

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



YÜKSEK İLETKEN BAKIR ALAŞIMLARININ ÜRETİLMESİ
VE ELEKTRİK KONTAK PERFORMANSLARININ
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BARIŞ ÜNLÜ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. YAHYA ALTUNPAK

BOLU, NİSAN 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Barış ÜNLÜ tarafından hazırlanan “**Yüksek İletken Bakır Alaşımlarının Üretilmesi ve Elektrik Kontak Performanslarının İncelenmesi**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği kabul edilmiştir.
4/04/2024

Jüri Üyeleri

Danışman
Prof. Dr. Yahya ALTUNPAK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Mustafa AY
Marmara Üniversitesi

İmza

.....

.....

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

.....
BARIŞ ÜNLÜ

ÖZET

YÜKSEK İLETKEN BAKIR ALAŞIMLARININ ÜRETİLMESİ VE ELEKTRİK KONTAK PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI YÜKSEK LİSANS TEZİ

BARIŞ ÜNLÜ

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YAHYA ALTUNPAK)

BOLU, NİSAN - 2024

XV + 99

Bakır elektrik iletkenliği açısından gümüşten sonraki en iyi iletkenidir. Ancak bakır iletkenlik ve mukavemet gibi özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyamaz. Soğuk şekillendirilerek dayanımı arttırılsa bile yüksek sıcaklıklarda hemen yumuşar. Bu problem bakırı alaşım veya kompozit yaparak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla elektrik kontakları için geliştirilmiş birçok bakır ve alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında bakır, nikel ve SiC (Silisyum karbür) tozları ve partikülleri farklı oranlarda karıştırılmış ve elde edilen karışımlar 850 MPa basınç altında sıkıştırılarak şekillendirilmiş ve son olarak 950 °C'de 2 saat boyunca grafitte gömülü halde sinterlenmiştir. Sinterleme işleminden sonra numuneler üzerinde metalografik inceleme, elektrik iletkenliği, sertlik ve yoğunluk gibi ölçümler yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise bazı TM kontak numunelerine sinterleme sıcaklığında ayrıca sıcak presleme (SP) uygulanmış ve numunelerin elektriksel iletkenlik, yoğunluk ve sertlik değişimleri tekrar incelenmiştir. Sıcak presleme öncesi ve sonrası elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan yoğunluk ölçümlerinde bakıra nikel ve silisyum karbür ilavesi yapıldıkça üretilen kontak numunelerin yoğunluğunun azaldığı gözlemlenmiştir. Sertlik ölçümleri Rockwell (HRA) cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bakıra ve bakır-nikel alaşımına silisyum karbür ilave edildiğinde sertliğin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Ayrıca üretilen bakır ve bakır nikel alaşımlarından üretilmiş olan TM numunelerinde SiC partikül oranları arttıkça elektrik iletkenliğinde önemli azalma meydana gelmiştir. Sinterleme sıcaklığında sıcak preslenmiş TM numunelerin yoğunlukları, sertlikleri ve iletkenlik değerlerinde bir miktar daha artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında üretilen TM kontak kompozit numuneleri içerisinde en büyük sertlik değeri (HRA93) sıcak preslenmiş (SP) Cu+%4Ni+%5SiC kompozitinde, en yüksek iletkenlik değerini (%76 IACS) ise sıcak preslenmiş (SP) Cu+%1SiC kompozitinde ölçülmüştür. Ancak hem makul bir elektrik iletkenliğine (%70) hem de iyi bir sertlik ölçüm değerine (HRA72,3) sahip olan sıcak preslenmiş Cu+2Ni+2,5SiC kompozitinin daha uygun bir kontak malzemesi olarak kabul edilebilir.

ANAHTAR KELİMELEER: Elektrik kontak, Cu-Ni, SiC, MMK, Toz metalürji, Elektriksel iletkenlik

ABSTRACT

PRODUCTION OF HIGH CONDUCTIVE COPPER ALLOYS AND INVESTIGATION OF ELECTRIC CONTACT PERFORMANCE

MSC THESIS

BARIŞ ÜNLÜ

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. YAHYA ALTUNPAK)

BOLU, APRIL 2024

XV + 99

Copper is the best conductor after silver in terms of electrical conductivity. However, copper cannot maintain its properties such as conductivity and strength at high temperatures. Even if its strength is increased by cold shaping, it softens immediately at high temperatures. This problem is tried to be solved by making copper alloy or composite. For this purpose, many copper and its alloys developed for electrical contacts are widely used.

Within the scope of this study, copper, nickel and SiC (Silicon carbide) powders and particles were mixed in different proportions and the resulting mixtures were shaped by compression under 850 MPa pressure and finally sintered while embedded in graphite for 2 hours at 950 °C. After the sintering process, measurements such as metallographic examination, electrical conductivity, hardness and density were made on the samples. In the second stage of the study, hot pressing (SP) was also applied to some TM contact samples at the sintering temperature and the electrical conductivity, density and hardness changes of the samples were re-examined. The results obtained before and after hot pressing were compared.

In density measurements, it was observed that the density of the produced contact samples decreased as nickel and silicon carbide were added to copper. Hardness measurements were carried out with a Rockwell (HRA) device. It has been observed that the hardness increases significantly when silicon carbide is added to copper and copper-nickel alloy. In addition, as the SiC particle ratio increased in TM samples produced from copper and copper nickel alloys, a significant decrease in electrical conductivity occurred. It was observed that there was a slight increase in the density, hardness and conductivity values of hot-pressed TM samples at the sintering temperature. Among the TM contact composite samples produced within the scope of this study, the highest hardness value (HRA93) was measured in the hot-pressed (SP) Cu+4%Ni+5%SiC composite, and the highest conductivity value (76% IACS) was measured in the hot-pressed (SP) Cu+1%SiC composite. However, hot-pressed Cu+2Ni+2.5SiC composite, which has both a reasonable electrical conductivity (70%) and a good hardness measurement value (HRA72.3), can be considered a more suitable contact material.

**KEYWORDS: Electrical contact, Cu-Ni, SiC, MMK, Powder metallurgy,
Electrical conductivity**

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xii
FOTOĞRAF LİSTESİ	xiii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xiv
TEŞEKKÜR	xv
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	4
2.1 Kompozit Malzemelerin Özellikleri	6
2.2 Kompozit Malzemelerinin Sınıflandırılması.....	8
2.2.1 Matris Malzemelerine Göre Kompozit Malzemeler.....	8
2.2.1.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)	8
2.2.1.2 Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler (PMK)	12
2.2.1.3 Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler (SMK).....	13
2.2.2 Takviye Malzemesi Geometrisine Göre Kompozit Malzemeler ...	13
2.2.2.1 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler	14
2.2.2.2 Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	14
2.2.2.3 Tabakalı (Lamine) Kompozitler	15
3. SİLİSYUM KARBÜR (SiC)	16
4. BAKIR (CU)	19
4.1 Bakır Alaşımları	21
4.1.1 Pirinçler	22
4.1.2 Bronzlar	23
4.1.2.1 Kalay Bronzları.....	23
4.1.2.2 Alüminyum Bronzları.....	24
4.1.2.3 Nikel Bronzları	26
4.1.2.4 Nikelli Kalay Bronzları	26
4.1.2.5 Bakır-Nikel-Çinko Alaşımları	27
5. ELEKTRİK KONTAK MALZEMESİ	28
5.1 Kontak Malzemelerinin Özellikleri	30
5.2 Kontaklar.....	34
5.2.1 Kontaktör	34

5.2.2 Röleler	34
5.3 Elektrik Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları	34
5.4 Kompozit Elektrik Kontaklar	35
5.5 Elektrik Kontaklarının Hasar Analizi	35
5.5.1 Ark Oluşumu	35
5.5.2 Kaynak Oluşumu	38
5.5.3 Köprü Oluşumu	39
5.6 Elektrik Kontaklarının Kaplanması	40
6. TOZ METALURJİSİ	41
6.1 Toz Metalurjisinin Kullanım Alanları	42
6.2 Türkiyede Toz Metalurjisi	42
6.3 Toz Metalurjisinin Avantajları	44
6.4 Toz Metalurjisinin Dezavantajları	44
6.5 Toz Metalurji Ürünlerinin Özellikleri	45
6.5.1 Mekanik Özellikleri	45
6.5.2 Sertlikleri	45
6.5.3 Mikroyapıları	46
6.5.4 Yüzey Özellikleri	46
6.6 Toz Metalurjisinin Üretim Safhaları	46
6.6.1 Toz Üretimi	46
6.6.2 Karıştırma	49
6.6.3 Presleme	49
6.6.3.1 Tek Yön Presleme	50
6.6.3.2 Çift Yön Presleme	51
6.6.4 Sinterleme	52
6.6.4.1 Katı Hal Sinterlemesi	53
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	55
7.1 Giriş	55
7.2 Çalışmada Kullanılan Tozlar	55
7.3 Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar	56
7.4 Deneysel Çalışmada İzlenen Yol	56
8. DENEYSEL SONUÇLAR	65
8.1 Metalografik İnceleme	65
8.2 Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	70
8.2.1 Sıcak Presleme Sonrası Parçalardaki Yoğunluk Değişimi	73
8.3 Sertlik Ölçüm Sonuçları	76
8.3.1 Sıcak Presleme Sonrasında Parçalardaki Sertlik Değişimi	80
8.4 Elektriksel İletkenlik Ölçüm Sonuçları	83
8.4.1 Sıcak Presleme Sonrasında Parçalardaki Elektriksel İletkenlik Değişimi	87
9. TARTIŞMA	91
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
11. KAYNAKLAR	97

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

<u>Sekil 2.1.</u> Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
<u>Sekil 2.2.</u> Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Alüminyum ve Çeliğe Kıyaslanması.....	8
<u>Sekil 2.3.</u> Endüstriyel üretim yapan firmaların kullanmış olduğu seramik takviye malzemelerinin kullanım oranı.....	9
<u>Sekil 2.4.</u> Farklı mühendislik malzemelerinin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performanslarının gösterimi	10
<u>Sekil 2.5.</u> Takviye geometrisine göre kompozit malzemeler, (a) parçacık takviyeli (b) kısa fiber takviyeli (c) sürekli fiber takviyeli (d) tabakalı kompozit malzemeler.....	14
<u>Sekil 5.1.</u> Akım daralmasının ve gerçek temas yüzeyinin şematik gösterimi ..	29
<u>Sekil 5.2.</u> Bakırın endüstride kullanım alanları	31
<u>Sekil 5.3.</u> Elektrik kontaklarındaki ark oluşumunun şematik gösterimi.....	36
<u>Sekil 5.4.</u> Elektrik Kontaklarında Kontak Açılma Esnasında Oluşan Akım Yoğunluğunun Gösterimi.....	36
<u>Sekil 5.5.</u> Elektrik Kontaklarında Meydana Gelen Elektrik Ark Erozyonunun Şematik Gösterimi.....	37
<u>Sekil 5.6.</u> Elektrik Kontak Malzemelerinde Kaynak Oluşumunun Şematik Gösterimi.....	38
<u>Sekil 5.7.</u> Elektrik Kontak Malzemelerinde Meydana Gelen Statik Kaynak Oluşumunun Şematik Gösterimi	39
<u>Sekil 5.8.</u> Elektrik Kontaklarında Akımın Kesilmesi Esnasında Oluşan Ark Sebebiyle Kontak Malzemesinden Metal Kopması Sonucu Oluşan Aşınmanın Şematik Gösterimi.....	40
<u>Sekil 6.1.</u> Toz Metalurjisi Üretim Yönteminin Aşamaları.....	47
<u>Sekil 6.2.</u> Toz Üretiminde Olası Üretilen Toz Şekilleri ve Tanımları	48
<u>Sekil 6.3.</u> Tek Yönlü Preslemenin Şematik Gösterimi	51
<u>Sekil 6.4.</u> Yoğunluk Dağılımının Tek Yönlü Preslemedeki Görünümü.....	51
<u>Sekil 6.5.</u> Çift Yönlü Preslemenin Şematik Gösterimi	52
<u>Sekil 6.6.</u> Katı Hal Sinterlemenin Aşamaları.....	53
<u>Sekil 6.7.</u> Sinterleme Sırasında Oluşan Boyun, Gözenek Ve Tane Sınırlarının Gösterimi.....	54
<u>Sekil 7.1.</u> Sinterleme Sıcaklık-Zaman Grafiği.....	61
<u>Sekil 7.2.</u> Kompozit Toz Metalürji Ürünlerinin Şematik Üretim Şekli.....	62
<u>Sekil 7.3.</u> Sıcak Presleme Öncesi Yapılan Sinterleme İşleminin Sıcaklık-Zaman Grafiği	64
<u>Sekil 8.1.</u> Farklı oranlarda SiC İçeren içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi	71
<u>Sekil 8.2.</u> Bakır - %1 Nikel İçeren içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi	71
<u>Sekil 8.3.</u> Bakır - %2 Nikel İçeren içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi	72
<u>Sekil 8.4.</u> Bakır - %3 Nikel İçeren içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi	72
<u>Sekil 8.5.</u> Bakır - %4 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi ..	73

<u>Sekil 8.6.</u> Sıcak presleme öncesi ve sonrası farklı oranlarda SiC içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi	74
<u>Sekil 8.7.</u> Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır - %1 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi	74
<u>Sekil 8.8.</u> Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır - %2 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi	75
<u>Sekil 8.9.</u> Sıcak presleme öncesi ve sonrası etkisi Bakır - %3 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi	75
<u>Sekil 8.10.</u> Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır - %4 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının	76
<u>Sekil 8.11.</u> Bakır-Nikel Alaşımlarının Sertlik Değerlerinin %Ni'e Göre Değişimi	77
<u>Sekil 8.12.</u> Cu-SiC Kompozitlerinin Sertlik Değerlerinin %SiC'e Göre Değişimi	77
<u>Sekil 8.13.</u> Cu- %1Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile Değişimi	78
<u>Sekil 8.14.</u> Cu- %2Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi	78
<u>Sekil 8.15.</u> Cu- %3Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi	79
<u>Sekil 8.16.</u> Cu- %4Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi	79
<u>Sekil 8.17.</u> Sıcak Preslenmiş Bakır-Nikel Alaşımlarının Sertlik Değerlerinin %Ni'e Göre Değişimleri.....	80
<u>Sekil 8.18.</u> Sıcak Preslenmiş Cu-SiC Kompozitlerinin Sertlik Değerlerinin %SiC'e Göre Değişimleri.....	81
<u>Sekil 8.19.</u> Sıcak Preslenmiş Cu- %1Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi	81
<u>Sekil 8.20.</u> Sıcak Preslenmiş Cu- %2Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi	82
<u>Sekil 8.21.</u> Sıcak Preslenmiş Cu- %3Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi	82
<u>Sekil 8.22.</u> Sıcak Preslenmiş Cu- %4Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi	83
<u>Sekil 8.23.</u> Bakır-nikel alaşımında elektriksel iletkenliğinin % Ni oranına göre değişimi	84
<u>Sekil 8.24.</u> Cu-SiC kompozitinin elektriksel iletkenliğinin SiC oranına göre değişimi	85
<u>Sekil 8.25.</u> Bakır - %1 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğinin SiC oranına göre değişimi	85
<u>Sekil 8.26.</u> Bakır - %2 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğinin SiC oranına göre değişimi i	86
<u>Sekil 8.27.</u> Bakır - %3 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğinin SiC oranına göre değişimi	86
<u>Sekil 8.28.</u> Bakır - %4 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğinin SiC oranına göre değişimi	87
<u>Sekil 8.29.</u> Sıcak presleme öncesi ve sonrası yapılan Bakır-Nikel alaşımında elektriksel iletkenliğinin %Ni oranına göre değişimi.....	88

<u>Sekil 8.30.</u> Sıcak presleme öncesi ve sonrası yapılan Cu-SiC kompozitinin elektriksel iletkenliğinin %SiC oranına göre değişimi.....	88
<u>Sekil 8.31.</u> Sıcak ve Soğuk Preslenmiş Bakır - % 1 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi.....	89
<u>Sekil 8.32.</u> Sıcak ve Soğuk Preslenmiş Bakır - % 2 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi.....	89
<u>Sekil 8.33.</u> Sıcak ve Soğuk Preslenmiş Bakır - % 3 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi.....	90
<u>Sekil 8.34.</u> Sıcak ve Soğuk Preslenmiş Bakır - % 4 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi.....	90



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<u>Tablo 3.1.</u> SiC ve Cu'ın Fiziksel Özellikleri.....	18
<u>Tablo 4.1.</u> Bakırın Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri.....	20
<u>Tablo 9.1.</u> Sıcak ve soğuk preslenmiş numunelerin elektriksel iletkenlik, sertlik ve yoğunluk değerleri.....	91



FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

<u>Fotoğraf 7.1.</u> Mettler Marka Hassas Terazî	56
<u>Fotoğraf 7.2.</u> TM numune üretiminde kullanılan kalıbın fotoğrafları	58
<u>Fotoğraf 7.3.</u> TM üretiminde kullanılan kalıbın teknik resmi.....	59
<u>Fotoğraf 7.4.</u> Besmak Marka Basma Cihazı	59
<u>Fotoğraf 7.5.</u> Presleme ve sinterleme sonrasında elde edilen bazı TM ürünlerin fotoğrafları.....	60
<u>Fotoğraf 7.6.</u> Protherm Marka Sinterleme Fırını (Kül Fırını) (Max. Sıcaklık 1200°C)	61
<u>Fotoğraf 7.7.</u> Sinterlenmiş ve sıcak preslenmiş bazı TM numuneler.....	64
<u>Fotoğraf 8.1.</u> Cu + % 1 SiC kompozitlerinin mikroskopik görüntüsü (a) 10X büyütme, (b) 20X büyütme, (c) 50X büyütme	66
<u>Fotoğraf 8.2.</u> Cu + % 2,5 SiC kompozitlerinin mikroskopik görüntüsü (a) 10X büyütme, (b) 20X büyütme, (c) 50X büyütme	67
<u>Fotoğraf 8.3.</u> Cu + % 4 SiC kompozitlerinin mikroskopik görüntüsü (a) 10X büyütme, (b) 20X büyütme, (c) 50X büyütme	68
<u>Fotoğraf 8.4.</u> Cu + % 5 SiC kompozitlerinin mikroskopik görüntüsü (a) 10X büyütme, (b) 20X büyütme, (c) 50X büyütme	69
<u>Fotoğraf 8.5.</u> SiC'ün yapı içerisinde gösterimi	70

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

°C	: Santigrat derece
µm	: mikrometre
A	: Amper
Al	: Alüminyum
Al₂O₃	: Alüminyum oksit
Be	: Berilyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
kg	: kilogram
Kn	: Kilo Newton
Mg	: Magnezyum
mm	: milimetre
MMK	: Metal matrisli kompozit
MPa	: Mega paskal
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
PMK	: Polimer matrisli kompozit
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum Karbür
SMK	: Seramik matrisli kompozit
Ti	: Titanyum
TiB₂	: Titanyum Diborür
TiC	: Titanyum Karbür
TM	: Toz Metalurjisi
TM+SP	: Toz Metalurjisi ve Sıcak Presleme
V	: Voltaj
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam aşamasında destek ve emeklerini esirgemeyen, değerli bilgi ve deneyimleri ile bana yol gosteren, danışman hocam sayın Prof. Dr. Yahya Altunpak'a sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitim-öğretim hayatımda ve özellikle tez yazım sürecinde desteğini hiç esirgemeyen değerli eőim, yol arkadaőım Hatice ÜNLÜ'ye sonsuz teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Bakır insanlık tarihinde kullanılan ilk metaldir. İnsanlık tarihi boyunca kullanım açısından demirden sonra gelen ikinci metaldir. Tarih öncesi dönemlerde M.Ö. 4000'den daha önce kullanıldığı düşünülmektedir (Söyler 2007).

Bakırın birçok önemli özellikleri mevcuttur. Yüksek korozyon dayanımı, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik, estetik renk görünümü, yüksek sünekliliğe sahip olmaları ve kolay şekillendirilmeleri bu özelliklerden bazılarıdır. Bu üstün özelliklerden dolayı mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmesine sebep olmuştur. En iyi iletken gümüştür. Gümüştten sonra en iyi iletken ise bakırdır. Altının iletkenliğinden daha yüksek ısı iletkenliği ise gümüş ile bakır arasındadır. Ancak altın ve gümüş değerli metaller oldukları için maliyetleri yüksektir. Bu nedenle mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmezler. Mühendislik uygulamalarında en fazla kullanılan iletkenler ise bakır ve alüminyumdur. Alüminyumun korozyona ilgisi mevcuttur ve yüzeyinde oksit film tabakası oluşur. Bu iletkenlik için istenmeyen bir durumdur. Ayrıca bakırın iletkenliği ve mukavemeti alüminyuma göre daha yüksektir. Bu sebeplerden dolayı en çok tercih edilen metal bakırdır (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

Bakırın mukavemet dayanımı 390 MPa civarındadır. Bu da yüksek olmayan bir değerdir. Ayrıca bakır 100 °C gibi sıcaklıklarda yeniden kristalleşmektedir. Yeniden kristalleşme esnasında dayanımının büyük çoğunluğunu kaybeder. Elektriksel olarak yüksek iletkenliğe ve mekaniksel özellikler olarak saf bakırdan daha iyi sonuçlar veren ürünler elde etmek için bakır alaşımları kullanılmaktadır. Ancak elektrik iletkenlik uygulamalarında iletkenliğin azalması istenmez. Bakıra alaşım elementi ilavesi arttıkça bakırın iletkenliği azalmaktadır. Bu nedenle çoğunlukla bakıra %2'yi geçmeyen oranlarda, bazı özel uygulamalarda ise daha az oranlarda alaşım elementi ilave edilerek alaşımlanırlar. Bakırlar 'az alaşımlı', 'yüksek alaşımlı' ve 'sert bakır alaşımı' olarak adlandırılırlar. Bakıra alaşım elementi olarak genellikle Cr, Zr, Si, P, Ni gibi elementler katılmaktadır. Bu elementlerin hepsi yaşlandırma ile sertleştirilebilirler (Aydın 1997).

İletkenlik uygulamalarında az alaşımlı bakır kullanılmaktadır. Bu bakırın dezavantajı ise yüksek sıcaklıklarda özellikleri hızla kaybederler. Bu nedenle bakıra alümina partikülleri takviye edilmiştir ($Cu + Al_2O_3$) (Deniz 2005).

Bu kompozitler elektrik kontak malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Elektrik kontak malzemesi olarak kullanılacak bakırın hem yüksek iletkenliğe hem de yüksek sıcaklıklara dayanım gibi bazı mekaniksel özelliklerinin iyi olması istenmektedir. Bakıra alümina ilavesi ile hem sertlik arttırılmakta hem de elektrik iletkenliğinde yüksek bir düşüş olmamaktadır. Elektrik iletkenliğinin önemli olduğu uygulamalarda seramik takviye oranı çok önemlidir. Bu nedenle bakıra yapılan takviye oranı yaklaşık %1 civarındadır (Aydın 1997).

Bakıra yalnızca alümina değil, diğer seramik partiküllerinin takviyesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu partikülleri TiC, TiB₂ ve SiC 'dür. Bu sayılan seramikler arasında elastik modülünün yüksekliği, daha yüksek termal iletkenlik gibi nedenlerden dolayı SiC daha caziptir. Bakıra SiC ilavesiyle bakırın dayanımının yükseldiği, iletkenlikte ise çok fazla düşüş olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak bu konuda çok detaylı çalışmalar yapılmamıştır (Bıyık 2006).

Nikel bakırın en önemli alaşım elementlerindedir. Bakır alaşım elementleri endüstride birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu alaşımlara nikel bronzları denilmektedir. Bakıra nikel ilave edilmesiyle çekme ve akma dayanımı önemli ölçüde artmaktadır. Bakıra nikel ilavesiyle elde edilen alaşım bakırın yüksek sıcaklıklardaki özelliklerini kaybetmesini engeller. Ancak nikelin bakıra ilave edilmesiyle elde edilen alaşımların elektriksel iletkenlikleri konusunda çok bir çalışma yoktur (Ataş 2003).

Bu çalışmada bakıra Ni ve SiC takviye edilerek farklı kompozisyonlarda numuneler elde edilmesi ve bunların kontak özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Ni takviyeli alaşım, SiC takviyeli kompozit ve Ni-SiC takviyeli kompozit elde edilmek amaçlanmaktadır. Bu nedenle hazır temin edilen tozlar farklı oranlarda karıştırılarak farklı kompozisyonlarda ürünler elde edilecektir. Farklı kompozisyonlardaki karışımlar toz metalurjisi üretim yöntemi ile üretilecektir. Tozlar kalıba konulduktan sonra 850 MPa yük uygulanarak sıkıştırılacak ve 950 °C'de 2 saat boyunca sinterlenecektir. Sinterlenmiş ürünler mekaniksel, elektriksel ve mikroskobik olarak incelenecektir

Buna ek olarak parçalarda bahsi geçen incelemeler yapıldıktan sonra parçalar bir kez daha sinterlenecek ve sıcak presleme işlemi yapılacaktır. İkinci sinterleme işleminden sonra parçaların soğumasına fırsat verilmeden kalıp içerisine konularak 230 MPa basınç uygulanarak preslenecektir.

İkinci sinterleme işleminde sıcaklık yine 950 °C’de ve süre 2 saattir. Sinterlemeden sonra parçalar soğumadan sıcak preslenecektir. Sıcak presleme sonrasında yine parçalarda mekaniksel, elektriksel incelemelerde bulunulacaktır.



2. KOMPOZİT MALZEMELER

Mühendislik uygulamalarında kullanılan yaklaşık 50.000 çeşitten fazla malzeme bulunmaktadır. Bu kullanılan malzemeler ileri teknoloji geliştirilmiş malzemelerden eski çağlarda kullanılan bakır, dökme demir gibi malzemelere kadar geniş ürün yelpazesine sahiptir. Bu malzemeler genel olarak metaller seramikler ve polimerlerden oluşmaktadırlar. Bu 3 ana grubunda birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemelerde aranan en önemli özelliklerden bazıları akma dayanımı, elastikiyet modülü, kırılma tokluğu, yoğunluk, sürünme direncidir (yüksek sıcaklıklara dayanıklılık), elektriksel iletkenliktir (Ataş 2003).

Mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan malzemeler metallerdir. Metaller polimerlere göre yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı olduğu için yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. Seramiklere göre kırılma dayanımları daha yüksektir. Metaller yüksek mukavemet, yüksek elektriksel iletkenlik, yüksek sıcaklıklara dayanıklılık, yüksek akma dayanımına sahiptirler (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

Polimer malzemelerin yoğunluğu düşüktür ancak komplike parçaların üretilmesine olanak sağlamaktadırlar. İşlenebilirlikleri ve şekillendirilmeleri kolaydır. Ancak yüksek sıcaklıklara dayanımları düşüktür ve bazı mekanik özellikleri yönünden kullanım alanları sınırlanmaktadır (Şafak 2008).

Seramik malzemeler yüksek mukavemete sahiptirler ve yüksek sıcaklıklara dayanımı yüksektir. Seramikler ile metalleri ayıran en önemli özellik seramiklerin neredeyse hiç sünek davranış sergilememeleridir (Alpugan 1981). Seramiklerin yüksek sıcaklıklara dayanımı yüksek olduğu gibi kimyasal kararlılıkları da yüksektir. İletkenlikleri oldukça düşüktür ve işlenebilirlikleri zayıftır. Yüksek ergime sıcaklığına sahip olmaları nedeni ile şekillendirilmeleri oldukça zordur. Seramiklerin kırılma dayanımları bazı mühendislik uygulamalarında kullanımlarını sınırlandırmaktadır (Çalışkan 2008).

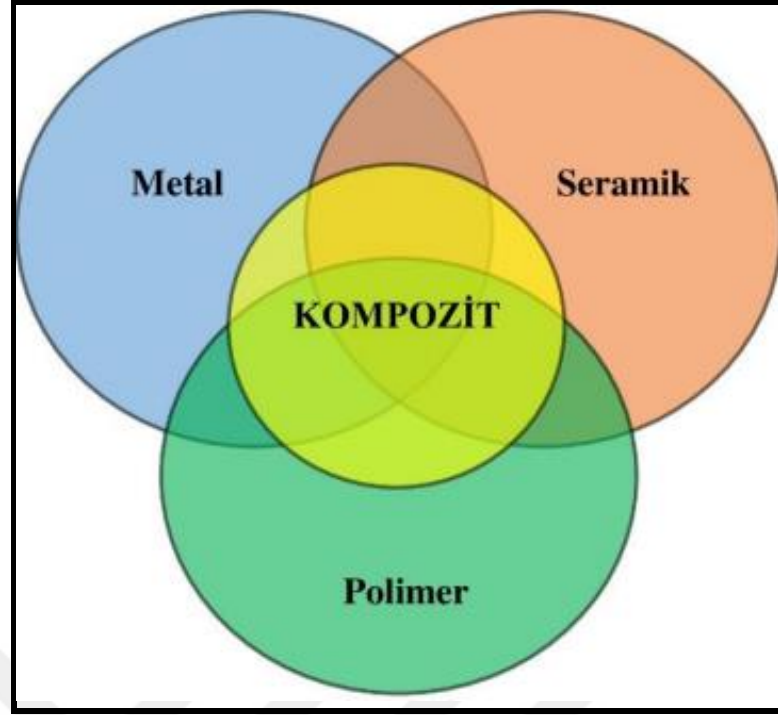
Teknolojinin gelişmesi ile birlikte endüstride kullanılan malzemeler istenilen özellikleri tek başlarına karşılamakta yeterli olmamış ve bu nedenle birkaç mekanik özelliği bünyesinde bulunduran ileri mühendislik malzemelerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Kompozit malzemeler bu ihtiyaçları karşılamak amacıyla ortaya çıkmış ve oldukça önemli malzemelerdir (Bıyık & Aydın 2015).

Kompozit malzemeler birbiri içerisinde çözünmeden (alaşım oluşturmada), iki ve ya daha fazla mühendislik malzemesinin makro boyutta birleştirilmesi sonucu elde edilmektedir. Kompozit malzemeler elde edildiği malzemelerin hafiflik, dayanım, ısı ve elektriksel iletkenlik, kırılma tokluğu, aşınma direnci, korozyon, yüksek sıcaklıklara dayanım gibi üstün özelliklerini barındırırlar. Bu nedenle kompozit malzemeyi bir araya getiren her bir malzemenin özelliklerinin çok net ve öz bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Kompozit malzemeyi bir araya getirecek malzemeler çok iyi araştırılmalı ve elde edilmek istenen özelliklere göre matris ve takviye seçilmelidir (Hiç yılmaz 1999).

Kompozit malzemeler birçok alanda kullanılmaktadır. Kompozitler otomotiv, sağlık, spor, müzik aletleri, ulaşım, savunma sanayi, havacılık ve uzay sanayi, denizcilik ve inşaat sektörü gibi geniş kullanım alanlarına sahiptirler (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

Kompozit malzemelerin mukavemet/yoğunluk ve mukavemet/ağırlık oranlarının düşüktür. Bu nedenle savunma sanayi, uzay ve havacılık, haberleşme gibi hafifliğin öne çıktığı sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Savunma sanayinde kompozit zırhlarda hafiflikleri sayesinde geniş kullanım alanına sahip olmaya başlamışlardır (Çalışkan 2008).

Son yıllarda yaşanan gelişmeler bize kompozit malzemelerin kullanımının yaygınlaşacak artacağını göstermektedir (Gülsoy 1996). Bu malzemelerin gelecekte daha çok kullanılmasında ki ana etkenlerden bir kaç yüksek mukavemet/yoğunluk ve yüksek elastik modül/yoğunluk oranlarının elde edilmesidir. Spesifik alanlarda ve uygulamalarda kompozit malzemelerin kullanımı bu sebeplerden dolayı giderek artmaktadır. Tüm bu argümanlar gelecekte kompozit malzemelerin çok daha yaygın olarak kullanılacağını bize göstermektedir (Bıyık & Aydın 2015).



Şekil 2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması (Aydın 1997).

2. 1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler birbiri içerisinde çözünmeyen, aralarında bileşik oluşturmayan, kimyasal içerikler olarak birbirinden farklı iki veya daha fazla sayıda malzemenin mikro boyutlarda birleştirilmesi ile elde edilen ürünlerdir. Bir malzemenin kompozit malzeme sayılması için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir (Deniz 2005).

Kompozit malzemelerin bu özellikleri;

- İnsan üretimi olmalıdırlar,
- Kimyasal olarak birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin mikro boyutta bir araya gelmesiyle elde edilmelidirler,
- Kompoziti oluşturan bileşenler üç boyutlu olarak birleşmelidirler (matris ve takviye birbirini sarmalı),
- Kompozit malzeme, kendini oluşturan bileşenlerin ayrı ayrı tek başlarına sahip olamayacağı özelliklere sahip olmalıdır (Alpugan 1981).

Kompozit malzemeler iki ana gruptan oluşmaktadır. Bunlardan biri matris diğeri ise takviye fazıdır. Genel olarak matris yapı sünek, düşük dayanıma sahip ve hafif olmaktadır. Takviye fazı ise, yüksek sertliğe, yüksek dayanıma sahip ve rijit olmaktadır. Kompozit malzemelerde yükü takviye fazı taşımaktadır. Burada matrisin görevi takviyeleri bir arada tutmaktır. Kompozit malzemede takviye fazının ve matrisin farklı önemli görevleri vardır (Altınsoy 2009, Balın 2011).

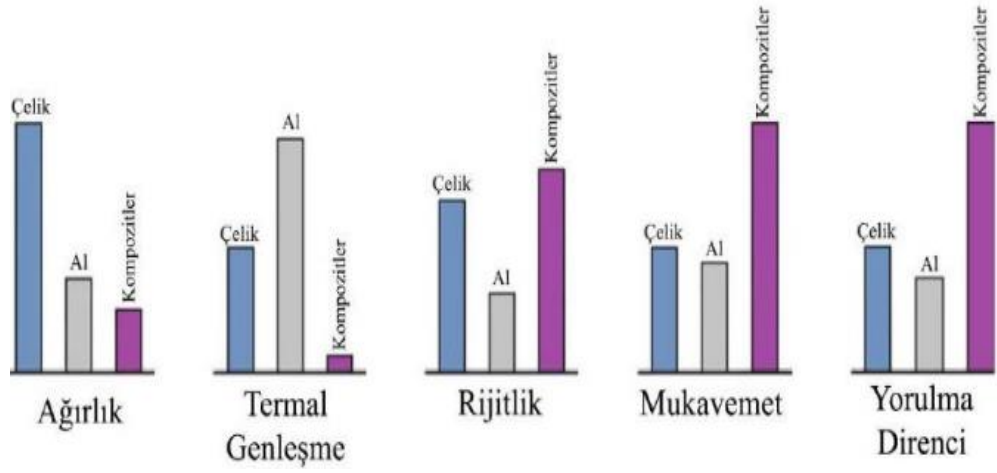
Kompozit malzemelerde matrisin birçok görevi vardır. Bunlar;

- Matris kompozit malzemeye gelen yükleri takviye fazına aktarır ve takviye fazını sararak bir arada tutar.
- Matris takviye fazını dışardan gelecek kimyasal etkilere ve mekanik hasarlara (aşınma) karşı korumaktadır.
- Matris takviye fazını sararak takviye elemanlarının birbirinden ayrı kalmasını sağlar. Takviyelerin matris içerisinde rahat hareket etmesi çatlak ilerlemesini yavaşlatır ve hatta durdurabilir.
- Matrisin yüzey kalitesi iyi olduğundan üretimden sonra başka işlemlere tabi tutulmadan nihai ürün elde edilebilir.
- Matrisin özelliklerine bağlı olarak kompozit malzemenin süneklik, darbe dayanımı gibi özellikleri değişkenlik gösterebilir.

Kompozit malzemelerde takviye fazının görevleri şu şekildedir;

- Kompozit malzemelerde yüklerin çoğunluğunu fiberler taşımaktadır.
- Kompozit malzemenin tokluk, mukavemet gibi özellikleri takviye fazına bağlıdır.
- Kullanılan takviye fazına bağlı olarak elektrik iletkenlik yada yalıtım sağlamak (Alpugan 1981).

Kompozit malzemelerde genellikle takviye fazının elektriksel iletkenlikleri yüksek, termal genleşme katsayıları düşük, ısı iletkenlikleri ve aşınma dayanımları yüksektir. Sonuç olarak kompozit malzemeler diğer malzemelerin tek başına sağlayamadığı üstün özellikleri tek başına karşılamaktadır (Balın 2011).



Şekil 2.2. Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Alüminyum ve Çeliğe Kıyaslanması (Deniz 2005).

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler farklı şekillerde sınıflandırılabilir. En yaygın sınıflandırma kullanılan matris malzemesine ve takviye malzemesinin geometrisine dayanmaktadır. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler metal matrisli kompozitler (MMK), seramik matrisli kompozitler (SMK) ve Polimer matrisli kompozitlerdir (PMK). Bunların yanında intermetalik matrisli kompozitlerde bulunmaktadır. Ancak bu kompozitlerin henüz ticari olarak kullanımı mevcut değildir. Özellik olarak da metal matrisli kompozitlerden farklı özellik sergilemezler. Bu nedenle metal matrisli kompozitler grubunda sınıflandırılırlar. Bunun yanında karbon-karbon matrisli kompozit malzemelerde mevcuttur (karbon matris-karbon takviye) (Ataş 2003).

2.2.1. Matris Malzemelerine Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler matris malzemesine göre 3 ana grupta ele alınabilmektedir. Bunlar;

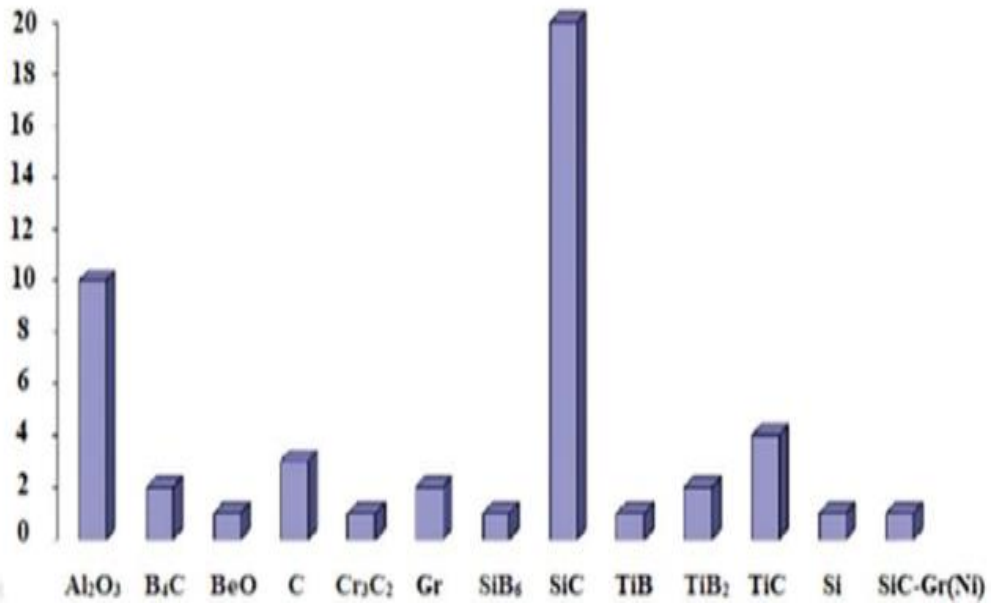
- Metal matrisli kompozit malzemeler
- Polimer matrisli kompozit malzemeler
- Seramik matrisli kompozit malzemeler (Aslanoğlu 1998).

2.2.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)

Ana matris yapısı metalden oluşan kompozit malzemelerdir. Metal matrisli kompozitler; yüksek tokluk ve süneklığe sahip metal matris yapısına yüksek

mukavemet ve yüksek elastik modüle sahip seramik malzemelerin takviyesiyle elde edilirler. Metal matrisli kompozit malzemelerin süneklik, yorulma direnci, elektrik iletkenliği gibi özellikleri seçilen metale bağlıdır (Ataş 2003).

Düşük yoğunluğa ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleri sayesinde tercih edilmektedirler. Özellikle ağırlığın önemli olduğu uygulamalarda tercih sebebidir. Metal matrisli kompozit malzemelerde çoğunlukla ana matris Ti, Al, Cu, Mg, Ni gibi metallerden oluşmaktadır (Bıyık & Aydın 2015).



Şekil 2.3. Endüstriyel üretim yapan firmaların kullanmış olduğu seramik takviye malzemelerinin kullanım oranı (Bıyık & Aydın 2015).

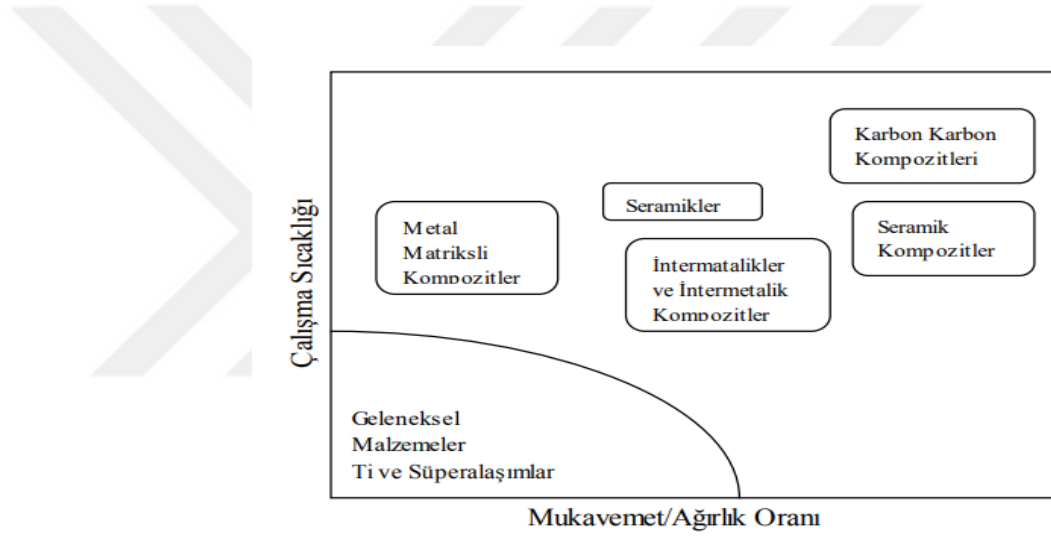
Metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinin asıl amacı ana matrisin dayanımını ve elastikiyetini arttırmaktır. Metal matrisli kompozitlerin takviyesiz metallere göre birçok üstün özelliği bulunmaktadır (Alpugan 1981).

Bunlar;

- Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık
- Yüksek mukavemete sahiptirler (çekme, basma, aşınma, sürünme, kayma vb.)
- Yüksek elastik modülüne sahiptirler
- Düşük yoğunluğa sahiptirler
- Tekrar üretilebilir mikro yapı ve özelliklere sahiptirler

- Düşük termal şok dayanımları vardır ve sıcaklık değişkenliklerinden kolay etkilenirler
- Yüksek termal ve elektrik iletkenliklerine sahiptirler
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet özelliklerini bir araya getirirler (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

Metal matrisli kompozit malzemeler yüksek sıcaklıklara dayanım ve çalışma konusunda geleneksel malzemelere göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Şekil 2.4.'da metal matrisli kompozitlerin ve diğer malzemelerin yüksek sıcaklıklara dayanım grafiği verilmiştir. Metal matrisli kompozitler seramik malzemelere, seramik matrisli kompozit malzemelere göre yüksek sıcaklık dayanımının daha düşük olduğu görülmektedir (Hiçyılmaz 1999).



Şekil 2.4. Farklı mühendislik malzemelerinin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranına göre performanslarının gösterimi (Ataş 2003).

Metal matrisli kompozit malzemeler 20. Yüzyılın yarısından sonra yüksek elektrik iletkenlikleri, üstün mekaniksel özelliklerinden dolayı uzay ve havacılık sektöründe, otomotiv sektöründe ve elektronik alanında kullanılmaya başlanmıştır. Metal matrisli Kompozitler son yıllarda düşük elektriksel direnç, yüksek mukavemet ve iyi termal iletkenliklerinden dolayı elektrik kontak malzemelerinde ve elektronik paketleme alanında kullanılmaya başlanmıştır (Alpugan 1981). Son zamanlarda yüksek oranda seramik içeren metal matrisli kompozitler elektronik paketleme gibi termal yönetim uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Paketleme malzemelerinde kullanılan elektronikler, bölgedeki ısıyı dağıtmak için yüksek termal

iletkenliğe ve parçalar arasındaki termal genişleme uyumsuzluğunu azaltmak amacıyla düşük termal genişlemeye sahip olmalıdırlar. Bahsi geçen yüksek termal iletkenlik ve düşük termal genişleme katsayısına sahip metal matrisli kompozitler, metal ve seramiklerin karıştırılması ile elde edilir. (Ataş 2003).

Metallerin yüksek iletkenlik, süneklik gibi özellikleri ile seramiklerin yüksek dayanım ve yüksek elastik modül gibi özelliklerinin bir araya geldiği metal-seramik kompozitler uzay ve havacılık, savunma sanayi ve otomotiv sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır (Altınsoy 2009).

Takviye çeşidine göre metal matrisli kompozitler aşağıdaki gibi açıklanabilir;

Partikül takviyeli kompozit: İlave edilen takviyenin boyutları $1 \mu m$ ' den büyüktür. İlave edilen takviyenin matrise hacim oranı ise yaklaşık % 5-40 aralığındadır (Aslanoğlu 1998).

Fiber takviyeli kompozit: İlave edilen fiberlerin uzunluğu $0,1 \mu m$ ile $250 \mu m$ arasında olabilmektedir. Metal matrisli kompozitlere takviye edilen fiberlerin hacimce matrise oranı bazı durumlarda % 70'lere kadar çıkabilmektedir. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin ayırt edici özelliklerinden bir tanesi takviyenin diğer ilave yöntemlerine göre daha uzun olmasıdır (Hiçyılmaz 1999).

Dispersiyonla Sertleştirilmiş kompozit: İlave edilen takviyelerin boyutları $0,01 \mu m$ ile $0,1 \mu m$ arasında değişkenlik göstermektedirler. İlave edilen partiküllerin matrise hacimce oranı ise % 1-15 arasında olabilmektedir. Bu Kompozitin en önemli özelliği ise çok küçük boyuttaki partiküllerin çok düzenli bir şekilde dağılmasıdır (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

İstenilen yüksek performansı karşılayabilecek bir kompozit malzeme üretebilmek için matris malzemesinin takviye elyafını iyice ıslatması gerekmektedir. Yani matris malzemesi fiberleri ya da takviye fazını tamamen sarmalıdır (Altınsoy 2009). Olabilen en uygun basınç ve sıcaklıkta hemen katılmalı, matris ve fiberler arasında kimyasal ya da mekanik bağlar oluşmalıdır. Bu oluşan bağlar haricinde üretimden sonra takviye fazı ve matris arasında asla kimyasal bir etkileşim olmamalıdır. Matris malzemesi sürekli olarak kararlı kalabilmelidir. Üretim esnasında takviyeler eğer fiber ise asla hasara uğramamalıdır (çatlama, kırılma vb.). Kompozit malzemenin sıcaklık dayanımını hem matris hem de takviye fazı belirler. Ancak

malzemenin kimyasallara ve neme karşı dayanımını çoğunlukla matris malzemesi belirler (Balın 2011).

Metal matrisli kompozit malzemelerde genellikle kullanılan metaller Mg, Ni, Ti, Al, Cu, ve Zn' dir. Bu metallerin tercih edilmesinin sebebi metal matrisli kompozitlerde düşük yoğunluğa, yüksek dayanım ve tokluğa sahip, mekanik özellikleri yüksek metallerin tercih sebebi olmasıdır. Bu alaşımlarla elde edilen kompozit malzemeler dayanım/özgül ağırlık değerlerinin iyi olması sebebiyle yük taşıyan yapılarda tercih edilirler (Altınsoy 2009). Ayrıca bu metallerin korozyona karşı dayanımlarının yüksek olması tercih edilmelerini arttırmaktadır. Ticari uygulamalarda en çok tercih edilen metal matrisli kompozitler genellikle silisyum karbür (SiC), alüminyum oksit (Alümina- Al_2O_3), Magnezyum (Mg) ve titanyum (Ti) alaşımlarıdır (Ataş 2003).

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde tercih edilebilecek birçok üretim yöntemi mevcuttur ancak bu üretim yöntemlerini 4 ana grupta inceleyebiliriz. Bunlar;

- Toz metalürjisi,
- Difüzyon yöntemi,
- Ekstrüzyon yöntemi,
- Döküm yöntemi

Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde daha ekonomik ve daha hızlı yöntemler buldukça kompozit malzemelerin üretimi de artmaktadır (Altınsoy 2009).

2.2.1.2. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler (PMK)

Kompozit malzemeler arasında en çok kullanılan kompozit türüdür. Bunun en önemli sebepleri üretilmesinin kolay olması ve maliyetinin diğer kompozitlere göre düşük olmasıdır. Polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanılan polimerler termoset ve termoplastikler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Aslanoğlu 1998). Polimer matrisli kompozitlerde takviye olarak genellikle sürekli fiberler kullanılır. Sürekli fiberlerle genellikle kullanılan polimer matrisler ise polyster ve epoksi reçinelerdir. Epoksi reçineli matrisli kompozitlerin en önemli kullanım alanlarından biri havacılıktır sektörüdür. Ancak polimerlerin mekanik özellikleri birçok uygulama için yeterli değildir. Mukavemet, yüksek sıcaklığa dayanımları ve sertlik gibi özellikleri diğer kompozitlere göre düşüktür. Ancak üretim esnasında kullanılacak

sıcaklık, basınç değerlerinin düşük olması ve üretim için gerekli ekipmanların ucuz olması gibi avantajları vardır (Altınsoy 2009).

Cam fiberler, kevlar, boron fiberler ve karbon fiberler polimer matrisli kompozitlerde en çok kullanılan takviyelerdir (Özay 2004).

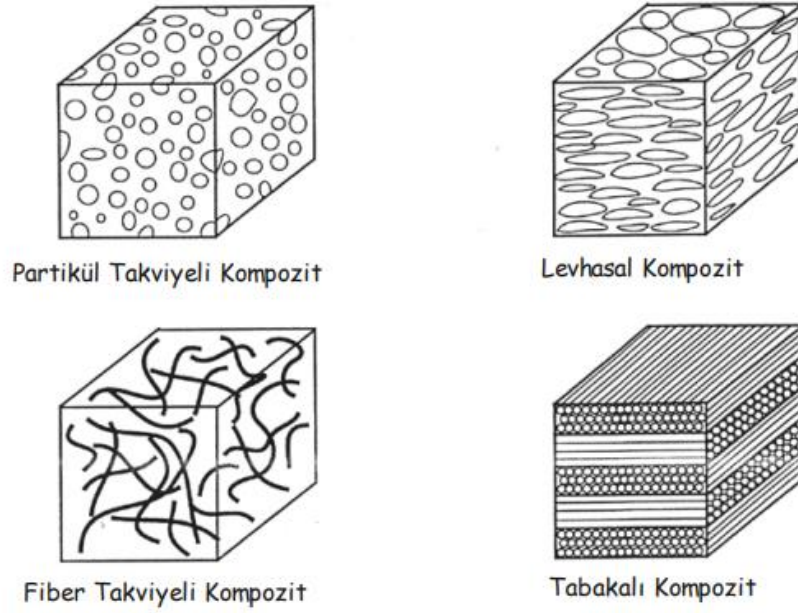
2.2.1.3. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler (SMK)

Polimer matrisli kompozit malzemeler yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygun değildir. Seramik matrisli kompozitler ise yüksek sıcaklıklarda rahatlıkla kullanılabilirler. Seramik matrisli kompozit malzemelerin sertlikleri yüksek, iyi aşınma direncine sahiptirler (Altınsoy 2009). Seramik malzemeler genellikle sert ve kırılmalıdır. Bu nedenle seramik matrisli kompozitlerin mukavemeti istenilen yerlerde kullanılmazlar. Ayrıca seramik matrisli kompozitlerin termal şok dayanımları düşüktür bu nedenle çalışma esnasında ani hasara uğrayabilirler. Ancak seramik malzemelere seramik fiberler takviye edildiğinde ani kırılmalara karşı dayanım artmaktadır ve tokluklarının da artırılması hedeflenmektedir (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

Seramik matrisli kompozit malzemelerin üretiminde ilk aşama takviyelerin matris içerisine katılması, ikinci aşama ise matrisin yoğunlaştırılmasıdır. Üretim metotlarından bazıları ise; viskoz infiltrasyon, kimyasal reaksiyon, sol-jel, toz metalürjisi kapsamında bütün metotlar ve polimer proliz metotlarıdır (Altınsoy 2009).

2.2.2. Takviye Malzemesi Geometrisine Göre Kompozit Malzemeler

Takviye fazının geometrisine göre kompozit malzemeleri 3 başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar; elyaf takviyeli kompozit malzemeler, parçacık takviyeli kompozit malzemeler ve tabakalı kompozit malzemelerdir. Takviye fazının asıl görevi kompozit malzemeye sertlik ve mukavemet kazandırmaktır (Altınsoy 2009).



Şekil 2.5. Takviye geometrisine göre kompozit malzemeler, (a) parçacık takviyeli (b) kısa fiber takviyeli (c) sürekli fiber takviyeli (d) tabakalı kompozit malzemeler (Altınsoy 2009).

2.2.2.1. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bu tür kompozit malzemelerde takviye fazı parçacık şeklindedir. Parçacıkların geometrisi kübik, dörtgen, küresel, düzenli veya düzensiz olabilmektedir. Parçacıklar matris içerisinde homojen şekilde ya da düzensiz şekilde dağılıbilirler. Parçacıkların asıl amacı kompozit malzeme üzerine gelen yükleri taşımak ve dayanımı arttırmaktır. Matrisin görevi ise parçacıkları bir arada tutmak ve gerilimi azaltmaktır. Kompozit malzeme üretiminde iyi bir ara yüzey için matris ve takviye seçimi son derece önemlidir. Ayrıca parçacıkların kompozit malzeme içerisinde homojen dağılımı, kompozit malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir (Altınsoy 2009).

2.2.2.2. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Fiber takviyeli kompozit malzemelerde, matris sünek bir malzemedir takviye fazı ise dayanımı yüksek fiberlerden oluşmaktadır. Fiberler kısa ve sürekli fiber olmak üzere iki farklı şekilde olabilirler. Bu kompozitler yük taşıma konusunda oldukça başarılıdır. Kompozit malzeme dışarıdan gelen yükü matris aracılığı ile fiberlere iletirler. Fiberler matris içerisinde farklı yönlerde dizilebilir ya da hepsi belirli bir doğrultuda yönlendirilebilirler. Fiber matrisli kompozit malzemelerde gerilim fiberlere aksenal olarak geldiğinde, fiberler burulmaya zorlandığından dolayı dayanım

oldukça dūřüktür. Fiberler rastgele, belirli bir yönde düzenlenmiş ya da örgü şeklinde olabilirler. Fiber takviyeli kompozit malzemelerde fiberler karbon, cam ve bor elyaf olabilir (Ozan, Çalığıülü & Taşkın 2006).

2.2.2.3. Tabakalı (Lamine) Kompozitler

Tabakalı kompozitler, farklı özelliklere sahip ya da farklı yönlendirilmiş elyaf katmanlarının bir araya getirilmesi ile elde edilirler. Bu tür kompozitler asgari zırh üretiminde kullanılabilirler. Bu kompozitler hafif olmalarının yanında oldukça mukavimlerdir (Altınsoy 2009).



3. SİLİSYUM KARBÜR (SiC)

Silisyum karbürün simgesi SiC 'dir. SiC bakıra ilave edilerek bakır matrisli kompozit malzeme üretimde takviye malzemesi olarak kullanılabilir. SiC, Al_2O_3 ' dan çok daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir ve yüksek elastik modüle sahiptir. Bakır matrisli SiC takviyeli kompozit malzemeler yüksek ısı ve elektrik iletkenliğe sahip olmasının yanında, kolay kalıplanarak şekillendirilmesi ve düşük üretim maliyetleri sayesinde tercih edilmektedirler (Aydın 1997).

Silisyum karbür, Silisyum ve Karbonun bileşimidir. Kum ile silisyumun kimyasal reaksiyonu sonucu elde edilmektedir. Silisyum karbür çok iyi aşındırma özelliğine sahiptir. Bu nedenle yaklaşık 1 asırdır aşındırma zımpara disklerinde ve farklı aşındırıcılar olarak kullanılmaktadır (Altınsoy 2009).

Silisyum karbür doğada kendiliğinden bulunmayan, kimyasal reaksiyonlar sonucu elde edilen seramik bir malzemedir. SiC yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Diğer seramiklere göre bazı üstün özellikleri vardır

Bunlar;

- Yüksek aşınma direnci ve sertliğe sahiptirler
- Sürtünme katsayıları düşüktür
- Korozyon dayanımları çok yüksektir
- Düşük ısıl genleşmeye katsayısına sahiptirler (elektrik kontaklarında önemlidir)
- Çelikle karşılaştırıldığında daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptirler
- Termal şoklara karşı dayanımları yüksektir.

SiC' lerin diğer seramiklere karşı bu üstün özellikleri sayesinde otomotiv parçalarının üretiminde, aşındırıcı olarak, refrakter ürün olarak, gaz türbinlerinde ve yüksek dayanım gerektiren yerlerde tercih sebebi olmuşlardır. Elektrik iletkenliklerinin düşük olmaması sebebi ile de elektrik kontak malzemelerinin imalatında Cu/SiC kompozit olarak tercih edilirler (Alpugan 1981).

Silisyum karbür sert ve kuvvetli bir malzemedir ve 1400 – 1800 °C'lerde "β" formunda kübik, 2000 °C'ların üzerinde ise, "α" formunda Hegzagonal kristal yapıya sahiptir. Silisyum karbür 800 °C'nin altındaki sıcaklıklarda hiçbir asitten etkilenmemektedir. Korozyon ve asit dayanımı çok yüksektir. Silisyum karbür aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. 1600 °C'ye kadar çalışabilmektedir. 1200

°C'den sonra silisyum karbürün yüzeyini kaplayan bir koruyucu silisyum dioksit (SiO₂) filmi oluşmaktadır. Silisyum karbür yaklaşık 2300 °C'lerde orijinal özelliklerini kaybeder (Şafak 2008).

Silisyum karbürler yüksek sıcaklıklarda çalışması ve iletkenliklerinin iyi olması sebebi ile elektrikli fırınlarda ısıtıcı olarak kullanılmaktadır. Silisyum karbür termal genişleme katsayısının düşük olması ve yüksek ısı iletkenliğe sahip olması sebebiyle elektronik kutularında termal bariyer olarak kullanılmaktadır. Elektronik sistemlerde kullanılan malzemelerde yüksek dayanım, yüksek sıcaklığı dağıtması (yüksek ısı iletkenlik) ve düşük ısı genişleme katsayısı (malzemeler arası genişleme uyumsuzluğu olmaması için) istenmektedir. Silisyum karbür bu istenen özellikleri karşılamaktadır (Ürgen 1997).

Metal matrisli kompozit malzemeler toz metalürjisi, iç oksidasyon ve kimyasal metotla üretilmektedirler (Alpugan 1981).

Bakırın tokluğu yüksektir ve iyi sünekliliğe sahiptir. Bakıra silisyum karbür ilavesi ile bakırın bu özelliklerine yüksek mukavemet ve yüksek elastik modülü de eklemektedir. Bakır-silisyum karbür kompozitler röleler, iletkenler, akım devre kesicileri, elektronik paketleme ve elektrik anahtar yapımında kullanılmaktadır (Taşlıyan 2020).

Silisyum karbürün termal genişleme katsayısı $3.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ve termal iletkenliği 150-230 W/m.K'dir. Bakırın termal genişleme katsayısı $17 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ve termal iletkenliği 400 W/m.K'dir. Silisyum karbür ve bakırın termal iletkenlik ve termal genişleme katsayısındaki büyük farklar sebebi ile Bakır-SiC kompozit üretiminde sorun olmaktadır. Bakıra silisyum karbür ilave edildiğinde hem iletkenliği hem de termal genişleme katsayısı düşecektir (Ozan, Çalığülü & Taşkın 2006).

Bakır-silisyum karbür kompozitlerinin problemlerinden biri de ıslatabilirliklerinin iyi olmamasıdır (Ürgen 1997).

Tablo 3.1. SiC ve Cu'nun Fiziksel Özellikleri (Ürgen 1997).

Özellik	Birim	Malzeme	
		SiC	Cu
Yoğunluk	g/cm ³	3.20-3.26	8.96
Young Modülü	GPa	400-500	110
Ergime Sıcaklığı	°C	2600	1083
Çekme Mukavemeti	GPa	>3.2	0.20-0.24
Termal Genleşme Katsayısı	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5.40	16.5
Poisson Oranı		0.17	0.33
Kayma Modülü	GPa	175	48.3
Termal İletkenlik	W m ⁻¹ K ⁻¹	120	392

4. BAKIR (CU)

Bakır kırmızımsı renge sahip, simgesi Cu olan, yüksek elektriksel ve termal iletkenliğe sahip, dövülebilir ve levha ya da tel haline getirilebilir, çok geniş kullanım alanına sahip bir metaldir. Bakır, bakır cevherlerinden zenginleştirme ve izabe yöntemi ile elde edilmektedir (Ürgen 1997).

Bakırın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Saf bakırın elektrik iletkenliği 400 W/m.K'dir. 390 MPa civarında akma mukavemetine ve 490 MPa civarında çekme dayanımına sahiptir.

Bakır;

- Yüksek elektriksel iletkenliğe
- Yüksek korozyon dayanımına
- Dekoratif bir renge
- Yüksek termal iletkenliğe
- İyi sayılabilecek bir mukavemete
- Kolay şekillendirilebilme

gibi özelliklere sahiptir (Alpugan 1981).

Bakırın sahip olduğu yüksek elektriksel ve yüksek termal iletkenlik sayesinde, elektrik iletim kabloları, iletkenler ve telekomünikasyon kablolarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır 100 °C civarındaki sıcaklıklarda yeterli, süneklik, tokluk ve sertlik ve dayanıma sahiptir. Ancak daha yüksek sıcaklığa sahip çalışma şartlarında yüksek elektrik iletkenliklerini ve dayanımlarını korumalıdır (Ürgen 1997).

Tablo 4.1. Bakırın Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Simgesi	Cu
Sınıfı	Geçiş elementleri
Grup, periyot, blok	11, 4, d
Görünüş	Metalik kahverengi
Kristal Yapısı	Kübik (YMK)
Atom Ağırlığı	63,546 g/mol
Yoğunluğu	8.93 gr/cm ³
Mohs sertliği	3,0
Vickers sertliği	369MPa
Brinell sertliği	874MPa
Ergime Noktası	1083.0 °C (1356.15 °K, 1981.4 °F)
Kaynama Noktası	2567.0 °C (2840.15 °K, 4652.6 °F)
Ergime ısısı	43 k.cal (1 kg'ının ergimesi için gerekli ısı)- 13,26kJ/mol
Buharlaşma ısısı	300,4 kJ/mol
Isı kapasitesi	24,440 (25°C)J/(mol.K)
Elektrik iletme özelliği	%99,95
Elektrik direnci	16,78 nΩ.m(20°C'de)
Isıl iletkenlik	401 W/(m.K)
Isıl genleşme	16,5 mm/(m.K) (25°C'de)
Atom Numarası	29
Atomik yığın	63.546 amu

Bakırın Termal ve Elektriksel İletkenliği

Bir malzemenin elektrik yükü ne kadar rahat geçer ise o malzemenin elektriksel iletkenliği o derecede yüksektir. Birimi SI (Simens Per meter)'dir fakat değerler genellikle %IACS ile ifade edilir. Tavlanan saf bakırın iletkenliği 20 °C' de %100 IACS olarak kabul edilmektedir. Bu değerler tavlanmış 1 m uzunluğuna sahip, 1 gram ağırlığında olan ve 0,15328 ohms dirence sahip bakır tel için geçerlidir. Tüm iletkenlerin değerleri bakırın buradaki iletkenlik değeri üzerinden yorumlanır. Bir malzemenin IACS değeri ne kadar yüksek ise o malzemenin elektriksel iletkenliği o kadar yüksek demektir (Aydın 1997).

Bakırın elektriksel iletkenliğinin yüksek olması, korozyona karşı dayanımının yüksek olması, kolay şekillendirilmesi ve kolay işlenebilmesi gibi sebeplerden dolayı bir çok alanda tercih edilmesine sebep olmuştur (Sarıtaş 1994).

Bakır;

- Tel
- Motor bobini
- Jeneratörler

- Transformatörler
- Elektrikli trenlerin havai hatları
- Trolleybüs baraları
- Endüstrilere ve evlere elektrik enerjisi nakleden iletim hatlarında
- Radyatörler ve yağ soğutucuları
- Yüksek fırın tüyeri, yastık radyatör ve monkilerin yapımında
- Ark ocaklarının elektrod tutucu ve kollarının yapımında

kullanılmaktadır (Aydın 1997).

Bakır en çok kullanıldığı alanlar elektrik üretim ve iletim hatları, inşaat, makine ve ulaşım alanındadır. Jenaratör, trafo gibi elektriğin üretildiği yerlerde ve enerji nakil hatları ve kullanım alanlarında (motor, elektrikli aletler) bakır hem iyi iletken hem de ekonomik olması sebebiyle tercih sebebi haline getirmiştir. Endüstride kullanılan bakırın yaklaşık %80'i elektrik-elektronik endüstrisinde kalan yaklaşık %20'lik kısmı ise bakır alaşımlarında (bronz,pirin vb) kullanılmaktadır (Çalışkan 2008).

Bakıra İlave Edilen Alaşım Elementleri

Saf bakıra katılan her elementin bakır üzerinde etkileri vardır. Bakıra ilave edilen elementler alüminyum, berilyum, kadmiyum, arsenik, kobalt, demir, kurşun, nikel, manganez, fosfor, silisyum, gümüş, kükürt, kalay, çinko, zirkonyumdur. Bakıra ilave edilen her elementin bakır üzerinde farklı olumlu etkileri vardır (Ozan, Çalığülü & Taşkın 2006).

4.1. Bakır Alaşımları

Mühendislik uygulamalarında bakır ve bakır alaşımları en yaygın kullanılan malzemelerdendir. Bakır alaşımlarının özellikleri diğer malzemelere göre daha üstün olduğundan ve daha iyi kombinasyon yapılabildiğinden daha çok tercih edilmelerine sebep olmaktadır. Bakır ve alaşımlarının yüksek elektrik, yüksek ısı iletkenlikleri, düşük yoğunluk, yüksek dayanım, yüksek korozyon dayanımı ve kolay şekillendirilebilmesi bahsi geçen üstün özelliklerdendir (Saritaş, Türker& Durlu 2007).

Bakırda olduğu gibi bakır alaşımları da çok iyi elektrik ve ısı iletme özelliğine sahiptirler. Tercih edilmelerinin en önemli iki sebebi aslında bunlardır. Alaşımlama tahmin edileceği gibi elektrik iletkenliğini düşürmektedir, termal iletkenliğe ise etkisi daha azdır. Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği istenen uygulamalarda bakıra ilave edilecek alaşımın oranı düşük olmaktadır (Bıyık, Aydın 2014).

Bakır ve alaşımları içerisinde katılan alaşım elementine göre isimlendirilirler. Bakır alaşımları bronzlar, pirinçler, bakır nikeller ve bakır gümüşlerdir (Ürgen 1997).

4.1.1. Pirinçler

Bakıra çinkonun farklı oranlarda ilave edilmesiyle elde edilen yeni alaşıma pirinç denir. Pirinçlerin renkleri sarı renkte olduğu için bunlara sanayide sarı da denmektedir. Pirinçlerin mukavemet ve korozyon dayanımları çok yüksektir. Pirinçlerin mekanik özellikleri ise bakıra ilave edilen çinkonun oranı ile bağlantılıdır. Pirinçler en çok kullanılan alaşım türüdür ve demir dışı alaşımlarının en önemlisidir. Endüstride kullanılan pirinç alaşımları yalnızca bakıra çinko ilavesi ile değil diğer alaşım elementlerini de içerirler. Pirinçlerin en önemli özellikleri normal şartlardaki atmosfer korozyonuna çok yüksek dayanım göstermeleridir. Pirinçler hem sıcak hem de soğuk olarak şekillendirilebilirler (Bıyık, Aydın 2014). Kolay lehim olurlar, sıcak dövülme ve şekillendirmeye ve derin çekmeye uygundur. Pirinçlerin birçok önemli avantajları vardır. Bunlar;

- Yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik
- Kolay işlenebilirlik
- Özelliklerinde değişim olmadan tekrar kullanılabilme
- Kolay kaynaklanabilme
- Kolay dövülebilirlik
- Kıvılcım çıkartmazlar
- Değişik şekil ve özelliklerde üretilebilme
- Yüksek aşınma dayanımı
- 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda özelliklerinde değişim ya da azalma olmaması
- Ekonomik olarak üretilmesi
- İyi derecede mukavemete sahip olması
- İyi korozyon dayanımlarının olması (Gök 2010).

Endüstride kullanılan pirinç alaşımlarında kullanılan bakır oranının en az %54 olması gerekmektedir. Eğer bakır bu oranın altında kullanılırsa malzeme çok sert ve kırılgan olmaktadır. Böyle bir ürünün de endüstride yeri bulunmamaktadır (Ürgen 1997).

Pirinçler iki grupta ele alınabilirler. Bunlar;

- Bakır oranının %61'den fazla olduğu alaşımlar (alfa alaşımları)

- Bakır oranının %54 ile % 61 arasında olduğu alaşımlar (alfa + beta alaşımları)

Pirinçlerin özelliklerini alaşımın içerisinde bulunan alfa ve beta fazlarının miktarı belirlemektedir. Alfa alaşımları daha çok soğuk şekillendirmeye, beta alaşımları ise sıcak şekillendirmeye (dövme, ekstrüzyon) uygundur (Söyler 2007).

Cuprass Serisi Özel Pirinçler

Bakırın özelliklerini iyileştirmek için bakıra yalnızca pirinç ilave edilmez. Pirinç elde etmek amacıyla bakıra çinkonun yanı sıra nikel, mangan, demir, kalay ya da silisyum elementi de ilave edilebilir (Gülsoy 1996). Cuprass serisi özel pirinç denilen bu pirinçlere ilave edilen element miktarı en fazla %5 olmalıdır. Bakıra ilave edilen bu elementler bakırın uzama özellikleri fazla etkilemeden çekme mukavemetini arttırmırlar. Birden fazla farklı element içeren bakıra yüksek mukavemetli pirinç adı verilmiştir (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

Endüstride Pirincin Tercih Edildiği Alanlar:

- Dekoratif metal işlerinde, ucuz mücevher imalatı ve mimari uygulamalarında %5-20 arasında çinko içeren pirinçler tercih edilirler. Bu pirinçlerin renkleri dekoratif ürünler için oldukça uygundur.
- Tel yapımında, çubuk, mermi kovanı ve kondansatör boru imalatında yüksek uzamaya sahip oldukları için %30-70 çinko içeren pirinçler tercih edilirler.
- Alfa-beta pirinçlerinin yüzde uzama değerleri düşüktür. %40-43 arasında çinko içeren bu pirinçler çok kolay işlenebilirler. Alfa-beta pirinçleri sıcak haddelemeye, ekstrüzyona haddelemeye ve presleme için idealdir (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

4.1.2. Bronzlar

Bakır içerisine çinko değil, kalay ilave edildiğinde elde edilen ürüne bronz ismi verilmektedir. Bronzların isimleri ana alaşım elementin ismi ile adlandırılırlar. Kısacası bakırın çinko içermeyen alaşımlarına bronz denilmektedir. Klasik bronzlar genellikle bakır-kalay alaşımlarıdır (Söyler 2007).

4.1.2.1. Kalay Bronzları

Bakıra belirli oranlarda kalay katılarak elde edilen kalay bronzları endüstride en çok tercih edilen bronz türüdür. Kalay bronzlarının en önemli özellikleri suya karşı

yüksek korozyon dayanımına sahiptirler. Bunun yanı sıra atmosferik korozyona karşı da dayanımları oldukça yüksektir ve aşınmaya karşı dirençleri yüksektir. Çok yüksek yağlama kabiliyetine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı yatak imalatında tercih edilmektedirler (Hoyner 1984). Ülkemizde düşük kalay içeren kalay bronzları daha çok imal edilmektedir. Bu bronzların sertlikleri düşüktür ve bu sebepten dolayı sıvama denilen olay meydana gelebilmektedir. Düşük kalay içeren bronzlar çok çabuk aşınmaktadır ancak üretimi yüksek kalay içeren bronzlara göre daha kolaydır (Bıyık 2006).

İçeriğinde % 6 kalay içeren bronzlar soğuk işleme ve sıcak işlemeye müsaittir. Bakır içerisindeki kalay miktarı ne kadar artar ise bronzun mukavemeti o kadar artar. Kalay miktarının artması aynı zamanda bronzun uzama kabiliyetini düşürmektedir. İçeriğinde % 10-12 oranında kalay içeren bronzlar mekanik özellikleri en ideal olanlarıdır. Bu bronzlar döküm parçalarında daha çok tercih edilmektedir. Bu tip bronzlar içeriğinde kalay, nikel, kurşun ve fosfor bulunmaktadır (Söyler 2007).

4.1.2.2. Alüminyum Bronzları

Bakır içerisine yaklaşık % 14 oranında alüminyum ilave edilmesiyle elde edilen bakır esaslı alaşımlardır. Diğer alaşımların sağlayamadığı mekaniksel özellikleri alüminyum bronzları sağlamaktadır (Bıyık 2006). Alüminyum bronzlarının bazı cinslerinin sertlikleri 40 – 42 HRC değerlerine kadar çıkmaktadır. Alüminyum bronzlarının aşınma dayanımları yüksektir bu nedenle kalıpcılık imalatında çeliğe alternatif olarak kullanılmaktadır. Çelikten daha iyi ısıl iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle plastik enjeksiyon kalıpcılığında da tercih edilmektedir. Düşük sürtünme katsayılarına sahip olmaları nedeni ile sıvama kalıplarında kullanılmaktadır (Bostan 2003).

Alüminyum bronzları dört farklı grupta incelenebilir. Bunlar;

- Alfa alaşımları
- İki fazlı alaşımlar
- Silisyum bronzları
- Bakır-mangan-alüminyum bronzları (Söyler 2007).

Alfa alaşımları

Bu bronzlar düşük oranda alaşım elementi içerdikleri için sıcak ve soğuk olarak işleme kabiliyetleri iyidir. Bu alaşımlarda % 8 den daha az alüminyum bulunur. Boru,

levha, şerit ve tel gibi parçalar soğuk şekillendirme ile üretilebilirler (Lopez, Corredor, Camurri, Vergara & Jimenez 2003).

İki fazlı alaşımlar

Bakır içerisine alüminyumdan ayrı mukavemet arttırıcı olarak demir ve nikel ilave edilir. Bu bronz çeşidinde bakır içerisindeki alüminyum % 8-10 arasındadır. Alüminyum bu oranlarda bakıra ilave edildiğinde beta fazı ortaya çıkar ve bronzun mukavemeti artar. Bu alaşımlar sıcak işleme ve döküm ile imal edilebilirler. Bakır içerisinde alüminyum miktarı %10 u geçtiğinde dayanım ve sertlik daha da artar. Bu alaşımlar yüksek aşınma dayanımı istenen özel uygulamalarda tercih edilirler (Taşlıyan 2020).

Silisyum bronzları

Bakır içerisine hem alüminyum hem de silisyum ilave edildiğinde silisyum bronzları elde edilir. Bakıra yaklaşık %2 silisyum ve %6 oranında alüminyum ilave edilmesiyle elde edilirler. Bu alaşımlar çok yüksek mukavemet değerlerine, kolay dövülme ve sıcak işleme özelliklerine sahiptirler. Alaşım içerisine silisyum ilavesi bronzun işleme kabiliyetini arttırmaktadır (Gökmese, Bostan 2013).

Bakır-mangan-alüminyum bronzları

Bu bronzlar özellikle pervane imalatı için geliştirilmiştir. Mangan bu bronzda ana alaşım elementi olup bakır içerisinde yaklaşık %13 civarındadır. Bu alaşım yüksek döküm kabiliyetine sahiptir. Bu alaşıma manganın yanında yaklaşık %8-9 oranında alüminyum ilave edilir. Bu alaşımlar alüminyum bronzları kadar yüksek mukavemete sahip değildir. Yüksek kaynaklanabilirliğe ve çok yüksek korozyon dayanımına sahiptirler (Boz 2003).

Alüminyum bronzlarının endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları;

- Pompalar ve valfler
- Pervaneler
- Haddehane ekipmanları
- Burçlar
- Kızaklar
- Makine parçaları
- Derin sıvama kalıpları

- Şaftlar
- Kompresörler
- Eşanjör parçaları
- Basınçlı döküm parçaları
- Kıvılcım çıkartmayan el aletleri (Söyler 2007).

4.1.2.3. Nikel Bronzları

Bakıra nikel ilave edilmesiyle elde edilen alaşımlara nikel bronzları denilmektedir. Bakıra nikel ilave edilmesiyle çekme ve akma dayanımları önemli ölçüde artar ve yüksek sıcaklıklarda alaşımın mekanik özelliklerinin azalmasını engeller. Nikel ilave edildiğinde alaşımın tane boyutu küçülür, korozyon dayanımı artar ve ısıl işlem uygulanarak alaşımın fiziksel özellikleri artırılır. Nikel bronzlarını dört ana grupta inceleyebiliriz. Bunlar;

- % 5 den daha az nikel içeren bakır alaşımları
- % 5 ile % 10 arasında nikel içeren bakır alaşımları
- %10 ile %20 arasında nikel içeren bakır alaşımları
- Yüksek nikelli bronzlar (Onur 1996).

Bakıra yaklaşık %2 oranlarında nikel ilave edilen alaşımlar yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. %5 den daha az nikel içeren bakır-nikel alaşımları geleneksel döküm yöntemleri ile imal edilebilirler (Callister 2007). Alaşım içerisindeki nikel miktarı arttıkça alaşımların ergime ve döküm sıcaklıkları artmaktadır. Alaşımdaki nikel miktarı %10 u geçtiğinde yapıdaki nikel ortamdaki oksitlerle bileşik oluşturur ve ortama karbondioksit verir. Bu dökümden problemlere sebep olmaktadır. Gaz dökümden katılaşma esnasında dışarı atılarak dökülen parçada gaz boşluklarına sebep olur (Balın 2011).

4.1.2.4. Nikelli kalay bronzları

Bu alaşımda bakır yaklaşık %4-6 oranında nikel içerir. Bunun yanı sıra alaşımda kalay da mevcuttur. Nikelli kalay bronzu yüksek aşınma ve yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Mukavemet değerleri artırılmıştır. Bu nedenle birçok kullanım alanı mevcuttur (Çalışkan 2008).

Nikelli kalay bronzlarının kullanım alanları;

- Yataklar
- Nozullar
- Dişliler,somunlar
- Pompa ve valf parçaları
- Elektrik kontak parçaları ve devre kesici parçalar (Onur 1996).

4.1.2.5. Bakır-Nikel-Çinko Alaşımaları

Adından da anlaşılacağı gibi alaşım bakır, nikel ve çinko içermektedir. Alaşım içerisinde nikel miktarı arttıkça alaşımın ergime sıcaklığı artmaktadır. Alaşımın rengi gümüş rengindedir. Bu nedenle alaşımın bir diğer adı nikel gümüşüdür. Nikel arttıkça alaşımın elektrik iletkenliği azalır ve korozyon dayanımı da artmaktadır. Çinko alaşıma mukavemet kazandırır. Bunun yanında maliyeti düşürür. Çinko %37 oranını geçtiğinde alaşımda kırılmalık artar. Nikel gümüşleri ikiye ayrılır (Şafak 2008).

- Döküm alaşımı: %37 den fazla çinko içerirler ve serttirler.
- İşlem alaşımı: Yumuşaktırlar ve deformasyon ile şekillendirilmeleri iyidir.

5. ELEKTRİK KONTAK MALZEMELERİ

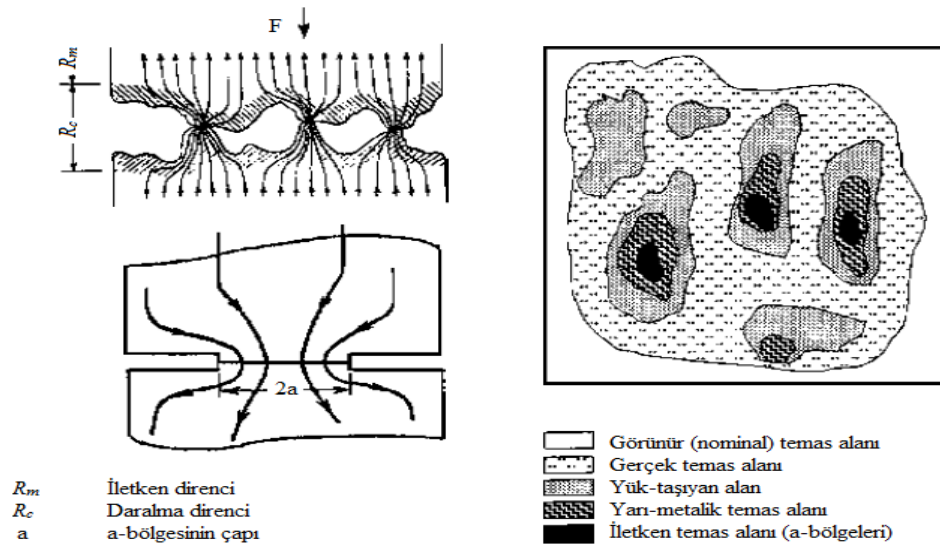
Birbirine temas eden iletken iki parça arasında yer alan, kayarak ya da sabit temas eden, devreden geçen akım ve gerilimi kontrol eden metal esaslı bağlantı elemanlarına kontak denir. Elektrik kontakları bir akım devresinin açılması ya da kapanması amacıyla kullanılırlar. Kontak bağlantı elemanları çoğunlukla katıdır. İletken iki metalin teması sonucu aralarında elektrik akımı meydana gelir ve bu akıma karşı da bir direnç ortaya çıkar. Bu dirence kontak direnci denilmektedir. Bu direncin meydana gelmesinin nedeni ise alaşımda bulunan istenmeyen fazların ve metallerin sahip olduğu öz dirençtir. Elektrik kontak malzemesini meydana getiren faz veya metallerin öz direnci ne kadar yüksek ise kontak direnci o kadar yüksek olur. Üretilen kontak malzemesinin yüzeyindeki pürüzlülükler kontak malzemesinin tam temas etmesini engellerler. Temas ne kadar az olur ise kontak direnci daha da artar (Balın 2011).

Kontak direncini metalin öz direnci yanı sıra geçiş direnci ve film direnci de oluşturur. Kısacası kontak malzemesinin direnci; öz direnç, geçiş direnci ve film direncinin toplamına eşittir. Kontak malzemesinin yüzeyinin pürüzlü olması kontak malzemesinde tam teması engeller. Aynı kesite sahip iki metal parçası üst üste geldiğinde, akımın bu tüm yüzeylerden aktığı yani kapladığı düşünülür. Ancak kontak malzemesinin yüzeyinin pürüzlü olması nedeniyle gerçekte akım geçen yüzey tüm kesitten daha düşüktür. Şekil 5.1.'de görüldüğü üzere birbirine temas halindeki iletkenin temas alanı gösterilmiştir. a-bölgeleri pürüzlü yüzeye sahip olan kontak malzemesinin temas eden ve elektrik akımı geçen bölgelerini göstermektedir (Hiçyılmaz 1999).

Kontak malzemesinin yüzeylerinde oluşan filmler kontak malzemesinin direncini arttırmaktadır. Bu filmler kontak malzemesinin atmosferik hava ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu filmler genellikle oksit ve sülfür formunda olmaktadır. Kontak malzemesi bakır ise oksit, kontak malzemesi gümüş ise daha çok sülfür oluşumu ortaya çıkmaktadır. Bu oluşan oksit ve sülfür film tabakaları genellikle yarı iletken, bazı durumlarda ise yalıtkan durumundadırlar. Bu oluşan oksit ve sülfür tabakaları kontak malzemesinin direncini çok fazla arttırmaları. Hatta bazen bu film tabakaları nedeni ile kontak malzemesi görevini yapamaz hale gelir (Çalışkan 2008).

Kontak malzemesinin temas alanı yalnızca yüzeydeki pürüzlülüğe bağlı değildir. Aynı zamanda kontak malzemelerini birbirlerine iten kuvvetlerle de alakalıdır. Kontakları birbirine iten kuvvet arttıkça oksit ve sülfür tabakaları kırılır, böylece kontakların temas yüzeyi artar. Bu durum sonucunda da geçiş direnci azalır. Bu sonuçlar orta ve yüksek akım için geçerlidir. Düşük yük uygulamalarında ise akım şiddeti ve kontak itme kuvveti oksit filminin kırılması için yeterli değildir. Düşük elektriksel iletkenlik olan durumlarda oksit tabakası kırılmayacağından yüksek oksitlenme dayanımına sahip metallere ihtiyaç duyulur. Bu metaller platin, rodyum, paladyum ve altın gibi kıymetli metallerdir. Bu metallerin tercih edilme sebebi yüksek sıcaklıklarda hatta ergime sıcaklığına yakın sıcaklıklarında oksit ya da sülfür film tabakası oluşturmamalarıdır (Bıyık & Aydın 2015).

Geçiş direncini etkileyen faktörlerden bir tanesi de temas eden kontak malzemeleri arasına giren toz veya diğer kirleticilerdir. Bu durum sonucunda kontak malzemesi yüzeyinde çukurlaşmayı artırır ve ark-erozyonu meydana gelmektedir. Bu durumda da kontak malzemesinin iletkenliği azalmaktadır. Kontak malzemelerinin yüzeylerinde bulunan kir ve parçalarla kontak malzemesi reaksiyona girer. Bunun sonucunda da kontak malzemesinin iletkenliği etkilenmektedir. Bu reaksiyon ürünleri metal yüzeylerine yapıştırıcı kuvvet etkisi yaparak yüzey gerilimini arttırmaktadır. Bunun sonucunda da kontak malzemesinin direnci artmaktadır (Şafak 2008).



Şekil 5.1. Akım daralmasını ve gerçek temas yüzeyinin şematik gösterimi (Hiçyılmaz 1999).

Kısacası kontak malzemesinin malzeme özellikleri, kontak kuvveti, sürtünme, mekaniksel ve elektriksel kontak aşınması ve atmosfer koşulları gibi pek çok değişken parametreye bağlıdır (Onur 1996).

Elektrik kontaklarının arızalanması, şehir elektrik şebeke hatlarında arıza, telefon altyapısının çökmesine, hatta havada uçan uçağın kontrolünün kaybedilmesine kadar birçok kazaya sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle seçilecek kontak malzemesinin çok iyi bir iletkenliğe sahip olması, oksitlere, kükürtlere ve diğer bileşiklere karşı yüksek korozyon dayanımı ve yüksek ergime sıcaklıkları, yüksek sertlik ve dayanım gibi özelliklere sahip olmalıdırlar. Ancak bu özellikleri tek başına karşılayabilen bir kontak malzemesi yoktur. Bu nedenle istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri, güvenlik şartlarını, bulunabilirlik, uzun ömür gibi şartları karşılayabilecek kompozit bir malzeme gerekmektedir. Bakır esaslı kompozit malzemeler bu şartları sağladığı için, çoğu elektriksel uygulamalarda bu kompozitler kullanılır (Hiçyılmaz 1999).

5.1. Kontak Malzemelerinin Özellikleri

Kontak malzemeleri yüksek elektriksel ve termal iletkenliğine sahip olmalıdırlar. Elektrik iletkenliği yüksek olan kontak malzemeleri elektrik akımını çok daha iyi iletirler. Elektrik akımının kolay iletilmesi aynı zamanda malzemeyi akım kaynaklı ısınmalara karşı korur. Bunu termal iletkenliğinin yüksek olması sayesinde yapar. Elektrik akımının geçmesi esnasında ısınan kontak malzemesi temas yüzeylerinde oluşan lokal ısıyı uzaklaştırarak olası ark oluşumunu engellerler. Kontak malzemelerinin iyi iletkenlik özelliklerinin yanı sıra fiziksel özelliklerinin de iyi olması istenir. Kontak malzemesi çalışma esnasında aşınma gibi mekanik etkilere karşı dayanabilmelidir (Campbell, Raman & Fields 1998).

Elektrik kontak malzemesinin üretimi esnasında malzeme seçimi çok önemlidir. Kontak malzemesinin seçiminde metalin mekanik, kimyasal, elektriksel ve tribolojik özellikleri gibi özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun nedeni çalışma esnasında kontak malzemesi mekaniksel, fiziksel etkilerin yanı sıra çevresel etkilere de maruz kalmaktadır. Elektrik kontak malzemelerinden istenen özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Ark-erozyonuna karşı yüksek dayanım
- Düşük kontak direnci
- Yüksek elektriksel ve termal iletim

- Yanma ve alevlenmeye karşı dayanım
- Korozyona ve oksitlenmeye karşı yüksek dayanım
- Kaynak olma ya da yapışmaya karşı direnç (Onur 1996).

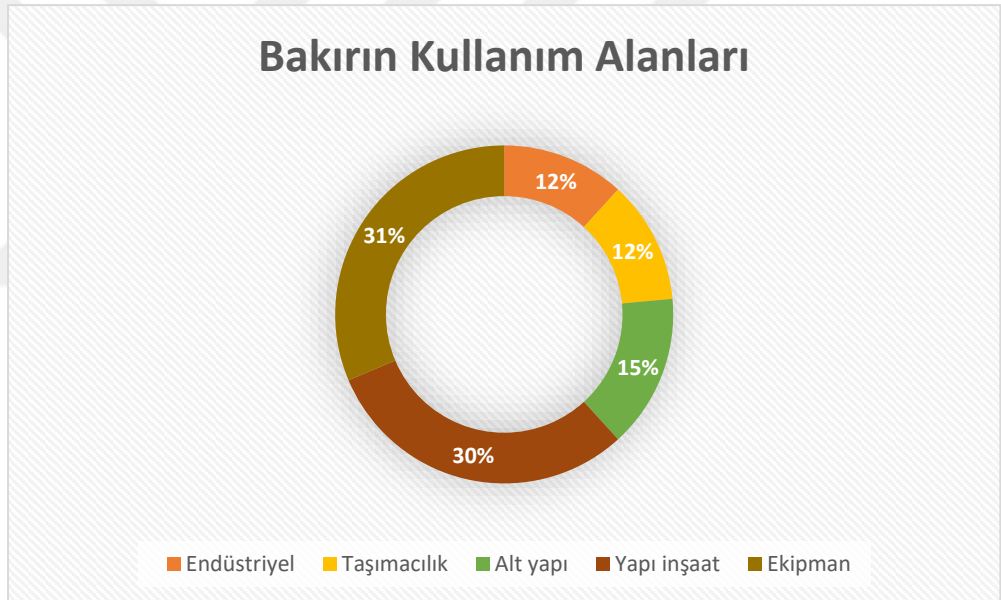
Düşük gerilim uygulamalarında kullanılan gümüş kontaklarında sülfattan dolayı bir kararırma meydana gelmektedir. Bunu engellemek amacıyla gümüşe belirli oranlarda paladyum gibi kıymetli metal ilavesi yapılabilir. Ancak bu kararırmayı engellemek için ilave edilecek paladyum yaklaşık %50 oranlarındadır ve bu hem kontak direncini hem de kontak üretim maliyetini arttırmaktadır. Oksitlenme ve korozyon dayanımının yüksek olması istenen uygulamalarda altın ilavesi tercih edilebilir (Odabaşı 2017). Ancak altının da ergime sıcaklığının düşük olması ve sert bir malzeme olmaması nedeniyle kaynak oluşturma veya kontakların birbirine yapışması söz konusudur. Burada malzemenin sertliğini arttırmak amacıyla gümüş ya da bakır ilavesi yapılabilir. Ancak bu ilaveler ile kontak malzemesinin korozyon ve oksidasyon dayanımı düşmektedir. Malzemenin özelliklerini değiştirmek amacıyla yapılan her değişiklik malzemenin özelliklerine olumlu ve olumsuz etkisi mevcuttur. (Odabaşı 2017). Bu alaşımlardan bazıları şu şekildedir;

- Ag-Cd
- Ag-Cu,
- Ag-Pd,
- Cu-Cr,
- Cu-Ag-Cd,
- Au-Ni,
- Au-Ag-Pt,
- Pt-Ni,
- Pt-W,
- Pt-Ir,
- Pt-Rh

Eğer elektrik kontaklarında yüksek elektrik iletkenliği, yüksek termal iletkenlik, yüksek dayanım, korozyon dayanımı gibi birçok özellik aynı anda istenirse sermet adı verilen malzemeler kullanılabilir. Sermetler iki veya daha fazla bileşenden oluşan alaşım ya da kompozitlere verilen isimdir. Bakır ve tungsten içeren kontak

malzemeleri sermetlere örnektir. Burada bakır yüksek elektriksel ve termal iletkenlik, tungsten ise yüksek aşınma dayanımı, yüksek sertlik ve ark dayanımı sağlamaktadır. Bu özellikler bakır-tungsten oranlarına göre değişiklik göstermektedir (Çalışkan 2008).

Elektrik kontak malzemelerinde kullanılan bakırın %99,99 saflıkta olması istenir. Bakırın içerisinde kirlilik, gaz boşlukları istenmemektedir. Aksi durumda elektrik kontak malzemesinin direncinin artmasına sebep olmaktadır. Bakır mükemmel iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle elektrik iletim endüstrisinde kullanılmaması düşünülemez. Bakır bunun yanı sıra inşaat alanında oluk, güneş panellerinde, cep telefon imalatında, otomotiv endüstrisinde sağlık hizmetlerinde, alkollü içecekler için kazanlarda, iç mekân mimarisinde ve birçok alanda kullanılmaktadır (Demir 1992).



Şekil 5.2. Bakırın endüstride kullanım alanları (Odabaşı 2017).

Bakırın bu kadar çok alanda tercih edilmesinin en büyük sebebi, bakırın gümüşten sonra en iyi iletken malzeme olmasıdır. Bakır tercih sebeplerinden bazıları yüksek elektriksel ve termal iletkenliğinin yanı sıra kolay şekillendirilme, yüksek korozyon dayanımı ve gümüşe nazaran daha ekonomik olmasıdır (Odabaşı 2017).

Elektrik kontakları hareketli ve sabit kontak olmak üzere iki grupta incelenebilir (Demir 1992).

Sabit kontaklar adından da anlaşılacağı üzere sabit kontaklardır. Bu kontaklar kısa devre akımlarına uygun boyutlarda elektrolitik bakırdan imal edilir. Sabit kontakların mekanik dayanımları yüksektir, geçiş dirençleri düşüktür ve bu nedenle kararlı elektrik kontaklarıdır (Aydın, Yetkin 2006).

Hareketli kontaklar açma kapama sırasında kontak hareket eder. Kaymalı kontak da denir. Kaymalı kontaklar da kontaklar birbiri üzerinde yuvarlanırlar. Bu nedenle akım geçiş noktası, hareket eden kontak ile beraber hareket eder. Hareketli kontaklarda sürtünmeden dolayı aşınma olmaktadır (Odabaşı 2017).

Gümüştten sonra elektrik iletkenliği en fazla olan metal bakırdır. Bu nedenle elektriksel uygulamalarda en fazla kullanılan metal bakırdır. Ancak saf bakırın mekanik özellikleri çok iyi değildir. Sadece mekaniksel özellikleri değil, sıcaklığın da olduğu bu tarz uygulamalarda ısıl özellikleri de istenenleri karşılamakta yeterli değildir. Bakıra soğuk şekillendirme ile ne kadar sertlik kazandırılırsa kazandırılırsın sıcaklık artışı ile hemen yumuşar. Bu tarz durumlarda ise bakır yalnızca alaşımlama yöntemi ile kullanılmaktadır. Bakıra yaklaşık %3 katkılama bakırın ısıl işlem ile sertleşmesini sağlamaktadır. Katkılama nedeni ile bakırın elektrik iletkenliğinde azalma meydana gelir. Yüksek iletkenliğe sahip bakır ya da az alaşımlı bakır denilen bu tür bakırlar, ısıl işlem sıcaklıklarının üstündeki sıcaklıklarda kullanılamazlar. Sıcaklığın artması bu çeşit bakırlarda yumuşamaya (sertliğinin azalmasına) yol açar, bu da alaşımın görevini yapamaz hale gelmesine sebep olur. Bakırın daha yüksek sıcaklıklarda sertliklerini koruyarak yumuşamadan görevlerini yerine getirmesi için bakıra seramik katkılama ile bakır-seramik kompozitler geliştirilmiştir. SiC takviyeli iletken bakır kompozitleri, yüksek sıcaklıklarda kararlı kalması ve yumuşamaması amacıyla geliştirilmiştir. Bu kompozitler yüksek mekanik özelliklere sahip değildir, buna karşın özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilirler.

Nikelin elektriksel iletkenliği bakıra göre azdır. Ancak mekaniksel özellikleri bakıra göre daha iyidir. Özellikle sertlik ve sıcaklık dayanımı bakıra göre çok daha iyidir. Bakıra nikel ilavesiyle elde edilen alaşımın hem sertlik, hem dayanım gibi özellikleri artar. Ayrıca bakıra nikel ilave edilmesiyle alaşımın yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmesi engellenir. Bakır-nikel alaşımları ticari olarak yaygın kullanılır ve bu alaşımlara nikel bronzları denilmektedir. Nikel ilavesiyle bakırın korozyon dayanımı artar ve ısıl işlem ile alaşımın fiziksel özellikleri artırılır.

5.2. Kontaklar

5.2.1. Kontaktör

Kontaktör, elektromanyetik bir anahtarlama elemandır. Bobine enerji verilmesiyle açık anahtarları kapatıp, kapalı anahtarlı açar. Bu sayede elektrik devresinin açılıp kapanması sağlanır (Kımkıoğlu 2001). Kontaktörleri diğer anahtar sistemlerinden ayıran en önemli özellik uzaktan kumanda edilebilmesi ve devreyi daha sık açıp kapatmaya olanak sağlamasıdır. Kontaktörler elektrik motorlarının kontrol edilmesinde, ısıtma ve soğutma devrelerinin ayarlanmasında sıklıkla kullanılırlar. Termik röleler ile kullanılırsa cihazları ve tesisleri aşırı yük akımına karşı korumaktadır. Bunun yanı sıra belirli oranlardaki aşırı akımı kesebilir (Allahverdiyev 2000).

Ana kontakların yük taşıma kapasiteleri yüksektir ve güç devresinde kullanılırlar. Yardımcı kontaklar çoğunlukla kumanda kısmında kullanılırlar. Kontaktörlerin üzerinden geçen elektrik akımlarına göre çeşitli alaşımlardan yapılırlar. Çoğunlukla sert bakır, tungsten veya gümüş alaşımlarından yapılırlar (German 2005).

5.2.2. Röleler

Röle elektromanyetik bir devre elemanıdır. Röleler istendiği zaman akımın geçmesine izin verirler. Röleler düşük akım değerleri ile güçlü alıcıları anahtarlayabilirler. Röleler birden fazla yükü aynı anda açıp kapatma özelliğine sahiptirler. Röleler, tristör ve tiryaklardan daha avantajlıdır. Röleler mekanik olarak çalışmaktadır. Bu nedenle sık sık arızalanabilirler ve bu rölelerin dezavantajıdır. Röleler, defalarca birbirine temas edip ayrıldıkları için, akım atlamasından dolayı kontaktörleri oksitlenebilir ve iletkenliklerini kaybedebilir (Çalışkan 2008).

5.3. Elektrik Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları

Elektrik kontak malzemelerinin uzun ömürlü olması istenir. Elektrik kontak malzemesi seçilirken, kontakın nerede kullanılacağına bilinmesi gerekmektedir. Çünkü imal edilen kontakın spesifik özelliklerinin ve kullanım ömürlerinin kullanılacağı yere göre seçilmesi gerekmektedir (Deniz 2005).

Farklı akım ve gerilim durumuna göre farklı elektrik kontak malzemesi tercih edilmektedir. Düşük akım değerlerinde herhangi bir ark erozyonu olmadığı için saf metaller kullanılabilir. Ancak yüksek akımın kullanıldığı elektronik sistemlerde sert metaller kullanılmalıdır (Allahverdiyev 2000).

5.4. Kompozit Elektrik Kontaktörler

Elektrik kontak malzemeleri, düşük akım devrelerinden, yüksek akım cihazlarına kadar birçok yerde kullanılmaktadır. Kontaktörlerden çalıştığı ortama göre farklı özellikleri karşılaması beklenmektedir (Özdemirler, Gündüz, Erden, Karabulut

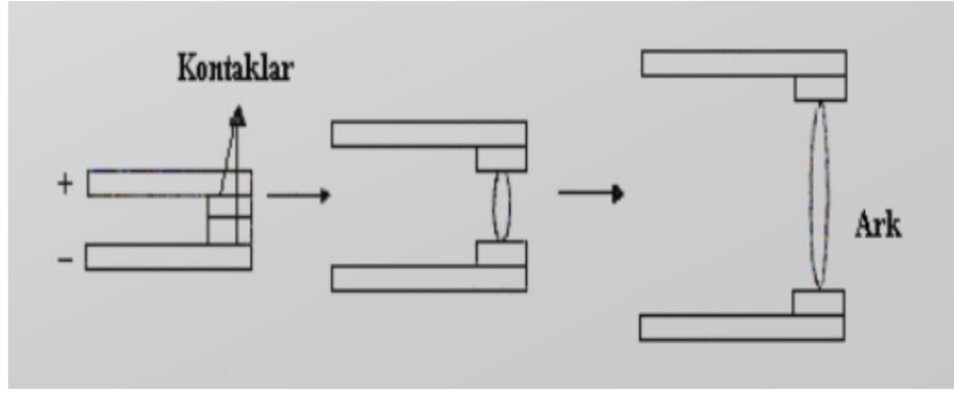
&Türkmen, 2016). Elektrik ve termal iletkenlik, sertlik, korozyon dayanımı, ergime sıcaklığı, aşınma, sürtünme gibi özellikler kontağı oluşturan malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri tarafından belirlenmektedir. Bu iyi özelliklerin hepsini bir saf malzeme tarafından karşılanması imkânsızdır. Kompozitler, bu tür ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılabilir en ideal malzemelerdir. Kompozit kontaklar, ağır akım kesme kontakları, devre kesiciler, sabit ve hareketli kontaklar gibi birçok cihazda yaygın olarak kullanılmaktadır (Erbay 1998).

Bu tür kompozit kontaklar genellikle metal veya metal alaşımlı matris, metalik olmayan bileşik, oksit, karbür veya nitrür takviye fazı olarak kullanılabilir. Kompozit kontak üretiminde çoğunlukla toz metalürjisi üretim yöntemi kullanılmaktadır (Deniz 2005).

5.5.Elektrik Kontaklarının Hasar Analizi

5.5.1.Ark Oluşumu

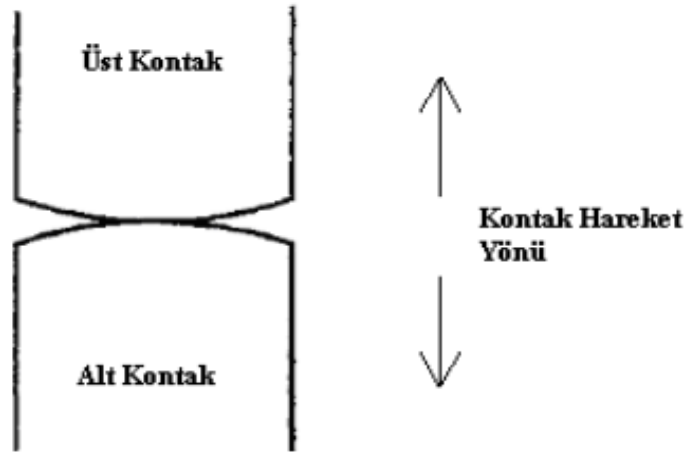
Gümüş veya bakıra refrakter özelliği taşıyan metallerin ilavesi ile kompozit malzeme elde edilir. Böylece tek bir kontak üretimi ile yüksek elektrik ve termal iletkenlik, yüksek aşınma direnci ve ark erozyonuna karşı dayanıma sahip kontak elde edilir (Edwards, Endean 1990). Kontakların açılıp kapanırken temas yüzeylerinde kaynama olur. Akım geçişi esnasında kontak yüzeyinde yapışma ve yumuşamanın etkisi ile kontağın birinden bir diğerine malzeme taşınımı sonucu ark erozyonu meydana gelir. Bu kontağın kullanım ömrünü olumsuz etkilemektedir (Allahverdiyev 2000). Toz boyutunun ark erozyonuna etkisini Leung ve arkadaşları yaptıkları çalışma ile saptamışlardır. Toz boyutları ne kadar küçük ise ark erozyon hızı da o derecede yavaştır. Ancak toz metalürjisi yönteminde ince tozlar çok kullanılmamaktadır (20 µm ‘den küçük). Çünkü karıştırma esnasında 20 µm ‘den küçük tozlarda topaklaşma engellenmesi zordur. Bu da sinterleme esnasında yüksek yoğunluğa ulaşılmasını engeller (Bıyık & Aydın 2015).



Şekil 5.3. Elektrik Kontaklarındaki Ark Oluşumunun Şematik Gösterimi (Erbay 1998).

Elektrik kontak malzemesi seçiminde yalnızca kontak malzemesinin özellikleri yeterli değildir. Bunun yanı sıra kantağın kullanım şartları da önemlidir (Efe 2010).

Kontak malzemeleri birbirinden ayrılırken temas eden yüzeyler çok küçülür. Ancak kontak malzemesinden geçen akım aynıdır. Bu da son durumda ki yüzeyden geçen akım yoğunluğunun büyük olması demektir (Erbay 1998).

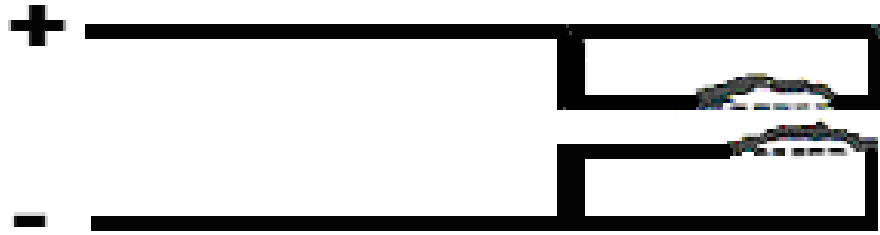


Şekil 5.4. Elektrik Kontaklarında Kontak Açılma Esnasında Oluşan Akım Yoğunluğunun Gösterimi (Erbay 1998).

Kontaklar açıldığında temas eden yüzeylerde aşırı bir sıcaklık artışı olur. Isının artması elektron emilimini artırır, buda ısının daha da yükselmesine ve kontaktaki malzemenin ergimesine neden olur. Bu kontaktaki ergimeden dolayı kontaklar arası köprü oluşur (Allahverdiyev 2000). Artan sıcaklık kontak

malzemesinin yüzeyindeki metallerin bazılarını buharlaştırır (aşırı sıcaktan dolayı), bazılarını ise ergiterek etrafa sıçrayarak yayılmasına neden olur. Kontak malzemesinden sıçrayarak ayrılan metallerin bir kısmı diğer (karşı kontak) kontak malzemesine yapışır ve kontak malzemesi ağırlık kaybeder. Bu duruma ark erozyonu denilmektedir (Hiçyılmaz 1999).

Ark oluşumu için yalnızca kontak malzemesinin özellikleri değil aynı zamanda akım ve voltajda etkilidir. Ark için gerekli voltaj 10-20 V ve gerekli ark akımı 0.2-2 A'dır. Bu voltaj ve akım değerlerinin altında kontak malzemesinde ark oluşmadan kontaklar açılıp kapatılabilir. Kontak temas yüzeyleri artırılarak (kontak yüzey alanı) akım yoğunluğu azaltılabilir. Akım yoğunluğunun azalması ark oluşumunu azaltacaktır. Ancak buda hem kontak malzemesinin dizaynında değişikliğe hem de kullanılan metal miktarını artmasına neden olduğu için ekonomik değildir. Bu nedenle kontak malzemesinin yüzey alanının büyütülmesinden ziyade farklı bileşenlere sahip kontak malzemesi üretilmesi ile daha yüksek ark erozyonu dayanımına sahip kontaklar elde edilebilir (Deniz 2005).



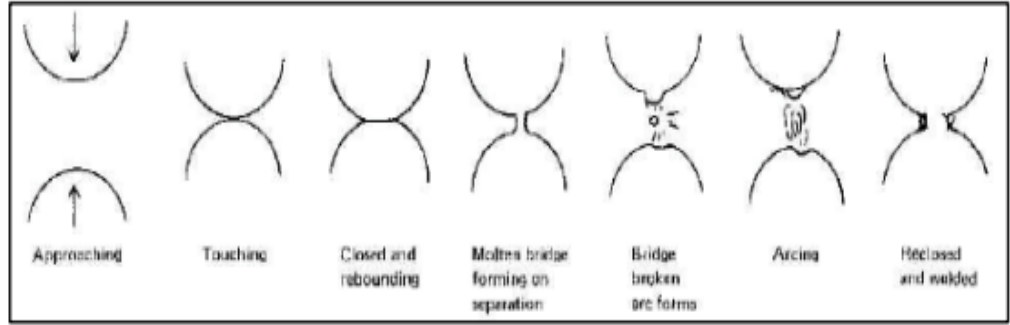
Şekil 5.5. Elektrik Kontaktlarında Meydana Gelen Elektrik Ark Erozyonunun Şematik Gösterimi (Alpugan 1981).

Kontak malzemesi ark oluşumu esnasında buharlaşarak, ergiyip etrafa sıçrayarak metal kaybederek kontak erozyonuna uğrar. Kontak malzemesinden buharlaşan metal ve sıçrayan metalin bir kısmı diğer kontak malzemesinin yüzeyinde birikir. Bu durumda şekilde 5.5.'de görüldüğü gibi her iki kontak malzemesinin yüzeyi de bozulmuş olur. Bu olaya malzeme taşınımı denir (Alpugan 1981).

Açılıp kapatılan kontak devresinde ark çoğunlukla iki kontak arasında meydana gelir. Oluşan arkten dolayı ısı artar ve kontak yüzeyinde oksitlenmelere neden olabilir (Alpugan 1981). Birçok metalin oksitleri yarı iletken ya da yalıtkandır. Oluşan oksit film tabakası kontakın akım direncini artırır. Yüksek akım geçen

devrelerde oksitten dolayı artan akım direnci kontağın daha da ısınmasına yol açar (Nazik 2013).

Gerilim arttıkça kontak ark akımı azalmaktadır. Ark akımı azaldıkça ark süreside azalmaktadır. Ark oluşma süresi azaldıkça da malzemenin yüzeyinden ayrılan metal azalmaktadır. Bu durum da kontak malzemesinin ömrünü uzatmaktadır. Kontak malzemelerindeki ark oluşumu malzemenin özelliklerinin yanı sıra, basınçlı hava, yağ ve manyetik alan gibi dış etkenler ile de azaltılabilmektedir. Oksit tabakası düşük akım ve aşınmanın olmadığı koşullarda (oksit filmini kırarak mekanik kuvvet olmadığında) kontak malzemesinin yüzeylerini kalın bir şekilde kaplayarak tamamen yalıtkan olmasına neden olabilir. Bu durum kirli çevresel ve atmosfer şartlarında çalışan kontak çiftlerinde sıklıkla karşılaşılr (Alpugan 1981).



Şekil 5.6. Elektrik Kontak Malzemelerinde Kaynak Oluşumunun Şematik Gösterimi (Erdal 2006).

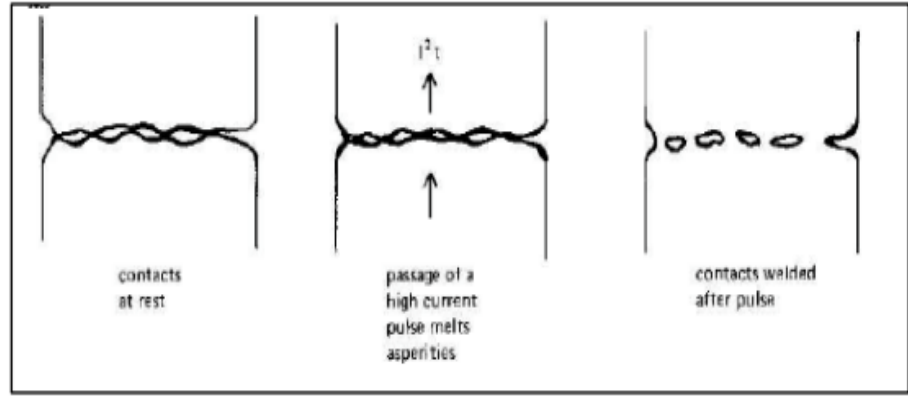
5.5.2. Kaynak Oluşumu

Kontak yüzeylerinde ark oluşumundan dolayı ergime meydana gelir, bu durum sonucunda kontaklar birbirine kaynak olurlar. Kontakların birbirine kaynak olması kontaklar için büyük bir sorundur. Çünkü birbirine kaynak olan bir kontak çifti, elektrik devresinin kapanmamasına ve kalıcı büyük sorunlara neden olabilir. Kontak yüzeyinde meydana gelen bölgesel ergiyen metal, kontaklar kapalı durumda iken katılırlar. Kontakları açıp kapatan mekanik kuvvet eğer oluşan kaynağı kıramıyor ise kontaklar birbirine kaynaklı şekilde kalır. Kontaklarda bölgesel ergime farklı şekillerde olabilir (Erdal 2006).

- Voltajın düşük olduğu devrelerde oluşan direnç sonucu bölgesel ergimeler oluşur.

- Kontakların çalışması esnasında meydana gelen ark oluşumundan dolayı bölgesel ergimeler oluşur.

Kontak çiftlerini açıp kapatmak için mekanik yük uygulanmaktadır. Uygulanan yük sayesinde kontak yüzeyleri birbirine temas ederler. Temas eden bu bölgelerden akım geçer ve bu bölgelerde yüksek yoğunlukta akım bölgeleri oluşur. Yüksek yoğunluktaki akım bölgelerinde ısı yükselir ve ısı metali eritecek kadar artar ise kontaklar birbirine kaynak olurlar (Balın 2011)



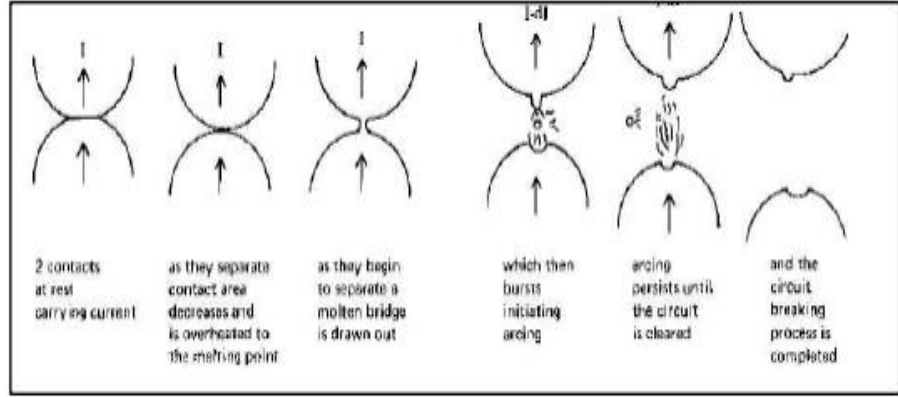
Şekil 5.7. Elektrik Kontak Malzemelerinde Meydana Gelen Statik Kaynak Oluşumunun Şematik Gösterimi (Erdal 2006).

5.5.3.Köprü Oluşumu

Kontaklarda, kontak açıldığında üzerine uygulanan basınç kuvveti yavaş yavaş azalır bu durum sonucunda da kontakların temas yüzeyi azalır. Kontakların sürekli açılma ve kapanması ile eriyen kontak metali akım taşıyan bir köprü şeklini alır (Özgün 2007). Eriyik haldeki köprünün sıcaklığı kontaklar birbirinden ayrıldıkça daha da artar. Metali komple eritecek ve hatta devredeki elektrik akımını kesecek noktaya kadar yükselebilir. Bu durum çoğunlukla kontakların birinin yüzeyinde çukurlaşmaya diğerinin yüzeyinde ise tepe oluşumuna neden olur. Böyle bir durumda kontak temas yüzeylerinin düz olmamasından dolayı gerilim yükselir ve sıcaklık artar. Bu durum metalin birinin tamamen bitirene kadar devam eder. İlerleyen süreçlerde köprü mekanik olarak kırılmaz noktaya gelir ve kontakların mekanik hareketlerini tamamen engeller. Sonuçta kontakların açılması ya da kapanması engellendiği için elektrik devirinde kaçınılmaz hasarlara yol açarlar (Deniz 2005).

5.6.Elektrik Kontaklarının Kaplanması

Son zamanlarda aşınmaya dayanımı yüksek kaplamalı kontak malzemelerinin kullanımı artmaktadır. Kaplamalı kontaktarın tercih edilmesinin sebebi yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda sağladığı yüksek aşınma dayanımı, yüksek korozyon dayanımı gibi özelliklerdir. Kaplama malzemesinin özelliklerine, çalışma koşullarına, kontakdan istenen performans ve özelliklere bağılı olarak, kaplamanın kalınlığı 0,1-0,3 mm ile 20-30 mm arasında değişkenlik gösterebilir (Erden, Taşcı 2016).



Şekil 5.8. Elektrik Kontaktarında Akımın Kesilmesi Esnasında Oluşan Ark Sebebiyle Kontak Malzemesinden Metal Kopması Sonucu Oluşan Aşınmanın Şematik Gösterimi (Erden, Taşcı 2016).

6. TOZ METALURJİSİ (TM)

Toz metalürjisinin tarihi çok eskilere kadar gitmektedir. Hindistan'da yapılan Delhi sütunu yaklaşık 6,5 ton demir tozu kullanılarak yapılmıştır. Milattan sonra 300'lü yıllarda kullanılan paraların toz halindeki bakır, gümüş vb. madenlerden üretildiği bilinmektedir (Kılınç 1999).

Gelişen endüstri ile beraber ihtiyaç duyulan malzeme özellikleri oldukça değişiklik göstermektedir. Bazı durumlardan alışılmış üretim yöntemleri ile istenilen özellikleri elde etmek mümkün olmamaktadır. Bu özellikleri elde etmek için birkaç prosesin beraber kullanılması gerekebilmektedir. Bu durum da hem zaman açısından hem de ekonomik olarak sorun oluşturmaktadır. Malzemelerden beklenen fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler arttığı için yeni üretim yöntemi olan Toz Metalürjisinin önemi artmıştır (Deniz 2005).

Alışılmış üretim yöntemlerine alternatif olarak, elde edilen metal ve metal olmayan tozların istenilen oranlarda karıştırılarak bir kalıp içerisinde sıkıştırılması ve daha sonra belirli sıcaklıklarda sinterlenmesi işlemine Toz Metalürjisi denilmektedir. Sıkıştırılan tozlar sinterleme esnasında birbirine kaynamaktadırlar (boyun verme metodu) (Öztürk 2012). Alışılmış üretim yöntemleri ile üretilmesi çok zor olan karmaşık parçaların üretilmesinde bu yöntem ile daha kolay olmaktadır. Örneğin ergime sıcaklığı oldukça yüksek olan bir metalin ergitilerek döküm yöntemi ile üretilmesi oldukça maliyetli ve zordur. Ancak bu tür metaller ile Toz metalurjisi yöntemi kullanılarak parçalar çok daha kolay elde edilmektedir. Toz metalurjisi Yöntemi ile boyutsal hassasiyeti yüksek parçalar daha ekonomik olarak üretilebilmektedir. Bu yöntemde malzeme israfı oldukça azdır. Toz metalurjisi yöntemi ile herhangi bir talaşlı imalata gerek kalmadan hassas yüzeyli ve kaliteli parçalar elde edilebilmektedir (Bıyık & Aydın 2015).

Toz metalürjisin özel olarak imal edilmiş tozların farklı oranlarda harmanlanarak sıkıştırılmasıyla, endüstrinin beklediği özellikleri karşılayan ürünler elde edilmesini sağlayan üretim yöntemidir. Tozlar alaşımlı ya da alaşımsız olabilirler. Bu yöntemde homojen bir ürün elde edilmesi için metal tozları öncelikle alaşım elementi ve yağlayıcılar ile homojen şekilde karıştırılmalıdır. Burada yağlayıcının amacı, sıkıştırılmış tozların kalıptan kolay çıkartılmasını sağlamak ve tozlar ile kalıp arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır (Nazik 2013).

Toz metalurjisi yöntemi geleneksel sıcak ve soğuk şekillendirme, döküm ve talaş kaldırma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiş ve özellikle ikinci dünya savaşından sonra parça üretim alanında literatürdeki yerini almıştır (Bıyık & Aydın 2015).

Geleneksel döküm yöntemi belirgin geometriye sahip, büyük hacimli ve yüzey alanı büyük olan makine parçalarının üretilmesinde ekonomiktir. Ancak parça boyutları küçüldükçe, üretilecek parça adet miktarı arttıkça ve güncel teknolojiye hizmet sunmak amacıyla geliştirilmiş olan yeni alaşım ve kompozitlerin üretilmesinde toz metalurjisi yöntemi geleneksel döküm yönteminden daha avantajlı olmaktadır (Evcin 2007).

Metal matrisli kompozitlerin (MMK) üretilmesinde kullanılan en yaygın iki yöntem geleneksel döküm ve toz metalurjisi yöntemidir (TM). Birçok avantajı olan metal matrisli kompozitlerin üretilmesinin en kolay ve uygun yolu, geleneksel döküm ve diğer uygun maliyetli üretim yöntemlerine göre toz metalürjisidir. Komplike ve hassas yüzeyli parçaların, seri olarak yüksek hızlarda ve uygun maliyetli üretilmesinde toz metalürji tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır (Evcin 2007). Toz metalürjisinde, tozların harmanlanması, sıkıştırılması ve sinterlenmesinden sonra ikinci bir şekillendirme işlemi yapılabilir. Bu yöntemde herhangi bir alaşımın kullanılmasına imkân verdiği için TM ilgi çekicidir. MMK'lerde kompozitlerin nihai özellikleri üzerinde, üretim yöntemlerinin büyük etkisi vardır. Toz metalurjisi yönteminde takviye elemanı ile üretime de olanak sağlamaktadır. Üretim parametreleri, mikro yapıyı ve dolayısıyla kompozitin özelliklerini kontrol eder. Toz metalürjisinin, metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde birçok avantajdan dolayı en ideal yöntemdir (Nazik 2013).

Döküm yöntemlerine kıyasla toz metalürjisinin avantajlarından bir tanesi de, toz metalurjisi yönteminde birden fazla kompozisyonun sentezlenebilmesidir. Toz metalurjisi yönteminde dökümün aksine, üretim parametreleri termodinamik ve faz diyagramlarıyla yönetilmez (Rehani, Joshi & Kaushik 2009). Döküm yöntemine göre alaşımların esnekliğinin fazla olması toz metalürjisinin en önemli avantajlarından. Bu sayede, diğer üretim yöntemleri ile birleştirilemeyen kimyasal kompozisyona sahip parçalar toz metalurjisi ile üretilebilir (Nazik 2013).

Toz metalurjisi yöntemi ile komplike ve zorlayıcı boyutlarda ve yüksek mukavemete sahip parçalar kolayca üretilebilir (Ozan, Çalgülü & Taşkın 2006).

6.1. Toz Metalurjisinin Kullanım Alanları

Endüstride metalin önemi fazladır, metal tozlarının sağlamış olduğu yararlarından dolayı toz üretim yöntemlerinin önemi artmıştır. Toz metalurjisi 1900'lü yıllardan sonra teknolojik olarak önem kazanmasıyla seramik-metal kompozitlerin, seramiklerin ve metallerin şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Taşlıyan 2020). Ağır hizmet şartlarında çalışan parçaların dövme vb. yöntem ile üretilmesinden, homojen özellik sergileyen, yoğunlukları homojen ve gözeneksiz malzemelerin toz metalurjisi ile üretilmesi tercih edilmektedir (Balın 2011).

Günümüzde toz metalürjisinin kullanım alanı çok geniştir. Bu alanlar;

- Tıp
- Havacılık
- Enerji
- Sağlık
- Otomotiv
- Savunma sanayi
- Uzay
- Elektronik
- Haberleşme
- Enerji

gibi ileri teknoloji alanlarında kullanılmaktadır. Düşük yoğunlukta parçaların üretilmesi toz metalürjisini otomotiv, savunma, havacılık ve uzay sanayinin vazgeçilmesi yapmaktadır (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

6.2. Türkiye'de Toz Metalurjisi

Türkiye'de toz metalurjisi alanında çalışmaların 1960'lı yıllardan sonra başladığı bilinmektedir. Türkiye'de ilk akademik çalışma ise Mustafa Eti Uygur tarafından 1982 yılında yapılmıştır. Türkiye'de toz metalürjisinin pazar payını otomotiv ve kesici takım imalatı oluşturmaktadır. Ülkemizde toz metalurjisi yöntemi ile üretim yapan fabrikaların sayısı her geçen gün artmaktadır (Ozan, Çalgılı & Taşkın 2006).

6.3.Toz Metalurjisinin Avantajları

Geleneksel döküm, talaşlı imalat gibi yöntemlerle şekillendirilmesi ve üretilmesi zor olan farklı kompozisyonlardaki alaşım ve Kompozitler toz metalurjisi ile kolaylıkla üretilebilir (Ozan, Çalığülü & Taşkın 2006).

- Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen parçaların, üretimden sonra hiç ek işleme gerektirmeyen ya da çok az işlem gerektiren net şekilli parça imalatı
- Farklı boyutlara sahip tozlar kullanılabilir.
- Farklı kompozisyona sahip tozlardan üretim yapılabilir (metal-metal, metal-alaşım ve kompozit tozlar).
- Diğer üretim yöntemlerine göre daha yüksek üretim hızları
- Seri üretimde diğer yöntemlerden daha ekonomiktir
- Mikro yapı kontrol edilebilir ve homojendir
- Farklı boyutlardaki parçalar hassas yüzeyli ve hassas boyut toleranslı üretilebilir.
- Başka yöntemlerle üretilmesi zor olan parçaların bu yöntem ile üretilmesi kolaydır (yoğunluk ve ergime farkları nedeni ile).
- Yüksek sertlik ve dayanıma sahip parçalar üretilebilir.
- Ergime kayıpları söz konusu değildir.
- Malzeme israfı yok denecek kadar azdır, işçilik diğer yöntemlerden daha azdır.
- Üretilen parçalar yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptirler
- Sinterleme sonrası parça kullanıma hazır olur ve genellikle ek bir işleme ihtiyaç duyulmaz (Ozan, Çalığülü & Taşkın 2006).

6.4.Toz Metalurjisinin Dezavantajları

Toz metalurjisinin diğer üretim yöntemleri ile kıyaslandığında dezavantajları da ortaya çıkmaktadır (Ozan, Çalığülü & Taşkın 2006).

- Tozlar katı olması sebebi ile kalıp içerisinde akışkanlık zordur, buda çok komplike şekilli parçaların üretilmesini zorlaştırır.
- Tozların pahalı olması
- İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması

- Seri üretim olmaması durumunda ekonomik deęillerdir
- Talaşlı imalat göre boyut toleransının kaba olması
- Tozların kirlenmeden muhafaza edilmesi ve kullanılması gerektiğinden, tozlar için ayrı bir deponun bulunması gerekmektedir.
- Mikro yapı içerisinde gözeneklerin var olmasından dolayı zaman zaman düşük mekaniksel özellikler ile karşılaşılabilir.
- Parçaların çap ve kalınlıkları arttıkça üretim zorlaşmaktadır. Ayrıca üretilen parçaların homojen olabilmesi için boyutlarda sınırlamalar mevcuttur. Bu yöntemle 20 kg'a kadar olan parçalar üretilebilmektedir.
- Üretilen parçaların çap ve kalınlıkları arttıkça gerekli mekanik kuvvetin artması ve bunun sonucunda daha büyük preslere ihtiyaç duyulması (Ozan, Çalgülü & Taşkın 2006).

6.5. Toz Metalurji Ürünlerinin Özellikleri

6.5.1. Mekanik Özellikleri

Bir malzemenin statik ölçüde yüklere karşı göstereceği direnç basma ve çekme deneyleri ile belirlenir. Mekanik özellikleri belirlemek amacıyla kullanılan standart yöntemleri bilmek gerekmektedir. Ortaya çıkan sayısal sonuçlar farklı parametrelere bağlı şekilde değerlendirilmelidir. Bu statik yük deneyleri (basma-çekme) ürünün plastik şekil değiştirmeye karşı direnci hakkında bilgi edinmemizi sağlar. Malzemenin bir darbe altında nasıl davranacağı ve darbelere karşı mukavemetini ölçmek amacıyla darbe deneyleri yapılmaktadır. Bu deneyler aynı zamanda malzemenin sünek-gevrek geçiş sıcaklığı hakkında bilgi edinmemizi sağlar. Bu nedenle bu deney (darbe deneyi) farklı sıcaklıklarda tekrar edilir. Parçaların yüksek sıcaklık altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla sürünme deneyleri yapılır. Bu deney sayesinde malzemenin sıcaklıklara karşı dayanımı belirlenmiş olur. Bu deney özellikle yüksek sıcaklığa sahip çalışma ortamlarında çalışan parçalar için hayattır (Ozan, Çalgülü & Taşkın 2006).

6.5.2. Sertlikleri

Toz metalürjisi ile üretilen parçaların sertlikleri genellikle Brinell sertlik ölçme yöntemi ile ölçülür. Toz metalürjisi ile üretilen parçalarda, ergitme-döküm yönteminde üretilen metaller gibi sertlik ve çekme dayanımı arasında bir bağ yoktur. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen parçalar gözenekli yapıya sahiptirler ve bu nedenle sertlik ölçülen nokta çok önemlidir. Sertlik ölçümü eğer gözenegin üstünden ya da yakınından yapılırsa, sertlik değerinde büyük sapmalar meydana gelmektedir. Aynı

zamanda kompozit toz metalürji ürünlerinde sert karbürlerden yapılan ölçüm de matristen farklı (çok yüksek) olacağı için kullanıcıyı yanıltabilir (Ozan, Çaligülü & Taşkın 2006).

6.5.3. Mikro yapıları

Toz metalürjisi ile üretilen parçaların mikro yapıları, yapılan alaşımlama tekniğine ve üretim parametrelerine doğrudan bağlıdır. Üretimden sonra oluşacak mikro yapı, yapılan kimyasal bileşim ve fazlara bağlı olarak, tek çeşit veya birden fazla çeşide sahip olabilir (kompozit). Homojen ve heterojen bir mikro yapının yorulmayı nasıl etkilediği konusunda kesin bir fikir birliği yoktur (Saritaş, Türker& Durlu 2007).

6.5.4. Özellikleri

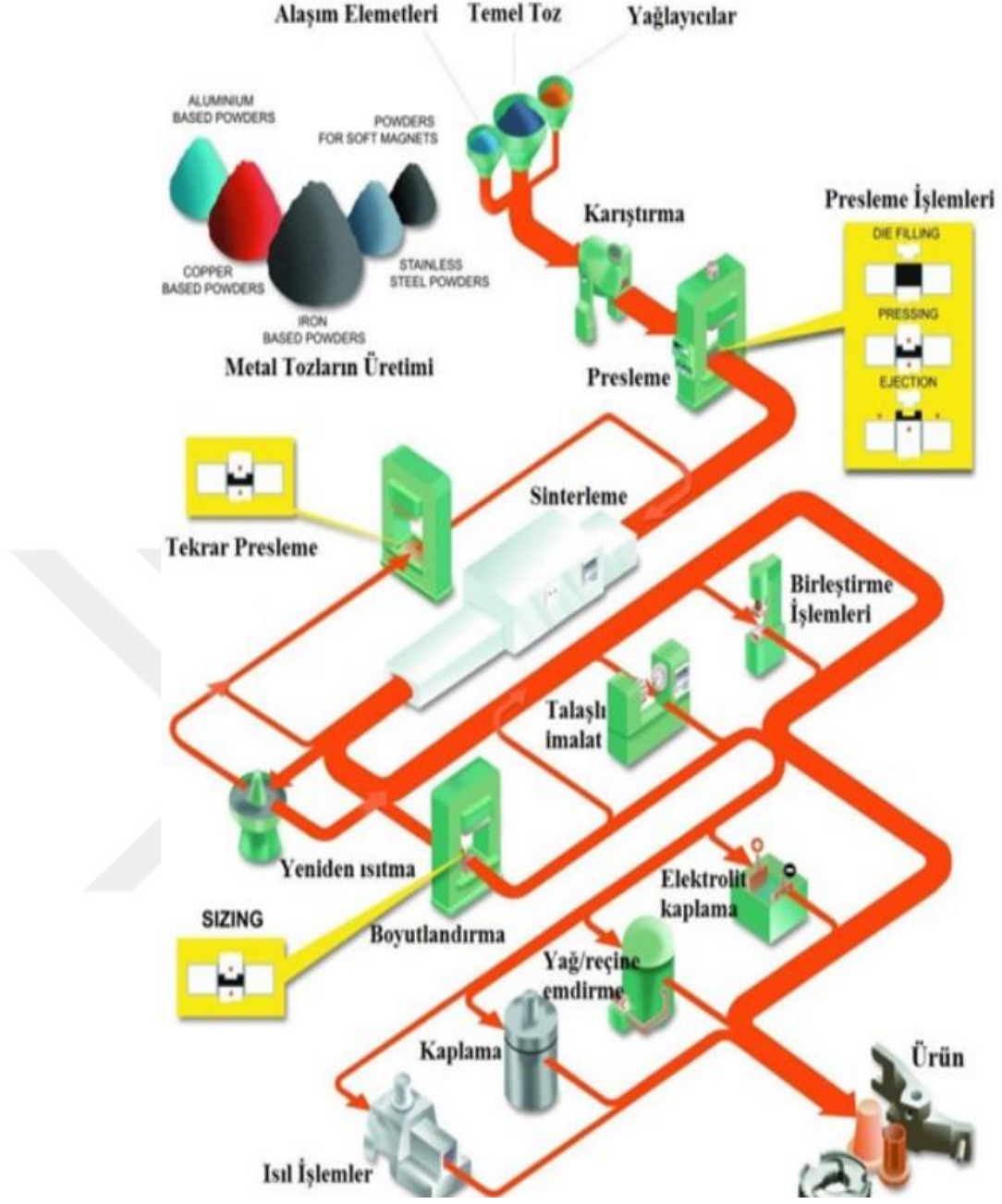
Malzemenin oksitlenmesi ya da korozyona uğraması malzemenin yüzeyiyle ilgili parametrelere bağlıdır. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen parçaların içlerinde olduğu gibi yüzeylerinde de gözenek mevcuttur. Bu gözeneklerin fazla olması gözeneklerde biriken akışkanlar artmasına dolayısıyla korozyonun daha hızlı olmasına sebep olmaktadır. Her malzemenin sinterleme şartları farklılık gösterir. Uygun sinterleme şartlarında üretilen parçaların çevre dayanımlarının da yüksek olduğu bilinmektedir (Saritaş, Türker& Durlu 2007).

6.6. Toz Metalürjisi Üretim Safhaları

Toz metalürjisi ile parça üretiminde birçok aşama vardır. Toz metalürjisi teknolojisi tozların üretilmesi, karıştırılması, preslerde sıkıştırılması ve sıkıştırıldıktan sonra rijitlik ve dayanım kazanması amacıyla sinterlenmesi ve sonrasında yapılan işlemlerini kapsamaktadır. Sinterleme sonrası işlemler ise çapak alma, yağ emdirme infiltrasyon gibi işlemleri kapsamaktadır. Toz metalürji teknolojisinin üretim aşamaları şekil 6.1. de gösterilmiştir.

6.6.1. Toz Üretimi

Üretilen metal tozları toz metalürjisinin en temel ürünleridir. Metal tozları doğada hazır halde bulunmazlar. Tozların üretim biçiminin, üretilen ürünün özellikleri üzerinde büyük etkisi vardır. Metal tozları 200 µm'den küçüktür ve boyutlar gelişen teknoloji ile her gün daha da küçülmektedir. Endüstride her zaman üretilen ürünlerin en iyi özelliklerde olması ve istenen özellikleri karşılaması beklenir. Bu nedenle istenen özelliklerde ürünü elde edebilmenin ilk aşaması proses şartlarına uygun metal toz üretimidir (Saritaş, Türker& Durlu 2007).



Şekil 6.1. Toz Metalurjisi Üretim Yönteminin Aşamaları (Saritaş, Türker& Durlu 2007).

Toz üretim yöntemleri dört ana grupta incelenebilir. Bunlar; mekanik toz üretimi, kimyasal toz üretimi, elektrolitik ve atomizasyon yöntemleridir. Metal tozlarının hangi yöntem ile üretileceğini, toz üretim miktarı, tozların özellikleri, malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlemektedir (Evin 2003).

Toz üretimi için seçilen yöntem, toz boyutunu ve toz partikül şekillerini belirlemektedir. Üretim yöntemine bağlı olarak tozların şekilleri farklılık göstermektedir (Evin, Güler 2009).



Şekil 6.2. Toz Üretiminde Olası Üretilen Toz Şekilleri Ve Tanımları (Evin, Güler 2009).

1. Mekanik Yöntemler

- Talaş kaldırma
- Değirmende öğütme
- Darbe yöntemleri
- Mekanik alaşımlama

2. Elektroliz ile üretim

3. Kimyasal yöntemler

- Gaz fazı ile ayrıştırma
- Sıvı fazdan çökme
- Gaz fazdan çökme

4. Atomizasyon yöntemleri

- Gaz atomizasyonu
- Su atomizasyonu
- Santrifuj atomizasyonu

6.6.2. Karıştırma

Tozların kalıpla kolayca kalıplanması, kalıplanma işleminden sonra kalıptan kolayca çıkarılmasını ve karışımın homojen olması için karıştırma işlemi yapılır. Yağlayıcının asıl amacı tozlar ile kalıp ve makine parçalarının sürtünme katsayısını düşürmektir ve sıkıştırma esnasında tozların kolay preslenmesini sağlamaktır (Güler 2006).

Toz metalürjisi yönetiminde çoğunlukla toz karışımları kullanıldığı için tozların presleme yapılmadan önce çok iyi bir şekilde karıştırılmalıdır. Karıştırma sonucunda homojen bir toz karışımı elde edilir. Toz karışımı homojen olursa üretilen toz metalurji ürününün performansı yüksek olmaktadır (Ulutaş 2014).

Tozlar homojen karıştırıldıktan sonra çok iyi muhafaza edilmelidirler. Toza herhangi yabancı madde ya da üründe daha fazla gözenek oluşturacak yabancı madde girer ise üretilen ürünün dayanımı azalmaktadır. Tozlar karıştırılan sonra kalıplanmadan önce tozların akma hızı ve görünür yoğunluğu kontrol edilmelidir (Fındık, Uzun 2003).

6.6.3. Presleme

Tozların bir kalıp yardımıyla sıkıştırılarak kalıbın şeklini alması işlemidir. Tozların kalıp boşluğunu çok iyi ve tam olarak (gözeneksiz) doldurması istenir. Tozlar kalıpta soğuk olarak şekillendirildiğinde teorik yoğunluğa ulaşması düşünülür. Farklı metal tozlarında aynı presleme basıncı uygulansa dahi, nihai yoğunluk teorik yoğunluktan farklıdır. Bunun nedenleri ise tozun geometrik şekli, tane büyüklüğü, malzemenin cinsi ve toza uygulanan ön işlemlerdir (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

Sıkıştırılacak malzeme ne kadar yumuşak özelliğe sahipse, preslenebilirlik o kadar yüksektir. Bu özellik kalıptaki tozlar ile kalıp arasında ki sürtünme katsayısı ile doğrudan ilgilidir (Kalemtaş, 2014).

Presleme çoğunlukla oda sıcaklıklarında ve özel olarak hazırlanmış çelik kalıplar vasıtasıyla yapılır (Şafak 2008).

Malzemedeki gözenek miktarı, presleme basıncıyla ilişkilidir ve uygulanan basınç miktarı arttıkça gözenek azalmaktadır. Bununla beraber tozların birbirine temas etmesi ve temas eden yüzey alanı artmaktadır. Gözenek miktarı arttıkça malzemenin yoğunluğu azalmaktadır. Gözenek miktarına bağlı olarak da üretilen ürünün çekme dayanımı farklılık gösterir. Yoğunluk arttıkça malzemenin çekme dayanımı da artmaktadır (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

Tozların sıkıştırma işlemi basit görünmektedir. Ancak çok karmaşık ve birçok parametreye bağlı bir prosesdir. Presleme esnasında kalıp içerisindeki sürtünme miktarı, diğer tüm kuvvetlerden daha büyüktür. Tozlar ile kalıp yüzeyi arasında oluşan sürtünmeden dolayı presleme basıncından önemli kayıplar meydana gelir. Bu nedenle tozların presleme sonrasında kalıptan çıkartılırken şekil bozukluğuna uğramaması amacıyla, sinterleme prosesini de bozmayacak şekilde yağlama yapılmalıdır (Kim, 1983).

Presleme esnasında oluşan değişimler üç aşamada incelenebilir.

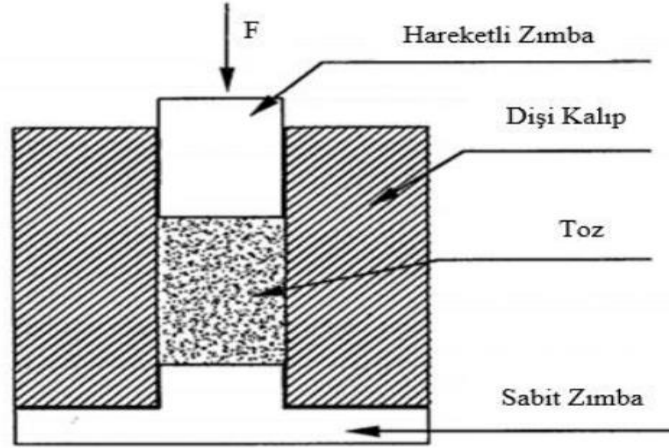
- İlk aşamada tanelerin şekil ve boyut gibi özelliklerine ait dağılımlar yeniden düzenlenme aşamasındadır. İlk uygulanan sıkıştırmada plastik deformasyon gözlenmemektedir. Bu aşamada taneler arasında boşluklar azalır ve sürtünme artmaya başlar.
- İkinci aşamada ise tanelerde elastik ve plastik deformasyon küçük de olsa gözlemlenir.
- Son aşamada ise taneler tamamen kırılır. Plastik deformasyon nedeni ile taneler arasında ki boşluk büyük oranda kapanır. Bu bölümde preslenen taneler arasında soğuk kaynak meydana gelir (Kim, 1983).

Presleme işleme Sıcak presleme öncesi ve sonrası olmak üzere iki grupta incelenebilir. Soğuk presleme prosesinde, malzeme sıkıştırılıp şekillendirildikten sonra sıcaklık uygulanır. Sıcak presleme prosesinde ise sıcaklık ve presleme basıncı aynı anda uygulanır. İki presleme yönteminde de tozlara uygulanan basın kuvveti aynı oranda dağıldığı için, düşük basın uygulamalarında bile yüksek mukavemet ve yüksek yoğunluk değerleri elde edilir. Çekme dayanımı ve yorulma dayanımı gibi mekanik özellikler sıcak preslemede daha iyi sonuçlar vermektedir (Nazik 2013).

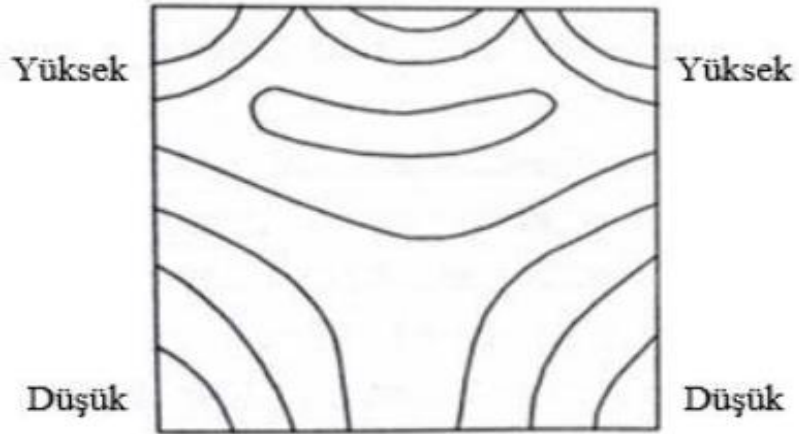
6.6.3.1. Tek Yön Presleme

Tek yönlü presleme işlemi ileri teknolojik olmayan parça üretimlerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde öncelikle toz karışımları kalıp içerisine boşaltılır, daha sonra hareketli üst zımba yardımıyla toz katışımı sıkıştırılır. Hareketsiz olan alt zımbanın amacı sıkıştırma işleminden sonra parçayı kalıptan çıkartmaktır. Parçanın sıkıştırma işleminden sonra kalıptan kolayca çıkarılması amacıyla kalıp yağlanır. Bu

yöntemde zımbaya uygulanan kuvvet artırılırsa elde edilen parçanın yoğunluğu artar (Saritaş, Türker& Durlu 2007).



Şekil 6.3. Tek Yönlü Preslemenin Şematik Gösterimi (Saritaş, Türker& Durlu 2007).

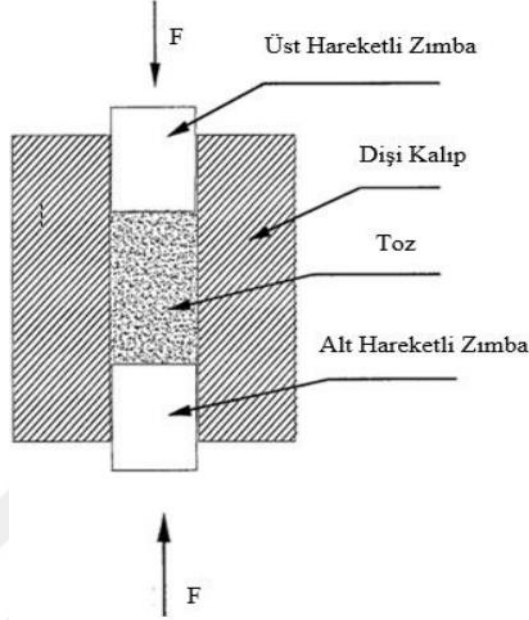


Şekil 6.4. Yoğunluk Dağılımının Tek Yönlü Preslemedeki Görünümü (Saritaş, Türker& Durlu 2007).

6.7.3.2. Çift Yönlü Presleme

Bu yöntemde birbirine zıt yönde hareket eden iki adet zımba mevcuttur (Şekil 6.5). Biri alt zımba ve üst zımbadır. Bu zımbalar isteğe göre aynı ya da farklı miktarlarda basın uygulayabilirler. Bu yöntemde üretilen parçalar daha homojen olabilmektedir. Toz parçaları, zımbalar ve kalıp yüzeyleri arasında sürtünmeden dolayı yoğunluk farklılıkları olabilir. Bunu engellemek amacıyla yağlayıcı kullanılması çok önemlidir (Saritaş, Türker& Durlu 2007).

Çift yönlü preslemede, iki yönde de hareket edebilen özel bir pres kullanılmaktadır. Bu presler belirli orandaki tozu presleyerek şekillendirir, daha sonra içerisindeki sıkıştırılmış toz numuneyi çıkartacak şekilde tasarlanmıştır (Şafak 2008).



Şekil 6.5. Çift Yönlü Preslemenin Şematik Gösterimi (Şafak 2008).

6.6.4. Sinterleme

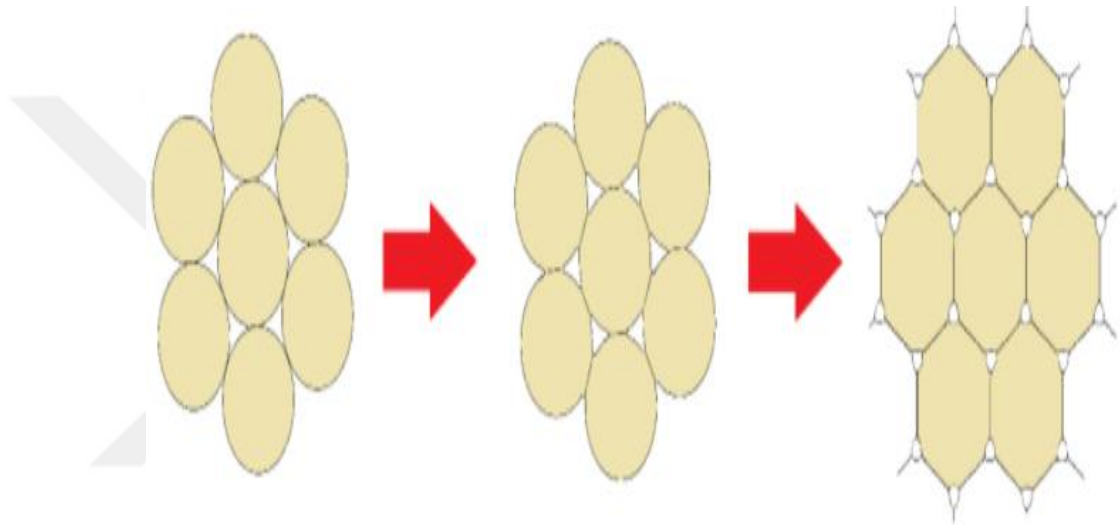
Sinterleme işlemi, preslenmiş toz parçalarına mukavemet kazandırmak amacıyla koruyuculu (kontrollü) bir atmosferde pişirme işlemi kapsamaktadır. Sinterleme işleminde yüksek sıcaklıklar kullanılmaktadır. Tozların kalıp içerisinde sıkıştırılması esnasında sıkışan tozlar arasında mekanik bağlar meydana gelir, sinterleme esnasında bu oluşan mekanik bağlar metalik bağa dönüştürülür. Bu sayede sinterlenen parçanın mukavemet ve dayanımı artırılmış olur. Parçanın dayanımı miktarında sinterleme öncesi ve sonra olarak çok büyük farklar vardır. Sinterleme sıkıştırılan tozun ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yapılır. Ancak sıkıştırılan toz birden fazla ise, tozlar arasında ergime sıcaklığı en düşük olan metalin ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta sinterleme sıcaklığı olarak seçilir (Hiçyılmaz, 1999).

Sinterleme işlemi ısı işlemi olarak da bilinmektedir. Sinterleme işlemi sıkıştırılmış mekanik bağla birbirine bağlanan toz kümesini yüksek mukavemetli bir malzemeye dönüştürür. Sinterleme parçaya son şeklini verir ve aynı zamanda

malzemeye bir çok özellik kazandırır. Sinterlemenin amacı, sertlik, yorulma dayanımı, mukavemet artışı, elektriksel ve termal iletkenlik ve yüksek korozyon dayanımı gibi mühendislik malzemelerinin ihtiyaç duyduğu en önemli özellikleri malzemeye kazandırmaktır (Şafak 2008).

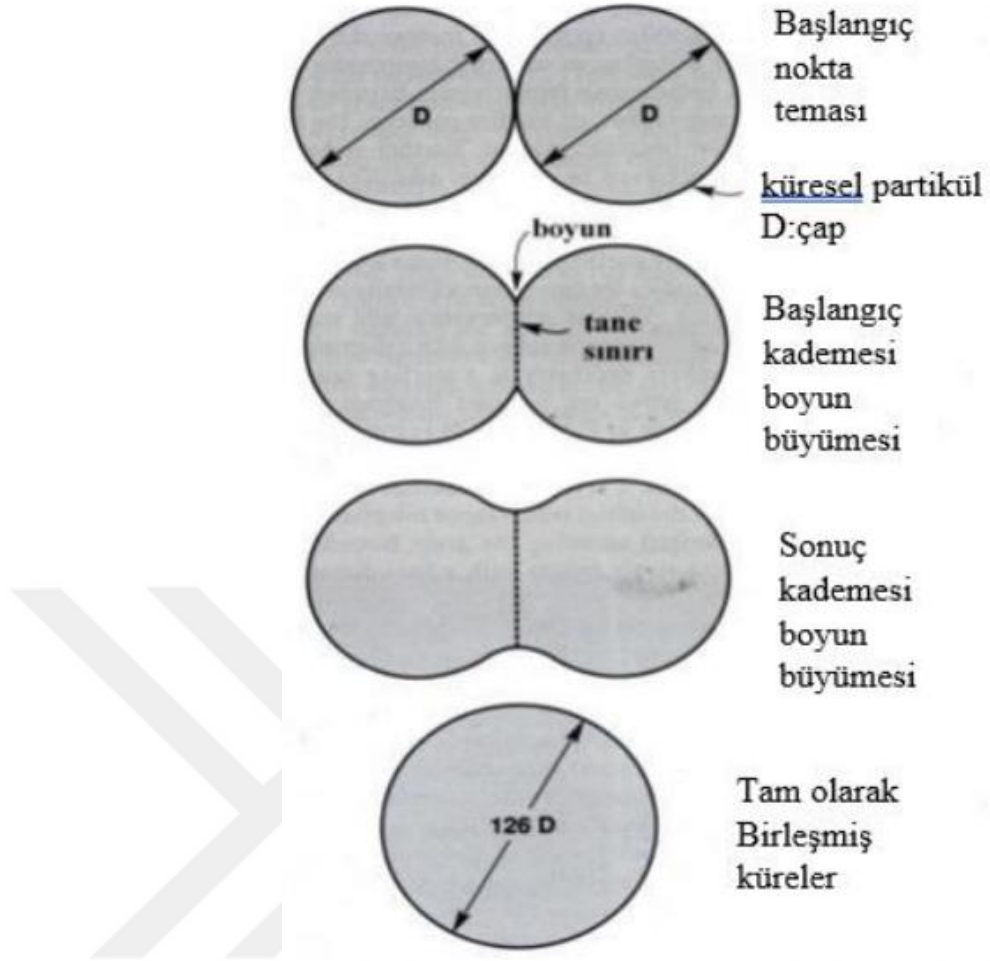
6.6.4.1. Katı Hal Sinterleme

Katı hal sinterleme işlemi, katı faz sinterleme sıcaklıklarında katı parçacıklar arasında oluşan bir yoğunluk artırma işlemidir. Boyun konstrüksiyon difüzyonu ile oluşur. Sinterleme üç aşamada olmaktadır. Bunlar; ilk temas, boyun büyümesi ve yoğunlaştırmadır (Şafak 2008). Şekil 6.6.'da bu üç aşama gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Katı Hal Sinterlemenin Aşamaları (Şafak 2008).

Bu sinterleme yöntemi difüzyon esasına dayanmaktadır.



Şekil 6.7. Sinterleme Sırasında Oluşan Boyun, Gözenek Ve Tane Sınırlarının Gösterimi (Sarıtaş, Türker& Durlu 2007).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Giriş

Bakır matrisin içerisine sert partiküllerin ilave edilmesi ile kompozit malzemenin sertlik, aşınma dayanımı ve mukavemeti artar. Ancak iletkenliği düşük SiC gibi seramik sert partiküllerin ilavesi bakır ve alaşımının elektrik ve termal iletkenliği bir miktar olsa da düşürür. Bu beklenen ve olası bir durumdur. Ancak bakırın mekaniksel, darbe, aşınma ve yüksek sıcaklık dayanımı düşüktür. SiC gibi sert partiküllerin ilavesi bu özellikleri iyileştirmektedir. Ayrıca bakıra nikelin ilavesi ile yapılan alaşımlamada bakırın özellikleri olumlu olarak artmaktadır. Bu sayede bakırın uygulama alanı genişlemiş olur. Bu alaşım ve kompozitler elektronik kontak malzemesi olarak endüstride geniş yer bulmaktadır. Röleler, iletkenler, elektrik anahtarları, elektronik devre kesicileri gibi uygulamalarda kullanılabilir.

Bu çalışmanın amacı, bakır matrise SiC gibi bir seramik toz ve Ni ilavesi ile yüksek iletken ve bakıra göre daha mukavemetli bir bakır kompozitinin geliştirilmesidir. Bakır tozlarına SiC tozları hem ayrı olarak hem Ni ile beraber farklı oranlarda karıştırılmıştır. Nikel tozları da ayrı olarak ve SiC tozları ile beraber farklı oranlarda karıştırılmıştır.

Çalışmada hem Nikel tozlarının tek başına bakıra ilavesi hem de SiC ile ilave edilmesiyle en ideal alaşıma ulaşmak amaçlanmıştır. Sonuçların alaşımsız bakır ile karşılaştırılması amacıyla saf Cu da üretilmiştir.

7.2. Çalışmada Kullanılan Tozlar

- Matris malzemesi olarak:

Hazır bakır tozu (10 µm boyutunda, %99,99 saflıkta)

- Takviye malzemesi olarak:

Hazır SiC tozu (38 µm boyutunda, %99,99 saflıkta)

Hazır Ni tozu (10 µm boyutunda, %99,99 saflıkta)

- Sinterleme esnasında parçaların oksitlenmesini engellemek amacıyla grafit tozu kullanılmıştır.

7.3. Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar

Bu proje kapsamında kullanılan cihazlar aşağıda listelenmiştir.

- Kompozit bakır tozlarının kalıplanmasında Besmak marka basma cihazı kullanılmıştır. Kalıp 7,5 mm çapında (Dişi kalıp, erkek kalıp, zımba)
- Sinterleme çalışması için Protherm marka kül fırını. Max. sıcaklık 1200°C.
- Optik mikro yapıların görüntülenmesi amacıyla Nikon marka optik mikroskop.



Fotoğraf 7.1. Mettler Marka Hassas Terazi

7.4. Deneysel Çalışmada İzlenen Yol

Çalışmada izlenen yol sırasıyla aşağıdaki belirtilmiştir.

Toz karışımının hazırlanması;

Farklı oranlarda bakır, SiC ve Ni tozlarına yağlayıcı ve bağlayıcı ilave ederek karıştırma işlemi yapılmıştır. Ve çapı 7,5 mm, yaklaşık yüksekliği 3 mm olacak şekilde tek yönlü sıkıştırılarak silindirik kontak numuneleri elde edilmiştir. Karıştırma esnasında toz karışımına %1 oranında yağlayıcı (çinko stearat) ve %1 oranında

bağlayıcı (PVA-polivinil alkol) katılmıştır. Yapılan çalışmada Cu tozları 10 µm, SiC tozları 38 µm ve Ni tozları µm olarak kullanılmıştır.

Bakır ve SiC tozları max. %5 SiC olacak şekilde farklı oranlarda karıştırılmıştır.

100Cu

99Cu + 1SiC

97,5Cu + 2,5SiC

96Cu + 4SiC

95Cu + 5SiC

Bakır ve nikel tozları max. %4 Ni olacak şekilde farklı oranlarda karıştırılmıştır.

100Cu

99Cu + 1Ni

98Cu + 2Ni

97Cu + 3Ni

96Cu + 4Ni

Bakır tozları ile hem Ni hem de SiC tozları farklı oranlarda birlikte karıştırılmıştır.

100Cu

98Cu + 1SiC + 1Ni

97Cu + 1SiC + 2Ni

96Cu + 1SiC + 3Ni

95Cu + 1SiC + 4Ni

96,5Cu + 2,5SiC + 1Ni

95,5Cu + 2,5SiC + 2Ni

94,5Cu + 2,5SiC + 3Ni

93,5Cu + 2,5SiC + 4Ni

95Cu + 4SiC + 1Ni

94Cu + 4SiC + 2Ni

93Cu + 4SiC + 3Ni

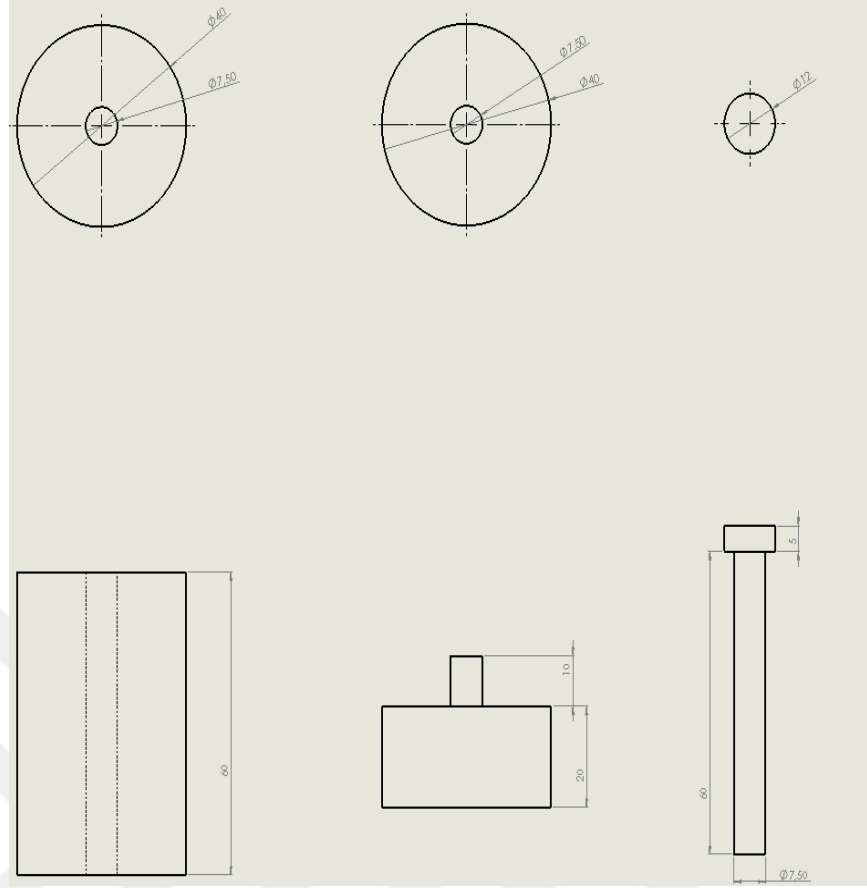
92Cu + 4SiC + 4Ni

Tozların Sıkıştırılması (Soğuk Presleme);

Bakır ile farklı oranlarda karıştırılan tozlar 7,5 mm çapında kalıplara konulmuştur. Kalıbın teknik resmi Fotoğraf 7.4.'de verilmiştir. Presleme esnasında kullanılan basınç 850 MPa'dır. Fotoğraf 7.2'de çalışmalarda kalıp içerisindeki alaşım ve kompozit tozların sıkıştırılmasında kullanılan cihazın fotoğrafı görülmektedir. Kalıplama işleminden sonra Sinterleme aşamasına geçilmiştir.



Fotoğraf 7.2. TM numune üretiminde kullanılan kalıbın fotoğrafları



Fotoğraf 7.3. TM üretiminde kullanılan kalıbın teknik resmi



Fotoğraf 7.4. Besmak Marka Basma Cihazı



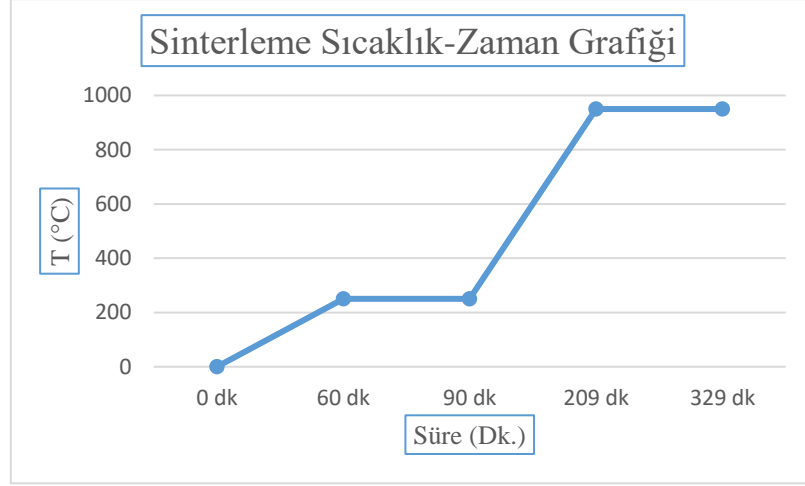
Fotoğraf 7.5. Presleme ve sinterleme sonrasında elde edilen bazı TM ürünlerin fotoğrafları

Sinterleme

Sinterleme işleminde, hazır tozlar kullanılarak belirtilen oranlarda karıştırılan toz karışımları grafit tozuna gömülmüştür. Buradaki amaç üretilen toz metalürji ürünlerinin oksitleyici ortamdan izole edilmesidir. Sırasıyla dizilen ve grafit tozuna gömülen parçalar 950 °C’de 2 saat boyunca açık atmosferli fırında sinterlenmiştir. Sıcaklık artışı kademeli yapılmıştır. Şekil 7.1.’de sinterleme işleminde kullanılan sinterleme sıcaklık-zaman grafiği verilmiştir.

Oda sıcaklığından 250 °C’ye dakikada 4 °C (4 °C/dk.) artış olacak şekilde ısıtılmıştır. 250 °C’de 30 dakika boyunca beklenmiştir. 250 °C’den 950 °C’ye dakikada 6 °C (6 °C/dk.) artış olacak şekilde ısıtılmıştır. Parçalar 950 °C’de 2 saat boyunca sinterlenmiştir.

Sinterleme sonrasında parçalara sıcak presleme uygulanmamıştır. Herhangi bir karbon difüzyon riskini ortadan kaldırmak amacıyla numune yüzeyleri dikkatli ve hassas şekilde taşlanmıştır.



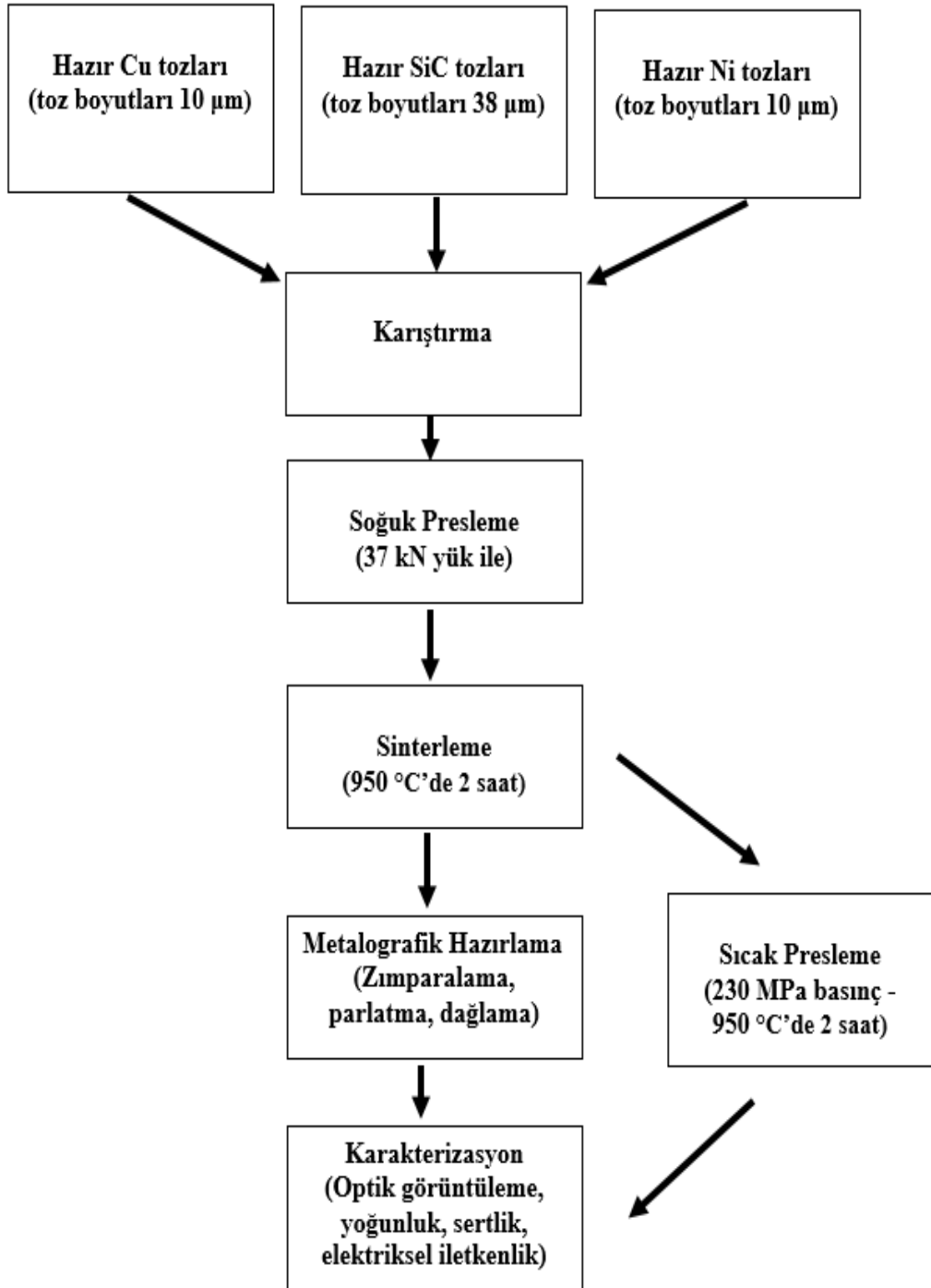
Şekil 7.1. Sinterleme Sıcaklık-Zaman Grafiği



Fotoğraf 7.6. Protherm Marka Sinterleme Fırını (Kül Fırını) (Max. Sıcaklık 1200°C)

Karakterizasyon

Bakır matrisli kompozitlerin üretim sırası şema halinde aşağıda gösterilmiştir (Şekil 7.2). Karıştırma, soğuk presleme, Sinterleme ve metalografik hazırlama işlemleridir.



Şekil 7.2. Kompozit Toz Metalürji Ürünlerinin Şematik Üretim Şekli

Sinterlenen parçalara sırasıyla aşağıdaki karakterizasyon işlemleri yapılmıştır.

- Yoğunluk
- Mikro yapı (Optik Mikroskop)

- Sertlik
- Elektriksel iletkenlik

Sıcak Presleme

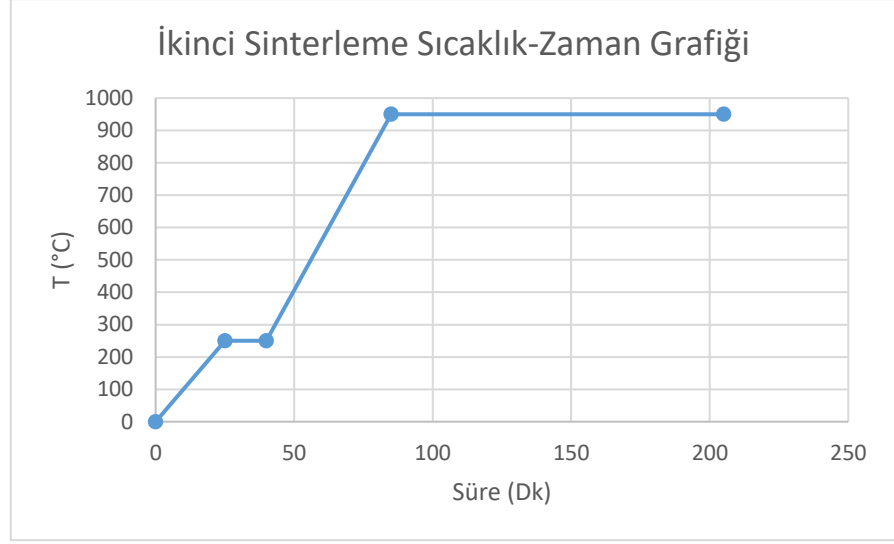
Sıcak presleme işleminde, hazır tozlar kullanılarak belirtilen oranlarda karıştırılan toz karışımları grafit tozuna gömülmüştür ve sinterlenmiştir. Buradaki amaç üretilen toz metalürji ürünlerinin oksitleyici ortamdan izole edilmesidir. Sırasıyla dizilen ve grafit tozuna gömülen parçalar 950 °C’de 2 saat boyunca açık atmosferli fırında sinterlenmiştir. Sıcaklık artışı kademeli yapılmıştır. İkinci sinterlemede sıcaklık artış ve süreleri ilk sinterlemeden farklı yapılmıştır (Şekil 7.3.).

Oda sıcaklığından 250 °C’ye dakikada 10 °C (10 °C/dk.) artış olacak şekilde ısıtılmıştır.

250 °C’de 15 dakika boyunca beklenmiştir. 250 °C’den 950 °C’ye dakikada 15 °C (15 °C/dk.) artış olacak şekilde ısıtılmıştır. Parçalar 950 °C’de 2 saat boyunca sinterlenmiştir. Bu sinterleme işleminden hemen sonra, parçalar soğutulmadan preslenmiştir (Şekil 7.3.)

Parçalar 2 saat boyunca 950 °C’de sinterlendikten sonra sıcak presleme yapılmıştır. Parçalar soğumaya fırsat verilmeden tek tek sinter fırınından alınarak presleme işlemine tabi tutulmuştur. Sıcak presleme işleminde soğuk preslemede kullanılan kalıp kullanılmıştır. Sıkıştırma basıncı olarak 230 MPa seçilmiştir (Fotoğraf 7.6).

Sinterleme işlemi sonrasında, deneysel çalışmalar öncesinde herhangi bir karbon difüzyon riskini ortadan kaldırmak amacıyla numune yüzeyleri dikkatli ve hassas şekilde taşlanmıştır.



Şekil 7.3. Sıcak Presleme Öncesi Yapılan Sinterleme İşleminin Sıcaklık-Zaman Grafiği



Fotoğraf 7.7. Sinterlenmiş ve sıcak preslenmiş bazı TM numuneler

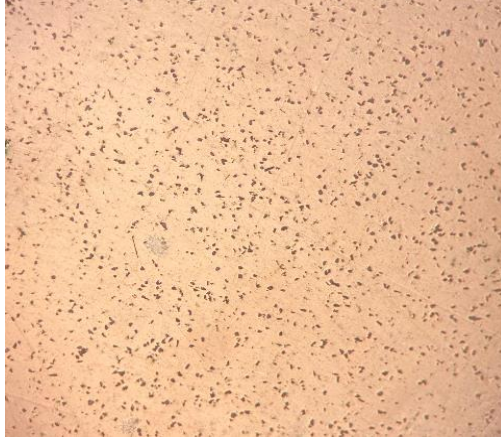
8. DENEYSEL SONUÇLAR

8.1.Metalografik İnceleme

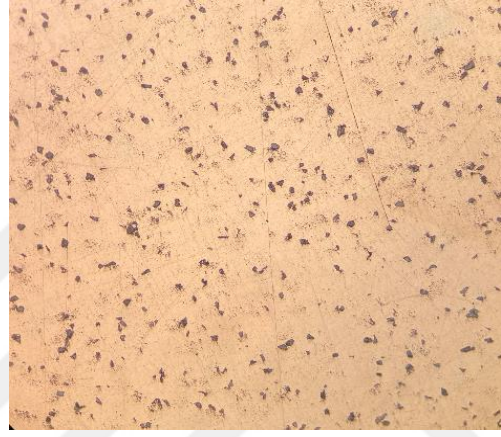
Proje kapsamında Cu-Ni, Cu-SiC ve Cu-Ni-SiC tozları karıştırılarak farklı kompozisyonlarda alaşımlar elde edilmiştir. Karıştırılan kompozisyonlar soğuk ve tek yön presleme yöntemi ile preslenmiştir. Preslenen parçalar 950 °C’de grafitte gömülü şekilde 2 saat boyunca sinterlenmiştir.

Numunelere parlatma işlemi yapılmadan önce numuneler bakalite (polyester reçine) alınmıştır. Numuneler öncelikle sırasıyla 320,600,850,1200 ve 2000 meshlik zımparalarda zımparalanmış. Daha sonra 0,75 ve 0,25 µm’luk elmas pasta ile parlatılmıştır. Numuneler bu işlemden sonra mikroskop ile optik görüntüleri alınmıştır. Mikro yapı görüntülerinde koyu, köşeli yapılar SiC karbürleri göstermektedir. (Fotoğraf 8.1-8. 5)

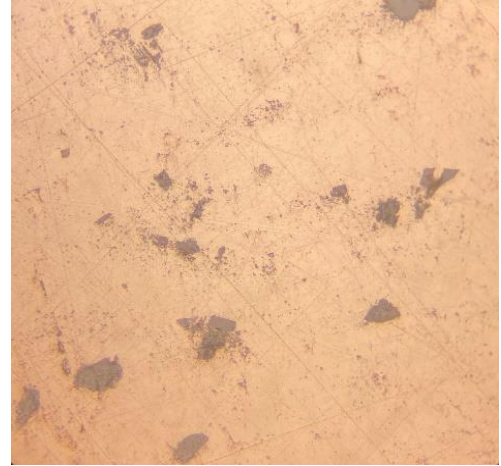
Mikroskop görüntülerinde bakır matris açık renkli, SiC partikülleri gri veya koyu renkte ve köşelidir. SiC partikülleri bakır matris içerisinde homojen bir şekilde dağılmış haldedir. SiC partikülleri bakırın etrafını sarmalamış şekildedir. SiC takviye oranı arttıkça SiC taneleri matrisin tüm tane sınırlarına doğru yayılmıştır. Takviye oranı artsa da matrisin tane boyutu değişmemektedir.



(a)

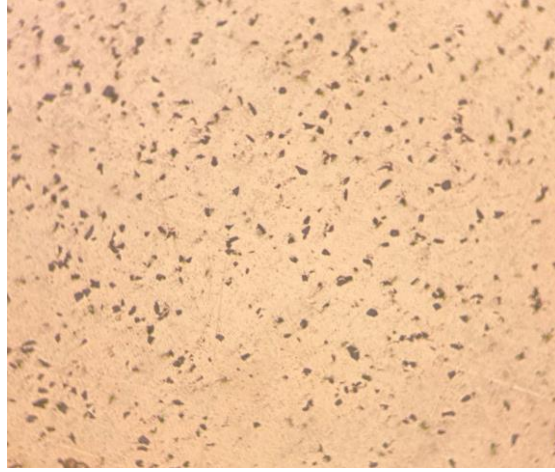


(b)



(c)

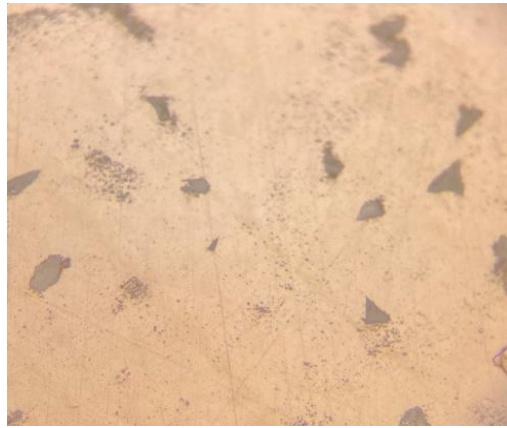
Fotoğraf 8.1. Cu + %1 SiC kompozitlerinin mikroskopik görüntüsü (a) 10X büyütme, (b) 20X büyütme, (c) 50X büyütme



(a)

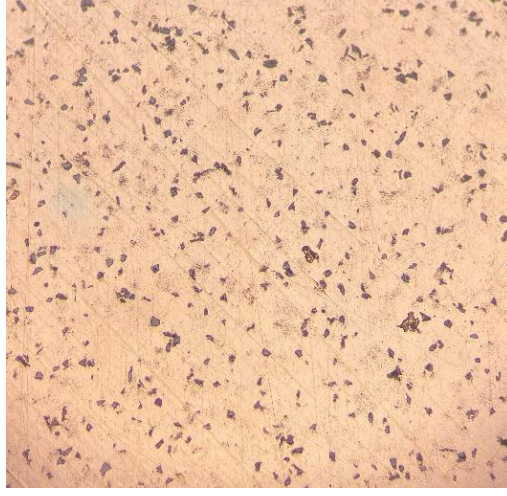


(b)

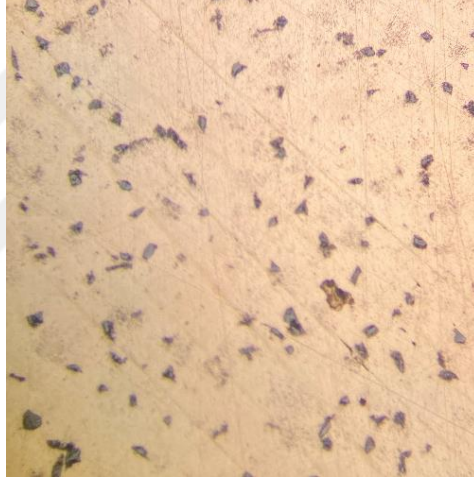


(c)

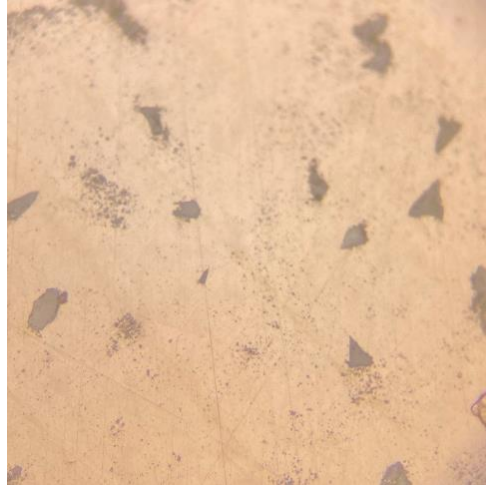
Fotoğraf 8.2. Cu + %2,5 SiC kompozitlerinin mikroskopik görüntüsü (a) 10X büyütme, (b) 20X büyütme, (c) 50X büyütme



(a)

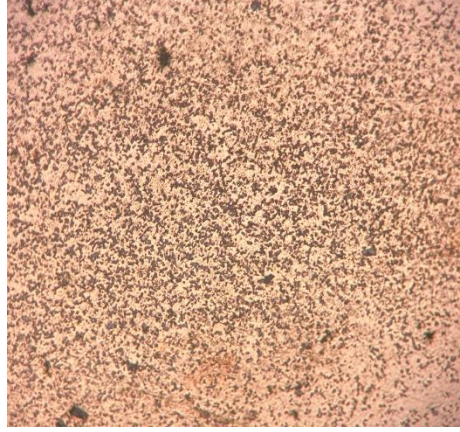


(b)

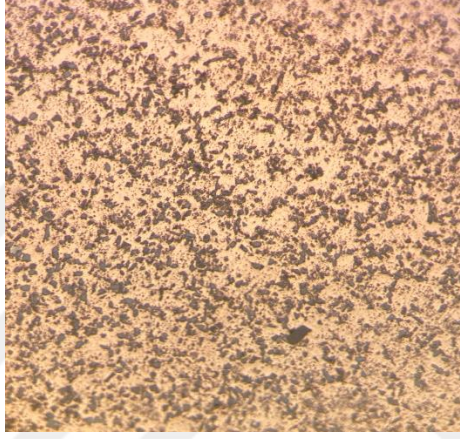


(c)

Fotoğraf 8.3. Cu + %4 SiC kompozitlerinin mikroskopik görüntüsü (a) 10X büyütme, (b) 20X büyütme, (c) 50X büyütme



(a)



(b)



(c)

Fotoğraf 8.4. Cu + %5 SiC kompozitlerinin mikroskopik görüntüsü (a) 10X büyütme, (b) 20X büyütme, (c) 50X büyütme



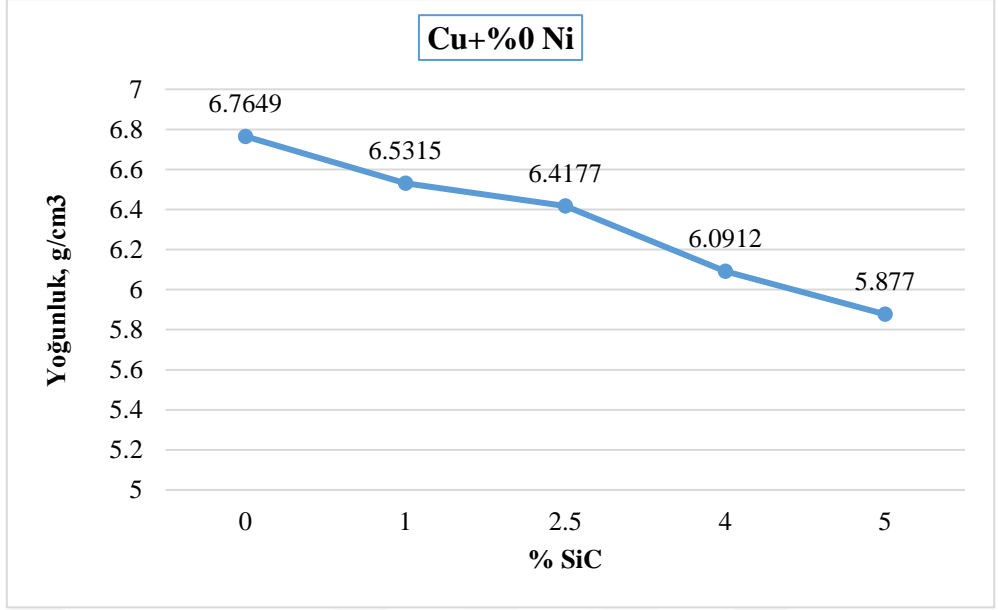
Koyu renkte köşeli yapılar SiC parçacıklarıdır.

Fotoğraf 8.5. SiC 'ün yapı içerisinde gösterimi

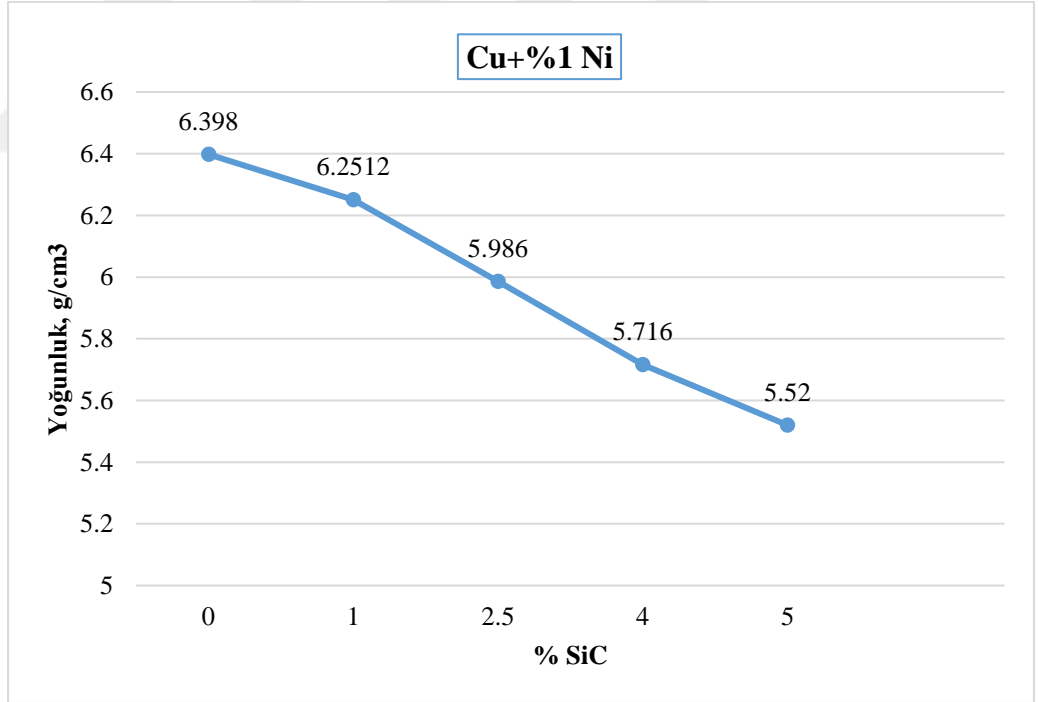
8.2.Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

SiC ve Ni tozları kullanılarak hazırlanan sinterlenen parçaların yoğunlukları ölçülmüştür. SiC 'ün yoğunluğu bakıra göre azdır. Dolayısıyla SiC oranının artmasıyla numunenin yoğunluğu azalmaktadır. Bu beklenen bir durumdur. Ni' in yoğunluğu bakıra yakın olsa bile bir miktar düşüktür. Bu nedenle Ni artmasıyla yoğunluk azalmaktadır. Yapılan ölçümlerde SiC ilave edildiğinde yoğunluğun azaldığı gözlemlenmiştir. Bakıra yalnızca nikel ilave edildiğinde yoğunlukta düşme görülmüş ancak değerler SiC ilavesindeki kadar büyük değildir. Bakıra nikel alaşımlarında nikel ilavesinde yoğunluk değerlerinde bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Ancak bu azalma SiC takviyesinde olan kadar hızlı bir azalma değildir (**Şekil 8.1-8.5**).

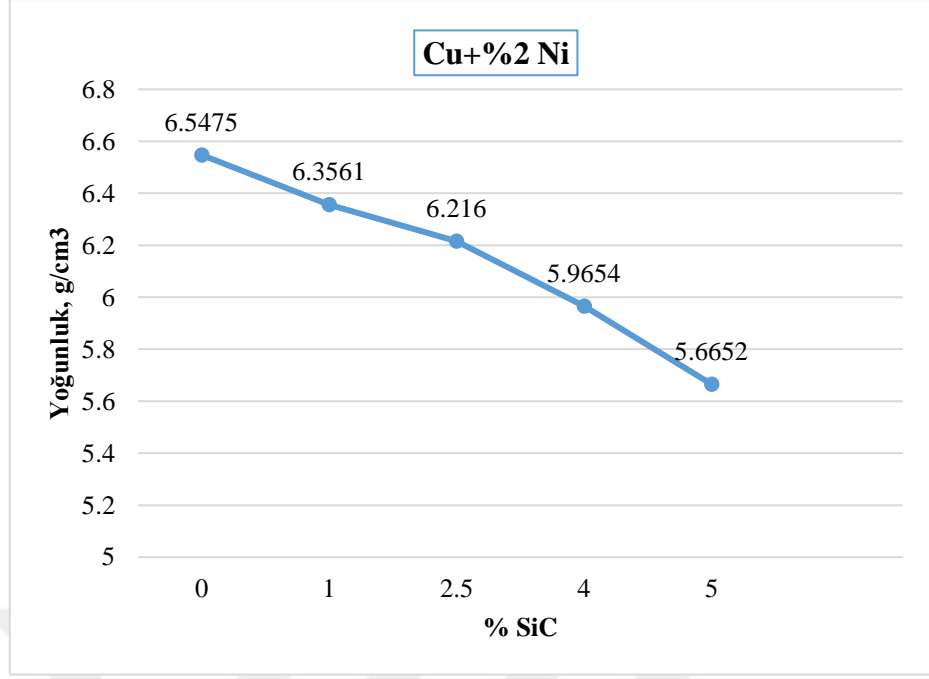
Bakır-Nikel-Silisyum karbür kompozit malzemesinin yoğunluğu incelendiğinde yoğunlukta beklenenin dışında bir durum gerçekleşmemiştir. Hem SiC hem de Ni 'in yoğunlukları düşük olduğu için her ikisinin aynı anda ilave edilmesinde yoğunluğun düşmesi olağandır. Bu durum düşük yoğunluk istenen uygulamalarda avantaj olabilmektedir. Hem iletkenliğin istendiği, hem yüksek dayanım ve mukavemet gerektiren aynı zamanda düşük yoğunluk uygulamalarında tercih edilebilirler.



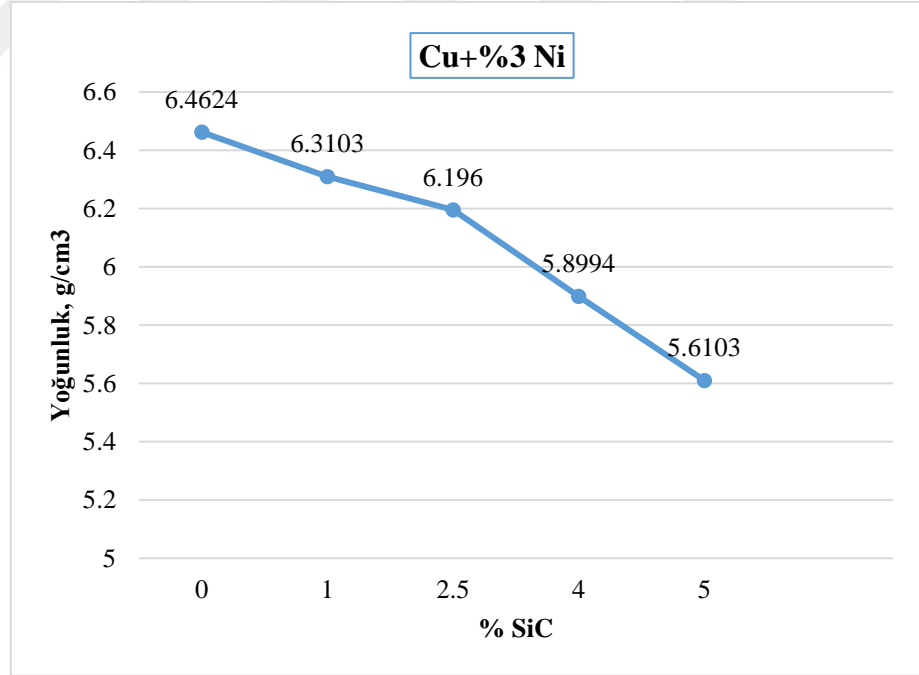
Şekil 8.1. Farklı oranlarda SiC içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi



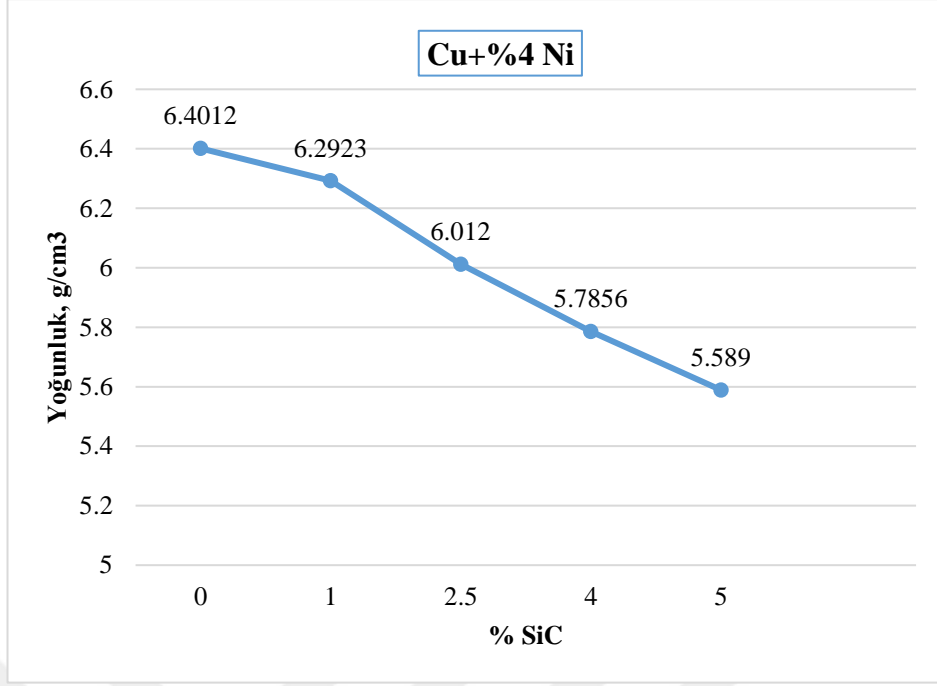
Şekil 8.2. Bakır - %1 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi



Şekil 8.3. Bakır - %2 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi



Şekil 8.4. Bakır - %3 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi

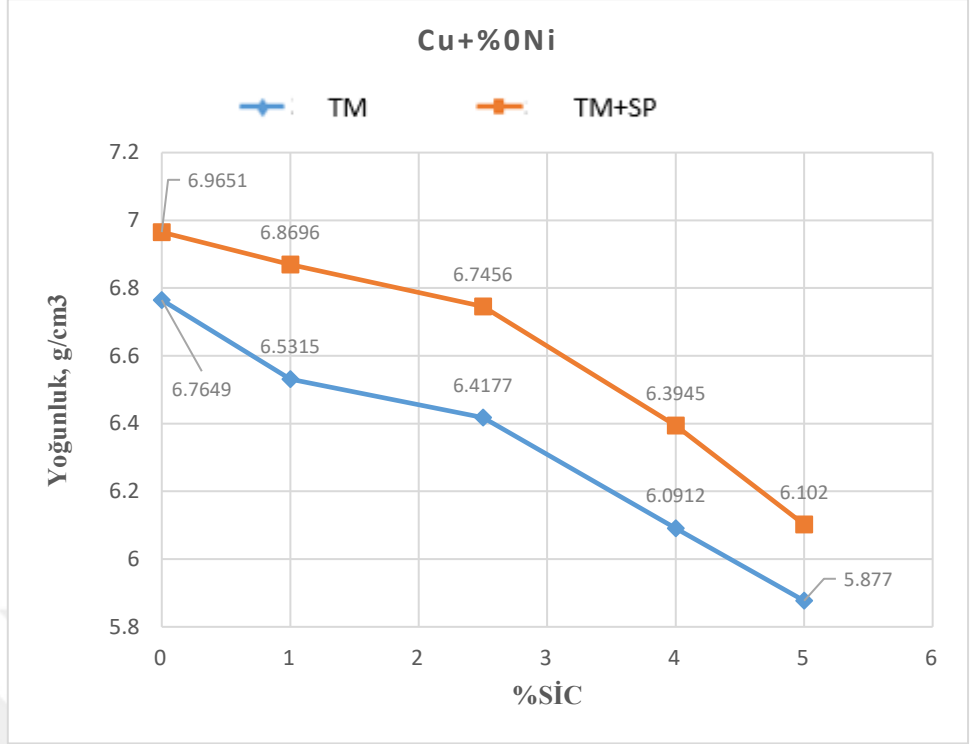


Şekil 8.5. Bakır - %4 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi

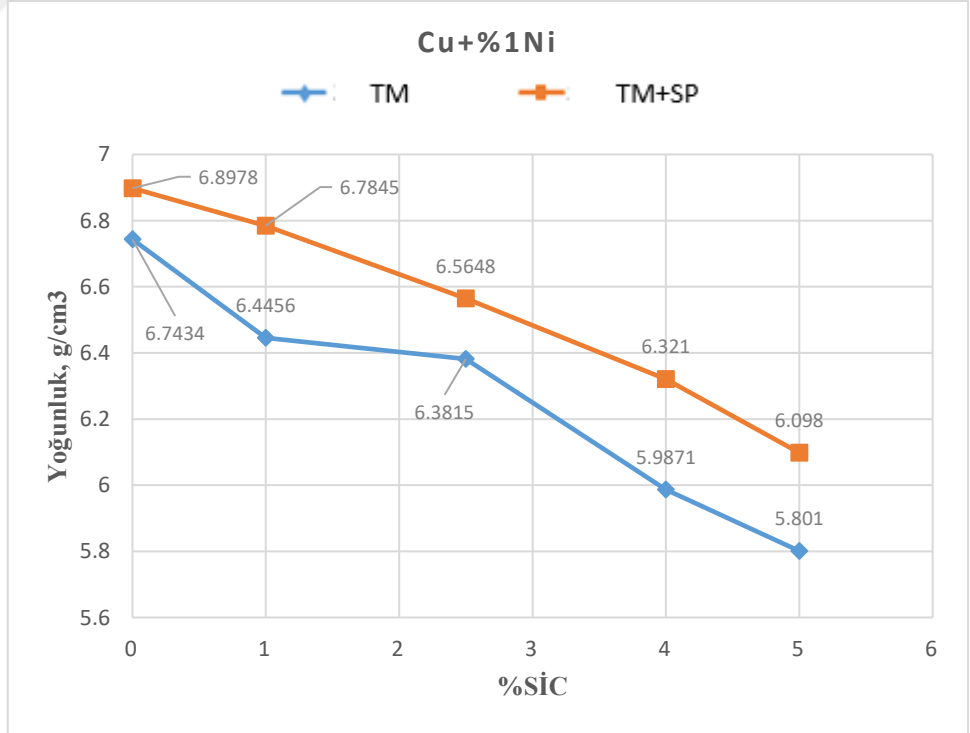
8.2.1. Sıcak Presleme Sonrasında Parçalardaki Yoğunluk Değişimi

Sinterleme işleminden sonra yapılan sıcak presleme işleminde 230 MPa basınç uygulanmıştır. Sıcak presleme yapılmış numunelerin yoğunlukları tekrar ölçülmüştür. Bu yapılan ölçümlerde; numune çaplarında ve ağırlıklarında herhangi bir değişim gözlenmezken silindirik numunelerin kalınlıkları (yükseklikleri) sıcak presleme öncesine göre azalmıştır.

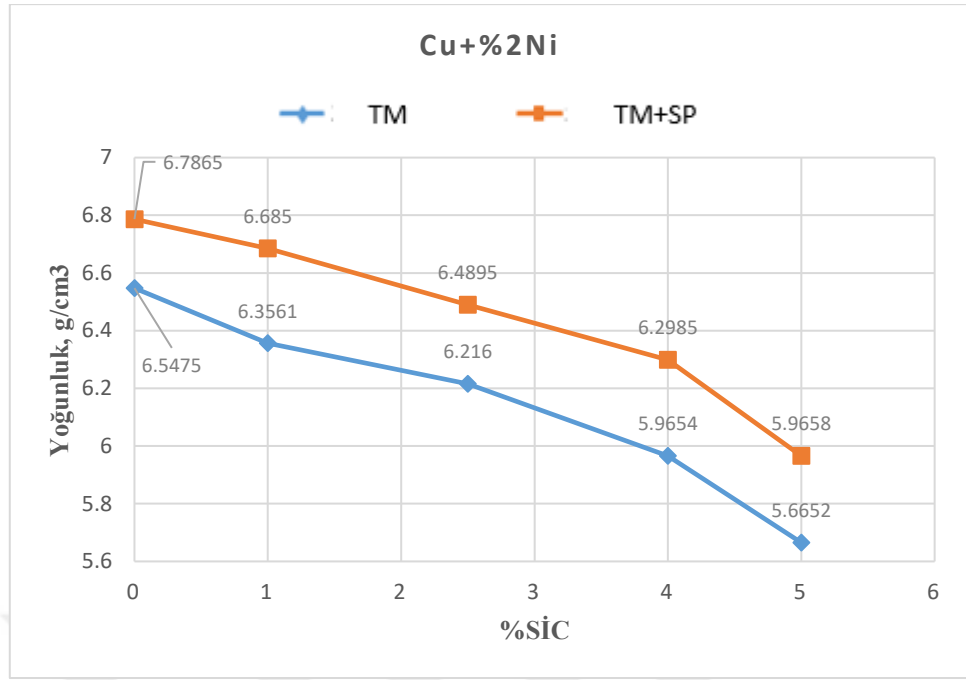
Bu durum sıcak presleme esnasında tozların arasında bulunan boşluklar soğuk preslemeye göre daha da azaldığını göstermektedir. Diğer üretim yöntemlerinde olduğu gibi sıcak preslemede sıkışma oranı daha fazla çıkmıştır. Sonuç olarak üretilen TM parçaların yoğunluklarının artmasına neden olmuştur (**Şekil 8.6-8.10**).



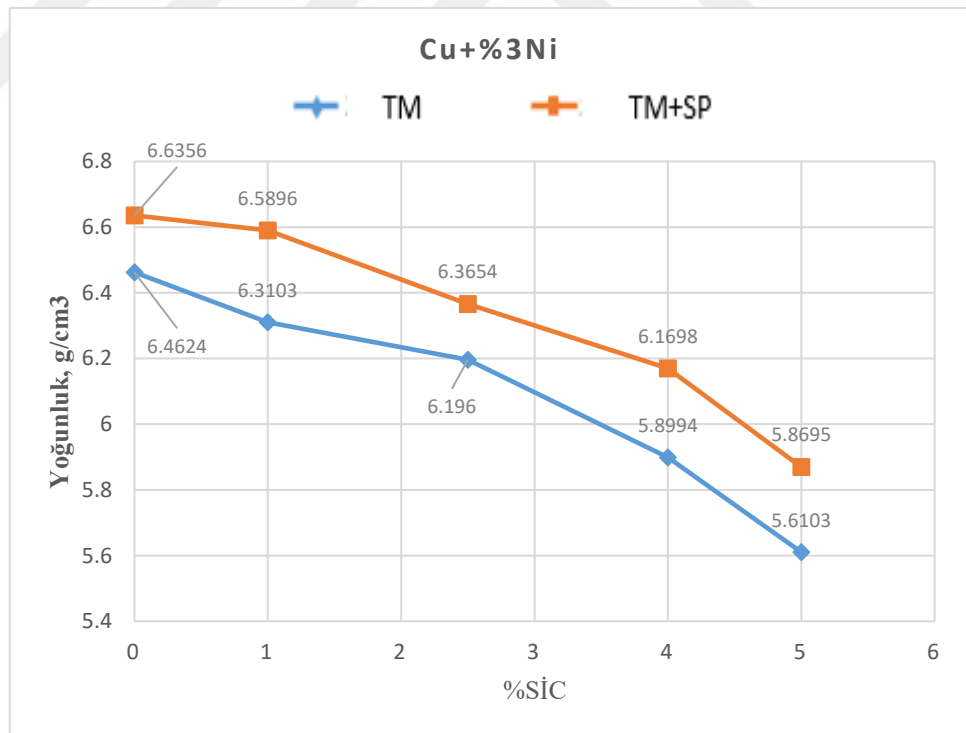
Şekil 8.6. Sıcak presleme öncesi ve sonrası farklı oranlarda SiC içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi.



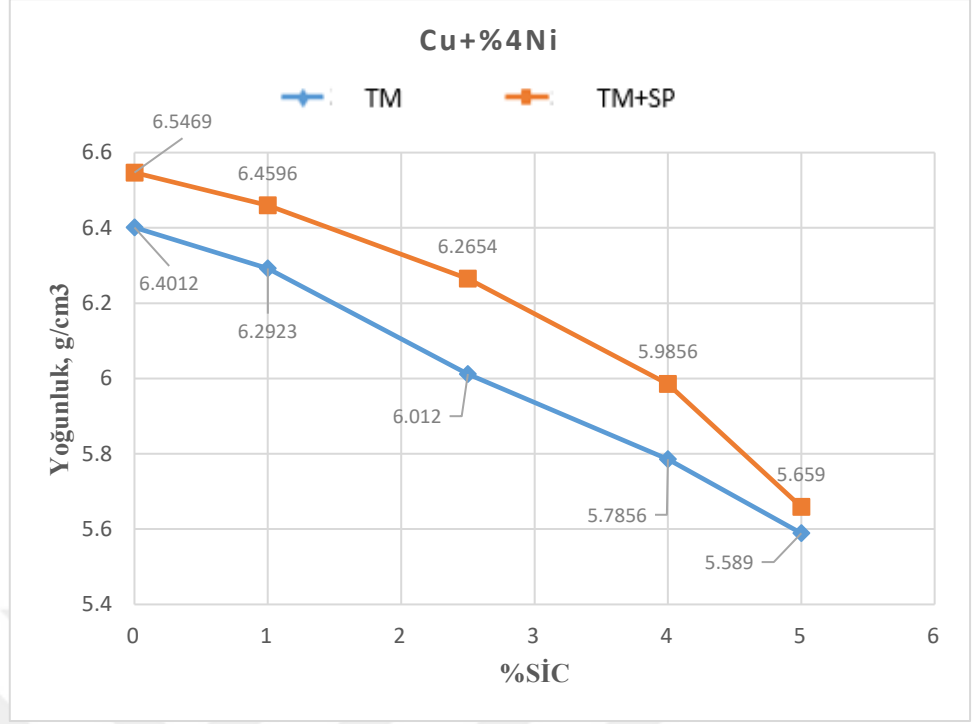
Şekil 8.7. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır + %1 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi



Şekil 8.8. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır + %2 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi



Şekil 8.9. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır + %3 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi



Şekil 8.10. Sıcak Presleme öncesi ve sonrası Bakır + %4 Nikel içeren kompozit yoğunluğuna SiC oranının etkisi

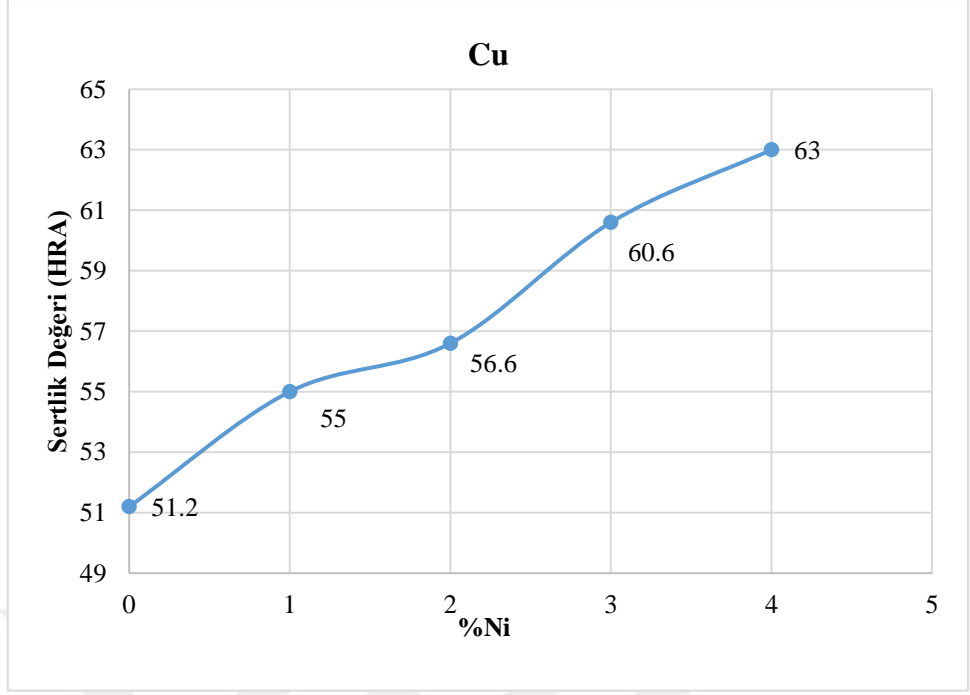
8.3.Sertlik Ölçüm Sonuçları

Sertlik ölçümleri Rockwell (HRA) sertlik ölçüm cihazında ölçülmüş ve en az 3 farklı ölçüm yapılarak ortalama değerler alınmıştır.

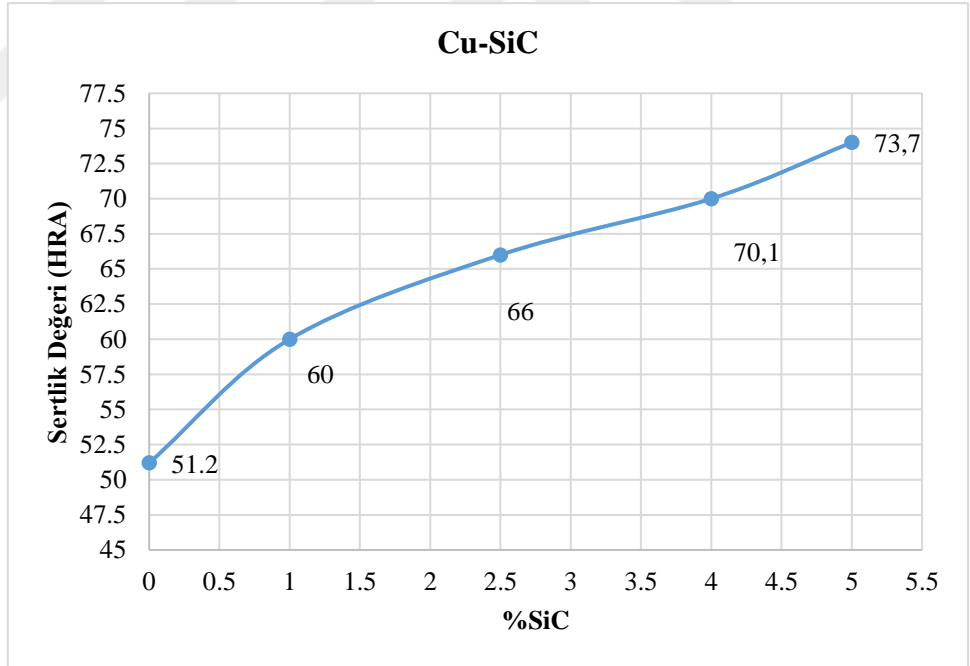
Sertlik incelemelerinde SiC takviye oranı arttığında numunenin sertliği artmıştır. SiC sert bir malzemedir. Karbürler metallere göre daha serttir. Takviye oranının artmasıyla numune sertliğinin artması beklenen bir durumdur. Saf bakır kontak malzemesi olarak kullanıldığında yüksek sıcaklıklardan etkilenmektedir. SiC sertliği arttırmakta ve malzemenin yüksek sıcaklık dayanımını arttırmaktadır.

Bakır-Nikel alaşımlarının sertlik değerlerine bakıldığında bakırdaki nikel oranı arttıkça sertlik değeri artmıştır. Nikel bakırın mekaniksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Nikelin yüksek sıcaklık dayanımı bakıra göre daha yüksektir. Bu nedenle nikel bakırın yüksek sıcaklık dayanımını artırır. Kontak malzemelerinde iletkenin aynı zamanda yüksek sıcaklığa karşı dayanımlı olması beklenmektedir. Bakıra nikel ilavesi ile bu sağlanmış olmaktadır.

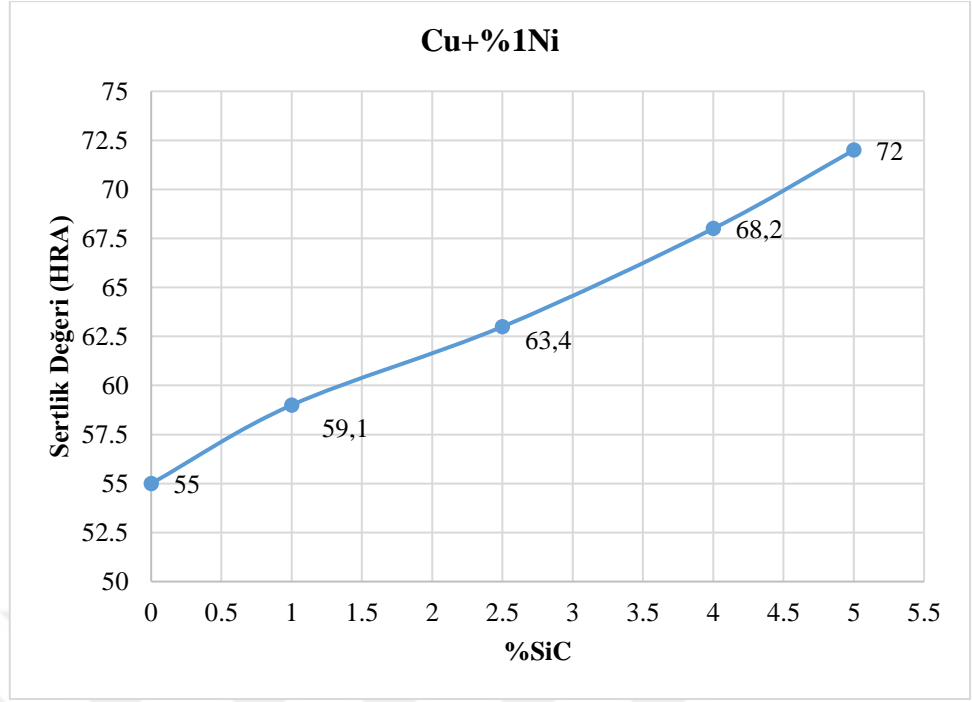
Bakır-Nikel-silisyum karbür kompozitlerinin sertliğine bakıldığında her ikisi de dayanım artırıcı olmuşlardır. Burada sertlik her ikisinin de yalnız başına kullanıldığından daha fazla artış göstermiştir (Şekil 8.11-8.16).



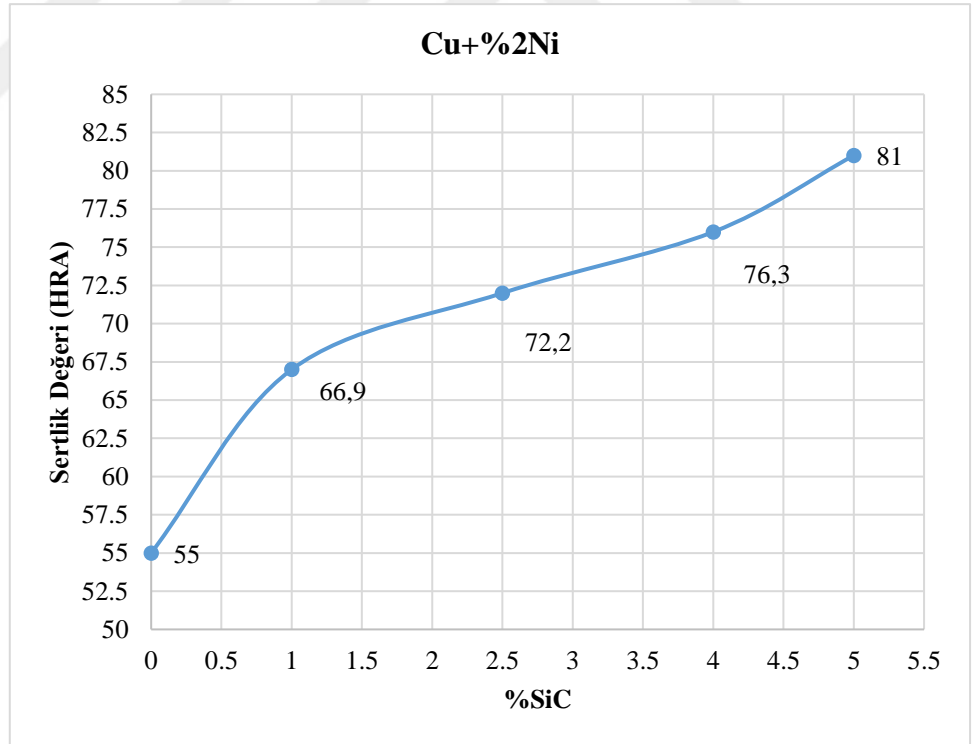
Şekil 8.11. Bakır-Nikel Alaşımlarının Sertlik Değerlerinin %Ni'e Göre Değişimi



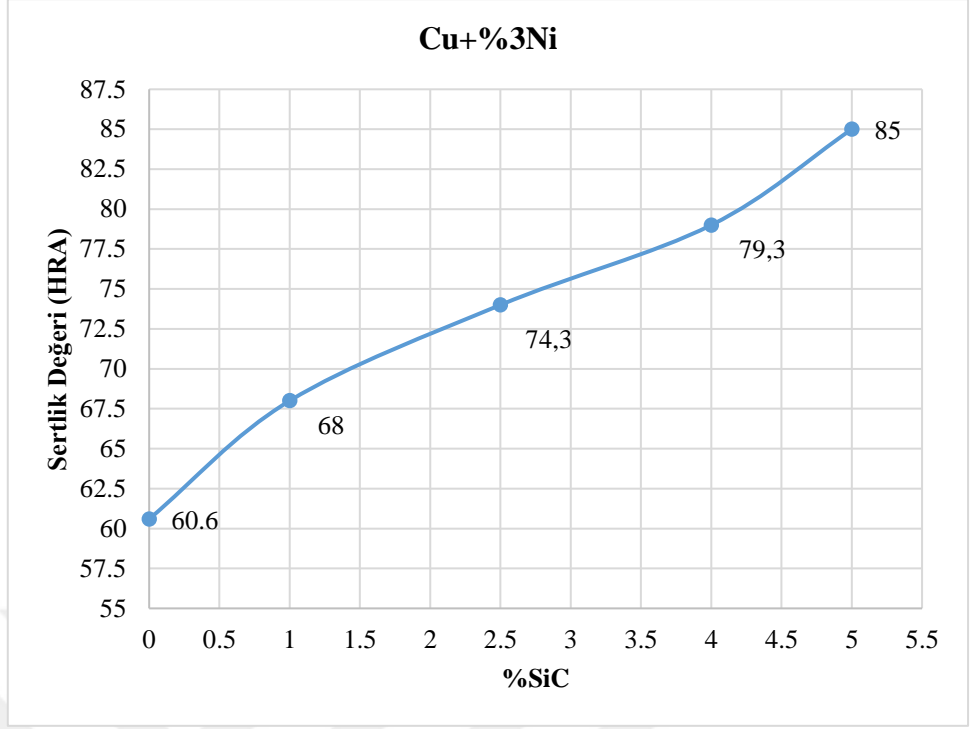
Şekil 8.12. Cu-SiC Kompozitlerinin Sertlik Değerlerinin %SiC'e Göre Değişimi



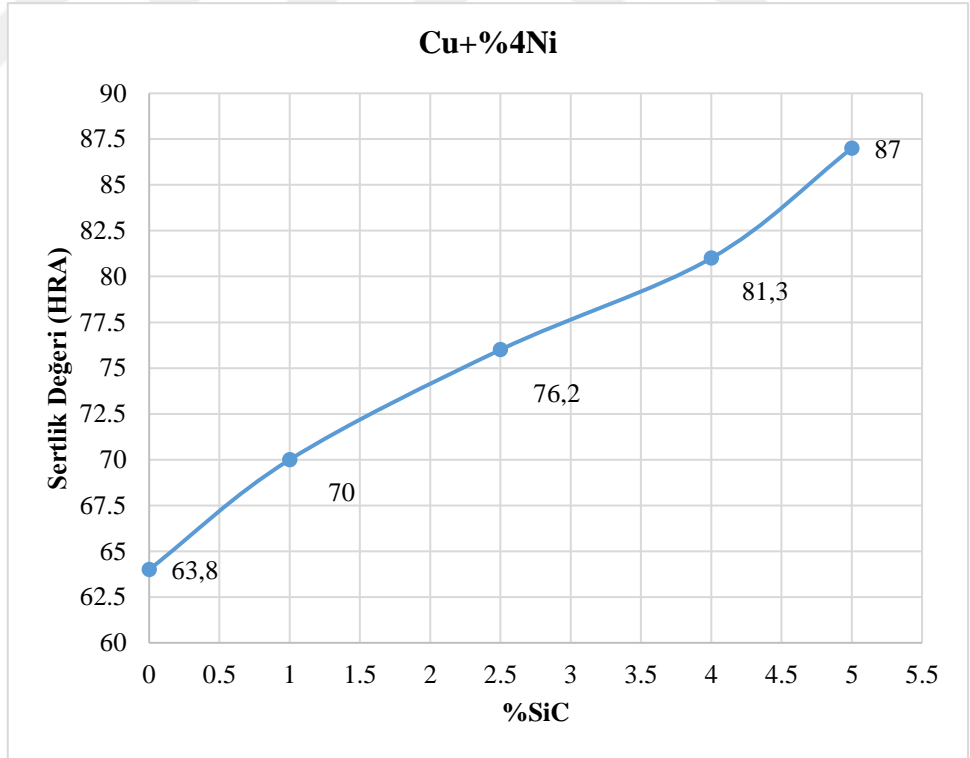
Şekil 8.13. Cu- %1Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi



Şekil 8.14. Cu- %2Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi



Şekil 8.15. Cu- %3Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi



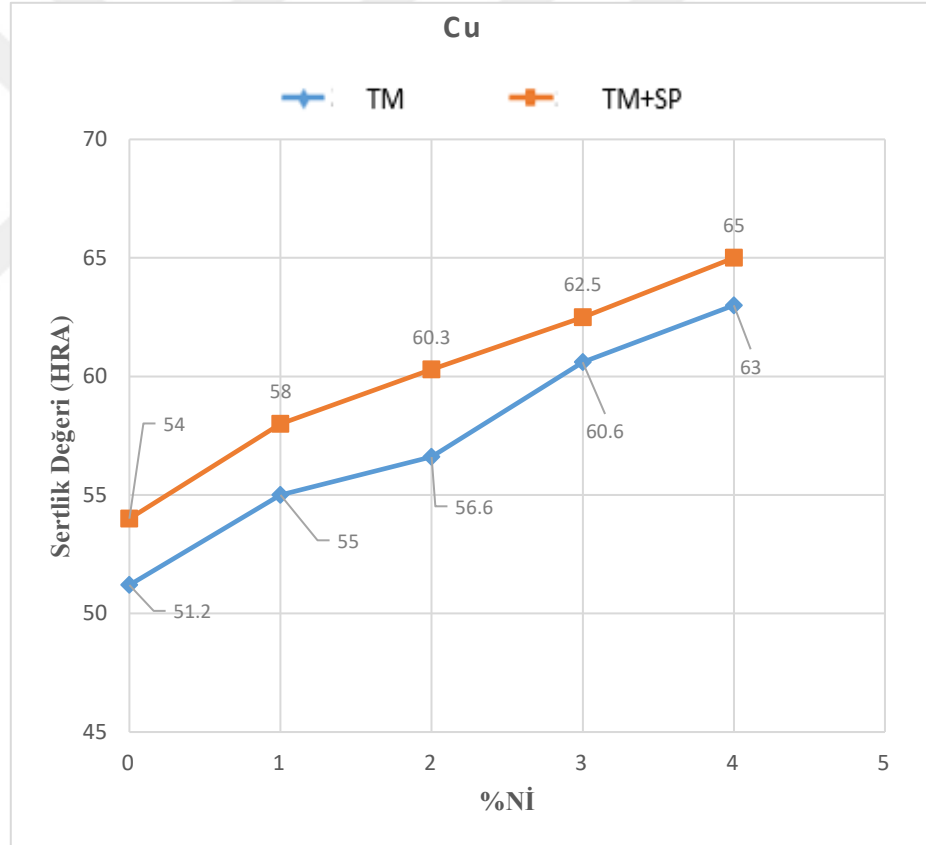
Şekil 8.16. Cu- %4Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi

8.3.1.Sıcak Presleme Sonrasında Parçalardaki Sertlik Değişimi

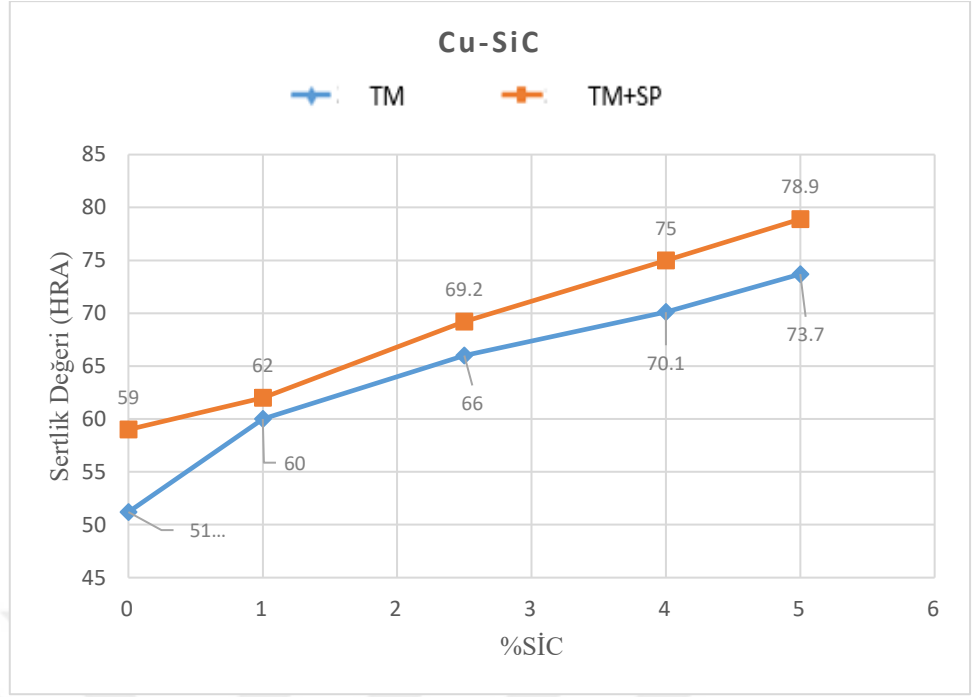
Sıcak presleme sonrasında parçalarda ki sertlik değişimleri Rockwell (HRA) cihazında ölçülmüştür. Parçalardan en az 3 farklı ölçüm yapılmıştır ve ortalama değerler alınmıştır.

Sıcak presleme sonrasında parçalarda ki yoğunluk değerleri artmıştır. Bu sıcak presleme sonrasında parçaların arasında ki gözeneklerin azalmasından kaynaklanmaktadır. Gaz boşlukları ve gözeneklerin azalması malzemenin daha sıkı bir yapıya sahip olmasına sebep olmaktadır.

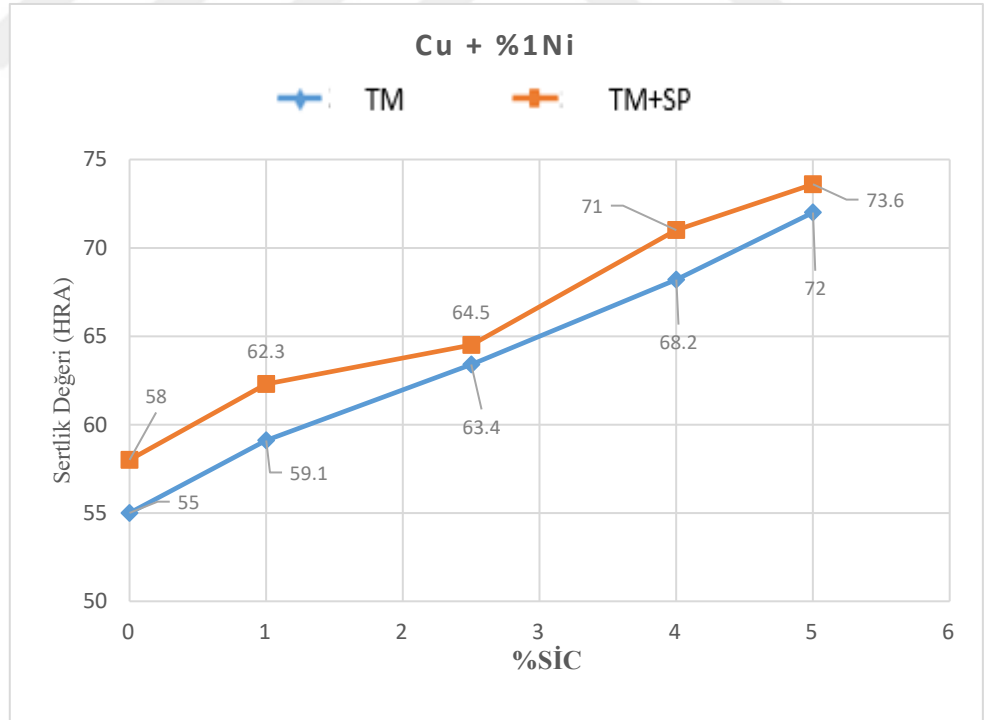
Sıcak presleme sonrasında parçaların sertlik değerlerinin bir miktar daha arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 8.17-8.22). Bu da yukarıda bahsi geçen gaz boşluklarının azalarak yapının sıkılaşmasından kaynaklanmaktadır .



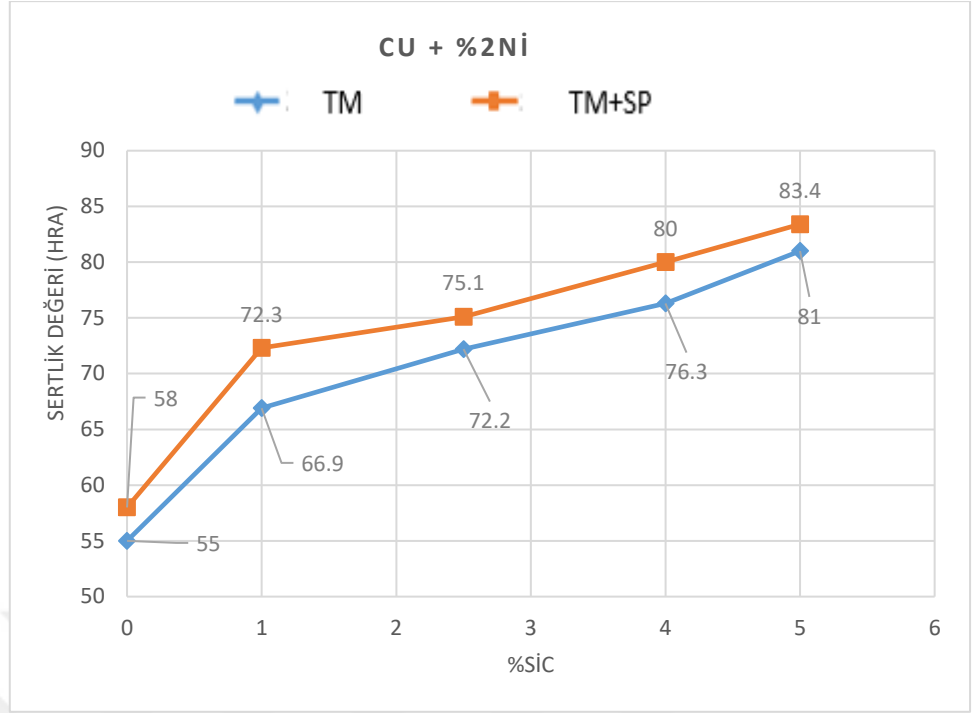
Şekil 8.17. Sıcak Presleme öncesi ve sonrası Bakır-Nikel Alaşımlarının Sertlik Değerlerinin %Ni'e Göre Değişimleri



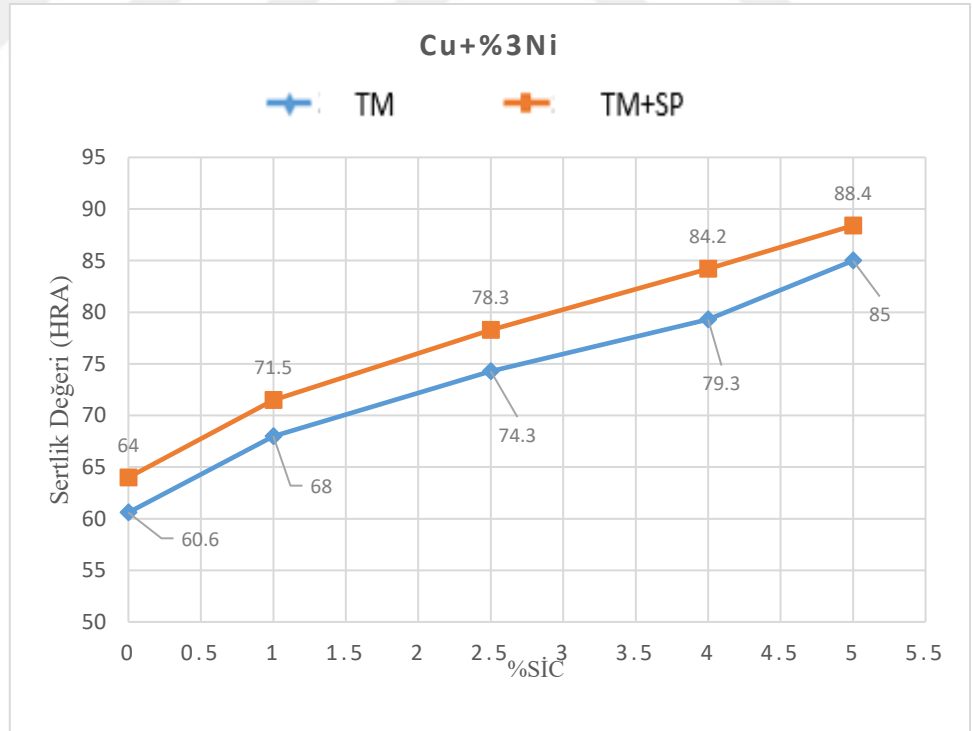
Şekil 8.18. Sıcak Presleme öncesi ve sonrası Cu-SiC Kompozitlerinin Sertlik Değerlerinin %SiC'e Göre Değişimleri



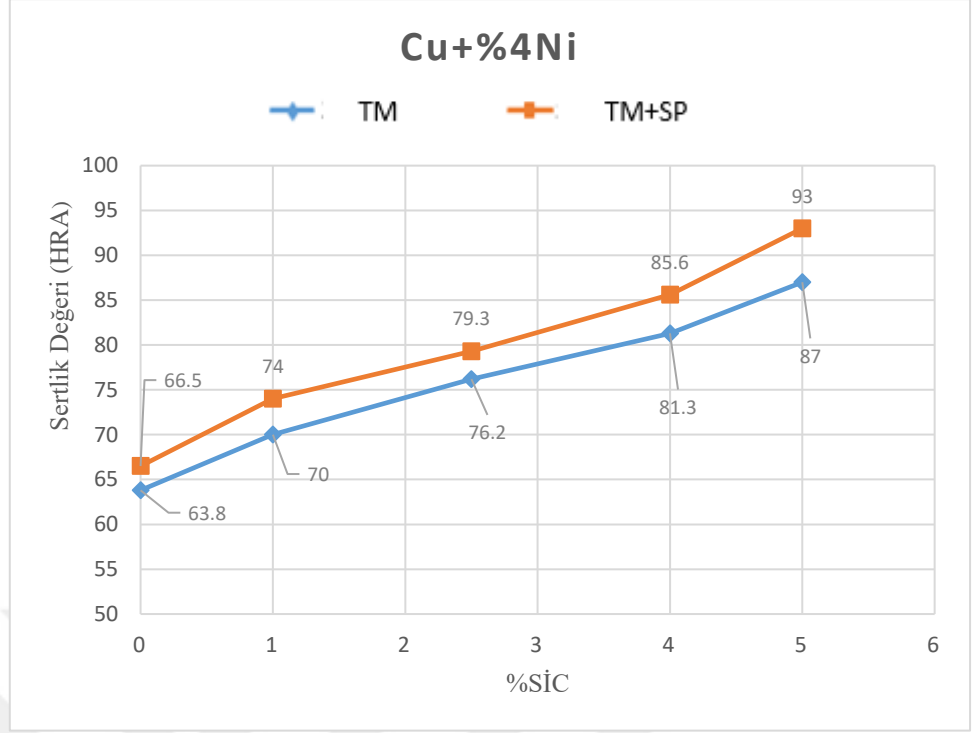
Şekil 8.19. Sıcak Presleme öncesi ve sonrası Cu- %1Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi



Şekil 8.20. Sıcak Presleme öncesi ve sonrası Cu- %2Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi



Şekil 8.21. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Cu- %3Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi



Şekil 8.22. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Cu- %4Ni kompozitlerinin sertlik değerlerinin SiC oranı ile değişimi

8.4. Elektriksel İletkenlik Ölçüm Sonuçları

Elektrik kontak malzemelerinde sertlik, dayanım, korozyon dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklerin yanına en önemli özellik elektrik iletkenliğidir.

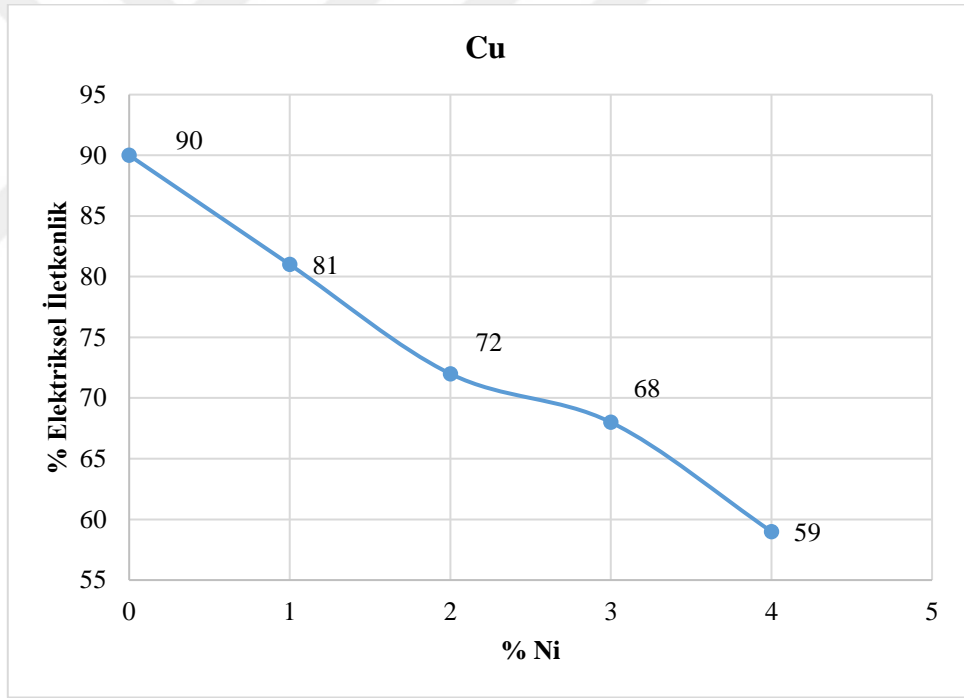
SiC' ün bakıra göre elektriksel iletkenliği düşüktür. Bakır, gümüşten sonraki en iyi iletkenidir. Bu nedenle bakıra ilave edilen her elementin bakırın elektriksel iletkenliğini düşürmesi beklenmektedir. SiC ve nikelin elektriksel iletkenlikleri karşılaştırıldığında nikelin iletkenliği daha iyidir. Bu nedenle bakıra SiC ilavesinin Ni ilavesine göre iletkenliği daha fazla düşürmesi beklenmektedir.

Toz metalurjisi ile üretilen ürünlerin içerisinde gözenekler mevcut olabilir. Bu durumda da elektrik akımına karşı direnç artar. Çalışmada dökümden üretilen numunelerin iletkenliği %100 olarak kabul edilmiştir. Toz metalurjisi ile üretilen ve %99,99 saflığa sahip bakırın elektriksel iletkenliği ise %90 olarak ölçülmüştür.

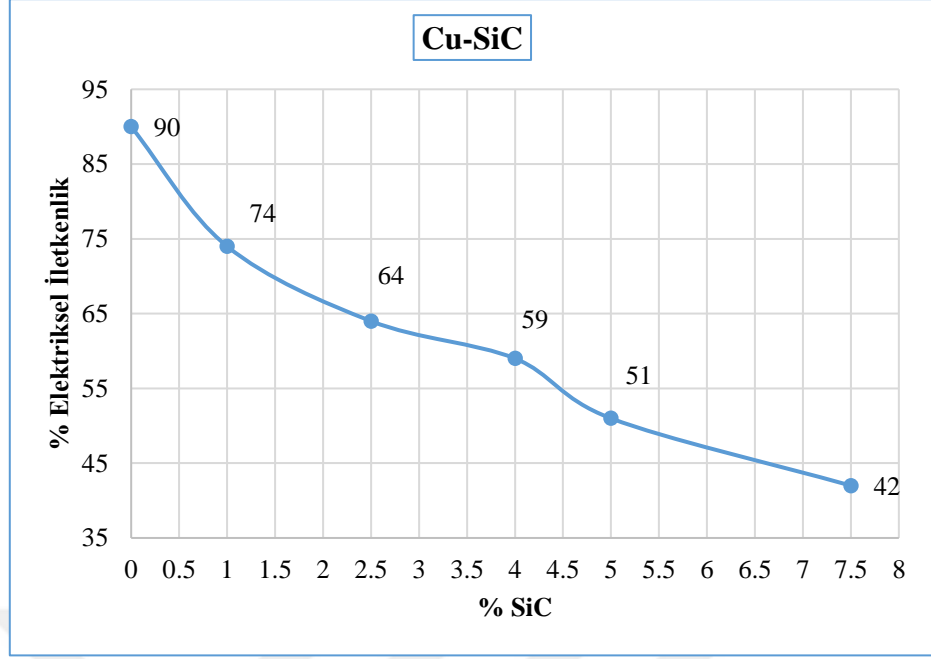
Bakır içerisindeki nikel ve silisyum karbür oranı arttıkça bakırın elektrik iletkenliği azalmaktadır. Elektrik iletkenliklerine bakıldığında numunelerde SiC miktarı arttıkça elektrik iletkenliği azalmaktadır. SiC miktarı arttıkça numunenin relatif yoğunluğu azalmaktadır. SiC miktarının yaklaşık %2,5 i geçtiği numunelerde elektrik iletkenliği büyük oranda azalmıştır. SiC miktarı arttıkça elektrik iletkenliğinin

azalması beklenen bir durumdur ancak SiC oranı %2,5'ü geçtikten sonra iletkenlikte çok düşümler olmaktadır. SiC takviye oranı %4'ün üzerine çıktığında iletkenlik saf bakıra göre %50'nin altına düşmektedir. Bu iletkenlik değeri elektrik kontak malzemeleri için ideal olmayan bir durumdur.

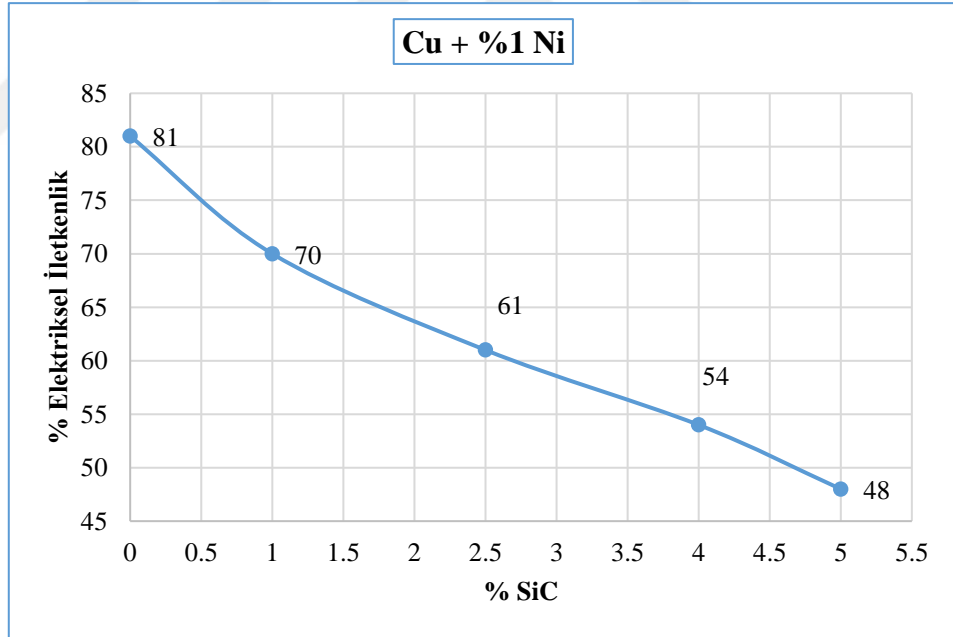
Bakır-Nikel + Silisyum karbür kompozitlerinin elektriksel iletkenliklerine bakıldığında ise, her iki elementin ilavesi ile iletkenlikte bir hayli azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum iletken olarak üretilecek bakır kontak malzemelerinde istenen bir durum değildir. Her iki partikül ilavesinin artışı ile iletkenlik saf bakıra göre yarıdan fazla azalma olduğu görülmüştür. Cu + 1 Ni + 1 SiC kompozitinin iletkenliği saf bakıra göre %70'dir. Bu oranlar Cu + 4 Ni + 5 SiC olduğunda iletkenlik saf bakıra göre %34 düzeylerine düşmektedir (Şekil 8.12-8.17).



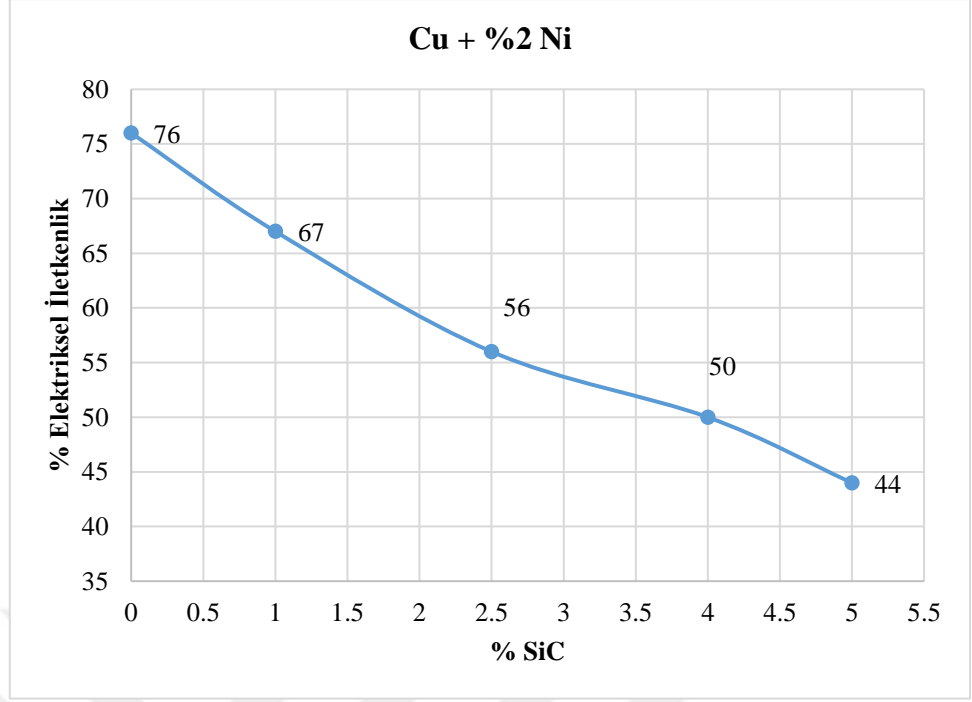
Şekil 8.23. Bakır-nikel alaşımında elektriksel iletkenliğinin % Ni oranına göre değişimi



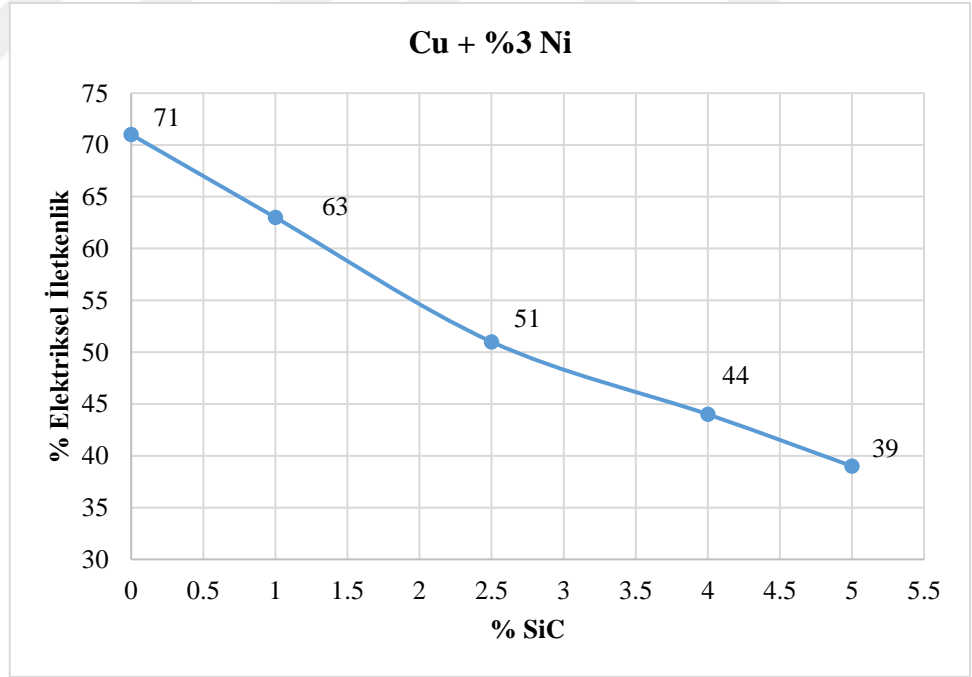
Şekil 8.24. Cu-SiC kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi



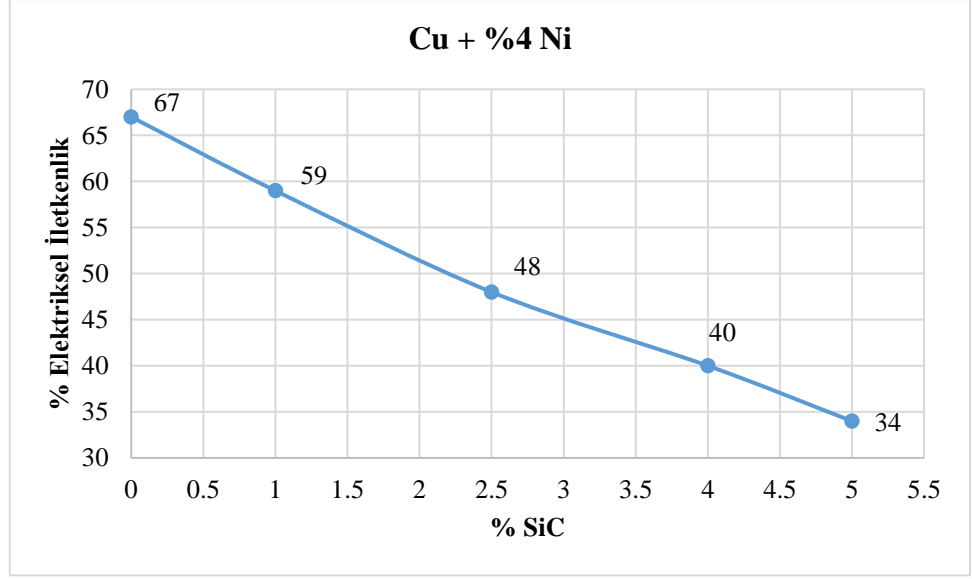
Şekil 8.25. Bakır - %1 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi



Şekil 8.26. Bakır - %2 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi



Şekil 8.27. Bakır - %3 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi

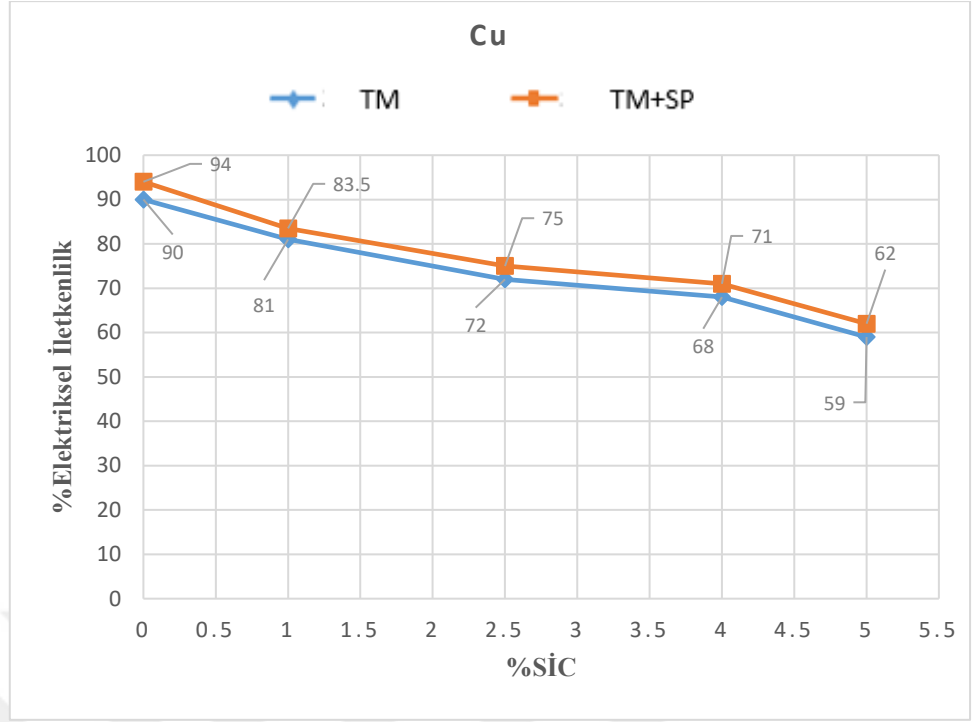


Şekil 8.28. Bakır - %4 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğinin SiC oranına göre değişimi

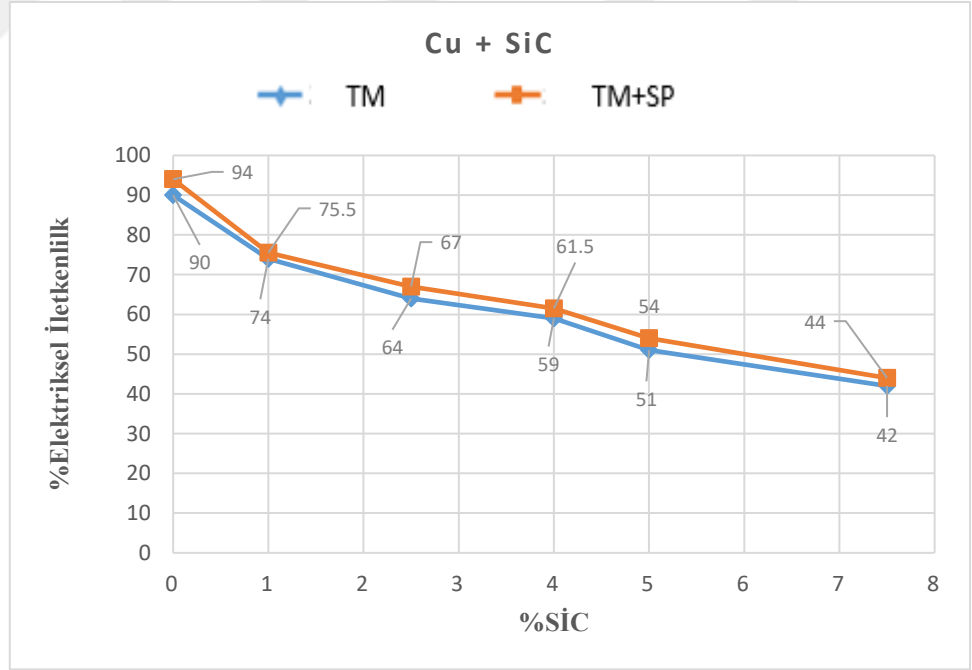
8.4.1. Sıcak Presleme Sonrasında Parçalardaki Elektriksel İletkenlik Değişimi

Parçaların soğuk presleme ve sinterleme sonrasında ki elektriksel iletkenlikleri yukarıda belirtilmiştir. Ancak soğuk presleme esnasında üretilen parçaların arasındaki gaz boşlukları fazladır. Sıcak presleme de gaz boşlukları daha azdır. Bu durumun parçanın yoğunluk, elektriksel iletkenlik gibi özellikleri üzerinde etkisi vardır. Toz metalurjisi ile elde edilen parçaların içerisinde bulunan boşluk ve gözenekler azaldıkça parçaların yoğunluğu ve elektriksel iletkenliği artmaktadır. Elektriksel iletkenliğin artmasının sebebi ise akım parça içerisinde geçtiği esnada ne kadar çok boşluk olur ise akım direnci o kadar fazla olmaktadır.

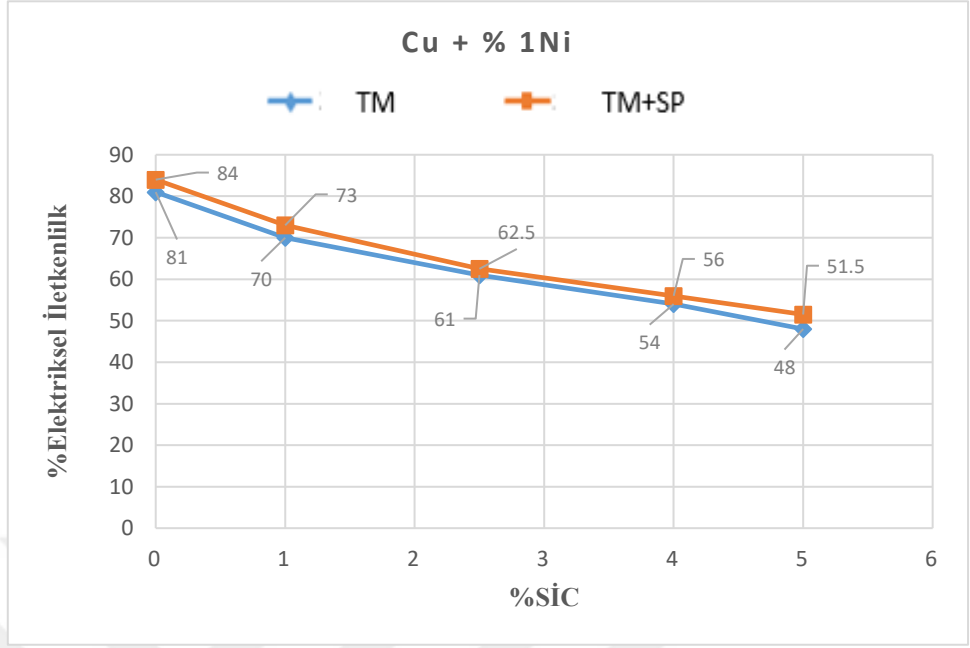
Sıcak presleme işleminde 230 MPa yük uygulanarak parçaların arasındaki gözenek ve boşlukların daha da azalmıştır. Bu da parçalarda ki elektriksel iletkenliğin artmasına sebep olmuştur (**Şekil 8.29-Şekil 8.34**).



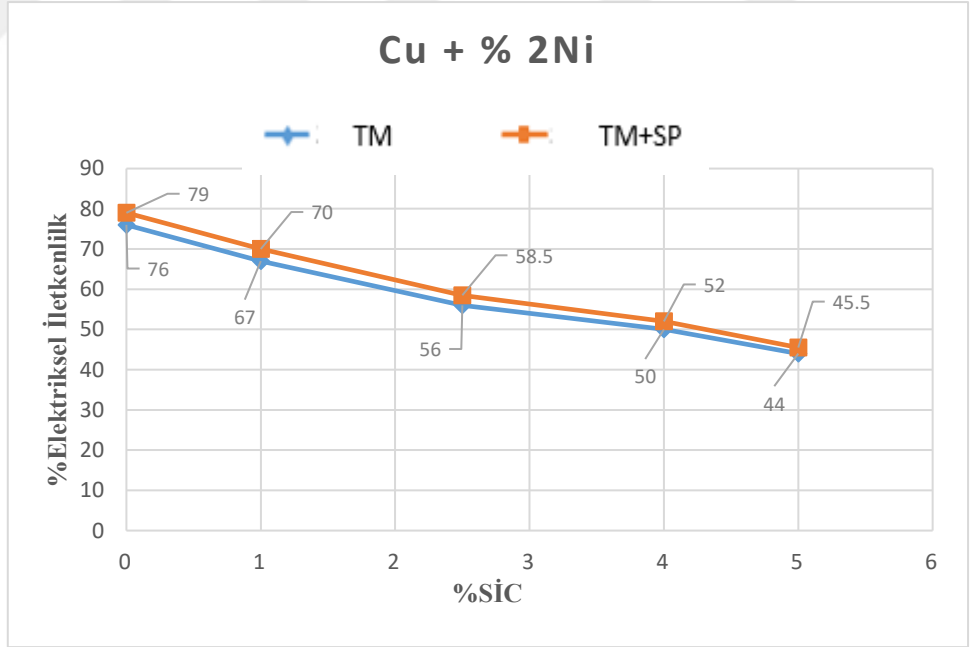
Şekil 8.29. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır-nikel alaşımlarında elektriksel iletkenliğinin % Ni oranına göre değişimi



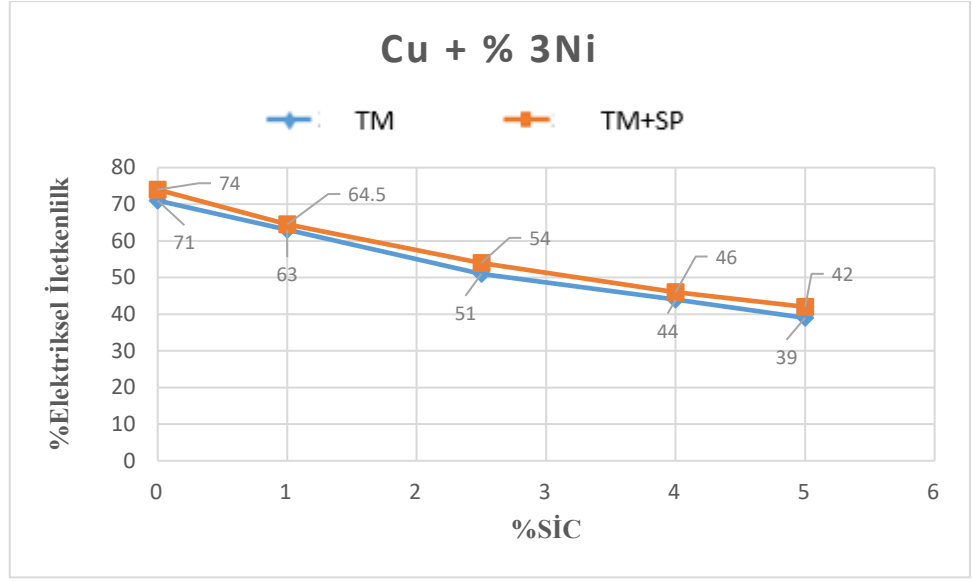
Şekil 8.30. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Cu-SiC kompozitinin elektriksel iletkenliğinin SiC oranına göre değişimi



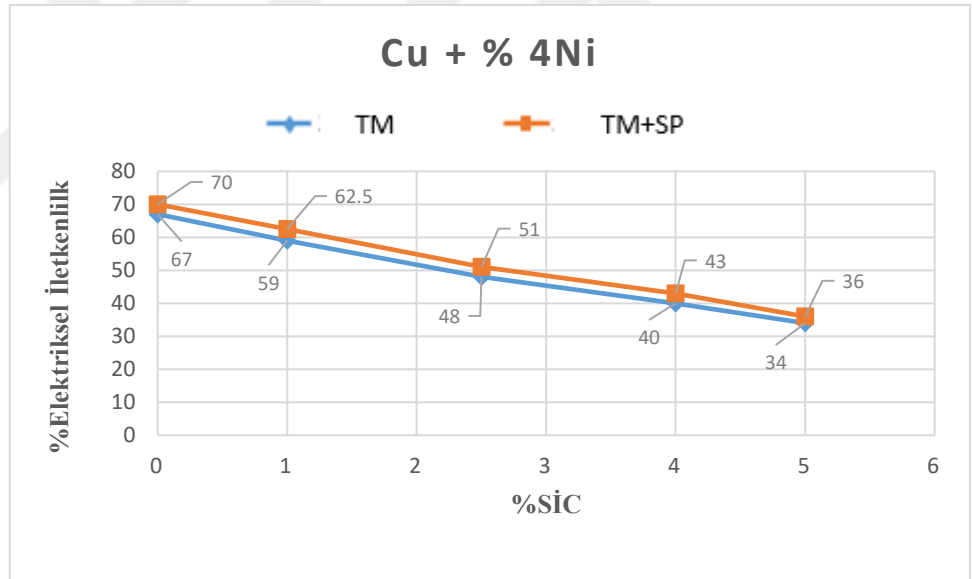
Şekil 8.31. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır - %1 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi



Şekil 8.32. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır - %2 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi



Şekil 8.33. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır - %3 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi



Şekil 8.34. Sıcak presleme öncesi ve sonrası Bakır - %4 Nikel kompozitinin elektriksel iletkenliğin SiC oranına göre değişimi

9. TARTIŞMA

Bu çalışmada, soğuk preslenmiş ve sinterlenmiş TM numuneler (sıcak presleme öncesi) ile soğuk preslenmiş, sinterlenmiş ve tekrar sıcak preslenmiş TM numunelerin (sıcak presleme sonrası) ölçülmüş tüm elektriksel iletkenlik, sertlik ve yoğunluk değerleri karşılaştırmalı olarak aşağıda Tablo 9.1 de verilmiştir. Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; en yüksek sertlik değerini (HRA93) veren sıcak preslenmiş Cu+4Ni+5SiC kompozitinin elektrik iletkenlik (IACS) değerinin (%36) oldukça düşük olduğu, en yüksek elektrik iletkenliği değerini (%76) veren Cu+1SiC kompozitinin ise nispeten düşük sertlik değerine (HRA58) sahip olduğu görülmüştür. Ancak ise hem makul bir elektrik iletkenliğine (%70) hem de iyi bir sertlik ölçüm değerine (HRA72,3) sahip olan sıcak preslenmiş Cu+2Ni+2,5SiC kompozitinin kontak malzemesi olarak daha uygun olduğu ve tercih edilebileceğini öngörebiliriz.

Tablo 9.1. Sadece sinterlenmiş TM numuneler (sıcak presleme öncesi) ile sinterlenmiş ve tekrar sıcak preslenmiş TM numunelerin (sıcak presleme sonrası) elektriksel iletkenlik, sertlik ve yoğunluk değerleri.

TM üretim Yöntemi	Malzemenin Kompozisyonu	Elektriksel İletkenlik %IACS	Sertlik (HRA)	Yoğunluk
Sıcak Presleme öncesi	Cu	90	51,2	6,76
Sıcak presleme sonrası	Cu	94	54	6,96
Sıcak presleme öncesi	Cu + %1 SiC	74	55	6,53
Sıcak presleme sonrası	Cu + %1 SiC	75,5	58	6,86
Sıcak presleme öncesi	Cu + %2,5 SiC	64	66	6,41
Sıcak presleme sonrası	Cu + %2,5 SiC	67	69,2	6,74
Sıcak Presleme öncesi	Cu + %4 SiC	59	70,1	6,09
Sıcak presleme sonrası	Cu + %4 SiC	61,5	75	6,39
Sıcak presleme öncesi	Cu + %5 SiC	51	73,7	5,87
Sıcak presleme sonrası	Cu + %5 SiC	54	78,9	6,10
Sıcak presleme öncesi	Cu + %1 Ni	81	55	6,74
Sıcak presleme sonrası	Cu + %1 Ni	83,5	58	6,89
Sıcak presleme öncesi	Cu + %1 Ni + %1 SiC	70	59,1	6,44
Sıcak presleme sonrası	Cu + %1 Ni + %1 SiC	73	62,3	6,78

Sıcak presleme öncesi	Cu + %1 Ni + %2,5 SiC	61	63,4	6,38
Sıcak presleme sonrası	Cu + %1 Ni + %2,5 SiC	62,5	64,5	6,56
Sıcak presleme öncesi	Cu + %1 Ni + %4 SiC	54	68,2	5,98
Sıcak presleme sonrası	Cu + %1 Ni + %4 SiC	56	71	6,32
Sıcak presleme öncesi	Cu + %1 Ni + %5 SiC	48	72	5,80
Sıcak presleme sonrası	Cu + %1 Ni + %5 SiC	51,5	73,6	6,09
Sıcak presleme öncesi	Cu + %2 Ni	76	56,6	6,54
Sıcak presleme sonrası	Cu + %2 Ni	79	60,3	6,78
Sıcak presleme öncesi	Cu + %2 Ni + %1 SiC	67	66,9	6,35
Sıcak presleme sonrası	Cu + %2 Ni + %1 SiC	70	72,3	6,68
Sıcak presleme öncesi	Cu + %2 Ni + %2,5 SiC	56	72,2	6,21
Sıcak presleme sonrası	Cu + %2 Ni + %2,5 SiC	58,5	75,1	6,48
Sıcak presleme öncesi	Cu + %2 Ni + %4 SiC	50	76,3	5,96
Sıcak presleme sonrası	Cu + %2 Ni + %4 SiC	52	80	6,29
Sıcak presleme öncesi	Cu + %2 Ni + %5 SiC	44	81	5,66
Sıcak presleme sonrası	Cu + %2 Ni + %5 SiC	45,5	83,4	5,96
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %3 Ni	71	60,6	6,46
Sıcak presleme sonrası	Cu + %3 Ni	74	62,5	6,63
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %3 Ni + %1 SiC	63	68	6,31
Sıcak presleme sonrası	Cu + %3 Ni + %1 SiC	64,5	71,5	6,58
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %3 Ni + %2,5 SiC	51	74,3	6,19
Sıcak presleme sonrası	Cu + %3 Ni + %2,5 SiC	54	78,3	6,36
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %3 Ni + %4 SiC	44	79,3	5,89
Sıcak presleme sonrası	Cu + %3 Ni + %4 SiC	46	84,2	6,16
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %3 Ni + %5 SiC	39	85	5,61
Sıcak presleme sonrası	Cu + %3 Ni + %5 SiC	42	88,4	5,86
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %4 Ni	67	63	6,40
Sıcak presleme sonrası	Cu + %4 Ni	70	65	6,54
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %4 Ni + %1 SiC	59	70	6,29

Sıcak presleme sonrası	Cu + %4 Ni + %1 SiC	62,5	74	6,45
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %4 Ni + %2,5 SiC	48	76,2	6,01
Sıcak presleme sonrası	Cu + %4 Ni + %2,5 SiC	51	79,3	6,26
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %4 Ni + %4 SiC	40	81,3	5,78
Sıcak presleme sonrası	Cu + %4 Ni + %4 SiC	43	85,6	5,98
Sıcak Presleme Öncesi	Cu + %4 Ni + %5 SiC	34	87	5,58
Sıcak presleme sonrası	Cu + %4 Ni + %5 SiC	36	93	5,65



10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bakıra ve bakır-nikel alaşımlarına farklı oranlarda silisyum karbür (SiC) partikül ilave edilerek toz metalurjisi (TM) ve ilaveten sıcak presleme yöntemleriyle ile kompozit kontak malzemelerinin üretilmesi ve bu malzemelerin yoğunluklarının, elektrik iletkenliklerinin ve mekanik özelliklerin artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla farklı matris alaşımları ve takviye oranları kullanarak Cu+SiC ve Cu+Ni+SiC kompozitleri geliştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Soğuk preslenmiş ve sinterlemiş TM takviyesiz bakırın yoğunluk değeri $6,76\text{g/cm}^3$ iken takviyesiz Cu+Ni alaşım numunelerinin yoğunluk değerleri ise artan Ni oranı (%1-4Ni) ile $6,74\text{g/cm}^3$ 'den $6,40\text{ g/cm}^3$ 'e düşmüştür. Sinterlenme sonrası sıcak preslemiş TM takviyesiz bakırın yoğunluk değeri $6,96\text{g/cm}^3$ olmuştur. Takviyesiz Cu+Ni alaşım numunelerinin yoğunluk değerleri ise artan Ni oranı (%1-4Ni) ile yaklaşık $6,90\text{g/cm}^3$ 'den $6,54\text{g/cm}^3$ 'e düşmüştür. Cu+Ni+SiC kompozitlerinin sertlik değerleri ise; artan SiC oranı ile düşüş göstermiştir. Örneğin Cu+%1Ni+SiC kompozitlerinin yoğunluk değerleri ise; artan SiC oranı (%1-5SiC) ile $6,53\text{g/cm}^3$ 'den $5,87\text{g/cm}^3$ 'e, Cu+%1Ni+SiC kompozitlerinin yoğunluk değerleri ise; artan SiC oranı (%1-5SiC) ile $6,44\text{ g/cm}^3$ 'den $5,80\text{ g/cm}^3$ 'e Cu+%4Ni+SiC kompozitlerinin yoğunluk değerleri ise artan SiC oranı (%1-5 SiC) ile $6,45\text{ g/cm}^3$ 'den $5,65\text{ g/cm}^3$ 'e düşmüştür, Sinterlenme sonrası sıcak preslenmiş Cu+%1Ni+SiC kompozitlerinin yoğunluk değerleri ise; artan SiC oranı (%1-5SiC) ile $6,86\text{ g/cm}^3$ 'den 6 g/cm^3 'e, Cu+%4Ni+SiC kompozitlerinin yoğunluk değerleri ise artan SiC oranı (%1-5 SiC) ile $6,45\text{ g/cm}^3$ 'den $5,65\text{ g/cm}^3$ 'e düşmüştür,
2. Soğuk preslenmiş ve sinterlemiş TM takviyesiz bakırın sertlik değeri HRA51,2 iken takviyesiz Cu+Ni alaşım numunelerinin sertlik değerleri ise artan Ni oranı (%1-4Ni) ile HRA55'den HRA63'e yükselmiştir. Cu+Ni+SiC kompozitlerinin sertlik değerleri ise; artan SiC oranı ile artış göstermiştir. Örneğin Cu+%1Ni+SiC kompozitlerinin sertlik değerleri ise; artan SiC oranı (%1-5SiC) ile HRA59,1'den HRA72'ye, Cu+%4Ni+SiC kompozitlerinin sertlik değerleri ise; artan SiC oranı (%1-5SiC) ile HRA70'den HRA87'ye

yükselmiştir. Sinterleme sonrası sıcak preslenmiş takviyesiz bakır numunelerin sertlik değeri ise HRA54 olmuştur. Sıcak preslenmiş takviyesiz Cu+Ni alaşım numunelerinin sertlik değerleri ise artan Ni oranı (%1-4Ni) ile HRA58'den HRA65'e yükselmiştir. Cu+%1Ni+SiC kompozitlerinin sertlik değerleri artan SiC oranı (%1-5SiC) ile HRA62,3'dan HRA73,6'ye, Cu+%4Ni+SiC kompozitlerinin sertlik değerleri ise artan SiC oranı (%1-5SiC) ile HRA74'den HRA93'e yükselmiştir.

3. Soğuk preslenmiş ve sinterlemiş TM takviyesiz bakırın elektrik iletkenliği (%IACS) %90 iken takviyesiz Cu+Ni alaşım numunelerinin elektrik iletkenliği değerleri ise artan Ni oranı (%1-4Ni) ile % 83'den %62'ye düşmüştür. Cu+Ni+SiC kompozitlerinin elektrik iletkenlik değerleri ise; artan SiC oranı ile düşüş göstermiştir. Örneğin Cu+%1Ni+SiC kompozitlerinin iletkenliği değerleri ise; artan SiC oranı (%1-5SiC) ile %73'den %51'e, Cu+%4Ni+SiC kompozitlerinin elektrik iletkenlik değerleri ise; artan SiC oranı (%1-5SiC) ile %62'den %36'ya düşmüştür. Sinterleme sonrası sıcak preslenmiş takviyesiz bakır numunelerin elektrik iletkenlik değeri ise %94 olmuştur. Sıcak preslenmiş takviyesiz Cu+Ni alaşım numunelerinin iletkenlik değerleri ise artan Ni oranı (%1-4Ni) ile %83,5'den %70'ya düşmüştür. Cu+%1Ni+SiC kompozitlerinin elektrik iletkenlik değerleri ise artan SiC oranı (%1-5SiC) ile %70'den %51,5'e Cu+%4Ni+SiC kompozitlerinin elektrik iletkenlik değerleri ise artan SiC oranı (%1-5SiC) ile %62,5'den %36'ya düşmüştür
4. Metalografik incelemelerde SiC partiküllerinin bakır matris içerisine homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. SiC takviye miktarı arttıkça SiC taneleri bakırın tane sınırlarına doğru yayılarak çok belirgin bir şekilde ağ oluşturduğu gözlemlenmiştir.
5. Tüm deneysel sonuçlar göz önüne alındığında, makul bir elektrik iletkenliğine (%70) ve yeterli bir sertlik ölçüm değerine (HRA72,3) sahip olan sıcak preslenmiş Cu+2Ni+2,5SiC kompozitinin kontak malzemesi olarak kullanılmasının daha uygun olduğu düşünülebilir..
6. Bu çalışma sonuçları; elektrik kontak malzeme seçiminde alaşım ilavesi ve kompozit malzeme üretim tekniklerinin ne kadar önemli olduğunu ve bu konuda daha başka çalışmaların da yapılması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen yeni kompozit kontak malzemelerinin gerçek çalışma

şartlarında, elektrik kontak performanslarının incelenmesi çalışmalarının da yapılması önerilmektedir.



11. KAYNAKLAR

(Bu tez çalışmasında APA atf sistemi kullanılmıştır.)

- Allahverdiyev, Z.,(2000). Elektroteknik Malzemeleri, K.T.Ü., Trabzon.
- Alpugan, Z, 1981, “T/M’de Presleme Tekniği ve Nükleer Yakıt (UO₂) Üretimine Uygulanması”, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, TÜBİTAK.
- Alpugan, Z,1981, “T/M’de Presleme Tekniği ve Nükleer Yakıt (UO₂) Üretimine Uygulanması”, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, TÜBİTAK.
- Altınsoy, İ., 2009, Alümina Takviyeli Bakır Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Aslanoğlu Z., 1998, Toz Hazırlama Yöntemlerinin W65 Ag35 Elektrik Kontaklarının Üretim Süreçlerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Ataş, A., 2003, “Alaşımli Demir Tozu Peletlerinin Sinterleme Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., F.B.E, İstanbul.
- Aydın, Ş.,1997, “Toz Metalurjisi Yöntemleri İle Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Balın, A., 2011, “Sıcak Presleme Tekniğiyle Üretilen CoCrMo Toz Alaşımının Sinterleme Sıcaklığının Mikroyapı Üzerine Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Bıyık, S. ve Aydın, M., 2015, The Effect of Milling Speed on Particle Size and Morphology of Cu25W Composite Powder, ACTA Physica Polonica A.
- Bıyık, S. ve Aydın, M.,2014, A New Life-Test Equipment Designed for Medium-Duty Electromagnetic Contactors, IEEE 15th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EurosimE), Ghent, Bildiriler.
- Bıyık, S., 2006, Toz Metalurjisi Yöntemiyle Gümüş – Bor oksit Esaslı Kontak Malzemesi Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Bostan, B., 2003. Alüminyum-Karbon Tozlarından Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle Al4C3 Sentezlenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Boz, M., 2003, “Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme-Aşınma Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Callister, W. D., 2007, Materials Science and Engineering, An Introduction. York, PA: John Wiley & Sons, Inc.
- Campbell, G.T.,4 Raman, R. ve Fields, R., (1998). “Automotive Applications”, Metal Powder Industries Federation, 145-152. Princeton, New Jersey.
- Çalışkan, M., 2008, Katodik Ark Yöntemiyle ZrN ve Zr/ZrN Kaplamaların Biriktirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Demir, A., 1992, “Toz Metal Bir Çeliğin Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, F.B.E, Ankara.
- Deniz, M. E., 2005, Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri Ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzenliğin Tasarım Ve İmalatı, Yüksek Lisans

- Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Adın, M., Yetkin, H., 2006, “MMK Üretiminde Farklı Tasarımlardaki Karıştırıcıların Etkisinin Araştırılması”, Teknoloji Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, 3946.
- Edwards L., Endean M.,(1990).Materials In Oction Series Manufacturing With Materials, vol. 4, pp. 27-43, The Open Univesity, England.
- Efe, G. F. Ç., 2010, SiC Takviyeli İletken Bakır Kompozitlerin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Erbay A.,1998,Endüstride Toz Metalurjisi ve Çeşitli Uygulamaları,Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Erdal, L., 2006, Baryum Hegza Ferritin Sıvı Faz Sinterlemesi ve Mikroyapı İncelemeleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi.
- Erden, M.A., Taşçı M.T.,2016, “Toz Metalürjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Ni İlavasının Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi”, Politeknik Dergisi; 19 (4): 611-616.
- Evcin, A., 2007, “Toz Üretim Teknikleri Ders Notları”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.,
- Evin E.,2003, Nikel Esaslı Bir Süper Alaşımın Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretilmesi ve Mikroyapı-Oksitlenme Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Evin, E. ve Güler, Ö., 2009, The Investigation of Contact Performance of Oxide Reinforced Copper Composite via Mechanical Alloying, Journal of Materials Processing Technology.
- Fındık, F. ve Uzun, H.,2003, Microstructure, Hardness and Electrical Properties of SilverBased Refractory Contact Materials, Materials and Desing.
- German, R.M., 2005, Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing, Metal Powder Industries Federation.
- Gök M. G., 2010, “B2O3 katılı kontak malzemesi üretimi ve özelliklerinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Gökmese, H., Bostan, B., 2013, “AA 2014 Alaşımında Presleme ve Sinterlemenin Gözenek Morfolojisi ve Mikroyapısal Özelliklere Etkileri”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji, 1(1), 1-8.
- Güler Ö., 2006, “Oksit Takviyeli Bakır Kompozitinin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Gülsoy, Ö.,1996, Toz Metalurjisi Süreçleriyle Üretilen Demir Esaslı Yapısal Parçaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi,Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Gülsoy, Ö.,1996, Toz Metalurjisi Süreçleriyle Üretilen Demir Esaslı Yapısal Parçaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi,Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Hiçyılmaz, N.,1999, “Toz Metalurjisi Yöntemi ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Hoyner N.S.,1984, Electrical Contacts, ASM Handbook , Ohio, Vol. 7, pp. 630 – 633.
- Kalemtaş, A., 2014, Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış. Putech&Composites.
- Kılınç Y. (1999). Demir Bazlı Süper Alaşımların Mekanik Alaşımlama Metodu İle Üretilmesi ve Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kınıkoğlu, N.G.,2001, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, Mart Matbaacılık, 65, 855s. İstanbul.

- Kim, N. J., 1983, "The Physical Metallurgy of HSLA Line Pipe Steels", A Review, J. Metals, pp. 21-30.
- Lopez M., Corredor D., Camurri C., Vergara V., Jimenez J., 2003, Performance And Characterization of Dispersion Strengthened Cu – TiB₂ Composite for Electrical Use, Spain.
- Nazik, C., 2013, Alüminyum Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Odabaşı, Ç., 2017, "Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Bakır İlavesinin Mikroyapı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Onur, A., 1996, "Yağ Atomizasyonu Yöntemiyle Metal Tozu Üretiminin İncelenmesi", Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Ozan, U., Çalığı, M., Taşkın, 2006, "Sıcak Presleme Yöntemiyle imal edilmiş SiC Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Sıcaklığın Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi" 11. Denizli Malzeme Sempozyumu.
- Özay, Ç., 2004, Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ Kompozitinin Abrasiv Aşınma Dayanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Özdemirler, D., Gündüz, S., Erden, M.A., Karabulut, H., Türkmen, H., 2016, "Sinterleme sıcaklığının NbC ilave edilmiş TM çeliklerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı 92-97, Afyon.
- Özgün, Ö., 2007, "Toz Metalurjisi İle Üretilen Alaşımli Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Öztürk, Z., 2012, "Gaz atomizasyonu ile Al 2024 tozu üretimi ve karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük 1-60.
- Rehani, B.R., Joshi, P.B. ve Kaushik, V.K., 2009, Nanostructured Silver-Graphite Electrical Contact Materials Processed by Mechanical Milling, Indian Journal of Engineering and Materials Sciences.
- Sarıtaş S., 1994, Toz Metalurjisi, Makine Mühendisleri El Kitabı, C.1, 2.Baskı, Ankara.
- Sarıtaş, S., Türker, M, Durlu, N., 2007, "Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri", Türk Toz Metalurjisi Yayınları, 05, Ankara.
- Söyler, M., 2007, "Toz Metalurjisi ve Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Şafak, H. E., 2008, Yüzeyi PVD yöntemiyle kaplanmış metallerde tribolojik özelliklerin belirlenmesi. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Ege Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Taşlıyan, M.F., 2020, "Toz metalurjisi ile üretilen mangan çeliğine TiC, TiN, TiCN ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması" Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- Thummler F., Oberacker R., 1993, "An Introduction to Powder Metallurgy", 1st ed., The Institute of Materials, Cambridge.
- Ulutaş A., 2014, Bor Takviyeli Bakır Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi Ve Mekanik/Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ürger, M., 1997, Haziran "Modern Yüzey İşlem Teknolojileri ve Türkiye'deki Gelişmeler", 9 th Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi