

Bakır ve Grafit İçeren Demir Esaslı Malzemelerin İndüksiyon ile Sinterlenmesinde Sinterleme Sıcaklığının Malzeme Dayanımına Etkisi

Can Çivi*, Enver Atik

Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, Tel: +902362012381,

can.civi@cbu.edu.tr; enver.atik@cbu.edu.tr

*İletişimden sorumlu yazar/Corresponding author

Geliş/Received: 1 Aralık (December) 2016

Kabul/Accepted: 17 Mart (March) 2017

DOI:10.18466/cbayarfb.319921

Özet

Toz Metal parçaların üretiminin en önemli işlem basamaklarından biri sinterlemedir. Sinterleme aynı zamanda önemli derecede enerji ve zaman tüketiminin olduğu bir ısıl işlemdir. Bu çalışmada ana amaç, aynı dayanım değerleri hedeflenerek, indüksiyon ile sinterleme işlemi vasıtası ile sinterleme sıcaklığının düşürülmesidir. Çalışmada, toz metal numunelerin üretiminde, % 3 Cu, % 0,5 Grafit içeren demir tozu kullanılmıştır. İndüksiyon ile sinterlemenin etkilerinin anlaşılması amacı ile numuneler geleneksel olarak sinterlenerek, üretilen numunelerin mekanik özellikleri ve mikro yapıları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, daha az sürede daha düşük sıcaklıklarda geleneksel sinterlemeye göre daha iyi mekanik özellik değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Toz Metalurjisi, Sinterleme, İndüksiyon ile Sinterleme, Mekanik Özellikler, Mikro Yapı İncelemesi, SEM

Effect of the Sintering Temperature to Mechanical Properties of Fe Based Copper and Graphite Containing Materials

Abstract

Sintering is one of the most important steps of the production of powder metal parts. Beside of this, sintering is a heat treatment which has significant energy and time consumption. The main purpose of this study is to decrease sintering duration with induction sintering in order to obtain the same strength values. In this study, % 3 Cu, % 0.5 graphite included iron powder (by weight) was used for producing powder metal specimens. In order to understand the effect of induction sintering, conventional sintering was applied to the samples and then micro structural and mechanical properties of samples were compared. As the result of the studies, it was seen that, better mechanical property values were obtained at lower sintering duration and temperature compared to the conventional sintering.

Keywords – Powder Metallurgy, Sintering, Induction Sintering, Mechanical Properties, Micro Structural Investigation, SEM

1 Giriş

Toz metalurjisi, diğer üretim yöntemlerine göre işlem adımları daha az olan bir üretim teknolojisidir [1].

Toz metalurjisi teknikleri ile üretilen parçalar, dişli-ler, kamlar, burçlar, kesme takımları, poroziteye sahip malzemeler, kendinden yağlamalı yataklar ve segman, valf yatağı, biyel gibi otomotiv parçalarıdır.

Metal veya metal olmayan malzemeler, saf, alaşım ya da karışım halinde toz metalurjisinde kullanılmaktadır [2]. Toz Metalurjisinin birçok alanda oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olmasının birçok sebebi bulunmaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan karmaşık geometriye parçaların, gözenekli filtrelerin, sermetlerin, çeşitli kompozitlerden sert kesici takımların ekonomik olarak üretimi bu yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra diğer yöntemlerle üretilebilmesi oldukça zor olan seramikler, pek çok reaktif ve refrakter metaller, ergitilmesi pratikte uygun olmayan bazı polimerler gibi sert ve yüksek sıcaklık malzemelerinin üretilebilmesi, toz metalurjisini önemli kılar [3]. Tozlar farklı gerilmeler altında sıvılar gibi davranırlar ve şekillendirilebilirler. Bu özelliklerinden dolayı karmaşık şekilli parçalar bu yöntemle kolaylıkla üretilebilir. Şekillendirilen tozlar, istenen mukavemete sinterleme yapılmaksızın sahip olamazlar. Sinterleme, genellikle geleneksel olarak sinterleme fırınlarında gerçekleştirilen parçacıklar arasında bağ oluşmasıyla gerçekleşen ve parçacıkların mukavemet kazandığı ısı işlemidir [4]. Geleneksel sinterleme metodunun yanı sıra, hızlı sinterleme yöntemleri olarak adlandırılan, ısınmanın hızlı bir şekilde gerçekleştiği indüksiyonla sinterleme, mikrodalga ile sinterleme, plazma sinterleme, lazer sinterleme, deşarj sinterleme, gibi yöntemler de mevcuttur [5]. İndüksiyon ile sinterleme yönteminin en önemli avantajı malzemenin teorik yoğunluğuna yakın yoğunluk elde edilmesi ve tane büyümesinin geleneksel sinterleme yöntemine oranla önemli ölçüde engellemesidir [6]. İndüksiyonla sinterleme daha önce yapılan çalışmalarda genel olarak yüksek frekanslı indüksiyon cihazlarında presleme ile aynı anda gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamalarda benzer düzenekler kullanılmış ve sinterleme prosesi, presleme ile aynı anda gerçekleştirilmiştir. [7-29]. Bu çalışmaların yanı sıra, sinterlemenin preslemeden sonra gerçekleştirildiği, orta frekanslı indüksiyonun kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur [30-37].

Bu çalışmada toz metal malzemeler orta frekanslı indüksiyon cihazı kullanılarak, presleme sonrası farklı sıcaklıklarda sinterlenerek üretilmiştir. Karşılaştırma amacı ile aynı malzemelerin geleneksel olarak sinterlemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana amacı, indüksiyon ile sinterleme yönteminde, gele-

neksel sinterlemeye nazaran daha düşük sıcaklıklarda aynı dayanım değerlerinin elde edilebilirliğinin araştırılmasıdır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

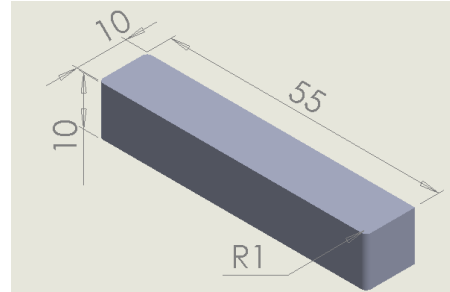
Bu çalışmada, %3 Bakır, %0,5 Grafit ve % 0,8 Çinko Stereat yağlayıcı içerikli ASC 100.29 demir tozu kullanılmıştır. Kullanılan tozun kimyasal özellikleri, fiziksel özellikleri ve elek analizi Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Högenas ASC 100.29 demir tozu kimyasal, fiziksel özellikleri ve elek analizi

Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel Özellikler		Boyut Analizi (%)	
C	0,5	Görünür Yoğunluk	2,42 g/cm ³	45 µ m <	23
O	0,7			45-150 µ m	69
Cu	3	Akış	31s/50 g	150-180 µ m	8
Demir	Balans			>180 µ m	0

2.1 Metot

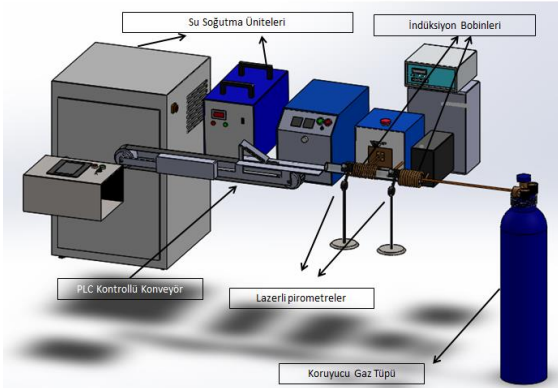
Materyal kısmında içeriği belirtilen metal tozu, 600 MPa basınç altında preslenmiş ve 10X10X55 mm boyutlarında numune elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin resmi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Preslenen Numunelerin Teknik Resmi

Numuneler, presleme sonrasında sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. İndüksiyon ile sinterleme işlemi Şekil 2'de gösterilen orta frekanslı indüksiyonla sinterleme düzeneğinde 15 dakika süresince 900,1000 ve 1120° C sıcaklıkta olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, karşılaştırma amacı ile, numuneler geleneksel sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Geleneksel sinterleme işleminde

sinterleme sıcaklığı 1120° C ve süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Orta frekanslı induksiyon ile sinterleme düzeneği.

Her iki sinterleme yönteminde de numuneler argon atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterleme sonrasında üretilen numunelerin dayanımlarını inceleme amacı ile numunelere 3 nokta eğme deneyi 100 kN kapasiteli SHIMADZU-AG marka cihazda 1 mm/dk hızda uygulanmıştır. Ayrıca numunelerin Rockwell-B sertlik değerleri BMS 200 RB marka cihazda 100 kg (981 Newton) kuvvet ile ASTM E18-12 standardına uygun olarak ölçülmüş ve numune mikro yapıları hem optik mikroskopla hem taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Optik mikroskop incelemeleri Nikon Eclipse LV150 marka optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kırık yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan incelemeleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan JEOL JSM 6060 marka cihazda gerçekleştirilmiştir.

3 Bulgular ve Tartışma

3.1 Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

Numunelere uygulanan üç nokta eğme deneyi sonuçları, Çizelge 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

Sinterleme Sıcaklığı (°C)	900	1000	1120	1120 (Geleneksel Sinterleme)
Üç Nokta Eğme Dayanımı (N/mm ²)	269,44	688,68	740,64	684,91

Geleneksel sinterleme ile elde edilen dayanım değerleri, induksiyon ile sinterleme işleminde, 15 dakika süresinde ve 1000 °C sıcaklıkta elde edilmiştir.

3.2 Rockwell-B Sertlik Ölçümü Sonuçları

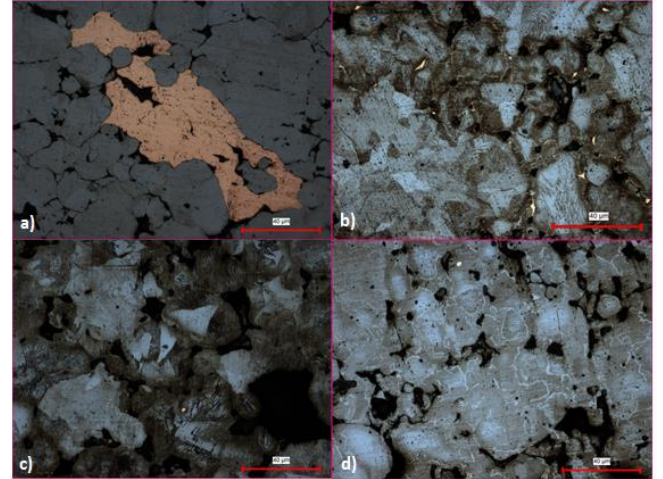
Numunelerin sertlik değerleri Çizelge 3'te yer almaktadır. 900° C'de sinterlenen numunelerin sertlik değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. 1000° C'de sertlik değerleri artış göstermekle beraber geleneksel sinterlemede elde edilen değerlere 1120° C'de ulaşılmıştır.

Çizelge 3. Numunelerin Rockwell-B Sertlikleri

Sinterleme Sıcaklığı (°C)	900	1000	1120	1120 (Geleneksel Sinterleme)
Sertlik (HRB)	17,24	48	57,94	54,37

3.3 Optik Mikroskop İncelemesi Sonuçları

Numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 3'te yer almaktadır.

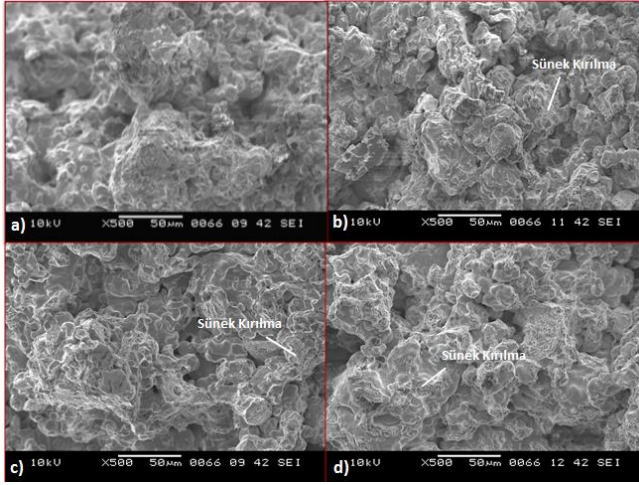


Şekil 3. Optik Mikroskop görüntüleri a) 900°C'de İndüksiyon ile Sinterlenen Numune, b) 1000°C'de İndüksiyon ile Sinterlenen Numune, c) 1120°C'de İndüksiyon ile Sinterlenen Numune, d) 1120°C'de Geleneksel Sinterlenen Numune

Mikro yapı fotoğraflarında 900°C'de sinterlemenin tam olarak gerçekleşmemesinden dolayı numune içerisindeki bakır tozlarının bir arada kaldığı görülmektedir. 1000°C'de sinterleme olayı gerçekleşmeye başlamış ve bakır kısmı olarak dağılmıştır. 1120 °C'de ise bakırın ergiyip dağıldığı görülmektedir.

3.4 SEM İncelemesi Sonuçları

Numunelerin SEM kırık yüzeyi görüntüleri Şekil 4'te yer almaktadır.



Şekil 4. SEM Kırık Yüzey Görüntüleri a) 900°C'de İndüksiyon ile Sinterlenen Numune, b) 1000°C'de İndüksiyon ile Sinterlenen Numune, c) 1120°C'de İndüksiyon İndüksiyon ile Sinterlenen Numune, d) 1120°C'de Geleneksel Sinterlenen Numune

SEM kırık yüzeyi fotoğraflarında, 900°C'de sinterlenen numunelerde sünek kırılma bölgelerine az rastlandığı görülmüştür. Bu da sinterlemenin bu sıcaklıkta tam olarak gerçekleşmediğini gösterir. 1000°C'de sünek kırılma bölgeleri artış göstermiştir. 1120°C sıcaklıkta da sünek kırılma bölgelerinin fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Demir esaslı toz metal malzemelerin sinterleme işlemi genellikle 1120 °C sinterleme sıcaklığında gerçekleştirilmektedir [38-43]. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda [30-37] indüksiyon ile sinterleme sıcaklığı sabit 1120 °C olarak uygulanmıştır. Bu çalışmada, sıcaklık azaltılarak etkileri gözlemlenmiştir.

4 Sonuç

Gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonucunda;

- Geleneksel sinterlemede elde edilen dayanım değerleri, indüksiyon ile sinterleme yöntemi ile daha düşük sıcaklık ve sürelerde elde edilmiştir.
- 900°C'de yapılan sinterleme işleminde, gerekli dayanım değerlerinin elde edilemediği görülmüştür. Ancak 1000°C'de gerçekleştirilen indüksiyon ile sinterleme işleminde, ge-

leneksel sinterleme işlemindeki dayanım değerleri elde edilmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde 900°C'de düşük sertlik değerlerinin elde edildiği görülmektedir. 1000°C sinterleme işleminde sertliğin 900°C'ye göre büyük değerlerde artışı da bu sıcaklıkta sinterleme işleminin gerçekleştiğinin göstergesidir. Mikro yapı fotoğraflarından da dayanım ve sertlik değerlerine orantılı olarak bakır fazın 900°C'de ergiyip dağılmadığı görülmüştür. Burada sertlik ve dayanım değerlerinin oldukça düşük olmasının sebebi de sinterlemenin hemen hemen hiç gerçekleşmemesidir. SEM kırık yüzeyi incelemelerinde de sıcaklık artışı ile beraber sünek kırılma bölgelerinin arttığı görülmektedir. Yine bu fotoğraflardan da 900°C'de sinterlemenin gerçekleşmediği ancak 1000°C'de ve 1120°C'de sinterlemenin gerçekleştiği görülmektedir.

- Sonuç olarak, malzemenin kullanım alanlarında malzemenin beklenen dayanım ve sertlik değerleri göz önüne alınarak, indüksiyon ile sinterleme yönteminde sinterleme sıcaklıklarının düşürülebileceği ve bu sayede daha düşük enerji tüketiminin gerçekleştirileceği belirlenmiştir.

5 Referanslar

- [1] Jang, G.B., Hur, M.D., Kang, S.S. A study on the development of a substitution process by powder metallurgy in automobile parts. *Journal of Materials Processing Technology*. 2000, 100, 110-115.
- [2] Kalpakjian, S., *Manufacturing Engineering and Technology 2nd Ed.* Wesley, Reading, MA. Eb, 1992, s 1197.
- [3] Randall M. G., Editörler; Durlu, N., Sarıtaş, S., Türker, M., 2007, *Toz ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri*, TMMOB, Ankara/Türkiye.
- [4] German, R. M., Çeviri H. Özkan GÜLSOY, *Sinterleme Teorisi ve Uygulamaları*, Nobel Yayınevi, Ankara/Türkiye, 2014. s 554.

- [5] Atik, E., Çavdar, U., 2011, Geleneksel ve Hızlı Sinterleme Yöntemleri, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi Cilt 1, Sayı:15.
- [6] Shon, I.J., Jeong, I.K., Ko, I., Doh, J.M., Woo, K.D. Sintering behavior and mechanical properties of WC-10Co, WC-10Ni and WC-10Fe hard materials produced by high-frequency induction heated sintering. Elsevier Science, *Ceramics International*. 2009; 35, 339-344.
- [7] Abbasi B. J., Zakeri, M., Tayebifard, S. A., High frequency induction heated sintering of nanostructured Al₂O₃-ZrB₂ composite produced by MASHS technique, *Ceramics International*. 2014; 40(7), 9217-9224.
- [8] Shon, I.J., Jo, S.H., Doh, J.M., Yoon, J.K., Park, B.J. Mechanical synthesis and rapid consolidation of nanostructured FeAl-Al₂O₃ composites by high-frequency induction heated sintering. *Ceramics International*. 2012, 38:7, 635-639.
- [9] Kim, H.C., Shon, I.J., Munir, Z.A. Rapid sintering of ultra-fine WC-10 wt% Co by high-frequency induction heating. *Journal of Materials Science*. 2005; 40, 2849-2854.
- [10] Kim, H.C., Shon, I.J., Yoon, J.K., Lee, S.K., Munir, Z.A. One step synthesis and densification of ultra-fine WC by high-frequency induction combustion. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2006, 24, 202-209.
- [11] Kim, H.C., Shon, I.J., Yoon, J.K., Doh, J.M., Munir, Z.A. Rapid sintering of ultrafine WC-Ni cermets. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2006, 24, 427-431.
- [12] Kim, H.C., Yoon, J.K., Doh, J.M., Ko, I.Y., Shon, I.J. Rapid sintering process and mechanical properties of binderless ultra fine tungsten carbide. *Materials Science and Engineering: A*. 2006, 435, 717-724.
- [13] Kim, H. C., Park, H. K., Jeong, I. K., Ko, I. Y., Shon, I., J. Sintering of binderless WC-Mo₂C hard materials by rapid sintering process. *Ceramics International*. 2008, 34, 1419-1423.
- [14] Kim H. C., Oh, D. Y., Shon, I., J. Synthesis of WC and dense WC-xvol. %Co hard materials by high-frequency induction heated combustion method. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2004, 22, 41-49.
- [15] Kim, H.C., Shon, I.J., Munir, Z.A. Rapid sintering of ultra-fine WC-10 wt% Co by high-frequency induction heating *Journal of Materials Science*. 2005; 40, 2849-2854.
- [16] Kim, H.C., Shon, I.J., Yoon, J.K., Lee, S.K., Munir, Z.A. One step synthesis and densification of ultra-fine WC by high-frequency induction combustion. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2006; 24, 202-209.
- [17] Kim, H.C., Shon, I.J., Yoon, J.K., Doh, J.M., Munir, Z.A. Rapid sintering of ultrafine WC-Ni cermets *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2006, 24, 427-431.
- [18] Kim, S.W., Khalil, K.A., Cockcroft, S.L., Hui, D., Lee, J. H. Sintering behavior and mechanical properties of HA-X% mol 3YSZ composites sintered by high frequency induction heated sintering. *Composites: Part B*. 2013; 45, 1689-1693.
- [19] Kim, H. C., Park, H. K., Jeong, I. K., Ko, I. Y., Shon, I., J. Sintering of binderless WC-Mo₂C hard materials by rapid sintering process. *Ceramics International*. 2008, 34, 1419-1423.
- [20] Kim H. C., Oh, D. Y., Shon, I., J. Synthesis of WC and dense WC-xvol.%Co hard materials by high-frequency induction heated combustion method. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2004; 22, 41-49.
- [21] Doh, J.M., Jeong, I. K., Kim, H. C., Ko, I. Y. Shon, I. J., Yon I. J. Rapid sintering of ultra-fine WC and WC-Co hard materials by high frequency induction heated sintering and their mechanical properties. *Metals And Materials International*. 2007, 13(1), 39-45.

- [22] Park, H.K., Shon, I.J., Yoon, J.K., Doh, J.M., Ko, I.Y., Munir, Z.A. Simultaneous synthesis and consolidation of nanostructured NbSi₂-Si₃N₄ composite from mechanically activated powders by high frequency induction-heated combustion. Elsevier, Journal of alloys and compounds. 2008, 461, 560-564.
- [23] Khalil, K.A., Kim, S.W. Mechanical wet-milling and subsequent consolidation of ultra-fine Al₂O₃-(ZrO₂+Y₂O₃) bioceramics by using high-frequency induction heat sintering. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2007, 17, 21-26.
- [24] Kim, H.C., Shon, I. J., Munir, Z. A. Rapid sintering of ultra-fine WC-10 wt % Co by high frequency induction heating. International Journal of Refractory metals & HardMaterials. 2006, 24, 427-431.
- [25] Kim, H.C., Oh, D.Y., Shon, I.J. Sintering of nanophase WC-15 vol. %Co hard metals by rapid sintering process. Refractory Metals & Hard Materials. 2004; 22, 197-203.
- [26] Mazaheri, M., Zahedi, A.M., Haghghatzadeh, M., Sadrnezhad, S.K., Sintering of titania nanoceramic: Densification and grain growth. Ceramics International. 2009; 35, 685-691.
- [28] Kim C. H., Yoon J. K., Doh J.M., Ko I. Y., Shon I. J. Rapid sintering process and mechanical properties of binderless ultra fine tungsten carbide. Materials Science and Engineering A. 2006, 435, 717-724.
- [29] Abbasi B. J., M. Zakeri, S. A. Tayebifard, High frequency induction heated sintering of nano structured Al₂O₃-ZrB₂ composite produced by MASHS technique Ceramics International 2014, 40, 9217-9224.
- [29] Khalil, A.K., Almajid, A.A., Effect of high-frequency induction heat sintering conditions on the microstructure and mechanical properties of nanostructured magnesium/hydroxyapatite nanocomposites. Materials and Design. 2012, 36, 58-68.
- [30] Çivi, C.; Atik, E., Comparison Of Effect Of Induction And Classical Sintering To Mechanical Properties Of Powder Metal Components, AIP Conference Proceedings 2012; 1476, 119-122.
- [31] Çivi, C., Akpınar, G., Atik, E., Effects of the sintering parameters on mechanical properties of Fe-based powder metal parts, International Porous Powder Materials Symposium (PPM 2013), İzmir Turkey, Proceedings Book, 2013; pp 180-185.
- [32] Çivi, C., Atik, E., Fırında Klasik Olarak Ve İndüksiyonla Sinterleme Yöntemiyle Sinterlenerek Üretilen Toz Metal Burçların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, Bursa OTEKON 2012, 04 - 05 Haziran 2012, 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitapçığı, Bursa, TURKEY, 2012,.
- [33] Çavdar, U., Atik, E., Determination sintering time and temperature parameters for the medium frequency induction sintering of iron based powder metal compacts, Wulfenia Journal, 2013; 20(1), 273-283.
- [34] Çivi, C., Demir Esaslı T/M Parçaların Düşük Frekanslı İndüksiyonla Sinterlenmesinde Sürenin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Haziran 2011.
- [35] Çivi, C., Tahrali, N., Atik, E., "Reliability Of Mechanical Properties Of Induction Sintered Iron Based Powder Metal Parts" Materials & Design 2014, 53, 383-397.
- [36] Çivi, C.; Akpınar, G.; Atik, E. Mechanical properties of conventionally and induction sintered Fe-based powder metal bushings. Materials Testing. 2015, 57(6), 518-523.
- [37] Çivi, C., Toz Metal Parçaların Orta Ve Düşük Frekanslı İndüksiyon İle Sinterlenmesinde Sinterleme Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Şubat 2016.
- [38] Rol, H., Johnson, P. K. Perspective in powder metallurgy volume 3: Iron Powder Metallurgy.

Kempton, Springer-Science+Business Media, B.V. 1968, s 379.

[39] Narasimhan, K. S. Sintering of powder mixtures and the growth of ferrous powder metallurgy. *Materials Chemistry and Physics*, 2001; 67(1-3), 56-65.

[40] Zarebski, K., Putyra, P. Iron powder-based graded products sintered by conventional method and by SPS. *Advanced Powder Technology*, 2015; 26, 401–408.

[41] Hryha, E., Dudrova, E., Nyborg, L. On-line control of processing atmospheres for proper sintering of

oxidation-sensitive PM steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 2012; 212. 977–987.

[42] Çavdar, U., Ünlü, B. S., Pinar, A. M., Atik, E., Mechanical properties of heat treated iron based compacts. *Materials and Design*. 2015; 65, 312–317.

[43] Babakhani, A., Haerian, A., Ghambri, M. Effect of heat treatment, lubricant and sintering temperature on dry sliding wear behavior of medium alloyed chromium PM steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008; 204, 192–198.