



**İYİLEŞTİRİLMİŞ SÜREKLİ TEL AŞINDIRMA
PERFORMANSI İÇİN MIG-MAG KAYNAK
KONTAK YOLLUKLARINDA CU-W-X
(Ti ve Ni) ALAŞIMININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa YAZAR

Danışman

Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Nisan 2022

Bu tez çalışması ARGE 2020 018 numaralı proje ile ŞAHİNKUL MAKİNA tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İYİLEŞTİRİLMİŞ SÜREKLİ TEL AŞINDIRMA PERFORMANSI
İÇİN MIG-MAG KAYNAK KONTAK YOLLUKLARINDA CU-W-X
(Ti ve Ni) ALAŞIMININ KULLANIMI**

Mustafa YAZAR

Danışman

Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Nisan 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İYİLEŞTİRİLMİŞ SÜREKLİ TEL AŞINDIRMA PERFORMANSI İÇİN MIG-MAG KAYNAK KONTAK YOLLUKLARINDA CU-W-X (Ti ve Ni) ALAŞIMININ KULLANIMI

Mustafa YAZAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şükrü TALAŞ

Bu çalışmada Gazaltı Kaynak robotlarında kullanılan kontak memelerin aşınan yüzeyine toz metalürjisi yöntemiyle önce presleme ardından sinterleme işlemi yapılarak aşınan yer için pim yapılarak sıkı çakma ile montajı yapılmıştır. Elde edilen pim çakılmış kontak meme ile seri şartlarda üretim yapılarak aşınma performansı karşılaştırılmıştır. Çalışmada Bakır – Silisyum Karbür, Bakır – Titanyum Karbür, Bakır – Tungsten tozları ile presleme ve sinterleme işlemi yapılmıştır. Malzemelerin sertlikleri, mikro yapıları ve XRD sonuçları alınarak karakterize edilmiştir.

2022, xi + 52 sayfa

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Aşınma Dayanımı, MIG-MAG Kaynak Yöntemi, Kontak Meme

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE USE OF CU-W-X (Ti and Ni) ALLOY IN MIG-MAG WELDING CONTACT TIPS FOR IMPROVED CONTINUOUS WIRE ABRASION PERFORMANCE

Mustafa YAZAR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical And Materials Engineering

Supervisor: Prof. Şükrü TALAS

The worn surface of the contact nozzles used in Gas Welding robots is pressed with powder metallurgy method first, followed by sintering, and a pin is made for the worn place with tight fastening. The obtained pin was analyzed by making production under service conditions with the contact nozzle. In the study, pressing and sintering process was performed with Copper- Silicon Carbide, Copper-Titanium Carbide, Copper-Tungsten powders. Hardness, microstructure and XRD results of the materials have been characterized.

2022, xi + 52 pages

Keywords: Powder Metallurgy, Abrasion Resistance, MIG-MAG Welding Method, Contact Nozzle

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Şahinkul Makina Ar-Ge Merkezi Öz kaynaklı ARGE-2020-018_2000930000 proje numarası ile desteklenmiştir.

Şahinkul Makine A.Ş. AR-GE Merkezi Müdürü Sayın Milat Kul, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Şükrü TALAŞ'a ve Teknik desteklerinde dolayı Erhan MUHTAR ve İdris ÖZMER'e teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca desteklerinden dolayı sevgili eşime ve aileme teşekkür ederim.

Mustafa YAZAR

Afyonkarahisar, 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ivi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	6
2.1 Toz Üretim Yöntemleri	6
2.1.1 Kimyasal Üretim Yöntemleri.....	6
2.1.2 Elektrolitik Yöntem.....	6
2.1.3 Mekaniksel Yöntem	6
2.1.4 Atomizasyon Yöntemi	7
2.2 Metal Tozlarının Özellikleri	8
2.2.1 Kimyasal Özellikler	8
2.2.2 Fiziksel Özellikler	8
2.3 Metal Tozlarının Endüstrideki Uygulama Alanları	9
2.4 Metal Tozlarının Şekillendirilmesi	9
2.4.1 Tozun Sınıflandırılması.....	10
2.4.2 Harmanlama ve Karıştırma	10
2.4.3 Yağlayıcı Katma.....	10
2.4.4 Metal Tozlarının Preslenmesi	11
2.5 Sinterleme	11
2.5.1 Katı Hal Sinterlemesi	13
2.5.2 Sıvı Faz Sinterlemesi	13
2.5.2.1 Sürekli Sıvı Faz Sinterlemesi	14
2.5.2.2 Geçici Sıvı Faz Sinterlemesi	16
2.5.2.3 Reaksiyonlu Sinterleme.....	16

2.6 Toz Metalürjisi Uygulamaları	16
2.7 Cu-W Alaşımları ve Özellikleri.....	17
3. MATERYAL ve METOT	19
3.1 Projenin Gerçekleştirilmesinde Kullanılan Malzemeler ve Uygulanan İşlemler	19
3.1.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	19
3.1.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	30
4.1 Pim üretimi ve aşınma davranışı testi	30
4.2 Pimlerin aşınma davranışı sonuçları	36
4.2.1 %85Cu- %15 W serisi	36
4.2.2 %90 Cu- %10 W serisi	37
4.2.3 %95 Cu- %5 W serisi	38
4.3 Test Edilmiş Kontak memelerin Test Analizi.....	39
4.3.1 %85 Cu %15 W Serisi	39
4.3.2 %90 Cu %10 W Serisi	40
4.3.3 %95 Cu %5 W Serisi	41
4.4 SEM Sonuçları	42
4.5 Test Sonuçlarının İrdelenmesi	44
5.SONUÇ.....	47
6. KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al	Aliminyum
ALN	Aliminyum Nikel
ALNi	Aliminyum Nitrit
Cu	Bakır
Dk	Dakika
Fe	Demir
C	Fosfor
CO ₂	Gram
Cu	Joule
dk	Karbon
Fe	Karbondioksit
gr	Kilogram
J	Krom
kg	Kükürt
lt	Litre
mm	Mangan
Mpa	Megapaskal
mm	Milimetre
nm	Nanometre
O	Oksijen
°C	Santigrat
S	Silisyum
SiC	Silisyum Karbür
%	Yüzde
TiC	Titanyum Karbür
W	Tungusten
Zr	Zirkonyum

Kısaltmalar

MIG	Metal Inert Gas/Metal Pasif Gaz
MAG	Metal Active Gas/Metal Aktif Gaz
NOK	Hatalı Parça
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SEM-EDX	SEM-Energy Dispersive X-Ray Analysis/Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı X Işını Analizi
XRD	X Işınları Difraktometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Mekanik öğütme ile toz üretiminin şematik gösterimi (German 1996).....	7
Şekil 2.2 Toz üretmek için toz atomizasyon yöntemi.....	8
Şekil 2.3 Sıvı faz sinterlemesinde aşamaların gelişiminin gösterimi.....	15



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 1,8 mm FEE 340 çeliğine ait kimyasal özellikleri. (% ağırlık) ve mekanik özellikleri	19
Çizelge 3.2 SG2 Kalite 1 mm kaynak teli kimyasal (ağ. %) ve mekanik özellikleri	19
Çizelge 3.3 HB 205 Standart koruyucu gaz karışımı (% hacim)	19
Çizelge 3.4 1 mm çapında kontak meme kimyasal bileşimi (% ağırlık) ve mekanik özellikleri	20
Çizelge 3.5 Karışım oranları (%)	25
Çizelge 4.1 Test 1 Cu-SiC kontak meme üretim adetleri takibi	31
Çizelge 4.2 Test 1 Cu-TiC kontak meme üretim adetleri takibi	32
Çizelge 4.3 Test 2 Cu-W kontak meme üretim adetleri takibi	33
Çizelge 4.4 Test 2 Cu kontak meme üretim adetleri takibi	34
Çizelge 4.5 Test 3 Cu-TiC kontak meme üretim adetleri takibi	35
Çizelge 4.6 Test 3 Cu-W kontak meme üretim adetleri takibi	36
Çizelge 4.7 Kontak meme pim üretim adetleri takibi	44
Çizelge 4.8 Kontak meme pim iç bölge aşınma oranı (%)	45
Çizelge 4.9 Kontak meme pim dış bölge aşınma oranı (%)	45

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1 ABB gazaltı kaynak robotu görseli	20
Resim 3.2 ABB gazaltı kaynak robotu torç detay görseli	21
Resim 3.3 ABB gazaltı kaynak robotu kontak meme görseli (delik çapı 1.18 mm).....	21
Resim 3.4 ABB gazaltı kaynak robotu aşınmış kontak meme görseli	22
Resim 3.5 Aşınmış kontak meme pim montaj edilecek bölge görseli	23
Resim 3.6 Aşınmış kontak meme pim montaj edilecek bölge görseli	23
Resim 3.7 Kontak meme pim pres kalıp teknik resim görseli	24
Resim 3.8 Kontak meme pim pres kalıp görseli	24
Resim 3.9 Kontak meme pim kalıbında pres yapılacak tozların %95-%5 karışım görseli	25
Resim 3.10 Kontak meme pim kalıbında pres yapılacak tozların karıştırıldığı tambur görseli	26
Resim 3.11 Kontak meme pim kalıbında preslenmiş pim görseli	27
Resim 3.12 Kontak meme pim sinterleme fırını görseli	27
Resim 3.13 a) Kontak meme pim sinterlenmiş parça görseli, b) Kontak meme pim montajı gerçekleştirilmiş parça görseli, c) Kontak meme pim montajı yapılmış robot pozisyonu görseli	28
Resim 3.14 Troic Xjl-17 at ters trinoküler 2020 metalürji mikroskobu cihazı görseli .	29
Resim 3.15 Tel erozyon makinası ile kesilmiş kontak meme genel görünüm yakın çekim görseli	29
Resim 3.16 Tel erozyon makinası ile kesilmiş kontak meme sağ taraf yakın çekim görseli	29

Resim 4.1 a) Cu-SiC (%95-5) sinterlenmiş pim görseli, b) Cu-SiC (%95-5) kontak meme montajı yapılmış pim görseli, c) Cu-SiC (%90-10) kontak meme montajı yapılmış pim görseli, d) Cu-SiC (%85-15) kontak meme montajı yapılmış pim görselleri	30
Resim 4.2 a) Cu-TiC (%95-5) sinterlenmiş pim görseli, b) Cu-TiC (%95-5) Test 1 seri üretim denemesi yapılmış kontak meme, c) Cu-TiC (%90-10) Test 1 seri üretim denemesi yapılmış kontak meme görselleri	31
Resim 4.3 a) Cu-W (%95-5) Test 2 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme, b) Cu-W (%90-10) Test 2 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme, c) Cu-W (%85-15) Test 2 seri üretim denemesi yapılmış parça görselleri	32
Resim 4.4 a) Cu (%100) sinterlenmiş pim görseli, b) Cu (%100) Test 2 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme görseli, c) Cu (%100) Test 2 seri üretim denemesi yapılmış kontak meme görselleri	33
Resim 4.5 a) Cu- TiC (%95-5) Test 3 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme, b) Cu- TiC (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme, c) Cu- TiC (%85-15) seri üretim denemesi yapılmış kontak meme görselleri	34
Resim 4.6 a) Cu-W (%95-5) Test 3 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme, b) (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme, c) Cu-W (%85-15) seri üretim denemesi yapılacak kontak meme, d) Cu-W (%95-5), Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme, e) Cu-W (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme, f) Cu-W (%85-15) seri üretim denemesi yapılmış kontak meme görselleri	35
Resim 4.7 a) Cu-W (%85-15) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W (%85-15) yakın çekim görseli	36
Resim 4.8 a) Cu-W (%90-10) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W (%90-10) yakın çekim görseli	37

Resim 4.9 a) Cu-W (%95-5) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W (%95-5) yakın çekim görseli	38
Resim 4.10 Cu-W (%85-15) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim yakın çekim görseli	39
Resim 4.11 Cu-W (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim yakın çekim görseli	40
Resim 4.12 Cu-W (%95-5) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim yakın çekim görseli	41
Resim 4.13 %90 Cu- %10 W için hazırlanan SEM görseli	43
Resim 4.14 %95 Cu- %5 W malzemenin EDX analiz sonucu görseli	44

1.GİRİŞ

Şirketlerin artan rekabet ortamında, yüksek kaliteli mamül parçaları, düşük maliyetlerle üretme mecburiyeti doğmuştur. Müşteri memnuniyeti ve parça ürün kalitesini artırmak için gazaltı kaynağında robot kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. İnsan kaynaklı hataların önüne geçmek için taşıyıcı olan robot ile gazaltı kaynağı operasyonu gerçekleştirilmektedir. Robot gazaltı kaynağı, ürün kalitesini en üst seviyede ve üretim süresini minimumda tutarak, hatasız üretim yapmayı hedefe koyan üreticilerin tercih ettiği kaynaklı imalat yöntemidir (Pires vd. 2006).

Ark kaynağı, kaynak işlemi sırasında bir metal telin eritildiği elektrik akımı gerektirir. Tel ile temas halinde olan ve ark hacmine yakın olan tüm parçalar çok sıcaktır ve kaynağın bu kısmından gelen ısıyı uzaklaştırmak için yüksek ısı verim veya iletkenlik gerekir. En çok ısıya maruz kalan kısımlardan biri teli ark bölgesine iten ve elektriği ileten kaynak uçlarıdır (Lancaster 1980).

Tel ve uçlar arasındaki sürekli bir sürtünme, telin ekstrüde edildiği ucun ön kısmında bir aşınmaya neden olur. Kaplamasız yüzeyler genellikle, kısa devreye ve aşınmaya neden olan uç ucunu bloke eden yüksek sıcaklık ve inorganik bileşiklerden bir kalıntı ile kaplanır. Aşınma, karşıt yüzeylerin yüksek düzeyde sürtünme yaşadığı ve herhangi bir yüzeyden yüzey kusurları ve / veya gevşek parçacıkların oluşmasına neden olan bir süreçtir (Childs 1980).

MIG/MAG torçlarında kullanılan tel kılavuzlarının servis ömürlerini artırmak amacıyla, aşınmaya dayanıklı; SiC, TiC ve W tozları ilavesi ile Cu matrisin aşınma dayanımı artırmak ve sonuçta servis ömrünü artırarak üretim maliyetlerinde iyileşme sağlamak hedeflenmiştir. Kaynaklı imalat yöntemleri başta otomotiv sektörü olmak üzere endsüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır, ısıyı ve elektriği en iyi ileten metallerden biridir, aynı zamanda kimyasal olarak oksijenle çabuk reaksiyona girer. En saf olarak üretilen ve satılan metaldir. Bu sebeplerle gazaltı kaynak işlemlerinde torç ve tel kılavuzun imalatında da en çok bakır kullanılmaktadır. Bu ortam şartları içerisinde kaynak telinin geçtiği, tel kılavuzunun aşınma direncini azaltmaktadır. Bu sebeple de

kontak meme belirli bir periyotta değiştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değişim sırasında makinede duruş yaşandığından bu durum verimsizliklerin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca kontak memelerin değiştirilmesinden dolayı sarf malzeme maliyetleri de artmaktadır. Maliyetlerin artışı firmamızın rekabet şartlarını olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple kontak meme daha uzun süre kullanımına imkân sağlayacak şekilde, uygun malzemelerden imal edilmesi amacı ile bu proje başlatılmıştır. MIG/MAG torçları, yüksek akım iletkenliği ve yüksek sıcaklıkta çalışabilen bakır malzemeden yapılmaktadır. Bakır, bazı durumlarda Cr ile veya Zr ile alaşımlandırılarak, aynı zamanda aşınma dayanımının artırılması sağlanmaktadır. Ancak, özellikle robotik sistemlerde kullanılan torçlarda kaynak akım değerlerinin yüksek olması, ısı girdisini artırmaktadır. Bu durum torçların ve özellikle doğrudan ark plazması ile temasta olan kontakt memesi veya tel kılavuzunun yüksek sıcaklıklara çıkmasına sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklıkta aşınma performansı düşen bu parçaların ilgili sıcaklıktaki aşınma değerlerini artırmak amacıyla matrisin elektriksel iletkenliğini etkilemeyen ancak aşınma dayanımı sağlayan partiküllerin ilavesi yapılmıştır. Cu tozunun değişik oranlarda SiC, TiC ve W tozları ile karıştırılması, akabinde sinterlenmesi ve oluşturulacak parçaların tel kılavuzunda kullanılarak aşınma performansının incelenmiştir.

Gazaltı kaynağında gerekli sıcaklık, sürekli beslenen ve eriyen bir tel elektrotla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrottan geçen kaynak akımının elektrotta meydana getirdiği elektriksel direnç etkisi ile ısınmasıyla oluşmaktadır. Elektrot çıplak bir tel olup bir elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrot, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı dışardan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunmaktadır.

Eriyen metal elektrot ve soy gaz kullanımı nedeniyle yönteme MIG (Metal İnert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunlukta ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi işlemler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif

koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur.

MIG/MAG kaynak yönteminde torç, iş parçası ile ucundaki elektrot arasında kaynak için gerekli olan elektrik arkını oluşturabilmek için, akım kablosundan aldığı akımı elektroda iletmek, koruyucu gazı kaynak banyosunun üzerini örtecek biçimde sevk etmek görevlerini yerine getirmek için geliştirilmiş bir elemandır. MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan tor lar uygulama koşulları göz önünde bulundurularak çeşitli tür ve büyüklüklerde üretilmektedirler. El ile yapılan kaynaklarda kullanılan tor lar hafif, küçük ve elektrik akımı kaçaklarına karşı etkin bir biçimde yalıtımlı olarak tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Tor  ile akım  reteci ve gaz tüpü ve soğutma suyu ile bağlantıları değişik kalınlıklardaki kablolar ve hortumlar ile sağlanır ve bunların tümü torç bağlantı paketi adı verilen  elik spiral takviyeli bir kalın hortum içine yerleştirilmişlerdir. Tor lar uygulamada kullanılabilecekleri maksimum akım şiddetine göre sınıflandırılırlar. Her büyüklükteki tor a belirli sınırlar içinde kalmak koşulu ile çeşitli çap ve türlerde elektrod ve gaz nozulu takılabilir. Tor ları sınıflandırmada en önemli kriter y klenebilecekleri maksimum akım şiddeti olduğundan ve bu konu da tor un soğutma sistemini belirlediğinden, su soğutmalı torç kullanılmaktadır.

MIG/MAG kaynağında kullanılan tor lar yapılan kaynağın kalitesine etki ettiği için torç seçimi büyük önem taşır. MIG/MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi, elektrodun kaynak bölgesine iletilmesi ve kaynak bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi tor un görevidir. Tor  içerisinde yer alan ve kaynak telinin kaynak bölgesine iletilmesini sağlayan kontak memeler, kullanıma bağlı olarak zaman içerisinde aşınmaktadır. Mevcut durumda kullanılan kontak meme maliyet ve malzeme temini bakımından avantajlı olduğu için bakır malzemeden imal edilmektedir. Firmamızda mevcut durumda gerçekleştirilen gazaltı kaynak işlemlerinde kontak memenin yaklaşık 71732 mm gazaltı kaynak üretimi sonucunda değiştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kontak meme aşınması ve değiştirilmemesi durumunda üretimde karşılaşılan kalite problemlerinden bazıları aşağıda paylaşılmıştır;

-  apaklı kaynakların meydana gelmesi
- Kaynağın sac malzemeye aşırı penetrasyon nedeniyle deformasyona uğratması

- Açık kaynak, kapalı kaynak meydana gelmesi

Kullanılan memelerin belirtilen süre sonunda değiştirilmesi sırasında makine çalışmadığından bir duruş yaşanmaktadır. Ayrıca, kontak meme maliyeti yerine aşınan pim değiştirilerek sarf malzeme tüketiminin azaltılması sağlanacaktır.

Cu+(TiC/SiC/W) toz karışımlarının değişik oranlarda karıştırılması 250 kg preslenerek ve 720 C de 75 dk sinterlenmesi sağlanmıştır. Sinterlemenin ardından, tel kılavuzunun dış çap 4mm x iç çap 1mm x boy 5mm boyutuna işlenmesi ve üretilen pim aşınmış olan kontak memeye sıkı geçmesi ile montaj edilecektir. Tel kılavuzunun oluşturulmasının ardından, gerçek çalışma koşullarında test edilecek ve daha sonra verimliliği orjinal parçaya göre değerlendirilecektir.

Toz metalürjisi, metal tozlarından ve ondan kütleli gereçler ile şekillendirilmiş parçalar üretme teknoloji ve sanatıdır (Sarıtaş 1995). En geniş şekillendirme ve üretim işlemlerine sahip olan toz metalürjisi teknolojisinin; yüksek kaliteli, karmaşık şekilli parçaların istenilen toleranslarda çok az kayıpla ekonomik olarak üretilebilmesi, en önemli özelliklerinden biridir (Öveçoğlu 1997). Toz Metalürjisinde uygulanan üretim yöntemi, diğer metal şekillendirme yöntemlerinden tamamen farklıdır ve seramik parça üretim teknolojisine benzemektedir (German 1996). Seramikler ile metal tozlarının şekillendirilmesi arasında bulunan en önemli fark, metal tozlarından üretilen ve daha sonra sinterlenen parçaların, uygulanan kuvvet altında şekil değiştirmelerinin kolay olmasıdır. Toz metalürjisi yöntemi ile malzeme üretimi genel olarak üç aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamalar; tozun harmanlanması ve karıştırma, presleme ve sinterlemedir. Tozların harmanlanmasında ilk önce üretimi istenen malzemenin bileşimini oluşturan tozlar seçilmesidir. Toz seçiminde boyut, şekil, saflık ve diğer toz karakteristikleri önemli yer tutar. Bu parametreler malzeme üretiminin diğer aşamalarını da etkiler. Hazırlanan toz karışımları, daha sonra ham bir mukavemet kazanacak şekilde preslenirler. Presleme işlemi; oda sıcaklığında tek veya çok eksenli ya da izostatik presleme ile değişik basınçlarda yapılabileceği gibi, sıcak izostatik presleme, ekstrüzyon ve haddeleme teknikleriyle de gerçekleştirilebilir. Bu olay, sinterleme olarak

isimlendirilir. Sinterleme sıcaklığında bileşenler katı halde olabileceği gibi, sıvı halde de olabilir (Upadhyaya 1997).

Çok bileşenli sistemlerin sinterlenmesinde, genellikle metalik yapı içerisinde bulunan düşük oranlı karışım elemanlarının ergimesi istenir. Sinterleme işlemi, parçanın tam yoğunluk değerine ulaşıldığında sona erer. Bu durum yapı içerisinde bulunan boşlukların kalmaması anlamına gelmektedir. Böylece daha dayanıklı malzeme elde edilmesi sağlanır. Ancak birçok sistemde bu değerlere ulaşılması oldukça zordur. Bu nedenle tam yoğunluğa ulaşmak yerine, genellikle istenilen mikro yapı ve mekanik özelliklere ulaşılması yeterlidir. Ayrıca, sinterleme sırasında ortamda basıncın olup olmadığına göre, sinterleme işlemi basınçlı ve basınçsız sinterleme olarak ikiye ayrılır. Sisteme etki eden basınç veya sıvı fazın varlığı, sinterleme sıcaklığını düşürmektedir (Kurt 1997). Toz metalürjisi, en basitten en karmaşığa kadar çeşitli alaşım ve parça üretiminde kullanılabilir. Toz metalürjisi üretiminin bazı avantajları ise; ergitme ile üretilmeyen malzemelerin (sert metaller, mıknatıs ve sürtünme malzemeleri, yatak malzemeleri, elektrik kontaktörler vb.) üretiminin mümkün olması, geleneksel yöntemlerle elde edilmeyen bazı özelliklerin (sıvılara karşı yüksek geçirgenlik, mükemmel yağlama ve elektriksel temas özellikleri gibi) çeşitli elementlerin istenilen oranlarda birleştirilmesiyle gerçekleştirilmesi ve sert metallerden üretilen pres takımları kullanılarak, uzun üretim işlemleri boyunca yakın toleranslar sağlanarak kalite kontrol masrafları büyük ölçüde azaltılmasıdır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Toz Üretim Yöntemleri

Toz metalürjisinde kullanılacak metal tozlarının üretimi kimyasal, elektrolitik, mekaniksel ve atomizasyon metodu olmak üzere genel olarak dört ana grupta incelenebilir. Yöntemlerin seçimi tozu üretilecek malzemenin belirli özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Değişik yöntemlerle elde edilen tozlar arasında, tane büyüklüğü ve dağılımı, tane şekli, kimyasal özellikler ve fiyat açısından farklar vardır.

2.1.1 Kimyasal Üretim Yöntemleri

Bütün metallerin tozları genellikle kimyasal yöntemlerle elde edilebilmektedir. Metal oksitlerinin indirgenmesindeki belli avantajlar ise şunlardır: karbonun ve metal oksitlerinin ucuz olması, oksit ve metal tane boyutlarının kontrolünün kolaylığı, gözenekli toz üretimi, işlem kapasitesinin esnekliğidir. Bazı dezavantajları ise; kullanılan indirgeyici gazların maliyeti ve alaşım tozlarının üretim imkânsızlığıdır.

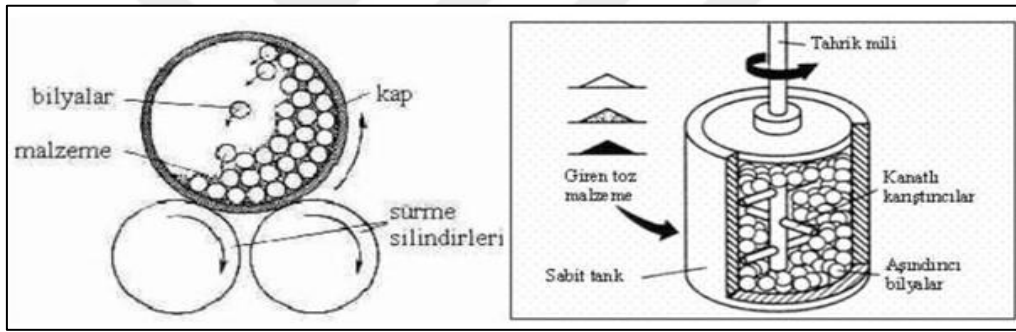
2.1.2 Elektrolitik Yöntem

Elektrolitik yöntemde, tozu elde edilecek malzeme anot olarak, elektrolitik banyo içerisine yerleştirilir. Uygulanan voltaj altında, elektrolitik banyo içerisinde çözünen anot, katot üzerinde toplanır. Daha sonra katot alınarak, yıkanır ve kurutularak temizlenir. Üzerindeki tozlar alınır ve öğütülerek ince toz haline getirilir. Elektrolitik yöntemle elde edilen tozlar, dentritik veya gözenekli toz şekline sahiptir. Genellikle banyo sıcaklığı 60 °C civarındadır.

2.1.3 Mekaniksel Yöntem

Mekaniksel yöntem olarak adlandırılan yöntem esasen mekanik alaşımlandırma olarak ifade edilir. Mekanik alaşımlandırmada, ısıt yöntemlerde kullanılan ısıнын ergitme etkisi ve akabinde ortaya çıkan alaşımlandırma yerine, bu yöntemde üçüncü bir objenin

çarpma etkisi ile, elementel tozların atomik yakınlaşmaya yol açması esasına dayanır. Mekanik kuvvetler altında deformasyona uğrayan parçacıkların davranışı tamamen malzemenin kafes yapısı ve mekanik özellikleriyle ilgilidir. Kırılgan ve sünek karakterdeki tozların herbirinin davranışı birbirinden çok farklıdır. Kırılgan karakterli yapıların mekanik kuvvetlerin etkisiyle toz haline getirilmesi çok kolayken, sünek karakterli malzemelerin öğütülmesi özel ekipman ve süreci kontrol altında tutan özel katkılar gerektirmektedir. Ancak, kırılgan tozların alaşımlandırmada gösterdiği performans sünek tozların gösterdiği sürece göre daha az başarılıdır. İntermetalik alaşımları daha az kırılgan biçimde üretmek bu yöntemle mümkün olmaktadır. Gevrek yapıdaki intermetalik alaşımlar mekaniksel olarak bilyeli değirmenlerde öğütülmek suretiyle toz haline getirilmektedir. (Şekil 2.1) de mekaniksel yöntem ile toz üretiminin şekli gösterilmektedir. Mekaniksel yöntemde genellikle lamel şekilli tozlar kullanılır.



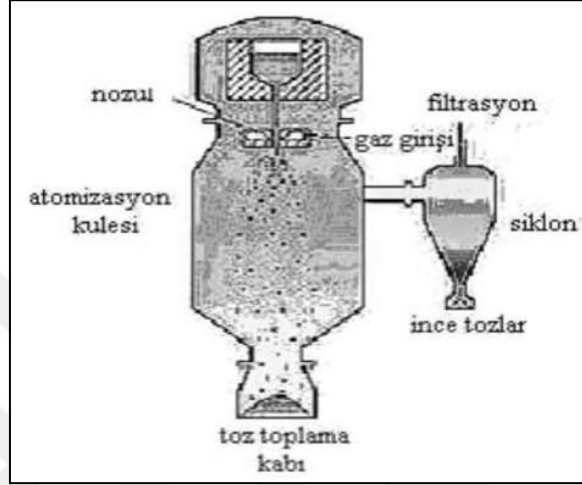
Şekil 2.1 Mekanik öğütme ile toz karışımının üretimini şematik gösterimi (German 1996).

2.1.4 Atomizasyon Yöntemi

Başlıklarda kısaltma kullanılmamasına özen gösterilmelidir. Atomizasyon yöntemi bir sıvıyı damlacıklara ayırma işlemidir (German 1994). Bu tanıma göre sıvı halde bulunan her metal atomize edilebilirler. (Şekil 2.2) de görüldüğü gibi atomizasyon yöntemi, sıvı metal demetinin basınçlı akışkanlar veya mekanik olarak parçalanması ile oluşan damlacıkların katılaşarak metal tozu haline getirilmesidir. Diğer üretim tekniklerine göre atomizasyon yönteminde tane şekli, tane büyüklüğü ve dağılımı kontrolü çok kolaydır. Özellikle alaşım tozları üretiminde bu yöntem çok uygundur (Saritaş 1994). Atomizasyon yöntemi ile metal tozları üretmede kullanılan değişik tekniklerde vardır.

2.2 Metal Tozlarının Özellikleri

Metal tozlarının bazı özellikleri üretim yöntemlerine göre belirlenmektedir. Toz metalürjisi yöntemiyle üretimin başarısı, kullanılan tozların tane olarak ve kütle olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır (German 1994).



Şekil 2.2 Toz üretmek için toz atomizasyon yöntemi.

2.2.1 Kimyasal Özellikler

Kimyasal özellikler tozun bileşimi ve saflığıdır. Kimyasal analiz yöntemleriyle kullanılacak olan tozların bileşimleri ve içerisindeki istenmeyen maddeler tespit edilir. Genellikle tozların içerisinde üretim sırasında kimyasal indirgenme sonucu yabancı partiküller bulunur. Bu durum sıkıştırma esnasında tozların yoğunlaşma davranışını olumsuz yönde etkilediği için istenilmemektedir.

2.2.2 Fiziksel Özellikler

Presleme ve sinterleme özellikleri de fiziksel özelliklerle yakından ilgilidir. Toz boyutunun analizi için genellikle elekanalizi yapılır. Metal tozlarının en önemli iki temel özelliği toz şekli ve büyüklüğüdür. Toz üretim teknikleri, üretilen tozların şekillerini belirler. Toz şekli tayini ışık ve elektron mikroskopları ile yapılmaktadır.

Tozların şekilleri, biçimlendirmede çok etkilidir. Akış, görünür yoğunluk, yoğunlaşma kabiliyeti ve ham mukavemet toz şekline çok bağlıdır (German 1994).

2.3 Metal Tozlarının Endüstrideki Uygulama Alanları

Toz metalürjisi kullanım alanı çok yaygındır. Tungsten lamba teli yapımı, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, takım çelikleri, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elementleri, türbin parçaları ve dişçilik amalgamları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlara ilave olarak metal tozları; boyalar, baskı devreleri, patlayıcılar, kaynak elektrodan örtüsü, katı roket yakıtından, mürekkepler, piller, sert lehim bileşikleri ve katalizörlerde kullanılmaktadır (Sarıtaş 1994).

Sementit karbürlerin ortaya çıkışı doğal gelişme ise wolframın yüksek elektrik iletkenliği özellikleri olan bakır ve gümüş gibi düşük ergime sıcaklıkları olan metallerle toz metalürjisi teknikleri ile birleştirilip elektrik kontaktör ve elektrot uygulamalarında kullanılması olmuştur (Öveçoğlu 1997).

Endüstriyel toz metalürjisi metotlarının hepsi bileşim esnekliği, alaşım elementlerinin en alt düzeyde ayrışması ve ince taneli mikro yapıların kolayca elde edilmesi gibi özellikler sunarlar. Toz metalürjisinin diğer bir avantajı, malzeme kullanım oranının %100'lere ulaşılması sayesinde kritik hammadde kayıplarının en az düzeye indirilmesidir. Aynı parçadan çok sayıda üretim söz konusu olduğunda toz metalürjisi en iyi uygulanabilen bir metottur. Boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı toz metalürjisi metotlarının en bariz avantajlarıdır. Tozların sıkıştırıldıktan sonra sinterlenmesi yolu otomotivde, tarımda ve büro donanım elemanları yapımında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bazı özel bileşimlerde ise, bunlar en iyi toz metalürjisi ile yapılabilmekte ve elde edilen mekanik özellikler elde edilmektedir (German 1994).

2.4 Metal Tozlarının Şekillendirilmesi

Tozu sıkıştırılabilirliğini artırmak ve sinterlemeyi kolaylaştırmak için, sıkıştırma öncesi tozlara belirli özellikler kazandırmak amacı ile birtakım işlemler yapılır.

Bunlar;

- Tozun boyutsal olarak ayrıştırılması
- Değişik boyuttaki tozların veya farklı tozların harmanlama ve karıştırma işlemi
- Tozların sıkıştırılabilirliğini artırmak amacıyla yağlayıcı ekleme işlemi
- Metal tozlarının yüksek basınç altında preslenmesi

2.4.1 Tozun Sınıflandırılması

Tozun sınıflandırılması işlemi, genellikle eleklerle veya havalı sınıflandırıcılarla yapılmaktadır. Metal tozlarını tane büyüklüğüne göre belirli değerlere ayırma; üretilcek parça için uygun olan aralıklardaki tozları seçme işlemidir. Bazı parçaların üretiminde belli aralıklardaki tane büyüklüğüne sahip aynı metalin tozlarının önceden belirlenmiş oranlarda karıştırılması istenebilir.

2.4.2 Harmanlama ve Karıştırma

Harmanlama; aynı metalin, aynı kimyasal özelliklere sahip farklı tane boyutundaki tozlarını karıştırmak olarak ifade edilir. Karıştırma ise, farklı kimyasal özelliklerdeki tozları homojen olarak birleştirmektir. Harmanlama, presleme öncesi tozların tane boyutu dağılımının kontrolünü sağlamak için kullanılır. Bu nedenle, karışım tozlarının taşınması sırasında tozları, sarsıntıdan korumak veya tekrar karıştırma işlemine uygulamak gerekebilir.

2.4.3 Yağlayıcı Katma

Presleme esnasında toz tanecikleri ve kalıp duvarı arasındaki sürtünme sıkıştırma, basıncının yüksek tutulmasına ve sonucunda kalıp aşınmasına ve yıpranmasına sebep olur. Ayrıca şekillendirilmiş parçanın kalıp içerisinden çıkartılırken, preslenmiş parçanın şekil ve kenarlarının kararlılığını, oluşan sürtünme kuvveti olumsuz yönde etkilemektedir.

2.4.4 Metal Tozlarının Preslenmesi

Metal tozlarının, üretilecek parçanın şekil ve ölçülerine göre hazırlanmış kalıp içerisinde, basınç tesiri altında şekillendirilmiş, yüksek yoğunluklu bir kütle haline dönüştürme işlemidir. Presleme basıncı oluşan tanecikler arası bağ ham mukavemetin yükselmesini sağlar. Deformasyon ile tanecikler arası ilk değme noktalarında katı ara yüzeyleri yaratılır. Toz taneciklerinin havada çok moleküllü oksit ve gaz tabakalarıyla kaplanması yüzeylerin atomsal olarak bir araya gelmesini engeller. Presleme basıncının artması ile birlikte gevşek tanecik düzeni bozularak gözeneklilik azalmaya başlar. Artan basıncın tesiri altında, birçok taneler birbirine sürtünerek oksit ve gaz tabakalarının yırtılmasını sağlayarak tane yüzeylerinin birbirine teması sağlanır.

2.5 Sinterleme

Sinterleme işlemi, farklı metal tozlarından hazırlanan karışımda bulunan en yüksek ergime sıcaklığına sahip olan tozun, ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yapılır. Sinterleme, bir seramik bünyede birbirleriyle temas halinde bulunan tanelerin yüksek sıcaklıklarda birbirine kaynayarak yapışması prosesi ve böylece bünynenin yoğunluk ve boyutlarında meydana gelen değişimdir. Tozlar arasında sinterleme sırasında oluşan bağlar nispeten yüksek sıcaklarda gerçekleşir. Ancak uygulanan yüksek sıcaklık malzemenin fiziksel özellikleriyle ilgilidir. Birçok metal ve seramik sistemde parçacıklar arası bağlanma katı hal difüzyonu ile gerçekleşir. Sıvı faz sinterlemesinde ise ısıl çevrim sırasında sıvı-katı karışımı oluşur. Böyle bir durumda oluşan sıvı faz oluşan kılcal kuvvetlerin de etkisiyle katı hal yayınımına kıyasla daha hızlı bir kütle iletimi sağlar. Diğer bazı sinter tekniklerinde, parçacık deformasyonu ve bağlanma eşzamanlı olarak gerçekleşir. Sıcak izostatik presleme (HIP), basınç destekli sinterlemenin en popüler olanı olup akma ve yayınma bu süreçte aynı anda gerçekleşir. Bu konuda geliştirilen yeni teknikler ise, karışık tozlar arasındaki reaksiyonları içermektedir. Birçok intermetalik bileşikler ve borür, karbür, oksit ve nitrürler bu şekilde üretilmektedir (Upadhyaya 1997). Dikkat edilecek noktalar aşağıdadır;

- Toz gövdesi üzerinde iç gerilmelerin boşalması ile beraber çökme meydana gelir ancak diğer tozlarla temas halinde olduğu için alaşımlandırma elementinin yaratacağı latis gerilmelerin etkisi mukavemeti artar,
- Sıkıştırılmış toz peletinin bünyesinde büzülme meydana gelir,
- Tozlar arasında bulunan boşlukların yani porların boyutu ve şekli değişir, kısacası küçülür veya tamamen ortadan kaybolur,
- Ortalama tane boyutu diğer tozlarla temas halinde oldukları için büyür.

Sinterleme aşamasını etkileyen faktörler:

- Hammaddelerin genel ve fiziksel özellikleri (burada önemli olan tozun şeklidir; yuvarlak şekilli olması ile sivri şekilli olması arasında fark olacaktır),
- Şekillendirmeye ait parametrik koşullar,
- Elementel veya oksit bazlı safsızlıklar veya ilave katkı maddeleri,
- Sinterlemenin toplam süresi,
- Sinterleme yapılan en üst proses sıcaklığı,
- Sinterleme atmosferinin türü (vakumsa vakumun yüksekliği veya alçaklığı, değilse Ar, He gibi saf gazların olması veya karışım olmasında önemlidir)

Sıcaklık ve sürenin etkileri ise şöyledir:

- Yoğunluk, limit değerine doğru yaklaşır,
- Sinterleşme hızı sıcaklıkla birlikte artar,

Sinterleme sıcaklığı kesinlikle sistem bileşenlerinin özellikleri göz önünde bulundurularak tespit edilmelidir. Öncelikle sistemde mevcut ya da olası fazların yüksek sıcaklık davranışları faz diyagramlarından faydalanılarak tespit edilir. Bileşenler arasında metaller arası bileşik oluşumu, fazlar arası çözünürlük ve sıvı oluşumları, sıcaklığa ve atmosfer koşullarına bağlı olarak tetkik edilir. Yapılan bu ön çalışmalardan sonra sinterleme işleminin sıcaklığına, atmosferine ve süresine karar verilir. Sinterleme işlemi, sinterlenen malzemeye göre değerlendirildiğinde katı hal sinterlemesi ve sıvı faz sinterlemesi gibi sınırlandırıldığı gibi sinterlenen ortam koşullarının etkisi göz önünde

bulundurularak basınçlı ya da basınçsız, gaz altı ve vakum sinterlemesi olarak adlandırılabilir. Genellikle bünyedeki fazlardan birinin sıvı oluşturduğu bir sıcaklıkta sinterleme gerçekleştirilir. Sıvı faz sinterleme olarak tanımlanan bu sinterleme de ise oluşan sıvı fazın geçici ya da sürekli olmasına bağlı olarak farklı tanımlamalar yapmak mümkündür. Sinterleme işlemi ısıtmanın türüne göre de sınıflandırılabilir. İndüksiyon akımlarıyla ısıtma, mikro dalga ısıtması, plazma ısıtması, elektrik boşalım ısıtması ve lazer ısıtması bu kapsamda örnek olarak verilebilir.

2.5.1 Katı Hal Sinterlemesi

Katı hal sinterleme işleminde içyapıda sıvı faz oluşmaz. Ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta katı halde difüzyon ile tanecikler arasında bağ oluşmaktadır. Eğer bileşenlerin ergime sıcaklıkları çok farklı değilse sinterleme sıcaklığı bütün bileşenlerin ergime sıcaklıklarından düşük olmalıdır.

Katı hal sinterlemesi sırasında aşağıdaki aşamalar gerçekleşir:

- Parçacıklar arasında ilk bağın oluşması
- Boyun büyümesi
- Gözenek kanallarının kapanması
- Gözeneklerin yuvarlaklaşması
- Yoğunlaşma ya da gözeneklerin küçülmesi

2.5.2 Sıvı Faz Sinterlemesi

Farklı bir yöntemde ön alaşımılı tozun solidüs- likidüs sıcaklığı arasında sinterlenmesi ile sıvı-katı karışımı oluşturarak yapılan sinterleme, solidüstü sinterleme olarak tanımlanır.

Geçici sıvı faz sinterlemesine benzeyen diğer bir sinterleme yöntemi de reaktif (reaksiyonlu) sinterlemedir. Bu yöntemde farklı metal tozları arasında difüzyonla sıvı faz oluşumu ile birlikte ekzotermik bir reaksiyon meydana gelir. Yüksek reaksiyon ısısı hızlı bir sinterlemeye neden olur. Sıvı faz sinterlemesi ana grupların içinde malzeme özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan bazı durumlar vardır. Bu farklılık sinterleme

hızını ve mikro yapı oluşumunu büyük ölçüde etkiler. Diğer önemli faktörler sıvı ve katı fazlar arasındaki ara yüzey enerjisi (ıslatma veya ıslatma durumu) ve sıvı fazın katı-katı tane sınırlama girmesi durumu ile ilgilidir. Bu değişkenler parçacık boyutu, sinterleme sıcaklığı ve süresi, sinterlemem atmosferi ve ham yoğunluk gibi işlem parametreleri ile birlikte oluşacak içyapıyı önemli ölçüde etkiler. Bütün bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri sıvı faz sinterlemesini daha da karmaşık hale getirirler. Bu değişkenlik sıvı faz sinterlemesini hem metal hem de seramikler için esnek bir üretim yöntemi haline getirir. İkili faz diyagramları ve sinterleme işlemi arasında önemli ilişki vardır.

2.5.2.1 Sürekli Sıvı Faz Sinterlemesi

Başlangıçta katıyı ıslatan sıvının katı parçacıklar üzerine uygulandığı kapiller kuvvetler yardımıyla parçacıkların yeniden düzenlenmesi ile hızlı bir yoğunluk artışı olur. Yeniden düzenleme ve erişilecek yoğunluk artışı, oluşan sıvı faz miktarına, parçacık büyüklüğüne ve katının sıvı fazda çözünürlüğüne bağlıdır. Sıkıştırılmış kütle içindeki gözenek miktarlarının azalması sıvı faz akışını güçlendirir. Bu nedenle yoğunlaşma hızı giderek azalır. Normal olarak toz karışımını sıvının oluştuğu sıcaklığa ıslatırken ön alaşımlı tozlar solidüstü (süper solidüs) sıcaklığa ısıtılarak hızlı sinterleme gerçekleştirilir.

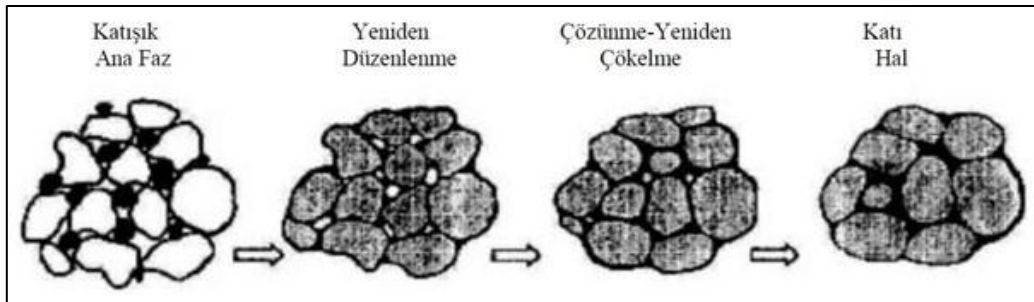
Başarılı sinterlemelerde oluşan sıvı faz, katı fazı ıslatır ve aynı zamanda katıyı çözer. En başarılı sürekli sıvı faz sinterlemesi özelliği gösteren sistemler ötektik sistemlerdir. Solidüstü sinterlemede ön alaşımlı toz solidüs -likidüs sıcaklıkları arasındaki bir sıcaklıkta sinterlenir. Sıvı oluşumu ile birlikte yoğunluk artışı çok hızlı olmakta ve artan sıvı oranıyla artmaktadır (Hausner ve Mal 1982).

Solidüs üstü sıvı-katı sinterleme işlemi, yüksek alaşımlı malzemelerin yüksek pelet yoğunlukta sinterlenmeleri için çok uygundur. Sinterlenmiş yoğunluk ve çekme miktarı artan sıvı faz miktarı ile artar. Yüksek sinterleme sıcaklıklarında sıvı faz miktarı arttığı için preslenmiş kütlede şekil bozulması ve iri taneli mikroyapı oluşur. Solidüstü sinterlemede karşılaşılan bazı önemli problemler vardır. Sinterleme sıcaklığına ısıtma sırasında oluşan katı hal sinterlemesi parçacıklar arasında bağ oluşturularak yeniden düzenlemeyi zorlaştırabilir. Ayrıca sinterleme sıcaklığı toz bileşimine bağlı olduğundan

sıkı bir şekilde kontrolü gerekir. Sıvı oluşumundan sonra sinterleme hızı çok yüksektir. Bu durum boyut ve mikroyapı kontrolünü zorlaştırmaktadır. Gözeneklerde veya porlarda daha fazla gaz hapsolmesini önlediğinden sinterleme daha başarılı olmaktadır (Ünal 1995).

Tek bir unsurdan oluşan malzemelerin katı hal sinterlemesi en iyi bilinen sinterleme şeklidir. Katı hal sinterlemesi yine de en iyi bilinen ve anlaşılan yöntem olmasına karşın, bir anlamda bu yöntemle rekabet eden sıvı faz sinterlemesi daha büyük endüstriyel kullanım alanı bulmuştur. Ancak büyük ölçüdeki bu kullanıma karşın bu sinterleme şekli iyi bir şekilde anlaşılamamıştır (Lee vd. 1993).

Geleneksel sıvı faz sinterleme süreçleri birbiri üzerine binen üç aşama ile açıklanır. (Şekil 2.3) de bu aşamaların şematik gelişimini göstermektedir. İlk olarak karışık tozlar bir sıvının olduğu sıcaklığa kadar ısıtılır. Sistem yüzey enerjisini en düşük konuma indirmeye çalışırken gözeneklerin giderilmesi gerçekleşir. Yeniden düzenlenme boyunca bünye kılcal harekete doğru viskoz bir katı olarak davranır. Gözeneklerin giderilmesi sinterlenen numunenin viskozitesi ile artar. Sonuç olarak yoğunlaşma hızı sürekli olarak azalır.



Şekil 2.3 Sıvı faz sinterlemesinde aşamaların gelişiminin gösterimi.

Sinterleme sırasında ortaya çıkan yeniden düzenlenme durumu ile kolektif olarak tozların veya peletin yoğunlaşması yavaşladıkça, bu defa alaşımlama aşaması için birbiri içindeki elementel çözünürlük ve elementlerin birbiri içerisindeki difüzyonal yayınma etkileri daha baskın hale gelecektir. Çözünme-yeniden çökmenin genel katkısı mikro yapısal irileşmedir. Bir tanenin onu çevreleyen sıvı içerisindeki çözünürlüğü tane boyutu ile ters orantılıdır. Küçük taneler büyük tanelere oranla daha

yüksek bir çözünürlüğe sahiptir. Sıvı faz sinterlemesinin son aşaması katı hal kontrollü sinterlemedir. Katı iskelet yapısının varlığı sebebiyle yoğunlaşma bu aşamada yavaştır. Bu aşamada baskın olan süreçler aslında, tüm sıvı faz sinterleme çevrimi boyunca da aktiftirler, fakat yavaş oluşumları sebebiyle katı-hal sinterlemesi, sinterleme çevriminin son kademelerine kadar önem teşkil etmez. Sıvı faz sinterlemesi elektronik seramikler, abrazifler, ferritler, yüksek sıcaklık seramikleri, elektrik kontak malzemeleri, sinterlenmiş karbürler, bronz yataklar, süper alaşımlar, otomotiv yapı parçaları gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. En önemli avantajı sinterlemeyi hazırlamasıdır. Sıvı faz parçacıklar arası sürtünmeyi azaltarak yeniden düzelmeyi hızlandırır. Tane büyüklüğünün kontrolü mümkündür.

2.5.2.2 Geçici Sıvı Faz Sinterlemesi

Gözenekli bronz yatak uygulamalarında faydalı olan bu durum yapı parçaları için zararlıdır. Oluşan sıvı katıyı ıslatmalı ve difüzyon hızını arttırmalıdır. Sinterlemede parçacık büyüklüğü, katkı metal oranı ısıtma hızı ve sinterleme sıcaklığı etkili olur. Yoğunluk artışı oluşan sıvı miktarına ve sıvının iç yapıda bulunması süresine bağlıdır. Eğer sistemde metaller arşı bileşik oluşuyorsa şişme olması beklenir. Ergime noktası yüksek bileşik karşılıklı difüzyona ve ötektik oluşumu engelleyebilir.

2.5.2.3 Reaksiyonlu Sinterleme

Reaksiyonlu (reaktif) sinterleme geçici sıvı faz sinterlemesine benzer. Bileşenler arasındaki reaksiyon çoğunlukta ekzotermiktir. Sıvı oluşumu ve ekzotermik reaksiyon sonucu ısınma ile hızlı bir sinterleme gerçekleşir.

2.6 Toz Metalürjisi Uygulamaları

Talaşlı imalat gerektirmeyen makine parçalarında, döküm zorlukla ve önemli kayıplarla yapıyorsa ve döküm ile elde edilen malzemelerin sıcakta dövülmesi imkânsızsa, T/M yöntemleri ile sinterlemeden sonra, talaş gerektirmeden, son presleme ile malzeme istenilen boyuta getirilir. Böylece malzemedan tasarruf sağlanarak ve talaşlı imalat

maliyetini ortadan kaldırarak parçaların ekonomik olarak üretilmesi sağlanır (German 1994).

Sinterlenmiş sert alaşımlar, ergime sıcaklıkları yüksek karbürler ve birleştirici rolü oynayan demir gurubundan bir metal veya metaller alaşımından meydana gelen sinterlenmiş mamullere denir. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen sert metaller; kesici takımlarda, madenleri delme aletlerinde, aşınmaya dayanıklı takımlarda kullanılır. Sert alaşımlar yüksek sertlik, aşınmaya mukavemet, ısıya mukavemet, işlenen metalle kaynama, tatminkâr çekme mukavemeti gibi özelliklerinden dolayı kesici takım olarak kullanılır. Elektrik kontakları için kullanılan malzemelerin büyük bir kısmı metalik tozlardan hazırlanır.

2.7 Cu-W Alaşımları ve Özellikleri

Bakırın (Cu) sahip olduğu yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, elektrik kontaklarında daha geniş kullanımı için arana bir özellik olsa da, düşük kontak aşınma direnci ve yüksek aşınma hızı, Bakır'ı birçok endüstriyel ağır hizmet uygulamaları için uygun kılmamaktadır. Bazı Bakır matrisli kompozit malzemelerin sahip oldukları yüksek ve yüksek elektriksel ve/veya termal iletkenlik ve iyi aşınma direnci özellikleri nedeniyle (Tjong ve Lau 2000), elektrik motorlarında kullanılan fırça ve torç nozül malzemeleri için elektrot uygulamaları, elektriksel kayar ve darbeli kontaklarda aşınmaya dayanıklı ve ısıya dayanıklı malzemeler olarak kullanım potansiyeline sahiptir. Cu matrisli kompozitler, W gibi takviyenin genel olarak sertliğinden ve dahi aşınma/erozyon direncinden yararlanır. Cu-W'nin yanı sıra, benzer uygulamalar için diğer potansiyel malzemeler Cu-Mo, Cu-Al₂O₃, Ag-Mo, Cu-SiC, Ag-W, ve Ag-CdO. Çeşitli takviyeler arasında W, Cu'daki düşük çözünürlüğü ve çok yüksek erime noktası ile iyi bilinir (Dube vd. 2009). Buna karşın, SiC katkısı daha iyi sonuçlar sunmamla beraber uygulamalarda, çok az bir aşınma direnci artışına sebep olmaktadır (Guatam vd. 2008). Aşınma dayanımının yüksek olması yanında elektiksel uygulamalarda örneğin EDM (Electro Discharge Machining) de kullanılan Bakır-Tungsten (Cu-W) elektrotları, bakırın yüksek termal ve elektriksel iletkenliği ve kıvılcım erozyon direnci, düşük termal genleşme katsayısı, ark direnci, tungstenin kaynak ve yüksek erime sıcaklığı ile

birleştigi bir uygulamadır (Li vd. 2001). Bakır-tungsten elektrotlar, geleneksel elektrotlardan (geleneksel bakır veya grafit gibi) daha pahalı olduğundan, ticari EDM işlemlerinde sıklıkla kullanılmazlar. Bununla birlikte, grafit elektrotlar kalıp endüstrisinde temel dayanak noktası olurken, bakır tungsten elektrotlar, yalnızca daha iyi bir yüzey sağladıkları için değil, aynı zamanda grafit elektrotlara kıyasla daha uzun ömürlü oldukları için aşağıdaki özelliklerinden dolayı tercih edilebilirler (Lee vd. 2004):

- Hız/maliyet: karmaşık geometri için bu süreç daha hızlı ve daha ucuzdur.
- İyi yüzey kalitesi (bakır elektrot kalitesine yakın).
- Uzun ömür (bakır-tungsten elektrotlar, grafitten yaklaşık iki ila üç kat daha uzun süre dayanır).
- Kolayca zarar görmeyen sağlam elektrotlar (grafit ve hatta bakır ile elektrotlar kolayca zarar görebilir).
- Sanatsal el oyması nesnelerin (programlanması imkansız) elektrotlara kopyalanması.

Metal Matrisli Kompozitler (MMC'ler) normalde Toz Metalurjisi (P/M) yöntemiyle yüksek sıcaklıklarda basınçlı ve basınçsız olarak, mekanik alaşımlandırma, sıvı metalurjisi ve sıkıştırılmalı döküm gibi çeşitli tekniklerin kullanılmasıyla Bakır toz matrise sertliği yüksek veya aşınma direnci yüksek olan ve hatta aşınma katsayısı daha düşük bir takviye fazının eklenmesiyle üretilir (Zhang vd. 2008, Deuis vd. 1997, Selvakumar ve Vettivel 2013). P/M yöntemi, Cu-W kompozit malzemelerin üretimi ve aşınma davranışının incelenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Dube vd. 2009).

Cu-W malzemeleri, yüksek termal ve elektrik akısı ve bazı durumlarda nötron bombardımanı gibi yoğun radyasyon içeren koşullar gibi çok zorlu çevresel koşullarda kontak malzemeleri olarak kullanılır (Guatam vd. 2011). Bu nedenle, Cu'nun üstün termal ve elektriksel iletken özellikleri, mekanik stabilite ve aşınma direnci elde etmek için nano-W ile desteklenmelidir. Aşınma direnci, çeşitli mühendislik uygulamaları için önemli bir faktördür. Yağlanmamış koşullarda çeşitli metalik alaşımların sürtünme ve aşınma özellikleri geniş çapta araştırılsa da, Cu-W kompaktlarında bu tür bir anlayış oldukça sınırlıdır (Dube vd. 2009).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Projenin Gerçekleştirilmesinde Kullanılan Malzemeler ve Uygulanan İşlemler

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, deney cihazları ve metotlar hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde kullanılan 1,8 mm kalınlığındaki kaplamalı ticari olarak elde edilen veya satın alınan FEE 340 çeliğinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri (Çizelge 3.1) aşağıda gösterilmiştir. Kaynak teli olarak SG2 kalite 1 mm kaynak teli kullanılmış olup kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri (Çizelge 3.2) aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 1,8 mm FEE 340 çeliğine ait kimyasal özellikleri. (% ağırlık) ve mekanik özellikleri.

C	P	S	Mn	Al
0,12	0,030	0,030	1,50	0,015
Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)		Uzama (%)	
340	410		23	

Çizelge 3.2 SG2 kalite 1 mm kaynak teli kimyasal (ağ. %) ve mekanik özellikleri.

C	Si	Mn	P	S
0,06	0,41	1,1	0,012	0,011
Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)	Sıcaklık (C)	Darbe Dayanımı (J)
430	540	28	-29	70

Koruyucu gaz olarak sanayide kullanılan manifold HB 205 karışım gazı ile testler yapılmıştır. Karışım gazının (Çizelge 3.3) bileşim özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.3 HB 205 Standart koruyucu gaz karışımı (% hacim).

	Argon	Karbondioksit	Oksijen
HB 205	93	5	2

Bu çalışmada ABB marka robota, Fronius transpuls synergic 4000 marka gazaltı kaynak makinesi entegre edilerek kullanılmıştır. Pim montajı yapılacak kontak memenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri (Çizelge 3.4) verilmiştir.

Çizelge 3.4 1 mm çapında kontak meme kimyasal bileşimi (% ağırlık) ve mekanik özellikleri.

		Cu	Cr	Zr
Kontak Meme		Kalan	0,3-1,2	0,03-0,3
Akma (Mpa)	Dayanımı	Çekme (Mpa)	Dayanımı	Uzama (%)
Sertlik (Brinell)(HB30)				
10		400	13	130

Test işlemi ABB marka gazaltı kaynak robotu (Resim 3.1) ile yapılmıştır. Buradaki test işlemi ticari halde alınan kontak meme ile sinterlenmiş pim montajı yapılmış kontak memenin performansları karşılaştırılmıştır. Performans denemesinde uç kısımdaki aşınma belirleyici olmaktadır (Resim 3.4). Aşınan uç kısım gazaltı kaynak esnasında kaynakların bozulmasına neden olmaktadır sanayide “açık kaynak” veya “kapalı kaynak” diye tabir edilen görsel bozulma meydana gelmektedir.



Resim 3.1 ABB gazaltı kaynak robotu görseli.

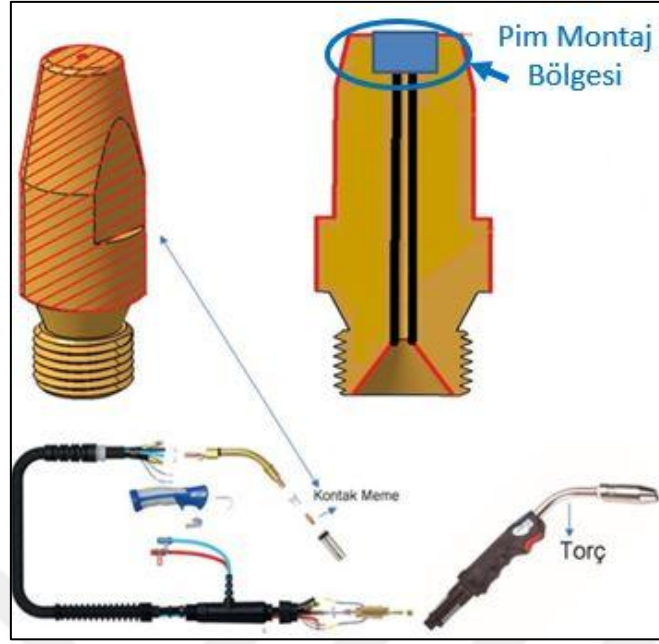
ABB gazaltı robot kaynak makinasında kullanılan kaynak torçunun detay resmi (Resim 3.2)'de verilmiştir. Bu resimden görüldüğü üzere parça sayısı oldukça fazla olup, kaynak sırasında ısı birikmesini engellemek için kaynak torçu su soğutmalı olup kontak meme nozul kısmının içinde kalmaktadır ve elektrik iletimi için en son temas noktası görevini görmektedir.

bazı durumlarda bu delik kapanmakta veya tamamıyla kullanılmaz hale gelmektedir (Resim 3.4). Sürekli gelen 1 mm çapındaki tel kaynak sırasında, telin rulo olarak sarılması sırasında uygulanan çekme kuvvetlerinin etkisi ile iç gerilmelere sahip olup, kontak meme'ye yaklaştıkça ısınmakta ve homojen aşındırma için düz gelmek yerine farklı açı ile geldiği için kontak meme tel sürme delik yüzeyini bozmaktadır. Aşınan kontak meme belli üretim sayısına ulaştığında değiştirilmektedir. Sadece maliyet olarak değil, aynı zamanda, değiştirme süresi kaybedilmektedir ve parça yüzeyinde oluşan çapakların temizlenmesi veya bazı durumlarda ıskartaya çıkması mümkün olabilmektedir.



Resim 3.4 ABB gazaltı kaynak robotu aşınmış kontak meme görseli.

Yukarıda bahsedilen sebepleri ortadan kaldırmak amacıyla, aşınmanın yoğun olduğu kontak meme uç kısmına (Resim 3.5) 5 mm derinliğinde 4 mm genişliğinde pim montaj deliği boşaltma işlemi uygulanarak aşınma direnci daha yüksek pim üretimi ve akabinde montajı yapılmıştır.

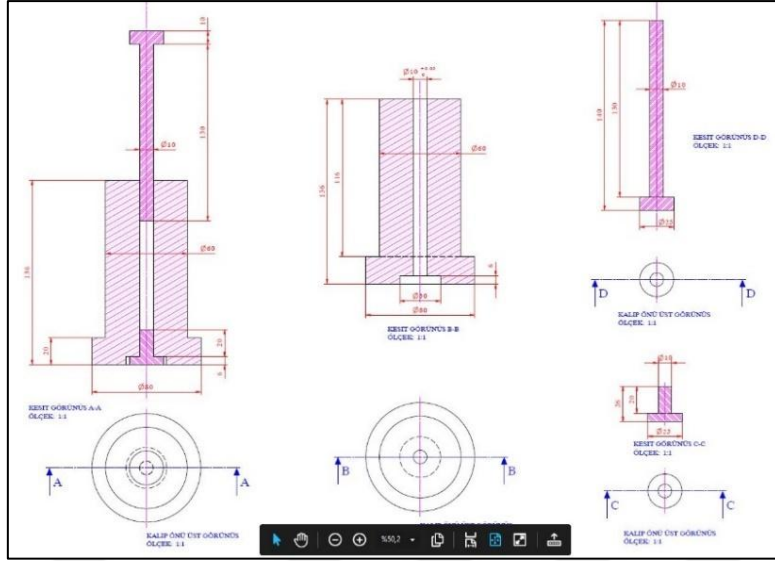


Resim 3.5 Aşınmış kontak meme pim montaj edilecek bölge görseli.

Kontak meme iç kısmında çap 1 mm kaynak telinin geçmesi için boydan boya 1 mm'lik kanal mevcuttur. Pim montaj deliği açılmış kontak memede (Resim 3.5) görüldüğü üzere 1mm çapındaki kaynak telinin geçeceği kanal görülebilmektedir.



Resim 3.6 Aşınmış kontak meme pim montaj edilecek bölge görseli.



Resim 3.7 Kontak meme pim pres kalıp teknik resim görseli.

Çalışmada (Resim 3.7) tozların sıkıştırılacağı kalıbın teknik görseline yer verilmiştir. Sinterleme ile üretilecek pimin montajını yapılacağı kontak memede (Resim 3.6) boşaltma işlemi yapılmış görsele yer verilmiştir.

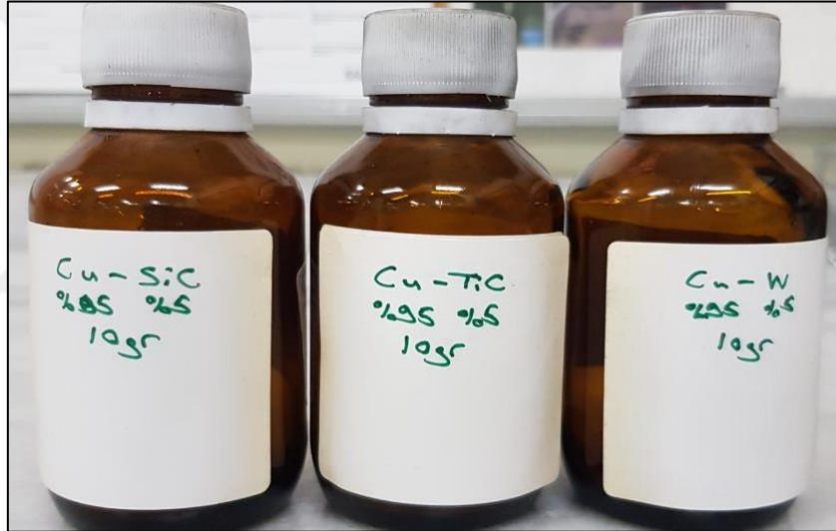


Resim 3.8 Kontak meme pim pres kalıp görseli.

Bu çalışmada pim yapımında kullanılan pimlerin üretiminde Cu (325 mesh), TiC (30-5nm), SiC (1 mikron) ve W (12 mikron) boyutlarında toz kullanılmıştır. Toz karışımları hazırlanırken 0.01gr hassasiyetine sahip hassas terazi kullanılmıştır. Toz tartımı sırasında ortam şartları bütün karışımlar için aynı tutulmuş ve (Çizelge 3.5) de verildiği haliyle tamamlanmıştır.

Çizelge 3.5 Karışım oranları (%).

Cu (%)	SiC (%)	V1/V2	d2/d1	m1/m2	Cu (gr)	SiC (gr)	Toplam (gr)
95	5	0,0526	0,3582	0,1469	8,7191	1,2809	10
90	10	0,1111	0,3582	0,3101	7,6328	2,3672	10
85	15	0,1764	0,3582	0,4925	6,6999	3,3001	10
Cu (%)	TiC (%)				Cu (gr)	TiC (gr)	
95	5	0,0526	0,5502	0,0956	9,1270	0,8730	10
90	10	0,1111	0,5502	0,2019	8,3199	1,6801	10
85	15	0,1764	0,5502	0,3207	7,5716	2,4284	10
Cu (%)	W (%)				Cu (gr)	W (gr)	
95	5	0,0526	2,1540	0,0244	9,7615	0,2385	10
90	10	0,1111	2,1540	0,0515	9,5095	0,4905	10
85	15	0,1764	2,1540	0,0819	9,2428	0,7572	10
Cu (%)							
100					10		10



Resim 3.9 Kontak meme pim kalıbında pres yapılacak tozların %95-%5 karışım görseli.

Toz karışımları cam tüpler içinde (Resim 3.9), Çizelge 3.5’ de verildiği oranda karıştırılmış ve karıştırma tamburu içinde (Resim 3.10) 24 saat süre birbiri içinde homojen olarak karışması için işleme tabi tutulmuştur. Karıştırma işlemi sırasında cam tüplerin yönünün tüm işlem boyunca değişmesine dikkat edilmiştir. Bu amaçla arasıra durdurulmuş ve yönü değiştirilmiştir. Ancak, cam karıştırma kapları açılı yerleştirildiği için gerek olmasada bu şekilde bir uygulama bütün numuneler için tercih edilmiştir. Toz karışımlarının ortam neminden etkilenmemesi için, düşük nemli bir ortamda ve sıkıca kapatılmış kaplar içerisinde saklanmıştır. Devamında (Resim 3.11) de gösterildiği gibi, orta pim çubuk çıkarılmadan önce boyut kontrolü yapılmıştır.



Resim 3.10 Kontak meme pim kalıbında pres yapılacak tozların karıştırıldığı tambur görseli.

Tamburda karıştırılan metal+seramik toz karışım ve saf metal tozları, 2 mm/dak ilerleme hızında, 20 ton yük altında toz sıkıştırma kalıbında (Resim 3.8) preslenerek (Resim 3.11) kontak meme içine montajı yapılacak olan pim, ham dayanıma ulaşarak sinterleme için hazır hale getirilmiştir. Pim uzunluğu (Resim 3.11) de görüldüğü gibi, 10 mm civarındadır. Bu uzunluk bütün pimler için sabit tutulmuştur ve orta pimin çapı da sabit tutulmuştur. Sinterlenmeden önce dikkatlice çıkarılmış olan toz karışımı paletleri daha sonra sinterlenmek üzere nemsiz bir ortamda saklanmıştır. Sıkıştırma kalıbının içerisinde, pimin üretimi sırasında pimin ortasında bulunan deliği üretmek için ikinci bir çubuk bulunmaktadır. Bu çubuk üst sıkıştırma parçasının tam ortasından geçmekte ve delik oluşumunu sağlamaktadır. Deliğin daha düzgün olması için ve sinterleme sırasında ortaya çıkabilecek deformasyonları azaltmak veya yok etmek için 1.2 mm çapında bir matkapla yavaşça delinmiş ve düzgün bir delik ortaya çıkarılmıştır. Bu delik düzeltme işlemi eksik olduğunda telin ilerlemediği veya daha çok kısa devre yaptığı görülmüştür.



Resim 3.11 Kontak meme pim kalıbında preslenmiş pim görseli.

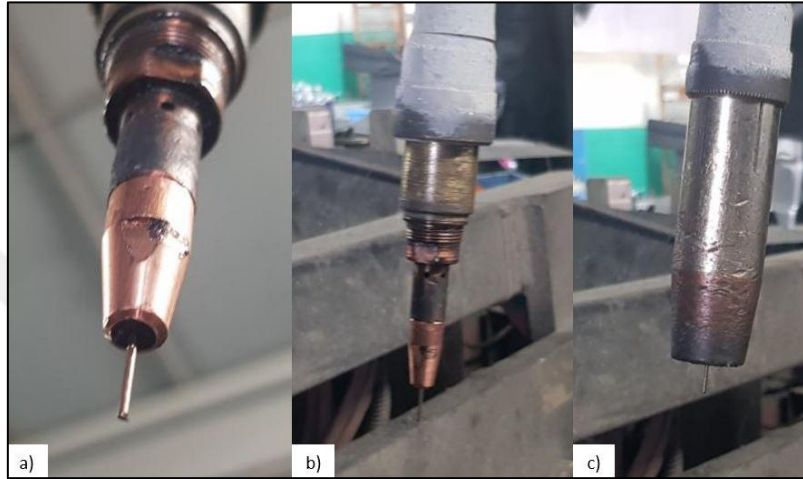
3.1.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

1100 °C sıcaklığa kadar çıkabilen ve elektrik rezistanslı ısıtım fırını, üretilen pimlerin sinterlenmesinde sinterleme fırını olarak kullanılmıştır. Kuyu tipi sinterleme fırınında (Resim 3.12) Argon gazı altında (12 lt/dk) 75 dakika süre ile 720 °C sıcaklıkta sinterleme işlemi yapılarak kontak meme montaj operasyonuna hazır hale getirilmiştir. Sinterleme sırasında serbest sinterleme tercih edilmiş ve ısıtım fırınında seramik kayık üzerine numuneler yerleştirilmiştir.



Resim 3.12 Kontak meme pim sinterleme fırını görseli.

Bu aşamada, yüksek sıcaklıkta basınç uygulanması sinterlenen tozların mukavemetinin artmasına yardımcı olabilirdi ancak yüksek sıcaklık HIP cihazı olmadığı için yapılamamıştır. Daha sonraki çalışmalarda, sinterleme sırasında uygulanan sıcaklık basınçlı ortamda yapılması ile daha iyi pim dayanım sonuçlarının elde edileceği düşünülmektedir.

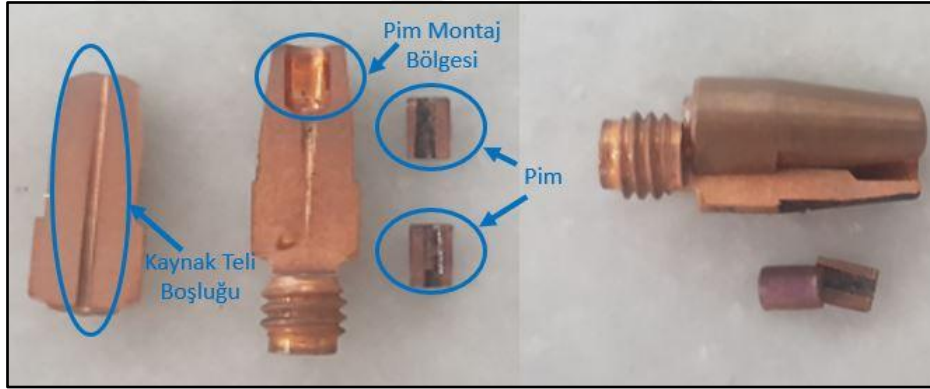


Resim 3.13 a) Kontak meme pim sinterlenmiş parça görseli, b) Kontak meme pim montajı gerçekleştirilmiş parça görseli, c) Kontak meme pim montajı yapılmış robot pozisyonu görseli.

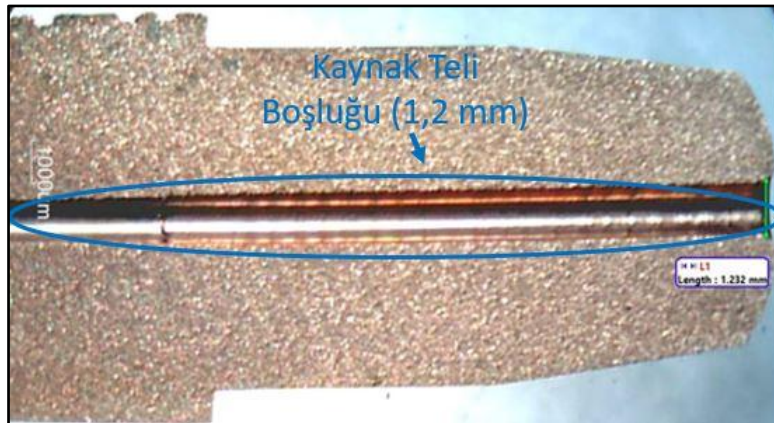
Sinterleme işlemi ile elde edilen pimin pres yardımıyla düşük adımlarla itilmesi ile Pim montajı yapılmış ve (Resim 3.13) de görüldüğü üzere kontak memenin konumlandırılmasına yer verilmiştir. Pim montajı yapılan kontak memeler 1.2 mm matkap ucu ile gazaltı kaynak teliğinin geçeceği boşluk kısma kılavuz çekilmiştir. Pim yerleştirilen kontak memelerinin bu şekilde gazaltı kaynak işlemine hazır hale getirilmesi tamamlanmış ve gazaltı kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra tel erozyon cihazında test işlemi sonlanan parçalar mikroskopla inceleme (Resim 3.14) ve (Resim 3.15), (Resim 3.16) de verildiği gibi dilimlenmiştir. Dilimleme işlemi pim yerleştirme deliğini gösterecek şekilde ayarlanmıştır.



Resim 3.14 Tronic Xjl-17 AT ters trinoküler 2020 metalürji mikroskobu cihazı görseli.



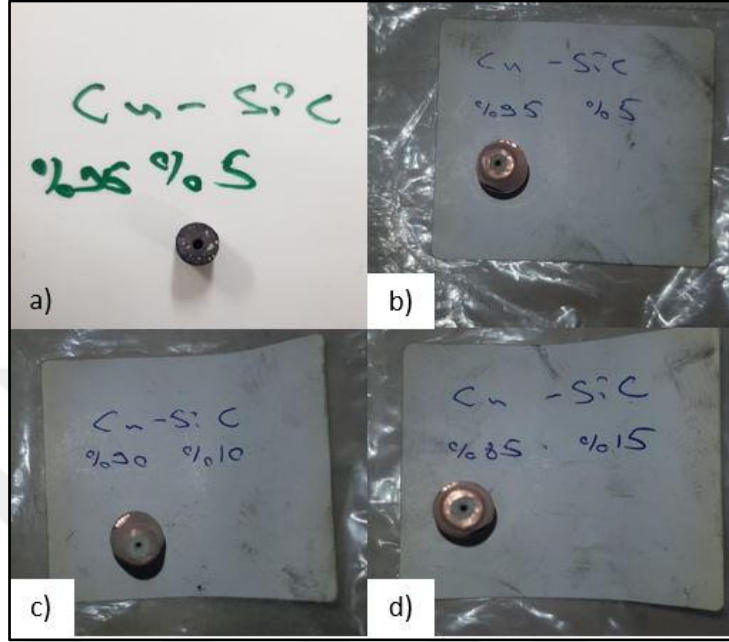
Resim 3.15 Tel erozyon makinası ile kesilmiş kontak meme genel görünüm yakın çekim görseli.



Resim 3.16 Tel erozyon makinası ile kesilmiş kontak meme sağ taraf yakın çekim görseli.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Pim üretimi ve aşınma davranışı testi



Resim 4.1 a) Cu-SiC (%95-5) sinterlenmiş pim görseli, b) Cu-SiC (%95-5) kontak meme montajı yapılmış pim görseli, c) Cu-SiC (%90-10) kontak meme montajı yapılmış pim görseli, d) Cu-SiC (%85-15) kontak meme montajı yapılmış pim görselleri.

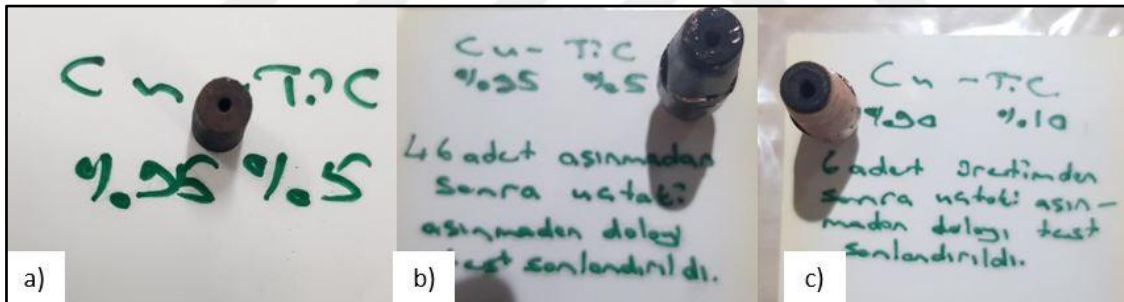
Cu-SiC toz karışımının deneysel çalışmasında (Resim 4.1) değişik oranlarda SiC içeren Cu tozlarının karıştırılıp sinterlenmesi sonucunda üretilen pimin meme içindeki boşluğa montajı yapılmış olup, montaj sırasında yapılan gözlemde pimin istenen dayanıma ve rijitliğe sahip olmadığı için test işlemi yapılamamıştır. Özellikle presle yerleştirme sırasında kırıldığı ve hasara uğradığı tesbit edilmiştir. Kontak meme üretim adetlerine (Çizelge 4.1) yukarıdaki problemlerden dolayı üretim sayısı girilememiştir. Sinterleme sırasında ortaya çıkan bir problem olma ihtimali olsada, SiC tozunun metal tozu tarafından ıslatma kabiliyetinin düşük olması ve aynı zamanda daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyması bu karışımın sinterlenmesinin başarısız olmasının sebeplerinden biridir. SiC malzemesinin özellikle ergitme kalıplarında tercih edilmesinin sebeplerinden birisi de ıslatmama veya kolaylıkla reaksiyona girmeme özelliğidir. SiC pimin sinterleme sonrasında başarısız olmasının sebeplerinden birisi de sinterleme sırasında tozları ortam atmosferinde korumak için kullanılan Argon gazının saflığında etkileyebilirken, aynı

koşullarda yapılmış olması diğer sinterlerin koşullarında herhangi bir sıkıntı çıkmaması bu konuda SiC tozunun ıslatma sıkıntısından kaynaklandığını önermektedir.

Diğer bir çalışmada ise, yüksek sıcaklıklarda, SiC'ün havadaki oksijenle reaksiyona girerek SiO₂ yapısına dönüştüğü ve bu şekilde özellik kaybına sebep olduğuda belirtilmiştir. Bu sebeple, SiC ile ortaya çıkan bu problem genel bir problem olup, sinterlemeden daha çok SiC özelliğinden kaynakladığı veyahut bakır ile sinterlemede daha farklı elementel metal kullanarak ıslatmayı ve sonuç olarak sinter dayanımını artırmak daha sonra çalışılabilir.

Çizelge 4.1 Test 1 Cu-SiC kontak meme üretim adetleri takibi.

Karışım oranı (10 gr)	Pimsiz kontak meme (mm)	Pimli kontak meme (mm)	İyileşme (%)
Cu-SiC (%95-5)	71732	-	NOK
Cu- SiC (%90-10)	71732	-	NOK
Cu- SiC (%85-15)	71732	-	NOK



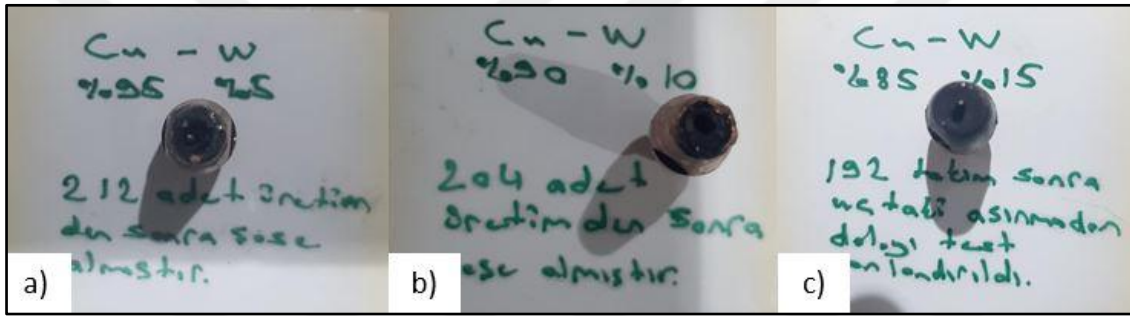
Resim 4.2 a) Cu-TiC (%95-5) sinterlenmiş pim görseli, b) Cu-TiC (%95-5) Test 1 seri üretim denemesi yapılmış kontak meme, c) Cu-TiC (%90-10) Test 1 seri üretim denemesi yapılmış kontak meme görselleri.

TiC ilaveli Cu tozlarından üretilen karışımın sinterlenmesi sonucunda elde edilen pim deneysel amaçla test edildiğinde, Test 1 Cu-Ti (Resim 4.2), seri üretim denemesi sırasında Cu-TiC (%95-5) toz karışımının testi 20884 mm gazaltı kaynak üretiminden (Çizelge 4.2) sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-TiC (%90-10) toz karışımının seri üretim denemesinde 2724 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır. Her iki SiC ve TiC toz karışımlarının, yüksek sıcaklık sinterlenmesine ihtiyaç duyması neticesinde, bu tür problemlere sebep olduğu ve aynı zamanda, seri üretim şartlarında uzun süreli kaynaktan daha çok, kısa süreli

Çalışma-sürekli (kısa kaynak ve yüksek akım) alışma şartı pimleri hem ısıl ve hem de mekanik zorlamaya mecbur kılmaktadır. TiC ve SiC tozlarının Cu tozları ile arasındaki bağın düşük sıcaklık sinterlenmesi sonucunda yeterince difüzyona bağımlı birleşme olmaması veya birleşmenin dayanımını düşük olması bu tür sonuçları doğurmuştur.

Çizelge 4.2 Test 1 Cu-TiC kontak meme üretim adetleri takibi.

Karışım oranı (10 gr)	Pimsiz kontak meme (mm)	Pimli kontak meme (mm)	İyileşme (%)
Cu- TiC (%95-5)	71732	20884	-71
Cu- TiC (%90-10)	71732	2724	-96
Cu- TiC (%85-15)	71732	-	NOK



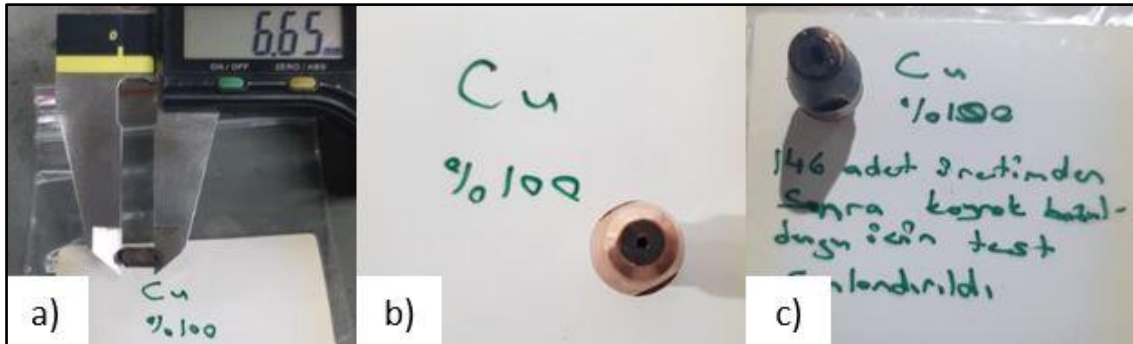
Resim 4.3 a) Cu-W (%95-5) Test 2 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme, b) Cu-W (%90-10) Test 2 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme, c) Cu-W (%85-15) Test 2 seri üretim denemesi yapılmış parça görselleri.

Yapılan testler arasında en iyi sonucu veren Test 2 Cu-W (Resim 4.3) seri üretim denemesi yapılmış olup, Cu-W (%95-5) toz karışımının 96248 mm gazaltı kaynak üretiminden (izelge 4.3) sonra kaynak telinin artan pim direnci ve yüksek saflıklı pim dışı Cu ile tesması neticesinde oluşan şaseden (kısa devre) den dolayı seri üretim testi sonlandırılmıştır. Cu-W (%90-10) toz karışımının seri üretim denemesinde 92616 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra kısa devre veya şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%85-15) seri üretim denemesinde 87168 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra ilginç bir şekilde uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır. Bu durumda, Cu-5 ve 10 W katkılı tozların sinterlenmesi sonucunda aşınma değerlerinden daha çok kısa devreden dolayı test durdurulmuştur ki bu numunelerin üzerinde çalışmayı gerektirmektedir.

Kısa devre ile testin sonlandırılması birçok test aşamasında ortaya çıkmaktadır. Kısa devrenin, telin iki aşamalı ortamdan geçerken- bunlardan birisi saf bakırın olduğu ve pimin içine oturtulduğu dış hazne diğer ise pim olmaktadır- öz dirençlerin değişimi neticesinde daha düşük dirence sahip olan kontakt noktasının akımı geçirmesi neticesinde ortaya çıkmaktadır. Ancak, akım taşıma hernekadar dış hazneden taşınsa da pim ucuna yakın bölgeden akım taşıma, telin saf bakıra değmemesi neticesinde pim üzerinde gitmek zorunda kalması ile ortaya çıkar. Özellikle, uzun kullanım süreleri sonucunda pimi oluşturan tozların oksitlenmesi ve akabinde öz direncinin artması buna en fazla katkıyı yapmaktadır. Bu etki dışında diğer bir etken ise, sinterleme işleminin verimsiz olması veya sinterleme öncesinde yapılan preslemenin yetersiz olması buna sebep olabilmektedir. Sorun her ne olursa olsun, kontakt direncinin artması bu pim yapımında ortaya çıkan temel problemlerden birisidir ki bunu engellemek için pimin tel ilerleme memesinin içinden boydan geçecek şekilde yapılması daha uygun olacaktır. Genel olarak, kontakt meme üretiminde dikkat edilecek olan şey aşınma süresinin yeterince uzun olması yani servis ömrünün yeterince uzun olmasıdır. Bu prensiple dikkate alındığında, pim dizaynı için içi kısmının daha düzgün ve aynı zamanda pres kuvvetlerinin çalışıldığı başka bir çalışmaya daha ihtiyaç vardır.

Çizelge 4.3 Test 2 Cu-W kontak meme üretim adetleri takibi.

Karışım oranı (10 gr)	Pimsiz kontak meme (mm)	Pimli kontak meme (mm)	İyileşme (%)
Cu-W (%95-5)	71732	96248	34
Cu-W (%90-10)	71732	92616	29
Cu-W (%85-15)	71732	87168	22



Resim 4.4 a) Cu (%100)sinterlenmiş pim görseli, b) Cu (%100) Test 2 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme görseli, c) Cu (%100) Test 2 seri üretim denemesi yapılmış kontak meme görselleri.

Değişik katkı Cu tozlarının sinterleme sonrasında test edilmesi ile beraber, kontrol amaçlı olarak sadece Cu içeren sinterlenmiş tozların test edilmesi hedeflenmiştir. Test 2 Cu (Resim 4.4) seri üretim denemesi yapılmış olup Cu (%100) 66284 mm gazaltı kaynak üretimden (Çizelge 4.4) sonra kaynak şeklinin bozulmasından dolayı test sonlandırılmıştır. Kaynak şekli kaynak telinin dalgalı gelmesi ile ilişkili olup, kaynak telinin itilmesi sonucunda, kaynak havuzunun aynı yerde oluşmaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Pim ucundaki aşınma bu durumun ana sebeplerindendir. Aşınma miktarının artış göstermesi neticesinde, aşınma ile ortaya çıkan pim ucunun derinleşmesi ve farklı yönlere gitmesi ile beraber bu durum ortaya çıkabilmektedir.

Çizelge 4.4 Test 2 Cu kontak meme üretim adetleri takibi.

Karışım oranı (10 gr)	Pimsiz kontak meme (mm)	Pimli kontak meme (mm)	İyileşme (%)
Cu (%100)	71732	66284	-8



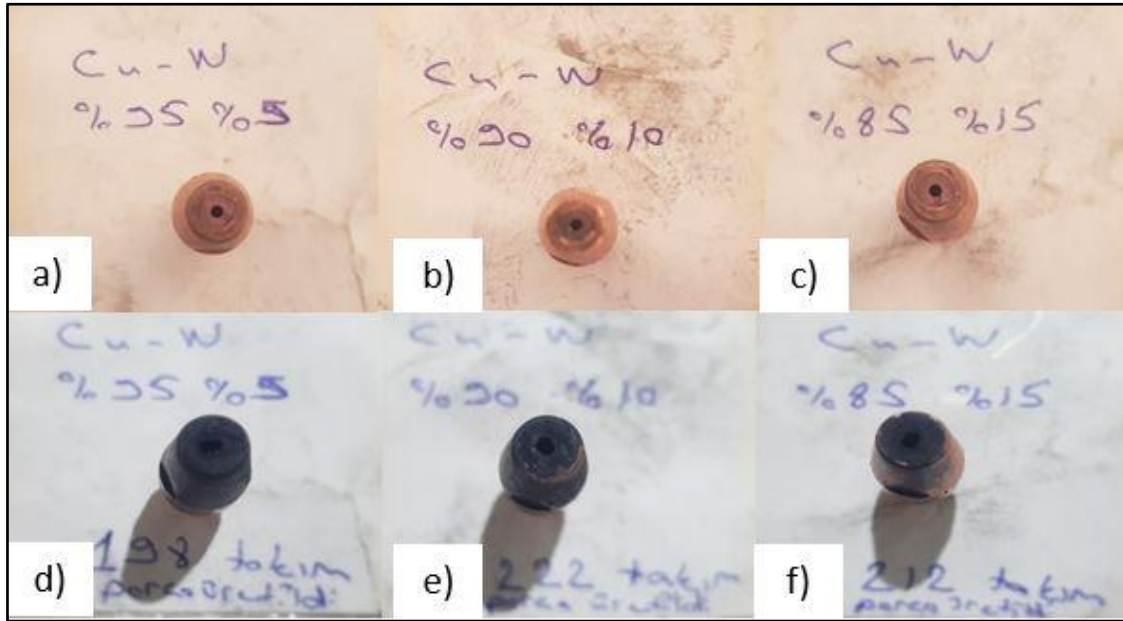
Resim 4.5 a) Cu- TiC (%95-5) Test 3 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme, b) Cu- TiC (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme, c) Cu- TiC (%85-15) seri üretim denemesi yapılmış kontak meme görselleri.

Cu-TiC toz karışımları, sinterleme ile üretilmiş ve daha sonra (Test 3 Cu-TiC) seri üretim denemesinde (Resim 4.5) pim montajı yapılmış olup istenen rijitlik ve sertlikte olamadığı için test işlemi yapılmamıştır. Kontak meme üretim adetlerine (Çizelge 4.5) sayı girilememiştir. TiC elementinin oksijene karşı hassas olması ayrıca CO üretimini teşvik etmesi muhtemeldir; serbest kalan Ti elementinin kolaylıkla oksitlenmesi neticesinde, oksit tabakasının oluştuğu düşünülmektedir ve tozlar arasında yeterince uygun değerde dayanım sağlayacak difüzyon itimli atom-atom değişimi ile birleşme olmadığı için kolaylıkla hasara uğradığı görülmektedir. Halihazırda Ti oksit ile çevrelenmiş yapının ortamdaki daha fazla oksijenle reaksiyon girmesi sonucunda, Ti

oksitin tür değiştirmesinde muhtemeldir. Bu sinter aşamasında olmak zorunda değildir. Servis sırasında yani kaynak sırasında çok yüksek sıcaklıklara çıkan pim ve kontakt memenin benzer oksidasyon reaksiyonuna yol açması, TiC tozunun ve varolan Ti oksitin daha fazla oksit katmanla kaplanmasına ve dayanımının düşmesine sebep olabilecektir.

Çizelge 4.5 Test 3 Cu-TiC kontak meme üretim adetleri takibi.

Karışım oranı (10 gr)	Pimsiz kontak meme (mm)	Pimli kontak meme (mm)	İyileşme (%)
Cu- TiC (%95-5)	71732	-	NOK
Cu- TiC (%90-10)	71732	-	NOK
Cu- TiC (%85-15)	71732	-	NOK



Resim 4.6 a) Cu-W (%95-5) Test 3 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme, b) (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılacak kontak meme, c) Cu-W (%85-15) seri üretim denemesi yapılacak kontak meme, d) Cu-W (%95-5), Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme, e) Cu-W (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme, f) Cu-W (%85-15) seri üretim denemesi yapılmış kontak meme görselleri.

Test 3 Cu-W (Resim 4.6) seri üretim denemesi yapılmış olup Cu-W (%95-5) 89892 mm gazaltı kaynak üretiminden (izelge 4.6) sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%90-10) seri üretim denemesinde 100788 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%85-15) seri üretim denemesinde 96248 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır. Genel bir kararma dışında pimlerde makroskopik olarak hasar görülmemektedir. Daha

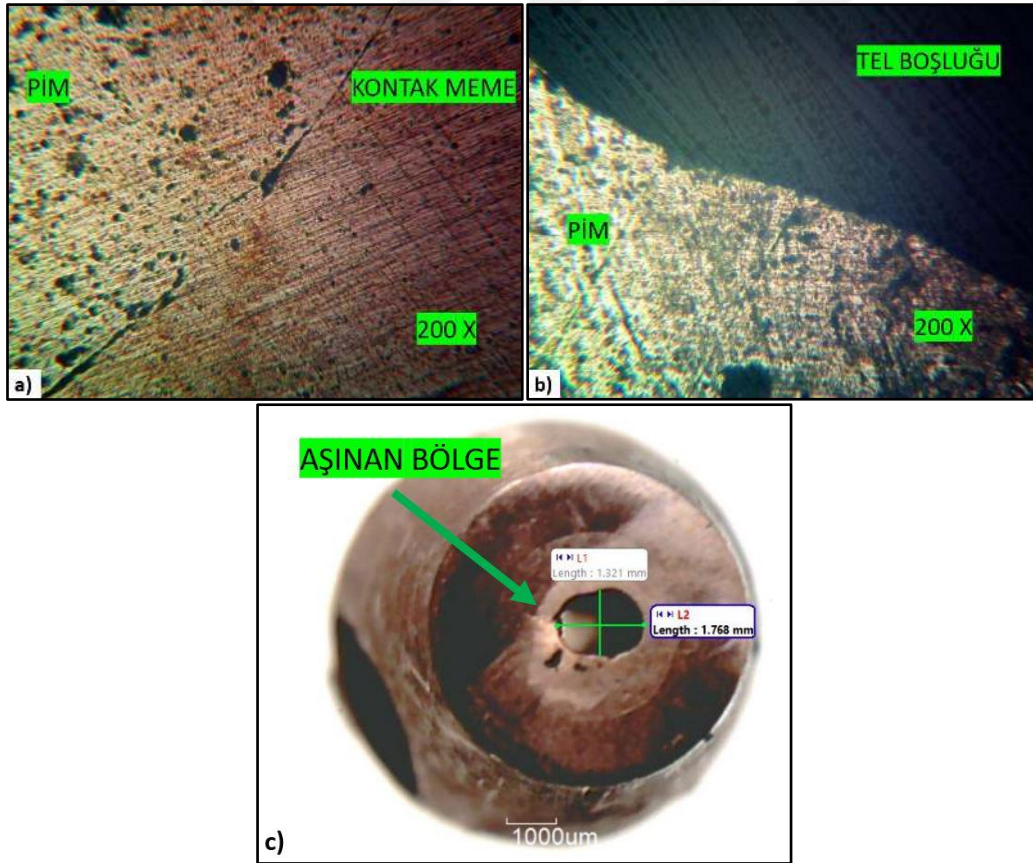
ilginç olan ise, sıçramadan dolayı zarar görme değil daha çok aşınma ile ortaya çıkan zarar daha belirgindir. Sıçrama hasarı yapılan ön incelemede görülmemiştir.

Çizelge 4.6 Test 3 Cu-W kontak meme üretim adetleri takibi.

Karışım oranı (10 gr)	Pimsiz kontak meme (mm)	Pimli kontak meme (mm)	İyileşme (%)
Cu-W (%95-5)	71732	89892	25
Cu-W (%90-10)	71732	100788	41
Cu-W (%85-15)	71732	96248	34

4.2 Pimlerin aşınma davranışı sonuçları

4.2.1 %85 Cu- %15 W serisi

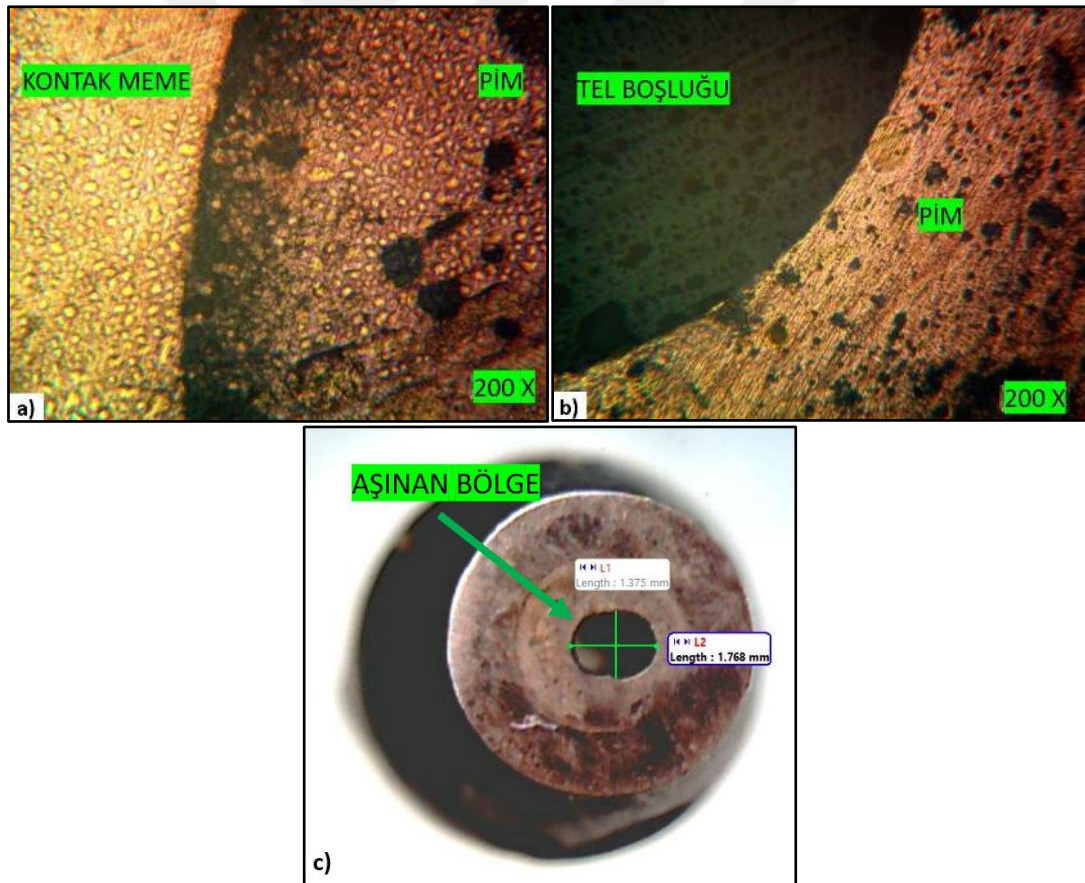


Resim 4.7 a) Cu-W (%85-15) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W (%85-15) yakın çekim görseli.

%85 Cu- %15 W serisinin (Resim 4.7) a) Cu-W (%85-15) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W

(%85-15) yakın çekim görsellerine yer verilmiştir. Pim ana malzeme ara yüzey (Resim 4.7a) da verilmiştir. Burada daha temiz olan kısım ana malzemedir. Pim arayüzeyinin test sonrasında boşluksuz olduğu görülmektedir. Toz karışımının sinterlenmesi ile üretilen yapıda boşluklar ve metalik olmayan kalıntılar siyah noktalara halinde görülürken, ana malzemede bu safsızlıklar bulunmamaktadır. (Resim 4.7b) de ise, telin geçtiği yüzey oldukça temiz bir topografi vermiştir. Ancak, (Resim 4.7c) de ise, aşınma sonucunda ortaya çıkan aşınma şeklinin oval şekilli olduğu ve ana malzemenin aşınma şekline benzer bir aşınma profili verdiği görülmüştür. Pim 1,321 mm, 1,768 mm oval şekilde aşınma meydana gelmiştir. Pimde 1,2 mm olan kaynak teli geçiş bölgesi %10 ve %47 oranında aşınma ölçülmüştür.

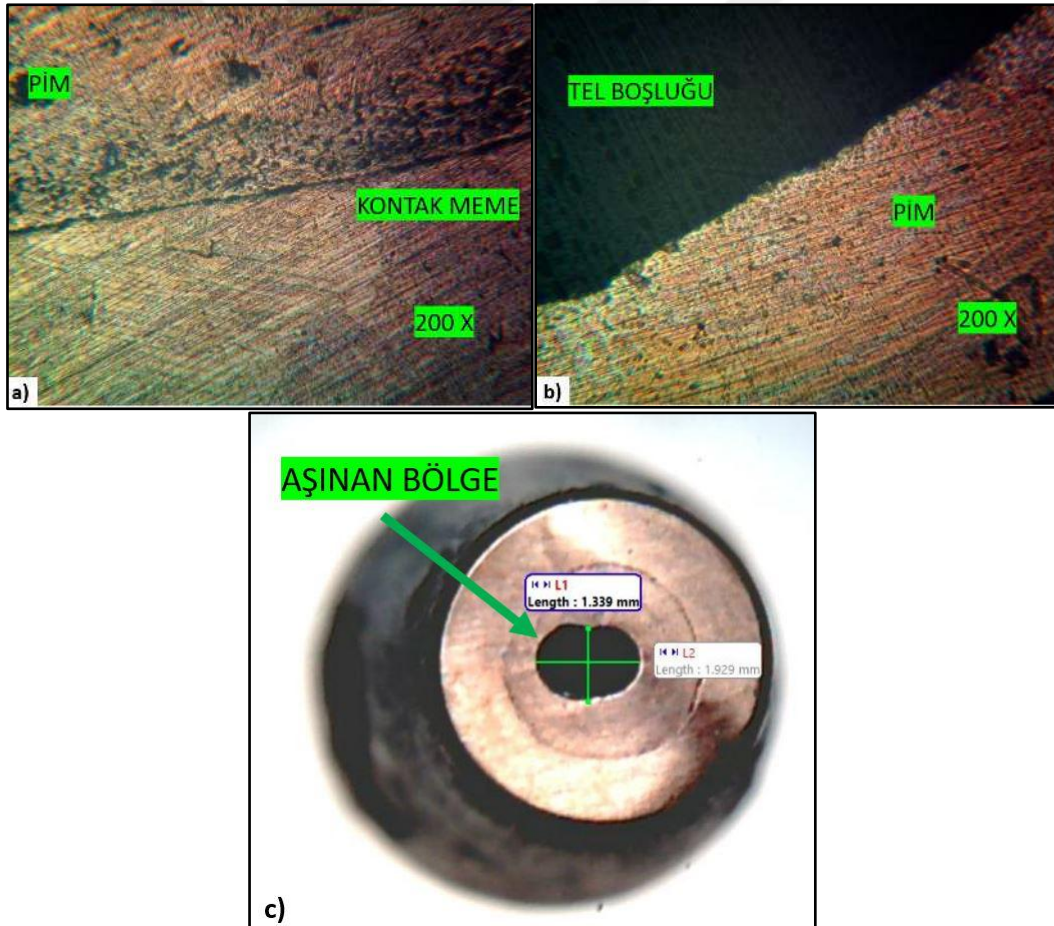
4.2.2 %90 Cu- %10 W serisi



Resim 4.8 a) Cu-W (%90-10) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W (%90-10) yakın çekim görseli.

%90 Cu- %10 W serisinin (Resim 4.8) a) Cu-W (%90-10) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W (%90-10) yakın çekim görsellerine yer verilmiştir. (Resim 4.8a) da verilen resimde, Cu ana malzeme-90/10W toz karışımının arayüzeyi verilmiştir. 90/15W e benzer şekilde, toz karışımı ile üretilen numunede gerek W ve gerekse safsızlık ve oksitlerin oluşturduğu siyah objeler mevcutken ana malzeme mevcut değildir. Yeterince sıkı bir bağlanma olduğu görülmektedir. Aşınma yüzeyi diğer toz karışımına benzer şekilde düz ve sürekli bir çizgi halindedir. Aşınma profili oval şekilli olup ana malzemeye benzer bir profil oluşmuştur. Pim 1,375 mm, 1,768 mm oval şekilde aşınma meydana gelmiştir. Pimde 1,2 mm olan kaynak teli geçiş bölgesi %14 ve %47 oranında aşınma ölçülmüştür.

4.2.3 %95 Cu- %5 W serisi

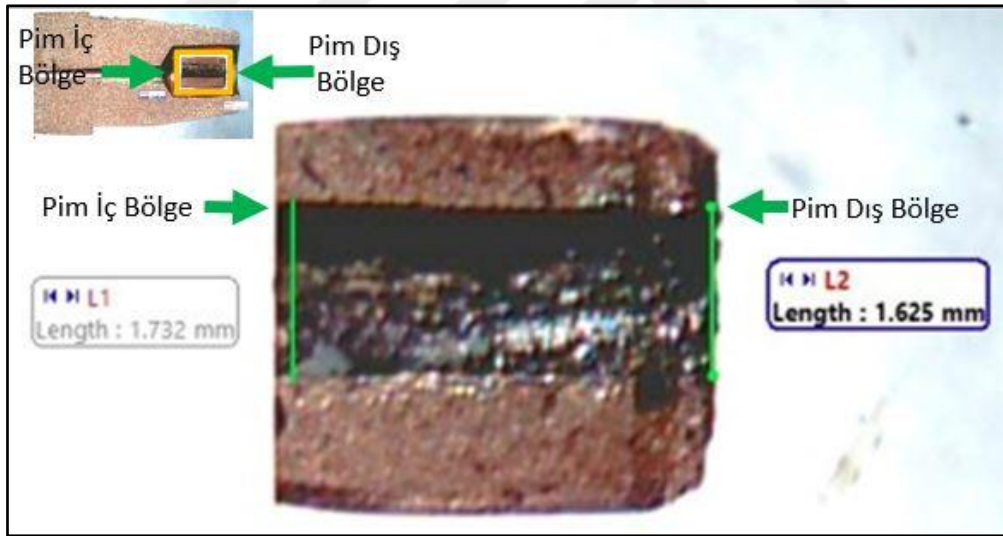


Resim 4.9 a) Cu-W (%95-5) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W (%95-5) yakın çekim görseli.

%95 Cu- %5 W serisinin (Resim 4.9) a) Cu-W (%95-5) mikro yapı görseli, b) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim ve tel sürme boşluğu 200 X büyütme, c) Cu-W (%95-5) yakın çekim görsellerine yer verilmiştir. Diğerlerinden farklı olarak ara yüzey çizgisi belirgin olan 90/5 W karışımında, pim içerisindeki safsızlıklar rahatlıkla görülmekte ancak daha büyük oldukları ve çok daha sayıda bulundukları görülmektedir. Aşınma yüzeyi dikkate alındığında ise, diğer 90/15 ve 90/10 toz karışımına göre, daha fazla aşınma izleri görülmüş ve düz olmayan bir yüzey elde edilmiştir. Aşınma şekli yine oval olup, daha geniş bir aşınma profili ortaya çıkmıştır. Pim 1,339 mm, 1,929 mm oval şekilde aşınma meydana gelmiştir. Pimde 1,2 mm olan kaynak teli geçiş bölgesi %11 ve %60 oranında aşınma ölçülmüştür.

4.3 Test Edilmiş Kontak memelerin Kesit Analizi

4.3.1 %85 Cu %15 W Serisi



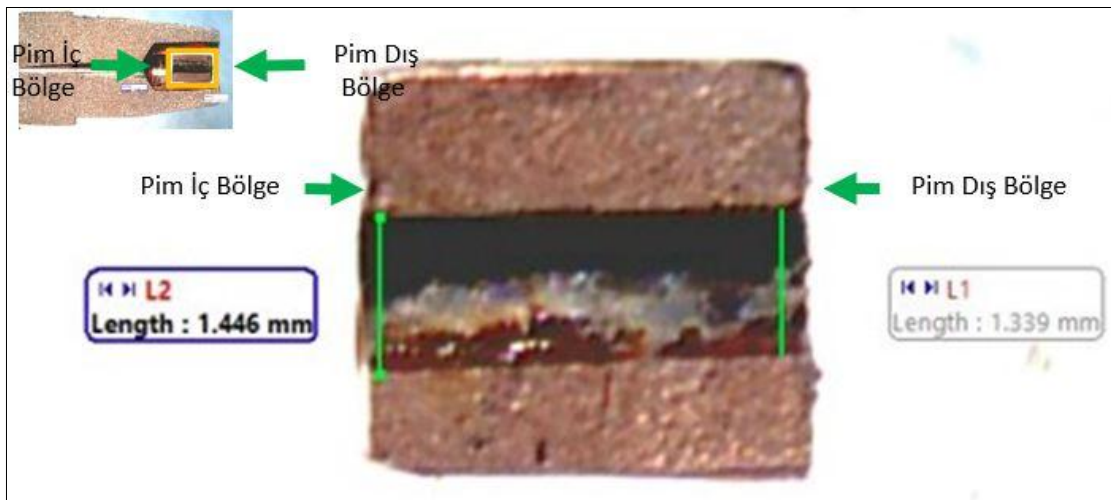
Resim 4.10 Cu-W (%85-15) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim yakın çekim görseli.

%85 Cu %15 W serisinin (Resim 4.10) Cu-W (%85-15) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim yakın çekim görsellerine yer verilmiştir. (Resim 4.10) da verilen resimde, kontak pim inin alt ve uç kısımlarının aşınma gösterdiği ve pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir. Pim deliğinin 1.6 mm'ye çıktığı ölçülmüştür. İç yüzeyin okside olduğu renk değiştirmesinden anlaşılmaktadır. Bu yüzeyden XRD veya SEM görüntüsü

veya EDX analizi alınması mümkün olmuş olup Bölüm 4.4'te analiz sonuçları verilmiştir. Normal koşullar altında, yüksek sıcaklıkla beraber ortaya çıkan oksitlenme durumu, kaynak telinin yüzeyinde bulunan ve oldukça ince bir tabaka olan Cu'nın buharlaşması sonucunda, pim çeperlerine bulaşması ve aynı zamanda, yoğunlaşması ve oksidasyona katkıda bulunmaları beklenmektedir. Pim'de iç bölgeden 1,732 mm, dış bölgeden 1,625 mm aşınma meydana gelmiştir. Pimde 1,2 mm olan kaynak teli geçiş bölgesi iç bölgede %44 ve dış bölgede %35 oranında aşınma ölçülmüştür.

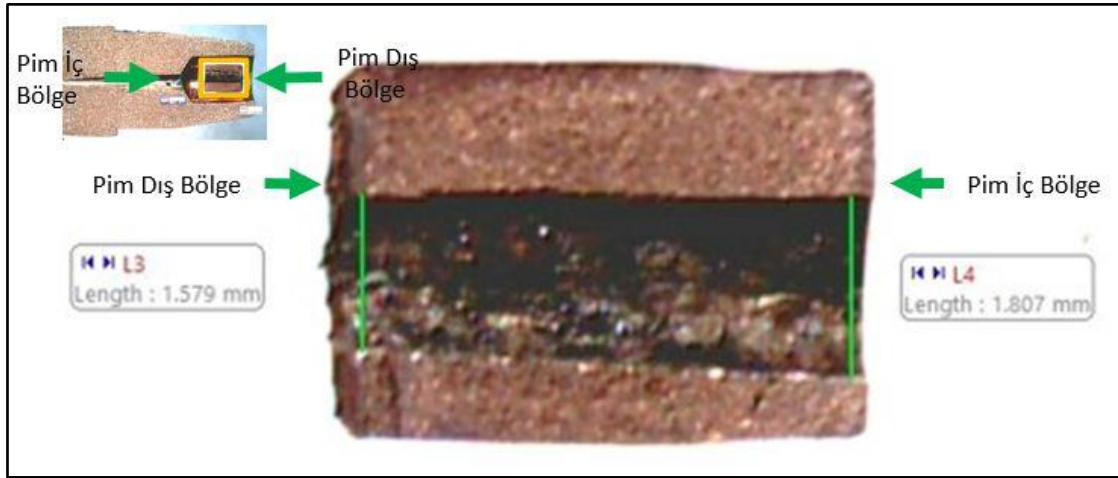
4.3.2 %90 Cu %10 W Serisi

%90 Cu %10 W serisinin (Resim 4.11) Cu-W (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim yakın çekim görsellerine yer verilmiştir. %85-%15 serisinden farklı olarak %90-%10 serisinde, W oranının düşmesi ile beraber orantılı olarak pim deliğinin çapında bir artış meydana gelmemiştir, aksine düşüş olduğu görülmektedir. %85-%15 serisindeki pimin iç yüzey görüntüsü daha pürüzlü iken bu seride iç yüzeyin daha pürüzsüz olduğu ve aşınmanın daha az olduğu ve kabul edilebilir bir seviyede olduğu anlaşılmıştır. Pim'de iç bölgeden 1,446 mm, dış bölgeden 1,339 mm aşınma meydana gelmiştir. Pim'de 1,2 mm olan kaynak teli geçiş bölgesi iç bölgede %20 ve dış bölgede %11 oranında aşınma ölçülmüştür.



Resim 4.11 Cu-W (%90-10) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim yakın çekim görseli.

4.3.3 %95 Cu %5 W Serisi



Resim 4.12 Cu-W (%95-5) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim yakın çekim görseli.

%95 Cu %5 W serisine ait görseller (Resim 4.12) de verilmiştir. Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış kontak meme Cu-W (%95-5) sağ taraf yakın çekim görseli (Resim 4.12) da verilirken, Cu-W (%95-5) Test 3 seri üretimde denemesi yapılmış pim'in elektro erozyon ile kesilmiş arayüzeyini veya aşınma yüzeyini gösteren yakın çekim görsellerine yer verilmiştir. Parlak bir yüzey görüntüsü ile belirgin olan bir aşınma yüzeyi, telin ilerme sürecinde telin sinterlenmiş Cu tozlarını deforme etmesi ve akabinde uzun süre birbiri üzerinde hareket eden metalin verdiği honlama etkisi ile parlak görüldüğü düşünülmektedir. Honlama işlemi her üç seride mevcut olup özellikle (%95-10) ve (%95-5) serisinde daha belirgindir. Bu serilerdeki Cu oranının artması ile bu durumun daha arttığı düşünülmektedir. Pim'de iç bölgeden 1,807 mm, dış bölgeden 1,579 mm aşınma meydana gelmiştir. Pim'de 1,2 mm olan kaynak teli geçiş bölgesi iç bölgede %50 ve dış bölgede %32 oranında aşınma ölçülmüştür.

Başlangıçta temas yüzeyinin sıcaklığı nominaldir ve pürüzler keskin, güçlü ve rijittir. Bu nedenle, ilk aşamada aşınma esas olarak pürüzlerin parçalanmasından kaynaklanır ve malzemenin çıkarılması, nüfuz eden sert pürüzlerin daha yumuşak bir yüzeye (Gautam vd. 2011) kesme ve dövülme hareketlerinden kaynaklanır. Zaman geçtikçe, sürtünme ısınması artar ve daha yüksek sıcaklık, yüzey malzemelerinin yumuşamasına neden olur ve kayma yönü boyunca bir mikro oluk oluşumu nedeniyle pürüzlü temaslar kolayca deforme olur. Yükün (pürüzlerin daha yüksek gerilim noktalarına etki eden

normal ve kayma gerilimi onları deforme eder) ve kayma mesafesinin birleşik etkileri nedeniyle, sonunda aşınma kalıntılarının giderilmesine yol açan yüzey altı mikro çatlaklar üretilir.

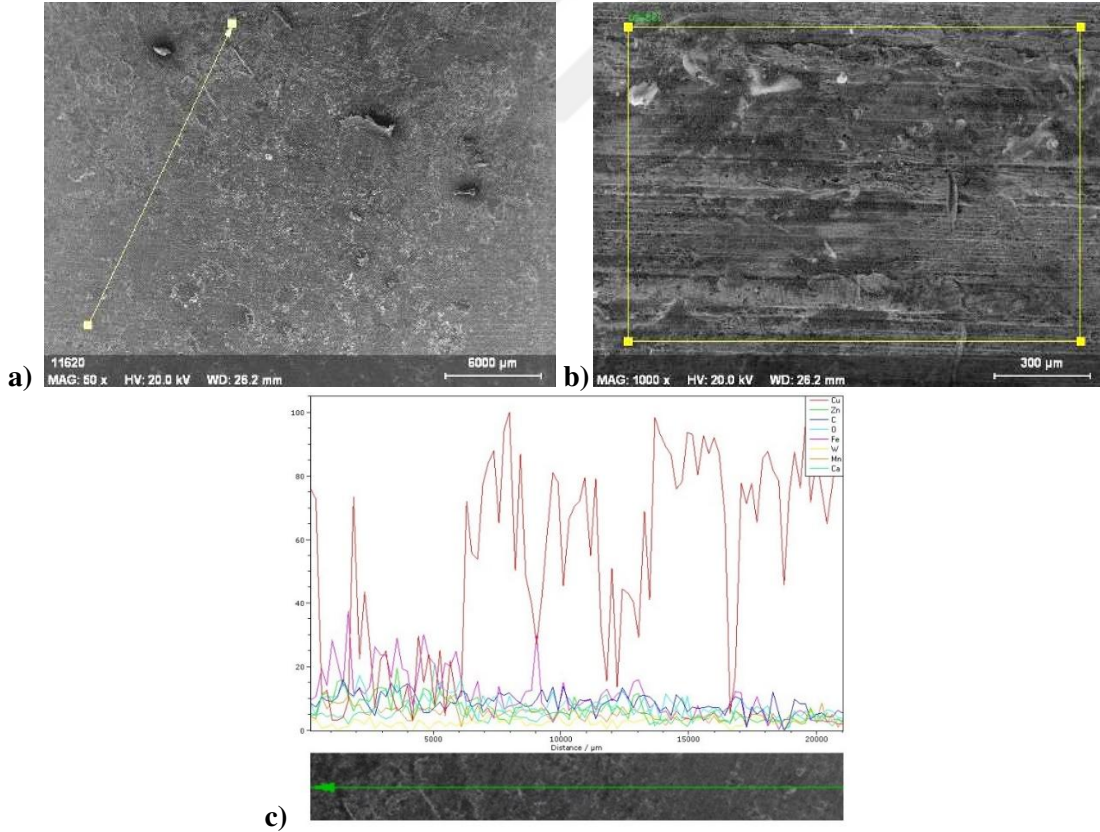
Tüm kompozitleri karşılaştırırken, aşınma değerlerindeki ciddi değişim veya hızlı düşüş, genellikle yüzeydeki pürüzlerin parçalanması nedeniyle spesifik aşınma hızının azalmasına ve nüfuz eden sert pürüzlerin daha yumuşak yüzeye akma ve kesme hareketlerinden dolayı malzemenin çıkarılmasına yol açar. Başlangıçta pürüzler güçlü ve serttir, bu da düşük aşınma oranına yol açar. Bu aynı zamanda malzemenin sert yapısından da kaynaklanmaktadır.

4.4 SEM Sonuçları

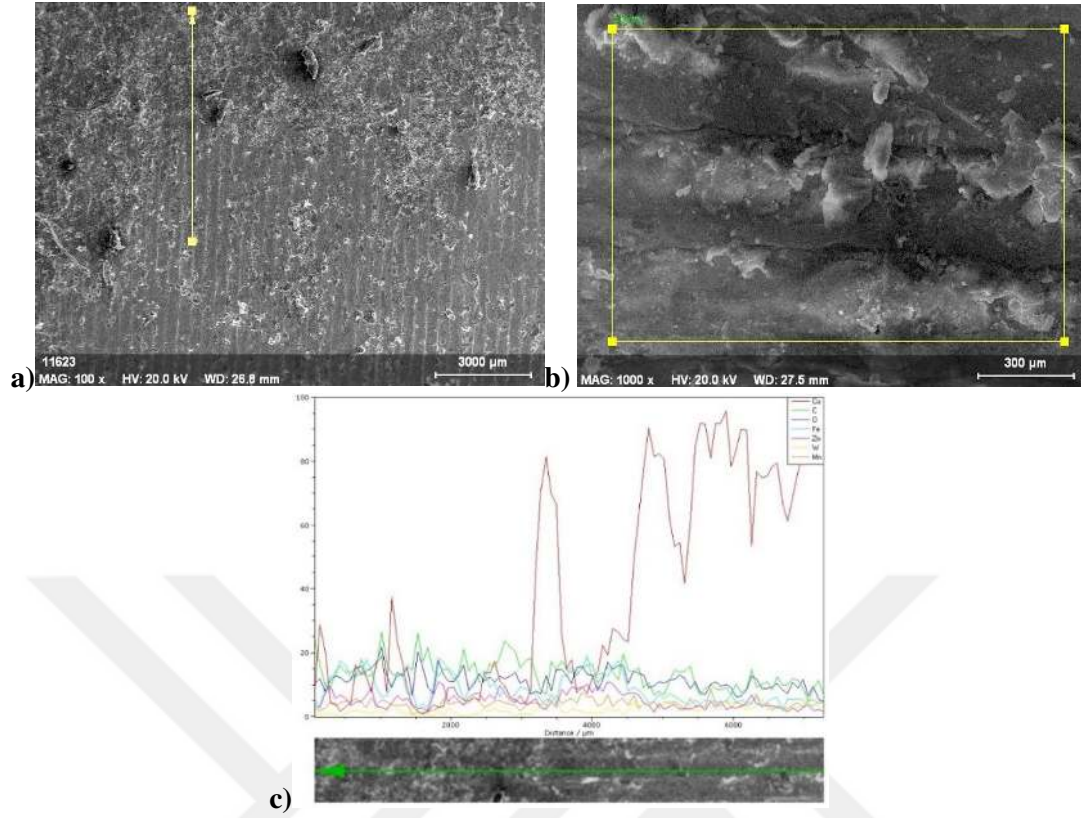
(Resim 4.13a) da %90 Cu- %10 W toz karışımı ile hazırlanan pim üzerindeki aşınma izlerini aşınmamış kısımdan aşınmış kısma doğru göstermektedir. EDX analizinden görüldüğü gibi, aşınmış kısımda Cu oranı kısmen düşmekte bunun yerine Fe oranı ise yükselmektedir. Kaynak telinin sürekli sürtünmesi ile beraber Cu pim yüzeyinde Mn, Zn ve O nin bulunduğu tesbit edilmiştir. Bu ilginç bir şekilde pimin hemen uç kısmına yakın bir şekilde ölçüldüğü için kaynaklanan çeliğin süreinde bulunan Zn'nun buharlaşması neticesinde yüzeye yapışması veya pim içerisinde kadar girmesi mümkün olmuştur. Bunun yanında, tel içerisinde bulunan Mn ve Fe'in yüzeyde sıvanmış halde bulunması tel in pim içerisinden geçisi sırasında Cu-W pim yüzeyine yapışması ve W'in daha sert olması ve kaynak telini aşındırarak yüzeye sıvanmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Aşınma izlerine dikkat edilirse daha abrasif veya üç temaslı aşınmaya işaret eden tanecikli aşınmaya ait bir görüntü mevcut iken, yorulmaya dayalı fretting türü yorulma aşınmasına işaret eden herhangi bir oluşum mevcut değildir (Singla vd. 2009, Tjong ve Lau 2000). Tel üzerinde bulunan süreksizliklerin oluşturduğu veya bölgesel olarak kopan W toz taneciklerinin oluşturduğu bir iz oluşumu da olabilir.

Bölüm 4.3'te ifade edildiği gibi, kaynak telinin üzerinde ince bir Cu tabakası mevcuttur. Bu tabaka elektriksel iletkenliği artırmak ve yüksek sıcaklıkta elektriksel iletimin Fe'in oksidasyonunda etklenmemesi için bulunmaktadır. Bu tabaka, özellikle pim ucuna

doğru yaklaştıkça daha fazla miktarda buharlaşmakta ve pim yüzeyinde ve tel yüzeylerinde oksit olarak bulunmaktadır. Bu oksitlerinde tel aşınmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir. (Resim 4.13a) da ve (Resim 4.14b) de verilen resimde, resmin üst tarafında aşınmamış bir bölge görülmektedir ve alt kısmında ise, matkapla delindiği için düzgün çizgisel izler belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. (Resim 4.13b) ve (Resim 4.14b) resimlerinde ise telin aşındırması olduğu iz bölgesinin resmi verilmiştir. Aşınmanın çizgisel olması durumu (Resim 4.13) ve (Resim 4.14) te görüldüğü gibi, kaynak telinin mümkün olduğu kadar yüzeye yakın gitmesinden dolayı ve matrisin yumuşak olmasından kaynaklanmaktadır. Yumuşak matris üzerinde sert bir tel ilerlediği için, zamanla plastik deformasyonla beraber iz yapmakta ve bu bölgeleri fazla malzeme kaldırmadan parlatacak kadar honlama benzer bir şekilde deforme etmektedir. Ancak, çizgisel olması telin daha sert olması ile ve oksitlerin hem tel ve hemde matris üzerinde bulunması ile açıklanabilir. (Resim 4.13c) ve (Resim 4.14c) de görüldüğü gibi, oksijen (ok ucuna doğru aşınmış bölgedir) miktarı gittikçe artmaktadır.



Resim 4.13 %90 Cu- %10 W için hazırlanan SEM görseli.



Resim 4.14 %95 Cu- %5 W malzemenin EDX analiz sonucu görseli.

4.5 Test Sonuçlarının İrdelenmesi

Çizelge 4.7 Kontak meme pim üretim adetleri takibi.

Test	Karışım oranı (10 gr)	Pimsiz kontak meme (mm)	Pimli kontak meme (mm)	İyileşme (%)
Test 1	Cu-SiC (%95-5)	71732	-	NOK
Test 1	Cu- SiC (%90-10)	71732	-	NOK
Test 1	Cu- SiC (%85-15)	71732	-	NOK
Test 1	Cu- TiC (%95-5)	71732	20884	-71
Test 1	Cu- TiC (%90-10)	71732	2724	-96
Test 1	Cu- TiC (%85-15)	71732	-	NOK
Test 2	Cu-W (%95-5)	71732	96248	34
Test 2	Cu-W (%90-10)	71732	92616	29
Test 2	Cu-W (%85-15)	71732	87168	22
Test 2	Cu (%100)	71732	66284	-8
Test 3	Cu- TiC (%95-5)	71732	-	NOK
Test 3	Cu- TiC (%90-10)	71732	-	NOK
Test 3	Cu- TiC (%85-15)	71732	-	NOK
Test 3	Cu-W (%95-5)	71732	89892	25
Test 3	Cu-W (%90-10)	71732	100788	41
Test 3	Cu-W (%85-15)	71732	96248	34

Kontak meme üretim adetleri takibi çizelgesinden (Çizelge 4.7) görüleceği üzere Cu-SiC denemesinde (Resim 4.1) pim montajı yapılmış olup istenen sertlikte olamadığı için test işlemi yapılmamıştır. Test 1 Cu-TiC (Resim 4.2) seri üretim denemesi yapılmış olup Cu-TiC (%95-5) 20884 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-TiC (%90-10) seri üretim denemesinde 2724 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır. Test 2 Cu-W (Resim 4.3) seri üretim denemesi yapılmış olup Cu-W (%95-5) 96248 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%90-10) seri üretim denemesinde 92616 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%85-15) seri üretim denemesinde 87168 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır. Test 2 Cu (Resim 4.4) seri üretim denemesi yapılmış olup Cu (%100) 66284 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra kaynak bozulmasından dolayı test sonlandırılmıştır. Test 3 Cu-TiC denemesinde (Resim 4.5) pim montajı yapılmış olup istenen sertlikte olmadığı için test işlemi yapılmamıştır. Test 3 Cu-W (Resim 4.6) seri üretim denemesi yapılmış olup Cu-W (%95-5) 89892 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%90-10) seri üretim denemesinde 100788 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%85-15) seri üretim denemesinde 96248 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır.

Çizelge 4.8 Kontak meme pim iç bölge aşınma oranı (%).

Test	Karışım oranı (10 gr)	Pim İç Çap (mm)	Pim İç Bölge Aşınma (mm)	Aşınma Oranı (%)
Test 3	Cu-W (%95-5)	1,2	1,807	%50
Test 3	Cu-W (%90-10)	1,2	1,446	%20
Test 3	Cu-W (%85-15)	1,2	1,732	%44

Çizelge 4.9 Kontak meme pim dış bölge aşınma oranı (%).

Test	Karışım oranı (10 gr)	Pim İç Çap (mm)	Pim Dış Bölge Aşınma (mm)	Aşınma Oranı (%)
Test 3	Cu-W (%95-5)	1,2	1,579	%32
Test 3	Cu-W (%90-10)	1,2	1,339	%11
Test 3	Cu-W (%85-15)	1,2	1,625	%35

(Çizelge 4.8) ve (Çizelge 4.9) aşınma oranları verilmiş olup Cu-W (%90-10) serisinin test sonuçlarındanda görüleceği üzere pimin kaynak yapılan pim dış bölge ve kontak memeye sıkı geçme ile montajı yapılan pimin iç kısmında kalan pim dış bölgesinde aşına oranın daha düşük olduğu ölçülmüştür. (Çizelge 4.7) iş parça üstünde kaynak işlemi olarakda 100788 mm kaynak uzunluğu ile en iyi performansı göstermiştir.



5. SONUÇLAR

Kontak meme üretim adetleri takibi çizelgesinden (Çizelge 4.7) görüleceği üzere Cu-SiC pim montajı yapılmış olup istenen sertlik değerine ulaşamadığından; sıkı geçme işlemi yapılamadığı için veya sıkı geçme işlemi esnasında dağılmalar olduğundan seri üretim şartlarında kullanılamamıştır. Aşağıdaki sonuçlar bu araştırma için özetlenmiştir:

1. Test 1 Cu-TiC seri üretim denemesi yapılmış olup Cu-TiC (%95-5) 20884 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-TiC (%90-10) seri üretim denemesinde 2724 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmış olup Cu-TiC serisinde üretim adetleri hedeflenen sayıya ulaşmamıştır. Sıkı geçme işlemi yapılarak pimli kontak meme gazaltı kaynak robotunda deneme yapılmış olmasına rağmen hedeflenen kaynak işlemini gerçekleştirememiştir.

2. Test 2 Cu-W seri üretim denemesi yapılmış olup Cu-W (%95-5) 96248 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%90-10) seri üretim denemesinde 92616 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%85-15) seri üretim denemesinde 87168 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmış olup hedeflenen sayılarda üretim yapılmıştır. Test 2 Cu seri üretim denemesi yapılmış olup Cu (%100) 66284 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra kaynak bozulmasından dolayı test sonlandırılmış olup hedeflenen sayının altında kalmıştır. W serisinde istenen hedefi geçmiş, Cu serisinde ise hedefin altında kalmıştır.

3. Test 3 Cu-TiC denemesinde pim montajı yapılmış olup istenen sertlikte olamadığı için test işlemi yapılmamıştır. Seri üretim şartlarında deneme için kontak memeye sıkı geçme işlemi ile pim montajı yapılamamıştır.

4. Test denemeleri sonunda W seri denemesi tekrardan yapılarak Test 3 Cu-W seri üretim denemesi yapılmış olup Cu-W (%95-5) 89892 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%90-10) seri üretim denemesinde

100788 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra şaseden dolayı test sonlandırılmıştır. Cu-W (%85-15) seri üretim denemesinde 96248 mm gazaltı kaynak üretiminden sonra uçtaki aşınmadan dolayı test sonlandırılmış olup hedeflenen sayılara ulaşılmıştır. Aşınma performansları kıyaslandığında Cu-W (%90-10) test sonuçlarında en yüksek performansı göstermiştir.

5. Cu-W (%90-10) serisinin test sonuçlarından aşınma oranı diğer serilere göre daha az olduğu görülmüştür.



6. KAYNAKLAR

- Anbuselvan S, Ramanathan S, 2010, Dry Sliding Wear Behaviour of As-Cast ZE41A Magnesium Alloy, *Materials and Design*, 31, 1930-1936.
- Childs T H C, 1980, The Sliding Wear Mechanisms of Metals, Mainly Steels, *Tribology International*, 13, 285-293
- Deuis R L, Subramanian C, Yellup J M, 1997, Dry Sliding Wear Of Aluminium Composites – A Review, *Composite Science Technology*, 57, 415-435.
- Dube R K, Maji P, Bikramjit B, 2009, Enhancement of Wear Resistance Of Copper with Tungsten Addition (less than 20 wt. %) By Powder Metallurgy Route, *Journal of Tribology*, 131, 1-9.
- German R M, 1994, *Powder Metallurgy Science*, Metal Powder Industries Federation, 83-184, New York.
- German R M, 1994, *Powder Metallurgy Science*, Metal Powder Industries Federation, 442, New York.
- German R M, 1996, *Sintering Theory and Practice*, John Wiley & Sons, Inc, 8-13, New York.
- German R M, 1996, *Sintering Theory and Practice*, John Wiley & Sons, Inc, 3-20, New York.
- Gautam R K, Ray S, Jain S C, Sharma S C, 2008, Tribological Behavior of Cu–Cr–SiC_p in-situ Composite, *Wear*, 265, 902-912.
- Gautam R K, Ray S, Satish C, Sharma S C, Jain S C, Tyagia R, 2011, Dry Sliding Wear Behaviour of Hot Forged and Annealed Cu–Cr–Graphite in-situ Composites, *Wear*, 271, 658-664.
- Hausner H H, Mal M K, 1982, *Handbook of Powder Metallurgy*, Chemical Pub. Co. New York
- Kou S, 2002, *Welding Metallurgy*, 2nd Edition, Wiley International
- Kurt A, 1992, Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142s, Ankara.

- Lancaster J F, 1980, Brazing, Soldering and Adhesive Bonding. In Metallurgy of Welding, Springer, 87-109, Dordrecht.
- Lee J S, Kim T H, Kang T G, 1993, Enhanced Sintering of Microhomogeneous W- Cu Composite Powders, Powder Metallurgy World Congress, 12-15 July, Kyoto, 365-368.
- Lee H, Hsu F, Tai T, 2004, Study of Surface Integrity Using the Small Area EDM Process with a Copper-Tungsten Electrode, Materials Science and Engineering: A, 364, 346-356.
- Li L, Wong Y, Fuh J, Lu L, 2001, Effect of TiC in Copper Tungsten Electrodes on EDM Performance, Journal of Materials Processing and Technology, 113, 563-567
- Li M, Chao M, Liang E, Jumei Y, Zhang J, Li D, 2011, Improving Wear Resistance of Pure Copper by Laser Surface Modification, Applied Surface Science, 258, 1599-1604.
- Öveçoğlu M L, 1997, Toz Metalurjisi: Tarihsel Gelişim, Üretim Aşamaları ve Yeni Eğilimler, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 449- 475.
- Pires J N, Loureiro A, Bölmsjö G, 2006, Welding Robots: Technology, System Issues and Application, Springer-Verlag London Limited, 179p, Germany.
- Sarıtaş S, 1994, Toz Metalurjisi, Makine Mühendisleri El Kitabı 2. Baskı- Cilt 1, MMO, 65-70, Ankara
- Sarıtaş S, 1995, Powder Metallurgy Processed Materials, Metallurgy and Materials, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak., pp. 437-445, Ankara.
- Selvakumar N, Vettivel S C, 2013, Thermal, Electrical and Wear Behavior of Sintered Cu-W Nanocomposite, Materials and Design, 46, 16-25.
- Singla M, Singh L, Chawla V, 2009, Study of Wear Properties of Al-SiC Composites, Journal of Minerals Materials Characterization and Engineering, 8, 813-819.
- Tjong S C, Lau K C, 2000, Abrasive Wear Behaviour of TiB₂ Particle Reinforced Copper Matrix Composites, Materials Science and Engineering: A, 282, 183-186.

Upadhyaya G S, 1997, Powder Metallurgy Technology, Cambridge International Science Publishing, 158p, Cambridge.

Ünal R, 1995, Gaz Atomizasyonu ile Metal Tozu Üretim Değişkenlerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Zhang L, He X B, Qu X H, Duan B H, Lu X, Qin M L, 2008, Dry Sliding Wear Properties of High Volume Fraction SiCp/Cu Composites Produced by Pressure Less Infiltration, Wear, 265, 1848-1856.

