

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OKSİT TAKVİYELİ BAKIR KOMPOZİTİN MEKANİK
ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ömer GÜLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi
Yrd.Doç.Dr.Ertan EVİN

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OKSİT TAKVİYELİ BAKIR KOMPOZİTİN MEKANİK
ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ömer GÜLER

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 20/07/06 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd.Doç.Dr Ertan EVİN

Üye: Doç.Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU

Üye: Doç.Dr. Osman YILMAZ

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim boyunca değerli görüşlerini, yakın ilgisini ve desteğini hiçbir şekilde benden esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ertan EVİN' e, benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Mustafa AKSOY' a ve Doç. Dr. Osman YILMAZ' a, deney çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğüm Arş. Grv. Yavuz EROL' a, Arş. Grv. Seval Hale MAHMUTOĞLU' na ve bölümümüz çalışanlarından Yetkin KAYA' ya ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	V
SİMGELER.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1.GİRİŞ.....	1
2.MEKANİK ALAŞIMLAMA.....	3
2.1. Mekanik Alaşımlama İşleminin Mekanizması.....	3
2.2. Mekanik Alaşımlama İşleminin Parametreleri.....	6
2.2.1 Başlangıç Toz Boyutu.....	6
2.2.2 Öğütücü Tipi.....	6
2.2.3.Bilye çapı.....	8
2.2.4.Öğütme Kabı.....	8
2.2.5.Öğütme Süresi.....	9
2.2.6. Bilye – Toz Ağırlık Oranı.....	9
2.2.7. Sıcaklık Artışı.....	9
2.2.8. İşlem Kontrol elemanları.....	10
2.3. Mekanik Alaşımlamanın Avantajları.....	10
3.ELEKTRİK KONTAK MALZEMELERİ.....	12
3.1.Kontakların Tanımı ve Genel Özellikleri.....	12
3.2. Kontaklar.....	15
3.2.1. Kontaktör.....	15
3.2.2. Röleler.....	16
3.3. Kontak Malzemelerin Sınıflandırılması ve Üretim Şekilleri.....	16
3.3.1. Kontak Malzeme Özellikleri.....	17
3.3.2. Elektrik Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları.....	18
3.3.4 Kontak Malzemelerinin Çalışma Koşullarına Göre Sınıflandırılması.....	19
3.3.5. Elektrik Kontak Malzemeleri Üretim Yöntemleri.....	21

3.3.5.1. İnfiltrasyon (emdirme) Yöntemi.....	21
3.3.5.2.Toz Metalürjisi Yöntemi.....	21
3.3.5.1. Döküm yöntemi.....	23
3.4. Kontakların Karakteristik Özellikleri.....	23
3.4.1. Elektrik Devresinde Açma Kapama Esnasında Meydana Gelen Olaylar.....	23
3.4.1.1. Ark Oluşumu.....	23
3.4.1.2. Kaynak Oluşumu.....	27
3.4.1.3.Köprü Oluşumu.....	28
3.4.2. Açma ve Kapama Kontakları İçin Gerekli Özellikler.....	28
4. DENEY ÇALIŞMALARI.....	30
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Üretimi.....	30
5. SONUÇLAR.....	35
5.1. Elektrik İletkenliği Deney Sonuçları.....	35
5.2. Kontak Ömrü Deney Sonuçları ve Elektron Mikroskobu Görüntüleri.....	39
6. GENEL SONUÇLAR.....	53
7. ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Mekanik alaşımlamada kullanılan elementel başlangıç tozlarının ve deformasyon evriminin artan süreyle değişimi.....	4
Şekil 2.2. Mekanik alaşımlama esnasında bilye-toz-bilye çarpışması.....	5
Şekil 2.3. 6061 Alüminyum alaşımında grafit dispersiyonu sağlamak için uygulanan mekanik alaşımla işlemi boyunca toz morfolojisi değişimi.....	5
Şekil 2.4. SPEX 8000 öğütücü.....	6
Şekil 2.5. Planeter bilyeli öğütücülerde öğütme kabının hareketi.....	7
Şekil 2.7. Atritör.....	8
Şekil 3.1. Kontaktörün yapısı ve sembolik gösterimi.....	15
Şekil 3.2. Bir rölenin yapısı.....	16
Şekil 3.3. Kontakların Açma ve Kapama esnasında Ark oluşumu.....	24
Şekil 3.4. Kontak Açma esnasında meydana gelen akım yoğunluğu.....	25
Şekil 3.5. Elektrik Ark erozyonunun Şematik Gösterimi.....	26
Şekil 4.1. Mekanik Alaşımlamanın yapıldığı deney düzeneği.....	32
Şekil 4.2. Numunelerin açma-kapama deneylerinin yapıldığı deney düzeneği.....	33
Şekil 4.3. Numunelerin kontak ömrünün ölçüldüğü deney düzeneğinin şematik gösterim....	34
Şekil 4.4. Numunelerin monte edildiği kontaktörün sabit ve hareketli kontaklarının görüntüsü.....	34
Şekil 5.1. % ZnO miktarı ile öziletkenlikteki değişim.....	35
Şekil 5.2. % Al ₂ O ₃ miktarı ile öziletkenlikteki değişim.....	36
Şekil 5.3. % Y ₂ O ₃ miktarı ile öziletkenlikteki değişim.....	36
Şekil 5.4. % ZnO, Al ₂ O ₃ , Y ₂ O ₃ miktarı ile öziletkenlikteki değişim.....	37
Şekil 5.5. Oksit miktarına bağlı olarak sertlik değişim grafiği.....	39
Şekil 5.6. % 4 ZnO ilaveli 5 saat mekanik alaşımlanmış numunenin element dağılım haritası.....	40
Şekil 5.7. % 4 Y ₂ O ₃ ilaveli 5 saat mekanik alaşımlanmış numunenin element dağılım haritası.....	41
Şekil 5.8. % 4 Al ₂ O ₃ ilaveli 5 saat mekanik alaşımlanmış numunenin element dağılım haritası.....	42
Şekil 5.9. Çevrim Sayısı ile % ağırlık kaybı değişimi.....	43
Şekil 5.10. 3000 açma – kapama sonucu saf bakırdan alınan EDX analiz görüntüsü.....	45
Şekil 5.11. 9000 kontak sayısı sonrası saf bakırdan alınan EDX analiz görüntüsü.....	45
Şekil 5.12. % 4 ZnO ilaveli kontakın 3000 kontak sayısından sonraki SEM görüntüsü.....	46

Şekil 5.13. % 4 ZnO ilaveli kontağın 6000 kontak sayısından sonraki SEM görüntüsü.....	46
Şekil 5.14. % 4 ZnO ilaveli kontağın 9000 kontak sayısından sonraki SEM görüntüsü.....	47
Şekil 5.15. % 4 ZnO ilaveli kontakta 9000 açma-kapama sonrası alınan nokta analizleri....	48
Şekil 5.16. % 4 Al ₂ O ₃ ilaveli kontağın 9000 kontak sayısı sonrasındaki SEM görüntüsü.....	49
Şekil 5.17. % 4 Al ₂ O ₃ ilaveli kontakta 9000 kontak sayısı sonrası alınan EDX analiz görüntüsü.....	49
Şekil 5.18. % 4 Y ₂ O ₃ ilaveli kontağın 9000 kontak sayısından sonraki SEM görüntüsü.....	50
Şekil 5.19. % 4 Y ₂ O ₃ ilaveli kontakta 9000 kontak sayısı sonrası alınan EDX analiz görüntüsü.....	51
Şekil 5.20. Piyasadan alınan kontağın 9000 kontak sayısı sonrası alınan SEM görüntüsü....	52

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. T/M Kontak malzemelerinin Özellikleri.....	17
Tablo 3.2. Çeşitli Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları.....	19
Tablo 3.3. Çeşitli Kontaklar İçin Kritik Ark Akımları.....	26
Tablo 4.1. Kullanılan tozların başlangıç boyutları.....	30
Tablo 4.2. Deneylerde kullanılan malzeme türleri ve gördükleri işlemler.....	31
Tablo 5.1. Numunelerin % IACS değerleri.....	37
Tablo 5.2. Kontak ömrü deneylerinde ölçülen ağırlık kayıpları.....	43

SİMGELER

- G : Taşınan Metal Miktarı (gr)
I₀ : Ark Akımı (A)
U₀ : Karakteristik ark voltajı (V)
E : Elektromotor kuvveti (V)
V : Kontak kapama hızı (cm/s)
V_A : Atom hacmi
H : Brinel sertliği
K₁ ve K₂ : sabitler
J : Akım Yoğunluğu (A/cm²)
I : Akım (Amper)
S : Alan (cm²)
R: Direnç (ohm)
σ: Öziletkenlik (MS/m)
L: Numunenin kalınlığı (m)
A: Tesir kesit alanı (m²)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OKSİT TAKVİYELİ BAKIR KOMPOZİTİN MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer GÜLER

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Anabilim Dalı

Bu çalışmada mekanik alaşımlamayla üretilen bakır esaslı kontak malzemelerinin elektrik performansı incelenmiştir. Çeşitli oksitleri, farklı oranlarda, içeren bakır tozları 5 saat süreyle planeter bilyeli değirmende öğütülmüştür. Mekanik alaşımlanan toz karışımları %1, % 2, % 4 ve % 6 oranlarında ZnO, Al₂O₃ ve Y₂O₃ içermektedir. Alaşımlama işleminden sonra bu tozlar preslenmiş ve vakum altında 800 °C’ de sinterlenmiştir. Daha sonra, yoğunluğu arttırmak için bu numuneler 650 °C’ de % 75 oranında dövülmüştür. En iyi iletkenliği belirlemek için bu numuneler üzerinde elektrik iletkenliği deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar, en iyi iletkenlik değerini % 4 oksit takviyeli numunelerin sergilediğini göstermiştir. Daha sonra bu numunelerin kontak performansını tespit etmek için 3000, 6000, ve 9000 çevrim sayısında açma – kapama deneyi uygulanmıştır.

Sonuçta hem en iyi iletkenliği hem de en iyi kontak performansını sırasıyla % 4 ZnO, % 4 Al₂O₃, % 4 Y₂O₃ takviyeli bakır kontaklardan elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mekanik Alaşımlama, Elektrik Kontak Malzemeleri, Bakır

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF ELECTRICAL PROPERTIES OF OXIDE REINFORCED COPPER COMPOSITE PRODUCED BY MECHANICAL ALLOYING

Ömer GÜLER

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

This study was investigated the electrical performance of Cu – based contact materials produced by mechanical alloying (MA). Cu based powder mixtures that contain various oxides at the various proportions were high energy ball milled by the planetary ball milling for 5 hours. MA'ed powder mixtures contain ZnO, Al₂O₃ and Y₂O₃ at the ratios of 1 (wt) % , 2 (wt) % , 4 (wt) % and 6 (wt) % , subsequently, powders were pressed and sintered at 800 °C in vacuum environment. Then these compacts were forged at the ratio of 75 % at 650 °C so as to increase density. Electrical conductivity investigations were exposed to these samples for the best conductivity. Results showed that % 4 oxides reinforced samples exhibited the best value. After that turn on/off experiments were made to these samples for determining contact performance for the count of 3000, 6000 and 9000.

Finally, the samples (4 (wt) % ZnO, 4 (wt) % Al₂O₃, 4 (wt) % Y₂O₃ respectively) reinforce Cu materials exhibited both the best conductivity and the best contact performances.

Keyword: Mechanical Alloying, Electrical Contact Materials, Copper

1.GİRİŞ

Elektrik kontak malzemeleri elektrik devrelerini anahtarlayan ve akım taşıyan metal esaslı parçalardır. Kontaktör ve röle gibi, devreleri kumanda eden elektro manyetik anahtarların en önemli kısımlarından biridir. Kontak malzemelerinde karşılaşılan en büyük sorun; açılıp-kapanma sırasında oluşan ark ile aşırı şekilde ısınmaları sebebiyle erime ve buharlaşma yolu ile önemli miktarlarda malzeme kaybına uğramalarıdır. Buna ek olarak kontakların yüzeyleri bozulmakta ve bir kontakten diğerine malzeme transferi meydana gelmekte ve bu sebeple kontaklar bir süre sonra birbirine yapışarak çalışmaz hale gelmektedirler [4].

Bu olumsuz durumları en aza indirmek için ideal bir kontak malzemesinde aranan özellikler şunlardır;

- Akım geçişi sırasında kontakın direnci sebebiyle ortaya çıkan yüksek ısıyı düşürebilmek ve kontakların bu sayede aşırı ısınmasını engellemek amacıyla yüksek elektriksel iletkenliğe,
- Ortaya çıkan ark ısını dağıtabilmek amacıyla yüksek ısı iletkenliğe,
- Kontakların yüzeylerinde birikerek kontak direncinin artmasına sebep olan oksit gibi bileşiklerin oluşmasını engellemek amacıyla yüksek reaksiyon direncine,
- Kontakların birbirine kaynak olarak yapışmasını engellemek amacıyla kaynak olmayı sınırlayacak kadar yüksek ergime sıcaklığına ve düşük buhar basıncına,
- Açılıp kapanma sebebiyle oluşan aşınma kayıplarını engelleyebilmek amacıyla kontaklar yüksek aşınma direnci için yüksek sertliğe sahip olmalıdır.

Saf bakır en iyi elektrik iletkenliğine sahip ikinci metaldir. En iyi elektrik iletkenliğine sahip olan metal gümüşdür. Fakat nispeten daha ucuz olması ve kolay üretimi nedeniyle yüksek elektrik ve ısı iletkenlik gereken uygulamalarda kontak malzemesi olarak çok yaygın olarak bakır kullanılmaktadır [5]. Bakırın kontak malzemesi olarak kullanımında kısıtlı uygulamalar dışında, saf olarak kullanılmaz. Çünkü saf bakır, kontak malzemesinde aranan özelliklerden sadece iyi elektrik iletimi özelliğini ihtiva etmektedir. Bunun yanında elektrik iletim kabiliyetiyle beraber yüksek mukavemete de sahip olması kontak malzemelerinde aranan özelliklerdendir.

Katı eriyik sertleştirilmesi kontak uygulamaları için en az arzu edilen mukavemet artırma yöntemidir [4]. Dayanımdaki artış göreceli olarak çok az olmasına karşın, elektrik iletkenliğinin önemli ölçüde azaldığı bilinmektedir. Bunun yerine kullanılacak dispersiyon ile mukavemetlendirme sayesinde mukavemet nispeten fazla artmakta, iletkenlik ise daha az düşmektedir [6].

Bakıra birçok seramik takviye edilerek mukavemetlendirme yapılabilmektedir. Ancak kontak malzemesi olarak kullanılacak bakıra katılacak takviye elemanında da çeşitli özellikleri sağlaması şarttır. Örneğin, yüksek kararlılığa sahip olmasının yanında elektrik ve ısı iletkenliğinin de nispeten yüksek olması gereklidir. Bu açıdan kontak malzemelerinde takviye elemanı olarak CdO, ZnO, SnO₂ gibi oksitler kullanılmaktadır [11].

Kontak malzemeleri döküm, infiltrasyon ve toz metalurjisi gibi çeşitli yöntemlerle üretilmektedir.

Bu çalışmada bakır matrise mekanik alaşımlama yoluyla üç farklı türde oksit takviyesi yapılarak bakırın mukavemeti artırılmıştır. Dört farklı oranda oksit takviye edilmiş ve iletkenlikle mukavemet arasındaki değişim incelenmiştir. İyi iletkenlik sonuçlarının elde edildiği numunelerin kontak malzemesi olarak davranışları incelenmiştir ve farklı kontak sayılarında malzeme kayıplarının ne kadar olduğu bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalar ile mukayeseli olarak değerlendirilmiştir

2. MEKANİK ALAŞIMLAMA

Döküm, plastik şekillendirme gibi geleneksel yöntemlerle üretilmeyen parçaların üretiminde yaygın olarak toz metalurjisi yöntemleri kullanılmaktadır ve bu yöntemler son yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle hızlı bir gelişme göstermiştir. Özellikle son yıllarda nano teknolojiye olan ilginin artması ve nano teknolojideki hızlı gelişme toz metalurjisini, özellikle de toz metalurjisinin yeni yöntemlerinden biri olan Mekanik Alaşımlama (MA) yöntemini çok önemli hale getirmiştir [7].

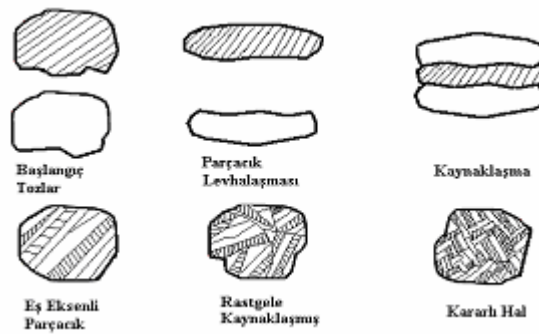
Mekanik Alaşımlama yöntemi ilk olarak 1966 yılında International Nickel Company (INCO) şirketinden Benjamin ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [1]. Bu çalışma ilk olarak oksit dağılımıyla sertleştirilmiş (ODS) alaşımların üretimi amacıyla yapılmış ancak daha sonraki çalışmalar ticari olarak uygulama alanına sahip olan Fe, Ni, Al esaslı süper alaşımların üretimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu yöntemin en önemli avantajı; normal eritme teknikleriyle alaşım haline getirilemeyen (bir biri içerisinde sıvı veya katı fazda çözünmeyen) sistemler bu yöntem sayesinde alaşımlanabilmektedir. Ayrıca son yıllarda bu yöntem ile nano boyutlu malzemelerde üretilabilmektedir [3].

2.1. Mekanik Alaşımlama İşleminin Mekanizması

Mekanik alaşımlama, yüksek enerjili bir değirmende yapılan ve tane boyutu oldukça küçülmüş kompozit tozların elde edildiği katı hal alaşımlama yöntemidir. Alaşımlanmak istenen toz kompozisyonu hazırlanarak bilyeler ile birlikte yüksek enerjili değirmene konulur ve belirlenen sürelerde alaşımlanır. Bu işlem tek toz çeşidi kullanıldığında, parçacık boyutu küçültme işlemi olup, parçacık büyüklüğü kırılma yoluyla düşer fakat parçacık kimyası değişmez. Mekanik alaşımlamayı diğer bilyeli öğütme işlemlerinden ayıran en önemli özellik, farklı toz çeşitleri kullanıldığında parçacık kırılmasının sürekli olarak sağlanması ve mekanik alaşımlama işlemi boyunca farklı toz parçacıklarının birbiriyle kaynaklaşarak tekrar kırılması sayesinde alaşımlanmasıdır.

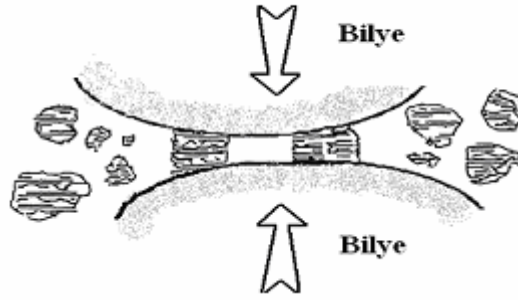
Mekanik alaşımlama işleminde kullanılan tozlardan en az bir tanesi kaynaklaşmayı kolaylaştırmak amacıyla yumuşak olmalıdır. Mekanik alaşımlanan başlangıç tozlar ve bu tozların alaşımlama boyunca deformasyon karakteristikleri Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Öğütme işlemi sırasında bilyelerin birbirleriyle çarpışması sırasında bilyelerin merkezleri doğrultusunda arada kalan tozlar, darbe etkisiyle plastik deformasyona maruz kalırlar. Bunun sonucunda tozlarda ezilme olur ve tozlar lamelleşirler. Bu durum Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu çarpışmalar esnasında arada kalan toza bir miktar darbe enerjisi yüklenir. Genellikle

arada kalan bu toz miktarı her bir çarpışma esnasında yaklaşık 0,2 mg ağırlığında olan 1000 parçacık civarındadır [2]. Yüklenen darbe enerjisi sebebiyle toz parçacıkları levhalaşır, birbiriyle kaynaklaşır, kırılır ve tekrar kaynaklaşır. Bu darbe kuvveti toz parçacıklarını deformasyona uğratarak sertleşmelerine ve kırılmalarına sebep olur. Öğütmenin ilk aşamalarında toz parçacıkları yumuşaktır (eğer sünek-sünek veya sünek-gevrek toz kombinasyonları kullanılıyorsa) ve birbirleriyle kaynaklaşarak büyük toz parçacıkları oluşturma eğilimleri yüksektir. Bu aşamada parçacık boyutu büyüyerek başlangıç parçacık boyutunun üç katına kadar ulaşabilir. Bu durumu kontrol etmek amacıyla kompozisyona işlem kontrol elemanları (PCA- Process Control Agent) ilave edilir. Öğütmenin bu aşamasında kompozit parçacıklar başlangıç toz karışımlarının çeşitli kombinasyonlarını içeren tabakalaşmış bir yapıya sahiptir. Devam eden deformasyonlarla birlikte, bir yorulma mekanizmasıyla ve/veya kırılma mekanizmasıyla toz parçacıklarının tekrar kırılmasıyla sertleşme devam eder. Güçlü aglomerasyon kuvvetlerinin olmaması durumunda bu mekanizmanın oluşturduğu toz parçacıklarının boyutu azalmaya devam eder. Öğütücü bilyelerin devam eden darbe etkisinden dolayı, parçacıkların yapısı kararlı ve başlangıç kompozisyonu açısından homojen bir hale dönüşür. Fakat parçacık boyutu aynı kalmaya devam eder. Neticede, her bir toz parçacığı içerisinde bulunan alaşım tabakaları arasındaki boşluklar azalırken, aynı zamanda bu alaşım tabakalarının sayısı artar. Belirli bir süre öğütmenin ardından, ortalama parçacık boyutunu arttıran kaynaklaşma ve ortalama kompozit parçacık boyutunu azaltan kırılma miktarları arasında bir dengeye varıldığında kararlı hal durumuna ulaşılır. Kararlı aşamaya gelinceye kadar mekanik alaşımlama sırasında toz parçacıkları ağır bir deformasyona maruz kalırlar. Toz parçacıklarındaki dislokasyonlar, boşluklar ve tane sınırlarındaki artma gibi pek çok kristal hatalarının varlığı bu durumu açıklamaktadır.

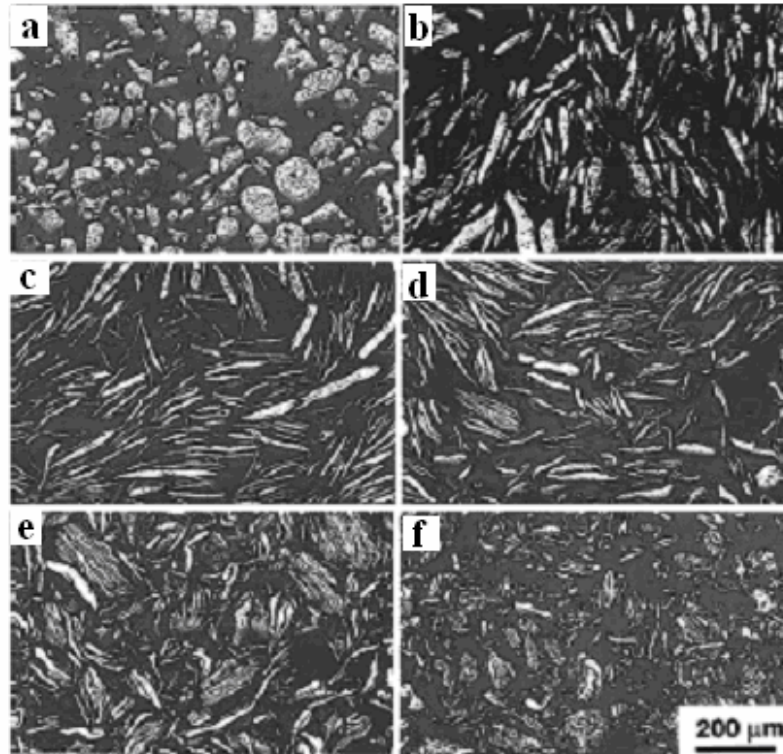


Şekil 2.1. Mekanik alaşımlamada kullanılan elementel başlangıç tozlarının ve deformasyon evriminin artan süreyle değişimi [10]

Bu kusurların varlığı bir katı hal çözeltisini oluşturacak olan element veya elementlerin matris içerisine difüzyonunu artırır. Devam eden mekanik alaşımlamayla birlikte, homojen ve incelen mikro yapı sebebiyle difüzyon mesafeleri azalır. Bununla beraber, öğütme sırasındaki çok az sıcaklık artışı difüzyona yardımcı olur ve sonuçta bileşenler arasında gerçek alaşımlama ortaya çıkar [2]. Şekil 2.3.'de 6061 Alüminyum alaşımında grafit dispersiyonu sağlamak için uygulanan mekanik alaşımla işleminin, süreyle toz morfolojisini nasıl değiştirdiği gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Mekanik alaşımlama esnasında bilye-toz-bilye çarpışması.



Şekil 2.3. 6061 Alüminyum alaşımında grafit dispersiyonu sağlamak için uygulanan mekanik alaşımla işleminin boyuncası toz morfolojisi değişimi (a) Alaşımlamadan önce, (b) 20 saat, (c) 30 saat, (d) 40 saat, (e) 60 saat, (f) 70 saat [12].

2.2. Mekanik Alaşımlama İşleminin Parametreleri

2.2.1 Başlangıç Toz Boyutu

Mekanik alaşımlama işleminde, başlangıç toz boyutu 1 μm ile 200 μm arasında değişen bir dağılım aralığına sahip saf tozlar veya ön alaşımlanmış tozlar kullanılmaktadır [3]. Toz boyutu mekanik alaşımlamadaki en önemli parametrelerden biridir. Başlangıç toz boyutu kaba seçildiğinde belirlenen sürede yeterli mekanik alaşımlama gerçekleşmez ve sürenin arttırılması gereklidir. Ancak bu durumda aşırı kirlenme ortaya çıkar ve bu durum ise yapı içerisinde istenmeyen farklı fazların ortaya çıkmasını kolaylaştırır.

2.2.2 Öğütücü Tipi

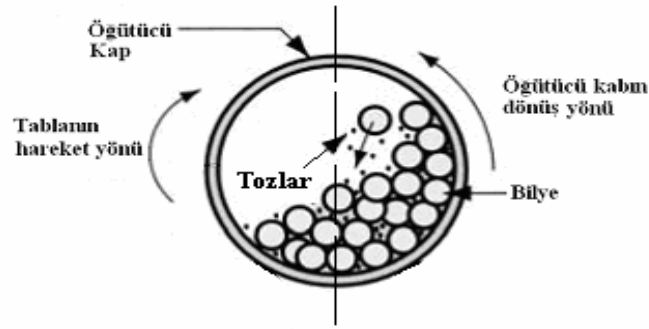
Mekanik alaşımlamada kullanılan farklı tiplerde yüksek enerjili öğütme cihazları bulunmaktadır. Genel olarak kullanılan öğütücüler SPEX çalkalayıcılar, planeter biyeli öğütücüler ve atritör tipi öğütücülerdir.

SPEX çalkalayıcılar bir defada yaklaşık 10–20 gr toz öğütebilen laboratuvar tipi öğütücülerdir. Bu öğütücü tipinde, öğütücü bilyeler ve öğütülecek tozu muhafaza eden bir kap bulunur ve bu kaba tozlar ve bilyeler konulduktan sonra cihaz dakikada birkaç bin kez ileri geri sallanır. Kabın öğütme esnasındaki hareketi bir sonsuz işareti ile tarif edilebilir. Kabın her sallanışında bilyeler toz parçalarına ve/veya kabın kapaklarına çarparak öğütme işlemini gerçekleştirir. Mekanik alaşımlama amacıyla kullanılan öğütücüler içerisinde bu öğütücü tipi diğerlerine göre daha kısa sürede öğütme yapabilmektedir. Şekil 2,4’ de SPEX tipi bir öğütücü görülmektedir.



Şekil 2.4. SPEX 8000 öğütücü [13].

Mekanik alaşımlama için kullanılan bir diğer öğütücü tipi ise planeter bilyeli öğütücülerdir. Bu öğütücüler bir defada birkaç yüz gram tozu öğütebilmektedirler. Bu öğütücülerin kapları gezegen benzeri hareket yaptıklarından dolayı adlarını da buradan almışlardır. Bu kaplar dönen bir taşıyıcı disk üzerine yerleştirilmiş ve özel bir mekanizma tarafından döndürülen bu disk üzerinde ve kendi merkezlerinde dönmektedirler. Hem taşıyıcı diskin oluşturduğu hem de kendi merkezinde dönmekte olan öğütücü kabın oluşturduğu merkez kaç kuvveti sebebiyle öğütme kabının içerisindeki ana malzeme ve öğütücü bilyeler hareketlenmektedir. Planeter bilyeli öğütücülerde öğütme kabının hareketi Şekil 2,5’de verilmiştir. Şekil 2,6’da ise Planeter bilyeli öğütücü ve alaşımlama kapları görülmektedir.



Şekil 2.5. Planeter bilyeli öğütücülerde öğütme kabının hareketi



Şekil 2.6. Planeter bilyeli öğütücü ve öğütme kapları [15]



Şekil 2.7. Atritör [14].

0,5 kg ‘dan 40 kg kadar toz öğütebilen atritör öğütücüler mekanik alaşımlama işleminde kullanılan öğütücü tiplerinden biridir. Tipik bir atritör haznesi yarıya kadar küçük bilyelerle dolu, karıştırıcı kolları kendi eksenini etrafında dönen ve haznesinde atmosfer kontrolü sağlanabilen bir yapıya sahiptir. Karıştırıcı kolların bulunduğu mil döndükçe bilyeler metal tozlarına ve alaşımlama haznesinin iç cidarına çarparlar. Şekil 2.7’de unionprocess firmasının üretimi olan bir atritör görülmektedir.

2.2.3. Bilye çapı

Bilye çapının artmasıyla alaşımla süresi uzar. Çünkü; küçük çaplı bilyeler, verilen bir hacim için daha çok darbe etkisi sağladığından, hızlı parçacık küçülmesine neden olurlar. Eğer öğütme sonunda son derece ince toz boyutu elde edilmek isteniyorsa bilye çapı arttırılmalıdır. Bunun yanında bilye kullanımında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise bilyelerin aşınmaya dayanıklı bir malzemeden seçilmesidir. Böylece alaşımlama sonucu meydana gelebilecek kirlenmeler önlenir [3].

2.2.4. Öğütme Kabı

Mekanik alaşımlamada bilyelerin malzemesi kadar öğütme kabının malzemesi de önemlidir. Çünkü öğütücü bilyelerin kabın iç cidarına uyguladıkları darbeler sebebiyle kabın malzemesinin bir kısmı yüzeyden koparak toza karışır. Bu durum ise tozun kimyasal

yapısını değiştirir. Bu nedenle öğütme kabı malzemesi olarak genelde sertleştirilmiş elik, takım çeliği, sertleştirilmiş kromlu elik, WC-Co kullanılır [3].

2.2.5. Öğütme Süresi

Mekanik alaşımlama işlemindeki en önemli parametredir. Normal olarak süre toz parçacıklarında kırılma ve kaynaklaşma karalı hale gelecek şekilde seçilmelidir. Öğütme süresi öğütücü tipine, öğütme hızına, bilye – toz ağırlık oranına göre değişir. Bu parametrelerin her biri farklı toz kombinasyonlarına bağlı olarak değişir [2].

2.2.6. Bilye – Toz Ağırlık Oranı

Bilyelerin ağırlığının alaşımlanacak olan tozun ağırlığına oranına bilye – toz ağırlık oranı denir. Bu oran 1:1 gibi düşük bir orandan 220:1 gibi yüksek bir orana kadar değişmektedir. Bu değer SPEX gibi küçük bir öğütücü kullanıldığında 10:1 gibi küçük oranlara düşerken, atritör gibi büyük kapasiteli öğütücülerde 5:1 ile 100:1 arasında değişir. Öğütülen toz içerisinde belirli bir fazı elde etmek için gerekli süre üzerinde bilye toz ağırlık oranının önemli bir etkisi vardır. Örneğin, SPEX tipi bir öğütücüde Ti - %33 Al toz karışımında amorf faz 10:1 bilye toz oranı ile 7 saatte elde edilirken, aynı öğütücüde 100:1 bilye – toz oranı ile 1 saatte elde edilmiştir [2].

Yüksek bir bilye-toz oranında bilyelerin ağırlık oranı artacağından birim zamanda çarpışmaların sayısı da artar ve dolayısıyla toz parçacıklarına daha fazla enerji transfer edilir bu sayede alaşımlama daha çabuk gerçekleşir.

2.3.7. Sıcaklık Artışı

Mekanik alaşımlamada özellikle üzerinde durulan konu, çarpışmalar sırasında, kaynaklaşan esnasında parçacıklarda ortaya çıkan sıcaklık artışıdır. Aşırı plastik deformasyonun bölgesel erimeye ve kaynaklaşmaya yol açtığı ileri sürölmektedir [9]. Toz parçacıklarının kırılmış yüzeyleri arasındaki çarpma sıcaklıklarının çarpma sırasında sadece 38 K ‘lik maksimum sıcaklık artışına sebep olduğu hesaplanmıştır [7].

Bir başka araştırmacı ise mekanik alaşımlama sırasındaki maksimum sıcaklık artışının 300 K olduğunu iddia etmektedir [8]. Bu sıcaklık artışının, kap ve bilye hareketlerini video analizi ile izleyen ve sonuçlarını esas alan hesaplamalarla sabit olduğu ileri sürölmüştür [8]. Pek çok çarpışma sırasında 10^{-3} - 10^{-2} joule ‘lük bir enerjinin ortaya

çıktığı ve sadece çarpışmaların % 1 'in 100 -300 °K 'lık bir sıcaklık artışını ürettiği tahmin edilmektedir [7].

2.3.8. İşlem Kontrol Elemanları

Mekanik alaşımlama esnasında tane boyutunu küçültmek, ya da kontrol edebilmek amacıyla çeşitli işlem kontrol elemanları kullanılmaktadır. Metal olmayan (organik) bu maddelerin ilavesi öğütme davranışını önemli derecede etkiler. Bu gibi maddeler tanelerin yüzeylerinde film oluşturarak soğuk kaynaklaşmayı kontrol altına alır, tane büyümesini ve safsızlıkların topaklaşmasını önler. İşlem kontrol elemanları olarak çeşitli yağlar, sabunlar, alkoller ve bazı asitler (stearik asit gibi) yaygın şekilde kullanılmaktadır [3].

2.4. Mekanik Alaşımlamanın Avantajları

Uzay sanayi için geliştirilmiş olan mekanik alaşımlanmış malzemeler yüksek sıcaklık ortamlarında olağanüstü dayanım gösterirler. Dayanım birden fazla mekanizma ile gerçekleşir. Bu metodun avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Mekanik alaşımlama işlemi gelişmiş malzemelerin tasarlanmasını sağlayan birkaç yeni işleme tekniklerinden bir tanesidir.
- ODS malzemeler jet motorlarının türbin bıçaklarında kullanılmak üzere geliştirilen malzemelerdir. Bu malzemelerin üretimi mekanik alaşımlama ile yeni malzeme üretiminde kullanılan özel bir metottur.
- Mekanik alaşımlama temelde katı malzemelerin bilyeli bir değirmende asal bir ortamda işlendiği bir toz metalurjisi tekniğidir. İşlem içerisinde sıvılar bir kontrol ajanı veya reaktant olarak bulunabilir.
- Mekanik alaşımlama işlemi bir katı hal işlemi olmasına karşın kompozisyonu oluşturan fazlardan biri bazen sıvı fazda bulunabilir. Ayrıca alaşımlama işleminde kullanılan atmosfer vasıtasıyla bazı nitrürler de üretilebilmektedir
- Aşırı kararlı veya birbiri içerisinde sınırlı oranda çözülebilen alaşımlar bu yöntemle daha yüksek çözünme oranlarında üretilebilir.

- ODS malzemelerde dayanım için en önemli rolü matris içinde homojen olarak dağılmış olan oksit parçacıkları oynamaktadır. Bu parçacıklar dislokasyon hareketleri için önemli bir bariyer teşkil etmektedir. Mekanik alaşımlama ile yapı içerisinde oksit parçacıklarının çok küçük (5–50 nm) ve birbirleriyle oldukça yakın (100–150 nm) dağılmış şekilde üretilebilmeleri mümkündür.
- Mekanik alaşımlama ile elde edilen tozların yapısı tamamen homojen olarak elde edilebilir. Böylece segregasyon problemi tamamen ortadan kaldırılmış olur.
- Diğer üretim metotlarının aksine termodinamik olarak alaşımlamada kompozisyon sınırlaması yoktur. Böylece çok geniş ve alışılmadık dışında kompozisyonlara sahip malzemeler üretmek mümkündür.
- Dış etkilere karşı dayanıklı malzeme üretmek mümkündür.
- Bir seferde oldukça fazla miktarda toz üretmek, alaşımlamak mümkündür.
- Fabrikasyonu kolaydır.
- Malzemelerin ve alaşımların üretim maliyetini azaltarak direkt olarak üretilmesini sağlar.
- Performans /Birim fiyat dikkate alındığında ucuz malzeme üretimini mümkün kılmaktadır.

3.ELEKTRİK KONTAK MALZEMELERİ

3.1. Kontakların Tanımı ve Genel Özellikleri

Elektrik kontak malzemeleri, kayarak veya sabit temas sağlayarak elektrik devrelerini istenen zamanda açmak ve kapatmak için kullanılan metal esaslı parçalardır. Her iki tip kontak malzemesi de yüksek termal iletkenliğe, ark erozyonu ve yapışmayı önlemek için yüksek ergime sıcaklığına, akım geçişini engelleyen filmlerin oluşumunu önlemek için yüksek korozyon ve oksidasyon direncine sahip olmalıdır [19]. Elektrik kontakları elektrik devrelerini istenen zamanda açmak ve kapatmak zorundadır. Şebekelerdeki veya dirençlerdeki endüktif veya kapasitif empedanslar faz açısını ve açma kapama şartlarını oldukça etkileyebilir. Mesela; elektrik motor devrelerinin kontak performansı, en fazla; kontak malzemesine, dizayn boyutlarına, kontak hareketlerine, kontakların çalıştırıldığı ortama ve akım tipine bağlıdır. Kontaklar devre metali olarak iyi elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır. Uzun açma kapama periyotlarından sonra bile kontaklar komut verildiğinde birkaç milisaniye tepki süresine sahip olmalıdır. Bazı kontaklar hizmet ömürleri boyunca yüz binlerce kez veya milyonlarca kez çalışmak zorundadırlar [18].

Eğer ideal bir kontak malzemesi bulunabilseydi bu malzeme akımın geçmesi sırasında oluşan ısıyı azaltmak için yüksek elektriksel iletkenliği, oksit, sülfür ve diğer bileşiklerin yarattığı oluşumlardan kaçınmak için kullanılan bütün ortamlarda yüksek reaksiyon direnci, elektrik kontağının açma ve kapama sırasında ark zararına karşı yüksek mukavemet sergilemesi gerekirdi.

Metalin erime noktası ark erozyonunu sınırlandıracak kadar yüksek olmalıdır. Ama erime noktası yüksek olduğu zaman kontaklar, akım sıfıra düştükten sonra bile kontak aralığındaki gazı ısıtmaya devam eder. Bu durum ise iletken etrafında iletken bir bandın oluşmasına sebep olur. Bu durum tekrar çalışmaya neden olur. Buhar basıncı metal geçişini ve ark erozyonunu azaltmak için düşük, sertlik ise aşınma direncini arttırmak için yüksek olmalıdır. Ayrıca süneklik, kolay üretimi sağlamak için yeteri kadar yüksek olmalıdır. Malzeme saflığı ise performansı düşürmeyecek bir değerde olmalıdır. Malzeme ve üretim için gerekli olan adımlar, çevreye zarar vermemelidir. Malzeme istenilen her biçimde düşük maliyet ile bulunabilmelidir.

Yukarıda anlatılan özelliklerde malzeme olmadığından, oldukça geniş çeşitlilikte kontak malzemeleri farklı kontak uygulamalarına cevap verebilmek için üretilmektedir. Malzemelerin ekonomik seçimi genelde uygulama şartları ile çeşitli işlem değişkenleri

arasında bir optimizasyon ile belirlenir. Yük şartları, hizmet gerekleri ve çevre şartları kontak malzemelerinin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdir [11].

Elektro-Mekanik ve elektrik enerjisi iletim sektörlerini kapsayan elektrik endüstrisinde, daha fazla enerjinin tüketim merkezlerine ulaştırılması ve bu enerjinin tüketim birimlerine dağıtılması gibi iki temel konu mevcuttur. Birinci durumda, daha fazla enerjiyi nakledebilecek yeni malzeme ve düzeneklerin geliştirilmesi önem taşırken, ikinci durumda elektrik devrelerini açma ve kapamaya yarayan çeşitli tip devre anahtarları (şalterler) ve bunların tasarımı söz konusudur. Şalterin en kritik kısımlarından biri ise devreleri açıp kapayan elemanlardır. Elektrik kontak malzemeleri elektrik devrelerini açıp-kapayan metal parçaları olduğundan dolayı bütün şartlar altında ve her tür uygulama için mükemmel bir kontak malzemesi gibi iş görebilen tek bir metal veya metal bileşimi mevcut değildir. Bu nedenle kontaklar genellikle kullanım yerlerine göre ya bir metal veya alaşımı yada refrakter metaller ile iletken metallerin çeşitli şekillerde üretilmesinden oluşan kompozit metallerden imal edilmektedir .

Alüminyum-volfram ve molibden de elektrik kontakları için temel olarak kompozit formunda kullanılırlar. Kontaklar için kullanılan alüminyum, bakırınin %60 'ı civarında bir elektrik iletkenliği sağlar. Ancak alüminyum oksidasyona eğilimlidir ve böylece gümüş, kalay veya bakırla kaplanır. Aşınmaya ve ark erozyonuna karşı mükemmel direnç sağlayan refrakter metaller, zayıf iletkenler ve kolaylıkla oksitlenirler [19]. Kontak malzemesi olarak kullanılan malzemeler saf metallerden ve alaşımlardan kompozitlere kadar geniş bir aralıkta değişir. Bunlar, toz metalurjisi metotlarıyla üretilirler. Bakır -volfram alaşımları ya da bakır-grafit alaşımları, ark ve yapışmaya karşı direnci artırır, ayrıca bazı bakır alaşımları daha yüksek sertliğe sahiptir. Gümüş havada daha yüksek bir oksidasyon direnci gösterir. Gümüş saf veya alaşımlı halde, 600 A'e kadar akımlardaki uygulamalar için açma-kapama kontaklarının yapımında en fazla kullanılan metaldir. Gümüş-bakır alaşımları daha yüksek sertlik göstermesine rağmen iletkenlikleri ve oksidasyon dirençleri düşüktür. Gümüş-kadmiyum alaşımları ark erozyonuna ve yapışmaya karşı direnci artırır. Gümüş-platin alaşımları, gümüş-paladyum alaşımları ve gümüş-altın alaşımları: sertliği, aşınma direncini ve oksidasyon direncini artırır. Bununla beraber, çeşitli özellikleri elde etmek için iletkenliği yüksek olan metallere (Ag, Cu, Al gibi) katılan bütün alaşım elementleri iletkenliği düşürür. Altın mükemmel oksidasyon ve sülfidasyon direncine sahiptir. Ancak aşınmaya ve ark erozyonuna olan eğilimi, altını düşük akımlı (max. 0.5 A) uygulamalarla sınırlar. Altının bu özelliklerini yükseltmek için; altın-gümüş, altın-bakır, altın-gümüş-platin, altın-gümüş-nikel ve altın-bakır-platin-gümüş gibi altın alaşımları daha yaygın olarak kullanılır [11].

Saf gümüşün diğer metaller içinde en yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olması kontak malzemesi olarak kullanımını cazip kılmasına karşın, ark erozyonuna karşı mukavemeti arttırmak, kaynama ve yapışmayı en aza indirmek için oksit içerikli birçok malzeme ile birleştirilmesi düşünülmüştür. Bu şekilde elde edilen Ag-CdO kontak malzemeleri, elektrik uygulamalarında yaygın kullanım alanı bulmuştur. Döküm yolu ile üretilmeyen bu malzemeler başlıca toz metalurjisi ve iç oksidasyon yolu ile elde edilmektedir. İç oksidasyon için gerekli zamanın çok uzun olması, oksit dağılımının, büyüklüğünün, şeklinin düzensiz olması ve oksit içeriğinin sınırlı oranda olması, toz metalurjisi tekniğinin iç oksidasyona tercih edilmesinin başlıca sebeplerini oluşturmaktadır. Tozların presleme basıncı, sinterleme süresi ve sıcaklığı, CdO tozlarının ağırlık yüzdesi gibi değerlerin değiştirilmesi ile Ag-CdO malzemesinin özelliklerini de değiştirmek mümkündür.

CdO' un kontaklardaki ark erozyonunu azaltması başlıca iki mekanizma ile gerçekleşir: CdO' nun ayrışımı gümüşün erime noktasına çok yakın sıcaklıklarda başlamaktadır. Bu nedenle ark ile oluşan malzeme eriyiğinin içindeki CdO parçacıkları, endotermik olarak ayrışırken aşırı ısınan gümüşün ısısının bir kısmını alır ve çevrelerinin buharlaşma yolu ile malzeme kaybını azaltırlar.

İkinci mekanizma ise şöyledir: CdO' nun yüksek yüzey gerilimi viskoziteyi artırarak erimiş gümüşün kontak yüzeyinden akıp gitmesini önler. Sonuç olarak gümüşe CdO' nun katılmasıyla kontaklarda ark ile oluşan malzeme kaybı, özellikle kontakların çalışma ömürlerinin ilk safhalarında önemli ölçüde azaltılmış olur. Ayrıca CdO' nun kontak yüzeyinde arkı dağıtması sonucu kaynama ve yapışma dayanımlarında belirgin bir artış gözlenir.

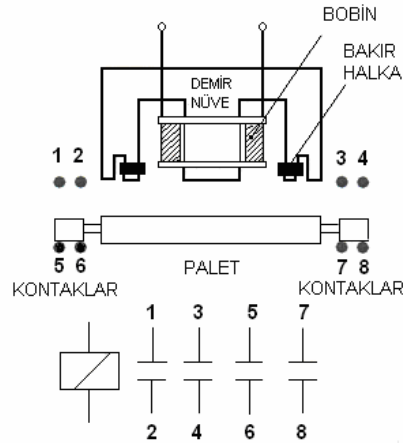
Kullanım alanlarına göre seçilecek kontak malzeme bileşenleri de farklılık göstermektedir. Kontak ebatları dikkate alınmadan sadece kullanılan akım aralıklarına göre sınıflandırma yapıldığında düşük akım gerektiren uygulamalarda gümüş ve alaşımları (Ag-Ni, Ag-Co, Ag-Cu) ile bazı berilyum, bakır, fosfor, bronz ve nikel içeren malzemeler kullanılmaktadır. Orta akım uygulamalarında (1-30 Amper) ise Ag -CdO, Ag-SnO₂, Ag -ZnO gibi oksit bileşen içeren kontaklar kullanılmaktadır [11]. CdO ve SnO₂ bileşenleri yerine Zn₂SnO₄ kompozisyonu da kullanılmaktadır. Yüksek akım uygulamaları (>30 Amper) için refrakter esaslı kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu tür kompozit malzemeler, yüksek ergime sıcaklığına sahip bir malzeme (W, WC, Ti, Mo, gibi) ile iletken bir metalin (Ag, Cu, Al gibi) çeşitli yöntemlerle birleştirilmesi ile imal edilmektedir. Bu şekilde üretilen malzemeler birbirleriyle tam alaşım yapamadığından üretilen kontak malzemesinin özellikleri, doğrudan bileşimdeki malzemelerin elementel özelliklerine bağlıdır. Refrakter metaller (W, Mo, Ti, Pt gibi) ve bunların karbürleri (WC, TiC) ile Cu, Ag, Au içeren

alaşımlar bu gruba girer [17]. Bunun gibi birçok kompozit söz konusudur. Bunlar; volfram-gümüş, volfram karbür – gümüş, volfram-karbür-bakır, volfram-grafit-gümüş ve molibden-gümüş bunlara birkaç örnektir. Bu şekilde gümüşün yüksek iletkenliği ile volframın yüksek yoğunluğu ve yüksek erime noktası birleştirilmiş olur. İletken metalin miktarı, refrakter metalin miktarına göre daha az da olabilir veya eşitte olabilir. Bu oran kontak malzemesinin kullanım yerine göre tespit edilir. Yaygın olarak kullanılan bir gümüş esaslı kompozit: gümüş-kadmiyum oksittir. Bu malzeme aynı gümüş miktarı için bir gümüş-kadmiyum alaşımına göre daha yüksek bir iletkenlik sağlar [19].

3.2. Kontaklar

3.2.1. Kontaktör

Elektromıknatis, palet ve kontaklardan oluşan büyük güçteki elektromanyetik anahtarlara kontaktör adı verilmektedir ve şematik gösterimi aşağıdaki gibidir. Kontaktör bobinleri doğru veya alternatif akımla çalışırlar. Kontaktörün E şeklindeki demir nüvesi, bobinin doğru akımla çalışması durumunda yumuşak demirden ve tek parça olarak, bobinin alternatif akımla çalışması durumunda ise silisli saçların paketlenmesiyle yapılır. Bu şekilde manyetik devrenin demir kayıplarının en küçük değere indirgenmesi amaçlanır



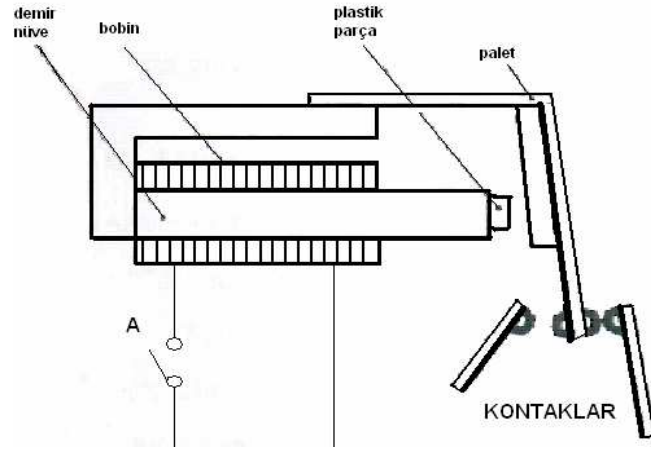
Şekil 3.1. Kontaktörün yapısı ve sembolik gösterimi

Bobini doğru akımla çalışan kontaktörlerde, bobin akımı kesildikten sonra kalan artık mıknatıslık sebebiyle paletin demir nüveye yapışık kalmasını önlemek için demir nüvelerinin dış bacaklarına plastik pullar konulur. Alternatif akım ile çalışan bobinlere sahip kontaktörlerde ise, alternatif manyetik alanın sebep olduğu palet titreşimini ve buna

bağlı olarak gürültüyü önlemek için demir nüvenin dış bacaklarına kalın bakır halkalar takılır. Her birinde gerilim indüklendiği için kısa devre olan halkalardan, indüksiyon gerilimi akım dolaştırarak, esas manyetik alandan 90° geride olan ve böylece demir nüvedeki toplam manyetik alanı hiç sıfırlamayan ek bir manyetik alan oluşturur. Böylece bobinden alternatif akım geçtiğinde paletin sürekli çekik kalması sağlanmış olur. Kontaktördeki kontakların açılıp kapanması çekim kuvvetiyle ya da bir yay aracılığı ile demir nüveden uzak tutulan ve bobinin enerjilenmesiyle harekete geçen bir palet vasıtasıyla sağlanır.

3.2.2. Röleler

Bobin, demir nüve, palet ve kontaklardan oluşan ve bobinleri hem alternatif hem de doğru akımla çalışan küçük güçteki elektromanyetik anahtarlara röle adı verilir (Şekil 3.2). Rölenin çalışması ile ilgili ilkeler kontaktörünkilerle aynıdır.



Şekil 3.2. Bir rölenin yapısı

3.3. Kontak Malzemelerin Sınıflandırılması ve Üretim Şekilleri

Elektrik kontaklarının çalışma koşullarını anlamak en uygun kontak malzemesini seçmeden önce gereklidir [16]. Elektro-mekanik endüstrisinde kullanılan elektrik kontakları; kontak özelliklerine, kontakların uygulama alanlarına ve bileşenlerine göre sınıflandırılır [17].

3.3.1. Kontak Malzeme Özellikleri

Elektrik kontak malzemeleri elektrik devrelerini açan, taşıyan ve kesen metal bölümlerdir. Temaslar elementel metaller, kompozitler veya alaşımlar tarafından yapılabilir.

İdeal metal veya metal kombinasyonu bulunmamakla beraber, elektriksel temas bölümlerinin çalışma sırasında durumlarının anlaşılması en uygun temas malzemelerinin seçilmesi için önemlidir [20].

Tablo 3.1. T/M Kontak malzemelerinin Özellikleri [20]

Bileşim	Yoğunluk gr/cm ³	Sertlik	İletkenlik (% IACS)
50 Ag – 50 W	13.06-13.33	50-65 HRB	57-70
35 Ag – 65 W	14.32-14.62	75-85 HRB	50-58
25 Ag – 75 W	15.32-15.64	85-95 HRB	45-52
50 Ag – 50 Mo	9.94-10.14	70-80 HRB	45-54
25 Ag – 65 Mo	9.90-10.10	82-92 HRB	38-45
85 Ag – 15 Ni	9.60-9.90	48-78 HR15-T	79-84
60 Ag – 40 Ni	9.21-9.51	63-85 HR15-T	53-65
98 Ag – 2 C	9.19-9.49	23-67 HR15-T	82-87
95 Ag – 5 C	8.30-8.50	20-63 HR15-T	54-65
90 Ag – 10 C	7.23-7.46	10-32 HR15-T	40-47
88Ag-10 Ni-2 C	9.04-9.33	22-60 HR15-T	58-68
77 Ag-20 Ni-3 C	8.61-8.88	47-70 HR15-T	50-57
95 Cu – 5 C	7.33-7.57	38-64 HR15-T	40-46
90 Ag – 10 CdO	9.60-10.10	45-76 HR15-T	70-86
85 Ag – 15 CdO	9.46-9.96	60-81 HR15-T	65-75
75 Cu – 25 W	9.72-10.03	20-60 HRB	55-65
50 Cu – 50 W	11.75-12.00	65-75 HRB	50-58
30 Cu – 70 W	13.76-14.04	85-95 HRB	40-48
20 Cu – 80 W	15.04-15.36	95-105 HRB	30-40
65 Ag – 35 WC	11.15-11.50	45-60 HRB	50-60

3.3.2. Elektrik Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları

Uzun bir kullanım ömrü istenen elektrik kontak malzemelerinden en iyi özelliklerin elde edilebilmesi ve en uygun verimin alınabilmesi için kullanım alanlarının iyi bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Kontak malzeme bileşimi kontağın kullanım yeri ile doğrudan ilişkilidir. Refrakter esaslı kontak malzemeleri yüksek gerilim ve yüksek akımın mevcut olduğu şartlarda emniyetli bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek akım şartlarında çalışan elektrik cihazları ise; kontaktörler, devre kesiciler, röleler ve anahtarlardır. Kontaktör, normal şartlar altında (aşırı yükleme dışında) elektrik güç devrelerini sürekli açma ve kapama için dizayn edilmiş bir kontrol elemanıdır. Kontakın hareket mekanizmasına göre kontaktörler üç sınıfa ayrılır: Elektromanyetik, pnömatik ve hidrolik

Kontaktörler en yüksek 3000 A ve tipik olarak 380 V şartlarında 1 milyon açma kapama yapacak şekilde dizayn edilmiştir. Devre kesiciler ise, bir çok yönden bir sigortaya benzeyen fakat çok yüksek akım aralıkları (50-20000 A) ve servis voltajlarında (3-750 kV) çalışan koruma cihazlarıdır. Bunlar; kontakların bulunduğu ortama (veya ark söndürme ortamlarına) göre gruplandırılırlar: yağlı, hava üfleli, kendinden hava üfleli, basınçlı gazlı, kükürt heksaflorürlü (SF_6), manyetik üfleli ve vakumlu devre kesiciler gibi isimler alır. Yağ, gaz veya vakum gibi koruyucu bir ortamın olduğu durumlarda Cu-W kontakları kullanılırken hava üflemesi ile söndürülen kontaklarda yüksek oksidasyon direnci nedeniyle Ag-W veya Ag-WC kontakları kullanılmaktadır.

Güç devre kesicilerinde akım taşıyan kontaklar olarak 50Ag-50W bileşimindeki kontak malzemelerinin kullanımına son zamanlarda başlanmıştır. İlk olarak 85Ag-15Ni bileşimi kullanılmıştır. Ancak bu malzemede kesicinin açılması esnasında kontaklarda ark meydana geldiğinden güvenli değildir. Ag -W kompozisyonu bu şartlar altında güvenli olarak erozyona ve yapışmaya dirençlidir [19].

Röleler alçak gerilim tesislerinde kullanılan ve daha ziyade sürekli devreye girip çıkması bahis konusu olan tüketicileri kumanda etmeye yarayan bir kontrol cihazıdır. Rölelerin birçok çeşidi vardır. Genel manada üç ana gruba ayrılırlar; koruyucu röleler, motor kontrol röleleri, otomasyon ve elektrik bağlama röleleri. Röleler 2 A ile 1500 A aralığında çalışırlar.

Yüksek akım şartlarında çalışan bir diğer cihaz ise anahtarlardır. Düşük voltaj aparatı olarak bilinen anahtarlarda kontakların mekanik olarak açılıp-kapanması ile sistem çalışır. Sürekli olarak açık veya kapalı durumda, en yüksek 5000 A akımlarda ve 1500 V şartlarında emniyetli olarak çalışırlar.

Elektrik kontaklarının bileşenlerine göre kullanım alanları da farklılık göstermektedir. Büyük miktarda refrakter metal içeren kontak malzemeleri yüksek akım taşıyan devrelerde, yüksek miktarda iletken metal içeren kontaklar (Ag-Ni, Ag-Cu) ise ısınmanın olmadığı düşük voltaj ve düşük akım gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Kullanım yerine ve şekline göre kontak dizaynı ve kontak malzemesinin bileşiminin seçimi yapılmaktadır. Elektrik kontak malzemelerinin genel kullanım alanları Tablo 3.2 'de özetlenmiştir

Tablo 3.2. Çeşitli Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları [17]

Malzeme	Kullanım Alanları
Ag	Düşük akım röleleri, devre elemanları, otomobil jeneratör kontakları
Ag – W	Hava üfleli devre kesici, kontaktörler, motor işletme anahtarı, yarı iletkenler, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler, voltaj düzenleyiciler, klima kontakları
Ag – WC	Hava üfleli devre kesiciler, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler
Ag – Mo	Hava üfleli devre kesiciler, kontaktörler, motor işletme anahtarı, yarı iletkenler, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler
Ag – C	Reostalar, kaygan kontaklar, röleler, devre kesiciler, kontaktörler, düşük ve yüksek akım röleleri, devre kesici ve temas etmeyen düğmeler için sürgü halkaları
Ag – Ni	Hava üfleli devre kesici, kontaktörler, motor işletme anahtarı, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler, otomobil devreleri, uçak röleleri, buzdolabı aşırı yük düğmeleri, motor koruyucuları
Ag – Ni – C	Hava üfleli devre kesiciler, şalterler, sürgü parçaları
Ag – Cu	Işık röleleri, elektrik fırın kontaktörleri, küçük motor koruyucuları
Ag – CdO	Motor işletme anahtarları, kontaktörler, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler, devre anahtarları
Cu – C	Motor işletme anahtarı, şalterler, sürgü parçaları, kontaktörler
Cu – W	Yağlı devre kesiciler, devre kesici ark uçları ve ark başlatıcıları
Cu – Cr	Vakum devre kesiciler, ark uçları ve başlatıcıları

Tablodan görüldüğü üzere tüm devre bağlantılarında akım ve gerilim şartlarına göre farklı kontaklar kullanılmaktadır. Düşük akım şartlarında herhangi bir ark erozyonu mevcut olmadığından saf metaller veya onların alaşımları yaygın olarak kullanılmakta iken yüksek akım ve gerilim şartlarında refrakter metal içeren yüksek ergime sıcaklıklı kontaklar kullanılmaktadır. Bununla birlikte elektrik kontak malzemesinde kullanılan refrakter esaslı metalin oranına göre de kontağın kullanım yeri farklılık göstermektedir.

3.3.4 Kontak Malzemelerinin Çalışma Koşullarına Göre Sınıflandırılması

Değişik ölçütlere dayalı olarak kontak malzemelerini farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Kontak malzemelerinin çalışma koşullarına göre beş gruba ayırabiliriz:

1) Çok sık açıp kapama durumunda bile olsa, akımın kontak yüzeyini etkilememesi için gerekli kontak malzemeleri: Örneğin, Ag, Au, Rh, Pt

2) Doğru akım koşulları altında anottan katoda malzeme taşınımının gözlemlendiği yerlerde düşük akım ve düşük voltaj için gerekli kontak malzemeleri: Örneğin, Cu, Ag, Au, Pd, Pt ve bunların alaşımları

3) Doğru akım koşulları altında katottan anoda malzeme taşınımının gözlemlendiği yerlerde orta dereceli elektrik yükleri için gerekli kontak malzemeleri: Örneğin, Cu, Ag, Pd, Pt, W ve bunların alaşımları

4) Yanmanın olabildiği yüksek elektrik yüklü yerler için gerekli olan kontak malzemeleri: Örneğin, Mo, W, Cr ve bunların alaşımları

5) Tahrip edici (sülfürleyici ve oksitleyici) çalışmaya şartlarında kullanılan kayma tipi kontak malzemeleri

Diğer bir sınıflandırma ise kontak malzemelerinin sahip oldukları özelliklere göre yapılabilir. Bu durumda kontak malzemelerini üç gruba ayırabiliriz:

1) Yüksek iletkenliğe sahip kontak malzemeleri: Ag ve Ag alaşımları

2) Korozyona dayanıklı kontak malzemeleri: Au, Pd, Pt ve bunların alaşımları

3) Refrakter esaslı kontak malzemeleri: W, Mo ya da bunların karbürlerinin Ag ve Cu'ya ilavesi ile elde edilen kontak malzemeleri refrakter esaslı kontak malzemeleridir.

Elektrik kontaktörlerinde kullanılan önemli bazı kontak malzemesi kompozisyonlarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

1) Cu -W karışım malzemesi: Ağırlıkça %20-50 Cu, geri kalan miktar W

2) Cu-Cr karışım malzemesi: Ağırlıkça %75 Cu - %25 Cr, %60 Cu - %40 Cr, %50 Cu-Cr

3) Ag-CdO karışım malzemesi: Ağırlıkça %85-90 Ag, geri kalan CdO

4) Ag-Grafit karışım malzemesi: Ağırlıkça %90-99.75 Ag, geri kalan grafit

5) Ag-Ni karışım malzemesi: Ağırlıkça %40-90 Ag, geri kalan Ni

Elektrik kontak malzemeleri için bazı bileşimler daha az kullanılır. Örneğin; bakır-grafit, bakır-molibden, bakır-kurşun, bakır-molibden karbür, gümüş-molibden karbür, gümüş-molibden sülfür ve gümüş-kalay kontak malzemeleri gibi bileşimler sayılabilir. Bütün bu kontak malzemeleri yüksek elektrik iletkenliğine sahip Ag ve Cu metalleri ile ikinci bir bileşenden oluşmaktadır. W, WC, Mo, CdO, Ni ve grafitin gümüş içerisinde, W, WC ve grafitin ise bakır içerisinde çözünürlükleri bulunmamaktadır. Bu bileşenler bakır ve gümüşün elektrik iletkenliğini, bakır ve gümüşle katı eriyik oluşturan alaşım elementlerine göre daha az düşürürler. Bakırın oksitlenmeye karşı direnci Cu-W ve Cu-WC karışımları ile

artar. Gümüşün yanmaya karşı direnci ise Ag-Ni, Ag-Mo, Ag- W ve Ag-WC karışımları ile artar. Gümüşün kaynak olmaya karşı direnci Ag-CdO, Ag-Grafit karışımları ile artar [21].

3.3.5. Elektrik Kontak Malzemeleri Üretim Yöntemleri

Elektrik kontak malzemelerinin üretim yöntemleri üretilecek kontak malzeme bileşimine göre farklılık göstermektedir [24].

3.3.5.1. İnfiltrasyon (emdirme) Yöntemi

Yüksek ergime sıcaklıklarına sahip olan ve birbiri içerisinde çözünmeyen sistemler (W-Ag, W-Cu, Mo-Ag) toz halinde birbirleri ile karıştırılıp belli bir kalıpta şekillendirme, bunu takip eden pişirme (sinterleme) adımlarını içeren ve toz metalürjisi ile hazırlanan belirli şekildeki katı iskelete (W veya Mo) sıvı metal (Ag veya Cu) emdirilmesi işlemlerini kapsayan infiltrasyon yöntemleri ile üretilmektedir. Volfram-gümüş esaslı kontaklar için standart üretim, ya infiltrasyon ya da toz metalürjisi yöntemidir. İnfiltrasyon yöntemi; yüksek ergime sıcaklığına sahip olan refrakter esaslı metal ve karbürlerden kontak malzemelerinin yapımında kullanılmaktadır. İnfiltrasyon işleminde, mamul içerisindeki fazların nihai dağılımı sıvı gümüşün emdirilmesinden önce bir volfram iskeletin imaliyle sağlanmaktadır. Bu yöntemle çok yüksek yoğunlukta mamul üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemde, mikro yapının fazla homojen olmaması ve kompozit yapıya fazla miktarda gümüş emdirilmesi nedeniyle mikro yapıda gümüşçe zengin alanlar oluşmaktadır. Bu alanlar, kontakların açılıp kapanma işlemi esnasında akım geçişi ile ısınmakta ve oluşan ısı tesiriyle kontakların yumuşayarak birbirleri ile kaynaması (yapışması) gibi problemlere yol açmaktadır. Orta ve yüksek akım uygulamalarında bu bölgelerin olmaması gerekir. Bu nedenle yüksek homojenliğin gerekli olduğu kontak malzemelerin üretiminde toz metalürjisi yöntemi tercih edilmektedir. [17]

3.3.5.2. Toz Metalürjisi Yöntemi

En basit şekliyle toz metalürjisi, ham kompaktlar üretmek için imal edilmiş bir kalıpta metal tozunun preslenmesinden ve sonra koruyucu atmosfere sahip bir fırında yüksek sıcaklıklarda kompaktların sinterlenmesinden (difüzyonel bağlanma) meydana gelir. Sinterleme esnasında kompaktlar gözenekliliği azalmış ve mukavemet kazanmış olurlar. Sinterlenmiş kontakların yoğunluğu yeniden preslemeyle artırılabilir. Öncelikli olarak kompaktın boyutsal kararlılığını geliştirmek için uygulanan yeniden presleme işlemine boyutlandırma adı verilir. Yeniden presleme sonrası, yeniden bir sinterleme işlemi

yapılabilir. Bu yeniden sinterleme, yeniden preslemedeki plastik deformasyon nedeniyle oluşan gerilmeyi azalttığı gibi; kompaktların daha da yoğunlaşmasına imkân sağlar. Alaşım kontak malzemeleri, sinterleme esnasında difüze olan elementel veya alaşımlanmış metal toz karışımlarından oluşturulabilir. Genellikle ön alaşımlı tozlar kullanılır. Sıkıştırma bazen yapıyı meydana getiren bileşenlerden birinin sıvı olduğu (bakır-demir karışımlarında olduğu gibi) bir sıcaklıkta sinterlenmesiyle (sıvı faz sinterlemesi) arttırılabilir. Nispeten yüksek ergime sıcaklığına sahip metaller (demir ve volfram gibi) bazen de bir iskelet şeklinde preslenir. Bu iskelete daha sonra, daha düşük bir ergime noktasına sahip erimiş metal (bakır veya gümüş gibi) emdirilir.

Geleneksel toz metalürjisi yöntemi ile üretimde, tozlar element halinde veya alaşım halinde tozlar ile katkı maddelerinin bir karıştırıcıda karıştırılması ile hazırlanmaktadır. Bu yöntemle üretilen mamuller, atomik seviyede homojen bir karışıma sahip olmadıklarından nihai üründe de homojen olmayan bölgeler mevcut olmaktadır. Bu heterojen bölgelerdeki geniş gümüş birikintileri ise ark esnasında kontakların yapışmasına yol açarlar ve kontak ömrünü azaltırlar .

Sadece presleme ve sinterleme ile, %80'in üzerinde teorik yoğunluğa sahip ürünler demirde ve birçok diğer metal ve alaşımda üretilebilir. Yeniden sinterleme olsun ya da olmasın yeniden preslemeyle % 90 veya üzerinde teorik yoğunluğa sahip parçalar üretilebilir. Elde edilen yoğunluk, kompaktın boyutu ve şekliyle sınırlıdır. Demir, bakır, demir-bakır, demir-karbon, demir-bakır-karbon, pirinç, bronz, paslanmaz çelik, nikel gümüş, nikel ve alaşımları toz metalürjisi parçalar için kullanılan en yaygın malzemelerdir. İlave olarak, metal ve metal olmayan malzeme karışımları da (refrakter oksitler gibi) çoğu uygulamalarda kullanılır. Yukarıda sayılan malzemelerin çoğundan yapılan parçalara, ısı işlem uygulanır ve demir kompaktlar ise karbürize edilebilir [17].

Toz metalürjisi ile parça üretim maliyeti incelendiğinde; hurda kayıpları olmamasından, işleme ve şekil verme işlemlerinin yokluğundan kaynaklanan tasarruflar önemli ölçüdedir. Toz diğer metal ürün çeşitlerine nazaran birim ağırlık ya da hacim başına daha fazla maliyetli olmasına rağmen (metalin toza dönüştürülmesi nedeniyle), minimum atık dolayısıyla elde edilen tasarruflar tozdan yapılan parçaların maliyetinin diğerlerine nazaran daha düşük olmasına imkan sağlar. Toz metalürjisi metodunun özel öneme sahip avantajı, sıkıştırma, sinterleme ve sinter şartlarının hassas kontrolü ile nihai şekil ve boyutlarda ve başka işleme ihtiyaç duymadan malzemelerin üretilebilmesidir [22]. Tozdan parça üretimi için gerekli ekipman maliyeti, herhangi bir diğer proseste olduğu gibi, üretilen parça sayısına bölünmelidir. Bazı durumlarda, toz metalürjisiyle parça üretimi için gerekli ekipman maliyeti, diğer proseslere nazaran daha ucuzdur.

3.3.5.2.1. Bulamaç Yöntemi

Bulamaç yöntemi bir toz şekillendirme yöntemi olup, temeli toz malzemenin uygun bir sıvı içerisinde çamur haline getirilerek bu çamurun emici özelliğe sahip kalıp içerisine dökülmesiyle istenilen şekilde parça üretilmesine dayanır. Bu işlemlerle çamur içindeki taşıyıcı sıvı kalıptaki kılcal gözenekler vasıtasıyla emilir ve istenilen şekilde bir kompakt oluşturulur. Daha sonra kalıptan çıkarılan parça sırasıyla kurutulup pişirildikten sonra nihai ürün elde edilir.

3.3.5.3. Döküm Yöntemi

Düşük ergime sıcaklıklarına sahip ve birbiri içerisinde çözünen sistemler (Ag, Cu, Ag-Ni), bir pota içerisinde birlikte ergitilerek kalıplara dökülmesi ve sonra istenilen yöntemle şekillendirilmesi (haddeme, ekstrüzyon, tel çekme) adımlarından oluşan döküm yöntemi ile üretilmektedir. Döküm yöntemi ile üretilen kontak malzemelerinde; düşük ergime sıcaklığı, birbiri içerisinde çözünme veya alaşım yapma, plastik şekillendirilebilme kabiliyeti gibi özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Döküm yöntemiyle üretilen Ag-Ni kontakları Nikel'in yüksek ergime sıcaklığı (1453 °C) nedeniyle ekonomik olmadığından toz metalürjisi yöntemleri ile üretimi daha fazla yaygınlaşmıştır [17].

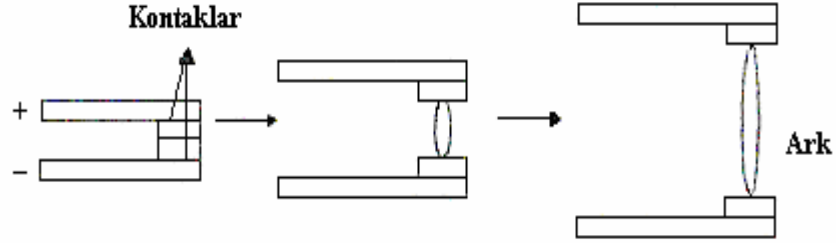
3.4. KONTAKLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

3.4.1. Elektrik Devresinde Açma Kapama Esnasında Meydana Gelen Olaylar

3.4.1.1. Ark Oluşumu

Bakır veya gümüş esaslı kontaklara refrakter karakterli metaller infiltrasyon metodu ile ilave edilerek kompozit malzeme elde edilir. Böylece tek bir malzemede elektrik iletkenliği ile aşınmaya ve ark erozyonuna direnç birleştirilebilir [19]. Kontakların açılıp kapanma işlemi sırasında (Şekil 3.3.) kaynak yapması ve akım geçişi esnasında yumuşama ve yapışma ile bir kontakdan diğerine malzeme taşınımıyla oluşan elektriksel aşınma (ark erozyonu) da kontakların kullanım ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Leung ve arkadaşları toz boyutunun ark erozyonunda etkili olduğunu tespit etmişlerdir. İnce toz boyutları erozyon hızını azaltmaktadır. Ancak geleneksel toz metalürjisi işleminde, ince toz boyutuna sahip tozlar (<20 µm) yaygın olarak kullanılmaz. Çünkü bu tozlardaki topaklaşma,

karıştırma ve diğer işlemler esnasında dağıtılamadığından yüksek sinter yoğunluklarına ulaşmayı sınırlandırır [17].



Şekil 3.3. Kontakların Açma ve Kapama esnasında Ark oluşumu [17]

Çok ince toz boyutu sebebiyle ve atomik seviyede bir homojenliğe sahip olan kontak malzemeleri geniş gümüş segregasyonlarından, arındırılmış olacağından ark esnasında oluşan ısı volfram tanecikleri tarafından absorbe edilir ve gümüşün yüksek ısı iletkenliği sayesinde ortaya çıkan bu ısı kontak yüzeyi boyunca dağıtılarak kontağın aşırı ısınması önlenir. Dolayısıyla volfram metalinin oksitlenerek kontak ömrünün azalması da önlenir [23]. Elektrik kontaklarının seçiminde sadece malzeme karakteristikleri seçici değildir. Kontak malzemelerin kullanım şartları da kontak seçiminde etkilidir. Bu etki Holm tarafından bir eşitlik (1) halinde gösterilmiştir [11]. Malzeme sertliğinin (H), sadece mekanik aşınmayı değil aynı zamanda ark ile malzeme taşınımını da (ark erozyonu) etkilediği eşitlikten anlaşılmaktadır.

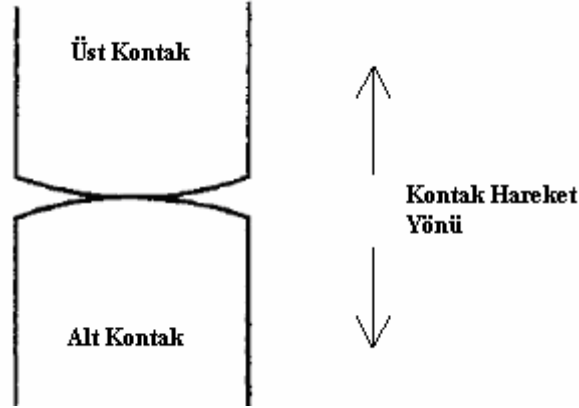
$$G = K_1.K_2.\frac{I_0.U_0V_A^2E}{V\sqrt{H}} \dots\dots\dots(1)$$

Denklemden, G taşınan metal miktarını (gr), I_0 ark akımını (A), U_0 karakteristik ark voltajını (V), E elektromotor kuvvetini (V), V kontak kapama hızını (cm/s), V_A atom hacmini, H Brinel sertliğini temsil ederken K_1 ve K_2 ise sabitlerdir.

Yukarıda ki eşitlikten (1) görüldüğü gibi ark oluşumu ve etkileri kontak malzemesi için önem taşımaktadır. Devrenin açılması veya kapanması sırasında iyonize gazlardan meydana gelen sıcak sütuna ark denir. Bir kontağın açılması esnasında temasın mevcut

olduğu son anda kontakların birbiriyle temas yüzeyi çok küçüktür (Şekil 3.4.). Kontaklardan geçen akım sabit olduğundan yüzey alanının küçülmesiyle, akım yoğunluğu (j) çok büyür.

$$J = I / A \dots\dots\dots(2)$$



Şekil 3.4. Kontak Açma esnasında meydana gelen akım yoğunluğu [17]

Kontaklar açıldığı zaman temas noktasında yükselen sıcaklık burada bir ısı merkezi oluşturur, bu da elektron emisyonuna yol açar, kontağı ısıtır ve artan ısı ile kontakta ki metal parçacıklar erir ve kontaklar arasında köprü oluşturur. Ark ile oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle köprü metallerinin bazıları buharlaşır ve bazıları da artan sıcaklık nedeniyle kontaktan sıçrayarak ayrılır. Bir kontaktan ayrılan metallerden bazıları diğer kontağa yapışır ve kontak ağırlık kaybeder. Bu duruma ark erozyonu denir. Şekil 3.5.'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekildeki kesik çizgili kısımlar kontakların başlangıç şeklini göstermektedir.



Şekil 3.5. Elektrik Ark erozyonunun Şematik Gösterimi [17]

1 nolu eşitlikten görüldüğü gibi malzeme karakteristikleri yanında ark oluşumu için gerekli kritik ark voltajı ve ark akımı (10-20 V ve 0,2-2 A doğru akım şartları) gibi elektriksel karakteristikler de ark erozyonunda etkilidir. Bu değerlerin altında ark oluşmadan devre açılıp kapanabilir. Kontak yüzey alanı büyütülerek bu kritik akım yoğunlukları azaltılabilir. Bu durumda kontak dizaynında değişiklikler yapılması gerekir, bu ise ilave maliyet getirir. Bu nedenle kontak ebatlarından ziyade kontak bileşimlerinin değişimiyle daha yüksek ark akımlarına dayanan kontaklar geliştirilebilir [17]. Burstyn ark oluşmadan devreyi kesebilen kritik bir akım ve gerilimin malzemelere göre değişimini göstermiştir. Sabit kontak ebatları için verilen bu değişim Tablo 3.3'de gösterilmiştir uygulanan gerilime göre kritik ark akımları da değişmektedir. Gerilim artışı ile kontak ark akımı azalmaktadır. Tablodan görüldüğü gibi 220 V'ta volfram kontaklar arasında ark oluşması için gerekli akımdan 5 kat fazladır. Bu nedenle uygulamalarda ark ucu olarak volfram kontaklar kullanılmaktadır.

Malzeme taşınımının ark akımı ile doğru orantılı olarak arttığı eşitlikten (1) görülmektedir. Ark akımının azalması, ark süresinin de azalmasını sağlamaktadır. Azalan ark süresi ise daha az malzeme taşınması sayesinde uzun kontak ömrü sonucu ortaya çıkacaktır. Bu nedenle kontaklar arasında oluşan ark malzeme özelliklerinin yanında yağ, basınçlı hava ve manyetik akı gibi çeşitli dış etkenler yardımıyla da söndürülmektedir.

Tablo 3.3. Çeşitli Kontaklar İçin Kritik Ark Akımları (amper)[17]

Malzeme	25 Volt	50 Volt	110 Volt	220 Volt
Grafit		5	0,7	0,1
Bakır	-	1,3	0,9	0,5
Molibden	18	3	2	1,0
Nikel	-	1,2	1,0	0,7
Kurşun	7,5	3	0,85	0,7
Gümüş	1,7	1	0,6	0,25
Volfram	12,5	4	1,8	1,4
Pirinç	-	0,7	0,4	0,3

Elektrik devresinde bir kontak çifti açıldığı zaman, kontak çifti arasında ark oluşur ve bu ark belirli bir aralıkta dağıtılıncaya kadar sabit kalır. Bir kontak çiftinin kapalı konuma getirilmesi sırasında oluşan ark ise göreceli olarak daha az şiddetlidir. Ayrıca açma-kapama işlemi sırasında hareketli kontağın sabit kontağa çarpıp, geri sıçraması sonucunda da ark oluşur. Ark sırasında ergimiş metal damlalarının sıçramasıyla, malzemenin buharlaşmasıyla ve metalin iyon demetine dönüşmesiyle kontak erozyonu meydana gelmektedir. Bazı durumlarda malzeme, bir kontak yüzeyinden buharlaşıp diğer bir kontak yüzeyinde yoğunlaşır. Böylece her iki kontak yüzeyinin şekli de bozulmuş olur. Bu olay malzeme

taşınımı olarak adlandırılır. Kontaklardaki malzeme taşınımı, kontaklar arası açıklık belli bir değerin altında olduğunda pozitiften negatife doğru gerçekleşir; eğer açıklık daha büyük ise ters yöne doğrudur. Bu nedenle açma işlemi sırasında yüksek enerjili elektronların bombardıman ettiği anottan buharlaşma yolu ile malzeme kaybedilir. Kontaklar arasındaki açıklık arttıkça anoda ulaşan elektronların enerjilerinde çarpışmalar nedeniyle büyük bir azalma olur. Bu durumda ortamın iyonizasyonu sonucu meydana gelen iyon bombardımanı nedeniyle, malzeme katottan kaybedilir [17]. Çalışan bir devrede kontak çifti açıldığında, ark sıklıkla kontak çifti arasında oluşur. Bu ark belli bir aralık oluşuncaya kadar kalır. Bağlı olarak nadiren ark, kontak kapandığı zaman oluşur. Ark, kontak metalinin iyon fışkırtması haline geçerek, metali buharlaştırarak erimiş metal parçalarını fırlatarak kontak erozyonuna sebep olur. Bazen metal bir kontakta buharlaşır ve diğer kontak üzerine yoğunlaşır. Sonra da kontak yüzeylerinde deformasyona neden olur. Bu metal geçişi olarak bilinir [11].

Kontak yüzeylerindeki oksitlenme ark tarafından oluşan ısı ile hızlanabilir ve ciddi bir soruna yol açar. Çünkü birçok metal oksitleri, ya yalıtkan ya da yarı iletkenidir. Oksit filmi kolayca kontak direncini arttırabilir. Yüksek akım devrelerinde bu artış, kontak ısınmasına yol açabilir. Düşük gerilimin olduğu ve aşınmanın olmadığı çalışma koşullarında kontak yüzeylerinin tamamen yalıtkan olmasını sağlayacak kalınlığa kadar büyüyebilir. Bu kirli endüstriyel atmosfer gibi kötü şartlarda çalışan kontak çiftlerinde sıklıkla görülür [7].

3.4.1.2. Kaynak Oluşumu

Kontak yüzeylerindeki bölgesel ergimelerin doğal bir sonucu olarak kontaklarda kaynak oluşumu gözlenir. Kullanım esnasında kontakların birbirine kaynak olması önemli bir kontak problemini meydana getirir. Çünkü kalıcı kaynak olayı ile meydana gelen sürekli bir elektrik devresi sisteme önemli zararlar verebilir. Bölgesel ergimeler nedeniyle meydana gelen ergimiş metaller, kontaklar kapalı iken katılaşır. Normal durumda kontakları açan mekanik kuvvetler oluşan kaynağı kıramıyor ise kontaklar birbirine kaynak olmuş şekilde kalır. Bölgesel ergimeler iki türlü meydana gelir:

- a) Düşük voltaj uygulanması sırasında oluşan direnç sonucu açığa çıkan ısı nedeniyle bölgesel erimeler olabilir.
- b) Kontakların kapanması sırasında oluşan ark nedeniyle bölgesel erimeler olabilir [3].

Kontak çiftini açıp – kapamak için kontak çiftlerine her zaman mekanik yük uygulanır. Uygulanan bu yük sayesinde kontak yüzeyleri arasında temas sağlanır. Bu temas bölgeleri vasıtasıyla akım taşınır ve yüksek yoğunluklu akım bölgeleri oluşturur. Isı bu alanlarda oluşur ve eğer yeteri kadar yükselirse, iki kontak noktası beraber kaynayabilir.

Diğer bir tür kaynama ise kontakların kapanmasıyla ortaya çıkar. Kapanma sırasında hareket eden kontağın devreyi açması sırasında üretilen ark her iki kontağın küçük bölümlerini eritir. Kontakın kapanması sırasında eriyen metalin katılaşması kontak çiftini kaynatır. Bazen kaynak gerilimi kontaktörün veya rölenin açma kuvvetini geçer. Şayet sistemde herhangi bir koruma önlemi alınmamışsa sonuç bütün elektrik sisteminin ölümcül bozulması olur, çünkü kontaklar açma emrini yerine getiremezler ve bu acil durum önlenemez hal alır.

3.4.1.3. Köprü Oluşumu

Kontak çiftleri açıldığı zaman, kontak alanı kontak basıncındaki azalmadan dolayı yavaş yavaş azalır. Sürekli açma faaliyeti kontak alanlarının azalmasına sebep olur. Kontak metallerinin sürekli açılması eriyen metallerin akım taşıyan köprü biçimine gelmesine neden olur. Erimiş köprünün sıcaklığı kontak noktaları ayrıldıkça yükselmeye devam eder. Metali eritecek ve devreyi kesecek duruma gelinceye kadar yükselebilir. Kontak çiftlerinin açılması durumundaki köprü durumu hafifçe kontak yüzeylerine zarar verir ve köprü malzemesini eritir. Bu genelde bir kontak yüzeyinde çukurlaşma, diğerinde tepeleşme şeklinde olur. Düzgün olmayan sürekli metal transferi kontaklardan birini bitirir. Daha sonra sürekli köprü biçiminden oluşan yüzey sertliği kontak çiftlerini kilitler ve mekanik ayrılmalarını etkiler [11].

3.4.2. Açma ve Kapama Kontakları İçin Gerekli Özellikler

Dört ana başlı altında toplanan özellikler açma-kapama kontakları için kullanılacak metallerin sahip olması gereken özellikleri gösterir. En önemli özellikler aşağıdaki listede belirtilmiştir. Malzeme seçiminde; çalışma ömür ve maliyet gibi önemli kalite bileşenlerini tehlikeye atmadan yeterli özellikleri sağlayacak bir kombinasyona erişmek gereklidir.

Elektriksel İletkenlik: Kontak çiftleri arasındaki elektrik iletkenliği sınırlı bir alana bağlı olduğundan, yüksek elektriksel iletkenlik bu alanlardaki yüksek akım yoğunluğu tarafından oluşturulan ısı miktarının azalması anlamına gelir.

Isısal Özellikler: Yüksek erime ve kaynama noktası, yüksek ark ısısından kaynaklanan erime kaybı azaltır. Yüksek ısı iletkenliği, ısısının hızlı dağılmasını sağlar ve ark zamanlarını azaltır.

Kimyasal özellikler: Kontak malzemesi erozyona dirençli olmalıdır. Böylece yalıtkan filmler (oksitler ya da diğer bileşikler) kontaklar zor şartlarda çalıştığı zaman kolayca meydana gelmezler.

Mekanik Özellikler: Kontak çiftine uygulanan ana kuvvet, kapama sırasında sabit kontak ile hareket eden kontaklar arasında bağıl hareket meydana getirir. Bazı cihazlarda; örneğin, bilinen röle tiplerinde, kayma hareketi, oluşan oksit filmlerini kaldırmak için tasarlanmıştır. Ancak kayma yüzeylerindeki sürtünme, sürekli açılma ve kapanma yüzünden kontakların aşınmasına neden olur. Genelde sert metaller aşınmaya daha dirençlidir. Ancak sert metaller sıklıkla yüksek kontak direncine ve düşük termal iletkenliğe sahiptir. Bu özelliklerin ikisi de kontak kaynamasına büyük katkıda bulunurlar. Ancak sert malzemeler ayrıca elektriksel kontak uygulamalarında bir avantaj olabilecek yüksek gerilime sahiptir.

Fabrikasyon Özellikleri: Kontak malzemelerinin kaynak, birleşme ya da diğer malzemelerle rahatça üretilme özellikleri bulunmalıdır. Ek olarak biçimlenmeleri için yeteri kadar dövülebilmeli ya da T/M teknikleri ile şekillendirilebilmelidir.

4. DENEYSEL İŞLEMLER

4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Üretimi

Yüksek iletkenlik değerine sahip olmasından dolayı pek çok kontak uygulamalarında Cu kullanılmasına rağmen saf Cu' nun yeterli mukavemete sahip olmamasından dolayı bu malzemeye katı eriyik mukavemetlendirilmesi veya oksit takviyesi ile mukavemetlendirme uygulanmaktadır. Genel olarak Y_2O_3 ve Al_2O_3 takviyesi ile mukavemet artırımı, yüksek akım seviyelerindeki kontaktörlerin iletkenliğinin katı eriyik mukavemetlendirmesine nazaran daha az etkilenmesinden dolayı tercih edilmektedir [30]. Bu çalışmada refrakter oksitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle dispersiyonundan istifade edilmesinin yanında bir yarı iletken oksit olan ZnO' un dispersoid olarak kullanımıyla ortaya çıkacak sonuçlar incelenmiştir.

Bu çalışmada ana matris olarak kullanılan bakır tozuna ZnO, Y_2O_3 ve Al_2O_3 tozları ağırlıkça % 1, %2, %4, %6 oranlarında katılarak hazırlanan kompozisyonlara mekanik alaşımlama işlemi uygulanmıştır.

Çalışmada kullanılan tozlardan Cu ve Y_2O_3 tozu Merck firmasından, Al_2O_3 tozu Sigma firmasından, ZnO tozu ise Metal oksit firmasından temin edilmiştir. Tozların başlangıç parçacık boyutları Tablo 4,1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan tozların başlangıç boyutları.

Tozlar	Başlangıç tane boyutları $D_{0,5}$
Cu (% 99,7 saflık)	63 μm
ZnO (% 99,9 saflık)	7 μm
Al_2O_3 (% 99 saflık)	30 μm
Y_2O_3 (% 99,4 saflık)	6 μm

Mekanik alaşımlama işleminden önce alaşımlanacak toz kompozisyonlarının her birine yağlayıcı olarak %1 (ağırlıkça) oranında çinko-stearat katılmıştır ve her bir kompozisyon 5 saat boyunca argon atmosferinde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik alaşımlama işlemi bir planeter bilyeli değirmende 200 rpm devirde yapılmıştır.

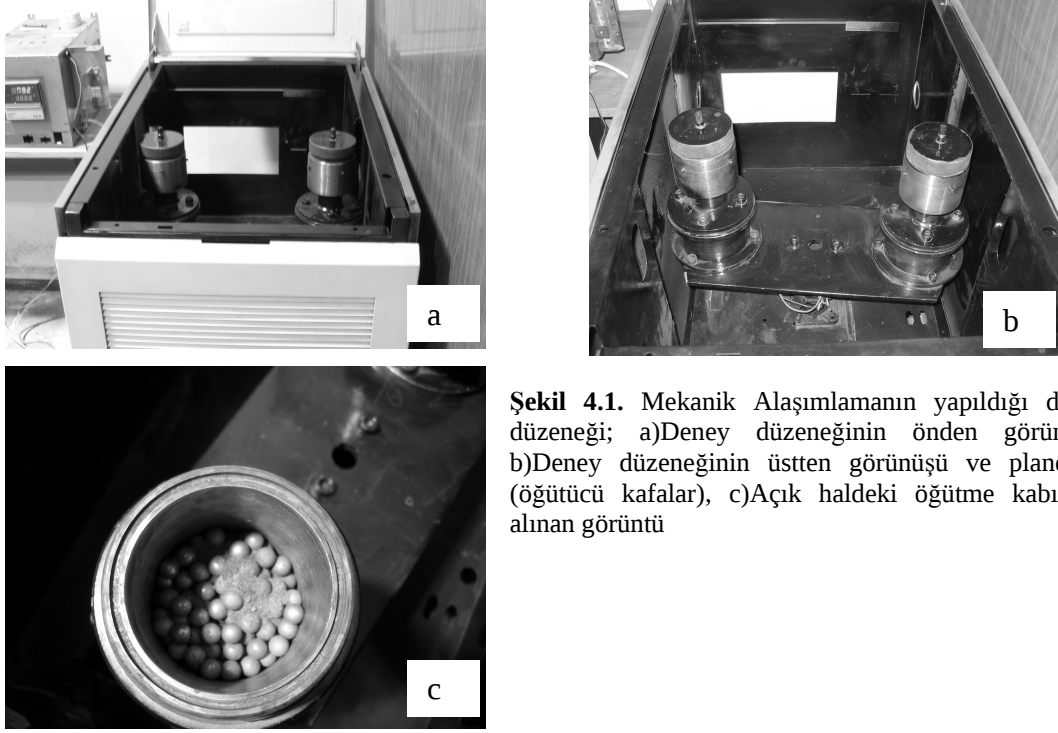
Tablo 4.2. Deneylerde kullanılan malzeme türleri ve gördükleri işlemler

Kullanılan Kompozisyon	Oksit Miktarı %	Alaşımlama Süresi (saat)	Alaşımlama Atmosferi	BTO ve Bilye çapı	Presleme Basıncı (MPa)	Sinterleme şartları
Cu – ZnO	0-1-2-4-6	5	Argon altında	12:1 8 mm çaplı bilye	200 MPa	800°C 30 dakika Vakum altında
Cu – Y ₂ O ₃	0-1-2-4-6	5	Argon altında	12:1 8 mm çaplı bilye	200 MPa	800°C 30 dakika Vakum altında
Cu – Al ₂ O ₃	0-1-2-4-6	5	Argon altında	12:1 8 mm çaplı bilye	200 MPa	800°C 30 dakika Vakum altında

Mekanik alaşımlama işlemi esnasında tozların ısınmalarını engellemek amacıyla alaşımlama işlemi bir elektronik devre yardımıyla otomatik olarak kesikli şekilde yapılmıştır. 10 dakika mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulan tozlar 10 dakika süreyle bekletilerek soğumaları sağlanmıştır. 10 dakikalık bekleme süresinde alaşımlama ünitesinin ana mili çalışmaya devam etmiş planeterler ise durdurulmuştur. Bu sayede kapların içerisindeki toz - bilye hareketi durmuş, fakat ana milin dönmesinden dolayı daha etkin bir soğuma gerçekleşmiştir. Mekanik alaşımlama işlemlerinde sertleştirilmiş çelik kaplar kullanılmıştır. Alaşımlama işleminin yapıldığı deney düzeneği şekil 4.1 'de verilmiştir.

Alaşımlama işleminde bilye/toz ağırlık oranı (BTO) 12:1 olarak seçilmiş ve bütün deneylerde bu oran kullanılmıştır. Alaşımlama deneyleri, her kompozisyon için 8 mm çapında sertleştirilmiş paslanmaz çelik bilyeler (AISI 304) kullanılarak yapılmıştır. Bilyeler, alaşımlama işleminden önce sentetik tiner ile yıkanarak yüzeylerinde bulunan yağlar temizlenmiştir. Alaşımlama işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen tozlar, 8 mm çapında ve 6 mm yüksekliğinde, numune üretmek için tasarlanmış bir kalıpta 200 MPa'lık basınç altında preslenmiştir. Presleme işleminden sonra elde edilen kompaktlar 800°C 'de 30 dakika sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi 10⁻² Torr 'luk vakum altında yapılmıştır. Vakum öncesinde sinter ortamı argon ile yıkandıktan sonra vakum uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin kompozisyonları ve üretim şartları tablo 4.2' de verilmiştir.

Sinterleme işlemi sonucunda elde edilen numuneler dövme işlemi için tasarlanmış bir kalıpta dövme işlemine tabi tutulmuşlardır. Numuneler bu kalıp içerisinde 650 °C 'de % 75 oranında tek vuruşla dövülmüştür. Dövme işleminden elde edilen numunelerin yüzeyleri, yüzeylerindeki oksit, kir vs. 'nin temizlenmesi için 2 mm iç kısma doğru zımparalanmıştır.



Şekil 4.1. Mekanik Alaşımlamanın yapıldığı deney düzeneği; a)Deney düzeneğinin önden görünüşü, b)Deney düzeneğinin üstten görünüşü ve planetleri (öğütücü kafalar), c)Açık haldeki öğütme kabından alınan görüntü

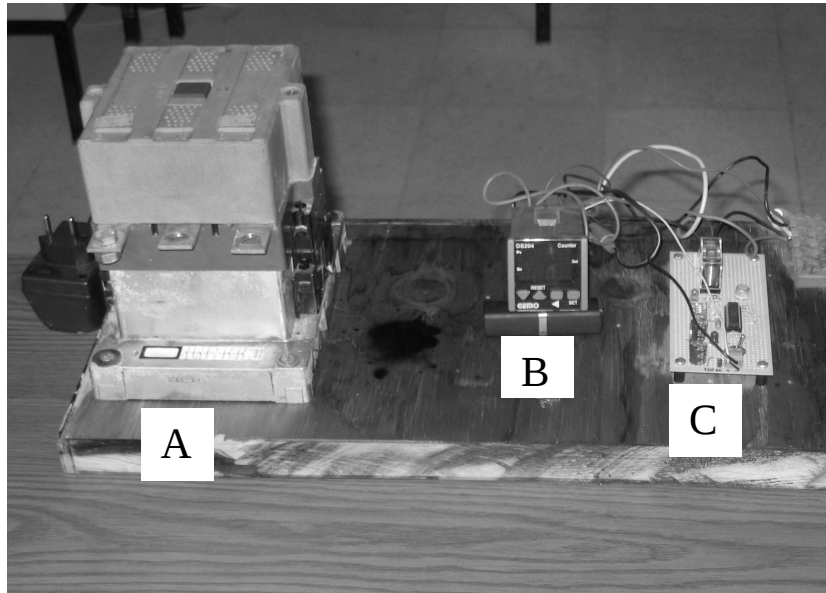
Ayrıca mekanik alaşımlama uygulanmış numunelerin elektrik iletkenliğini mukayese edebilmek amacıyla saf bakır tozu geleneksel TM yöntemiyle üretilmiştir. Bu üretim sırasında saf bakır 200 MPa basınçta preslenip 10^{-2} Torr'luk vakum altında 800 °C sıcaklıkta 30 dakika süreyle sinterlenmiş ve sinterlenen saf Cu numuneler 650 °C 'de % 75 oranında dövülmüştür. Yani diğer numunelerle aynı şartlarda üretilmiştir. Bu işlemlerden elde edilen numunelerin sertliği tespit edilmiştir.

Elde edilen numunelerin önce HIOKI LCR meter marka cihaz kullanılarak oda sıcaklığındaki öziletkenlikleri ölçülmüştür. Daha sonra bu ölçümlerden öziletkenliği yüksek çıkan numuneler kontak ömrü deneyine tabi tutulmuştur. Kontak yükü olarak 1600 W kullanılmıştır. Kontak ömrü deneyinde her numuneye 3000, 6000, 9000 açma-kapama işlemi uygulanmış ve malzeme kaybı, ağırlık kaybı esas alınarak incelenmiştir. Kontak ömür deneylerinden elde edilen numuneler Zeiss Marka Evo 40 model Elektron Mikroskopunda (İnönü Üniversitesi) incelenmiş ve numunelerden SEM, EDX görüntüleri ve Mekanik Alaşımlamayla üretilmiş % 4 oksit takviyeli numunelerden element dağılım haritaları (Elemental Mapping) alınmıştır. Ayrıca üretilen numunelerin sanayide kullanılmakta olan bir kontak malzemesiyle mukayesesinin yapılabilmesi amacıyla piyasadan, Flash marka FLSC-4022 (10 kW) model bir kontaktör alınmış ve bu kontaktör 9000 açma-kapamaya tabi tutularak malzeme kaybı yine ağırlık kaybı esas alınarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu kontaktör üzerinde de SEM incelemeleri yapılmıştır.

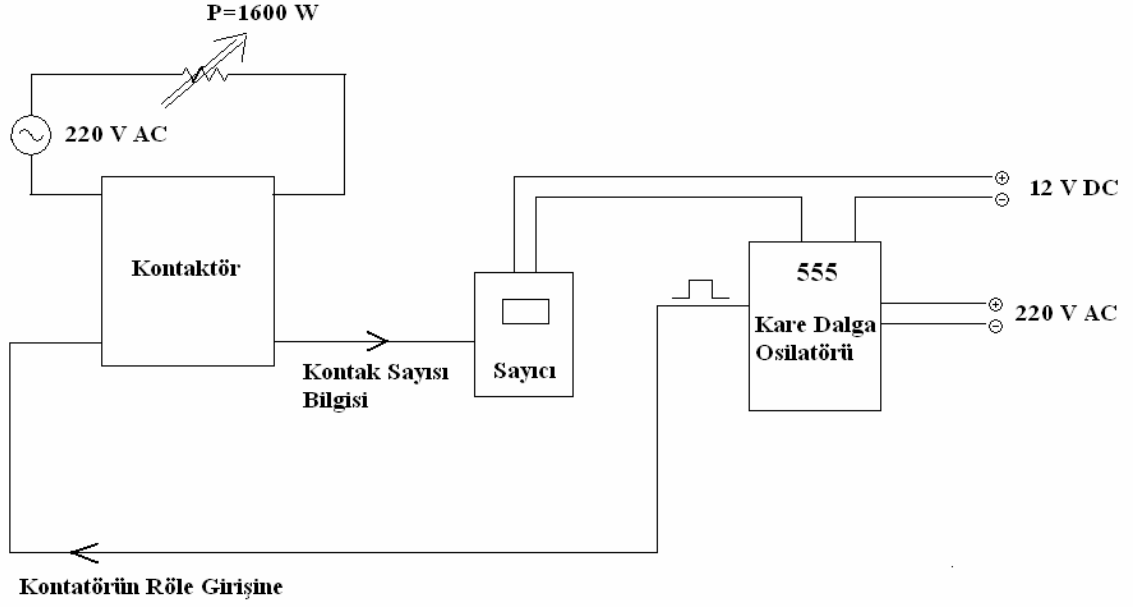
Kontak ömrü deneyi için tasarlanan deney düzeneği şekil 4.2’ de verilmiştir. Şekilde A ünitesi deney düzeneğinin kontaktörü olup, üretilen numuneler bu kontaktörün kontaklarına monte edilmiştir. B ünitesi kontak sayısını sayarak ayarlanan kontak sayısına ulaşıldığında işlemi durdurmaktadır. C ünitesi ise kontaktörü periyodik olarak 1 saniye aralıklarla açıp kapatan osilatör devresidir.

Deney düzeneğinin çalışma prensibi; C ünitesinde bir 555 kare dalga osilatörü bulunmaktadır ve bu ünite a ünitesi olan kontaktöre 220 V gerilim uygulayarak devreyi 1 saniye açıp 1 saniye süreyle kapatmaktadır. Kontaktörün pabuçlarına ise bir yük bağlanarak c ünitesi devreyi açtığı anda kontakların üzerinden akım geçmektedir. B ünitesindeki sayıcı ise kontaktörün yardımcı kontaklarından birine bağlanmıştır ve ayarlandığı değerde otomatik olarak tüm devreyi durdurarak açma -kapama işlemini sonlandırmaktadır.

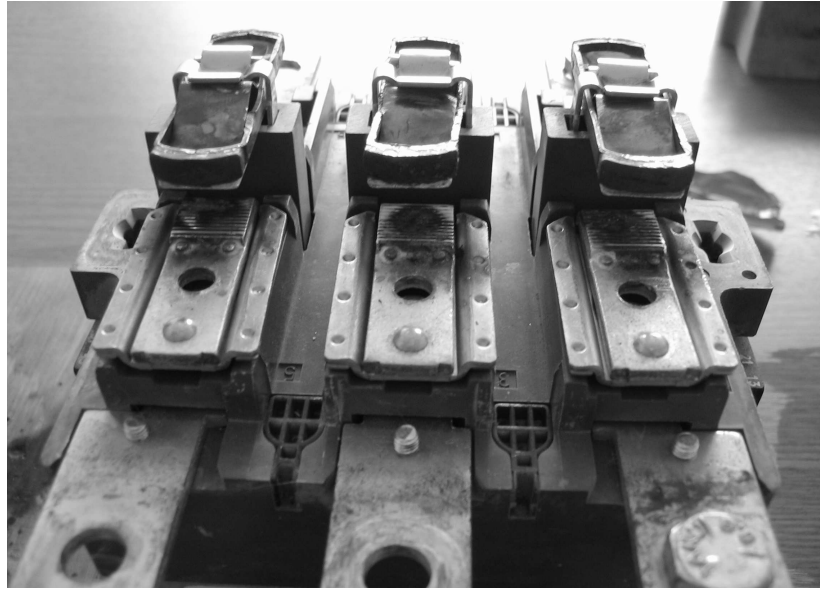
Şekil 4,3’de de kontak deney düzeneğinin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 4,4’de ise üretilen numunelerin bağlandığı kontaktör pabuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Numunelerin açma-kapama deneylerinin yapıldığı deney düzeneği



Şekil 4.3. Numunelerin kontak ömrünün ölçüldüğü deney düzeneğinin şematik gösterimi



Şekil 4.4. Numunelerin monte edildiği kontaktörün sabit ve hareketli kontaklarının görüntüsü

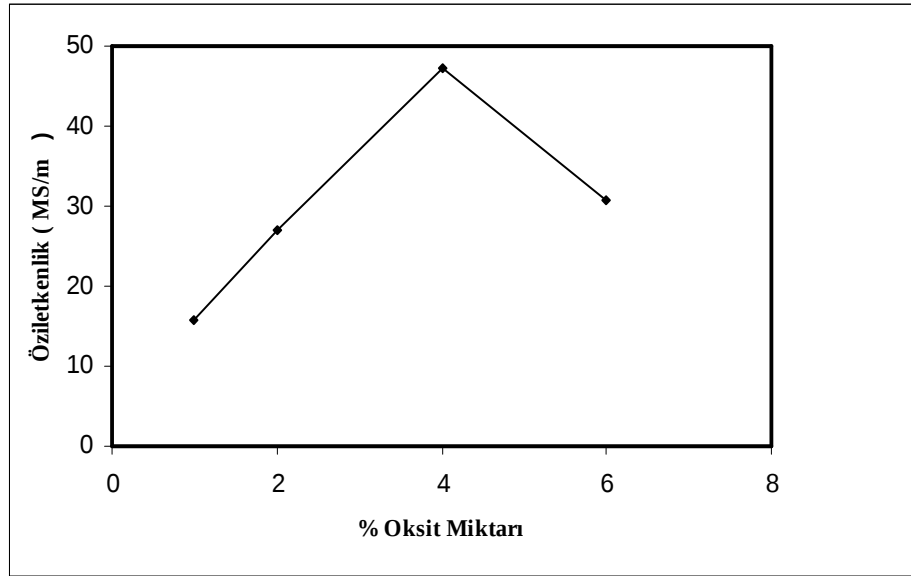
5. SONUÇLAR

5.1. Elektrik İletkenliği Deney Sonuçları:

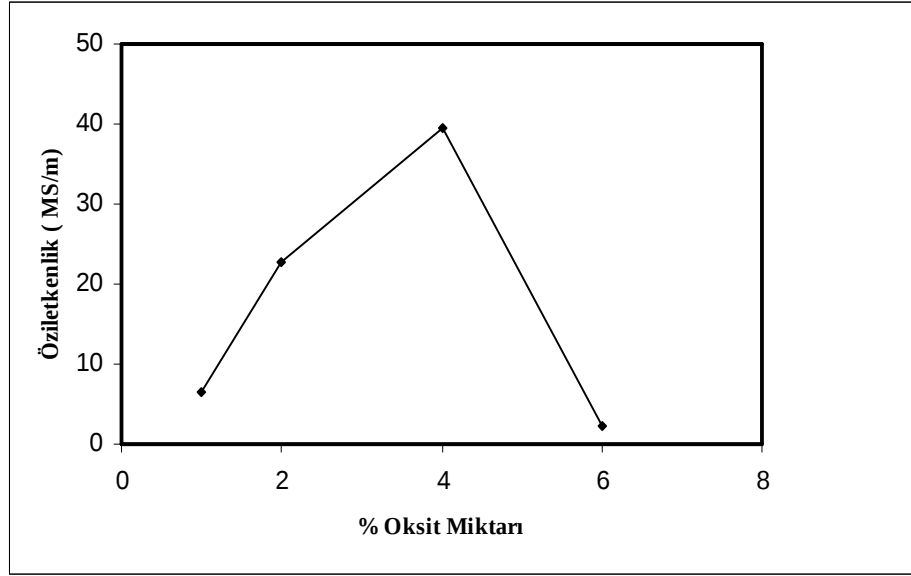
Bu çalışmada, deney numunelerinin mekanik alaşımlama ile üretilmesinden sonra bu numunelerin oda sıcaklığındaki öz iletkenlikleri ölçülmüştür. Şekil 5.1' de % ZnO miktarı ile numunelerdeki öziletkenlik değişimi, şekil 5.2' de % Al_2O_3 miktarı ile numunelerdeki öziletkenlik değişimi ve şekil 5.3' de % Y_2O_3 miktarı ile numunelerdeki öziletkenlik değişimleri verilmiştir. Öziletkenlik değerleri aşağıda verilen denklem ile hesaplanmıştır.

$$\sigma = L/R.A.....(1)$$

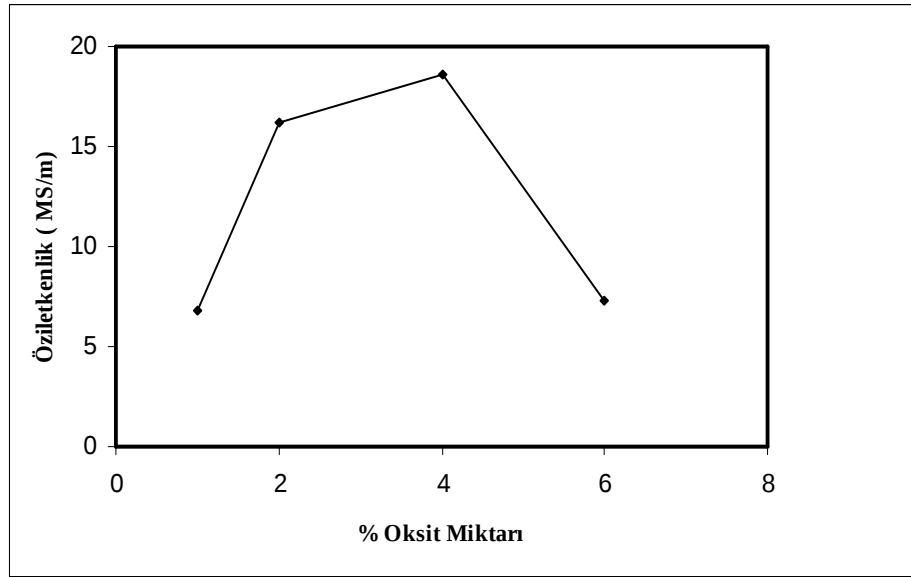
Denklemden, R Direnci (ohm), σ Öziletkenliği (MS/m), L Numunenin kalınlığı (m), A tesir kesit alanını (m^2) temsil etmektedir



Şekil 5.1. % ZnO miktarı ile öziletkenlikteki değişim

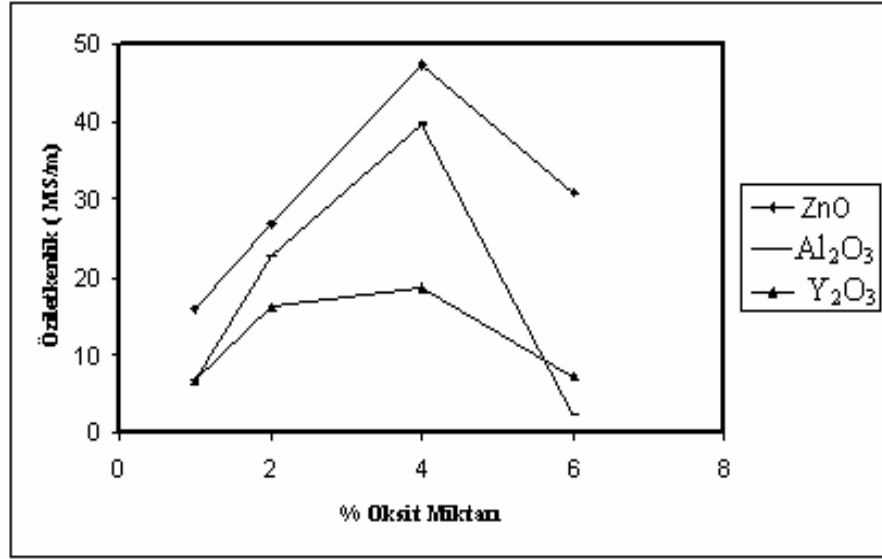


Şekil 5.2. % Al_2O_3 miktarı ile öziletkenlikteki değişim



Şekil 5.3. % Y_2O_3 miktarı ile öziletkenlikteki değişim

Şekillerden de görüldüğü gibi genel olarak oksit miktarının % 4' e kadar çıkmasıyla öziletkenlik değeri artmaktadır. Ancak bu değerden sonra öziletkenlik azalmaktadır. Üretilen üç numune tipi içinde 5 saat alaşımlama süresi sonrasında en iyi öziletkenlik değerleri % 4 oksit takviye oranında bulunmuştur. Al_2O_3 ve Y_2O_3 refrakter oksitler olmalarından dolayı öziletkenlikleri düşüktür. ZnO ise bir yarı iletken oksit olmasından dolayı öziletkenlik deneylerinde en iyi sonuçlar ZnO takviyeli numunelerden elde edilmiştir. ZnO' nun



Şekil 5.4. % ZnO, Al₂O₃, Y₂O₃ miktarı ile iletkenlikteki değişim

iletkenliği 1.10^{-7} MS/cm [32] iken Al₂O₃' ün iletkenlik değeri 1.10^{-16} MS/cm dir[33]. Öz iletkenlikler % 4 oranında bir maksimum değere ulaşırken, en iyi iletkenlikler oksit türüne göre sıralandığında sırasıyla % 4 ZnO, % 4 Al₂O₃, % 4 Y₂O₃ takviye oranlarında elde edilmiştir.

Şekil 5.4.' de ise oksit miktarları ve türlerine karşılık iletkenliklerdeki değişim toplu halde grafikte verilmiştir.

Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi en iyi iletkenlik değerleri ZnO takviyeli numunelerden elde edilmiştir.

Tablo 5.1.' de ZnO, Al₂O₃, Y₂O₃ takviyeli numunelerin ve karşılaştırma numunesi olarak kullanılan geleneksel toz metalurjisi yöntemiyle üretilen saf bakırın % IACS (International Annealed Copper Standart) değerleri verilmiştir. % IACS değeri tam yoğun tavllanmış saf bakırın iletkenliğinin % 100 kabul edilmesi ile yapılan iletkenlik ölçüm standardı olup % 100 IACS = 58 MSiemens/m' dir [30].

Tablo 5.1. Numunelerin % IACS değerleri

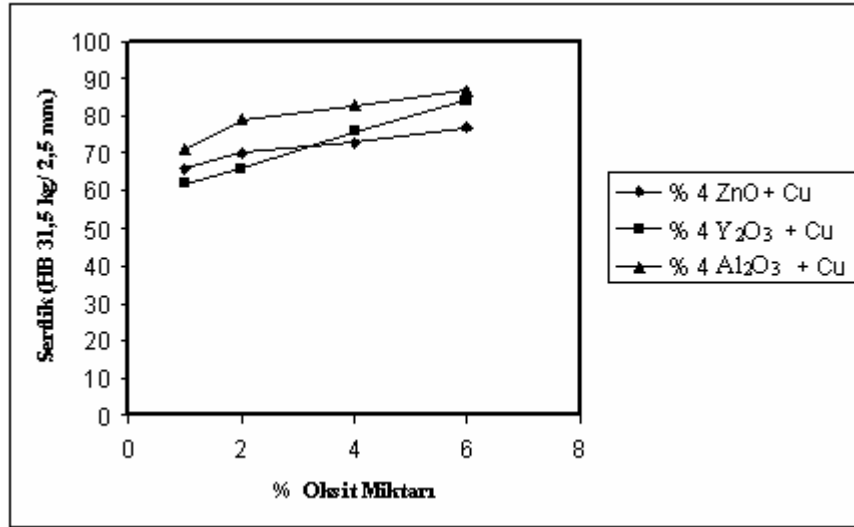
% IACS				
Oksit türü / % Ağırlık	%1	%2	%4	%6
ZnO	27,3	46,3	81,4	53,1
Y ₂ O ₃	11,7	28	32,1	12,6
Al ₂ O ₃	11,4	39,2	68	4
Geleneksel T/M ile Üretilen saf bakır : %93				

Kontak numuneleri çalıştıkları esnada ark oluşumundan veya dirençlerinin yüksek olmasından dolayı ısınmaktadırlar. Yüksek sıcaklık uygulamaları için bakır esaslı alaşımlarından istenilen en düşük iletkenlik değerinin % 50 IACS olduğu bilinmektedir [28].

Literatür taraması sonucunda bu çalışmaya benzer iki çalışma bulunmuştur. Bunlardan; Rajković ve arkadaşları gaz atomizasyonu ile ön alaşımlama yapılmış Cu - % 3,5 Al (ağırlıkça) tozlarını 20 saate varan farklı sürelerde planeter bilyeli değirmende normal atmosfer şartlarında alaşımlamaya tabi tutmuşlardır. Normal atmosfer şartlarında alaşımlamayla yapıda iç oksitlenme mekanizmasıyla Al_2O_3 dispersoidleri oluşturmuşlar, buradan elde edilen tozları 400 °C’ de hidrojen ortamında 1 saat boyunca indirgemiş daha sonra bu tozlar 800 °C’ de 35 MPa’ da presleme uygulamışlardır. Devamında 5 saat alaşımlanan tozlardan üretilen kopmaktı 800 °C’ de 5 saat argon atmosferinde tekrar sinterleyerek termal stabilesini ve elektriksel iletkenliğini incelemişlerdir. Bu numuneden alınan % IACS değeri %52 olarak bulunmuştur [29]. Bu değer, bu çalışmada % 4 Al_2O_3 ilave edilerek alaşımlanmış numunenin % IACS değerinden daha düşük çıkmıştır. Bu durumun sebebi, araştırmacıların kullandığı bakır tozunun ön alaşımlı tozlar olmasından kaynaklanmaktadır. Katı eriyik mukavemetlendirme yolu ile mukavemetlendirilmiş yapıların elektriksel iletkenliği oksit dispersiyonu ile mukavemetlendirilmiş yapılara nazaran daha düşüktür [6].

Lopez ve arkadaşları ise saf bakıra TiB_2 ilave ederek 8 – 36 saat arası değişen sürelerde mekanik alaşımlamış ve elde edilen numunelerin elektrik performanslarını incelemişlerdir [30]. % 1 TiB_2 ilave ederek 12 saat alaşımlama sonrası numunenin % IACS değerini 35,1 bulmuşlardır. % 2 TiB_2 ilave ederek 12 saat alaşımlanmış ve % 20 oranında haddelenmiş numunenin % IACS değerini ise 31,4 bulmuşlardır. % 1 TiB_2 ilaveli 36 saat alaşımlanmış ve % 20 oranında haddelenmiş numunenin % IACS ‘ni ise 34,8 bulmuşlardır. % 2 TiB_2 ilaveli 36 saat alaşımlanarak üretilen numunenin % IACS değerini ise 39,7 bulmuşlardır. Bu araştırmacıların elde ettiği sonuçlardan optimum takviye oranında alaşımlama süresinin artması ile iletkenlikte de artışın olacağını söylenebilir.

Parçacık boyutundaki azalma sinterleme sonrası mikro yapının daha da küçülmesine yani tane boyutunun azalmasına sebep olacağından dolayı öziletkenlik azalmaktadır [6].

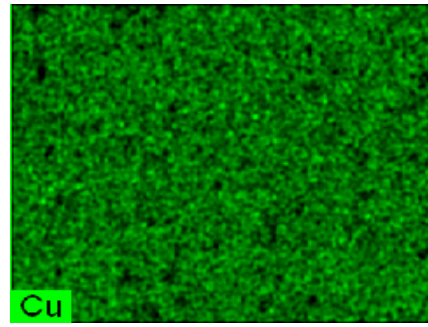
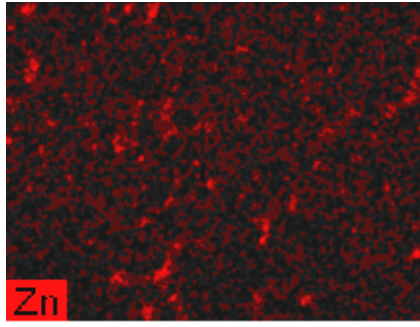
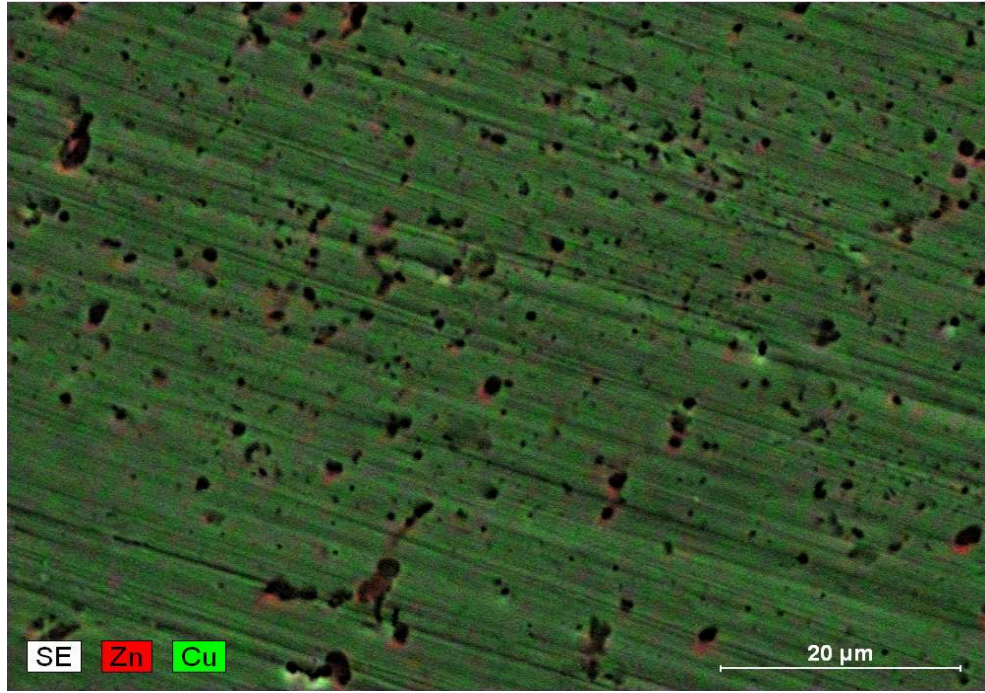


Şekil 5.5. Oksit miktarına bağlı olarak sertlik değişim grafiği

Şekil 5.5.' de numunelerin oksit miktarına göre sertlik değişimleri verilmiştir. Ölçümlere göre % 1 oranında Al₂O₃ takviye edilen numunenin sertliği 71 HB çıkarken % 1 ZnO' lu numunenin sertliği 66 HB çıkmıştır ve % 1 Y₂O₃' lü numunenin sertliği ise 62 HB çıkmıştır. Ancak oksit miktarının artmasıyla sertlik değerleri de artmıştır ve % 6 oranında oksit takviye edilen Al₂O₃' lü ve Y₂O₃' lü numunelerin sertliği yaklaşık 85 HB çıkmıştır. ZnO takviyeli numunenin sertliği ise 76 civarında kalmıştır. Geleneksel toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş saf bakırın sertliği ise 65 HB' dir. Genel olarak oksit takviye oranının artmasıyla sertlik artmaktadır.

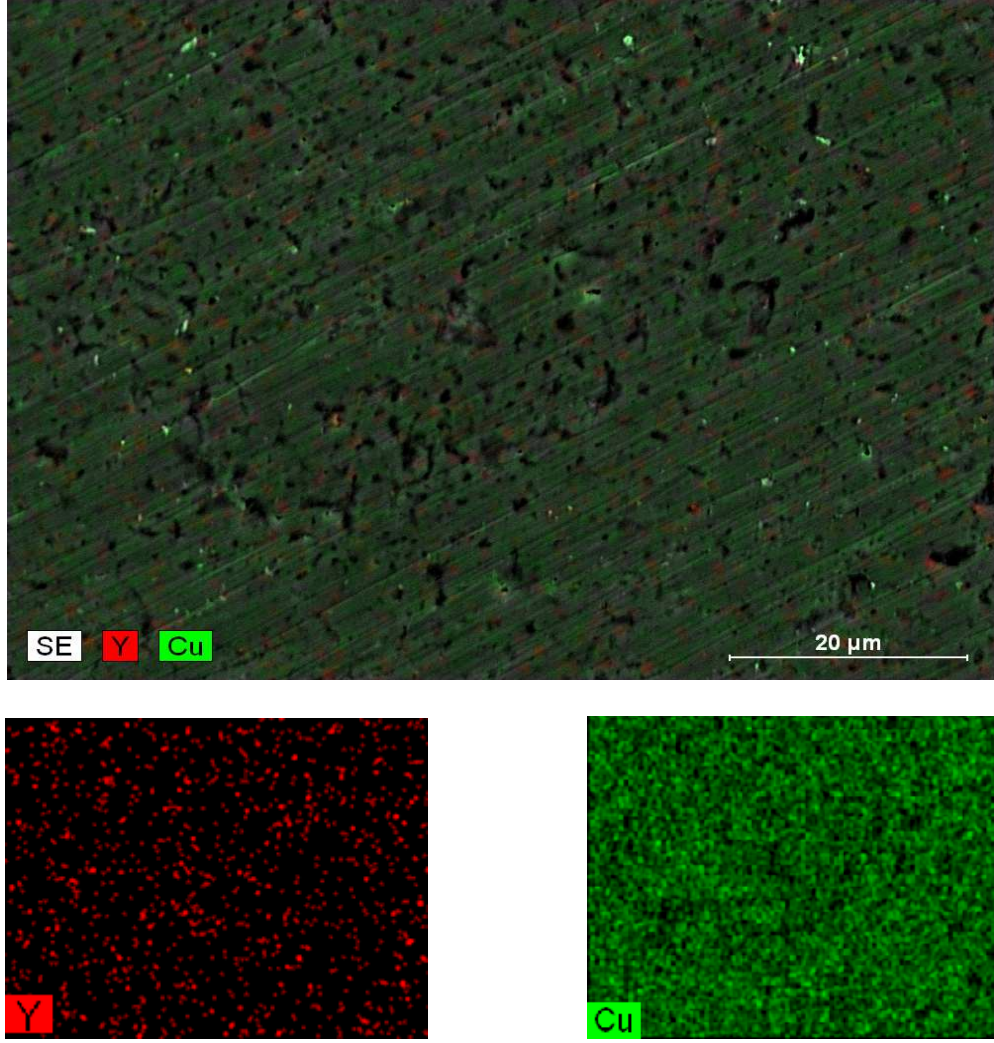
5.2. Kontak Ömrü Deney Sonuçları ve Elektron Mikroskobu Görüntüleri:

Kontak malzemelerinde takviye elemanı olan oksit parçacıklarının yapıda küçük boyutlu ve homojen olarak dağılması ile kontaklardaki ark erozyonu da o nispette azalmaktadır [27]. Çünkü ark sırasında eriyen metalin viskozitesi ince dağılımlı oksit partikülleri sayesinde artmaktadır. Bu sebeple en iyi iletkenliklerin elde edildiği % 4 oksit takviyeli numunelerdeki oksit dağılımını tespit etmek için elementel dağılım haritaları alınmıştır.



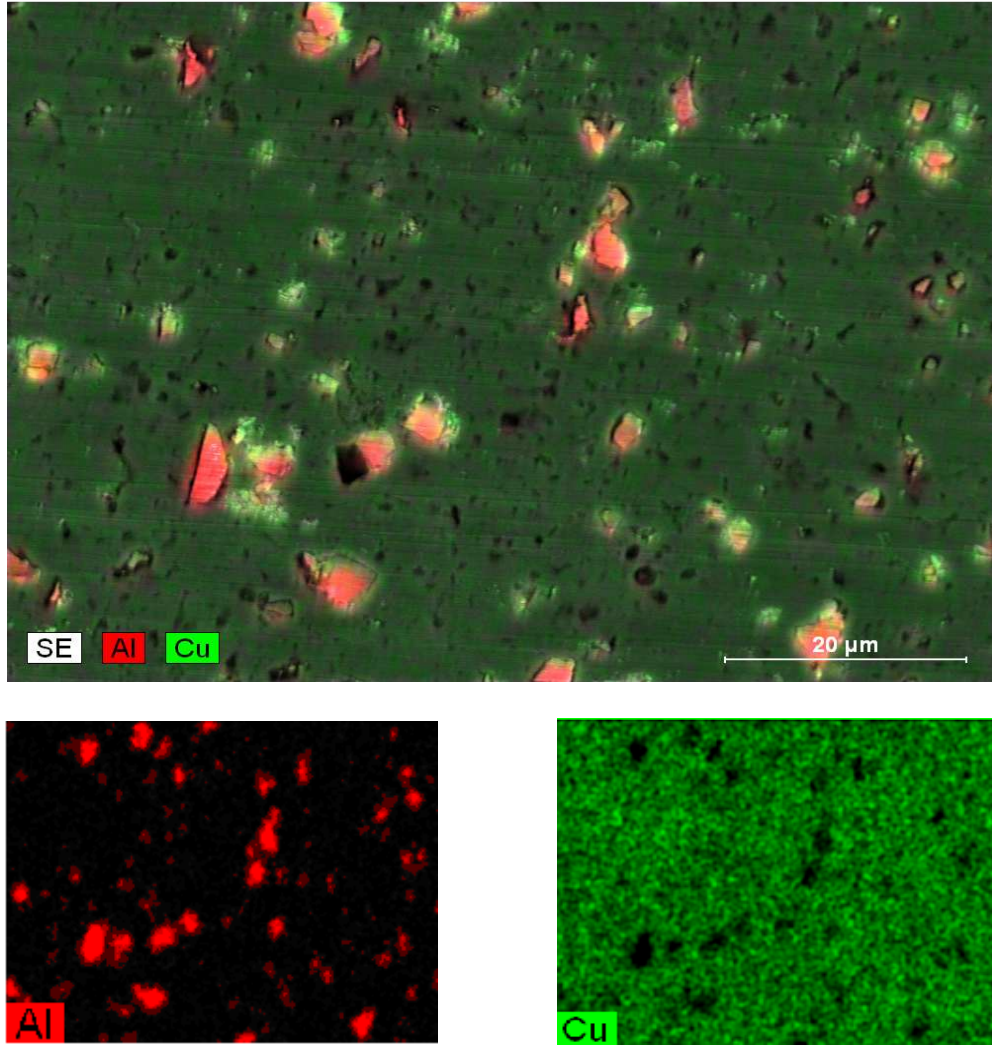
Şekil 5.6. % 4 ZnO ilaveli 5 saat mekanik alaşımlanmış numunenin element dağılım haritası

Şekil 5.6’ da en iyi iletkenlik değerlerinin elde edildiği % 4 ZnO takviyeli numuneden alınan elementel dağılım haritası verilmiştir. Şekilde görülen kırmızı renkler ZnO’ nun dağılımını göstermektedir. Yeşil renk ise bakırı temsil etmektedir. Bu görüntüden yapı içerisinde ZnO’ nun ince ve homojen bir şekilde dağıldığını söylemek mümkündür.



Şekil 5.7. % 4 Y_2O_3 ilaveli 5 saat mekanik alaşımlanmış numunenin element dağılım haritası

Şekil 5.7.' de % 4 Y_2O_3 Takviyeli numunenin element dağılım haritası görülmektedir. Şekilde kırmızı renk Y_2O_3 ' ü temsil etmektedir. Yeşil renk ise bakırı temsil etmektedir. Görüntüden yapıda Y_2O_3 ' ün homojen dağıldığını söylemek mümkündür.



Şekil 5.8. % 4 Al_2O_3 ilaveli 5 saat mekanik alaşımlanmış numunenin element dağılım haritası

Şekil 5.8.' de % 4 Al_2O_3 takviyeli numunenin elementel dağılım haritası verilmiştir. Şekilde kırmızı renk Al_2O_3 'ü yeşil renk bakır temsil etmektedir. Görüntüden Al_2O_3 'ün yapı içerisinde homojen dağıldığı görülmektedir.

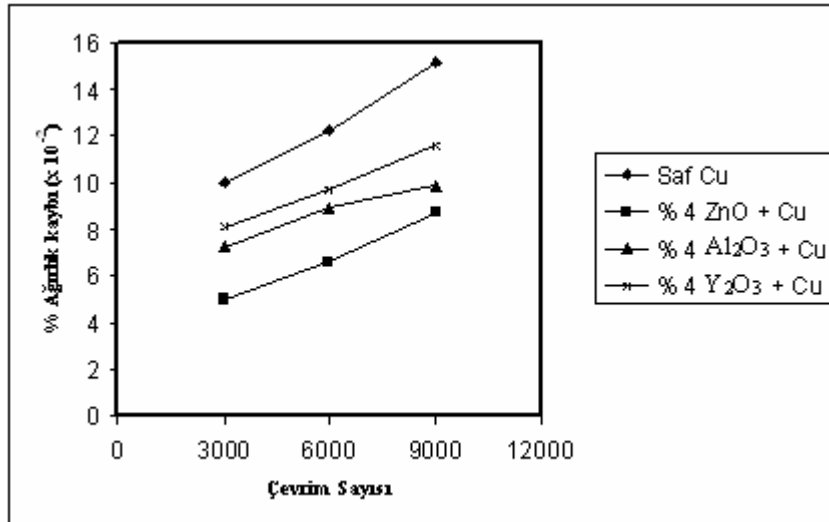
Numunelerin iletkenlik değerleri alındıktan sonra en iyi iletkenliğin elde edildiği % 4 oksit takviyeli kompozitler 3000, 6000, 9000 açma-kapama sayısında, kontak deneyine tabi tutularak, numunelerdeki malzeme kaybı tespit edilmiş ve yüzey SEM görüntüleri alınmıştır. Tablo 5.2' de çevrim sayısı ile malzeme kaybı değişimleri verilmiştir.

3000 açma-kapama işlemi sonunda toplam ağırlık kaybı açısından en fazla ağırlık kaybı saf bakırda meydana gelmiştir. Oksit takviyeli kontaklar, ısındığı zaman takviye olarak kullanılan oksitler ısıyı absorbe ederek kontağı soğuturlar ve ark oluşumunu geciktirirler ve bu oksitler sayesinde takviye edilmiş bakır saf bakıra göre daha mukavemetlidir [11]. Tablo 5.2' de görüldüğü gibi ZnO , Al_2O_3 ve Y_2O_3 takviyeli kontaklardaki malzeme kaybı miktarı, saf bakır kontağa nazaran daha az olmuştur. En iyi ağırlık kaybı sonucu % 4 ZnO ilaveli kontak

malzemesinden elde edilmiştir. Y_2O_3 ve Al_2O_3 yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan refrakter oksit türleri olduğu düşünülürse en iyi sonucun ZnO ilaveli numuneden değil de Y_2O_3 ve Al_2O_3 ilaveli numunelerden elde edilmesi gerektiği düşünülebilir. Ancak, kontak mukavemeti için yüksek sıcaklıkta kararlılık ve sertlik yeterli özellikler olmayıp, ayrıca düşük dirence sahip olmaları gereklidir. Düşük direnç kontakta daha az ısının ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Önceki aşamada yapılan iletkenlik ölçümlerinde en iyi sonuç % 4 ZnO takviyeli numuneden elde edilmiştir. Kontak malzemelerinde takviye elemanı olarak kullanılan maddelerde aranan en önemli özelliklerden bir diğeri ise, ısı iletiminin yüksek olması ve iyi ısı absorpsiyonuna sahip olmasıdır. Çünkü takviye elemanı ısıyı ne kadar iyi absorbe eder ve matrise ne kadar iyi iletirse o derece kontağı soğutmuş olur. ZnO ‘un ısı iletim katsayısı yaklaşık 130 W/mK [28] iken Al_2O_3 ‘de 35-40 W/mK, Y_2O_3 ‘de ise 8-12 W/mK arasındadır [27]. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere ZnO, ark sebebiyle oluşan ısıyı hızlı bir şekilde matrise iletmekte ve matris ise bu ısıyı kontak konstrüksiyonuna ileterek kendini soğutmaktadır [11].

Tablo 5.2. Kontak ömrü deneylerinde ölçülen ağırlık kayıpları

Kontak malzemesi	Çevrim Sayısı		
	3000	6000	9000
	% Ağırlık Kaybı		
ZnO Takviyeli	% 0,05	% 0,066	% 0,087
Al_2O_3 Takviyeli	% 0,0725	% 0,089	% 0,0985
Y_2O_3 Takviyeli	% 0,081	% 0,097	% 0,116
Saf Cu	% 0,1	% 0,122	% 0,1515

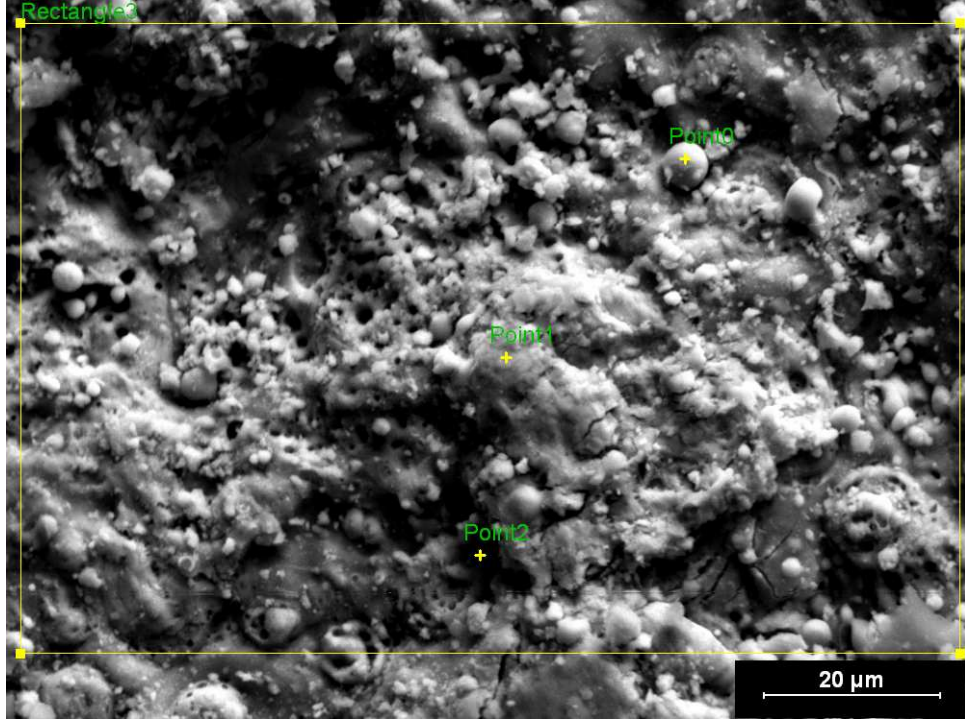


Şekil 5.9. Çevrim Sayısı ile % ağırlık kaybı değişimi

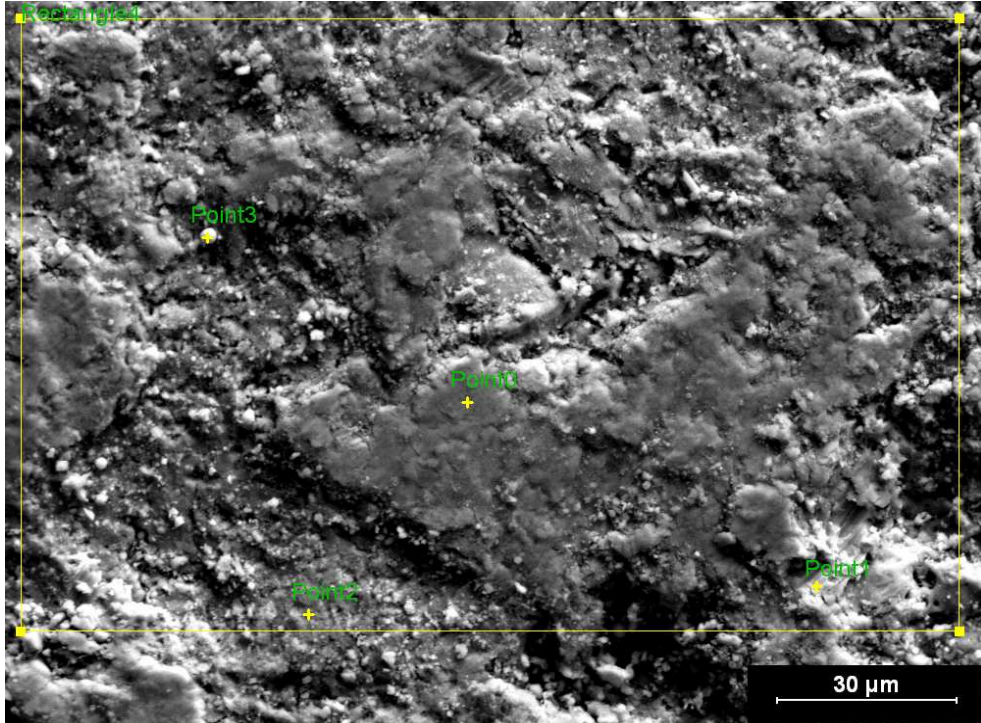
Şekil 5.9’ da her numune için çevrim sayısına karşılık malzeme kaybı bir grafik halinde verilmiştir.

Açma-kapama sayısı ile beraber bütün kontaklarda malzeme kaybının arttığı görülmüştür. Bu durum, açma-kapama sayısının artmasıyla kontakların yüzeylerinde bakır oksit miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Bakır oksit miktarının artması, kontağın direncini artırarak kontaklar arasında ark oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Ana matrise göre daha fazla sertliğe sahip olan bakır oksit, kontağın kapanması sırasında mekanik etkiyle kırılmakta ve kırılan bu parçacıkların, artan kontak sayısı ile boyutları daha da küçülmektedir. Bu esnada kontağın devreyi anahtarlamasından dolayı meydana gelen ark sebebiyle bu küçük boyutlu tozlar, yüzeyden kontak alanı dışına itilmektedir. Bu sayede kontaklardaki kayıplar geri beslemeli bir mekanizmayla artmaktadır. Bu durum Şekil 5.10' da saf bakırdan 3000 kontak sayısı sonrası alınan EDX ve Şekil 5.11 'de saf bakırdan 9000 kontak sayısı sonrası alınan EDX analizleri tarafından da desteklenmektedir. Şekil 5.10.'da görülen noktalardan alınan analizler sonucu nokta 0 bakır oksittir. Küre şeklindeki bu yapının yüzeyde ayrılan bir toz parçacığının eriyerek küre formuna dönüştüğü, daha sonra ise artan kontak sayısı ve arkın tesiriyle oksitlendiği söylenebilir. Nokta 1 ise bakır (II) oksittir. Bu bölgenin ise yüzeyde bulunan çatlaklardan dolayı kontağın aktif temas alanını oluşturduğu ve mekanik tesir sebebiyle levha halinde olduğunu söylemek mümkündür. Nokta 2' nin ise bakır olduğu tespit edilmiştir. Resimden görüleceği üzere nokta 2 ortalama kontak yüzeyinin altında bir kot' a sahip olduğundan dolayı bozulmadan kalmıştır.

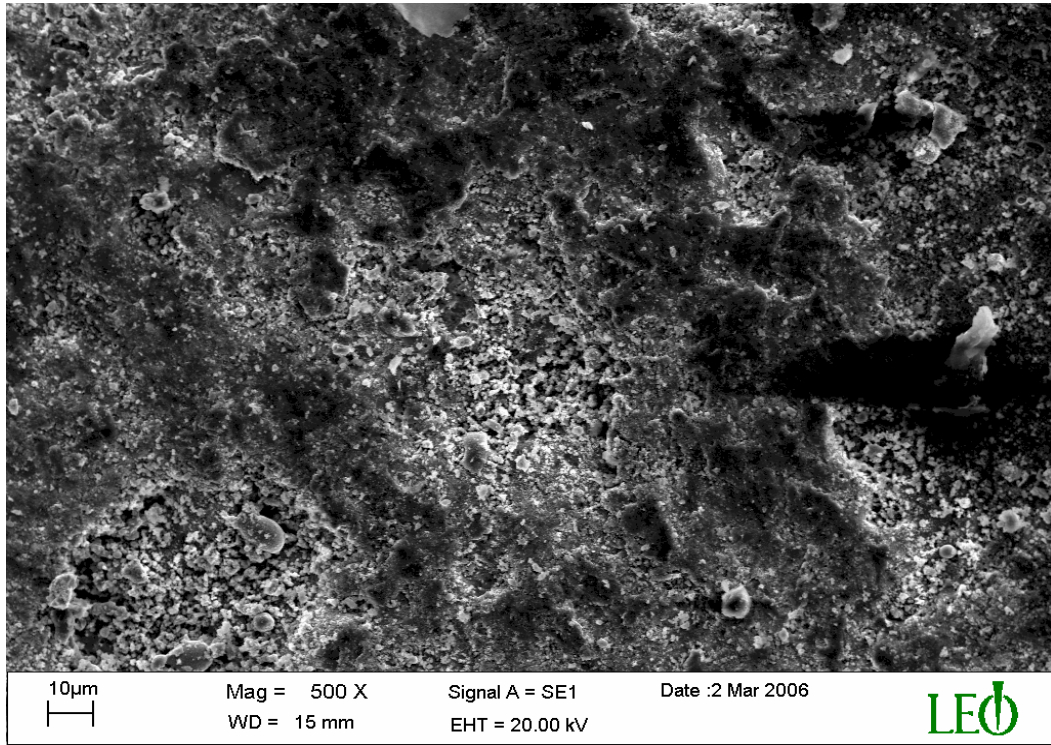
Şekil 5.11'deki nokta analizlerinde ise nokta 0' bakır (II) oksittir. Nispeten daha açık renkli olan nokta 1 ise bakır' dir. Nokta 2' nin ise bakır (II) oksit olduğu tespit edilmiştir. Resimden görüleceği üzere nokta 1 ortalama kontak yüzeyinin altında bir kot' a sahip olduğundan dolayı ve ortalama iletim alanının dışında kaldığından dolayı oksitlenmediği söylenebilir. Ancak küçük partikülden yani nokta 3 'den alınan analiz bu parçacığın kompleks bir oksit ($\text{CuO}+\text{Cu}_2\text{O}$) olduğunu göstermektedir. Şekil 5.10 ve 5.11' deki görüntülerin analizleri tablo halinde Ek-1'de verilmiştir.



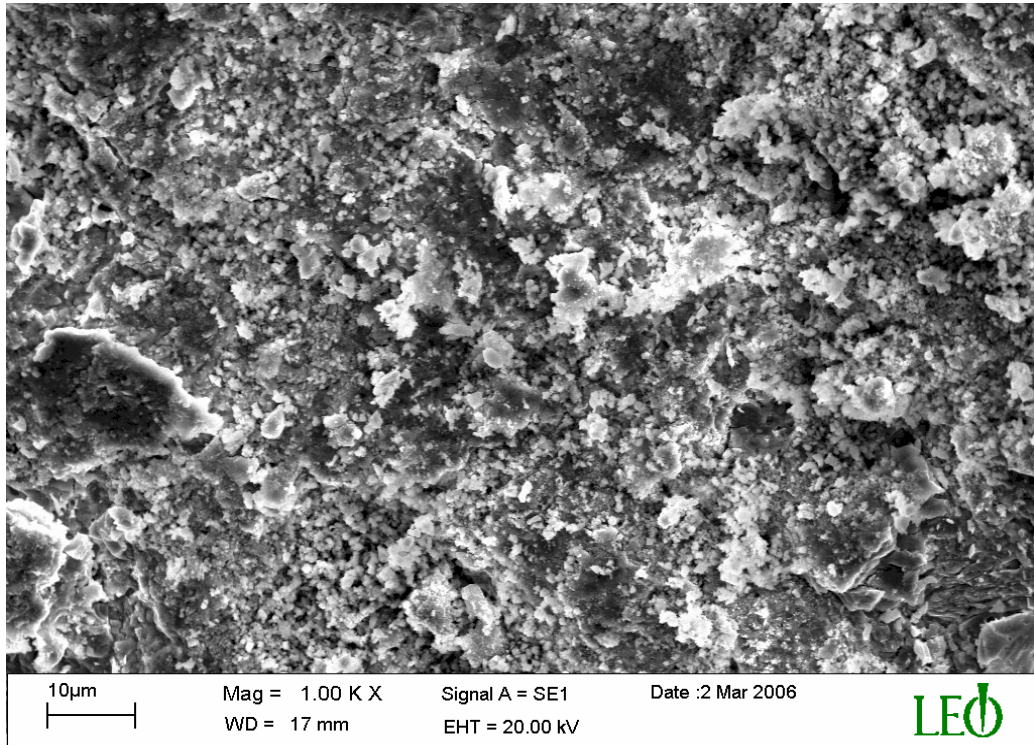
Şekil 5.10. 3000 açma – kapama sonucu saf bakırdan alınan EDX analiz görüntüsü



Şekil 5.11. 9000 kontak sayısı sonrası saf bakırdan alınan EDX analiz görüntüsü



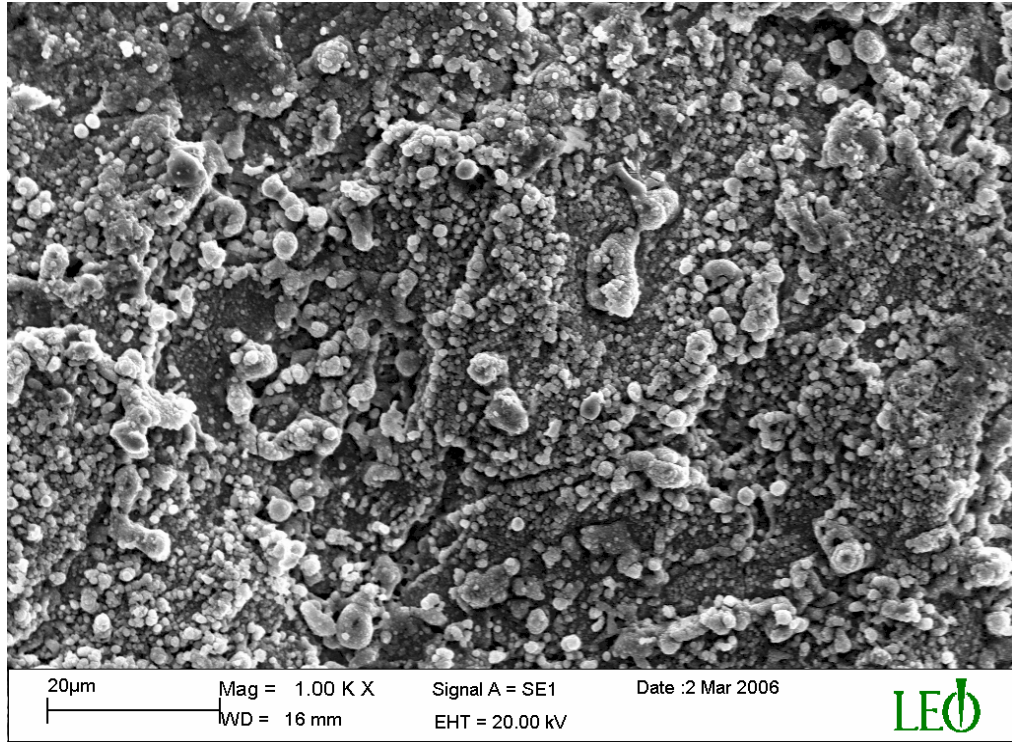
Şekil 5.12. % 4 ZnO ilaveli kontağın 3000 kontak sayısından sonraki SEM görüntüsü



Şekil 5.13. % 4 ZnO ilaveli kontağın 6000 kontak sayısından sonraki SEM görüntüsü

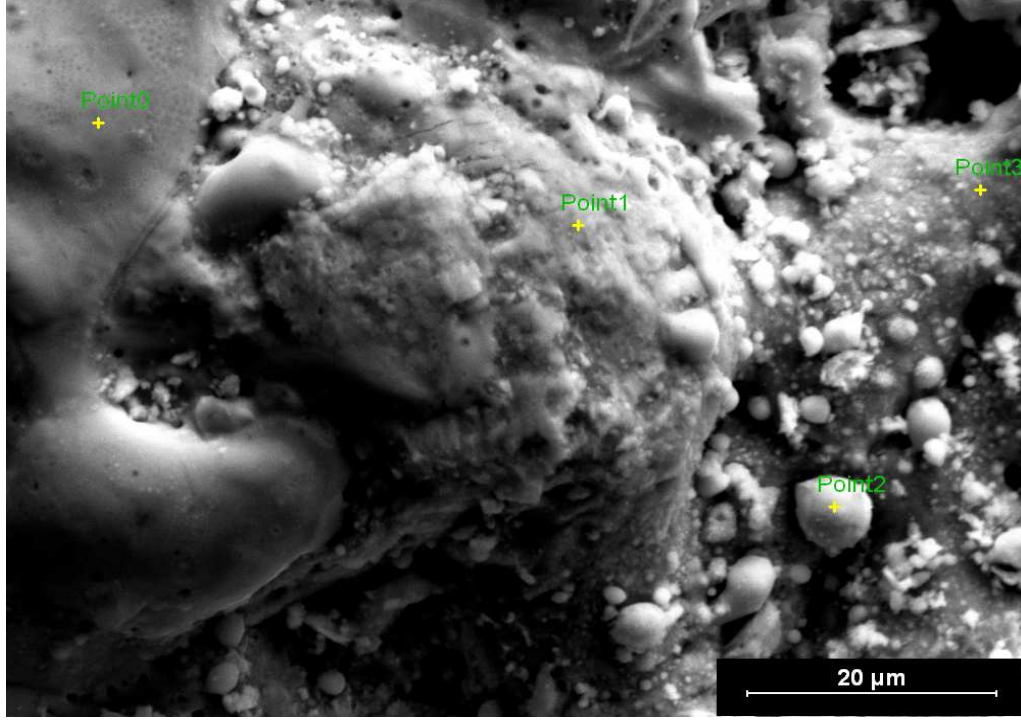
Şekil 5.12, 5.13 ve 5.14’ de sırasıyla 3000, 6000, 9000 açma-kapama sonrasında % 4 ZnO takviyeli kontak malzemesinin SEM görüntüleri görülmektedir.

Açma-kapama sayısının artmasıyla beraber kontaklarda malzeme kaybının arttığı % 4 ZnO takviyeli kontakın elektron mikroskobu görüntülerinden de söylenebilir. Genel olarak kontak sayısının artmasıyla kontak yüzeyinde toz filmi şeklinde oksit oluşmaktadır ve artan süre ile birlikte önce keskin köşeli oksitler oluşurken daha sonra bu yapılar küresel bir forma dönüşmektedir. Şekil 5.12’de verilen % 4 ZnO ilaveli 3000 kontak sayısı sonrası elde edilen resminden de görüldüğü gibi yüzeydeki bozulma nispeten azdır. Şekil 5.13’deki % 4 ZnO ilaveli ve 6000 kontak sayısına sahip kontakın ve Şekil 5.14’ de % 4 ZnO ilaveli ve 9000 kontak sonrası alınan resimlerinden de görüldüğü gibi açma-kapama sayısının artışı ile malzemelerin yüzeylerindeki hasar miktarı da artmaktadır. Ayrıca Şekil 5.15’de % 4 ZnO takviyeli numuneden 9000 açma – kapama sonrası alınan EDX analizi verilmiştir.



Şekil 5.14. % 4 ZnO ilaveli kontakın 9000 kontak sayısından sonraki SEM görüntüsü.

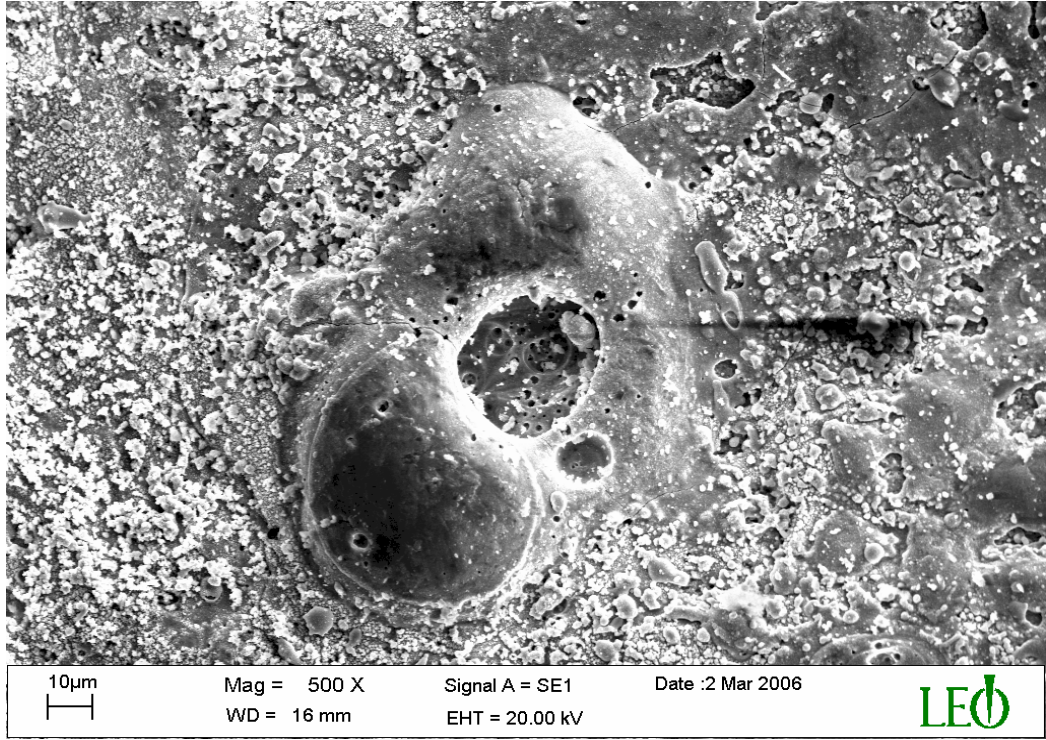
Şekil 5.15 ‘de noktalardan alınan EDX’ ler sonucu (Nokta 0,1,2,3) bütün noktaların oksit ihtiva ettiği tespit edilmiştir. Ancak, küresel formdaki yapıdan alınan nokta 2 analizinde önceki kontaklarda gözlenen küresel yapılarla (saf bakır, 9000 kontak sayısında) benzer kompleks oksit yapısı olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca nokta 1 ve 3’ de çinko’ya da rastlanılmıştır. Açma-kapma devam ederken kontaklarda kısmen erimelerin meydana geldiği ve



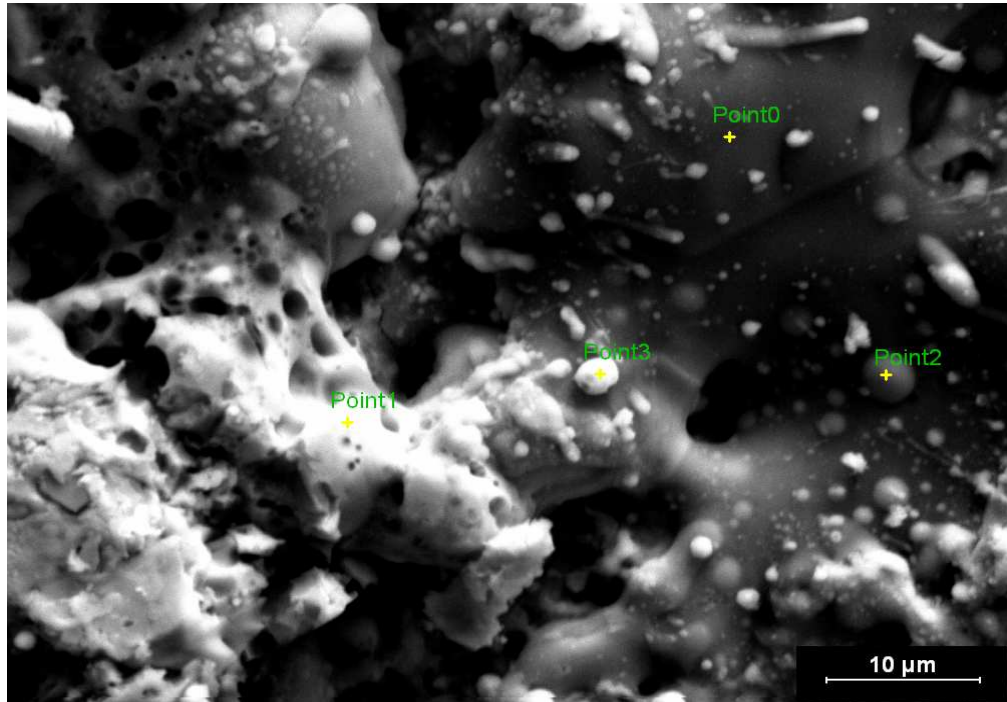
Şekil 5.15. % 4 ZnO ilaveli kontakta 9000 açma-kapama sonrası alınan nokta analizleri

bu erime esnasında yoğunluğu ($5,675 \text{ gr/cm}^3$) bakıra göre düşük olan ZnO parçacıklarının nispeten yüzeyde toplanmalarından dolayı EDX analizinde çinko tespit edilmiştir.

Şekil 5.16' da % 4 Al_2O_3 takviyeli numunenin 9000 açma-kapama sonrası yüzeyinde oluşan hasar görülmektedir. Şekilde yüzeyden kabarmış halde görülen bölgenin, gerek iletim direncinden kaynaklanan gerekse de artkan dolayı ortaya çıkan ısı sebebiyle kontak malzemesinin yapısı içerisinde gaz boşluklarında bulunan gazların iç basıncın artması sebebiyle, yüzeye sızdığı ve erimiş halde buluna yüzey metalini kabarttığı düşünülmektedir. Ayrıca yüzeyde bulunan mikro çatlaklar yüzeyin gevrek bir yapıya sahip olduğunu, bu durum ise kontak yüzeyinin ince bir film halinde oksitle kaplı olduğunu tarif etmektedir. Şekil 5.17' de % 4 Al_2O_3 ihtiva eden numunenin yüzeyinden alınan EDX incelemesine ait görüntü verilmiştir. Şekil 5.17' de alınan EDX incelemesinde nokta 1 haricinde diğer noktalar oksit yapılarıdır. 9000 kontak sayısından sonra yapılan ağırlık kaybı ölçümlerinde, bu grup kontak sayısında elde edilen en az ağırlık kaybı % 4 ZnO takviyeli numuneden sonra bu numuneden elde edilmiştir. Yapıda hâlâ saf halde bakırın bulunması kontaklardaki malzeme kaybının düşük olmasını desteklemektedir.

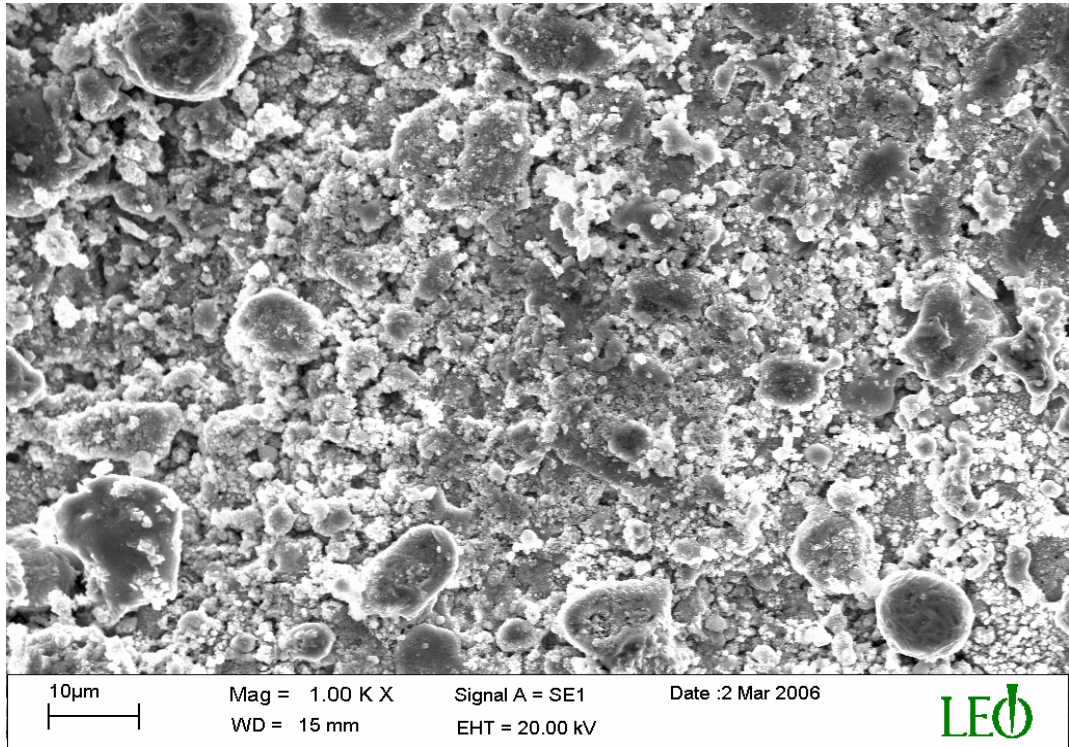


Şekil 5.16. % 4 Al_2O_3 ilaveli kontağın 9000 kontak sayısı sonrasındaki SEM görüntüsü.

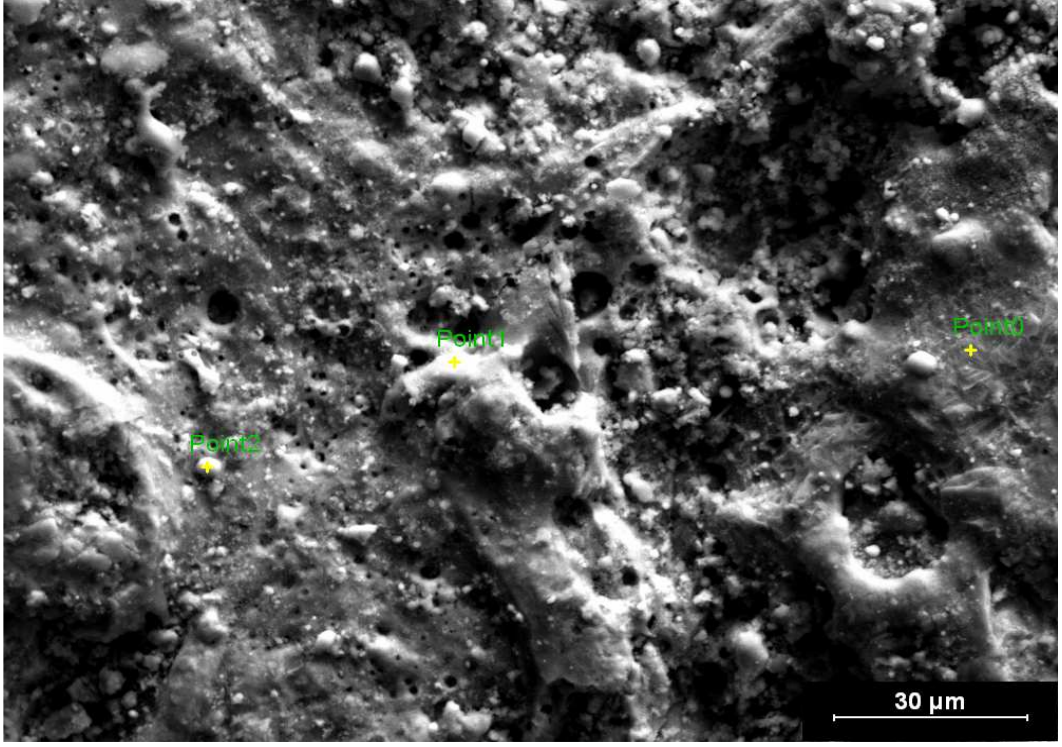


Şekil 5.17. % 4 Al_2O_3 ilaveli kontakdan 9000 kontak sayısı sonrası alınan EDX analiz görüntüsü

Şekil 5.18' de % 4 Y_2O_3 takviyeli numunenin 9000 kontak sayısı sonrası Elektron mikroskobu görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüden yüzeyin toz filmi şeklinde oksitle kaplandığını söylemek mümkündür. Kontak deneyleri esnasında kontaklarda meydana gelen ark kontak direncinin de yüksek olması sebebiyle kontak malzemesine olan ısı girdisini arttırmış ve böylece yüzey, toz halindeki oksitle kaplanmıştır. Şekil 5.19'de ise % 4 Y_2O_3 takviyeli numunenin 9000 kontak sayısı sonrası EDX analizine ait görüntüsü verilmiştir. Nokta 0 bakır oksit olup, nokta 2 ise diğer görüntülerde görülen küre formundaki kompleks oksit parçacığıdır. Nokta 1' de ise çok az oksit tespit edilmiştir.



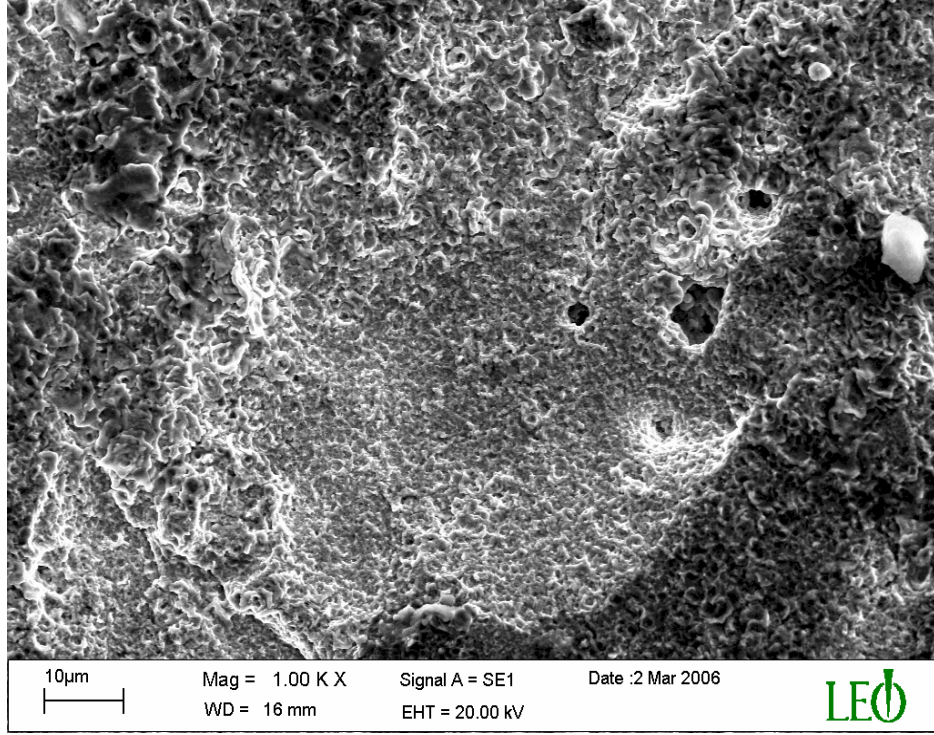
Şekil 5.18. % 4 Y_2O_3 ilaveli kantağın 9000 kontak sayısından sonraki SEM görüntüsü



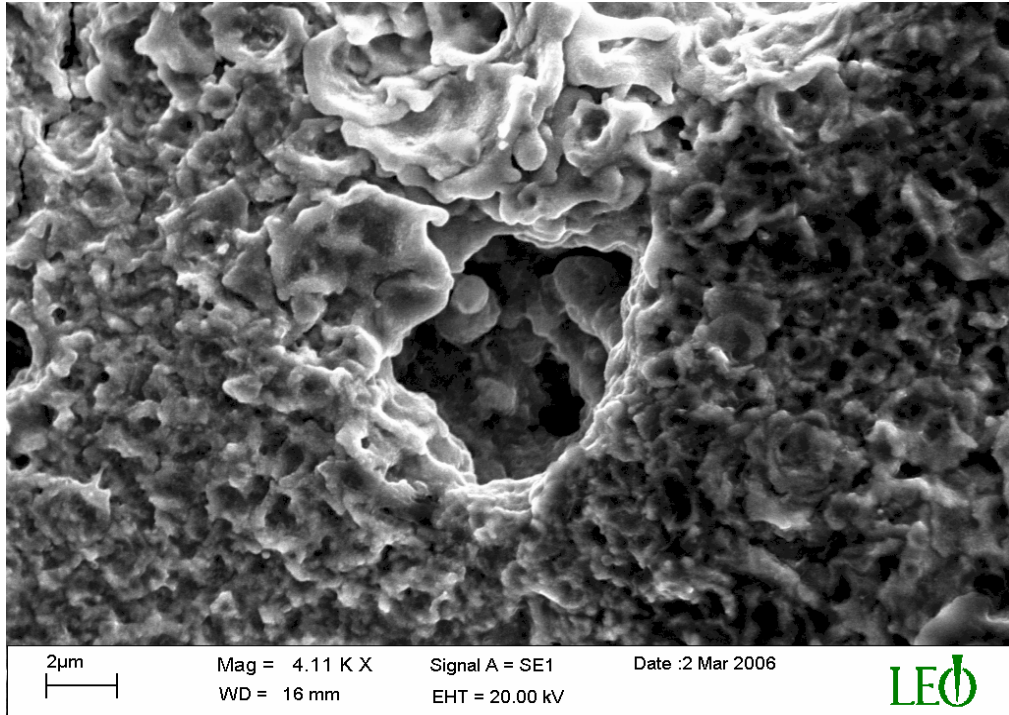
Şekil 5.19. % 4 Y_2O_3 ilaveli kontakta 9000 kontak sayısı sonrası alınan EDX analiz görüntüsü

Bu çalışmada üretilen kontak malzemelerinin kontak ömrünü karşılaştırmak amacıyla, piyasadan temin edilen kontaktör de 9000 açma-kapama işlemine tabi tutulmuştur. Bu deney sonunda temin edilen kontaktördeki malzeme kaybı % 0.032 olmuştur. Bu değer, bu çalışmada en iyi sonucun elde edildiği % 4 ZnO takviyeli kantağın ağırlık kaybından yaklaşık 2,5 kat daha az bir değerdir.

Şekil 5.20a ve b' de piyasadan temin edilen kantağın 9000 açma-kapama sonrası farklı büyütme ölçeklerinde alınan SEM görüntüsü verilmiştir. Yapılan inceleme sonucu kontak yüzeyinin gümüş kaplı olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.20a' da kontak yüzeyinde boşlukların çok az olduğu görülmektedir. Şekil 5.20b' de gözeneğin üst tarafında farklı bir katılaşmanın olduğu görülmektedir. Bu yapının kantağın çalışması esnasında yüzeyde bulunan erimiş haldeki gümüşün, açma-kapama işlemi sonrasında katılaşmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yüzeyde bulunan gümüşün damlacık şeklinde katılaşması, kontak işlemi sırasında kontaklar arasında bir ark köprüsünün oluştuğunu, boşluğun çevresinde bulunan ve lele şeklinde katılaşmış yapılar ise oluşan ark sebebiyle güçlü elektron emisyonlarının ortaya çıktığına işaret etmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.20. Piyasadan alınan kontağın 9000 kontak sayısı sonrası alınan SEM görüntüsü

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı türdeki oksitler, farklı oranlarda mekanik alaşımlama yöntemiyle bakır içerisinde disperse edilmiştir. Üretilen oksit dispersiyonuyla mukavemetlendirilmiş numuneler üzerinde öz iletkenlik incelemeleri yapılmış ve en iyi sonuçlar sırasıyla %4 ZnO, %4 Al₂O₃ ve %4 Y₂O₃ takviyeli numunelerden alınmıştır. Bu yüzdelere sahip bakır kompozit numuneler 3000,6000 ve 9000 kontak açma-kapama deneylerine tabi tutulmuş ve sonuçta ortaya çıkan ağırlık kayıplarının yukarıda anılan sırayı takip ettiği görülmüştür.

Kontak malzemesi olarak tasarlanan ve oksit dispersiyonuyla mukavemetlendirilen (ODM) bakırın mekanik alaşımlamayla üretilmesi, bakırın iletkenliğini çok fazla düşürmeden belli bir orana kadar takviye yapılmasına müsaade etmektedir.

Kontak malzemesi olarak kullanılacak bakıra ilave edilen takviyelerin mukavemetlerinin yüksek olmasının yanında, ısı ve elektrik iletkenliklerinin de yüksek olması kontaklardaki malzeme kaybını azaltmaktadır.

Açma-kapama sayısının artmasıyla kontak yüzeyindeki bakır oksit miktarı artmaktadır ve yüzeyi toz filmi şeklinde kaplamaktadır. Artan bakır oksit miktarı ise kontağın direncini arttırmakta ve bu durum geri beslemeli olarak devam ederek kontak kayıplarını arttırmaktadır.

Mekanik alaşımlama, kontak malzemelerinin üretimi için talaşlı üretim yöntemlerine nazaran üretim kayıplarının olmamasından dolayı ucuz ve kolay bir üretim yöntemidir.

7. ÖNERİLER

- Üretilen kontak malzemelerine herhangi bir infiltrasyon işlemi uygulanmamıştır. İleri bir işlem olarak numunelere gümüş infiltrasyonunun uygulanması durumunda kontak malzemelerinin elektrik performanslarının, infiltrasyon elemanının mevcut gözenekleri doldurmasından ve kontak malzemesinin iletkenliğini artırmasından dolayı artacağı düşünülmektedir.
- Mekanik alaşımlama süresinin artmasıyla birlikte belirlenen bir kompozisyon için iletkenliğin optimum bir değere ulaştığı bilinmektedir. Üretilen % 4 ZnO takviyeli bakır kompozitin mekanik alaşımlama süresinin artırılmasıyla beraber öz iletkenlik değerleri daha da iyileştirilebilir.
- Mekanik alaşımlama işlemi sonrasında alaşımlanan tozlar oldukça aktif hale gelmektedir. Bu durum ise tozlarda kontaminasyona sebep olmaktadır. Mekanik alaşımla işlemleri sonrasında tozların indirgeyici bir ortamda indirgenerek daha sonraki işlemlerde kullanılmaları iletkenlik değerinin artmasına yardımcı olacaktır.
- Üretilen numunelerde bulunan ve elde edilen sonuçları olumsuz yönde etkileyen boşluklardan kaçınmak için haddeleme veya ekstrüzyon işlemlerinin numunelere uygulanması özelliklerin geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir.
- Saf bakır tozlarıyla, alüminyum tozlarının mekanik alaşımlama yöntemi vasıtasıyla iç oksidasyon metodu sayesinde, matris içinde oldukça küçük ve homojen dağılımlı ODM bakır üretmek mümkündür. Bu yöntem sayesinde bakır kompozitin elektrik ve mekanik özellikleri geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Benjamin J.S.,1970, Dispersion Strengthened Superalloys by Mechanical Alloying, Met. Transaction A, Vol 1, pp. 2943 – 2951.
2. Evin E.,2003, Nikel Esaslı Bir Süper Alaşımın Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretilmesi ve Mikroyapı-Oksitlenme Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
3. Aslanoğlu Z.,1994, Demir-Karbon Sisteminin Mekanik Alaşımlama Tekniği İle Üretim Süreçlerinin İncelenmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
4. Uzun H.,1996, Toz Metalurjisi Yöntemiyle Gümüş – Kadmiyum Oksit Esaslı Kontak Malzemesi Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
5. Bakan İ.H.,1999, Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Cu - %25 Cr Elektrik Kontak Malzemesinin Sinterleme Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul
6. Erdoğan M., 1999, “ Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri-2” ,Çeviri, 3.baskı, s: 518
7. Kılınç Y.,1999, Demir Bazlı Süper Alaşımların Mekanik Alaşımlama Metodu İle Üretilmesi ve Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
8. Davis R.M., Mc Dermot B. and Koch, C.C., 1988, Mechanical Alloying of Brittle Materials,Metal. Trans A, 19 A, 2867.
9. Schwarz Rb. and Koch C.C.,1986, [Formation of amorphous alloys by the mechanical alloying of crystalline powders of pure metals and powder of intermetallic.](#) Applied Physics Letters, 49 - 146.
10. Schelleng R.D. and Donachie S.J.,1983, Mechanical Alloyed Aluminum, Metal Powder Report, Vol 38, pp 357 – 359.
11. Electrical Contact Materials, Condenset From Metals Handbook, Vol.3, Pp. 662 – 695

12. Son H.T., Kim T.S., Suryanarayana C., Chun B.S.,2002, Homogeneous Dispersion of Graphite in a 6061 Aluminium Alloy by Ball Milling,Materials Science & Engineering, Pp 163 – 169.
13. <http://mse.iastate.edu>
14. www.unionprocess.com
15. www.fritsch.de
16. Reider W, 1966, Şalt Tekniği Temel Prensipleri, Federal Elektrik A.Ş.,Bölüm İçi Seminer Notları, Adapazarı
17. Aslanoğlu Z., 1998, Toz Hazırlama Yöntemlerinin W₆₅ Ag₃₅ Elektrik Kontaklarının Üretim Süreçlerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
18. Planse, 1995, Materials For Eleccontacts, Fatih Tola, Çeviri, ee
19. Edwards L., Endean M.,1990,Materials İn Oction Series Manufacturing With Materials, vol. 4, pp. 27-43, The Open Univesity, England.
20. Erbay A.,1998,Endüstride Toz Metalurjisi ve Çeşitli Uygulamaları,Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
21. Hoyner N.S.,1984, Electrical Contacts, ASM Hanbook , Ohio, Vol. 7, pp. 630 – 633,.
22. Ersümer, A.,1970,Toz Metalurjisi Sert Metal / Sinterleme, İTU Matbaası, İstanbul
23. Draper A.B., Niebel B.W., 1989 ,“Product Design And Process Engineering”, McGraw-Hill Singapore
24. Gülsoy, Ö.,1996, Toz Metalujisi Süreçleriyle Üretilen Demir Esaslı Yapısal Parçaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi,Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
25. <http://www.matweb.com>
26. <http://www.cermetinc.com>

27. Sun W., Wang Q., 1994, “ The Model of Interaction Between Arc and Agmeo Contact Materials”,IEEE Transaction on Components And Manufacturing Technology – Part A, Vol. 17 Issue 3
28. Grant JN, Lee A, Lou M., 1984, “Multiple hardening mechanisms for high strength high temperature, high conductivity copper base alloys”, Proc Con On High Conductivity Copper and Aluminium Alloys, California, pp. 103–11.
29. Rajković V., Bozic D., Jovanovic T.M., 2005, “Characterization of prealloyed copper powder treated in high energy ball milling”,Materials Characterization, Article in Press,
- 30.Lopez M.,Corredor D.,Camurri C.,Vergara V.,Jimenez J., 2003, Performance And Characterization of Dispersion Strengthened Cu – TiB₂ Composite for Electrical Use, Spain.
31. Verma A.,1990, Production of Ag-SnO₂ Electrical Contact Materials by Mechanical Alloying, Powder Metallurgy Science and Technology, Vol 2, No 1
32. Litton C.W., Look D.C., Claflin B.B.,Reynolds D.C., Cantwell G., 2004 “Growth and Properties of n- and p-type ZnO” Compound Semiconductors: Post-Conference Proceedings, 2003 International Symposium on, page: 28-35
33. El-Shaarawy M.G., Bayoumy W.A.A., 2002 ,“Doping Effect on the Electrical Properties of Amorphous Al₂O₃”, Material Chemistry and Physics 78, pp. 405-411

EK'LER

Tablo 1. Saf bakır kontağın 3000 açma – kapama sonrası alınan nokta analiz değerleri

	Point 0	Point 1	Point 2
Cu [wt.%]	77.55	86.29	98.48
O [wt.%]	22.45	13.71	1.52

Tablo 2. Saf bakır kontağın 9000 açma – kapama sonrası alınan nokta analiz değerleri

	Point 0	Point 1	Point 2	Point 3
Cu [wt.%]	85.17	97.53	90.57	68.86
O [wt.%]	14.83	2.47	9.43	31.14

Tablo 3. % 4 ZnO ilaveli kontakdan 9000 açma – kapama sonrası alınan nokta analiz değerleri

	Point 0	Point 1	Point 2	Point 3
Cu [wt.%]	87.36	75.62	71.02	74.11
Zn [wt.%]	2.69	12.37	7.18	12.83
O [wt.%]	9.94	12.01	21.80	13.06

Tablo 4. % 4 Y₂O₃ ilaveli kontakdan 9000 açma – kapama sonrası alınan nokta analiz değerleri

	Point 0	Point 1	Point 2
Cu [wt.%]	80.16	95.72	61.16
Y [wt.%]	3.02	0.32	13.37
O [wt.%]	16.82	3.96	25.48

Tablo 5. % 4 Al₂O₃ ilaveli kontakdan 9000 açma – kapama sonrası alınan nokta analiz değerleri

	Point 0	Point 1	Point 2	Point 3
Cu [wt.%]	63.90	90.00	72.36	61.83
Al [wt.%]	6.38	1.46	4.93	5.07
O [wt.%]	29.72	8.54	22.72	33.11

ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı 1982 yılında Elazığ'da doğdu. 1999 yılında Elazığ Mehmet Akif Lisesinden mezun oldu. Yüksek öğrenimini Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinden 2003 yılında mezun olarak tamamladı. 2004 yılından beri F.Ü Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde Arş. Gör. olarak görev yapmaktadır.