



**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN W-Nb-V
İLAVE EDİLEN Ni-Mo ÇELİĞİNE SİNERLEME
SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

Ümit KÖKSAL

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN**

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN W-Nb-V İLAVE EDİLEN Ni-Mo
ÇELİĞİNE SİNERLEME SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİ**

Ümit KÖKSAL

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN**

**KARABÜK
Ocak 2021**

Ümit KÖKSAL tarafından hazırlanan “TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN W-Nb-V İLAVE EDİLEN Ni-Mo ÇELİĞİNE SİNERLEME SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/01/2021

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ELİTAŞ (BŞEÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ümit KÖKSAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN W-NB-V İLAVE EDİLEN Nİ- MO ÇELİĞİNİN SİNERLEME SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Ümit KÖKSAL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN

Ocak 2021, 81 sayfa

Çelikler demir karbon alaşımıdır. Çelikler kimyasal bileşimlerine göre tasniflendiğinde “Alaşımız Çelikler” ve “Alaşımli Çelikler” olmak üzere iki kısımda kategorize edilir. Alaşımız çelik demir ve karbon ihtiva eder. Alaşımli çelikte demir ve karbonun yanında nikel, molibden, vanadyum, niobyum, krom, mangan, silisyum, tungsten gibi alaşım elementleri bulunur. Alaşımli çelikler alaşım elementlerinin oranına göre de az alaşımli ve yüksek alaşımli çelikler olarak ikiye ayrılır. Günümüzde yeterli oranda üretilmese de toz metalurjisi yöntemiyle alaşımli çelik imal edilmektedir.

Bu çalışmada W, Nb ve V ilaveli Ni-Mo çeliği toz metalurjisi yoluyla üretilip, sinterleme süresinin analizini incelemek maksadıyla ağırlıkça aynı olan üç karışım turbulo cihazında bir buçuk saat karıştırılmıştır. Karıştırılan tozları blok haline

getirebilmek için 700 MPa tek yönlü presleme yapılmıştır. Blok numuneler 1400°C argon atmosferinde sinterlenmiştir. Bu bileşimde üç farklı sinterleme süresiyle (1 saat, 2 saat ve 3 saat) numuneler üretilmiştir. Mikroyapısal özellikler SEM cihazı kullanılarak incelenmiştir. Mekanik özellikleri belirlemek için sertlik ve çekme testleri yapılmıştır. Numunelerin sinterlenmeden evvel ve sinterlendikten sonraki yoğunlukları hesaplanmıştır. Ayrıca tribolojik özelliklerin incelenmesi için aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Bu bileşimin üretiminde 2 saatin optimum sinterleme süresi olduğu bulunmuştur. Mikroyapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri sinterleme süresine göre karşılaştırılmıştır. Böylelikle toz metalurjisi tekniği ve çeşitli prosesler uygulanarak üretilen W-Nb-V takviyeli Ni-Mo çeliğinin sinterleme süresinin etkisi incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Toz metalurjisi, sinterleme süresi, Mo-Ni çelikleri.

Bilim Kodu : 91437

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF SINTERING TIME ON MECHANICAL CHARACTERISTICS OF NI-MO STEEL ADDED W-NB-V PRODUCED WITH POWDER METALLURGY

Ümit KÖKSAL

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Manufacturing Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Akif ERDEN

January 2021, 81 pages

Steels are iron carbon alloy. When steels are classified according to their chemical composition, they are categorized in two parts as "Unalloyed Steels" and "Alloyed Steels". Unalloyed steel contains iron and carbon. Alloyed steel contains alloying elements such as nickel, molybdenum, vanadium, niobium, chromium, manganese, silicon, tungsten, as well as iron and carbon. Alloyed steels are divided into two as low alloy and high alloy steels according to the ratio of alloying elements. Alloyed steel is produced by powder metallurgy method, although it is not produced at a sufficient rate today.

In this study, W, Nb and V added Ni-Mo steel was produced by powder metallurgy and three mixtures which were the same in weight were mixed in a turbulo apparatus for one and a half hours in order to examine the analysis of the sintering time. In order

to make the mixed powders into blocks, unidirectional pressing of 700 MPa was used. Block samples were sintered at 1400 ° C in argon atmosphere. With this composition, samples were produced with three different sintering times (1 hour, 2 hours and 3 hours). Microstructural properties were examined using SEM device. Hardness and tensile tests were carried out to determine the mechanical properties. The densities of the samples before and after sintering were calculated. In addition, abrasion tests were carried out to examine tribological properties. It has been found that 2 hours is the optimum sintering time in the production of this composition. Microstructural, mechanical and tribological properties were compared according to the sintering time. Thus, the effect of the sintering time of W-Nb-V reinforced Ni-Mo steel produced by using powder metallurgy technique and various processes was investigated.

Key Word : Powder metallurgy, sintering time, Mo-Ni steels.

Science Code : 91437

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının oluőumunda, planlanmasında, yönlendirilmesinde mündemi ilgi ve alakasıyla gerek tecrübelerinden gerekse bilgilerinden yararlandığım değerli hocam Doç. Dr. Mehmet Akif Erden'e sonsuz teşekkür ve őükranlarımı sunarım.

Laboratuvar ve diğer çalışma alanlarında imkânlarından faydalandığım Teknoloji Fakóltesi Dekanlığı, İmalat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teőekkürlerimi sunarım.

SEM ve Aşınma alıőmaları için verdikleri destekten dolayı Karabük Demir elik Enstitüsü'ne teőekkürlerimi, bu deneylerdeki yardımlarından dolayı Dr. Öğretim Üyesi Yasin Akgül'e őükranlarımı sunuyorum.

Sevgili dostlarıma maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda buldukları ve daima destekledikleri için en içten duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
ÇELİKLER	3
2.1. ÇELİK TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI.....	3
2.1.1. Alaşimsız Çelikler	4
2.1.2. Alaşimli Çelikler.....	4
2.2. ÇELİKLERİN GELİŞİMİ.....	5
2.3. ÇELİĞİN DAYANIM ARTIRICI MEKANİZMALARI	6
2.4. ALAŞIMLI ÇELİKLERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI.....	7
2.5. ALAŞIMLI ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARI.....	7
2.6. ALAŞIM ELEMENTLERİ	8
2.6.1. Karbon ve Grafit.....	8
2.6.2. Nikel	10
2.6.3. Molibden.....	12
2.6.4. Tungsten	13
2.6.5. Vanadyum.....	13
2.6.6. Niobyum	14
2.6.7. Fosfor (P).....	15

	<u>Sayfa</u>
2.6.8. Mangan (Mn)	15
2.6.9. Alüminyum	16
2.6.10. Titanyum.....	16
2.6.11. Silisyum	17
BÖLÜM 3	19
TOZ METALURJİSİ	19
3.1. TOZ METALURJİSİ TANIMI	19
3.2. TOZ ÜRETİM PROSESLERİ	21
3.2.1. Öğütme	22
3.2.2. Elektroliz.....	22
3.2.3. Kimyasal İndirgeme.....	22
3.2.4. Atomizasyon	23
3.2.5. Diğer Üretim Teknikleri	24
3.3. TOZLARIN FİZİKSEL ÖZELLİĞİ	25
3.4. TOZ METALURJİSİ KULLANIM ALANLARI.....	26
3.5. TOZ METALURJİSİ AVANTAJLARI.....	26
3.6. TOZ METALURJİSİNDEKİ TOZLARIN KARAKTERİZASYONU.....	28
3.6.1. Toz Numunesi Alınması	28
3.6.2. Parçacık Boyut Ölçümü.....	28
3.6.3. Tozların Karıştırılması.....	29
3.6.4. Tozların Preslenmesi	30
3.6.4.1. Tek Yön ile Presleme.....	32
3.6.4.2. Çift Yön ile Presleme.....	33
3.6.4.3. İzostatik Presleme	34
3.6.5. Tozların Sinterlenmesi.....	36
3.6.5.1. Sıvı Faz Sinterlemesi	39
3.6.5.2. Katı Hal Sinterlemesi.....	40
3.7. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN MALZEMELERİN ANALİZİ.....	42
3.7.1. Mekanik Özellikler	42
3.7.2. Mikroyapısal Özellikler	42
3.7.3. Yüzey ile İlgili Özellikler	43

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	44
DENEYSEL METOD	44
4.1. GİRİŞ.....	44
4.2. DENEYSEL İŞLEM BASAMAKLARI	44
4.3. ÇALIŞMADAKİ TOZLARIN KARIŞTIRILMASI VE PRESLENMESİ....	45
4.4. SİNERLEME PROSESLERİ.....	47
4.5. NUMUNELERİN SERTLİK ÖLÇÜMLERİ.....	48
4.6. NUMUNEDKİ ÇEKME DENEYİ.....	48
4.7. AŞINMA DENEYİ	49
4.8. SEM İNCELEMELERİ.....	49
4.8.1. Metalografik İncelemelerde Kullanılan Numunelerin Hazırlanması	50
4.8.2. Dağlayıcıların Hazırlanması ve Dağlama Prosesinin Gerçekleştirilmesi	50
4.9. GÖZENEKLİLİK, YOĞUNLUK, FERRİT, BEYNİT VE MARTENZİT HESAPLARI.....	50
BÖLÜM 5	52
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	52
5.1. GİRİŞ.....	52
5.2. TOZ KARAKTERİZASYONU	52
5.3. SEM MİKROYAPI SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	54
5.4. MEKANİK TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	62
5.4.1. W-V-Nb ilaveli Ni-Mo Çeliğinin Çekme ve Sertlik Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	62
5.4.2. Aşınma Test Sonuçları ve Değerlendirilmesi	68
5.5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
5.5.1. Genel Sonuçlar.....	73
5.5.2. Öneriler	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Bir malzemenin toz metalurjisi üretim şeması	21
Şekil 3.2. Gaz atomizasyon ünitesi	23
Şekil 3.3. Tek yön ile presleme.	33
Şekil 3.4. Çift yön ile presleme.	34
Şekil 3.5. Soğuk izostatik Presleme Ünitesi.....	35
Şekil 3.6. Gözeneğin yapı değişimi.....	39
Şekil 4.1. Deneysel çalışmada proses adımları.	45
Şekil 4.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan a) Hassas terazi, b) Hidrolik pres, c) Turbula cihazı görüntüleri sisteme ait aşımaların soğuma eğrileri.....	47
Şekil 4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan atmosfer kontrollü fırın.	48
Şekil 4.4. Sinterlenmiş numunenin a) çekme testi öncesindeki hali, b) çekme testi sonrasındaki hali.....	49
Şekil 5.1. Deneysel çalışmada kullanılan tozların SEM görüntüleri.....	53
Şekil 5.2. Belirlenen proseslerle numunesi hazırlanan çeliklerin SEM mikroyapı görüntüleri a) Aşım 1, b) Aşım 2, c) Aşım 3.....	55
Şekil 5.3. Nokta EDS analizleri Aşım 1.	60
Şekil 5.4. Nokta EDS analizleri Aşım 2.	61
Şekil 5.5. Numunelerin gerilme-yüzde uzama grafiği tablosu a) Aşım 1, b) Aşım 2, c) Aşım 3	62
Şekil 5.6. Numunelerin kırık yüzey görüntüleri a) Aşım 1, b) Aşım 2, c) Aşım 3	65
Şekil 5.7. Kırık yüzey EDS analiz görüntüleri Aşım 1.	66
Şekil 5.8. Kırık yüzey EDS analiz görüntüleri Aşım 2.	67
Şekil 5.9. TM ile üretilen numunelerin aşınma deneyinde oluşan aşınma derinliği grafiği.	68
Şekil 5.10. 1400C de sinterlenen farklı bileşime sahip numunelerin 500X ve 1000X büyütmede alınan SEM aşınma yüzey resimleri a) Aşım 1, b) Aşım 2, c) Aşım 3	70
Şekil 5.11. Aşım 1 aşınma yüzeyi nokta EDS incelemeleri	71
Şekil 5.12. Aşım 3 aşınma yüzeyi nokta EDS incelemeleri	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Deneý için hazırlanmış numunelerin kimyasal kompozisyonları	46
Çizelge 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozların boyut ve %safılık değerleri.	55
Çizelge 5.2. Çelik numunelerin %teorik yoğunluk, %sinter sonrası yoğunluk %yoğunluk, %gözenek miktarı, %ferrit-perlit- martenzit- beynit oranı.....	57
Çizelge 5.3. 1400°C’de farklı sürelerde sinterlenmiş numunelerin akma dayanımı, max çekme dayanımı, % uzama ve sertli değerleri.	64
Çizelge 5.4. 1400°C’de sinterlenen TM çeliklerinin aşınma deneyi sonuçları.....	69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

dak	: Dakika
f	: Ferrit yada perlit fazının hacimsel oranı
n	: Ferrit yada perlit fazına karşılık gelen nokta sayısı
N	: Sayılan toplam nokta sayısı
α	: Ferrit tane büyüklüğü
L	: Ölçüm çizgisinin toplam uzunluğu
Fp	: % perlit miktarı
N_{α}	: Ölçüm çizgisi tarafından kesilen ferrit tanelerinin toplam sayısı
N_i	: Ölçülen tane sınırı sayısı
Mm	: Milimetre
μm	: Mikrometre
MPa	: Megapaskal
s	: Saniye
T	: Sıcaklık
y	: Akma gerilmesi
k	: Malzeme sabiti (Hall-Petch sabiti)
d	: Ferrit tane boyutu
D	: Östenit tane çapı
A	: Malzeme sabiti
P	: Çökelti çapı
Fv	: Çökelti partiküllerinin hacimsel oranı

KISALTMALAR

HSLA	: High Strength-Low Alloyed (Yüksek Dayanımlı-Düşük Alaşımli)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)

Ni : Nikel
W : Tungsten
Mo : Molibden
V : Vanadyum
Nb : Niobyum
C : Grafit
Fe : Demir

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Toz metalurjisi metal şekillendirme tekniğidir. Bunun yanı sıra malzeme üretim yöntemi olarak da tanımlanır. İmalatı özel olarak gerçekleştirilmiş tozlar kullanılarak beklenen nitelikte ürün üretilmesini amaçlayan ve sağlayan üretim bilimidir. Alaşım-sız ya da alaşım-lı halde bulunan tozların belirlenmiş oranlarda kullanılarak karıştırılması, homojen formda karışmış tozların uygun bir kalıp yardımıyla sıkıştırılması, ardından tozların metalurjik özelliğini kazandırmak maksadıyla kontrollü atmosfer ortamında sinterlenmesi eylemine uzanır.

Çeliklerin kaba olarak ifade edilen %2'nin altında karbon ihtiva eden ifadesindeki alt sınırı %0.02'i belirlemektedir. Genel olarak incelendiğinde kapsadıkları karbon oranına göre çelikler üç bölüme ayrılır. %0.25 oranına kadar karbon içeren çelikler düşük karbonlu, %0.25-0.55 oranı arasında karbon içeren çelikler orta karbonlu ve %0.55-2 oranı arasında karbon içeren çelikler ise yüksek karbonlu olarak tasnif edilir. Bunun yanında %0,8 oranında karbon içeren çeliklere ötektoid çelik adı verilir. Bunun sebebi, bu bileşimdeki östenitin yavaş halde ötektoid sıcaklığın altına soğutulması sırasında tam olarak sementit ve α ferritten oluşan bir yapının meydana gelmesidir. %0,8'den az karbonu içermesi halinde ötektoid altı çelik, %0,8'den fazla karbonu içermesi halinde ise ötektoid üstü çelik adını alır (Kınıkoğlu, 2001).

Toz metalurjisi yönteminde döküm yöntemine göre istenilen özelliklerin daha kapsamlı ve kontrollü olarak üretimi gerçekleşir. Bu sebep kaynaklandırılarak hazırlanan çalışmamız toz metalurjisi yöntemiyle gerçekleşmesi planlanmıştır. Çalışmamızda Fe matris içerisine, Grafit, Nikel, Molibden, Tungsten, Vanadyum, Niyobyum eklenmiştir. Bu elementler belirlenmiş farklı oranlarda ilave edilmiştir. Sinterleme süresinin etkisini incelemek için ağırlıkça aynı olan üç karışım turbulo cihazı kullanılarak bir buçuk saat boyunca karıştırılmıştır. Bu karıştırılan tozları blok

formuna getirebilmek için tek yönlü preslemeyle 700 MPa uygulanmıştır. 1400°C argon atmosferinde blok numuneler sinterlenmiştir. Numuneler üç farklı sinterleme süresiyle (1 saat, 2 saat ve 3 saat) üretilmiştir. Mikroyapısal özellikleri incelemek için SEM cihazı kullanılmıştır. (SEM mikroyapı, SEM kırık yüzey, SEM EDS). Mekanik özellikleri tespit etmek için çekme ve sertlik testleri yapılmıştır. Numunelerin sinter öncesi ve sonrası yoğunlukları hesaplanmıştır. Mikroyapısal özellikler incelenerek numunelerin ortalama tane boyutu ve %uzaması bulunmuştur. Bunun yanında tribolojik özelliklerini analiz etmek için aşınma testleri uygulanmıştır. Çıkan sonuca göre 2 saatin optimum sinterleme süresi olduğu bulunmuştur.

Bahsi geçen çeliklerin üretimi toz metalurjisi yöntemiyle yapıldığında parçanın yüzey kalitesinin iyi olması, daha kaliteli ve daha hassas bir üretimin sağlanması, diğer üretim yöntemleriyle üretilmesi ve işlenmesi zor bazı metallerin üretimi ortaya çıkacaktır. Üretim maliyetinde önemli oranda azalma oluşacaktır. Yerli sanayimizde alışımlı çelik malzemelerinin üretime kolaylık sağlayacaktır. Bununla birlikte de yaygınlaşacaktır. Bu çalışma ve araştırmamızın esas amacı ülkemizi vasıflı, üstün özellikli çeliklerin üretiminin yerli ve milli olarak seri imalatla sağlanmasıyla üretimde ve ihracatta söz sahibi olmasına katkı sağlamaktır.

BÖLÜM 2

ÇELİKLER

2.1. ÇELİK TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Demir–karbon alaşımları ihtiva ettikleri karbon oranına göre; “Çelikler” ve “Dökme Demirler” olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Bu kategorizeye göre; %2’den az karbon ihtiva eden alaşımlara çelik ve %2’den fazla karbon ihtiva eden alaşımlara ise; dökme demir denilir. Çeliklerin sınıflandırılmasında farklı ayrımlar bulunmaktadır. Bunlar; kullanım alanları, kimyasal bileşim, uygulanan ısıl işlem, şekillendirme yöntemi, mikroyapı ve üretim yöntemidir. Nihai ürün formuna gelene kadar uğradıkları ısıl ve mekanik işlemlere bağlı olarak muhtelif mikroyapı ve özellikler kazanabildiklerinden, çeliklerin sınıflandırılma prosesinde, içerdikleri alaşım elementlerinin örnek alınması büyük değer taşımaktadır. Çelikleri kimyasal bileşimlerine göre tasniflediğimizde “Alaşımless Çelikler” ve “Alaşımlı Çelikler” olmak üzere ikiye ayrılır.

Çeliğin kimyasal özelliği kaynak prosesleri için uygundur. Demirden hafif ve daha serttir. Isıl işlem uygulandığında mekanik, elektriksel ve fiziksel özellikler kazandırılabilir. Farklı proseslerle yüksek sıcaklıklarda sertliği ve dayanımı artabilir. Belli bir ısı dahilinde uygulanan presleme, dövme ve haddeleme yöntemleri ile istenen şekle getirilebilir. Bazı özelliklere sahip çelikler soğuk olarak da şekillendirilebilme özelliğine sahiptir. Metallerle plastiklerle kaplama gerçekleştirilebilir.

Kızgın bir çeliğe aniden ve hızlıca su verildiğinde kristal özelliği değişim gösterir ve sertleşir. Bu proses; “çeliğe su verme” ismi verilir. Paslanmaz çelikler ısıya ve korozyona dayanıklıdır, tam oranda geri dönüşüm yapılabilir. Temizliği ve üretimi kolaydır. Yüksek karbon ihtiva eden alaşımlı çelikler “dökme demir” olarak ifade

edilir. Karbon oranı arttıkça çeliğin çekme ve akma mukavemeti yükselirken, şekillenebilme özelliğini ve kaynak kabiliyetlerini azaltır.

Karbon ile demirin bir alaşımına çelik denilir, alaşımlı çelik söylemi, karbondan farklı alaşımlama elementlerinin çelik bileşiminde bulunduğunu ifade etmek için kullanılır. Esasen karbon elementi de diğer alaşımlama elementleri gibi çeliğin yapısında alaşımlama işlevi görür. Geleneksel ayırım temel alınarak çelikler genel ayırımında alaşımsız çelikler ve alaşımlı çelikler diye iki ana bölüme ayrılırlar.

2.1.1. Alaşımsız Çelikler

Demirden farklı olarak temel alaşım elementi belirlenerek yalnızca karbon ihtiva eden, fakat bileşiminde, %0,8 mangan, %0,1 titanyum, %0,1 alüminyum, %0,5 silisyum ve %0,25 bakır düzeyinde elementleri de barındırabilen çelik türüdür. Bir diğer isimlendirmede sade karbonlu çelik olarak geçmektedir.

Alaşımsız çeliklerde en değerli alaşım elementi karbondur. Bu yüzden çelikleri içerdikleri karbon oranına göre; “Az Karbonlu Çelikler”, “Orta Karbonlu Çelikler” ve “Yüksek Karbonlu Çelikler” isimleriyle kategorize edilir.

Yüksek sıcaklıklarda malzeme yumuşamakta ve akma sınırları azalarak düşük zorlamalarda plastik şekil değişimine maruz kalmaktadır. Uzun soluklu zorlamalarda yavaşça ortaya çıkan kalıcı şekil değiştirmeler belirli bir süre geçtikten sonra malzemenin kırılmasına neden olmaktadır (Tükel, 1979).

2.1.2. Alaşımlı Çelikler

Demir ve karbon alaşımlarında yalnızca demir ve karbon yer alırken, alaşımlı çeliklerde demir ve karbonun yanına ek olarak krom, mangan, silisyum, nikel, molibden gibi diğer alaşım elementleri de bulunur. Bunun yanında alaşımlı çelikler alaşım elemanlarının oranına göre az alaşımlı ve yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere tasnif edilir. %5'ten az alaşım elemanı ihtiva eden az alaşımlı çelikler genellikle makine parçaları ve yüksek mukavemetli yapı elemanları üretiminde kullanılır.

Alaşım elementlerinin değiştirdiklerinden birisi ise demir-karbon termal denge diyagramında dönüşüm sıcaklıklarıdır. Oda sıcaklığında elementlerin hemen hemen tamamı östenit yapıda olduklarından, yüzey merkezli kübik kristallere tesir etmektedir. Birbiri içinde çözünen elementler, yüzey merkezli kafes yapısını oluştururlar. Böylelikle alaşım elementleri gama fazından, ferrit fazına zıt yönde dönüşüm gerçekleştirir. Alaşım elementleri östeniti sabitleyip, mevcut sıcaklık aralığını genişletecektir.

Yüksek alaşımlı çelikler; alaşım elementlerinin toplamı %5'ten yüksek olan çeliklerdir. Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler istenilen özellikleri içermemesi ya da yetersiz olması halinde yüksek alaşımlı çelikler tercih edilmektedir. Paslanmaz çelikler ve takım çelikleri örnek olarak verilebilir (Tekin, 1986).

Az alaşımlı çelikler temelde alaşımsız çeliklere benzer davranışa sahiptir ve en önemli özelliği, sertleşme kabiliyetlerinin üstün olmasıdır. Alaşımsız çeliklerin kullanımındaki eksiklik, az alaşımlı çeliklerin tercih edilmesine sebep olan durumlar şunlardır. Düşük sıcaklık değerlerinde alaşımsız çeliklerin darbe direncinin çok düşük olması, su verme ile oluşan sertlik derinliğinin, alaşımsız çeliklerin oksidasyon ve korozyon direncinin düşük olmasıdır (Tekin, 1986). Alaşımsız çeliklerin bu dezavantajlarına istinat üretimi gerçekteşen ve karışımda temel alaşım elementi olarak nikel, mangan, molibden, krom ve volfram bulunan çelikler az alaşımlı çeliklerdir. Bu çeliklere ek olarak alüminyum, vanadyum, bor, niyobyum, titanyum, kurşun, bakır ve kobalt gibi alaşım elementleri de ilave edilebilmektedir.

2.2. ÇELİKLERİN GELİŞİMİ

Çelik, insanlık tarihinin en eski devirlerinde kullanılmaya başlanan ve günümüzde devam eden bir alaşımdır. Eski tarihlerde bilinmesine rağmen geniş kapsamlı bir imalat ve üretim kademesi uygulanmadığından, çeliğin kullanımı yalnızca silahlarla ve buna benzer savaş malzemeleriyle sınırlı kalmıştır. Teknolojinin de gelişmesiyle ilerleyen yıllarda, tam vakit belirlendiğinde 18. yüzyıl İngiltere'sinde ham demir imalatı ve üretimi başlamıştır. Bu kademedен ve tarihten sonra dünyada çelik ve demir

yapılar az da olsa yapılmaya başlanmıştır. İlk çelik yapılar köprüler olduğunu söyleyebiliriz.

Çelik ve demir kullanılarak inşa edilen en önemli yapılardan biri Eiffel Kulesi'dir. 1889 yılında son hali ortaya çıkan kule, demir çelik kullanımını yıllar bazında örnek olarak sunmak için yeterlidir.

Mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulan ve kullanılan malzeme kategorileri içerisinde büyük bir önemi oluşturur. Bilhassa ikinci dünya savaşından sonraki vaktin hızın başlangıcı olarak geçtiği söylenilebilir. Geçen her gün birçok sektörde çelik ihtiyacı artış göstermektedir. Dayanım ve ağırlık oranının yükselişe geçmesiyle daha hafif ve ince çeliklerin geliştirilmesi sonucunda işletme ve üretim giderlerinde birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır (Erden, 2017).

2.3. ÇELİĞİN DAYANIM ARTIRICI MEKANİZMALARI

Malzemelerin mekanik özellikleri yüksek oranda metalürjik yapılarının davranışlarına bağlıdır. Metalürjik yapı, kimyasal bileşimle beraber malzemeye uygulanan ısı ve mekanik proseslerle değişim gösterdiğinden dolayı ve buna istinaden malzemenin mekanik özelliklerinin bu durumlara da bağlı olduğu aktarılabilir. En önemli malzeme özelliklerinden biri mukavemettir. Diğer özellikler mukavemete bağlı olarak değişir. Malzeme bilminde direnç; malzemenin plastik şekil değiştirmeye olan dayanımı durumuyla açıklanabilir. Metallerin plastik şekil değişimi, anlatının özü olarak dislokasyon ismini verdiğimiz çizgisel kusurların kristal içerisinde ilerlemesiyle oluşmaktadır. Bundan dolayı sertlik, dayanım, süneklik gibi mekanik özellikler; metallerin içyapılarındaki dislokasyonların yoğunluğunu ve diğer kusurlarla olan etkileşimlerini açıklar. Mukavemet artırıcı işlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Deformasyon Yaşlandırması
- Tane Boyutunu Küçültürerek Sertleştirme
- Soğuk İşlem
- Martenzitik Dönüşüm ile Sertleştirme
- Çökeltme Sertleştirme (Yaşlandırma)

- Alaşım Sertleştirme
- Dispersiyon ile Sertleştirme

Mikroalaşımli çeliklerde istenilen bazı özellikleri iyileştirmek ve iyileştirdiği çeliklerden en iyi biçimde yararlanmak için mekanik özellikler-mikroyapı ilişkilerinin oldukça detaylı bilinmesi gerekmektedir. Mikroalaşımli çeliklerde kullanılan tane boyutu sertleşmesi, katı ergiyik sertleşmesi, çökme sertleşmesi, deformasyon sertleşmesi ve sertleşme mekanizmaları gibi sertleşme mekanizmaları çeliklerin mukavemetini ziyadeleştirir. Tane küçültme mekanizması bu sertleşme mekanizmaları içerisinde mukavemeti artırırken bunun yanında tokluğu da geliştirir (Kim, 1983).

2.4. ALAŞIMLI ÇELİKLERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Sade karbonlu çeliklere kıyasla alaşımli çeliklerde daha üstün sertlik, mukavemet, aşınma direnci, tokluk, sertleşebilirlik, sıcak sertlik bulunur. Bu üstünlükleri kazanabilmek için ısıl işlem gerekebilir. Yüksek dayanıma sahiptir. Öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı çok küçüktür; bundan dolayı da yapıların tümsel ağırlığı düşmektedir.

V, Ti ve Nb gibi kuvvetli karbür oluşturu elementler karbür yaparlar. Alaşım elementleri bunun yanında ötektoid sıcaklığı da etkiler. Mn ve Ni ötektoid sıcaklığı düşürür. Bu yüzden ostenit yapıcı olarak bilinirler. Karbür yapıcı elementler ötektoid sıcaklığı yükseltir ve ferrit yapıcı olarak bilinir.

Alaşımli çeliklere göre daha maliyetlidir.

2.5. ALAŞIMLI ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARI

Yapı sektöründen sağlık alanına, kullanılan gereçlerden teknolojik malzemelere kadar yaşamımızın büyük bir bölümüne katkı sağlayan değerli bir alaşımdır.

Öyle ki; renkli televizyon tüpleri, küçük ev aletleri, iletişim araç gereçleri, kağıt ve sabun sanayi, beyaz eşyalar, endüstriyel mutfaklar, otomotiv sektörü, buhar kazanları,

süthane araç gereçleri, deri, kimya ve petrol endüstrisi, egzoz üretimi dekoratif borular, bira fabrikaları, havacılık endüstrisi, nükleer mühendislik, ısıya dayanıklı parçalar ve konteynır gibi ürünlerin üretiminde çelik kullanılmaktadır.

İnsan vücudunda ve kullandığı gıdalarda kimyasal olarak değişikliğe neden olmayan paslanmaz çelik; kalçalar ve diz kapakları, vidalar, protezler, iğneler ve neşter gibi sağlık sektöründe kullanılan malzemeleri de kapsamaktadır. Yapılan yemeklerin rengi ve kokusu gibi özelliklerini bozmayan paslanmaz çelik; tabaklar, yiyecek ve içecekler için üretilen saklama kaplarında, fırın kalıpları, kaplanmış tencereler güvenle tercih edilir.

2.6. ALAŞIM ELEMENTLERİ

Alaşım elementleri termomekanik prosesleri yerine getirebilmek için önemli bir rol oynamaktadır. Mo, Cr ve Mn elementleri bilhassa sertleşmesi sayesinde tesir ederken, Nb, V ve Ti mikrolaşım elementlerinde farklı mekanizmalar bulunur. Buradaki tokluk ve mukavemet artışına sertleştirme ve tane inceltme yöntemiyle uzatmaktadır. Fakat tane inceltme; tokluk ve mukavemetin aynı esnada yükselmesine katkı sağlamaktadır (Taş, 2012).

Bileşiminde %0,2-%2,1 oranlarında karbon (C) bulunan ve karbon-demir (Fe) karışımının etkisiyle oluşan alaşıma çelik denir. Bu alaşımı oluşturan diğer elementlerden birkaçı ise; vanadyum (V), volfram (W), magnezyum (Mg), krom (Cr), kobalt (Co), molibden (Mo), mangan (Mn), nikel (Ni)'dir. Malzemeye bu elementler dahil olduğunda çeliğin paslanmaz formuna dönüşmesi veya daha sert olması gerçekleştirilir.

2.6.1. Karbon ve Grafit

Periyodik tablonun altıncı sırasında bulunan karbon doğada farklı oluşumlarda ortaya çıkan bir elementtir. Atom numarası 6'dır. Kristal yapısı hegzagonal ya da kübik olup, siyah veya gri renktedir. Karbon ve bileşenlerini inceleyen bilim dalına organik kimya denir (Pierson, 1993).

Karbon oranının fazla oluşu, perlit yapılarında artışa sebep olurken kaynak kabiliyetinde ve toklukta bir azalma meydana getirir. Bununla beraber akma dayanımını artırmaktadır. Ayrıca karbonun yüksek oranlarda kullanılması beynitik ve martenzit yapının belirgin halde bulunmasına neden olur. Mikroalaşım özelliğine sahip çeliklerde karbonun maksimum oranda kullanımı sıcak haddeleme koşulları altında %0,2 oranındadır. Fakat otomotiv sanayisinde sıklıkla kullanılan dövme parçalar yalnızca kontrollü soğutma mekanizma yöntemiyle üretildiğinden dolayı karbon oranı %0,25'in üstündedir (Karabulut, 2004).

Grafitin etimolojisi incelendiğinde Yunanca yazma manasına gelen "Graphein" isminden geldiği anlaşılmaktadır. Grafit malzemesinin kullanım alanları geniş bir zamanı kapsamaktadır. Grafit malzemesinden ilk defa kurşun kalem üretimi 15.yy'da İngiltere'de gerçekleştirilmiştir. 18. yüzyıllara gelindiğinde ise karbonun allotropu olduğu araştırmalar sonucunda bulunmuştur.

Termodinamik alanda incelendiğinde grafitin atmosferik basınçta karbondan daha kararlı yapıya sahip olduğu görülmüştür. 1500 °C'nin üstünde Elmas grafit yapıya geçer (Mcenaney and Timothy, 1999).

En yumuşak malzemelerden biri olduğu bilinen grafit, karbonun farklı bir oluşumudur ve yağlama amacıyla özellikle kullanılır. Grafit doğal bir formda doğada bulunur. Buna rağmen, ticari amaçlı kullanıldığında daha hızlı ve ekonomik olması açısından oksijensiz fırınlarda petrol kokunun (petroleum coke) işlenmesiyle elde edilirler. Grafit Beta ve Alfa formunda doğada yer almaktadır. Beta ve Alfa fiziksel olarak aynı özellikleri barındırırlar. Fakat farklı kristal yapılarına sahiptirler. Yapay olarak imal edilen grafit, Alfa tip grafit olarak bilinir. Yağlayıcı olarak kullanımının yanında, kullanımının büyük bölümü çelik üretimindedir. Karbonun atomik dizilişinde iki allotropu vardır; grafit ve elmadır (Mcenaney and Timothy, 1999).

Grafit, ısı iletkenliği ve elektriksel özelliği iyi olan bir malzemedir. Yüksek sıcaklıklarda formunu koruyabilme özelliği de bulunur. 3650°C gibi yüksek sıcaklık değerlerinde refrakter özelliklerini iyi halde gösterir. Grafit, keşfedildiği zamandan bu yana insanlığa fayda sağlayan birçok uygulamada kullanılan işlevsel bir malzemedir.

Günümüzde hala grafitin sentetik uygulamaları yoğun ilgide olsa da bazı uygulamalarda doğal grafitler tercih edilmektedir. Doğal grafitleri üç tipe ayırmıştır. Kristalli (vein), amorf ve taneli (flake)'dir. Bu isimler formları hakkında bilgi verdiği için seçilmiştir (Pierson, 1993).

Grafitin yoğun olarak üretim süreci değerlendirildiğinde 19.yy'da karbon üretim teknolojilerine doğan ilgiyle başladığı gözlemlenmektedir. Elektriksel direnç malzemesi formunda endüstriyel fırınlarda kullanılmak üzere oluşturulan sentetik grafitler sonraki aşamalarda hızlı gelişimler ortaya çıkarmaktadır. Özel formdaki grafitlerin üretiminde karbon malzemelerin grafitleştirme prosesleri 2600-3300°C'de ısıtılarak işlem yöntemi uygulanarak elde edilir. Grafitleştirme işleminde karbon kümeleri üç boyutlu grafit hale dönüşürler. Katkı malzemeleri, hammaddeler ve işleme parametreleri esas alınarak kristalize yapıları farklı grafit malzemeler elde edilir (Speight, 2015). Sıcaklıkla beraber dislokasyonlar arasındaki mesafeler ve grafitlerin kristal yapısı değişir. Bu katmanlar arasındaki mesafe ısıtılma sıcaklığı yükseldikçe azalır.

Demir elementinin alaşımlayıcısı genel olarak Karbondur. Bazı zamanlarda ise demir elementini alaşımlamada Krom, Magnezyum, Volfram ve Magnezyum gibi farklı elementler kullanılabilir. Alaşımlayıcı elementlerin çelik içerisinde bulunan değişen miktarları, bunun yanında buldukları mevcut formlar (çözünen elementler, çökelti evresi) oluşan çelikte süneklilik, sertlik ve gerilme noktası gibi özellikleri inceler. Karbon oranı yüksek olan çelikler demire kıyasla daha güçlü ve sert olmasına rağmen daha az sünektir.

2.6.2. Nikel

Nikel, demir krom karbon alaşımlarında östenit alanını genişletir, östenit dengeleyicidir ve ferrit bölgesini daraltır. Yüksek sıcaklıkta oksitlenme ve korozyona karşı dayanımı yükseltir. Tane küçültme tesirine sahip olan nikel, malzemenin mukavemetini ve tokluğunu artırır. Bununla beraber malzemenin yüzeyinde oluşacak tufal bölgesini engelleyici özelliği içerir. Krom ile birlikte kullanılması sonucunda alaşımların sünekliliğini, sertliğini, yüksek yorulma direncini yükseltir. Ayrıca, kritik

soğuma hızını düşürür. Literatürde bulunan bazı çalışmalarda Ni ilave edilerek perlit miktarında artma görülmüştür. Örneğin, Frederick ve Kalathur gerçekleştirdiği araştırmalarında Fe-C-Ni alaşımlarında Ni oranının artması ile perlitin içinde bulunan karbon miktarının azaldığı ve bunun yanında mikroyapıda perlit miktarının arttığı, ferrit miktarının ise azaldığı belirtilmiştir. Sonuç olarak malzemenin mukavemeti artarken sünekliğin düştüğü gözlemlenmiştir (Kalathur and Frederick., 2007).

Yüksek sıcaklık değerlerinde mukavemetini, sıfırın altında sıcaklık değerlerinde ise tokluğunu ve sünekliğini korur. Sıcak ve soğuk olarak kolaylıkla işlenebilir. Bu nedenle, talaşlı imalatı ve kaynak edilebilirliği kolaydır. Kimyasal açıdan incelendiğinde reaktif değildir, sıcak veya soğuk amonyakta ve suda çözünmez. Ayrıca, alkaliler ve konsantre nitrik asitten etkilenmez. Hidroklorik asit, seyreltilmiş nitrik asit ve sülfürik asitte çözünür (Aşkun ve Hasırcı, 2007).

İnsan yaşamında önemli kullanım alanlarına kolaylık sağlayan bir element olan Nikel, içerdiği malzemelerde, modern teknolojiye 200 yılın üzerinde değerli olmuştur. Nikel ve katkı sağladığı alaşımları pek çok sektörde ve alanda kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler, tekrar şarj edilebilir bataryalar, madeni paralar, özel alaşımlar, magnetler, kıymetli eşyalar, elektrogitar telleri, cerrahi kablolar gibi pek çok üründe kullanılmaktadır. Tüm bu alanlarda nikel; mukavemet, yüksek süneklik, elektrik ve ısı iletkenliği ve korozyon direnci özelliklerinden dolayı yoğun bir kullanıma sahiptir.

Nikelin önemli özelliklerinden olan yüksek korozyon dayanımı onun geniş kullanım alanına sahip olmasını sağlayan temel özelliğidir. Bundan dolayı yağ, gaz, güç endüstrisinde, denizcilik uygulamalarında ve kimyasal sanayide %7 Nikel ihtiva eden paslanmaz çelikler kullanılır. Evlerde sıklıkla kullanılan mutfak malzemeleri paslanmaz çeliğin ve dolaylı olarak nikelin en geniş kullanım alanlarından biridir. Ayrıca nikelin elektrolitik olarak kaplanması da önemli kullanım alanlarından.

Nikel tarihsel literatürde niteliğini kazanmış bir metaldir. İsveçli bilim adamlarından biri olan Cronstedt nikel 1751'de keşfetmiş olmasına rağmen nikel alaşımları çok daha uzun süredir kullanıldığı bilinmektedir (Rosenberg, 1968).

İnsanoğlunun günlük yaşamına girmesinin ardından binlerce yıl geçmişine rağmen, nikelin, sanayi için bir kaynak haline gelmesi, yalnızca bir veya iki asır öncesine dayanmaktadır. Var olan kimyasal ve fiziksel özellikleri sayesinde, kullanım bölgesi hızla artan bu elementin cevherleşmesine yönelik aramalar ve araştırmalar arttırılmış, teknolojik gelişmelerin de etkisiyle üretim ve ardından tüketimi zamana bağlı olarak yüksek bir artış göstermiştir (Aşkun ve Hasırcı, 2003).

2.6.3. Molibden

Molibden karbür ve ferrit yapıcı özelliğine sahip elementtir. Yüksek sıcaklıkta katı faz içine ulaşır, yavaş soğumada molibden ve karbon miktarına bağlı olarak, farklı formlarda çöker. Paslanmaz çeliklerde mukavemet arttırıcı özelliğine sahiptir (Çamlıdere, 1999).

Karbür ve nitrür yapıcı element olan molibden düşük alaşımlı çeliklerde Ni ile beraber %0,15-0,30 arasında bir oranda bulunduğu çeliğin sertleşebilirliği, çekme prosesi ve sığağa dayanımını arttırır. Buna ek olarak da aşınma direncini iyileştirir (Topbaş, 1998).

Asit-baz tepkimeleri ile elde edilen Molibden doğada bulunmaz. Yüksek aşınma direnci, sıcaklık direnci ve düşük sürtünme katsayısı gibi özellikleri içerir. 2610°C ergime sıcaklığa ve 10,22 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Tane sınırlarındaki empüritelere kaşı büyük oranda hassastır. Tamamen yeniden kristallenmiş ortamda dahil taneler arası (intergranüler) kırılma gösterebilir. Kullanım alanlarından bazıları; çelik alaşımlandırmada, dişçilikte, elektrik ve elektronik alanında, uzay araçları ve hava taşıtları yapımında, nükleer enerji uygulamalarında. Molibden ve alaşımları, oksitleyici bölgede 500°C'nin üstünde oksitlenme oluşumu başladığından, bu ortamda çalışılırken oksitlenmeyi önleyici bir tabaka ile Molibdenin kaplanarak muhafaza edilmesi gerekir. Oksijen ihtiva eden atmosferlerde yaklaşık olarak 700°C'de Molibden, MoO₃'e dönüşür. Bu oksit beyaz bir duman görünümüne sahiptir ve kokusuzdur. Buharlaşıma sebebiyle Molibden yüzeyinde muhafaza edici bir oksit tabakası oluşamaz ve metal devamlı olarak ağırlık kaybeder (Dokumacı ve Önay, 2008).

2.6.4. Tungsten

Kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Oluşan bu karbürler çok sert olur ve tokluğu iyileştirir. Yüksek sıcaklıklarda ve sürünmede aşınma dayanımını yükseltir. Tercih olarak sıcak iş kalıp çelikleri, yüksek hız çelikleri, en yüksek sertlikteki elmas çelikleri ve sürünme dayanımlı çeliklerde kullanılır. Yüksek hız çeliklerinde sıklıkla %20'ye ulaşan oranlarda kullanılır. Oluşturduğu W2C6 türü kompleks karbürlerde aşınma direncini artırır.

Tungsten metalinin endüstride birçok pratik uygulama bulmasının nedenleri arasından en önemli olanı; bu metalin düşük buharlaşma basıncı ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Bu özelliği sayesinde rahatlıkla yüksek vakum uygulamalarında geniş bir kullanım alanını kapsamaktadır. Tungstenin ısı genleşmesi de yükselen sıcaklıkla birlikte çok düşüktür. Yüksek sıcaklığa sahip fırınlarının üretiminde ısıtıcı malzeme olarak kullanılan Tungstenin elektrik direnci de katkı sağlar.

Tungsten elementi yüksek yoğunluğu ile radyoaktif yayınlara karşı yüksek bir absorpsiyon kapasitesine kapsamakla birlikte, saf tungstenin makinelerde oldukça zor işlenmesi nedeniyle absorpsiyon uygulamalarında dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle gama ve röntgen ışınlarını absorpsiyonunda yüksek oranda volfram karışımı Nikel-Bakır veya Nikel-Demir bağlayıcı faz içeren tungsten alaşımları mekanik anlamda kolay işlenmeleri değerlendirilerek tercih edilmektedir (Ovalı, 2013).

2.6.5. Vanadyum

Çelik içerisinde çözünürlüğü en yüksek olan mikroalaşım elementidir. Vanadyumnitrür, Vanadyumkarbür oranla daha az çözünür. Malzemede azot oranının artması sayesinde vanadyumun çözünme ve çökmesi verimi yüksek biçimde kontrol edilebilir. Vanadyum çökeltiği Titanyuma oranla daha az tesirlidir. Yeniden kristalleşme geciktirmesi yeterince düşüktür. Yüksek Vanadyum çözünürlüğü ferritin normalleştirme tavından sonra uygun bir çökelti sertleşmesine yol açmaktadır (Hannane, 1989).

Vanadyum miktarının yoğunlaşmasıyla akma mukavemeti artar. Tane inceltme tesirinin kuvvetsiz olmasından dolayı tokluğa etkisi olumsuzdur (Çeviker, 1991).

Vanadyumun azot ile birleşip oluşturduğu nitrürler tane küçülmesini ferritik yapıda sağlar. Bu sebeple, çentik dayanımını artırır. Mukavemeti yüksek karbür oluşturduğundan, aşınma ve sıcak dayanımı artırmak maksadıyla takım çeliklerinde Volfram ile, sıcağa dayanıklı çeliklerde ise Krom ile birlikte dahil edilir (Topbaş, 1998).

2.6.6. Niobyum

Niobyum elementi en etkili mikroalaşımlardan biri olarak bilinmektedir. Karbür ve nitrür oluşturmaktadır. NbC alaşımı pratikte, 1000°C sıcaklığın altında oluşmaktadır. Östenitin yeniden kristalleşmesini engelleyerek küçük ferrit tanelerinin oluşmasına sağlamaktadır.

İkincil sertleşme sıcaklığını yükseltme özelliği vardır. Östenit bölgesini daraltır. Yüksek hız çeliklerinde kullanılan diğer malzemelerin yerine bir katkı maddesi olarak eklenebilir.

Ostenit bölgesinde Niobyum, küçük çökelti oluşumlarıyla düşük sıcaklık tokluğunun sağlanmasında önemli bir rol oynar. Niobyum iç bölgesi sınırlandırılmıştır; çünkü bu proseste niobyumkarbonitrürleri ostenitleştirmede kısmen çözünmeden kalır. Niobyum tokluk ve mukavemetin artmasında da rol oynar. Yeniden kristalleşmeyi gecikmesi ve tane boyutu küçülmesi sayesinde sağlanır. En yüksek tane küçültme etkisi ve özelliği Niobyum elementindedir. Etkin miktarın sınır oranı %0.04 Nb'dur. Bu miktarın gösterdiğine göre Nb-alaşımında tokluk maksimum seviyeye ulaşmıştır. Bununla beraber düşük olması dahilinde bile çökelme sertleşmesi etkisine sahiptir (Çeviker, 1991).

Yüksek dayanıma sahip düşük alaşım içeren çeliklerde (YDDA) soğutma ve kontrollü haddeleme işlemi ile çeliğin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla

kullanılmaktadır. Sertliği ve akma sınırını yükseltir, tane boyutunu inceltir ve Şekil deđiŐebilme özelliğini düşürür (Topbaş, 1998).

Niobyumun rezervlerinin bulunduğu bölgeler; Nijerya, Güney Dakota, Virginia, Colorado, Kuzey Kaliforniya, Maine, Kanada, Brezilya, Connecticut, Rusya, Güney Afrika, Zaire, Almanya, Madagaskar, Norveç ve Avustralya'dır.

2.6.7. Fosfor (P)

Kuvvetli bir katı çözelti sertleŐtirmesi ferrit içinde oluşturur. Östenit ve tane sınırlarında ortaya çıkan segragasyonların yol açtığı kırılmalığa %0,05'ten daha büyük değerlerde fosfor kullanılması neden olur. Korozyon direncini büyük ölçüde sağlayabilmek için bakırla birlikte kullanılır (Topateş, 1995; Karabulut, 2004).

Ferritin dayanımını en fazla artıran element Fosfordur. Buna dayanarak düşük oranlarda ilave edilse bile çeliğin sertliğini ve dayanımını artırıcı, Şekillendirme yönünde ise sünekliliği ve darbe dayanımını azaltıcı etkisi oluşur. Bu etkiler, yüksek karbonlu meneviŐlenmiŐ çeliklerde daha büyüktür. Çeliğin korozyon dayanımını iyileŐtirmesi, kükürtle beraber çelikte bulunması dahilinde kalitenin ön planda belirlenmesinde rol oynar (Topbaş, 1998).

Bazı çeliklerde %0.07 ile %0.12 oranları arasında bulunan fosfor, kesme özelliğini geliştirir; fakat yüksek oran fosfor ilavesinde, çeliklerin sünek özelliğini azalttığından soğuk Şekillendirme esnasında çeliğin çatlamasına veya kırılmasına sebep olur (Savaşkan, 2000).

2.6.8. Mangan (Mn)

İyi bir oksijen alıcı özelliğine sahip Mangan çelik dökümlerin kalitesini artırır. Çeliklerde kullanılan maksimum mangan oranı %1,3-1,7 arasında değişmektedir (Topateş, 1995; Karabulut, 2004).

Manganın en değerli yararlarından bir tanesi kükürdün olumsuz etkisini ortadan kaldırmasıdır (Savaşkan, 2009).

2.6.9. Alüminyum

Yüksek oranda etkili bir oksijen giderici ve nitrür oluşturuçu olan alüminyum, düşük sıcaklıklarda çeliğin tokluk özelliğini iyileştirmektedir. Ekonomik bir tane küçültücüdür. Özellikle nitrür çeliklerine ilave edildiğinde yüksek kalitede aşınma direnci ve yüzey sertliği oluşturmaktadır.

Çözünme 1000°C'nin üzerinde gerçekleşir. Çözünme ve devamında oluşma örgüsünün hegzagonal sıkı paket olması maksadıyla uzun bir zaman dilimini ihtiva eder. Çelik hızlı ısıtılma durumunda, çözünmesinde AlN 1000°C'nin üstünde oluşan yapıda kalarak tane büyümesini engelleyebilmesi buna örnektir. AlN normalizasyon çeliklerinde haddeleme ve dövme işlemleri sırasında tane büyümesini engelleyerek çeliğin dayanımına ve tokluğuna katkı sağlar (Gladman, 1997).

Yerkürede oksijen ve silisyumun ardından en fazla bulunan üçüncü element Alüminyumdur. Buna rağmen endüstriyel alanda imalatı 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile gerçekleşmiştir. Metal pazarında ise demir ve çeliğin ardından ikinci sırada bulunmaktadır. Yirminci yüzyılın başlarında sıklıkla kullanılmaya başlanan alüminyumun yeterli ve üstün özellikleri sayesinde endüstride kullanım alanı her geçen gün artış göstermektedir.

Uzay mekiği, taşıt araçları, uçak, ambalaj ve paketleme, iletişim, ısı yalıtımı, dekorasyon ve daha pek çok alanda alüminyum kullanılmaktadır. Üretim kademesinden tüketim hareketine kadar doğayla dost ve geri dönüşümlü olması sebebiyle değerli bir niteliğe sahiptir.

2.6.10. Titanyum

Titanyum allotropik bir malzemedir. Oda sıcaklığında titanyum sıkı paket hegzagonal yüksek sıcaklıklarda ise hacim merkezli kübik yapı gösterir. Hemen hemen 885°C

civarında bulunan hegzagonal yapıdaki α fazı, hacim merkezli kübik yapıdaki β fazına dönüşür. Bu sıcaklık saf titanyum için “ β dönüşüm sıcaklığı” olarak isimlendirilir. α fazını kararlı hale büründüren oksijen ve azot gibi ara yer elementlerinin tesiri ile bu dönüşüm sıcaklığı artarken, yer alan alaşım elementlerinin tesiri ile sıcaklık yükselmekte veya azalmaktadır (Matthew and Donachie, 1988; Barksdale, 1968).

Titanyumun etkinliği niobyum elementinin etkinliğinden düşüktür. Alaşımlama ve mukavemet artırıcı etkisiyle birlikte orantılı olarak yükseldiğinden, titanyum elementiyile yüksek mukavemet artışları amaçlanır. Titanyum mikroalaşımli çelikler de yeniden kristalleşme ataletine yönelmektedir. Titanyumnitrür termodinamiksel ve fiziksel olarak niobyumkarbonitrüre benzemektedir. Titanyumnitrür kaynak sırasında tane kabalaşmasını ısı tesiri altındaki bölgede engeller. Titanyum elementinin tane küçültme özelliği vanadyum ile niobyum arasındadır. Çökelti sertleştirme karakteristik özelliği ise vanadyumun görünümünü sağlamaktadır (Hannane, 1989).

W, V, Mo ve Nb gibi kuvvetli karbür ve nitrür yapıcıdır. Östenitik çeliklerin yapısında denge oluşturur, genel ölçüde çeliklerde tane boyutlarını inceltir. Bununla beraber Alüminyum ile beraber deoksidan madde (oksit giderici) olarak planlı dökülen çeliklerde kullanılmaktadır (Topbaş, 1998).

2.6.11. Silisyum

Silisyum elementi yer kabuğunun %27,7' ini meydana getiren ve dünyada oksijenden sonra en bol bulunan bir elementtir. Bitki dokularında, hayvan iskeletlerinde, denizde yaşamını sürdüren diatom hücrelerinin duvar yapılarında da görülür. Meteor ve yıldızlarda büyük oranda silisyum elementi bulunur. Genellikle oksijenle bileşik yaparak meydana getirdiği, kuvars ya da silis olarak bilinen silisyum dioksit (SiO_2) formunda görülür.

Çelik üretimi aşamasında oksijen giderici madde olarak kullanılan temel elementlerden biridir. Çelikte kullanılan silisyum oranı üretim tarzına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Planlı ve yavaş dökülen alaşımsız çeliklerde maksimum %0,60 Silisyum bulunabilir. Yay çelikleri ve düşük alaşımli çelikler %2'ye kadar silisyum

ihativa ederler. Silisyumlu elikler diye isimlendirilen çeliklerde ise silisyum oranı %5'e kadar artırılabilir. Bunun yanında %14–15 Silisyum içeren çeliklerde de korozyon direnci iyidir; fakat kırılgandırlar ve dvülemezer. Silisyum katkı oranı yükseldikçe eliğın tane büyüklüğü de artar (Topbaş, 1998).

BÖLÜM 3

TOZ METALURJİSİ

3.1. TOZ METALURJİSİ TANIMI

Toz metalurjisi, imalatı özel olarak gerçekleşmiş tozlar kullanılarak beklenen nitelikte ürün üretilmesini amaçlayan ve sağlayan üretim bilimidir. Alaşimsız ya da alaşım halinde bulunan tozların belirlenmiş oranlarda kullanılarak karıştırılması, homojen formda karışmış tozların uygun bir kalıp yardımıyla sıkıştırılması, ardından tozların metalurjik özelliğini kazandırmak maksadıyla kontrollü atmosfer ortamında sinterlenmesi eylemine uzanır. Homojen yapıya sahip parçaların üretilmesi, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin kontrol edilebilir olmasını sağlamaktadır (Panda and Dobransky, 2018).

Tarihi M.Ö. 3000 yıllarına değin uzanan toz metalürjisi insanlık tarihinin büyük bir bölümünde kıymetli yararlar sağlamıştır. Eski Mısırlılar demir oksidi indirgeyerek sünger demir elde etmişler. M.S. 400 yıllarına gelindiğinde Hindistan'da günümüzdeki yöntemin benzerini andıran toz metalurjisiyle 6,5 ton ağırlığında Delhi Sütunu elde edilmiştir. 1826 yılına gelindiğinde Rusya'da üretilen platin para ise, Toz metalurjisinin ilk endüstriyel tatbikatı olduğu söylenilebilir. 1892 yılında ise W.H. Wolaston platini Toz metalurjisi yöntemiyle elde ederek, ilk resmi Toz metalürjisi uygulamasını başlatan kişi olarak anılmaktadır.

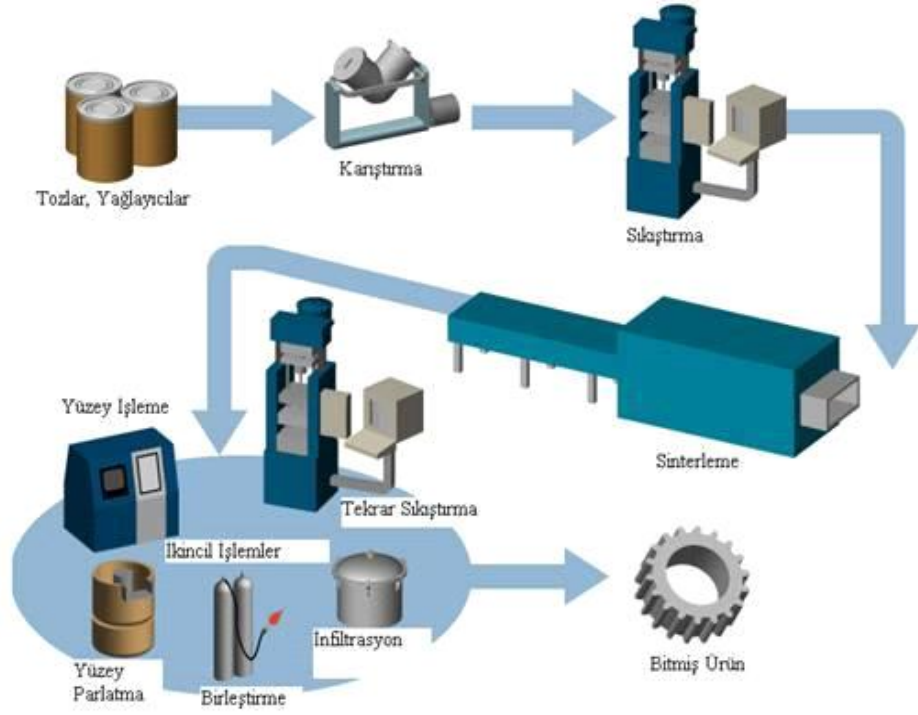
Toz metalurjisi prosesinde sıcak ve soğuk presleme, geleneksel döküm ve talaş kaldırma üretim yöntemlerinin yerine geliştirilmiş ve ikinci dünya savaşıyla birlikte, bu alanda yeni bir parça üretim tekniği olarak literatüre girmiştir.

Hacimli, yüzey alanı büyük ve belirli geometrilerdeki alaşım malzemelerinden ortaya çıkan makinenin parça ve aksamının üretiminde döküm yöntemi yüksek ölçüde

ekonomiktir. Fakat seri imalat dikkate alındığında parça boyutları küçüldükçe, birim zamandaki üretim adedi arttıkça ve güncel teknolojiye hizmet sunmak maksadıyla geliştirilmiş olan yeni alaşımların kullanılması hesaba katıldığında Toz metalurjisiyle (T/M) üretim yöntemi talaşlı imalat ve döküm üretim yöntemlerinin önünde bulunmaktadır (Beddow, 1978).

Toz metalurjisinin diğer bir özelliği metal şekillendirme tekniği olmasıdır. Bunun yanı sıra toz metalurjisi malzeme üretim yöntemidir.

Periyodik cetvelde yer alan ve metal olarak kabul edilen 86 elementten 8000 alaşım ortaya çıkmıştır. Esasen bahsedilen 86 elementten ikili, üçlü ve dörtlü gibi farklı karışımlarla 1025 civarında alaşım üretebilmek mümkün kılınmaktadır. Bu durumu mümkün kılacak olan tek yöntem ise toz metalurjisi yöntemi olarak kabul edilmektedir. Günümüz zamanını dikkate alarak analiz edildiğinde toz metalurjisi yöntemiyle parça üretiminin tercih edilmesi maliyet kısmı baz alındığında gelişen ve kendini artarak yenileyen teknolojik üstünlüklerle birlikte en değerli ve verimli özelliklerden biri haline gelecektir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmesi planlanan parçalar üretildikten hemen sonra kullanılma özelliğine sahip olacağı gibi talep edilmesi dahilinde ikincil işlemlere de bırakılabilir. Klasik üretim ve döküm yöntemiyle üretilme olanağı bulunmayan malzemelerin üretimi toz metalurjisi yöntemiyle gerçekleştirilebilmektedir (Söyler, 2007).



Şekil 3.1. Bir malzemenin toz metalurjisi üretim şeması (Öztürk, 2012).

3.2. TOZ ÜRETİM PROSESLERİ

Metal tozlarının üretiminde kullanılan yöntemler, tozların birçok özelliklerini belirler. Tozun geometrik formu üretim yöntemine dayanarak karmaşık şekilden küresel biçime kadar çok farklı olabilmektedir. Toz partikülünün yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişkenlik göstermektedir. Malzemelerin birçoğu, özelliklerine uygun bir teknik vasıtasıyla toz haline getirilebilir. Toz üretim teknikleri arasında, ticari olarak kullanılan teknikler vardır. Bunlar;

- Mekanik (Öğütme)
- Kimyasal
- Elektroliz
- Atomizasyon
- Diğer Üretim Teknikleri (Sarıtış, 1994).

3.2.1. Öğütme

Metaller arasındaki var olan bileşikler, demir-krom, demir alaşımları, demir-silisyum vb. gibi kırılma yapıdaki malzemeler mekanik açıdan bilyalı değirmenlerde öğütülür. Öğütme prosesi birçok sünek metal açısından uygun halde değildir. Bunun nedeni metalin kolayca kırılmamasıdır. Sünek tanecikler kırılma yerine birbirleriyle soğuk halde kaynaklanır. Bunun sonucunda daha büyük tanecik oluştururlar. Günümüz vaktinde öğütme prosesi alüminyum gibi sünek metallere kadar birçok yerde kullanılır. Soğuk yapışmayı ve kaynaklanmayı engellemek için yağlayıcılar kullanılır (Sarıtaş, 1994).

3.2.2. Elektroliz

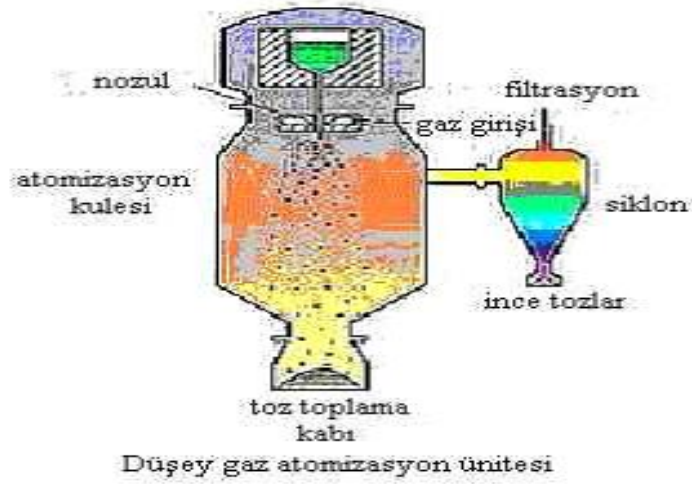
Elektrolizin mukavemet ve kimyasal bileşimi, akım yoğunluğu, sıcaklık gibi şartları uygun halde seçerek, birçok toz veya metal sünger durumunda katot üzerinde biriktirilebilir. Daha sonraki prosesler, yıkamak, kurutmak, indirmek, tavlama ve öğütme olarak devam eder. Bakır bu yöntemle üretilen metallerin önünde gelir. Bunun yanında krom ve magnezyum metali de bu yöntemle üretilir. Elektrolitik yapıdaki tozlar oldukça saftır (Ensümer, 1970).

3.2.3. Kimyasal İndirgeme

Kimyasal indirgeme metodu demir tozlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem vasıtasıyla seçilen cevher öğütülür, devamında kokla karıştırılır, karışım indirgemenin olduğu sürekli fırından geçirilir ve kek formunda sünger demir ortaya çıkar. Daha sonra sünger demir öğütülür, elenmeden önce metalik olmayan malzemelerden ayrılır. Ham malzemeler tozların saflığına bağlıdır. Düzensiz süngerimsi formdaki partiküller yumuşaktır. Kolayca sıkıştırılabilirler ve bunun sonucunda ham mukavemeti iyi olan ürünler elde edilir. Buna benzer olarak refrakter metaller de oksitlerinin hidrojenle indirgenmesiyle elde edilir (German, 1994).

3.2.4. Atomizasyon

Ergitilen tüm metallerin toz üretiminde kullanılabilen bir yöntem olarak geçen atomizasyon; sıvı haldeki metalin, pota dibindeki delikten akması esnasında, üstüne basınçlı gaz veya sıvı ulaştırılarak, ergimiş metal çok ince partiküllere ayrılarak katı forma dönüştürülür. Günümüzde atomizasyon tekniğiyle metal tozu üretimi değerli bir alanı kapsamaktadır. Atomizasyon tekniğinde yüksek basınçlı su veya gazın tesiri altında hızlı ve aşırı soğutulması ile 100-150 μm 'den daha küçük boyutlarda toz elde edilir.



Şekil 3.2. Gaz atomizasyon ünitesi (Sarıtış, 1994).

Alaşımı meydana getiren tüm metallerin ergimiş pozisyonda alaşımlandığı için, alaşımların toz partikülleri halinde üretilmesi faydalı bir yaklaşımdır. Böylelikle toz partikülleri birebir kimyasal bileşime sahip olur. Alaşım tozlarının ergitilmesinde rahatlıkla kullanılabilmesi atomizasyon yönteminin avantajlarından biridir, atomizasyon yöntemiyle üretilen tozların toplamı içerisinde bulunan her bir toz tanesiyle aynı olmaktadır (Evcin, 2007).

Atomizasyon teknikleri;

- Döner Disk Tekniği
- Döner Elektrot (REP) Tekniği

- Vakum Atomizasyon Tekniği
- Gaz Atomizasyon Tekniği
- Su Atomizasyon Tekniği

Dünyada üretimi gerçekleşen tozların %79'dan fazlası atomizasyon tekniği kullanılarak üretilmektedir. Ergitebilen tüm metaller ve alaşımlardan toz üretmek için kullanılabilen bir tekniktir. Atomizasyon tekniği vasıtasıyla üretilen toz partiküllerinin %80'i, su atomizasyonu tekniğiyle üretimi sağlanmaktadır (Beddow, 1978).

3.2.5. Diğer Üretim Teknikleri

Bazı koşullarda kimyasal bileşimin ısı ayrışması kullanılır. Buna örnek nikel karbonilde oluşan ayrışmadır. Karbonil prosesi ilk olarak nikeli rafine etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu teknikte karbonmonoksit ile reaksiyona girerek ham metal basınç altında karbonil oluşturur. Karbonil reaksiyon gaz formundadır. Basıncın azalması, sıcaklığın yükselmesi ile ayrışır. Yüksek saflık istenen durumlarda karbonil demir tozları kullanılır. Son zamanlarda enjeksiyon kalıplama tekniği için ince tozlara olan istek, karbonil prosesini hızlandırmıştır. Karbonil demir toz partikülünün boyutu 1-5 mm arasında değişmektedir. Isıl ayrışmayı aktarmak için başka bir örnek, platin amonyum klorür tuzunun ısıtılması sonucu üretilen süngerimsi platin tozlardır (Yaş, 2008).

Tozlara ait bazı özellikleri metal tozu üretim teknikleri belirlemektedir. Parça şekli ve parçacık boyutu üretim tekniklerine göre değişkenlik göstermektedir. Toz üretimi tekniklerinden bazıları şunlardır;

Mekanik metotlar

- Ani darbe
- Oğuşturma
- Kaba ve ince öğütme
- Sıkıştırma

Elektrolitik metot

Kimyasal metotlar

- İndirgeme tekniği
- Karbonil tekniği
- Çökertme tekniği

3.3. TOZLARIN FİZİKSEL ÖZELLİĞİ

Tane boyutu ve şekli, akıcılık, yoğunluk ve sıkıştırılabilirlik olarak gösterilir. Tane büyüklüğü metal tozlarında büyük oranda elek analizi yöntemiyle tespit edilmektedir. Tane boyutunda önemli olan parçacık boyutlarının hesaplanabilmesidir. Tozun tamamının boyutları aynı olduğu söylenemez, fakat ortalama tane boyutundan söz edilebilir. Boyut analiziyle her bir aralıktaki tozun %miktarı ve ortalama tane boyutu belirlenir. Tozun formu, tane boyutunun tespitinde önemli bir yerdedir. Küresel tozlar merkeze alındığında sadece çapın bilinmesi yeterliyken pul formundaki toz partiküllerinin pul kalınlığı ile düzlem yönünde bulunan boyutun hesaplanması gerekir. Muhtelif formulu tozlarda yüzey alanından gidilerek tane boyutu hesaplanır. Yüzey küreye dikkate alınarak tane boyutu belirlenir (Bocchini vd., 1991).

Tozlarının en önemli özelliklerinden biri olarak kabul edilen tane şekli; toz partiküllerinin görünür yoğunluk, akıcılık, sıkıştırılabilirlik ve ham mukavemet gibi özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür.

Rastgele seçilen bir tozun görünür yoğunluğu, tozların preslenmesi için tasarlanan kalıptaki boşlukların boyutlarını belirleyen en önemli etmendir. Görünür yoğunluğun tespiti için birbirine yapışık olmayan belirlenen miktardaki metalik toz hacmi bilinen kaba tamamen doldurulur ve ortaya çıkan kütle ölçülür. Ardından kütle hacme oranıyla görünür yoğunluğu hesaplanır. Kabın boşluklu doldurulması eğimli plaklar üzerine tozun düşürülmesi ile sağlanır. Demir toz partiküllerinin görünür yoğunlukları gözlenebilir, bununla beraber farklılıklar gösterirler (TS., 1985).

Doğadaki bütün materyaller işlem gördükten sonra toz haline getirilebilir. Metal toz partiküllerinin hazırlanmasında sanayide çok sayıda teknik vardır. Fakat tozları üretmek için seçilen teknikler malzemenin özelliğine göre değişiklik gösterir. Ortalama boyutları birkaç mikrona kadar parçalanmış tanecikler, partiküllü toz olarak tanımlanır. Gelişen teknolojinin yanında toz boyutu gün geçtikçe küçülmektedir. Tozun geometrik formu üretim tekniklerine bağlı olarak küreselden dentritik formuna göre değişim göstermektedir.

3.4. TOZ METALURJİSİ KULLANIM ALANLARI

Toz metalurjisi muhtelif alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar; süper alaşımlar, refrakter olan tungsten ve molibden gibi malzemelerin kullanılmasıyla üretilen aşınmaya dayanıklı parçaların imalatı, takım çelikleri, paslanmaz çelikler, bakır alaşımları, magnetik alaşımlar, alüminyum ve titanyum alaşımları, sermetler ve nükleer malzemelerdir. Özellikle otomotiv endüstrisi başta. Bunun yanına ek olarak jet motor parçaları, tungsten lamba filamentleri, ortopedik gereçler, dişli çarklar yağlamasız yataklar, yüksek sıcaklık filtreleri, elektrik kontakları, uçak fren balataları, kaynak elektrotları, katalizörler, lehimleme aletleri, yüksek sıcaklık filtreleri, nükleer güç yakıt elemanları, devre levhaları, dişçilik, boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları gibi uygulama alanları vardır (Akorall, 2003).

3.5. TOZ METALURJİSİ AVANTAJLARI

Toz metalurjisinin önemi talaşlı imalat, döküm ile şekillendirilmesi zor olan farklı alaşımların ekonomik bir şekilde ve kolaylıkla ürün haline getirilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Toz metalurjisi yöntemi diğer üretim yöntemleri ile kıyaslandığında avantajları ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır. Avantajları:

- Karmaşık formlu ve hassasiyet içeren parçalarda kolaylıkla üretilebilir.
- Üretim hızı yüksektir, buna bağlı olarak işgücü ihtiyacı azdır.
- Üretilen malzemeler yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptir.
- Üretilen parçaların parçacık boyutu küçük, çekme mukavemeti ve işlenebilirliği yüksektir.

- Birbiri içinde çözünmeyen farklı karakteristik özelliğe sahip malzemeler bir araya gelerek üretim yapılabilir.
- Toz metalurjisi ile üretilen parçalara genellikle talaşlı imalat gibi ek işlemler gerekmez.
- Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen malzemedeki kayıp azdır. Talaşlı imalat ve döküm yöntemiyle meydana gelen malzeme kaybı düşünüldüğünde büyük oranda malzeme tasarrufu oluşur.
- Üretimin hızlanması, malzeme israfı ve işçiliğin az oluşu nedeniyle ekonomik bir üretim sağlar.
- Ergime kayıpları yoktur.
- Yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip malzemeler üretilmektedir.
- Kütle üretimi ve seri üretilere uygundur.
- Sinterleme işleminden sonra parça kullanıma hazırdır ve ikinci işlemlere büyük oranda gerek kalmaz.

Dezavantajları:

- Üretim için gerekli olan kalıpların maliyeti fazladır.
- Mikroyapı içerisinde gözeneklerin bulunmasından dolayı diğer yöntemlere kıyasla zaman zaman düşük mekanik özellikler ortaya çıkabilir.
- Kalınlık ve çap oranı yüksek olan parçaların üretiminde zorluklara rastlanmaktadır. Aynı zamanda homojen yoğunlukların üretilmesi için parça boyutlarında sınırlamalar bulunmaktadır. 20 kg'a kadar toz metalurjisi parça üretimi yapılabilir.
- Metal toz parçacıklarının maliyeti, ingot halinde üretilen malzemelerden daha pahalıdır (Demir, 1993).

3.6. TOZ METALURJİSİNDEKİ TOZLARIN KARAKTERİZASYONU

3.6.1. Toz Numunesi Alınması

Meşakkatli ve zaman alıcı bir iş olan toz numunesi alma işlemi çeşitli yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Yaygın kullanılan yöntem ise birçok farklı noktadan küçük boyutta numuneler alınmak suretiyle harmanlanıp uygulanmasıdır. Parçacıkların genel formu kohesiv halidir, durumdan kaynaklı birbirlerine yapışma eğilimleri oranı yüksektir. Nihayetinde parçacıkların topaklanması ihtimal dahilindedir. Yüksek oranda topaklanma hali yüzey neminden dolayı oluşabilir. Bunun yanında tutunan topaklanmalar, küçük kayma gerilmeleriyle yok edilebilecek zayıf kuvvetlerle tutunan parçacıklar kümesi olarak sınıflandırılmaktadır. Çoğu parçacık için mekanik ve ultrasonik çalkalama yöntemleri, yüzey aktifleştiren sıvılar, parçacıkların dağıtılması ve devamında özelliklerin belirlenmesinde etkin rol oynar. Topaklanma oluşumunu dağıtmada sıklıkla tercih edilen yöntemler mekanik karıştırma veya ultrasonik çalkalamadır. (Sarıtaş vd., 2007; Matik, 2010; Karabulut, 2011).

3.6.2. Parçacık Boyut Ölçümü

Tane boyutu hesabı ve detaylı bilgisi toz üzerine araştırma yapan araştırmacılar için gereklidir. Partikül küresel formda değilse partikül boyutunu belirleyebilmek basit bir iş değildir. Tek sayıda partikül boyutunu hesaplamak için büyük çoğunlukla parçacığın geometrik yapı formuna dayandırılıp çap özelliğinden faydalanılır (Kousaka, 1997).

Toz parçacıklarının boyutu elek vasıtasıyla veya diğer yöntemlerle tespit edilir. Toz parçacıklarının tamamının aynı boyuta sahip değildir. Ortalama tane boyutu özelliğinden faydalanarak parçacık boyutu belirlenir. Tozun parçacık geometrisi girift yapıda bulunursa parçacık boyutu ölçüm teknikleri de değişkenlik gösterir.

Toz parçacıkları farklı boyuttaki tozlarla karışık halde bulunursa dört beş boyut ölçümü gerekmektedir. Karmaşık yapısı yoğunlukta varsa parçacığın tane boyutu yüzey alanı baz alınarak ortaya çıkarılabilir. Toz parçacıklarının tane büyüklükleri genellikle

elek analizi ölçüm yöntemi ile yapılır. Eleğin büyüklüğü yapısındaki deliğin büyük olmasıyla hesaplanır. Hesaplama işlemi meş (mesh) yöntemiyle belirlenir. Günümüzde metrik sisteme geçildiğinden dolayı artık eleklerin büyüklüğünün hesaplanması mikron cinsinden yazılarak bulunur. Elek yöntemi toz parçacığının gerçek boyutunu ölçmez, yalnızca belirli bir değerden büyüktür ya da küçüktür diye kategorize eder (German, 2007).

3.6.3. Tozların Karıştırılması

Toz metalurjisi yönteminde genel olarak toz karışımları kullanıldığından, tozların kompaktlama tekniğine tabi tutulmadan evvel etkin bir biçimde karıştırılması uygun bir yönelimdir. Toz partiküllerinin homojen olması karıştırma işleminin temel amacıdır. Farklı boyut, form ve yoğunluktaki toz partiküllerinin homojen olarak karışımları üretilmesi planlanan parçanın performansını yükseltmektedir.

Toz karışımı içerisinde standart dağılımlar olmadığı zaman karıştırma prosesi öncesinde harmanlama gerçekleştirilmelidir. Presleme ve sinterleme özelliklerini iyileştirmek, düzenli boyut dağılımı ortaya çıkarmak için harmanlama işlemi tavsiye edilmektedir. Karıştırma ve harmanlama işlemini bazı faktörler etkilemektedir. Bu faktörler;

- Karıştırıcıdaki toz hacmi
- Tozların fiziksel karakteristikleri
- Karıştırma hızı
- Nemlilik ve atmosfer koşulları
- Karıştırma süresi
- Karıştırıcı boyutları
- Dönme hızı

Sanayide tozların hazırlanmasında çeşitli metotlar bulunur. Bu metotları mekanik ve fiziko-kimyasal olarak iki ana eksene ayırırız. Metal tozlarının üretiminde kullanılmakta olan teknikler toz partiküllerinin birçok özelliğini meydana çıkarır. Talep edilen özelliklerde imal edilen toz partikülleri hassas terazi vasıtasıyla tartılarak

direk presleme prosesine geçilebilir veya talep edilen miktarlarda toz, karıştırma değirmenlerinde prosese dahil tutularak presleme işlemine uygun hale getirilir. Üretim teknikleri metal tozlarının kalitelerine bağlı olarak gerçekleştirilir. Ekonomik olması üretim tekniğinde en önemli kriterlerinden biridir.

Çeşitli sayıda üretim tekniği vardır, bunlardan en çok tercih edilenleri ise şunlardır;

Kimyasal yöntemler

Mekanik yöntemler

- Talaşlı Üretim
- Öğütme
- Mekanik Alaşım

Kullanılan metal ve alaşımın üretiminde hangi parametrelerin kontrol edildiği tozun boyutu, formu, yüzey morfolojisinden anlaşılır. Toz partiküllerinin boyutu toz metalurjisinde nihai kullanım için belirlenen önemli bir özelliktir (Demir, 2014).

3.6.4. Tozların Preslenmesi

Kullanılacak metal tozları kalıp vasıtasıyla şekillendirme işlemi gerçekleştiğinde tozun kalıp boşluğunu çok iyi, bununla beraber tam olarak doldurması arzu edilmektedir. Tozlar kalıp içerisinde soğuk olarak preslendiğinde, mümkün olduğunca teorik yoğunluğa varılması düşünülür. Aynı presleme basıncının uygulanmasına rağmen her metal tozunda presleme neticesinde ulaşılan yoğunluk, malzemenin teorik yoğunluğuna göre farklıdır. Bu duruma bağlı olan faktörler tozun şekli, tane iriliği ve yüzeyi, malzeme cinsi (üretim yöntemleri, özgül yüzey) ve toza uygulanan ön işlemlerdir.

Malzemenin yapısı ne kadar yumuşak özelliğe sahipse, preslenebilirlik özelliği o kerte yüksektir. Preslenebilirlik, kalıpla ve kendi arasında toz tanelerinin sürtünmesiyle yakından ilişkilidir.

Presleme genel olarak oda sıcaklığı değerlerinde özel hazırlanmış çelik kalıplar vasıtasıyla yapılmaktadır. Kalıpların imalatında sementit karbür esaslı ve ısı ile sertleştirilmiş takım çeliği kullanılır.

Presleme basıncına bağlı olarak gözenek miktarı farklılaşmakta, basınç oranı artıkça gözenek miktarı azalmaktadır. Bununla beraber yükselen presleme basıncına bağlı olarak birbirine temas eden toz miktarı ve yüzey alanı yükselmektedir. Gözenek miktarı yükseldikçe yoğunluğu azalır. Toz metalurji yöntemiyle üretilen parçalarda gözenek miktarına bağlı olarak çekme mukavemeti değişkenlik göstermektedir. Yoğunluk oranı artıkça çekme mukavemeti oranı da artmaktadır (Onur, 1996).

Dışarıdan gözlemlendiğinde tozların sıkıştırılması basit görünmektedir. Fakat bunun aksine çok parametrelili karmaşık bir prosese sahiptir. Sıkıştırma başladığı sırada kalıp iç yüzeyinde oluşan sürtünme miktarı, oluşan diğer bütün kuvvetlerden daha büyüktür. Fakat kalıbın merkezine ilerledikçe yavaşça azaldığı görünmektedir. Kalıp yüzeyi ile toz arasında oluşan sürtünme nedeniyle şekillendirebilme enerjisinde dikkate değer kayıplar meydana gelir. Bunun yanında temas eden tanecikler arasında, zımbalar ile kalıp yüzeyi arasında, toz ile zımbalar arasında sürtünmeler ortaya çıkmaktadır. Kalıptan çıkartılırken kalıp iç yüzeyi ve parça arasında oluşacak sürtünme son derece önemlidir. Bu nedenler neticesinde ihtiyaç duyulanlar, şekillendirme ve kalıptan çıkarma işleminde etkili olması için sinterleme prosesini bozmayacak yağlama düzenidir.

Sıkıştırma işlemi sırasında oluşan değişimleri üç aşamada inceleyebiliriz;

- Öncelikle taneciklerin şekil ve boyut gibi fiziksel özelliklerine ait dağılımları büyük ölçüde yeniden düzenlenme aşamasıdır (Kurt and Davies, 1996). İlk uygulanan sıkıştırmada plastik deformasyon görünürde değildir. Bu bölümde partiküller arasındaki boşluk azalarak sürtünme oluşumları başlar.
- Devamı olan ikinci aşamada taneciklerde başlangıçta elastik ve sonrasında plastik deformasyon olayı ufak çapta gözlemlenir.

- Son bölümde ise partiküller tamamen kırılır. Plastik deformasyona getirdiği tanecikler arasındaki boşluk yapısı kapanmıştır. Tanecikler arasında bu bölümde tanecikler soğuk kaynak gözlemlenmektedir (Taşlıyan, 2020).

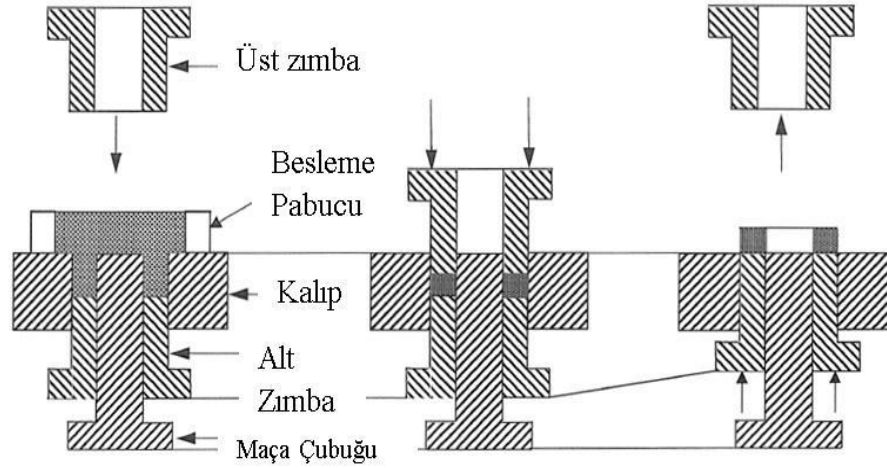
Presleme öncesinde kalıba serbestçe düşen tozların özkütlesi (ham yoğunluk) kalıbın titreşimi özelliğiyle büyük çoğunluğu artırılmış olur. Titreşimle beraber kazanılan yoğunluk artışı tozun dağılım şeması ve tozun şekli ile ilintilidir. Örneğin, düzensiz şekil yapısına sahip tozlarda düzgün ve küresel yüzeyli tozlara kıyasla bu artış çok daha yüksektir. Bunun nedeni olarak küresel şekilli tozlara dayandırılarak yoğunluk oranları yüksek ve dar toz boyut dağılımına sahip düzensiz şekilli tozların ise bağlı yoğunluklarının düşük olmasıyla açıklanabilir. Ham yoğunluk değerinin teorik yoğunluk değerine oranı bağlı yoğunluk olarak açıklanır.

Presleme işlemini genel çerçevede incelediğimizde soğuk ve sıcak presleme şeklinde iki ana gruba ayırabiliriz. Soğuk presleme proseslerinde, preslemenin ardından sıcaklık uygulanırken, sıcak presleme prosesinde sıcaklık ve basınç aynı anda uygulanır. Soğuk veya sıcak izostatik presleme yöntemleri, rijit kalıplar vasıtasıyla presleme yöntemine göre üründe iyi mekanik özellikler sağlamak ve ölçü hassasiyeti bakımından oldukça üstündür. Bahsi geçen presleme yöntemlerinde, toz kütleleri üstüne uygulanan basınç aynı oranda dağıldığı için düşük basınçta bile yüksek yaş yoğunluk ve yüksek yaş mukavemet değerleri elde edilebilir. Çekme mukavemeti ve yorulma dayanımı gibi mekanik özellikleri üstün olan sıcak izostatik presleme yöntemi ile üretilen malzemeler diğer tekniklerle kıyaslandığında öndedir (Alpugan, 1981).

3.6.4.1. Tek Yön ile Presleme

Geleneksel toz sıkıştırma prosesleri tek yönlü olarak gerçekleştirilmektedir. Toz karışımın kalıba doldurulduktan hemen sonra üst baskı plakası vasıtasıyla basma prosesleri uygulanır. Alt pistonun kullanılma görevi oluşacak parçayı kalıptan sıyırmaktır. Parçanın kalıptan sıyırılmasını kolaylaştırmak ve sıkıştırma özelliğini sağlamak amacıyla kalıp duvarlarına yağlama işlemi uygulanmaktadır. Tek yönlü presleme prosesinde uygulanan basınç miktarı artırıldıkça sıkıştırılan malzemenin yoğunluk miktarı da artış göstermektedir. Bunun nedeni olarak kullanılan tozlar

arasında gözeneklerin azalmasının yanında kütlenin aynı kalması ve hacmin düşüş göstermesidir. Bu yöntemde kalıp formunun basitliği nedeniyle, maliyet merkeze alınarak uygun bir yöntem olmasına karşın girift şekilli parçalar ile boy/en ($L/D \geq 2.5$) oranı yüksek metalik parçalarda beklenen yoğunluğa ulaşamadığı için tercih edilmemektedir.



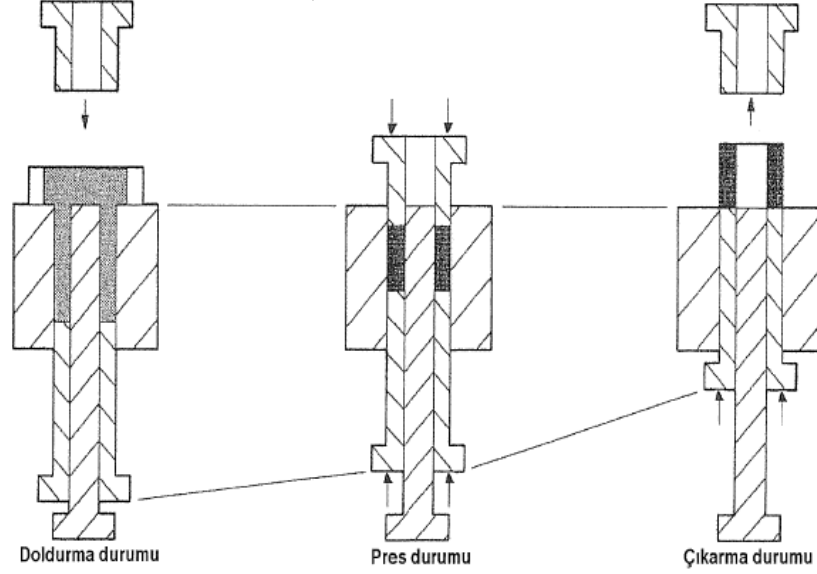
Şekil 3.3. Tek yön ile presleme (Odabaşı, 2017).

3.6.4.2. Çift Yön ile Presleme

Kalıpta yukarı ve aşağı zımba tarafından basınç uygulanır. İki zımba da devingendir. Zımbalar farklı ya da denk miktarda hareket ve basınç uygulayabilir. Ortaya çıkan parçalar birinci ve ikinci sınıf kategorisine dahildir. Ham bir homojen yoğunluk elde edilemez. Parçacıklar, zımbalar ve toz parçacıkları arasındaki sürtünmeyle kalıp yüzeyi arasındaki sürtünme nedeniyle ham yoğunluk dağılımı önemli farklılıklar gösterebilir. Yağlayıcı vasıtasıyla sürtünmeyi azaltarak veya uygun sıkıştırma yöntemleri kullanılarak bu muhtelif özellikler azaltılmaya çalışılır.

Tek yönlü sıkıştırma yöntemi vasıtasıyla tam yoğunluğa ulaşmak mümkün değildir. Çift yönlü sıkıştırmada toz; alt ve üst zımba tarafından sıkıştırıldığından dolayı kalıbın duvarı ile toz partiküller arasında oluşan sürtünme kuvveti, kalıp tabanındaki yay gibi esnek malzemenin yay kuvvetini aşıp kalıbın alt bölgeye doğru hareket etmesini sağlayarak, alt zımbanın tozun taban yüzeyine üst zımbayla birlikte eşit şiddetle basınç uygulamasını sağlar. Sıkıştırma prosesinin tamamlanmasının ardından TM parçası alt

zımbanın yukarı bölümüne doğru hareketi ile kalıptan sıyrılır. Bunun neticesinde yoğunluk dağılımının tek yönlü presleme ile elde edilen parçalara göre daha homojen olduğu ortaya çıkar. En düşük yoğunluk değeri sıkıştırılmış parçanın orta noktasında bulunur. Bu yoğunluğun dağılımı orta noktadan geçen yatay ve dikey eksenlere kıyasla simetriktir (Hiçyılmaz, 1999).



Şekil 3.4. Çift yön ile presleme (Odabaşı, 2017).

3.6.4.3. İzostatik Presleme

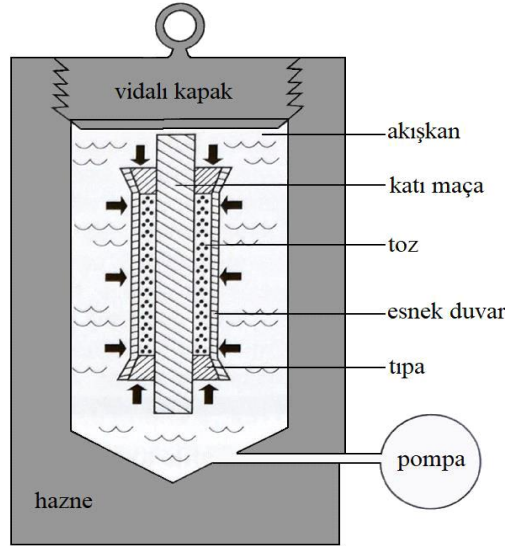
İzostatik presleme metal tozlarının bir hidrolik (akışkan) basınç altında preslenmesidir.

İzostatik presleme, sızdırmaz ve esnek bir malzemeden yapılmış kalıp içerisine konulan, sıkıştırılabilen toz partiküllerinin, kalıbın her bir noktasına uygulanan yüksek basınç kuvveti ile sıkıştırılarak şekillendirilme prosesidir. İzostatik presleme tekniğiyle elde edilen parçaların yoğunluğu parçanın çap uzunluk gibi boyutlarından bağımsız olarak her yerinde denktir. Homojen yoğunluk dizilimi, basınç vasıtasıyla bütün yüzeylere homojen olarak tesirinden ve kalıp duvarında sürtünmelerin bulunmamasından dolayı sağlanmaktadır. Girift formda bulunan parçaların üretimi için uygun ve gerekli bir yöntemdir. Sıcak izostatik presleme ve soğuk izostatik presleme olmak üzere iki farklı biçimde uygulama alanı bulunmaktadır (Hammes and Binder, 2014).

Soğuk izostatik presleme yöntemiyle sıcak izostatik presleme yönteminin farkı, sıcak izostatik preslemenin hazne içinde toz partiküllerinin preslenmesi için sıvı yerine argon gibi bir soygaz kullanılmasıdır. Bu yöntemde, aralığı 100-330 MPa olan basınçla presleme uygulanırken sıcaklık değeri 1750°C'ye kadar yükselmektedir.

Sıcak izostatik presleme yöntemi ile iyi yüzey kalitesine sahip, teorik yoğunluğun değerine yakın yoğunlukta, iyi derecede metalurjik bağlanmış, korozyona karşı dayanıklı ve çok iyi derecede mekanik özelliklere sahip ürünler üretilebilmektedir. Bu yöntem havacılık endüstrisinde parça üretimi için tercih edilmektedir (Skotnicova and Kurs, 2014).

Soğuk İzostatik Presleme



Şekil 3.5. Soğuk izostatik Presleme Ünitesi (German and Sarıtaş, 2007).

Presleme prosesi genellikle yağ vasıtasıyla veya su içinde ve oda sıcaklığında soğuk olarak gerçekleştirilir. Bu yöntem ve özelliklerden dolayı işleme soğuk izostatik presleme adı verilir. Soğuk izostatik presleme yönteminde, tozlar kauçuk bir kalıba doldurularak yağ ile hazırlanmış basma bölümüne konulur. Baskı pistonu vasıtasıyla basınç uygulandığı zaman, yağın sayesinde kalıbın her bir noktasına aynı basınç değeri uygulanır ve numunenin her bir noktası denk bir yoğunluğa sahip olur. 1400 MPa'a kadar sıkıştırma basıncı elde edilebilirken, proses genellikle 350 MPa'ın altındaki

basınç değerlerinde gerçekleştirilir. Soğuk izostatik işleminde kullanılan kalıp genellikle kauçuk, polivinil klorür veya elastomer gibi esnek malzemelerden yapılmaktadır. Karmaşık şekilli parçaların üretimi için uygun bir yöntem hale getirmesi esnek kalıp kullanımı yöntemiyle oluşur. Kauçuk kullanımından dolayı kalıp maliyetleri oldukça düşüktür. Bu presleme prosesi için en iyi örnekler takım çeliği kütükleri ve süper alaşım uçak türbinleridir (Aydın, 1997).

Sıcak İzostatik Presleme

Statik veya dinamik olarak ısıtılmış toza bir veya iki bölgeden zıt yönlerde tek bir eksenden basınç uygulanmaktadır. Sıkıştırılmış kutunun içinde toz metalinin sıcak preslenme işlemi toz metale uygulanan eski sıkıştırma uygulamalarından biri olarak bilinir. Sıcak presleme yöntemiyle yüksek özelliklerde ürün elde edilmesine rağmen dezavantajları oldukça fazladır. Bunlar; zımba yüzeylerinden kalıp duvarlarına sıvı metalin kaynaması bundan dolayı da sıkıştırılmış yüzeylerin bozulması, kalıbın aşınması, numune kaybı, kutu duvarları ve hareketli burçlar arasındaki boşluk, alet aşınmasıdır (Aydın ve Yetkin, 2006).

Geleneksel soğuk presleme prosesleriyle kıyaslandığında sıcak presleme yöntemi daha az güç, daha kısa vakit ve daha düşük sıcaklıklara ihtiyacı vardır. Ayrıca bu yöntemde soğuk presleme prosesine göre, daha yüksek yoğunluklara yaklaşır (Balın, 2011).

Sıcak presleme yönteminde ergiyen metal sıkıştırılmaktadır. Ayrıca zengin teknikler ortaya konulmaktadır. Yöntemlerin seçimi metalin fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Kullanılan tüm sıcak presleme teknikleri ortak özelliklere sahiptir (Lenel, 1980).

3.6.5. Tozların Sinterlenmesi

Sinterleme tekniği, preslenmiş toz partiküllerine mukavemet kazandırmak amacıyla kontrollü bir atmosferde yüksek sıcaklıklarda uygulanan pişirme prosesi olarak ifade edilmektedir. Partiküllerin kalıp içerisinde preslenerek şekillendirilmesi sonucunda oluşan parçada meydana gelen mekanik bağlar, sinterleme prosesi vasıtasıyla metalik

bağlara dönüşerek bu sayede parçaya dayanım kazandırılmış olur. Sinterleme prosesinden öncesi ile sonrasında parçanın mukavemet oranı oldukça farklıdır.

Sinterleme tekniği, tek bileşene sahip olan sistemlerde metalin mutlak ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta gerçekleştirilirken; birden fazla bileşene sahip olan sistemlerde büyük oranda ergime sıcaklığı en düşük olan bileşenlerin ergime sıcaklığının üstünde yapılmaktadır.

Sinterleme tekniği temel malzemenin ergime sıcaklığının %70-80'i arasında gerçekleştirilirken; kimi refrakter malzemeler için ergime sıcaklığının %90'a çıkılabilir (Ataş, 2003).

Sinterleme tekniği, tozların yüzey alanını bölgesinde küçülme, partiküllerdeki temas noktalarının büyümesi ve buna dayanarak gözenek formunun değişmesine ve gözenek hacminin düşmesine neden olan ısı yöntemiyle aktivasyonu gerçekleştirilmiş malzeme taşınım sistemi olarak ifade edilebilir. Sinterleme döngüsü esnasında sıcaklığı ve zamanı kontrol eden cihaza da sinterleme fırını denir. Bu özelliğe ek olarak, yağlayıcı ve bağlayıcıların giderilmesinin yanında atmosferi tutarak sinterleme sonrası parçaya ısı işlem imkanını sağlar (Randall, 2007).

Presleme prosesinin ardından, küresel formlu toz partikülleri noktasal olarak temas halindedir. Sinterleme prosesi esnasında, birbirine temas eden partiküller arasında kaynaklar oluşur ve bağlar sağlamlaşır. Öncelikle partiküllerde boyun büyümesi, ardından ilerlemekte olan sinterleme zamanı ile gözeneklerde büzülme meydana gelir. Daha sonra da gözenek kanallarında kapanmalar gerçekleşerek kapalı gözenek formuna dönüşür (Akorall, 2003).

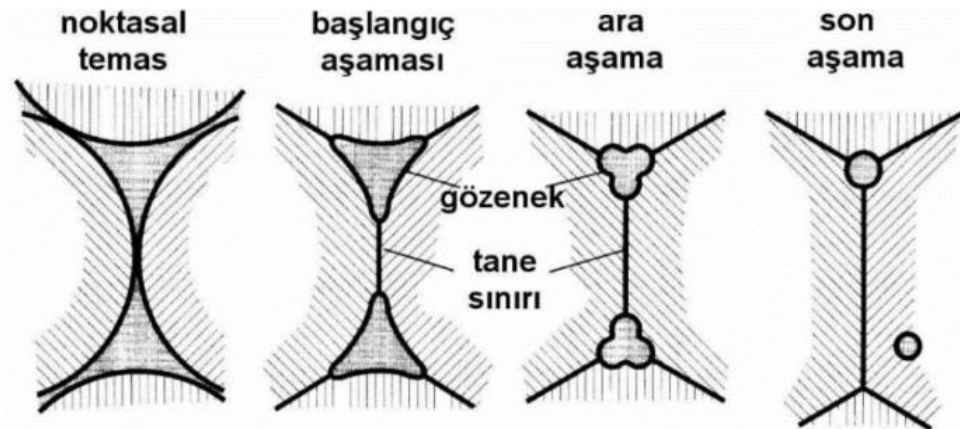
Sinterleme yöntemi sırasında, toz partiküllerinin yüksek yüzey enerjilerinde azalma meydana gelerek partiküllerde tamamen mükemmel bir formda boylar oluşturulur. Bunun neticesinde içyapıda bulunan gözeneklilik değeri sıfıra düşer. Hacim miktarı oranına göre düşen yüzey enerjisi toz partikülleri çapının tersiyle doğru orantılı olduğundan, küçük toz partikülleri kolayca sinterlenmektedir (Boz, 2003).

Seramik yapıları malzemelerde saydamlık, ısı iletkenlik, yoğunluk ve mukavemet değerleri artarken, polimerlerde mukavemet ve yoğunluk yükselir. Metallerde ise iletkenlik ve mukavemet artar.

Gözenek yapıdaki bronzlar ve bunların özelliklerine benzeyen alaşımlar 600°C ile 800°C arasında, demir grubunda bulunan metal alaşımları 1000°C ile 1300°C arasında, sert yapıdaki alaşımlar 1400°C ile 1600°C arasında sinterleme yöntemi kullanılır. Sinterleme süresi ve sıcaklığı malzemenin cinsine göre değişkenlik göstermektedir.

Elmas alaşıma sahip malzemelerde yarım saatten az bir zaman yeterli olurken sert alaşımlar için bir saatten fazla süren bir sinterleme yöntemi uygulanır. Sinterleme zamanı ve sıcaklığı arasında ters bir orantı bulunur. Sinterleme sıcaklığı yüksek olduğunda zaman kısadır, sıcaklık azaldıkça da uygulanan zamanda artış görülür (Gryczka and Humbeeck, 2008).

Sinterleme sıcaklığının artması sonucunda malzemede mukavemet, elektrik iletkenliği, yoğunluk ve süneklik gibi özellikler artış göstermektedir. Sinterlemenin başlangıç aşamasında toz partikülleri nokta teması halindedir. Malzemelere uygulanan sinterleme prosesi başlangıç, orta ve nihai olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.6. Gözeneğin yapı değişimi (German, 1984).

Sinterleme prosesini uygulayan tepkici güç sistemin iç enerjisinde bulunan azalmadan kaynaklanmaktadır. Bu azalmayı destekleyen faktörler, gözenek hacminde azalma veya gözeneklerin küresel forma dönüşmesi, partikül temas alanlarının büyümesi sonucunda da yüzey alanının azalması, çok bileşen ihtiva eden sistemlerde katı fazın sıvı faz içerisinde çözünmesi sonucunda oluşan farkın giderilmesidir (German, 1996).

Sinterleme tekniği sırasında ortaya çıkan boyutsal değişimler, gözeneklerin boyut ve şekil dönüşümü, tane büyümesi gibi olaylar, mikro yapının içindeki sıcaklıkla meydana gelen bazı atomsal taşınım yönelimleriyle gerçekleşir. Atomal taşınım yönelimleri; yüzey difüzyonu, hacim difüzyonu, tane sınırları difüzyonu, yoğunlaşma, buharlaşma ve plastik akıştır. Yüzey difüzyonu sonucunda boyutsal değişme gerçekleşmez.

Sinterleme yöntemi muhtelif atmosferlerde kullanılmaktadır. Bunlar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır;

- Nitrürleyici atmosferler: Amonyak
- Vakum, helyum, argon ve azot içeren atmosferler
- Redükleyici atmosferler: H, Metan CH₄ ve amonyak, CO
- Oksitleyici atmosferler: Hava, CO₂ ve H₂O

Sinterleme işlemi, genel olarak 3 farklı şekilde yapılmakta olup bu teknikler aşağıda açıklanacaktır.

3.6.5.1. Sıvı Faz Sinterlemesi

Ergitmenin yerini tutan sinterleme ısıl prosesi, metal toz partikülünün ergime noktası altındaki sıcaklık değerinde yapılmaktadır. Kullanılan toz bir karışımı gösteriyorsa, sinterleme prosesi bu tozlardan en yüksek ergime sıcaklığına sahip olan tozun ergime sıcaklığı altındaki değerde yapılır. İstisnai durumlarda ise sinterleme prosesi düşük ergime sıcaklık değerine sahip malzemenin ergime derecesinin üstünde yapılır. Bahsi geçen sinterleme türüne “sıvı faz sinterlemesi” denir.

Sıvı faz ve katı bir toz kümesi sıvı faz sinterlemesi sırasında aynı zamanda bulunmaktadır. Sıvı faz sinterlemesi parçacıklar arasında bağ oluşumunu artırmasının yanı sıra sinterleme hızına da katkıda bulunmaktadır. Sıvı faz halinin ortaya çıkardığı kılcal çekim kuvvetleri katkısıyla toz partikülleri birbirlerini çekmekte ve basınç bulunmaksızın seri bir yoğunlaşma oluşturmaktadır. Elde edilen sıvı faz, partiküller arasında var olan sürtünmeyi düşürerek yeniden düzenlenmeyi hızlandırmaktadır. Parçacıklar arası bağlanmaya, süneklik, mukavemet, manyetik geçirgenlik, iletkenlik ve korozyon direnci gibi, parça özelliklerinde ve gözenek yapısında önemli değişiklikler oluşur.

Sıvı faz sinterleme prosesinin nihai aşaması katı hal kontrollü sinterlemedir. İskelet yapının bulunurluğu sebebiyle bu aşamada yoğunlaşma yavaş hale bürünmektedir.

Tek fazlı partikül yapılarından oluşan kompaktları sinterleyebilmek için sinterleme prosesi sıcaklığı yaklaşık olarak %80 civarındaki sıcaklık aralığı seçilerek malzemenin ergime sıcaklığı belirlenir. Sinterleme esnasında mikroyapıda oluşan değişimler, boyutsal farklılıklarla beraber parçanın mekaniksel ve fiziksel özelliklerinde farklılıklar ve dönüşümler ortaya çıkarır. Mikroyapıda oluşan bu dönüşümler evvelinden şekillenip ardından mukavemetleri düşük olan ham parçalara dayanım sağlar. Sinterleme prosesinin ilk aşamasında toz partikülleri arasındaki temas alanı genişler, yapıdaki var olan gözenekler küresel forma gelir, partiküllerin eksenleri arasındaki mesafe düşer. Bunun sonucunda parçada çekilme olayı ortaya çıkarak yoğunluk artar. Bir sonraki aşamada toz partiküllerinin birbirleriyle birleşmesi son bulur. Nihayetinde izole halde gözenekler oluşur. Yapıdaki malzeme taşınımı olayıyla gözeneklerin boyutları azalır. Ardından tane büyümesini ortaya çıkarır.

3.6.5.2. Katı Hal Sinterlemesi

Katı hal sinterlemesi tek bir elementin sinterlemesi sonucunda oluşan, tek fazlı partiküllerden ortaya çıkan karışımların sinterlenmesi esnasında mikroyapıda meydana gelen değişimler, parçanın boyutuyla birlikte mekanik ve fiziksel özelliklerinde de değişimlerinin oluşmasıdır. Sinterleme prosesinin gerçekleşmesi için tepkici güç sisteminin serbest enerjisinin düşürülmesidir. Toz partiküllerin ve bu

tanelerin büyümesi, toplam tane sınırı bölgesinin azalması, düşmeye neden olan serbest enerjide olmaktadır. Sınırın hareket hızının artması tane sınırlarının eğrilik derecesi büyüdükçe gerçekleşir. Sınırın ve atomların devinimine tesir eden en önemli faktör sıcaklıktır. Bu sıcaklığın artışıyla atom yayılımı hızlıca artmaktadır. Tane sınır bölgesinin bu şekildeki hareketi küçük taneciklerin kaybolmasını, büyük tanelerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Katı hal sinterleme tekniği, malzemenin taşınımı ve tanelerin difüzyonu ile gerçekleşmektedir. Sinterleme için yüksek sıcaklık seçilmesinin nedeni malzemenin difüzyonu yüksek sıcaklıklarda daha kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Sinterleme işlemi sırasında içyapıda sıvı faz oluşması engellenir. Yoğunluk artışı ve difüzyon gibi malzeme içindeki dönüşümler katı faz ile gerçekleştirilir. Malzemenin içyapısında, tanenin yüzeyi ile boyun bölgesi arasındaki serbest enerji farkı katı hal sinterlemesi için gereken itici gücü ortaya çıkarmaktadır.

Tanelerin birbirleriyle noktasal olarak temas etmesi ile katı hal sinterlemesi başlamaktadır. Başlangıcında, tanelerin birbirine teması tanelerin hareket etmesi ile yükselir. Temas halinde bulunan taneler arasında boyun ismi verilen sinterleme köprülerinin oluşumu zamana bağlı olarak gözlenmeye başlar. Bu bölümde toz partikülleri temas halinde bulunsalar bile hala ayırık konumdadırlar. Başlangıç bölümünün nihai evrelerinde, boyun oluşumu gözlemlenen partiküllerin merkezleri birbirlerine yaklaşması ile hacimsel olarak küçülmüş tanelerin oluşumu görülür.

Sinterlemenin ara bölümünde, partiküller arasında oluşmakta olan boyunların boyutlarında artış meydana gelmektedir. Boyunda oluşan genişliğinin belirli bir genişlik değerini geçtiği zaman, partiküllerin formları değişmeye başlar. Partiküller arası ve partikül içi boşluklarda azalmalar gözlemlenir. Boşluk oranlarının düşmesi ile birlikte malzemenin fizyolojisinde büzölmeler gerçekleşir. Ara bölümünün sonlarına yaklaşırken partiküllerin birleşmeye başlamasıyla tane büyümesi oluşur (Thummler and Oberacker, 1993).

3.7. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN MALZEMELERİN ANALİZİ

3.7.1. Mekanik Özellikler

Malzeme seçimi belirli bir uygulama alanı için o malzemenin mekanik özelliklerine bağlıdır. Bu özelliklerin hesaplanmasında kullanılan standart teknikleri tanımak ve bu deneylerden ortaya çıkan sonuçları farklı parametrelere bağlı olarak değerlendirmek önemlidir. Bir malzemenin statik ölçüdeki yüklere dayanma potansiyeli basma ve çekme tekniği ile belirlenir. Statik deneyler vasıtasıyla plastik şekil değiştirmelere karşı dayanım hakkında bilgi elde edilebilir. Darbe prosesi tekniği malzemenin darbe etkisindeki zorlanmalara karşı oluşturduğu direnci belirleyebilmesi için kullanılır. Farklı sıcaklıklarda bu deneyler yapılarak malzemenin gevrek-sünek geçiş sıcaklıkları hesaplanır. Yorulma prosesi tekniği ile malzemenin tekrarlı zorlanmaları ve değişkenliği altında sergilediği davranışları ve bu tesirler altındaki faydalı ömrü hesaplanabilir. Malzemenin yüksek sıcaklıkta uzun vakitli yüklemeler altındaki sergilediği davranışlarının tecellisini görmek amacıyla sürünme deneyleri uygulanır (Odabaşı, 2017).

3.7.2. Mikroyapısal Özellikler

Bir malzemenin mikroyapısı, geometrik oluşumunun yapısal ve kimyasal tabiatı, malzemeyi oluşturan bileşenlerin düzeni ile ifade edilmekte ve bu ölçüde, ihtiva ettiği kusurları ve malzemenin bileşen fazlarını ihtiva etmektedir. Bir malzemenin özelliklerinin önemli ölçüde belirlenmesi için mikroyapı yeterlidir. Ayrıca cevherini kullanabilmek için, yalnızca malzemenin mikroyapısının belirlenmesine katkıda bulunan faktörlerin öğrenilmesi değil, mikroyapı ve özellikler arasında ilişkilerin anlaşılması da gerekmektedir. Bir bölümden malzeme biliminde bulunan ilişkilerin, diğer açıdan malzemenin mikroyapısının belirlenmesi gerekmektedir (Odabaşı, 2017).

3.7.3. Yüzey ile İlgili Özellikler

Oksitlenme ve korozyon gibi olaylar malzemenin yüzey ile ilgili özellikleri arasında yer alır. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen malzemelerin yapısında bulunan gözeneklilik oranının fazla olması durumunda gözeneklerde oluşan ve devamında biriken akışkan sebebiyle korozyon daha hızlı ortaya çıkar. Uygun sinterleme koşullarında üretilen malzemelerin çevre direnci yüksek derecede olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 4

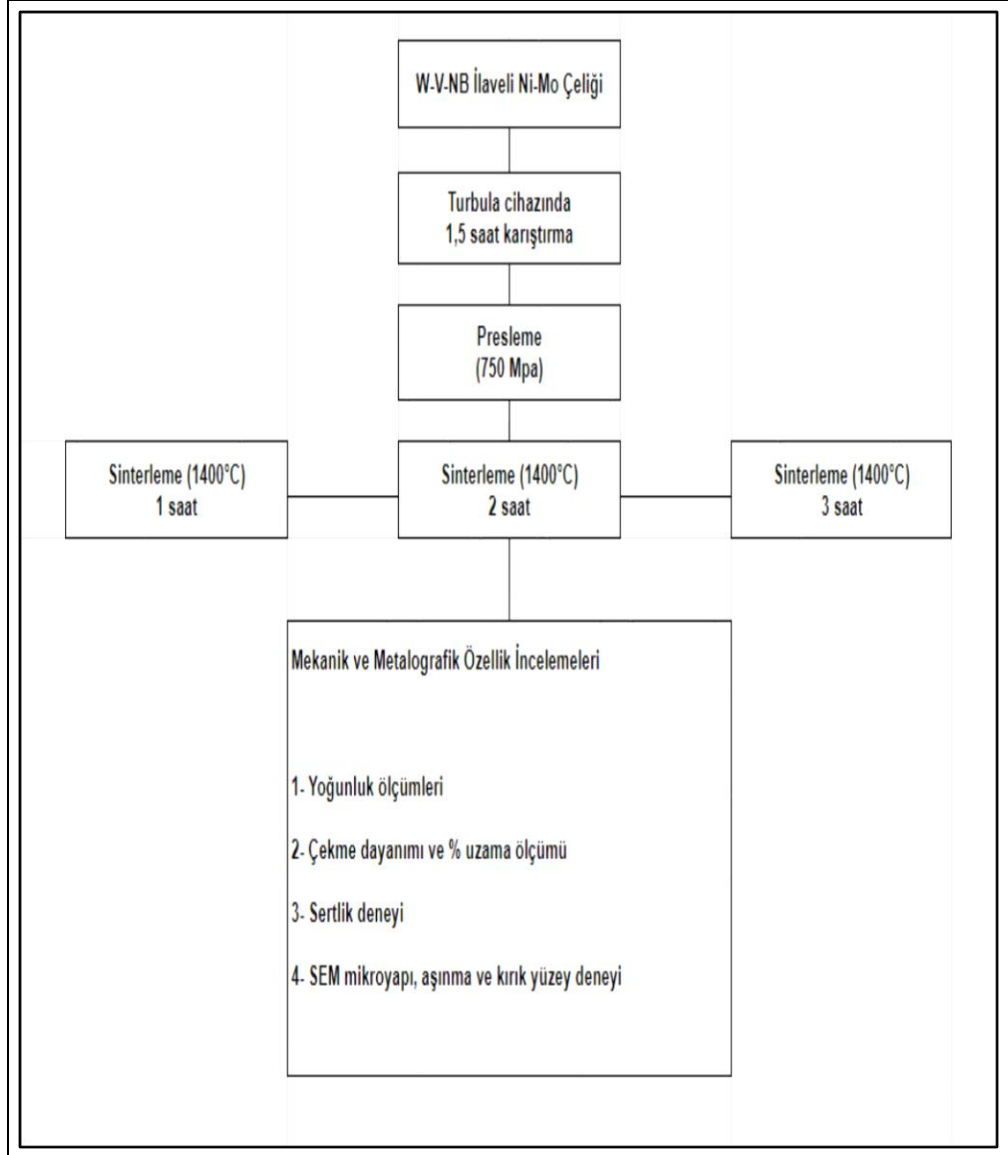
DENEYSEL METOD

4.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, istenen oranlardaki alaşımlar toz metalurjisi yöntemiyle birleştirilerek numune haline getirilmiştir. Gerçekleştirilen işlem basamakları bölüm 4.2’de, tozların karıştırılması ve preslenme basıncıyla prosesi bölüm 4.3’te, sinterleme prosesi bölüm 4.4’te, çekme testinin uygulanması bölüm 4.5’te, sertlik ölçümleri bölüm 4.6’da, aşınma deneyi bölüm 4.7’de, optik mikroskop ve SEM görüntüleri analizi bölüm 4.8’de, yoğunluk, gözeneklilik oranı ölçümleri bölüm 4.9’da açıklanmıştır. Çekme testleri Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Laboratuvarında yapılmıştır. SEM ve Aşınma deneyleri Karabük Üniversitesi, Demir-Çelik Enstitüsü, Margem laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

4.2. DENEYSEL İŞLEM BASAMAKLARI

Bu deneysel çalışmada gerçekleştirilen işlem basamakları Şekil 4.1’de olduğu gibi öncelikle tozların temini, karıştırılması, ardından preslenmesi ve daha sonra sinterleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Son olarak da mekanik testlerin yapılması ve mikroyapı incelemelerini ihtiva etmektedir.



Şekil 4.1. Deneysel çalışmada proses adımları.

4.3. ÇALIŞMADAKİ TOZLARIN KARIŞTIRILMASI VE PRESLENMESİ

Karıştırma prosesi evvelinde toz partikülleri Çizelge 4.1’de kimyasal kompozisyonu verilen oranlarda RADWAG AS-60-220 C/2 marka hassas terazi ile 0.0001 hassasiyetinde tartılmıştır. Tartım sonucunda elde edilen toz karışımları homojen bir yapı oluşturabilmek için Turbula marka üç eksenli karıştırıcı ile 1,5 saat süreyle bilyesiz olarak karıştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Deney için hazırlanmış numunelerin kimyasal kompozisyonları.

Kompozisyon	C (%ağ.)	Mo (%ağ.)	Ni (%ağ.)	W (%ağ.)	V (%ağ.)	Nb (%ağ.)	Demir (%ağ.)	Sinterleme Süresi
Alaşım 1	0.55	3	10	0,3	0,05	0,05	Geri kalan	1 Saat
Alaşım 2	0.55	3	10	0,3	0,05	0,05	Geri kalan	2 Saat
Alaşım 3	0.55	3	10	0,3	0,05	0,05	Geri kalan	3 Saat

Erden (2016) alaşımsız toz metal çeliklerde karıştırma süresi ile alakalı olan çalışmada hazırlanan toz karışımlarını homojen hale getirebilmek için 90 dakika süreyle karıştırdığında en yüksek akma ve çekme dayanımı değerlerini elde etmiştir. Karıştırma süresinin 90 dakikadan fazla artmasının mekanik özelliklere etki etmediğini belirten Erden'in çalışmasına istinaden bu çalışmada da karıştırma süresi 90 dakikada gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen karışım toz partiküllerinin preslenmesi 100 ton basma potansiyelli Hidroliksan preste, 750 MPa presleme basıncında tek yönlü olarak ASTM (E8M) toz metalurjisi çekme deney numune standartlarına uygun olarak hazırlanan kalıp ile sıkıştırılmış, numune bütün haline gelmiştir.

Erden'in (2017) diğer bir çalışmasında ise toz metalurjisi üretilen alaşımsız çeliklerde presleme basıncının etkisini araştırmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda 750 MPa basınç altında preslediği numunelerin en yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olduğunu gözlemiştir. Bunun nedeni olarak malzemelerin yoğunluğunun artması olarak açıklamıştır. Bu değer üstündeki presleme basınçlarının malzemelere dayanım artışı sağlamadığını bunun yanında yüksek basınçların kalıba zarar vereceğini ifade etmiştir.

Sıkıştırma prosesi yapılacak olan blok numunelerin kalıptan kolayca çıkmasını sağlamak amacıyla zımba dış yüzeyleriyle birlikte kalıp iç yüzeyleri de çinko stearat ve etil alkolden oluşan karışım ile yağlanmıştır. Tozların tartımında kullanılan hassas terazi, karıştırma işleminde kullanılan turbula cihazı ve sıkıştırma işleminde kullanılan pres şekil 4.2.'de görülmektedir. Ortaya çıkan numune Şekil 4.3.'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Deneyde kullanılan a) hassas terazi, b) hidrolik pres ve c) turbula cihazı görüntüleri.

4.4. SİNERLEME PROSELERİ

İstenilen oranda hazırlanan ve prosesleri gerçekleştirilen numunelerin sinterleme işlemleri argon atmosferi vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Sinterleme prosesi için Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Mekanik Metalürji laboratuvarında kullanılan maksimum sıcaklık değeri 1600°C olan Protherm PTF 16/75/610 modelli atmosfer kontrollü boru fırından yararlanılmıştır. Çizelge 4.1.'de gösterilen aynı kimyasal kompozisyonları sahip numunelerin sinterleme süresinin etkisini gözlemlemek için 1400°C'de sırasıyla bir saat, iki saat ve üç saat bekletilmiştir. Bu saatler geçtikten sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Bu alışımlara uygulanan deneyler sonucunda optimum süre iki saat olarak bulunmuştur.

Özdemirler ark. (2016) gerçekleştirdiği çalışmada sinterleme sıcaklığının NbC ilave edilen toz metalurji çelikler üzerindeki tesirini araştırmıştır. Ortaya çıkan sonuçta 1400°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin diğerlerine kıyasla daha üstün mekanik özellikler sergilemiştir. Bunun nedenini perlit miktarının artışıyla ve malzemelerin yoğunluklarıyla açıklamışlardır.



Şekil 4.3. Deneysel çalışmalarda kullanılan atmosfer kontrollü fırın.

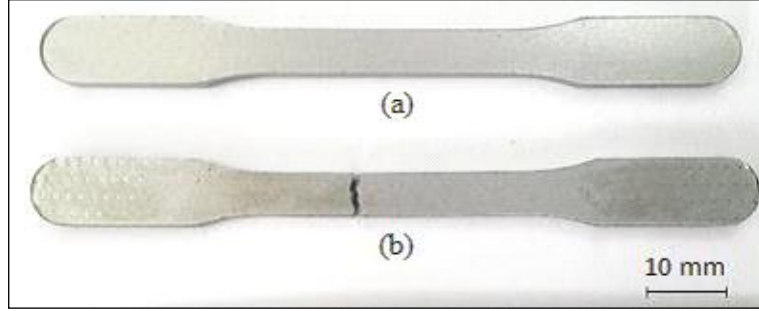
4.5. NUMUNELERİN SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Alaşımli ve alaşımsız ayırt etmeksizin üretilen bütün numunelerin sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numunelerin yüzeyleri Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekanik Laboratuvarında yer alan PRESI MECAPOL P262 adlı cihaz ile zımparalama prosesi gerçekleştirilmiş, ardından sertlik ölçümü için hazır hale getirilmiştir. Bu numunelerin sertlik ölçümleri SHIMADZU marka sertlik ölçüm cihazıyla uygulanmıştır. HV1 (1 kg) yük verilerek sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan her bir numuneden 5 adet sertlik ölçümü yapılarak, bu değerlerin ortalaması alınıp sertlik değeri belirlenmiştir.

4.6. NUMUNEDKİ ÇEKME DENEYİ

Sinterleme prosesi uygulanmış her bir çekme numunesi 1 mm/dak. çekme hızında çekme deneyi tekniği uygulanarak koparılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonrasında

gerilme- % gerinim diyagramları bulunmuştur. Bu diyagramlarda numunelerin çekme dayanımı, akma dayanımı (%0,2) ve % uzama değerleri hesaplanarak malzemenin davranışı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.4. Sinterlenmiş numunenin a) çekme testi öncesindeki hali, b) çekme testi sonrasındaki hali.

4.7. AŞINMA DENEYİ

Aşınma testinin analizleri, Karabük Üniversitesi'nin Demir-Çelik Enstitüsü'nde, MARGEM Laboratuvarlarında sürdürülmüştür. 1400°C'de sinterlenen numuneler, 1000 mesh zımpara numarasına kadar zımparalanarak UTS-10 Tribometer test cihazında ileri-geri tip aşınma testi yapan Reciprocating Wear Test'i uygulanmıştır. Bu uygulama için AISI 52100 malzeme çelik bilye kullanıldı. Strok mesafesi 10 mm belirlendi. Uygulanan yükü 15N, kayma hızını ise 72 mm/sn. değerinde ayarlandı. Uygulanan her bir aşınma testi sonrasında numuneler etanol ile temizlendi. 0,1 mg hassasiyet özelliğine sahip teraziyle ağırlık değişkenlikleri ölçüldü. Cihazın kendisine ait hesaplama programıyla sürtünme katsayısı, aşınma derinlikleri ve sürtünme kuvveti hesaplandı. Ardından Toz metalurjisi çelik numunelerin aşınma yüzeyleri SEM vasıtasıyla incelendi.

4.8. SEM İNCELEMELERİ

SEM incelemeleri ise Karabük Üniversitesi, Demir-Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin farklı bölgelerinden muhtelif büyütmelerde görüntüler alınmıştır. Alınan bu görüntülerin mikroyapıyı temsil edebilir özellikte olmasına özellikle dikkat edilmiştir.

4.8.1. Metalografik İncelemelerde Kullanılan Numunelerin Hazırlanması

Sinterlenmiş toz metalurji alaşımlı çelik numunelerin mikroyapı incelemesi için bakalite alınmıştır. Ardından sırasıyla 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2500 grit numaralı SiC aşındırıcı zımparalarla su altında zımparalanmıştır. Bu proseten sonra numuneler, sıra ile 1 ve 0,3 µm'lık Al₂O₃ kullanılarak, mikroyapı incelemelerinde kullanılan özel keçe üzerinde parlatılmıştır. Parlatılan numuneler suyla temizlenip, yüzeylerine alkol püskürterek kurutulmuştur. Mikroskobik incelemeye hazır hale getirilen numuneler %3 Nital ile dağlanmıştır. SEM mikroyapı incelemeleri için hazır hale gelmiştir SEM incelemeleri ise Karabük Üniversitesi, Demir-Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Her numunenin farklı bölgelerinden değişik büyütme oranlarında görüntüler alınmış, bu görüntülerin bütün mikroyapıyı temsil edebilir nitelikte olmasına özellikle dikkat edilmiştir. EDS ve Aşınma incelemeleri de Karabük Üniversitesi, Demir-Çelik Enstitüsü, MARGEM Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

4.8.2. Dağlayıcıların Hazırlanması ve Dağlama Prosesinin Gerçekleştirilmesi

Metalografik incelemeleri gerçekleştirmek amacıyla parlatılan ve dağlamaya hazır hale getirilen numunelere etanol içerisinde %3 nitrik asit karıştırılarak nital çözeltisi elde edilmiştir. Dağlama prosesi, numuneleri nital çözeltisi içerisinde daldırılarak 8-9 saniye bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Dağlama prosesi tamamlandıktan sonra dağlanan yüzeyler alkol ile temizlenerek kurutulmuş, ardından optik mikroskopta incelemeye uygun hale getirilmiştir.

4.9. GÖZENEKLİLİK, YOĞUNLUK, FERRİT, BEYNİT VE MARTENZİT HESAPLARI

Numunelerin yoğunluk ölçümleri, Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında bulunan RADWAG AS-60-220 C/2 adlı hassas terazide RADWAG AS yoğunluk ölçüm kiti ile Archimets prensibine göre yapılmıştır.

Üretilen malzemelerin gözenek oranının belirlenmesinde aşağıdaki verilen formül kullanılmıştır.

$$\%Gözeneklilik = (q_{teorik} - q_{deneysel}) \times (100) / (q_{teorik})$$

Burada; q_{teorik} : Teorik yoğunluk (gr/cm³)

$Q_{deneysel}$: Deneysel yoğunluk (gr/cm³) şeklindedir.

Numunelerin teorik yoğunlukları ise, aşağıda belirtilen karışım kuralı esasına göre hesaplanmıştır;

[Fe- %0,55 C- %3 Mo - %10 Ni - %0,3 W - %0,05Nb- %0,05 V için]; Karışımın teorik yoğunluğu= [C'nin yoğunluğu x 0,4] + [Fe'in yoğunluğu x 86,2] + [Mo'in yoğunluğu x 3] + [Ni'in yoğunluğu x 10] + [W'in yoğunluğu x 0,3] + [Nb'un yoğunluğu x 0,05] + [V'un yoğunluğu x 0,05]

Çeliklerde ferrit ve perlit oranları Gladman and Woodhead'ın (1960) sistematize edilmiş metalografik nokta sayım metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ferrit, beynit ve martenzitin hacimsel oranları formalize edilerek sunulmuştur.

$$f = \frac{n}{N} \quad (4.1)$$

Burada; f = Ferrit, beynit ve martenzit fazlarının hacimsel oranı

n = Ferrit, beynit ve martenzit fazlarına karşılık gelen nokta sayısı

N = Sayılan toplam nokta sayısı

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

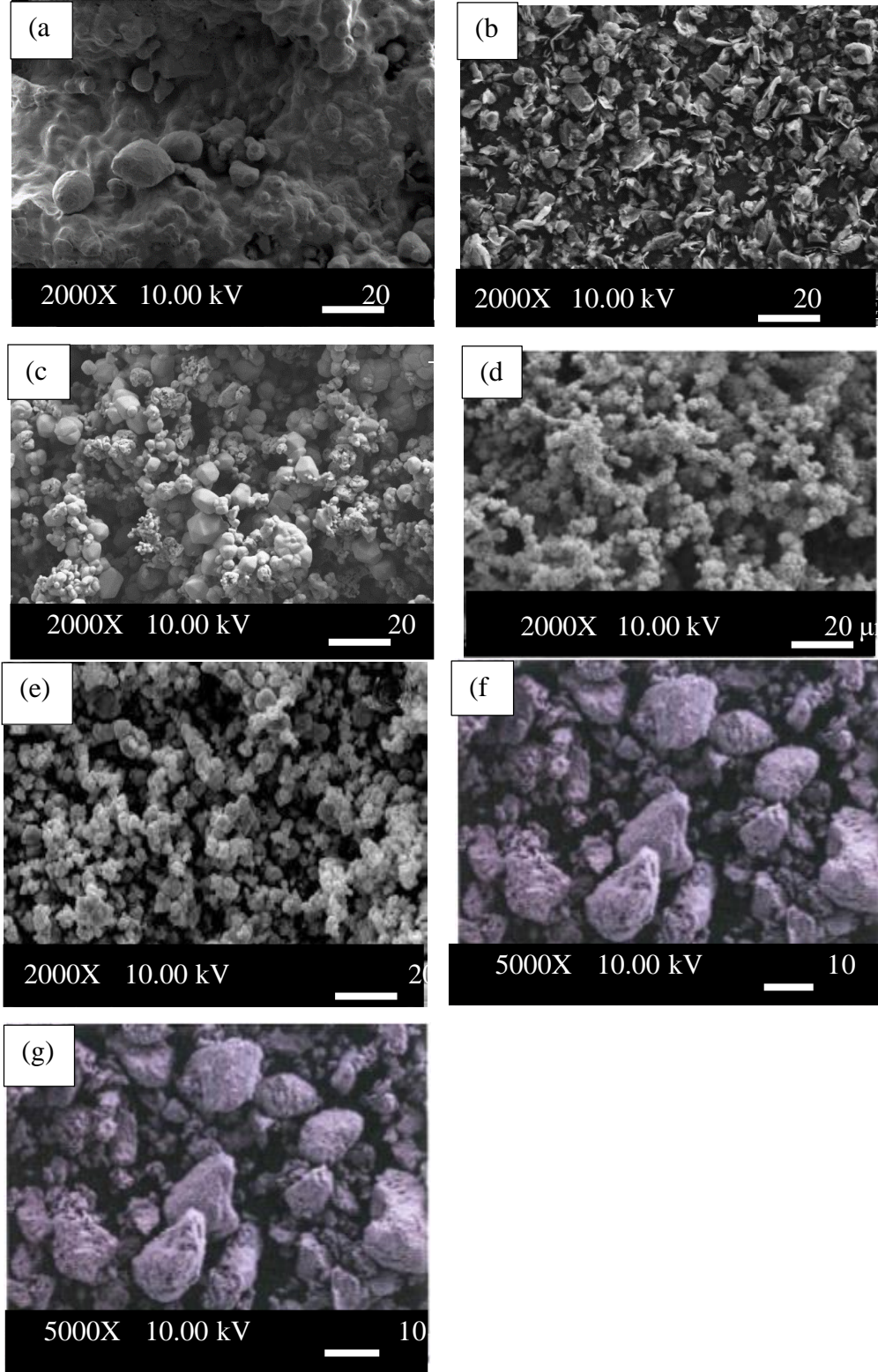
5.1. GİRİŞ

Deneysel sonuçlar ve tartışma bölümünde üretimi gerçekleştirilen farklı kompozisyon değerlerinde, argon atmosferi vasıtasıyla belirlenmiş sürelerle sinterleme işlemi yapılmış olan alaşımlı numunelerin deneysel sonuçları gösterilmektedir. Bunun yanında ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesini de ihtiva etmektedir. Bölüm 5.2'de kullanılan toz partiküllerinin karakterizasyonu incelenirken Bölüm 5.3'te numunelerin mikroyapılarına ait SEM ve EDS analizleri, ferrit, beynit, sementit ve gözeneklilik oranı, yoğunluk sonuçları incelenmiştir. Bölüm 5.4'te 1400°C'de sinterlenmiş numunelerin mekanik test sonuçları değerlendirilmiştir. Alt başlığında sertlik ve çekme sonuçları çizelgeyle gösterilerek tartışılmıştır. Çekme testi sonucunda numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM ve EDS görüntüleri incelenmiştir. Bölüm 5.4.2'de Aşınma değerleri, grafikleri, SEM ve EDS görüntüleri analiz edilmiştir.

5.2. TOZ KARAKTERİZASYONU

Farklı sinterleme sürelerinde 1400°C'de sinterleme prosesi gerçekleşmiş olan numunelerin üretiminde faydalanılan toz partiküllerinin X2000 X5000 büyütme oranlarında tozların bütününe yansıtan bir kesiti göstermektedir.

Demir tozlar, matris fazı olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi genellikle düzensiz formdadır. Şekil 5.1 de gösterilen karbon tozu pulsu şekillidir. Takviye malzemesi olarak kullanımda olan nikel, molibden, tungsten, vanadyum ve niyobyum tozları Şekil 5.1'de görüldüğü gibi genellikle karmaşık ve keskin köşeli bir geometriden oluşur. Bunun yanında toz partikülü boyutları ve saflık yüzdeleri Çizelge 5.1'de sergilenmiştir.



Şekil 5.1. Deneysel çalışmada kullanılan tozların SEM resimleri; (a) Fe ($\leq 180 \mu\text{m}$, 2000x, büyütme), (b) Grafit ($< 20 \mu\text{m}$, 2000x büyütme), (c) Mo ($< 150 \mu\text{m}$, 2000x büyütme), (d) Ni ($44 \mu\text{m}$, 2000x büyütme), (e) W ($42 \mu\text{m}$, 2000x büyütme), (f) Nb ($< 45 \mu\text{m}$, 5000x büyütme), (g) V ($44 \mu\text{m}$, 5000x büyütme).

Çizelge 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozların boyut ve %saflık değerleri.

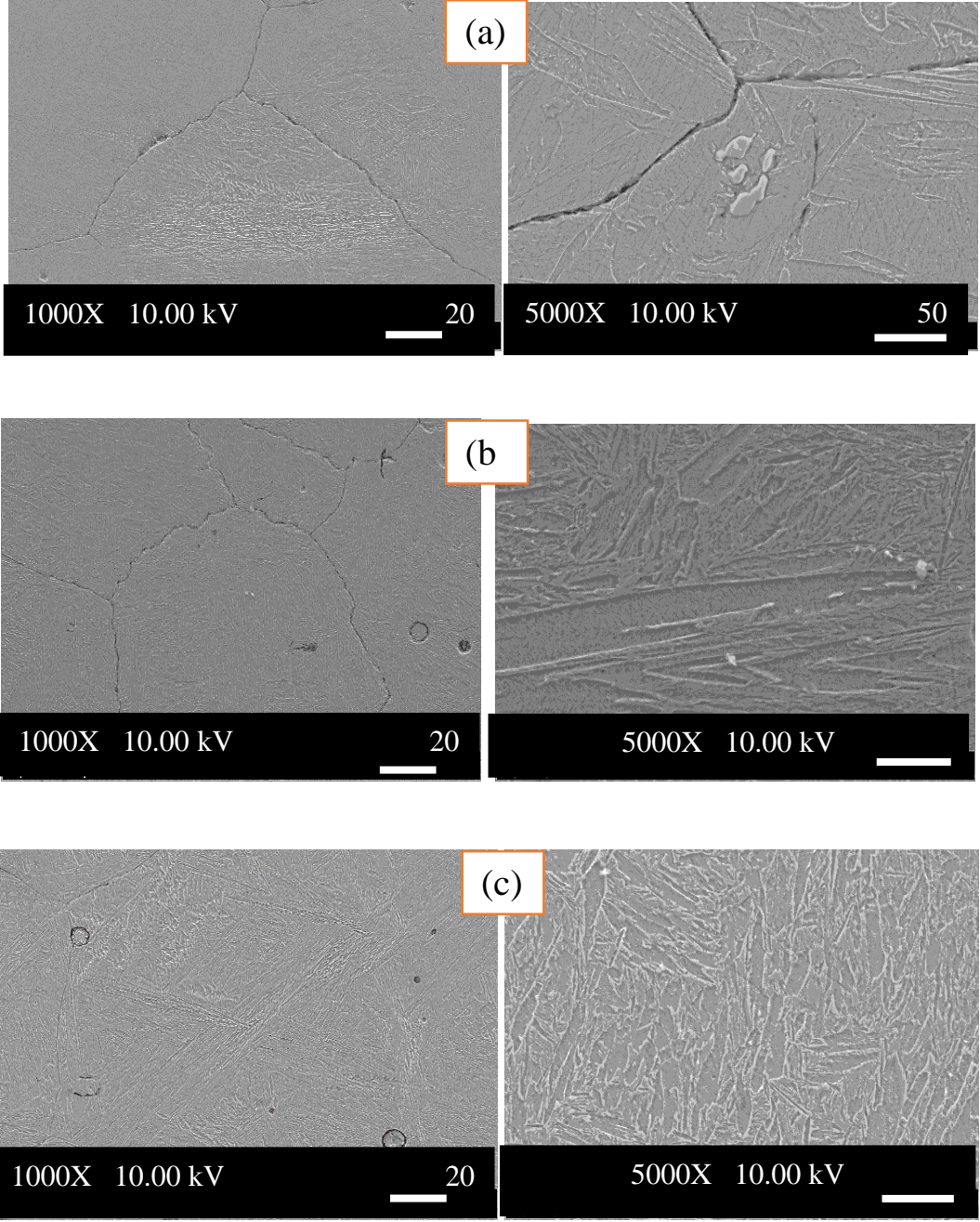
Tozlar	Grafit	Fe	Ni	Mo	W	V	Nb
Toz Boyutu (µm)	10-20	<150	44	<150	42	44	<45
Saflık Değeri (%)	96,5	99,9	99,5	99,9	99,6	99,5	99,8
Temin Edilen Firma	Sintek	Sintek	Aldrich	Aldrich	Aldrich	Aldrich	Aldrich

Toz partiküllerinin boyut ve form farklılıkları üretim yöntemiyle ilgilidir. Malzemede kullanılan tozlar öğütme prosesi ve atomize edilmesi itibariyle küçük parçacık kütlelerine getirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Demir tozunu su atomizasyon tekniğiyle şekillendirilmiştir. Hidrojen ile indirgeme ve öğütme prosesine tabi tutulmuştur. Demir tozunu Şekil 5.1’de X2000 büyütülmüş SEM görüntüsü ile incelediğinde uydulaşma ve topaklanma görülür. Grafit tozlarında ise puslu şekilde görülmektedir.

Şekil 5.1’de SEM görüntüsü verilen vanadyum ve niyobyum tozları hidrürleme, öğütme ve vakum altında hidrojeni giderme prosesleri sonucunda köşeli parçacık formunda olmuştur. Vanadyum ve niyobyum tozları hidrojen ortamına maruz kaldığında gevrek hale geçer ve öğütme sonrasında, hidrojen malzemedan uzaklaştırılabilir. Nikel ve molibden; Co ve Cu gibi hidrojenle indirgeme durumu kullanılarak üretilir.

5.3. SEM MİKROYAPI SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

1400 °C’de alaşımlı çeliklerin 1000x-5000x büyütmede alınan SEM mikroyapı görüntüleri- (a- Alaşım 1, b- Alaşım 2, c- Alaşım 3) bulunmaktadır. SEM mikroyapı resimlerine bakıldığında ferrit, beynit ve martenzit yapılarının bulunduğu görülmektedir. Ayrıca karbür, nitrür ve karbonitrür çökeltilerinin varlığı saptanmıştır.



Şekil 5.2. Belirlenen proseslerle numunesi hazırlanan çeliklerin SEM mikroyapı görüntüleri- 1000x-5000x büyütme (a- Alaşım 1, b- Alaşım 2, c- Alaşım 3).

Çizelge 5.2. Alaşımli çelik numunelerin %teorik yoğunluk, %sinter sonrası yoğunluk %yoğunluk, %gözenek miktarı, %ferrit-perlit-martenzit-beynit oranları.

Bileşen	Teorik Yoğunluk (gr/cm ³)	Sinter Sonrası Yoğunluk (gr/cm ³)	Yoğunluk (%)	Beynit (%)	Ferrit (%)	Martenzit (%)	Gözeneklik (%)
Alaşım 1	7,8513	7,2782	92	59,8	20,9	19,3	7,4
Alaşım 2	7,8513	7,3358	93,4	58	6,3	35,7	6,6
Alaşım 3	7,8513	7,3847	94	48,1	4,5	49,4	6

Sinterleme prosesinden önce numunemizin yoğunluk değerleri ile sinterleme prosesinden sonra bulunan değerler Çizelge 5.2’de verilmektedir. Bu numunelerde ölçülen yoğunluk teorik yoğunluğa kıyasla daha küçüktür. Literatür bilgisine göre beklenen bir sonuçtur; çünkü toz metalurjisi yöntemiyle üretilen malzemelerin yapısında gözenekler bir miktar fazla bulunur. Gözeneklerin bulunması da malzemedeki yoğunluğu düşük tutmaktadır. Sinterleme yöntemi mekanik özellikleri iyileştirip yapıların birbirine tutunmasını sağlayarak mukavemeti ve yoğunluğu artırır. Gözenekler gerilimin yoğunlaştığı merkezler olarak davranırken, çatlak ilerlemesine de katkı sağlamaktadır (Gladman, 1960).

Birçok araştırma ve makalede gözenekliliğin dayanımı olumsuz yönde tesir ettiği belirtilmekle beraber bu gözeneklerin çok küçük ve küresel formda bulunması mekanik özellikleri düşürmediği gözlemlenmiştir (Saritas vd., 2007; Erden vd., 2014).

Çizelge 5.2’de numunelerin sinter sonrası yoğunluklarının ortalaması %93,14 olarak görülmektedir. Sinterleme sonrasında literatüre uygun olarak yoğunluk değerinde artış gözlenmiştir. Sinter prosesinde belirlenmiş bir sıcaklık ve uygulanan farklı sürelerde toz partiküllerinin birbirine bağlanması sağlanarak sinterleme tekniğinin ardından numunelerin yapısında yoğunluk artırılmış olur. Bunun sonucunda da malzeme sinterden öncesine kıyasla homojen bir yapıya sahip olur (Erden vd., 2016; Scade 2012).

Erden (2017) presleme basıncının toz metalurjisi ile üretilen alaşımsız çeliklere etkisi üzerine yaptığı araştırmasında, numuneleri 600-850 MPa aralığında preslemiştir. Numunelerin sinterleme sonrasında yoğunluklarının presleme basıncının artması ile genel olarak arttığını gözlemlemiştir. Elde ettiği sonuçlar merkeze alarak 750 MPa presleme basıncından sonra tozların yoğunluğunda önemli bir farklılığın ortaya çıkmadığı görülmüştür. Bunun neticesinde elde edilen yoğunluk değerleri incelendiğinde, yoğunluk başlangıçta artarken, gözenekler kapandıkça yoğunlaşmaya karşı direncin arttığı gözlenmiştir. Bu çalışmada sonuçlara istinaden presleme basıncı 750 MPa olarak belirlenmiştir (Sarıtaş, 2007).

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen alaşımlı çeliklerin SEM mikroyapı resimlerinde (Şekil 5.2) ortaya çıkan yapıları incelendiğinde ferrit, beynit ve martenzit fazlarından oluştuğu görülmüştür.

Nitekim Gething vd. (2005) araştırdıkları çalışmada, molibden toz metal çeliklerinin mekanik özellikleri üzerine Ni ilavesinin etkisini değerlendirmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar, eklenen Ni miktarının ağırlık olarak artmasıyla birlikte üretilen toz metal çeliklerin çekme dayanımı ve sertlik gibi mekanik özelliklerinde iyileşme gözlemlemişler. Bunun yanında mikroyapı incelemelerinde Ni içermeyen molibden çeliğinin mikroyapısının ferrit ve perlitten oluştuğu; ancak bu alaşımların içerisinde nikel miktarının ağırlık olarak %0-2 bulunması durumunda mikroyapıda daha sert fazların oluştuğunu ve nikel miktarı ağırlık olarak arttığında beynit ve martenzit fazlarının ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir (Tracey, 1992). Ayrıca Erden ve Taşcı yaptıkları çalışmada (2016), Nb-V çeliğine belirli oranlarla Ni ilavesi eklemiştir. Ağırlık olarak nikel ilavesinin artmasıyla mekanik özelliklerde iyileşme gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada vanadyum ağırlık oranı %0,05 olarak belirlenmiştir. Baker (2009) araştırmasında, vanadyumun çok küçük oranlarda çelik içerisine katılmasıyla ferrit tanelerinin sınırlarında çekirdeklenmesini arttırdığı ve küçük ferrit tanelerinin oluşmasını sağladığını söylemiştir. Ayrıca literatür incelendiğinde vanadyum elementinin çelik içerisine çok düşük oranda eklenmesi ferrit tanelerinin tane

sınırlarında çekirdeklenmesini artırdığı, bunun yanında küçük ferrit tanelerinin oluştuğuna zemin hazırladığı ile ilgili bilgiler bulunmaktadır (Hernandez vd., 2005).

Erden vd. yaptığı çalışmada (2018), malzemeye vanadyum ve niobyum alaşımı ilavesiyle çekme mukavemetinde artış olduğunu gözlemlemiştir. Molibden genellikle nitrürleme için kullanılır. Bu element sertleşebilirliği ve sürünme direncini artırır. Karbür oluşturunucudur. Niobyum tarafından nitrürler ve karbo-nitrür çökeltileri oluşur. Malzemelerin küçük tanelere sahip olmasını sağlar.

Bu çalışmada sinterleme süresinin artışıyla martenzit miktarında artış gözlemlenmektedir. Nitekim Nabeel (2008) araştırmasında, Fe parçacığının merkezinde Ni atomlar tarafından ulaşılmayan beynitik yapıya C ve Mo vasıtasıyla ulaşır. Ni zengin östenitik alanların 30 dakikalık sinterlemeden sonra bile mevcut olduğu, daha uzun sinterleme süresi sağlandığında martenzitik bölgelere dönüştüğü gözlemlenir. Daha uzun sinterleme süresi sağlandıkça, Ni bakımından zengin martenzit miktarı artar.

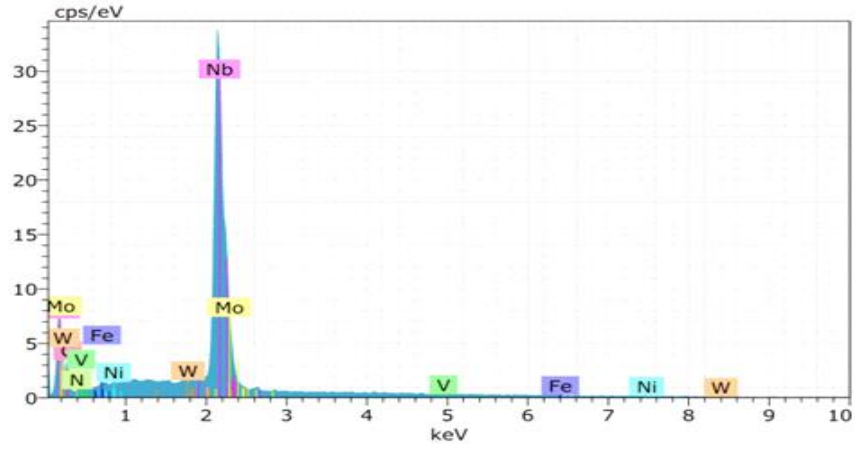
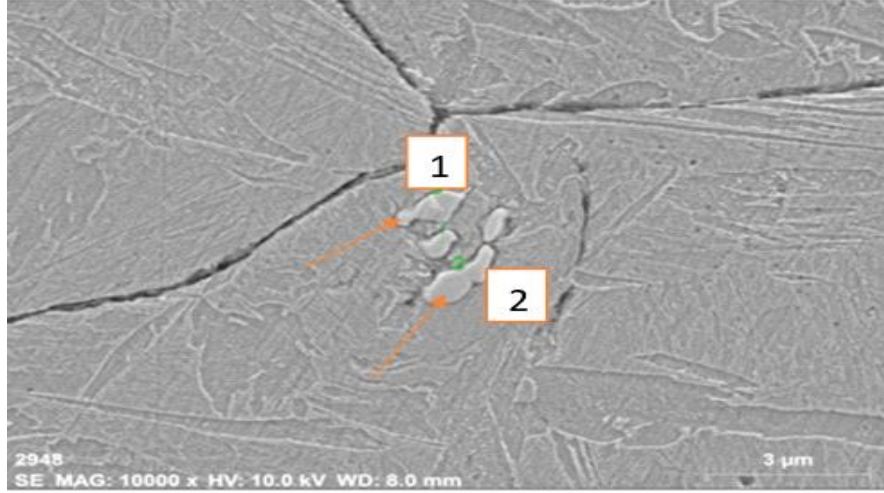
Sinterleme esnasında kimyasal kompozisyonda bulunan alaşım elementlerinin NbC(N), VC(N), WC(N), NbWC(N) ve NbVWC(N) gibi çökelti oluşturarak östenit tanelerinin büyümesini engellediği düşünülmektedir. Nitekim Özdemir vd. (2016) ve Gündüz vd. (2016) yaptıkları çalışmalarda Nb, V ve Ti gibi mikroalaşım elementi ilave ederek toz metalurjisi çelik üretimi gerçekleştirmiştir. Elde ettikleri sonuçlar incelendiğinde mikroalaşım elementi ilavesi ile üretilen malzemelerin akma, çekme ve sertlik dayanımlarında artış, tane boyutunda düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebini sinterleme sırasında ve sonrasında oluşan NbCN, VCN ve AlN gibi alaşım elementlerinin oluşturduğu çökeltilerin östenit tanelerinin büyümesini engellemesi olarak ifade etmektedirler. Ayrıca oluşan bu çökeltilerin çökelti sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi ve tane boyutu küçültme mekanizmaları ile dayanım artışına neden olduğu ifade edilmiştir.

Dobrzanski vd. (2006) yaptığı çalışmada, W-Nb-V ilaveli Ni- Mo çeliğinde uygulanan sinter işleminden sonra test edilen tüm malzemelerin SEM görüntüsünde özellikle büyük oranda martenzitin var olduğunu saptamıştır. Nitekim çalışmamızla bu durum

uyuşmaktadır. Tungsten miktarı ağırlıkça %0,1' den az ise, tungsten ilavesinin etkisi zayıf olurken ilave edilen miktarın ağırlıkça %5,0' i aşması yeniden sıkıştırılabilirliğini bozacaktır, bu nedenle kullanılacak tungsten miktarı ilave ağırlıkça %0,1 ile %5,0 aralığında olmalıdır.

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen 1400°C'de sinterlenmiş alaşımlı çelik numunelerin SEM mikroyapı resimleri ve EDS analiz sonuçları Şekil 5.8'de görülmektedir. Şekil 5.3'deki 1 saat sinterleme süresi uygulanan numunenin EDS görüntüsünde NbC çökeltisi tespit edilmiştir.

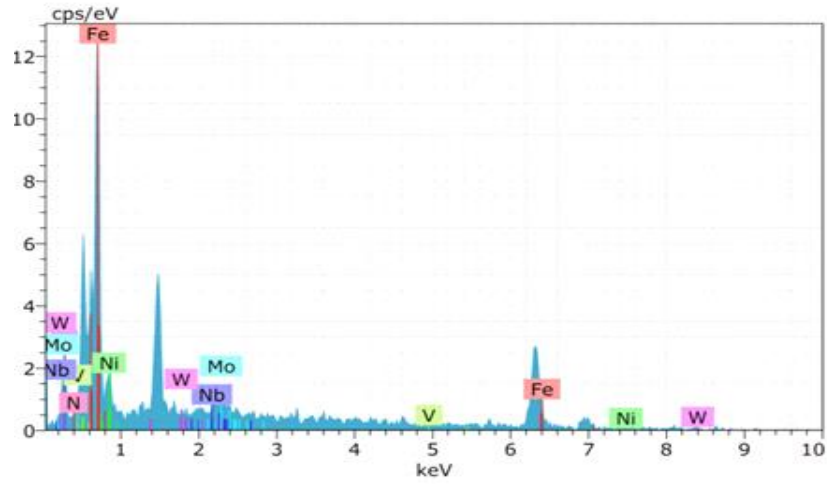
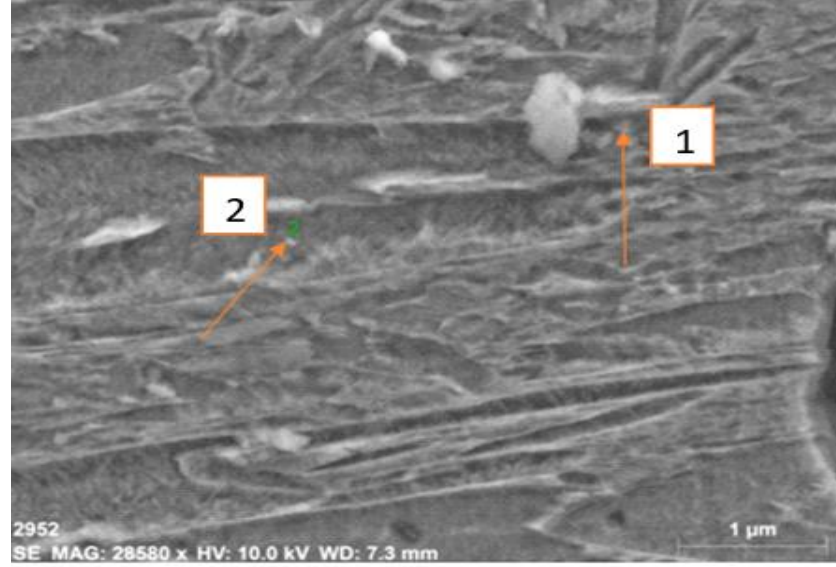
Çözelti içindeki mikroalaşım elementlerinin östenitin yeniden kristalleşmesine etkisi çok zayıftır. Çökelmiş partiküller ile tane sınırı hareketinin engellenmesi çözünen atomların etkisinden çok daha fazladır (Korchynsky, 1988). Yapılan mikroyapı, SEM ve EDS analiz sonuçlarında vanadyum ve niyobyum elementinin çözelti içinde ve çökelmiş partikül şeklinde bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen nokta EDS analiz sonuçları literatürdeki çalışmalarda görüldüğü gibi VC(N) ve NbC(N) gibi çökeltilerin TM çeliklerinde oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca yapılan çalışmada üretilen TM çeliklerinin içerisinde argon atmosferinde sinterlenmelerine rağmen azot tespit edilmiştir. Azotun çeliklerin üretiminde ve sinterleme sırasında ortamdan kaynaklı olarak nitrürlerin oluşmasına zemin hazırladığı düşünülmektedir.



Spektrum	C (%ağ.)	N (%ağ.)	V (%ağ.)	Mo (%ağ.)	Fe (%ağ.)	Ni (%ağ.)	Nb (%ağ.)	W (%ağ.)
1	10.13	2.35	0.03	0.00	2.19	0.43	84.40	0.58
2	10.79	1.58	0.27	0.00	2.62	0.44	83.83	0.47

Şekil 5.3. Alaşım 1'den alınan Nokta EDS sonuçları.

Alaşım 1'nin SEM mikroyapısı görüntüleri üzerinde EDS incelemeleri yapıldığında 1 numaralı spektrumda NbWC(N), 2 numaralı spektrumda NbWVC(N) gibi çökeltilerin olduğu düşünülmektedir. Karbür ve nitür oluşturucu elementleri arasında yer alan Nb elementinin en önemli özelliği kuvvetli karbür ve nitür yapıcı olmalarından dolayı bu beklenen bir sonuçtur.



Spektrum	C (%ağ.)	N (%ağ.)	V (%ağ.)	Mo (%ağ.)	Fe (%ağ.)	Ni (%ağ.)	Nb (%ağ.)	W (%ağ.)
1	13.81	1.14	0.00	3.87	72.80	7.91	0.29	0.22
2	26.71	0.00	0.00	2.74	69.90	6.61	0.04	0.00

Şekil 5.4. Alaşım 2'den alınan nokta EDS sonuçları.

Alaşım 2'nin SEM mikroyapı görüntüleri üzerinden alınan EDS analizleri incelendiğinde 1 ve 2 numaralı spektrumların NbV(N), NbC(N), WVC(N), NbWC(N), VNbWC(N) gibi çökeltilerinin oluştuğu düşünülmektedir.

Kostrzyhev vd. göre (2014), niobyum çelik içerisine eklenildiğinde SEM ve EDS incelemeleri sonucunda içerisinde NbC(N) çökeltileri tespit etmiştir. Oluşan bu

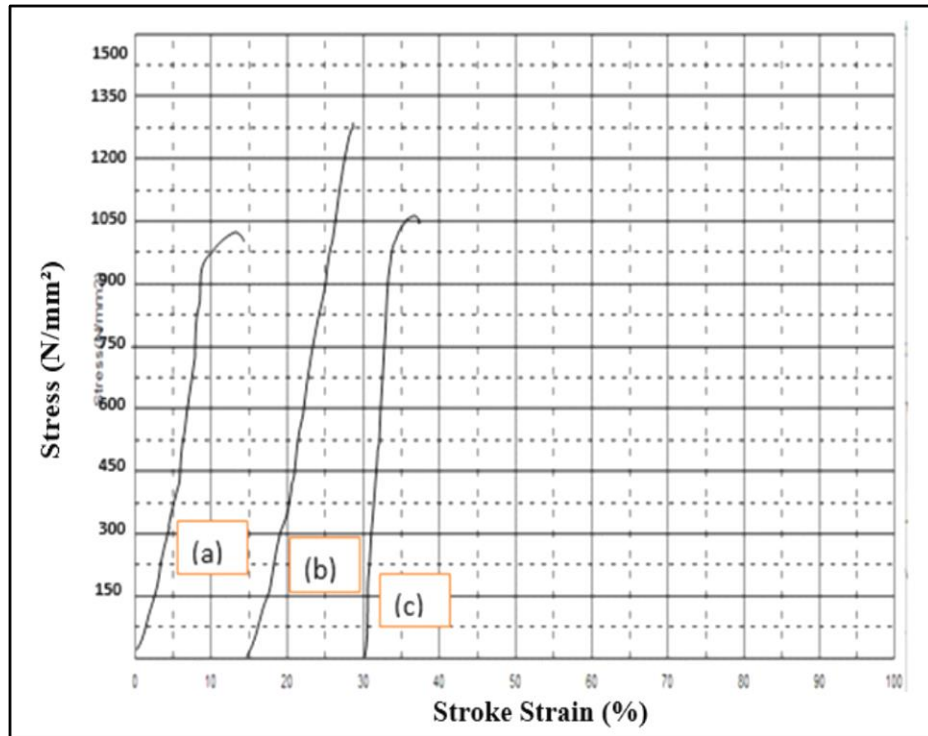
çökeltiler yeniden kristallemeyi ve östenit tane büyümesini engellediğini, bunun yanında çökelti sertleşmesi ile malzemenin dayanımını artırdığını belirtmiştir.

Sinterleme prosesi sırasında kullanılan %90 Azot ve %10 Hidrojen karışım gazından geldiği düşünülen azotun yüzeyin her bir noktasında bulunmadığı görülmektedir.

5.4. MEKANİK TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.4.1. W-V-Nb ilaveli Ni-Mo Çeliğinin Çekme ve Sertlik Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Toz metalurjisi tekniğiyle üretilen alaşımlı çelik numunelerin çekme ve sertlik testi sonuçları Çizelge 5.3'te, çekme testi grafiği de Şekil 5.12'de yer almaktadır.



Şekil 5.5. Numunelerin gerilme-yüzde uzama grafiği tablosu a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3.

Çizelge 5.3. 1400°C’de farklı sürelerde sinterlenmiş numunelerin maksimum çekme dayanımı, % uzama ve sertlik değerleri.

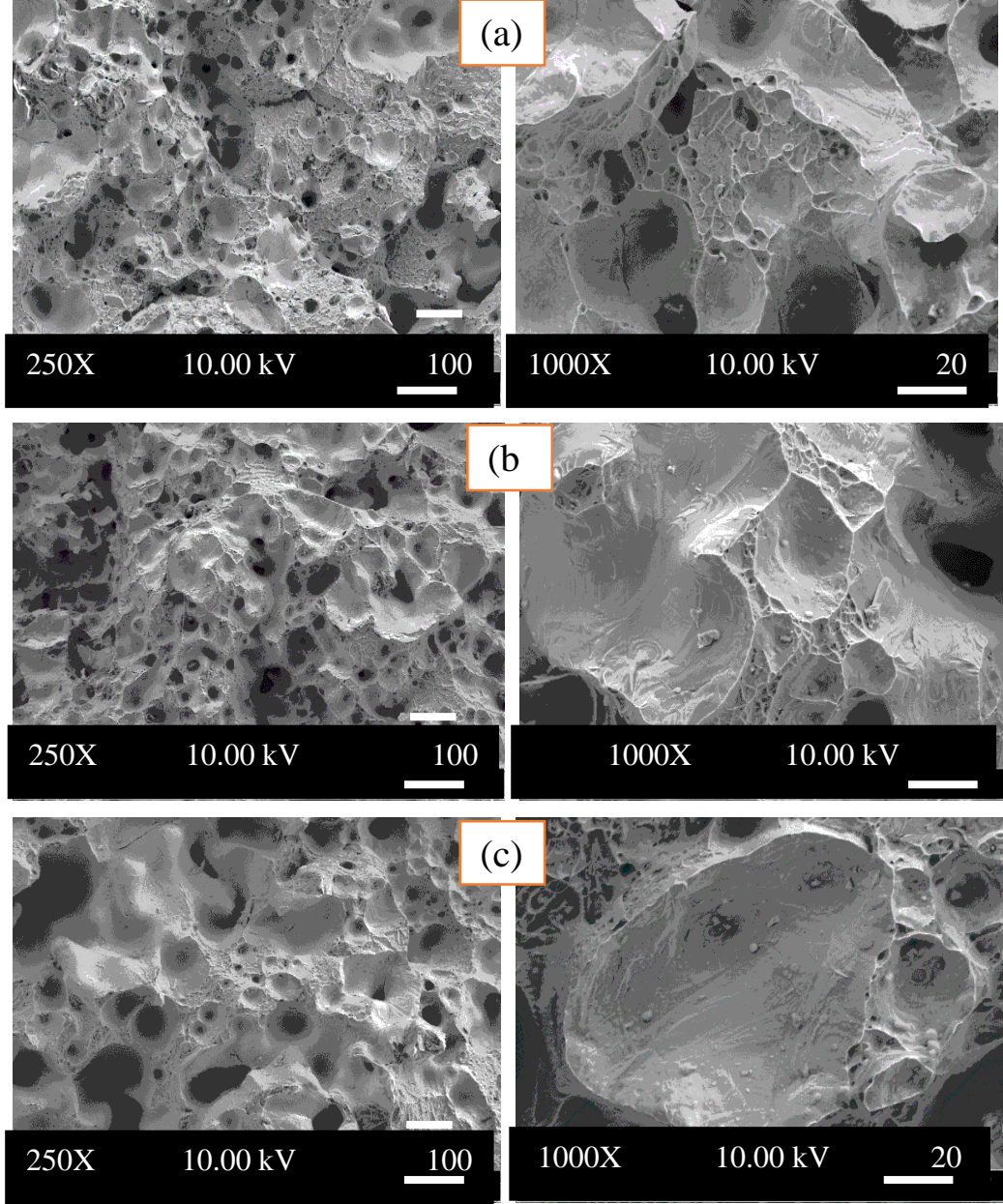
Bileşen	Sertlik (Hv1) (sertlik)	Max. Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
Alaşım 1	434	990	11.3
Alaşım 2	509	1277	13.24
Alaşım 3	484	1061	11.73

Ayvacı'nın (2019) yaptığı çalışmada, malzemede molibden ilavesi belirli orana değin akma ve çekme dayanımını arttırmıştır. Belirli bir değerden sonra da düşüşe geçmesi gözlemlenmiştir. Numunenin içerisine ağırlık olarak %3 Molibden ilavesine kadar eklemelerde dayanımda yükseliş gözlenmiştir. Ağırlık olarak %3 Molibdenden sonra dayanım doğrusal olarak azalmaya başlamıştır. %3 Molibden ilavesine değin tane sınırlarında ve matriste sinterleme prosesi esnasında ve sonrasında meydana gelen MoC, MoN ve MoC(N) gibi çökelti ile çökelti sertleşmesi, kümeleşme sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi, tane boyutu küçültme mukavemet artırıcı mekanizmaları ile dayanımda artış gözlenmiştir. Nitekim Özdemir vd. (2016) ve Gündüz vd. (2016) yaptıkları çalışmalarda alaşımsız çeliğe ağırlık olarak %4 ve %5 Molibden ilavesiyle mekanik özelliklerde düşüşün gözlemlendiğini söylemişlerdir. Bunun sebebinin tane sınırlarına MoC(N) çökeltilerinin aşırı şekilde yığıldığı ve çökeltilerin mekanik özellikleri düşürdüğü olarak açıklamaktadırlar.

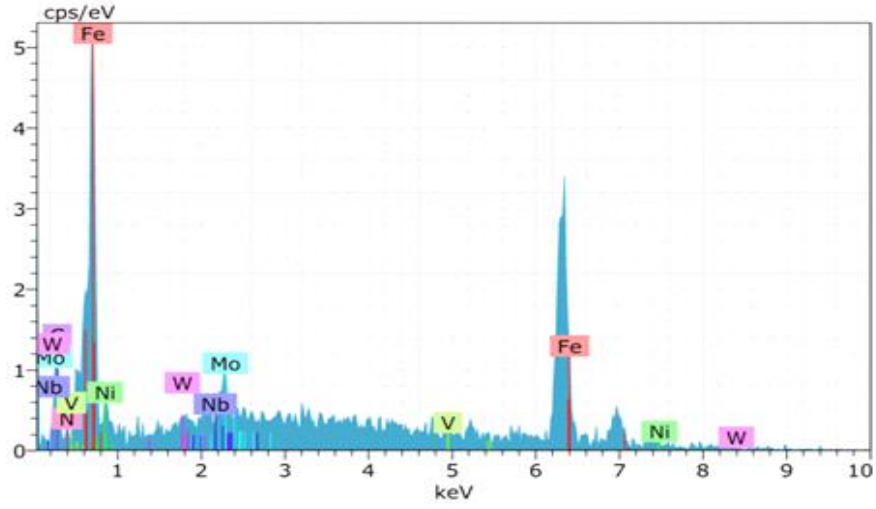
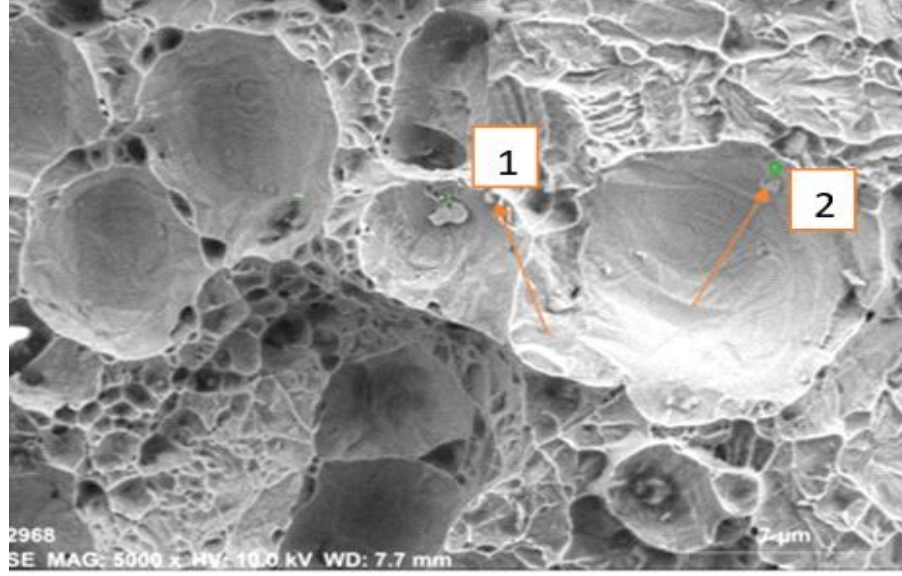
1400°C’de sinterleme süresinin çekme mukavemetine etkisini incelediğimiz çalışmada aynı kimyasal içeriklere sahip numunelere bir, iki ve üç saat sinterleme işlemi uygulanmıştır. En yüksek çekme dayanımı Çizelge 5.3’te görüldüğü üzere Alaşım 2’deki 2 saat sinterleme süresinde gözlemlenmiştir. Sinterleme süresi arttıkça çekme mukavemetinde artış gözlenirken sinterleme süresi üç saate çıktığında (Alaşım 3) düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca sinterleme süresi arttıkça Çizelge 5.2’de görüldüğü üzere gözeneklerde düşüş gözlemlenmiştir. Nitekim Muralithran ve Ramesh (2000) çalışmasında, sinterleme süresi arttıkça tane büyümesinin ve gözeneklerinin azaldığı, bu da parçanın daha yoğun olmasına neden olduğunu gözlemlemiştir. Tane büyümesi kritik tane boyutunu aşarsa, mekanik özelliklerin bozulacağını belirtmiştir.

Kamey (1991) göre, Niobyum ve Molibden alaşımının yüksek sıcaklıkta malzemeye ilavelerinde mukavemetini arttırdığı bulunmuştur. Bu ilavelerin belirli bir oran dahilinde yapılması öngörülür. Bu ifadeleriyle çalışmamız uyuşarak literatürle desteklenmektedir.

şekil 5.6 ve şekil 5.7’de görüldüğü üzere gerçekleştirilen SEM kırık yüzey analizlerinde gözeneklerin yoğun ve belirgin bir şekilde olduğu görülmektedir. Kırılmaların, belirgin olan bu gözeneklerin birleşip ilerlemesiyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Gevrek kırılmalara rastlanmaktadır. Literatürde bu durumu destekleyen çalışmalar bulunmaktadır. Alaşım miktarının artması ile gevrek kırılmanın olduğunu gösteren ayrılma düzlemlerinin arttığı görülmektedir. Erden vd. (2017) ve Gündüz vd. (2016) uyguladıkları çalışmalarda bu özellikleri tespit etmişlerdir. Bunun yanında SEM kırık yüzey resimlerinde görülen büyük boşlukların sebebinin çekme testi sırasında kopma esnasında nitrür ve karbür çökeltilerin parçadan ayrılması esnasında oluşturduğu öngörülmektedir (Shanmugasundaram and Chandramouli, 2009).



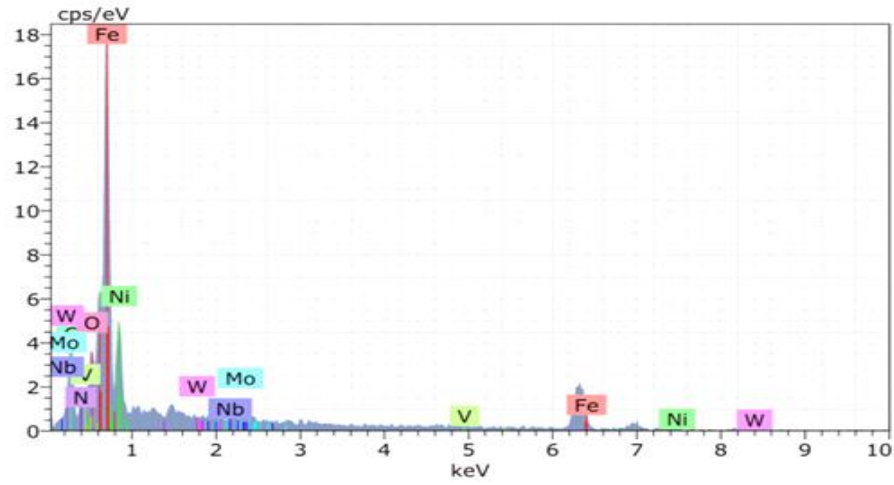
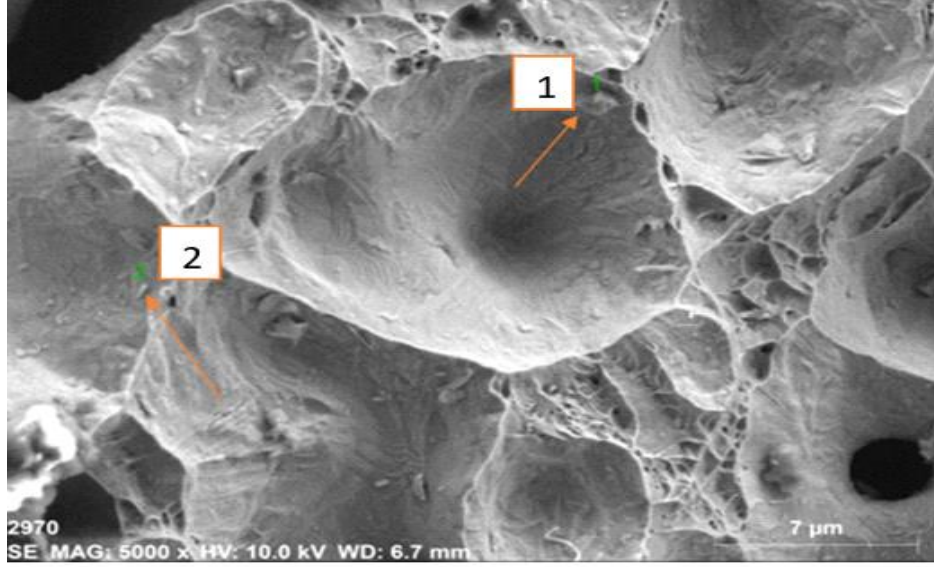
Şekil 5.6. Numunelerin kırık yüzey görüntüleri a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3.



Spektrum	C (%ağ.)	N (%ağ.)	V (%ağ.)	Mo (%ağ.)	Fe (%ağ.)	Ni (%ağ.)	Nb (%ağ.)	W (%ağ.)
1	4.14	0.00	0.00	0.70	94.34	0.46	0.00	0.44
2	4.99	0.00	0.43	0.17	91.23	3.18	0.00	0.00

Şekil 5.7. Kırık yüzey EDS analiz görüntüleri alaşım 1.

Şekil 5.7’de Alaşım 2’nin kırık yüzeyinden alınan EDS incelemeleri sonrası 1 numaralı ve 2 numaralı spektruma bakıldığında WMoC ve MoC çökeltilerinin oluştuğu düşünülmektedir. Çökeltilerin tane sınırında yığılması gözenek miktarında bir artışa neden olmuştur.



Spektrum	C (%ağ.)	N (%ağ.)	V (%ağ.)	Mo (%ağ.)	Fe (%ağ.)	Ni (%ağ.)	Nb (%ağ.)	W (%ağ.)	O (%ağ.)
1	18.16	28.97	25.48	1.80	6.55	1.76	0.00	0.86	16.55
2	4.77	0.00	0.08	0.49	91.48	1.76	0.00	0.00	1.41

Şekil 5.8. Kırık yüzey EDS analiz görüntüleri alaşım 2.

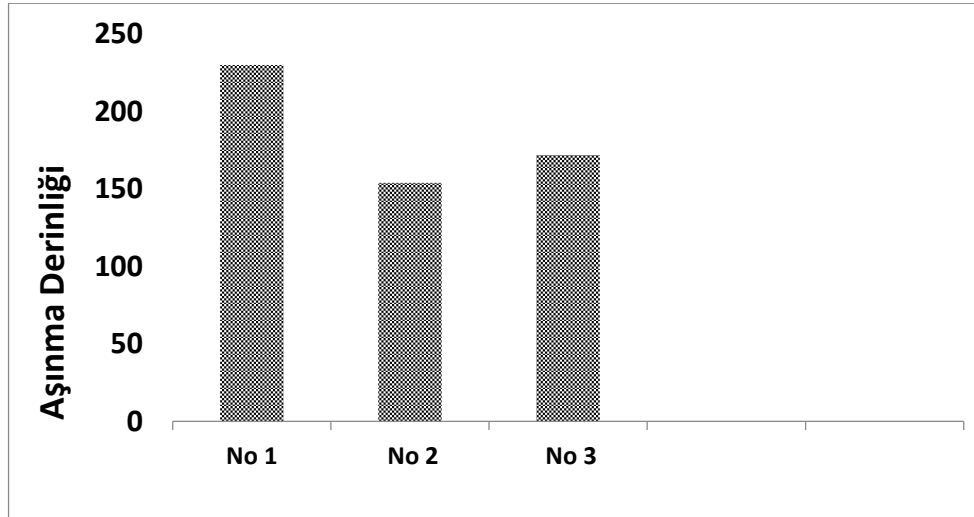
Şekil 5.8’de Alaşım 2’nin kırık yüzeyinden alınan EDS analizinde 1 numaralı spektrumda VMoWCN, VCN çökeltisinin oluştuğu düşünülmektedir. Spektrum 2’de MoC ve MoVC çökeltilerinin oluştuğu düşünülmektedir. Gündüz vd. (2016) çalışmasında, çelik malzemeye Nb-V alaşımı ilave edip SEM ve EDS görüntülerini incelemişlerdir. VC(N) ve NbC(N) çökeltilerinin oluştuğunu tespit etmişlerdir. Oluşan bu çökeltilerin dayanımı artırdığını bulmuşlardır.

5.4.2. Aşınma Test Sonuçları ve Değerlendirilmesi

1400°C’de sinterleme prosesine tabi tutulan toz metalürjisiyle üretimi gerçekleştirilen numunelerin aşınma deneyi sonuçları Çizelge 5.4’te verilmiştir. Grafikleri ise ağırlık kaybı grafiği Şekil 5.16’da, aşınma derinliği grafiği ise Şekil 5.17’de yer almaktadır.

Çizelge 5.4. 1400 C’de sinterlenen TM çeliklerinin aşınma deneyi sonuçları.

Bileşen	Aşınma Derinliği (μm)
Alaşım 1	230
Alaşım 2	154
Alaşım 3	172

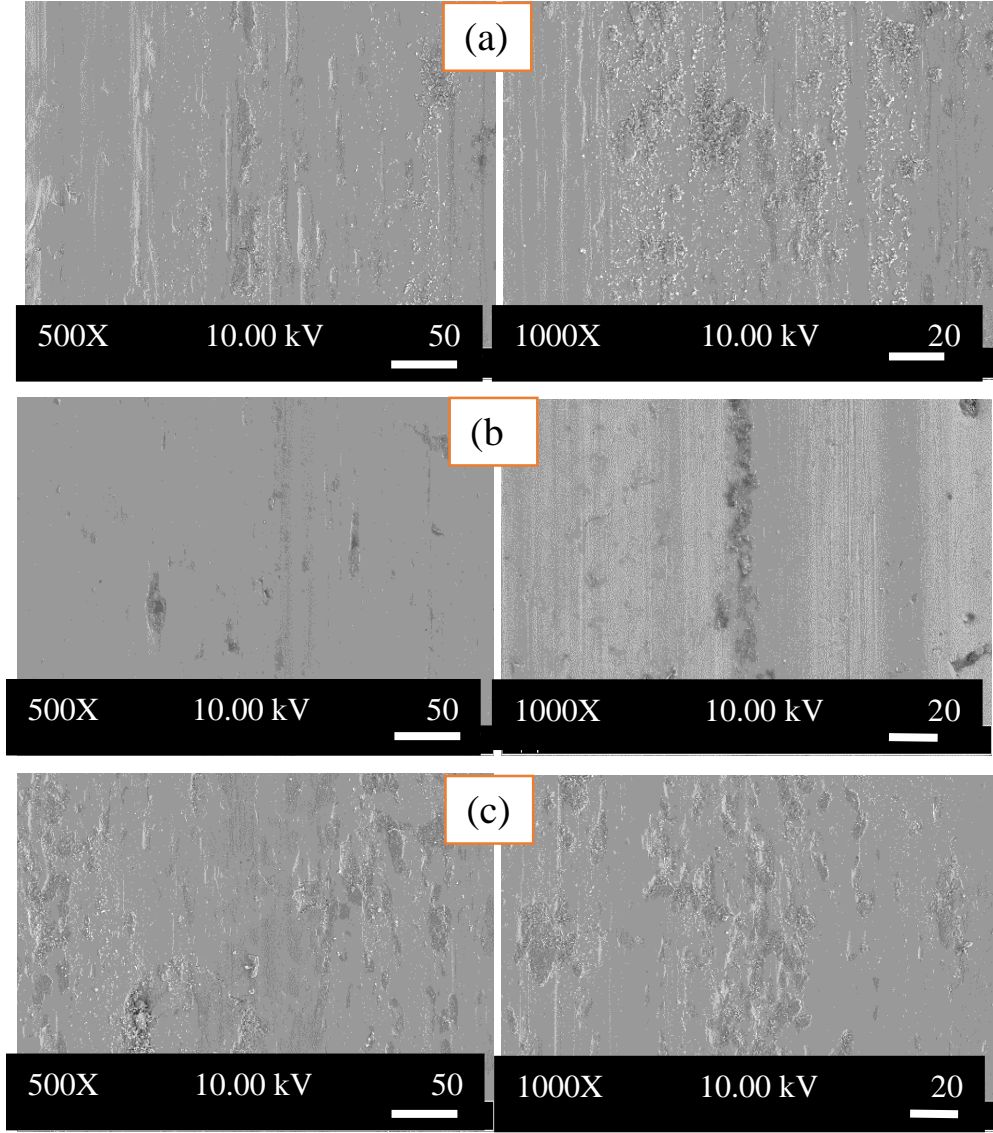


Şekil 5.9. TM ile üretilen numunelerin aşınma deneyinde oluşan aşınma derinliği grafiği.

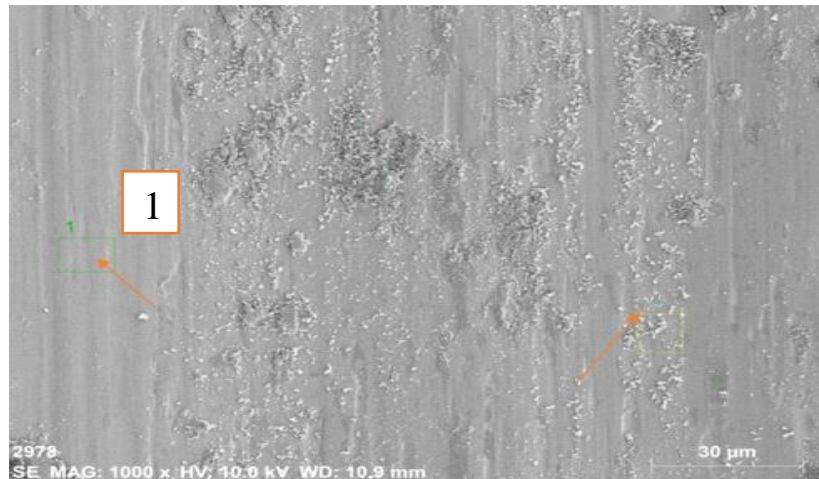
Çizelge 5.4.’te toz metalürjisi ile üretilen numunelere uygulanan aşınma deneyi sonucunda elde edilen değerler görülmektedir. Şekil 5.9’da görüldüğü üzere aşınma derinliği değerleri incelendiğinde çekme dayanımı ve sertlik sonucuyla uyumluluk gösterdiği görülmektedir. Alaşım 1’in aşınma derinliği 230 (μm) iken Alaşım 2’in aşınma derinliği 154 (μm)’e inmiştir. Sinterleme süresinin iki saate çıkması numunenin sertlik ve çekme dayanımının artmasından dolayı aşınma derinliğini düşürmüştür. İncelendiği üzerine de çekme dayanımı sonuçlarıyla doğru orantılı

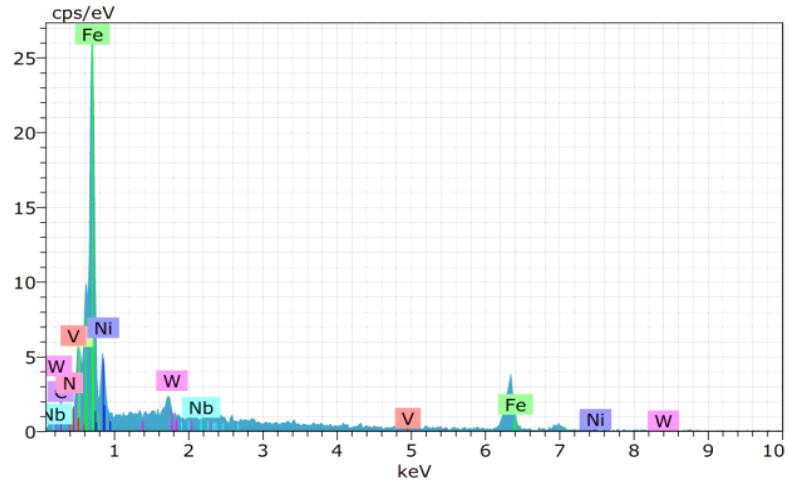
şekilde en az aşınma derinliği görülen ve en az ağırlık kaybına maruz kalan numunenin Alaşım 2'ye ait olduğu görülmüştür.

1400 °C'de sinterlenmiş olan V, Nb ve W alaşımlı Ni-Mo çeliği 10N'luk kuvvetler altında uygulanan aşınma deneyi sonrası X500 ve X1000'de aşınan yüzey görüntüleri ayrı ayrı alınmıştır. Alınan aşınma yüzeyi görüntüleri Şekil 5.10'da, EDS incelemeleri ise Şekil 5.11 ve 5.12'de gösterilmiştir. Görüntüler incelendiğinde aşındırıcı bilyenin genel olarak kayma yönüne paralel çizgiler oluşturduğu görülmektedir. Bu çizgiler toz metalurjisi yöntemiyle üretilen çeliğin abrasiv aşınma mekanizmasına maruz kaldığını göstermektedir (Taşlıyan, 2020). Aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntülerinde bütün malzemelerde aşınma kanallarının olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kayma mesafesi ve uygulanan yük miktarının artmasına bağlı olarak aşınma çizgilerinin daha derin ve genişlediği görülmektedir. Şekil 5.10'da toz metalurjisi yöntemiyle üretilen numunelerde aşınma yüzey resimlerinden alınan SEM EDS analiz sonuçlarında Ni, Nb, W ve V elementlerinin aşınma yüzeyi üzerinde partikül şeklinde ve matris içerisinde bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nokta EDS analiz sonuçları bu çökeltilerin Nb, V, Ni, W ve C elementlerini içermesinden dolayı NbC, VC, WC, NbN, VN, NiN, WN, NbCN, VCN ve WNC çökeltilerinin oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 5.10. 1400°C’de sinterlenen farklı bileşimine sahip numunelerin 500X ve 1000X büyütmede alınan SEM aşınma yüzey resimleri a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3.



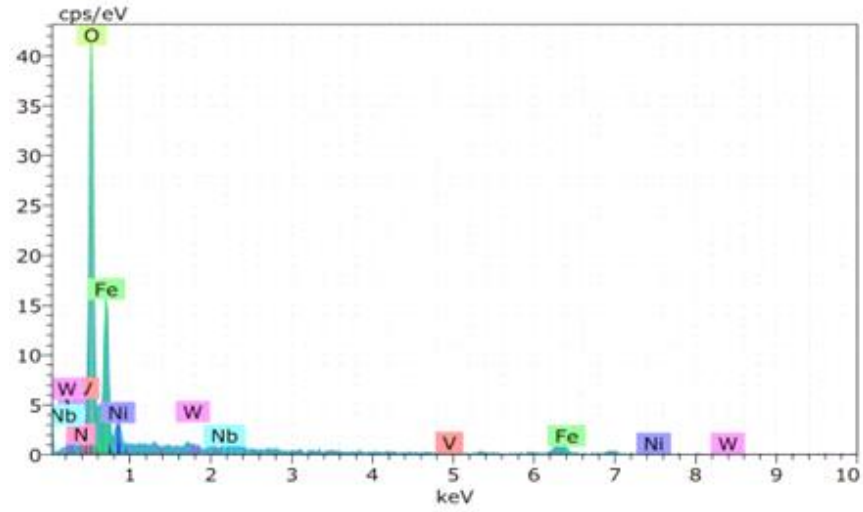
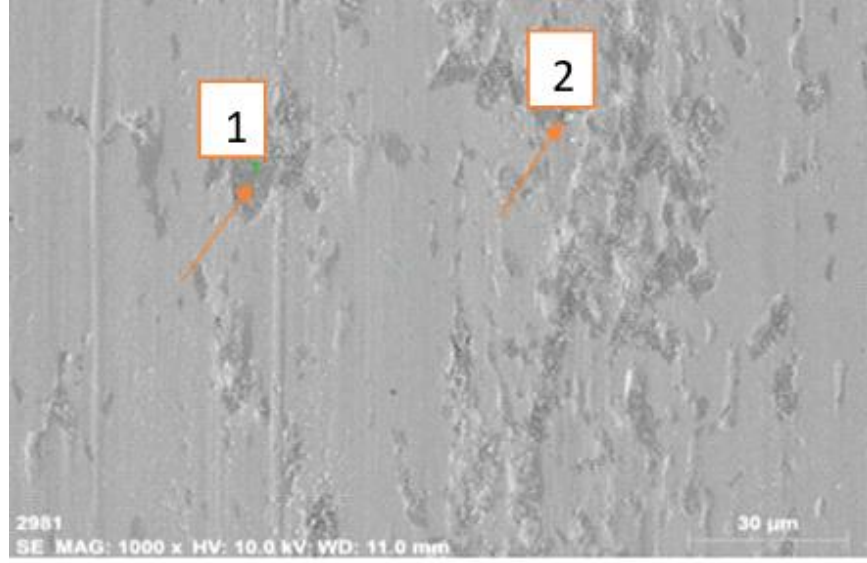


Spektrum	C (%ağ.)	N (%ağ.)	O (%ağ.)	V (%ağ.)	Fe (%ağ.)	Ni (%ağ.)	Nb (%ağ.)	W (%ağ.)
1	4.13	1.16	7.73	0.00	70.52	14.13	1.14	1.37

Şekil 5.11. Alaşım 1 aşınma yüzeyi nokta EDS incelemeleri.

Şekil 5.11’de Alaşım 1’in aşınma yüzeyinde yapılan EDS incelemelerinde ise 1 numaralı spektrumda Ni-W-Nb(CN) çökeltisinin var olduğu düşünülmektedir.

Özdemirler vd. (2016) yaptıkları çalışmada, ilave ettikleri Nb-V alaşımlarının SEM ve EDS görüntülerini incelendiklerinde, ürettikleri numunelerde demir ve karbon içermesinden dolayı Fe_3C çökeltilerinin, niyobyumun ve vanadyumun çelik içerisinde bulunması ile NbC(N) ve VC(N) çökeltilerinin oluştuğu tespit edilmiş. Oluşan bu çökeltilerin tane boyutu küçültme ve çökelti sertleşmesi gibi mukavemet artırıcı mekanizmalar ile malzemenin dayanımında artış olduğunu belirtilmiştir.



Spektrum	C (%ağ.)	N (%ağ.)	O (%ağ.)	V (%ağ.)	Fe (%ağ.)	Ni (%ağ.)	Nb (%ağ.)	W (%ağ.)
1	6.86	0.00	48.09	0.31	35.90	7.78	0.64	0.42
3	4.16	0.00	45.19	0.01	45.30	4.98	0.00	0.36

Şekil 5.12. Alaşım 3 aşınma yüzeyi nokta EDS incelemeleri.

Şekil 5.12’de Alaşım 3’ün aşınma yüzeyinden alınan EDS incelemesinde 1 ve 2 numaralı spektrumlarda görüldüğü üzere WVC, NbVC, VC gibi çökeltilerin oluştuğu düşünülmektedir. Atmosfer şartlarının açık bir ortamda yapıldığı için büyük oranda Oksijen çökeltisinin oluşu beklenen bir durumdur.

5.5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.5.1. Genel Sonuçlar

Çalışmada, ağırlık olarak aynı kimyasal kompozisyonlara sahip Alaşım 1, Alaşım 2 ve Alaşım 3 (Fe-Ni-Mo-W-Nb-V) toz metalürjisi çeliklerine soğuk presleme prosesi uygulanmıştır. Ardından argon atmosferi aracılığıyla 1400°C’de sinter etkisini inceleyebilmek için Alaşım 1 bir saat, Alaşım 2 iki saat ve Alaşım 3 üç saat bekletildikten sonra oda sıcaklığına kadar 5C°/dak. Hızla soğutulmuştur. Elde edilen numuneye sinterleme süresinin etkisi analiz edilmiştir. İki saat sinterleme süresi optimum olarak bulunmuştur. Bu üretilen alaşımların mikroyapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Aşağıda açıklanan sonuçlar bahsi geçen çalışmadaki değerlere göre yorumlanmıştır.

- Toz metalürjisi yöntemiyle Nb-V-W ilave edilen Ni-Mo çeliği üretimi yapılmıştır.
- 1400°C’de iki saat sinterlenmiş numuneler en yüksek mekanik özellik olarak belirlenmiştir. Martenzit ve beynit yapılarının değerleri de yükselmiştir.
- 1400°C’de numuneye uygulanan sinterleme süresi iki saate kadar çekme değerinde artış göstermiş iki saat sinterleme süresinden sonra düşmeye başladığı gözlemlenmiştir.
- 1400°C’de bir saat sinterleme süresinde mikroyapıda ferrit ve beynit gözlemlenmiştir. Sinterleme süresi iki saate çıktığında ferrit miktarı azalmış, beynit ve martenzite rastlanmıştır. Sinterleme süresi üç saate çıktığında ise ferrit yapısı büyük oranda yerini martenzite bırakmış beynit de azalmıştır. Gerekli literatür çalışmasında sonuç doğrulanmıştır.
- Elde edilen numunelerin sinterleme sonrasında yoğunluğu ortalama %93,14 olduğu hesaplanmıştır. Sinterleme sonrasında hesaplanan değerlerde artış olduğu gözlemlenmiştir. Sinterleme süresi arttıkça bu artışın daha belirgin olduğu ortaya çıkmıştır.

- Boşluk ve yoğunluk hesabında elde edilen değerler incelendiğinde sinterleme süresi arttıkça gözenek miktarında azalma görülmüştür. Sinterlemenin etkisi literatürle uyuşmaktadır.
- Toz metalurji tekniğiyle üretilmiş numunelerin EDS analizleri Ni, Mo, Nb, V, W, C ve N elementlerini ve bu elementlerin oluşturmuş olduğu MoC(N), WC(N), VC(N) ve NbC(N) gibi çökeltilerin demir matris içinde bulunduğunu ortaya çıkarmaktadır.
- (Mo-Ni-W-Nb-V) alaşımları ilave edilerek toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Sinterleme prosesi esnasında veya sinterleme sonrasındaki soğutma sırasında ortaya çıkan çökelti sertleşmesi ve katı ergiyik sertleşmesi numunenin mukavemetini artırmaktadır.
- Aşınma deneyi değerleri çekme dayanımı sonuçlarıyla doğru orantılı şekilde en az aşınma derinliği görülen numunenin çekme dayanımı en yüksek olan Alaşım 2'ye ait olduğu görülmüştür.

5.5.2. Öneriler

- Üretilen numunelere yorulma testi uygulayarak yorulma davranışı incelenebilir.

KAYNAKLAR

Akoral, E., “Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve İslenebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,10-45 (2003).

Alpugan, Z, “T/M’de Presleme Tekniği ve Nükleer Yakıt (UO₂) Üretimine Uygulanması”, *Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, TÜBİTAK (1981)*.

Askeland, D. R., “The Science and Engineering of Materials”, 3th edn 329, London, *Chapmen and Hall* (1996).

Aşkun Y., Hasırcı H., Şeker U., “Ni ve Cu ile Alaşımlandırılmış Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Kaliteleri Açısından Değerlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1): 191-199, (2003).

Ataş, A., “Alaşımli Demir Tozu Peletlerinin Sinterleme Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü., F.B.E*, İstanbul (2003).

Aydın, Ş., “Toz Metalurjisi Yöntemleri İle Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara (1997).

Aydın, M., Yetkin, H., “MMK Üretiminde Farklı Tasarımlardaki Karıştırıcıların Etkisinin Araştırılması”, *Teknoloji Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, 3946 (2006).

Baker T.N., “Process, microstructure and properties of vanadium microalloyed steels”, *Mater.Sci.Tech..* 25, 1083-1107 (2009).

Balın, A., “Sıcak Presleme Tekniğiyle Üretilen CoCrMo Toz Alaşımının Sinterleme Sıcaklığının Mikroyapı Üzerine Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi*, Elazığ (2011).

Beddow, J.K., “The production of metal powders by atomization”, *Heyden and Sonc Inc.*, Philadelphi (1978).

Bocchini, G. F., and Lindskolog, P. F., “Applications and Developments of Sintered Ferrous Materials” Powder Metallurgy-An overview”, *The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy*, 287 (1991).

Boz, M., “Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme-Aşınma Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi**, Ankara (2003).

Champange, B., Angers, R., Fiset, M., “Characteristics of powders produced by rotating electrode process”, **MPR** (1984).

Çamlıdere, T., “Kromit, Ferrokrom, İnsan Kaynakları ve Paslanmaz Çelik”, Eti Krom AŞ. Darboğaz Raporu, **Eti Holding AŞ.**, Ankara (1999).

Çeviker, I., “Mikroalaşımli Dövme Çeliklerde Mikroyapısal Karakterizasyon ve Mikroyapı Özellikler İlişkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (1991).

Demir, A., “Toz Metal Bir Çeliğin Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi**, F.B.E, Ankara (1992).

Dobrzański, J. Otręba, M. Actis Grande, M. Rosso., "Microstructural characteristic and mechanical properties of Ni-Mo-(W) steels", **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering** (2006).

Dokumacı, E. ve Önay, B., “Oxidation behavior of Mo containing alloys”, **Materials Science Forum**, 595, 959-966 (2008).

Erden, M. A., “The Effect of the Sintering Temperature and Addition of Niobium and Vanadium on the Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed PM Steels.” **Metals**, 7(9), 329 (2017).

Erden, M.A., Taşçı M.T., “Toz Metalürjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Ni İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi”, **Politeknik Dergisi**; 19 (4): 611-616 (2016).

Erden, M.A., “Toz metalürjisi ile üretilen çeliklerde nikel ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisinin araştırılması”. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, Part C: Tasarım ve Teknoloji, 4(4): 245- 241 (2016).

Erden, M.A., Barlak, S., Adalı, B., Çelikkıran, Ö., “Toz Metalürjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Vanadyum İlavesinin Mikroyapı Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi”., **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi** (2018).

Ersümer, A., “TM Sert Metal Sinterleme”, **İstanbul Üniversitesi Matbaası**, İstanbul, 24-50 (1970).

Evcin, A., “Toz Üretim Teknikleri Ders Notları”, **Afyon Kocatepe Üniversitesi**, Afyon (2007).

German, R. M., “Powder Metallurgy Science, Second Edition”, **Metal Powder Industries Federation**, Princeton. NJ. USA (1994).

German, M., R., “Sintering Theory and Practice”, *Wiley-Interscience*, Newyork, (1996).

German R. M., Sarıtaş S., Türker M., Durlu N., “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, Birinci Basım, *Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları*, Ankara, (2007).

Gething, B. A., Heaney, D. F., Koss, D. A., Mueller T. J., “The Effect of Nickel on the Mechanical Behavior of Molybdenum P/M Steels”, *Materials Science and Engineering A*, 390: 19–26, (2005).

Gladman, T., “The physical metallurgy of microalloyed steels”, *The Institute of Materials*, England, 1, 341 (1997).

Gladman, T. and Woodhead, J.H., The accuracy of point counting in metallographic investigations, *Journal of the Iron Steel*, 194:189-194, (1960).

Gökmese, H., Bostan, B., “AA 2014 Alaşımında Presleme ve Sinterlemenin Gözenek Morfolojisi ve Mikroyapısal Özelliklere Etkileri”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Part C: Tasarım ve Teknoloji, 1(1), 1-8 (2013).

Gryczka, T., Humbeeck, J.V., “Characterization of A NiTiCu SMA Produced by Powder Technology”, *Journal of Alloys and Compounds*, 456, 194-200 (2008).

Gündüz, S., Erden, M. A., Türkmen, M., and Karabulut, H., “The effect of V addition on the microstructure and mechanical properties of low carbon microalloyed powder metallurgy steels”, *Materials Testing*, 58 (5): 433-437 (2016).

Hammes G., Binder C., Galiotto A., Klein A. N., Al-Qureshi H. A., “Relationship Between Cold Isostatic Pressing and Uniaxial Compression of Powder Metallurgy”, *Universidade Federal de Santa Catarina*, (2014).

Hannane, N., “Einflu der Prozepparameter bei der thermomechanischen Behandlung mikroligierter Stähle für Flachprodukte”, Dissertation, *RWTH Aachen*, (1989).

Hernandez, D., Lopez, B.,Rodrigez-Ibabe, J.M.. “Ferrite grain size retirement in vanadium microalloyed structural steels.” *Materials Science Forum*, 500-501,411-418 (2005).

Hiçyılmaz, N., “Toz Metalurjisi Yöntemi ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara (1999).

Kalathur S. N. and Frederick J.S.,“Sintering of powder premixes, a brief overview” *Hoeganaes Corporation*, 1001 Taylors lane, Cinnaminson, NJ 08077, Paper No. 2007-01-0145 (2007).

Karabulut H., “Mikroalaşımli çeliklerde yaşlanma sertleştirmesinin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 3-60 (2004).

Kınıkoğlu, N.G., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını*, Mart Matbaacılık, 65, 855s. İstanbul (2001).

Kim, N. J., “The Physical Metallurgy of HSLA Line Pipe Steels”, A Review, *J. Metals*, pp. 21-30 (1983).

Kostrzyhev, A. G., Al Shahrani, A., Zhu, C., Cairney, J. M., Ringer, S. P., and Killmore, C. R., “Effect of niobium clustering and precipitation on strength of an NbTi 86 microalloyed ferritic steel”, *Materials Science and Engineering: A*, 607: 226–235 (2014).

Kurt. A., “Toz metal bronz yatak malzemelerin özellikleri”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1992).

Lenel F., “Powder metallurgy—principles and applications”. Princeton, NJ: *Metal Powder Industries Federation Publishers* (1980).

Mcenaney B., Timothy D. Burchell(Eds.) Carbon Materials for Advanced Technologies, 1 - Structure and Bonding in Carbon Materials, *Elsevier Science Ltd*, 1-33 (1999).

Matthew, J., and Donachie, Jr., “Titanium: A Technical Guide”, Metals Park, OH: *ASM International*, p.11 (1988).

Muralithran G, Ramesh S. “The effects of sintering temperature on the properties of hydroxyapatite.” *Ceram, Int*, (2000).

Nabeel, M. “Diffusion of Elemental Additives during Sintering”, Master Thesis Department of Materials, *Science and Engineering Division of Physical Metallurgy Royal Institute of Technology*, SE-100 44 Stockholm, (2008).

Odabaşı, Ç., “Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Bakır İlavesinin Mikroyapı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2017).

Onur, A., “Yağ Atomizasyonu Yöntemiyle Metal Tozu Üretiminin İncelenmesi”, *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, (1996).

Ovalı, D., “Mekanik Alaşımlanmış W - Ağ. % 1 Ni – Ağ. % X Wb (x=0.5, 1.0, 2.0, 4.0) Ve W - Ağ. 1 %ni - Ağ. % 2 Wb – Ağ. % Y La₂O₃ (y=0.5, 1) Toz Ve Sinter Kompozitlerin Mikroyapısal Ve Fiziksel Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2013).

Özdemirler, D., Gündüz, S., Erden, M.A., Karabulut, H., Türkmen, H., “Sinterleme sıcaklığının NbC ilave edilmiş TM çeliklerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı 92-97, Afyon (2016).

Öztürk, Z., “Gaz atomizasyonu ile Al 2024 tozu üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük 1-60 (2012).

Panda A., Dobransky J., “Advantages and Effectiveness of The Powder Metallurgy in Manufacturing Technologies”, *Metalurgija*, 57(4), 353-356 (2018).

Patterson, R.J., “Rotating Disk Atomization”, *Metals Handbook*, 9th ed. Volume 7, Ohia (1984).

Pierson H.O., Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes, 1-Introduction and General Considerations, (Pp.1-10), *William Andrew Publishing* (1993).

Randall, M., G., Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Editörler: Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., ISBN: 0-9762057-1-8, *Türk Toz Metalurjisi Derneği*, Ankara (2007).

Roland, T. W., “Effect Of Composition And Processing On The Precision Of Sinter Hardening Powder Metal (PM), *Steels III & Amber Neilan North American Höganäs*, Inc. Hollsopple, PA 15935 (2012)

Rosenberg, S. J., “Nickel and Its Alloys”, *U.S. National Bureau of Standards Monograph 106*, Institute for Materials Research, Washington, D. C., sf. 1-9 (1968).

Sarıtaş, S., “Metal powder production by centrifugal atomization, *Int. J. Powder Metallurgy*, 30, 419 – 427 (1994).

Sarıtaş, S., Türker, M, Durlu, N., “Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri”, *Türk Toz Metalurjisi Yayınları*, 05, Ankara (2007).

Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, *K.T.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimi Anabilim Dalı*, s. 96 – 97 (2000).

Shanmugasundaram, D., Chandramouli, R., “Tensile and impact behaviour of sinter-forged Cr, Ni and Mo alloyed PM steels, ” *Mater. Des.*, 30: 3444–3449 (2009).

Skotnicova K., Kursá M., Szurman I., *Powder Metallurgy University Textbook*, Technical University of Ostrava, Ostrava (2014).

Söyler, M., “Toz Metalurjisi ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, Gebze (2007).

Speight J.G., “Carbon Black and Graphite”, *Handbook of Petroleum Product Analysis* .285-295 (2015).

Taş, Z., “Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma mekanizmaları” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2):97-101 (2012).

Taşlıyan, M.F., “Toz metalürjisi ile üretilen mangan çeliğine TiC, TiN, TiCN ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması” *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük (2020).

Tekin, E., “Mühendisler için Çelik Seçimi”, *T.M.M.O.B makina Mühendisleri Odası Yayını*, Ankara (1986).

Thummler F., Oberacker R., “An Introduction to Powder Metallurgy”, 1st ed., *The Institute of Materials*, Cambridge (1993).

Topateş, T., “Mikroalaşımlı çeliklerin termomekanik işlemi sırasında değişen proses parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 8-40 (1995).

Topbaş, M.A., *Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı*, s. 34-40, İstanbul (1998).

Tracey, V. A., “Nickel Sintered Steels: Development, Status and Prospects”, *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 5: 303-314, ed:J.M.Capus, R.M.German, , 21-26 June, San Francisco, California (1992).

Türk Standartları, “Metalik Tozların Görünür Yoğunluğunun Scatt Hacim Ölçme ile Tayini”, *TS 4481*, Nisan, (1985).

Tükel, N., Demir- Karbon Alaşımları, İ.D.M.M.A. *Makina Bölümü Malzeme ve Ölçme Tekniği Kürsüsü*, İstanbul (1979).

Ünal R., Aydın, M., “Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi ile gaz atomizasyon nozulu modellenmesi”, *TÜBİTAK Destekli Proje, Dumlupınar Üniv. Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği El*, Kütahya (2008).

Yaşa, A., “Düz Dişlilerin Modellenmesi ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması”, *Celal Bayar Üniv. Yüksek Lisans Tezi*, 14-3 (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Ümit KÖKSAL, 1993 yılında Ordu'da doğdu; ilköğrenimini Malazgirt İlkokulu'nda, lise öğrenimini Arif Nihat Asya Anadolu Teknik Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2017 yılında buradan mezun oldu. Lisansüstü eğitimini Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2020 yılında tamamlamıştır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Osmangazi Mahallesi Büyük Ayazma Caddesi Mormenekşe Sokak Birlik
APT. No: 3/5 Kıraç/Esenyurt/İSTANBUL.

Tel. : (534) 969 12 77

E-Posta : umitkoksall@hotmail.com