

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN 85/15 BRONZUNDA PEKLEŞME SERTLEŞMESİNİN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERE Co VE Ni İLAVESİNİN ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Nafiz BOZKURT

(092122103)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi

Programı: Ekstraktif Metalürji

Danışman: Doç. Dr. Tülay YILDIZ

NİSAN-2018

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN 85/15 BRONZUNDA PEKLEŞME
SERTLEŞMESİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERE Co VE Ni
İLAVESİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nafiz BOZKURT
(092122103)

Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi
Programı: Ekstraktif Metalürji

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tülay YILDIZ

NİSAN-2018

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN 85/15 BRONZUNDA PEKLEŞME
SERTLEŞMESİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERE Co VE Ni
İLAVESİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nafiz BOZKURT
(092122103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18.04.2018

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.05.2018

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tülay YILDIZ
Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Ali Kaya GÜR
Dr. Öğr. Üyesi. Ertuğrul ÇELİK

NİSAN-2018

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; danışmanlığımı yapan konuyu öneren ve yönlendiren her zaman akademik destek olan hocam Doç. Dr. Tülay YILDIZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam ve akademik sürecim boyunca sürekli desteğini gördüğüm hocam Doç. Dr. Ali Kaya GÜR'e, Arş.Gör.Dr. Nida KATI'ya, elektrik iletkenliği ölçümlerinde yardımlarını esirgemeyen Öğr.Gör.Dr.Ayşegül DERE'ye teşekkürü bir borç bilirim. Tezimin düzenlenmesinde ve deneylerimin yapılmasında yardım ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Metalürji ve Malzeme Yük. Müh. Semih TAŞKAYA' ya ve Metalürji ve Malzeme Yük. Müh. Muhammed Hulusi CENGİZ'e' çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu tezin desteklenmesinde maddi katkı sunan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi (TEF.17.01 nolu proje) çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Nafiz BOZKURT
ELAZIĞ- 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. TOZ METALURJİSİ.....	5
3.1. Toz Metalürjisine Giriş.....	5
3.2. Toz Metalürjisi Tarihçesi.....	5
3.3. Toz Metalürjisinde Parça Üretim Süreci	5
3.4. Metal Tozların Şekillendirilmesi.....	6
3.4.1. Metal Tozların Karıştırılması	6
3.4.2. Metal Tozların Sıkıştırılması (Preslenmesi).....	7
3.4.3. Sinterleme.....	7
3.4.4. Toz Metalurjisi Sıcak İzostatik Presleme (HIP).....	9
3.5. Toz Metalürjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Avantajları.....	10
3.6. Toz Metalürjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Dezavantajları.....	11
3.7. Toz Metalürjisinin Kullanım Alanı	11
3.8. Alaşım Elementleri.....	12
3.8.1. Bakır	12

3.8.2.	Nikel	12
3.8.3.	Kobalt	12
4.	ELEKTRİKSEL İLETKENLİK	14
4.1.	Katıların Elektriksel Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	14
4.2.	Yarıiletken Malzemeler	15
4.2.1.	Saf Yarı İletkenler	18
4.2.2.	Katkılı Yarı İletkenler	18
4.3.	Yarı İletkenlerde Enerji Bandı.....	20
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
5.1.	Çalışmada Kullanılan Metal Tozlar.....	23
5.2.	Toz Metalurjisi ile Üretilen Matris Malzemede Oluşan Faz ve Bileşiklerin İkili ve Üçlü Denge Diyagramlarındaki Yerinin Belirtilmesi.....	24
5.3.	Numunelerin Üretim Aşamaları	27
5.3.1.	Metal Toz Oranlarının Belirlenmesi	27
5.3.2.	Tozların Karıştırılması	28
5.3.3.	Kompozit Malzemelerin Sıcak Preslenmesi	29
5.4.	Mikroyapı İncelemeleri	31
5.5.	SEM ve EDS Analizleri.....	32
5.6.	Sertlik Ölçümleri	32
5.7.	Yoğunluk Hesaplama	33
5.8.	Pekleşme Deneyi	34
5.9.	Yeniden Kristalleşme	35
5.10.	Elektrik İletkenliği Deneyi	35
6.	DENEY SONUÇLARI.....	37
6.1.	Numunelerin Pekleşme Öncesi Mikro Yapı ve Değerlendirmeleri.....	37
6.2.	Numunelerin Pekleşme Sonrası Mikro Yapı ve Değerlendirmeleri.....	40
6.3.	Yeniden Kristalleşme Sonrası Mikro Yapı ve Değerlendirmeleri.....	43

6.4. Sertlik Değerlendirmeleri	51
6.5. Elektrik İletkenliği Sonuçları	55
6.6. Yoğunluk Hesaplama	62
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	70



ÖZET

T/M YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN 85/15 BRONZUNDA PEKLEŞME SERTLEŞMESİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERE Co VE Ni İLAVESİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Toz metalurisi, son yıllarda imalat sektöründe imalatı zor parçaların üretiminde geniş ölçüde kullanılan yöntemlerden biridir. Sıcak preslenme yöntemi ise toz metalürjisi yöntemiyle üretilen parçaların imalat kalitesini oldukça arttırmıştır. Toz metalürjisi yöntemiyle ergime dereceleri çok farklı metallerin de üretilmesi sağlanmıştır.

Elektrik kontakt malzemesi olarak çok geniş kullanım alanına sahip bakır (Cu) ve alaşımlarında toz metalürjisiyle üretim yöntemi mevcuttur. Bakır matrisli kompozitlerin içine ergime derecesi yüksek metal partikülleri ilave edilerek, üretilecek kompozitlerin mukavemet değerleri de arttırılmaktadır.

Bu çalışmada, 85/15 Cu/Sn alaşımına farklı oranlarda kobalt ve nikel ilave edilerek, üretilecek kompozitte bu elementlerin meydana getirdiği mekanik etkileri incelenmiştir. Toz metalürjisi ile üretilen numuneler farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde, sıcak presleme yöntemiyle sinterlenmiştir. Numuneler birbirleri arasında mukayeseye tabi tutularak yorumları yapılmıştır. Ayrıca kontakt malzemelerinin aç kapa işlemi sırasında oluşturduğu pekleşme etkisi ve aç kapa sırasında oluşan ark sayesinde yeniden kristalleşme ile yapıda olan elektrik iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Numunelerin yoğunluk, mikroyapı, sertlik ve elektrik iletkenliği değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler birbiriyle kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kullanılan bütün parametrelerin iletkenlik üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalürjisi, Elektriksel İletkenlik, Pekleşme Sertleşmesi, 85/15 Bronz

SUMMARY

INVESTIGATION OF CO AND NI ADDING EFFECTS ON ELECTRICAL PROPERTIES OF STRAIN HARDENING IN 85/15 BRONZE PRODUCED BY T/M METHOD

Powder metallurgy is one of the widely used methods in the manufacturing sector in recent years for the manufacture of difficult to manufacture parts. The hot pressing method has increased the production quality of the parts produced by the powder metallurgy method. Powder metallurgy has been used to produce very different metals with different melting grades.

As an electrical contact material, copper (Cu) which has a very wide usage area and its alloys are produced by powder metallurgy. By adding high-melting metal particles into the copper matrix composites, the strength values of the composites to be produced are also increased.

In this study, mechanical effects of these composites were investigated by adding cobalt and nickel to 85/15 Cu / Sn alloy at different ratios. Samples produced by powder metallurgy are sintered to hot pressing method at different temperature and pressure values. The samples were interpreted by comparing them with each other. In addition, the conductivity effects of the contact materials are measured by the effect of the consolidation created during the open-close operation and by the recrystallization due to the arc formed during the open-close. The density, microstructure, hardness and electrical conductivity values of the samples were measured. These measured values are compared with each other. It is seen that all the parameters used as a result of the studies made have an effect on the conductivity.

Keywords: Powder Metallurgy, Electrical Conductivity, Strain Hardening, 85/15 Bronze

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1 Toz Karıştırıcı Modeli.....	6
Şekil 3.2 Toz Metalurisi Presleme işleminin basamakları (1) işlem başlangıcı, (2) metal toz doldurma, (3) sıkıştırma-presleme başlangıcı, (4) sıkıştırma-preslemenin bitişi, (5) sıkıştırılmış-preslenmiş parçanın çıkarılması	7
Şekil 3.3 Toz metalurisi Çift-Küre Sinterleme Modeli	8
Şekil 4.1. (a) Verici durumlar, (b) Alıcı durumlar	19
Şekil 4.2. (a) Saf yarıiletkenlerin enerji bantlarının ve (b) enerji bant diyagramının şematik gösterimi	20
Şekil 4.3. Wurtzide ZnO’ın LDA bakt yapısı hesaplamaları Efektif potansiyeli düzeltilmiş. Atomik Yarı Etkileşim (SIC-PP) yönteminin baskın olarak kullanılmasıyla elde edilmiştir.Bu metod bandının işlenmesine standart LDA metodundan çok daha verimlidir.	22
Şekil 5.1. Yapılan işlemlerin şematik olarak gösterilmesi	23
Şekil 5.2 Cu-Sn İkili faz diyagramı.....	25
Şekil 5.3. Co-Cu İkili faz diyagramı	25
Şekil 5.4. Cu-Sn-Ni Üçlü faz diyagramı	26
Şekil 5.5. Ni-Sn İkili faz diyagramı	26
Şekil 5.6. Oransal olarak tozların hazırlanması.....	27
Şekil 5.7. Numune toz hazırlığı.....	27
Şekil 5.8 Bağlayıcının hazırlanması.....	28
Şekil 5.9. Mikser tipi üç boyutlu dönebilen toz karıştırıcı	29
Şekil 5.10. Grafit kalıbın perspektif görünümü ve numunelerin sinterleme kalıbına alınması.....	30
Şekil 5.11. Sıcak pres makinesi.....	30
Şekil 5.12. Üretilen numune grupları	31
Şekil 5.13. Taramalı elektron mikroskobu inceleme grubu	32
Şekil 5.14. Brinel sertlik ölçüm cihazı şematiği.....	33
Şekil 5.15. Hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti	33
Şekil 5.16. Pekleşme işlemi şematik görüntüsü	34
Şekil 5.17. Pekleşme sonrası yeniden kristalleşme işlemi	35
Şekil 6.1. Numunelerin pekleşme öncesi mikro yapıları.....	39

Şekil 6.2. Numunelerin pekleşme sonrası mikro yapıları	43
Şekil 6.3. Numunelerin yeniden kristalleşme sonrası mikro yapıları.....	47
Şekil 6.4. A-I numunesi EDS analizi	48
Şekil 6.5. B-II numunesi EDS analizi	49
Şekil 6.6. C-III numunesi EDS analizi	50
Şekil 6.7. D-IV numunesi EDS analizi.....	51
Şekil 6.8. 20 MPa sinterleme basıncı 700 °C sinterleme Sıcaklığı % 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin sertlik değerleri.....	52
Şekil 6.9. 20 MPa sinterleme basıncı 800 °C sinterleme Sıcaklığı % 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin sertlik değerleri.....	53
Şekil 6.10. 30 MPa sinterleme basıncı 700 °C sinterleme sıcaklığı % 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin sertlik değerleri	53
Şekil 6.11. 30 MPa sinterleme basıncı 800 °C Sinterleme Sıcaklığı % 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin sertlik değerleri	54
Şekil 6.12. Bütün numunelerin sertlik ölçüm sonuçları (HB).....	55
Şekil 6.13. A Grubu iletkenlik ve % IACS sonuçları.....	57
Şekil 6.14. B Grubu iletkenlik ve % IACS sonuçları.....	58
Şekil 6.15. C Grubu iletkenlik ve % IACS sonuçları.....	58
Şekil 6.16. D Grubu iletkenlik ve % IACS sonuçları.....	58
Şekil 6.17. 20 MPa 700 °C Sıcaklıkta ölçülen iletkenlik ve % IACS sonuçları	59
Şekil 6.18. 20 MPa 800 °C Sıcaklıkta ölçülen iletkenlik ve % IACS sonuçları	59
Şekil 6.19. 30 MPa 700 °C Sıcaklıkta ölçülen iletkenlik ve % IACS sonuçları	59
Şekil 6.20. 30 MPa 800 °C Sıcaklıkta ölçülen iletkenlik ve % IACS sonuçları	60
Şekil 6.21. Numunelerin yoğunluk grafikleri.....	63

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1. Değişik maddelerin elektrik iletkenlik (σ) değerleri	15
Tablo 5.1. Metal toz büyüklükleri	24
Tablo 5.2. Numunelerin üretim parametreleri	24
Tablo 5.3. Dağlayıcı formülü.....	31
Tablo 6.1. Numunelerin brinel sertlik sonuçları	55
Tablo 6.2. Numunelerin Öz iletkenlik ve %IACS Değerleri.....	61
Tablo 6.3. Numunelerin Yoğunluk Ölçümleri.....	63



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

F :Kuvvet

kg :Kilogram

kgf :Kilogram Kuvvet

kN :Kilo Newton

MPa :Mega Paskal

N :Newton

gr :Gram

α :Alfa

β :Beta

σ :Sigma

m :Metre

m² :Metrekare

ml :Mililitre

mm :Milimetre

mm² :Milimetrekaré

cm :Santimetre

cm² :Santimetrekaré

cm³ :Santimetreküp

°C :Santigrat derece

μm :Mikrometre

Co :Kobalt

Cu :Bakır

Ni :Nikel

Sn :Kalay

85CuSn15 :Bronz

SEM :Taramalı Elektron Mikroskobu

TM :Toz Metalürjisi

MS/m :MegaSimens/metre

CIP :Soğuk İzostatik Presleme

1. GİRİŞ

Üretim teknolojilerini oluşturan sanayi dallarındaki ilerlemeler, bu sektörlerin hammaddesi olan malzemelerin üretimi ve geliştirilmesi üzerine çalışan malzeme bilimlerinin de gelişmesini sağlamıştır. Özellikle, çok özel dayanım özelliklerinde malzeme üretilebilmesini mümkün kılan toz metalürjisi yönteminin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Toz metalürjisi, saf metal ve alaşım metal tozlarının bir kalıp içerisinde şekillendirilip, ısı ile işlemle (sinterleme) mukavemet kazandırılması tekniğine verilen genel isimdir. Son yıllarda toz metalürjisi yöntemi ile üretilen parça sayısı ve çeşidinde artışlar yaşanmıştır. Bunun nedenlerinden önemlileri; ekonomiklik, düşük yoğunluklarının yanında yüksek mukavemete sahip olmaları ve kullanım yerine özgü özelliklerde üretilebilmeleridir [1].

Toz metalürjisi ile parça üretiminin en önemli işlem basamaklarından biri sinterlemedir. Sinterleme, sıkıştırma işlemi ile ön şekillendirilmiş metal tozların, kullanım alanlarında parçalardan istenen mekanik dayanımların kazandırıldığı, önemli derecede enerji ve zaman tüketiminin olduğu bir ısı ile işlemidir. Son yıllarda, üretim proseslerinde zaman ve enerjinin, dolayısı ile maliyetlerin azaltılması önemli bir amaç haline gelmiştir. Bu amaca uygun olarak geleneksel sinterleme yöntemine alternatif yöntemler araştırılmakta ve uygulanmaktadır.

Toz metalürjisi ile üretilen numuneler farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde, sıcak presleme yöntemi ile sinterlenmiştir. Sinterlenen numuneler birbirleri arasında mukayeseye tabi tutularak yorumları yapılmıştır. Sinterleme sıcaklığının ve basıncının ayrıca mikro yapıya olan etkisi de incelenmiş, üretilen numunelerin mikro yapılarında ayrıntılı olarak inceleme çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmada; 85/15 bronz ilave edilecek Ni ve Co takviyeli matris malzemelerin toz metalürjisi yöntemi ile üretiminin yapılabilirliği araştırılmıştır. Bronz esaslı olarak üretilen kompozit matrislerin özelliklerinin geliştirilebilmesi için amacı ile Ni ve Co tozları kullanılmıştır. Farklı oranlarda Ni ve Co elementlerinin matrisin yapısında meydana getirdiği değişiklikler araştırılmış; imal edilen numunelere soğuk deformasyon ve yeniden kristalleşme etkisinin belirlenebilmesi için yoğunluk, sertlik, mikro yapı ve elektriksel iletkenlik testi uygulanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sıcak presleme yöntemiyle imal edilen 85/15 bronzuna ilave Ni ve Co'ın pekleşme sertleşmesinin elektriksel özelliklere Co ve Ni ilavesinin etkilerinin araştırılması isimli tez çalışmasının ön hazırlığı için literatür taraması yapılmıştır. Bu kapsamda konuyla alakalı tezler, ulusal ve uluslararası indekslerde yapılmış yayınlar internet üzerinde taramalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda elde edilen konumuzla alakalı çalışmalar şunlardır;

Toz metalürjisi (T/M) metal toz haline getirilmiş metallerin belirli oranlarda karıştırılarak, değişken sıcaklıklarda kalıplarda, istenen özelliklere uygun basınçlarda sıkıştırılması (presleme) ve uygun (kontrollü) atmosferler ortamlarında fırınlanmasıyla (sinterleme) parça üretme yöntemidir [2].

T/M üretim yöntemleri diğer üretim metotlarından bütünüyle farklıdır. Seramik mamul parça üretim teknolojisine benzemektedir. Dolayısıyla yapılan işlem her iki durumda da tozların bir kalıp içinde sıkıştırılmasıyla başlar. Elde edilen numune profili sinterlenerek gerekli mukavemete kavuşturulur [3].

T/M üretim teknolojisi, artık malzeme biliminin önemli bir alanı olmuştur. Böylece toz, dövme, metal matrisli kompozit, sıcak izostatik presleme (HIP) gibi çeşitli süreçlerde toz metalürjisi teknolojisinin kullanım alanı gün geçtikçe genişliyor [4]

Fe, Cu, Fe-Cu, Fe-C, Fe-Cu-C, pirinç, bronz, paslanmaz çelik, Ni ve alaşımları en fazla kullanılan bazı metal tozlarıdır. Bunların yanı sıra metal olmayan malzemeler de metallerle birlikte karıştırılarak kullanılabilir [5].

Endüstride kullanılan bazı metallerin yüksek ergime sıcaklıklarının yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamamasından dolayı, bazı özelliklerin ancak toz metalürjisi ile sağlanabilmesiyle, süper alaşım ve sert metaller gibi bazı malzemelerin üretiminde bu yöntemin kullanılması zorunlu hale gelmiştir [6].

Toz metalürjisi ürünlerinin genel özellikleri metal tozunun toz tane şekli, toz tane boyutu, toz tane bileşimi, yağlayıcı cinsi, numunelerin sinterleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi çok sayıda üretim parametresine bağlı olduğundan, kompozit malzemeler hakkında kesin-genel bilgi vermek zordur. Bu sebeple, genellikle mekanik özellikler üretilen numunenin yoğunluğuna büyük ölçüde bağımlılık gösterir. Düşük mukavemetli metallerden üretilen toz metalürjisi ürünlerinin mekanik özellikleri dövme ürünlerinkine eşdeğerdir. Yüksek yoğunluklu kompozit numunelerin üretimi için, yüksek basınca sahip presler, sıcak presleme veya sıcak izostatik presleme (HIP) yöntemi

kullanılır. Dolayısıyla üretilen kompozit malzemede ki partikül (toz) ürünlerin özellikleri, döküm ve dövme mamullerinin özelliklerine yaklaşıır. % 100 yoğunluğa ulaşılabilmesi için ince tane boyutundaki metal toz boyutunun elde edilmesi ile kompozit ürünlerinin özellikleri döküm-dövme ürünlerinin üzerine çıkar. Toz metalürjisi ile üretilen ürünlerde gözenek miktarı azaldıkça hemen hemen bütün mekanik özelliklerde iyileşme gözlenmektedir [7].

Kaymalı yatak malzemesi olarak, bakır esaslı malzemeler iyi korozyon direnci, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlik, kendi kendini yağlayabilme ve iyi aşınma direnci gibi özellikleri sebebi ile genellikle yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır [8].

Bakır esaslı malzemelerde anti-sürtünme özelliği olan kalayın rolü aşınmada önemlidir. Kalay ihtiva eden bakır esaslı kalay bronzları aşınmaya karşı yüksek direnç göstermeleri sebebi ile yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır [9].

Üretilen parçalardaki kalay miktarı ile bu malzemelerin sürtünme ve aşınma özellikleri orantılı olarak olumlu yönde etkilenmektedir [10].

Yatak malzemesi olarak, kalay bronzu korozyon tehlikesi olan yerlerde, yüksek sıcaklıklarda ve gıda maddesi ile temas oluşacak yerlerde kullanılması uygundur [11].

“Toz Metal Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Performansı Üzerine Çinkonun Etkisi” isimli çalışmada; Tozların büyüklüğü 0,2-80 µm arasında seçilmiştir. İlk olarak Toz Metalürjisi yöntemi ile Bronz esaslı fren balataları üretilmiş ve üretilen balataların sürtünme-aşınma performansları test edilmiştir. İkinci aşamada ise bronz esanslı balata tozlarına %0,5 - %4 oranında Zn tozu ilave edilerek üretilmiştir. Numuneler 350 Mpa’da 820 °C’ de sinterlenmiştir. Bu Zn-Bronz alaşımlı balata da sürtünme-aşınma testine tabi tutulmuştur. Daha sonra bu iki malzeme de yoğunluk, sertlik, sürtünme katsayısı, sürtünme kuvveti ve aşınma miktarları mukayese edilmiştir. En iyi aşınma direnci %0,5 Zn içeren numunede tespit edilmiştir. En iyi sürtünme katsayısı %2 Zn içeren numunede tespit edilmiştir [12]

“T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması” adlı çalışmada ise bu yöntemle üretilmiş bakır esaslı CuSn10, demir esaslı Fe-Grafit, FeCu-Grafit ve bronz-demir esaslı CuSnFe-Grafit yatakların aşınma ve mekanik özellikleri belirlenip, birbiriyle karşılaştırması yapılmıştır. Üretilen numuneler 360 Mpa soğuk presleme basıncı, 1120 °C’de sinterlenerek elde edilmiştir. Üretilen numunelere çekme, basma, üç nokta eğme, sertlik ve radyal kırılma deneyi yapılmıştır. Yapılan bu deneyler

sonucunda Döküm yatakların T/M üretilen yataklara göre çok daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir[13] .

Değişik tür ve oranlarda seramik tozu ilave edilerek toz metalürjisi yöntemi ile bronz esaslı malzeme üretimi ve üretim sonucu yapılan aşınma deneylerinde en iyi sonuç; 350 MPa soğuk presleme basıncında ve 820 °C olduğu tespit edilmiştir [14].

Mikro yapı fotoğraflarından malzeme içerisindeki düşük ergime dereceli tozların, sıvı faz sinterleme oluşturduğu ve buna bağlı olarak gözeneklerin küçüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca düşük ergime sıcaklığına sahip metal tozların bir kısmının sinterleme esnasında buharlaştığı gözlenmiştir [14].

Günümüz endüstrisinde, bu yöntemle üretilen parçaların, özellikle şekil ve ağırlık bakımından sağladığı avantajlar nedeniyle tercih edilmesi, bu yönde üretim ve araştırma yapan kuruluşların sayısını artırmıştır. Ülkemizde ise 2005 yılında gerçekleştirilen 4. Uluslararası Toz Metalürjisi Konferansı, bu alandaki gelişmelerin daha da iyi olacağının göstergesidir [15] .

3. TOZ METALURJİSİ

3.1. Toz Metalürjisine Giriş

Toz metalürjisi üretim metodu; metal tozlarının üretimi ve üretilen bu metal tozların imalatı istenilen parçaların belirli işlemler sırasında nihai şekle dönüştürülme işlemidir. Bu metot metal toz üretimi, üretilen metal tozların karıştırılması, metal tozların preslenmesi, sinterleme ve isteğe bağlı işlemler (infiltrasyon, yağ emdirme, çapak alma, vb.) olmak üzere belirli aşamalardan oluşur.

3.2. Toz Metalürjisi Tarihçesi

M.Ö. 3000 yıllarında Mısır'da toz metalürjisi ile üretilmiş küçük parçalara rastlanmasına rağmen, ilk önemli kullanım; 1920 yılında tungsten-karbür kesici takımların üretimi şeklinde gerçekleşmiştir. Modern anlamda yeni bir parça üretim tekniği olarak teknolojiye yerini ikinci dünya savaşından sonra almıştır[16].

3.3. Toz Metalürjisinde Parça Üretim Süreci

Toz metalürjisi ile parça üretimi, metal tozlarının preslenmesi ve elde edilen parçaların belirli sıcaklıkta ve redükleyici bir atmosferde fırınlanması ile sağlanır. Klasik olarak toz metalürjisi üretim aşamalarını dört adımdan oluşur. Bunlar;

- i) Metal toz karışım hazırlama,
- ii) Presleme,
- iii) Sinterleme, Sıcak İzostatik Presleme (HIP),
- iiii) Kalibrasyon olarak tanımlanabilirler.

İlk olarak, önceden saf veya alaşımlı olarak üretilen metal tozlar harmanlanır, istenilen kimyasal bileşim elde edilir. Bu bileşim iyice karıştırılarak homojen bir dağılım elde edilir. Bu karışımın hazırlanması sırasında kalıp ömrünü arttırıcı yağlayıcılar da kullanılır. Presleme işlemdeki ikinci adımdır. Burada yüksek basınçla metal tozlar sıkıştırılırlar. Bu sıkıştırma zaman zaman doğrudan elde edilmek istenen parçanın şeklini verecek şekilde, bazen de büyük bir parça şeklinde olur. Bu büyük tek parça ön sinterden sonra şekil almaya hazırlanır. Pres sonrası malzeme sertliği çok da

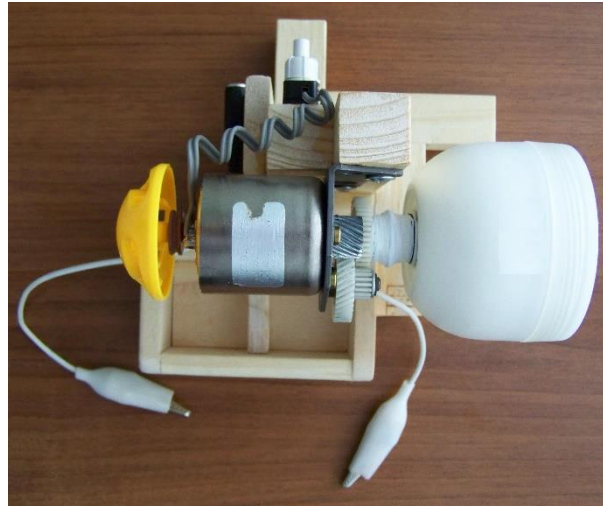
fazla olmadığı için dikkatle muhafaza edilmelidir. Fırınlama sırasında sıkıştırılan parçalar özel fırınlarda sinterlenerek dayanım kazanırlar. Bu sinterleme kontrollü atmosferde gerçekleşir. Sinterlemeden sonra çeşitli nihai işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemlere kaplama, taşlama, bileme örnek olarak gösterilebilirler.

Özellikle hassas ölçü gereken parçalar da tolerans aralığı çok düşüktür. Bu yüzden sinterleme sonrası yağlama ile bir kalibrasyona tabi tutulur. Sinter malzemelere diğer yöntemlerle elde edilen parçalara uygulanan tüm ısı işlemler uygulanabilir [17].

3.4. Metal Tozların Şekillendirilmesi

3.4.1. Metal Tozların Karıştırılması

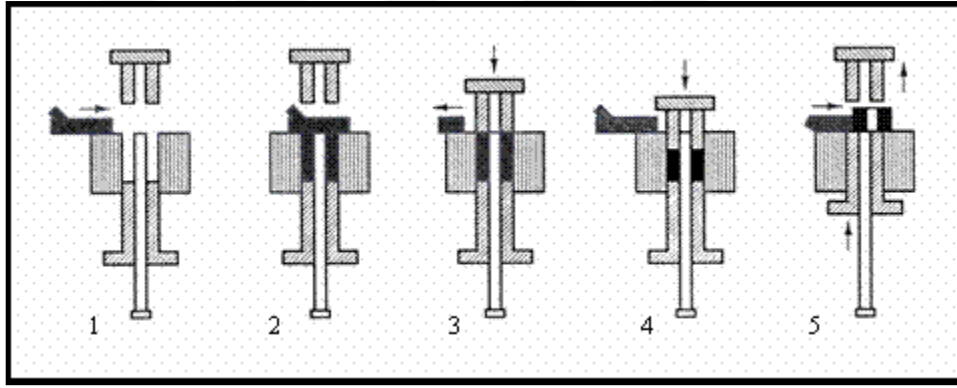
Metal tozlarının karıştırılması V veya Y tipi karıştırıcılar adıyla bilinen çift borulu ve çift-koni karıştırıcılarda yapılmaktadır (Şekil 3.1). Karıştırma işlemi, tozların tane boyutuna ve şekline göre yığılmasını önlerken, akma hızını ve görünür yoğunluğunu da değiştirir. Karıştırma işleminin uzun tutulması taneciklerin kırılarak küreselleşmesine ve önemli ölçüde plastik deformasyona uğramasına neden olabilir. Buda tozun sıkıştırılabilme özelliğini azaltıp, şekillendirme sırasında gerekenden fazla soğuk işlem gerektirir. Sinterleme dâhil bütün işlem kademelerinin değerlendirilmesi yapılmadan yeterli derecede karıştırma yapılıp yapılmadığına karar vermek oldukça zordur.



Şekil 3.1 Toz Karıştırıcı Modeli

3.4.2. Metal Tozların Sıkıştırılması (Preslenmesi)

Sıkıştırma bir yük altında serbest yapıdaki metal toz tanelerinin istenilen forma dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir. Metal tozların sıkıştırılmasındaki ana amaç; ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 70-700 MPa arasındadır ve pratikte kullanılan basınç değerleri ise genellikle 145-450 MPa arasındadır[18]. Birçok halde sıkıştırmadan önce tozlar 400-800 °C arasında bir ısıtmaya tabi tutulur. Böylece oksitler, rutubet, karbon, kükürt ve fosfor mümkün mertebe ortamdan uzaklaştırılmış olur. Ayrıca ısıl işlem tozların sertliklerini de azaltır. Böylece metal tozların sıkıştırılabilme oranı artar. Sıkıştırılabilme tavlama sıcaklığı arttıkça, oksijen azaldıkça artar. Presleme sıcak (HIP) veya soğuk (CIP) yapılabilir. Şekil 3.2’de örnek bir dikey presleme işleminin basamakları görülmektedir.



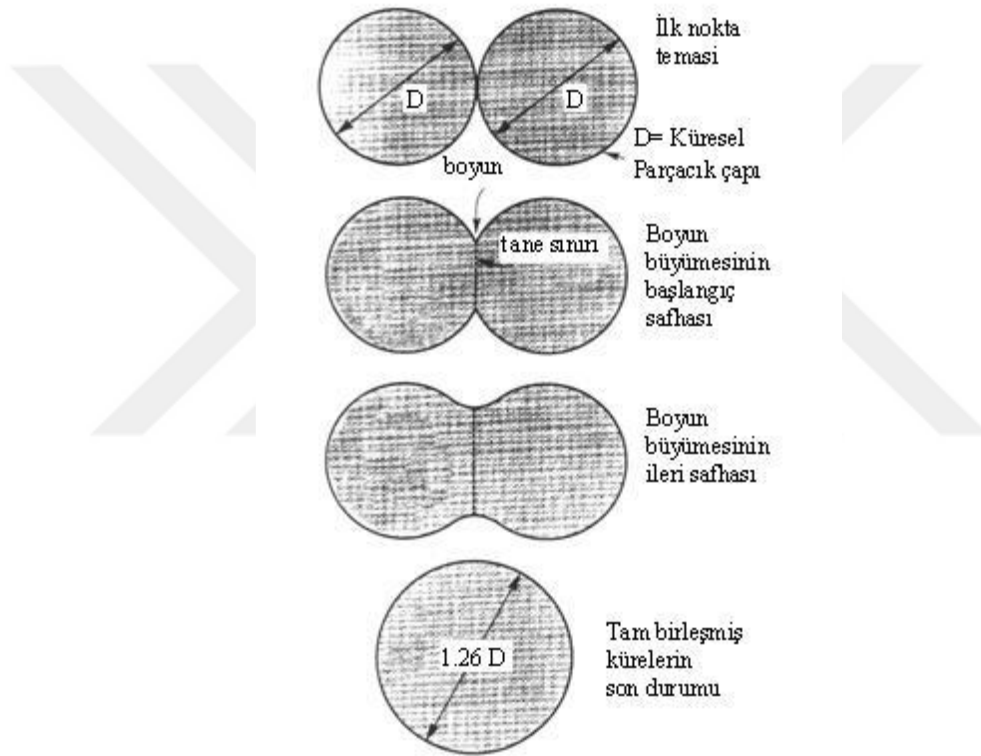
Şekil 3.2 Toz Metalurisi Presleme işleminin basamakları (1) işlem başlangıcı, (2) metal toz doldurma, (3) sıkıştırma-presleme başlangıcı, (4) sıkıştırma-preslemenin bitişi, (5) sıkıştırılmış-preslenmiş parçanın çıkarılması

3.4.3. Sinterleme

Sinterleme, gözenekli yapıda bir şekil kazandırılmış metal tozların; yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısıl olarak aktive edilmiş malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir. Sıkıştırılmış metal toz parçaları arasındaki bağlantı yapışma, mekanik kitlenme ve benzeri türden zayıf bağlar olup kristal kafes içerisindeki bağ dayanımına oranla çok zayıf kalmaktadır. Bu nedenle; sıkıştırılmış ham yoğunluktaki toz metalürjisi parçalarına, mukavemet ve yüksek yoğunluk kazandırmak amacıyla ergime noktasının altındaki sıcaklıkta ısıl işlem uygulanır. Sinterlemenin başlaması noktasal olarak

temas halinde bulunan toz parçacıklarının katı-hal bağına dönüşümü ile olur. Sinterleme işlemi sırasında, nokta teması ile başlayan, ara parçacık bağının gelişmesi ile devam eden mekanizmaya çift-küre sinterleme modeli denilmektedir (Şekil 3.3). Bu modelde, parçacık temasının sonucunda oluşan boyun büyümesiyle yeni bir tane sınırı oluşur ve iki parçacık tek bir parçacık oluşturacak şekilde birleşir.

Sinterleme sıcaklığı, tek bileşenli sistemlerde metalin ergime sıcaklığının $2/3$ veya $4/5$ 'i alınarak tespit edilirken, birden fazla bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığı yüksek olan bileşenin ergime sıcaklığının altında, ergime sıcaklığı düşük olan bileşenin ergime sıcaklığının üzerinde seçilir.



Şekil 3.3 Toz metalurisi Çift-Küre Sinterleme Modeli

Fe alaşımları $1000-1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, refrakter metaller $2000-2900\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda sinterlenirler. Sinterleme süresi kullanılan malzemenin bileşimine göre değişir. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme süresi kısalmır. Metal toz kütlelerinde, sahip oldukları büyük yüzeylerden dolayı yüzey enerjisi bulunur. Sinterleme sırasında metal tozların birbiriyle bağlanması ve metal toz yüzeylerinin düzelmesiyle yüzey alanları azalır ve böylece yüzey enerjisi de azalır [18].

3.4.4. Toz Metalurjisi Sıcak İzostatik Presleme (HIP)

Sıcak izostatik presleme (HIP), tamamen yoğun malzemeleri üretmek için bir veya birden çok parçaya basıncın izostatik olarak uygulandığı yüksek basınçlı gaz içeren bir yöntemdir [19].

Yüksek sıcaklık ve basınçta geçen süre; plastik deformasyona, sürtünmeye ve difüzyona neden olur. Dahili gözenekliliği ortadan kaldırmak için kritik uygulamalara yönelik döküm parçalara sıcak izostatik presleme işlemine uygulanarak hataların giderilip, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi sağlanır. Sıcak izostatik presleme, katı veya toz formunda iki veya daha fazla malzemenin bir arada bağlanmasına veya kaplanmasına olanak sağlar.

Sıcak izostatik presleme, toz metalürjisinde de önemli bir araçtır. Katı durumdaki tozu tam yoğun parçalara dönüştürmekte kullanılır. Bu şekilde, geleneksel eritme ya da presleme ve sinterleme üretim teknolojileriyle elde edilenden daha iyi fiziksel özellikler elde edilir. Metal tozlar, şekillendirilmiş sac metal içine hapsedilir ve net şekle yakın parçalar üretmek için HIP işlemine tabi tutulabilir.

Gözenekler tamamen kapandığı zaman uygun bir yoğunluğa ulaşmak için parçalar sinterleme fırınlarında ön sinterleme işlemine tabi tutulurlar. Bu, HIP işlemleri için malzemeyi uygun hale getirir. HIP işleminde gazın olumsuz etkilerinden korumak için parçalar, önce cam kapsüllerde saklanır[20] [21].

HIP üniteleri ile 200 MPa basınca kadar ulaşılabilir. Bu yüzden sıcak presleme işlemine kıyasla üretim sıcaklığında bir miktar azalma meydana gelir. Sıcaklıktaki düşme, elmasın zarar görebileceği 1100 °C'yi aşağıya çekeceğinden yeni teknolojik fırsatlar sunar. Son yıllarda HIP teknolojisi kullanılarak elmaslı boncuk tellerin üretiminde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

Sıcak izostatik presleme (HIP), iç gözenekliliği ortadan kaldırarak dökümlerin mekanik özelliklerini geliştirir. Yüksek basınç, sıcaklık ve süre malzemenin katı halde akmasını ve atomik seviyede bağlanmasını sağlar. Aynı ilke, metal, seramik, kompozit veya polimer tozlardan tam yoğunlukta malzemelerin üretiminde kullanılır. Sıcak izostatik presleme (HIP) üretim yöntemi, alternatif toz metalürjisine göre daha iyi malzeme özellikleri sağlar ve diğer üretim yöntemlerinde ortaya çıkan mekanik özelliklerin yönlülük problemini ortadan kaldırır.

Soğuk izostatik presleme (CIP); metal, seramik, kompozit ve/veya polimer tozların, içinde, daha sonraki işlem aşamalarında alınması gereken herhangi bir bağlayıcı olmadan, ham işlem diye de bilinen, mekanik olarak sıkıştırılması işlemidir. Basınç tüm yönlerle, tek eksenli preslemeyle üstün özellikler elde ederek kalıp duvarı yağlayıcıları ile kirlenme olasılığını ortadan kaldırarak eşit olarak uygulanır. CIP, düşük paketleme faktörlü tozların kapsülleme ve HIP için yeterli yoğunlukta elde etmesini sağlar.

3.5. Toz Metalürjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Avantajları

Toz metalürjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Belirli derecede porozite (gözenek) ve geçirgenlik elde edilir. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimleri ortadan kaldırması ve malzeme kaybının çok az olması toz metalürjisi yönteminin ekonomik bir üretim yöntemi olduğunun göstergesidir [22].

Bazı metallerin ergime sıcaklığı çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşılamaması (tungsten, molibden gibi), bazı özelliklerin ancak toz metalürjisi ile sağlanabilmesi (kendi kendine yağlanan yataklar), süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi toz metalürjisini zorunlu kılan başlıca sebeplerdir. Çok sayıda üretim söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir metod olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı toz metalürjisi yönteminin en bariz avantajlarıdır [23].

Toz metalürjisi yönteminin genel olarak avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- ✓ Yüksek malzeme kullanım oranı, düşük malzeme kaybı.
- ✓ Yüksek üretim hızları.
- ✓ Düşük maliyet
- ✓ Düzgün yüzey, yakın tolerans değerlerinin elde edilmesi.
- ✓ Karmaşık şekilli parçaların imalatı.
- ✓ Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin imalatı.
- ✓ Yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi.
- ✓ Metal matris kompozit ve metal alaşımları üretimi.
- ✓ Belirli derecede gözeneklilik ve geçirgenlik [24].

3.6. Toz Metalürjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Dezavantajları

Her imalat yönteminin kendine özgü kullanım alanı olmasından dolayı, T/M teknolojisinin de avantajlarının yanı sıra bazı limitleri de mevcuttur:

- Seri imalat yapılmaz ise, sıkıştırma ve sinterleme üniteleri gibi ilk yatırım maliyetini ve ikincil yatırım maliyeti olarak tanımlanan gözenek doldurma donanımı, kalıpların tasarımı ve imalatı maliyetlerinin yüksek olması,
- Metal tozların maliyeti ingot haldeki malzemedan daha pahalıdır,
- Mukavemet gerektiren parçalarda gözenek doldurma ve infiltrasyonu gibi ikincil işlem uygulanmaz ise, diğer yöntemlere nazaran kötü mekanik özellikler ve değişken yoğunluk değerleri, Gözenekten kaynaklanan düşük korozyon dayanımı ve düşük plastisite özellikleri,
- Büyük hacimdeki parça imalatının yapılamaması, tasarım sınırlılıkları veya yüksek maliyetteki yeni T/M tekniklerinin kullanılması [25].

3.7. Toz Metalürjisinin Kullanım Alanı

Toz metalürjisi uygulama alanları oldukça geniştir. Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, zırh delici mermiler, elektrik kontakları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarj edilebilir piller ve jet motoru parçalarının üretimi toz metalürjisinin kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Metal tozlar boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mürekkepler, sert lehim bileşikler ve katalizörlerde kullanılmaktadır (Turan,1993). Toz metalürjisinin kullanım alanlarından bir tanesi de savunma sanayisidir. Ateş sanatı olarak bilinen piroteknik uygulamalar savunma sanayisi için oldukça önemlidir. Piroteknik reaksiyonlar çok yüksek sıcaklık oluşturdıklarından aydınlatmaya yol açarlar. Piroteknikler havai fişek, işaret fişegi ve flaş tozu olarak kullanılırlar. Genellikle demir parçalarının üretiminde kullanılan toz metalürjisi yöntemi otomotiv endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunlukta parçalara ihtiyaç duyulan otomotiv endüstrisi de toz metalürjisi yöntemi ile daha hafif parça üretimine doğru yönelmektedir [26].

3.8. Alaşım Elementleri

3.8.1. Bakır

Bakır tozu, demir tozuna sinterlenmiş ürünün mukavemetini arttırmak için ilave edilmektedir. Fe-Cu kompaktlarının sinterlenmesi sırasında bakır yüzdesine baēlı olarak boyutsal deēiřimler meydana gelir. Saf Fe tozundan preslenen parçalar sinterleme sırasında büzülürler. Bakır tozu ilavesi ve bakırın ergime noktasının (1083°C) üzerinde sinterleme yaparak bu büzülme tersine çevrilir ve sonuç olarak genleşme gerçekleşir. Genleşme, % 8–10 Cu ilavesine kadar artan bakır miktarı ile artar. Bu da Cu'nun Fe içinde çözünebilme limitlerine baēlıdır ve bundan sonra azalır. Az miktarda Cu ilavesi (% 1–2,5) saf Fe tozlarının sinterlenmesi sırasındaki büzülmesini karşılamak için kullanılabilir.

Yüksek miktarda bakır ilavesi ile oluşan genleşme, parçayı dar toleranslarda tutmayı ve presleme sırasında aynı kalıpların kullanımını zorlaştırır. Cu ilavesinden kaynaklanan genleşmeleri elimine etmek için demir tozlarına dengeleyici element olarak C, P ya da W ilavesi yapılabilirken demir tozunun tane boyutu da küçültülebilir.

3.8.2. Nikel

Fe–Ni karışımları, yüksek mukavemet ve uzama özellikleri istenen parçaların üretiminde kullanılır. Demir tozuna eklenen nikel miktarı genellikle % 2–5 arasında deēiřir. Ni, Fe içerisine çok yavaş yayınır. Bu sebeple Fe-Ni alaşımlarının sinterlenmesinde yüksek sinterleme sıcaklıēına ve uzun bir sinterleme süresine ihtiyaç duyulur. Eēer Ni tozlarının tane boyutu çok küçükse alaşımlanma daha hızlı gerçekleşir. Bu sebeple genellikle 5 µm tane büyüklüēüne sahip tozlar kullanılır. Sinterleme sıcaklıēı en az 1250–1350°C civarında olmalıdır ve 1–2 saat sinterleme yapılmalıdır. Parçalanmış amonyak bu işlem için en uygun sinterleme atmosferidir. Fe–Ni karışımından üretilmiş kompaktlar sinterleme sırasında büzülürler. Sinterleme sıcaklıēında ya da süresinde yapılacak en ufak deēiřiklikler bile büzülme miktarı üzerinde çok önemli etkiler oluşturabilir. Bu nedenle sinterleme sırasındaki bütün deēiřkenler sabit tutulmalıdır. Aksi takdirde parçanın boyutları deēiřkenlik gösterebilir.

3.8.3. Kobalt

Sıcak presleme işleminde kobaltın; yüksek akma dayanımı ve tokluēu sayesinde, mükemmel derecede bağlanma kabiliyeti vardır. Matrisin abrasif aşınmaya karşı direncini

arttırmak için kobalt elementi kullanılabilir. Deneyler sonucu elde edilen bilgiler, sıcak preslenmiş Co'ın mikro yapı, faz bileşimi, sertlik, mekanik dayanımı, süneklilik ve aşınma direnci özellikleri ve sıcak presleme işlem parametrelerine bağlı olarak önemli derecede değişiklik gösterir [27].



4. ELEKTRİKSEL İLETKENLİK

4.1. Katıların Elektriksel Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Katılar elektrik özelliklerine (özdirencine) göre üç gruba ayrılırlar: metaller, yalıtkanlar ve yarıiletkenler. Üstün iletkenler oda sıcaklığında metal özelliği göstermektedirler ve düşük sıcaklıklarda (1-120 K) üstün iletkenliğe sahiptirler [28]. Katılar elektrik iletkenlik değerlerine göre:

I. Metaller : $\rho = 10^{-6} - 10^{-4}$ ohm.cm,

II. Yarıiletkenler : $\rho = 10^{-4} - 10^{10}$ ohm.cm,

III. Yalıtkanlar : $\rho \geq 10^{10}$ ohm.cm. şeklinde sınıflandırılırlar [29].

Metaller ve yarıiletkenler arasındaki fark, iletkenliklerinin sıcaklıkla değişiminden açık olarak görülmektedir. Saf metallerde özdirenç sıcaklıkla lineer olarak artmaktadır.

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta T) \dots \dots \dots (4.1)$$

Burada ρ_0 metalin 0 °C'de özdirenci, $\alpha = 1/273$ direncin termal genleşme katsayısı, ΔT mutlak sıcaklık değişimidir. Metallerde sıcaklık arttıkça özdirenç artar. Yarıiletkenin elektriksel iletkenliği sıcaklığa bağlı olarak:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left[-\frac{\Delta E}{kT}\right] \dots \dots \dots (4.2)$$

Şeklinde değişir. Burada ΔE aktivasyon enerjisi, k Boltzmann sabitidir, σ_0 bir sabittir.

Yarı iletkenlerde iletkenlik elektronların yoğunluğu sıcaklık arttıkça eksponansiyel olarak artmakta ve elektronların mobilitesi az miktarda küçülmektedir. Bu iki işlemin sonucunda yarıiletkenin özdirenci sıcaklık arttıkça hızlı bir şekilde azalmaktadır. Elektriksel iletkenlik (σ), bir maddenin elektrik akımını iletebilme yeteneğini belirleyen fiziksel bir büyüklüktür. Elektrik iletkenliğinin SI standardında ki birimi Siemens/metre (S/m ya da $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$) olup, iletkenlik (σ) özgül direncin tersine eşittir.

İletkenlik değerlerine göre maddeler, iletkenlik değerleri 25 °C'de $\sigma > 10^6$ S/m olanlara iletken maddeler denmektedir. İletken maddelere örnek olarak metaller verilebilir. Tüm metaller içerisinde en iyi iletken olanları saf gümüş ve saf bakırdır.

Çoğu organik bileşikler ve karbon hidratlardan oluşan yalıtkanlar ya da izolatorlerde iletkenlik değeri $\sigma < 10^{-8}$ S/m mertebesinde dir.

Yarı iletkenlikte iletkenlik değeri, iletkenlerle yalıtkanlar arasında bulunur. Yarıiletkenlerde iletkenlik değeri; sıcaklık, basınç ve ışıma bağlı olarak değişir.

Bir maddenin iletkenliği bünyesinde akımı taşıyıcı bir elemanın, örneğin elektronların ya da iyonların varlığına bağlıdır. Tablo 4.1’de değişik maddelerin elektrik iletkenlik değerleri görölmektedir.

Tablo 4.1. Değişik maddelerin elektrik iletkenlik (σ) değerleri

Seçilen malzemelerin 300 °K ‘deki iletkenlik değerleri		
Malzeme	Türü	σ (S/m)
Gümüş	Metal	$61,39 \cdot 10^6$
Bakır	Metal	$\geq 58,0 \cdot 10^6$
Altın	Metal	$44,0 \cdot 10^6$
Alüminyum	Metal	$36,59 \cdot 10^6$
Volfram (Tungsten9	Metal	$18,38 \cdot 10^6$
Kobalt	Metal	$16,03 \cdot 10^6$
Pirinç (CuZn37)	Metal	$\sim 15,5 \cdot 10^6$
Demir	Metal	$10,02 \cdot 10^6$
Krom	Metal	$8,74 \cdot 10^6$
Titatnyum	Metal	$2,56 \cdot 10^6$
Gadolinyum	Metal	$0,74 \cdot 10^6$
Germanyum	Yarıiletken	1,45
Silisyum	Yarıiletken	$2,52 \cdot 10^{-4}$
PaslanmazÇelikler(1.4301)	Metal	$1,36 \cdot 10^6$
Tellur	-	200
Deniz suyu	-	~ 5
Çeşme Suyu	-	$\sim 0,05$
Saf Su	-	$5 \cdot 10^{-6}$

4.2. Yarıiletken Malzemeler

Elektrik akımını geçiren iki tür iletken olabilir: elektronik geçişli ve iyonik geçişli iletkenler. Metallerde elektrik akımı taşıyıcıları elektronlar olduğu için metaller elektron iletkenlerdir. İyonik iletkenlerde elektrik akımı malzemenin iyonları ile taşınır ve iyonik iletkenin kompozisyonu akımın geçtiği zamanla değişmektedir. Elektrolitler iyon iletkenler grubunda olabilirler. Yarıiletken malzemeler hem elektron hem de iyon iletkenliğine sahip olabilirler. Yarıiletkenlerin çoğunluğu, silisyum (Si), germanyum (Ge), selenyum (Se), telluryum (Te) ve bileşik yarıiletkenler GaAs, GaP, InSb, InP, CdS, CdSe, CdTe, ZnS, PbS, PbSe, SiC vb, elektron iletkenliğine sahiptirler.

Isı enerjisi etkisiyle yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcılarının (elektronların ve deliklerin) yoğunluğu artmaktadır. Bu yöntemle meydana gelen yük taşıyıcılarına ısısal veya dengeleyici yük taşıyıcıları denir. Bundan başka, serbest yük taşıyıcıları ışık, elektrik alan, basınç, γ -ışınları, hızlı parçacıkların (elektronların, protonların, nötronların, iyonların vb bombardımanı) etkisiyle oluşabilirler. Bu yöntemlerle meydana gelen yük taşıyıcıları denkleştirilmemiş yük taşıyıcıları olarak tanımlanırlar.

Yarıiletken özellikleri dış etkilere karşı şöyle açıklanabilir. Metallerde atomlar tam olarak iyonlaşmış durumdadırlar ve serbest elektronların konsantrasyonu ($n \approx 10^{33} \text{ cm}^{-3}$) atomların konsantrasyonuna eşittir. Bu nedenle, metallerin özellikleri dış etkilere çok az değişmektedir. Saf yarıiletkenlerde ise serbest elektronların yoğunluğu ($n = 10^3 - 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) ana atomların yoğunluğundan (10^{22} cm^{-3}) çok azdır. Yarıiletken atomların dış etkilere (ışık, elektrik alanı, basınç, hızlı parçacıklarla bombardıman vb) iyonlaşması ve serbest elektron yoğunluğunu değiştirmek mümkündür. Bunun neticesinde yarıiletkenin özellikleri de değişebilmektedir.

Serbest yük taşıyıcıların oluşma yöntemleri yarıiletkenin kristal yapısına, kompozisyonuna ve katkı atomlarının bulunmasıyla ilişkilidir. Çok az miktardaki ($\% 10^{-3} - 10^{-8}$) katkı atomları yarıiletkenlerin iletkenliğini önemli oranda (10^8 kata kadar) değiştirebilir.

Böylece, yarıiletkenin öz direnci oda sıcaklığında $\rho = 10^{-4} - 10^{10} \Omega \text{ cm}$ (veya iletkenliği $\sigma = 10^4 - 10^{-10} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$) aralığında olabilir. Öz direncin katkılama ile veya dış etkilere (ısı, ışınlama, elektrik ve manyetik alanlar, basınç, y-ışınları, hızlı parçacıklarla bombardıman vb) kuvvetli bağımlılığı yarıiletkenin esas niteliğidir. Yarıiletkenlerde iletkenlik değeri, iletkenlerle yalıtkanlar arasında bulunur. Bunlarda valans bandı ile iletim bandı birbirine çok yakındır, bu nedenle, valans bandından iletim bandına; sıcaklık, basınç ve ışınım etkileriyle elektron sıçraması olması durumunda iletkenlik sağlanmış olur. Yarıiletkenlerdeki iletkenliği açıklayabilmek için, metallerin iletkenliğindeki bazı eşitliklere ve tanımlara ihtiyaç duyulur. Öncelikle bu eşitlikler bulunmalı ve ondan sonra yarıiletkenler durumu gözden geçirilmelidir. Elektrik alanı içinde bulunan elektronlar sürekli olarak enerji alamazlar, çünkü düzgün ivmeli hareketleri çarpışmalarla kesintiye uğramaktadır. Bu nedenle elektron akımı metal içinde bir dirençle karşılaşır. Söz konusu direnç, elektronun çarpışmalar sırasında düzgün hızlanmaları için yararlanabilecekleri ortalama t süresi veya X ortalama yol uzunlukları ile ters orantılı olur. İvme ayrıca elektron yükü ile orantılı, kütlesi ile ters orantılıdır. E alanı altındaki V_s sürüklenme hızı için böylece [30] [31].

$$V_s = \frac{|e|}{m_e} \tau E = \mu_e E \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

yazılabilir. Burada e elektron yükünü, m_e de elektronun kütlesini göstermektedir. τ reaksiyon süresi olup, μ_e elektronun mobilite (hareketlilik) derecesidir. τ reaksiyon süresi,

elektronların (V_s 'den çok farklı, büyük) ortalama ısı hızları cinsinden ifade edilir. λ elektronların serbest yolunu ve v de hızı gösterirse, bağıntı;

$$\tau = \lambda / v \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

Şeklinde verilebilir. Bir iletkenin geçen akımın şiddeti, o iletkenin kesitinden 1 sn'de geçen elektrik yüküdür. J elektrik akım yoğunluğu, iletkenin 1 cm^2 kesitinden geçen akım değeri olarak tanımlanır. n ; 1 cm^3 içindeki taşıyıcı elektron yoğunluğunu, e ; elektron yükünü, E ; elektrik alan şiddetini gösterirse ve yukarıdaki tanım dikkate alınır;

$$J = n e V \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

Eşitliği elde edilir. (4.1) ve (4.3) numaralı eşitliklerden;

$$J = n \frac{e^2}{m_e} \tau E = n e \mu_e E \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

Veya τ yerine (4.2) numaralı eşitlikten λ alınır;

$$J = n \frac{e^2 \lambda}{m_e v} E \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

Elde edilir. İletkenlik σ , Ohm yasasına göre;

$$J = \sigma E \quad \dots\dots\dots (4.8)$$

Bağıntısı ile belirlenmiştir. Bu durumda metalik iletkenin iletkenliği, özgül direnç ρ cinsinden;

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = n \frac{e^2}{m_e} \tau = n e \mu_e \quad \dots\dots\dots (4.9)$$

veya

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = n \frac{e^2 \lambda}{m_e v} \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

Bağıntılarından biri ile ifade edilmektedir. Burada ρ öz direnç, n ise 1 cm^3 içindeki elektron sayısıdır [31] [32].

4.2.1. Saf Yarı İletkenler

Saf yarıiletkenlerde iletkenlik, başlıca serbest elektronların varlığının etkisi altındadır.

Bir metal için yazılan;

$$J = n \cdot e \cdot V_s \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

İfadesindeki elektronların sürüklenme hızı V_s , elektrik alan şiddeti E ile orantılı olduğu için, yarıiletkenin z , X ve taşıyıcı kütlesini bir sabitle göstermek için mobilite denilen bir kavram kullanılmaktadır. Mobilite μ ; bir akım taşıyıcısının, birim elektrik alanı (1 Volt/cm) altında kazandığı sürüklenme hızı olarak tarif edilmektedir. Elektron iletkenliğini gösteren bir yarıiletkende, m elektron kütlesini gösterirse, örneğin;

$$\mu_e = \frac{e\tau}{m_e} = \frac{e\lambda}{m_e v} = |V_s / E| \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

Yazılmaktadır. Mobilite μ 'nün birimi $1 \text{ cm}^2/\text{V.s'}$ dir. Bu parametre ile bir yarıiletkenin iletkenliği;

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_p \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

Olur ve katkısız bir yarıiletkende $n = p$ eşitliğinden faydalanılarak;

$$\sigma = ne(u_e + p_e) \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

İfadesi yazılabilir. Burada n ve p_e , akım taşıyıcı yoğunluklarıdır. Bir yarıiletkende gerek elektron ve gerekse boşluk mobilitesi, çarpışmalar sonucu küçülür. Bu nedenle kristal bozuklukları ve yabancı katkı atomları mobilitayı etkilemektedir. Ayrıca mobilite, sıcaklıkla çok fazla değişmez. Boşlukların mobilitesi elektronların mobilitelerinden daha küçüktür. Bant aralığı küçük olan kristallerde elektronların mobilitelerinin çok yüksek olma eğilimi vardır. En yüksek mobilite değeri PbTe kristalinde ölçülmüştür [30].

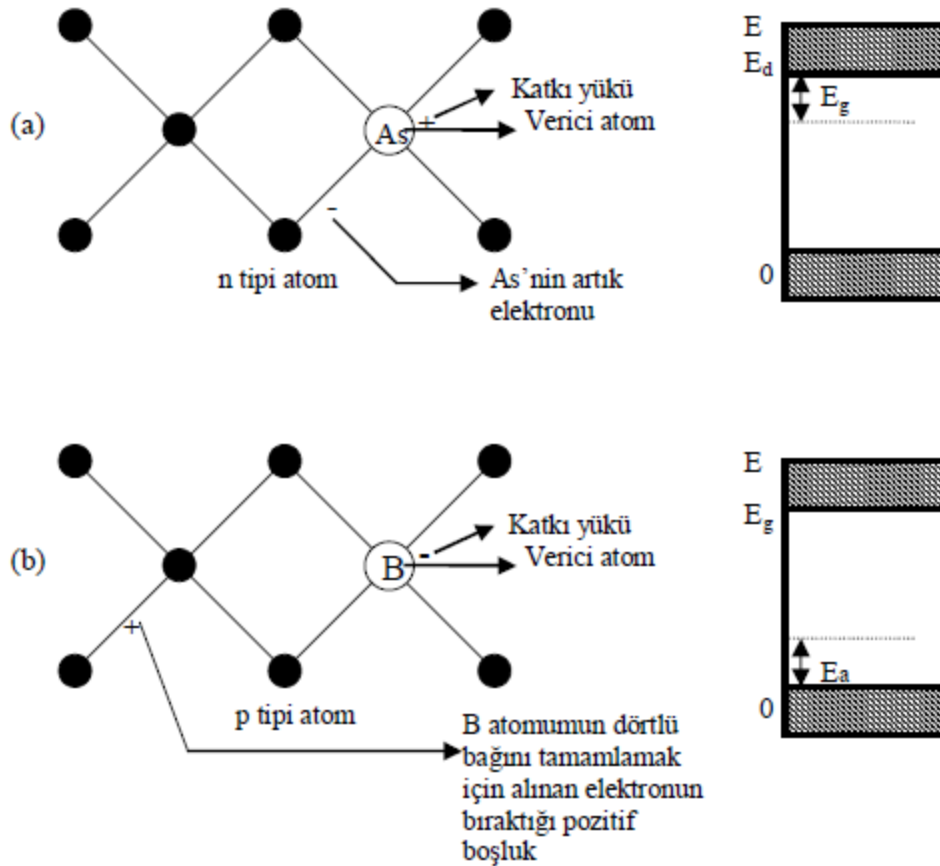
4.2.2. Katkılı Yarı İletkenler

Yarı iletkenlere katkı yapıldığında, elektriksel özellikleri bundan aşırı derecede etkilenmektedir. Yarıiletkenlerden bir atomun kopartılması ile meydana gelen değişiklikler, katkılamanın durumuna göre farklı davranışların ortaya çıkmasına yol açar.

Bu tip yarıiletkenler kusurlu yarıiletkenlerdir. Yarıiletkene katkı atomlarının eklenmesi işlemine, doping (aşılama) denir.

Beş değerlikli bir atom, dört değerlikli bir atomdan oluşmuş kristal yapı içine katıldığında, dörtlü kovalent bağ yapar. Kalan beşinci elektron da iletkenliği üstlenir. Bu durumda beş değerlikli atom, örneğin As, P, Sb verici olarak adlandırılmaktadır. Çünkü iyonlaşmış durumdayken iletkenlik bandına bir elektron verir. Bu olay Şekil 4.2 (a)'da verilmiştir.

Üç değerlikli atomlar, örneğin B, Al, Ga, In; dört değerlikli atomlardan oluşmuş kristal yapı içine katıldığında dörtlü kovalent bağı tamamlayabilmek için kristal örgü atomlarının ikisi arasında oluşan bağdan bir elektron alırlar ve geride bir boşluk bırakırlar. Oluşan bu pozitif boşluk iletkenliğe katkıda bulunur. Üç değerlikli atomlara alıcı denmektedir, çünkü iyonlaşmış durumda valens bandından bir elektron alırlar. Bu olay Şekil 4.2 (b)'de gösterilmiştir [33].



Şekil 4.1. (a) Verici durumlar, (b) Alıcı durumlar

Verici katkı atomunun iyonizasyon enerjisini (E_d) belirlemek için Bohr teorisinde gerekli değişiklikler yapılabilir. Bu değişiklikler, ortamın dielektrik sabitinin ve

elektronların etkin kütesinin hesaba katılmasıyla olur. Yan iletkenlerde $-e^4 m / 2\eta^2$ için e^2 yerine e^2/ϵ ve m yerine de m_e etkin kütle alınarak; CGS birim sisteminde vericilerin iyonizasyon enerjisi E_d :

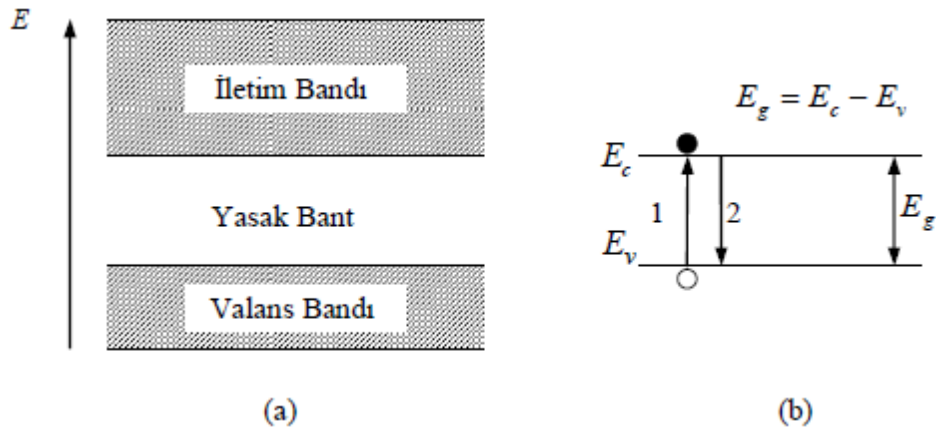
$$E_d = e^4 \cdot m_e / 2 \cdot \epsilon^2 \cdot \eta^2 \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

şeklinde yazılabilir.

Oda sıcaklığında alıcı ve vericilerin iyonlaşma enerjileri kBT (26 eV) mertebesinde (Kittel, 2004). Buna göre oda sıcaklığında atomlardaki alıcı ve vericilerin ısı iyonlaşması elektrik iletkenliği açısından önemlidir. Verici atom sayısı alıcılardan daha fazla ise, vericilerin ısı iyonlaşması ile iletkenlik bandına elektronlar aktarılır. Bu durumda kristalin iletkenliği, elektronlar (negatif yükler) tarafından belirlenir ve bu maddeye n tipi yan iletken denir. Alıcı sayısı fazla olduğunda valans bandına boşluklar aktarılır. İletkenlik boşluklar tarafından belirlendiği için bu maddeye de p tipi yarıiletken denir.

4.3. Yarı İletkenlerde Enerji Bandı

Yarı iletkenlerde bant aralığının işlenmesindeki amaç askeri ve ticari alanlardaki mikro elektronik ve opto elektronik sistemlerde maliyet, boyut ağırlık ve performansa ilişkin önemli gelişmelere dair beklentileri karşılanmaktadır. Bant aralığı E_g , iletkenlik bandının en düşük enerjisi ile valans bandı en yüksek enerjisi arasındaki enerji farkıdır. Yan iletken fiziğindeki önemli parametrenin basit görünüşü Şekil 4.2' de gösterilmektedir[31].



Şekil 4.2. (a) Saf yarıiletkenlerin enerji bantlarının ve (b) enerji bant diyagramının şematik gösterimi

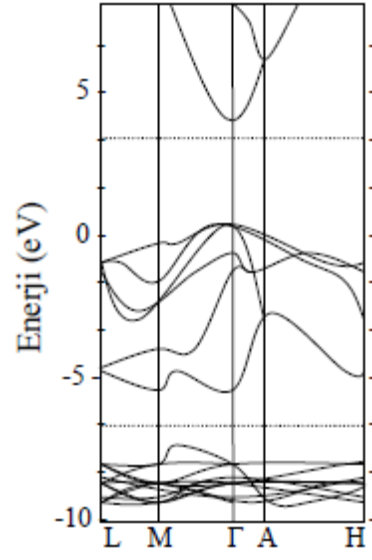
Bu şekilde iletim bandının en altı E_c , valans bandının en üstü E_v 'dir. İletim bandının enerjisi, elektronların enerjisi yukarı doğru ve boşlukların enerjisi de aşağı doğru ölçüldüğünde pozitif olduğu görülmektedir.

Mutlak sıcaklıkta (0 K), valans bandındaki tüm yörüngeler dolu ve iletkenlik bandında tüm yörüngeler boş olduğundan, öz iletkenlik sıfırdır. Sıcaklık artırıldığında elektronlar valans bandına ısı uyarma yoluyla geçip hareketlilik kazanırlar. Hem iletkenlik bandındaki elektronlar ve hem de bunların valans bandında bıraktıkları boşluklar, elektrik iletkenliğini sağlarlar. Bant aralığının sıcaklıkla olan bağlantısı çok genel bir ifade ile aşağıdaki gibi tanımlanır [31].

$$E_{g(T)} = E_{g(0)} - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \quad (4.16)$$

Burada α ve β , yarıiletkenlere göre değişen katsayılardır. İletkenlik ve taşıyıcı elektron yoğunluğu, bant aralığının sıcaklığa bağlı olan E_g/kBT parametresiyle belirlenmektedir. Bu oran büyükse taşıyıcı yoğunluğu az olur. Örneğin; çinko oksidin (ZnO'nun) 0 K'deki bant aralığı 3,436 eV iken, 300 K'de 3,2 eV' dur [31][30].

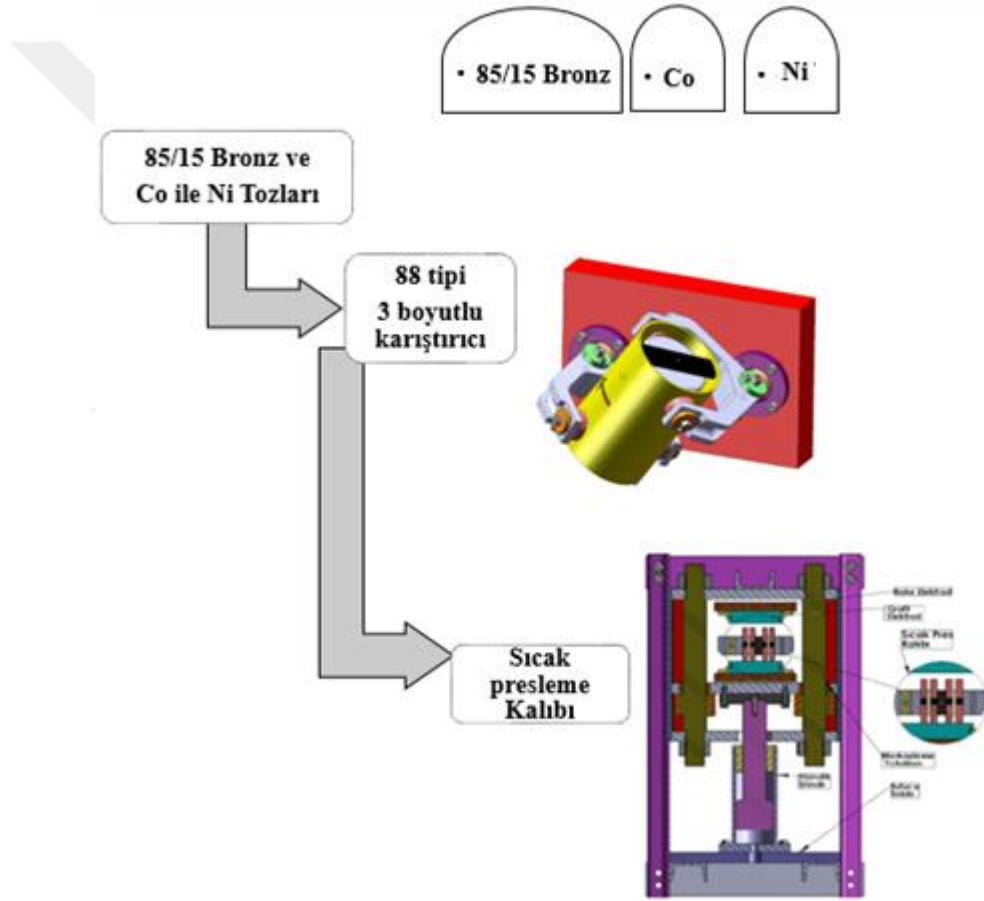
ZnO'nin elektronik bant yapısı grup sayısı ile hesaplanır. Şekil 4.3'de Kısmi Yoğunluk Tahmini(LDA) hesaplamalarına Efektif Potansiyeli Düzeltilmiş Atomik Yarı Etkileşim (SICPP) hesaplamaları dâhil edilip kullanılarak Zn 3d elektronları ile ilgili elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Burada bant yapısı hegzagonal brillouin bölgesindeki yüksek simetri çizgileri boyunca gösterilmiştir. Hem valans bandının en yüksek hem de iletkenlik bandının en düşük seviyede olduğu Γ üzerindeki $k=0$ noktası ZnO'nin doğrudan bant aralığı olan bir yarıiletken olduğunu göstermektedir. Temel 10 bant (yaklaşık -9 eV civarında meydana gelen) Zn 3d seviyesine karşılık gelir. Sonraki 6 bant (-5 eV- 0 eV) O 2p bağlanma bölgelerine karşılık gelir. Güçlü Zn iletkenlik bağlarıyla sınırlı olan ilk iki iletkenlik bandı bölgesi boş Zn 3s seviyesine karşılık gelir. Daha yüksek olan iletkenlik bantları(şekilde gösterilmemiş) serbest elektron bölgesi gibidir. Yaklaşık -20 eV seviyesindeki O 2s bandı (bu da gösterilmemiş) çekirdek enerjisine yakın olan bölgeyi göstermektedir. Bu hesaplamalar sonucunda bant aralığının 3.77 eV olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.3. Wurtzide ZnO'nin LDA bakt yapısı hesaplamaları Efektif potansiyeli düzeltilmiş. Atomik Yarı Etkileşim (SIC-PP) yönteminin baskın olarak kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bu metod bandının işlenmesine standart LDA metodundan çok daha verimlidir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 85/15 Bronz (Cu/Sn) alaşımına Tablo 5.2’de belirtilen oranlarda Co ve Ni katılarak yeni bir matris malzeme üretilmiştir. Bu numuneler literatür çalışmaları doğrultusunda 20 ve 30 MPa basınç, 700 ve 800°C sıcaklık değerlerinde 15 dakika sıcak presleme yöntemiyle üretim işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen numunelerin 85/15 Bronz alaşımına Co ve Ni ilavesi sonucunda, numunelerin üretim parametrelerine göre pekleşme sertleşmesinin elektrik iletkenliğinin nasıl etki edeceğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada, numunelerinin üretilmesi için Şekil 5.1’de akış şeması gösterilen imalat işlemlerinden faydalanılmıştır.



Şekil 5.1. Yapılan işlemlerin şematik olarak gösterilmesi

5.1. Çalışmada Kullanılan Metal Tozlar

Bu çalışmada kullanılan metal tozlar Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) biriminde yapılan projeler kapsamında piyasadan, Tablo 5.1’de belirtilen tane boyutunda temin edilmiştir. Matris numunelerin üretimi Fırat Üniversitesi Teknoloji

Fakültesi Atölyeleri ve Çel-Mak San. ve Tic. Ltd. Şti. nde Tablo 5.2 ‘de verilen üretim parametrelerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.1. Metal toz büyüklükleri

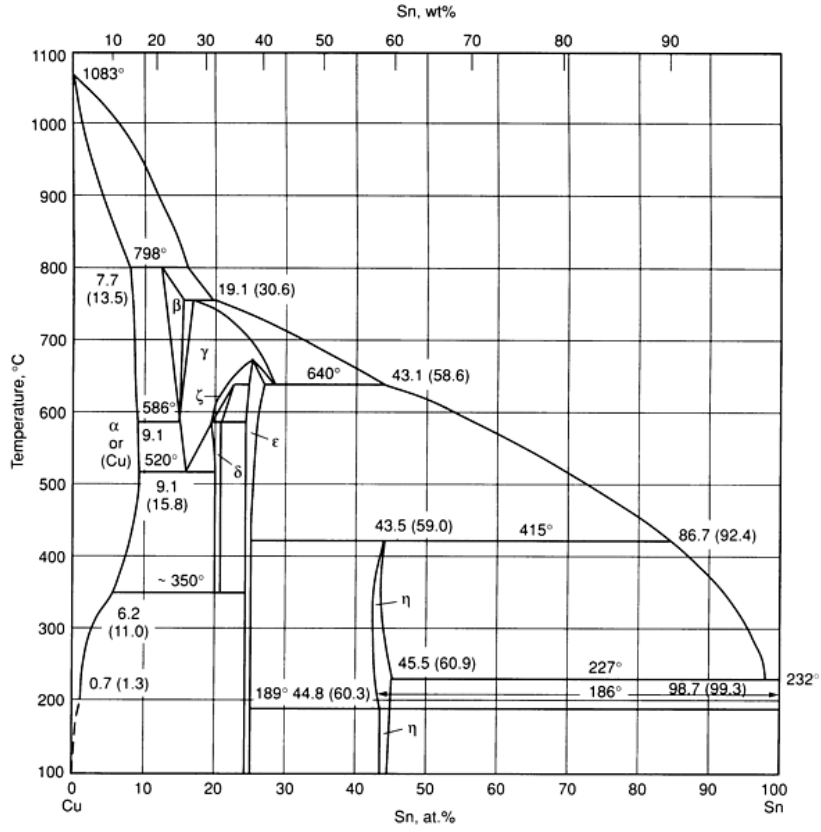
Deneylerde Kullanılan Metal Tozlarının Tane Büyüklükleri (µm)		
Bronz (85/15) (Cu/Sn)	Kobalt (Co)	Nikel (Ni)
70 µm	35 µm	5 µm

Tablo 5.2. Numunelerin üretim parametreleri

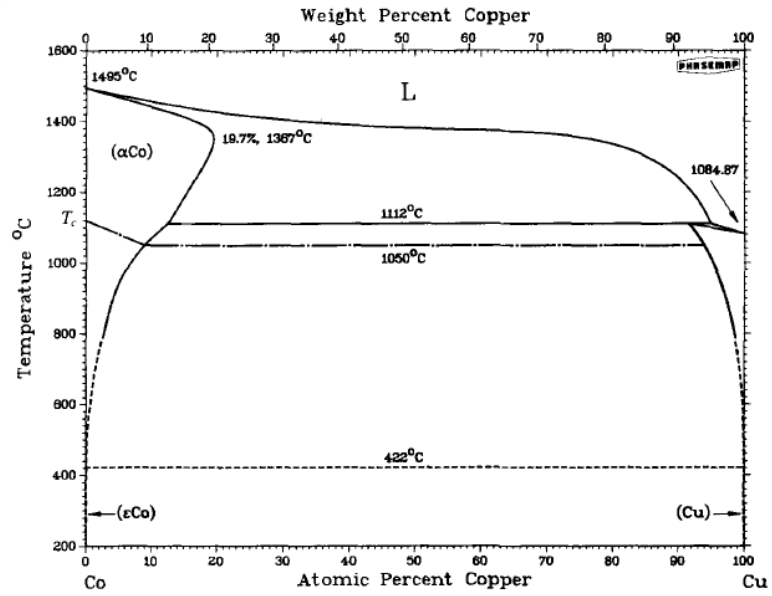
Grup No	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (dk)	Bronz (%)	Kobalt (%)	Nikel (%)
A-I	20	700	15	97	0	3
A-II		800				
A-III	30	700				
A-IV		800				
B-I	20	700		92	5	
B-II		800				
B-III	30	700				
B-IV		800				
C-I	20	700		87	10	
C-II		800				
C-III	30	700				
C-IV		800				
D-I	20	700		82	15	
D-II		800				
D-III	30	700				
D-IV		800				

5.2. Toz Metalurjisi ile Üretilen Matris Malzemede Oluşan Faz ve Bileşiklerin İkili ve Üçlü Denge Diyagramlarındaki Yerinin Belirtilmesi

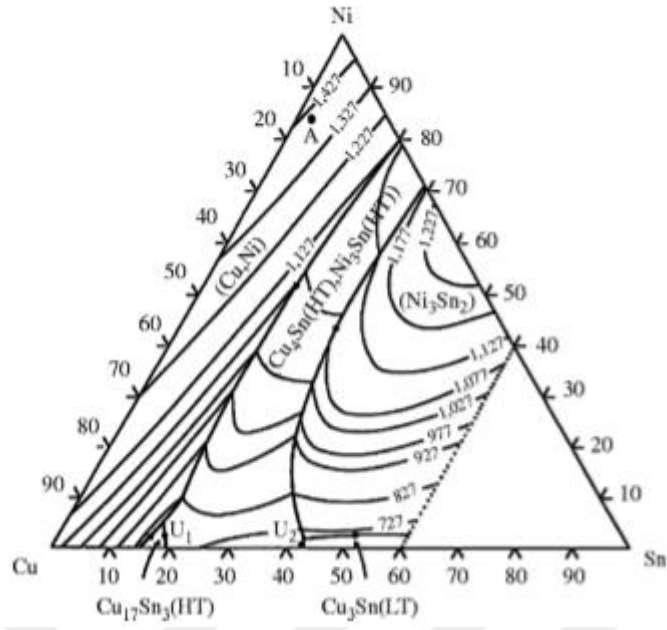
Sinterleme sıcaklığı, Şekil 5.2’de ki Cu-Sn ikili faz diyagramından da görüldüğü gibi 700-800 °C olarak seçilmiştir. Bu sıcaklıktaki sinterlemeden sonra yapıda αCu - βSn , Cu_4Sn , Ni_3Sn , Ni_3Sn_2 oluşması ikili ve üçlü faz diyagramlarında görüldüğü gibi (Şekil 5.2-5.5) olabileceği düşünülmektedir.



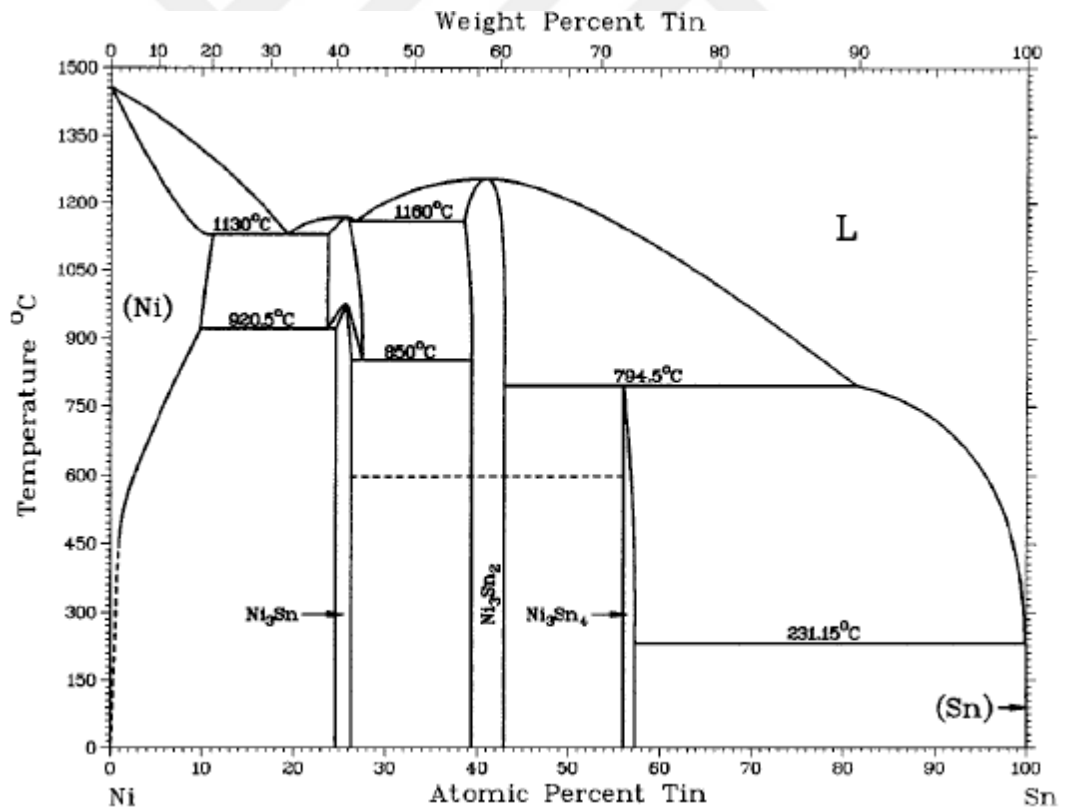
Şekil 5.2 Cu-Sn İkili faz diyagramı[34]



Şekil 5.3. Co-Cu İkili faz diyagramı [34]



Şekil 5.4. Cu-Sn-Ni Üçlü faz diyagramı [35]



Şekil 5.5. Ni-Sn İkili faz diyagramı[35]

Şekil 5.3'te Cu-Sn ikili denge diyagramı, Şekil 5.4'te Co-Cu ikili denge diyagramı, Şekil 5.5'de Cu-Sn-Ni üçlü denge diyagramında çalışılan deney malzemesinin yeri ve fazları belirtilmiştir. Deneylerde sinterleme sıcaklığı ve yeniden kristalleşme sıcaklığı bu diyagramlardan yararlanılarak belirlenmiştir.

5.3. Numunelerin Üretim Aşamaları

5.3.1. Metal Toz Oranlarının Belirlenmesi

Numuneler 10x10x40 boyutlarında üretilmiştir. Bunun için Tablo 5.2'de belirlenen oranlarda üretimin yapılması amacıyla için dört farklı grupta (A, B, C, D) numune toz hazırlığı yapılmıştır (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).



Şekil 5.6. Oransal olarak tozların hazırlanması



Şekil 5.7. Numune toz hazırlığı

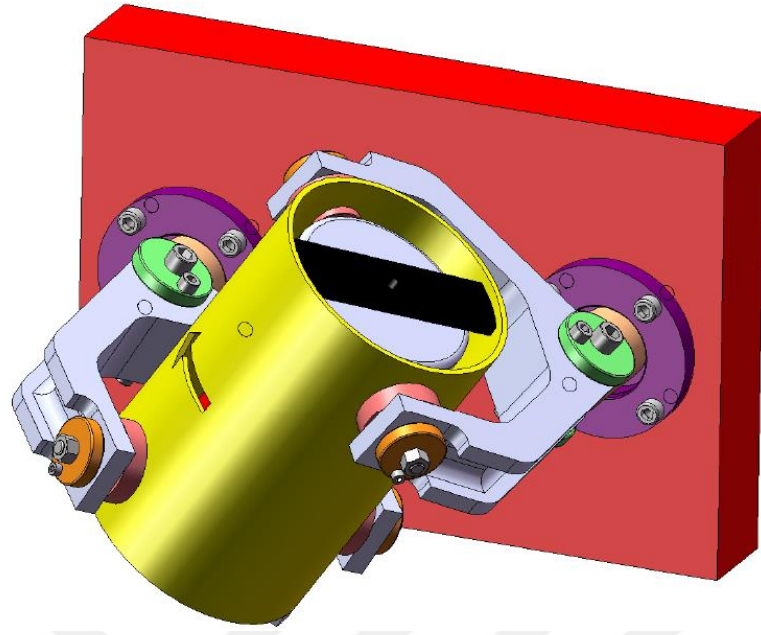
85/15 Bronzuna ilave edilerek üretilecek olan farklı oranlarda ki tozların sıcak preslenme öncesi belirli bir boyutta, mevcut profil yapısını koruyarak çalışılabilmesi için karışıma üretilecek kompozite %1 oranında Polietilen Glikol bağlayıcısı ilave edildi (Şekil 5.8)



Şekil 5.8 Bağlayıcının hazırlanması

5.3.2. Tozların Karıştırılması

Üretilmesi amaçlanan 85/15 bronz alaşımlarına belli oranlarda Co ve Ni metal tozları ilave edilerek homojen bir karışım elde etmek amacıyla 88 tipi karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırıcı kapaklı toz hazneli ve 3 boyutlu dönebilen karıştırma mikserinden oluşmaktadır.(Şekil 5.9). Toz karıştırıcı tozların homojen karışabilmesi amacıyla 360 derece tur ile her yöne dönebilmektedir. Böylece karıştırıcı mikser yardımıyla tozların birbiriyle iyice karışması sağlanır. Belli oranlarda hazırlanan numune oranları karıştırıcıda 20 dakika süreyle karıştırıldı. Homojen bir yapı elde edebilmek için karıştırma kovanına değişik çaplarda demir bilye ve zincir bırakıldı.

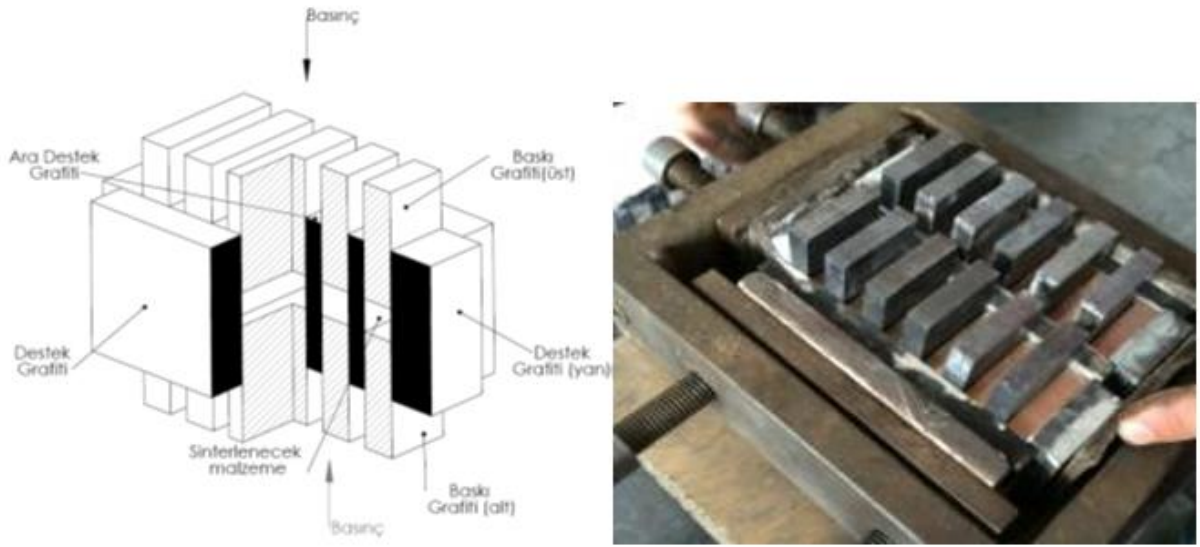


Şekil 5.9. Mikser tipi üç boyutlu dönebilen toz karıştırıcı

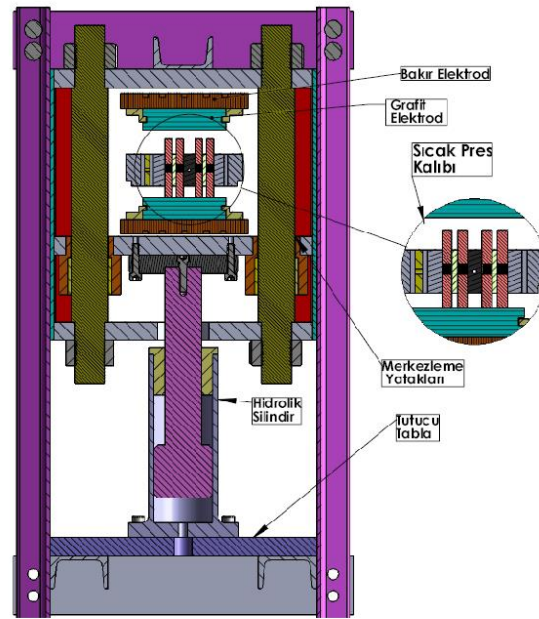
5.3.3. Kompozit Malzemelerin Sıcak Preslenmesi

Toz metalürjisiyle üretilen malzemelerde üretim aşamalarından preslenme ve sinterlenme işlemi bu çalışmamızda bu iki işlem aynı anda sıcak pres makinesinde yapılmıştır. Dolayısıyla çalışmamızın en önemli avantajı sıcak pres imalatı ile presleme ve sinterleme işleminin aynı anda yapılmış olmasıdır. Bu işlem için sıcak pres makinesi ve üretilecek numunelerin boyutlarına göre hazırlanmış grafit kalıp takımı gerekmektedir.

Bu çalışmada üretilecek numuneler sıcak preslenme makinesinin basınçlı hidrolik ünitesi vasıtasıyla sağlanmaktadır. Sıcak pres makinesi; bakır elektrod, grafit elektrod, sıcak pres kalıbı, hidrolik silindir ve tutucu tabladan oluşmaktadır. Çalışmada yapılacak sıcak presleme makinesi laboratuvar tipi olup, piyasada sıkça kullanılan endüstriyel tip sıcak preslerin tüm özelliklerine sahiptir. Bunlar, koruyucu gaz atmosferinde çalışma, basınç kontrolü, sıcaklık kontrolü, sıcaklık-zaman kontrolü, yirmi bir basamağa kadar işlem parametresi belirleme, işlem sıcaklığı ve anlık sıcaklığı gösterebilme ve 1400 °C sıcaklığa çıkabilme gibi özelliklerine sahiptir. Dolayısıyla makinede işlemler koruyucu gaz atmosferinde sinterleme işlemi yapılabilmektedir. Sıcak pres makinesi su soğutmalı olup, bakır elektrotlar kullanılarak sayesinde sürekli çalışabilme özelliğine sahiptir. Sıcak pres makinesinin sıcaklık ölçümü işlemleri termokapl güç ünitesine takılarak belirtilen sıcaklık ve sürelerde ısıtma gücünü kontrol edilebilmesini sağlamıştır.



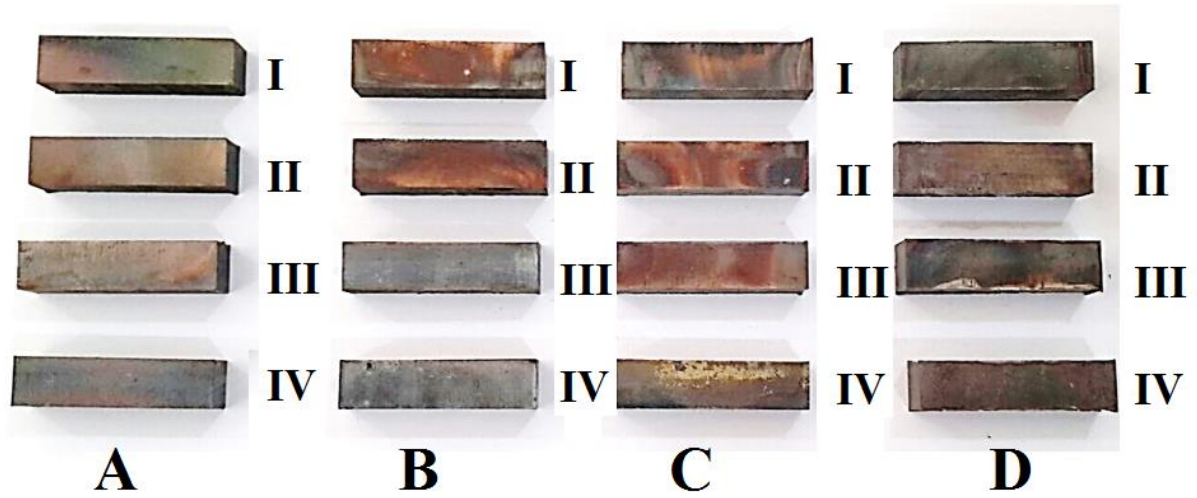
Şekil 5.10. Grafit kalıbın perspektif görünümü ve numunelerin sinterleme kalıbına alınması



Şekil 5.11. Sıcak pres makinesi

Çalışmada, ön preslemesi yapılan numuneler daha önceden hazırlanan grafit kalıplar içerisine alınarak sinterlemeye hazır hale getirildi. Sinterleme işleminin daha sağlıklı olabilmesi için grafit kalıp yağlayıcı ile yağlandı. Çalışmada kullanılan metal toz karışımının üzerinden elektrik akımı geçirilip ısıtılarak basınç altında sinterlenmesi için grafit kalıp yapılmıştır (Şekil 5.10). Bu kalıp baskı grafiti, ara destek grafiti, yan destek grafiti parçalarından meydana gelmiştir.

Sıcak presleme, ısı ve basıncın aynı anda uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Isı ve basıncın aynı anda uygulanması ile tüm boşlukların tamamı veya tamamına yakını giderilir. Tüm partiküller arasında oluşacak üniform bir akış ile bağ kuvvetlenir. Sıcak presleme metodu tek aşamalı bir süreç olduğundan oldukça hızlıdır ve endüstride yoğun olarak uygulanmaktadır. Numuneler Tablo 5.2’de gösterilen sinterleme değerlerinde, Şekil 5.10’daki sinterleme makinesi ile üretilmiştir. Sinterleme işlemi ilk yanmanın olduğu andan sonra vakum altında yapılmıştır (Şekil 5.11). Çalışmada üretilen numunelerin makro görüntüsü Şekil 5.12 verilmiştir.



Şekil 5. 12. Üretilen numune grupları

5.4. Mikroyapı İncelemeleri

Metalografik incelemeler için numunelerin yüzeyleri sırasıyla zımparalama ve sonrasında 3 μm 'lik elmas pasta ile demir dışı metal çuhasında parlatma işleminden geçirilmiştir. Hazırlanan numuneler, daha önce hazırlanmış dağlayıcılarda dağlama işlemine tabi tutulmuştur. (Tablo 5.3)

Tablo 5.3. Dağlayıcı formülü

Dağlayıcı Formülü	
20 ml	HNO_3
10 ml	H_2SO_4
20 ml	H_2O

Mikroyapı incelemelerinin optik mikroskop çekimlerinde; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ndeki Nikon Eclipse MA

200 marka optik mikroskobu kullanılmıştır. SEM ve EDS Analizleri için Fen Fakültesi Fizik Bölümü Laboratuvarındaki Görüntüleme cihazı kullanılmıştır.

5.5. SEM ve EDS Analizleri

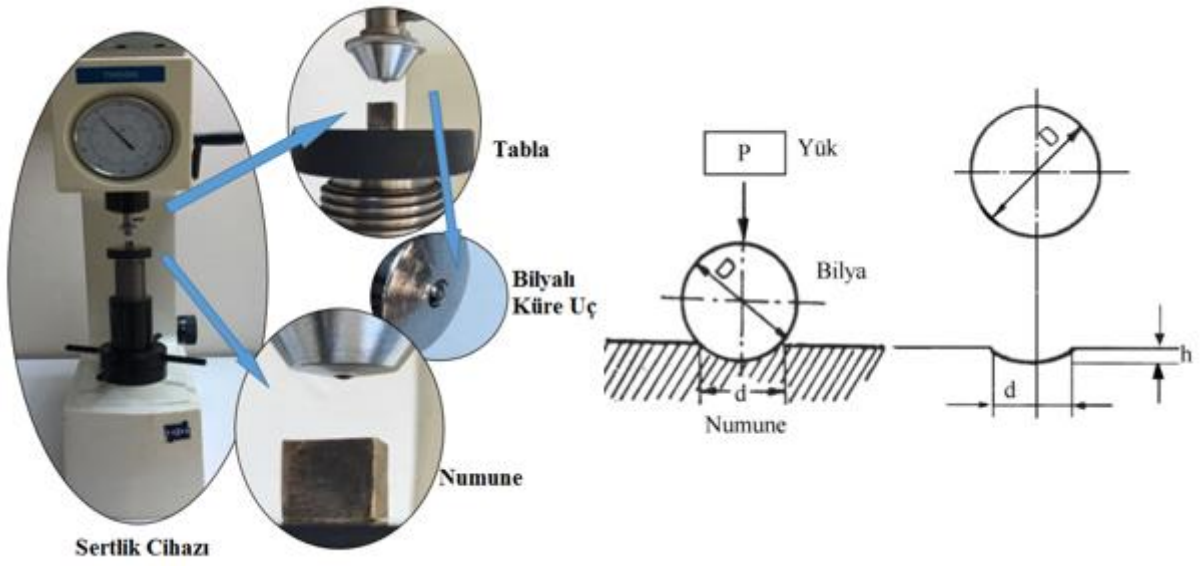
Matris malzemesinin araştırılması ve üretilen numuneler içerisindeki kompozisyonların bileşiminin tespiti için EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler için Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Laboratuvarındaki taramalı elektron mikroskobu (Şekil 5.13) kullanılarak EDS ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.13. Taramalı elektron mikroskobu inceleme grubu

5.6. Sertlik Ölçümleri

Numunelerin sertlik ölçümleri ise Şekil 5.14’de verilen Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü’ndeki “Emcotest Dura Scan” marka makro sertlik cihazıyla cihazında 62,5 kg yük ve 2.5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği brinell cinsinden ölçülmüştür. Numunelerin sertlik değerlerinin ölçümleri her bir numunenin bir yüzeyinden 5 tane brinell sertlik alınarak bu sertliklerin ortalama brinell sertlik ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Sertlik ölçümlerinde brinell (HB) sertlik yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5.14. Brinel sertlik ölçüm cihazı şematifi

5.7. Yoğunluk Hesaplama

Sıcak presleme yöntemiyle üretilen numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır. Yoğunluk ölçümleri Şekil 5.15’de görülen AD-1653 marka yoğunluk ölçüm kiti ile ölçülmüştür. Numunelerin önce havadaki ağırlığı, daha sonra ise su içerisindeki ağırlıkları ölçülmüş ve yoğunluk ölçüm kiti ile yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan formül (Eşitlik 5.1) yardımıyla deneysel yoğunlukları belirlenmiştir. Deneysel yoğunlukları belirlenen bu numunelerin Eşitlik 5.2’ de gösterilen formül yardımıyla teorik yoğunlukları hesaplanmıştır [36] .



Şekil 5.15. Hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti

$$\rho = \frac{W}{G.Rho} (g/cm^2) \quad (5.1)$$

ρ :Yoğunluk (gr/cm³)

W:Numunenin havadaki ağırlığı (gr)

G:Numunenin su içindeki ağırlığı (gr)

Rho: Suyun sıcaklığına göre katalogdan alınan değer (gr/cm³)

$$\text{Teorik yoğunluk} = (\text{Bronz} \times \rho_{\text{Bronz}}) + (\text{Co} \times \rho_{\text{Co}}) + (\text{Ni} \times \rho_{\text{Ni}}) + (\text{Bağ.} \times \rho_{\text{polietilenglikol}}) \quad (5.2)$$

Bronz, Co, Ni, Bağ.: Bileşenlerin ağırlıkça oranları

$\rho_{\text{Bronz}} : 8.9 (g/cm^3)$,

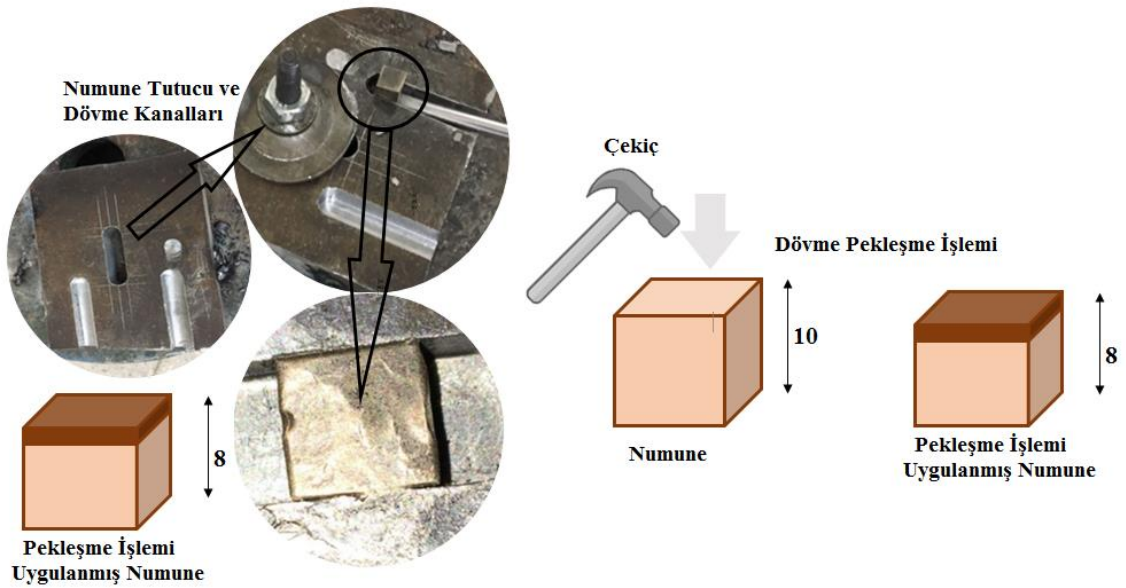
$\rho_{\text{Co}}: 8.9 (g/cm^3)$,

$\rho_{\text{Ni}} : 8.9 (g/cm^3)$,

$\rho_{\text{polietilenglikol}}: 1,1239 (g/cm^3)$

5.8. Pekleşme Deneyi

Pekleşme veya soğuk deformasyon sertleştirme ve plastik deformasyon bir metal güçlendirilmesi yöntemidir. Bu işlem dislokasyon hareketleri nedeniyle malzemenin kristal yapısı içinde oluşur. Bu şekilde sertleştirme, metaller ve alaşımlar gibi birçok malzemelere uygulanabilir. Pekleşme numuneleri 10x10x10 mm boyutlarında hazırlanıp dövülmüştür. Dövme işlemi 10 kg çekiç kullanılarak %20 oranında şekil değiştirme sağlanacak şekilde gerçekleştirilmiş ve numune boyutları 10 mm'den 8 mm'ye indirilmiştir. Şekil 5.16'da pekleşme deneyinin şematik yapılışı görülmektedir. İşlem Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Mekanik Atölyesi'nde yapılmıştır.



Şekil 5.16. Pekleşme işlemi şematik görüntüsü

5.9. Yeniden Kristalleşme

Pekleşme ile sertleştirmiş malzemelere veya plastik deformasyon güçlendirilmesi yapılmış malzemelerin dislokasyon hareketinin zorlaşması, metallerin özellikle demir dışı metallerin sertlik ve mukavemetine artmasına neden olur. Dolayısıyla dislokasyon sıkışması elektron hareketinin zorlaşması da alaşımlarda elektriksel iletkenliğin azalmasına neden olur. Bu olumsuzluğun giderilmesi için bu tip malzemelerin içyapılarının yeniden düzenlenerek mevcut özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Bunun için soğuk deforme edilen malzemelere yeniden kristalleşme sıcaklığının ($T_e/3$) üzerinde bir sıcaklık aralığında tavlama işlemi uygulanır [38]. Şekil 5.17.'de yeniden kristalleşme tavı işleminde kullanılan, Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Isıl İşlem Atölyesi'nde ki atmosfer korumalı fırın görülmektedir. Pekleşme deneyi 85/15 bronzun ergime derecesi olan $T_e/3$ değerinde 5 saat süre bekletilerek yapılmıştır (Şekil 5.17). 85/15 Bronzunun ergime derecesi faz diyagramı vasıtasıyla yaklaşık 880 °C civarında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yeniden kristalleşme sıcaklığı olarak 300 °C belirlenmiştir.



Şekil 5.17. Pekleşme sonrası yeniden kristalleşme işlemi

5.10. Elektrik İletkenliği Deneyi

Bu çalışmada 85/15 bronz alaşımlarına belli oranlarda Co ve Ni katılarak üretilen numunelerin, pekleştirilen numunelerin ve yeniden kristalleşme tavı uygulanan numunelerin elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde ulaşılan sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Doğru akım kullanılarak yapılan iletkenlik ölçümlerinde “Keithley 4200-SCS Semiconductor Characterization” markalı ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Bu ölçüm cihazı kullanılarak oda sıcaklığındaki direnç değerleri ölçülmüş ve birinci denklem yardımıyla da öziletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca numunelerin % IACS (International Annealed Copper Standart) değerleri de hesaplanmıştır. % IACS değeri, tam yoğun tavllanmış saf bakırın öziletkenliğinin % 100 kabul edilmesi ile yapılan iletkenlik ölçüm standardı olup %100IACS=58 MegaSiemens/metre (MS/m)“ dir. Dolayısı ile numunelerin %IACS değerleri; ikinci denklem yardımı ile hesaplanmıştır [37].

$$\sigma = \frac{R.L}{A} \quad \sigma = \left(\frac{l}{v}\right) \cdot \left(\frac{d}{A}\right) \quad A = \pi r^2 \quad (5.3)$$

Bu formülde (5.3) d= 0.4cm (iki probe arası mesafe) A= alan (πr^2) R= 0.5mm (Probenin çapı) olarak verilmiştir.

$$\%IACS = \frac{\text{Öziletkenlik} \left(\frac{m}{\Omega \times mm^2} \right) \times 100}{58} \quad (5.4)$$

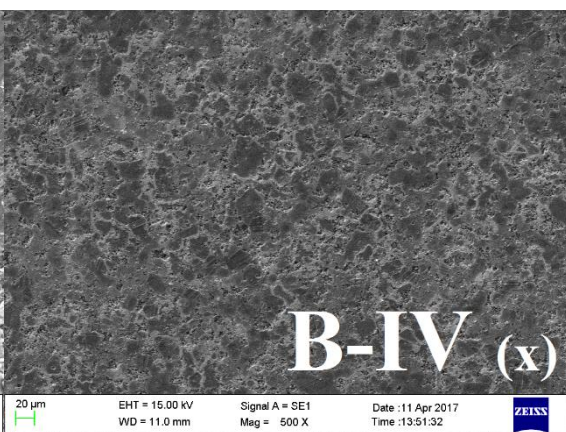
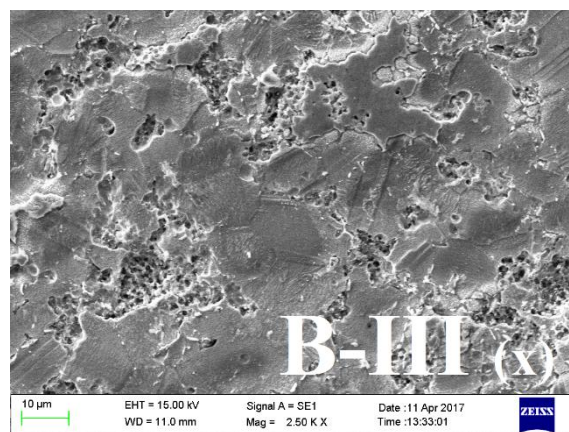
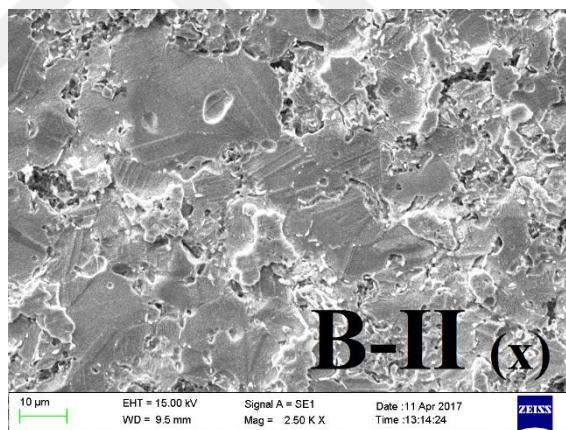
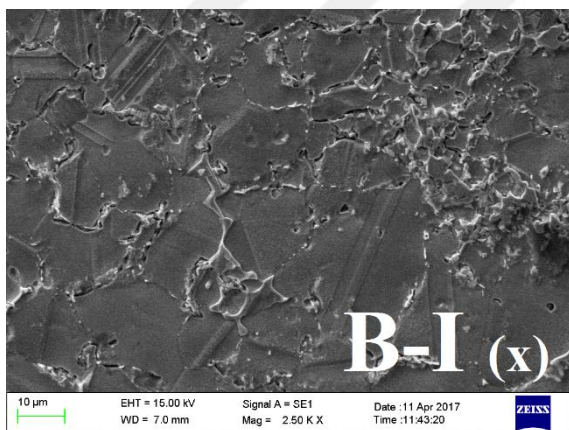
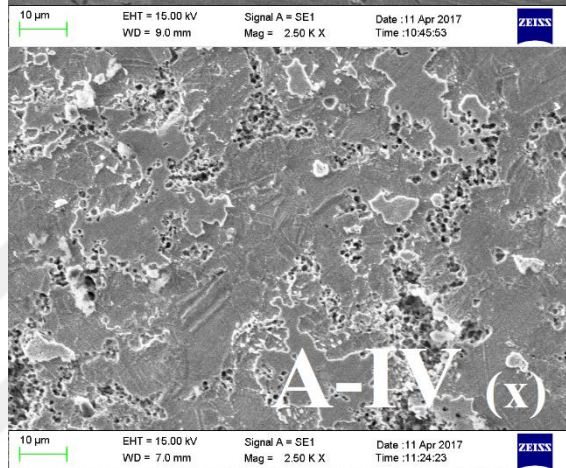
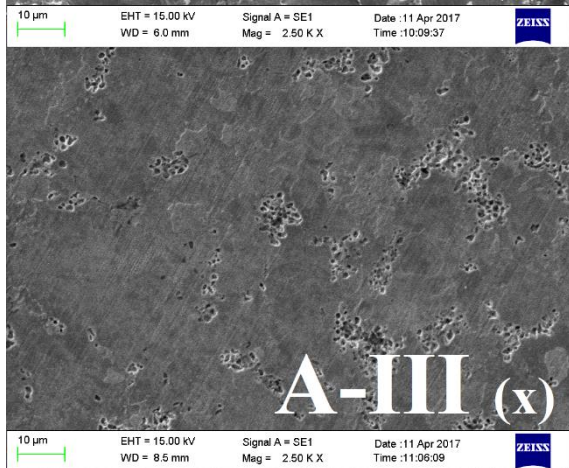
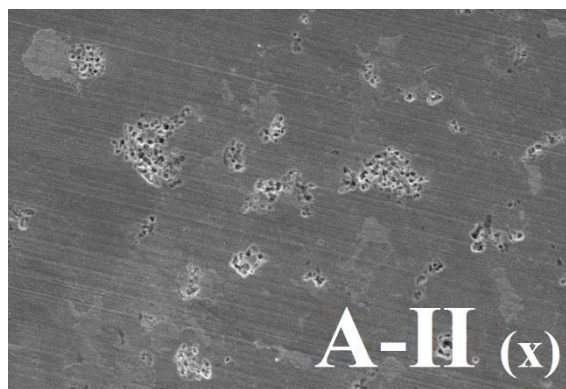
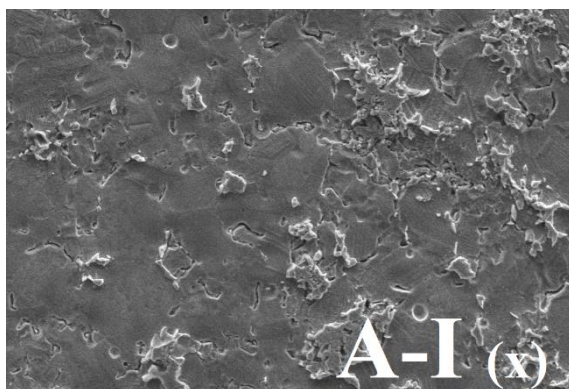
Bu denklemde(5.4), σ : Öziletkenliği ($m / \Omega \times mm^2$), R: Direnci (ohm), L: Numune kalınlığını (m) ve A: tesir kesit alanını (mm^2) temsil etmektedir.

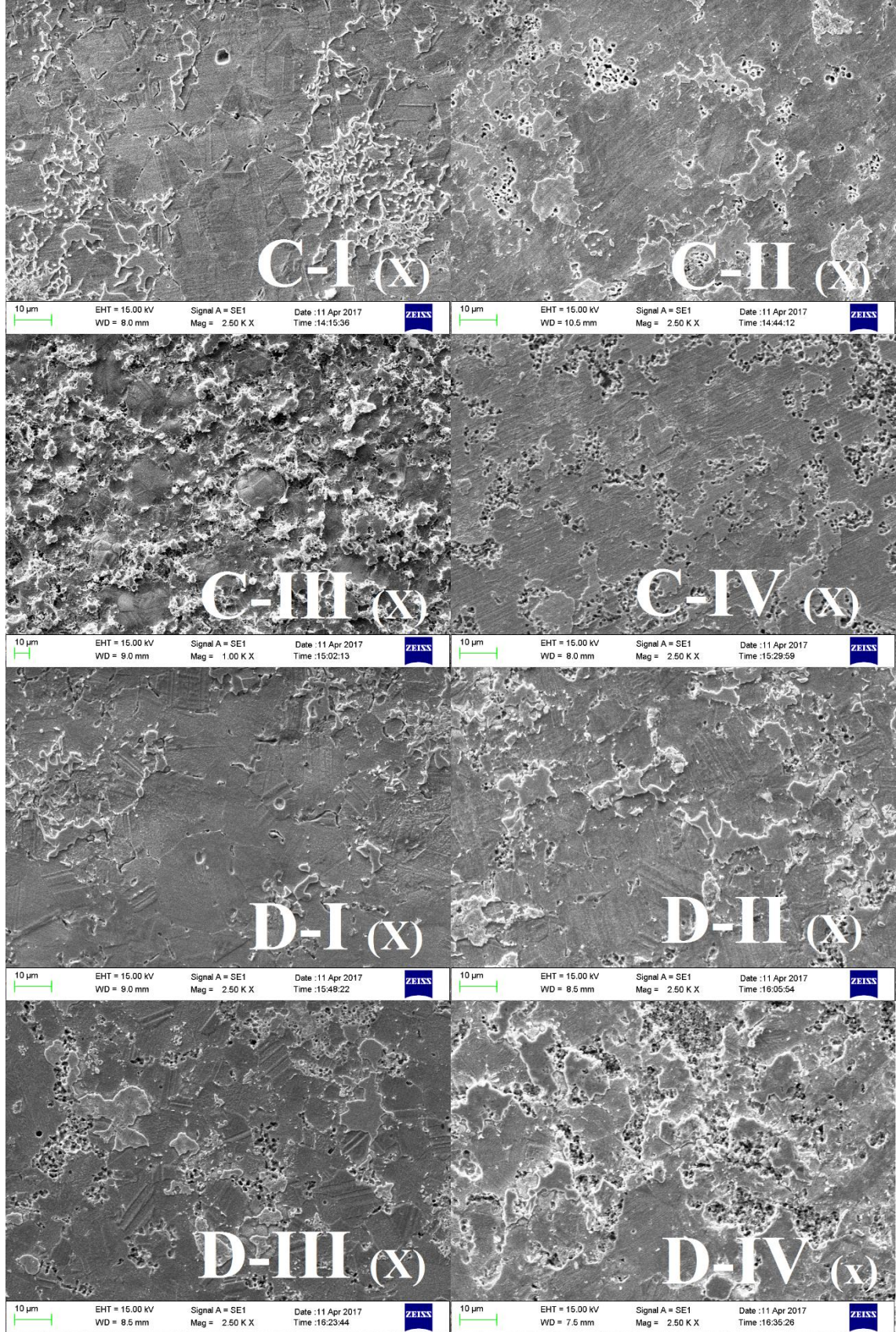
6. DENEY SONUÇLARI

6.1. Numunelerin Pekleşme Öncesi Mikro Yapı ve Değerlendirmeleri

85/15 bronz ilaveten %3 Ni ve sırasıyla % 0-5-10-15 Co ilavesine sahip numunelerin sıcak presleme sonrası mikroyapıları Şekil.6.1’de gösterilmiştir. Bu grup numuneler resimleri de “x” indisiyle gösterilmiştir. Aynı zamanda I ve II nolu numuneler 20 MPa basınçta preslenmiş, III ve IV nolu numunelerde 30 MPa basınçta preslenmiştir. Aynı şekilde I ve III nolu numuneler 700 °C’de II ve IV nolu numunelerde 800 °C’de sinterlenmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde bütün numunelerde üretim parametrelerine uygun şekilde yapılar oluştuğu tesbit edilmiştir. Basınç ve sıcaklığın artmasıyla daha homojen bir dağılım gözlemlenmiştir. Tane yapısı daha belirginleşmiştir. Resimler verilirken boyutsal mikroyapısal değişikliği görebilmek ve değerlendirme yaparken zenginlik ve farkındalık oluşturmak için 500x, 1000x ve 2500x büyütme boyutlarında SEM yapıları kullanılmıştır.

Mikroyapılar incelendiğinde Ni ilavesine bağlı olanlar A grubu numunelerinde sıcaklık ve basıncın artışıyla tane yapısı daha belirginleşmiştir. Aynı şekilde Co ilavesinin B, C ve D gruplarında ise bu durum daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Co miktarı arttıkça tane sınırlarında farklı yapılar görülmektedir. Co’ın tane sınırlarında biriktiği düşünülmektedir. Mikroyapıların hemen hemen tamamında 85/15 bronzundan kaynaklanan bakır ikizleşme yapısı ve çizgileri mevcuttur. Bilindiği gibi ikizlenme düşük sıcaklık ya da yüksek deformasyon hızlarında meydana gelen plastik şekil değiştirme mekanizmasıdır. Kübik hacim merkezli W, α -Fe ve pirinç, hegzagonal sıkı paketli Mg ve Zn gibi metallerde düşük sıcaklık veya yüksek deformasyon hızlarında meydana gelir. Ancak en çok da kübik yüzey merkezli Al, Cu, Ag gibi yapılarda görülür[38]. Bu metallerde de uygulanan soğuk deformasyondan sonra yapılan tavlama işlemlerinde görülmeye başlar. Dolayısıyla ürettiğimiz numunelerin mikroyapılarında da üretim parametresine bağlı olarak ikizlenme soğuk deformasyon sonrası ve sonrasında ki sıcak preslenmeye bağlı olarak oluşmuştur. Üretim parametrelerimizin 20 MPa ve 30 MPa olduğu düşünülerek ve sinterlenme yani sıcak preslenmede uygulanan sıcaklık değerleri olan 700 °C ve 800 °C gibi sıcaklıklarında 85/15 bronz alaşımının ergime derecesinin altında olmasından dolayı bu ikizlenme çizgilerinin oluşması beklenen bir durumdur.





Şekil 6.1. Numunelerin pekleşme öncesi mikro yapıları

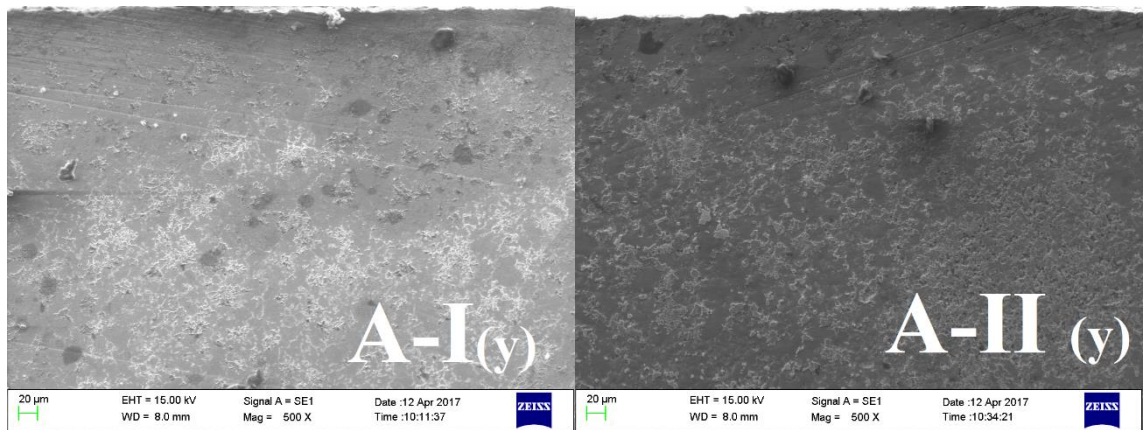
6.2. Numunelerin Pekleşme Sonrası Mikro Yapı ve Değerlendirmeleri

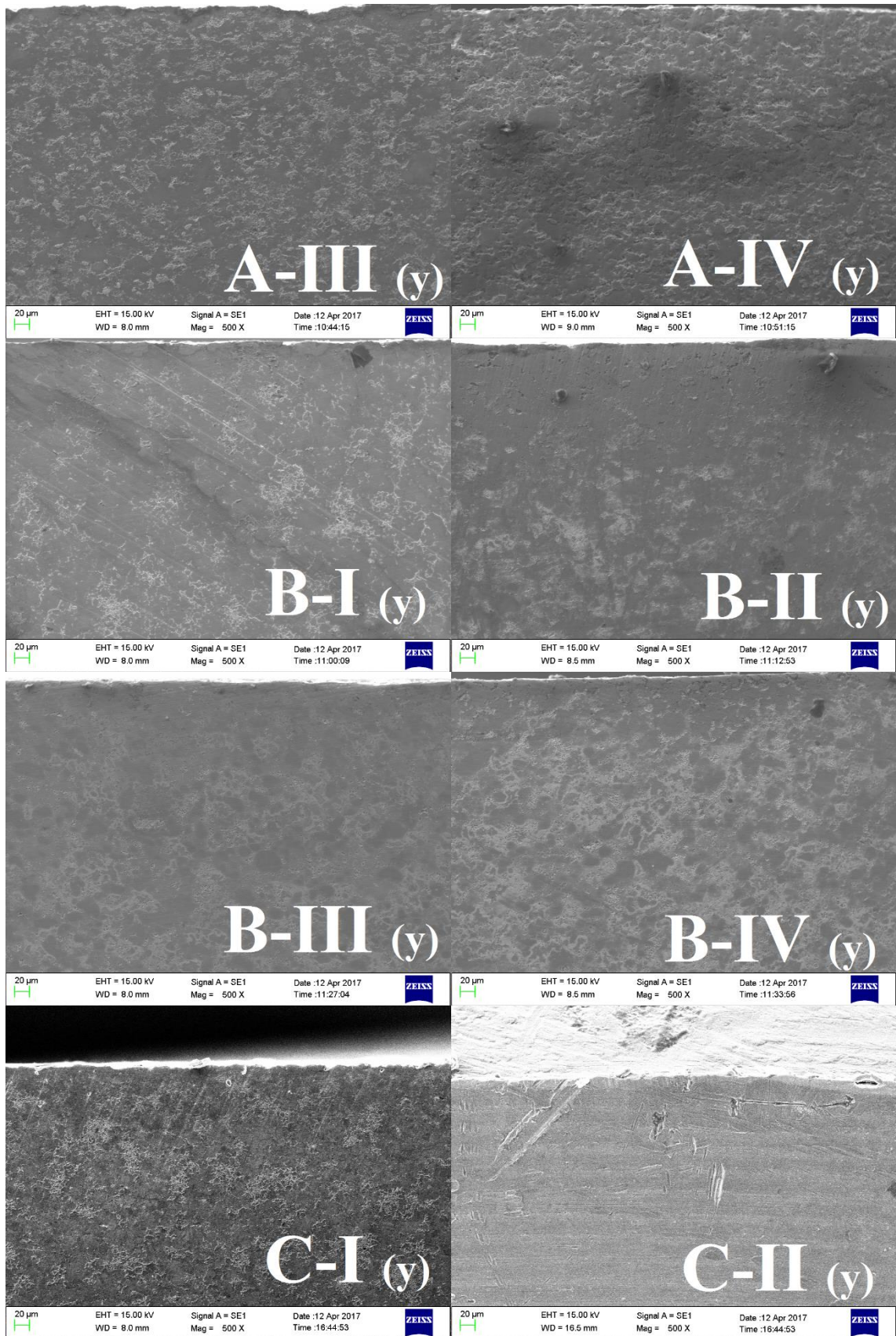
85/15 bronz ilaveten %3 Ni ve sırasıyla % 0-5-10-15 Co ilavesine sahip numunelerin %20 küçülme şeklinde ki pekleşme sonrası mikroyapıları Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Bu grup numuneler resimleri de “y” indisiyle gösterilmiştir. Aynı zamanda I ve II nolu numuneler 20 MPa basınçta preslenmiş, III ve IV nolu numunelerde 30 MPa basınçta preslenmiştir. Aynı şekilde I ve III nolu numuneler 700 °C’de II ve IV nolu numunelerde 800 °C’de sinterlenmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde bütün numunelerde üretim parametrelerine uygun şekilde yapılar oluştuğu tespit edilmiştir. Homojen dağılmış yapılar görülmektedir. Gerek basınç ve gerekse sinterlenme sıcaklığının artışıyla bu durum bu durum açık şekilde görülmektedir. Resimler verilirken boyutsal mikroyapısal değişikliği görebilmek ve değerlendirme yaparken zenginlik ve farkındalık oluşturmak için 500x, 1000x ve 2500x büyütme boyutlarında SEM yapıları kullanılmıştır. Mikroyapılar incelendiğinde pekleşme uygulanan yüzeyden ve numune merkezinde herhangi bir çatlak görülmemektedir. Yalnız %15 Co ilaveli numunelerin pekleşme yüzeylerinde makro seviyede sayıca az da olsa çatlamlar oluştu. Bunun nedeninin de Co’nın tane sınırında yoğunca birikmesinden oluştuğu düşünülmektedir. Ancak imal edilen numunelerin bir alaşım değil de bir kompozit olduğu düşünülürse bu durumun böyle olması beklenmemektedir. Çünkü kompozit malzemede sadece partiküller arasında çok ince bir çizgide difüzyonla bağlanmış yapılar mevcuttur. Yani alaşım gibi üretiminin herhangi bir aşamasında; alaşımı oluşturan metallere en az birisinin sıvı faza geçmiş olması ilkesi sıcak presleme veya toz metalürjisi imalat üretim teknolojisinde mevcut değildir. Dolayısıyla; yani pekleşme sırasında uygulanan darbelerle 85/15 bronz ve Ni – Co takviye elemanlarının kompozit içinde oluşturdıkları bağ yapısında bir değişime sebep olması beklenmektedir.

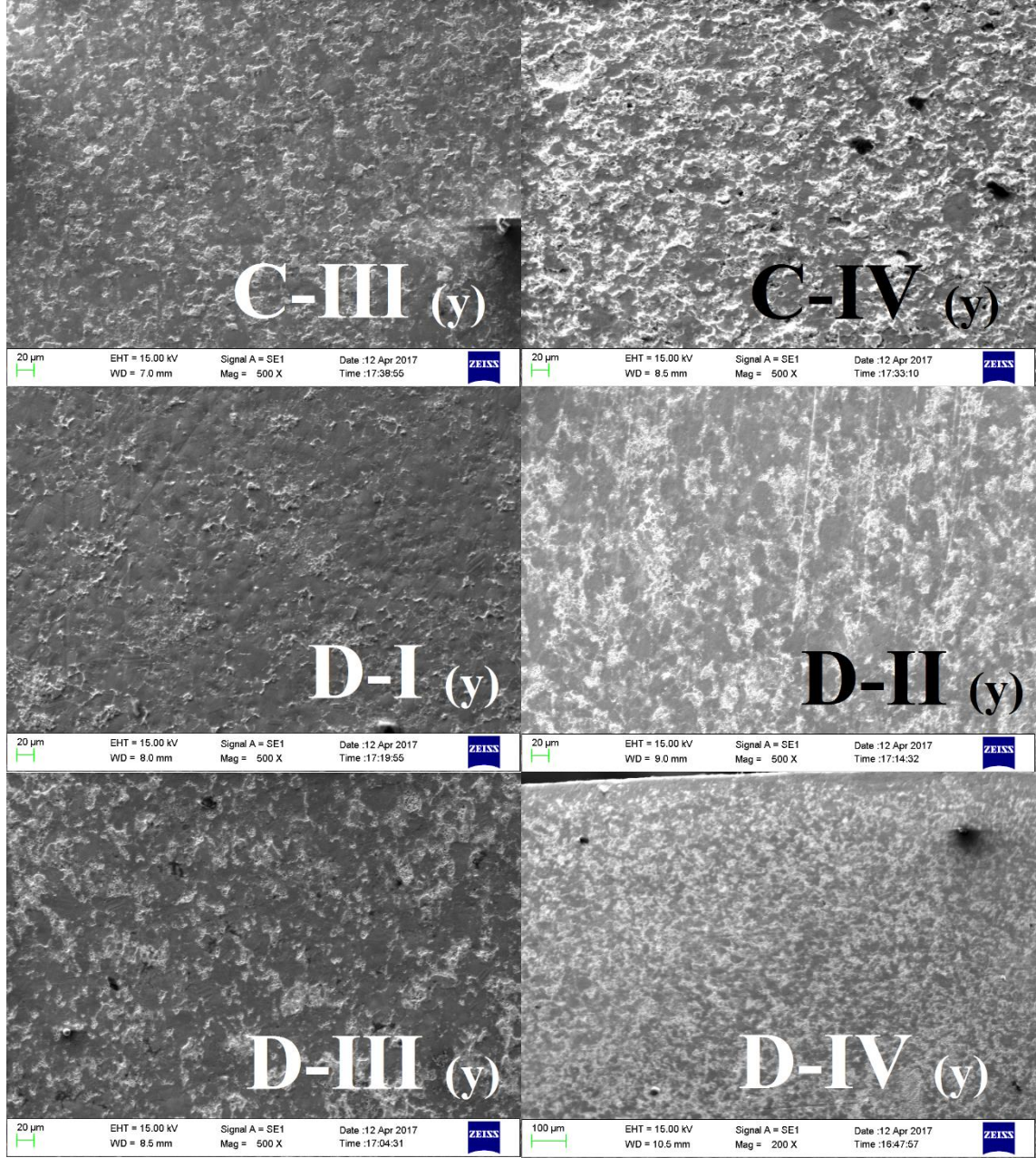
Resimler, numunelerin özellikle pekleşme uygulanan yüzeyinin olduğu yönden alınmaya özen gösterilmiştir. Bütün resimlerin üst yönü pekleşme yüzeyidir. Bütün numunelerin aynı metalografik incelenmeye tabi tutulduğu düşünülürse, yapılan incelenmede numunelerin pekleşen yönünde renk değişimi rahatlıkla görülmektedir. Pekleşme bir tabaka şeklinde oluşmuş numune boyunca devam etmemiştir. Pekleşme bölgesinde taneler daha sıkılanmış ve dövme yönüne dik doğrultuda tanelerde yönelme olduğu görülmektedir. Pekleşme etkisi makrosertlik değerlendirmesinde çok açık bir şekilde görülmektedir. Kübik yüzey merkezli Cu alaşımlarında pekleşme sonrası

distorsiyona uğramış kafes düzlemlerinde dislokasyon hareketi güçleşir. Bunun neticesinde plastik deformasyon zorlaşırken, sertlik ve mukavemet artar[38]. Bu şekilde meydana gelen bu deformasyon sertleşmesi mekanizması demir dışı metallerde kullanılan bir yöntemdir. İşte bu sebepten dolayı numunede sertlik meydana gelmiştir.

Mikroyapılar incelendiğinde Ni ilavesine bağlı olan A grubu numunelerde, özellikle tane sınırlarında birikmiş farklı yapılar görülmektedir. Aynı şekilde Co ilavesinin B, C ve D gruplarında ise bu durum daha açık bir şekilde ortaya çıkmakta ve görülmektedirler. Mikroyapıların hemen hemen tamamında 85/15 bronzundan kaynaklanan bakır ikizlenme yapısı ve çizgileri mevcuttur. Bilindiği gibi ikizlenme düşük sıcaklık ya da yüksek deformasyon hızlarında meydana gelen plastik şekil değiştirme mekanizmasıdır. Kübik hacim merkezli W, α -Fe ve pirinç, hegzagonal sıkı paketli Mg ve Zn gibi metallerde düşük sıcaklık veya yüksek deformasyon hızlarında ikizlenme meydana gelir. Ancak en çok da kübik yüzey merkezli Al, Cu, Ag gibi yapılarda görülür. Bu metallerde de uygulanan soğuk deformasyondan sonra yapılan tavlama işlemlerinde ikizlenme görülmeye başlar. Dolayısıyla ürettiğimiz numunelerin mikro yapılarında da üretim parametresine bağlı olarak ikizlenme soğuk deformasyon sonrası ve sonrasında ki sıcak preslenmeye bağlı olarak oluşmuştur. Üretim parametrelerimizin 20 MPa - 30 MPa basınçta ve sinterlenme yani sıcak preslenmede uygulanan sıcaklık değerleri de 700 °C - 800 °C gibi sıcaklıklarda, 85/15 bronz alaşımının ergime derecesinin altında olmasından dolayı bu ikizlenme çizgilerinin oluşması beklenen bir durumdur.







Şekil 6.2. Numunelerin pekleşme sonrası mikro yapısı

6.3. Yeniden Kristalleşme Sonrası Mikro Yapı ve Değerlendirmeleri

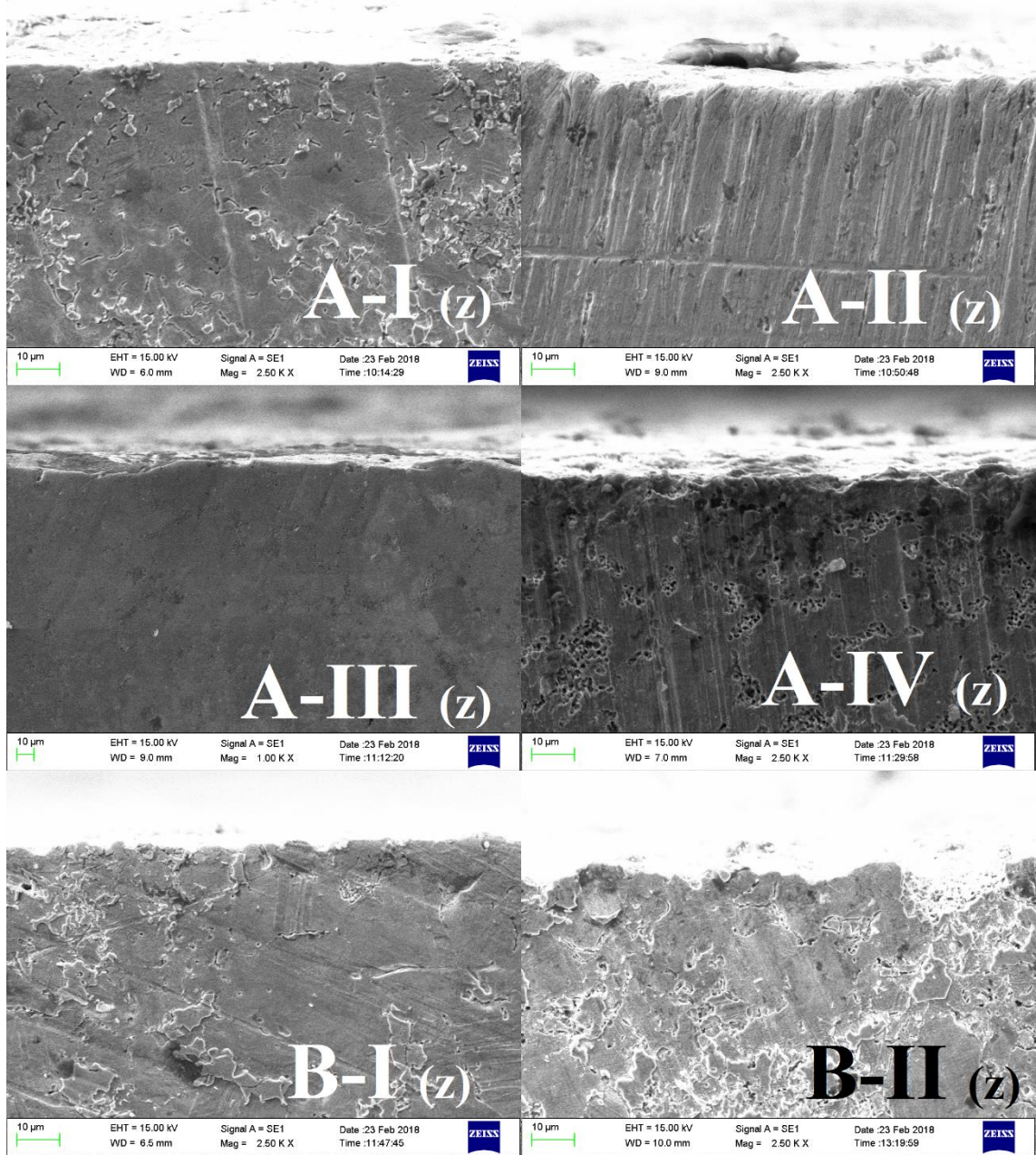
85/15 bronzla ilaveten %3 Ni ve sırasıyla % 0-5-10-15 Co ilavesine sahip numunelerin yeniden kristalleşme sonrası mikroyapıları Şekil 6,3’de gösterilmiştir. Bu grup numuneler resimleri de “z” indisiyle gösterilmiştir. Aynı zamanda I ve II nolu numuneler 20 MPa basınçta preslenmiş, III ve IV nolu numunelerde 30 MPa basınçta preslenmiştir. Aynı şekilde I ve III nolu numuneler 700 °C’de II ve IV nolu numunelerde 800 °C’de sinterlenmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde bütün numunelerde üretim

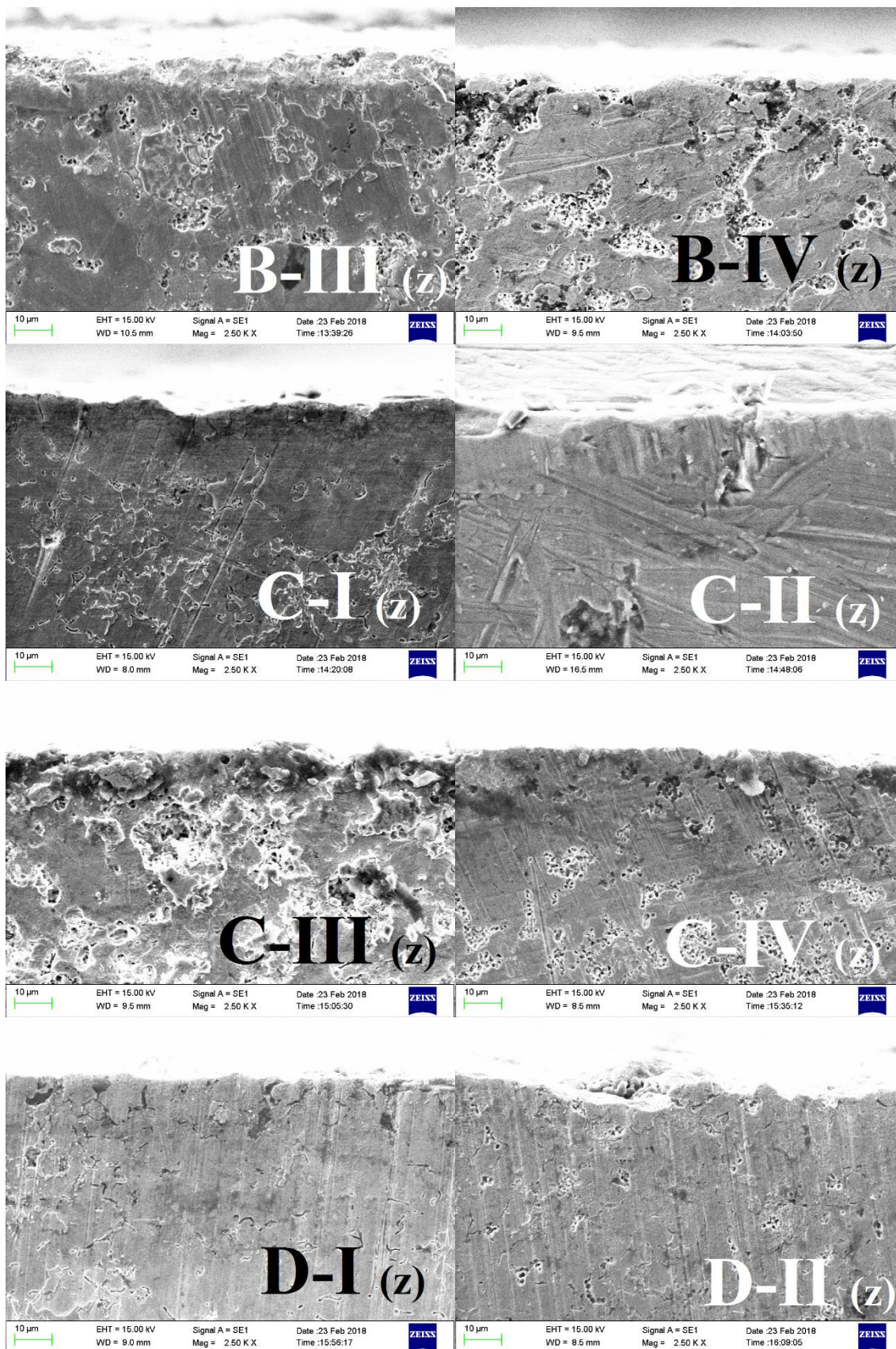
parametrelerine uygun şekilde yapılar oluştuğu tespit edilmiştir. Homojen dağılmış yapılar görülmektedir. Gerek basınç ve gerekse sinterlenme sıcaklığının artmasıyla bu durum açık şekilde görülmektedir. Resimler verilirken boyutsal mikroyapısal değişikliği görebilmek ve değerlendirme yaparken zenginlik ve farkındalık oluşturmak için 500x, 1000x ve 2500x büyütme boyutlarında SEM yapıları kullanılmıştır.

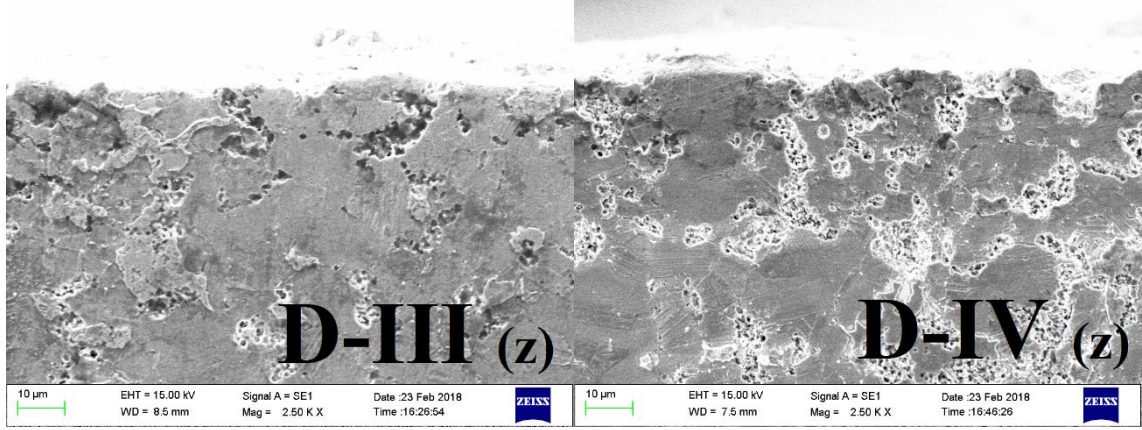
Resimler numunelerin özellikle pekleşme uygulanan yüzeyinin olduğu yönden alınmaya özen gösterilmiştir. Pekleşme sonrasında yeniden kristalleşmenin yeniden meydana gelebilmesi için en az %2 – 8 den daha yüksek oranda plastik deformasyona maruz kalması gerekir. Dolayısıyla bizim çalışmamızda da, Cu/Sn bronz alaşımı için %20 oranında ki plastik deformasyon sonrası yeniden kristalleşmenin başlaması beklenen bir durumdur. Yeniden kristalleşme için gerekli enerji büyük ölçüde deformasyon oranına bağlıdır. Yeniden kristalleşme, sıcaklığı değil sıcaklık aralığını ifade eder. Yeniden kristalleşme sıcaklığı ergime sıcaklığının 1/3'ü kadar olacak şekilde hesaplanır. Yeniden kristalleşmeden sonra pekleşme sonrası yapıda oluşan artık gerilmeler büyük ölçüde giderilir. Dolayısıyla deformasyon sertleşmesi azalır. Bu durum dislokasyon sayısının azalmasından kaynaklanır. Dislokasyonların düzelmesinden dolayı elektron hareketli kolaylaşarak alaşım halindeki malzemenin elektrik iletkenliği normale döner. Artık gerilmeler kalkar ve dolayısıyla gerilmelerden kaynaklanan çarpılmalar en aza iner [38]. Yeniden kristalleşme sonucu oluşan taneler, alaşımların üretimi esnasındaki ilk tane yapısına döner. Ancak bu durum kompozit malzemede değerlendirilirken mikro büyüklükteki partiküller arasında oluşan difüzyon noktaları için değerlendirilebilir. Çünkü bizim çalışmamızda ki numuneler alaşım değil kompozittir. Her ne kadar yoğunluk dereceleri alaşım hali kadar iyi olmuş olsa da taneler arası bağ yapısı için aynı durum söz konusu değildir ve olamaz.

Mikroyapılar incelendiğinde Ni ilavesine bağlı olan A grubu numunelerde özellikle tane sınırlarında birikmiş farklı yapılar görülmektedir. Aynı şekilde Co ilavesinin B, C ve D gruplarında ise bu durum daha açık bir şekilde ortaya çıkmakta ve görülmektedirler. Mikroyapıların hemen hemen tamamında 85/15 bronzundan kaynaklanan bakır ikizlenme yapısı ve çizgileri mevcuttur. Yeniden kristalleşme sonrasında, pekleşmeden kaynaklanan partikül - tane yönelmeleri üzerindeki artık gerilmeler kalkmış ve tanelerdeki bu eş yönelmiş yapılar toparlanarak eski hallerine dönmeye çalışırlar. Bu mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında (Şekil6.3) pekleşme etkisinin kalktığı ve tekrar tane yapılarının

oluştugu gör÷lmektedir. Taneler arasında Co ilavesinin artmasina baēlı olarak oluşan mikroyapısal deēiřimler rahatlıkla ayırt edilmektedir. Bu toparlanma durumu numunelerde ki sertlik ve iletkenlik deēerlerinin deēiřmesiyle de aēıkēa gör÷lmektedir.



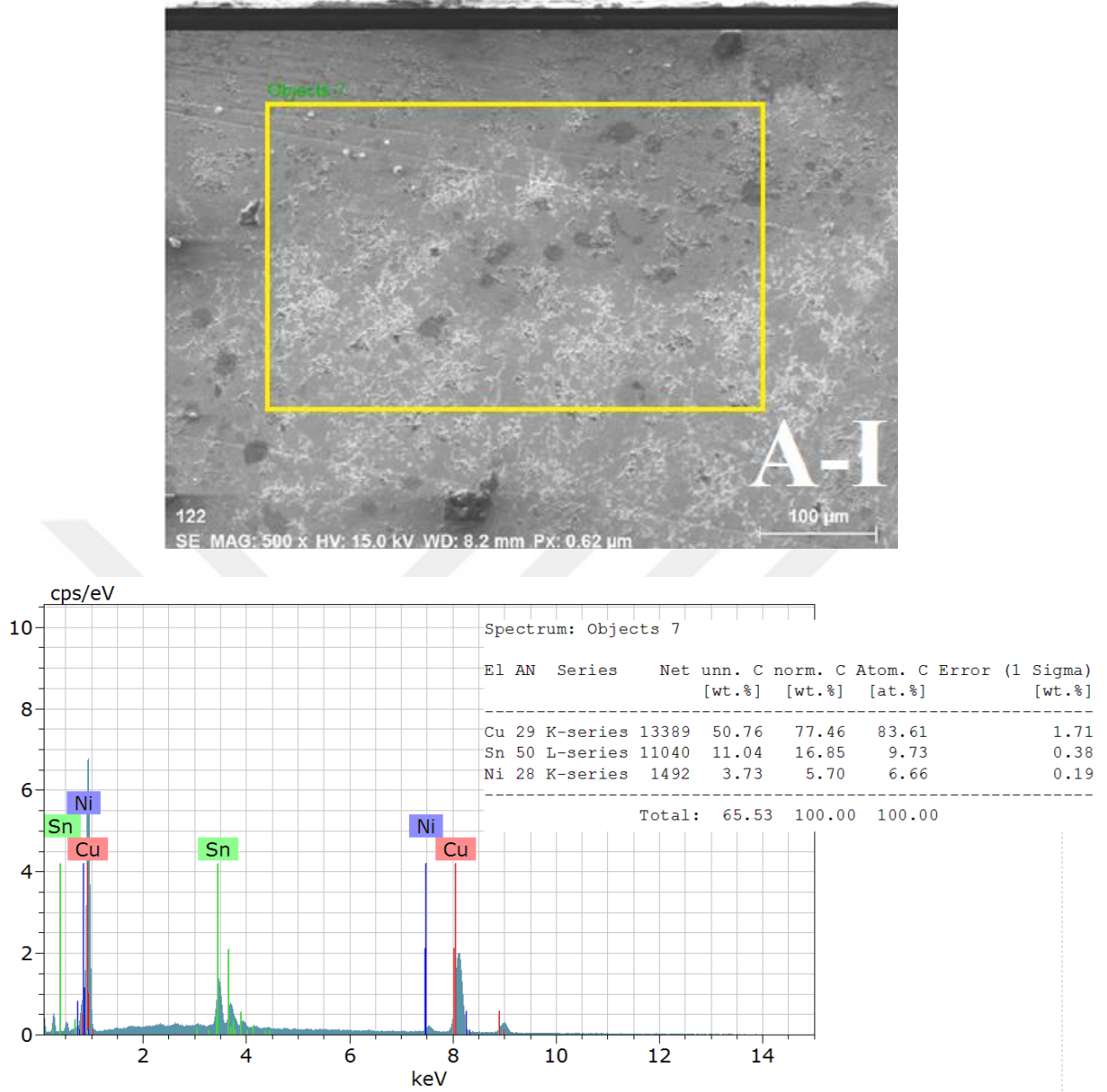




Şekil 6.3. Numunelerin yeniden kristalleşme sonrası mikro yapıları

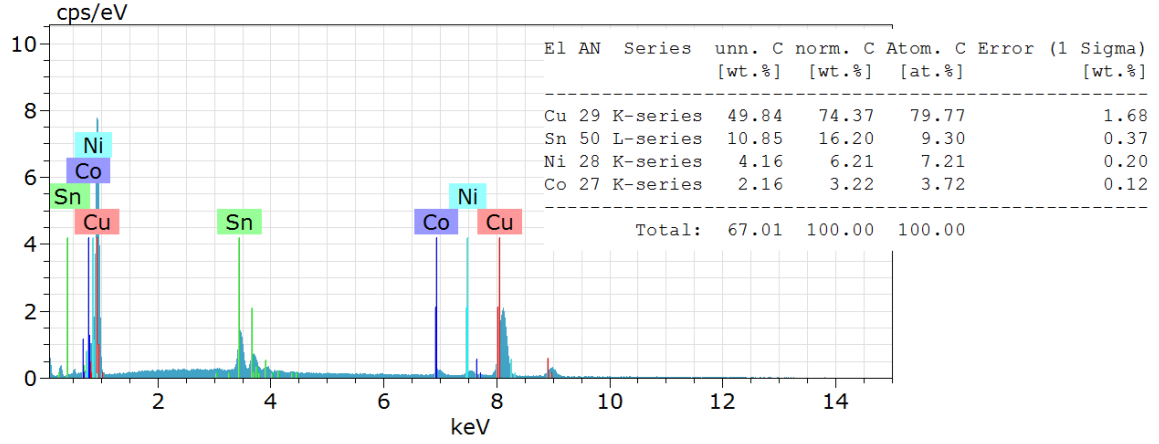
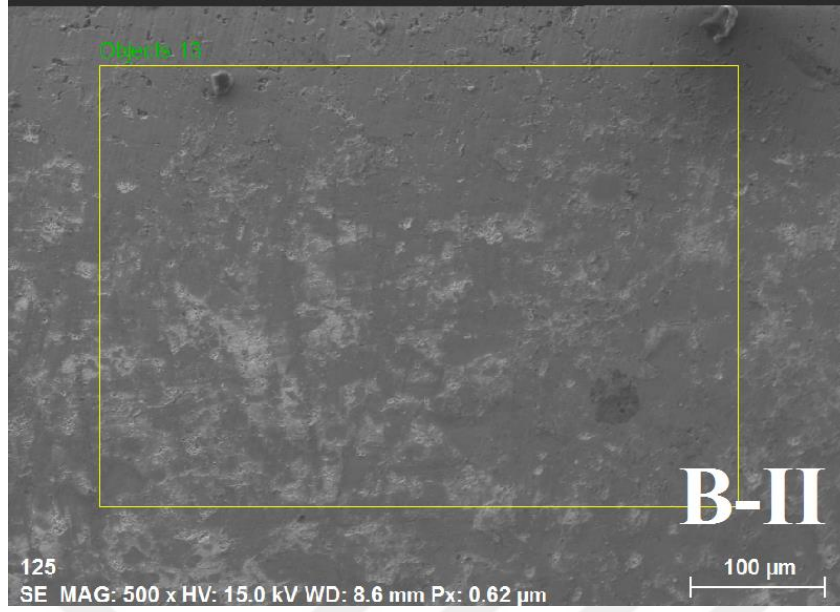
Numunelerin EDS analizleri her bir gruptan sadece bir tanesinden ve numunenin ilk üretim aşamasından analiz alınmıştır. Şekillerde A-I, B-II, C-III ve D-IV numunesinden alınan ESD analizi sonuçları verilmiştir. Böyle seçmemizin sebebi örneğin A grubu numunelerin tamamının aynı elementlerden oluşmasıdır. Görüldüğü gibi analizlerde kompoziti oluşturan elementler tespit edilmiştir. Bütün analizler bölgesel alınmıştır. Mikro yapı fotoğraflarında görüldüğü gibi, sıcaklık ve basınç arttıkça daha homojen bir dağılım gözlenmiştir. Sıcaklık ve basıncın artmasına bağlı olarak metal tozlarının difüzyonunun gerçekleştiği söylenebilir. Numunelerde kompoziti oluşturan elementler % ağırlıkça hesaplanarak belirlenmiştir.

A-I numunesi EDS Analizi; 20 MPa 700 °C sıcaklık 85/15 Bronz- %3 Ni - % 0 Co içeren numunenin EDS sonuçları Şekil 6.4’de görülmektedir. Görüldüğü gibi analizlerde kompoziti oluşturan elementler tespit edilmiştir. Cu oranı % 83,61; Sn oranı %9,73; Ni oranı 6,66’dır. A-I numunesinde Co elementi yoktur.



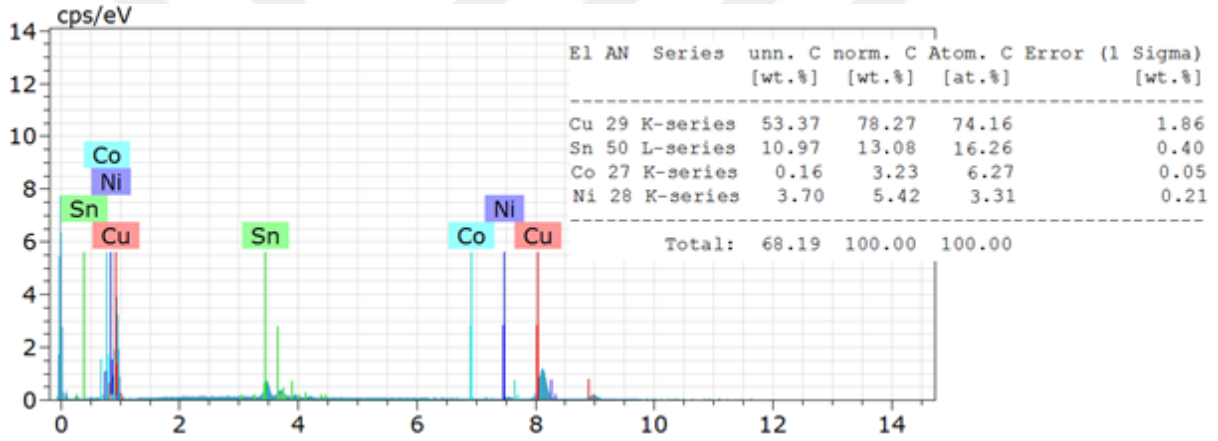
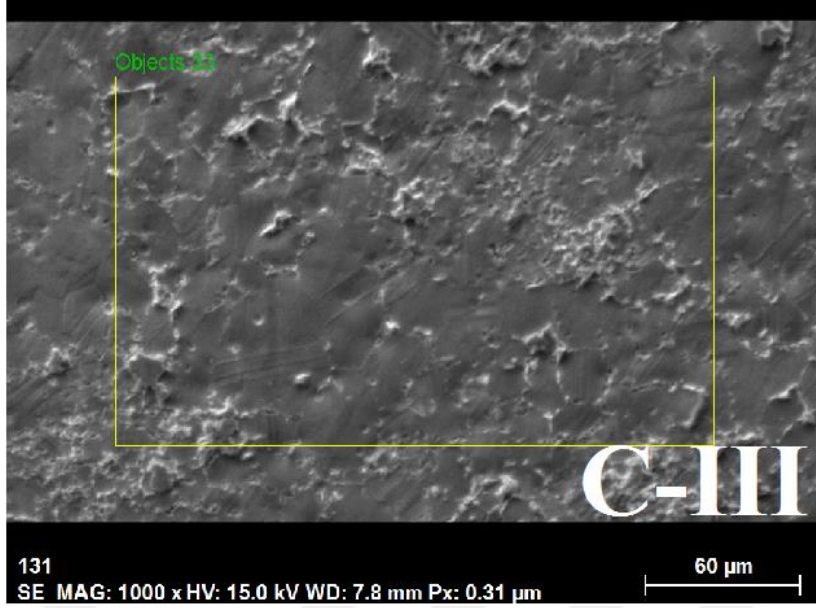
Şekil 6.4. A-I numunesi EDS analizi

B-II numunesi EDS Analizi; 20 MPa - 800 °C sıcaklık 85/15 Bronz- %3 Ni - %5 Co içeren numunenin EDS sonuçları Şekil 6.5’de görülmektedir. Görüldüğü gibi analizlerde kompoziti oluşturan elementler tespit edilmiştir. Cu oranı % 79,77; Sn oranı %9,30; Ni oranı 7,21; Co oranı 3,72’dir.



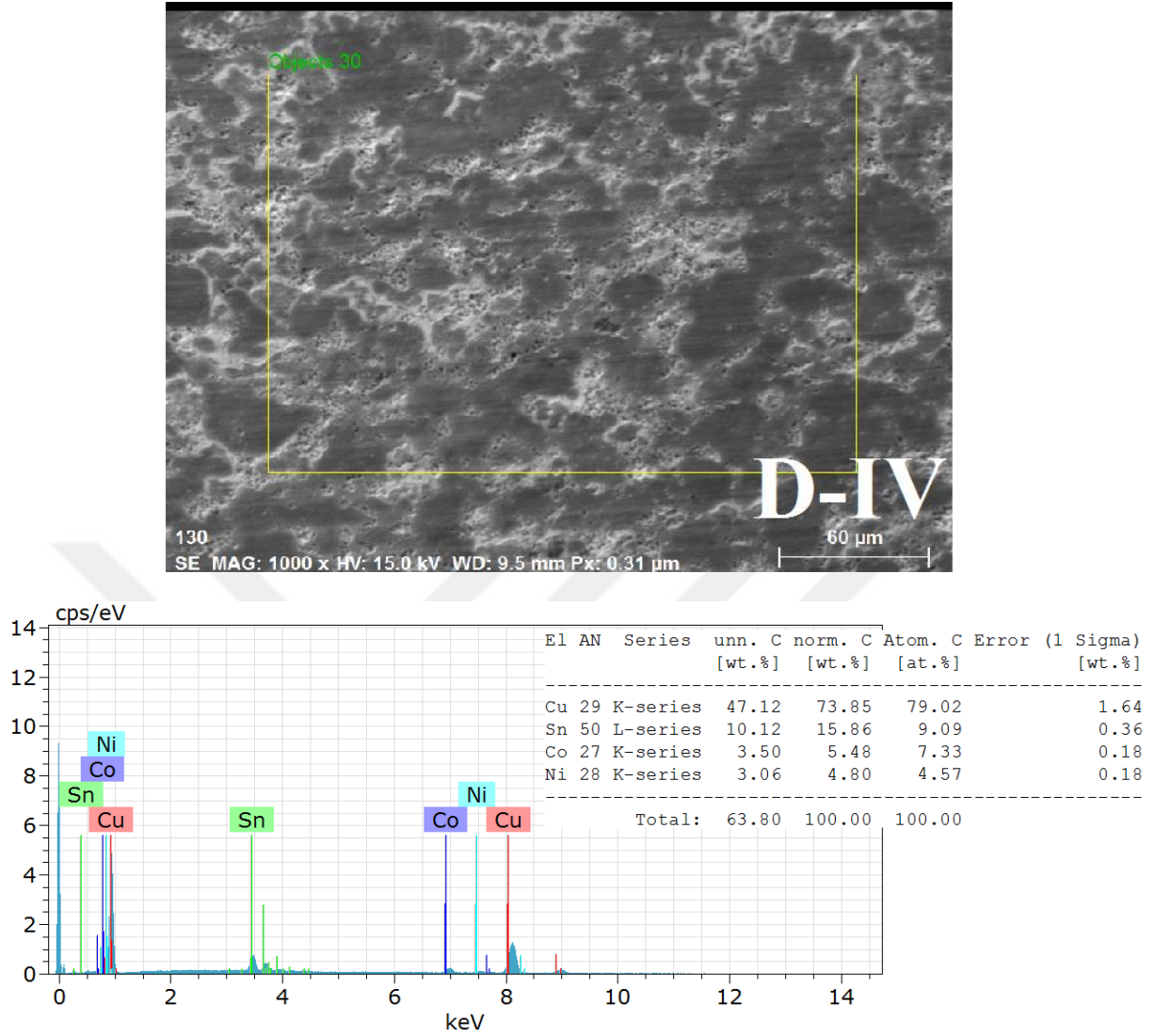
Şekil 6.5. B-II numunesi EDS analizi

C-III numunesi EDS Analizi; 30 MPa - 700 °C sıcaklık 85/15 Bronz- %3 Ni - %10 Co içeren numunenin EDS sonuçları Şekil 6.6'da görülmektedir. Görüldüğü gibi analizlerde kompoziti oluşturan elementler tespit edilmiştir. Cu oranı % 74,16; Sn oranı %16,26; Ni oranı 3,31; Co oranı 6,27'dır.



Şekil 6.6. C-III numunesi EDS analizi

D-IV numunesi EDS Analizi; 30 MPa - 800 °C sıcaklık 85/15 Bronz- %3 Ni - %15 Co içeren numunenin EDS sonuçları Şekil 6.7’de görülmektedir. Görüldüğü gibi analizlerde kompoziti oluşturan elementler tespit edilmiştir. Cu oranı % 79,02; Sn oranı %9,09; Ni oranı 4,57; Co oranı 7,33’dır.

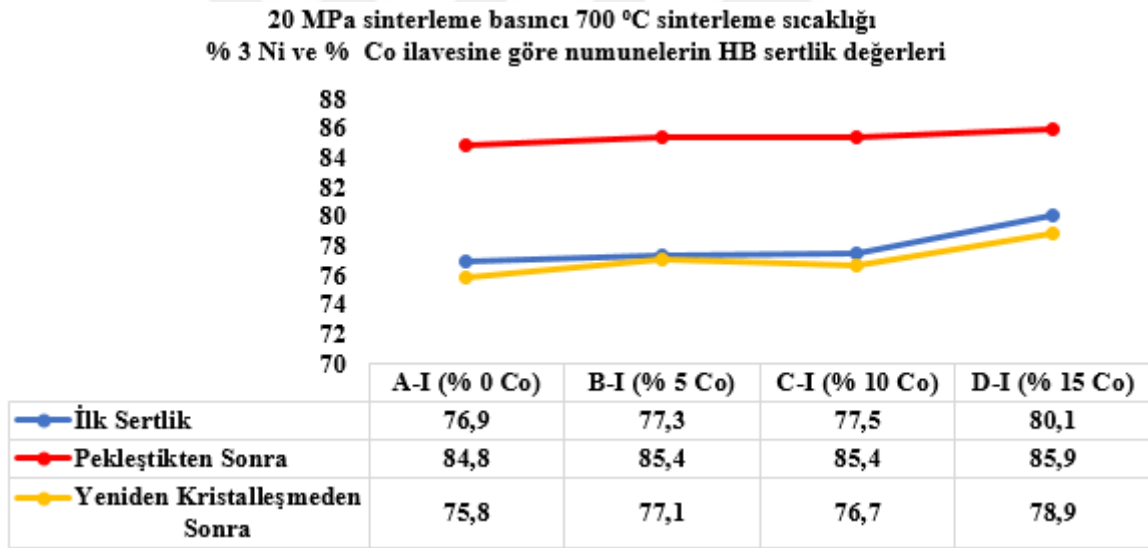


Şekil 6.7. D-IV numunesi EDS analizi

6.4. Sertlik Değerlendirmeleri

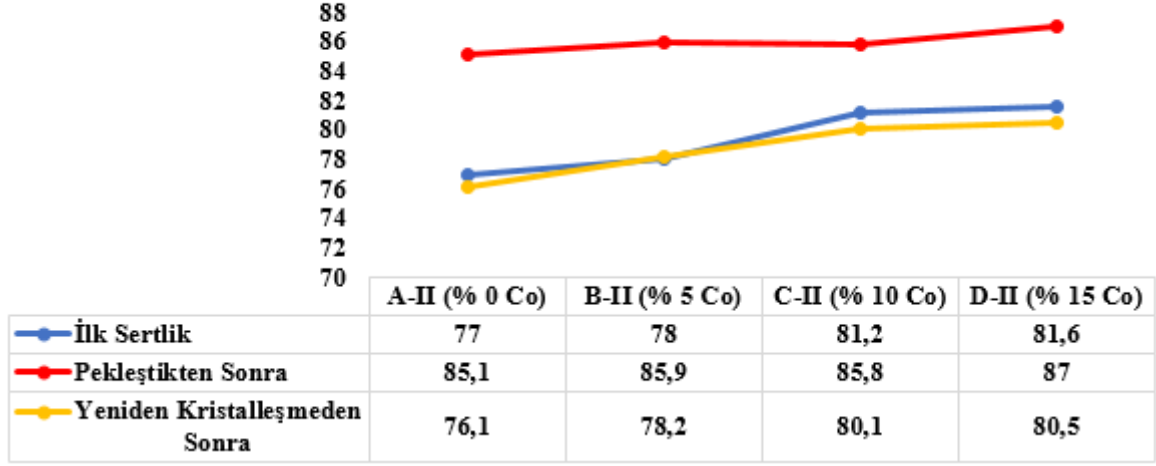
Bu çalışmada, numunelerin sertlik değerleri brinel sertlik ölçme metoduyla alınmıştır. Bu amaçla, öncelikle ilk üretim aşamasından sonra sertlikler ölçülmüş, akabinde pekleşme işleminden sonra numunelerin sertliği pekleşen yüzeyden ölçülmüş ve en son da yeniden kristalleşme tavı uygulanmış numunelerin sertliği pekleştirilen yüzeyinden olacak şekilde ölçülmüştür. 85/15 bronz ve Ni-Co takviyeli kompozit numunelerin elde edilen sertlik ölçüm sonuçları birbiriyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. 85/15 bronz esaslı kompozitin sertliğin belirlenebilmesi amacıyla her bir numunenin bir yüzeyinden ve her aşamasından sonra aynı yüzeyinden 5 adet brinel sertlik değeri alınmıştır. Ölçülen bu 5 brinel sertliğin ortalaması alınarak kompozit numunelerin sertlik değerleri bulunmuştur. Şekil 6.8-6.11’de numunelerin % Ni ve % Co ilavesine göre sertlik değerleri ölçüm

sonuçları grafikleri görülmektedir. Şekiller de görüldüğü gibi % Ni-Co takviye oranı, sıcaklık ve presleme basıncı arttıkça malzemedeki sertlik değeri de artmaktadır. Aynı şekilde pekleşme de aynı doğrultuda sertliğin artmasına sebep olmaktadır. Pekleşme sonrasında malzemedeki yoğunluğun artmasından dolayı sertlik değerleri artış göstermektedir. Pekleşmeden sonra numunelerde artık gerilmeler oluşur. Dolayısıyla deformasyon sertleşmesi olur. Bu durum kompoziti oluşturan toz partikülleri arasında kalan boşlukların sayısının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada ki numuneler (85/15 Bronz- Ni-Co) değerlendirilirken mikro büyüklükteki partiküller arasında oluşan difüzyon noktaları için değerlendirilebilir. Grafikler incelendiğinde sertliklerin pekleşme işlemi sonrasında arttığı görülmektedir. Yeniden kristalleşme sonucu ise artık gerilmeler kalkar ve dolayısıyla gerilmelerden kaynaklanan çarpılmalar en aza iner. Dolayısıyla sertlik değerleri de eski haline yakın değerlere dönmektedir. Bu durum grafiklerde görülmektedir.



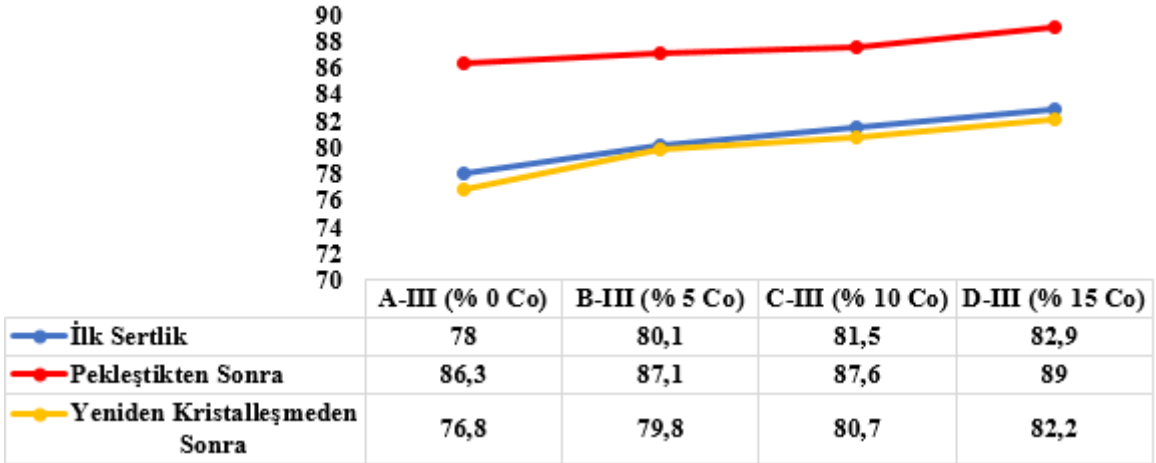
Şekil 6.8. 20 MPa sinterleme basıncı 700 °C sinterleme Sıcaklığı % 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin sertlik değerleri

20 MPa sinterleme basıncı 800 °C sinterleme sıcaklığı
% 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin HB sertlik değerleri



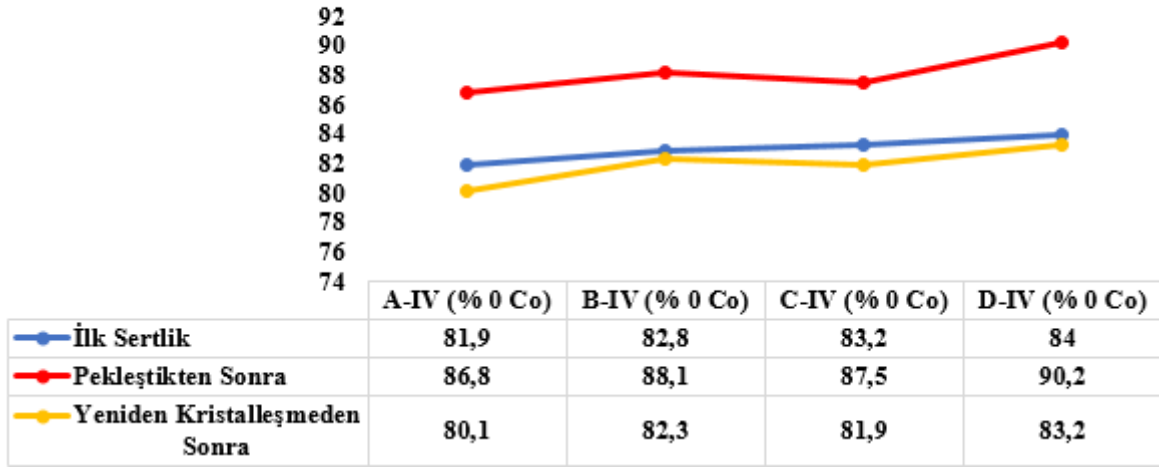
Şekil 6.9. 20 MPa sinterleme basıncı 800 °C sinterleme Sıcaklığı % 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin sertlik değerleri

30 MPa sinterleme basıncı 700 °C sinterleme sıcaklığı
% 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin HB sertlik değerleri



Şekil 6.10. 30 MPa sinterleme basıncı 700 °C sinterleme sıcaklığı % 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin sertlik değerleri

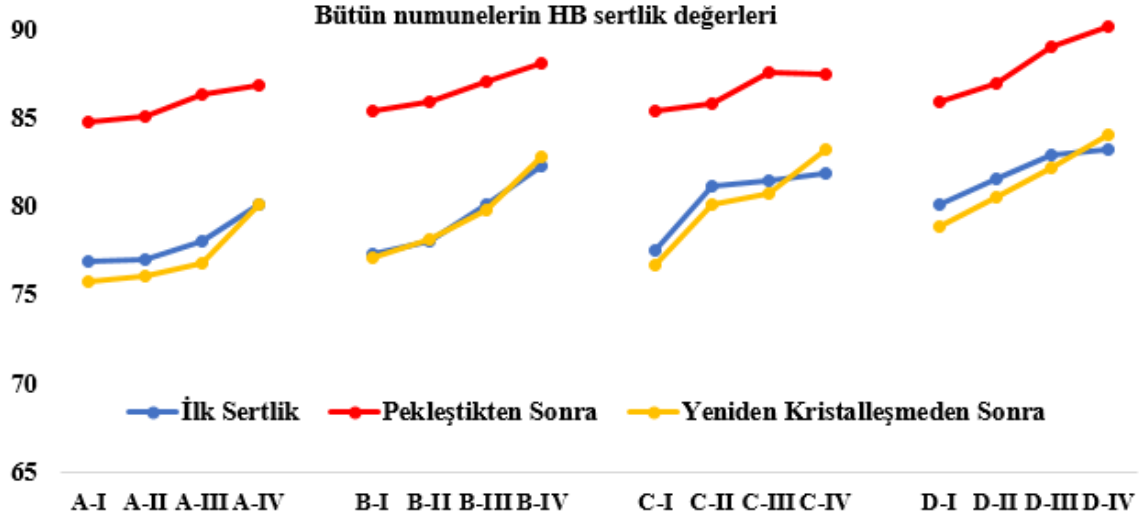
30 MPa sinterleme basıncı 800 °C sinterleme sıcaklığı
% 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin HB sertlik değerleri



Şekil 6.11. 30 MPa sinterleme basıncı 800 °C Sinterleme Sıcaklığı % 3 Ni ve % Co ilavesine göre numunelerin sertlik değerleri

Genel olarak, dislokasyon hareketi ile metallerin mekanik davranışları arasındaki ilişki dayanım artırıcı mekanizmaların anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Makro ölçekteki plastik deformasyon çok sayıdaki dislokasyonun hareketine karşılık geldiği için, bir metalin deformasyon kabiliyeti dislokasyonların hareket etme kabiliyetine bağlıdır. Sertlik ve dayanım (akma ve çekme) plastik deformasyonun kolayca gerçekleşip gerçekleşmediği ile ilişkili olduğundan dislokasyonların hareket etme kabiliyeti azaltılarak, mekanik dayanım artırılabilir. Bütün dayanım artırma teknikleri, dislokasyon hareketini sınırlamak veya engellemek, malzemenin daha sert ve yüksek dayanımlı olmasını sağlar. Sünek bir metalin plastik deformasyonu sırasında sertlik ve dayanımının artması pekleşme veya deformasyon sertleşmesi olarak adlandırılır. Pekleşmenin gerçekleşmesi için metallerin ergime sıcaklıklarının kabaca yarısından daha düşük sıcaklıklarda şekillendirilmesi gerekir. Soğuk deformasyon sonucunda malzemelerin sertlik ve mukavemeti artarken, süneklik ve elektriksel iletkenlikleri azalır, tane büyüklüğü ise pek değişmez. Gerek çarpılma oranı ve gerekse dislokasyon yoğunluğunun artması hem dislokasyon ve hem de elektron hareketini zorlaştırır. Dislokasyon hareketinin zorlaşması malzemelerin sertlik ve mukavemetine artmasına elektron hareketinin zorlaşması da elektriksel iletkenliğin azalmasına neden olur. Söz konusu özelliklerde meydana gelen bu tür değişimler soğuk deforme edilen malzemelerin kullanımını kısıtlar. Bu olumsuzluğun giderilmesi için bu malzemelerin içyapılarının yeniden düzenlenerek özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Bunun için soğuk deforme edilen malzemelere yeniden kristalleşme

sıcaklığının ($T_{e/3}$) üzerinde bir sıcaklık değerinde tavlama işlemi uygulanır [38]. Şekil 6.12.'de bütün numunelerin sertlik değerlerinin bulunduğu grafik verilmiştir.



Şekil 6.12. Bütün numunelerin sertlik ölçüm sonuçları (HB)

Tablo 6.1. Numunelerin brinel sertlik sonuçları

Gruplar	Üretim Aşaması (HB)	Pekleşme Aşaması (HB)	Yeniden Kristalleşme Aşaması (HB)
A-I	76,9	84,8	75,8
A-II	77,0	85,1	76,1
A-III	78,0	86,3	76,8
A-IV	81,9	86,8	80,1
B-I	77,3	85,4	77,1
B-II	78,0	85,9	78,2
B-III	80,1	87,1	79,8
B-IV	82,8	88,1	82,3
C-I	77,5	85,4	76,7
C-II	81,2	85,8	80,1
C-III	81,5	87,6	80,7
C-IV	83,2	87,5	81,9
D-I	80,1	85,9	78,9
D-II	81,6	87,0	80,5
D-III	82,9	89,0	82,2
D-IV	84,0	90,2	83,4

6.5. Elektrik İletkenliği Sonuçları

Öz iletkenliğin anlaşılabilmesi için ise numunelerin oda sıcaklığındaki direnç değerleri ölçülmüştür. Bunun için “Keithley 4200-SCS Semiconductor Characterization” marka ölçüm cihazı kullanılarak oda sıcaklığındaki direnç değerleri bulunmuş ve

bunlardan; birinci denklem yardımıyla da iletkenlik elde edilmiştir. Ayrıca numunelerin % IACS (International Annealed Copper Standart) değerleri de hesaplanmıştır. % IACS değeri, tam yoğun tavlanmış saf bakırın iletkenliğinin % 100 kabul edilmesi ile yapılan iletkenlik ölçüm standardı olup %100 IACS=58 MegaSiemens/metre (MS/m)“ dir. Dolayısı ile numunelerin %IACS değerleri; 5.2. denklemi yardımı ile hesaplanmıştır[39].

Üretim sonrası test edilen iletkenlik sonuçlarında; 85/15 bronz alaşımına ilaveten Ni ve Co oranının artmasıyla referans malzeme Cu ‘a göre iletkenliklerde bir düşüş meydana gelmiştir. Üretilen malzemenin 85/15 bronz ve kompozit özellikte olması ve Ni ile Co’ın da iletkenlik özelliklerinin düşük olması kompozit malzeme bünyesinde ki elektron hareketlerine ve dislokasyon hareketlerinin kısıt olmasının neden olur [37]. Bu durum Altınsoy [40] ’un çalışması ile de uyushmaktadır.

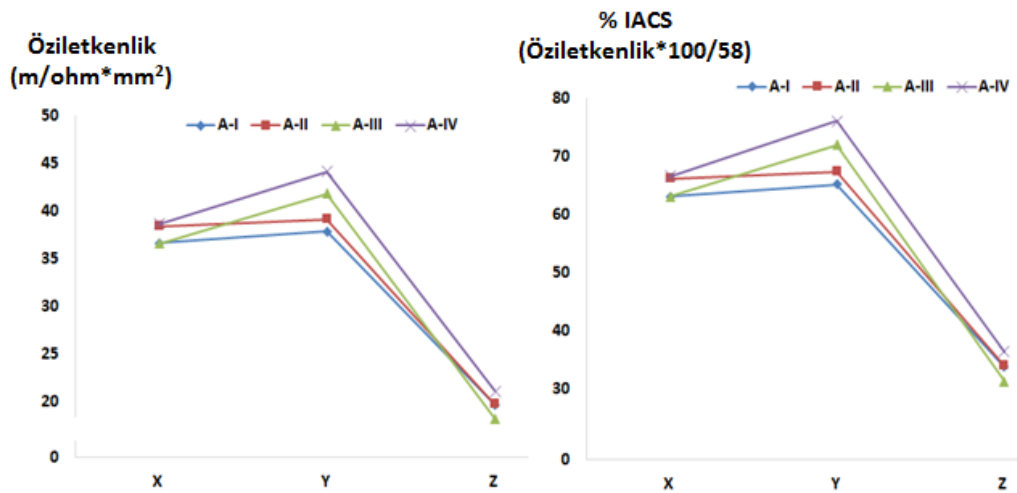
Pekleşme sonrası test edilen iletkenlik sonuçlarında ise iletkenlik değerlerinde artış görölmüştür. Normal şartlarda oda sıcaklığında Cu veya Cu alaşım iletkenlik değerleri ölçölmüş olsa bu durumun aksine düşüş beklenirdi. Çünkü iletkenlik pekleşme sonrası yapıdaki difüzyon hareketini kısıtlamakta ve dolayısıyla iletkenliğin de düşmesi beklenirdi. Ancak üretilen numuneler toz metalürjisi ile üretilen kompozit malzeme olduğu için alaşım özellikler göstermezler. Numunelere uygulanan pekleşme (soğuk deformasyon) işlemi sonrasında mikro boyutta toz partikülleri arasındaki boşlukların azaldığı ve yoğunluğun daha da arttığı düşünölmektedir. Bu sebepten dolayı iletkenlik değerlerinde artış görölmektedir.

Yeniden kristalleşme sonrası ölçölen iletkenlik ölçüm sonuçlarında ise iletkenliklerin ilk değerlerine yaklaşması beklenirken daha da düşüş görölmüştür. Bu durum, soğuk deformasyon sonrasında numunelerin dövme bölgelerinde oluşan dislokasyon yoğunluğunun, yeniden kristalleşme sonrasında toparlanmasıyla partiküller arasında difüzyon ve tane oluşumu sonrasında boşlukların artmasından dolayı iletkenliklerin azaldığı düşünölmektedir. Çünkü yapıdaki süreksizliklerin (boşluk, çatlak ve artık gerilme gibi) mevcut konumlarını kaybetmeleri sonucunda partiküller arası boşlukların büyümesine sebep olduğu düşünölmektedir.

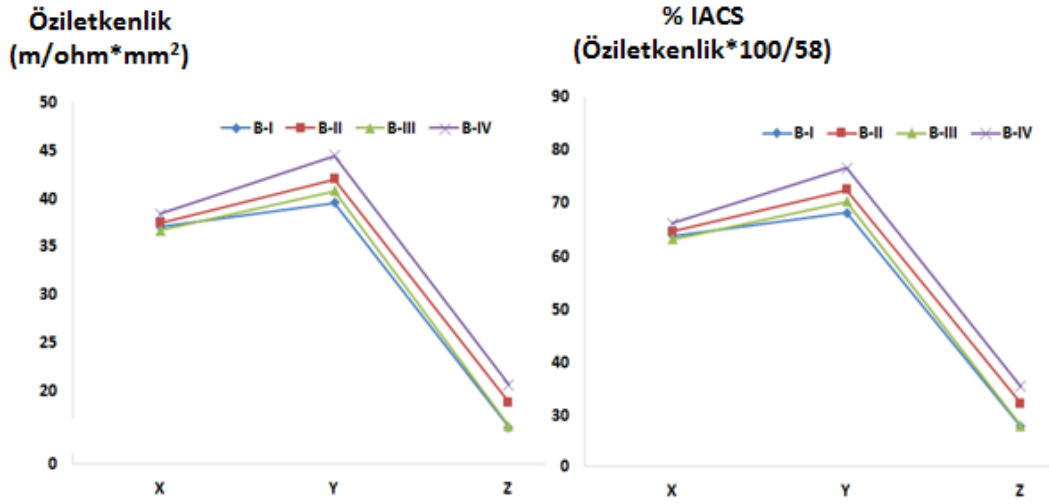
İletkenlik IACS grafikleri incelendiğinde bütün numunelerde aynı mekanizmayı gösteren eğrilerin çıkması düşöncelerimizi desteklemektedir. İletkenlik test referans numunesi Cu’nun iletkenlik değeri 52 MS/m iken; ürettiğimiz numunelerin iletkenliklerinin hiçbirisi bu değere ulaşamamıştır. En yüksek iletkenlik değeri A IV numunesinde üretim aşamasında 38,56642793037 MS/m olarak ölçölmüştür. A IV

numunesinin IACS değeri ise % 66,4938 hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafiklerde iletkenlik ve %IACS değerleri aynı grafikte verilmiştir. % IACS değeri, tam yoğun tavlanmış saf bakırın öz iletkenliğinin % 100 kabul edilmesi ile yapılan iletkenlik ölçüm standardı olup % 100 IACS = 58 MegaSiemens/metre’ dir.[41] [42]

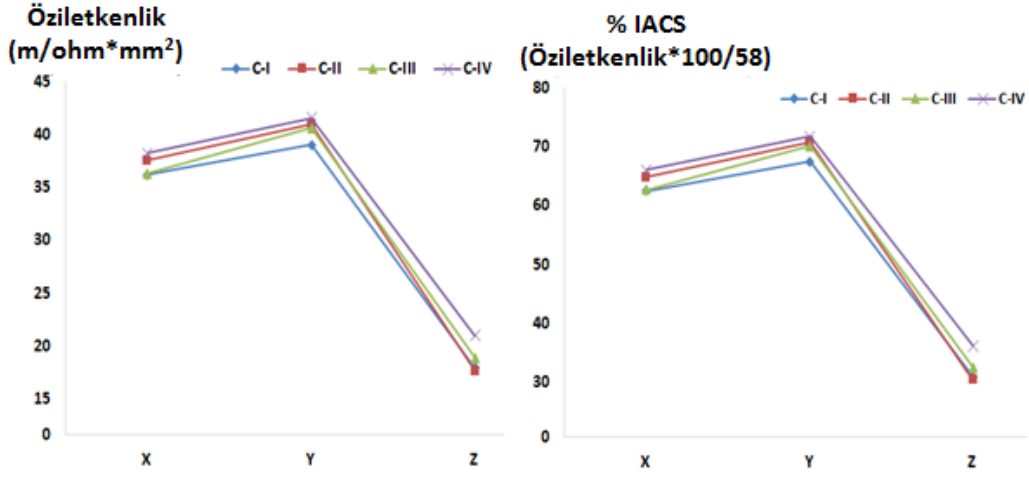
Grafiklerden de anlaşılacağı üzere en yüksek IACS değeri pekleşme sonrası elde edilen yapılara aittir. Yeniden kristalleşme sonrası bu değerler düşmektedir. Bakır esaslı alaşımların yüksek sıcaklıklardaki iletkenlik uygulamaları için istenilen en az iletkenlik değerinin % 50 IACS olduğu bilinmektedir [43]. Dolayısıyla çalışmadaki numunelerin tamamı iletkenlik açısından değerlendirildiğinde ürettiğimiz 85/15 bronz/Ni-Co takviyeli kompozit numunelerin elektrik yükleri altında çalıştığında kontak malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Soğuk deformasyon sonrası numunelerin öziletkenlik değerleri ve %IACS değerlerinin arttığı grafiklerde görülmektedir. Numunelere ait ölçülen % IACS değerinin tamamı standart olarak kabul edilen %50 IACS değerinin üzerinde çıkmıştır. Yeniden kristalleşme sonrasında ise numunelerin öziletkenlik değerleri ve %IACS değerlerinin düştüğü grafiklerde görülmektedir. Numunelere ait ölçülen % IACS değerinin tamamı standart olarak kabul edilen %50 IACS değerinin altında çıkmıştır. Elektrik devresinde ki şalterlerin her aç kapa işlemi sonrasında, çenelerin vuruş ve sonrasında oluşacak ark ile ortaya çıkacak ısıнын yapıyı bozabileceği aşikârdır. Ancak iletkenlik olayının şalter kapalıyken yani çekiç vurması sonrası olduğu düşünülürse de bu defa iletkenlik açısından oldukça iyi sayılabilecek değerler ölçülmüştür [37].



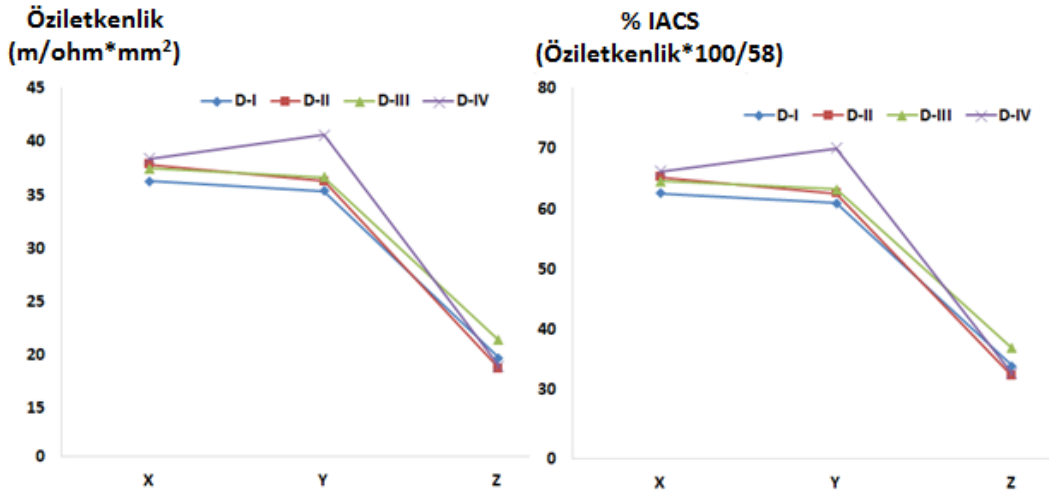
Şekil 6.13. A Grubu iletkenlik ve % IACS sonuçları



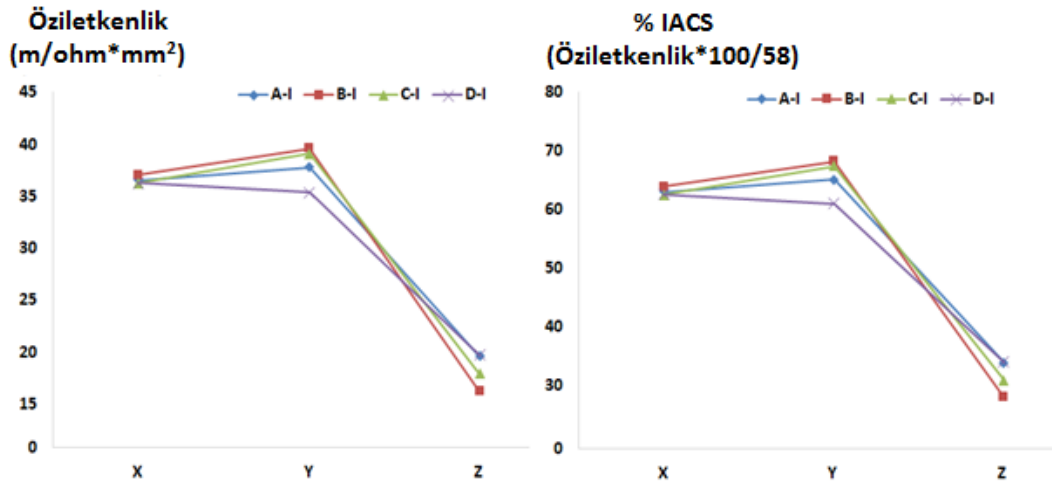
Şekil 6.14. B Grubu iletkenlik ve % IACS sonuçları



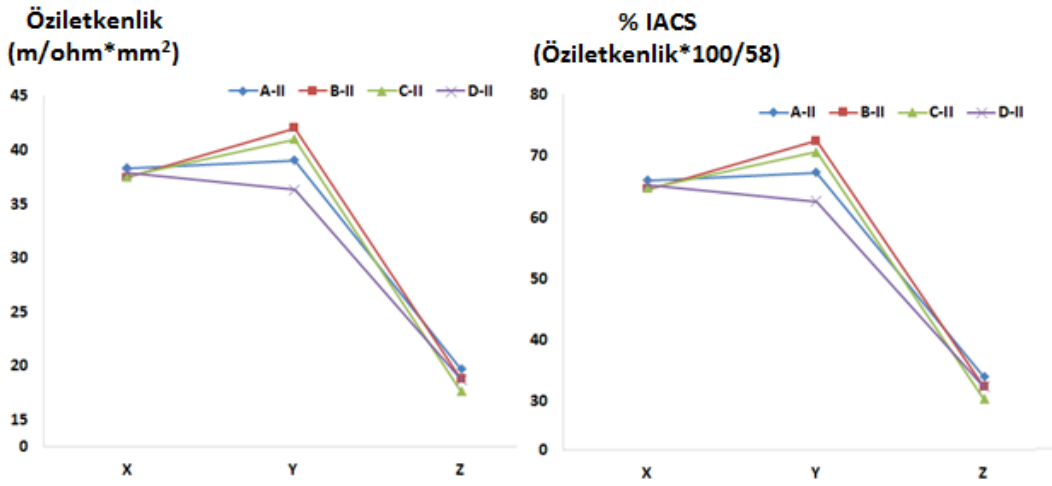
Şekil 6.15. C Grubu iletkenlik ve % IACS sonuçları



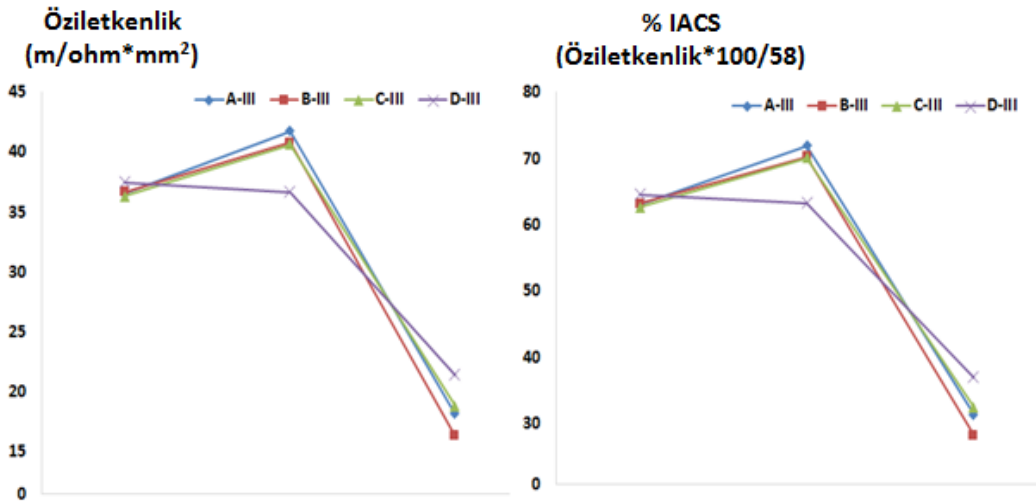
Şekil 6.16. D Grubu iletkenlik ve % IACS sonuçları



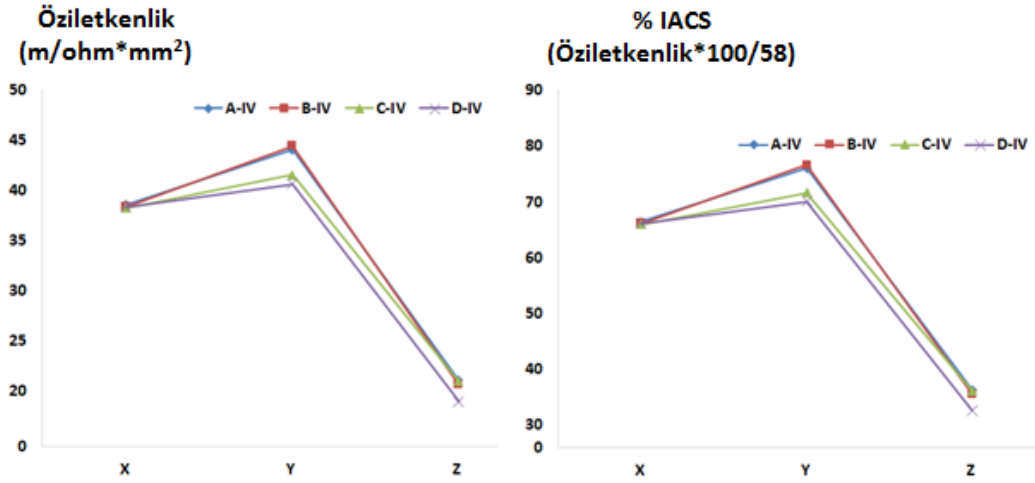
Şekil 6.17. 20 MPa 700 °C Sıcaklıkta ölçülen iletkenlik ve % IACS sonuçları



Şekil 6.18. 20 MPa 800 °C Sıcaklıkta ölçülen iletkenlik ve % IACS sonuçları



Şekil 6.19. 30 MPa 700 °C Sıcaklıkta ölçülen iletkenlik ve % IACS sonuçları



Şekil 6.20. 30 MPa 800 °C Sıcaklıkta ölçülen iletkenlik ve % IACS sonuçları

Elektriksel iletkenlik (σ), bir maddenin elektrik akımını iletebilme yeteneğini belirleyen fiziksel bir büyüklüktür. Elektrik iletkenliğinin SI standardındaki birimi Siemens/metre (S/m ya da $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$) olup, iletkenlik (σ) özgül direncin tersine eşittir. İletkenlik değerlerine göre maddeler, iletkenlik değerleri 25 °C’de $\sigma > 10^6$ S/m olanlara iletken maddeler denmektedir. İletken maddelere örnek olarak metaller verilebilir. Tüm metaller içerisinde en iyi iletken olanları saf gümüş ve saf bakırdır [28][44].

Tablo 6.2. Numunelerin Öz iletkenlik ve %IACS Değerleri

Numunelerin İletkenlik Değerleri						
Gruplar	Üretim Aşaması		Pekleşme Aşaması		Yeniden Kristalleşme Aşaması	
	Öziletkenlik (m/ohm*mm ²)	% IACS (Öziletkenlik* 100/58)	Öziletkenlik (m/ohm*mm ²)	% IACS (Öziletkenlik* 100/58)	Öziletkenlik (m/ohm*mm ²)	% IACS (Öziletkenlik* 100/58)
A-I	36,557345379654	63,0299	37,779964452506	65,1378	19,63947745941	33,8611
A-II	38,337766009874	66,0996	39,055583908625	67,3372	19,72966548087	34,0166
A-III	36,546787007679	63,0117	41,734449834651	71,9559	18,175773997436	31,3375
A-IV	38,56642793037	66,4938	44,101362120131	76,0368	21,109556141808	36,3957
B-I	37,055325710569	63,8884	39,569063684465	68,2225	16,262770810142	28,0392
B-II	37,475312223972	64,6126	42,030570124611	72,4665	18,786124809318	32,3898
B-III	36,664883190047	63,2153	40,772610154327	70,2976	16,360151243114	28,2071
B-IV	38,38117713476	66,1744	44,449118928592	76,6364	20,660716084106	35,6219
C-I	36,241157292983	62,4847	39,078485097672	67,3766	17,924711131328	30,9046
C-II	37,563552609885	64,7647	41,022989044608	70,7292	17,64946598319	30,4301
C-III	36,320548064647	62,6216	40,642421162385	70,0731	18,843715577038	32,4891
C-IV	38,264551311639	65,9733	41,589327684325	71,7057	20,98008136167	36,1725
D-I	36,290151787101	62,5692	35,376486840085	60,9939	19,724207410231	34,0073
D-II	37,884161815566	65,3175	36,309415539334	62,6024	18,764768931158	32,3535
D-III	37,467443275426	64,5990	36,691749474471	63,2616	21,44218726999	36,9693
D-IV	38,396479907936	66,2008	40,649347980014	70,0851	18,960501325175	32,6905

Anahtar, elektrik devrelerini açan - kapatan ve dolayısıyla elektrik akımını açıp kapatan elektrik kontakt cihazlarıdır. Ark, düşük voltaj veya akım seviyesindeki uygulamalar haricinde, özellikle canlı bir devredeki kontakların açılması sırasında büyük bir problem oluşturur. Dolayısıyla ark erozyona ve yüksek ısıdan dolayı kontakt yüzeylerinin erimesine ve hatta buharlaşmasına neden olurlar. Bakır esaslı metaller elektrik kontakt malzemesi olarak kullanılırlar. Bu tip malzemeler elektrik iletkenlik özellikleri

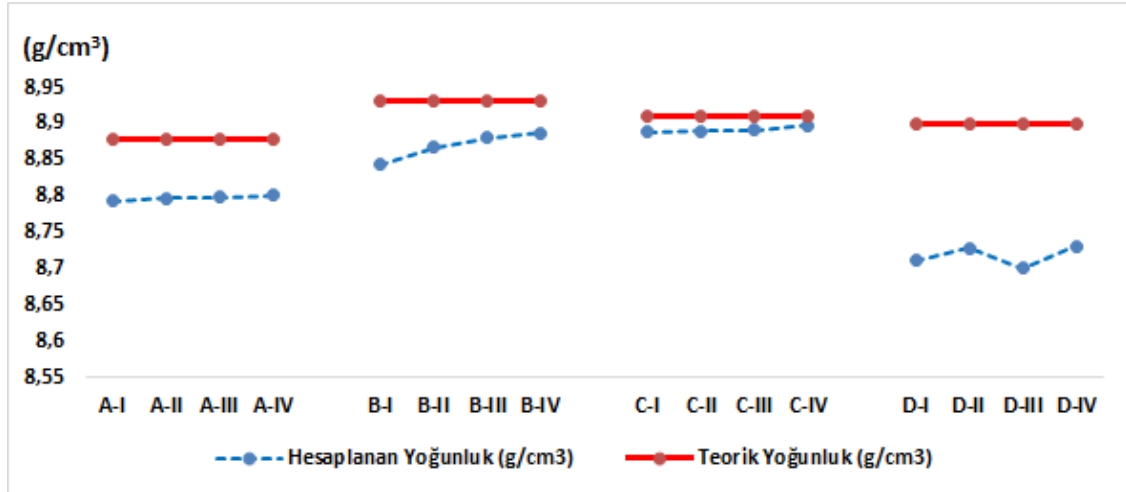
termal iletkenlikleri, ucuz olmaları ve imalat kolaylıklarından dolayı tercih edilirler. Ama en önemli avantajları düşük elektriksel dirençleri, oksitlenme ve korozyon dirençleridir. Dolayısıyla bakır esaslı kontakt malzemeleri bu tip uygulamalarda oksit filminden kaynaklanan voltaj düşmesi de kabul edilebilir bir değerdedir. En çok kullanılan bakır kontakt malzemeleri sarı pirinç (C27000), fosforlu bronz (C51000) ve bakır berilyum (C17200-C71500) alaşımlarıdır. Eritme döküm yöntemiyle üretilirler ve düşük akımlı uygulamalarda şiddetli ark oluşmayan uygulamalarda kullanılırlar [45].

Şekil 6.13-6.20’de ‘da numunelere ait öz iletkenlik ve %IACS değerleri grafikleri verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda sinterleme basıncı ve sıcaklığı arttıkça iletkenlik değerinde de artma gözlenmiştir. Sinterleme ve basınç sonucu metal partiküller arasında oluşacak bağ kuvveti artacağından difüzyon da artacaktır. Bu nedenle artan difüzyon sayesinde metalik bağ kuvvetlenecek ve dolayısıyla iletkenlik değeri de yükselmiş olmaktadır. Elde edilen öz iletkenlik değerleri ve % IACS değerleri Tablo6.2’de sayısal değerleri verilmiştir.

6.6. Yoğunluk Hesaplama

Sıcak presleme yöntemiyle üretilen numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır. Yoğunluk ölçümleri Şekil 5.15’de görülen AD-1653 marka yoğunluk ölçüm kiti ile ölçülmüştür. Numunelerin önce havadaki ağırlığı, daha sonra ise su içerisindeki ağırlıkları ölçülmüş ve yoğunluk ölçüm kiti ile yoğunluğunun belirlenmesinde eşitlik 5.1 ve 5.2’deki formüller yardımıyla deneysel yoğunlukları belirlenmiştir.

85/15 bronz ilaveten %3 Ni ve sırasıyla % 0-5-10-15 Co ilavesine sahip numunelerin sıcak presleme sonrası yoğunluk ölçümleri Tablo 6.3.’de verilmiştir. Çalışmada; I ve II nolu numuneler 20 MPa basınçta preslenmiş, III ve IV nolu numunelerde 30 MPa basınçta preslenmiştir. Aynı şekilde I ve III nolu numuneler 700 °C’de II ve IV nolu numunelerde 800 °C’de sinterlenmiştir. Bütün bu parametreler elde edilen yoğunluk değerlerinde etkili olmuştur. Ancak yoğunluk hesaplamasında yalnızca numunelerin ilk üretimleri sonrasındaki yoğunluklar hesaplanmıştır. Çünkü sonraki aşamalarda numunelerde herhangi bir kütle azalma olmadığından diğer hallerdeki yoğunlukları hesaplanmamıştır. Teorik yoğunluk ve hesaplanan yoğunluk değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bu durum yoğun bir malzeme elde ettiğimizin göstergesidir [36].



Şekil 6.21. Numunelerin yoğunluk grafikleri

Tablo 6.3. Numunelerin Yoğunluk Ölçümleri

Numuneler	Hesaplanan Yoğunluk (g/cm ³)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
A-I	8,793	8,878
A-II	8,797	8,878
A-III	8,798	8,878
A-IV	8,801	8,878
B-I	8,843	8,931
B-II	8,778	8,931
B-III	8,881	8,931
B-IV	8,887	8,931
C-I	8,888	8,911
C-II	8,890	8,911
C-III	8,891	8,911
C-IV	8,898	8,911
D-I	8,711	8,901
D-II	8,728	8,901
D-III	8,701	8,901
D-IV	8,731	8,901

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile 85/15 bronz ilaveten Ni - Co takviye elemanların; farklı sinterleme sıcaklığı, sinterleme basıncı ve farklı % bileşim oranlarına sahip numuneler üretilmiştir. Numunelerin sıcak presleme metoduyla üretilmesinde üretim parametrelerinin çeşitliliği ile oransal miktarları parçaların özelliklerini değiştiren önemli etkenler olduğu görülmüştür.

Bunun yanı sıra;

- I. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen 85/15 Bronz ve Ni-Co ilaveli deney numuneleri çok düzgün ve boşluksuz üretim gerçekleştirmiştir. Bu durum özellikle sıcak presleme yönteminin en önemli avantajlarındanıdır.
- II. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen 85/15 Bronz ve Ni-Co ilaveli numunelerin basınç ve sıcaklığın aynı anda kullanılması avantajından dolayı yoğunluğu yüksek numuneler üretilmiştir.
- III. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen 85/15 Bronz ve Ni-Co ilaveli numunelerin mikro yapıları incelendiğinde metal tozlarının sinterleme sıcaklığının ve basıncın etkisiyle homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmektedir.
- IV. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen 85/15 Bronz ve Ni-Co ilaveli numunelerde soğuk deformasyon uygulanan numunelerin hiçbirinde makro boyutta çatlağa rastlanmamıştır. Yalnızca % 15 Co ilaveli numunede çekiçleme sonucunda numunelerin dudaklarında kısmı çatlamlar görülmüştür.
- V. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen 85/15 Bronz numunelere ilave edilen Ni-Co katkı maddeleri arttıkça, sinterleme sıcaklığı ve basıncındaki artışa bağlı olarak sertlik artmıştır.
- VI. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen 85/15 Bronz ve Ni-Co ilaveli numunelerde soğuk deformasyon sonrası yapılan sertlik ölçümleri sonucunda sertlik artmıştır.
- VII. Yeniden kristalleşme tavi sonrasında ise sertlik değerinde belirgin bir düşüş görülmektedir.
- VIII. 85/15 Bronz ve Ni-Co ilaveli numunelerin tamamı iletkenlerdir. Soğuk deformasyon sonrası kompozit numunelerimizin iletkenliği artmış, yeniden kristalleşme sonrasında ise düşüş gözlenmiştir.

- IX. 85/15 Bronz ve Ni-Co ilaveli numunelerin sıcak presleme yöntemi ile seri üretimi diğer toz metalürjisi üretim yöntemlerine göre daha pratik ve seri üretime uygundur.
- X. Elde edilen yoğunluk değerlerinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

❖ Ayrıca yapılacak çalışmalara öneri olarak;

- i. Optimizasyonu yapılarak üretim parametrelerinin % etkisi görülerek değerlendirilebilir.
- ii. Takviye elemanları farklı metallerden seçilerek çalışmalar yapılabilir
- iii. Adhesiv aşınma davranışı incelemeler yapılabilir.
- iv. Sinterleme sıcaklık ve sinterlenme basınç aralıkları değiştirilerek çalışılabilir.
- v. Farklı tane boyutu tozlar seçilip çalışılabilir ve iletkenlik değerleri üzerine toz tane boyutunun etkisi karşılaştırılabilir.
- vi. İletkenlik ve kontak ömrü deneyleri deney düzenekleri kurularak çalışılabilir. Elektrik gücü ve akımın etkisi gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Emre Yurtkuran**, 2011. T/M ile üretilmiş alüminyum esaslı malzemelerin alaşım elementleri ve takviye elemanı içermelerine bağlı tel erezyonda işlenebilirliklerinin araştırılması, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] **Süleyman Yıldırım**, 1999. Fe/Ferrokrom tozundan elde edilen kompozitin mekanik özelliklerinin araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, .
- [3] **İlyas Somunkıran**, 1999. Demir esaslı molibden, nikel, bakır katkılı toz metal alaşımının mekanik özelliklerine bakır oranının etkisi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,.
- [4] **Uygur ME.**, 1996. Toz metalurjisi: Ekonomik bir üretim tekniği, *1. Ulus. Toz Met. Konf. Ankara.*,
- [5] **R. Yılmaz**, 2006. Toz metalurjisi ile üretilen Fe-Cu-C esaslı parçaların mekanik özellikleri ve mikro yapı karakterizasyonu, *11. Uluslar arası Denizli Malzeme Sempozyumu*, pp. 772–776.
- [6] **A. Lawley**, 1992. *Atomization : the production of metal powders*. Princeton N.J.: Metal Powder Industries Federation.
- [7] **S. S. Yılmaz and R. V. , Bekir Sadık Ünlü**, 2007. Borlama ve Bilyalı Dövmenin Demir Esaslı T/M Malzemelerde Yorulma Davranışına Etkisi, *Makine Teknol. Elektron. Derg.*, vol. 1, pp. 61–68.
- [8] **S. Varol, R., Sarıtas**, 1996. Bilyalı Dövme İşleminin Demir Esaslı T/M Parçaların Yorulma Özellikleri Uzerine Etkisinin Arastırılması, *1. Ulus. Toz Met. Konf Gazi Üni.*, pp. 407–418.
- [9] **B. K. Prasad**, 1997. Dry sliding wear response of some bearing alloys as influenced by the nature of microconstituents and sliding conditions, *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 28, no. 13, pp. 809–815.
- [10] **K. I. Günther B.**, 1995. Self Lubricating Iron Base Materials by Mechanical

Alloying, *Birmingham, EURO PM 95 Proc.*, pp. 119–125.

- [11] **S. Y. G. Niemann Gazanfer Harzadın**, 1972. *Makina Elemanları 3.* .
- [12] **M. Boz and A. Kurt**, 2006. Toz Metal Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Performansı Üzerine Çinkonun Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, vol. 21, no. 1.
- [13] **Bekir Sadık Ünlü And R. V. , Selim Sarper Yılmaz**, 2005. T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, *Makine Teknol. Elektron. Derg.*, vol. 2, pp. 31–37.
- [14] **Mustafa Boz**, 2003. Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme –Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi.
- [15] **T. O.**, 1997. Toz Metalurjisinde Türkiyenin Yeri, *9. Uluslararası Metlaurji ve Malzeme Kongresi. İstanbul*, pp. 229–247.
- [16] **S. Sarıtaş**, 203AD. Toz Metal Çeliklerin Yorulma Özellikleri, *Mühendislik ve Makine Ankara*, vol. 44, no. 513.
- [17] **Bakkaloğlu A.**, 2000. Takım Çeliklerinin Isıl İşlemi, *Met. Dünyası*, no. 81, pp. 19–24.
- [18] **J. . Klar, E., and Fesko**, 1984. *Production of metal powders*, Metals Han. Powder Metallurgy Ohiao.
- [19] **J.J. Conway and F.J. Rizzo**, 1990. *Hot Isostatic Pressing of Metal Powders - ASM International*. ASM Handbook Volume 7, Powder Metal Technologies and Applications (ASM International).
- [20] **M. Bonneau and M. Moltenni**, 2002. Wire manufacturing and free sintering with NEXT??, *Ind. Diam. Rev.*, vol. 62, no. 595, pp. 263–265.
- [21] **W. B. E. Animesh Bose**, 2003. *Hot consolidation of powders & particulates*. Metal Powder Industries Federation.
- [22] **C. Sarıtaş, S., and Doğan**, 1994. Metal powder production by centrifugal

atomization, *Int. J. Powder Metall.*, vol. 30, pp. 419–427.

- [23] **R. Baksan, B., Gürler**, 2003. Toz Metalurjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması, *Met. Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi Eskişehir*.
- [24] **W. A. KaysserK. Rzesnitzek**, 1989. *Science of Sintering*, Science of. Boston, MA: Springer US.
- [25] **Bekir Yalçın**, 2007. Toz metalurjisi yöntemiyle imal edilen titanyum alaşımı implantların temel ... - Bekir Yalçın - Google Kitaplar, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] **TS 3087**, 1978. No Title, in *Toz metalurjisi -Terimler Ankara*, .
- [27] **J. Konstanty**, 1999. Developing a better understanding of the bonding and wear mechanisms involved in using diamond impregnated tools, *Proc. Int. Work. Diam. Tool Prod. Turin, Italy*, pp. 97–106.
- [28] **Ö. Çelik**, 2009. Kobalt Katkılandırılmış ZnO Yarıiletken Malzemelerin Üretimi Ve Elektriksel Özelliklerinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi ABD.
- [29] **T. Cafer**, 2000. *Katıhal Elektroniği*, YTÜ.VAK.FE. İstanbul.
- [30] **T. Eroğlu**, 2001. ZnO filmlerinin hazırlanması ve alüminyum katkılı ZnO filmlerin elektriksel özellikleri, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [31] **S. M. Sze**, 1981. *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd Bell L. .
- [32] **A. Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Pakdil, M., Çakan**, 2001. *Mühendislik Malzemeleri I, II, III*, MKÜ Mühend. İskenderun HATAY: MKÜ Mühendislik Fköltesi.
- [33] **C. Kittel**, 2004. *Introduction to Solid State Physics*, Knowledge. New York USA: printed by Willey,.
- [34] **N. Saunders and A. P. Miodownik**, 1998. *CALPHAD (Calculation of Phase Diagrams) : a Comprehensive Guide*. Elsevier.

- [35] **K. P. Gupta**, 2000. An expanded Cu-Ni-Sn system (copper-nickel-tin), *J. Phase Equilibria*.
- [36] **T. Yildiz, N. Kati, and A. K. Gür**, 2018. The effect of sintering temperature on microstructure and mechanical properties of alloys produced by using hot isostatic pressing method, *J. Alloys Compd.*, vol. 737, pp. 8–13.
- [37] **Mustafa Güven Gök**, 2010. B₂O₃ Katkılı Kontak Malzemesi Üretimi Ve Özelliklerinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [38] **William D. Callister**, 2003. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (Materials Science and Engineering)*. John Wiley & Sons, Inc.
- [39] **M. Gök, M. G., & Kaplan**, 2011. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Elektrik Kontak Malzemesi Üretimi ve Kontak Performansının Araştırılması, *6th Int. Adv. Technol. Symp.*
- [40] **İbrahim Altınsoy**, 2009. Alümina Takviyeli Bakır Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Sakarya Üniversitesi.
- [41] **M. Besterçi, I. Kohútek, K. Sülleiova, and I. Saxl**, 1999. No Title, *J. Mater. Sci.*, vol. 34, no. 5, pp. 1055–1060.
- [42] **M. López, D. Corredor, C. Camurri, V. Vergara, and J. Jiménez**, 2005. Performance and characterization of dispersion strengthened Cu–TiB₂ composite for electrical use, *Mater. Charact.*, vol. 55, no. 4–5, pp. 252–262.
- [43] **and M. Lou Grant, N. J., A. Lee**, 1984. Multiple Hardening Mechanisms for High-Strength, High-Temperature, High-Conductivity Copper-Base Alloys, *High Conduct. Copp. Alum. Alloy.*, pp. 103–107.
- [44] **M. Kaplan, Ö. Çelik, and S. Budak**, The Effects of Co Additions on the Microstructure and Conductivity Properties of ZnO, *6 th Int. Adv. Technol. Symp. (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey*, pp. 189–195.
- [45] **J. R. Davis**, 2001. *Copper and Copper Alloys*. ASM International.

ÖZGEÇMİŞ

Nafiz BOZKURT 1986 yılında Elâzığ'ın Maden ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elâzığ'da tamamladı. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2010 yılında vatani görevini Çerkezköy/TEKİRDAĞ da yerine getirdi.2010 Fırat Üniversitesi Metalürji Eğitimi Bölümü Ekstraktif Metalürjisi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2011 yılında girdiği İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğünde polis memuru olarak ve şu an T.B.M.M Koruma Daire Başkanlığı'nda görev yapmaktadır.

