

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE WC TAKVİYELİ CUNİSİ
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

KHALID FOUZI IHMEDA BOUSHIHA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET AKKAŞ

EKİM - 2020
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Khalid Fouzi Ihmeda BOUSHIHA tarafından hazırlanan “**Toz Metalurjisi Yöntemi ile WC Takviyeli CuNiSi Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **30.10.2020** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN Hakkari Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü	Prof. Dr. İzzet ŞENER	
----------------	-----------------------	-------

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Khalid Fouzi Ihmeda BOUSHIHA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE WC TAKVİYELİ CUNİSİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

KHALID FOUZI IHMEDA BOUSHIHA

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET AKKAŞ

Son zamanlarda uygulanan metotlar arasında toz metalurjisi (TM) ile üretilen CuNiSi alaşımları dikkate değer bulunmuştur. TM yöntemiyle alaşımın kimyasal kompozisyon kontrolü sağlanabilmektedir. Toz metalurjisi, döküm, talaşlı imalat, sıcak ve soğuk presleme gibi üretim yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Toz metalurjisi yöntemi ile kompozitler elde edilerek malzemelere aşınma direnci, korozyon direnci, yüzey sürtünmesi ve yüzey gerilimlerinin artırılması gibi özellikler kazandırılabilir. Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde kompozit malzemeler vazgeçilmez bir yere sahiptir. Dayanım/ağırlık oranının yükselmesiyle daha ince ve hafif kompozitlerin geliştirilmesi neticesinde üretim ve işletme giderlerinin birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmaktadır. Hafiflik ve sağlamlık oranı açısından başarılı olan CuNiSi alaşımları ile çok iyi mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu tez kapsamında sabit presleme basıncında preslenen ve sabit sıcaklıkta sinterlenen CuNiSi alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerindeki değişimi karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi ile CuNiSi toz karışımına, ağırlıkça farklı oranlarda (%2.5, 5 ve 10) WC parçacıkları takviyesi yapılarak, kompozit numuneler üretilmiştir. Hazırlanan tozlar mekanik alaşımlama cihazı ile 5 ve 10 saat süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonrasında tozlar pres ile presleme işlemi yapılmıştır. Soğuk presleme işleminde presleme basıncı olarak 600 MPa basınç uygulanmıştır. Üretilen peletlerin sinterleme işlemi atmosfer kontrollü ısıtılma fırını ile yapılmıştır. Sinterleme işlemi, argon atmosferinde 900 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile uygulanmıştır. Üretilen numunelerin mikroyapılarını belirleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS), üretilen numunelerin içyapılarında oluşan fazları belirleyebilmek için X-Işını Kırınım yöntemi (XRD) analizi ve WC parçacıklarının sertlik üzerine etkisini belirleyebilmek amacıyla mikrosertlik (HV0,05) alınmıştır. Mikroyapı sonuçlarından, WC partiküllerinin yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Üretilen numunelerde artan WC miktarına ve mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak sertlik değerlerinde artış olmuştur. Bunun yanı sıra, deneyler sonucunda en yüksek sertlik değerine %10 WC ilave edilen ve 10 saat süre mekanik alaşımlama uygulanan numunede 198 HV0,05 olarak ölçülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Toz metalurjisi, CuNiSi kompozit, WC takviye, mikrosertlik

Ekim 2020, 63 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF WC REINFORCED CUNISI COMPOSITES BY POWDER METALLURGY METHOD

KHALID FOUZI IHMEDA BOUSHIHA

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. MEHMET AKKAŞ

Among the methods applied recently, CuNiSi alloys produced by powder metallurgy (PM) have been found to be notable. Chemical composition control of the alloy can be achieved with the PM method. It has been developed as an alternative to production methods such as powder metallurgy, casting, machining, hot and cold pressing. By obtaining composites with powder metallurgy method, properties such as abrasion resistance, corrosion resistance, surface friction and increasing surface tensions can be given to materials. Composite materials have an indispensable place among the material groups used in engineering applications. As a result of the development of thinner and lighter composites with the increase in strength / weight ratio, the unit cost of production and operating costs is reduced. Composite materials with very good mechanical properties are produced with CuNiSi alloys, which are successful in terms of lightness and strength. Within the scope of this thesis, the changes in microstructure and mechanical properties of CuNiSi alloy pressed at constant pressing pressure and sintered at constant temperature were compared. In this study, composite samples were produced by adding WC particles in different proportions (2.5, 5 and 10%) by weight to the CuNiSi powder mixture by powder metallurgy method. The prepared powders were mixed with the mechanical alloying device for 5 and 10 hours. After the mixing process, the powders were pressed with a press. In the cold pressing process, 600 MPa pressure was applied as pressing pressure. The sintering process of the pellets produced was carried out with an atmosphere controlled heat treatment furnace. The sintering process was applied in argon atmosphere at 900 °C for 1 hour. Scanning electron microscopy (SEM-EDS) to determine the microstructure of the samples produced, X-Ray Diffraction method (XRD) analysis to determine the phases formed in the internal structures of the produced samples, and microhardness (HV0,05) to determine the effect of WC particles on hardness. From the microstructure results, it was determined that the WC particles were homogeneously distributed in the structure. There was an increase in hardness values due to the increasing WC amount and mechanical alloying time in the samples produced. Besides, as a result of the experiments, 198 HV0,05 was measured as in the sample, where 10% WC was added to the highest hardness value

and mechanically alloyed for 10 hours.

KEYWORDS: Powder metallurgy, CuNiSi composite, WC reinforcement, microhardness

October 2020, 63 Page

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ 'a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca, çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkür ederim.

KHALID FOUZI IHMEDA BOUSHIHA

Kastamonu, 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. TOZ METALURJİSİ.....	7
3.1 Toz Üretim Yöntemleri	7
3.1.1 Mekanik Yöntemler	8
3.1.2 Atomizasyon Yöntemleri.....	9
3.1.3 Kimyasal Yöntemler	10
3.1.4 Elektroliz Yöntemi.....	10
4. TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİM SÜRECİ	12
4.1 Karıştırma ve Harmanlama.....	12
4.2 Tozların Şekillendirilmesi	13
4.2.1 Ekstrüzyon	13
4.2.2 Haddeleme	13
4.2.3 Presleme.....	14
4.2.3.1 Tek yönlü presleme	14
4.2.3.2 Çift yönlü presleme	15
4.2.3.3 Soğuk izostatik presleme.....	15
4.3 Sinterleme.....	17
4.3.1 Katı Faz Sinterleme	20
4.3.2 Sıvı Faz Sinterleme	21
5. KOMPOZİT MALZEMELER	24
5.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı	24
5.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	24
5.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	25
5.3.1 Elyafli Kompozitler	25
5.3.2 Parçacıklı Kompozitler	26
5.3.3 Tabakalı Kompozitler	26
5.3.4 Karma (Hibrit) Kompozitler	26
5.4 Kompozit Malzemelerin Kullanımı.....	26
6. MEKANİK ALAŞIMLAMA.....	28
6.1 Sıfırın Altında (Aşırı Soğukta) Öğütme	30
6.2 Mekanik Aktiviteli Tavlama İşlemi.....	30
6.3 Reaksiyon Öğütme	31
6.4 İkili Mekanik Alaşımlama	31
6.5 Mekanik Aktiviteli Kendi Kendine İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezi Öğütme.....	31

6.6	Çubuk Öğütme.....	31
6.7	Mekanik Alaşımlamanın Avantajları	32
6.8	Mekanik Alaşımlama/Öğütme (MA/Ö) İşlem Mekanizması	33
6.9	Sünek-Sünek Alaşımlama	35
6.10	Sünek-Kırılğan Alaşımlama	36
6.11	Kırılğan-Kırılğan Alaşımlama.....	37
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38
7.1	DeneySEL Yöntem	38
7.2	Numunelerin Hazırlanması.....	39
7.3	Numunelerin Mikroyapı İncelemesi.....	41
7.4	Numunelerin Mikrosertlik Ölçümü	42
8.	DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ	44
8.1	Numunelerin SEM Analiz Sonuçları.....	44
8.2	Numunelerin SEM-EDS Analiz Sonuçları.....	46
8.3	Numunelerin XRD Analiz Sonuçları.....	50
8.4	Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları	52
9.	GENEL SONUÇLAR.....	56
	KAYNAKLAR.....	57
	ÖZGEÇMİŞ.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Öğütme yönteminin şematik resmi	8
Şekil 3.2 Gaz atomizasyon sistemi.....	9
Şekil 3.3 Üretim metotlarına göre toz şekilleri	10
Şekil 3.4 Kimyasal yöntemle demir tozu imalatı	11
Şekil 3.5 Elektroliz yöntemi.....	11
Şekil 4.1 Toz karıştırma turbulası	12
Şekil 4.2 Ekstrüzyon işleminin şematik gösterimi	13
Şekil 4.3 Haddeleme sistemi	14
Şekil 4.4 Tek yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve tek yönlü kalıbın şematik gösterimi	15
Şekil 4.5 Çift yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi	16
Şekil 4.6 Soğuk izostatik presleme şematik gösterimi	16
Şekil 4.7 Sıcak izostatik presleme şematik gösterimi	17
Şekil 4.8 Sinterleme işleminin aşamaları.....	18
Şekil 4.9 İki tanenin sinterleme profili.....	19
Şekil 4.10 İki tanenin sinterleme modeli.....	20
Şekil 4.11 Sinterleme esnasında gözenek yapısının değişiminin şematik resim	21
Şekil 4.12 Sinterleme faz diyagramı	21
Şekil 4.13 İki toz karışımı kullanarak sıvı faz sinterlemesinin aşamaları.....	22
Şekil 4.14 Sıvı faz sinterleme işleminde çökelme ve tane büyümesi	22
Şekil 5.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	25
Şekil 7.1 Gezegen hareketli bilyalı öğütücü	39
Şekil 7.2 a) kalıp b) Specac GS15011 pellet cihazı	40
Şekil 7.3 Atmosfer kontrollü ısıtma işlem fırını	40
Şekil 7.4 Sinterleme işlemleri	41
Şekil 7.5 FEI QUANTA 250 FEG SEM analiz cihazı.....	42
Şekil 7.6 Bruker D8 Advance XRD analiz cihazı.....	42
Şekil 7.7 SHIMADZU HMV-G21 model mikrosertlik ölçüm cihazı.....	43
Şekil 8.1 Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin SEM görüntüleri	44
Şekil 8.2 Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin SEM görüntüleri	45
Şekil 8.3 Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin SEM görüntüleri	46
Şekil 8.4 Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin SEM-EDS analiz sonuçları	47
Şekil 8.5 Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin SEM-EDS analiz sonuçları	48
Şekil 8.6 Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin SEM-EDS analiz sonuçları	49
Şekil 8.7 Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin XRD grafikleri	50
Şekil 8.8 Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin XRD grafikleri	51
Şekil 8.9 Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin XRD grafikleri	52
Şekil 8.10 Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri.....	53
Şekil 8.11 Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri.....	54

Şekil 8.12 Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri	54
Şekil 8.13 Üretilen tüm numunelerin mikrosertlik grafikleri.....	55

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 7.1 CuAlNi kompozit karışımının kimyasal bileşimi	38
Tablo 7.2 Kompozit malzemelerin üretim parametreleri.....	38

1. GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel malzemelerin yerini daha spesifik özelliklere sahip olan yeni malzemeler almaktadır. Bu sebepten dolayı hızla gelişen teknolojide, endüstri sanayisinin ham maddesi olan malzemelerde de geliştirme yapmak zorunlu hala gelmiştir. Malzeme alanında çalışma yapan bilim adamları genellikle doğal ve alaşım maddelerinden daha üstün özelliklere sahip olan yeni malzemeleri araştırmaya yönelmişlerdir. Bu yeni malzemeler diğer geleneksel malzemelerden farklı olarak, üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler olarak üretilmiştir. Kompozit malzemeler geleneksel malzemelere göre birçok avantaja sahiptir. Kompozit malzemelerin en üstün özellikleri hafif ama yüksek mukavemete sahip olmalarıdır (Yönetken, 2019; Çetin ve Akkaş, 2020).

Son zamanlarda uygulanan metotlar arasında toz metalurjisi (TM) ile üretilen CuNiSi alaşımları dikkate değer bulunmuştur. TM yöntemiyle alaşımın kimyasal kompozisyon kontrolü sağlanabilmektedir. Toz metalurjisi, döküm, talaşlı imalat, sıcak ve soğuk presleme gibi üretim yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir (Çalığülü vd., 2008). Toz metalurjisi yöntemi ile kompozitler elde edilerek malzemelere aşınma direnci, korozyon direnci, yüzey sürtünmesi ve yüzey gerilimlerinin artırılması gibi özellikler kazandırılabilir. Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde kompozit malzemeler vazgeçilmez bir yere sahiptir (Kaya, 2016). Dayanım/ağırlık oranının yükselmesiyle daha ince ve hafif kompozitlerin geliştirilmesi neticesinde üretim ve işletme giderlerinin birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmaktadır (Erden, 2017). Hafiflik ve sağlamlık oranı açısından başarılı olan CuNiSi alaşımları ile çok iyi mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu çalışmanın amacı, toz metalurjisi yöntemiyle üretilen CuNiSi alaşımına WC parçacıklarının ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini araştırmaktır. Bu çalışma kapsamında sabit presleme basıncında preslenen ve farklı sıcaklıklarda sinterlenen CuNiSi alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerindeki değişim karşılaştırılmıştır (Wasaka vd., 1991; Xie vd., 2005).

Bakır ve Nikel, yüksek çözünürlüğe sahip demir, krom ve kobalt gibi çeşitli elementlerle alaşımlanabilen elementlerdir. Ni esaslı alaşımlar, gaz türbini parçaları, tıbbi uygulamalar ve nükleer sistemleri gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu alaşımlar, aşınma direnci, korozyon ve termal yorulma problemlerini çözebilir. Bu özellikler, yeni Cu ve Ni esaslı alaşımların geliştirilmesine öncülük etmektedir. Birbiriyle temas halinde olan ve aşınmaya maruz kalan rulman, dişli ve kam gibi makine parçalarının geliştirilmesi hayati öneme sahiptir. Günümüzde, aşınma oranlarını azaltmak için yeni malzemelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan, tribolojik çalışmaları, sürtünme olayları, yağlama ve aşınmayı içeren olayları analiz ederek ve araştırarak makine parçaların sürtünme ve aşınmasını azaltmak için farklı yollara odaklanmaktadır (Kim vd., 2008; Tien, 2012).

CuNiSi ve alaşımları mükemmel ısı direnci, korozyon direnci, tokluk ve mukavemet gibi sahip oldukları özelliklerinden dolayı uzay-havacılık, otomotiv ve biyomedikal gibi alanlarda yüksek mühendislik alaşımları olarak tercih edilmektedir (Barmouz vd., 2011; Liang vd., 2014; Jayachandran vd., 2019). Buna ek olarak, bu malzemeler makine teçhizat ve yapı malzemeleri, medikal aygıtlar ve araçlar gibi endüstriyel ve tıbbi uygulamaların yanı sıra elektronik aygıtlar uzay araçları gibi ileri düzey uygulamalarda ve süper elastik gözlük çerçeveleri telefon antenleri gibi günlük hayatı kolaylaştıran birçok üründe kullanılmaktadırlar. Son yıllarda robotik alanda yapılan uygulamalarda yaygınlaşmaktadır. Fakat CuNiSi ve alaşımlarının endüstride kullanımında mekanik özellikleri ve aşınma özellikleri bakımından problemlerle karşılaşmaktadır (Canbay ve Polat, 2017). Bu problemlerden dolayı CuNiSi alaşımının mekanik özellikleri ve aşınma özellikleri düşük olduğu için toz metalurjisi yöntemi ile bu alaşıma WC parçacıkları takviye ederek üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin aşınma direnci ve mekanik özellikleri artacağından dolayı endüstride ihtiyaç olan bir açık kapatılmış olacaktır.

Bu çalışmada literatür araştırmaları sonucu, WC takviyeli CuNiSi kompozit malzemelerin üretilebilirliği ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu amaçla, literatürdeki bu boşluğu doldurabilmek amacıyla toz metalurjisi yöntemiyle WC takviyeli CuNiSi kompozit malzemelerin üretimi çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tang vd. (1997), CuAlNi kompozitleri toz metalurjisi yöntemi ile mekanik alaşımlayarak üretmişlerdir. Deneysel çalışmalarda mekanik alaşımlama, SEM, XRD ve DSC analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak ise Cu-Al-Ni alaşımını başarılı bir şekilde üretmişlerdir. Sonuçlarında mekanik zamanının artmasıyla mikrosertlik değerlerinin arttığını vurgulamışlardır (Tang vd., 1997).

Yener vd. (2014), toz metalurjisi yöntemi ile herhangi bir atmosfer kontrolü olmadan Cu kompozit malzemelere grafit tozunu takviye ederek üretmişlerdir. Üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik olarak etki eden elektriksel iletkenliğini, yoğunluk değerlerini ve sertlik değeri gibi özelliklerin etkilerini incelemişlerdir. Temin ettikleri Cu tozlarının ortalama toz boyut değeri $\sim 40 \mu\text{m}$ ve bu temin ettikleri Cu malzemenin mekanik ve elektriksel olarak özelliklerini arttırmak için Cu malzemesinin içerisine %1, 2 ve 3 oranında Bor Karbür takviye etmişlerdir. Bakır – Bor Karbür kompozit malzemelere, 900°C sıcaklıkta ve 2 saat süre ile sinterleme işlemi uygulamışlardır. Üretilen numunelerde içyapıda oluşan faz ve bileşenlerini XRD ve SEM-EDS analizi ile tespit etmişlerdir. Bor Karbür parçacık malzemelerinin Bakır matrisli kompozit malzemelerin içerisinde homojen olarak dağıldıklarını taramalı elektron mikroskobu ile belirlemişlerdir. Üretilen numunelerin bağıl yoğunluk değerleri %91,6 ile 95,7 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Üretilen numunelerin sertlik değerleri ise 84,5 ile 94,6 HB arasında olduğunu rapor etmişlerdir. Üretilen numunelerin elektriksel iletkenlik deneyi sonuçları yaklaşık olarak %96 'nın üzerinde bir doğruluğu olduğunu tespit etmişlerdir.

Du vd. (2017), AlSiCu ve NiMg piston alaşımlarına SiC takviye ederek kompozit malzemeler üretmişlerdir. Bu deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ticari saflık Al içerir, ticari saflık kristalli Si, Al-5C ana alaşımlar kullanılmıştır. SiCp ile güçlendirilmiş Al-Si bazlı kompozitler otomotiv, havacılık ve uzay sanayinde kullanılabilecektir. Sonuç olarak bu çalışmada Al-Si kompozitleri yapılmış ve SiC 'ün mikro yapılar üzerindeki etkisi mekanik özellikleri ve ısı işlem prosedürleri incelenmiştir (Du vd., 2017).

Karakulak vd. (2014), AlCuSiC tozlarına farklı oranlarda Ni ilave ederek, üretilen numunelerin mekanik ve korozyon özelliklerini araştırmışlardır. Bu deneysel çalışmada Alüminyum'a alaşım elementleri (Si, Ti, Cr, Cu, Mg, Ni) eklemişlerdir. Al alaşımlarının ve alüminyumun mekanik özelliklerini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak Alüminyumun matris kompozitlere göre aşınma ve sertlik dirençleri daha yüksek çıkmıştır. Literatürde bunların mikro yapıları işlem ayrıntıları incelenmiştir (Karakulak vd., 2014).

Ni vd. (2018), Bakır malzemesine TiC ekleyerek, 48, 72, 84, 96 ve 120 saat süre ile bilyeli öğütücü ile karıştırmışlar ve daha sonra numuneleri sıcak pres kullanılarak üretmişlerdir. Cu-matris kompozitlerin sertliği bilyeli öğütücünün süresinin artmasıyla artmıştır. Ancak elektriksel iletkenlik değerleri 84 saate kadar düştü ve 84 saat sonra kısmen arttığını vurgulamışlardır.

Alizadeh vd. (2017), toz metalurjisi yöntemi ile mekanik alaşımlama yaparak Al-2Cu alüminyum alaşım malzemesine farklı oranlarda Bor Karbür ilave etmişlerdir ve daha sonra üretilen numunelerin mikroyapı, mekanik ve aşınma karakterizasyonlarını incelemişlerdir. Süper yüksek mukavemetli nanoyapılı B₄C, Al-2Cu alüminyum alaşımlı matris kompozitleri güçlendirmeyi hedeflemişlerdir. Sonuç olarak B₄C partiküllerinin içeriğinin artırılmasının matris tane boyutunun arttığını tespit etmişlerdir (Alizadeh vd., 2017).

Mandala ve Viswanathanb (2013), alüminyum alaşımı 2124 malzemesine farklı oranlarda SiC parçacıkları ilave ederek, üretilen numunelerin mikroyapı üzerine ısıtılma işlemin etkilerini araştırmışlardır. Bu deneysel çalışmada ısıtılma işlemin mikro yapıya etkisi ve SiC Alüminyum esaslı 2124 alaşımı ağırlıkça %10 silisyum karbür (SiC) ile partikül takviyeli kompozit hazırlanmıştır. Sonuç olarak sıcak haddelemeden sonra SiC partiküllerinin büyüklüğü azaltıldığını vurgulamışlardır (Mandal vd., 2013).

Salvo vd. (2019), mekanik alaşımlama ve sıcak presleme kullanarak grafen ile güçlendirilmiş bakır matrisli kompozitler üretmişlerdir. Birkaç grafen nanosheets katmanıyla güçlendirilmiş bakır matris kompozitlerinin yapısı ve morfolojisi, sırasıyla X-ışını kırınımı ve taramalı elektron mikroskobu teknikleriyle tartışmışlardır. Mekanik alaşımlamanın mikroyapıya etkisi incelenmiştir. Kimyasal

uyumluluk ve başarılı kompozit oluşumu, XRD analiz sonuçları ile doğruluk gösterdiğini belirtmişlerdir. Numunelerin sinterleme işlemi, vakum ortamında ve sıcak presleme ile yapılmıştır. Bakır matrisi ile %1 grafen takviyeli numune kıyaslandığında Bakır için elektriksel iletkenlik değerinde yaklaşık olarak %22 oranında bir iyileşme tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Sinterleme sıcaklığının düşük olması ve uygulanan yükün daha yüksek olmasının önemi geliştirilmiş fiziksel, mekanik ve elektriksel özelliklere sahip kompozitleri elde etmeyi vurgulamışlardır. Sıcak presleme işleminde sinterleme sıcaklığının düşürülmesi ve uygulanan basıncın artırılmasının fiziksel ve mekanik özelliklerin artmasıyla kompozitlerinin gerçekleştirilmesi için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Elkady vd. (2019), Alüminyum matrisli kompozitlere farklı oranlarda Ni ve SiC parçacıkları ilave ederek sinterleme işlemi uygulamışlardır. Bu deneysel çalışmada Al / Ni-SiC kompoziti hazırlanmıştır ve Al matris kompozitin mikrodalga ile absorbe edilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak Ni-SiC parçacıkları Al boyunca homojen bir şekilde dağıldığını tespit etmişlerdir (Elkady vd., 2019).

Liu vd. (2017), toz metalurjisi yöntemi ile bilyalı öğütücü kullanarak Grafen ve bakır tozlarını farklı oranlarda karıştırmışlardır ve daha sonra numunelere soğuk presleme işlemi ve sinterleme işlemi uygulamışlardır. Üretilen numunelerin sertlik, elektriksel iletkenlik, korozyon direnci ve bağl yoğunluk deneylerini uygulamışlardır. Yapılan bu testlerin sonucu olarak, en iyi numune %0,2 grafen içeren numunenin olduğunu rapor etmişlerdir. En iyi deney numunesi olarak üretilen numunenin oksidasyon ağırlığı 1,6 mg, elektriksel iletkenliği % 76,2, yoğunluk değeri % 90 ve sertlik değeri 53,4 HB olarak tespit etmişlerdir.

Vrsalović vd. (2018), CuAlNi alaşımlarının korozyon özellikleri üzerine ısıtılmanın etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada ısıtılmanın CuAlNi alaşımının korozyon özellikleri üzerine etkisinin analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak ısıtılma görmüş CuAlNi alaşımının polarizasyon direnci değerlerinde artış, NaCl çözeltisinde CuAlNi alaşımının korozyon direnci üzerinde yararlı bir etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır (Vrsalovic vd., 2018).

Wang vd. (2018), sıcak preslenmiş Cu-ZrB₂ kompozitleri, Bakıra ZrB₂ partikülleri eklenerek üretmişlerdir. Mikroyapısal özellikler, mekanik ve elektriksel özellikler incelemişler. ZrB₂ içeriği arttıkça kompozitlerin yoğunluğunun ve elektrik iletkenliğinin azaldığını rapor etmişlerdir. Ancak, ZrB₂ takviye malzemesinin arttırıldığı zaman sertlik değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak, optimum ve en yüksek sertliğe %7 ZrB₂ takviye edilen numunede ve 100,8 HV_{0,2} olarak tespit etmişlerdir. ZrB₂ parçacıklarının, Bakır matrisini çok iyi bir şekilde çepeçevre sardığını TEM analiz sonucunda belirlediklerini rapor etmişlerdir.

Islak vd. (2014), Cu-TiC kompozit malzemeleri, sıcak presleme yöntemi kullanarak başarılı bir şekilde üretmişlerdir. Cu ve TiC tozlarını farklı oranlarda tartmışlar ve daha sonra karıştırma işlemi uygulamışlardır. Karıştırılan tozları 50 MPa basınç uygulayarak 600, 700 ve 800 °C sıcaklıkta 4 dk. süre ile sıcak presleme işlemi uygulamışlardır. Üretilen numunelerin üzerinde üretim sıcaklığın etkisini tespit edebilmek amacıyla, kompozitlerin faz yapısını ve içyapı özelliklerini taramalı elektron mikroskobu, optik mikroskop ve XRD analizleri ile tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu sonucunda, Cu matrisi içerisinde TiC parçacıklarının homojen olarak dağıldığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak, üretilen numunelerin sertliğinin ise sinterleme sıcaklığının artması ile birlikte numunelerinde sertliğinin 64,5 HV_{0,1} ile 85,2 HV_{0,1} arasında olduğunu tespit etmişlerdir.

3. TOZ METALURJİSİ

Metal imalat yöntemleri arasında yer alan toz metalurjisi oldukça yaygın kullanım alanına sahip olan bir yöntemdir. Bu yaygın kullanımın nedeni imalat kalitesinin yüksek olması ve ekonomik olarak çok karmaşık parçaların imalatının yapılmasının mümkün olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bu tür bir yöntem ile çeşitli malzemelerin üretimi zamanla artmakta ve geleneksel metal işleme yöntemlerinin yerini almaktadır (Karagöz vd., 2009; Buytoz vd., 2014).

Toz metalurjisi üretim yöntemi; metal ve metal olmayan tozlarının üretimi ve üretilen bu tozların harmanlanıp karıştırıldıktan sonra istenen geometriyi alacak şekilde bir kalıbın içinde preslenip daha sonra da sinterleme işlemi uygulanarak yapılan bir imalat yöntemidir (Boz vd., 2006). Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların preslenmesi, tozların sinterlenmesi olmak üzere belirli aşamalardan oluşur (Ersümer,1970). 1 mm'den daha küçük boyuta sahip oldukça ince karakteristikte katı parçacıklar toz olarak nitelendirilebilir (Demirkesen, 2003). Tozlar genellikle metaliktir ve bir tozun en önemli özelliği hacminin yüzey alanına göre düşük olmasıdır (Ersümer,1970). Üretilen tozun belirgin özellikleri ise toz üretim yöntemlerine ve üretim parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.

3.1 Toz Üretim Yöntemleri

Toz metalürjisinde metalik tozların üretim yöntemlerini bilmek, imal edilecek toz ve imalatı yapılacak olan malzeme için son derece önemlidir. Tozların imalatında kimyasal bileşimi ve saflığı ne kadar önemliyse parçacık boyutu, parçacık boyut dağılımı, parçacık şekli ve tozların yapıları da o kadar önemlidir (Newkirk vd., 2004).

Metal tozlarının üretiminde dört temel mekanizma vardır (Saritaş vd., 1994). Bunlar;

1. Mekanik yöntemler (Öğütme)
2. Atomizasyon yöntemleri

3. Kimyasal yöntemler

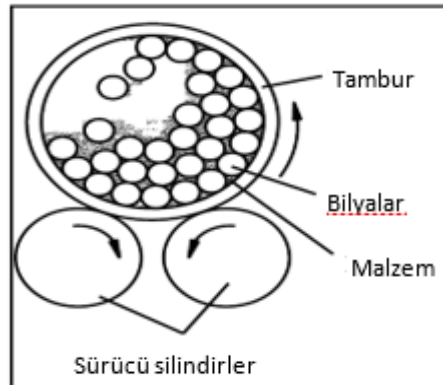
4. Elektroliz yöntemi

Genel olarak her malzeme toz haline getirilebilir. Toz haline gelme işlemi 3 farklı yöntemle oluşturulur; atomizasyon, kimyasal ve elektrolitik. Atomizasyon eritilmiş metalin düşey veya yatay bir şekilde akıtılırken, gaz veya su püskürtülerek toz haline getirilmesi işlemidir (Clyne, 2001; Aydın vd., 2007).

Kimyasal yöntemle metalik toz üretimi, metalin elementel olarak toz haline indirgenmesi işlemidir. Elektroliz yöntemi ise, elektrik akımını kullanarak metalin çözülmesini sağlamak ve bu sayede toz haline gelmesi işlemidir. Elektrik aracılığıyla tozlar anottan katoda taşınır ve ince bir film üzerine yapıştırılır. Bu film üzerine yapışan tozlar kurutularak arzu edilen tozlar imal edilmiş olur (Gökmeşe vd., 2016).

3.1.1 Mekanik Yöntemler

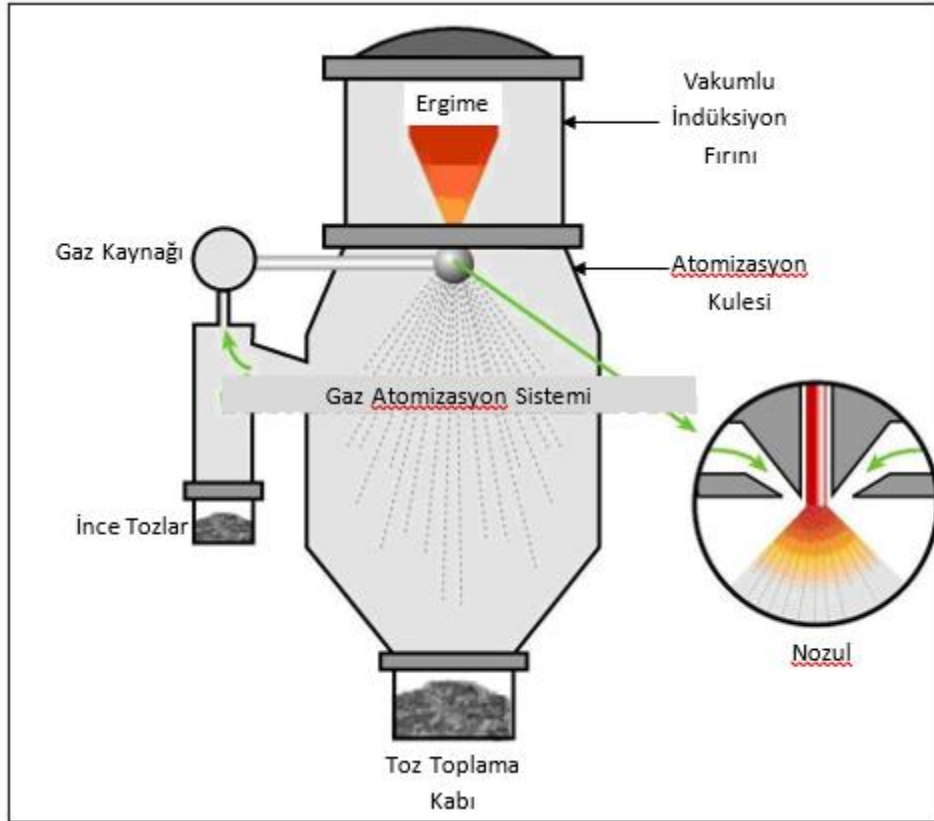
Toz üretim tekniklerinden en geleneksel olanıdır. Mekanik yöntemler metal parçacıkların birbiri arasında çarpışması sonucu darbe kuvveti ile kırılgan malzemelerin küçülerek toz haline gelme işlemi olarak tanımlanabilir. Bu teknik ile üretilen temel metal tozları bakır, alüminyum, pirinçtir, bunların dışında demir, çinko, kobalt, mangan, kurşun, silisyum gibi metal tozlar üretilebilir. Ancak sünek metaller kolay kırılmadığı için mekanik yöntemler ile toz üretimi bu metaller için uygun değildir. Mekanik yöntemlerle toz üretiminde kullanılan öğütme yönteminin şematik resmi Şekil 3.1’de verilmiştir.



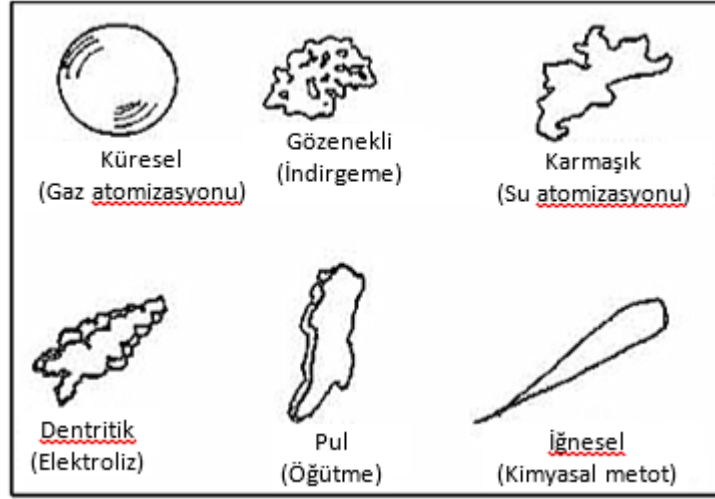
Şekil 3.1 Öğütme yönteminin şematik resmi

3.1.2 Atomizasyon Yöntemleri

Atomizasyon tekniğinde genel olarak ergitilebilen her türlü metal toz haline getirilebilir. Bu teknik; bir eriyiğin farklı boyutlarda çok küçük damlacıklara ayrılması işlemidir. Sıvı metalin azot, argon veya helyum gibi yüksek hızlı bir gaz ile parçalanmasıyla oluşan damlacıkların ani ve aşırı bir şekilde soğuması ile katılaşarak toz haline gelme işlemine atomizasyon denir. Düşey gaz atomizasyon sistemi Şekil 3.2’de verilmiştir. En yaygın olarak kullanılan yöntemleri; su, gaz, santrifüj, döner elektrot ve vakum atomizasyon yöntemidir. Toz üretiminde atomizasyon yönteminden önce tozların şekil ve biçiminin kontrol edilebilmesine imkân yoktu. Bu yöntemin en önemli özelliği tozların şeklinin ve biçiminin kontrol edilebilmesidir. Yüksek kapasitede ve ucuz toz üretmek için genellikle su veya gaz atomizasyon yöntemi tercih edilmektedir. Üretim metotlarına göre toz şekilleri farklıdır, bu farklılık Şekil 3.3 ’de gösterilmektedir (Graf vd., 1991).



Şekil 3.2 Gaz atomizasyon sistemi (Gökmeşe vd., 2016)



Şekil 3.3 Üretim metotlarına göre toz şekilleri (Yaşa, 2008)

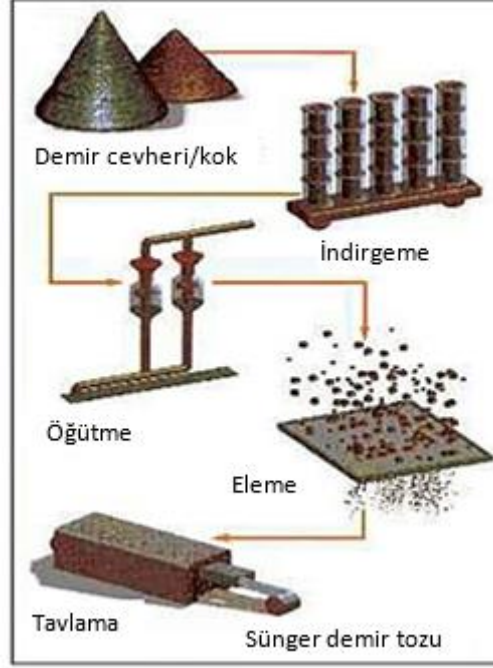
3.1.3 Kimyasal Yöntemler

Tüm metal tozları genellikle kimyasal yöntemlerle üretilebilirler. Bu yöntem ile metal tozlarının üretimi, metal oksitlerin karbon monoksit veya hidrojen gibi gazlarla oksitlerinden kimyasal yöntemlerle indirgenmesi işlemidir (German, 1994). Bu teknikte istenilen demir cevheri öğütülür, kokla karıştırılır karışım sürekli fırının içinden indirgeme oluşturularak geçirilir ve kek şeklinde sünger demir üretimi gerçekleştirilir. Demir tozu imalatının gösterimi Şekil 3.4 'de verilmiştir. İndirgemenin tamamlanması ile birlikte sünger demir elde edilmiş olur. Üretilen sünger demir malzemesi yaklaşık olarak 1260 °C sıcaklıkta birbiri içerisinde kaynamış tozlardan oluştuğu için öğütülme işlemi ile arzu edilen parçacık boyutuna getirilebilir (Turan, 1993).

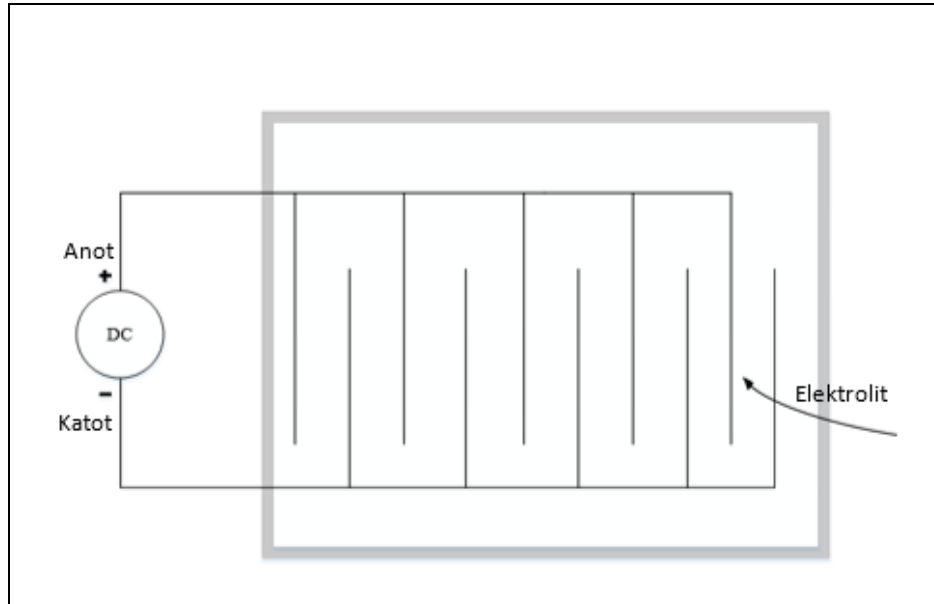
3.1.4 Elektroliz Yöntemi

Genellikle iletkenliği yüksek olan metal tozlarının üretiminde elektroliz yöntemi kullanılır. Elektrik akımı kullanılarak elektroliz bir hücrenin anottan katoda taşınması ve daha sonra metal tozlarının çöktürme işlemi olarak tanımlanabilir. Bu tanımlamanın şekil olarak gösterimi Şekil 3.5 'de verilmiştir. Elektroliz tekniği ile üretilen metal tozlarının en önemlilerinden birisi Bakır'dır. Bu yöntem ile aynı zamanda demir, kobalt, kalay, çinko, kurşun tozlarının üretilmesi içinde uygundur. Bu yöntem ile üretilen tozlar çok saftırlar. Elektroliz yönteminde genellikle ortamdaki metal iyonlarının yoğunluğu, elektrotun iletkenliği, sıcaklık, gerilim

değeri, akım yoğunluğu, sıvı banyonun özelliği ve parçacık ilavesi gibi temel değişkenler mevcuttur.



Şekil 3.4 Kimyasal yöntemle demir tozu imalatı



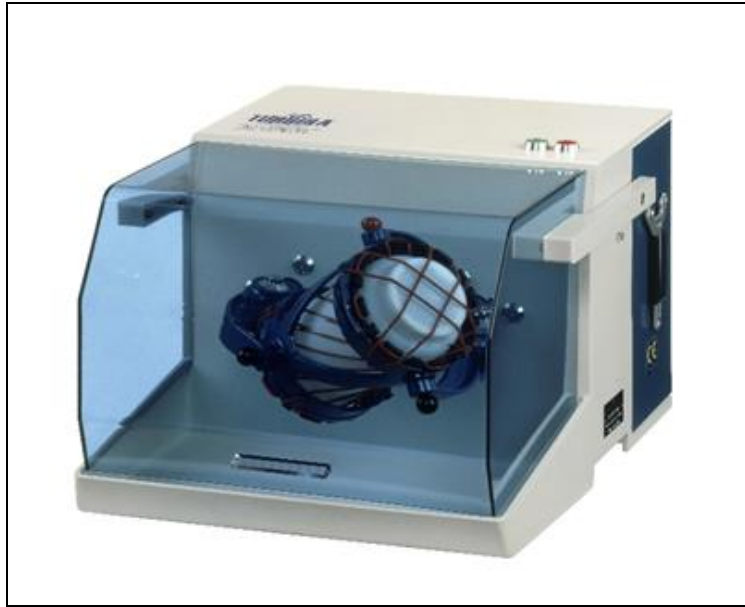
Şekil 3.5 Elektroliz yöntemi

4. TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİM SÜRECİ

4.1 Karıştırma ve Harmanlama

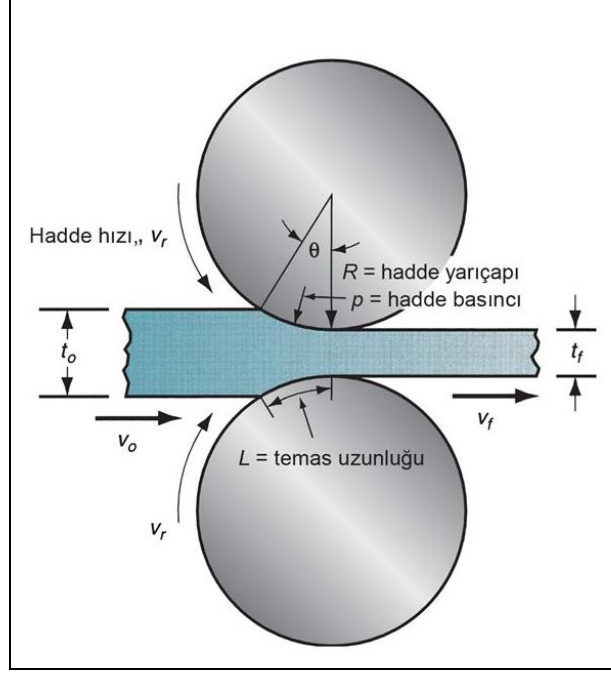
Tozların karıştırma işlemi, birden fazla bileşenli tozlar için uygulanan işlemdir. Harmanlama ise, genellikle tek bileşenli karışımlar için uygulanan işlemdir. En iyi karıştırma işlemi tozun hacminin, karıştırıcı hacminin %50'si ile 60'ı kadar olduğunda meydana gelmektedir. Karıştırma süresi olarak da genellikle 5 ile 30 dk. yapılan karışımlarda başarı elde edilmiştir (Upadhyaya, 2002).

Metal tozların karıştırılma işlemi genellikle V veya Y tipi karıştırıcılar vasıtasıyla çift borulu ve çift-koni karıştırıcılarda yapılmaktadır (Şekil 4.1). Karıştırma süresinin uzun tutulması toz taneciklerinin kırılarak küreselleşmesine ve plastik deformasyona uğramasına yol açmaktadır. Bunun gibi sebepler tozun sıkıştırılabilme özelliğini azaltır. Karışımın en dikkat edilmesi gereken kısmı, bileşimin iyi ayarlanarak tozun her bölmesinde homojenliği sağlamaktır (Koch, 1998).



Şekil 4.1 Toz karıştırma turbulası

yüzey kayma gerilmesi ile deformasyon sağlanır. Bunun yanısıra sürtünme kuvveti aynı zamanda malzemenin ilerlemesini sağlar (German, 2007).



Şekil 4.3 Haddeleme sistemi

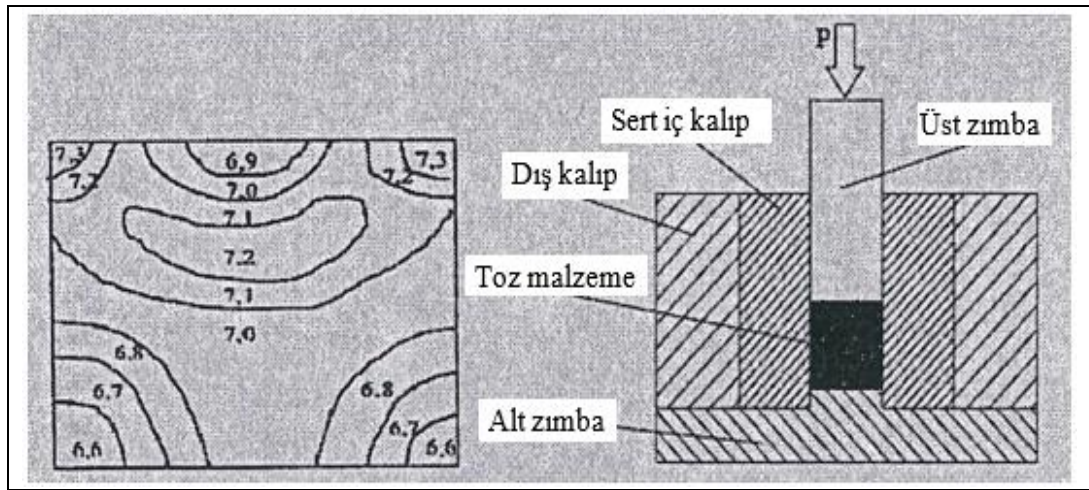
4.2.3 Presleme

Presleme işlemi genel olarak; iki zımba arasındaki kalıba yerleştirilen tozların iki ekseninde yüksek basınç uygulanması ile tanımlanır. Presleme işlemi genellikle basit parçaların seri imalatında yaygın olarak kullanılır. Basınç uygulanarak elde edilen parça kütle olarak adlandırılır. Kütle terimi, henüz yeterince sıkıştırılmamış anlamına gelmektedir. Kütle halinde malzemenin dayanımı çok düşüktür ancak sinterleme işleminden sonra nihai ürünün dayanımı çok yüksek olmaktadır. Bazı presleme uygulamalarında, presleme işlemi ile birlikte tozlara sıcaklık da uygulanarak sinterleme işlemi yapılmaktadır. Bu gibi uygulamalarda hem presleme hem de sinterleme işlemi yapılmış olduğundan dolayı tek seferde nihai ürün imal edilmiş olur (German, 2007).

4.2.3.1 Tek yönlü presleme

Tek yönlü presleme işleminde, deformasyon işleminin başlamasıyla birlikte, tozların kendi aralarında ve toz kalıbının iç kısmında oluşan sürtünme kuvveti dağılımında

bir düzensizliğe yol açmaktadır. Bu düzensizlik uygulanan basıncın dağılımını önemli derecede etkilemektedir. Tozun yoğunluk miktarı, hareketli zımbanın olduğu bölgelerde yüksek olurken sabit zımbanın olduğu bölgelerde düşük olmaktadır. Tek yönlü preslemede yoğunluk dağılımı Şekil 4.4 'de görüldüğü gibi dağılmaktadır. Yoğunluk miktarının bu şekilde azalması imal edilen parçanın boy/çap oranına bağlıdır. Tek yönlü preslemede, presleme işleminden önce kalıba doldurulan toz yüksekliğinin kalıp çapına oranı, presleme işleminden sonraki yoğunluk dağılımını önemli derecede etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı; yükseklik/çap ≤ 4 olması tavsiye edilmektedir (Ekşi, 1999).



Şekil 4.4 Tek yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve tek yönlü kalıbın şematik gösterimi (Bahçeci, 2006; Matik, 2010)

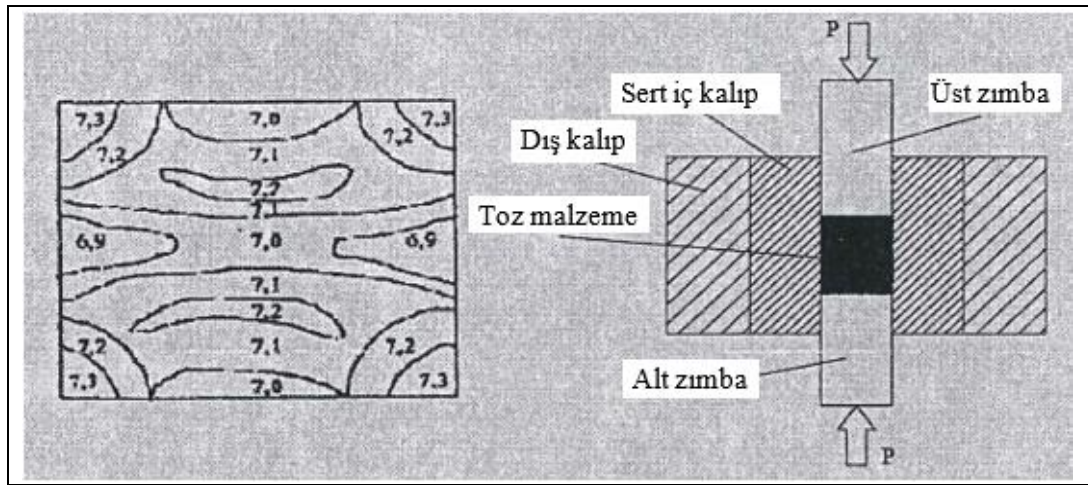
4.2.3.2 Çift yönlü presleme

Çift yönlü preslemede tozun, karşılıklı olarak alttan ve üstten çalışan iki adet zımba tarafından aynı anda preslenmesi işlemidir (Şekil 4.5). Her iki yönden de eşit miktarda basınç uygulanır. Çift yönlü presleme ile kalıp içerisinde düzenli bir sıkıştırma meydana gelmektedir. Yoğunluk dağılımı ise, tek yönlü presleme ile imal edilen parçaların yoğunluk dağılımına kıyasla daha homojen olmaktadır (Ekşi vd., 1999).

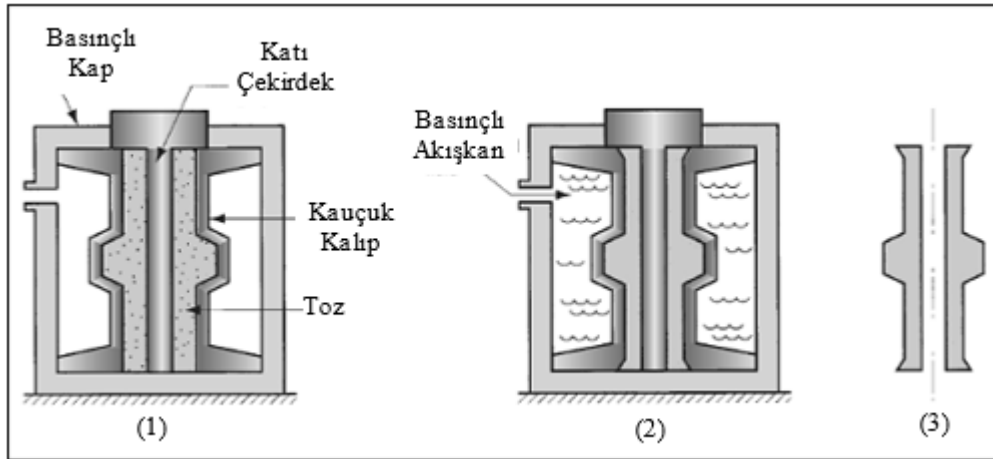
4.2.3.3 Soğuk izostatik presleme

Toz presleme esnasında uygulanan basınçların her yönden eşit olarak uygulandığı bir yöntemdir (Şekil 4.6). Soğuk izostatik presleme genellikle karmaşık kademeli, boy

ve çap oranının büyük olduğu parçalara uygulanmaktadır. Toz, kalıp olarak kullanılan sızdırmaz elastik bir kap içerisine konulur ve kapatılır. Kalıbın içerisinde hava presleme esnasında çıkacağından dolayı önceden kalıp içerisinden boşaltılır. Boşaltma işlemi sonrasında kalıp, sıvı banyosu içerisindeki bir basınç kabına bırakılır. Sıvı içerisine yüksek basınç uygulanarak kalıp hidrostatik basınca maruz bırakılır. Kalıp sıvı banyosundan çıkarılır ve parçanın üzerindeki yumuşak kalıp alınır. Bu yöntemle preslenen parçalarda homojen bir yoğunluk dağılımı elde edilir (Ünlü, 2014).



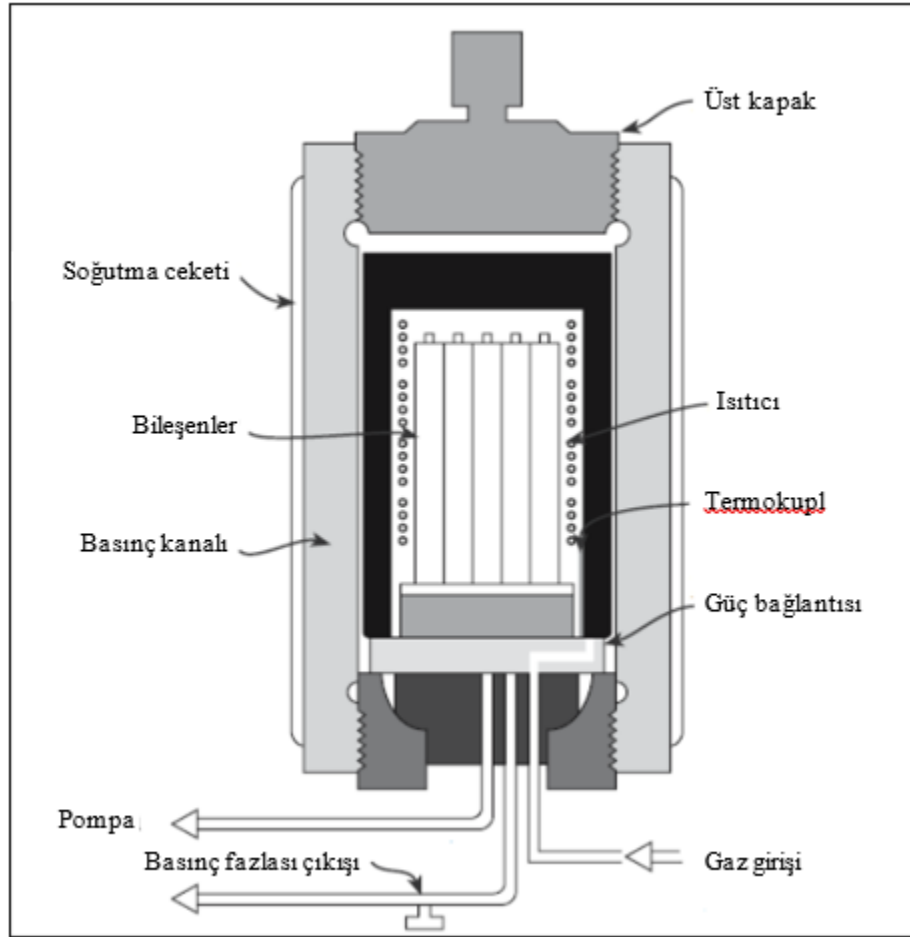
Şekil 4.5 Çift yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi (Bahçeci, 2006; Matik, 2010)



Şekil 4.6 Soğuk izostatik presleme şematik gösterimi (Bahçeci, 2006)

Sıcak izostatik presleme, sadece eksenel basınç uygulanan sıcak presleme yöntemine kıyasla her yönden basıncın uygulandığı ve esnek kalıpların kullanıldığı bir yöntemdir (Şekil 4.7). Bu yöntemde tozların içinde bulunduğu kalıba üç eksenel eş

eksenel olarak gaz aracılığıyla basınç uygulanırken aynı zamanda sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemin, soğuk izostatik presten tek farkı basınç uygulanan bölmenin ilave bir sistem vasıtasıyla ısıtılmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda basınç uygulanırken herhangi bir olumsuz reaksiyonun meydana gelmemesi için argon veya helyum gazı kullanılır. Sıcak izostatik preslemede, işlem sıcaklığı 2000 °C'ye kadar ulaşılabilirken basınç 30 ile 400 MPa arasında değişmektedir. Sıcak izostatik presin en önemli avantajı tane büyümesi olmadan yüksek yoğunlukta malzemeler üretilmektedir. Bu yöntemle arzu edilen özellikler için mikroyapının kontrolü zordur fakat parça şekil tutarlılığı oldukça yüksektir (Ünlü, 2014).



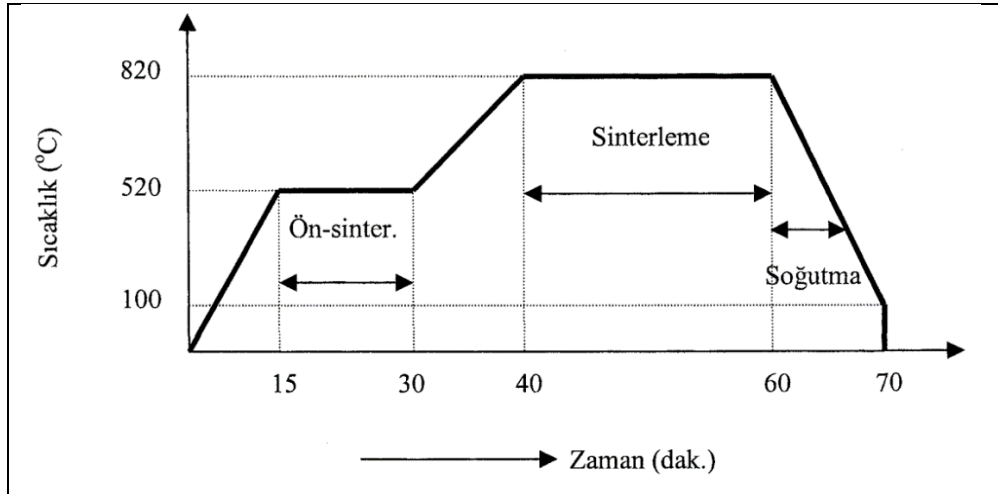
Şekil 4.7 Sıcak izostatik presleme şematik gösterimi (Matik, 2010)

4.3 Sinterleme

Sinterleme, şekillendirilmiş toz metal parçaların birbirine bağlanmasını sağlayarak önemli ölçüde mukavemet artışı ve özelliklerin iyileşmesini sağlayan bir tür ısıtma

işlemdir. Sinterlemenin etkili olabilmesi için tozların sıkı bir şekilde birbirleri ile temas halinde olması en önemli etkidir. Bu bağlamda, sinterleme işlemi preslenmiş veya kalıplanmış tozlara uygulanır (German, 1985).

Sinterleme, preslenmiş parçaların kontrollü bir atmosfer ortamında ve yüksek sıcaklıkta arzu edilen son özelliklerin elde edilmesi amacıyla ısıtılma işlemi tabi tutulmasıdır. Sinterleme sıcaklığı olarak ise; metallerin ergime sıcaklıklarının %70 ile %80 'i alınırken, bazı refrakter malzemelerde sinterleme sıcaklığı, ergime sıcaklığının %90 'ına kadar ulaşmaktadır. Birden fazla malzeme ile karıştırılıp ve preslenen parçalarda sinterleme sıcaklığı bazı bileşenlerin ergime sıcaklığı üzerinde olabilir. Bu gibi durumlarda düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler ergiyerek yüksek ergime sıcaklığına sahip tozlar arasındaki gözenekleri doldururlar.



Şekil 4.8 Sinterleme işleminin aşamaları

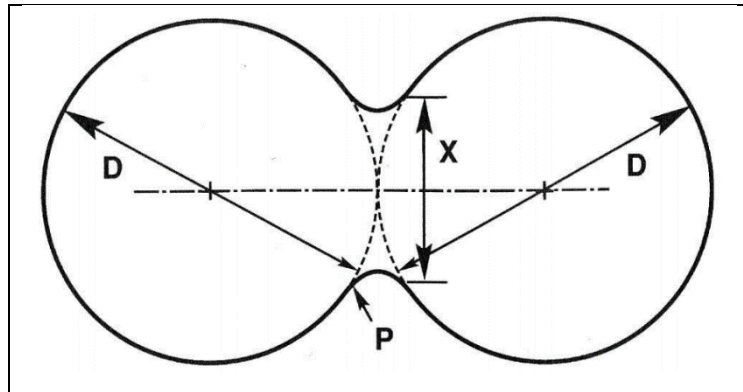
Sinterleme işlemi genellikle 3 aşamada meydana gelmektedir (Şekil 4.8). Bunlar;

1. Yanma veya temizlenme bölgesi
2. Yüksek sıcaklık bölgesi
3. Soğutma bölgesi

İlk olarak oluşan yanma ve temizlenme bölgesi, yağ ve bağlayıcıların hava ile yakılarak giderilme işleminin gerçekleştiği bölgedir. Malzeme içerisindeki yağlayıcı

ve bağlayıcıların temizlenmesi, düşük ısıtma hızlarında meydana gelmektedir. Yüksek ısıtma hızlarında ise; genellikle gözeneklerde yanan bağlayıcı ve hava, iç basınç meydana getirerek parçanın parçalanmasına yol açmaktadır. Yüksek sıcaklık bölgesinde parçacıklar arasında bağlar oluşmaya başlar. Bu işlem katı hal difüzyonu aracılığıyla meydana gelmektedir. Metaller arası fazların ve katı çözeltilerin meydana gelmesi katı hal difüzyonu yardımıyla oluşur. Yüksek sıcaklıkta birbiri ile temas eden parçalar arasında bağ oluşur ve atomların karşılıklı transferi sayesinde bu bağ güçlenir. Bu bölgedeki bekleme süresi ise arzu edilen yoğunluk ve özelliklere göre değişkenlik gösterir. Bekleme süresi genellikle 10 dk. ile birkaç saat arasında olmaktadır. Soğutma bölgesi atmosfer kontrollünde yapıldığı için oksidasyon engellenmiş olur. İnce toz parçacıkları presleme sonrası tam temas sağlayamadığından ve kalıntı porozite içerdiklerinden bu 3 aşamada da atmosfer kontrolü mutlaka olması gerekmektedir (German, 2007).

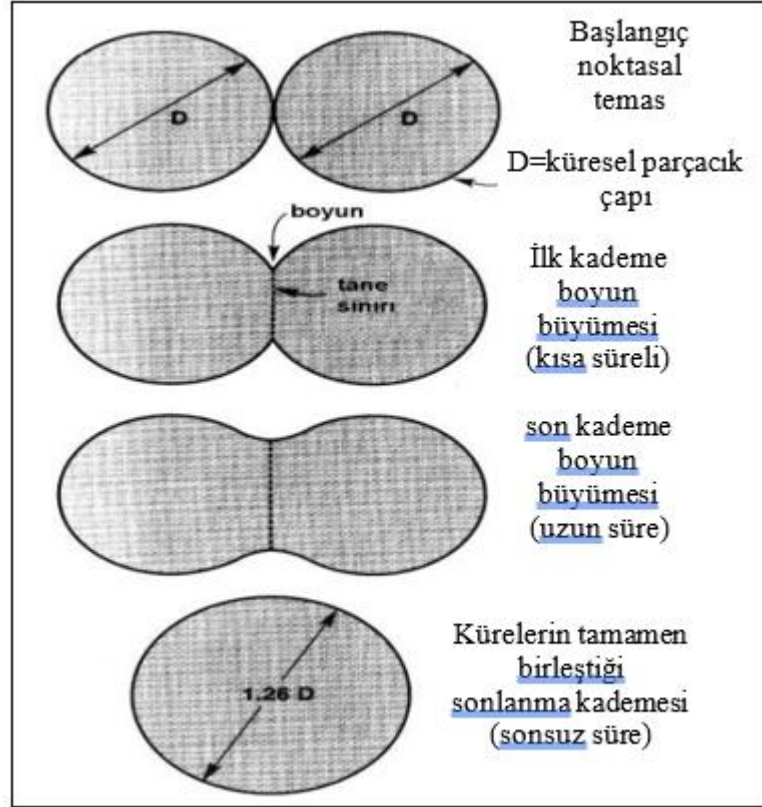
Sinterlemenin diğer bir ölçüsü de boyun çapının küre çapına olan oranı olarak belirlenir. (X/D) ve Şekil 4.9'da gösterildiği gibi boyun çapının küre çapına bölümü ile belirlenir. Şekilde P ile gösterilen bölge ise boyun dairesel profilinin yarıçapı olarak adlandırılır. Gerçekleşen boyun büyümesine ilaveten sinterlenen bir kütle büzülür (yani gözenekler atılır), yoğunlaşır ve mukavemeti artar.



Şekil 4.9 İki tanenin sinterleme profili (Saritaş vd., 2007)

Şekil 4.10 'da görülen birleşme halindeki iki tane ele alındığın zaman, sıkıştırılmış bir toz yığnında buna benzer birçok birleşme bölgesi vardır. Sinterleme işleminin ilerlemesiyle temas eden parçacıklar arasındaki bağlar genişler ve birleşir. Her bir birleşmede bir tane sınırı büyür. Şekil 4.10'da gösterildiği gibi uzun süreli bir

sinterleme sonucunda iki parçacık tamamen birleşerek başlangıç çapının 1,26 katı büyüklüğünde tek bir küre şeklinde oluşmasına neden olur.

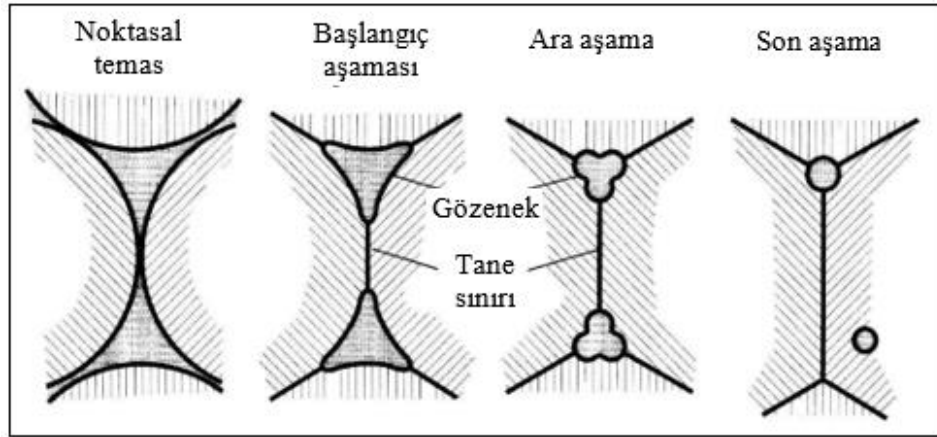


Şekil 4.10 İki tanenin sinterleme modeli

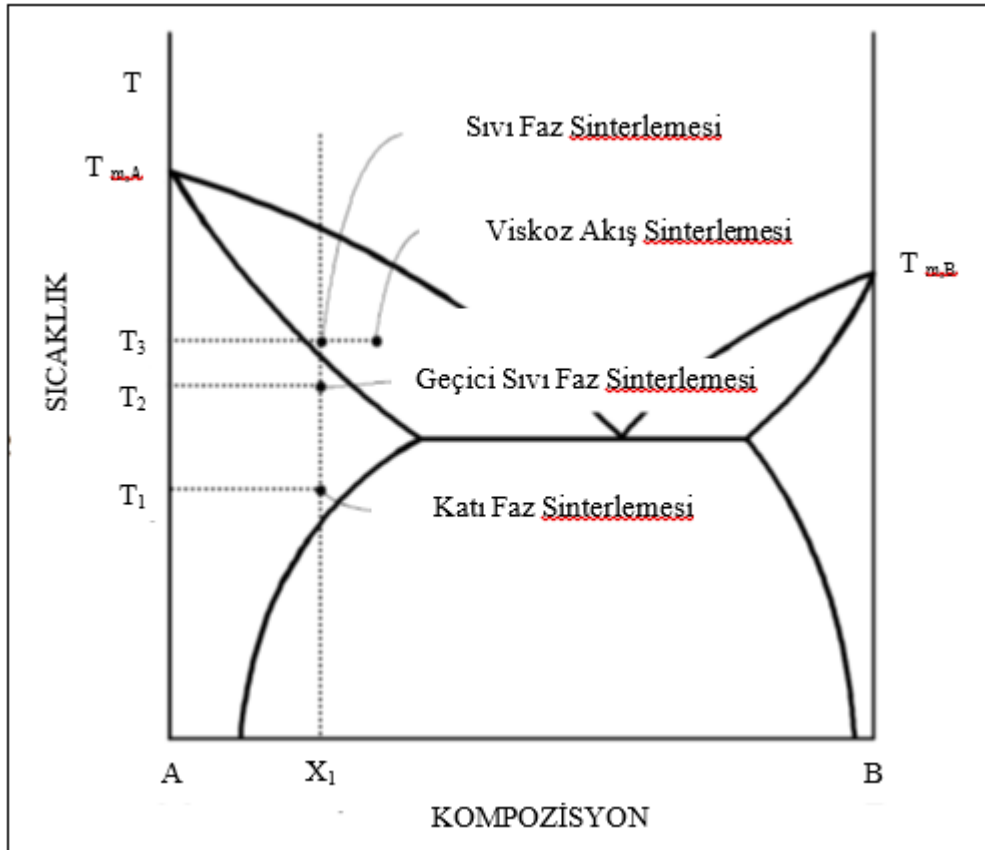
Şekil 4.11’de görüldüğü gibi parçacıkların noktasal temasıyla başlayan sinterleme sırasında gözenek yapısının değişimini gösteren şematik resmi verilmiştir. Gözenek hacmi giderek azalır ve gözenekler daha küresel bir hale gelir. Gözenek küreselleşmesi oluşurken gözeneklerin yerini tane sınırları aldığı net bir şekilde görülmektedir.

4.3.1 Katı Faz Sinterleme

Katı faz sinterleme işlemi, toz parçacıklarının sinterleme sıcaklığına tamamen katı halde yoğunlaştırılması sonucu meydana gelir. Katı faz sinterleme işlemi Şekil 4.12’de verilen diyagramda gösterilmektedir. Diyagramda T1 sıcaklığında A ile B arasında X1 bileşiminde katı hal sinterlemesi meydana gelmektedir.



Şekil 4.11 Sinterleme esnasında gözenek yapısının değişiminin şematik resim

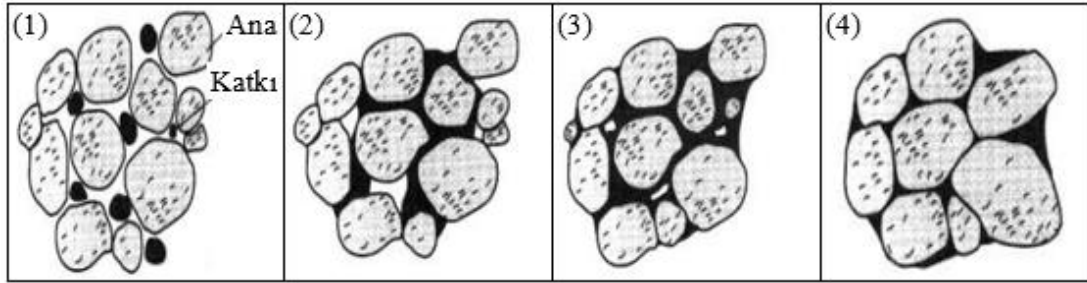


Şekil 4.12 Sinterleme faz diyagramı (Suk-Joong vd., 2005)

4.3.2 Sıvı Faz Sinterleme

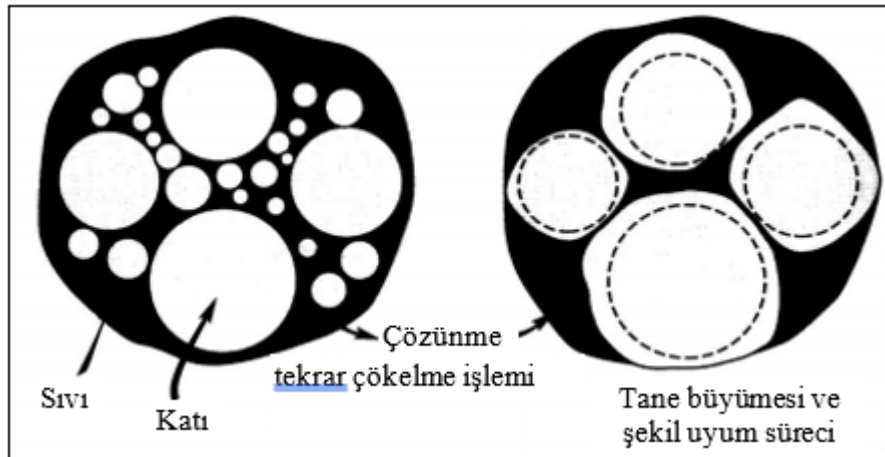
Sıvı faz sinterlemesi, preslenen toz karışımı sıvı fazın olduğu sıcaklıkta sinterlenir. Sıvı fazın oluşumu ile ani bir büzülme meydana gelir. Bu büzülme esnasında, katı parçacıklar sıvı faz içerisinde yeni bir düzene girer. Sıvı faz sinterlemesi, sinterleme esnasında toz içerisinde sıvı bir faz oluşması sonucu meydana gelmektedir. Sıvı faz

sinterlemesini gösteren diyagram Şekil 4.12 'de verilmiştir. Diyagramda T3 sıcaklığında X1 bileşiminde sıvı faz sinterlemesi meydana gelir. Sıvı faz sinterlemesinde sıvı fazın miktarı yüzde 20 'yi geçemez. Sıvı faz sinterlemesinde, seramik tozların düşük sıcaklıkta ve kısa sürede sinterlenmesi mümkündür. Fakat sıvı faz sinterlmesi ile üretilmiş olan parçalar yüksek sıcaklıkta kullanıma elverişli değildir (Suk-Joong vd., 2005).



Şekil 4.13 İki toz karışımı kullanarak sıvı faz sinterlemesinin aşamaları

Ana toz sinterleme esnasında katı olarak kalırken katkı tozu sıvı faz oluşumunu sağlamaktadır. Şekil 4.13, 4 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tozlar ham olarak görünmektedir. İkinci bölümde sıvı faz yayılması meydana gelmektedir. Üçüncü bölümde ise ergiyikde çökeltme işlemi meydana gelmektedir. Son olarak dördüncü bölümde ise, sıvı faz sinterleme işleminin bittiğini ve malzemenin katı iskeleti görünmektedir.



Şekil 4.14 Sıvı faz sinterleme işleminde çökeltme ve tane büyümesi

Şekil 4.14’de küçük boyutlu tanelerin büyük boyutlu taneler üzerinde çökelmeleri ile oluşan katı ergiyikten tekrar çökmesi ile tane büyümesi gerçekleşir. Tane büyümesinin yanında sinterleme işlemi tane şekil uyum sürecini de verir. Böylece katı daha iyi paketlenir ve kalan herhangi bir gözenek sıvı ile daha iyi dolduğu düşünülmektedir.

5. KOMPOZİT MALZEMELER

5.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı

İki ya da daha fazla malzemenin, farklı malzeme özelliklerinden yeni bir malzeme elde etmek veya tek bir malzemede buluşturmak adına yapılan malzemelerdir. Kompozit malzemeler esasında takviye elamandan ve matris denilen ana yapıdan meydana gelir. Aşağıdaki verilen maddeler, kompozit malzeme elde etmede, geliştirilmek amacıyla olanlardır. Isıl iletkenlik, Elektrik iletkenliği, Estetik, Ağırlık azalması, Kırılma tokluğu, Yorulma dayanımı, Yüksek sıcaklıktaki özellikler, Korozyon dayanımı, Mekanik dayanımı, Aşınma dayanımı, Rijitlik, Akustik özellik (Milli, 2017).

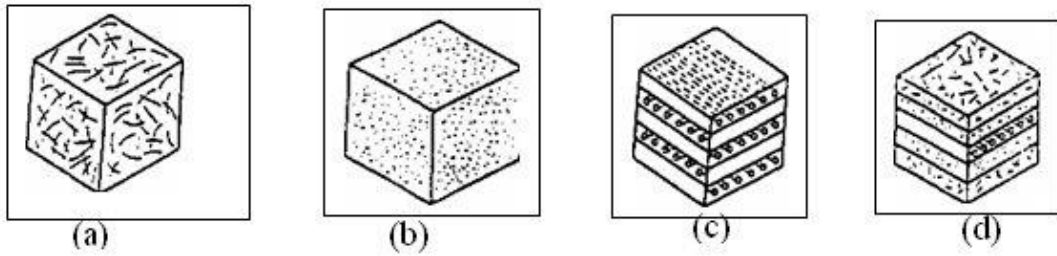
5.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Metal malzemelere göre kompozit malzemeler daha gözdedir. Özgül ağırlıklarının düşük olması kompozit malzemelerin hafif konstrüksiyon uygulamalarında büyük bir avantaj getirmektedir. Kompozit malzemeler, otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar birçok sanayi dalında bu özellikleri ile çözüm getirecek bir malzeme çeşididir. Kompozit malzemelerin olumlu yanlarını şu şekilde söyleyebiliriz. Kompozit malzemelerin büyük ve kompleks parçaların tek uygulamayla bir parça halinde kaplanabilmesi, eğilme ve çekme mukavemetinin birçok metalik malzemeye göre daha fazla olması, kompozit malzemelerin kimyevi madde tankları, aspiratör ve borular, tekne ve diğer deniz araçları imalatında güvenle kullanılabilmesi, büyük enerji nakil hatlarında kompozitlerin iyi bir iletken ve yeri geldiğinde de başka bir yapıda iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilmesi, kalıplama sırasında reçineye eklenen pigmentler sayesinde kompozitlerin istenen renkte oluşturulabilmesi, kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği sayesinde yüksek ısı altında kullanılabilmesi, kompozit malzemelerde süneklik sebebiyle doğal bir titreşim sönümleme ve şok yutabilme özelliğinin olmasıdır. Kompozit malzemelerin olumsuz taraflarını da şöyle söyleyebiliriz; Kompozit malzemelerin farklı koşullarda farklı mekanik özellikler göstermesi, kompozit malzemelerdeki hava zerreciklerinin

malzemenin yorulma özelliklerini negatif yönde etkilemesi, kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü gibi işlemlerin liflerde açılmaya neden olmasından dolayı bu tür malzemelerde hassas üretim yapılamaması, aynı kompozit malzeme için basma çekme, eğilme ve çekme mukavemet değerlerinin değişiklik göstermesi, malzemelerde sınırlı raf ömrü, hammaddenin yüksek maliyeti ve malzemenin standartlaştırılamayan kalitesi, onarımlarda problemler çıkması, bazı tür kompozit malzemelerin soğutularak saklanması gerektiği (Milli, 2017).

5.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapıdaki malzemelerin formuna göre kompozit malzemelerde bir sınıflama yapmak olarak dahilindedir. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Şekil 5.1. a, b, c, d) olarak sunulmuştur.



Şekil 5.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması şöyledir:

- a) Elyafli kompozitler
- b) Parçacıklı kompozitler
- c) Tabakalı kompozitler
- d) Karma kompozitler

5.3.1 Elyafli Kompozitler

Matris yapıda, ince elyafların bulunmasıyla elyafli kompozitler oluşturulmuştur. Birbirlerine paralel şekilde uzun elyafların matris içerisinde yerleştirilmeleriyle elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet elde edilirken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet görülür. Elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris

tarafından elyaflara aktarılan yük miktarı da yükselmektedir. Elyaf matris arasındaki bağın yapısı, kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir faktördür. Fiberler, sade bir şekilde bir boyutu diğer boyutuna nazaran çok büyük olan malzeme olarak açıklanabilir (Milli, 2017). Fiber çeşitlerini sayacak olursak;

- Karbon fiberler
- Yapay organik fiberler
- Cam fiberler
- Bor fiberler

5.3.2 Parçacıklı Kompozitler

Başka bir malzemenin bir matris malzeme içerisinde parçacıklar halinde olmasıyla üretilir. Parçacıklı kompozitlerin yapıları izotropdur. Parçacıkların sertliğine bağlıdır, mukavemetleri. Plastik malzeme içerisinde bulunan metal parçacıkları, en genel olanıdır.

5.3.3 Tabakalı Kompozitler

Yüksek mukavemet değerlerine, değişik elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimiyle sağlanır. Yapıları neme ve ısıya dayanıklıdır. Metallere göre tercih edilme sebepleri, hafif olduğu gibi mukavemetli de olmalarıdır.

5.3.4 Karma (Hibrit) Kompozitler

İki veya daha fazla kompozit yapının bulunması, aynı kompozit yapıda olan kompozit çeşididir. Yeni türdeki kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir daldır.

5.4 Kompozit Malzemelerin Kullanımı

Genellikle keçe, cam elyafı, cam ve cam dokuma ile polyester reçineden yapılan farklı ürünler ticari ve günlük yaşamda kullanılmaktadır. Cam elyaf oranı %30 ile

%40 arasındadır. Sandalye, masa, küvet, depo, tekne, bot ve otomotiv sanayi bu kompozitlerin kullanılan yerlere örnektir. Ayrıca elektrik fiberleri, baskılı devre plakaları, spor malzemeleri, araç şarjları, atlama sırtları, kaynak takımları, tenis raketleri, yarış kanoları farklı kompozit malzemelerden elde edilen ürünlerdir. Kompozit malzemelerin kullanımı, havacılık ve uzay sektöründe ilk başlarda hafif ve sağlam olmasındandır. Buradaki hedef harcanan yakıtı azaltmak, daha yüksek hızlara çıkmak ve verimliliği arttırmaktır. Bu kullanım durumunda yalnızca maddi kazanç hedeflenmeyip stratejik performanslar da önemli olmuştur. Havacılık ve uzay sektöründe, özellikle titreşim, ısı ve yorulma dayanımı gibi özellikler birleşik malzemelerin başta sağladığı yararlardır. Önemli özellikleri dolayısıyla kompozit malzemeler, hava ve uzay araçlarında gün geçtikçe daha da fazla kullanımı artmaktadır. Kompozit malzeme kullanımının fazlaştığını, şuan bir av bombardıman uçağında kompozit malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına ulaşmış olduğundan anlayabiliriz. Böylelikle bor karbür, silisyum karbür, alümina karbon, cam elyafı gibi farklı reçine türleriyle birbirinden farklı kompozit malzeme üretiminde uygulanmaktadır. Günümüzde kurşun geçirmez yeleklerde bitişli kevlardan, balistik testler için zırh levhaları cam ve fenolik reçinelerden elde edilmektedir. Tasarım alternatifleri ortaya çıkarıldıkça gün geçtikçe artacak ve birçok sağladığı avantajlarla insanlığın hizmetine girecektir (Milli, 2017).

6. MEKANİK ALAŞIMLAMA

Mekanik alaşımlama yöntemi, yüksek enerjili bir bilyalı öğütme yöntemidir. Bu yöntem metaller, seramikler ve kompozitler gibi birçok farklı malzeme sisteminin üretiminde kullanılmaktadır. Sünük sünük veya sünük kırılğan malzeme sistemleri MA ile üretilmektedir (Upadhyaya, 2002; Skotnicova vd., 2014). Mekanik alaşımlama işleminde farklı tip öğütme değirmenleri kullanılmaktadır. Bu değirmenlerden biri de atritör tipi değirmenlerdir. Bu işlem ile metal matristeki ikinci fazın kontrollü ve homojen dağılımı sağlanabilmektedir. İşlem, uygun mekanik özelliklerin elde edilmesi için önemli olan mikro yapıların geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Upadhyaya, 2002). Mekanik alaşımlama işleminde kullanılan bilyalar ve toz arasındaki yüksek enerjili etkileşim, tozların istenen şekilde alaşımlanmasını sağlamaktadır. Mekanik alaşımlama işlemi tozların soğuk kaynaklanması, sürekli plastik deformasyon ve kırılma döngüsünden oluşmaktadır. Bu durum, sürekli soğuk kaynaklanma ve tekrar eden kırılmanın bir sonucudur. Bu işlem ile, nano boyutlu metalik alaşımlar ve amorf tozlar elde edilebilmektedir. Mekanik alaşımlama işlemleri sırasında, sürekli olarak toz parçacıklarında yeni yüzeyler oluşmaktadır. Parçacıkların küçülmesini veya diğer bir ifade ile, soğuk kaynaklanmayı azaltmak için genellikle bir işlem kontrol kimyasalı kullanılmaktadır. Bu yöntemle üretilen parçacıklar, farklı başlangıç tozlarından oluşan, karakteristik katmanlı bir yapıya sahiptir. Mekanik alaşımlama süresinin artmasıyla parçacıklar, ön deformasyon sertleşmesine uğrayarak ve kırılmaktadır. Mekanik alaşımlama işlemi ilerledikçe, parçacıkların iç yapısı da değişmektedir. Mekanik alaşımlama ilk olarak 1960 'larda ODS (oksit dispersiyonu ile güçlendirilmiş) malzemelerin üretiminde kullanılmıştır. Bu malzemeler oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dayanımına ve sıcak korozyon direncine sahiptir. Bu malzemelerin yüksek sıcaklık mukavemeti, nikel veya demir bazlı bir süper alaşımlarda homojen bir dağılım çok ince oksit parçacıklarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca mekanik alaşımlama, aşırı doymuş katı eriyiklerin (katı çözünürlük sınırlarının uzatılması), veya yarı-kristalimsi ara fazların ve alaşımlanması kolay olmayan elementlerin alaşımlandırılmasında kolaylık sağlamaktadır (Skotnicova vd., 2014).

Mekanik alaşımlama kimyasal ya da ısıt işlemleri uygulamadan metallerin alaşımlanması yöntemidir. Yoğun bir öğütme uygulamasıyla, sürekli olarak plastik deformasyon, kırılma, soğuk kaynak, yeniden kırılma ve kaynaklanmayla son derece homojen ve gayet ince mikro yapılar, asal bir atmosfer ortamında bu teknikle elde edilme yöntemidir (Nazik, 2013). Öğütme teriminin kullanılması, homojen bileşimli tozların öğütülmesinde genellikle metaller arası bileşikler, alaşımlanmış tozlar ya da saf metal gibi malzemeler için homojenizasyona gerek duyulmadığındandır. Metaller arası bileşik karışımı ya da bir amorf fazı elde etmek için, uzun süreli deforme uygulaması metaller arası bileşik malzemelerinde mekanik karıştırma olarak isimlendirilir. Mekanik karıştırmanın veya mekanik öğütmenin mekanik alaşımlamaya nazaran avantajı ise mekanik olarak ihtiyaç duyulan diğer dönüşümlere ya da sadece partikül boyutundaki azalma, alaşımlamadaki işlem süresinin kısa oluşudur (Milli, 2017).

Mekanik alaşımlama toz üretiminde hemen hemen bütün kompozisyonlarda uygulanır. Mekanik alaşımlama 1960'lerden beri oksit dağılımıyla mukavemetlendirilmiş (ODS) olup, yüksek sıcaklıkta sürünme dayanımını süper alaşımlarda iyileştirme adına uygulanmaktadır. Bu teknik tek kalite, tek alaşım kompozisyonunda, arzu edildiğinde yeni alaşımların geliştirilmesinde gayet elverişlidir (Milli, 2017). Yakın ortam sıcaklıklarında mekanik alaşımlamayla çok homojen tozlar imal edilebilir. Bu teknikte bir tozun şekli, boyut dağılımı, ortalama boyutu ve gibi diğer işlemler uygulama esnasında kontrol edilebilir. Mekanik alaşımla yöntemi direkt kimyasal bileşme yoluyla ya da homojen dağılım göstermeyen ingot metalurjisi yolu ile ya da çok aktif elementlerin alaşımlarının elde edilmesi için bir avantaj sağlar. Mekanik alaşımlamayla üretilen çok ince taneli mikro yapılar nedeniyle olağandışı özellikler ve bunlara bağlı tipik sonuçların elde edilebilirliği görülmüştür. Mekanik alaşımlama hızlı prototip için ya da az miktarlarda standardın dışında bileşimler ya da standart bileşimin hızlı bir şekilde elde edilmesine imkân sağlar. Mekanik alaşımlamayla elde edilen ürünlerde matris içerisindeki parçacıkların arasındaki mesafenin azalmasının sonucunda malzemenin mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir (Topcu, 2019).

Mekanik alaşımlamayla elde edilen malzemelerin diğer imalat tekniklerine göre imal edilen malzemelere karşı üstünlüklerini şöyle özetleyebiliriz; korozyon direnci çok

iyi alaşımların imal edilebilmesi, birbirinden oldukça farklı ergime noktalarına sahip malzemelerden metaller arası bileşikler elde edilebilmesi, döküm gibi normal üretim yöntemiyle imal edilmesi zor olan parçaların elde edilebilmesi, mekanik alaşımlamayla imal edilen tozların yapısının bütününde homojenlik sağlanması, karmaşık şekilli, hassas toleranslara sahip parça ve ergime derecesine yakın sıcaklık seviyelerinde çalışabilen ürünler elde edilebilmesi bu tekniğin avantajları olarak özetlenebilir (Nazik, 2013).

Mekanik alaşımlamanın dezavantajları olarak karıştırma süresinin uzunluğu, yüksek maliyeti ve oksijen içeren yabancı maddeleri sayabiliriz. Yabancı madde sorununu gidermek için asal atmosfer kullanıp ve kullanılacak takım malzemelerini dikkatli seçip ya da karıştırıcıyı öğütülecek aynı malzemeye kaplayabiliriz. Karıştırma süresinin fazla olması diğer karıştırma işlemlerinde olduğu gibi tipik bir özelliktir. Bilyalı karışırmalarda her şarj (karıştırılan toz miktarı) için süre 10 ile 50 saat arasındır. Karıştırma süresi bazı durumlarda birkaç yüz saat fazlasını bile bulabilir. Mekanik alaşımlayla imal edilen malzemelerin kullanım özelliklerine bakılacak olursa diğer alaşımlara göre aslında çok da yüksek olmadığı gözlenmektedir (Milli, 2017). Mekanik alaşımlama için başka terimlerde kullanılmaktadır. Bunlar: sıfırın altında öğütme, mekanik aktiviteli tavlama işlemi, reaksiyon öğütme, ikili mekanik alaşımlama, mekanik aktiviteli kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi öğütme, çubuk öğütmedir.

6.1 Sıfırın Altında (Aşırı Soğukta) Öğütme

Bu imalat tekniği gün geçtikçe fazlalaşarak yaygın hale gelmektedir. Bu öğütme işleminde sıvı azot gibi aşırı soğuk madde kullanılarak ya da çok düşük seviye sıcaklıklarda uygulanır (Milli, 2017).

6.2 Mekanik Aktiviteli Tavlama İşlemi

Kısa süreli mekanik alaşımlamayla düşük sıcaklıkta izotermal tavlamanın birleşmesiyle oluşan bir yöntemdir. Silikat gibi imalatı güç olan refrakterler için bu iki aşamanın birleşmesiyle etkili olduğu saptanmıştır (Milli, 2017).

6.3 Reaksiyon Öğütme

Mekanik alaşımlamaya katı hal reaksiyonu olarak eşlik eden bir ifadedir. Bu teknikte DİSPAL diye adlandırılan Al matris ve alaşımlarında Al_2O_3 ve Al_4C_3 dağılımı bulunduran malzeme üretilmiştir. Reaktif katı, sıvı ve gazların olduğu metal tozların öğütülmesi, karbürleri, metal oksitleri ve nitrürleri sentezlemek adına düzenli olan bir işlemdir. Bu teknikle WC, TiB_2 , TiN gibi bileşikler elde edilebilir (Milli, 2017).

6.4 İkili Mekanik Alaşımlama

Bu teknik iki aşamalıdır. İlk aşamada bileşiği oluşturan elementlerin toz boyutları inceltir ve karışımda homojen bir dağılım oluşması sağlanır. Karışımda yüksek sıcaklık seviyesinde yapılan tavlama işlemine tabi metaller arası bileşikler meydana gelir. İkinci aşama esnasında matrisin tane boyutunu düşürmek ve metaller arası bileşikleri inceltmek için ısıtma işlemine tabi olmuş tozlar tekrardan öğütülür. Hacim şekli için gaz çıkarmadan sonra tekrar birleştirilir. Bu teknik metaller arası ince bileşikler elde etmek için elverişli bir tekniktir.

6.5 Mekanik Aktiviteli Kendi Kendine İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezi Öğütme

Bu teknik mekanik alaşımlama ve kendi kendine meydana gelen yüksek sıcaklık sentezinin birleşmesiyle oluşmuştur. Bu teknikte, toz karışımı fırında bir paket ve yanma içinde tozun preslenmesi ile başlatılan, nano kristal yapı ve daha sonra kendi kendine yüksek sıcaklık sentezlemesi reaksiyonu elde etmek için mekanik olarak alaşımlanmıştır. Bazı niyobyum alüminat ve alüminat gibi metaller arası bileşik bu teknikle sentezlenebilir.

6.6 Çubuk Öğütme

Japonya’da, özellikle işlem sırasında toz kirlenmesinin önüne geçmek için geliştirilmiştir. Normal bilyalı öğütme işleminde, öğütme malzemelerinin yüzeyi darbe etkisiyle aşınmakta olup, bu kısımdan dökülen parçacıklar alaşımı kirlenmektedir. Uzun çubuklar bilyaların yerini alarak çubuk öğütmede kirlenmeyi

azaltmak hedeflenmiştir. Silindirik kapta kesme kuvveti daha çok çubukların dönmesiyle oluşur. Bu uygulamanın neticesinde bilyalı öğütmeye nazaran çok daha az kirlenmenin olduğu gözlemlenmiştir (Milli, 2017).

6.7 Mekanik Alaşımlamanın Avantajları

İkili, üçlü ve çoklu sistemlere deneysel ve üretim süreçleri açısından, mekanik alaşımlama yöntemi kolaylıkla uygulanabilmektedir. Buna bağlı olarak mekanik alaşımlama yöntemi ticari ve üretim alanında birçok avantajlar getirmektedir. Sağladığı avantajları şöyle sayabiliriz.

- Sıvı fazda birbiri içerisinde (Cu-Pb) ya da katı fazda (Fe-Cu) gibi çözünmeyen elementlerin alaşımlandırılması,
- Normal ergitme teknikleriyle elde edilmesi zor ya da olanaksız olan elementlerin (WC-Co gibi), mekanik alaşımlamayla bir katı kal işlemi olması dolayısıyla elde edilebilir,
- Nitrür, oksit ve karbürlerin alaşımlama esnasında katı, sıvı ve gaz halinde takviye edilebilirliği,
- Birbirinden çok farklı ergime sıcaklığındaki malzemelerden olan intermetaliklerin elde edilmesi,
- Alaşımlamada, termodinamik açısından kompozisyon sınırlılığı bulunmamaktadır. Böylelikle sıra dışı ve farklı alaşımların üretilmesine imkân sağlar,
- Partiküllerin yardımıyla, toparlanmayı ve yeniden kristalleşmeyi engellemesi ya da yavaşlatılmasıyla malzemelerin yüksek sıcaklık kararlılığının yükseltilmesi,
- Homojen dağılmış matris içerisindeki partiküllerin yardımıyla dislokasyon hareketlerini engelleyen bariyerlerin meydana getirilmesi,

- Termal kararlılığı gelişmiş, aşınma ve korozyon direnci yüksek uygun malzemelerin elde edilmesi,
- Fabrikasyon ve depolama açısından kolaylık,
- Tek seferde oldukça fazla tozun alaşımlandırılması ve elde edilmesi,
- Nano kristalli malzemelerin elde edilmesine imkân sağlaması,
- Kritik sıcaklıklarda sinterlemeyle ısıtılma işlemi imkânı vermesi,
- Arzu edilen tepkimeleri gerçekleştirmesi ya da hızlandırması,
- Sinterleme ve preslemeyle yüzde yüze yakın yoğunlukta ürün elde edilmesi.

6.8 Mekanik Alaşımlama/Öğütme (MA/Ö) İşlem Mekanizması

Genellikle katı hal alaşımlaması olarak adlandırılan mekanik alaşımlama/öğütme tekniği, tane boyutu gayet ince ve kontrollü mikro yapıya sahip tozlardan meydana gelen kompozit metal alaşım tozları imalatında kullanılan, yüksek enerjili ve kuru öğütme yöntemidir. Yüksek enerjili öğütme esnasında, toz parçacıklar hızlıca yassılaşıp, soğuk kaynaklanıp, kırılır ve tekrardan kaynaklanır. İki tane çelik bilyanın çarpışma esnasında aralarında bir miktar toz sıkışır. Yaklaşık 1000 adet parçacık toplam 0,2 mg ağırlığında her çarpışma sırasında sıkışır. Oluşan çarpma kuvvetinin etkisiyle toz parçacıklarını plastik deformasyona uğratar, bu da kırılmaya ve deformasyon sertleşmesine neden olur. Başlangıç aşamasında parçacıklar yumuşak olduğundan (sünek-kırılgan veya sünek-sünek malzeme kombinasyonu kullanıldığında), büyük parçacıklar elde edilmesi ve parçacıkların birlikte kaynaklanması eğilimi yüksektir. Gayet geniş parçacık boyut grupları oluşur ve bazıları başlangıç parçacıklarından üç kat daha büyük olabiliyor. Başlangıç içeriklerinin çeşitli kombinasyonlarını içeren bir karakteristik katmanlı yapıya, kompozit parçacıklar bu aşamada sahiptir. Parçacıklar devamı süren deformasyon ile deformasyon sertleşmesine uğrayıp ve kırılgan katmanların ayrılmasıyla ya da bir yorulma mekanizmasıyla kırılır. Birleştirici kuvvetler olmadığı zaman bu sistem ile

oluşan parçacıklar boyut olarak küçülmeye devam eder. Kırılmaya olan eğilim bu safhada soğuk kaynaklanmadan daha fazladır. Mesela, parçacıkların yapısı devam eden darbelerden dolayı devamlı inceltilir, ama parçacık boyutu sabit kalır. Sonucunda parçacık içindeki katmanların sayısı artar ve katmanlar arası mesafe azalır (Milli, 2017).

Geleneksel bilyalı değirmende hatırlanacak olunursa parçacık boyutu azaltma kabiliyeti oldukça azdır, yaklaşık olarak %0,1'dir. Yüksek enerjili bilya öğütme işlemlerinde bu verim yüksek olabileceğine rağmen yine de %1'den azdır. Genellikle ısı olarak kalan enerji kaybedilir, lakin az bir miktarı da toz parçacıkların plastik ve elastik deformasyonunda kullanılır. Ortalama parçacık boyutunu azaltan kırılma hızı ve ortalama kaynaklanma boyunu arttıran kaynaklanma hızı arasında, belirli bir öğütme zamanından sonra, bir denge sağlandığında sabit durum elde edilir. Küçük parçacıklar büyük parçacıklara kaynaklanma eğilimindedirler ve kırılmadan deformasyona dayanabilirler. Burada çok büyük ve ince parçaları ortalama boyuta gelmesini sağlayan bir eğilim söz konusudur. Bu safhada başlangıç içeriklerinin hepsinin birlikte karıştırıldığı oranda her bir parçacık bileşik içerir ve parçacıklar deformasyon enerjisinin toplanmasından dolayı ile doyma sertliğine erişirler. Parçacıkların boyut dağılımı bu safhada dardır. Çünkü ortalamadan küçük parçacıkların topaklanarak büyüme hızıyla ortalamadan büyük parçacıkların boyutu aynı oranda küçülür. Yukarıda bahsi geçenlerden görüldüğü üzere mekanik alaşımlama sırasında, parçacıklar aşırı deformasyon etkisinde kalır. Bu durum, artan tane sınırı sayısı, istifleme hataları ve boşluklar gibi birçok kristal hataların sebebiyetiyle görülür. Çözen elementlerin matris içerisine dağılma kabiliyetlerini bu hata yapısının varlığıyla arttırır. Difüzyon mesafelerini inceltmiş yapısal özellikler azaltır. Difüzyon davranışına öğütme sırasında sıcaklıktaki az miktardaki artış difüzyon davranışına daha fazla yardım eder. Nihayetinde içerik elementleri arasındaki alaşımlama doğru meydana gelir. Oda sıcaklığında bu alaşımlama nominal gerçekleşirken, bazen alaşımlamanın gerçekleşmesi için yüksek sıcaklıkta mekanik alaşımlanmış tozun tavlanması gerekir. Bu yargı özellikle metaller arası bileşiklerin gerçekleşmesi istendiğinde doğru olduğu görülmektedir.

Muayyen bir yapı geliştirmek için herhangi bir mekanizmada gerekli olan özel zaman içeriklerin (karışımın) karakteristiklerinin, başlangıçtaki parçacık boyutunun

ve mekanik alaşımla işlemleri gerçekleştirmek için özel ekipman ve bu ekipmanın çalışma şartlarının bir fonksiyonu olabilir. Ama birçok durumda, iç yapının inceltme hızı (tane boyutu, parçacık boyutu, boşluk, lameller gibi) işleme hızıyla logaritmiktir kabaca ve bundan dolayı başlangıç tozların boyutu kısmen önemi yoktur. Lameller mesafe yoğunlukla küçülür, birkaç dakikadan bir saate ve tane boyutları nanometre boyutlarına kadar inceltir. Yukarıda söz edildiği üzere, metallerin ve metal alaşımlarının üç farklı kombinasyonlarının; sünek-kırılgan, kırılgan-kırılgan ve sünek-sünek mekanik alaşımlamasını elde etmek mümkündür. Bundan dolayı mekanik alaşımlama sistemini bu başlıklar altında incelemek uygun olacaktır.

6.9 Sünek-Sünek Alaşımlama

Bu teknik mekanik alaşımlama için ideal ürünlerin kombinasyonudur. Alaşımlamayı gerçekleştirebilmek için Benjamin, en azından %15 sünek olması gerektiğini önermiştir. Çünkü toz parçacıklarının tekrar eden soğuk kaynaklanması ve kırılmasıyla doğru alaşımlama oluşur. Soğuk kaynaklanma parçacıklar sünek değil ise oluşmaz. Mekanik alaşımlamanın ilk safhalarında bir mikro dövme uygulamasıyla sünek elamanların yassılaşıp, yassı kek şekline geldiğini göstermiştir. Az miktardaki toz çoklukla bir ya da iki parçacık kalınlığında bilya yüzeylerine kaynaklanır. Öğütme elamanının aşırı aşınmasına engel olduğu için, öğütme elamanı üzerinde bir tozun kaplaması yararlıdır. Heterojen ürün oluşumundan kaçınmak için öğütme elamanının üzerindeki toz katmanının kalınlığı en düşük seviyeye çekilmelidir. Yassılaşmış parçacıklar daha sonraki safhada birbirleriyle soğuk kaynaklanıp içerik metallerin bir levha kompozit yapısını meydana getirir. Bu safhada parçacık boyutundaki artışta gözlenir. Mekanik alaşımlama süresinin artmasıyla toz kompozit parçacıklar deformasyon sertleşmesine uğrarlar. Sertlik artış gösterir ve haliyle kırılabilirlikte buna bağlı artar. Daha düzgün eş boyutlarda parçacıklar parçalara ayırarak, parçacıklar meydana gelir. Doğrusal olmaktan ziyade daha fazla öğütme ile kaynaklanmış tozlar dentritik olur. Eşit boyutlu toz parçacıklarının kaynaklandıkları yönlenebilir herhangi bir tercih olmadan rastgele kaynaklanmasındandır. Azalan difüzyon mesafeleri, artan kafes hata yoğunluğu ve öğütme işlemi esnasında olan herhangi bir ısıtmanın kombinasyonu nedeniyle bu safhada alaşımlama başlar. Bu safhada sertlik ve parçacık boyutu bir doyum noktasına erişme eğilimdedir. Bu durum sabit durum işleme safhası olarak

adlandırılır. Katı çözeltiler, metaller arası bileşikler ya da amorf fazların oluşumuna neden olan doğru alaşımlama, daha fazla öğütmeyle atomik seviyede gerçekleşir. Katman aralıkları bu safhada o kadar ince olur ki optik mikroskop altında bile görünmez (Milli, 2017).

Tozda homojen yapının elde edildiğinin ve mekanik alaşımlamanın gerçekleştirildiğinin bir göstergesi olarak tozun öğütme elamanlarından ayrılabilme kolaylığını söyleyebiliriz. Mekanik alaşımlama safhalarında çok çeşitli yapılar olduğu için yapısal inceltme istatistiği bir uygulama olsa dahi, yapısal inceltme hızı işleme giren mekanik enerji hızına ve işlenen ürünün pekleşmesine bağlı bulunmuştur.

6.10 Sünek-Kırılgan Alaşımlama

Kırılgan oksit parçacıkları sünek bir matris içerisine dağıtılmış olduğundan, geleneksel ODS alaşımları bu kısma girer. Benjamin ve diğerleri tarafından da bu tarz mekanizmalarda (mikro yapının oluşumu) açıklanmıştır. Alaşımlamanın ilk safhalarında, sünek metal parçacıkları bilya-toz-bilya çarpışmalarıyla yassılaşıp iken kırılgan oksit ya da metaller arası bileşik parçacıklar parçalanır. Sünek elemanlar tarafından bu parçalanan kırılgan parçacıklar engellenir, sünek elemanların arasında kalır. Levhalar arası boşluklar boyunca kırılgan içerikler sıkıca yerleşir. Öğütme arttırılarak sünek toz parçacıklar deformasyon sertleşmesinin etkisinde kalır, lamel iyice kıvrımlaşır ve inceler. Başlangıç toz karışımının kompozisyonuna her bir parçacığın kompozisyonu yaklaşır. Eğer kırılgan parçacıklar çözünebilir değil ise, mesela bir ODS alaşımında olduğu gibi, devam edilen öğütmeyle lameller arası boşluk azalır, lamel daha çok inceler ve sünek matris içerisinde düzgün bir şekilde dağılır. Eğer kırılgan faz çözünebilir ise kırılgan ve sünek elemanlar arasında kimyasal homojenlikte, alaşımlama da gerçekleşir. Alaşımlamanın gerçekleşip gerçekleşmeyeceği sünek-kırılgan bir mekanizmada, kırılgan elemanın sünek matris içerisinde çözünebilirliğine bağlıdır. İhmal edilebilir katı çözünebilirliğine sahip ise eğer bir eleman alaşımlamanın gerçekleşmesi olası değildir, örneğin demir içindeki bor. Bundan dolayı, mekanik alaşımlama sırasında sünek-kırılgan elemanların alaşımlaması, kısa mesafeli difüzyona imkân vermesi için tek başına kırılgan

parçacıkların parçalanmasını gerektirmez, aynı zamanda sünek matris elemanı içerisinde mümkün katı çözünebilirliği de ister.

6.11 Kırılğan-Kırılğan Alaşımlama

Alaşımlamanın gerçekleşmesi iki ya da daha fazla kırılğan bileşenlerden meydana gelen bir mekanizmada sezgisel bir açıdan bakacak olursak pek de ihtimal dahilinde olmayabilir. Sünek bileşenin olmaması olası bir kaynaklanmaya engel olur ve bunun bulunmadığı vaziyette de alaşımlamanın gerçekleşmesi mümkün olmaz. Metaller arası kırılğan bileşiklerin karışımlarının öğütülmesi de amorf fazlar meydana getirmiştir (Milli, 2017). Yukarıda sözü edildiği üzere, öğütme sırasında kırılğan bileşenler parçalanır ve sürekli parçaların boyutunda küçülme meydana gelir. Çok küçük parçacık boyutlarında toz parçacıklar sünek şekilde davranır ve boyutta daha fazla küçülme olanaksızdır; buna küçülme sınırı denilir. Kırılğan bileşenlerin öğütülmesi sırasında malzeme transferine katkıda bulunan olası mekanizmalar kusursuz hacimlerde mikro deformasyonu, sıcaklık artışını, yüzey deformasyonunu ya da öğütme sırasında tozlarda hidrostatik gerilim durumuyla gerçekleşebilen plastik deformasyonu barındırır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Deneyisel Yöntem

Bu çalışmada CuNiSi alaşımına farklı oranlarda (% 2,5, 5 ve 10) WC parçacıkları ilave edilerek toz metalurjisi yöntemiyle üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle CuNiSi alaşımı için tozlar Tablo 7.1’de verilen %’de kimyasal bileşimine göre tartılarak hazırlanacaktır.

Tablo 7.1 CuAlNi kompozit karışımının kimyasal bileşimi

	Cu (%)	Ni (%)	Si (%)
CuNiSi alaşımının hazırlanması	95	4	1

Hazırlanan CuNiSi alaşımına WC ilaveleri Tablo 7.2’de verilen %’de kimyasal bileşimine göre tartılarak hazırlanacaktır.

Tablo 7.2 Kompozit malzemelerin üretim parametreleri

Numune No	CuNiSi (%)	WC (%)	Sıcaklık (°C)	Mekanik Alaşımlama Süresi (saat)
1	100	-	900	0
2	97,5	2,5		
3	95	5		
4	90	10		
5	100	-	900	5
6	97,5	2,5		
7	95	5		
8	90	10		
9	100	-	900	10
10	97,5	2,5		
11	95	5		
12	90	10		

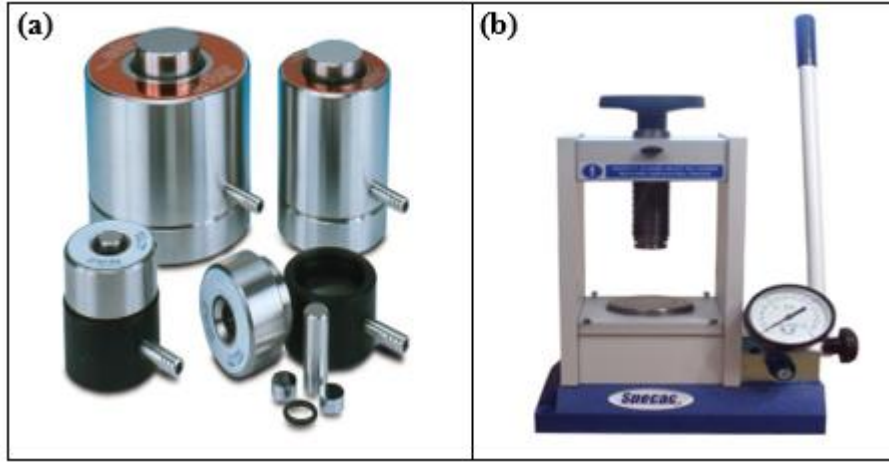
7.2 Numunelerin Hazırlanması

CuNiSi toz karışımı içerisine, %2,5, 5 ve 10 oranında WC ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım tozlar Şekil 7.1’de verilen Retsch marka PM100 model gezen hareketli bilyalı öğütücü cihaz ile 400 rpm hızda 5 ve 10 saat süre ile karıştırılarak mekanik alaşımlama yapılmıştır.



Şekil 7.1 Gezen hareketli bilyalı öğütücü

Hazırlanan tozlar Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan mekanik alaşımlama cihazı ile 0, 5 ve 10 saat süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonrasında tozlar aynı laboratuvarında bulunan pres ile presleme işlemi yapılmıştır. Soğuk presleme işleminde presleme basıncı olarak 600 MPa basınç uygulanmıştır. Presleme işlemi Specac marka GS15011 modeli hidrolik pelet presi (Şekil 7.2b) ile yapılmıştır. Presleme işleminde kalıp olarak, 13 mm çapında silindir şeklinde bir kalıp kullanılmıştır (Şekil 7.2a).



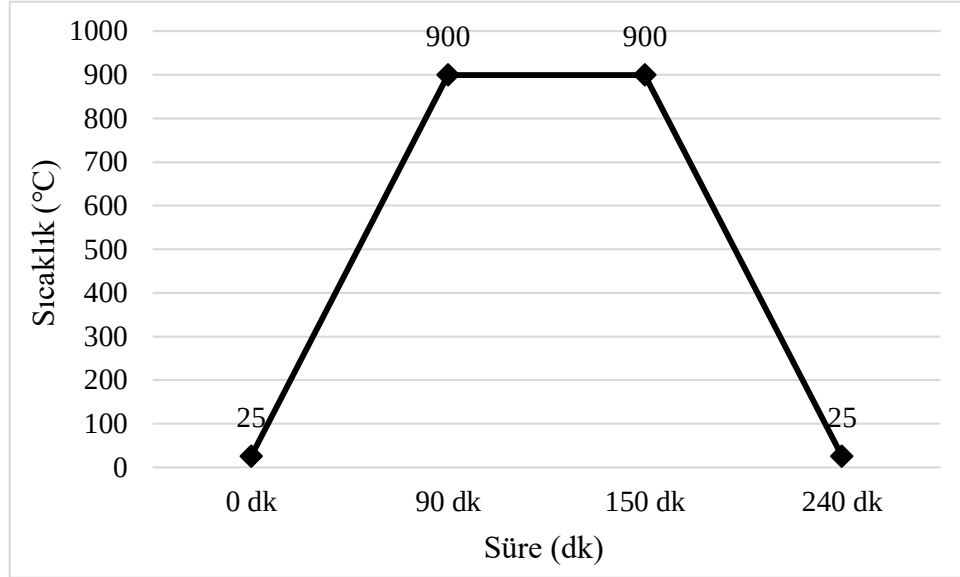
Şekil 7.2 a) kalıp b) Specac GS15011 pellet cihazı

Tozların sinterleme işlemi Kastamonu Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan atmosfer kontrollü ısıtma fırını (Protherm) (Şekil 7.3) ile yapılmıştır. Presleme işlemi sonrası numunelere, argon atmosferinde 900 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile sinterleme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 7.3 Atmosfer kontrollü ısıtma fırını

Sinterleme işlemi toplam 240 dakikada tamamlanmıştır. Numunelerin içerisindeki yağ vb. atıkların dışarı atılması amacı ile 10 °C/dakika hızla sinterleme sıcaklığı olan 900 °C' ye 90 dakikada yükseltilmişlerdir. Sinterleme sıcaklıklarında 60 dakika sabit sıcaklıkta bekletilen numuneler, soğutma bölgesinde 90 dakikada oda sıcaklığına kadar atmosfer kontrolü altında soğutulmuşlardır. Numunelerin sinterleme işleminin bir örneği Şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4 Sinterleme işlemleri

7.3 Numunelerin Mikroyapı İncelemesi

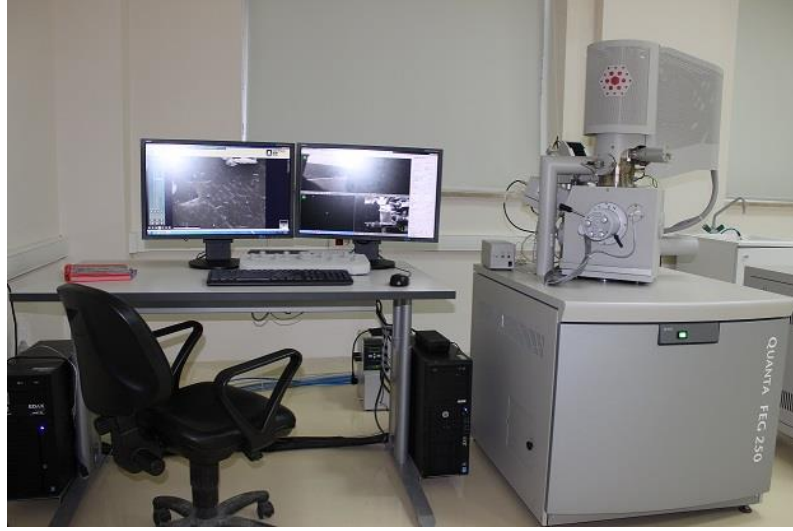
Sinterleme işlemi sonrasında deney numunelerinden taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntü alabilmek amacıyla metalografik işlemler uygulanmıştır. Bu uygulanan metalografik işlemler sırasıyla bakalite alma, zımparalama, parlatma ve dağlama olarak uygulanmıştır. Bakalite alma işlemi her numune için ayrı ayrı 100 °C sıcaklıkta uygulanmıştır. Bakalite alınan numunelerin yüzeylerine 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh zımparalar ile sırasıyla zımparalama işlemi uygulanmıştır. Daha sonra numunelerin yüzeyleri sırasıyla 3 ve 1 µ elmas süspansiyonlar ile parlatılmıştır. Son olarak ise, aşağıdaki reaktife yaklaşık olarak 10 sn. daldırma yöntemiyle dağlama işlemine tabi tutulmuşlardır.

Dağlama reaktifi: 5 ml Fe_3Cl

20 ml HCl

100 ml H_2O

Dağlama işlemi tabi tutulan numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında bulunan “FEI QUANTA 250 FEG” marka cihazdan alınmıştır (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 FEI QUANTA 250 FEG SEM analiz cihazı

Üretilen numunelerin XRD ölçümleri Bruker D8 Advance marka cihaz (Şekil 7.6) ile yapılmıştır. Ölçümler, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında yapılmıştır. X-ışını difraksiyonu (XRD), kristalin atomik ve moleküler yapısını incelemek için kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 7.6 Bruker D8 Advance XRD analiz cihazı

7.4 Numunelerin Mikrosertlik Ölçümü

Sinterleme sonrasında, deney numunelerine metalografik işlem basamakları sırasıyla uygulandıktan sonra, bu tez çalışmasında üretilen numuneler için uygulanan mekanik alaşımlama süresi ve takviye edilen WC miktarına bağlı olarak ortaya çıkan sertlik değerlerinin nasıl etkilendiği mekanik bir özellik olarak araştırılmıştır. Numunelerin

sertlik ölçümlerinde mikrosertlik ölçüm metodu kullanılmıştır. Bu ölçümler, Kastamonu Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan ve HV_{0,05} kg yük altında SHIMADZU marka HMV-G21 model mikrosertlik ölçüm cihazı (Şekil 7.7) kullanılarak yapılmıştır. 50 gr. yük altında 16 saniye yük uygulanarak mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Numunelerde sertlik ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için en az 5 noktadan ölçüm yapılmıştır.

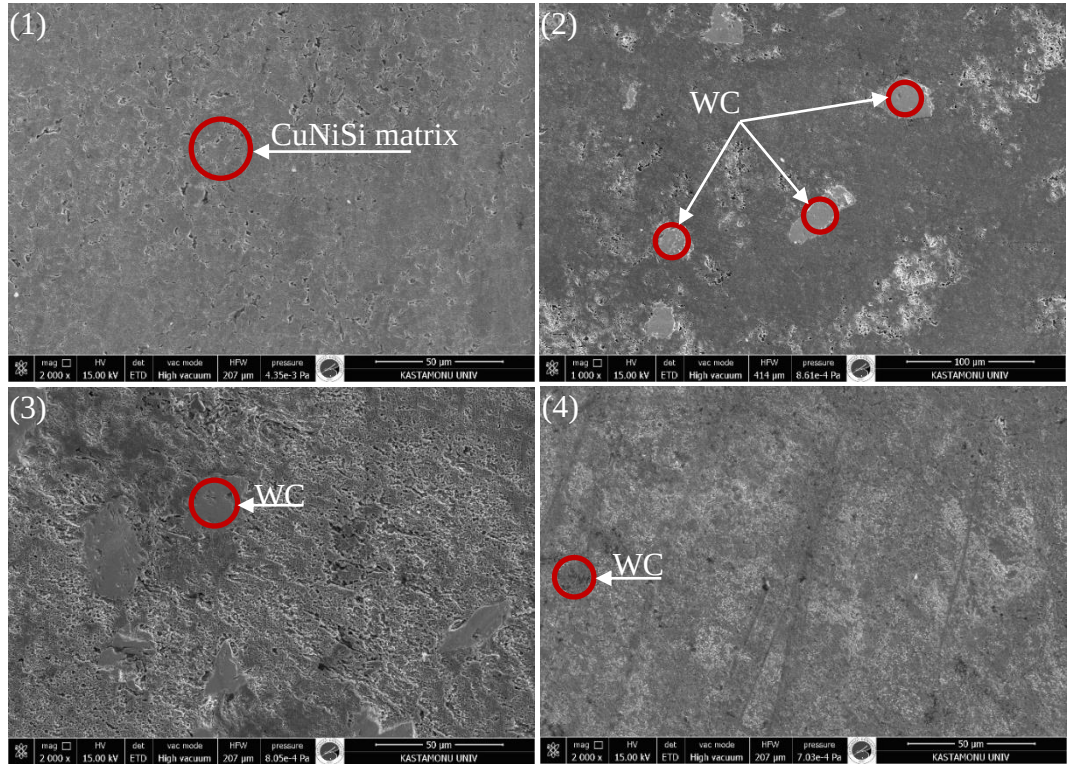


Şekil 7.7 SHIMADZU HMV-G21 model mikrosertlik ölçüm cihazı

8. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

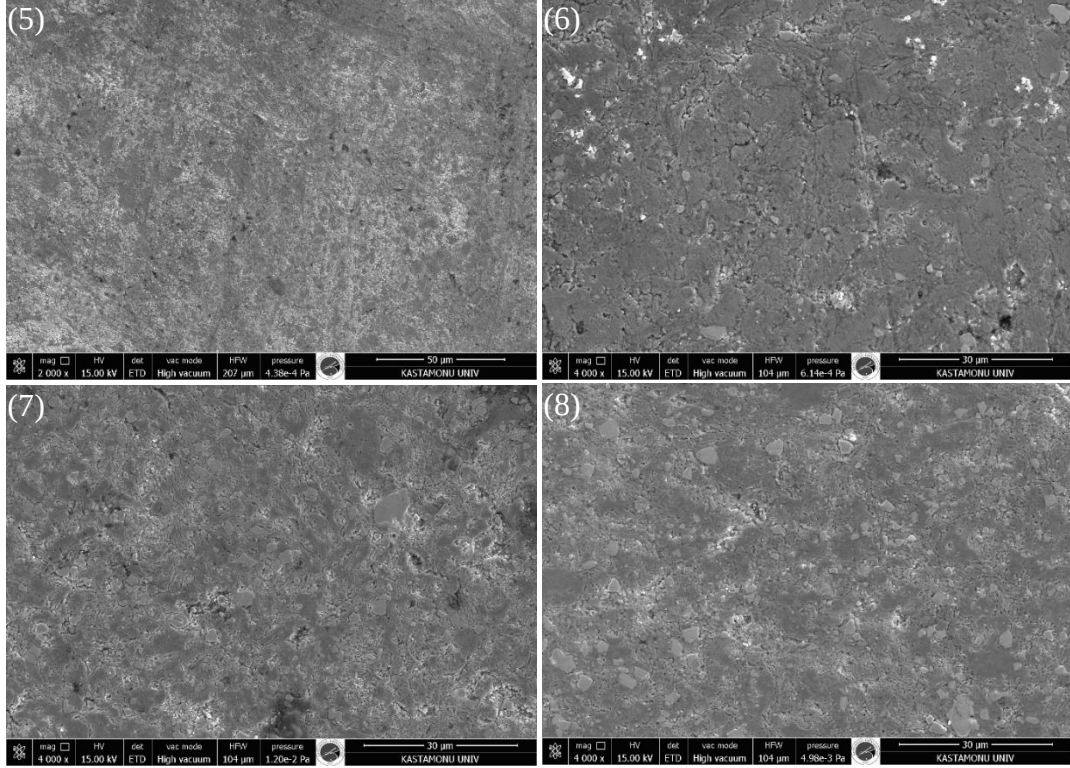
8.1 Numunelerin SEM Analiz Sonuçları

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen kompozitlerin SEM görüntüleri alınmış ve elde edilen görüntülere göre değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 8.1’de verilen 1 numaralı numunenin SEM görüntüleri incelendiğinde CuNiSi matrix yapısı açıkça görülmektedir. Ek olarak, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde WC parçacıklarının homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Üretilen numunelerde kısmen çatlaklar ve gözenekler görülmektedir. Verilen SEM görüntüleri incelendiğinde WC ilavesi arttıkça, gözenek miktarının azaldığı açıkça görülmektedir. CuNiSi ve WC ’ün iç yapıda homojen bir şekilde dağılması üç boyutlu turbula ile karıştırma ve sinterleme işleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar mevcuttur (Engin vd., 2013; Şenel vd., 2018).



Şekil 8.1 Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin SEM görüntüleri

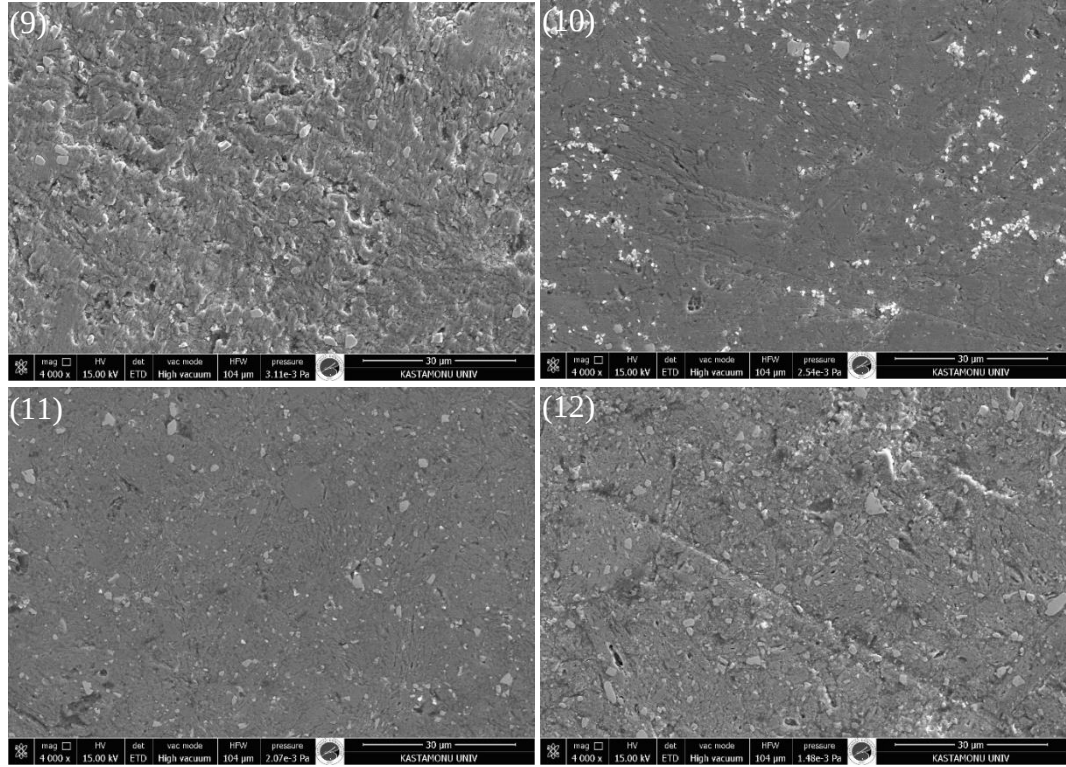
Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.2’de verilmiştir. Şekil 8.2’de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde matris olarak kullanılan CuNiSi yapısı açık bir şekilde görülmektedir. Takviye elemanı olarak kullanılan WC tozları birbirine benzer şekilde ve genel olarak keskin köşeli ve düzensiz bir geometriye sahiptir.



Şekil 8.2 Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin SEM görüntüleri

Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.3’te verilmiştir. 5 saat süreyle mekanik alaşımlama yapılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.2’de, 10 saat süreyle mekanik alaşımlama yapılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.3 ‘te verilmiştir. Mekanik alaşımlama süresinin artması ile mekanik özelliklerde iyileşme tespit edilmiştir. Mekanik alaşımlama süresinin artması ile tozlara aşırı yükleme yapılmış ve toz aşırı şekilde gevreklediği bunda mekanik yönde olumlu etkilediği düşünülmektedir. Ayrıca Şekil 8.3 incelendiğinde mekanik alaşımlama süresinin artması ile yapı içerisindeki WC parçacıklarının boyutları küçülmüş ve yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Homojen olarak dağılan WC parçacıkları mekanik özellikleri arttırdığı düşünülmektedir ve bu düşüncemizi mikrosertlik ölçüm sonuçları desteklemektedir.

Sonuç olarak, %10 WC içeren ve 10 saat karıştırılarak mekanik alaşımlandırılan numune en yüksek mikrosertlik değeri sergilemiştir.



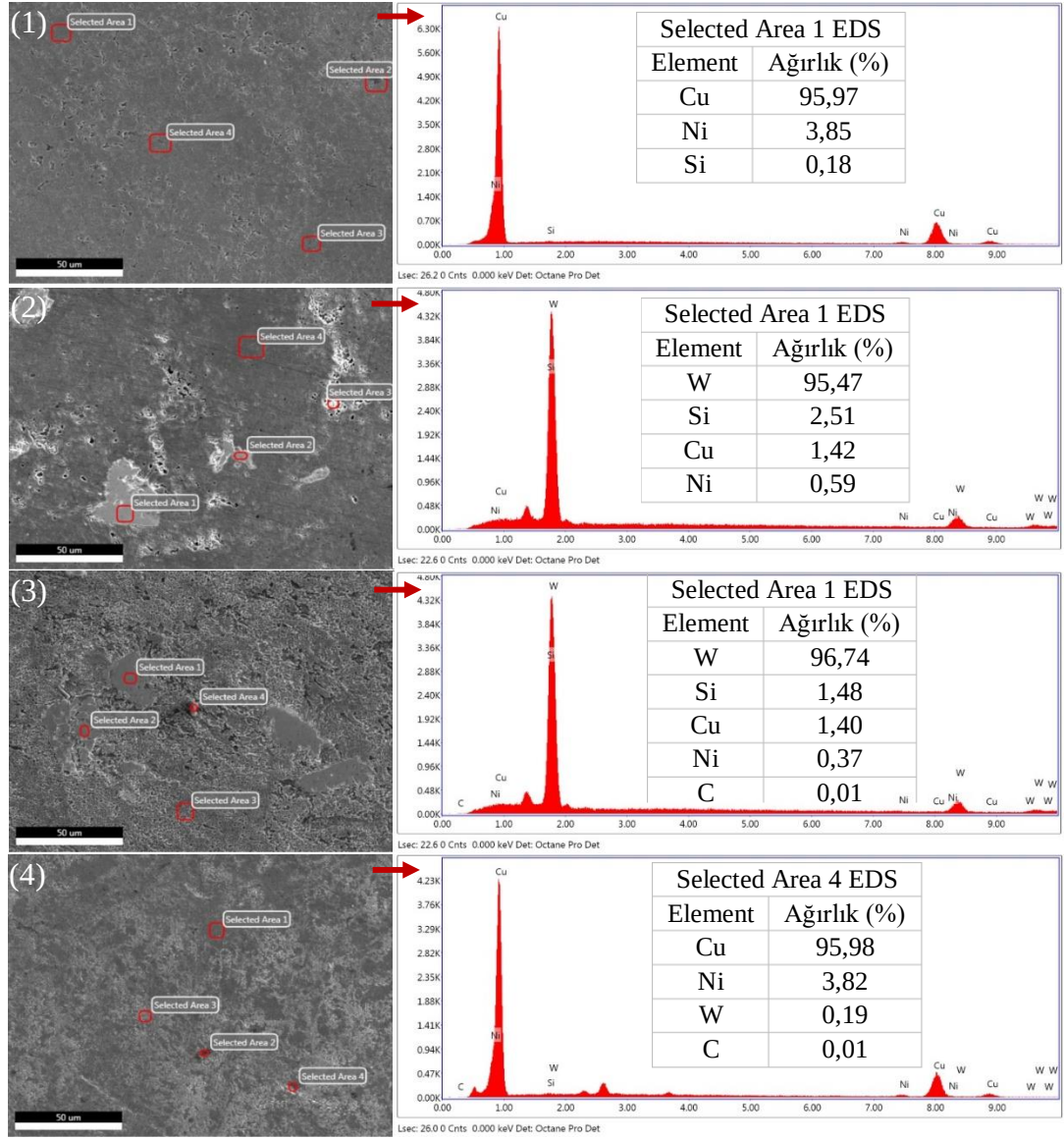
Şekil 8.3 Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin SEM görüntüleri

8.2 Numunelerin SEM-EDS Analiz Sonuçları

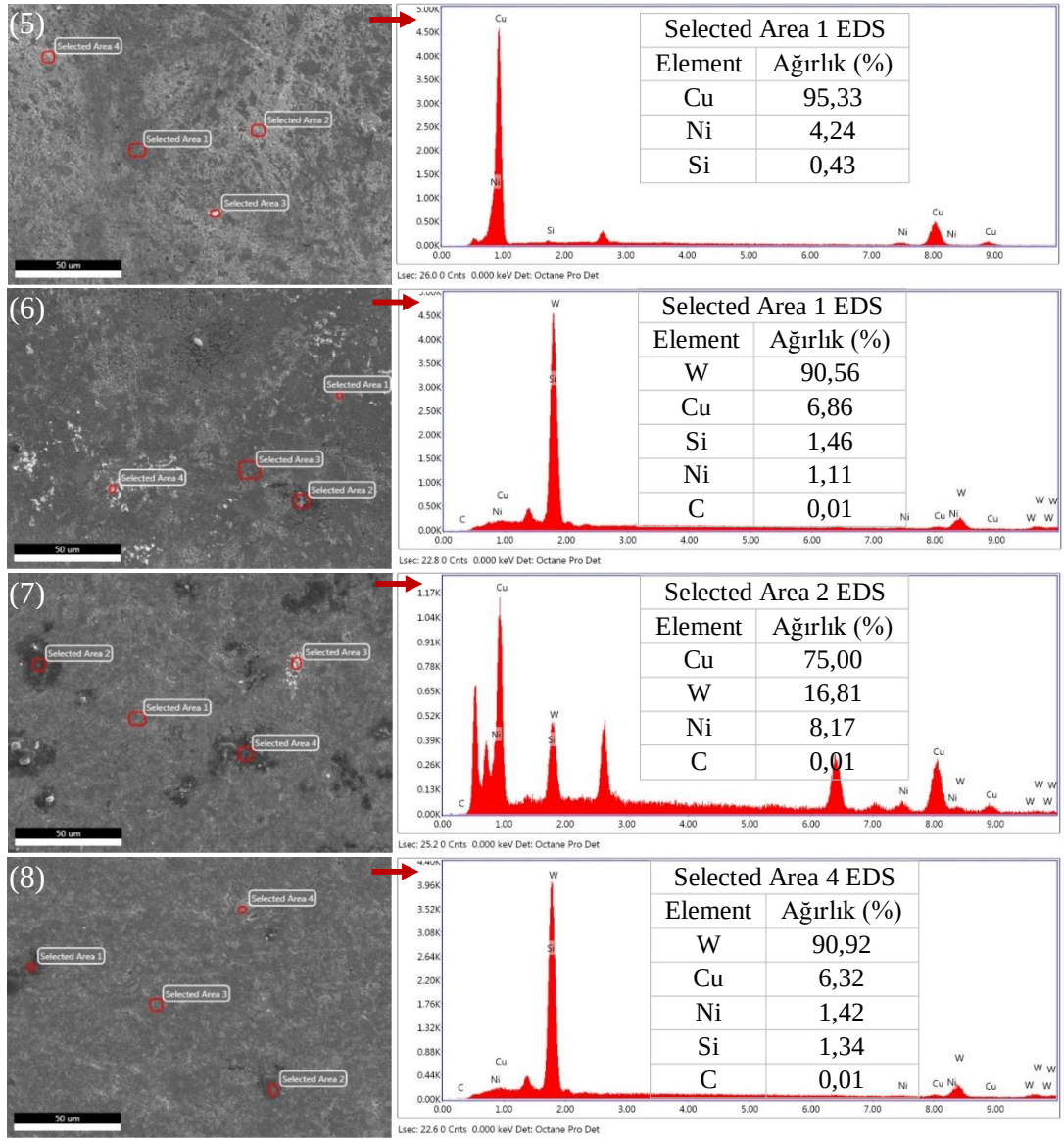
Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin SEM-EDS analizleri Şekil 8.4'te verilmiştir.

Şekil 8.4'te verilen EDS analiz sonuçları, üretilen numunelerin kimyasal bileşimlerini desteklemektedir. Üretilen numunelerin içyapılarında farklı oranlarda Cu, Ni, Si, W ve C olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin SEM-EDS analizleri Şekil 8.5'te verilmiştir.



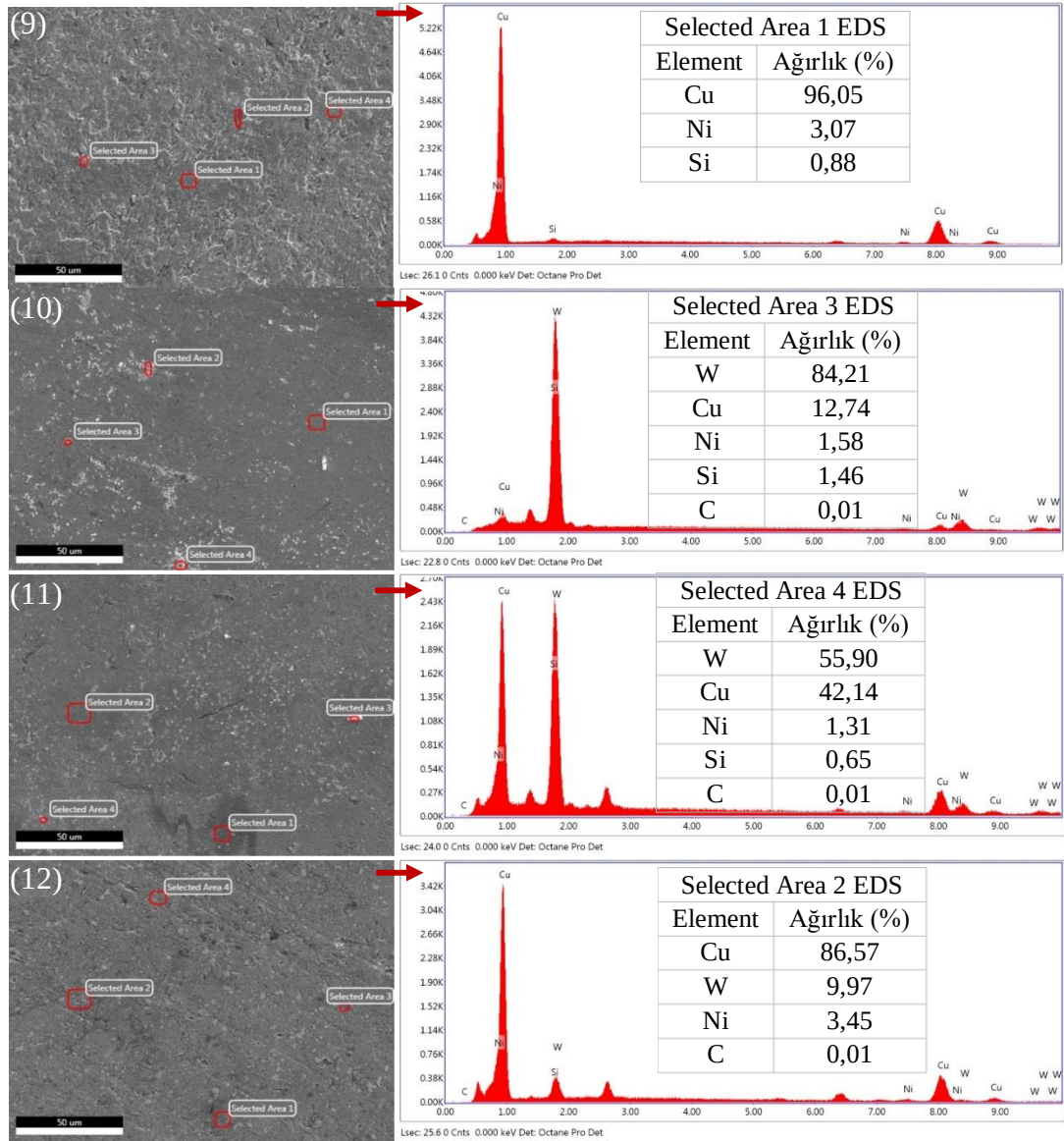
Şekil 8.4 Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin SEM-EDS analiz sonuçları



Şekil 8.5 Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin SEM-EDS analiz sonuçları

Şekil 8.5 'te verilen EDS analiz sonuçları, üretilen numunelerin kimyasal bileşimlerini desteklemektedir. Üretilen numunelerin içyapılarında farklı oranlarda Cu, Ni, Si, W ve C olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, artan WC yüzde (%) oranına göre W ve C piklerinin de arttığı açıkça görülmektedir.

Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin SEM-EDS analizleri Şekil 8.6 'da verilmiştir.



Şekil 8.6 Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin SEM-EDS analiz sonuçları

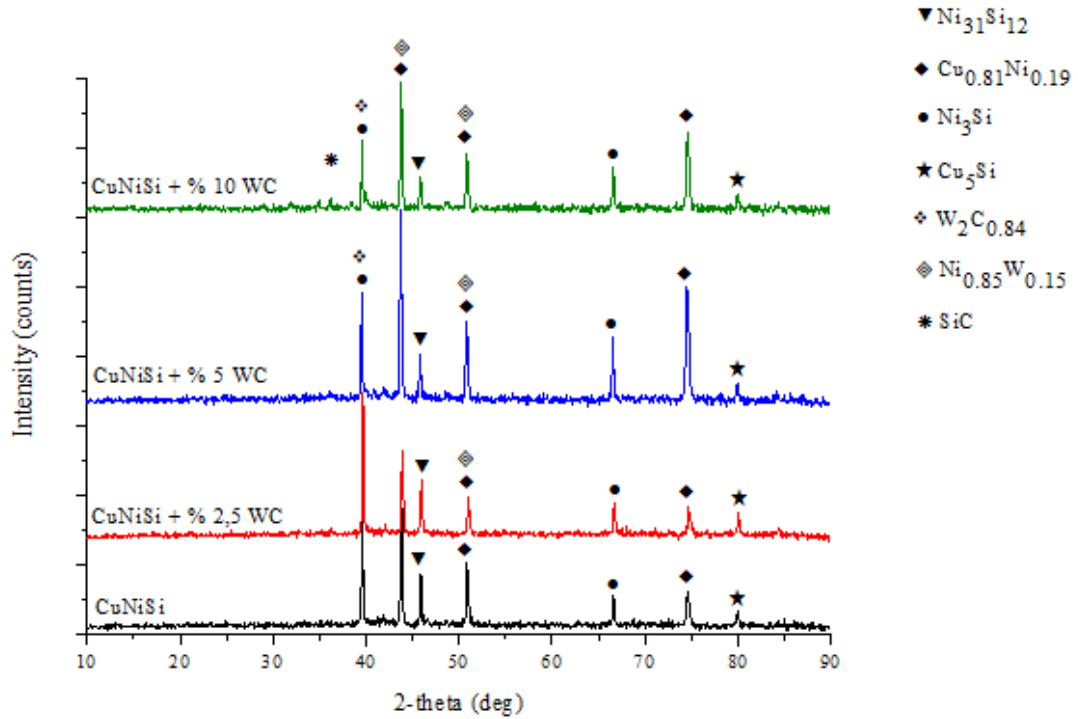
Şekil 8.6'da verilen EDS analiz sonuçları incelendiğinde, üretilen numunelerin kimyasal bileşimlerini desteklemektedir. Üretilen numunelerin içyapılarında farklı oranlarda Cu, Ni, Si, W ve C olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, artan WC yüzde (%) oranına göre W ve C piklerinin de arttığı açıkça görülmektedir.

Karbür partikülleri tane boyutu küçültme, katı ergiyik sertleşmesi ve dispersiyon sertleşmesi gibi mukavemet artırıcı mekanizmalar, toz metalurjisi ile üretilmiş malzemelerin sertlik ve aşınma dayanımlarının artmasını sağlamaktadır. Özdemirler vd., (2017) ve Erden vd., (2016) yaptıkları çalışmalarda, demir matrisi içerisine NbC ve AlC ilave etmişlerdir. Yapılan SEM incelemelerinde NbC ve AlC partikülleri

tespit etmişlerdir. Mekanik özelliklerdeki artışın matris içerisinde ve tane sınırlarında tespit edilen karbür ve nitrürlerin tane boyutu küçültme, katı ergiyik sertleşmesi ve dispersiyon sertleşmesi gibi mukavemet arttırıcı mekanizmalar ile sağlandığı ifade edilmiştir. Sonuçlar Özdemirler vd. ve Erden vd. yaptığı çalışmalar ile uyumluluk göstermektedir.

8.3 Numunelerin XRD Analiz Sonuçları

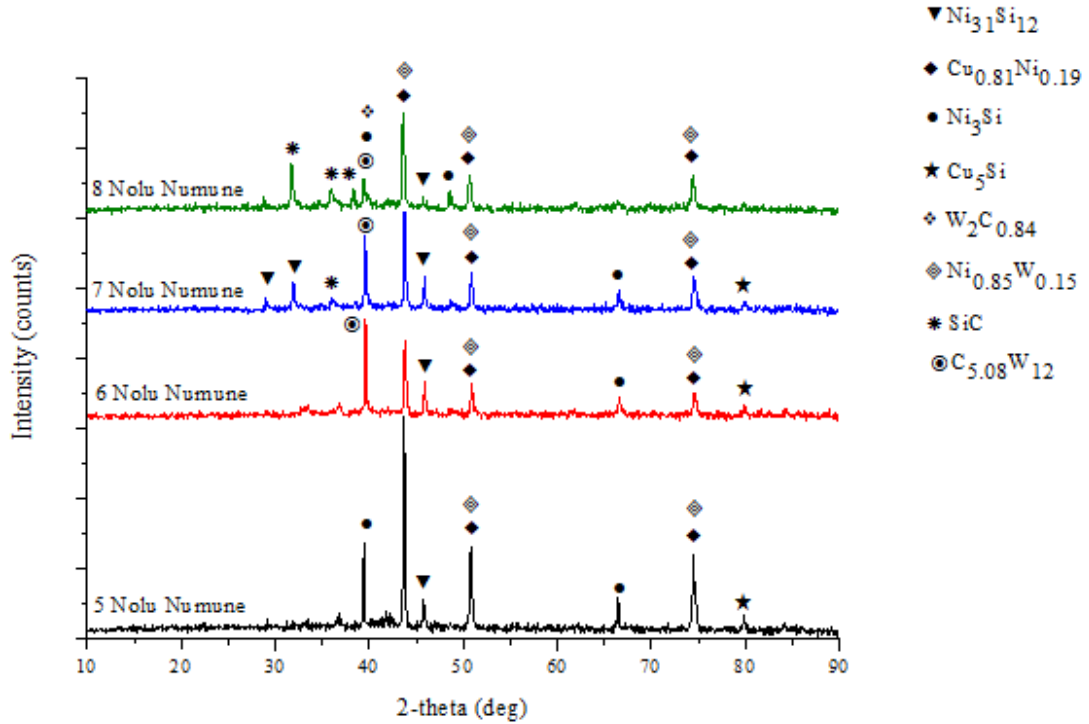
Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin XRD grafikleri Şekil 8.7'de verilmiştir.



Şekil 8.7 Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin XRD grafikleri

Şekil 8.7’de verilen XRD grafikleri incelendiğinde $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$, $\text{Cu}_{0.81}\text{Ni}_{0.19}$, Ni_3Si , Cu_5Si , $\text{W}_2\text{C}_{0.84}$, $\text{Ni}_{0.85}\text{W}_{0.15}$ ve SiC fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$ fazının baskın olduğu açıkça görülmektedir. Sinterleme işlemi sırasında CuNiSi ve WC parçacıkları arasında $\text{W}_2\text{C}_{0.84}$, $\text{Ni}_{0.85}\text{W}_{0.15}$ ve SiC fazları oluşmuştur. Genel olarak, verilen XRD grafikleri incelendiğinde ilave WC miktarı arttıkça, $\text{Cu}_{0.81}\text{Ni}_{0.19}$, $\text{Ni}_{0.85}\text{W}_{0.15}$ ve SiC fazlarının şiddetinin arttığı tespit edilmiştir (Nazarian-Samani vd., 2010; Georgiza vd., 2017).

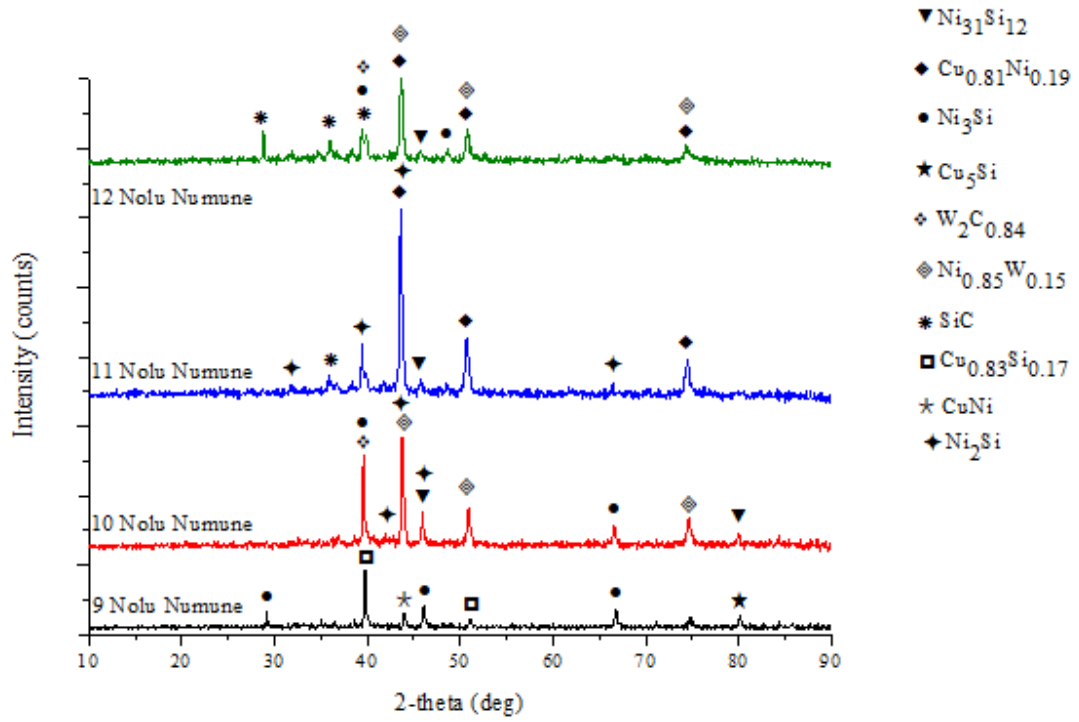
Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin XRD grafikleri Şekil 8.8'de verilmiştir.



Şekil 8.8 Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin XRD grafikleri

Şekil 8.8’de verilen XRD grafikleri incelendiğinde $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$, $\text{Cu}_{0.81}\text{Ni}_{0.19}$, Ni_3Si , Cu_5Si , $\text{W}_2\text{C}_{0.84}$, $\text{Ni}_{0.85}\text{W}_{0.15}$, SiC ve $\text{C}_{5.08}\text{W}_{12}$ fazlarının olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$ fazının baskın olduğu açıkça görülmektedir. Sinterleme işlemi sırasında CuNiSi ve WC parçacıkları arasında $\text{W}_2\text{C}_{0.84}$, $\text{Ni}_{0.85}\text{W}_{0.15}$ ve SiC fazları oluşmuştur. Genel olarak, verilen XRD grafikleri incelendiğinde ilave WC miktarı arttıkça, $\text{Cu}_{0.81}\text{Ni}_{0.19}$, $\text{Ni}_{0.85}\text{W}_{0.15}$, $\text{C}_{5.08}\text{W}_{12}$ ve SiC fazlarının şiddetinin arttığı tespit edilmiştir.

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin XRD grafikleri Şekil 8.9’da verilmiştir.



Şekil 8.9 Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin XRD grafikleri

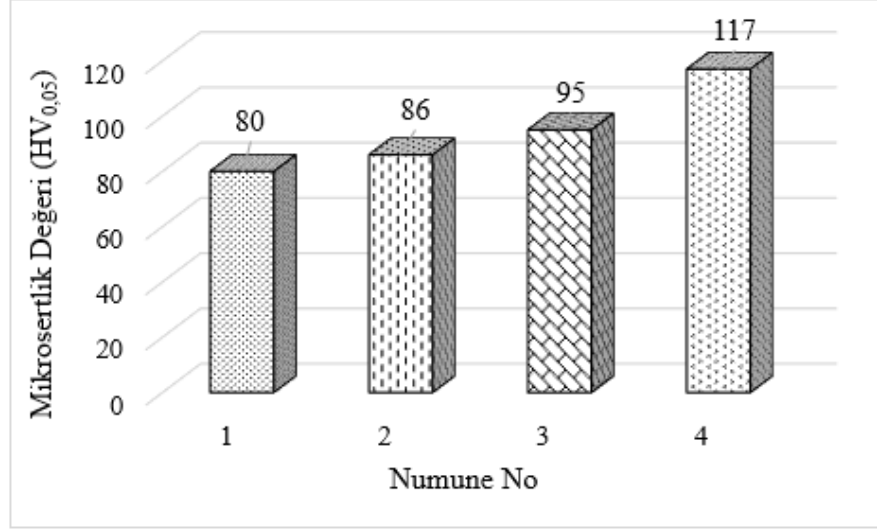
XRD sonuçları SEM nokta ve çizgi EDS'lerde görüldüğü gibi $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$, $\text{Cu}_{0.81}\text{Ni}_{0.19}$, Ni_3Si , Cu_5Si , $\text{W}_2\text{C}_{0.84}$, $\text{Ni}_{0.85}\text{W}_{0.15}$, SiC , $\text{Cu}_{0.83}\text{Si}_{0.17}$, CuNi , Ni_2Si ve WC çökeltilerinin oluştuğunu göstermektedir. Buna ek olarak, bu yapılarda oluşan bu çökeltilerin oluşup oluşmadığı XRD ile de ispatlanmakta ve XRD analizinden elde edilen sonuçlar SEM incelemelerinde yapılan nokta ve çizgi EDS analiz sonuçlarını destekler niteliktedir.

8.4 Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri Şekil 8.10'da verilmiştir.

Üretilen kompozitlerin mikrosertlik ölçümleri 100 μm aralıklarla bir çizgi boyunca numune yüzeyinden alınmıştır. 1. numunenin sertliği yaklaşık 80 $\text{HV}_{0.05}$ 'dir. 2. numunenin sertlik değeri 86 $\text{HV}_{0.05}$ olarak tespit edilmiştir. 3. numunenin sertlik değeri 95 $\text{HV}_{0.05}$ olarak tespit edilmiştir. Son olarak, 4. numunenin sertlik değeri 117 $\text{HV}_{0.05}$ olarak tespit edilmiştir. WC takviyeli numunelerin sertliği takviyesiz numuneden daha yüksektir. Bu artış, karbür ve oluşan sert fazların varlığı ile

ilişkilidir. WC'ün eklenmesi, $W_2C_{0.84}$, $Ni_{0.85}W_{0.15}$ ve SiC fazlarının oluşumuna neden olmuştur ve sonuç olarak sertlikteki artışa katkıda bulunmuştur (Kattner, 1999; Otsuka ve Ren, 2005; Akkaş, 2020).



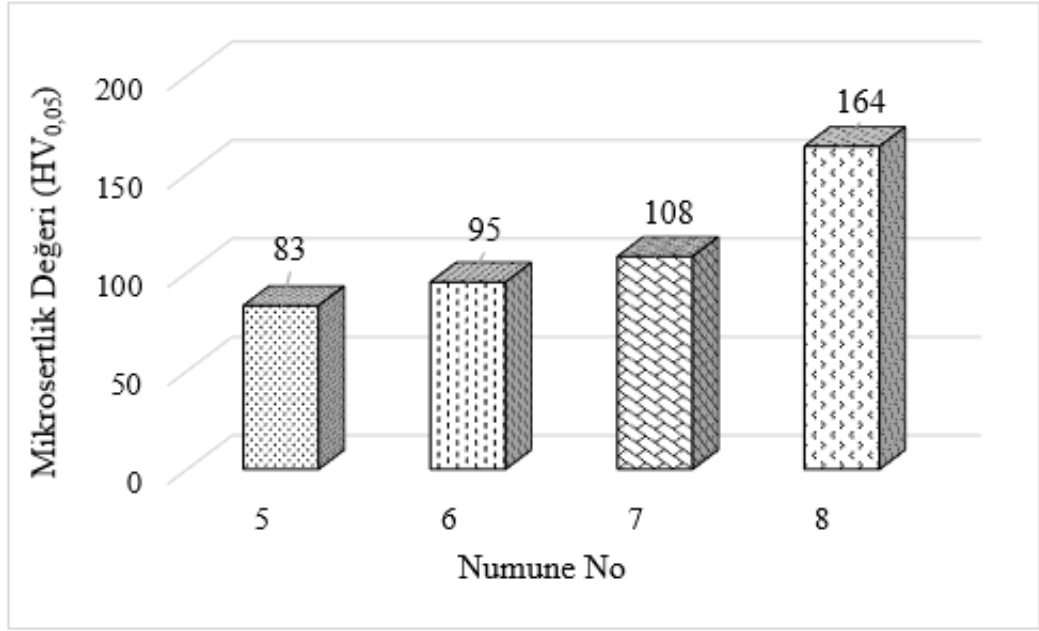
Şekil 8.10 Üretilen 1, 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri

Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri Şekil 8.11'de verilmiştir.

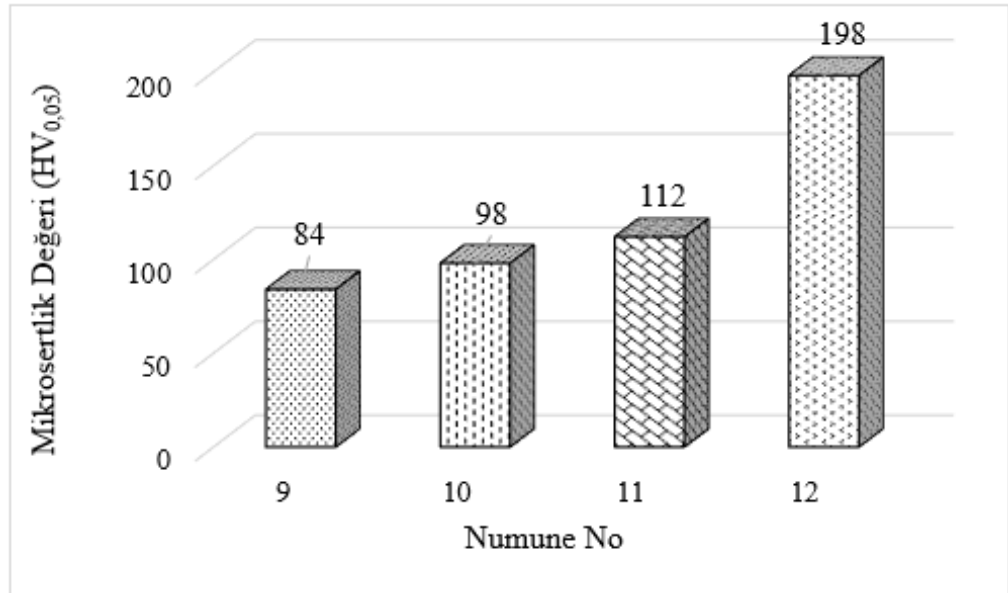
Şekil 8.11 ve 8.12'de mekanik alaşımlama yapılarak üretilen numunelerin sertlik değerleri verilmiştir. Verilen sertlik değerleri incelendiğinde mekanik alaşımlama işleminin sertlik değerlerini arttırdığı açıkça görülmektedir. Buna ek olarak, mekanik alaşımlama işleminin süresinde artması da sertlik değerlerinde artış sağlamıştır (Şekil 8.13). Mekanik alaşımlama işlemi yoğun bir öğütme uygulamasıyla, sürekli olarak plastik deformasyon, kırılma, soğuk kaynak, yeniden kırılma ve kaynaklanmayla homojen ve ince mikroyapının oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri Şekil 8.12'de verilmiştir.

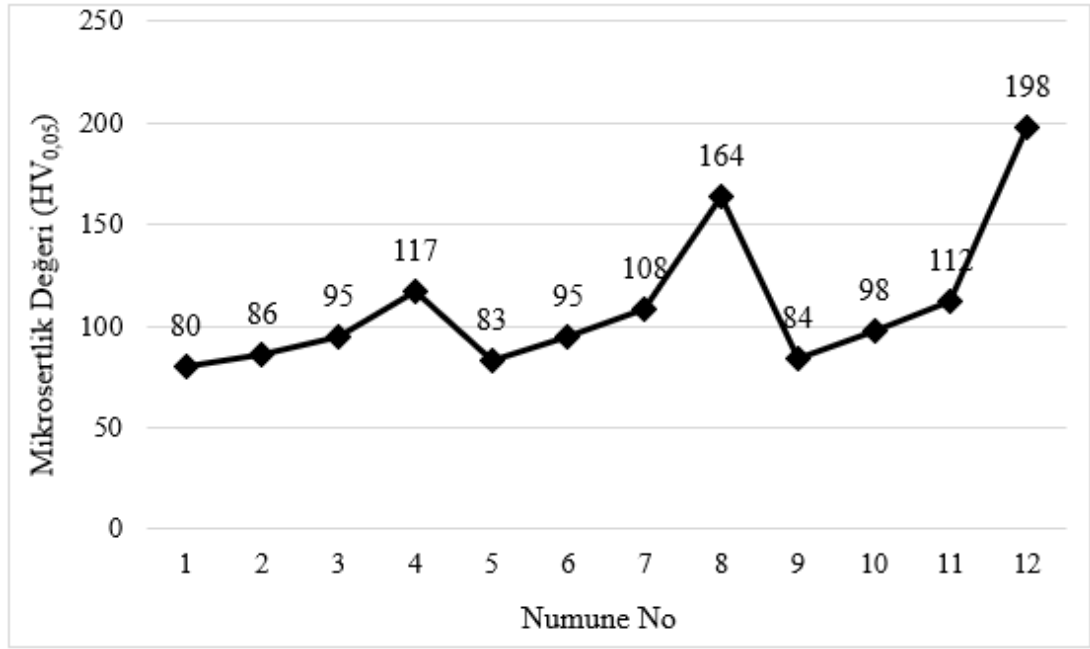
Üretilen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin toplu olarak mikrosertlik grafikleri Şekil 8.13'te verilmiştir.



Şekil 8.11 Üretilen 5, 6, 7 ve 8 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri



Şekil 8.12 Üretilen 9, 10, 11 ve 12 numaralı numunelerin mikrosertlik grafikleri



Şekil 8.13 Üretilen tüm numunelerin mikrosertlik grafikleri

9. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, toz metalurjisi (TM) yöntemi ile CuNiSi ve CuNiSi-WC kompozitler başarılı bir şekilde üretilmiştir. Üretilen numunelere, taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS), X-ışını difraktogramı (XRD) ve mikrosertlik testleri başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Deneysel sonuçların raporu aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Numunelerden alınan SEM görüntülerinde WC parçacıklarının homojen bir şekilde dağıldığı rapor edilmiştir. Buna ek olarak, WC ilavesi arttıkça, gözenek miktarının azaldığı tespit edilmiştir.
- EDS analiz sonuçlarında, üretilen numunelerin kimyasal bileşimlerini desteklenmiştir ve numunelerin içyapılarında farklı oranlarda Cu, Ni, Si, W ve C olduğu tespit edilmiştir.
- XRD grafiklerinde $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$, $\text{Cu}_{0.81}\text{Ni}_{0.19}$, Ni_3Si , Cu_5Si , $\text{W}_2\text{C}_{0.84}$, $\text{Ni}_{0.85}\text{W}_{0.15}$ ve SiC pikleri tespit edilmiştir.
- Mikrosertlik testi sonucunda WC takviyeli numunelerin sertliği takviyesiz numuneden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Artan WC miktarına ve mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak sertlik değerlerinde artış olmuştur. En iyi mikrosertlik değeri %10 WC ilave edilen ve 10 saat süre mekanik alaşımlama uygulanan numunede $198 \text{ HV}_{0.05}$ olarak ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akkaş, M., & Islak, S. (2019). Microstructure, Wear and Corrosion Properties of NiB-TiC Composite Materials Produced By Powder Metallurgy Method. *Science of Sintering*, 51, 327-338.
- Akkaş, M. (2020). The mechanical and corrosion properties of WCCo–Al coatings formed on AA2024 using the HVOF method. *Materials Research Express*, 7(7), 076515.
- Alizadeh, A., Maleki, M., & Abdollahi, A. (2017). Preparation of super-high strength nanostructured B4C reinforced Al-2Cu aluminum alloy matrix composites by mechanical milling and hot press method: microstructural, mechanical and tribological characterization. *Advanced Powder Technology*, 28(12), 3274-3287.
- Aydın, M., & Ünal, R. (2007). Laval Tipi Yeni Bir Nozul Tasarımı ile Metal Tozu Üretimi ve Üretim Değişkenlerinin Etkisinin İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 69-76.
- Bahçeci, E. (2006). *Al matrisli α -Si3N4 takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara).
- Barmouz, M., Asadi, P., Givi, M.B., & Taherishargh, M. (2011). Investigation of mechanical properties of Cu/SiC composite fabricated by FSP: Effect of SiC particles' size and volume fraction. *Materials Science and Engineering: A*, 528, 1740-1749.
- Boz, M., & Kurt, A. (2006). Toz Metal Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Performansı Üzerine Çinkonun Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1).
- Buytoz, S., Dagdelen, F., Islak, S., Kok, M., Kir, D., & Ercan, E. (2014). Effect of the TiC content on microstructure and thermal properties of Cu–TiC composites prepared by powder metallurgy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 117(3), 1277-1283.
- Campbell, C. E., & Kattner, U. R. (1999). A thermodynamic assessment of the Ni–Al–B system. *Journal of phase equilibria*, 20, 485.
- Canbay, C. A., & Polat, T. (2017). Thermal and structural alternations in CuAlMnNi shape memory alloy by the effect of different pressure applications. *Physica B: Condensed Matter*, 521, 331-338.

- Clyne, T. W. (2001). Metal matrix composites: matrices and processing. *Encyclopaedia of Materials: Science and Technology*, 1.
- Çalığölü, U., Taşkın, M., & Kejanlı, H. (2008). Soğuk presleme yöntemiyle üretilmiş Ni-Ti-Cu kompozitlerin TLP difüzyon kaynağında sıcaklığın birleşme üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Engineering Sciences*, 3(4), 558-570.
- Çetin, T., & Akkaş, M. (2020). Effect of WC reinforced on microstructure and mechanical properties of CuAlMn alloys produced by hot pressing method. *European Journal of Technique*, 10(1), 173-183.
- Demirkese, E. (2003). Kompozit Malzemeler Ders Notları. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Du, X., Gao, T., Liu, G., & Liu, X. (2017). In situ synthesizing SiC particles and its strengthening effect on an Al-Si-Cu-Ni-Mg piston alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 695, 1-8.
- Ekşi, A., & Kurt, A. (1999). Metal ve Seramik Tozların Bilgisayar Kontrollü Tek Eksenli Kalıpta Preslenmesi. *Ankara ODTÜ, II. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 557-565.
- Elkady, O. A., Abolkassem, S. A., Elsayed, A. H., Hussein, W. A., & Hussein, K. F. (2019). Microwave absorbing efficiency of Al matrix composite reinforced with nano-Ni/SiC particles. *Results in Physics*, 12, 687-700.
- Engin, N., Gökaya, H., & Gökhan, S. (2013). Sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzemelerin üretilirliği üzerine bir değerlendirme. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2), 56-65.
- Erden, M. A., & Gökçe, H. (2016). The effect of sintering atmosphere on mechanical properties of Nb-V based microalloy steels produced by powder metallurgy method. *Sylwan*, 160 (8), 362-375.
- Erden, M. A. (2017). Presleme Basıncının Toz Metalürjisi ile Üretilen Alaşimsız Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 257-264.
- Erman, S. (2020). *Toz Metal Çeliklerde Mekanik Alaşımlamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması* (Doctoral dissertation).
- Ersümer A. (1970) 'Toz Metalürjisi', İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul.
- Georgiza, E., Gouda, V., & Vassiliou, P. (2017). Production and properties of composite electroless Ni-B-SiC coatings. *Surface and Coatings Technology*, 325, 46-51.

- German R.M. (1985). Liquid Phase Sintering. *Plenum Press*, New York, 1-3.
- German, R. M. (1994). Powder metallurgy science, 2nd edition. *Metal Powder Industries Federation*, USA.
- German, R.M. (2007). Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri. *Çeviri*.
- Gökmeşe, H., & Bostan, B. (2017). Fabrication and characterization of nanoparticle MgO/B4C composite by mechanochemical method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 231(4), 684-694.
- Graf, W., Potschke, J., Sibum, H., & Weiglin, W. (1991). Production of Gas-Atomized Metal Powders. *Metall*, 45(4), 348-354.
- Jayachandran, S., Akash, K., Prabu, S. M., Manikandan, M., Muralidharan, M., Brolin, A., & Palani, I. A. (2019). Investigations on performance viability of NiTi, NiTiCu, CuAlNi and CuAlNiMn shape memory alloy/Kapton composite thin film for actuator application. *Composites Part B: Engineering*, 176, 107182.
- Islak, S., Kır, D., & Buytoz, S. (2014). Effect of sintering temperature on electrical and microstructure properties of hot pressed Cu-TiC composites. *Science of Sintering*, 46(1).
- Kang, S. J. L. (2004). *Sintering: densification, grain growth and microstructure*. Elsevier.
- Karagöz, Ş., Yamanoğlu, R., & Atapek, Ş. H. (2009). Metalik toz işleme teknolojisi ve prosesleme kademeleri açısından parametrik ilişkiler. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 77-87.
- Karakulak, E., Yamanoğlu, R., Erten, U., Zeren, A., Zor, S., & Zeren, M. (2014). Investigation of corrosion and mechanical properties of Al-Cu-SiC-xNi composite alloys. *Materials & Design*, 59, 33-37.
- Kaya, A. İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- Kim, W. Y., Kim, H. S., Ra, T. Y., Bang, H. J., Yoo, Y. G., & Yeo, I. D. (2008). High temperature mechanical properties of Ni-Al-Cr based alloys for advanced die-materials applications. *Journal of Materials Science and Technology*, 24, 305-308.
- Koch, C. C. (1998). Milling of brittle and ductile materials. *ASM Handbook*, 7, 53-66.

- Korchagin, M. A., Dudina, D. V., Bokhonov, B. B., Bulina, N. V., Ukhina, A. V., & Batraev, I. S. (2018). Synthesis of nickel boride by thermal explosion in ball-milled powder mixtures. *Journal of materials science*, 53, 13592-13599.
- Kurt, A. (1992). Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerin Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Liang, Y., Zhao, Q., Zhang, Z., Li, X., & Ren, L. (2014). Effect of B₄C particle size on the reaction behavior of self-propagation high-temperature synthesis of TiC–TiB₂ ceramic/Cu composites from a Cu–Ti–B₄C system. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 46, 71-79.
- Liu, H., Teng, X., Wu, W., Wu, X., Leng, J., & Geng, H. (2017). Effect of graphene addition on properties of Cu-based composites for electrical contacts. *Materials Research Express*, 4(6), 066506.
- Mandal, D., & Viswanathan, S. (2013). Effect of heat treatment on microstructure and interface of SiC particle reinforced 2124 Al matrix composite. *Materials Characterization*, 85, 73-81.
- Matik, U. (2010). Akımsız nikel kaplamalarda ısıtıl işlemin sertlik ve aşınma özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-50.
- Milli, A. (2017). *Mekanik alaşımlama yöntemi ile (B₄C+ FeTi) takviyeli Fe esaslı kompozit üretimi* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Nazarian-Samani, M., Kamali, A. R., Mobarra, R., & Nazarian-Samani, M. (2010). Phase transformations of Ni-15 wt.% B powders during mechanical alloying and annealing. *Materials Letters*, 64, 309-312.
- Nazik, C. (2013). *Alüminyum matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Newkirk, J. W., & Kosher, R. A. (2004). Designing with powder metallurgy alloys. *Handbook of Mechanical Alloy Design*.
- Ni, J., Li, J., Luo, W., Han, Q., Yin, Y., Jia, Z., ... & Xu, Z. (2018). Microstructure and properties of in-situ TiC reinforced copper nanocomposites fabricated via long-term ball milling and hot pressing. *Journal of Alloys and Compounds*, 755, 24-28.
- Otsuka, K., & Ren, X. (2005). Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys. *Progress in materials science*, 50, 511-678.

- Özdemirler, D., Gündüz, S., Erden, M.A., Karabulut, H., & Türkmen, H. (2016). Sinterleme sıcaklığının NbC ilave edilmiş TM çeliklerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı, 92-97.
- Salvo, C., Mangalaraja, R. V., Udayabashkar, R., Lopez, M., & Aguilar, C. (2019). Enhanced mechanical and electrical properties of novel graphene reinforced copper matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 777, 309-316.
- Sarıtaş, S., & Dogan, C. (1994). Metal-Powder Production By Centrifugal Atomization. *International Journal of Powder Metallurgy*, 30(4), 419-427.
- Sarıtaş, S., Türker, M., & Durlu, N. (2007). Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri. *Türk Toz Metalurjisi Yayınları*, 5, 2-34.
- Şenel, M. C., Gürbüz, M., & Erdem, K. O. Ç. (2018). Toz Metalürjisi Metoduyla Üretilen Al-Si₃N₄ Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(693), 33-46.
- Tang, S. M., Chung, C. Y., & Liu, W. G. (1997). Preparation of CuAlNi-based shape memory alloys by mechanical alloying and powder metallurgy method. *Journal of materials processing technology*, 63(1-3), 307-312.
- Tien, J. K. (2012). Superalloys, supercomposites and superceramics, *Elsevier*.
- Topcu, İ., Güllüoğlu, A. N., Bilici, M. K., & Gülsoy, H. Ö. (2019). Karbon nanotüp takviyeli Ti-6Al-4V/KNT kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 34(3).
- Turan, H. (1993). Gaz atomizasyonu ile metal tozu üretimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Upadhyaya, G. S. (1997). *Powder metallurgy technology*. Cambridge Int Science Publishing.
- Ünlü, M. D. (2014). SiC Esaslı Seramiklerin Spark Plazma Sinterleme(SPS) Yöntemi ile Üretimi ve Karakterizasyonu. (Doktora tezi) *Istanbul Technical University*.
- Vrsalović, L., Ivanić, I., Kožuh, S., Gudić, S., Kosec, B., & Gojić, M. (2018). Effect of heat treatment on corrosion properties of CuAlNi shape memory alloy. *Transactions of nonferrous metals society of china*, 28(6), 1149-1156.
- Wang, C., Lin, H., Zhang, Z., & Li, W. (2018). Fabrication, interfacial characteristics and strengthening mechanisms of ZrB₂ microparticles reinforced Cu

composites prepared by hot-pressed sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, 748, 546-552.

Wasaka, K., & Yamaki, M. (1991). A modified dental cast investment for nickel base alloy: a preliminary study. *Journal of materials science letters*, 10, 1093-1094.

Xie, X. S., Zhao, S. Q., Dong, J. X., Smith, G. D., & Patel, S. J. (2005). An investigation of structure stability and its improvement on new developed Ni-Cr-Co-Mo-Nb-Ti-Al superalloys. *In Materials Science Forum*, 475, 613-618.

Yandouzi, M., Böttger, A. J., Hendrikx, R. W. A., Brochu, M., Richer, P., Charest, A., & Jodoin, B. (2010). Microstructure and mechanical properties of B4C reinforced Al-based matrix composite coatings deposited by CGDS and PGDS processes. *Surface and Coatings Technology*, 205(7), 2234-2246.

Yaşa, A. (2008). Düz Dişlilerin Modellenmesi Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Celal Bayar Üniv. Yüksek Lisans Tezi*, 14-30.

Yener, T., Altinsoy, I., Yener, S. C., Celebi Efe, G. F., Ozbek, I., & Bindal, C. (2015). An evaluation of Cu-B4C composites manufactured by powder metallurgy. *Acta Physica Polonica A*, 127(4), 1045-1047.

Yönetken, A. (2019). Investigation of the production and mechanical properties of silicon carbide-reinforced composites. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(3), 1551-1558.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Khalid Fouzi Ihmeda BOUSHIHA
Doğum Yeri ve Yılı : Libya, 1983
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : khalid208085@yahoo.com



Eğitim Durumu

Lise : Ibrahim Al Osti Omar Secondary School,
Lisans : Omar Al-Mukhtar University,