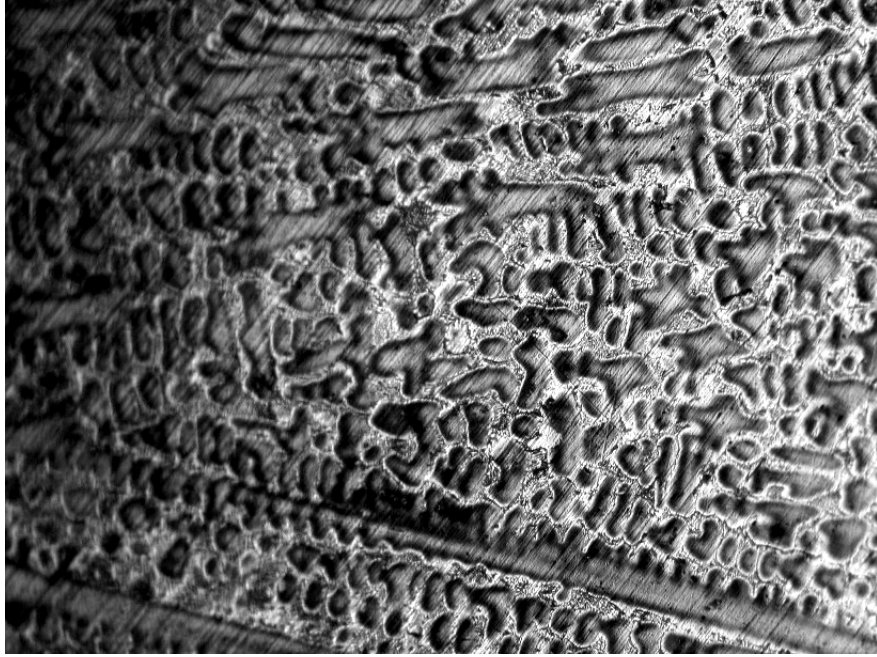
Şekil 8.4 (a) ve (b)'de % 3,13 Al katkılı numunenin 100 ve 400 büyütmeli mikro yapı fotoğrafı verilmiştir. Bu numunede % 1,74 Al katkılı numuneye göre dendritler arası bölgelerde girintili çıkıntılı dendrit kollarının azaldığı, dendrit arası bölgenin düz bir şekilde genişleyerek tane yapısının büyüyüp irileştiği Şekil 8.3 ve Şekil 8.4 karşılaştırıldığında açıkça görülmektedir.



Şekil 8.4 (a) N3 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).



Şekil 8.4 (b) N3 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).

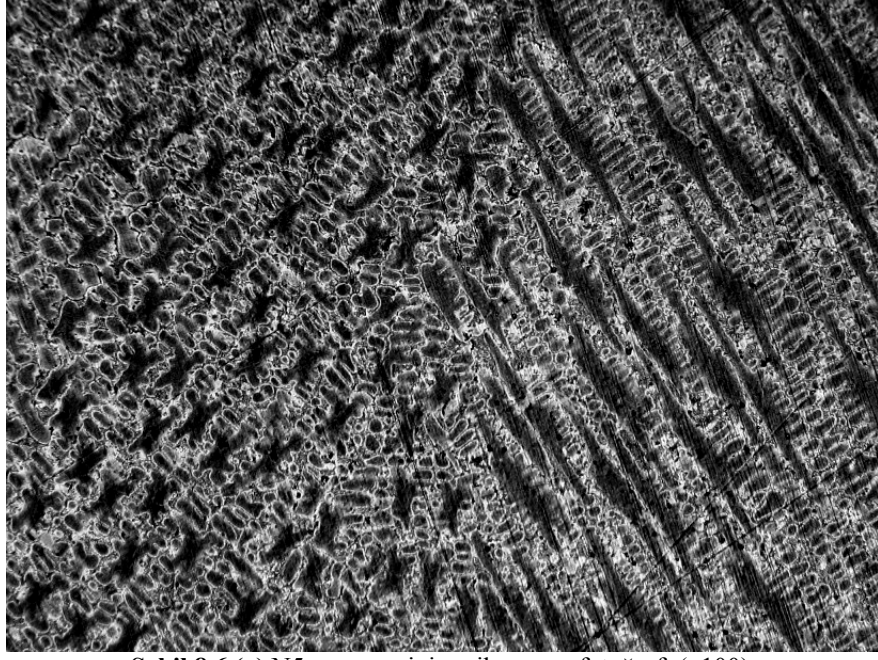


Şekil 8.5 (a) N4 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).

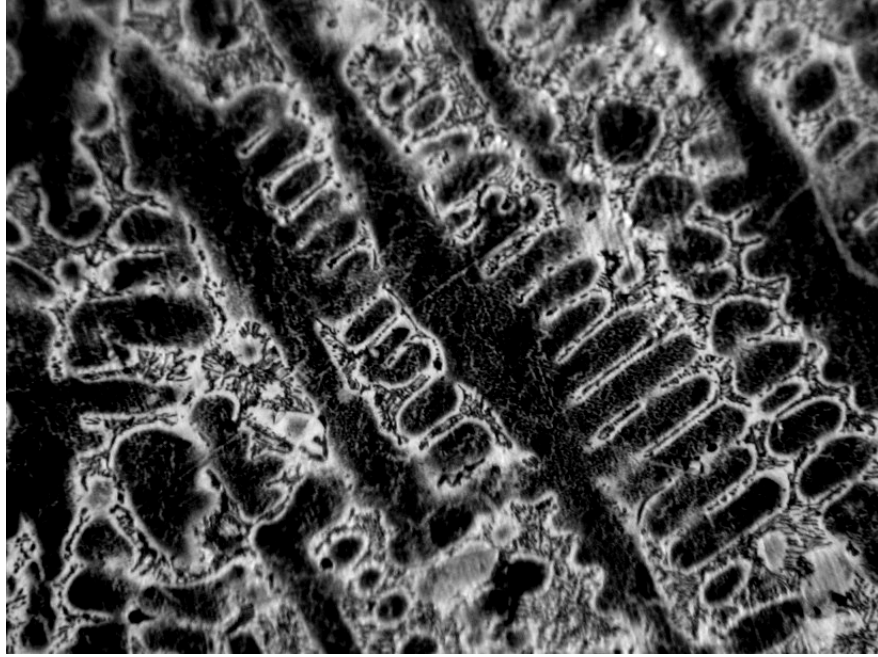


Şekil 8.5 (b) N4 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).

Şekil 8.5’de % 3,38 Al katkılı numunenin 100 ve 400 büyütmedeki mikro yapısı görülmektedir. Buradaki doku % 3,13 katkılı numuneye benzer bir şekilde oluşmaktadır. Yer yer farklı yönlerde dendritik yapının olduğu, N3’e göre bazı bölgelerde dendritlerin yuvarlağımsı bir şekilde meydana geldiği dikkati çekmektedir. Bu yapılanma; dendrit kollarının kısmen incelendiği, dendrit arasının biraz daha genişlediği, farklı yönlerde gelişen dendritik yapı tane sınırını oluşturan bölgede daha açık bir şekilde fark edilmektedir. Bu numune dallantılar arası kolların incelendiği, dallantılar arasının genişlediği ve bir de dallantıların toparlandığı dendritik yapı sergilemektedir.



Şekil 8.6 (a) N5 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x100).



Şekil 8.6 (b) N5 numunesinin mikro yapı fotoğrafı (x400).

Şekil 8.6'da % 4,35 Al katkılı numunenin 100 ve 400 büyütmedeki mikro yapısı görülmektedir. Kristalin büyümesi sırasında anizotropi etkisiyle büyüme hızı her yönde aynı olmadığından; burada farklı yönde dendritlerin olduğu net bir şekilde görülmektedir. Diğer katkılı numunelerde (N1'den N4'e kadar) Al artışı ile dendritlerin büyüdüğü görülürken bu numunede, aksine dendritlerin küçüldüğü ve dokunun incelendiği dikkati çekmektedir. Buna da Al

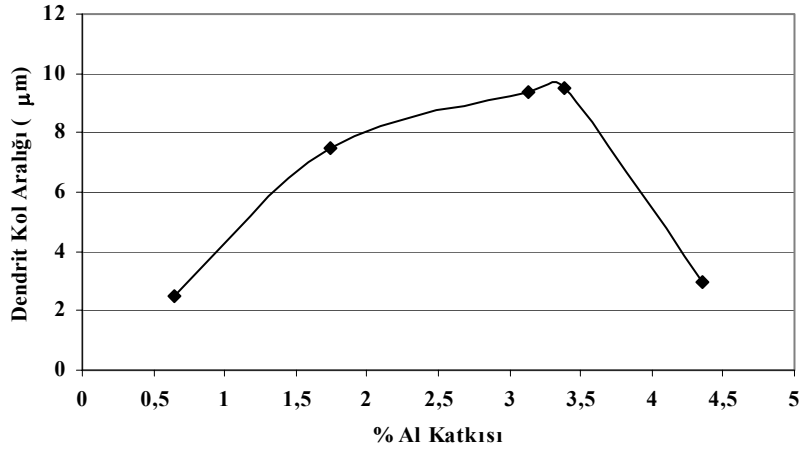
fazlasının oksitlenip dokuda çekirdek görevi üstlenmesi yol açmıştır. α fazı içerisinde çözünmeyen Al'un oksitlenerek tane inceltici etkiye yol açtığı düşünülmektedir.

Yukarıda bahsedilen Al katkılı numunelerin, 400 büyütmeli mikro yapı fotoğraflarındaki ikincil dendrit kolları arası ortalama mesafe hesaplanmış ve dendrit kolları arası mesafe-% Al katkısı ilişkisi Şekil 8.7'deki gibi elde edilmiştir. N1, N2, N3 ve N4 numunelerinde Al ilavesinin artması ile ikincil dendrit kolları arası mesafe artmaktadır.

İkincil dendrit kolları arası ortalama mesafe, malzemelerin mukavemetleri hakkında da bize fikir vermiştir. N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin ikincil dendrit kol aralıklarında artmanın meydana geldiği Şekil 8.7 ile, Şekil 8.9'daki aynı numunelerin mukavemet eğrileri kıyaslandığında, ilave edilen Al miktarı artışıyla artan ikincil dendrit kol aralığının, malzemenin mukavemetindeki düşüşe işaret ettiği sonucuna varılır. N5 numunesinde ise; Şekil 8.6 (b)'de görüldüğü gibi ortalama ikincil dendrit kol aralığı düşmektedir. Bu da; N1, N2, N3 ve N4 numunelerine oranla N5 numunesinin mukavemetinde bir miktar artma olması anlamına gelir (Şekil 8.9).

Tablo 8.1 N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin ortalama ikincil dendrit kol aralığı değerleri.

Numune	N1	N2	N3	N4	N5
İkincil Dendrit Kol Aralığı (μm)	2,5	7,5	9,37	9,5	3



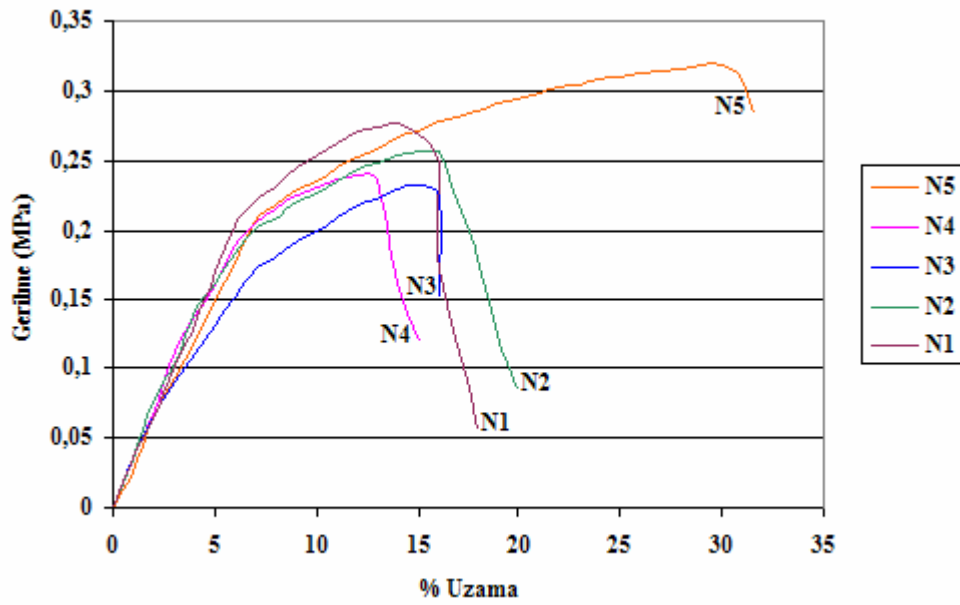
Şekil 8.7 İkincil dendrit kolları arası mesafe-% Al katkısı ilişkisi.

8.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Şekil 8.8'de numunelerin çekme deneyi ile elde edilen gerilme-% uzama eğrileri görülmektedir. Bu eğrilere göre N1'den N4'e kadar eğrilere kayda değer bir fark

görülmemektedir. N5 numunesinin ise; diğer numunelere göre maksimum çekme gerilmesinde çok fazla bir artış olmamakla birlikte, plastik şekil verme bölgesi 2 kat artmıştır. N4'e kadar numunelerin maksimum % 0,2'ye kadar uzayabildiği görülürken, N5 numunesi takriben % 0,3'e kadar uzamaktadır.

Mikro yapı fotoğraflarına bakıldığında (Şekil 8.6), ilk dört numunenin (Şekil 8.2, Şekil 8.3, Şekil 8.4, Şekil 8.5) benzer bir dendritik yapıya sahip olduğu, buna mukabil N5 numunesinin ince dokulu, homojen dağılımlı ve tane yapılarında incelme görülen bir dendritik yapıda olduğu görülmektedir. Bu yapı N5 numunesinin yüzde uzamasındaki artışı desteklemektedir.



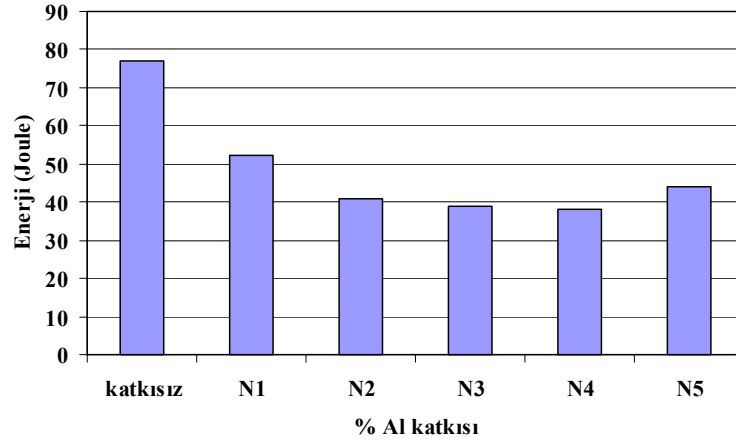
Şekil 8.8 Alüminyum katkılı alaşımların gerilme-% uzama eğrileri.

Alüminyumun artan oranlarda bakır matrise ilavesi ile Cu ile birleşecek oksijen miktarı azalmıştır. Çünkü Al serbest oksijenle temas eder etmez belli bir kısmı derhal, yüksek sıcaklıklarda katılaştıran Al_2O_3 bileşiğini oluşturmuş ve böylece bakırın serbest hava oksijeni ile birleşmesini kısmen engellemiştir. Böylece sünek bakır matris (α fazı) katılaşma esnasında az oksitlendiğinden sünekliliği artmıştır.

8.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Tablo 8.2 N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin çentik darbe deney sonuçları.

MALZEME	N1	N2	N3	N4	N5
ENERJİ (Joule)	52,25	41	39	39	44



Şekil 8.9 % Al miktarına bağlı kırılma mukavemeti eğrisi.

Şekil 8.9’da numunelerin çentik darbe deneyinden elde edilen tokluk değerlerini veren eğriler görülmektedir. Bu eğrilerden hareketle N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin çentik darbe dayanımları az da olsa kademeli bir şekilde düşerken, N5 numunesinin çentik darbe mukavemeti N2, N3 ve N4 numunelerine göre kısmen artmıştır. Darbe dayanımında az da olsa fark edilen bu artış, Şekil 8.8’deki N5’in yüzde uzamadaki 2 kat artışına da benzerlik göstermektedir. N5 numunesinin diğer numunelerden daha sünek bir alaşım olduğu ortaya çıkmaktadır. İlke olarak dendritlerin iri taneli oluşması, yapının sünekliğini ve tokluğunu azaltıcı etki göstermektedir. N3 ve N4 numunelerinde elde edilen tokluğun birbirine yakın çıkmasının nedeni, iki alaşım arasında bileşim açısından önemli bir farklılığın bulunmamasıdır. İnce taneli malzemelerin özellikleri kaba taneli malzemelerin özelliklerinden daha iyidir; bunlarda birim kütle başına tane sınırı alanının büyük olması, dayanım değerlerinin artması sonucunu doğurur. Bu sonucu; N5 numunesinin mikro yapı fotoğrafı Şekil 8.6 (b), ikincil dendrit kolları aralığı değişimi Şekil 8.7, çekme dayanımı eğrisi Şekil 8.8, çentik darbe dayanımı Şekil 8.9 değerleri doğrulamaktadır.

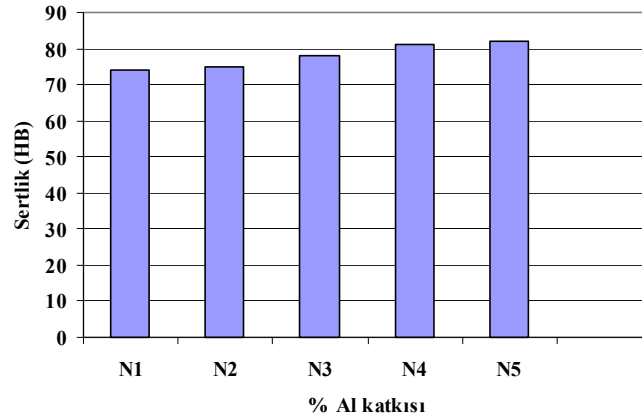
8.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları

N1, N2, N3, N4 ve N5 alaşımlarının Brinell sertlik skalasına göre elde edilen ortalama sertlik değerleri Tablo 8.3’de verilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi, ilave alüminyum artışına paralel olarak numunelerin sertliği çok farklı olmamakla beraber artış gözlemlenmektedir. En yüksek sertlik değerine N5 numunesi ulaşmaktadır. N5 numunesindeki bu artışa, CuAl_2 ve Al ile oluşabilen benzeri intermetalik bileşiklerin biraz daha fazla bulunmasının, sebep olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan N3 ve N4 numunelerinin

beklenenin aksine az farklı çıkması ölçüm yapılan noktaların gelişigüzel seçilmesinden ileri gelmiştir.

Tablo 8.3 N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin ortalama sertlik değerleri.

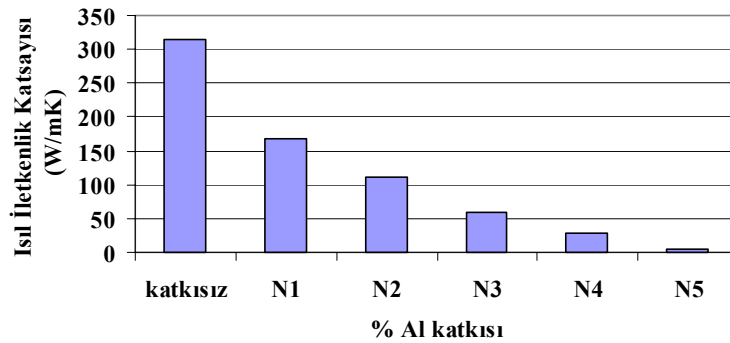
MALZEME	N1	N2	N3	N4	N5
Sertlik (HB)	74	75	78	81	82



Şekil 8.10 % Al miktarına bağlı sertlik değerleri eğrisi.

8.5. Isıl İletkenlik Ölçüm Sonuçları

Ölçüm sonuçlarından elde edilen numunelerin ısı iletkenlik (W/mK) değerlerini veren grafik Şekil 8.11’de görülmektedir. Alüminyum ilavesiz CuCrZr alaşımına kıyasla, alüminyum ilaveli alaşımların ısı iletkenliği ciddi oranlarda düşmektedir. Isıl iletkenlik için elde edilen bu değişim benzer şekilde elektrik iletkenliği için de verilebilir. Isıl iletkenlik Şekil 8.11’de görüldüğü gibi artan Al katkısına bağlı olarak kademeli bir şekilde düşmektedir. Saf metallere ilave alaşım elementi saf malzemenin elektrik iletkenliğini düşürmektedir.



Şekil 8.11 Alaşımların % Al katkısı-ısı iletkenlik katsayısı ilişkisi.

Bir metalin elektrik ve ısı iletkenlikleri arasındaki bağıntı, Wiedemann-Franz Yasası ile verilir. Wiedemann-Franz Yasası'na göre elektrik iletkenliği aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır (Rosenberg, 1978):

$$\kappa = \frac{\lambda_e}{L.T} \quad (\Omega.cm)^{-1}$$

Bu bağıntıda;

κ : Elektrik iletkenliği ($1/\Omega.cm$),

λ_e : Isıl iletkenlik (W/m.K),

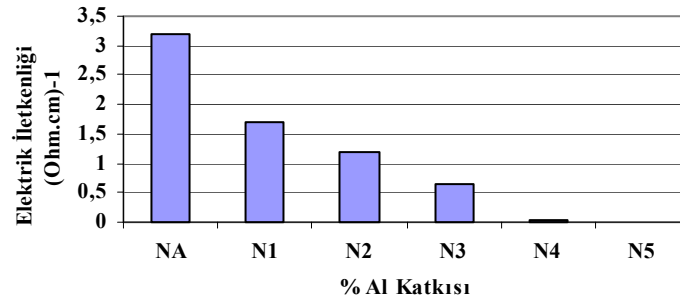
L: Lorentz sabiti ($J.\Omega/s.K^2$),

T: Sıcaklık (K),

ifade etmektedir. Isıl iletkenlik katsayılarından hareketle NA, N1, N2, N3, N4 ve N5 numuneleri için hesaplanan elektrik iletkenlik değerleri Tablo 8.4'de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen elektrik iletkenliği-% Al katkısı değişimi de Şekil 8.12'de gösterilmiştir.

Tablo 8.4 NA, N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin elektrik iletkenliği değerleri.

Numune	NA	N1	N2	N3	N4	N5
Elektrik İletkenliği $10^5 [\Omega.cm]^{-1}$	3,2	1,69	1,19	0,65	0,027	0,005



Şekil 8.12 NA, N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin elektrik iletkenliği-% Al katkısı değişimi.

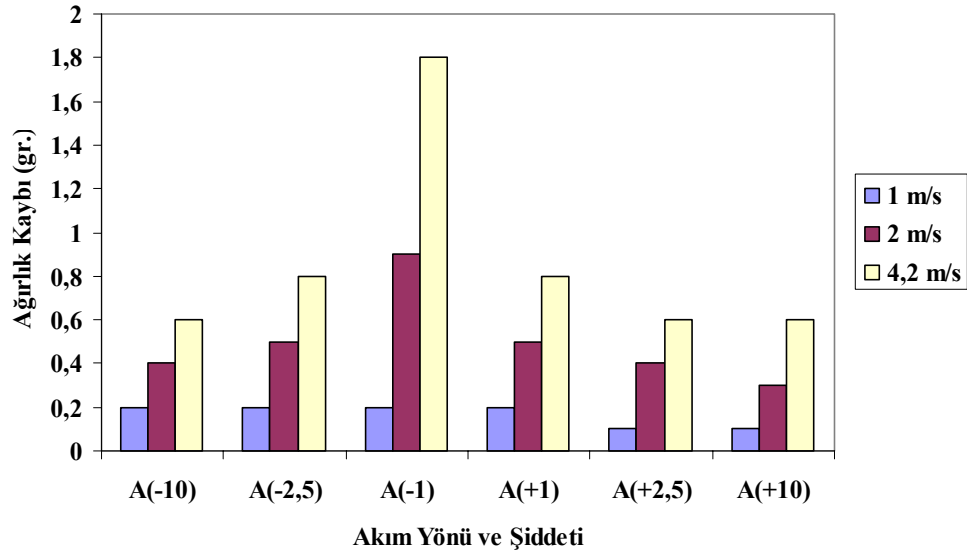
8.6. Aşınma Davranışlarının Değerlendirilmesi

BADÖKSAN ve ALBAKSAN firmaları tarafından üretilen ASTM C18150 alaşımı Denizli Er-Bakır İşletmesinde bara olarak kullanılmaktadır. Akım taşıyan bu baralar akım ve ısı

etkisinde aşınarak yıpranmakta ve kullanılmaz hale gelmektedir. Bu hatta kullanan malzeme C18150 bakır alaşımlı tellerden olup, üzerinden kA seviyesinde akım geçerek ısıtılmaktadır ve yaklaşık 31 m/s hız üzerinden % 0,1–0,3 kayma mevcuttur. Bu malzemeler yaklaşık 100–150 saatte aşınmaktadır. Bu da gösteriyor ki, bu malzemeler bulundukları ortam koşulları içerisinde en fazla 1 hafta dayanabilmekte ve yenilenmektedirler. Bu sebepten bu çalışmada; Al katkısının bu standart alaşım üzerinde mekanik özelliklerinin etkisinin dışında, yukarıda açıklandığı gibi, uygulamada karşılaşılan sorunlara da bir nebze yardımcı olabilmek amacıyla, standart malzemedeki akımın etkisi ile ortaya çıkan adhezif aşınma davranışları da incelenmiştir.



Şekil 8.13 Er-Bakır İşletmesi'nden C18150 alaşımının kullanıldığı ortama ait fotoğraflar.

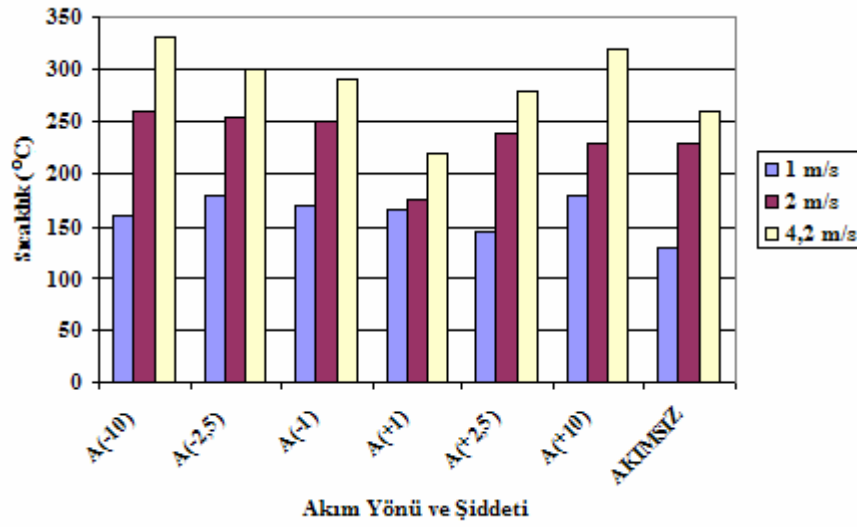


Şekil 8.14 C18150 numunesinin farklı kayma hızlarında akım yön ve şiddeti - ağırlık kaybı ilişkisi.

Düşük akım şiddetinde kayma hızına bağlı olarak, artan hızla aşınma kaybı da artmaktadır. Akım şiddeti artırıldığında artan kayma hızına bağlı olarak ağırlık kaybı miktarları arasındaki farklılık genel olarak daha azalmaktadır. -1 A akım altında farklı sürtünme hızlarında, ağırlık kaybı miktarları arasındaki farklılık, -2.5 A ve -10 A'e oranla çok daha fazladır (Şekil 8.14).

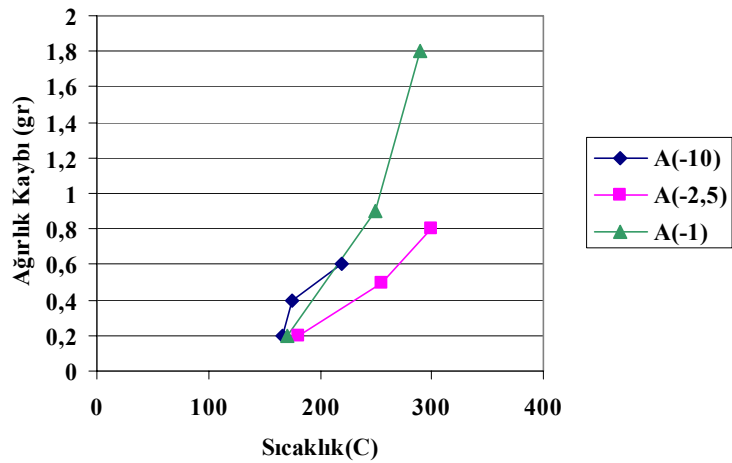
Elektrik akım şiddetindeki artış, hem + yönde hem de - yönde ağırlık kaybının azalmasına neden olmaktadır. 1 m/s kayma hızında, -1 A'den -10 A'e kadar akım şiddetinde ağırlık kaybı hemen hemen hiç değişmemekte, + yönde ise ağırlık kaybı artan akım şiddeti ile çok az azalmaktadır. 2 m/s sürtünme hızında, -1 A'den -10 A'e kadar akım şiddeti arttıkça ağırlık kaybının azaldığı görülmektedir. + yönde ise ağırlık kaybı kademeli olarak düşük nispete azalmaktadır. Aynı durum 4,2 m/s sürtünme hızında, - yönde akım şiddetinin yükselmesine bağlı olarak ağırlık kaybının azalması açık ve belirgindir. + yönde genelde ağırlık kaybı düşük seyretmekle beraber akım şiddetinin artışıyla ağırlık kaybı kademeli olarak azalmaktadır.

Malzemelerde aşınma, normal basınç ve kayma hızının etkileri ile meydana gelir. Düşük elektrik akım şiddetinde aşınmaya maruz kalan malzemelerde ise; aşınma değerine, normal basınç ve kayma hızının etkileri, elektrik akım şiddetinden daha baskındır. Ancak daha yüksek elektrik akım şiddetinde, normal basınç ve kayma hızının etkileri zayıflar, çünkü akım şiddeti arttıkça, aşınma yüzeyinde elektrik akımının etkileri baskın olur. Akım şiddeti; yüksekliği nispetinde, normal basınç ve kayma hızının etkilerini bastırır.

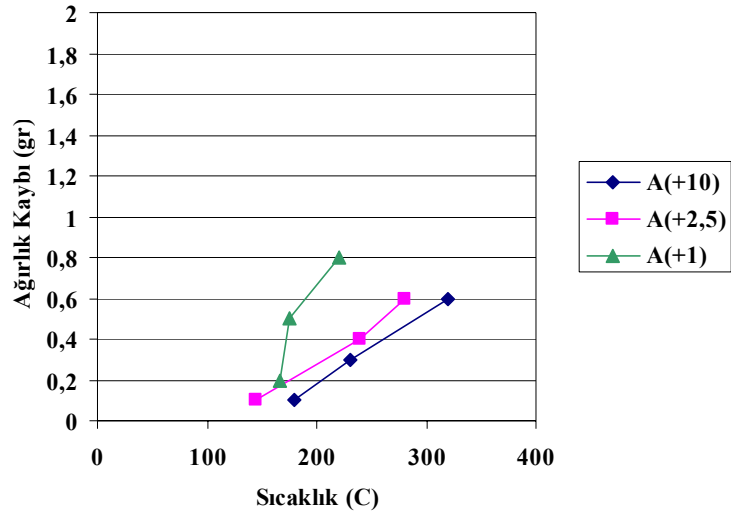


Şekil 8.15 C18150 numunesinin farklı kayma hızlarında akım yön ve şiddeti – sıcaklık ilişkisi.

1 m/s kayma hızında + ve – yönde akım şiddetinin artışına bağlı olarak numunede sıcaklık değişimi görülmemektedir. Aynı durum 2 ve 4,2 m/s kayma hızlarında da söz konusudur (Şekil 8.15). Ancak sıcaklık artışı, sürtünme hızı artışıyla kademeli olarak artmıştır. Sürtünme hızına bağlı olarak + yöndeki sıcaklık artışı, – yöndeki sıcaklık artışından daha düşüktür (Şekil 8.16). Aynı numunenin akım geçmediği durumdaki grafiğine bakıldığında diğerleriyle önemli bir farkı görülmemektedir. Bu numunede de sadece sürtünme hızına bağlı olarak sıcaklık artmıştır (Şekil 8.15).



Şekil 8.16 (a) C18150 numunesinin – akım yönünde, farklı akım değerlerinde, 1, 2, 4.2 m/s hızlardaki sıcaklık – ağırlık kaybı ilişkisi.



Şekil 8.16 (b) C18150 numunesinin + akım yönünde, farklı akım değerlerinde, 1, 2, 4.2 m/s hızlardaki sıcaklık – ağırlık kaybı ilişkisi.

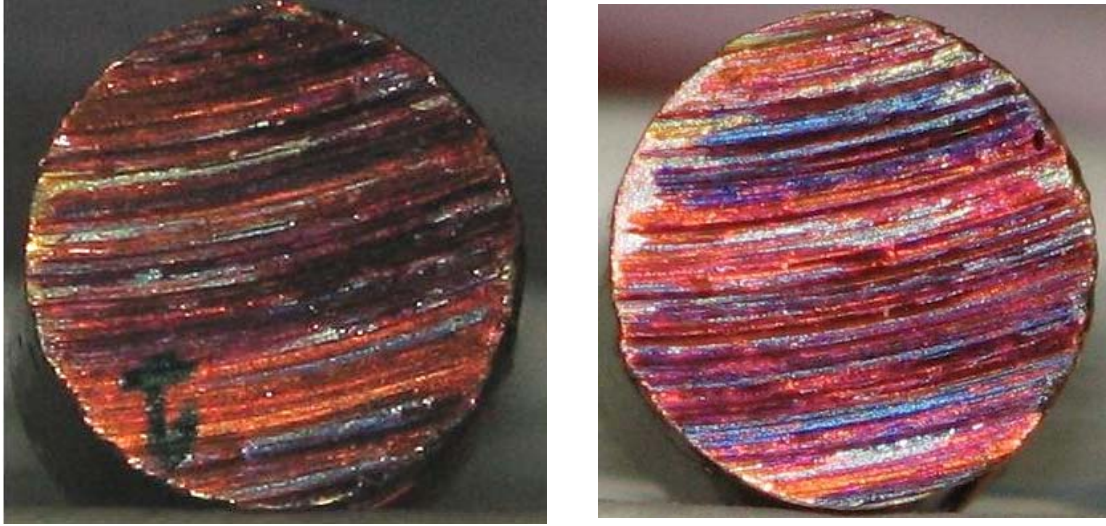
8.7. Aşınan Yüzeylerin Analizi

Aşınma süresince geçerli olan kayma hızı, akım şiddeti ve yönü ile birlikte, aşınmaya tabi tutulan, CuCrZr alaşımlı (NA) numuneler Tablo 8.5’de verilmiştir.

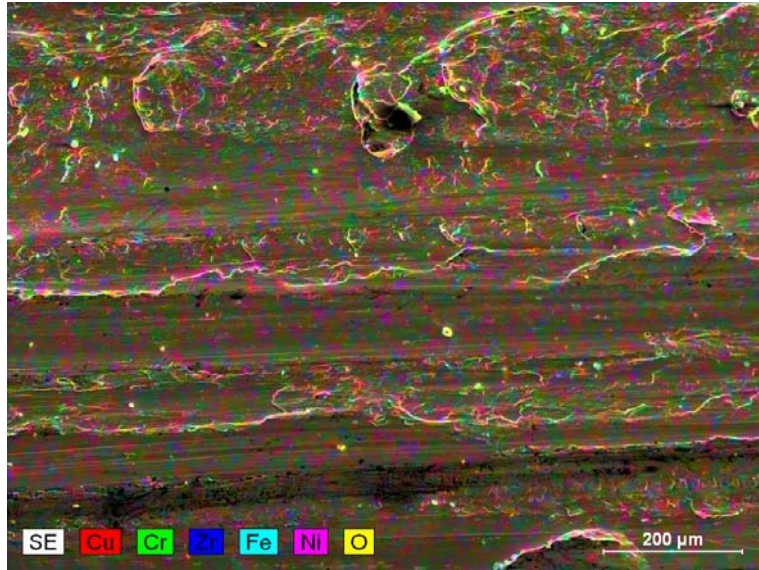
Tablo 8.5 Aşınan numunelerin aşınma şartlarını gösteren tablo.

Numune	Akım Şiddeti (A)	Akım Yönü (Aşınan/Aşındıran)	Hız (m/s)
A1	1	+ / -	1
A2	1	+ / -	4,2
A3	1	+ / -	2
A4	1	- / +	4,2
A5	1	- / +	1
A6	1	- / +	2
A7	2,5	+ / -	1
A8	2,5	+ / -	4,2
A9	2,5	+ / -	2
A10	2,5	- / +	4,2
A11	2,5	- / +	1
A12	2,5	- / +	2
A13	10	+ / -	1
A14	10	+ / -	4,2
A15	10	+ / -	2
A16	10	- / +	4,2
A17	10	- / +	1
A18	10	- / +	2

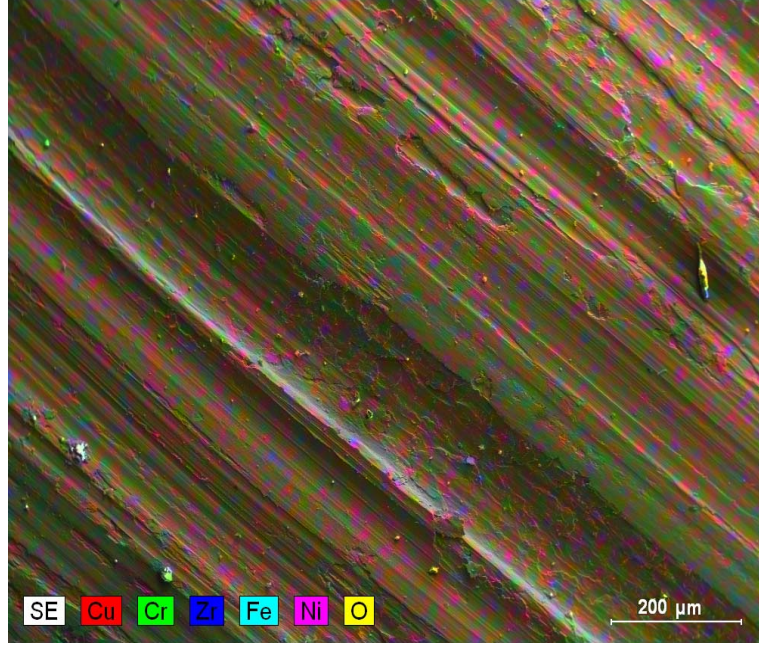
Şekil 8.17’de 10 A akım şiddetinde, 1 m/s sürtünme hızında aşınmaya tabi tutulan numunelerin + ve – yönde yüzey fotoğrafları görülmektedir.



(a) Şekil 8.17 a; C18150 (+), X5Cr18Ni9 (-) ve (b) C18150 (-), X5Cr18Ni9 (+) akım yönünde, 10 A, 1 m/s’de aşınma yüzey fotoğrafları.

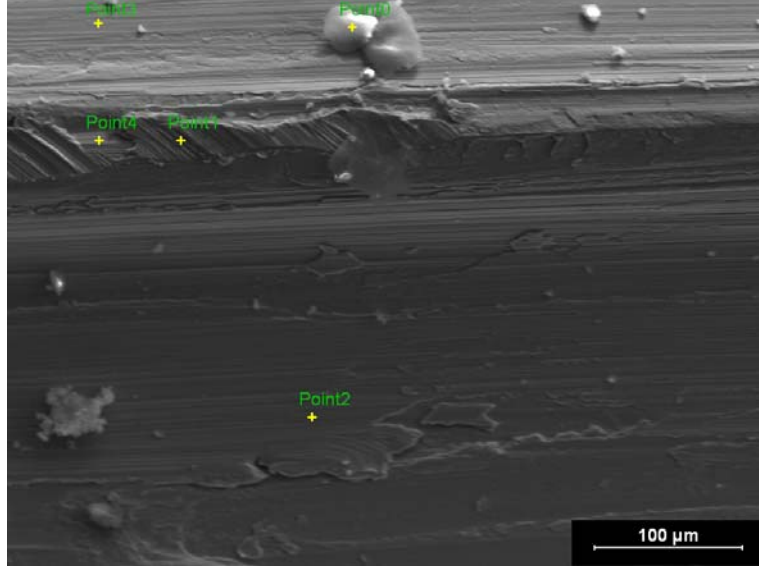


Şekil 8.18 (a) A13 numunesinin yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 1 m/s).

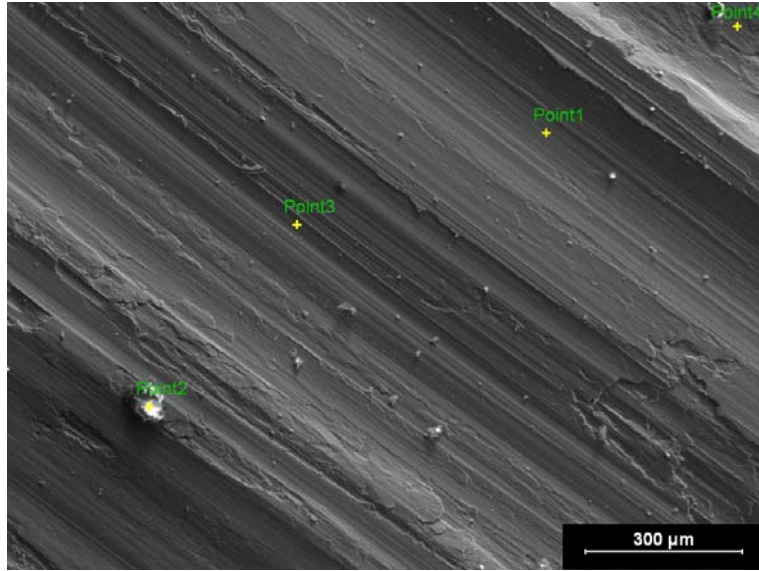


Şekil 8.18 (b) A17 numunesinin yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (10 A, -/+ 1 m/s).

Şekil 8.17 (a) ve (b)'de verilen numunelerin aşınma yüzeylerinden alınan Şekil 8.18 (a)'da C18150 (+) ve (b)'de C18150 (-) yönde renkli SEM fotoğrafları görülmektedir. Bu SEM alıntılarında her element için bir renk tayin edildi, bu renkler o elementin genel olarak yüzeyde görülen bölgelerdeki yoğunluğunu takriben göstermektedir. + ve – yöndeki SEM alıntıları karşılaştırıldığında; + yönde aşınmaya maruz kalan numunenin yüzeyindeki aşınma izlerinin, yırtılmaların ve koparak ayrılan parçaların büyük olmadığı, – yönde aşınmaya maruz kalan numunenin aşınma yüzeyinde ise yırtılmaların ve aşınma izlerinin çok daha derin ve geniş olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 8.19 (a) A13 numunesinin nokta belirlemeli SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 1 m/s).



Şekil 8.19 (b) A17 numunesinin nokta belirlemeli SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 1 m/s).

Şekil 8.17 (a) ve (b)'de verilen numunelerin aşınma yüzeylerinden alınan Şekil 8.19 (a)'da C18150 (+) ve (b)'de C18150 (-) yönde noktasal analiz fotoğrafları ve bunlarda; aşınma çizgilerinin üst yüzey bölgelerinden ve kopan parçacıklar üzerinden, ayrıca aşınma çizgilerinin alt yüzey bölgelerinden alınan noktasal analizler görülmektedir.

Artı yönde aşınmaya tabi tutulan numunenin nokta analizlerinden alınan verilerine bakıldığında; yüzeyde, kopan veya yüzeyden ayrılan parçacıklarda intermetalik bileşiklerin varlığı, bunların Cr_2Zr intermetalik bileşikler ve Cr_2O_3 olduğu kanaatine varılmaktadır. Şekil

8.19 (a)'ya ait noktasal analizlerin yüzde atomik ağırlıkları Tablo 8.6'da, bu noktalardaki elementlerin pikleri de Şekil 8.19 (a)'da, düşünülen bileşiklerin varlığını doğrulamaktadır.

Eksi yönde aşınan numunenin noktasal analiz sonuçlarına bakıldığında artı yöne kıyasla daha fazla intermetalik bileşik oluştuğu; bunların, CuO, Cu₂O ve Cr₂Zr olduğu kanaatine varılmaktadır. Şekil 8.19 (b)'ye ait noktasal analizlerin yüzde atomik ağırlıkları Tablo 8.7'de, bu noktalardaki elementlerin pikleri de Şekil 8.20 (b)'de, düşünülen bileşiklerin varlığını doğrulamaktadır. Eksi yönde bileşikler, artı yöne nispeten daha fazla görülmekte ve bunlar da ağırlık kaybı artışına sebep olmaktadır.

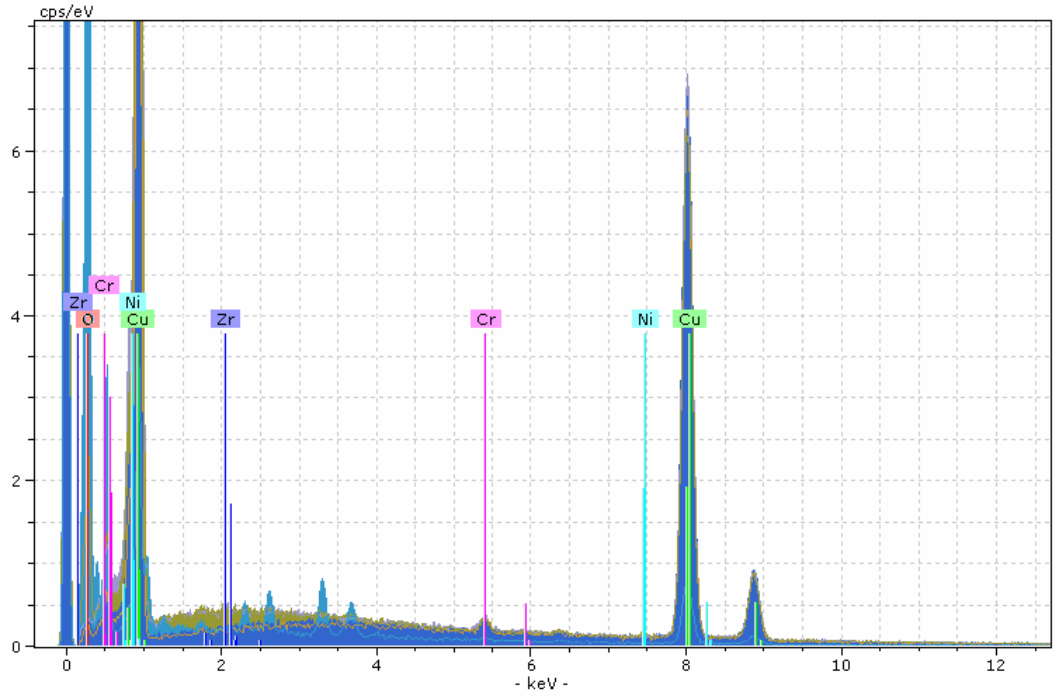
Aşınan yüzeylerde oksitlerin malzemeden ilk önce koparak ayrıldığı dikkati çekmektedir. Parçacıkların koparak ayrılması da aşınmayı artırmaktadır. Şekil 8.19 (a)'da Point 0 ve (b)'de Point 2, kopan parçacıkları göstermekte ve bunların Tablo 8.6 ve Tablo 8.7'de verilen analizlerinde, oksijenin yüzde atomik ağırlığının (% 96,96 ve % 94,84) yüksekliği, bu parçalarda diğer bileşiklere göre CuO, Cu₂O bileşiklerinin daha çok koparak ayrılmaya neden olduğunu ortaya koymaktadır. Kopmaların, yırtılmaların ve parçacıkların olmadığı, derin aşınma izlerinin bulunduğu bölgelerde Şekil 8.19 (a)'da Point 2 ve Şekil 8.19 (b)'de Point 3'de alınan, Tablo 8.6 ve Tablo 8.7'de verilen analizleri, kopan parçacıklarda yukarıda ifade edilen durumların aksine Cu'nın yüzde atomik ağırlığının % 78 civarlarına yükseldiği, buna mukabil oksijenin yüzde atomik ağırlığının % 19 seviyesine düştüğü görülmektedir. Bu da yukarıda açıklandığı gibi oksitlerin malzeme yüzeyinde aşınmaya etkilerini göstermektedir.

Tablo 8.6 A13 numunesinde işaretli noktaların % atomik ağırlıklarını veren analiz sonuçları (10 A, +/-, 1 m/s).

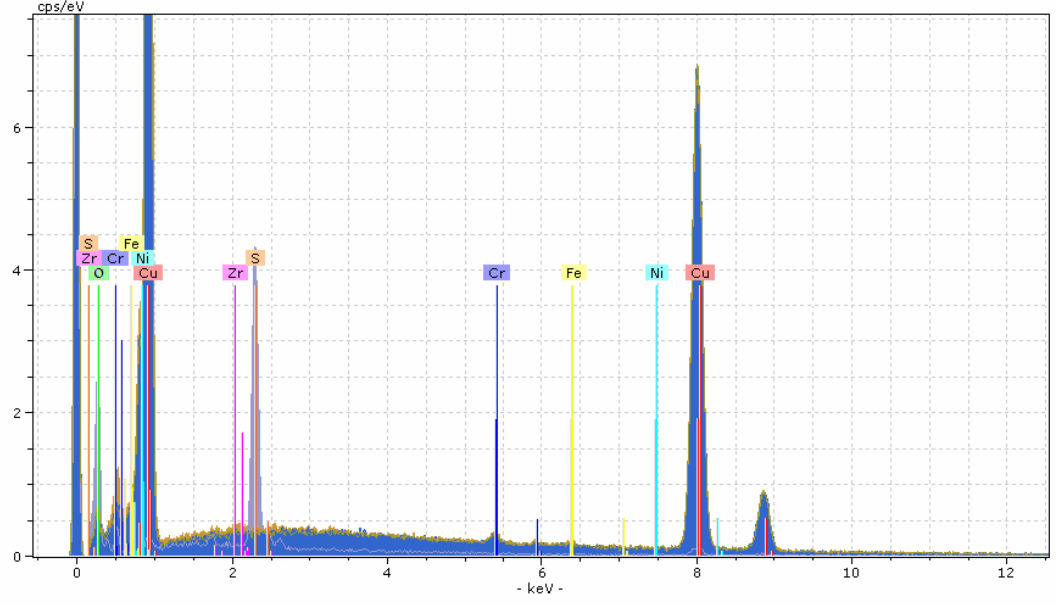
Nokta Element	% Atomik Ağırlık (Point 0)	% Atomik Ağırlık (Point 1)	% Atomik Ağırlık (Point 2)	% Atomik Ağırlık (Point 3)	% Atomik Ağırlık (Point 4)
Cu	2.54	38.72	71.72	80.95	78.84
O	96.96	60.18	26.25	17.66	19.72
Cr	0.17	0.23	0.70	0.93	0.75
Ni	0.27	0.19	0.39	0.32	0.57
Zr	2.67	0.68	0.94	0.14	0.13

Tablo 8.7 A17 numunesinde işaretli noktaların % atomik ağırlıklarını veren analiz sonuçları (10 A, +/-, 1 m/s).

Nokta Element	% Atomik Ağırlık (Point 1)	% Atomik Ağırlık (Point 2)	% Atomik Ağırlık (Point 3)	% Atomik Ağırlık (Point 4)
Cu	71.56	0.55	64.94	69.34
O	26.01	94.84	33.22	28.88
Fe	0.46	0.06	0.31	0.32
Cr	0.95	0.06	0.71	0.65
Ni	0.56	0.06	0.28	0.44
Zr	0.33	0.14	0.46	0.29
S	0.13	0.09	0.09	0.08

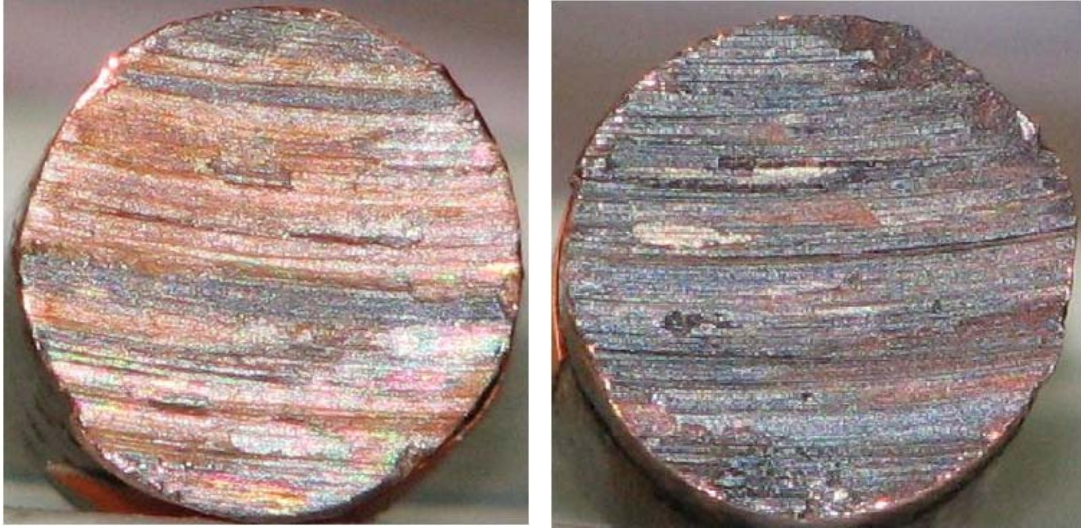


Şekil 8.20 (a) A13 numunesinin EDS analizi (10 A, +/-, 1 m/s).



Şekil 8.20 (b) A17 numunesinin EDS analizi (10 A, -/+, 1 m/s).

Şekil 8.21’de 10 A akım şiddetinde, 4,2 m/s hızda aşınmaya tabi tutulan numunelerin + ve – yönde yüzey fotoğrafları görülmektedir.



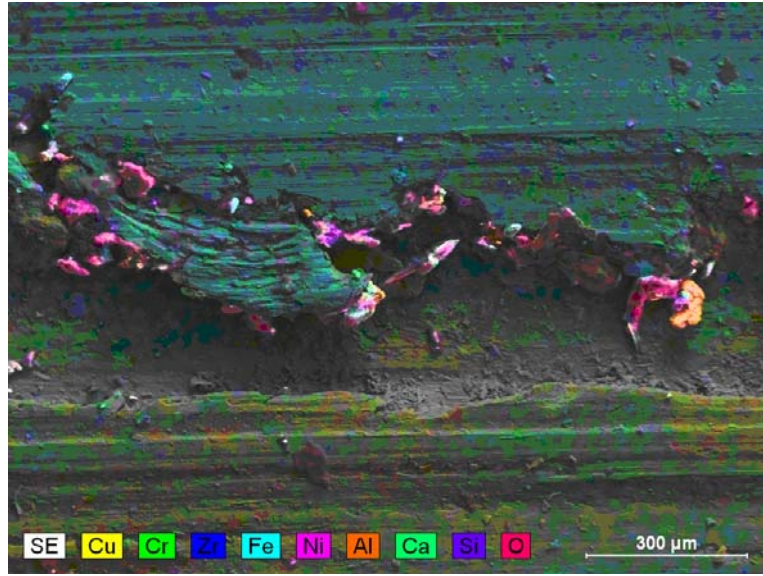
(a)

(b)

Şekil 8.21 a; C18150 (+), X5Cr18Ni9 (-) ve **b;** C18150 (-), X5Cr18Ni9 (+) akım yönünde, 10 A, 4,2 m/s’de aşınma yüzey fotoğrafları.



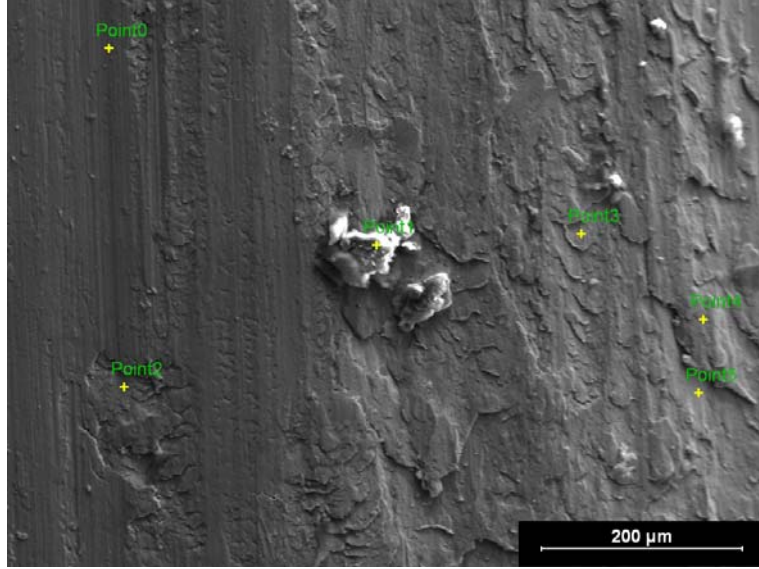
Şekil 8.22 (a) A14 numunesinin yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 4,2 m/s).



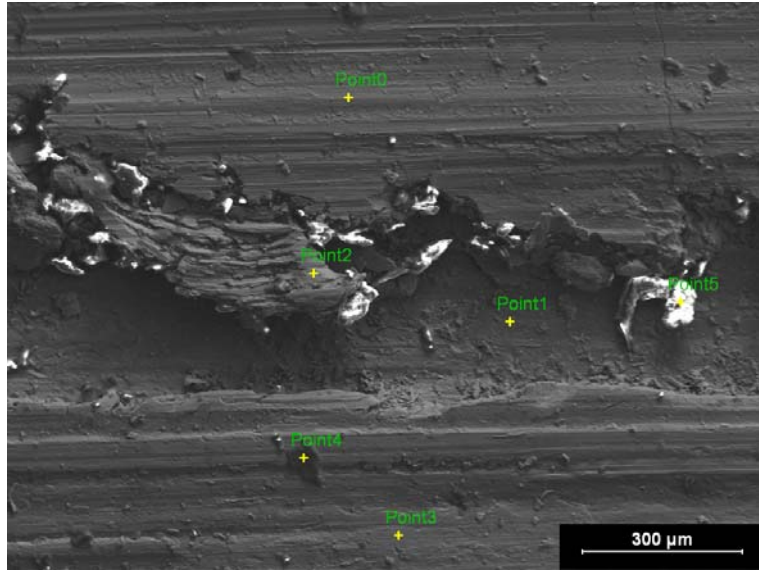
Şekil 8.22 (b) A16 numunesinin yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (10 A, +/-, 4,2 m/s).

Şekil 8.21 (a) ve (b)'de verilen numunelerin aşınma yüzeylerinden alınan Şekil 8.22 (a)'da + ve (b)'de – yönde SEM fotoğrafları görülmektedir. + ve – yöndeki SEM alıntıları karşılaştırıldığında; – yönde aşınmaya maruz kalan numunenin yüzeyindeki aşınma izlerinin, + yönde aşınmaya maruz kalan numunenin aşınma izlerinden çok daha derin ve geniş olduğu açıkça görülmektedir. Bu numunelerde sürtünme hızı 4,2 m/s olup Şekil 8.17'de fotoğrafları verilen numunelerden dört kat daha fazladır. Dolayısıyla aşınma yüzey fotoğrafları da karşılaştırıldığında, aşınma izlerinin farklılığı görülmektedir. Bu numunelerde aşınma kayıpları daha fazladır. Çünkü sürtünme hızına bağlı olarak meydana gelen sıcaklığın da etkisi ile aşınma

izlerinin derinliği ve yırtılmaların çok daha geniş ve uzun olduğu şekil 8.23 (a) ve (b)'de görülmektedir.



şekil 8.23 (a) A14 numunesinin nokta belirlemeli SEM fotoğrafı
(10 A, +/-, 4,2 m/s).



şekil 8.23 (b) A16 numunesinin nokta belirlemeli SEM fotoğrafı
(10 A, +/-, 4,2 m/s).

şekil 8.21 (a) ve (b)'de verilen A14 ve A16 numunelerinin aşınma yüzeylerinden alınan şekil 8.23 (a)'da + ve (b)'de – yönde, noktasal analiz fotoğrafları ve bu fotoğraflarda kopan parçacıklar üzerinden, aşınma çizgilerinin üst ve alt yüzey bölgelerinden alınan noktasal analizler görülmektedir. Buna göre bu numunelerde artan sürtünme hızına bağlı olarak sıcaklığın da artması, aşınma yüzeyinde meydana gelen izlerin normal bir aşınma çizgisi ve

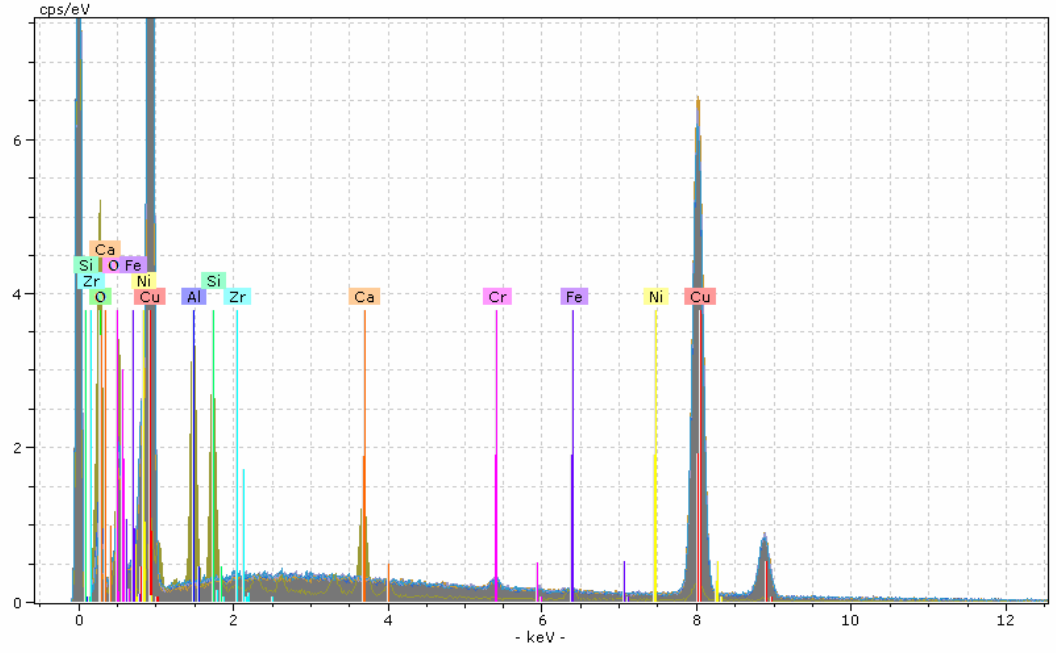
yırtılmaların normal bir yırtılmadan öte, geniş ve derin bir oluk halinde oluştuğu, özellikle – yöndeki numunede açıkça görülmektedir. Burada da özellikle oksitlerin (Al_2O_3 , CuO ve Cu_2O) ve intermetalik bileşiklerin (Cr_2Zr ve Cu_3Al) malzeme yüzeylerinden koptuğunu ve kopan partiküllerin yüzde atomik ağırlıklarına göre oksit ve diğer intermetalik bileşikler yönünden yoğunluklu olduğunu Tablo 8.8 ve Tablo 8.9'daki sonuçlar vermektedir. Bu durumu; kopan parçacıklarda oksijenin yüzde ağırlık oranının % 83 seviyesinde olması, parçacıkların ve yırtılmaların olmadığı, normal aşınma izlerinin bulunduğu bölgelerde oksijenin yüzde atomik ağırlığının % 32 seviyesinde, Cu'nın ise buna mukabil yüzde atomik ağırlık oranının % 65 seviyesinde olması ve bu değerleri gösteren noktalardaki elementlerin pikleri doğrulamaktadır (Tablo 8.8 ve Tablo 8.9; Şekil 8.24).

Tablo 8.8 A14 numunesinde işaretli noktaların % atomik ağırlıklarını veren analiz sonuçları (10 A, +/-, 4,2 m/s).

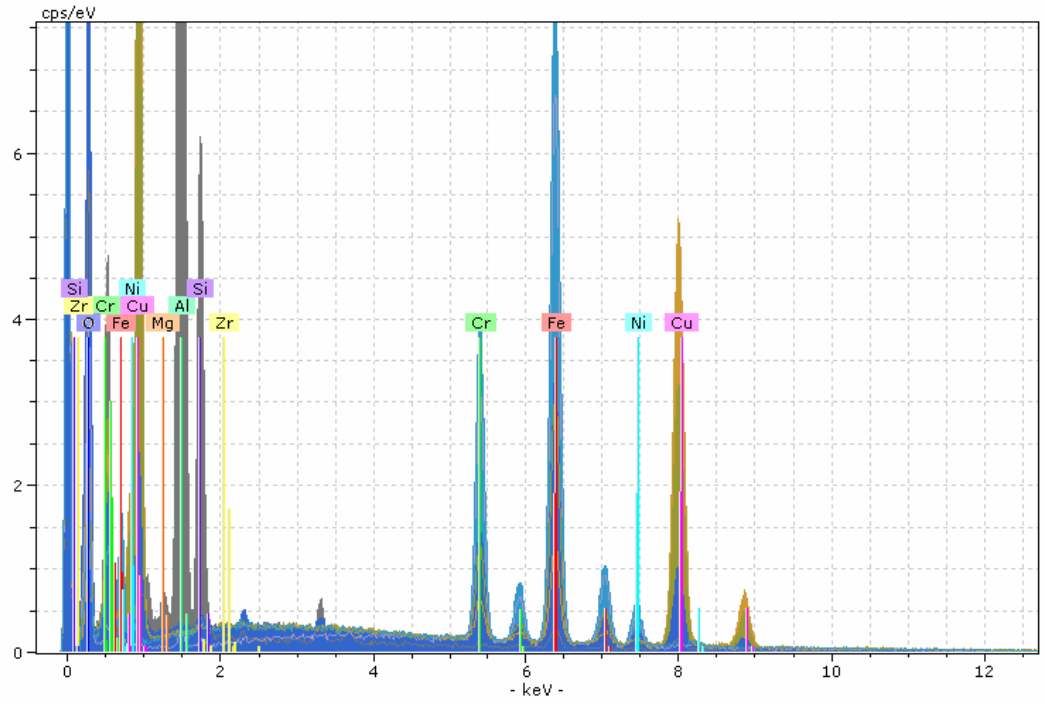
Nokta Element	% Atomik Ağırlık (Point 0)	% Atomik Ağırlık (Point 1)	% Atomik Ağırlık (Point 2)	% Atomik Ağırlık (Point 3)	% Atomik Ağırlık (Point 4)	% Atomik Ağırlık (Point 5)
Cu	55.27	2.28	51.74	65.14	52.17	65.61
O	41.50	83.63	46.39	32.43	45.50	31.13
Fe	0.13	0.75	0.12	0.18	0.20	0.21
Cr	0.44	0.17	0.42	0.56	0.51	0.45
Ni	0.26	0.19	0.19	0.36	0.30	0.45
Zr	0.47	4.23	0.19	0.21	0.23	0.29
Al	1.93	8.75	0.95	1.13	1.09	1.86

Tablo 8.9 A16 numunesinde işaretli noktaların % atomik ağırlıklarını veren analiz sonuçları (10 A, +/-, 4,2 m/s).

Nokta Element	% Atomik Ağırlık (Point 0)	% Atomik Ağırlık (Point 1)	% Atomik Ağırlık (Point 2)	% Atomik Ağırlık (Point 3)	% Atomik Ağırlık (Point 4)	% Atomik Ağırlık (Point 5)
Cu	0.72	26.75	0.54	44.51	4.18	0.41
O	34.34	53.45	55.04	42.49	85.72	62.03
Fe	44.65	12.25	31.73	4.70	6.93	0.48
Cr	14.67	3.80	9.55	1.89	2.07	0.15
Ni	4.60	0.61	2.68	0.67	0.74	0.08
Mg	0.79	2.79	0.34	5.53	0.21	0.62
Zr	0.23	0.34	0.13	0.21	0.14	0.26
Al		-	-	-	-	27.63
Si		-	-	-	-	8.34



Şekil 8.24 (a) A14 numunesinin EDS analizi (10 A, +/-, 4,2 m/s).



Şekil 8.24 (b) A16 numunesinin EDS analizi (10 A, +/-, 4,2 m/s).

8.8. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

İlaveli alaşımlarda mekanik ve fiziksel sonuçlar;

1. % 3,38 Al ilavesine kadar çekme dayanımında ve akma sınırında bir değişim gözlenmemiş, ancak darbe dayanımı kademeli olarak az bir miktar düşmüştür. Bu da, Al fazının oluşturduğu intermetalik fazların çoğalmasından kaynaklanmıştır. % 4,35 Al ilavesi ile malzemenin yüzde uzaması ve enerji absorbe etme yeteneği artma göstermiştir. Bunun da sebebi olarak; malzemedeki Al fazlasının bakırın oksitlenmesini kısmen engellemesinden ileri geldiği düşünülmektedir.
2. Al katkısı alaşımlarda dendritik bir mikro yapı oluşumuna yol açmıştır. % 4,35 Al ilavesi ise homojen dağılımlı, oldukça ince dokulu homojen bir mikro yapı ortaya çıkmıştır. Bu da; oksitlenen Al taneciklerinin bir çekirdek görevi üstlenip, daha sonraki katılaşmanın başlayıp ilerlediği tanelerin oluşmasına yol açmasından ileri gelmiştir.
3. Al ilavesi bu alaşımlarda sertlik değerini çok az düzeyde artırmıştır. Bu artış, kayda değer bir artış değildir. Artan Al ilavesi ile oluşan intermetalik tane sayısı arttığından sertlik de buna bağlı olarak az miktarda artmıştır. Çünkü oluşan fazlar, α -Cu fazı içerisinde az çok dengeli şekilde çözünmüşlerdir.
4. Al ilavesi artırıldıkça C18150 alaşımının kademeli olarak ısı iletkenliği azalmıştır. % 4,35 Al ilavesi ile ısı iletkenlik katsayısı, 320 W/mK değerinden 5,2 W/mK değerine kadar düşmüştür. Aynı ilişki Wiedemann-Franz Yasası doğrultusunda elektrik iletkenliği için de geçerlidir.

Aşınma sonuçları;

1. CuCrZr alaşımında kuru kaymalı düşük sürtünme hızlarında (1 m/s), + ve – yönde aşınma kaybı fazla olmamaktadır. Orta düzeydeki sürtünme hızlarında (2 m/s), – yönde aşınma kaybı + yöne göre fazla olmaktadır. Aynı durum kuru kaymalı yüksek sürtünme hızlarında (4,2 m/s) da söz konusudur. – yönde mikro ölçekte bakırdan paslanmaz çeliğe doğru ark şeklinde elektron geçişi etkisi ile malzeme kaybı fazla olmuştur, aşınma artmıştır. + yönde elektron geçişi, paslanmaz çelikten bakıra doğru daha dengeli geçtiği ve yapı dağılımı daha homojen olduğu için aşınma az olmuştur.
2. Sürtünme hızı ve buna bağlı olarak sıcaklık arttıkça, bu alaşımlarda malzeme kaybı artarak aşınma direnci azalmıştır. Malzeme kaybını; + yönde yüzeyde

oluşan Cr_2O_3 bileşiğı, - yönde Al_2O_3 , Cr_2Zr , CuO ve Cu_2O bileşiklerinin artırdığı kanaatine varılmıştır.

3. Düşük elektrik akım şiddetinde aşınmaya maruz kalan malzemelerde; aşınma değerine, normal basınç ve kayma hızının etkileri baskın olmaktadır. Daha yüksek elektrik akım şiddetinde, söz konusu normal basınç ve kayma hızının etkileri zayıflamakta ve aşınma yüzeyinde elektrik akımının etkileri baskın olmaktadır.
4. Akım şiddeti yükseltildikçe malzemede aşınma kaybı azalmış ve buna karşılık aşınma dayanımı oldukça orantılı bir şekilde artma göstermiştir. Malzemede normal basınç ve kayma hızları, akım şiddetinin yüksekliği nispetinde bastırılmıştır.
5. Özellikle + yönde akım şiddetinin yükseltilmesi; normal basınç ve kuru kaymalı sürtünme hızının etkilerini bastırarak, aşınma direncini önemli ölçüde artırmıştır.

KAYNAKLAR

- Ardell, A.J., 1985, Precipitation hardening, Metall. Trans. 16A, 2131-2165.
- Avner, S.H., 1974, Introduction to Physical Metallurgy, 2. Ed., McGraw-Hill Book, New York, USA, 475-477.
- Barrett, C.S., 1952, Structure of Metals, McGraw-Hill, 288.
- Batra, I.S., Dey, G.K., Kulkarni, U.D., Banerjee, S., 2002, Precipitation In a Cu-Cr-Zr Alloy, Elsevier Science B.V.
- Bouchoucha, A., 1988, Thesis INPL, Nancy, France.
- Brandes, E.A., 1983, Smithells Metals Reference Book, Butterworths, 6. Ed., 11-14.
- Buytoz, S., 2003, AISI 4340 Çeliğinin Nitrürasyon ve GTA Kaynak Yöntemi İle Yüzey Modifikasyonu İşlemleri Sonrası Mekaniksel Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen ilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Chandler, H., 1992, Heat Treaters Guide, Practices and Procedures for Nonferrous Alloys, ASM International Ohio.
- Chen, Z., Liu, P., Verhoeven, J.D., Gibson, E.D., 1997, Electrotribological behavior of Cu-15 vol. % Cr in situ composites under dry sliding, Wear 203-204, 28-35.
- Csapo, E., Zaidi, H., Paulmier, D., Kadiri, E.K., Bouchoucha, A., Robert, E., 1995, Surface Coatings Technologies. 76-77, 421-424.
- Çardak, G., 2000, Krom Alaşım Elementinin Bakır Esaslı Direnç Kaynağı Elektrot Malzemesi Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çay, V.V., 2002, Kaynak Dolgu Metalinin Mekanik Özelliklerine Ferrokrom Tozunun Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 18-27.
- Demirci, H., 2004, Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi, I.Baskı, Alfa Yayınevi, 167, 219-221.
- Dengiz, H.H., 1991, Enerji Hatları Mühendisliği, Kardeş Kitapevi Yayınları No:2, 1.
- Duashevich, G., Cvetkovski, V., 2002, Effect of Thermomechanical Treatment on Mechanical Properties and Electrical Conductivity of a Cu-Cr-Zr Alloy, Bull. Material Science Vol. 25,I 1.
- Durand, E., 1968, Magnetostatique, Masson et Cie Editeur, Paris, Fransa.

- Edwards, D.J, Newkirk, J.W., Garner, F.A., Hamilton, M.L., Nadkarni, A., Samal, P., 1993, Proceedings of the 16th International Symposium on the Effects of Radiation on Materials, ASTM STP 1175, eds. Kumar, A.S., Gelles, D.S., Nanstad, R.K., Little, E.A., 1041.
- Erdoğan, M., 1998, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri-Cilt 1, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 238-244.
- Ersümer, A., 1976, Bakır Alaşımlarının Dökümü ve Isıl İşlemleri, İTÜ Matbaası, 139.
- Eşiz, P., 2003, CuCrZr Alaşımlarının Ergitilmesi, Dökülmesi ve Isıl İşlem Problemlerinin Giderilmesi, Yıldız Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1-48.
- Fabritsiev, S.A., Pokrovsky, A.S., Zinkle, S.J., Edwards, D.J., 1996, J.Nucl. Mater., 513, 233-237.
- Fechant, L., 1996, Le Contact Electrique, Edition Hermes, Tome 1.
- Fujii, T., Nakazawa, H., Kato, M., Dahmen, U., 2000, Crystallography and morphology of nanosized Cr particles in a Cu-0,2 % Cr alloy, Acta Metall. 48, 1033-1045.
- Fuxiang, H., Jusheng, M., 2002, Analysis of Phases In a Cu-Cr-Zr Alloy, Scripta Materialia, Vol. 97, I 102-107.
- Gusel, L., 2000, The Influence of the Strain on Springback of Cold Drawn Alloy CuCrZr, Mat. and Tech. 34, (1-2), 89-92 ISSN: 1580-2949.
- Hartemann, P., 1990, Effets et materiaux magnetosricitifs, Les Techniques de l'Ingenieur, Paris, E1880-1.
- Higgins, R.A., 1985, Engineering Metallurgy, Part 1: Applied Physical Metallurgy, Sixth Edition, Cornwall, England, 392-395.
- Holm, R., 1967, Electric Contacts, 4th ed., Springer-Verlag, 173-178.
- Ivanov, I.S., Nikolaev, A.K., 2002, Effect of Heat Treatments on the Properties of Cu-Cr-Zr Alloys, Journal of Nuclear Materials, Vol. 311, I 676.
- Kayalı, E. S., Eruslu, N., Ürgen, M., Taptık, Y., Çimenoglu, H., 1997, Hasar Analizi Seminer Notları, İstanbul.
- Kocabalkanlı, A.H., 1982, Dökümlerde Sıcak Yırtılma, Lisans Bitirme Tezi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fak., Metalurji Müh., 34-39.
- Korkut, M.H., 1997, Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mikro Yapısı ve Aşınması Üzerine Karbür Yapıcı Elementlerin Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Lakhtin, Y., 1971, Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment, Mir Publishers in Moscow.
- Lancaster, J.K., Stanley, S.W., 1964, Br. J. Appl. Phys. 15 (1) 29-41.

- Lymann, T., Ed., 1961, Metals Handbook, Properties and Selection, Vol 1, 8th ed., American Society for Metals, 1225.
- Lymann, T., 1992, Metals Handbook Ninth Edition Vol.2 Properties and Selection of Nonferrous Alloys and Pure Metals, American Society for Metals, Ohio.
- McNab, L.R., 1980, Recent advances in electrical current collection, Wear 259-276, 59.
- Metals Handbook, 1988, American Society for Metals, Metals Park, Ohio USA, 1160-1164.
- Mihara, K., Takeuchi, T., Suzuki, H.G., 1998, Effect of Zr on Aging Characteristics and Strength of Cr, Journal of the Japan Institute of Metals.
- Miller, G. L., 1954, Metallurgy of the Rarer Metals Zirconium, Academic Press. Inc. Publishers, London.
- Moore, M.A., 1974, A Review of Two-Body Abrasive Wear, Wear, 27, 1-7.
- Murthy, K. S. S., 1984, Melting and Casting of High Conductivity Copper, The British Foundryman Vol 67, I 335.
- Nagasawa, H., 2001, Application of Precipitation Hardened Copper to Contact Wire.
- Oğuz, B., 1990, Demirdışı Metaller Kaynağı, Oerlikon Yayınları, 82-86.
- Omar, M.A., 1993, Elementary Solid State Physics, Addison-Wesley Publishing Company, USA, 669.
- Onaran, K., 2000, Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, 8. baskı, 97,101-105.
- Özsaraç, U., Durman, M., 2000, Aşınma Deney Yöntemleri, Makine Magazin, Sayı 46, 40-46.
- Özmen, Y., Can, A. Ç., Aksoy, T., 1991, Aşınmaya Etki Eden Faktörler ve Aşınmanın Azaltılması İçin Alınacak Tedbirler, 4.Denizli Sempozyumu, 651-664.
- Paulmier, D., Bouchoucha, A., Zaidi, H., 1990, Vacuum 41, 2213.
- Pekin, Ş., Vuoristi, P., Mantyla, T., 1993, System Approach for Wear Resistant Coatings, Workshop on Anti-Wear Coatings, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli.
- Pollock, D.D., 1985, Electrical Conduction in Solids, Department of Mechanical and Aerospace Engineering State of New York, American Society for Metals, 121-165.
- Purcell, E. M., 1999, Elektrik ve Manyetizma, Çeviren: Rauf Nasuhoğlu, Berkeley Fizik Programı-Cilt 2, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayını, 131-134.
- Rosenberg, H. M., 1978, The Solid State, Oxford Physics Series, Second Edition, 108,128-130.
- Rowley, M.T., 1984, Casting Copper-Base Alloys, AFS III, Chapter 11, Aluminum Bronze, USA.
- Saarivirta, M., 1960, J.Trans. Met. Soc. A.I.M.E., Vol.218, June

- Senouci, A., Zaidi, H., Frene, J., Bouchoucha, A., Paulmier, D., 1999a, Damage of surfaces in sliding electrical contact copper/steel, *Applied Surface Science*, 144-145, 287-291.
- Senouci, A., Frene, J., Zaidi, H., 1999b, Wear mechanism in graphite-copper electrical sliding contact, *Wear* 225-229, 949-953.
- Stomarhima, T.A., Kundrashova, V.E., Strel'tsov, F.N., Moldavski O.D., 1981, The Nature of Macro Inclusions in Copper-Chromium Alloys, *The Soviet Journal of Nonferrous Metals*, 12,8,68-70, August.
- Tang, N.Y., Taplin, D.M.R., Dunlop G.L., 1985, Precipitation and aging in high-conductivity Cu-Cr alloys with additions of zirconium and magnesium, *Mater. Sci. Technol.* 1 (4), 270-275.
- Tekin, E., 1984, Demirdışı Metaller ve Alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi, SEGEM Yayınları, Yayın No:101, Ankara.
- Topbaş, M.A., 1993, Endüstri Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü, 2.cilt, 220-228, 164-165.
- Topbaş, M.A., 1992, Endüstri Fırınları II.Cilt, Damla Matbaacılık, İstanbul.
- Tu, J.P., Qi, W.X., Yang, Y.Z., Liu, F., Zhang, J.T., Gan, G.Y., Wang, N.Y., Zhang, X.B., Liu, M.S., 2002, Effect of aging treatment on the electrical sliding wear behavior of Cu-Cr-Zr alloy, *Wear* 249, 1021-1027.
- Turhan, H., 1994, Ostenitik Manganlı Çeliğin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 3-10.
- Turhan, H., 1998, Düşük Katkılı Kalay İçerikli Bronz Yatakların Aşınma ve Yorulma Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 39-42.
- Onaran, K., 2000, Malzeme Bilimi, Bilim teknik Yayınevi, 8.Baskı, 87-123.
- Villars, P., Prince, A., Hokamoto, A., 1993, Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams, ASM International, Cleveland.
- Vlack, L. H. V., 1972, Malzeme Bilimine Giriş, Çeviren: Safoğlu R., İTÜ, The University of Michigan, USA, 120.
- Weissavach, W., 1993, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Çevirenler: Anık, S., Anık, E. S., Vural M., Birsen Kitapevi, 4.Baskı, 8-18.
- Yıldırım, M. M., 1984, Malzeme Bilgisi III, Fırat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi Basımevi, Elazığ, 39, 52-60.
- Yıldırım, M. M., Doğan Z. S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri III, MKÜ Yayınları, No:5, ISBN 975-7989-16-9, İskenderun, 57-91.
- Yıldız İ., 2002, Nondestructive investigation of age hardening of aluminium alloys by sound velocity and electrical conductivity measurements, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Metallurgical and Materials Engineering, 98-105.

Yılmaz, F., 1997, Sürtünme ve Aşınma, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Cilt 1, 229-256.

Yılmaz, F., Şen, U., 1996, Alaşımların Yapı ve Özellikleri, T.C Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yayın No: 8 Adapazarı, 92–95.

Zaidi, H., Chin, K.J., Frene, J., 2001, Analysis of surface and subsurface of sliding electrical contact steel/steel in magnetic field, Surfaces and Coatings Technology 148, 241-250.

İTERNET KAYNAKLARI

<http://www.icsg.org> (International Copper Study Group, Focus on Copper, 2004)

<http://www.badoksan.com/>

<http://www.turkkablo.com/alumin.htm>

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1989 yılında girdiği Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 1993 yılında mezun oldu. 1994 yılında Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknikerliği Programı'na Öğretim Görevlisi olarak atandı. 1995 yılında başladığı Elektrik Teknikerliği Program Başkanlığı görevinden 1999 yılında ayrıldı. 2003 yılında Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Eğitimi (Malzeme Eğitimi) Ana Bililim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve 2007 yılında mezun oldu.

Halen Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik Teknikerliği Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.