

DEMİR ESASLI TOZ METAL MALZEMELERİN ULTRA-YÜKSEK FREKANSLI İNDÜKSİYON SİSTEMİ İLE SİNTERLEME SICAKLIĞI OPTİMİZASYONU

Uğur ÇAVDAR¹ (ORCID: 0000-0002-3434-6670)*
Pınar SARI ÇAVDAR² (ORCID: 0000-0002-1989-4759)

¹ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir

² İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş / Received: 06.11.2017

Kabul / Accepted: 08.01.2018

ÖZ

Yapılan çalışmada, demir esaslı toz metal (TM) malzemeler iki farklı metot kullanılarak sinterlenmiştir. TM numunelerin bir kısmı 2kW güce sahip atmosfer kontrollü fırında, 1120 °C sıcaklıkta ve 30 dakika sürede geleneksel yöntemle sinterlenmiştir. Çalışmada kullanılan diğer TM numunelerde 2.8kW güce sahip 900kHz'lik ultra yüksek frekanslı indüksiyon sistemi (UYFİS) kullanılarak, 1000 °C -1200 °C sıcaklıkları arasında 6 farklı sıcaklıkta 5 dakika sürelerde sinterlenmiştir. TM numunelerin sertlik, yoğunluk ve mikro yapı görüntüleri incelenmiş ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde konvansiyonel sinterleme metot ile 30 dakikada elde edilen değerlere UYFİS kullanılarak 1120 °C sıcaklıkta ulaşılmıştır. Böylece demir esaslı TM numuneler indüksiyon sistemi kullanılarak sinterlendiğinde 6 kat daha kısa sürede elde edildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Demir, TM, İndüksiyon, UYFİS, Sinterleme.

SINTERING TEMPERATURE OPTIMIZATION OF THE ULTRA-HIGH FREQUENCY INDUCTION SINTERED IRON BASED POWDER METAL COMPACTS

ABSTRACT

In this study, iron based powder metal (PM) compacts are sintered by two different sintering methods. One of the sintering method is conventional sintering, 2kW atmosphere controlled oven is used in the sintering application. TM compacts are sintered at 1120 °C for 30 minutes. In the study other used sintering method is induction. PM compacts are sintered at 6 different temperature from 1000 °C to 1200 °C for 5 minutes using a 900 kHz ultra-high frequency induction system (UHFIS) with a power of 2.8 kW. Hardness, density and microstructure images of PM compacts are examined and compared each other. When the obtained results are evaluated, 30 minutes conventional sintered PM compacts test results' are reached at 1120 °C using by UHFIS. Thus, iron-based PM compacts are sintered in 6 times less dwell time while using the induction system.

Keywords: Iron, PM, Induction, UHFIS, Sintering.

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 232 260 1001 ; e-mail / e-posta: ugur.cavdar@idu.edu.tr

DEMİR ESASLI TOZ METAL MALZEMELERİN ULTRA-YÜKSEK FREKANSLI İNDÜKSİYON SİSTEMİ İLE SİNERLEME SICAKLIĞI OPTİMİZASYONU

1. GİRİŞ

Toz metalürji (TM) yöntemi ile parça üretimi, mikro boyuttaki çeşitli metalik veya seramik tozların, istenilen oranlarda homojen olarak karıştırılması, preslenerek şekillendirilmesi ve en son olarak ısıtılarak sinterlenmesinden oluşur. TM ile üretim hızlı ve pratik bir yöntem olarak bilinir. Toz metalürjisi yöntemi ile genellikle metalik malzemelerin üretiminde kullanılsa da, günümüzde birçok metal olmayan parçanın da TM yöntemi ile üretilmesi mümkündür. TM yöntemi ile üretilen parçaların sinterlenme sonrasında istenilen boyutlarda olmasından ötürü çok kullanışlı ve az sorunlu bir yöntemdir.

Metalik TM parçalar içerisinde demir TM parça üretimi ilk sırayı almaktadır. Bunun sebebi olarak, hızlı, ucuz ve üretim sonucunda parçanın istenilen boyutlarda olması gösterilebilir. Demir esaslı TM parçalar endüstriyel uygulamalarda çoğunlukla geleneksel (Konvansiyonel) sinterleme metodu kullanılarak üretilmektedir. Geleneksel sinterleme işleminde çok uzun parti tipi fırınlar kullanılmaktadır. Bu fırınların sinterleme işleminin gerçekleştirilmesi için tamamen istenilen sıcaklıklara ısıtılması ve sinterleme sıcaklıklarında sabitlenmesi ciddi enerji sarfiyatı ve enerji maliyeti sağlamaktadır. Aynı sinterleme prosesinin daha hızlı ve/veya daha ucuz olarak sağlanabilmesi için, günümüzde farklı sinterleme prosesleri kullanılmakta ve denemeleri yapılmaktadır. Bunların en başında SPS (Sprak Plazma Sinterleme), mikrodalga sinterleme, sıcak presleme ve indüksiyonla sinterleme gelmektedir.

İndüksiyonla sinterleme işlemi ile diğer sinterleme prosesleri karşılaştırıldığında, indüksiyon sisteminin çok farklı bir yere sahip olduğu söylenebilir. İndüksiyonla sinterleme işleminde, indüksiyon bobini vasıtasıyla manyetik parça üzerinden, indüksiyon akımı geçirilmektedir. Bu sayede numune istenilen sıcaklığa 10-15 saniye gibi çok kısa bir sürede ulaşmaktadır.

Demir ve demir esaslı TM Numuneler orta [1-3] veya ultra-yüksek frekanslı indüksiyon sistemleri [4-5] ile başarı ile sinterlenebilmektedir. İndüksiyon sistemi sinterleme haricinde kullanım alanları incelendiğinde dövme [6], ısıtma işlemi [7], kaynak [8-11] ve döküm [12-13] alanlarında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, demir TM numuneler geleneksel yöntemle parti tipi fırınla veya ultra yüksek frekanslı indüksiyon sistemiyle sinterlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılarak demir esaslı TM numuneler için 900 kHz'lik indüksiyon sistemi ile optimum sinterleme sıcaklığı belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada demir esaslı TM numuneler 2 farklı gruba ayrılmış, bir kısmı parti tipi fırında ve diğer bir kısmı ise indüksiyon sisteminde sinterlenmiştir. Sinterleme işleminde kullanılan indüksiyon sisteminin görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan tozların boyutları 45-106 µm arasında değişmektedir ve kullanılan tozun kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. Demir esaslı bu kompozisyon dişli çarkların üretiminde kullanılmaktadır.

Tablo 1. Demir tozunun kimyasal kompozisyonu

Kompozisyon	Fe	Ni	Cu	Mo	MnS	C	Zn-St
Ağırlıkça %	Kalanı	1.58-1.93	1.35-1.65	0.45-0.55	0.45-0.55	0.15-0.25	0.8-0.99

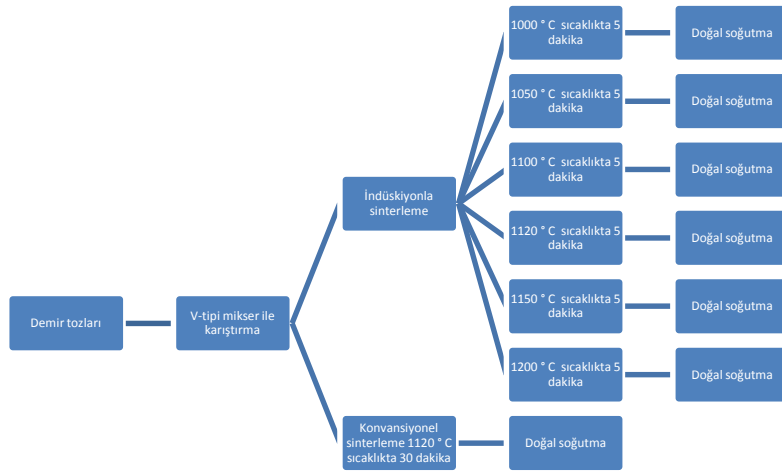
Homojen bir karışım elde edilmesi için demir esaslı tozlar V-Tipi karıştırıcı ile 25 d/d da yarım saat karıştırılmış, tek eksenli tek tesirli pres yardımı ile 600 MPa basınçta kompakt hale getirilmiştir. Elde edilen TM numuneler 18 mm çapa ve 3mm yüksekliğe sahiptir.

Birinci grup numuneler 900 kHz ultra yüksek frekansa ve 2.8kW güce sahip indüksiyon jeneratörü kullanılarak sinterlenmiştir. İndüksiyonun sıcaklığı sistem ile birlikte çalışan infrared termometre ile sabitlenmektedir. İndüksiyon sisteminin bobini çapı 4mm ve et kalınlığı 0.5mm olan bakır borudan oluşmaktadır. Bobin tek sarım ve iç çapı 20 mm olacak şekilde tasarlanmış ve sarılmıştır. TM numuneler Ultra-Yüksek Frekanslı İndüksiyon sistemi (UYFIS) ile 6 farklı sıcaklıkta (1000°C, 1050 °C, 1100°C, 1120°C, 1150°C ve 1200 °C), 5 dakika tutma süresinde, 10⁻¹ Thor vakum altında sinterlenmiştir. Numuneler doğal olarak soğutulmuştur. Numunenin indüksiyonla sinterlenme esnasındaki görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.

İkinci grup numuneler, 2kW güçteki Protherm marka parti tip fırın kullanılarak 1120 °C sıcaklıkta 60 dakika sürede argon atmosferi altında fırında sinterlenmiştir. TM numuneler doğal olarak soğutulmuştur. Sunulan çalışmanın iş akış şeması Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. İndüksiyon sinterleme sisteminin iç görüntüsü.



Tablo 2. Sinterleme proseslerinin iş akış şeması

DEMİR ESASLI TOZ METAL MALZEMELERİN ULTRA-YÜKSEK FREKANSLI İNDÜKSİYON SİSTEMİ İLE SİNERLEME SICAKLIĞI OPTİMİZASYONU



Şekil 2. Demir esaslı TM numunelerin indüksiyon sistemi ile ısıtılırken görüntüsü.

Numunelerin sertlik ölçümleri MMS 200 RB Macro Brinell Hardness Sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Sertlik testleri 100 kgf yükleme altında yapılmıştır. Her bir numunenin 5 farklı noktasından sertlik değerleri alınmış ve sonuçlar ortalama sertlik değerleri alınarak verilmiştir. Numunelerin yoğunlukları Archimedes prensibi metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Mikro yapı ve SEM görüntüleri JEOL JSM-6060 Taramalı elektron Mikroskobu kullanılarak çekilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Demir esaslı TM numunelerin her iki sinterleme işlemi sonrasında sertlik ve yoğunluk değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Elde edilen deney sonuçların da meydana gelen hata payı $\pm 5\%$ ’tir.

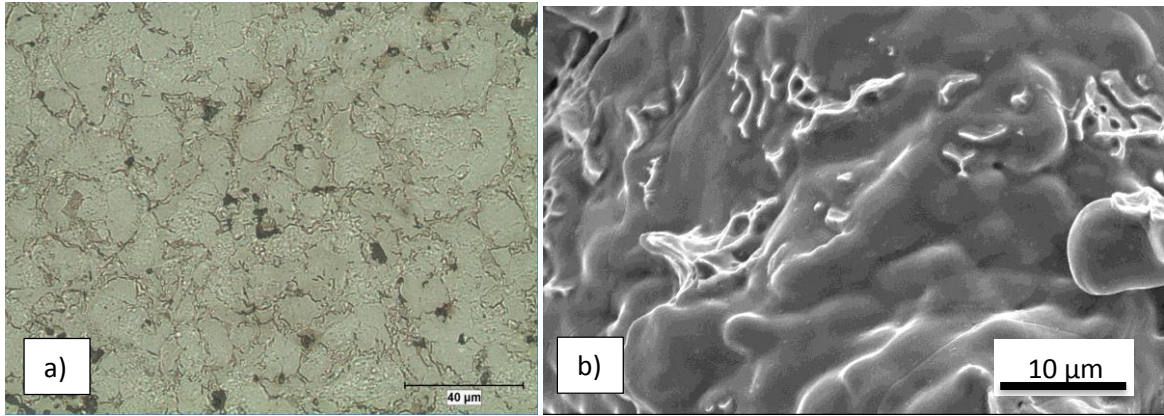
Tablo 3. TM numunelerin HRB sertlik ve yoğunluk değerleri

Demir kompakt	TM	İndüksiyonla sinterleme (5 Dakika)					Konvansiyonel Sinterleme	
		1000 ° C	1050 ° C	1100 ° C	1120 ° C	1150 ° C	1200 ° C	1120 ° C (30 Dak.)
Sertlik (HRB)		35	39	51	57	59	61	55
Yoğunluk (g/cm ³)		6,1	6,3	6,7	7,2	7,3	7,4	7,1

U. ÇAVDAR, P. SARI ÇAVDAR

TM numunelerin konvansiyonel metot kullanılarak fırında argon ortamında 1120 °C sıcaklıkta 300 dakika sinterleme sonucunda 55 HRB olan sertlik değeri ile 7,1 g/cm³ olan yoğunluk değerine ulaşılmıştır. Yaklaşık aynı sertlik ve yoğunluk değerlerine Ultra –yüksek frekanslı indüksiyon sistemi kullanılarak vakum ortamında 1120 ° C sıcaklıkta, 5 dakika sinterleme süresinde ulaşılmıştır. Literatür taraması incelendiğinde indüksiyon ile sinterleme [2, 8] uygulanmış demir esaslı TM numunelerinde 1120 ° C sıcaklıkta indüksiyon ile başarı ile sinterlendiği görülmüştür. Önceki çalışmalarda elde edilmiş sertlik değerleri karşılaştırıldığında demir esaslı TM numuneler için sertlik değerinin açık atmosfer altında yaklaşık 50 HRB [3, 14] ve argon ortamında 55 HRB [5] olduğu görülmektedir. Vakum ortamının sertlik değerini arttırdığı yapılan çalışma ile tespit edilmiştir. Ayrıca, indüksiyonla sinterlenen numunelerin sertlik taraması incelendiğinde indüksiyon bobinine yakın yerlerde %5'lik sertlik artışı meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sertlik artışının sebebi indüksiyon akımı ile meydana gelen manyetik alanın direkt olarak numunenin üstünden geçmesinden kaynaklanmaktadır. Oluşan manyetik alan sayesinde numunenin bobine yakın dış yüzeyinde yüzey sertleştirme meydana getirmiştir.

İndüksiyon sinterleme süresinin artışı ile sertlik ve yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. Elde edilen değerler incelendiğinde 1000 ° C ile 1100 ° C sıcaklıklar arasında indüksiyon ile sinterlenen numunelerin yeterli sinterlenemediği ve birleşmesi için yeterli bağları oluşturamadığı görülmektedir. 1150 ° C ve üstü sıcaklıklar da sertlik ve yoğun değerlerinde en iyi sonuçlar elde edilmiş olmasına rağmen sıcaklık artışı hem numunelerin yüzeylerinde pürüzleşmeler ve dalgalanmalar meydana getirdiği hem de üretim maliyetini arttırdığı için 1150 ° C ve üstü sıcaklıklar UYFIS için tercih edilmemektedir. Geleneksel sinterleme metoduyla, indüksiyon sinterleme karşılaştırıldığında, çalışmada kullanılan demir esaslı TM numunelerin 5 dakika ultra yüksek frekanslı indüksiyon sistemi ile sinterlenmesi için optimum sinterleme sıcaklığının 1120 ° C olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. İndüksiyon ile sinterlenen demir esaslı TM numunenin a) Mikroyapı görüntüsü (500X), b) SEM (2000X) görüntüleri.

5 dakika indüksiyonla 1120 0C sıcaklıkta sinterlenmiş demir esaslı TM numunenin Şekil 3.a'da mikro yapı görüntüsü ve Şekil 3.b'de SEM görüntüsü verilmiştir. İndüksiyonla sinterlenen TM numunelerin bobine yakın olan kısmında yaklaşık 400µm'lik derinlikte mikro yapı değişimleri meydana gelmiştir. Bu değişim sertlik değerlerinde de görülmüştür. Böylece indüksiyonla sinterleme gerçekleştirilirken aynı zamanda yüzey sertleştirme de meydana geldiği tespit edilmiştir. Her bir indüksiyonla sinterlenen numunelerin mikro yapısı incelendiğinde ortalama aynı derinlikte değişimin meydana geldiği görülmüştür. Manyetik akının direkt olarak numunenin üstünden geçmesinden dolayı bu farklılık oluşmaktadır. Manyetik akı indüksiyonun frekansının karekökü ile ters orantılı olarak değişmektedir. Yani frekans arttıkça, oluşan manyetik alan azalmaktadır.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, saf demir esaslı TM numuneler ultra-yüksek frekanslı indüksiyon veya fırın yardımı ile sinterlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.İndüksiyonla 5 dakika sinterlenen TM numunelerin optimum sinterleme sıcaklığı 1120 ° C olarak bulunmuştur.

- Konvansiyonel yöntemle fırında sinterleme ve indüksiyonla sinterlemeleri karşılaştırıldığında, demir esaslı TM numunelere indüksiyonla 6 kat daha kısa sürede sinterlendiği bulunmuştur. Sertlik ve yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık olarak aynı değerler elde edilmiştir.
- İndüksiyon ile sinterlenen numunelerin indüksiyon bobinine yakın kısımlarında yaklaşık 400 µm derinliğinde şekil değişimleri meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu değişimin indüksiyonun oluşturduğu

DEMİR ESASLI TOZ METAL MALZEMELERİN ULTRA-YÜKSEK FREKANSLI İNDÜKSİYON SİSTEMİ İLE SİNERLEME SICAKLIĞI OPTİMİZASYONU

manyetik alandan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bahsedilen bölgede %5 oranında sertlik artışı meydana gelmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan indüksiyon sisteminin modifikasyonu 214M414 numaralı TUBİTAK projesi ile gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] ÇAVDAR, U., ATİK, E., ATAŞ, A., “Mechanical, properties and hardness results of the medium frequency induction sintered iron based powder metal bushing” *Science of Sintering*,46(2), 195-203, 2014. DOI: 10.2298/SOS1402195CVAN DER GEER, J., HANRAADS, J.A.J., LUPTON, R.A., “The Art of Writing a Scientific Article”, *Journal of Scientific Communications*, 163, 51-59, 2010.
- [2] ÇAVDAR, U., ATİK, E., AKGÜL, M.B., “Magnetic-Thermal Analysis and rapid consolidation of 3 wt.% Cu mixed iron based powder metal compacts sintered by medium frequency induction heated system” *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 53(3-4), 191-198, 2014. DOI: 10.1007/s11106-014-9603-5
- [3] ÇAVDAR, U., ATİK, E., “Investigation of conventional and induction sintered iron and iron based powder metal compacts” *JOM*, 66(6), 1027- 1034, 2014. DOI: 10.1007/s11837-014-0977-0
- [4] GÖKOZAN, H., TAŞTAN, M., TAŞKIN, S., SARI ÇAVDAR, P., ÇAVDAR, U., “Comparative Energy Consumption Analyses Of An Ultra High Frequency Induction Heating System For Induction Heating, Welding And Sintering Applications” *Materials Testing*,. 58(11-12), 1009-1013, 2016. DOI 10.3139/120.110954
- [5] SARI ÇAVDAR, P., ÇAVDAR, U., “The evaluation of different environments in ultra-high frequency induction sintered powder metal compacts” *Revista de Metalurgia* 51(1), e036, 1-8, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.036>
- [6] ÇAVDAR, U., “Mechanical Properties of Hot Forged ANSI 1050 Steel” *Materials Testing*, 56(3), 258-212, 2014. DOI: 10.3139/120.110555
- [7] TASTAN, M., GÖKOZAN, H., TAŞKIN, S., ÇAVDAR, U., “Comparative energy consumption analyses of an ultra-high frequency induction heating system for material processing applications” *Revista de Metalurgia*, 51(3), e046, 1-8, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.046>
- [8] GÖKOZAN, H., TAŞTAN, M., TAŞKIN, S., SARI ÇAVDAR, P., ÇAVDAR, U., “Comparative Energy Consumption Analyses Of An Ultra High Frequency Induction Heating System For Induction Heating, Welding And Sintering Applications” *Materials Testing*, 58(11-12), 1009-1013, 2016. DOI 10.3139/120.110954
- [9] ÇAVDAR, U., GÜLŞAHİN, İ., “Ultra high frequency induction welding of powder metal compacts” *Revista de Metalurgia*, 50 (2), e016, 1-7, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.016>
- [10] ÇAVDAR, U., YALAMAÇ, E., GÜLŞAHİN, İ., “Effects of surface finishing on the mechanical properties of induction welded iron based sintered compacts” *Materials Testing*, 56(10), 852–857, 2014. DOI 10.3139/120.110640
- [11] ÇAVDAR, U., KUŞOĞLU, İ.M., “ Effects of coil design on induction welding of sintered iron based compacts” *Materials Testing*, 56, 11-12, 973–979, 2014. DOI 10.3139/120.110641
- [12] ILIA, E., TUTTON, K., O’NEILL, M., “Forging a way towards a better mix of PM automotive steels” *Metal Powder Report*, 60, 3, 38-44, 2005. [https://doi.org/10.1016/S0026-0657\(05\)00371-1](https://doi.org/10.1016/S0026-0657(05)00371-1)
- [13] FAIS, A., “A faster FAST: Electro-Sinter-Forging”, *Metal Powder Report*, 73(2), 80-86, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2017.06.001>
- [14] ÇAVDAR, U., ATİK, E. “Properties of Boronized, Carbonitrided and Steamed Iron-Based Compacts”. *Materials Testing*, 56 (2), 126–130, 2014. <http://dx.doi.org/10.3139/120.110533>.