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

B_4C/SiC PARÇACIK TAKVİYELİ CuNiSi ALAŞIM KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ABOUBAKER ALFERJANI H. ALRAJHE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET AKKAŞ

HAZİRAN - 2021
KASTAMONU

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.

Aboubaker Alferjani H. ALRAJHE

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

B_4C/SiC PARÇACIK TAKVİYELİ CuNiSi ALAŞIM KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ABOUBAKER ALFERJANI H. ALRAJHE

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

Son zamanlarda uygulanan üretim yöntemleri arasında toz metalurjisi ile üretilen CuNiSi alaşımları endüstride dikkate değer bulunmuştur. Toz metalurjisi 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 arttırılması gibi mekanik özellikler kazandırılabilir. Hafiflik ve sağlamlık oranı açısından başarılı olan CuNiSi alaşımları ile çok iyi mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi ile CuNiSi toz karışımına, ağırlıkça farklı oranlarda (%1; 2,5 ve 5) B_4C ve SiC parçacıkları takviyesi yapılarak, kompozit numuneler üretilmiştir. Hazırlanan tozlar üç boyutlu turbula ile 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonrasında tozlar soğuk pres ile presleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Soğuk presleme işleminde presleme basıncı olarak 600 MPa basınç uygulanmıştır. Preslenen numuneler sinterleme işlemi atmosfer kontrollü ısıl işlem fırını ile yapılmıştır. Sinterleme işlemi, argon atmosferinde 900 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile uygulanmıştır. Üretilen numunelerin mikroyapılarını belirleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu, üretilen numunelerin içyapılarında oluşan fazları belirleyebilmek için X-Işını Kırınım yöntemi analizi, mikrosertlik analizleri ve yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Mikroyapı sonuçlarından, B_4C ve SiC parçacıklarının içyapıda homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Üretilen kompozit numunelerde artan B_4C ve SiC takviye oranına bağlı olarak sertlik değerlerinde artış olmuştur. Bunun yanısıra, deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek sertlik değerine %5 B_4C ilave edilen CuNiSi kompozit numunede 146 $HV_{0.05}$ olarak ölçülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: CuNiSi kompozit, B_4C takviye, SiC takviye, yoğunluk

Haziran 2021, 74 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF B_4C/SiC PARTICLE REINFORCED CuNiSi ALLOY COMPOSITES

ABOUBAKER. ALFERJANI. H. ALRAJHE

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPAERTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. MEHMET AKKAŞ

Among the recently applied production methods, CuNiSi alloys produced by powder metallurgy have been found to be remarkable in the industry. Chemical composition control of the alloy can be achieved by powder metallurgy method. Powder metallurgy has been developed as an alternative to production methods such as casting, machining, hot and cold pressing. By obtaining composites by powder metallurgy method, mechanical properties such as wear resistance, corrosion resistance, surface friction and increasing surface tensions can be given to materials. Composite materials with very good mechanical properties are produced with CuNiSi alloys, which are successful in terms of lightness and strength. In this study, composite samples were produced by adding B_4C and SiC particles at different weight ratios (1; 2,5 and 5%) to the CuNiSi powder mixture by powder metallurgy method. The prepared powders were mixed with three-dimensional turbula for 1 hour. After the mixing process, the powders were subjected to cold pressing. In the cold pressing process, 600 MPa was applied as pressing pressure. The pressed samples were sintered in an atmosphere controlled heat treatment furnace. The sintering process was carried out in an argon atmosphere at 900 °C for 1 hour. Scanning electron microscopy was used to determine the microstructures of the produced samples, X-Ray Diffraction method analysis, microhardness analyzes and density measurements were made to determine the phases formed in the internal structures of the produced samples. From the microstructure results, it was determined that B_4C and SiC particles were homogeneously dispersed in the microstructure. The hardness values of the produced composite samples increased due to the increasing B_4C and SiC reinforcement ratio. In addition, as a result of experimental studies, it was measured as 146 $HV_{0,05}$ in the CuNiSi composite sample with 5% B_4C added to the highest hardness value.

KEYWORDS: CuNiSi composite, B_4C reinforcement, SiC reinforcement, density

June 2021, 74 Page

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, her türlü desteği ve imkânı sağlayarak değerli bilgilerinden yararlandığım, danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Akademik çalışmalarım süresince maddi ve manevi destekleriyle daima yanımda bulunan ve bugün bulunduğum yerde olmamda sonsuz katkıları olan aileme en içten sevgilerimi sunuyorum.

Aboubaker Alferjani H. ALRAJHE

Kastamonu, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **ix**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **xi**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
2. ANA BÖLÜM BAŞLIĞI **3**
3. TOZ METALURJİSİ **8**
3.1 Toz Üretim Yöntemleri 8
3.1.1 Mekanik Yöntemler 9
3.1.2 Atomizasyon Yöntemleri 10
3.1.3 Kimyasal Yöntemler 11
3.1.4 Elektroliz Yöntemi 12
4. KOMPOZİTLER **14**
4.1 Kompozitlere Genel Bakış 14
4.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları 14
4.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 15
4.3.1 Elyaflı Kompozitler 16
4.3.2 Parçacıklı Kompozitler 17
4.3.3 Tabakalı Kompozitler 17
4.3.4 Karma Kompozitler 17
4.3.5 Kompozit Malzemelerin Kullanımı 17
4.4 Toz Metalurjisi İle Üretim Süreci 18
4.4.1 Karıştırma ve Harmanlama 18
4.4.2 Tozların Şekillendirilmesi 19
4.4.3 Ekstrüzyon 19
4.4.4 Haddeleme 20
4.4.5 Presleme 21
4.4.5.1 Tek yönlü presleme 21
4.4.5.2 Çift yönlü presleme 22
4.4.5.3 Soğuk izostatik presleme 22
4.5 Sinterleme 24
4.5.1 Katı Faz Sinterleme 27
4.5.2 Sıvı Faz Sinterleme 28
5. YÖNTEM **31**
5.1 Numunelerin Üretim İşlemleri 31
5.2 Tozların Karıştırılması 31
5.3 Tozların Preslenmesi 32
5.4 Preslenen Numunelerin Sinterlenmesi 32
5.5 Sinterleme Öncesi Yoğunluk Ölçümleri 33

5.6 Metalografik İşlemler 33
5.7 SEM Analizi 34
5.8 XRD Analizi 34
5.9 Mikrosertlik Analizi 35
5.10 Sinterleme Sonrası Yoğunluk Ölçümü 36
6. BULGULAR VE TARTIŞMA 37
6.1 SEM Analiz Sonuçları 37
6.2 SEM-EDS Analiz Sonuçları 40
6.3 XRD Analiz Sonuçları 46
6.4 Mikrosertlik Analiz Sonuçları 49
6.5 Sinterleme Öncesi ve Sinterleme Sonrası Yoğunluk Analiz Sonuçları 50
7. GENEL SONUÇLAR 52
KAYNAKLAR 54
ÖZGEÇMİŞ 62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Öğütme yönteminin şematik resmi 10
Şekil 3.2 Gaz atomizasyon sistemi..... 11
Şekil 3.3 Üretim metotlarına göre toz şekilleri 11
Şekil 3.4 Kimyasal yöntemle demir tozu imalatı 13
Şekil 3.5 Elektroliz yöntemi..... 13
Şekil 4.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması 16
Şekil 4.3 Ekstrüzyon işleminin şematik gösterimi..... 20
Şekil 4.4 Haddeleme sistemi 20
Şekil 4.5 Tek yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve tek yönlü kalıbın şematik gösterimi 22
Şekil 4.6 Çift yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi 23
Şekil 4.7 Soğuk izostatik presleme şematik gösterimi..... 23
Şekil 4.8 Sıcak izostatik presleme şematik gösterimi 24
Şekil 4.9 Sinteleme işlemenin aşamaları..... 25
Şekil 4.10 İki tanenin sinterleme profili..... 26
Şekil 4.11 İki tanenin sinterleme modeli 27
Şekil 4.12 Sinterleme esnasında gözenek yapısının değişiminin şematik resim 28
Şekil 4.13 Sinteleme faz diyagramı 28
Şekil 4.14 İki toz karışımı kullanarak sıvı faz sinterlemesinin aşamaları..... 29
Şekil 4.15 Sıvı faz sinterleme işleminde çökelme ve tane büyümesi 29
Tablo 5.1 Referans numunenin kimyasal bileşimi..... 31
Tablo 5.2 Üretilen deney numunelerinin kimyasal bileşimleri..... 31
Şekil 5.1 a) kalıp b) Specac GS15011 marka pelet cihazı 32
Şekil 5.2 Atmosfer kontrollü ısıl işlem fırını 33
Şekil 5.3 FEI QUANTA 250 FEG marka SEM analiz cihazı..... 34
Şekil 5.4 Bruker D8 Advance marka XRD analiz cihazı..... 35
Şekil 5.5 SHIMADZU marka HMV-G21 model mikrosertlik ölçüm cihazı..... 36
Şekil 6.1 Üretilen 1 numaralı numunenin SEM görüntüsü..... 37
Şekil 6.2 Üretilen 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin SEM görüntüleri 38
Şekil 6.3 Üretilen 5, 6 ve 7 numaralı numunelerin SEM görüntüleri 39
Şekil 6.4 Üretilen CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu 40
Şekil 6.5 Üretilen %1 B_4C takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM – EDS analiz sonucu..... 41
Şekil 6.6 Üretilen %2,5 B4C takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu..... 42
Şekil 6.7 Üretilen %5 B4C takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu..... 43
Şekil 6.8 Üretilen %1 SiC takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu..... 44
Şekil 6.9 Üretilen %2,5 SiC takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu..... 45
Şekil 6.10 Üretilen %5 SiC takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu..... 46

Şekil 6.11 Üretilen CuNiSi kompozit numunenin XRD grafiği 47
Şekil 6.12 Farklı oranlarda B4C takviyeli üretilen CuNiSi kompozit numunelerinin XRD grafikleri 48
Şekil 6.13 Farklı oranlarda SiC takviyeli üretilen CuNiSi kompozit numunelerinin XRD grafikleri 49
Şekil 6.14 Üretilen numunelerin mikrosertlik değerleri 50
Şekil 6.15 Numunelerin yoğunluk değerleri 51

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 5.1 Referans numunenin kimyasal bileşimi 31
Tablo 5.2 Üretilen deney numunelerinin kimyasal bileşimleri 31
Tablo 6.1 Numunelerin presleme sonrası değerleri 50
Tablo 6.2 Numunelerin sinterleme sonrası değerleri 51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

EDS **:** Enerji Dispersiv Spektrum
SEM **:** Taramalı Elektron Mikroskobu
TM **:** Toz Metalurjisi
XRD **:** X-ışını difraksiyonu

1. GİRİŞ

Son zamanlarda uygulanan metotlar arasında toz metalurjisi 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 arttırılması 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 çalışmanın amacı, toz metalurjisi yöntemiyle üretilecek CuNiSi alaşımına B_4C ve SiC parçacıklarının ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini araştırmaktır. Bu tez kapsamında sabit presleme basıncında preslenen ve sabit sıcaklıkta sinterlenen CuNiSi alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerindeki değişim karşılaştırılmıştır.

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 (Lei vd., 2011; Semboshi vd., 2016; Gholami vd., 2017; Wang vd., 2018; Lei vd., 2019; Kim vd., 2020). Buna ek olarak, bu malzemeler makine teçhizat ve yapı malzemeleri, medikal aygıtlar ve araçlar gibi endüstriyel ve tıbbi uygulamaların yanısıra elektronik aygıtlar uzay araçları gibi ileri düzey uygulamalarda ve süper elastik gözlük çerçeveleri telefon antenleri gibi günlük hayatı kolaylaştıran birçok üründe kullanılmaktadırlar (Wu vd., 2013; Atapek vd., 2020). Son yıllarda robotik alanda yapılan uygulamalarda yaygınlaşmaktadır. Fakat CuNiSi ve alaşımlarının endüstride kullanımında mekanik özellikleri ve aşınma özellikleri bakımından problemlerle karşılaşılmaktadır (Dash vd., 2019). Bu problemlerden dolayı CuNiSi alaşımının mekanik özellikleri ve aşınma özellikleri düşük olduğu için toz metalurjisi yöntemi ile bu alaşıma B_4C ve SiC

parçacıkları takviye ederek üretimi gerçekleştirilecektir. Üretimi gerçekleştirilecek numunelerin aşınma direnci ve mekanik özellikleri artacağından dolayı endüstride ihtiyaç olan bir açık kapatılmış olacaktır.

Bu çalışmada literatür araştırmaları sonucu, B_4C ve SiC takviyeli CuNiSi kompozit malzemelerin üretilebilirliği ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu amaçla, literatürdeki bu boşluğu doldurabilmek amacıyla toz metalurjisi yöntemiyle B_4C ve SiC takviyeli CuNiSi kompozit malzemelerin üretimi çalışılmıştır.

2. ANA BÖLÜM BAŞLIĞI

Ahn vd. (2020), Cu-4Ni-1Si alaşımının mekanik ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu alaşımın mukavemeti, yaşlandırma sonrasında sürekli çökelti numunesinin mukavemetinden daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Buna ek olarak, Cu-4Ni-1Si alaşımı, sırasıyla 1088 MPa mükemmel mukavemet ve % 38 IACS değerleriyle iyi bir iletkenlik dengesi gösterdiğini rapor etmişlerdir (Ahn vd., 2020).

Yang vd. (2021), Cu-Ni-Si-Ti alaşımına Titanyum ilavesi ile döküm halindeki Cu Ni-Si-Ti alaşımının mikro yapısını iyileştirdiğini ve mekanik özelliklerdeki azalma eğilimini neredeyse durduğunu tespit etmişlerdir. Cu–10Ni–2Si–2Ti alaşımı %23.6 IACS elektrik iletkenliğine, 764.4 MPa nihai çekme mukavemetine, 622.26 MPa akma mukavemetine, %10.4 kırılma uzamasına ve %7.95 GPa mukavemet-uzama ürününe sahip olduğunu rapor etmişlerdir (Yang vd., 2021).

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 ~40 μm 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 bileşnelerini 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), AlSİCu 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 ısıl 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 güçlendirdirmeyi hedeflemişlerdir. Sonuç olarak B4C

partiküllerinin içeriğinin arttırılmasının 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 ısıl işlemin etkilerini araştırmışlardır. Bu deneysel çalışmada ısıl 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 uygulamışladır. Üretilen numunelerin sertlik, elektriksel iletkenlik, korozyon direnci ve bağıl 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.

Vrsalović1 vd. (2018), CuAlNi alaşımlarının korozyon özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada ısıl işlemin CuAlNi alaşımının korozyon özellikleri üzerine etkisinin analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak ısıl işlem 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 üretmişledir. 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 değerlerinindi azaldığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak, optimum ve en yüksek sertliğe %7 ZrB2 takviye edilen numunede ve 100,8 HV0,2 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 ℃ 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 içerinde TiC

parçacıklarının homojen olarak dağıldığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak, üretilen numunelerin sertliğinin ise sinterleme sıcaklığının artması ile birlikte numunelerinde sertliğinin 64,5 HV0,1 ile 85,2 HV0,1 arasında olduğunu tespit etmişlerdir.

3. TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi, metalik malzemelerin imal usulleri arasında yer alan ve oldukça yaygın olarak kullanılan bir metottur. Ekonomik ve yüksek imalat kalitesi gibi özelliklerinden dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir. Buna ek olarak, toz metalurjisi ile çok karmaşık şekilli malzemelerin imalatında da kullanılması avantaj sağlamaktadır. Toz metalurjisi yöntemi ile farklı malzemelerin üretimi her geçen gün artmakta ve geleneksel imalat yöntemleri yerine kullanılmaya başlanmaktadır (Karagöz vd., 2009; Buytoz vd., 2014).

Toz metalurjisi ile üretim metodu genel olarak, metal ve metal dışı toz malzemelerin üretilmesi olarak tanımlanabilir. Üretimi yapılan bu toz malzemelerin harmanlama ve karıştırma işleminden sonra arzu edilen şekli alması sağlanmaktadır. Toz malzemelerin şekil verme işlemi ise pres kalıpları ile olmaktadır. Preslenen işleminden sonra sinterleme işlemi uygulanarak yapılan bir imal usulüdür (Boz vd., 2006). Bu imal usulü ile toz üretimi, tozların karıştırılması, tozların presleme işleminin yapılması ve preslenen tozların sinterlenmesi olmak üzere bu aşamalardan oluşmaktadır (Ersümer, 1970). Tozun tanımı ise, bir mm'den daha küçük boyutlara sahip olan katı ve ince parçacıklar olarak yapılabilir (Demirkesen, 2003). Tozlar genel olarak metalik olmaktadır ve toz için en önemli parametre hacminin yüzey alanına göre küçük olmasıdır (Ersümer, 1970). Üretilen tozun kalitesi ve özellikleri genel olarak üretim değişkenlerine ve imal usullerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

3.1 Toz Üretim Yöntemleri

Metalik malzemelerin tozlarının imal usullerinin bilinmesi, üretimi yapılacak olan malzeme ve üretimi yapılacak olan toz için son derece önemlidir. Metalik tozların üretiminde en önemli parametreler tozların saflığı, parçacık boyutu, kimyasal bileşim, parçacık şekli, parçacık boyut dağılımı, spesifik yüzey alanı ve tozların yapılarıdır (Newkirk vd., 2004).

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

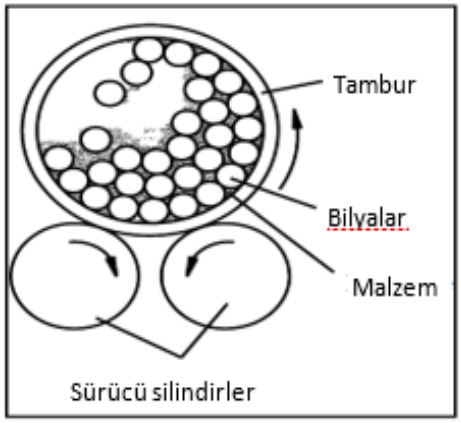
1. Mekanik yöntemler (Öğütme)
2. Atomizasyon yöntemleri
3. Kimyasal yöntemler
4. Elektroliz yöntemi

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

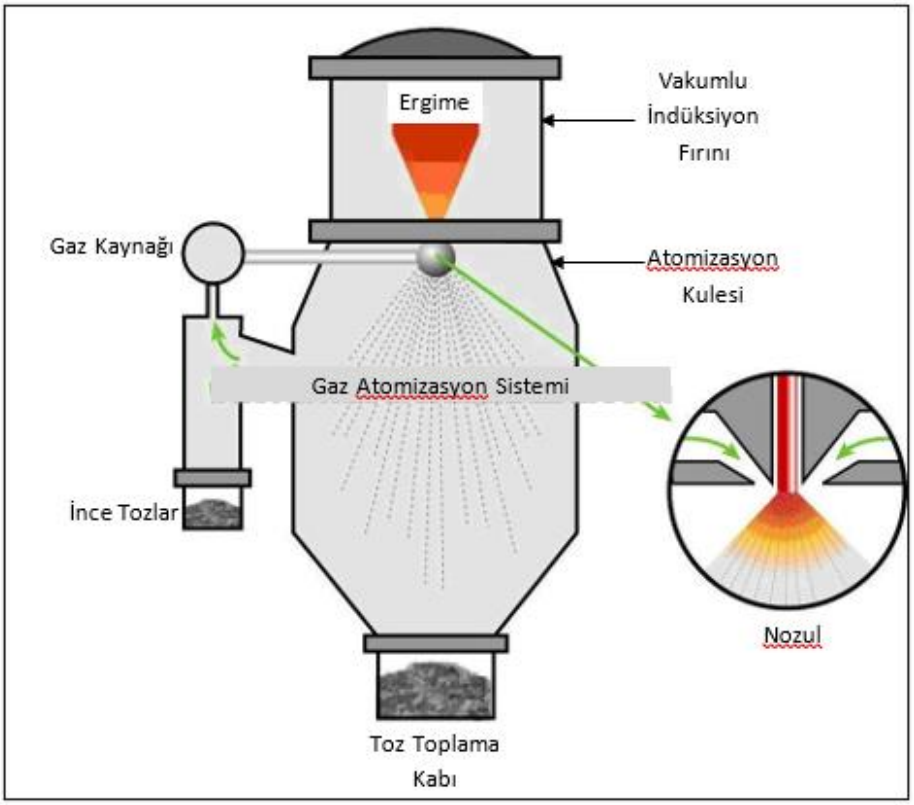
Toz üretim tekniklerinden en geleneksel olanıdır. Mekanik yöntemler metal parçacıkların birbiri arasında çarpışması sonucu darbe kuvveti ile kırılgan malzemelerin küçülerek toz haline gelme işlemi olarak tanımlanabilir. Bu teknik ile üretilen temel metal tozları bakır, alüminyum, pirinçtir, bunların 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.



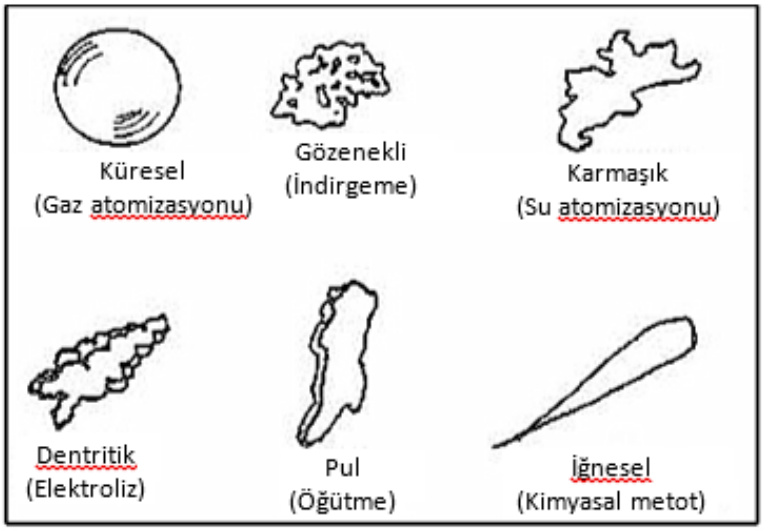
Şekil 3.1 Öğütme yönteminin şematik resmi

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)

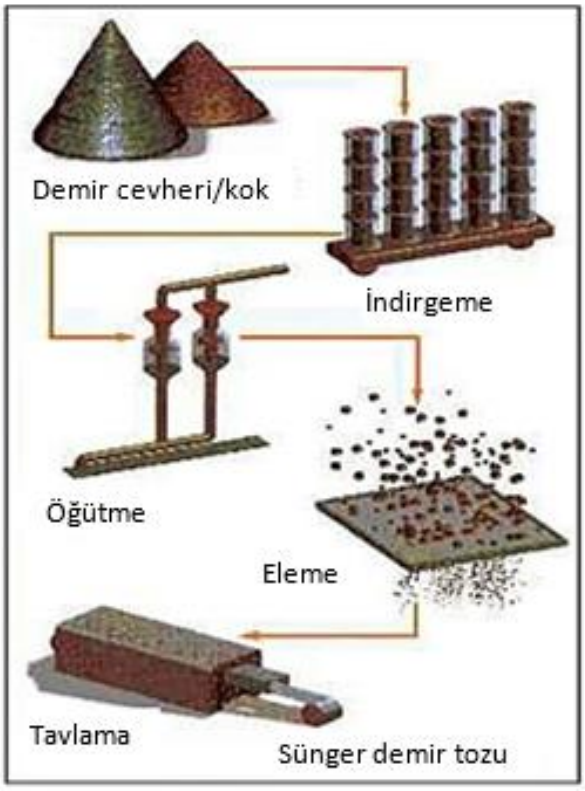
3.1.3 Kimyasal Yöntemler

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

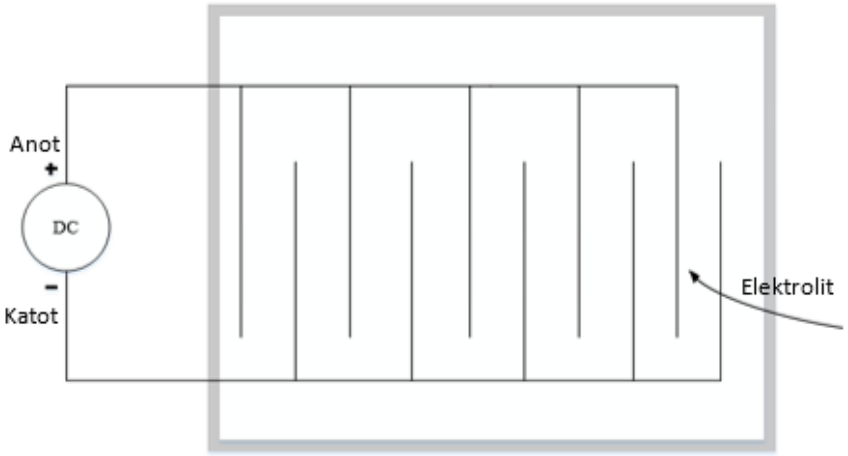
teknikte istenilen demir cevheri öğütülür, kokla karıştırılır karışım sürekli fırının içinden indirgeme oluşturularak geçirilir ve kek şeklinde sünger demir üretimi gerçekleştirilir. Demir tozu imalatının gösterimi Şekil 3.4 'de verilmiştir. İndirgemenin tamamlanması ile birlikte sünger demir elde edilmiş olur. Üretilen sünger demir malzemesi yaklaşık olarak 1260 ^{o}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'te 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. KOMPOZİTLER

4.1 Kompozitlere Genel Bakış

İki veya ikiden fazla malzemelerin, birbirinden daha farklı özelliklerde yeni bir malzeme oluşturmak amacıyla ya da sadece bir malzeme oluşturmak için elde edilen malzemeler kompozit malzeme olarak tanımlanabilir. Bu malzemeler matris ve takviye olarak iki temel yapıdan meydana gelmektedir. Kompozit malzemeleri başlıca geliştirme amacı aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- ✓ Isıl iletkenlik,
- ✓ Hafiflik,
- ✓ Elektrik iletkenlik,
- ✓ Yorulma direnci,
- ✓ Kırılma tokluğu,
- ✓ Korozyon direnci,
- ✓ Mekanik özellikler,
- ✓ Aşınma direnci (Milli, 2017).

4.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemeler diğer metalik malzemelere kıyasla daha popüler olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin düşük özgül ağırlığı avantajı dolayısıyla endüstri alanında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu malzemeler, ev eşyalarında, uçak parçalarında, otomotiv endüstrisinde, araç tamponlarında, araç kaportalarında, tarım makinelerinde ve birçok sanayi endüstrisinde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu malzemelerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

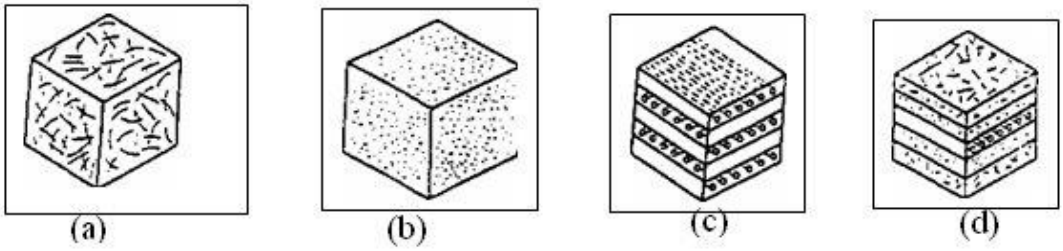
- ✓ Karmaşık ve çok şekilli parçaların kolay bir şekilde üretilebilir
- ✓ Endüstri alanında (tekne, boru kazanları, kimyasal madde tankları, deniz araçları) güvenle kullanılabilir
- ✓ Çekme ve eğme dayanımının diğer metalik malzemeler kıyasla daha mukavemetli olması
- ✓ Süneklik özelliği
- ✓ Tercih edilecek kullanım alanına göre hem iletken hemde yalıtkan malzeme olarak kullanılabilirlik
- ✓ Titreşim sönümleme özelliği
- ✓ Kalıp endüstrisinde renk kolaylığı
- ✓ Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirlik

Kompozit malzemelerin dezavantajları ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- ✓ Farklı ortamlarda farklı mekanik davranışlar sergilemesi
- ✓ Kesme ve delme gibi işlemlerden kaynaklı hassas üretim yapılamaması
- ✓ Standart yakalanamayan malzeme kalitesi
- ✓ Gözeneklilikten kaynaklı olumsuz yorulma özellikleri
- ✓ Kısa raf ömrü
- ✓ Aynı özelliklere sahip kompozit malzemelerde çekme ve eğme dayanımlarında farklı değişiklikler sergilemesi
- ✓ Yüksek hammadde maliyeti
- ✓ Onarım problemleri (Milli, 2017).

4.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerde, malzemenin içyapısının şekline göre bir sınıflandırma yapılabilmesi mümkündür. Bu malzemelerin sınıflandırılması Şekil 4.1. a, b, c, d ‘de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.1 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması aşağıdaki gibi yapılabilir.

a) Elyaflı
b) Parçacıklı
c) Tabakalı
d) Karma

4.3.1 Elyaflı Kompozitler

Kompozitler içerisinde bulunan matris yapının, ince elyaflarının oluşturulmasıyla elyaflı kompozitler ortaya çıkmıştır. Uzun elyaflar kompozit içerisinde birbirine paralel ve dik şekilde yerleştirilmektedir. Paralel olarak yerleştirilen elyaflar kompozit malzemeye yüksek mukavemet kazandırmaktadır. Fakat birbirine dik olarak yerleştirilen elyaflar kompozit malzemede düşük mukavemet meydana getirmektedir. Elyaf malzemesinin uzunluk ve çap arasındaki oran arttıkça matris malzeme ile elyaflara uygulanan yük miktarı artmaktadır. Kompozit malzemelerde yapının dayanımında etkili olan önemli parametrelerden biri de elyaf ile matris arasındaki bağ yapısıdır. Bunun yanısıra, bir boyut değeri ile diğer bir boyut değeri arasındaki fark çok büyük olan malzemeler ise fiber olarak adlandırılmaktadır (Milli, 2017).

Fiberlerin sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.

- ✓ Karbon
- ✓ Yapay organik
- ✓ Cam
- ✓ Bor

4.3.2 Parçacıklı Kompozitler

Bir malzemenin parçacıklar şeklinde farklı bir matris malzeme içerisinde meydana gelmesiyle üretilen kompozitlerdir. Bu kompozitler yapı bakımında izotroptur. Bu kompozitlerin dayanımları ilave edilen parçacıklarının sertliğine göre değişmektedir. Parçacıkların sertlikleri arttıkça kompozit malzemenin de sertliği artmaktadır. Örnek; En genel olarak, plastik malzeme içerisinde bulunan metal parçacıkları.

4.3.3 Tabakalı Kompozitler

Yüksek dayanım gereken değerlere, elyafların farklı şekilde yönlendirilmesi ile oluşturulan tabakaların bileşimi ile sağlanmaktadır. Bu kompozitlerin yapıları ısıya ve neme dayanıklıdır. Bu kompozitler hem hafif hem de dayanımları yüksek olduğundan dolayı metalik malzemelere göre daha çok tercih edilmektedir.

4.3.4 Karma Kompozitler

İki ya da ikiden daha fazla kompozit yapısının, aynı kompozit yapı içerisinde olan kompozit çeşidi karma kompozit olarak adlandırılmaktadır. Çok yeni kompozit türlerinin geliştirilmesi ve bulunabilmesi için uygun olan bir kompozit çeşidi olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.3.5 Kompozit Malzemelerin Kullanımı

Kompozit malzemeler genel olarak cam, keçe, polyester reçineden imal edilen farklı malzemeler ve cam dokuma gibi günlük yaşamımızda ve endüstride kullanım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kullanım alanlarından ağırlıklı olarak cam elyaf olmaktadır. Bot, depo, sandalye, otomotiv ve masa gibi malzemelerde bu kompozitlere birer örnek olarak verilebilir. Buna ek olarak, baskı devre plakaları, araç şarjları, elektrik fiberleri, atlama sırıkları, yarış kanoları, tenis raketleri ve kaynak takımları gibi malzemeler kompozit çeşitlerine birer örnek olarak verilmektedir.

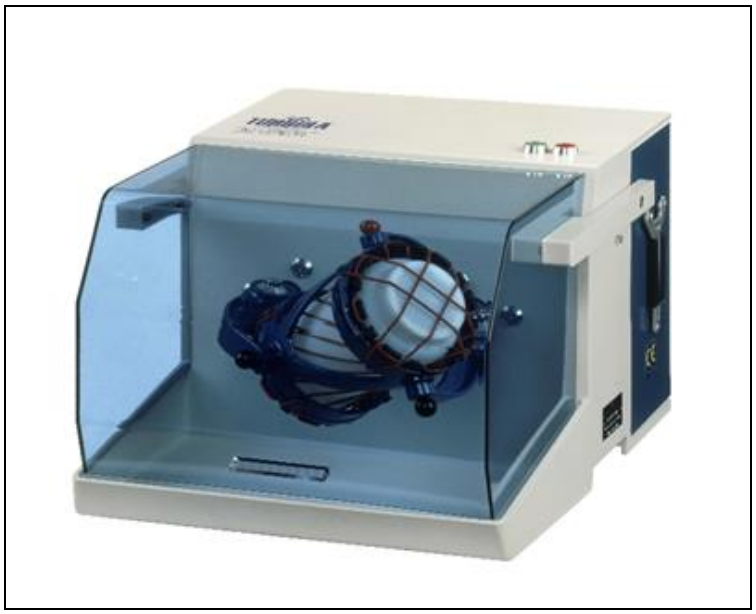
Mukavemetli ve hafiflik gibi özelliklerinden dolayı havacılık ve uzay endüstrisinde kompozit malzemelerin kullanım alanı her geçen gün artmaktadır. Bu endüstri alanında tercih edilmesinin en önemli özellikleri, yakıt sarfiyatını azaltarak verimlilik ve yüksek hız kazanmaktır. Kompozit malzemeler titreşim, yorulma ve ısı direnci gibi özelliklerinden dolayı havacılık ve uzay endüstrisinde çok önemli bir avantaj sağladığı için bu alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak, kompozit malzemeler her geçen gün uzay ve havacılık araçlarında kullanımı artmaktadır. Havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan kompozit malzemeler uçaklarda neredeyse toplam ağırlığın yarısı kadar bir avantaj sağlamaktadır. Farklı kompozit malzeme üretmek amacıyla bor karbür, alümina karbon, silisyum karbür ve cam elyafı gibi farklı reçine malzemeleri ile birlikte üretimde kullanılmaktadır. Son zamanlarda kompozit malzemeler kurşungeçirmez yeleklerde zırh malzemesi olarak kullanılmaya başlamışlardır. Kompozit malzemeler her geçen gün farklı tasarımlara alternatif olarak sunuldukça, sağlamış olduğu birçok avantajdan dolayı insanlığa önemli derecede faydalı olmaya başlayacaktır (Milli, 2017).

4.4 Toz Metalurjisi İle Üretim Süreci

4.4.1 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 ila 60'ı kadar olduğunda meydana gelmektedir. Karıştırma süresi olarak da genellikle 5 ile 30 dk. yapılan karıştırmalarda 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).



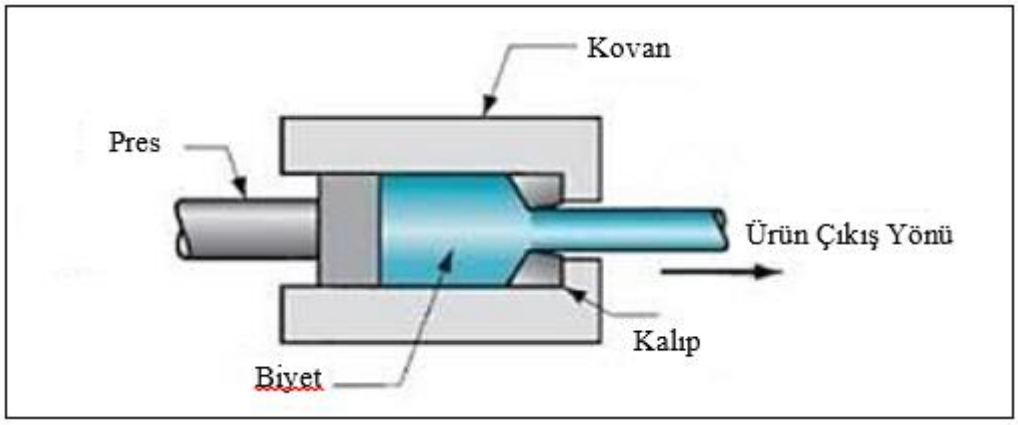
Şekil 4.2 Toz karıştırma turbulası

4.4.2 Tozların Şekillendirilmesi

Tozların şekillendirme işleminde, tozların yoğunluğu yaklaşık olarak görünür yoğunluğa eşit kabul edilir. Tozlara uygulanan basıncın arttırılması ile toz taneleri arası noktasal temas bozulur ve basıncın artmasına bağlı olarak gözeneklilik miktarı azalır. Ayrıca basıncın artmasına bağlı olarak plastik deformasyon ve yoğunluk artar (Kurt, 1992). Tozların parça halinde şekillendirilmesi genellikle ekstrüzyon, haddeleme ve presleme gibi işlemlerle yapılmaktadır.

4.4.3 Ekstrüzyon

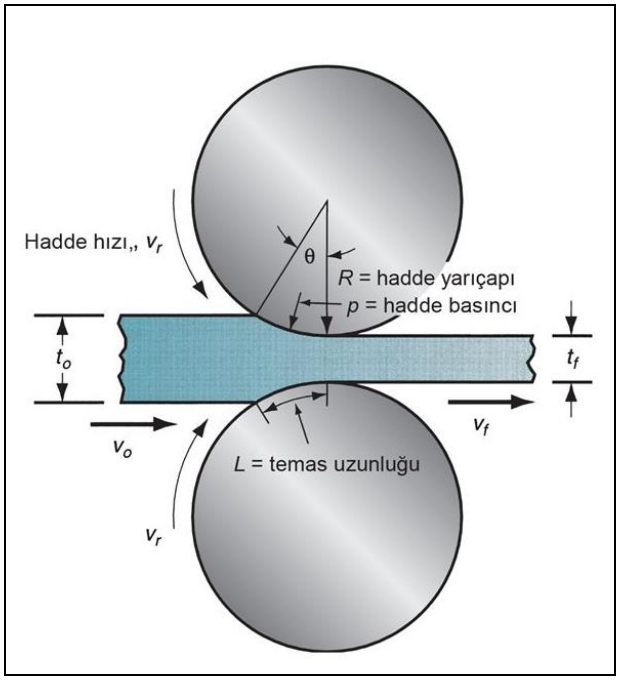
Toz karışımlarının yüksek kuvvetlerde preslenerek dar kalıp ucundan çıkmak suretiyle yapılan şekillendirme işlemine ekstrüzyon denir (Şekil 4.2). Genel olarak, boru veya uzun çubuk şeklinde imal edilmesi gereken parçalarda periyodik olarak kesilmek suretiyle seri imalat yapılması gereken yerlerde uygulanan bir işlemdir (Yandouzi vd., 2010). Bunun yanısıra; toz karışımları enjeksiyon kalıplama tekniğiyle de farklı şekillerde kalıplara preslenerek işlem yapılabilir.



Şekil 4.3 Ekstrüzyon işleminin şematik gösterimi

4.4.4 Haddeleme

Malzemenin eksenleri etrafında dönen iki merdane arasında geçirilerek yapılan yapılan plastik şekil verme işlemi haddeleme olarak adlandırılır (Şekil 4.3). Merdaneler aynı hızda ve birbirlerine zıt yönde dönerler. Malzemede; sıkıştırmayı sağlayan basma kuvveti ve malzeme ve merdaneler arasında sürtünme ile oluşan yüzey kayma gerilmesi ile deformasyon sağlanır. Bunun yanısıra sürtünme kuvveti aynı zamanda malzemenin ilerlemesini sağlar (German, 2007).



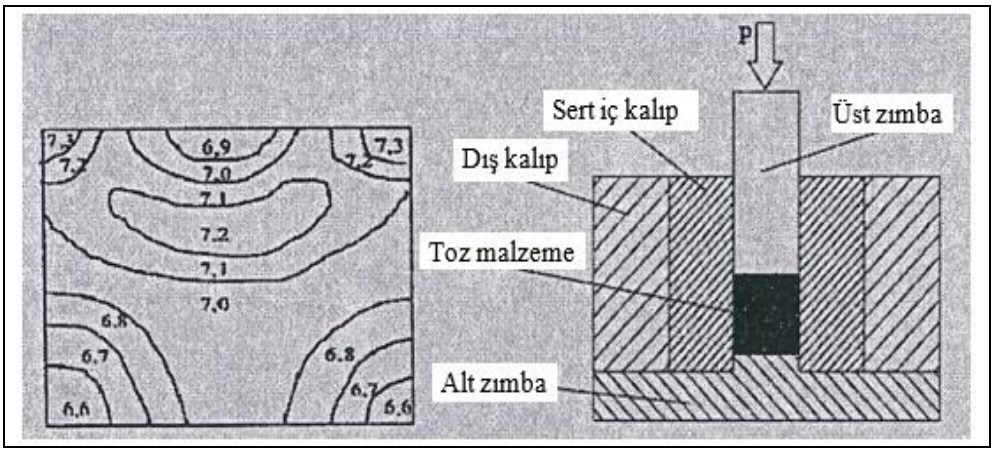
Şekil 4.4 Haddeleme sistemi

4.4.5 Presleme

Presleme işlemi genel olarak; iki zımba arasındaki kalıba yerleştirilen tozların iki eksende 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).

4.4.5.1 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).



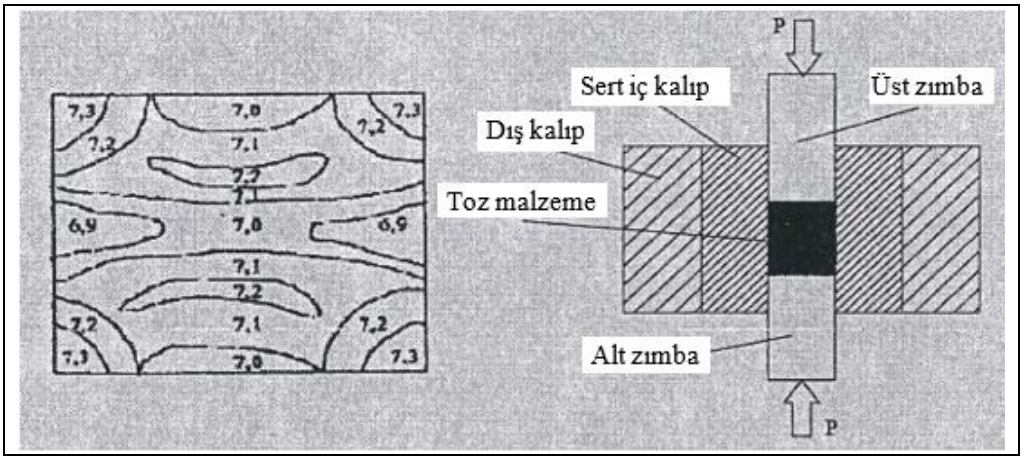
Şekil 4.5 Tek yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve tek yönlü kalıbın şematik gösterimi (Bahçeci, 2006; Matik, 2010)

4.4.5.2 Çift yönlü presleme

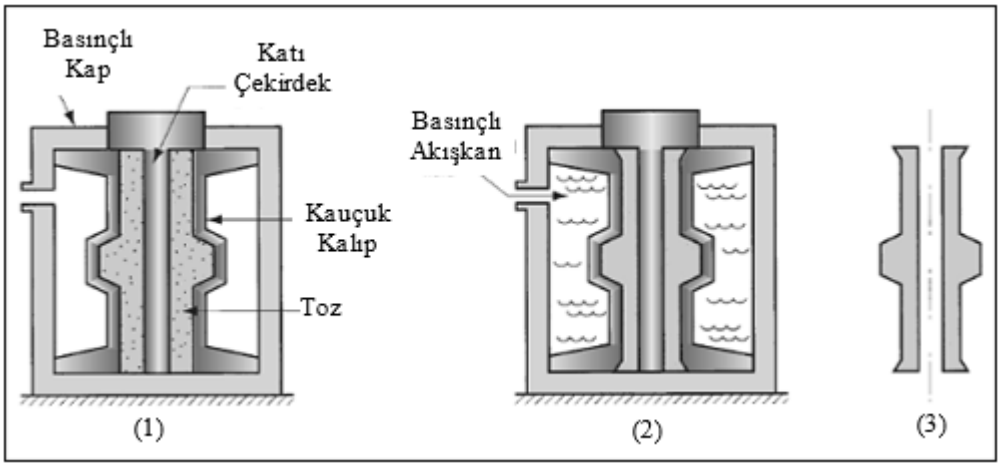
Çift yönlü preslemede tozun, karşılıklı olarak alttan ve üstten çalışan iki adet zımba tarafından aynı anda preslenmesi işlemidir (Şekil 4.5). Her iki yönden de eşit miktarda basınç uygulanır. Çift yönlü presleme ile kalıp içerisinde düzenli bir sıkıştırma meydana gelmektedir. Yoğunluk dağılımı ise,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

4.4.5.3 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).

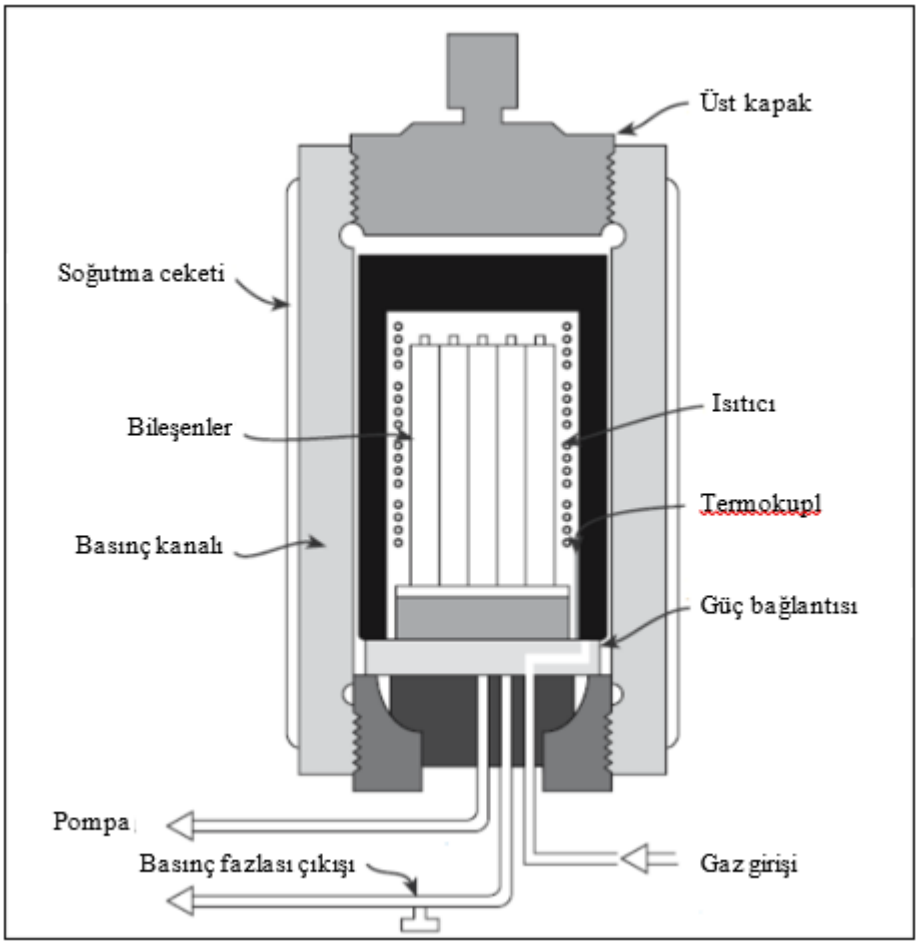


Şekil 4.6 Çift yönlü preslemede yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi (Bahçeci, 2006; Matik, 2010)



Şekil 4.7 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 eksenden 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 üretilebilmektedir. Bu yöntemle arzu edilen özellikler için mikroyapının kontrolü zordur fakat parça şekil tutarlılığı oldukça yüksektir (Ünlü, 2014).



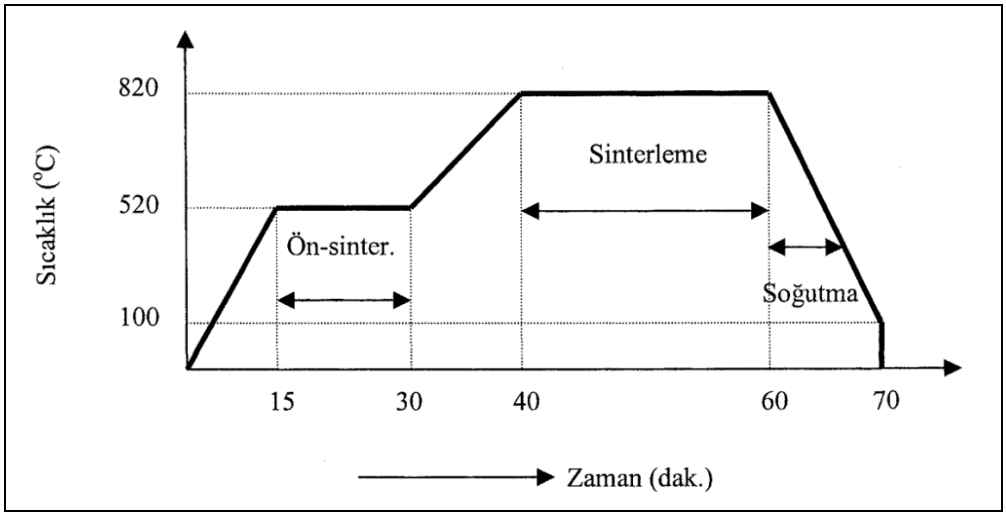
Şekil 4.8 Sıcak izostatik presleme şematik gösterimi (Matik, 2010)

4.5 Sinterleme

Sinterleme, şekillendirilmiş toz metal parçaların birbirine bağlanmasını sağlayarak önemli ölçüde mukavemet artışını ve özelliklerin iyileşmesini sağlayan bir tür ısıtma işlemidir. Sinterlemenin etkili olabilmesi için tozların sıkı bir şekilde birbirleri ile temas halinde olması en önemli etkendir. 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 ısıl işleme 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 4.9 Sinteleme işlemenin aşamaları

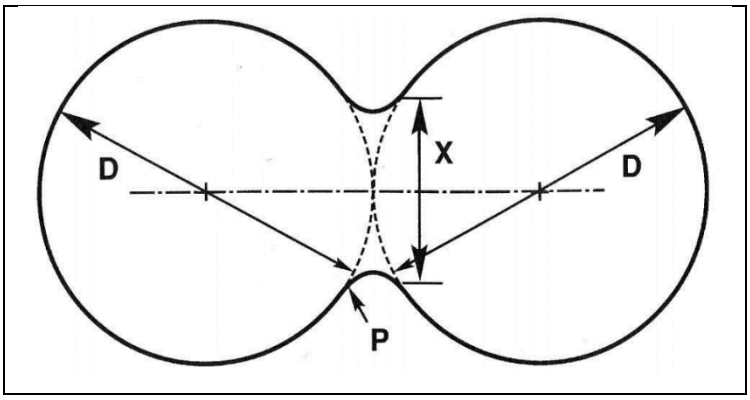
Sinterleme işlemi genellikle 3 aşamada meydana gelmektedir (Şekil 4.8). Bunlar;

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

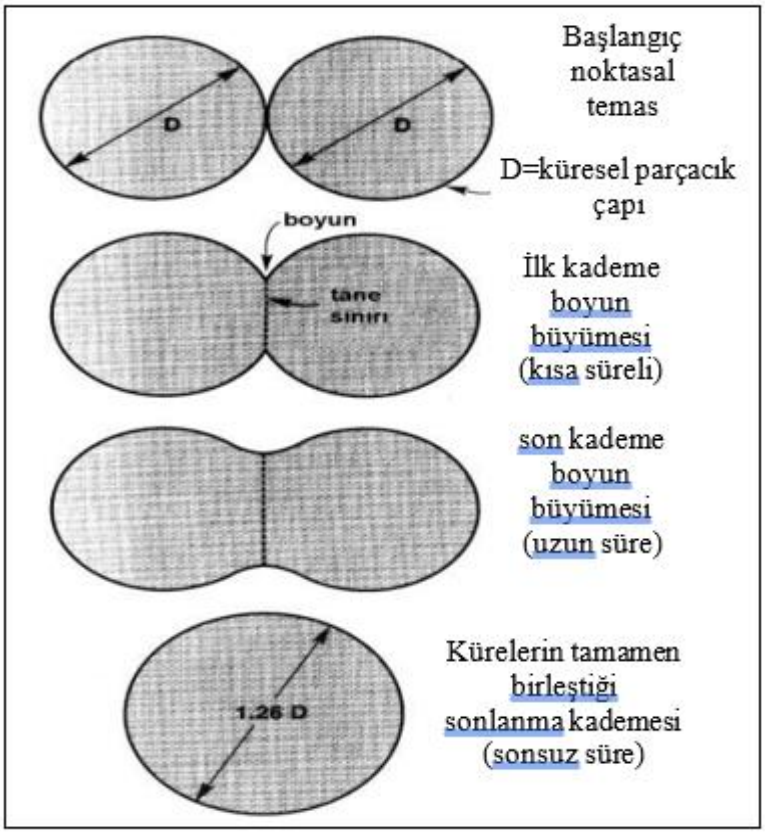
bölgesi atmosfer kontrollünde yapıldığı için oksidasyon engellenmiş olur. İnce toz parçacıkları presleme sonrası tam temas sağlayamadığından ve kalıntı porozite içerdiklerinden bu 3 aşamada da atmosfer kontrolü mutlaka olması gerekmektedir (German, 2007).

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 4.10 İki tanenin sinterleme profili (Sarıtaş vd., 2007)

Şekil 4.10 'da görülen birleşme halindeki iki tane ele alındığın zaman, sıkıştırılmış bir toz yığınında 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.

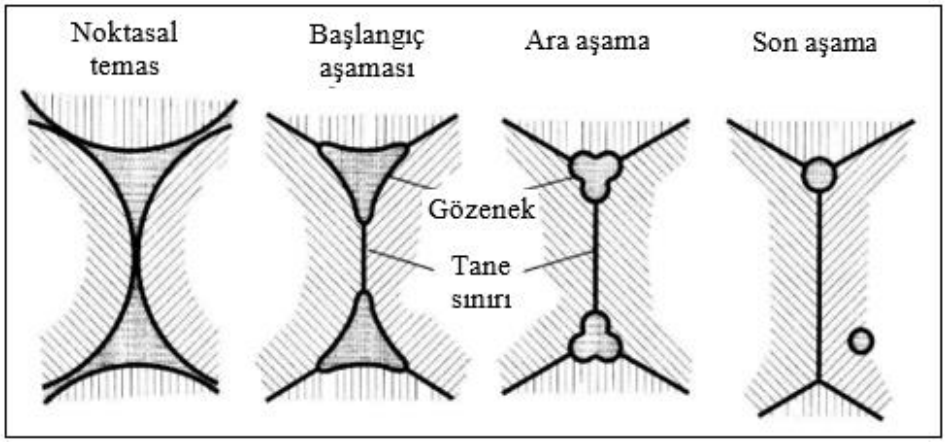


Şekil 4.11 İki tanenin sinterleme modeli

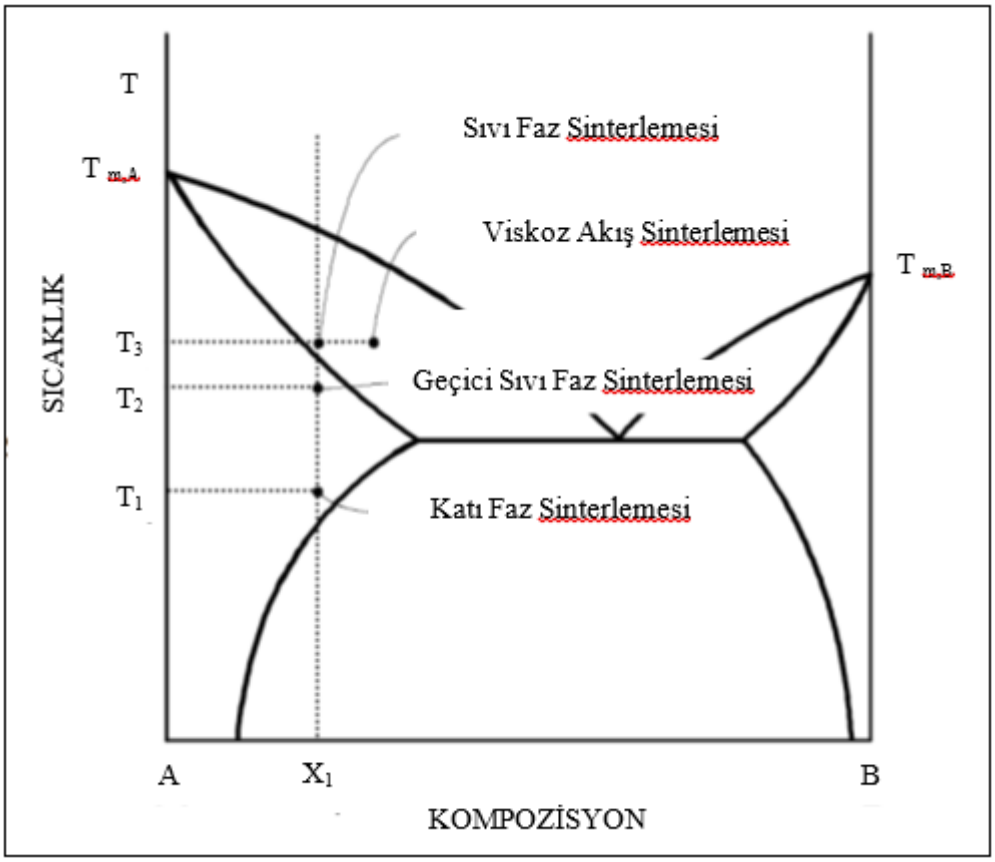
Şekil 4.11'de görüldüğü gibi parçacıkların noktasal temasıyla başlayan sinterleme sırasında gözenek yapısının değişimini gösteren şematik resmi verilmiştir. Gözenek hacmi giderek azalır ve gözenekler daha küresel bir hale gelir. Gözenek küreselleşmesi oluşurken gözeneklerin yerini tane sınırları aldığı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

4.5.1 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 4.12 Sinterleme esnasında gözenek yapısının değişiminin şematik resim

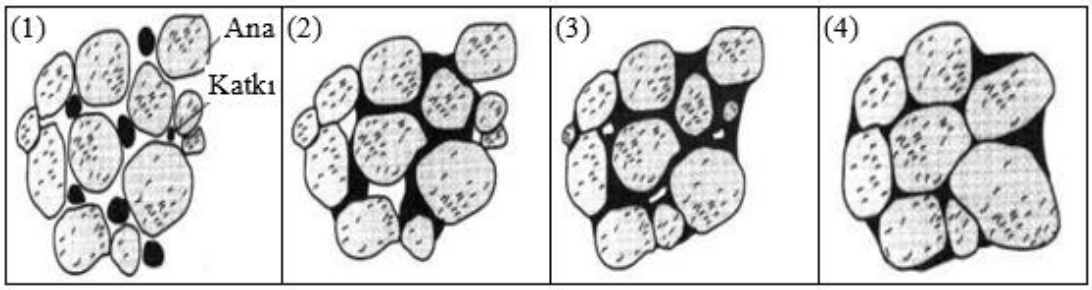


Şekil 4.13 Sinteleme faz diyagramı (Suk-Joong vd., 2005)

4.5.2 Sıvı Faz Sinterleme

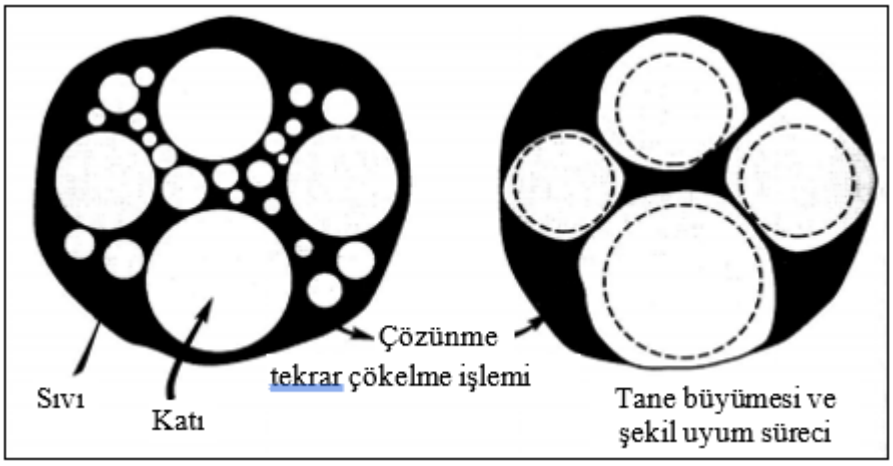
Sıvı faz sinterlemesi, preslenen toz karışımı sıvı fazın oluştuğu sıcaklıkta sinterlenir. Sıvı fazın oluşumu ile ani bir büzülme meydana gelir. Bu büzülme esnasında, katı parçacıklar sıvı faz içerisinde yeni bir düzene girer. Sıvı faz sinterlemesi, sinterleme esnasında toz içerisinde sıvı bir faz oluşması 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 4.14 İki toz karışımı kullanarak sıvı faz sinterlemesinin aşamaları

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



Şekil 4.15 Sıvı faz sinterleme işleminde çökelme ve tane büyümesi

Şekil 4.14'te küçük boyutlu tanelerin büyük boyutlu taneler üzerinde çökelmeleri ile oluşan katı eriyikten tekrar çökelmesi 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. YÖNTEM

5.1 Numunelerin Üretim İşlemleri

Deneylerde kullanılmak üzere 7 (yedi) çeşit alaşım, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Alaşımların üretimlerinde yaklaşık olarak %99,9 saflıkta ve tane iriliği 325 mesh olan Cu, Ni, Si, B_4C ve SiC tozları kullanılmıştır. Öncelikle saf Cu, Ni, Si'dan meydana gelen bir referans malzeme üretilmiştir.

5.2 Tozların Karıştırılması

Referans numune olarak üretilen CuNiSi alaşımının elde edilmesi için her elementten belirli oranlarda olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımın yüzde (%) oranları Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Referans numunenin kimyasal bileşimi

	Cu (%)	Ni (%)	Si (%)
CuNiSi alaşımının hazırlanması	97	2,5	0,5

Üretilen referans malzemesine farklı oranlarda B_4C ve SiC ilave edilerek bunun referans malzemelere etkilerini araştırmak amacıyla yeni yedi çeşit deney malzemesi üretilmiştir. Üretilen malzemelerin toz karışım oranları Tablo 5.2'de verilmiştir.

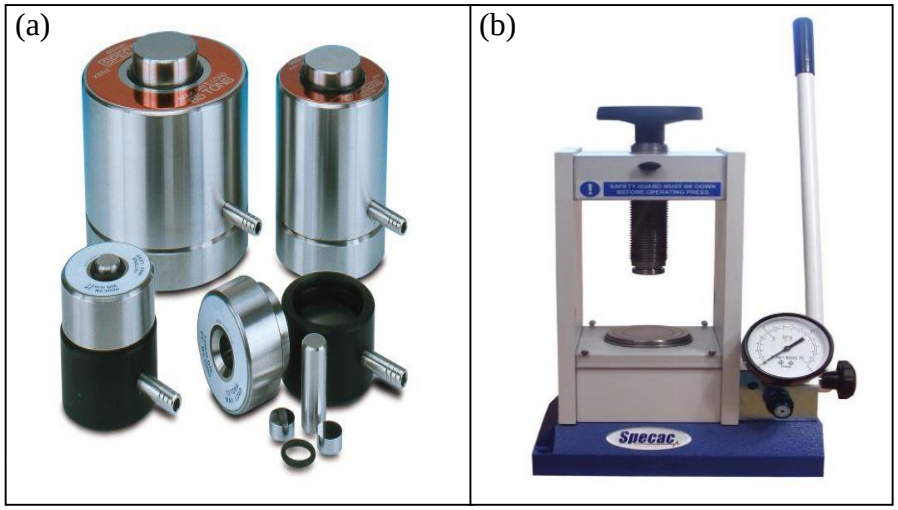
Tablo 5.2 Üretilen deney numunelerinin kimyasal bileşimleri

Numune No	**CuNiSi (%)**	**B_4C (%)**	**SiC (%)**
1	100	-	-
2	95	1	-
3	90	2,5	-
4	85	5	-
5	95	-	1
6	90	-	2,5
7	85	-	5

Karışımların hazırlanması saf haldeki metal tozlarının birbirleriyle iyice karışarak homojen bir karışım elde edilmesi amacıyla 88 tipi, kapalı toz hazneli, iki kg toz kapasiteli, üç boyutlu dönebilen bir karışım mikseri kullanılmıştır (Şekil 5.1). Bu mikserin toz haznesi özellikle kapalı tipte olup toz içine konulduktan sonra dış ortam ile tozların ilişkisini kesmek amacıyla kapağı sıkıca kapatılmaktadır. Mikser çalıştırıldıktan sonra tozun iyice karışabilmesi için toz haznesi 360 derecelik turlarla her yöne dönebilmekte ve böylece tozların birbiriyle iyice karışması sağlanmaktadır.

5.3 Tozların Preslenmesi

Karıştırma işlemi sonrasında tozlar aynı laboratuvarda 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 5.1b) ile yapılmıştır. Presleme işleminde kalıp olarak, 13 mm çapında silindir şeklinde bir kalıp kullanılmıştır (Şekil 5.1a).



Şekil 5.1 a) kalıp b) Specac GS15011 marka pelet cihazı

5.4 Preslenen Numunelerin Sinterlenmesi

Üretilen peletlerin sinterleme işlemi Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan atmosfer kontrollü ısıl işlem fırını (Protherm) (Şekil 5.2) ile yapılmıştır. Sinterleme işlemi, argon atmosferinde 900 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile uygulanmıştır.



Şekil 5.2 Atmosfer kontrollü ısıl işlem 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 sıcaklığa 90 dakikada yükseltilmiştir. Daha sonra sinterleme sıcaklığı 900 °C'de 60 dakika sabit sıcaklıkta bekletilmiştir. Numunelerin soğuma işlemi 90 dakikada oda sıcaklığına kadar atmosfer kontrolü altında soğutulmuştur.

5.5 Sinterleme Öncesi Yoğunluk Ölçümleri

Sinterleme işleminden sonra, üretilecek numunelerin sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluklarını tespit edilmiştir. Sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluk değerleri her numune için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Yoğunlukların tespiti, üretilen numunenin ağırlığının (m) / numunenin hacmine (v) oranından hesaplanmıştır. Bu işlemlerden sonra numunelerin bağıl yoğunluk (% yoğunluk) değerleri tespit edilmiştir.

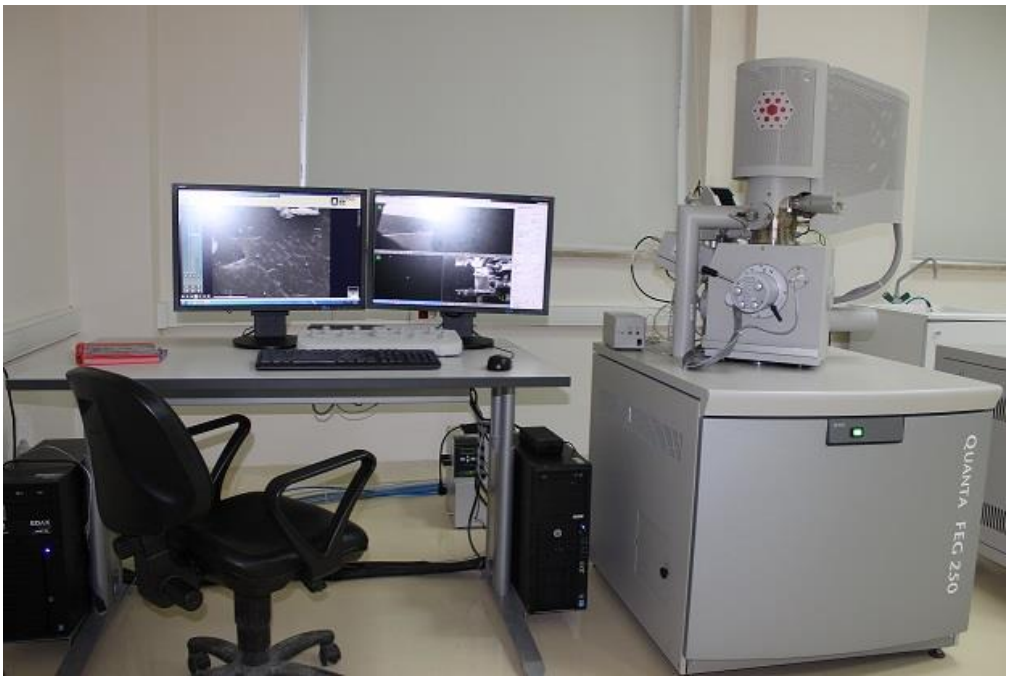
5.6 Metalografik İşlemler

Yoğunluk ölçümleri sonrasında numunelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) analizleri için numunelere metalografik işlemler uygulanmıştır. Bu uygulanacak metalografik işlemler sırasıyla zımparalama, parlatma

ve dağlama olarak yapılmıştır. Numunelerin yüzeylerine 120, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh zımparalar ile sırasıyla zımparalama işlemi uygulanmıştır. Daha sonra numunelerin yüzeyleri sırasıyla 3 ve 1 μ elmas süspansiyonlar ile parlatılmıştır. Son olarak ise, dağlama reaktifine daldırma yöntemi ile dağlama işlemine tabi tutulmuşlardır.

5.7 SEM Analizi

Numuneler dağlama işlemine tabi tutulduktan sonra, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında bulunan "FEI QUANTA 250 FEG" marka cihazdan alınmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 FEI QUANTA 250 FEG marka SEM analiz cihazı

5.8 XRD Analizi

Numunelerin XRD ölçümleri Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında bulunan Bruker D8 Advance marka cihaz (Şekil 5.4) ile yapılmıştır. X-ışını difraksiyonu (XRD), kristalin atomik ve moleküler yapısını incelemek için kullanılan bir yöntemdir.

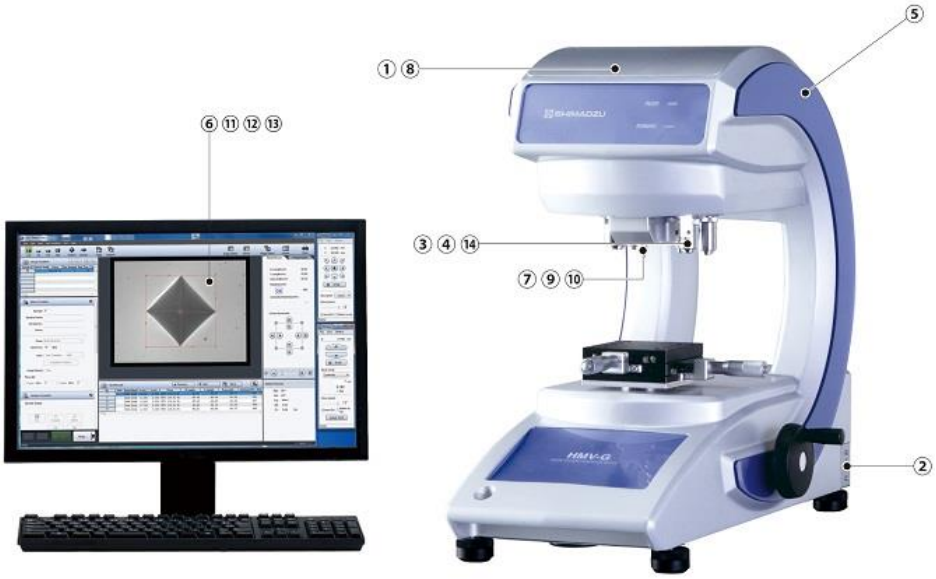


Şekil 5.4 Bruker D8 Advance marka XRD analiz cihazı

5.9 Mikrosertlik Analizi

Sinterleme sonrasında, deney numunelerine metalografik işlem basamakları sırasıyla uygulandıktan sonra, bu çalışmada üretilen numuneler için uygulanan presleme basıncı, B_4C takviyesi, SiC takviyesi ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak ortaya çıkan sertlik değerlerinin nasıl etkilendiği mekanik bir özellik olarak araştırılmıştır. Numunelerin sertlik ölçümlerinde mikrosertlik ölçüm metodu kullanılmıştır. Bu ölçümler, Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan SHIMADZU marka HMV-G21 model mikrosertlik ölçüm cihazı (Şekil 5.5) kullanılarak yapılmıştır.

Numunelerde sertlik ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için en az 5 noktadan ölçüm yapılmıştır ve ölçümlerin ortalama sonuçları değerlendirmeye alınmıştır.



Şekil 5.5 SHIMADZU marka HMV-G21 model mikrosertlik ölçüm cihazı

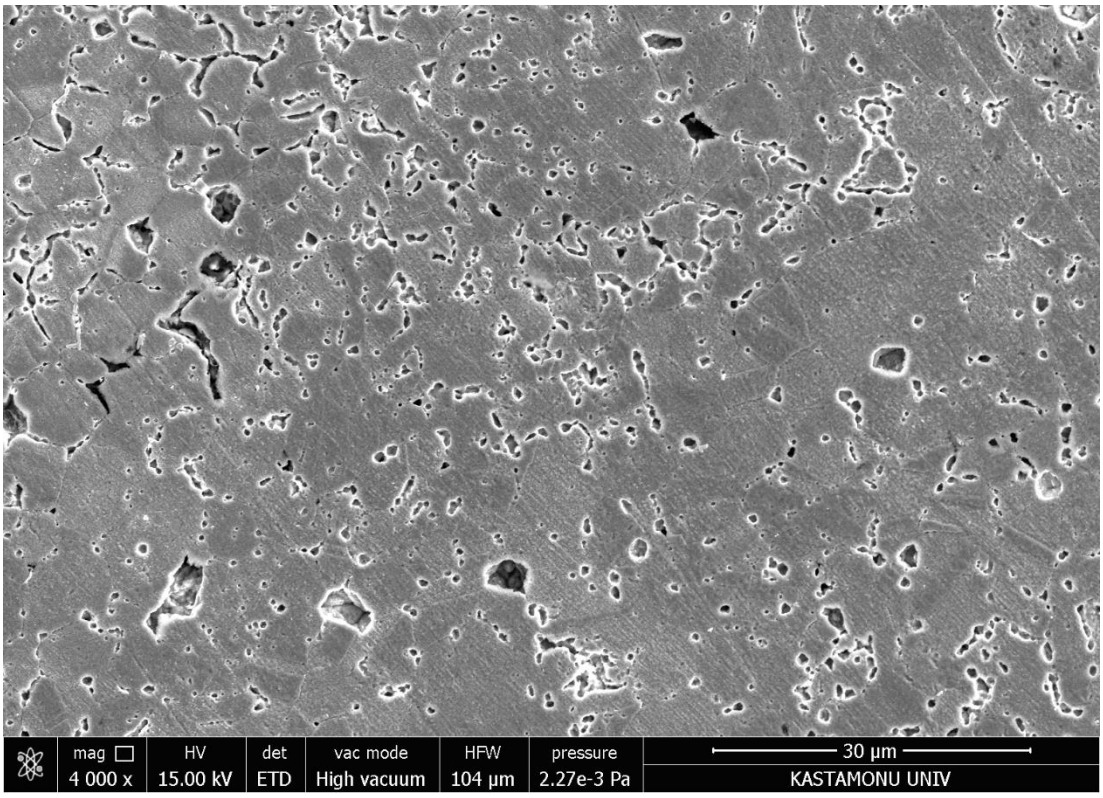
5.10 Sinterleme Sonrası Yoğunluk Ölçümü

Numunelerin uygun değer preslenebilirliği ve sinterlenebilirliğini tespit edebilmek amacıyla sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunlukları tespit edilmiştir. Sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluk değerleri her numune için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Yoğunlukların tespiti, üretilen numunenin ağırlığının (m) / numunenin hacmine (v) oranından hesaplanmıştır. Bu işlemlerden sonra numunelerin bağıl yoğunluk (% yoğunluk) değerleri belirlenmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 SEM Analiz Sonuçları

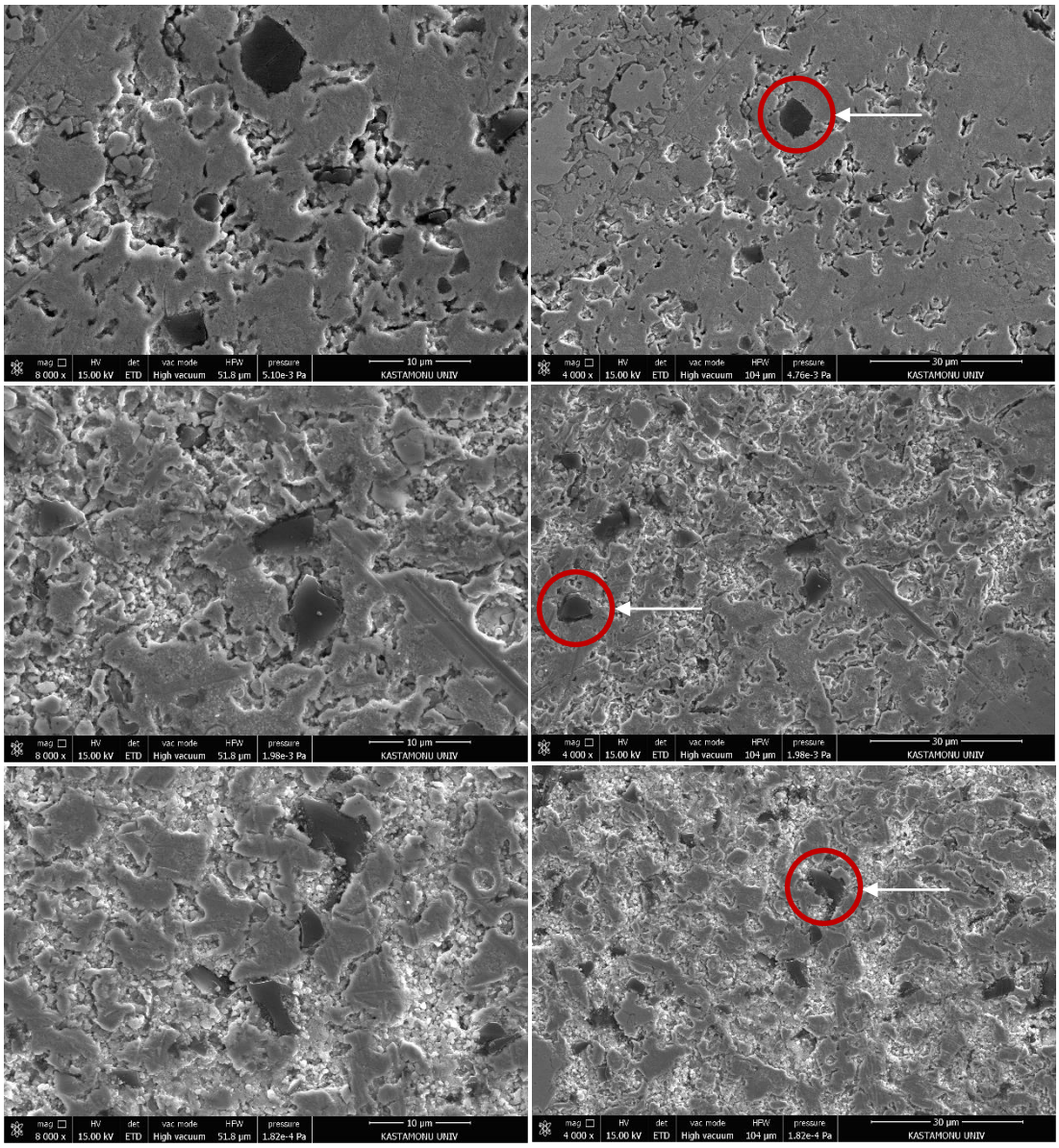
Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş olan B_4C ve SiC takviyeli CuNiSi kompozitlerin SEM görüntüleri alınmış ve elde edilen görüntülere göre değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 6.1'de verilen 1 numaralı numunenin SEM görüntüleri incelendiğinde CuNiSi matrix yapısı açıkça görülmektedir.



Şekil 6.1 Üretilen 1 numaralı numunenin SEM görüntüsü

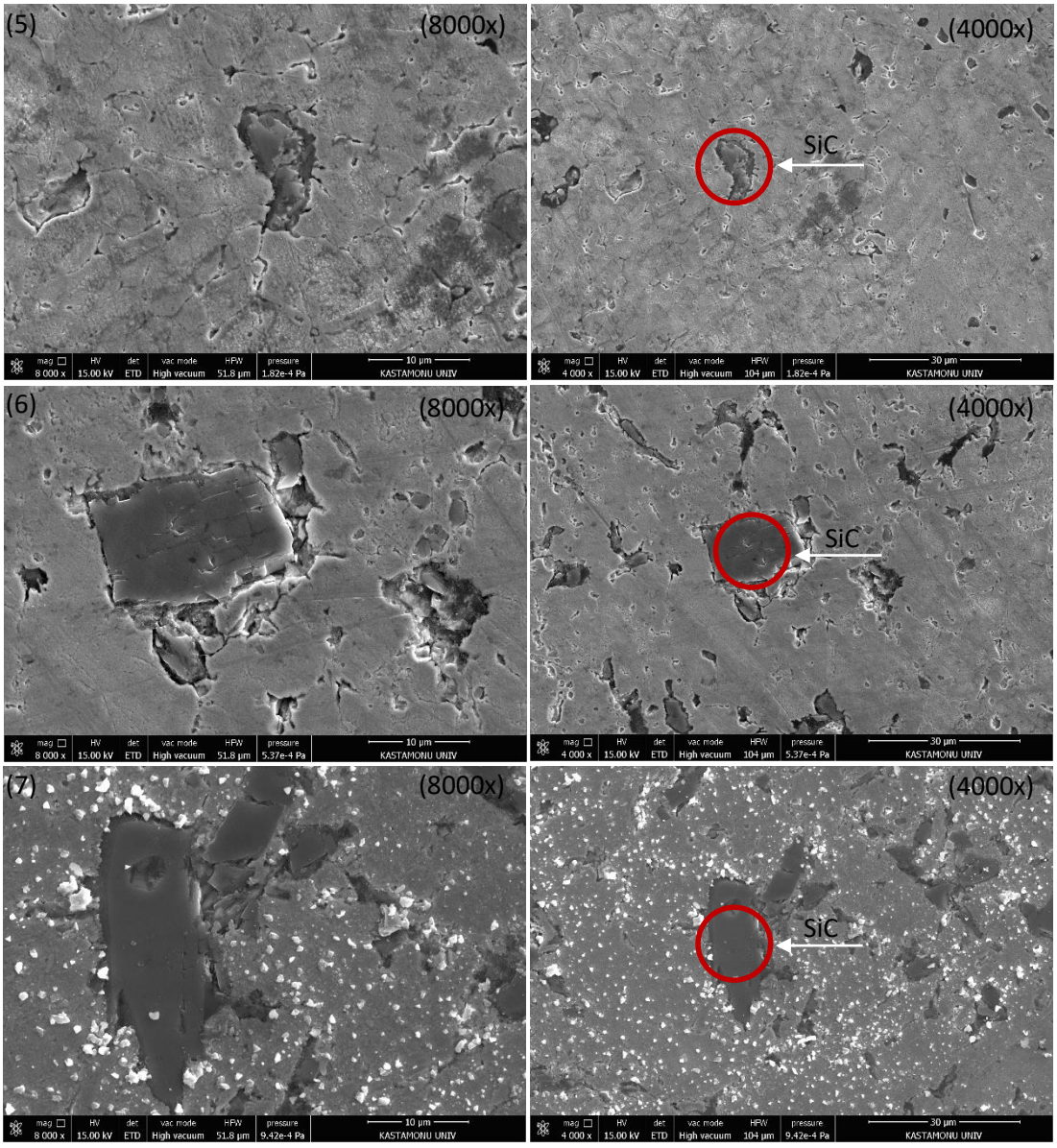
Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş olan farklı oranlarda (%1; 2,5 ve 5) B_4C takviyeli CuNiSi kompozitlerin SEM görüntüleri alınmış ve elde edilen görüntülere göre değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 6.2'de verilen 2,3 ve 4 numaralı numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde CuNiSi matrix yapısı açıkça görülmektedir. Buna ek olarak B_4C parçacıklarının CuNiSi matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Üretilen numunelerde kısmen çatlaklar ve gözenekler görülmektedir. Verilen SEM görüntüleri incelendiğinde B_4C ilavesi arttıkça, gözenek miktarının

azaldığı açıkça görülmektedir. Bunun yanısıra, verilen SEM görüntülerinde B_4C parçacıklarının içyapıda homojen olarak dağıldığı görülmektedir. B_4C parçacıklarının içyapıda homojen bir şekilde dağılması karıştırma ve sinterleme işleminden kaynaklandığı yorumlanmıştır (Korchagin vd., 2018). Bu beklenen bir durumdur. Literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar mevcuttur (Akkaş vd., 2021; Akkaş ve Boushiha, 2021).



Şekil 6.2 Üretilen 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin SEM görüntüleri

Üretilen 5, 6 ve 7 numaralı numunelerin SEM görüntüleri Şekil 6.3'te verilmiştir. Şekil 6.3'te verilen SEM görüntüleri incelendiğinde matris olarak kullanılan CuNiSi yapısı açık bir şekilde görülmektedir. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC tozları birbirine benzer şekilde ve genel olarak keskin köşeli ve düzensiz bir geometriye sahiptir.

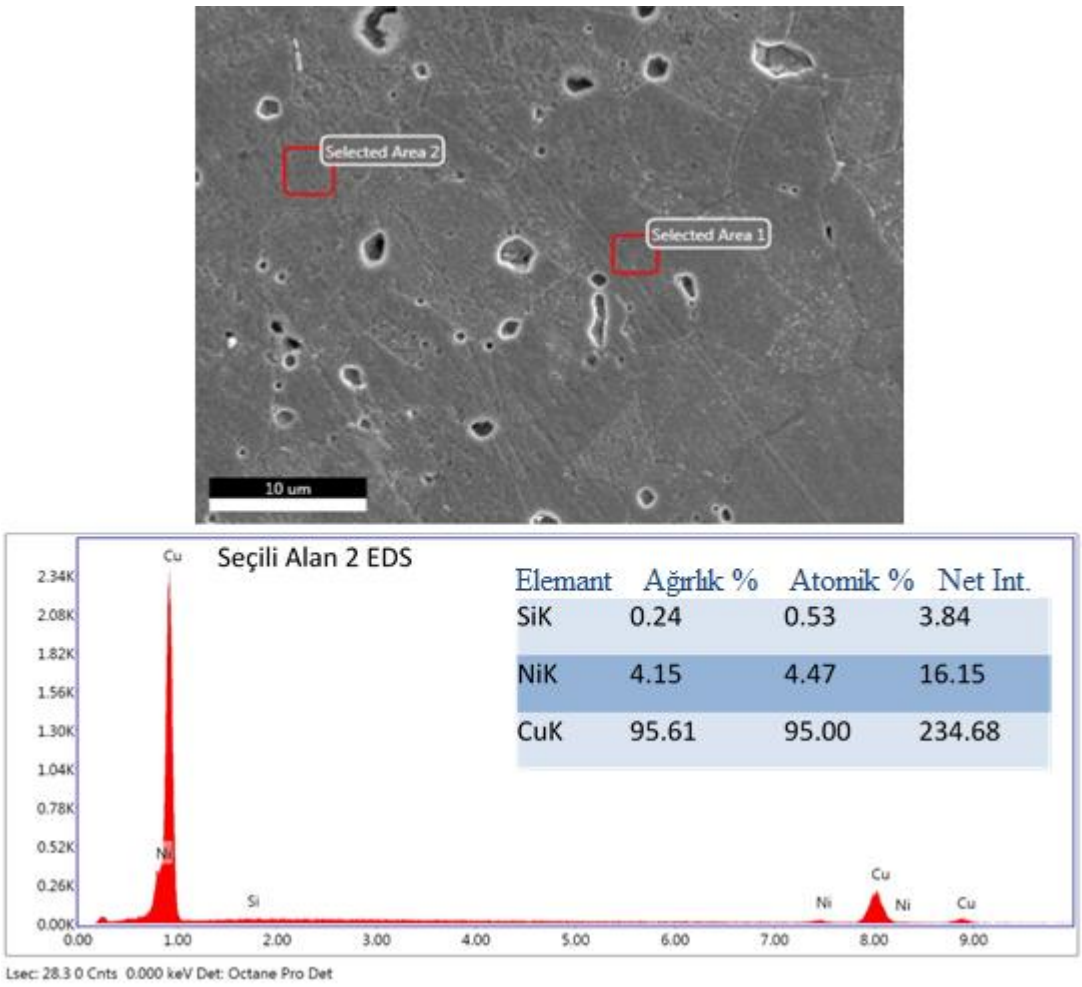


Şekil 6.3 Üretilen 5, 6 ve 7 numaralı numunelerin SEM görüntüleri

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen CuNiSi ve CuNiSi-B_4C/SiC kompozit numunelerinin SEM-EDS analiz sonuçları sırasıyla Şekil 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10'da verilmiştir.

6.2 SEM-EDS Analiz Sonuçları

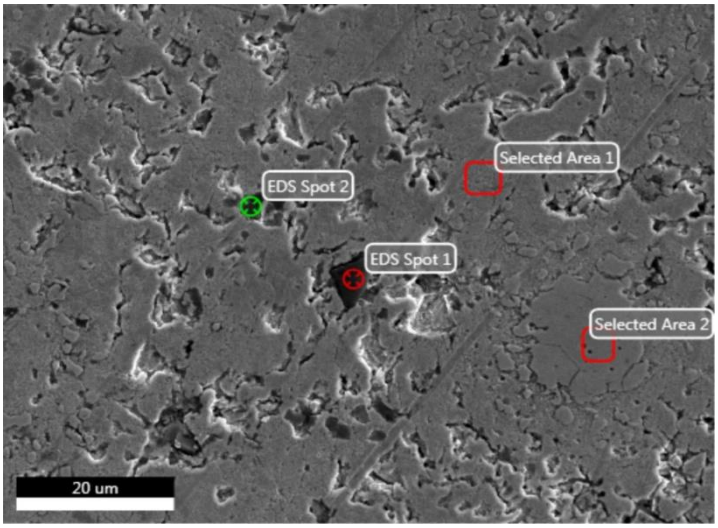
Üretilen CuNiSi, CuNiSi-B_4C ve CuNiSi-SiC kompozit numunelerinin SEM-EDS analizleri sırasıyla Şekil 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10'da verilmiştir.

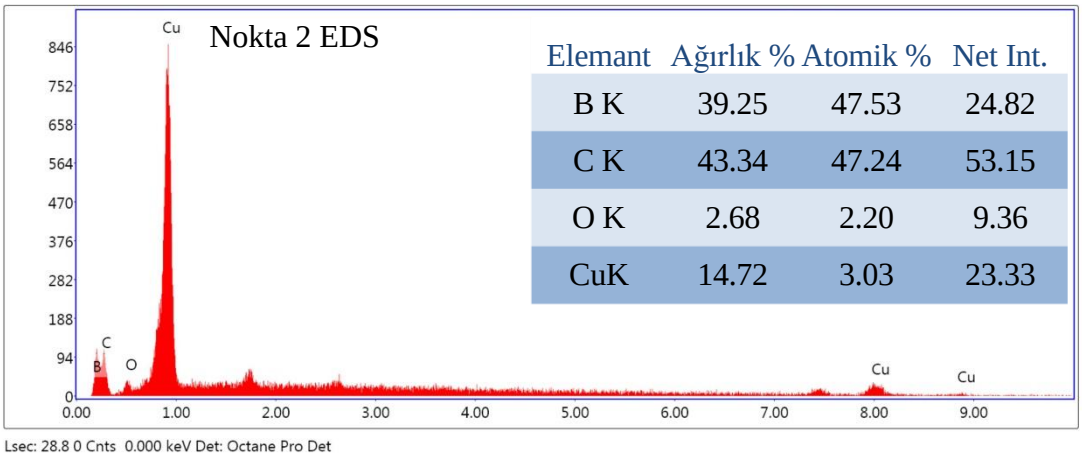


Şekil 6.4 Üretilen CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu

Verilen SEM-EDS analiz sonuçları incelendiğinde, sonuçların üretilen numunelerin kimyasal bileşimlerini desteklediği açık bir şekilde görülmektedir. Buna ek olarak, üretilen numunelerin içyapılarında farklı oranlarda Cu, Ni, Si ve B olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6.4'te verilen SEM-EDS analiz sonuçları incelendiğinde, üretilen CuNiSi kompozit numunenin kimyasal bileşimlerini desteklediği tespit edilmiştir. Üretilen CuNiSi kompozit numunenin içyapısında, seçili alan 2 olarak belirtilen bölgeden alınmış EDS sonucuna göre %95,61 Cu, %4,15 Ni ve %0,24 Si olduğu belirlenmiştir.

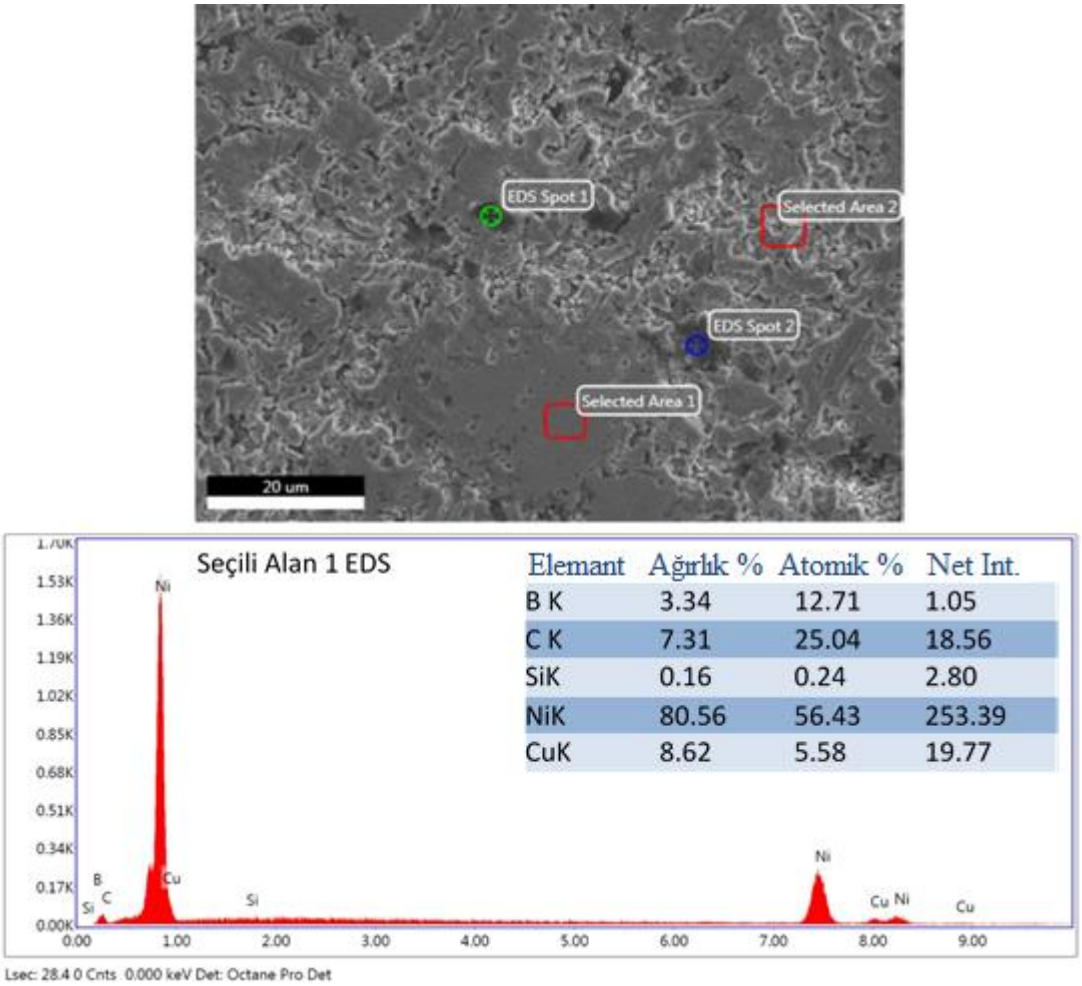




Elemant	Ağırlık %	Atomik %	Net Int.
B K	39.25	47.53	24.82
C K	43.34	47.24	53.15
O K	2.68	2.20	9.36
CuK	14.72	3.03	23.33

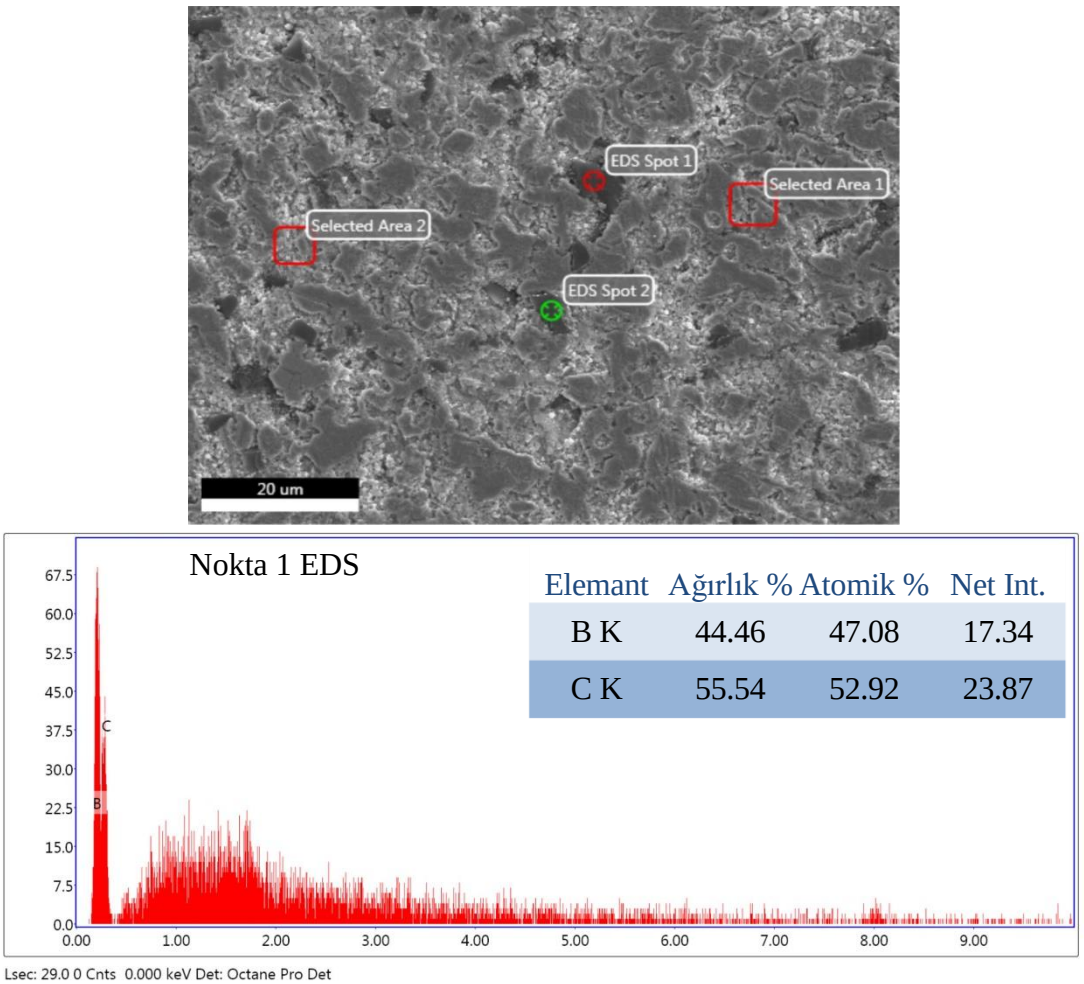
Şekil 6.5 Üretilen %1 B_4C takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu

Şekil 6.5'te verilen SEM-EDS analiz sonuçları incelendiğinde, üretilen %1 B_4C takviyeli CuNiSi kompozit numunenin kimyasal bileşimlerini desteklediği tespit edilmiştir. Üretilen CuNiSi-B_4C kompozit numunenin içyapısında, Nokta 2 olarak belirtilen bölgeden alınan EDS sonucuna göre %14,72 Cu; %2,68 O; %43,34 C ve %39,25 B olduğu belirlenmiştir. Bu SEM-EDS analizi sonucuna göre, SEM görüntüsünde koyu siyah olarak görünen parçacıkların B_4C olduğu tespit edilmiştir.



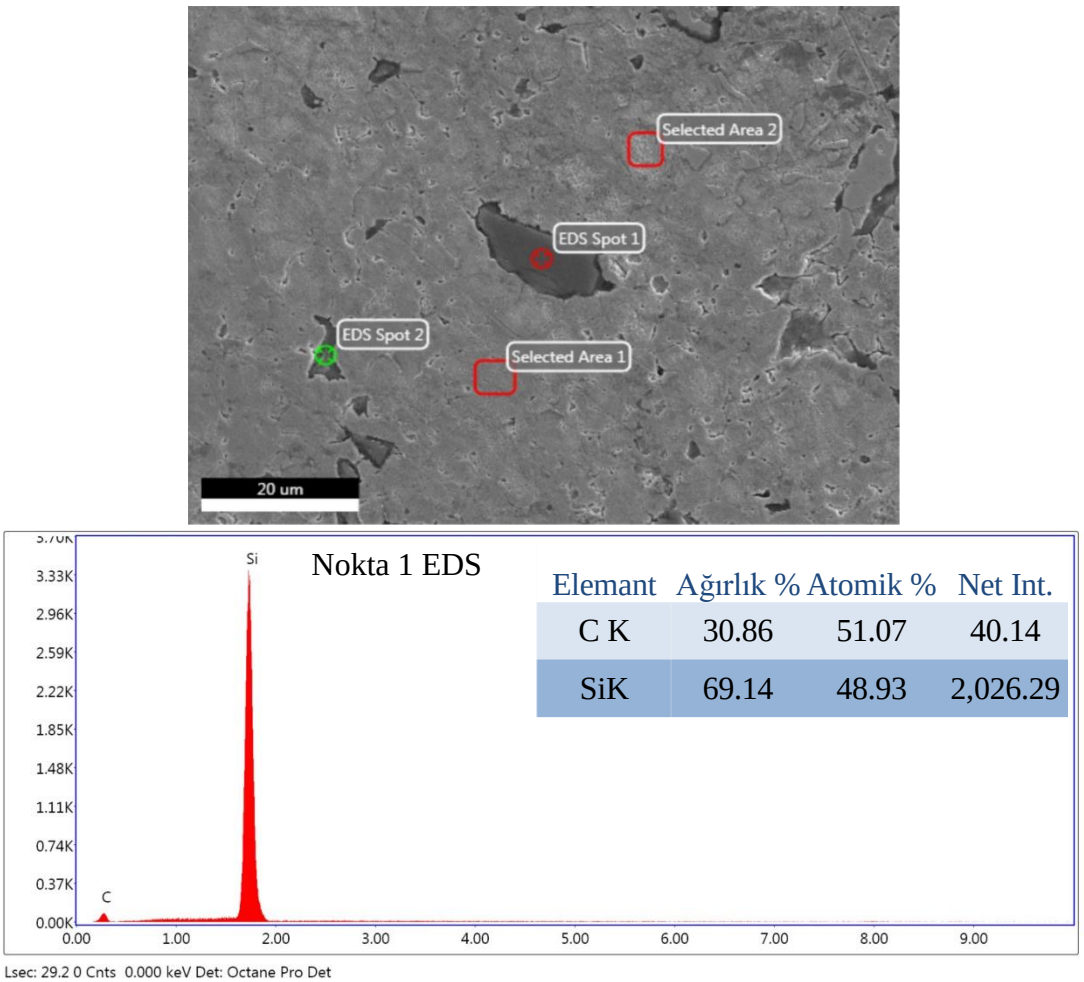
Şekil 6.6 Üretilen %2,5 B_4C takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu

Şekil 6.6'da verilen SEM-EDS analiz sonuçları incelendiğinde, üretilen %2,5 B_4C takviyeli CuNiSi kompozit numunenin kimyasal bileşimlerini desteklediği tespit edilmiştir. Üretilen CuNiSi-B_4C kompozit numunenin içyapısında, seçili alan 1 olarak belirtilen bölgeden alınan EDS sonucuna göre %8,62 Cu; %80,56 Ni; %0,16 Si; %7,31 C ve %3,34 B olduğu belirlenmiştir. Bu SEM-EDS analizi sonucuna göre, SEM görüntüsünde açık gri olarak görünen bölgelerin ana faz olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.7 Uretilen %5 B_4C takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu

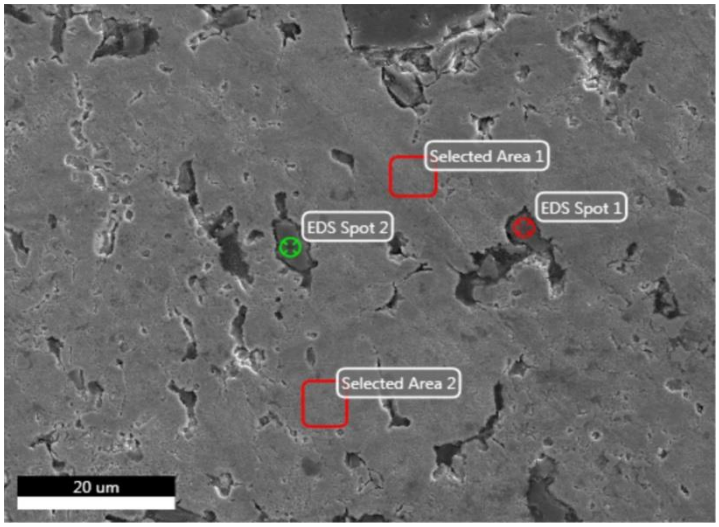
Şekil 6.7'de verilen SEM-EDS analiz sonuçları incelendiğinde, üretilen %5 B_4C takviyeli CuNiSi kompozit numunenin kimyasal bileşimlerini desteklediği tespit edilmiştir. Üretilen CuNiSi-B_4C kompozit numunenin içyapısında, Nokta 1 olarak belirtilen bölgeden alınan EDS sonucuna göre %55,54 C ve %44,46 B olduğu belirlenmiştir. Bu SEM-EDS analizi sonucuna göre, SEM görüntüsünde koyu siyah olarak görünen parçacıkların B_4C olduğu tespit edilmiştir.

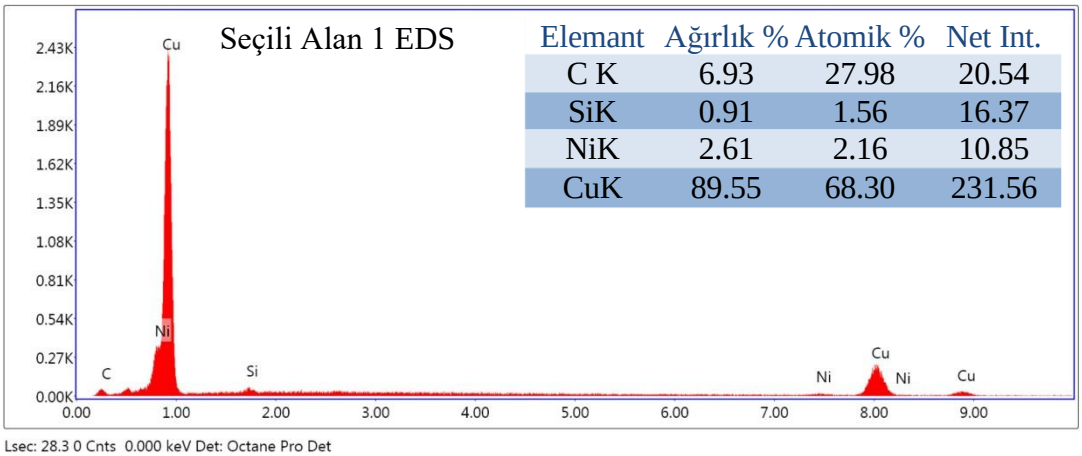


Elemant	Ağırlık %	Atomik %	Net Int.
C K	30.86	51.07	40.14
SiK	69.14	48.93	2,026.29

Şekil 6.8 Uretilen %1 SiC takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu

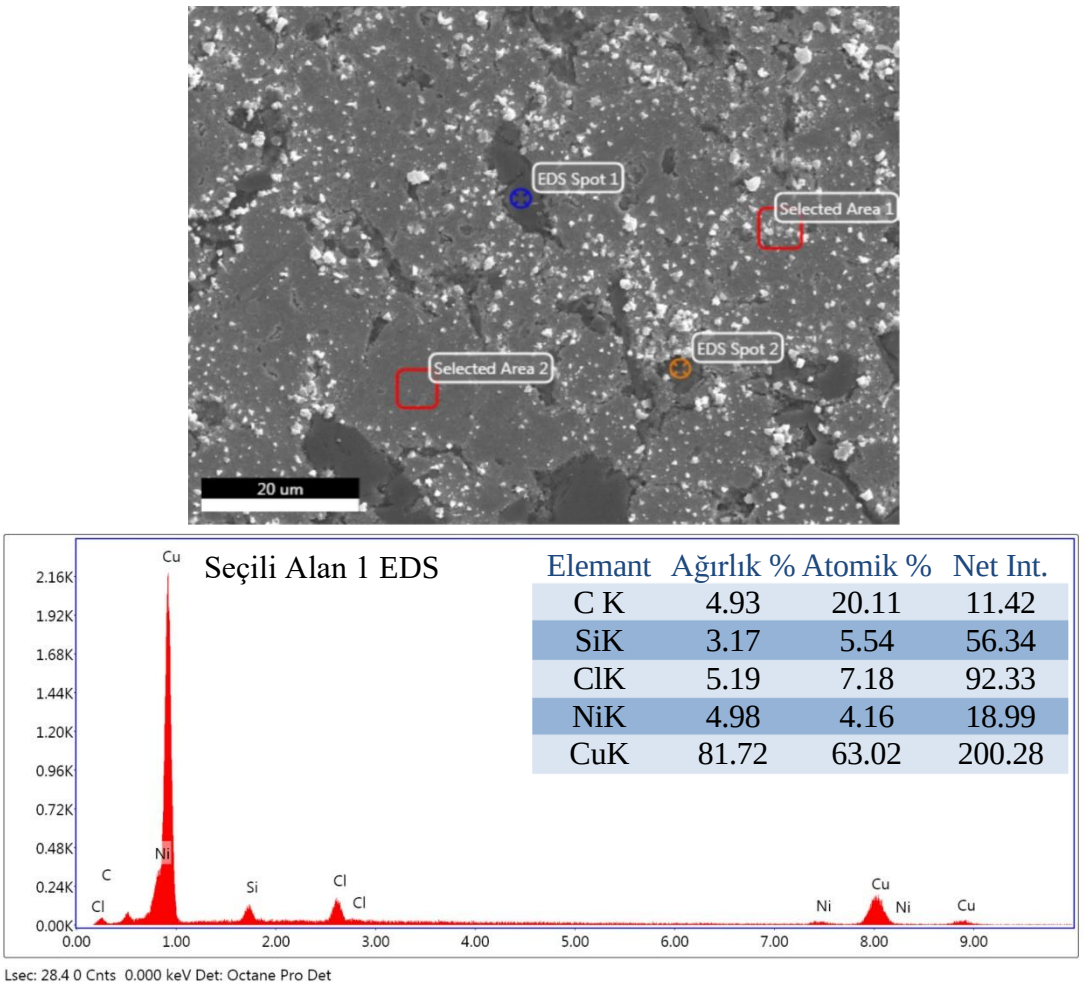
Şekil 6.8'de verilen SEM-EDS analiz sonuçları incelendiğinde, üretilen %1 SiC takviyeli CuNiSi kompozit numunenin kimyasal bileşimlerini desteklediği tespit edilmiştir. Üretilen CuNiSi-SiC kompozit numunenin içyapısında, Nokta 1 olarak belirtilen bölgeden alınan EDS sonucuna göre %69,14 Si ve %30,86 C olduğu belirlenmiştir. Bu SEM-EDS analizi sonucuna göre, SEM görüntüsünde koyu siyah olarak görünen parçacıkların SiC olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 6.9 Uretilen %2,5 SiC takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu

Şekil 6.9'da verilen SEM-EDS analiz sonuçları incelendiğinde, üretilen %2,5 SiC takviyeli CuNiSi kompozit numunenin kimyasal bileşimlerini desteklediği tespit edilmiştir. Üretilen CuNiSi-SiC kompozit numunenin içyapısında, seçili alan 1 olarak belirtilen bölgeden alınan EDS sonucuna göre %89,55 Cu; %2,61 Ni; %0,91 Si ve %6,93 C olduğu belirlenmiştir. Bu SEM-EDS analizi sonucuna göre, SEM görüntüsünde açık gri olarak görünen bölgelerin ana faz olduğu tespit edilmiştir.



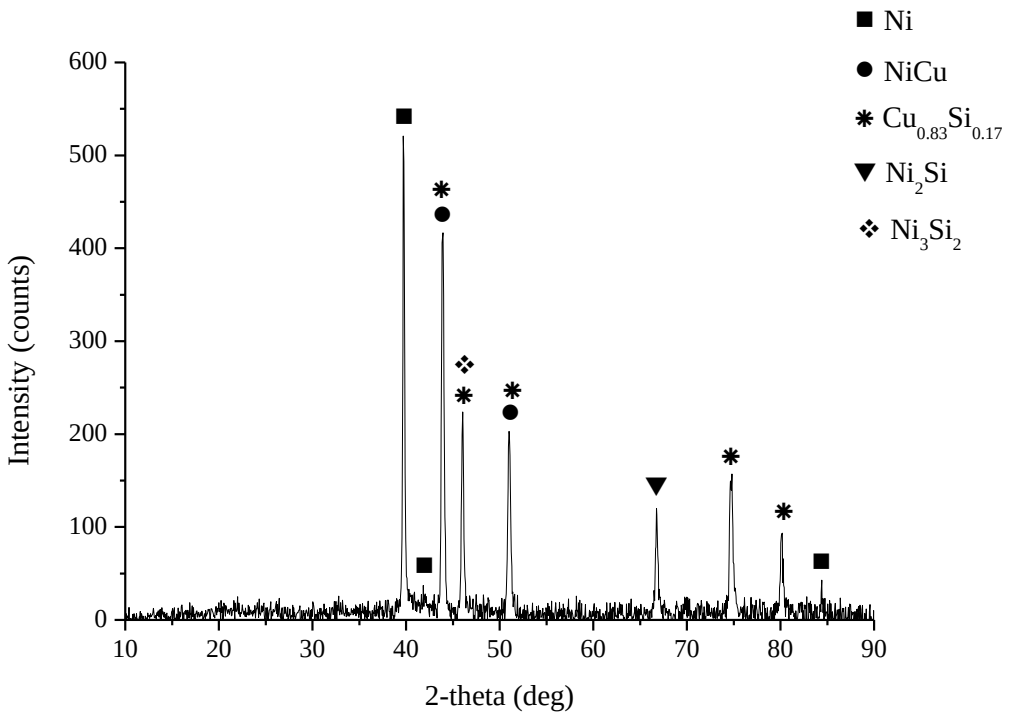
Şekil 6.10 Üretilen %5 SiC takviyeli CuNiSi kompozitinin SEM-EDS analiz sonucu

Şekil 6.10'da verilen SEM-EDS analiz sonuçları incelendiğinde, üretilen %5 SiC takviyeli CuNiSi kompozit numunenin kimyasal bileşimlerini desteklediği tespit edilmiştir. Üretilen CuNiSi-SiC kompozit numunenin içyapısında, seçili alan 1 olarak belirtilen bölgeden alınan EDS sonucuna göre %81,72 Cu; %4,98 Ni; %5,19 Cl; %3,17 Si ve %4,93 C olduğu belirlenmiştir. Bu SEM-EDS analizi sonucuna göre, SEM görüntüsünde açık gri olarak görünen bölgelerin ana faz olduğu tespit edilmiştir.

6.3 XRD Analiz Sonuçları

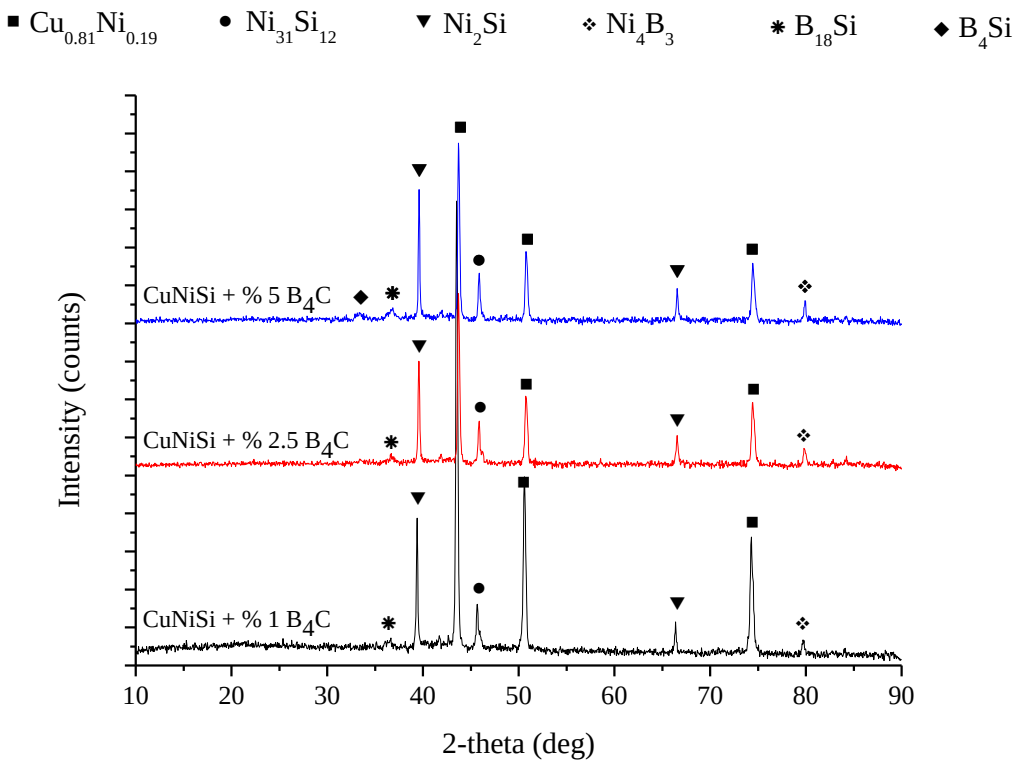
Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen CuNiSi, CuNiSi-B_4C ve CuNiSi-SiC kompozitlerinin XRD grafikleri sırasıyla Şekil 6.11, 6.12 ve 6.13'te verilmiştir. Verilen XRD grafiği incelendiğinde NiCu, $Cu_{0.83}Si_{0.17}$, Ni_2Si, Ni_3Si_2, $Cu_{0.81}Ni_{0.19}$, $Ni_{31}Si_{12}$, Ni_4B_3, $B_{18}Si$, B_4Si, $Cu_{15}Si_4$, NiSi, SiC ve C fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, NiSi, $Cu_{0.83}Si_{0.17}$ ve $Cu_{0.81}Ni_{0.19}$ fazlarının baskın olduğu

açıkça görülmektedir. Benzer pikler literatürde yapılan çalışmalarda da görülmektedir (Guler ve Ozenbas, 2011; Yang vd., 2012; Sun vd., 2020).

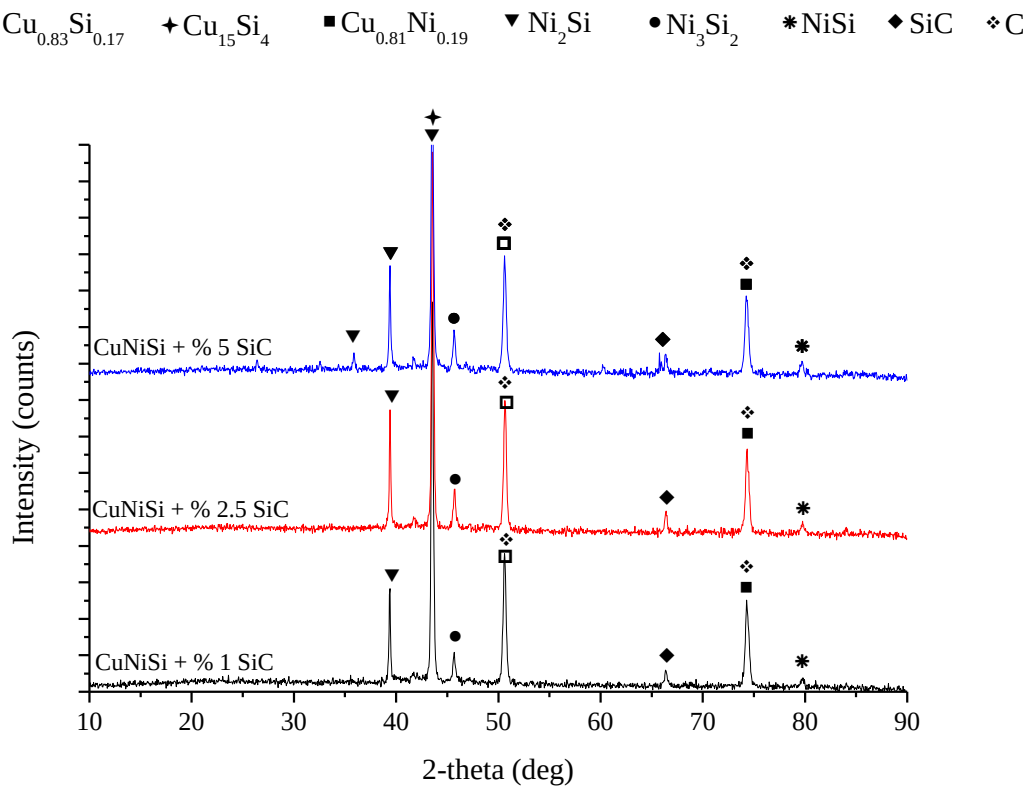


Şekil 6.11 Üretilen CuNiSi kompozit numunenin XRD grafiği

Sinterleme işlemi sırasında Cu, Ni, Si, B_4C ve SiC arasında yukarıda belirtmiş olduğumuz fazlar oluşmuştur. Buna ek olarak, üretilen kompozit numunelerde B_4C ve SiC takviye oranları arttıkça, Ni_4B_3, $B_{18}Si$, B_4Si, SiC ve C fazlarının şiddetinin arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada tespit edilen pikler literatürde yapılan diğer çalışmalarla da desteklenmiştir (Raghavan, 2006; Verma vd., 2019; Tuyet Mai vd., 2020; Li vd., 2018). 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 alan EDS analiz sonuçlarını desteklediği tespit edilmiştir.



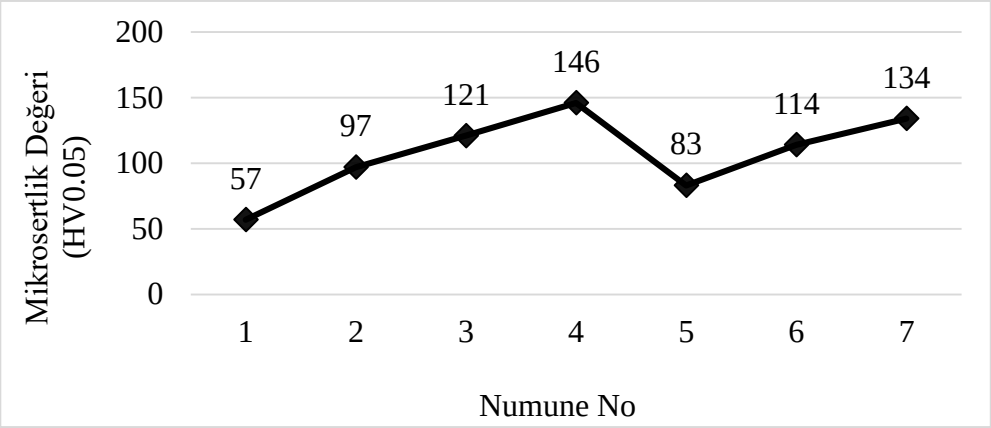
Şekil 6.12 Farklı oranlarda B_4C takviyeli üretilen CuNiSi kompozit numunelerinin XRD grafikleri



Şekil 6.13 Farklı oranlarda SiC takviyeli üretilen CuNiSi kompozit numunelerinin XRD grafikleri

6.4 Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Şekil 6.14'te üretilen numunelerin mikro sertlik grafiği verilmiştir. 100 µm aralıklarla bir çizgi hat boyunca numune yüzeyinden sertlik ölçümleri alınmıştır. Takviyesiz olan numunenin sertliği yaklaşık 57 $HV_{0,05}$'tir. %1; 2,5 ve 5 B_4C ilavesine göre numunelerin sertliği sırasıyla 97, 121 ve 146 $HV_{0,05}$'tir. %1; 2,5 ve 5 SiC ilavesine göre numunelerin sertliği sırasıyla 83, 114 ve 134 $HV_{0,05}$'tir. B_4C ve SiC katkılı numunelerin sertliği, takviyesiz üretilen numuneden daha yüksektir. Bu artış, karbür ve oluşan sert fazların varlığı ile ilişkili olduğu yorumlanmıştır (Campbell ve Kattner, 1999; Otsuka ve Ren, 2005). B_4C ve SiC 'ün takviye olarak kullanılması, Ni_4B_3, $B_{18}Si$, B_4Si, $Cu_{15}Si_4$, NiSi, SiC ve C fazlarının oluşumuna neden olmuştur ve sonuç olarak sertlikteki artışa katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.14 Üretilen numunelerin mikrosertlik değerleri

6.5 Sinterleme Öncesi ve Sinterleme Sonrası Yoğunluk Analiz Sonuçları

Preslenen tozların, yoğunluk değerlerindeki değişim Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Numunelerin presleme sonrası değerleri

Numune No	Ağırlık (gr)	Yükseklik (cm)	Hacim (cm^3)	Yoğunluk (gr/cm^3)	Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)	Bağıl Yoğunluk (%)
1	6,17	0,583	0,77	7,97	8,92	89,33
2	6,04	0,586	0,77	7,76	8,86	87,63
3	5,89	0,595	0,78	7,40	8,76	85,08
4	5,49	0,616	0,81	6,71	8,60	78,03
5	5,57	0,542	0,71	7,74	8,86	87,30
6	5,41	0,541	0,71	7,53	8,78	85,78
7	4,35	0,505	0,67	6,48	8,63	75,11

Tablo 6.1'de verilen değerler incelendiğinde numunelerin bağıl yoğunluk değerleri B_4C ve SiC takviye oranları arttıkça, azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Buna ek olarak, soğuk presleme ile mekanik bağlanma (kenetlenme) ve sıvanma meydana gelmiştir. Mekanik bağlanmanın hat safhada olduğu bölümlerde ise soğuk kaynaklanma olduğu yorumlanmaktadır.

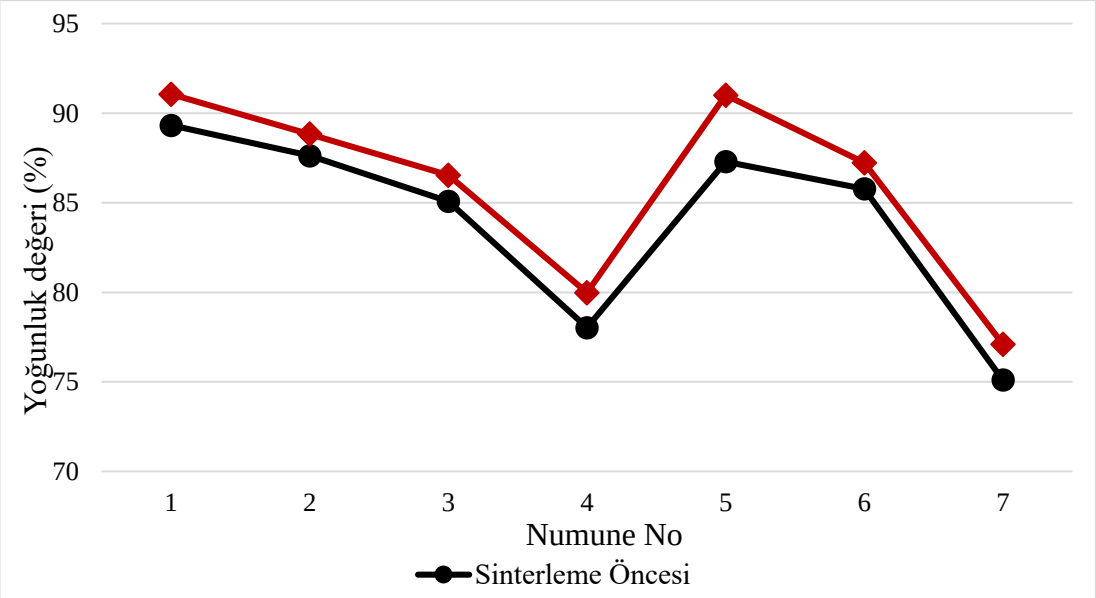
Presleme işleminden sonra numunelere sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sinterleme işleminden sonra numunelerin sinterleme sonrası yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Numunelerin sinterleme sonrası yoğunluk değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2 Numunelerin sinterleme sonrası değerleri

Numune No	Ağırlık (gr)	Yükseklik (cm)	Hacim (cm^3)	Yoğunluk (gr/cm^3)	Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)	Bağıl Yoğunluk (%)
1	6,16	0,571	0,75	8,12	8,92	91,06
2	6,04	0,578	0,76	7,87	8,86	88,84
3	5,89	0,585	0,77	7,58	8,76	86,54
4	5,49	0,601	0,79	6,88	8,60	79,98
5	5,56	0,519	0,68	8,07	8,86	91,01
6	5,40	0,531	0,70	7,66	8,78	87,24
7	4,35	0,492	0,65	6,66	8,63	77,10

Tablo 6.2 incelendiğinde 1 numaralı numunenin bağıl yoğunluğu 91,06 olarak tespit edilmiştir. Ancak, 4 ve 7 numaralı numunelerin bağıl yoğunlukları sırasıyla 79,98 ve 77,10 olarak tespit edilmiştir. Tablo 6.2 incelendiğinde artan B_4C ve SiC takviye oranları ile numunelerin bağıl yoğunluklarının azaldığı belirlenmiştir.

Aynı basınç ve aynı sıcaklıkta üretilen numunelerin yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluk değerleri her numune için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Her numune için ayrı ayrı tespit edilen yoğunluk değerlerinin, uygulanan her takviye için ortalama yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluk değerleri Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15 Numunelerin yoğunluk değerleri

7. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile B_4C ve SiC takviyeli CuNiSi kompozitler başarılı bir şekilde üretilmiştir. Üretim parametresi olarak 600 MPa basınçta soğuk presleme ve argon atmosferinde 900 ℃ sıcaklıkta 1 saat sinterleme işlemi yapılmıştır. Üretilen bu numunelerin, SEM, SEM-EDS, XRD, mikrosertlik ve yoğunluk analiz sonuçları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda;

- ✓ Toz metalürjisi yöntemi ile B_4C ve SiC takviyeli CuNiSi kompozitler başarılı bir şekilde presleme ve sinterleme işlemine tabi tutulmuştur.

- ✓ Alınan SEM analizleri sonucunda B_4C ve SiC ilavesi arttıkça, gözenek miktarının azaldığı açıkça tespit edilmiştir. Bunun yanısıra, alınan SEM görüntülerinde B_4C ve SiC parçacıklarının içyapıda homojen olarak dağıldığı belirlenmiştir. B_4C ve SiC parçacıklarının içyapıda homojen bir şekilde dağılması üç boyutlu turbulada karıştırma ve sinterleme işleminden kaynaklandığı yorumlanmıştır.

- ✓ Üretilen numunelerin SEM-EDS analiz sonuçlarında, numunelerin kimyasal bileşimlerini desteklediği açık bir şekilde tespit edilmiştir. Buna ek olarak, üretilen numunelerin içyapılarında farklı oranlarda Cu, Ni, Si ve B olduğu rapor edilmiştir.

- ✓ Alınan XRD analizi sonuçlarından NiCu, $Cu_{0,83}Si_{0,17}$, Ni_2Si, Ni_3Si_2, $Cu_{0,81}Ni_{0,19}$, $Ni_{31}Si_{12}$, Ni_4B_3, $B_{18}Si$, B_4Si, $Cu_{15}Si_4$, NiSi, SiC ve C fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, üretilen kompozit numunelerde B_4C ve SiC takviye oranları arttıkça, Ni_4B_3, $B_{18}Si$, B_4Si, SiC ve C fazlarının şiddetinin arttığı tespit edilmiştir.

- ✓ Takviyesiz olan numunenin sertliği yaklaşık 57 $HV_{0,05}$'tir. %1; 2,5 ve 5 B_4C ilavesine göre numunelerin sertliği sırasıyla 97, 121 ve 146 $HV_{0,05}$'tir. %1; 2,5 ve 5 SiC ilavesine göre numunelerin sertliği sırasıyla 83, 114 ve 134 $HV_{0,05}$'tir. B_4C ve SiC katkılı numunelerin sertliği, takviyesiz üretilen numuneden daha

yüksektir. Bu artış, karbür ve oluşan sert fazların varlığı ile ilişkili olduğu yorumlanmıştır.

- ✓ Üretilen numunelerin yoğunluk analizi sonucunda, numunelerin bağıl yoğunluk değerlerinin artan B_4C ve SiC takviye miktarına göre azaldığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Ahn, J. H., Han, S. Z., Choi, E. A., Lee, H., Lim, S. H., Lee, J., & Han, H. N. (2020). The effect of bimodal structure with nanofibers and normal precipitates on the mechanical and electrical properties of CuNiSi alloy. *Materials Characterization*, *170*, 110642.

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.

Akkaş, M., Boushiha, K. F. I., & Tabonah, T. M. K. (2021). Toz Metalurjisi Yöntemi ile WC Takviyeli CuNiSi Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 2(1), 41-48.

Akkaş, M., & Boushiha, K. F. I. (2021). Investigation of WC Reinforced CuNiSi Composites Produced by Mechanical Alloying Method. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8(2), 592-603.

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.

Atapek, Ş. H., Pantelakis, S., Polat, Ş., Chamos, A., & Çelik, G. A. (2020). Fatigue behavior of precipitation strengthened Cu–Ni–Si alloy modified by Cr and Zr addition. *International Journal of Structural Integrity*.

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*.

Çalıgülü, 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.

Dash, A., Sohn, Y. J., Vaßen, R., Guillon, O., & Gonzalez-Julian, J. (2019). Synthesis of Ti3SiC2 MAX phase powder by a molten salt shielded synthesis (MS3) method in air. *Journal of the European Ceramic Society*, *39*(13), 3651-3659.

Demirkesen, 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., Gökkaya, H., & Gökhan, S. (2013). Sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzemelerin üretilebilirliği 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 bsaed microalloy steels produced by powder metallurgy method. *Sylwan*, 160 (8), 362-375.

Erden, M. A. (2017). Presleme Basıncının Toz Metalürjisi ile Üretilen Alaşımsız 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*.

Gholami, M., Vesely, J., Altenberger, I., Kuhn, H. A., Janecek, M., Wollmann, M., & Wagner, L. (2017). Effects of microstructure on mechanical properties of CuNiSi alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, *696*, 201-212.

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.

Guler, H., & Ozenbas, A. (2011). Investigating the Formation Mechanisms of Cu0.83Si0.17 Intermetallic Phase Formed at Cu-Si and Cu-(5at%) Nb/Si Interfaces. *Gazi University Journal of Science*, *24*(3), 517-525.

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.

Kim, H., Ahn, J. H., Han, S. Z., Jo, J., Baik, H., Kim, M., & Han, H. N. (2020). Microstructural characterization of cold-drawn Cu–Ni–Si alloy having high strength and high conductivity. *Journal of Alloys and Compounds*, *832*, 155059.

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.

Lei, Q., Li, Z., Wang, M. P., Zhang, L., Gong, S., Xiao, Z., & Pan, Z. Y. (2011). Phase transformations behavior in a Cu–8.0 Ni–1.8 Si alloy. *Journal of alloys and compounds*, *509*(8), 3617-3622.

Lei, Q., Li, S., Zhu, J., Xiao, Z., Zhang, F., & Li, Z. (2019). Microstructural evolution, phase transition, and physics properties of a high strength Cu–Ni–Si–Al alloy. *Materials Characterization*, *147*, 315-323.

Li, R., Zheng, Q., Zhu, Y., Li, Z., Feng, K., & Liu, C. (2018). Experimental study of the microstructure and micromechanical properties of laser cladded Ni-based amorphous composite coatings. *Journal of Materials Engineering and Performance*, *27*(1), 80-88.

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 ısıl işlemin sertlik ve aşınma özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-50.

Milli, A. (2017). *Mekanik alaşımlama yöntemi ile (B_4C+ 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.

Raghavan, V. (2006). Al-B-Ni (Aluminum-Boron-Nickel). *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, *27*(5), 486.

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 Productıon By Centrıfugal Atomızatıon. *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.

Semboshi, S., Sato, S., Iwase, A., & Takasugi, T. (2016). Discontinuous precipitates in age-hardening CuNiSi alloys. *Materials Characterization*, *115*, 39-45.

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.

Sun, J., Chen, Y. R., Huang, K., Li, K., & Wang, Q. (2020). Interfacial electronic structure and electrocatalytic performance modulation in Cu0. 81Ni0. 19 nanoflowers by heteroatom doping engineering using ionic liquid dopant. *Applied Surface Science*, *500*, 144052.

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.

Tuyet Mai, D. T., Van Duong, L., Pham-Ho, M. P., & Nguyen, M. T. (2020). Electronic Structure and Properties of Silicon-Doped Boron Clusters B n Si with n= 15–24 and Their Anions. *The Journal of Physical Chemistry C*, *124*(12), 6770-6783.

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*.

Verma, D., Banerjee, D., & Mishra, S. K. (2019). Effect of silicon content on the microstructure and mechanical properties of Ti-Si-BC nanocomposite hard coatings. *Metallurgical and Materials Transactions A*, *50*(2), 894-904.

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.

Wang, W., Guo, E., Chen, Z., Kang, H., Chen, Z., Zou, C., & Wang, T. (2018). Correlation between microstructures and mechanical properties of cryorolled CuNiSi alloys with Cr and Zr alloying. *Materials Characterization*, *144*, 532-546.

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.

Wu, R., Zhou, K., Yang, Z., Qian, X., Wei, J., Liu, L., ... & Wang, L. (2013). Molten-salt-mediated synthesis of SiC nanowires for microwave absorption applications. *CrystEngComm*, *15*(3), 570-576.

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.

Yang, R. S., Li, M. T., Liu, C. H., Cui, X. J., & Jin, Y. Z. (2012). The Synthesis of Cu0. 81Ni0. 19 Intermetallics by Mechanical Alloying. In *Advanced Materials Research* (Vol. 496, pp. 379-382). Trans Tech Publications Ltd.

Yang, Y. H., Li, S. Y., Cui, Z. S., Li, Z., Li, Y. P., & Lei, Q. (2021). Microstructure and properties of high-strength Cu–Ni–Si–(Ti) alloys. *Rare Metals*, 1-10.

Yaşa, A. (2008). Düz Dişlilerin Modellenmesi Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Celal Bayar Ünv. 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.