

%93 Co İçeren Borlanmış Co-Mg Alaşımının Karakterizasyonu

İsmail Yıldız^{1,*}, İbrahim Güneş²

Özet: Bu çalışmada, %93 Co ve %7 Mg içeren Co-Mg alaşımının borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Alaşım malzemesini üretmek için toz metalurjisi yöntemiyle Co ve Mg metal tozları uygun kaplar içerisinde karıştırılarak özel olarak tasarlanmış silindirik kalıplara dökülmüş ve 300 bar basınç altında preslendikten sonra Argon gazı atmosferine sahip tüp fırın içerisinde 530 °C sıcaklıkta sinterleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Sinterlenerek üretilen numunelere sırasıyla sertlik ve yoğunluk testleri uygulanmıştır. Sinterleme sonucunda malzemelerde 155 HV_{0,05} değeri elde edilirken yoğunluk değeri 4,5 gr/cm³ olarak ölçülmüştür. Ayrıca, sinterlenerek üretilmiş numunelere kapalı fırın ortamında 850 ve 900 °C sıcaklıklarda 1.5 – 4.5 saat sürelerde ticari Ekabor II tozu kullanılarak borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Borlanan numunelere metalografik analiz olarak SEM analiz çalışması yapılarak borür tabakaları ölçülmüştür. Elde edilen borür tabakaları en düşük 850 °C sıcaklıkta 1,5 saat sürede 47 µm olarak belirlenirken en yüksek 900 °C sıcaklık 4,5 saat sürede 98 µm olarak ölçülmüştür. Borlama işlemi sonucunda elde edilen borür fazları XRD analizi ile belirlenmiştir. Borlanmış Kobalt-Magnezyum numunelerinin XRD analizi sonucunda CoB ve Co₂B fazları elde edilmiştir. Mg içeriğinin borlama olayına yardımcı olması ve borür tabakalarının büyümesine etki etmesinin dışında mikroyapıda gözenekli bir yapı oluşmasına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Borlama, alaşım, toz, sinterleme

Abstract: In this study, boronizing of Co-Mg alloy containing 93% Co and 7% Mg was performed. In order to produce the alloy material, Co and Mg metal powders were poured into specially designed cylindrical molds by mixing them in suitable containers and pressed under 300 bar pressure. Sintered samples were subjected to hardness and density tests. As a result of sintering, the HV_{0,05} value of the materials was obtained while the density value was measured as 4.5 gr/cm³. In addition, sintered samples were piped using commercial Ekabor II powder at a temperature of 850 and 900 °C for 1.5-4.5 hours. Boronized samples were analyzed by using SEM analysis as metallographic analysis. The obtained boride layers were determined as 47 µm at a minimum of 850 °C for a period of 1.5 hours and the highest 900 °C temperature was measured as 98 µm in 4.5 hours. Boron phases were determined by XRD analysis. As a result of XRD analysis of boronated Cobalt-Magnesium samples, CoB and Co₂B phases were obtained.

Keywords: Boronizing, alloy, powder, sintering

1 GİRİŞ

Borlama, bor atomlarının ana malzeme ile bor tabakaları oluşturmak için bir iş parçasının yüzeyinden içeriye doğru yayıldığı bir termokimyasal yüzey işlemidir [1-4]. Borlama, malzemelere yeterli bir şekilde uygulandığında, yüzeylerde yüksek sertlik, aşınma ve aşınma direnci, ısı direnci veya korozyon direnci sağlar [5-7]. Borlamanın asıl avantajı, borlanan metallerde düşük sürtünme katsayılarında bile yüksek değerlere sahip yüzey sertliği elde etmektir [8,9].

Borlama yöntemi, yüzeyleri iyi temizlenmiş malzemelere katı, sıvı veya gazlı ortam içerisinde tercihen 800 ile 1000 °C [10,11] sıcaklık ve 1 ila 12 saat

aralığında ısıtılmasıyla gerçekleşir. En çok kullanılan yöntem, kapalı kaplar içerisinde yapılan kutu borlamadır [12-14].

Çalışmada %93 Co içeren Co-Mg alaşımlarının sinterleme yöntemiyle üretilen numunelere ticari Ekabor-II tozu kullanılarak borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Borlanan numunelere yoğunluk ve mikrosertlik testlerinin yanı sıra metalografik analiz olarak XRD ve mikroyapı çalışmaları uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürle kıyaslanmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, % 93 Co-% 7 Mg alaşım malzemelerini üretmek için % 99 saflığa sahip Co ve Mg metal tozları kullanılmıştır. Alaşım malzemelerini elde etmek için Toz Metalurjisi (TM) yöntemi ile çalışılmıştır. Co-Mg metalik tozlar kaplar içerisinde 24 saat süre sonrasında homojen bir şekilde karıştırılmasını takiben özel olarak tasarlanmış soğuk metal kalıba dökülmüş ve tek eksenli preste yaklaşık olarak 300 bar basınç altında preslenmiştir. Preslenerek şekillendirilen malzemeler dayanıklılıklarını arttırmak için ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem, koruyucu atmosferik gaz ortamına sahip tüp fırında içerisinde 530 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle gerçekleştirilmiştir.

Yoğunluk $d=m/v$ formülüne göre hesaplanmıştır. Burada m, sinterlenmiş numunenin kütlesi; v, sinterlenmiş numunenin hacmi olarak hesaplanmıştır.

Isıl işlem sonrasında numuneler borlama işlemine tabi tutulmuştur. Borlama işleminde, bir kap içerisine numunelerin altına ve üzerine ticari Ekabor II toz karışımları dökülmüştür. Kabin üzeri ve kapağı şamot çamuru ile kaplanmıştır (Resim 1). Fırın ortamında 850 ve 900 °C sıcaklıklarda 1,5 ve 4,5 saat süre aralığında ısıtmaya tabi tutulmuşlardır. Bu süreler sonrasında numuneler fırından çıkarılarak soğumaya bırakılmıştır.

Borlama sonrasında numunelere metalografik analiz olarak XRD ve SEM analizi yapılmış, mikrosertlik testi uygulanmıştır. XRD analizinde, X-Işını olarak Cu K (alpha) tercih edilmiştir. Analizde tarama hızı 0,02 °/dk ve tarama açısı ise 2 Theta olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik testinde, yüzeyden içeriye doğru 5 farklı ölçüm yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır.



Resim 1. Borlama işleminde kullanılan borlama kapları

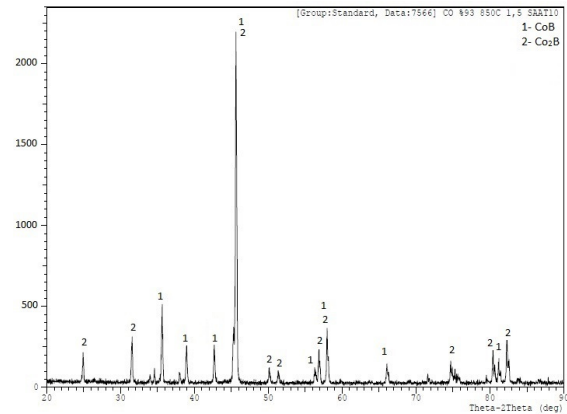
3 DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Yoğunluk

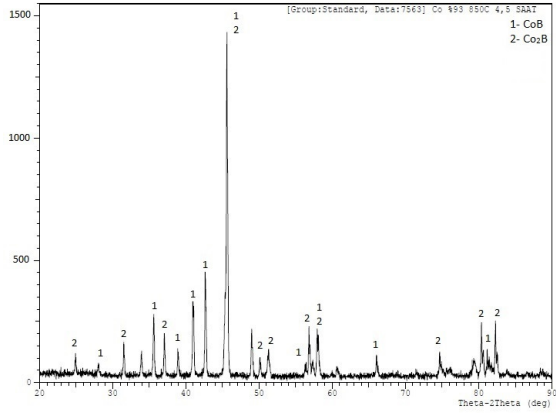
Sinterleme sonrasında yapılan hesaplama sonucunda yoğunluk değeri $4,5 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır.

3.2 XRD Analizi

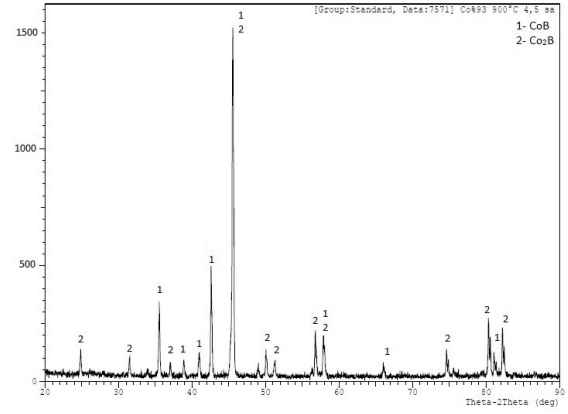
Şekil 1 ve 2'de 850 °C sıcaklıkta 1,5 ve 4,5 saat sürede borlanmış Co %93-Mg %7 kompozisyonuna ait XRD analiz sonuçları görülmektedir. Sonuçlarda en yüksek faz değerlerine CoB ve Co₂B pikleri sahiptir. Johnston vd., Campos-Silva vd. [15,16] 950 ve 1000 °C'de borlama işlemi gerçekleştirmiş ve CoB ve Co₂B pik oranlarını 1500 değer olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada ise 2000 değer olarak elde edilmiştir.



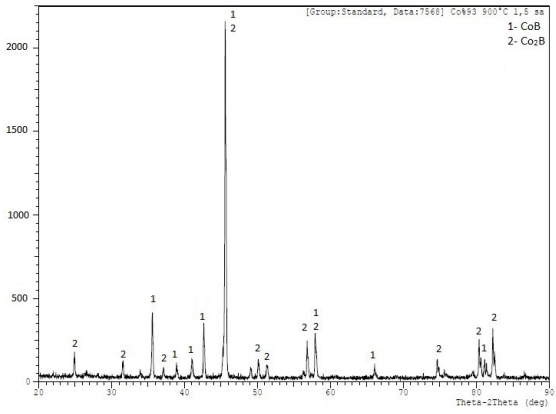
Şekil 1 %93 Co-%7 Mg kompozisyonuna 850 °C sıcaklıkta 1,5 saat sürede gerçekleştirilen borlama işlemi sonrası yapılan XRD analiz sonucu



Şekil 2 %93 Co-%7 Mg kompozisyonuna 850 °C sıcaklıkta 4,5 saat sürede gerçekleşen borlama işlemi sonrası yapılan XRD analiz sonucu



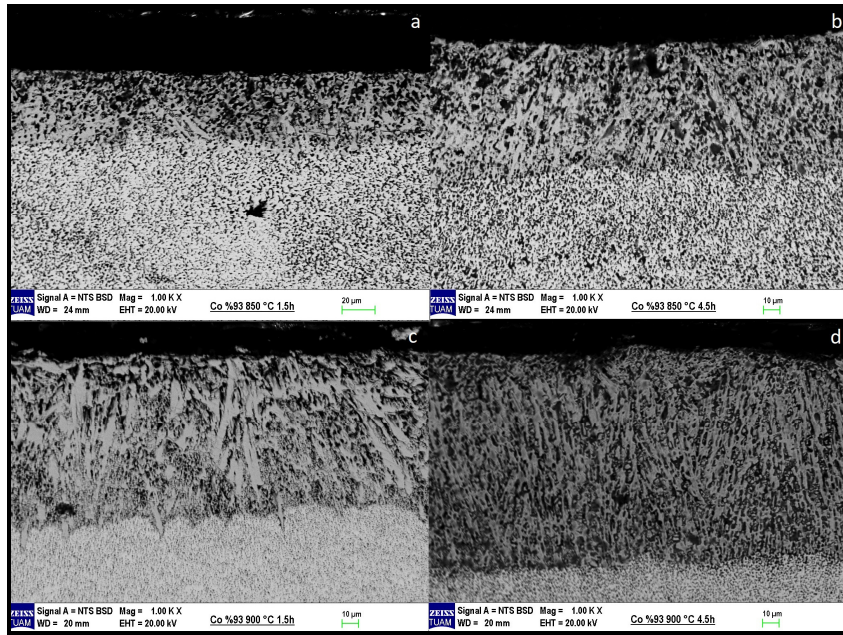
Şekil 4 %93 Co-%7 Mg kompozisyonuna 900 °C sıcaklıkta 4,5 saat sürede gerçekleşen borlama işlemi sonrası yapılan XRD analiz sonucu



Şekil 3 %93 Co-%7 Mg kompozisyonuna 900 °C sıcaklıkta 1,5 saat sürede gerçekleşen borlama işlemi sonrası yapılan XRD analiz sonucu

Şekil 3 ve 4'de 900 °C sıcaklıkta 1,5 ve 4,5 saat sürede borlanmış %93 Co-%7 Mg kompozisyonuna gerçekleştirilen XRD analiz sonuçları görülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak CoB ve Co₂B pik değerlerinde artışlar olmuştur. Bu durum borlamanın gerçekleştiğini göstermektedir. Al-Zain vd. ve Choi vd. [17,18] yaptıkları çalışmada Co₂B faz değerini 2500 olarak bulmuşlardır. Gerçekleşen bu çalışmada ise 1500 ve 2000 olarak elde edilmesi çalışmanın gerçekleştiğini göstermektedir.

3.3 Mikroyapı

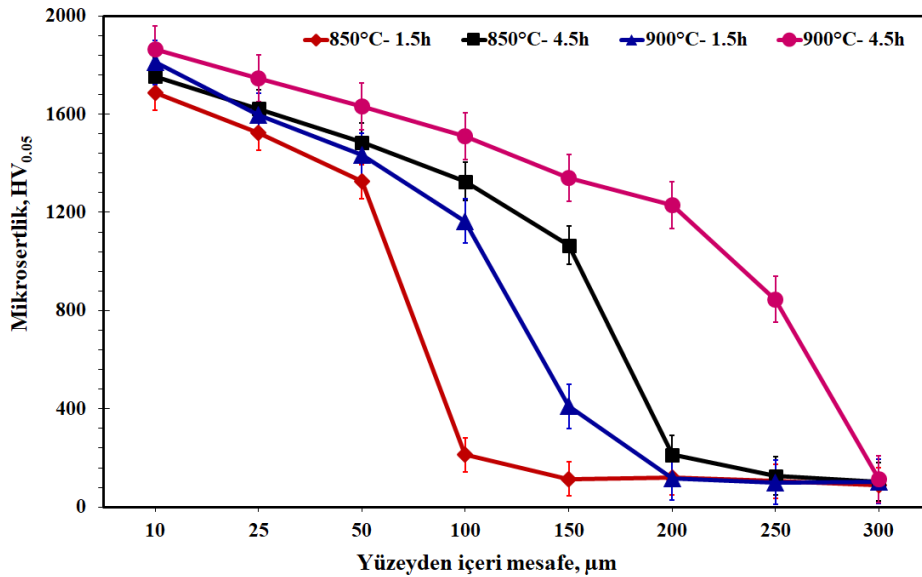


Şekil 5. Borlanmış % 93 Co ile % 7 Mg alaşımının mikroyapı görüntüleri (a: 850 °C 1,5 saat, b: 850 °C 4,5 saat, c: 900 °C 1,5 saat, d: 900 °C 4,5 saat)

Şekil 5'de Ekabor II tozu kullanılarak borlanmış % 93 Co ile % 7 Mg alaşımlarının mikroyapı görüntüleri görülmektedir. 900 °C'de yapılan borlamada borür tabaka kalınlığı ve difüzyon bölgeleri çok belirgin bir şekilde gözükmemektedir. Bu durum 4,5 saat sürelerde daha net görünmektedir. Tabaka kalınlıkları 1,5 saat sürede 76 µm, 4,5 saat sürede ise 164 µm olarak ölçülmüştür. 1000 °C'de yapılmış borlama sonucunda ise, bor tabakalarında ve difüzyon bölgelerinde bozulmalar oluşmuştur. Buna rağmen bor tabaka

alınlıkları ölçülmüştür. 1000 °C 1,5 saat sürede 115 µm, 4,5 saat sürede ise 248 µm tabaka kalınları elde edilmiştir. Görüntüler incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak bor tabaka kalınları artsa da gerek bor tabakasının ve difüzyon bölgesinin bozulmamasından dolayı 900 °C en iyi bor sıcaklığı olarak gözlemlenmiştir.

3.4. Mikrosertlik



Şekil 6. Borlanmış % 93 Co ile % 7 Mg alaşımının mikrosertlik değerleri

Şekil 6'da mikrosertlik değerleri görülmektedir. Borlama işlemi için uygulanan sıcaklık ve sürenin artmasına bağlı olarak sertlik değerlerinde de artışlar olmuştur. En yüksek sertlik değeri 900 °C'de 4.5 saat süre sonrasında elde edilirken en düşük sertlik değeri 900 °C'de 1.5 saat süre sonrasında elde edilmiştir. Borlanmamış numunenin sertliği ise, 74 HV_{0,05} olarak bulunmuştur.

4 SONUÇLAR

- Sinterleme sonrasında üretilen numunelerin yoğunluk değeri 4,5 gr/cm³ olarak bulunmuştur.
- Sinterleme sonucunda malzemelerde 155 HV_{0,05} değeri elde edilmiştir.
- Borlama sonrasında borlanan numunelere XRD analiz çalışması yapılmıştır. Analiz sonucunda CoB ve Co₂B faz değerleri ortaya çıkmıştır.
- Gerçekleştirilen borlama işlemi neticesinde borür tabaka kalınlıkları ve difüzyon bölgeleri oluşmuştur. Oluşan tabaka kalınlıkları, 850 °C'de 1,5 saat sürede 47 µm, 4,5 saat sürede ise 68 µm, 900 °C 1,5 saat sürede 85 µm, 4,5 saat sürede ise 98 µm olarak ölçülmüştür.
- Borlama sonrasında yapılan mikrosertlik sonucunda en yüksek sertlik değeri 900 °C'de 4.5 saat süre sonrasında ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise 850 °C'de 1.5 saat sürede yapılan borlanmış numunede elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Gerçekleştirilen bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK 17.MYO.05 no'lu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna çok teşekkürler.

KAYNAKLAR

- [1] Campos-Silva, I., Ortiz-Domínguez, M., López-Perrusquia, N., Meneses-Amador, A., Escobar-Galindo, R., Martínez-Trinidad, J., (2010). Characterization of AISI 4140 borided steels. *Applied Surface Science*, vol. 256, doi:10.1016/j.apsusc.2009.10.070, p. 2372-2379.
- [2] Delgado-Brito, A.M., López-Suero, D., Ruiz-Ríos, A., García-León, R. A., Martínez-Trinidad, J., Oseguera-Peñab, J., Campos-Silva, I. (2019). Effect of the diffusion annealing process in the indentation properties of cobalt boride layer. *Ceramics International*, vol. 45, https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.01.081, p. 7767-7777.
- [3] Gunes, I., Yıldız, I., (2016). Investigation of Adhesion and Tribological Behavior of Borided AISI 310 Stainless Steel. *Revista Materia*, vol. 21, ISSN 1517-7076, p. 61-71.
- [4] Balusamy, T., Sankara Narayanan, T. S. N., Ravichandran, K., Il Song Park, Min Ho Lee. (2013). Effect of surface mechanical attrition treatment (SMAT) on pack boronizing of AISI 304 stainless steel. *Surface & Coatings Technology*, vol. 232, https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.04.053, p. 60-67.
- [5] Cimenoglu, H., Atar, E., Motallebzadeh, A. (2014). High temperature tribological behaviour of borided surfaces based on the phase structure of the boride layer. *Wear*, vol. 309, DOI://1016/j.wear.2013.10.012, p. 152-158.
- [6] Gunes, I., Yıldız, I. (2015). Rate of Growth of Boride Layers on Stainless Steels. *Oxidation Communication*, vol. 38(4/A), ISSN 02094541, p. 2189-2198.
- [7] Şahin, S. (2009). Effects of Boronizing Process on The Surface Roughness and Dimensions of AISI 1020, AISI 1040 and AISI 2714. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.04.040, p. 1736-1741.
- [8] Saygın M. (2014). AISI 1020 Çeliklerinde Borlamanın Yorulma Dayanımına Etkisi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 46s, Eskişehir.
- [9] Uslu, I., Comert, H., Ipek, M., Celebi, F.G., Ozdemir, O., Bindal, C. (2007). A comparison of Borides Formed on AISI 1040 and AISI P20 Steels. *Materials and Design*, vol. 28, https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.04.019, p. 1819-1826.
- [10] Yılmaz R. (2014). Karbür Kesici Takımların Süper Alaşım Talaşlı İmalat Performanslarına Borlama İşleminin Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 83s, İstanbul.
- [11] Yıldız I., Gunes I., Ulker Ş. (2018). Borlanmış Fe-Mg Alaşımının Aşınma Davranışının İncelenmesi. *1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials*, Karabük. 22-24 Mart 2018, p. 138-141.
- [12] Efe, G. Ç., İpek, M., Özbek, İ., Bindal, C. (2008). Kinetics of borided 31CrMoV9 and 34CrAlNi7 steels, *Materials Characterization*, vol. 59, https://doi.org/10.1016/j.matchar.2006.10.007, p. 23-31.
- [13] Arat M. (2011). Paslanmaz Çelik 310 ve 316 Metalinin Plazma Borlama ve Nitritleme Metodu ile Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 77s, İstanbul.
- [14] Campos, I., Oseguera, J., Figueroa, U., Garcı'a, J. A., Bautista, O., Kelemenis. (2003). Kinetic Study of Boron Diffusion in The Paste-Boriding Process. *Materials Science and Engineering*, vol. A352, https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00910-3 p. 261-265.

- [15] Johnston, J. M., Jubinsky, M., Catledge, S. A. (2015). Plasma boriding of a cobalt–chromium alloy as an interlayer for nanostructured diamond growth. *Applied Surface Science*, vol. 328, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.11.129>, p. 133-139.
- [16] Campos-Silva, I., Bravo-Bárceñas, D., Cimenoglu, H., Figueroa-López, U., Flores-Jiménez, M., Meydanoglu, O. (2014). The boriding process in CoCrMo alloy: Fracture toughness in cobalt boride coatings. *Surface and Coating Technology*, vol. 260, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.07.092>, p. 362-368.
- [17] Al-Zain, O. A., Al-Masoudi, Soliyman, R. (2017). Nano-Metal Borides of Cobalt, Nickel and Copper. *Journal of J Nanomedicine & Nanotechnology*, vol. 8, ISSN: 2157-7439, p. 477.
- [18] Choi, S., Lapitan Jr., L.D.S., Cheng, Y., Watanabe, T. (2014). Synthesis of cobalt boride nanoparticles using RF thermal plasma. *Advanced Powder Technology*, vol. 25, <https://doi.org/10.1016/j.apt.2013.06.002>, p. 365-371.

Yazar Adresleri

¹İsmail YILDIZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 03750, Afyonkarahisar, Türkiye
e-mail: iyildiz@aku.edu.tr
Telefon: 0(272)218 37 07

²İbrahim GÜNEŞ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye,
e-mail: igunes@aku.edu.tr
Telefon:0(272)218 25 10

Sorumlu Yazar

*İsmail YILDIZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 03750, Afyonkarahisar, Türkiye
e-mail: iyildiz@aku.edu.tr
Telefon: 0(272)218 37 07