



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Grade 2 ve Grade 5 Titanyum Tozlarının Sıkıştırılabilme Karakteristikleri Üzerinde Yağlayıcı Etkisinin Araştırılması

*Investigation of the Lubricant Effect on the
Compressibility of Grade 5 and Grade 2 Titanium
Powders*

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa ÜSTÜNDAĞ, Remzi VAROL

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Üstündağ M., Varol R., “ Grade 2 ve Grade 5 Titanyum Tozlarının Sıkıştırılabilme Karakteristikleri Üzerinde Yağlayıcı Etkisinin Araştırılması”, ***Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi***, 3(3): 176-182, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

Grade 2 ve Grade 5 Titanyum Tozlarının Sıkıştırılabilirlik Karakteristikleri Üzerinde Yağlayıcı Etkisinin Araştırılması

Mustafa ÜSTÜNDAĞ, Remzi VAROL

Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta.

e-posta: mustafaustundag@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.11.2018

Kabul Tarihi: 26.12.2018

Özet

Toz Metalurjisi (TM) ile üretilen titanyum alaşımı ürünler birçok endüstriyel alanda ve özellikle de, tıp alanında kullanılmaktadır. Toz metalurjisi ile parça imalatında; yağlayıcıların numunelerin sıkıştırılabilirlik karakteristikleri üzerinde önemli etkileri olup, bu yağlayıcıların en çok kullanılanı Çinko Stearat'dır (Zn-St). Bu çalışmanın amacı; çinko stearat'ın titanyum alaşımı tozların (Grade 2 / CpTi ve Grade 5 / Ti-6Al-4V) sıkıştırılabilirlik karakteristikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu kapsamda; kütlece 0.5%, 0.75%, 1%, 1.1% oranında Zn-St kullanarak karıştırılan titanyum alaşımı tozları, farklı basınçlarda sıkıştırılmış ve sıkıştırılan numuneler 1250 °C sıcaklıkta argon gazı atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi öncesi ve sonrasında numunelerin yoğunluk değerleri incelenerek yağlayıcı miktarının ham yoğunluk ve bağıl yoğunluk üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca sinterlenmiş numunelere üç nokta eğme, darbe deneyleri ve SEM-EDS analizleri de uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Grade 2 Ti, Grade 5 Ti, Toz Metalurjisi, Çinko Stearat.

Investigation of the Lubricant Effect on the Compressibility of Grade 5 and Grade 2 Titanium Powders

Abstract

Titanium alloy products produced with Powder Metallurgy (PM) are used in many industrial fields, especially in medicine. In powder metallurgy part production, lubricants are widely used to improve compressibility characteristics of compacts. Zinc stearate (Zn-St) is a lubricant which is commonly used in powder metallurgy. The purpose of this study is; investigating the effects of Zn-St on compressibility characteristics of titanium compacts (Grade 2 / CpTi and Grade 5 / Ti-6Al-4V). In this scope; Titanium alloy powders mixed with 0.5%, 0.75%, 1%, 1.1% by mass of Zn-St, were compressed at different pressures and the compacts were sintered under argon atmosphere at 1250 °C. Before and after the sintering process, the density values of the samples were examined and the effects of lubricant on the green density and relative density were evaluated. Also Three-point bending tests, impact tests and SEM-EDS analyzes were also applied to the sintered samples.

Keywords: Grade 2 Ti, Grade 5 Ti, Powder Metallurgy, Zinc -Stearate.

1. Giriş

Tıp, havacılık, uzay, otomotiv, kimya ve diğer birçok endüstride çeşitli özellikleri nedeniyle titanyum alaşımı malzeme grupları kullanılmaktadır. Bu alaşımların bu endüstrilerde kullanılmalarının temel nedenleri kısaca; yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek korozyon direnci, yüksek biyouyumluluk, yüksek sıcaklık performansı gibidir. Titanyum alaşımlarının göreceli olarak yüksek maliyeti, bir dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Saf titanyum (CpTi) dört derecede sınıflandırılabilir. İçerdiği oksijen elementi oranına göre Grade 1'den başlayarak Grade 4'e kadar sınıflandırılmaktadır. Oksijen elementi titanyumun dayanımını arttırmak için saf titanyum içinde arayer elementi olarak

yerleşir [1]. Yaygın olarak endüstriyel birçok alanda ve sıklıkla tıp alanında yüksek biyouyumluluğu nedeniyle tercih edilen Ti-6Al-4V ise Grade 5 olarak isimlendirilen ve çift fazlı bir yapıya sahip ($\alpha+\beta$) bir titanyum alaşımıdır. Titanyum alaşımları kullanılarak parça imalatında sıklıkla tercih edilen yöntemlerden birisi de toz metalürjisidir (TM). Diğer üretim yöntemlerine göre hammadde kaybının çok az olması ve kullanılan hammaddenin yüksek maliyeti TM yöntemiyle titanyum alaşımı parça imalatının en temel avantajı ve tercih edilme sebebidir. Bunun yanında, TM yöntemiyle üretilen nihai ürünlerin sahip oldukları, yüksek yüzey pürüzsüzlüğü ve parçaların net şekle yakın olmaları, bu parçaların ek

bir işleme gerek duymaksızın kullanılmasına olanak sağlamaktadır [2].

Toz metalürjisinde temel işlem aşamaları kısaca; metal tozuna yağlayıcı ve/veya bağlayıcı ilave edilerek harmanlanması, kalıplara doldurulan harmanlanmış tozun kalıp içerisinde sıkıştırma ve son olarak da kalıptan çıkarılan parçaların sinterlenerek nihai ürünün elde edilmesi şeklindedir. Metal tozlarına ilave edilen yağlayıcı miktarı, karıştırma ve sıkıştırma işlemi sırasında toz partikülleri arasındaki sürtünmeyi azaltmakta ve akıcılığı iyileştirmektedir. Buna ek olarak sıkıştırılmış ürünün kalıptan çıkarma kuvvetinin azaltılması sebep olarak sıkıştırma kalıbının ömrünün uzatılmasını da sağlamaktadır. Ancak kullanılan yağlayıcı miktarı sıkıştırma sırasında; partiküller arasında oluşan mekanik kenetlenmeyi azaltmakta ve ham dayanımı düşürmektedir [3]. Bu bilgiler çerçevesinde TM ile parça imalatında kullanılacak olan yağlayıcının miktarı ve çeşidine dikkatli bir şekilde karar verilmelidir.

Karıştırma (harmanlama) işlemi; karıştırıcının hızı, karıştırma süresi ve karıştırıcı/toz hacim oranı olmak üzere üç değişkene bağlıdır. Karıştırma işlemi sırasında yanlış seçilen değişkenler toz partiküllerinin aşırı plastik deformasyona uğrayarak, pekleşmesine sebep olabilmektedir. Sıkıştırma aşamasında, toz karışımları istenilen nihai ürün şeklini alması için kalıplar içerisinde tek veya çift etkili presler yardımıyla ya da izostatik olarak preslenir. Bu aşamada basıncın etkisinin artmasıyla; toz partikülleri arası gözenekler küçülmekte ve parça yoğunlukları artmaktadır. Sıkıştırma işlemi sonrası parçanın kalıptan çıkartılması ve parçaların sinterleme işlemine tabii tutulacağı fırına taşınması sırasında kırılması ya da parça bütünlüğünü kaybetmesini önlemek için, parçaların uygun ham yoğunluk ve ham dayanımın değerlerine sahip olmaları gerekmektedir. Ayrıca ham yoğunluk ve dayanım değerleri nihai ürünün son özelliklerini de doğrudan etkilemektedir.

Sıkıştırma kuvvetinin artması, yüksek ham dayanım ve yoğunluk değeri ile sonuçlanmaktadır [4]. Sıkıştırma aşamasında parçacıklar mekanik

kenetlenme ile birbirlerine bağlanmaktadır. Sıkıştırma işlemi toz partikül şekli, boyutu, dağılımı ve sertliği tozların sıkıştırılabilirlik özelliklerini doğrudan etkilenmektedir [2].

TM yönteminde son aşama sinterleme işlemidir. Bu aşamada toz partikülleri arasında bağlar kurulmakta ve istenilen nihai ürünün son özellikleri elde edilmektedir. Sinterleme işlemleri genel olarak kullanılan matris malzemenin ergime sıcaklığının %0.6 ile %0.75'i arasındaki sıcaklıkta özel fırınlarda, numunelerin belirli bir süre tutulması ile gerçekleştirilmektedir. Partiküller arasındaki bağ, temas eden partikül yüzeyleri arasındaki difüzyon ile gerçekleşmekte ve toz partikülleri arası gözenekler küçülerek kapanmaktadır [5].

Bu çalışmada saf titanyum Grade 2 (CpTi) ve Grade 5 (Ti-6Al-4V) olmak üzere iki farklı titanyum alaşımı toz kullanılmıştır. Kullanılan tozlara farklı oranlarda çinko stearat (Zn-St) katı yağlayıcı olarak ilave edilmiştir. İlave edilen Zn-St miktarları 0.5%, 0.75%, 1% ve 1.1% oranlarındadır. Karıştırma işlemleri; numune boyutlarına ve % 60 doluluk oranına göre özel olarak üretilen konik karıştırıcı içerisinde, 20 dakika süreyle 22d/d hızında gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemleri her yağlayıcı oranı için farklı basınçlarda yapılmıştır. Bu basınç değerleri yapılan literatür çalışmalarına bağlı olarak belirlenmiştir.

Sıkıştırma işlemleri sonrasında numuneler 1250°C sıcaklıkta sinterlenmişlerdir. Sinterleme işlemi öncesi ve sonrası da numunelerin yoğunluk değerleri ölçülmüştür. Sıkıştırma basıncının ve yağlayıcı oranının; numunelerin ham ve sinterlenmiş dayanımları üzerindeki etkilerini incelemek için numunelere MPIF Standartlarına uygun olarak üç nokta eğme deneyi uygulanmıştır. Bunlara ek olarak çalışmanın farklı aşamalarında SEM analizleri yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı Grade2 ve Grade 5 Titanyum alaşımı tozları kullanılarak üretilen toz metal parçaların, yoğunluk ve dayanım gibi özellikleri üzerinde kullanılan yağlayıcı oranı etkisinin araştırılmasıdır.

2. Yöntem

Bu çalışmada, iki çeşit ön alaşımlandırılmış titanyum alaşımı metal tozu kullanılmıştır. Bunlar Grade 2 ve Grade 5 Titanyum alaşımı tozlar olup tozlar; 325 Mesh toz partikül boyutunda ($45\mu\text{m}$), HDH + Öğütme (Hydride Dehydride) yöntemiyle üretilmiş ve düzensiz toz partikül şekillerine sahiptirler. Bu çalışmada uygulana deneysel yöntemler uygulanma sırasına göre aşağıda aşamalardan oluşmaktadır;

- Toz partiküllerinin karakterizasyon çalışmaları; Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılmış ve toz partikül şekli ve morfolojisinin belirlenmiştir. Bu aşamada ayrıca tozun içerdiği elementlerin belirlenmesi için EDS analizinin gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler QUANTA FEG 250 model SEM cihazı ile yapılmıştır.

- Deneylerde kullanılacak tozların akıcılık ve görünür yoğunluk ölçümleri MPIF Standard 04 (2006)'e uygun olarak üretilen Hall Hunisi ile yapılmıştır.

- Çift taraflı karıştırıcı kullanılarak metal tozları ile yağlayıcı, 20 dakika ve yaklaşık olarak 22d/d karıştırma hızında konik karıştırıcı içerisinde karıştırılmıştır.

- Kalıpta tek etkili preste soğuk sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

- Ham yoğunluk ve ham dayanım değerleri ölçülmüştür.

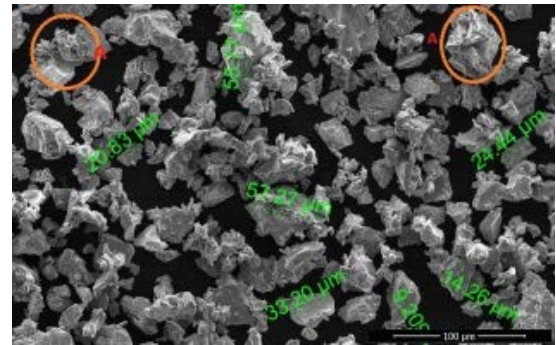
- Numunelerin sinterleme işlemi; Argon koruyucu gaz atmosferinde, numuneler $7^\circ\text{C}/\text{dakika}$ ısıtma hızı ile oda sıcaklığından 400°C sıcaklığa kadar ısıtılmış ve numuneler bu sıcaklıkta 20 dakika fırında bekletilmişlerdir. Bu bekleme esnasında yağlayıcı giderme işlemini gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Ardından fırın sıcaklığı aynı ısıtma hızında 1250°C 'a kadar çıkarılmış ve numuneler bu sıcaklıkta 90 dakika fırın içerisinde sinterlenmişlerdir.

- Sinterlenmiş numunelerin yoğunluk değerleri belirlenmiş ve seçilen numunelere üç nokta eğme deneyleri uygulanmıştır. Üç nokta eğme deneyleri TS EN ISO 7438 (2016) standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

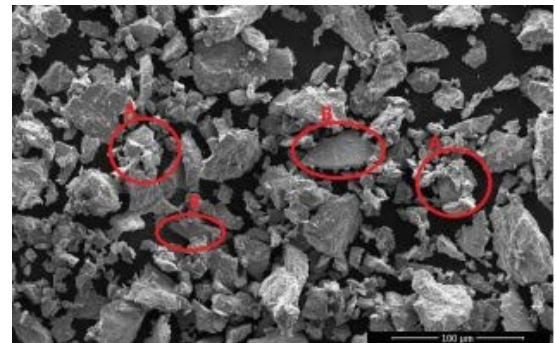
- Sinterlenmiş numunelerin kırık yüzeylerinin incelemeleri QUANTA FEG 250 model SEM cihazı ile yapılmış ve deneysel çalışmalar sonlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan Grade 2 ve Grade 5 Titanyum alaşımı metal tozlarının, SEM mikrofafisi incelendiğinde iki toz grubunu da düzensiz ve heterojen şekilli bir toz partikül yapısına sahip oldukları Şekil 1 ve Şekil 2' de görülebilmektedir. Ayrıca partikül boyutlarında birbirlerinden farklı olduğu da aynı görüntülerde görülebilmektedir. Toz partikül şeklinin homojen olmaması ve boyutlarında farklılıklar gözlemlenmesi, toz üretiminde kullanılan yöntem olan HDH + öğütme metodundan kaynaklanmaktadır [6]. Düzensizliği etkileyen diğer bir sebep ise yığılmadır. Yığılma, öğütme işlemi sırasında Van Der Walls kuvveti veya atom bağları tarafından oluşan mekanik kenetlenme ile tanelerin birleşmesidir [7]. Bu durum Şekil 1 ve Şekil 2'de A bölgesi olarak belirtilen daire içinde görülmektedir. Ayrıca öğütme işlemi sırasında partiküllerin birbirleriyle çarpışmaları nedeniyle mikro dövme gerçekleşerek partikül yüzeyleri yassılaştırmaktadır. Bu durum Şekil 2.'de B bölgesi olarak belirtilen daire içinde görülmektedir.



Şekil 1. Grade 2 (CpTi) metal tozunun SEM mikrofafisi



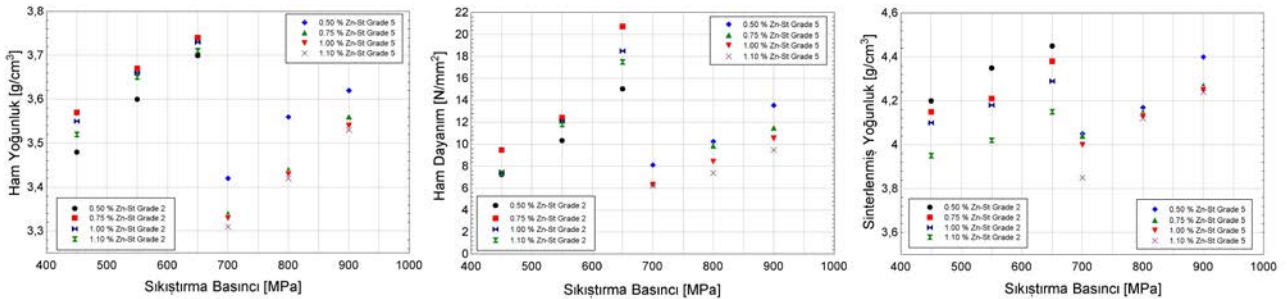
Şekil 2. Grade 5 (Ti-6Al-4V) metal tozunun SEM mikrofafisi

Şekil 3'de Grade 2 ve Grade 5 tozlarından üretilen numunelerin; ham yoğunluk (Tablo 1), ham dayanım (Tablo 2) ve sinterlenmiş yoğunluk değerleri (Tablo 3) verilmektedir. Şekil 3'teki tablolardan görülebileceği üzere Grade 2 ve Grade 5 toz grupları farklı sıkıştırma basınçlarında sıkıştırılmışlardır.

Bunun temel nedeni Grade 2 tozun Ti 'nin sahip olduğu tek fazlı (α), Grade 5'in ise çift fazlı ($\alpha+\beta$) bir yapıda olması ve sertliğinin saf titanyuma göre daha yüksek olmasıdır [8].

Grade 2 (CpTi)					Grade 5 (Ti-6Al-4V)				
Ham Yoğunluk (g/cm ³)					Ham Yoğunluk (g/cm ³)				
TABLO 1	Sıkıştırma Basıncı (Mpa)	450	550	650	TABLO 1	Sıkıştırma Basıncı (Mpa)	700	800	900
	0.50 % Zn-St	3,48	3,60	3,70		0.50 % Zn-St	3,42	3,56	3,62
	0.75 % Zn-St	3,57	3,67	3,74		0.75 % Zn-St	3,34	3,44	3,56
	1.00 % Zn-St	3,55	3,66	3,73		1.00 % Zn-St	3,33	3,43	3,54
	1.10 % Zn-St	3,52	3,65	3,71		1.10 % Zn-St	3,31	3,42	3,53
Ham Dayanım (N/mm ²)					Ham Dayanım (N/mm ²)				
TABLO 2	Sıkıştırma Basıncı (Mpa)	450	550	650	TABLO 2	Sıkıştırma Basıncı (Mpa)	700	800	900
	0.50 % Zn-St	7,27	10,35	15,06		0.50 % Zn-St	8,12	10,25	13,55
	0.75 % Zn-St	9,49	12,43	20,73		0.75 % Zn-St	6,43	9,85	11,48
	1.00 % Zn-St	7,48	12,10	18,50		1.00 % Zn-St	6,32	8,43	10,56
	1.10 % Zn-St	7,35	11,80	17,49		1.10 % Zn-St	6,20	7,40	9,48
Sinterlenmiş Yoğunluk (g/cm ³)					Sinterlenmiş Yoğunluk (g/cm ³)				
TABLO 3	Sıkıştırma Basıncı (Mpa)	450	550	650	TABLO 3	Sıkıştırma Basıncı (Mpa)	700	800	900
	0.50 % Zn-St	4,20	4,35	4,45		0.50 % Zn-St	4,05	4,17	4,40
	0.75 % Zn-St	4,15	4,21	4,38		0.75 % Zn-St	4,04	4,15	4,27
	1.00 % Zn-St	4,10	4,18	4,29		1.00 % Zn-St	4,00	4,13	4,25
	1.10 % Zn-St	3,95	4,02	4,15		1.10 % Zn-St	3,85	4,12	4,24

Şekil 3. Grade 2 ve Grade 5 tozlar kullanılarak üretilen numunelerin ham yoğunluk, ham dayanım ve sinterlenmiş yoğunluk değerleri



Şekil 4. Grade 2 ve Grade 5 tozlar kullanılarak üretilen numunelerin; ham yoğunluk, ham dayanım ve sinterlenmiş yoğunluk değişim grafikleri.

Ayrıca Şekil 4'de Şekil 3'deki değerler kullanılarak ham yoğunluk, ham dayanım ve sinterlenmiş yoğunluk değişim grafikleri verilmektedir. Şekil 4'teki grafikler incelendiğinde iki toz grubu içinde,

sıkıştırma basıncı artışının daha yüksek ham yoğunluklar ile sonuçlandığı görülebilmektedir. Sıkıştırma basıncı arttıkça toz taneleri arasında soğuk plastik deformasyonla temas alanları

artmakta ve mekanik olarak kilitleme meydana gelmektedir[9]. Böylece sıkıştırma sonucunda elde edilen ürün içerisindeki gözenekler azalmakta ve görünür yoğunluk değerinden ham yoğunluk değerine doğru bir artış söz konusu olmaktadır. Grade 5 toz grubu için yağlayıcı miktarının kütlece oranının düşük tutulmasının karışımın yoğunluğunu yükselttiği ve buna bağlı olarak da numunelerin tüm basınçlardaki en yüksek ham yoğunlarının 0,5% Zn-St karışımında olduğu görülebilmektedir. Grade 2 toz grubu için aynı durum söz konusu değildir

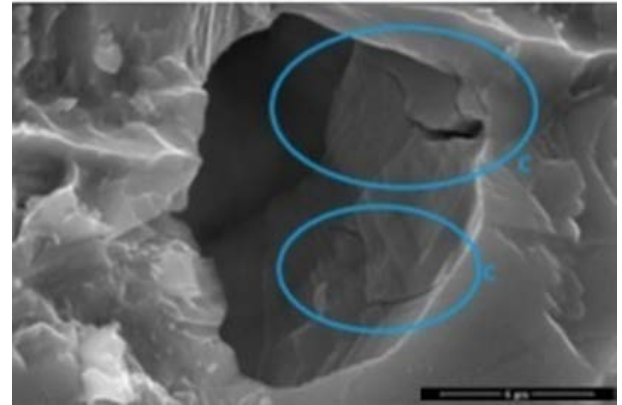
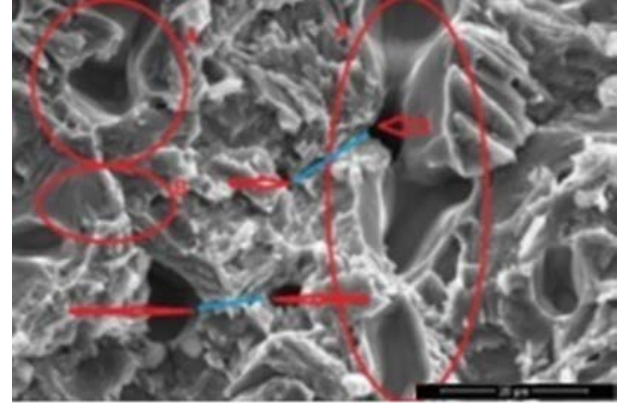
Aynı basınç değerinde farklı oranlarda yağlayıcılar kullanılarak yapılan sıkıştırmalarda 0,75% oranında kullanılan Zn-St'nin en yüksek ham yoğunluk değerleri ile sonuçlanması; bu oranda kullanılan yağlayıcının toz partikülleri arasında minimuma inerek, partiküllerin çok daha az gözenekli bir şekilde sıkıştığı anlamına gelmektedir [10]. Numunelerin ham dayanımlarındaki değişimler, numunelerin bağlı yoğunluk oranlarındaki değişimlerle paralellik göstermektedir. Ayrıca numunelerdeki sıkıştırma basıncı artışı genel olarak numunelerin ham dayanımlarda da yükselişe sebep olmuştur. Sinterlenmiş yoğunluk değerleri incelendiğinde ise yüksek ham yoğunluğa sahip numunelerin sinterleme işlemi sonrasında da daha yüksek yoğunluklara sahip oldukları görülebilmektedir.

Yapılan sinterleme işlemi sonucunda numunelerin boyutlarında ve şeklinde değişimler meydana gelmiştir. Hatta bazı numuneler deforme olmuştur. Bu değişimlerin sebebinin, toz partiküllerinin boyutlarının dağılımının geniş bir aralıkta olması nedeniyle numunelerde meydana gelen yüksek kendini çekme değerlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

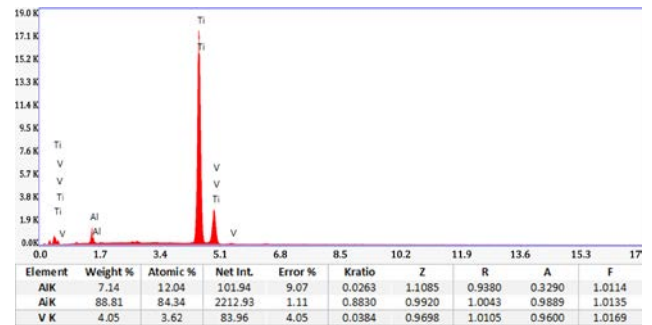
Ayrıca, sinterleme atmosferinin saflık değerinin yetersiz kalması, yüksek sıcaklıktaki sinterleme fırın atmosferinde O₂ bulunması nedeniyle numunelerde oksitlenme sonucu boyut ve şekil değişimi ortaya çıkmıştır. Numunelerde genel olarak meydana gelen deformasyon sebebiyle numunelerin sinterlenmiş dayanım değerlerine bu çalışmada yer verilmemiştir. Şekil 5'de şekilsel / boyutsal olarak deforme olmuş ve oksitlenmiş bir numune örneği gösterilmektedir.



Şekil 5. Deforme olmuş ve oksitlenmiş bir numune örneği.



Şekil 6. Sinterlenmiş Grade 2 numune SEM görüntüsü.



Şekil 7. Sinterlenmiş Grade 2 numune EDS Analizi

Her ne kadar numunelerin büyük bölümü deforme olmuş olsa da, deformasyona uğramamış bazı sinterlenmiş numunelere üç nokta eğme deneyi uygulanarak, numunelerin kırık yüzeylerinin SEM görüntüleri alınmış (Şekil 6) ve bu yüzeylere EDS analizleri uygulanmıştır (Şekil 7). Şekil 6'da

işaretlenen A bölgesinde tane sınırlarının ayrılması nedeniyle oluşan taneler arası kırılma tipi ve B bölgesinde gevrek kırılma çeşidi görülmektedir. Ayrıca Şekil 6'de işaretlenen C bölgesinde partiküllerde oluşan çatlaklar görülmektedir. Bu nedenle kırılma tipinin gevrek olduğunu göstermektedir. Ayrıca verilen kırık yüzeyi görüntülerinde partiküller arasındaki boyunlar ve çapları mavi çizgi ile gösterilmiştir. Resimler incelendiğinde kırık yüzeyinde genel olarak gevrek kırılma görüntüsü mevcut iken burada gösterilen partiküllerdeki çatlakların varlığı gevrek kırılmanın yaygın olduğunu destekler niteliktedir. Şekil 7.'de Grade 2 numunelere uygulanan EDS analizi incelendiğinde numunelerde C kalıntıları görülmektedir. Bu kalıntılar sinterleme atmosferi kaynaklı ve/veya TM imalat aşamaları sırasında oluştuğu düşünülmektedir.

4. Sonuç

Grade 2 ve Grade 5 Titanyum alaşımı metal tozları kullanılarak yapılan deneyler değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Bu çalışmada, kullanılan tozun boyutunun ortalama 45 µm (325 mesh), düzensiz şekle sahip olduğu ve toz boyut dağılımının geniş bir aralıkta olduğu belirlenmiştir.
- Kalıpta soğuk sıkıştırma basıncının artması ile ham yoğunluk değerleri; Grade 2 Titanyum için 3,52 g/cm³, Grade 5 Titanyum için 3,31 g/cm³ seviyelerine kadar yükselmiştir.
- Sinterlenmiş yoğunluk ve dayanım doğrudan ham yoğunluk ile ilişkilidir; ham yoğunluk arttıkça, sinterlenmiş yoğunluk ve dayanım artmaktadır.
- Yapılan SEM analizleri iki titanyum için kırık yüzeylerinde yapraksı kırılma ve taneler arası kırılma çeşitleri görülmüştür. Kırık yüzeylerinde yer yer kirlilikler belirlenmiştir.
- Sinterleme ortamının kirli olması ve oksijenin sinterleme ortamından vakumlanamamış olması, numunelerde yer yer oksitlenmelere ve çarpımalara neden olmuştur. Ayrıca çalışma ortamı, kalıp-zimba kirliliği numunelerde karbon gibi yabancı malzemelerin varlığının olduğu belirlenmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] Williams, J. C. (2007). Titanium. Engineering Materials and Processes. Springer.
- [2] Upadhyaya, G. S. (2002). Powder Metallurgy Technology, Cambridge Int Science Publishing.
- [3] Handbook, A. S. M. (1998). Volume 7. Powder Metal Technologies and Applications, 435.
- [4] German RM. Powder Metallurgy Science. Princeton (NJ): Metal Powder Industries Federation; 1989.
- [5] W. Brian James, Hoeganaes Corporation (2015). Powder Metallurgy Methods and Applications. ASM Handbook, Volume 7, Powder Metallurgy.
- [6] Froes, F. H. (2012). Titanium Powder Metallurgy: A Review-Part 1. Advanced Materials & Processes, 170(9), 16-22.
- [7] Bosman, H. L., Ve Blaine, D. C. (2014). Influence Of Powder Particle Size Distribution On The Properties Of Press-And-Sintered Titanium And Ti-6Al-4V Preforms. Advanced Materials Research, (1019).
- [8] Wang, H., Fang, Z. Z., ve Sun, P. (2010). A critical Review of Mechanical Properties of Powder Metallurgy Titanium. International Journal of Powder Metallurgy, 46(5), 45-57.
- [9] Kateřina Skotnicová, Miroslav Kurša Ve Ivo Szurman. (2014). Powder Metallurgy. University Text Book, Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, Vsb-Technical University of Ostrava.
- [10] Bolzoni, L., Ruiz-Navas, E. M., ve Gordo, E. (2013). Processing of elemental titanium by powder metallurgy techniques. In Materials Science Forum (Vol. 765, pp. 383-387). Trans Tech Publications.
- [11] Al-Dulaimi, M.N.M., (2017). Ön Alaşımlandırılmış Ti6Al4V Tozu İle Ti(Cp) Tozunun Sıkıştırılabilirlik Şartlarının Araştırılması, SDÜ FBE, Y. Lisans Tezi.
- [12] Delavari, M., Salarvand, A., Rahi, A., Ve Shahri, F. (2011). The Effect Of Powder Metallurgy Process Parameters On Mechanical Properties Of Micro And Nano-Iron Powder. International Journal Of Engineering, Science And Technology, 3(9), 86-94.
- [13] Fang, Z. Z., Ve Sun, P. (2012). Pathways To Optimize Performance/Cost Ratio Of Powder Metallurgy Titanium—A Perspective. In Key Engineering Materials (Vol. 520, Pp. 15-23). Trans Tech Publications.
- [14] Gronostajski, Z., Bandofa, P., Ve Skubiszewski, T. (2009). Influence Of Cold And Hot Pressing On Densification Behaviour Of Titanium Alloy Powder Ti6Al4V. Archives Of Civil And Mechanical Engineering, 9(2), 47-57.

- [15] Welsch, G., Lee, Y. T., Eloff, P. C., Eylon, D., & Froes, F. H. (1983). Deformation Behavior of Blended Elemental Ti-6Al-4V Compacts. Metallurgical Transactions A, 14(3), 761-769.
- [16] Yu, C. (2014). Ti Powder Sintering: Impurity, Sintering Atmosphere and Alloy Design (Doctoral dissertation, ResearchSpace@ Auckland).
- [17] Zak Fang, Z. (Ed.) (2010). Sintering of Advanced Materials: Fundamental and Processes. Woodhead Publ. in Materials. Oxford,UK.
- [18] Bolzoni, L., Ruiz-Navas, E. M., ve Gordo, E. (2015). Feasibility study of the production of biomedical Ti-6Al-4V alloy by
- [19] Hryha, E., Dudrova, E., Ve Bengtsson, S. (2008). Influence of Powder Properties On Compressibility of Prealloyed Atomised Powders, Powder Metallurgy, 51(4), 340-342.
- [20] Yan, Y., Nash, G. L., ve Nash, P. (2013). Effect of Density and Pore Morphology on Fatigue Properties of Sintered Ti-6Al-4V.
- [21] Ustundag, M. (2018). Öğütme ve HDH Yöntemleriyle Üretilen Ti-6Al-4V Tozlarının Sinter-HİP Yöntemiyle Sinterlenmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, SDÜ FBE, Doktora Tezi.