

Sahibi

Prof. Dr. Refik POLAT (Karabük Üniversitesi adına)

Yayın Yönetmenleri

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

Prof. Dr. Yavuz SUN

Editör

Prof. Dr. Yavuz SUN

Editör Yardımcıları

Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN

Doç. Dr. Üyesi Engin ÇEVİK

Dr. Öğr. Üyesi Safa POLAT

Editör Kurulu

Prof. Dr. Yavuz SUN

Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN

Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK

Dr. Öğr. Üyesi Alper İNCESU

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

Dr. Öğr. Üyesi Safa POLAT

Dr. Öğr. Üyesi Yasin AKGÜL

Yazı İşleri

Arş. Gör. Abdullah DAĞDEVİREN

Arş. Gör. Muhammet Mevlüt KARACA

Cilt
Volume

3

Sayı
Issue

2

Aralık
December

Ürün Bilgisi

Production Information

Yayıncı
Publisher

Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü
Karabuk University Iron and Steel Institute

Sahibi
Owner

Refik Polat (Karabük Üniversitesi Adına)
(On Behalf of Karabuk University)

Web Sayfası
Web Page

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jesred>

Yayın Dili
Language

İngilizce / Türkçe
English / Turkish

Yayın Aralığı
Frequency

Yılda iki kez yayınlanır
Published two times in a year

Yayın Türü
Type of Publication

Sürelî yayın
Periodical

e-ISSN Numarası
e-ISSN Number

2757-8224

Yazışma Adresi

Correspondence Address

Karabük Üniversitesi
Demir Çelik Enstitüsü

Karabuk University Institute of Iron and Steel

Telefon: +90 370 433 88 33

Phone: +90 370 433 88 33

Fax: +90 370 433 88 32

Fax: +90 370 433 88 32

E-posta adresi:
jesred@karabuk.edu.tr

E-mail: jesred@karabuk.edu.tr

**<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jesred>
adresinden dergiye ilişkin bilgilere ve
makalelerin tam metnine ulaşılabilir.**

**Instructions for authors and all articles in this
journal can be reached at
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jesred>**

İçindekiler

Table of Contents

Sayfa

Makaleler başlıkları ve yazarlar

Pages

Articles titles and authors

1-7

Sementasyon İşleminin Sıcak İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi

Sharfuldeen Ali Abourawi Alfaydh , Harun Çuğ , Yasin Akgül , Alper İncesu , Andinet Kumella Eticha , Salih Birhan 

8-15

Effect of boronizing process on wear properties of 16MnCr5 steels

Ali Yağız ŞAHİN , Muhammet Emre TURAN 

16-22

Ark-Sprey Yöntemi ile Düşük Karbonlu Çelik Üzerine Kaplanan Inconel-625 Alaşımının Sertlik ve Mikro Yapı İncelemesi

Şenol LİMAN , Bünyamin ÇİÇEK , Tuna AYDOĞMUŞ 

23-32

Toz Metal 316l Paslanmaz Çeliğe Hidroksiapatit ve Al₂O₃ İlavesinin Sertlik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi

Mehmet Akif Erden , Abkar Ahmed Ali DHAIBAIN, Ahmet Serdar GÜLDİBİ 

33-39

Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Farklı Oranlarda Nikel İçeren Mo Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Mehmet Akif Erden 

Sementasyon İşleminin Sıcak İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi

Sharfuldeen Ali Abourawi Alfaydh¹ , Harun Çuğ¹ , Yasin Akgül² , Alper İncesu² ,
Andinet Kumella Eticha¹ , Salih Birhan¹ 

¹Karabuk University Mechanical Engineering Department, 78050 Karabuk, Türkiye
²Karabuk University Iron and Steel Institute, 78050 Karabuk, Türkiye

Başvuru: 30/10/2022 **Kabul:** 12/12/2022 **Çevrimiçi Basım:** 18/12/2022

Öz

Bu çalışmada, iki farklı süre (3 saat ve 6 saat) ve iki farklı sıcaklıkta (800 °C ve 930 °C) gerçekleştirilen kutu sementasyon işlemlerinin AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin kuru ve korozyif (%3,5 NaCl çözeltisi) ortamdaki aşınma davranışlarına etkileri incelenmiştir. Numunelerin sementasyona uğramış yüzeylerinin kesitleri Taramalı Elektron Mikroskobu ile incelenmiş, sementasyona bağlı sertlik değişimleri Vickers mikro sertlik ölçümü ile değerlendirilmiştir. En yüksek sertlik değerine (1011 HV) 930 °C'de 3 saat sementasyona uğratılan numunede ulaşılmıştır. Artan yüzey sertliğine bağlı olarak kuru ortamda en yüksek aşınma direncine de 930 °C'de 3 saat sementasyona uğratılan numune sahiptir. Korozyif ortamda yapılan aşınma testinde ise sementasyona uğramamış AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler

Sementasyon, Takım çelikleri, Aşınma, Sertlik

Investigation of the Effect of Cementation Process on the Wear Behavior of Hot Work Tool Steels

Abstract

In this study, the effects of pack cementation processes performed for two different durations (3 hours and 6 hours) and two different temperatures (800 °C and 930 °C) on the wear behavior of AISI H13 hot tool steel in dry and corrosive (3.5% NaCl solution) environments were investigated. The sections of cemented surfaces of the samples were examined by Scanning Electron Microscope and the hardness changes due to cementation were evaluated by Vickers micro hardness measurement. The highest hardness value (1011 HV) was reached in the sample cemented at 930 °C for 3 hours. Due to the increased surface hardness, the sample cemented for 3 hours at 930 °C has the highest wear resistance in a dry environment. In the abrasion test carried out in a corrosive environment, it was found that AISI H13 hot work tool steel, which has not been cemented, has a higher abrasion resistance.

Key Words

Cementation, Tool steels, Wear, Hardness

*Sorumlu Yazar: Yasin AKGÜL
yasinakgul@karabuk.edu.tr



Bu makaleden alıntı yapmak için: Y. Akgül ve ark., Sementasyon İşleminin Sıcak İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi, Çelik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 3(2), 1-7.

1. Giriş

Sıcak iş takım çeliklerinde, servis koşullarındaki termal gradyanlar boyutsal değişikliklere yol açarak stres ve deformasyon oluşturmaktadırlar [1]. Termal yorgunluk ve korozyon en çok takım ömrünü sınırlayan ve sıcak iş takım çeliklerinin takım arızasına neden olan önemli faktörlerdir [2]. 2000'li yıllarda, çelik malzemeler için yüzey işlemleri, servis koşulları altındaki performanslarını iyileştirmek amacıyla yaygın bir uygulama haline gelmiştir [3]. Bu sebeple, makine parçaları için yeni termal ve kimyasal ısıl işlem teknolojileri geliştirilmektedir [4]. Günümüzde yüzey işlemleri, zorlu ortamlarda çalışan takım çeliğinin aşınma direncinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.

AISI H13 takım çeliği, yüksek sıcaklık performansı, yüksek sertliği ve termal kararlılığı, korozyona ve aşınmaya karşı iyi direnci göz önüne alındığında, Al döküm kalıpları için kullanılmaktadır [1]. Döküm kalıp ömrünü uzatmak için, kalıp yüzeyine genellikle farklı termo-kimyasal işlemler uygulanmaktadır [5]. Kutu sementasyon işlemi, koruyucu difüzyon kaplamaları üretmek için etkili ve uygun bir yaklaşımdır [6]. Genel olarak numune, ek dolgu maddeleri, ana alaşım elementleri ve aktivatörlerden oluşan bir toz karışımına gömülür. Yüksek sıcaklıkta üretilen metal halojenür numune yüzeyine yayılır ve interdifüzyon etki ile yüzeyde koruyucu bir tabaka oluşturmaktadır [7].

Bu çalışmada, farklı kutu sementasyon parametrelerinin AISI H13 takım çeliğinin kuru ortam aşınma ve korozif ortam aşınma özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mikroyapı ve sertlik testi sonuçları ile ilişkilendirilerek açıklanmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

50x20x20 mm boyutlarındaki 4 farklı AISI H13 çeliği kutu sementasyon yöntemi ile kömür tozu içerisine gömülerek sementasyona tabi tutulmuştur. Fırında 800 °C ve 930 °C'de 3 ve 6 saat süreler olmak üzere 4 farklı parametre ile sementasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numuneler yağda soğutulmuştur. Son olarak numunelere 300 °C'de gerilim giderme ısıl işlemi uygulanmıştır. Sementasyon uygulanan numunelere test ve analizler en az 24 saat sonra yapılmıştır.

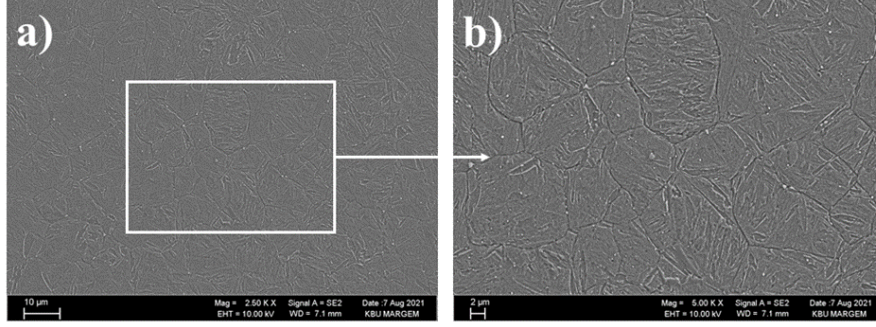
Numuneler mikroyapı incelemesi için kesitten sırasıyla 400, 800, 1200 ve 2500 kumlu zımparalarla zımparalanmıştır. Daha sonra 3µm ve 1µm elmas çözeltileri ile parlatma yapılmıştır. Akabinde, %2 nital solüsyon hazırlanarak dağlama işlemi yapılmıştır. Vickers sertlik testleri QNESS marka Q250M model sertlik cihazında HV0.1 (100 gr.) yük altında 15 saniye süreyle yapılmıştır. Yüzeyden merkeze doğru toplam 450 µm uzunluğa sahip yüzeyden 50 µm adımlarla hareket ettirilerek 9 ölçüm yapılmıştır. Her ölçüm 3 kez tekrarlanmış ve ortalaması alınmıştır.

ASTM G33 standardına uygun lineer ileri geri hareket tipi ile kuru ve korozif ortamda UTS marka aşınma test cihazında aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testinde 100Cr6Al bileşiminde 6 mm çapında aşındırıcı bilyeler kullanılmıştır. Numuneler 20N, 40N yük altında, her çevrimde 20 mm mesafe ve numune üzerinde 10 mm hareket mesafesi, toplam yol ise kuru koşullarda 500 m ve korozif ortamda 200 m olacak şekilde tasarlanmıştır. Aşınan alan Mutitoyo marka SJ-410 model yüzey pürüzlülük cihazında ISO 4287-1997 standardına göre ölçülmüştür. Numunelerin aşınma oranı (W_r), aşınan alan ile hareket mesafesi çarpılarak elde edilen toplam aşınma hacminin (W_v) mesafeye bölünmesiyle hesaplanmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu analizi ile mikroyapı ve aşınan yüzeyleri incelenmiştir. Ayrıca yüzeyden Lineer EDX ölçümü alınmıştır. AISI H13 takım çeliği ile sementasyon kaplamalı ara yüzey incelenerek fazlar arasındaki etkileşimler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

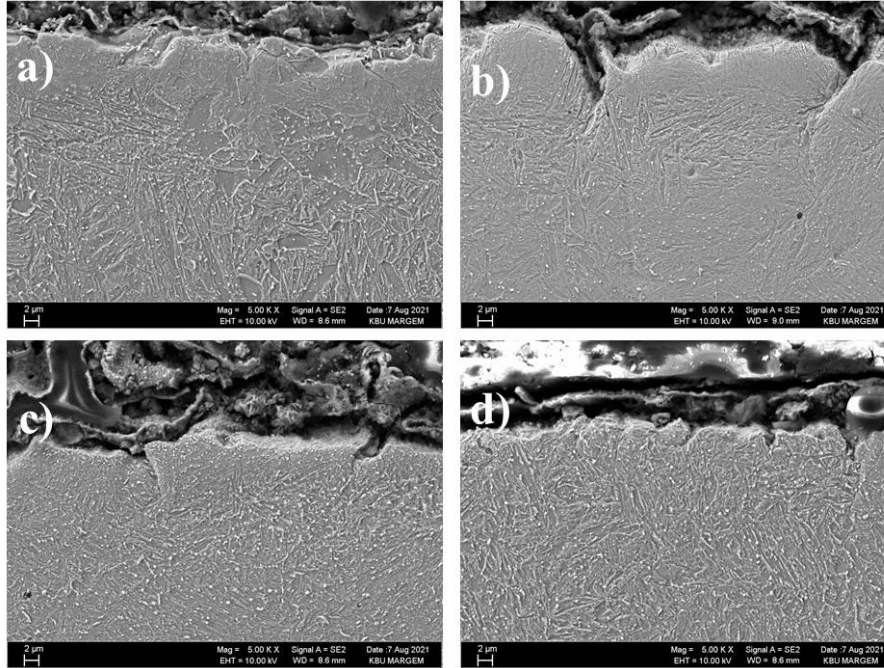
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 1, AISI H13 çeliğinin mikro yapı görüntülerini göstermektedir. Şekil 1(a) 2500X büyütmede ve Şekil 1 (b) 5000X büyütmede alınmıştır. Mikroyapı incelemelerinde mikroyapısının beynitik faza sahip olduğu görülmüştür.



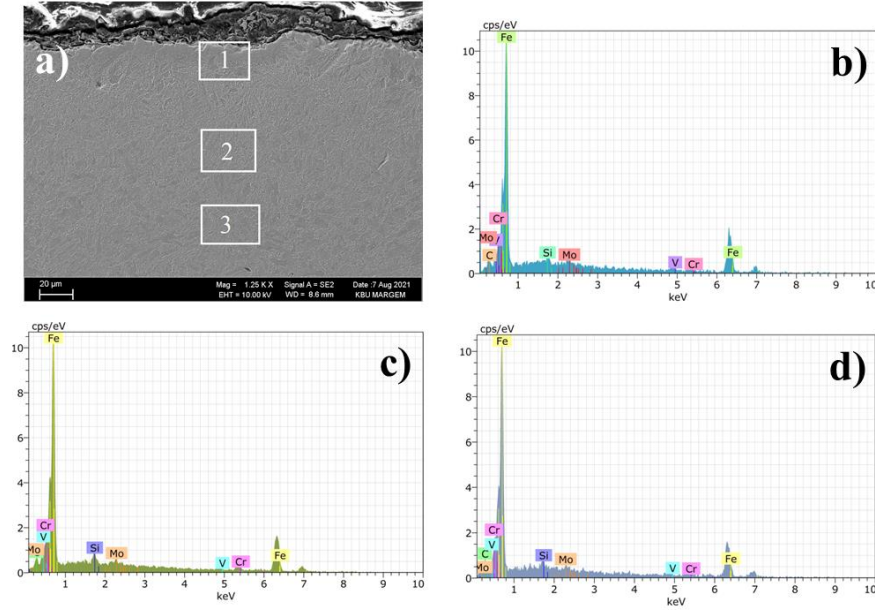
Şekil 1. AISI H13 takım çeliğine ait a) 2500x, b) 5000x mikroyapı görüntüleri

Şekil 2’de kutu sementasyon uygulanmış numunelerin kesit görüntüleri verilmiştir. Şekil 2(a)’da gösterilen 800 °C’de 3 saat sementasyona uğramış numunenin mikroyapısının sementasyona uğramamış AISI H13 takım çeliğinin mikro yapısından (Şekil 1) farklılaştığı gözlemlenmektedir. Beynitik mikro yapının sementasyon uygulaması yapılan sıcaklıklardan hızlı soğutma ile birlikte martenzitik bir mikro yapıya dönüştüğü görülmektedir. 800 °C’de sementasyon yapılan numunelerde martenzitik yapı yüzeyden daha uzak mesafe başlarken (Şekil 2(a) ve Şekil 2(b)), 900 °C’de sementasyon yapılan numunelerde ise (Şekil 2(c) ve Şekil 2(d)) martenzitik yapı yüzeye daha yakın bir mesafeden başlamaktadır. Bunun sebebi artan sıcaklıkla beraber difüzyonun atomlar arasında hızlanmasıdır.



Şekil 2. Kutu sementasyon uygulanmış numunelerin kesit görüntüleri a) 800 °C'de 3 saat, b) 800 °C'de 6 saat, c) 930 °C'de 3 saat ve d) 930 °C'de 6 saat

Şekil 3'te 800°C'de 3 saat kutu sementasyon uygulanmış numuneye EDX analizi yapılan bölgeler ve Tablo 1'de de bu bölgelerden elde edilen EDX sonuçlarını görülmektedir. Yüzeyde dekarburizasyona neden olduğu tespit edilmiştir.



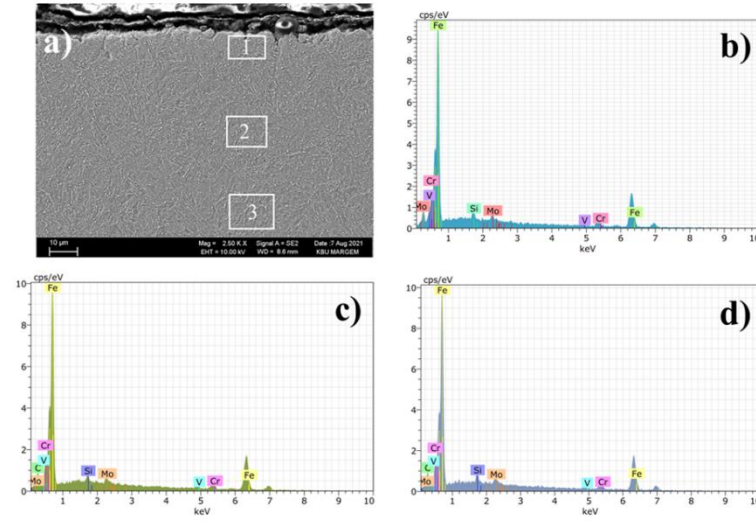
Şekil 3. 800 °C'de 3 saat kutu sementasyon uygulanmış numuneye ait SEM görüntüsü ve EDX analizi

Tablo 1'deki sonuçlar incelendiğinde, AISI H13 çeliğinin iç bölgelerinden sementasyon yüzeyine doğru gidildikçe karbon oranında bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir. Bu azalma sementasyon sıcaklığının yetersiz olmasından kaynaklanmıştır.

Tablo 1. 800 °C 3 saat semente edilmiş numuneye ait EDX analizi yapılan bölgelerin element içerikleri

| Spektrum | C (%ağ.) | Si (%ağ.) | V (%ağ.) | Cr (%ağ.) | Fe (%ağ.) | Mo (%ağ.) |
|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 3,09 | 1,14 | 2,89 | 4,28 | 86,85 | 1,80 |
| 2 | 3,59 | 1,84 | 0,95 | 6,33 | 85,30 | 2,00 |
| 3 | 4,51 | 1,53 | 1,52 | 6,54 | 84,30 | 1,60 |

800°C'de 6 saat sementasyona uğramış numune için de aynı durum geçerlidir (Şekil 4 ve Tablo 2). Yani yüzeyde dekarburizasyon bu numunede de görülmüştür.



Şekil 4. 800 °C’de 6 saat kutu sementasyon uygulanmış numuneye ait SEM görüntüsü ve EDX analizi

Tablo 2. 800 °C’de 6 saat semente edilmiş numuneye ait EDX analizi yapılan bölgelerin element içerikleri

| Spektrum | C (%ağ.) | Si (%ağ.) | V (%ağ.) | Cr (%ağ.) | Fe (%ağ.) | Mo (%ağ.) |
|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 4,67 | 1,40 | 1,51 | 6,41 | 83,97 | 2,05 |
| 2 | 4,82 | 1,34 | 1,85 | 5,76 | 84,14 | 2,08 |
| 3 | 4,96 | 1,41 | 1,61 | 5,28 | 84,48 | 2,25 |

Tablo 3’te yüzeyden merkeze doğru, yüzeyden 50 µm adımlarla ilerlenerek 9 farklı noktadan alınmış numunelerin ortalama sertlik değerleri verilmiştir. 800 °C yapılan sementasyon işlemlerinde ortalama sertlik değerlerinin sementasyon uygulanmayan AISI H13 çeliğinin ortalama sertlik değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi düşük sıcaklığa bağlı olarak yüzeyde meydana gelen dekarbürizasyon olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3. Numunelere ait ortalama sertlik değerleri

| Numune | Sertlik (HV) |
|--------------|---------------|
| AISI H13 | 615,23±12,32 |
| 800 °C 3 sa. | 479,00±35,27 |
| 800 °C 6 sa. | 561,11±41,19 |
| 930 °C 3 sa. | 901,22±161,49 |
| 930 °C 6 sa. | 874,67±89,29 |

930 °C’de yapılan sementasyon işlemlerinde ise sementasyon uygulanmayan AISI H13 çeliğine göre yaklaşık %50’lik bir sertlik artışı meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bunun sebebi yüksek sementasyon sıcaklığına bağlı olarak hızlı soğutma esnasında yapıda 800 °C’deki sementasyona göre çok daha fazla martenzitik yapının oluşmasıdır.

Tablo 4'te verilen aşınma hızları incelendiğinde 800 °C'de 3 saat sementasyona uğrayan numunenin diğer numunelerden yaklaşık 5 kat fazla aşınmaya uğradığı anlaşılmaktadır. Bunun sebebi yüzeyde meydana gelen dekarbürizasyona bağlı olarak yüzey sertliğinin düşmesi olduğu söylenebilmektedir. Ancak, sıcaklığın 930 °C çıkmasıyla beraber artan yüzey sertliğine bağlı olarak aşınma direnci artmıştır. Nitekim Gerasimov vd. sementasyon işleminin etkinleştirilmesinin aşınma direncinde artışa yol açtığı açığı vurgulamışlardır [4].

Korozif aşınma hızları değerlendirildiğinde ise korozif sıvının yağlayıcı etkisine bağlı olarak 800 °C sementasyona uğrayan numunelerin aşınma hızlarında belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. Hem kuru ortam hem de korozif ortam aşınma hızları değerlendirildiğinde en düşük ortalama aşınma hızına 800 °C'de 6 saat sementasyon uygulanan numunenin sahip olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca sementasyon uygulanmamış AISI H13 takım çeliği en düşük aşınma hızına sahiptir. Sementasyon işlemi sırasında matris tavlama maruz kalırken mikro yapıdaki karbür çökeltileri zarar görmeden kalabilmektedir. Yüzeyden doğru meydana gelecek bir tahribat, sert karbürlerin dışbükey hale gelmesine katkıda bulunur, bu da onların ufalanmasına yardımcı olarak dayanıklılığını azaltmaktadır. Yüksek yüzey basınçlarında bu, tüm malzeme parçalarının ufalanmasına neden olabilir. Karbür çizgilerinin farklı bir yöneliminin ortaya çıkması, tribolojik veya tribo-korozif aşınmanın yoğunluğunda anizotropinin oluşmasına katkıda bulunabilmektedir [8].

Tablo 4. Numunelere ait 20N ve 40N uygulanan aşınma deneylerinden hesaplanmış ortalama aşınma hızları

| Numune | Kuru Aşınma Hızı (mm ³ /m x10 ⁻³) | Korozif Aşınma Hızı (mm ³ /m x10 ⁻³) |
|--------------|---|--|
| AISI H13 | 1,330 | 0,050 |
| 800 °C 3 sa. | 6,465 | 1,785 |
| 800 °C 6 sa. | 1,050 | 0,265 |
| 930 °C 3 sa. | 1,640 | 2,850 |
| 930 °C 6 sa. | 0,850 | 1,960 |

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı parametrelerde (3 saat ve 6 saat süre, 800 °C ve 930 °C sıcaklık) kuru sementasyon işleminin AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin kuru ve korozif (%3,5 NaCl çözeltisi) ortamdaki aşınma davranışlarına etkileri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- 930 °C'de 3 saat sementasyon edilen numunelerde sertlik en yüksek değere ulaşmış ve ortalama sertlik değeri 1011 HV civarında olmuştur.
- Kuru ortam koşullarında yapılan aşınma testlerinde en düşük aşınma hızı 930 °C 3 saat sementasyona uğramış numuneden elde edilmiştir.
- Korozif ortamda, kuru ortamdaki farklı olarak, sementasyon işlemi ile çökeltilmiş karbürlerin varlığından dolayı korozyon direnci düşüşü meydana gelmesine bağlı olarak korozif ortam aşınma direncinin olumsuz etkilendiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, AISI H13 sıcak iş takım çeliği için sementasyon işleminin optimum parametrelerinin 930 °C'de 3 saat olduğunu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, karakterizasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesinde sunduğu katkıdan dolayı Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü'ne teşekkür etmektedirler.

Referanslar

- [1] S.-H. Chang, T.-P. Tang, Y.-C. Chen, and J.-K. Chen, 'Enhancement of erosion resistance on AISI H13 tool steel by oxynitriding treatment', *ISIJ Int.*, vol. 49, no. 3, pp. 421–424, 2009.
- [2] S.-H. Chang, S.-C. Lee, and T.-P. Tang, 'Effect of shot peening treatment on forging die life', *Mater. Trans.*, vol. 49, no. 3, pp. 619–623, 2008.
- [3] S.-H. Chang, K.-T. Huang, and Y.-H. Wang, 'Effects of thermal erosion and wear resistance on AISI H13 tool steel by various surface treatments', *Mater. Trans.*, vol. 53, no. 4, pp. 745–751, 2012.
- [4] S. A. Gerasimov et al., 'Mechanical properties of hot-working steels after activation of cementation process', *J. Mach. Manuf. Reliab.*, vol. 43, no. 4, pp. 322–326, 2014.
- [5] G. B. Stachowiak, G. W. Stachowiak, and P. Evans, 'Wear and friction characteristics of ion-implanted zirconia ceramics', *Wear*, vol. 241, no. 2, pp. 220–227, 2000.
- [6] D. Starosvetsky and I. Gotman, 'TiN coating improves the corrosion behavior of superelastic NiTi surgical alloy', *Surf. Coat. Technol.*, vol. 148, no. 2–3, pp. 268–276, 2001.
- [7] M. Zeng, Y. Yang, and M. Li, 'Microstructure and Pitting Corrosion Resistance of Titanizing Coating Prepared by Pack Cementation on 316L Stainless Steel', *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 16, no. 7, 2021.
- [8] M. Lachowicz, 'Corrosive Wear of the Selected Tool Steels', *Tribologia*, 2019.

Effect of boronizing process on wear properties of 16MnCr5 steels

Ali Yağız ŞAHİN¹ , Muhammet Emre TURAN² 

¹Kardemir Iron and Steel Industry Trade, Karabuk, Turkey

²Karabuk University, Eskipazar Vocational School, Karabuk, Turkey

Received: 30/12/2022

Accepted: 11/12/2022

Published Online: 18/12/2022

Abstract

In this study, the effects of pack cementation processes performed for two different durations (3 hours and 6 hours) and two different temperatures (800 °C and 930 °C) on the wear behavior of AISI H13 hot tool steel in dry and corrosive (3.5% NaCl solution) environments were investigated. The sections of cemented surfaces of the samples were examined by Scanning Electron Microscope and the hardness changes due to cementation were evaluated by Vickers micro hardness measurement. The highest hardness value (1011 HV) was reached in the sample cemented at 930 °C for 3 hours. Due to the increased surface hardness, the sample cemented for 3 hours at 930 °C has the highest wear resistance in a dry environment. In the abrasion test carried out in a corrosive environment, it was found that AISI H13 hot work tool steel, which has not been cemented, has a higher abrasion resistance.

Key Words

Cementation, Tool steels, Wear, Hardness

Borlama prosesinin 16MnCr5 çeliklerinin aşınma performansına etkisi

Öz

Bu çalışmada, 11 mm çapa sahip sementasyon çeliklerine farklı parametrelerde borlama işlemleri yapılmıştır. Optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak mikroyapılar incelenmiştir. Aşınma ve sertlik testleri hem ısıtılmış numuneye hem de borlanmış numunelerin hepsine uygulanmıştır. Borlama işlemleri neticesinde 1000 °C ve 16 saat borlanmış numunede ısıtılmış numuneye göre dört kat sertlik artışı gözlemlenmiştir. 900 °C ve 8 saat süreyle borlanmış numunede sertlik ve aşınma performansında gelişmeler sağlansa da kaplama kalınlığının diğer numunelere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Borlama, 16MnCr5, Aşınma

*Sorumlu Yazar: Muhammet Emre TURAN
memreturan@karabuk.edu.tr



To cite this article: A. Y. Sahin and M. E. Turan, Effect of boronizing process on wear properties of 16MnCr5 steels, Journal of Steel Research and development, 3(2), 8-15

1. Introduction

Machinery and equipment used in continuously operating systems must be durable, qualified, and have high mechanical and tribological properties. Wear mechanisms that can cause economic losses in many branches of the industry should be examined as an important issue. 16MnCr5 known as case-hardening steels are used in precision gears, cam rollers, and shafts which demand a harder and good surface with good core toughness properties in the industry [1–3]. This type of steel is mainly developed by heat treatment and thermomechanical surface hardening [4–6]. Surface hardening is an important subject to improve hardness and tribological performance [7]. In surface hardening techniques, the boronizing process can be widely preferred as a cost-effective method. Boron atoms have a small atomic size and diffuse to the surface of different metals and alloys (ferrous and nonferrous) [8]. Powder-pack boronizing due to its low cost and easy application can be more used among the boronizing techniques. This method contains boron source, diluent, and activator powders and directly affects the formation of the boride layer [9].

In this study, boronizing as a surface hardening mechanism was performed with different parameters on 16MnCr5 steels. Development of wear behavior of 16MnCr5 steels with the boronizing process was achieved with this report.

2. Experimental Studies

Boronizing process was applied to 16MnCr5 steel. The chemical composition of this alloy is presented in Table 1.

Table 1. Chemical composition of 16MnCr5 steel

| C | Si | Mn | P | S | Cr |
|------|------|------|-------|-------|-------|
| 0,18 | 0,21 | 1,12 | 0,012 | 0,013 | 0,896 |

For the boronizing process, approximately 25 mm of Ekabor II powder was placed on the bottom of the high temperature resistant ceramic crucible. The samples were positioned in the ceramic crucible with a gap of 10 mm between themselves and the side surface of the crucible. The remaining part of the crucible was filled with powder, the lid was closed and placed in the furnace. The ceramic crucibles, in which the sample was placed, were placed in the furnace that reached the desired temperature and boronizing was performed. After the process, the crucible was taken out of the furnace and left to cool at room temperature. The parameters are given in Table 2. Also, some images belonging to the boronizing process are shown in Figure 1.

Table 2. Boronizing parameters of 16MnCr5

| Sample No | Parameter |
|-----------|------------------|
| B1 | 900 °C- 8 hrs. |
| B2 | 900 °C- 16 hrs. |
| B3 | 1000 °C- 8 hrs. |
| B4 | 1000 °C- 16 hrs. |



Figure 1. Images about the boronizing process

After the boronizing process, samples were prepared for microstructural and wear tests. Standard metallographic procedures were conducted using grinding and polishing of the surface. Optical microscope and SEM was used to see the formation of boride layer and to observe the coating thickness. Hardness was performed using Vickers Method and finally samples were cut into the suitable size without grinding and polishing for wear tests. Wear tests were applied in dry sliding conditions as Reciprocating. 5N and 10N loads were conducted.

3. Results and Discussion

Figure 2 and Figure 3 illustrate the optical microscope images of the samples boronized for 900°C - 8 hrs. and 1000°C - 16 hrs. respectively to see the lowest and highest boronizing parameters in the study. When the microstructure of the sample boronized at 900°C - 8 hrs. was examined, it was understood that there were cracks and voids in the boronizing layer, and it had a saw-tooth-like appearance. Due to insufficient boronization time and temperature, boron atoms could not diffuse on the surface sufficiently and an average of 6-micron coating was obtained. In addition, this coating was irregular, and homogeneity could not be observed.

In the sample boronized at 1000°C - 16 hrs., the coating was homogeneous and continuous. In addition, the coating thickness reached an average of 45 microns. This showed that sufficient time and temperature were provided for boronizing. At the same time, the presence of the transition zone in the sample was understood more clearly than in the other sample. SEM image of the same sample is given in Figure 4. The distribution of elements along the blue line between the matrix and the boride layer was examined by EDS analysis and when the transition to the coating zone was made, a decrease in the amount of carbon in the steel and a change in the peaks due to the compounds formed between iron and boron were detected.

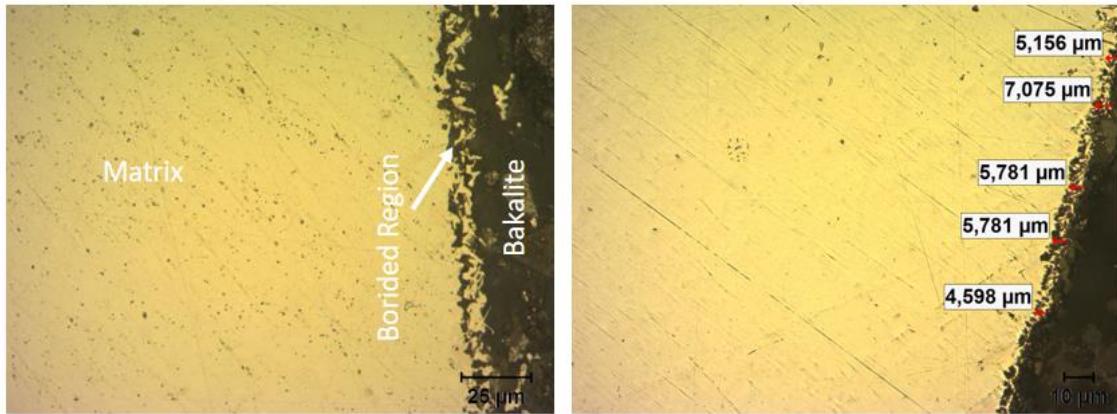


Figure 2. Optical microscope images of 900 °C- 8 hrs. sample

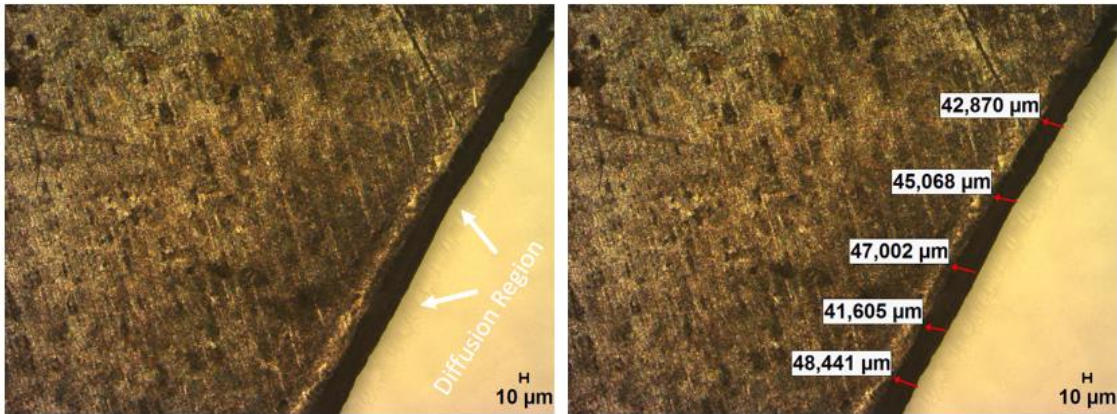


Figure 3. Optical microscope images of 1000 °C- 16 hrs. sample

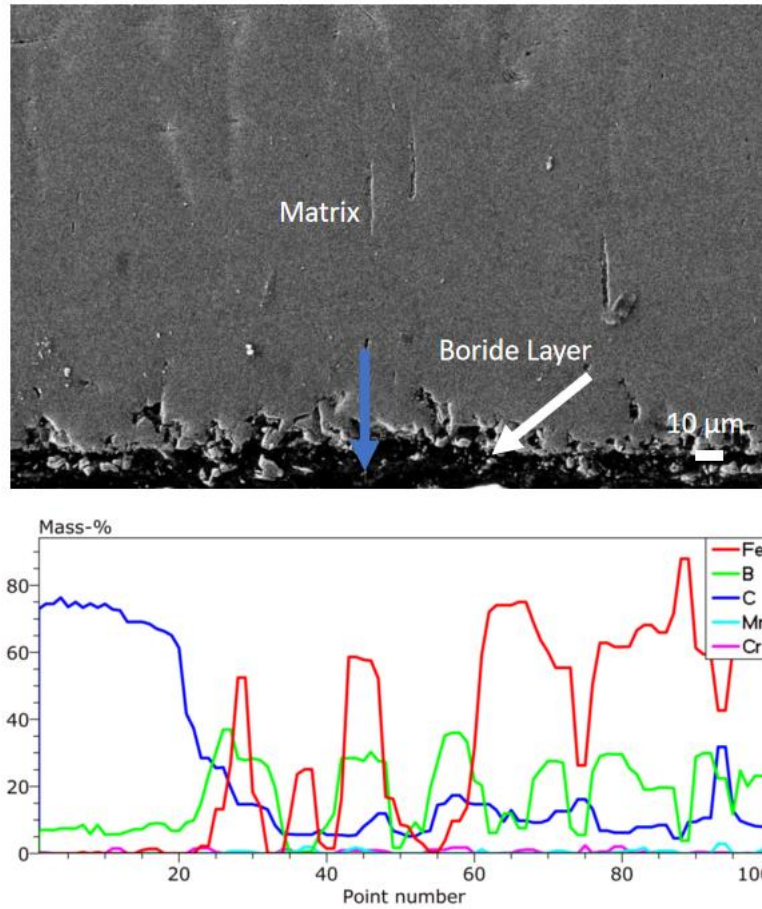


Figure 4. Line EDX results of 1000 °C- 16 hrs. boronized sample

Figure 5 shows the hardness test results of specimens. In the boronizing process, a hard layer is formed on the surface as a result of the boron atoms passing on the steel surface as intermediate atoms. Depending on the homogeneity and thickness of this layer, the hardness of the material increases. With the different boronizing parameter applied in this study, increases in hardness were obtained in the range of approximately 2 to 4 times.

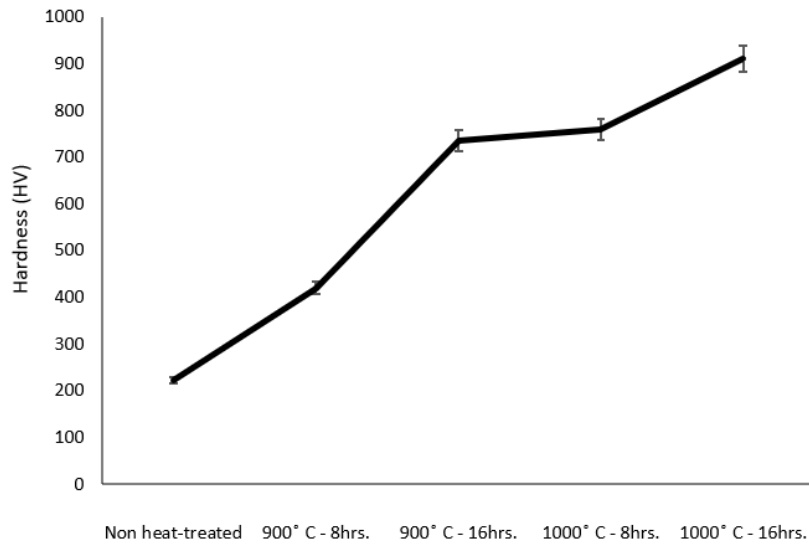


Figure 5. Hardness results of all samples

Figure 6 presents the wear rate graphs of all samples under two different loads. Wear rates were calculated from the volumetric loss along the sliding distance. Wear width, length and depth are considered, and this value (wear volume loss) is divided by slip distance. When the results are evaluated, three times improvement was achieved under 5N load by boronizing process. With the increase in boronizing temperature and time, the formation of the FeB phase (in addition to the Fe₂B phase) and the increase in its intensity make the surface harder. According to the Archard principle, the increase in hardness allows less wear on the material surface [10]. Therefore, with boronizing processes, the surface becomes harder and wear resistance increases. As the applied load increases, the coating thickness on the surface is removed in a shorter time, which causes more wear. In all samples, the wear rate increased with increasing load.

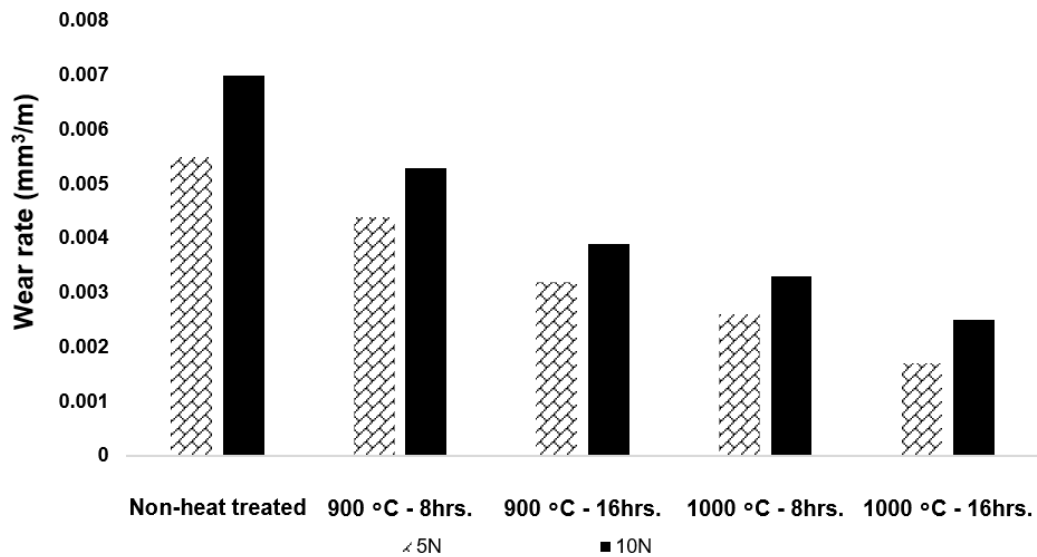


Figure 6. Wear rates of all specimens

4. Conclusions

In this study, 16MnCr5 steel was used and four different boronizing parameters based on time and temperature were applied successfully. Following results were obtained.

- As the boronizing temperature and time increased, the homogeneity of the boride layer and the coating thickness increased.
- As a result of all boronizing parameters, improvements were observed in hardness and wear performances.
- Coating thickness reached 45 microns for the 1000 °C-16 hrs. boronized sample.
- Hardness increases of up to 330% with the boronizing process was observed.
- The wear performance of the samples could be increased by three times with optimum boronizing process.

References

1. Binder, M., Stapff, V., Heinig, A., Schmitt, M., Seidel, C., and Reinhart, G., "Additive manufacturing of a passive, sensor-monitored 16MnCr5 steel gear incorporating a wireless signal transmission system", *Procedia CIRP*, 107: 505–510 (2022).
2. Arumparithy, G. L., Adalarasan, R., Santhanakumar, M., and Mulugeta, L., "Parameter Design in Carbonitriding of EN36, 16MnCr5, and AISI 4140 Steels Using Principal Component-Based Grey Incidence (PGI)", *Advances In Materials Science And Engineering*, 2022: (2022).
3. ŞAHİN, A. Y., "TERMOKİMYASAL İŞLEMLERİN 16MnCr5 SEMENTASYON KANGAL ÇELİKLERİNİN FARKLI ÇAPLARDAKİ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ", PhD Thesis, (2022).
4. Litoria, A. K., Figueroa, C. A., Bim, L. T., Pruncu, C. I., Joshi, A. A., and Hosmani, S. S., "Pack-boriding of low alloy steel: microstructure evolution and migration behaviour of alloying elements", *Philosophical Magazine*, 100 (3): 353–378 (2020).
5. Calik, A., Ucar, N., and Yeniay, N., "A Study of Boronizing Kinetics and Its Effect on the Structure and Mechanical Properties of Steel 16MnCr5", *Metal Science And Heat Treatment*, 64 (1): 63–68 (2022).
6. Vivek, C., "Influence of carburizing and carbonitriding in 16MnCr5 to enhance mechanical properties", *International Journal Of Innovations In Engineering And Technology (IJJET)*, 7 (3): 261–266 (2016).
7. Arumparithy, G. L., Adalarasan, R., Santhanakumar, M., Balaji, N., and Asres, Y., "Investigation in Gas Carburizing of AISI 4140, EN36, and 16MnCr5 Steels Using the Grey Incidence-Based Taguchi (GIBT) Method", *Advances In Materials Science And Engineering*, 2022: (2022).
8. Petrova, R. S., Suwattananont, N., and Samardzic, V., "The effect of boronizing on metallic alloys for automotive applications", *Journal Of Materials Engineering And Performance*, 17 (3): 340–345 (2008).
9. Türkmen, İ. and Yalamaç, E., "Effect of Alternative Boronizing Mixtures on Boride Layer and Tribological Behaviour of Boronized SAE 1020 Steel", *Metals And Materials International*, 28 (5): 1114–1128 (2022).
10. Kondul, B., "Borlama ile yüzeyi sertleştirilmiş ray çeliğinin aşınma davranışının incelenmesi", Master's Thesis, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, (2020).

Ark-Sprey Yöntemi ile Düşük Karbonlu Çelik Üzerine Kaplanan İncel-625 Alaşımının Sertlik ve Mikro Yapı İncelemesi

Şenol LİMAN¹ , Bünyamin ÇİÇEK² , Tuna AYDOĞMUŞ² 

¹Prokon Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., Ankara, Türkiye
²Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye

Başvuru: 06/12/2022 **Kabul:** 12/12/2022 **Çevrimiçi Basım:** 18/12/2022

Öz

Bu çalışmada endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan SA210 kalite bir düşük karbonlu bir çelik alaşımının yüzey kaplama süreci incelenmiştir. Kaplama yöntemi olarak hava basınçlı ark-sprey yöntemi kullanılmıştır. Kaplama malzemesi olarak ise yüksek Ni içeren Inconel 625 alaşımı uygulanmıştır. Kaplama sırasında kumlama yapılmış bir alt yüzey ve 8 bar hava basıncı kullanılmıştır. Uygulama sonrasında numunelerde taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile yan yüzeyden kaplanma durumu incelenmiştir. Ayrıca ana alt malzeme ve kaplama sertliği mikro sertlik yöntemi ile ölçülmüştür. Sonuç olarak kaplama-malzeme ara yüzeyinde bağlanma durumları izlenmiştir. Sertlik ise yaklaşık 1,7 kat kadar artış göstermiştir. Böylece düşük karbonlu bir çeliğin yüzey kaplaması ile geliştirilebilirliği temel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Kaplama, SA210, Inconel-625, sertlik.

Cladding on Low Carbon Steel by Arc-Spray Method Hardness and Microstructure Analysis in Inconel-625 Structure

Abstract

In this study, the surface coating process of a low-carbon steel alloy of SA210 quality, which is frequently used in industrial applications, was investigated. The Air pressure arc-spray method was used as the coating method. High Ni-containing Inconel 625 alloy was used as the coating material. A sandblasted substrate and 8 bar air pressure were used during the coating. After the application, the side surface coating of the samples was examined by scanning electron microscope (SEM). In addition, the main substrate and coating hardness was measured by the microhardness method. As a result, the bonding conditions were observed at the coating-material interface. The hardness increased approximately 1.7 times. Thus, the developability of low-carbon steel by surface coating was basically investigated.

Key Words

Cladding, SA210, Inconel-625, Hardness.

*Sorumlu Yazar: Bünyamin ÇİÇEK
bunyaminicek@hitit.edu.tr



Bu makaleden alıntı yapmak için: S. Liman ve ark., Ark-Sprey Yöntemi ile Düşük Karbonlu Çelik Üzerine Kaplanan İncel-625 Alaşımının Sertlik ve Mikro Yapı İncelemesi, Çelik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 3(2), 16-22.

1. Giriş

Düşük karbonlu çelikler ağırlıkça % 0,30 kadar karbon (C) içerebilmektedir. Alaşım elementi olarak bu çelikler C dışında Mn ve Si içerirken ağırlıkça % en fazla 0,035 oranda P ve S bulundurulur. Maliyet, ürün temini ve kaynak edilebilirlik başlıkları düşünüldüğünde bu çelikler uygulamalarda tercih sebebidir. Ancak aşınma, % uzama, sertlik vb. mekanik beklentiler sebebiyle bu çelikler yetersiz kalabilmektedir. Bu yüzden bu çelikler belirli yöntem ve uygulamalarla yüzey işlemine tabi tutularak kullanılabilir (Liu, Tan, Wei, Lim, & Lee, 2020; Shayanfar, Daneshmanesh, & Janghorban, 2020).

Kaplama yöntemleri sanayide gelişen ve aşama kaydeden bir son işlem olarak yerini almaktadır. Kaplama işlemi korozyon, aşınma vb. dış etkenlerden malzemeyi korumakta ve kullanım ömrünü uzatmaktadır. Bu yönüyle bir yüzey işlemi olarak kaplama farklı yöntemlerle uygulanabilmektedir. Boya, ark-sprey, galvaniz, çinko kaplama, nitrürleme vb. işlemler kaplamanın temel başlıklarıdır (Padmini, Bhosale, & Niranjan, 2021; Yugeswaran et al., 2021).

Kaplama işlemleri fiziksel bir değişim meydana getirirken bunun yanı sıra bazı kaplama türlerinde kimyasal tepkimelerde meydana gelmektedir. Malzemelerin uygulama bölgesine göre kaplama türü ve bileşimi değişiklik göstermektedir. Korozyondan korunma durumunda kalay ve çinko esaslı bir katman bulunurken aşınma direncini arttırma amacıyla Mn ve Ni esaslı yapılar kullanılmaktadır (Kumar, Singh, & Singh, 2013; Zhou et al., 2021).

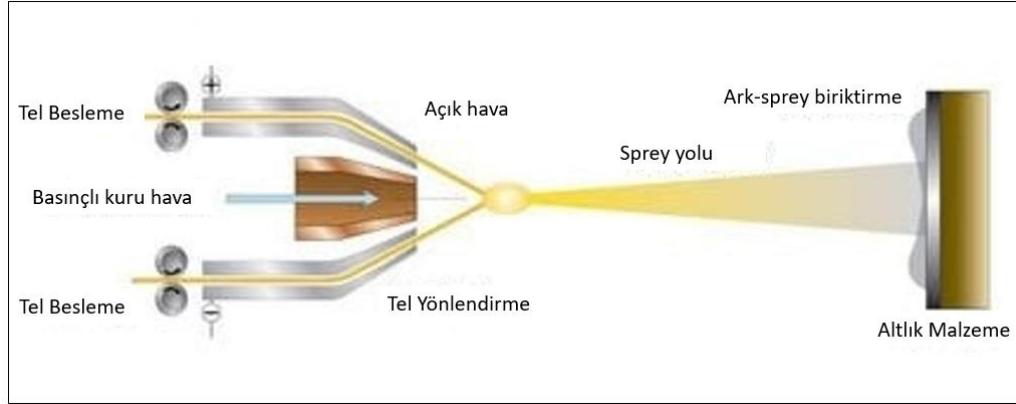
Düşük karbonlu çeliklerin zayıf aşınma dirençlerini arttırmak için kullanılan yüzey işlemlerinin başında ark sprej kaplama süreci gelmektedir. Ark-sprej yöntemi ile yüzeye kaplanan sert alaşım düşük karbonlu çeliğe yüksek aşınma direnci ve yüksek sertlik gibi yeni özellikler eklemektedir. Bu kaplama malzemelerinin başında Ni içeren Inconel alaşımları ve Mn içeren sert alaşımlar gelmektedir. Böylece maliyet, kaynak edilebilirlik ve ürün temini aşamalarına yüksek aşınma direnci özelliği de eklenmiş olmaktadır (Chen, Chou, Yung, Tsai, & Huang, 2016; Kumar et al., 2013).

Bu çalışmada düşük karbonlu çelik grubunda bulunan SA210 çelik boru malzemeler ark-sprej yöntemi ile kaplanmıştır. Ark-sprej yönteminde tel besleme metodu uygulanmıştır. Kaplama alaşımı olarak ise Inconel-625 alaşımı kullanılmıştır. Bağlama plakaları ile birbirine kaynaklanan boru malzemelerin kaplanma durumu incelenmiştir. Kaplama işlemi sonrasında numuneler taramalı elektron mikroskopunda (SEM) ve stereo yüksek çözünürlüklü kamerada incelenmiştir. Kaplama, ara bölge ve ana malzeme üzerinden alınan mikro sertlik (Vickers) ölçümleri ile yapı izlenmiştir. Böylece düşük karbonlu bir çeliğin yüksek alaşımli bir Ni yapısı ile kaplanabilmesi temel çerçevede irdelenmiştir.

2. Malzeme ve Metot

Bu çalışmada kaplama alt malzemesi olarak SA210 kalite bir çelik boru kullanılmıştır. Düşük karbonlu ve aşınma direnci zayıf bir malzeme olduğu için kaplamanın etkisini net olarak tespit edebilmek adına SA210 alaşımı kullanılmıştır. 60,3 mm çapta ve 5,6 mm kalınlıkta olan borular deneyler öncesinde aynı alaşıma sahip 5 mm plakalarla perde duvar haline getirilmiştir. Son ürün olarak kullanılan alt malzemeye öncelikle kimyasal analiz uygulanmıştır.

Ark-sprej süreci Resim 1’de verilen yöntem dahilinde uygulanmıştır. Kaplama anında ilave malzeme olarak Inconel-625 kalite 2.4 mm çapında tel kullanılmıştır. Kaplama anında 350 A akım kuvveti ve 8 bar hava basıncı kullanılmıştır. Kaplama işlemleri OSU ANTIKOR 300A/400A cihazı ile yapılmıştır. Sprey çıkış noktası ile malzeme arasında 400 mm mesafe bırakılmıştır. Kaplama işlemi öncesinde oksit, tufal vb. harici yapı temizliği için boru yüzeylerine ince kumlama işlemi uygulanmıştır. Kumlama işlemi ayrıca ark-sprej kaplamasının yapışma seviyesini arttırmaktadır (Fitriyana et al., 2020).



Resim 1. Ark-sprey uygulama prosesi çizimi (Chrome, 2022)

Kaplama sonrası mekanik yöntemlerle CNC freze ile kaplanan bölgeden numuneler çıkarılmıştır. Numuneler yan yüzeyinden kesilerek klasik metalografik işlemler sonrasında SEM ortamında incelenmiştir. Aynı zamanda EDX analizi uygulanmıştır. SEM görüntüleme ve EDX işlemleri Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem marka cihazda yapılmıştır. Ayrıca kaplamanın temel sürecini izlemek adına stereo kamera ile makro görüntüler alınmıştır. Makro görüntüleme işlemi Nikon ShuttlePix marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

Yan kesit olarak hazırlanan numuneler mikro sertlik ölçüm cihazında incelenmiştir. Vickers batıcı uç ile 10 sn. batma süresinde 1000 gr yük altında kaplama ve ana malzemenin sertlik haritası çıkarılmıştır. Sertlik ölçümleri için QNESS Q10 A+ Mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yaklaşık aynı bölgeden alınan 5 ölçümün ortalaması kullanılmıştır.

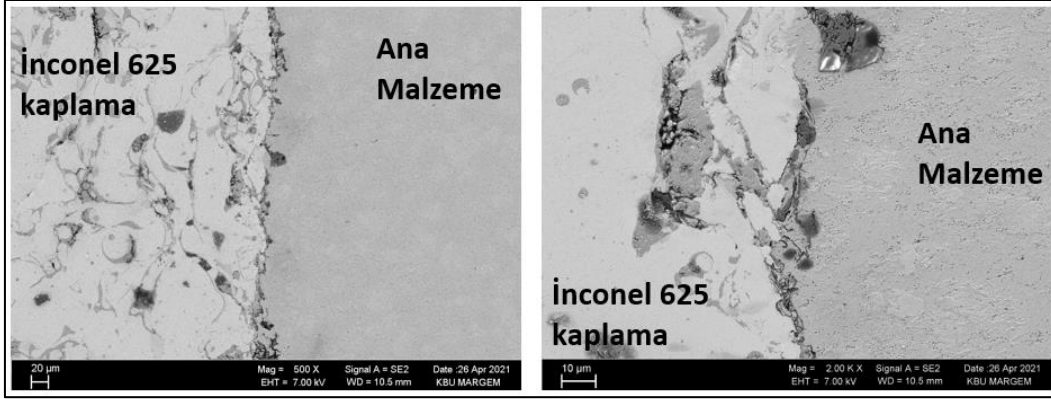
3. Sonuçlar ve Tartışma

Deneyler öncesinde alt malzeme SA210 kalite çeliğin kimyasal analizi Tablo 1’de verilmiştir. Tabloya göre alt malzeme SA210 alaşımı standart oranlarında bir sonuç vermektedir.

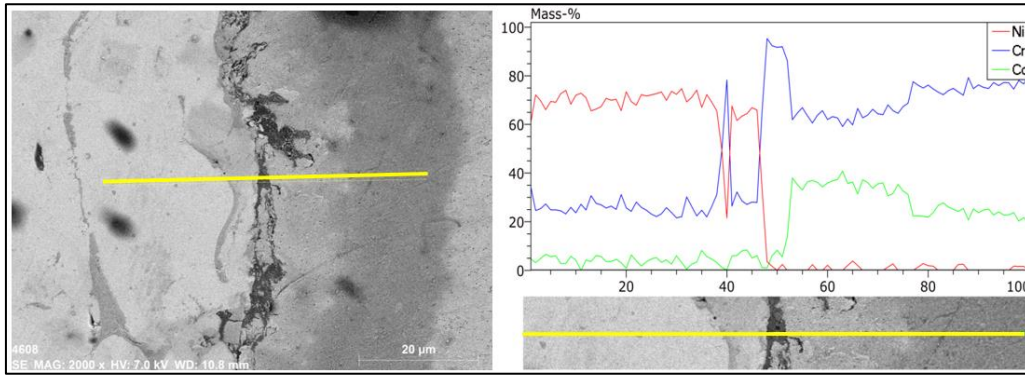
Tablo 1. SA210 malzemesi kimyasal analizi

| Element | % ağırlıkça |
|---------|-------------|
| Fe | Kalan |
| Mn | 0,85 |
| Si | 0,09 |
| C | 0,33 |
| P | 0,030 |
| S | 0,032 |

Numunelerin mikro yapı detay görüntüleri Resim 2’de verilmiştir. Resimler incelendiğinde ana malzeme ile kaplama arasında bir geçiş bölgesinin olduğu izlenmektedir. SEM görüntüleri sırasında alınan EDX analizi sonuçları Resim 3’te görülmektedir. EDX analizinde temel alaşım elementlerinin varlığı izlenmektedir.



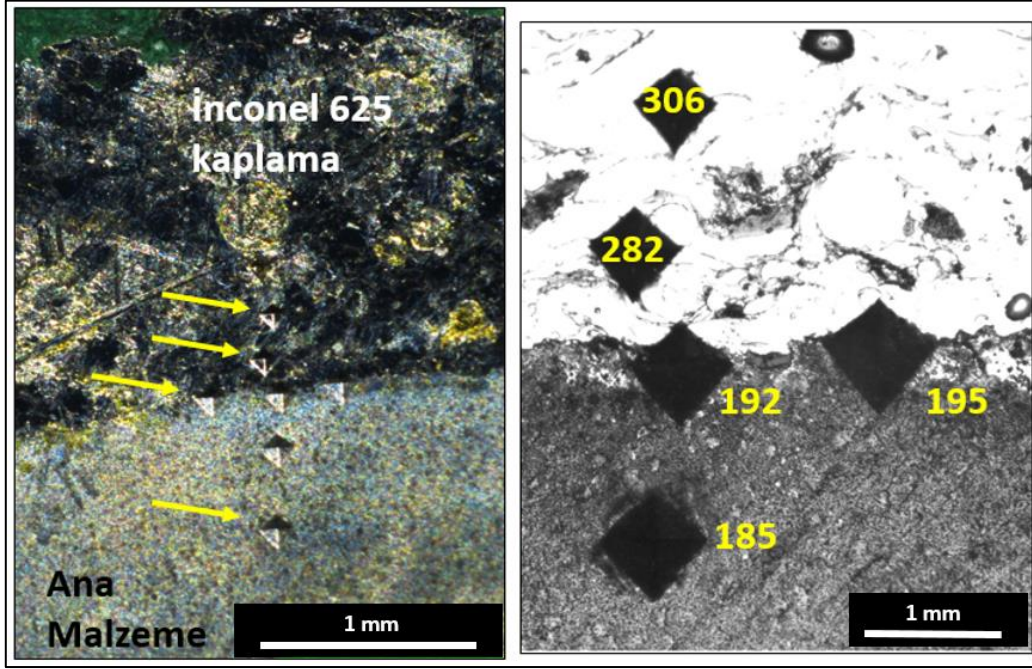
Resim 2. Kaplama ve ana malzeme SEM görüntüleri



Resim 3. EDX analiz bölgesi ve sonuçları

Resim 3 incelendiğinde ana malzeme ile kaplama arasında bir geçiş bölgesi izlenmektedir. EDX sonucu çizgi şeklinde analiz edildiğinde kaplama malzemesi içerisinde Ni elementi tespit edilirken geçiş bölgesi sonrasında element izlenmemiştir. Cr ve Co elementleri ise yüzeyde ana malzemeye difüze olmuştur. Yaklaşık 30 mikron derinlikte bu elementler tespit edilmiştir. Böylece kaplama haricinde difüzyon etkisi ile ayrıca bir yüzey sertleşmesi meydana gelmiştir.

Son olarak ana malzeme ile kaplama yapısından alınan sertlik sonuçları Resim 4’te verilmiştir. Sertlik batma ucu iz görüntülerine göre ana malzeme literatürle uyumlu sonuç vermektedir. Kaplama ise Ni ve Cr elementlerinin sebep olduğunun düşünüldüğü sertlik artışını göstermektedir.



Resim 4. Sertlik ölçüm bölgeleri, batma ucu iz görüntüleri ve sertlik testi sonuçları

Düşük karbonlu alt malzemeye ark-sprey yöntemi ile uygulanan kaplama sürecinde mikro yapı ve sertlik incelemesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüzeyde kaplama bir bağlanma ile oluşmuştur. Yüzeyde oluşan ani ısı girdisi ile ergime noktaları oluşmuş ve kaplama-malzeme ara yüzeyi gelişmiştir. Literatürde bilinen ark-sprey uygulamalarında oluşan testere görüntüsü Resim 2’de izlenmektedir. Böylece kaplama-malzeme ara yüzeyi literatür ile tutarlılık göstermiştir (Kaur, Singh, & Prakash, 2008; Liu et al., 2020; Shayanfar et al., 2020).

Kaplama ve malzemenin sertlik dağılımı için alınan ölçümlerde ana malzeme SA210 kalite bir malzeme için gerekli seviyededir. Ortalama 185 HV olarak ölçülen sertlik değeri kaplama doğru gittikçe ara yüzeyde 195 HV olurken kaplamada ortalama 300 HV seviyelerine ulaşmıştır. Böylece malzemenin yüzey sertliği artış göstermiştir. Sertlik seviyesinin bu oranda artışı ile malzemenin temel mekanik özelliklerinde ciddi iyileşmeler meydana gelebilmektedir (Liu et al., 2020; Yugeswaran et al., 2021; Zhou et al., 2021).

Resim 3 incelendiğinde ana malzeme yüzeyinde yaklaşık 20-30 mikron kalınlığında bir difüzyon bölgesi oluşmuştur. Bu bölgeye Cr ve Co elementleri difüze olmuştur. Cr ve Co elementlerin düşük karbonlu bir çelikte küçük atom çapı sebebiyle difüzyon olması ark-sprey süreçlerinde oluşan bir süreçtir (Fantozzi, Matikainen, Uusitalo, Koivuluoto, & Vuoristo, 2017; Merino-Millan, Múnez, Garrido-Maneiro, & Poza, 2022). Böylelikle kaplama ile ana malzeme arasında daha düzenli bir sertlik geçiş eğilimi meydana gelmiştir.

4. Genel Sonuçlar

Düşük alaşımlı bir çelik olan SA210 kalite bir malzemenin yüksek Ni içeren Inconel-625 alaşımı ile kaplanması bu çalışmada irdelenmiştir. Bu bağlamda aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Düşük karbonlu SA210 çeliği ark-sprey yöntemi ile kaplanmıştır.
2. Kaplama-malzeme arasında bir ara geçiş yüzeyi oluşmuştur.

3. Kaplama-malzeme ara yüzeyinde yapılan incelemede Cr ve Co elementlerinin ana malzemeye difüze olduğu izlenmiştir.
4. Ark-sprey kaplama sonrasında alt malzeme sertliğini kaybetmemiştir. Ayrıca yüzey sertliği ana malzemeye göre yaklaşık 1,7 kat kadar artış göstermiştir.

Sonuç olarak düşük kalitede ve sertlikte bir malzemenin yüksek alaşımlı bir yapı ile kaplanabilirliği adına temel bir inceleme gerçekleştirilmiştir.

Referanslar

1. Chen, T.-C., Chou, C.-C., Yung, T.-Y., Tsai, K.-C., & Huang, J.-Y. (2016). Wear behavior of thermally sprayed Zn/15Al, Al and Inconel 625 coatings on carbon steel. *Surface and Coatings Technology*, 303, 78-85.
2. Chrome, H. H. (2022). Twin Wire Arc Spray. Retrieved from <https://hausnerinc.com/industrial-hard-chrome-plating-services/twas/>
3. Fantozzi, D., Matikainen, V., Uusitalo, M., Koivuluoto, H., & Vuoristo, P. (2017). Chlorine-induced high temperature corrosion of Inconel 625 sprayed coatings deposited with different thermal spray techniques. *Surface and Coatings Technology*, 318, 233-243.
4. Fitriyana, D., Caesarendra, W., Nugroho, S., Haryadi, G., Herawan, M., Rizal, M., & Ismail, R. (2020). The Effect of Compressed Air Pressure and Stand-off Distance on the Twin Wire Arc Spray (TWAS) Coating for Pump Impeller from AISI 304 Stainless Steel *NAC 2019* (pp. 119-130): Springer.
5. Kaur, M., Singh, H., & Prakash, S. (2008). A survey of the literature on the use of high velocity oxy-fuel spray technology for high temperature corrosion and erosion-corrosion resistant coatings. *Anti-Corrosion Methods and Materials*.
6. Kumar, M., Singh, H., & Singh, N. (2013). Study of Ni-20Cr coatings for high temperature applications-a review. *Archives of Metallurgy and Materials*, 58.
7. Liu, H., Tan, C. K. I., Wei, Y., Lim, S. H., & Lee, C. J. (2020). Laser-cladding and interface evolutions of inconel 625 alloy on low alloy steel substrate upon heat and chemical treatments. *Surface and Coatings Technology*, 404, 126607.
8. Merino-Millan, D., Múnez, C. J., Garrido-Maneiro, M. Á., & Poza, P. (2022). Alternative low-power plasma-sprayed inconel 625 coatings for thermal solar receivers: Effects of high temperature exposure on adhesion and solar absorptivity. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 245, 111839.
9. Padmini, B., Bhosale, D. G., & Niranjana, H. (2021). A study of T11 boiler steel protection by cold sprayed Inconel 738 coating against high temperature erosion. *Surfaces and Interfaces*, 23, 101002.
10. Shayanfar, P., Daneshmanesh, H., & Janghorban, K. (2020). Parameters optimization for laser cladding of inconel 625 on ASTM A592 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8258-8265.

11. Yugeswaran, S., Amarnath, P., Ananthapadmanabhan, P., Pershin, L., Mostaghimi, J., Chandra, S., & Coyle, T. (2021). Thermal conductivity and oxidation behavior of porous Inconel 625 coating interface prepared by dual-injection plasma spraying. *Surface and Coatings Technology, 411*, 126990.
12. Zhou, S., Xu, T., Hu, C., Wu, H., Liu, H., & Ma, X. (2021). A comparative study of tungsten carbide and carbon nanotubes reinforced Inconel 625 composite coatings fabricated by laser cladding. *Optics & Laser Technology, 140*, 106967.

Toz Metal 316L Paslanmaz Çeliğe Hidroksiapatit ve Al₂O₃ İlavesinin Sertlik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi

Mehmet Akif Erden¹  Abkar Ahmed Ali DHAIBAIN², Ahmet Serdar GÜLDİBİ³ 

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Müh. ABD, Karabük/Türkiye

²Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyomedikal Müh. ABD, Karabük/Türkiye

³Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. ABD, Karabük/Türkiye

Başvuru: 21/06/2022 **Kabul:** 01/08/2022 **Çevrimiçi Basım:** 18/12/2022

Öz

Toz metalürjisi (TM) seri üretim ile ekonomik ve üretim sırasında kayıpsız veya maksimum yaklaşık %3 atık malzeme üretiminin yansira ikincil bir işlem gerektirmemesi gibi özelliklere sahip olan müstakil üretim yöntemidir. Bu üstün özellikler sayesinde gün geçtikçe tercih edilebilirliği artmakta ve diğer bilinen geleneksel yöntemlere de alternatif olmaktadır. TM yöntemi ile üretilen parçalar, diğer yöntemlere kıyasla son şekle yakın pürüzsüz, temiz bir yüzeye sahiptir ve çoğunlukla ikincil bir uygulamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Paslanmaz çelikler ise oldukça iyi mekanik özellikleri, yüksek ve düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini muhafaza edebilmesinin yansira aşınma ve korozyon direncinin oldukça iyi olması nedeniyle biyomedikal endüstrisi gibi birçok sektörde sıklıkla tercih edilen malzeme grubu olarak bilinmektedirler. Bu çalışmada toz metalürjisi teknolojisi aracılığıyla 316L paslanmaz çelik matrisi içerisine belirlenen miktarlarda (yüzde ağırlık olarak 0,5) Hidroksiapatit (HA) ve Al₂O₃ elementi tozları tekli veya ikili olarak ilave edilmiş ve istenilen bileşim toz karışım olarak elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan tozlar Ø32 mm çapında silindirik kalıpta 700 MPa sıkıştırma basıncı altında tek yönlü olarak soğuk preslenmiş ve blok haline getirilmiştir. Presleme işlemi sonrası ham mukavemete sahip numuneler atmosfer kontrollü tüp fırında argon atmosferi ortamında 1200°C de iki saat boyunca sinterlenmiştir. Ayrıca üretilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri optik mikroskop ve sertlik testleri ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, 316L paslanmaz çeliğe ağırlık olarak %0,5 Al₂O₃ ilave edilen kompozisyona sahip paslanmaz çelik numunelerin en yüksek sertliğe sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca 316L paslanmaz çeliğe % 0,5 Al₂O₃, % 0,5HA ve % 0,5 (Al₂O₃ +HA) ilavesiyle Al₂O₃ ve HA içermeyen 316L numuneye göre sertlik dayanımının daha üstün olmalarına rağmen % 0,5 (Al₂O₃ +HA) ilavesiyle sertlik dayanımlarında düşüş gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: “Toz metalürjisi, 316L alaşımı, Al₂O₃/HA, mikroyapı, sertlik”

*Sorumlu Yazar: Mehmet Akif ERDEN
makiferden@karabuk.edu.tr



Bu makaleden alıntı yapmak için: M. A. Erden ve ark., Toz Metal 316L Paslanmaz Çeliğe Hidroksiapatit ve Al₂O₃ İlavesinin Sertlik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, Çelik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 3(2), 23-32.

The Effect of Additional Hydroxyapatite and Al₂O₃ on Hardness and Microstructural Properties of Powder Metal 316L Stainless Steel

Abstract

Powder Metallurgy is a novel production method suitable for mass production and has no or max. %3 waste during production as well as nor requiring secondary process. The parts produced by the TM method have a smooth, clean surface that is close to the final shape compared to other methods. Stainless steels are famous with their superior mechanical specifications as well as wear and corrosion resistance which make them preferable for most industries one of them are biomedical. In this study, HA and Al₂O₃ powders were added individually or in pairs in determined amounts (0.5 percent by weight) into the 316L stainless steel matrix, and the desired composition was produced by powder metallurgy method. The powders used in the study were cold pressed unidirectionally under 700 MPa compression pressure in a Ø32 mm diameter cylindrical mold and formed into blocks. After pressing, the samples were sintered in an atmosphere-controlled tube furnace at 1200°C for two hours in an argon atmosphere. In addition, the microstructure and mechanical properties of the produced samples were analyzed by optical microscope and hardness tests. The results showed that stainless steel samples with a composition of 0.5% by weight of Al₂O₃ added to 316L stainless steel had the highest hardness strength. In addition, although the hardness strength of 316L stainless steel with the addition of 0.5% Al₂O₃, 0.5%HA and 0.5% (Al₂O₃+HA) is superior to the 316L sample without Al₂O₃ and HA, the hardness strengths with the addition of 0.5% (Al₂O₃ +HDA) are higher. decrease was observed.

Key Words: Powder Metallurgy, 316L alloy, Al₂O₃, hydroxyapatite, microstructure, hardness”

1. Giriş

Toz metalürjisi (TM) seri üretim ile ekonomik ve üretim sırasında kayıpsız veya maksimum yaklaşık %3 atık malzeme üretiminin yansira ikincil bir işlem gerektirmemesi gibi özelliklere sahip olan müstakil üretim yöntemidir. Bu üstün özellikler sayesinde gün geçtikçe tercih edilebilirliği artmakta ve diğer bilinen geleneksel yöntemlere de alternatif olmaktadır. TM yöntemi ile üretilen parçalar, diğer yöntemlere kıyasla son şekle yakın pürüzsüz, temiz bir yüzeye sahiptir ve çoğunlukla ikincil bir uygulamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Paslanmaz çelikler ise oldukça iyi mekanik özellikleri, yüksek ve düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini muhafaza edebilmesinin yansira aşınma ve korozyon direncinin oldukça iyi olması nedeniyle biyomedikal endüstrisi gibi birçok sektörde sıklıkla tercih edilen malzeme grubu olarak bilinmektedirler [1-5].

Östenitik paslanmaz çelikler birçok endüstri uygulamasında tercih edilen malzemelerdir. Östenitik paslanmaz çelikleri endüstri için çekici kılan özellikleri, yüksek korozyon direnci, yüksek tokluk, iyi kaynak edilebilirlik özellikleri olarak sıralanabilir [6–8]. Bu özellikleri nedeniyle östenitik paslanmaz çelikler petrokimya, implantlar, mutfak ekipmanları ve otomotiv gibi alanlarda tercih edilmektedir. Östenitik paslanmaz çeliklerin mukavemetini, sertliğini ve tokluğunu arttırmak için yapılan birçok çalışma mevcuttur. Özellikle araştırmacılar bu malzemenin tokluğundan ödün vermeden mekanik özelliklerinde iyileştirme yapma gayreti içindedirler. Bu nedenle, sıralı/katmanlı plastik deformasyon (SPD) tekniklerinden eşit kanallı açılı presleme (ECAP), yüksek basınçlı burulma HPT ve mekanik öğütme (MM) gibi yöntemler kullanılmaktadır [4].

İmplantlar insanlık tarihinde uzun süredir kullanılan ve vücutta zarar görmüş herhangi bir kemik parçasına ikame malzeme olarak geliştirilmiş ürünlerdir. İmplantların vücutla tam uyum içerisinde olabilmesi için, implant malzemesi olarak kullanılan materyalin vücut kimyasına zarar vermeyecek alaşım elementlerinden

geliştirilmiş olması, ikame kemik yerine kullanılacağı durumlarda, Young modülünün kemiğe yakın olması, vücut ile kısa sürede imtizaç edebilmesi ve enfeksiyon oluşturmayacak özelliklerde olması gerekmektedir ki bu tarz malzemeler biyomalzeme olarak bilinmektedir. AISI 316 malzemesi de yüksek korozyon direnci, non-toksik özelliği, işlenebilirlik özellikleri gibi nedenlerle implant malzemesi olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar Young modülü kemiğe yakın olmasa da (~10-30 GPa), kemik implantı olarak birçok bölgede kullanılmaktadır [10-11].

Alümina olarak da isimlendirilen alüminyum oksit (Al_2O_3), teknik seramik olarak da bilinmektedir ve ileri düzey seramiklerin imalatında kullanılmaktadır. Alümina kullanım alanı olarak inşaat, yakıt pilleri, aşındırıcı veya kimyasal atıkları temizleyici, mikro elektronik vs. gibi alanlarda kullanılmaktadır. Alümina yüksek sertlik, elektrik direnci, korozyon direnci, yüksek refrakterlik gibi özelliklerinin yanı sıra günümüzde klinik alanda kullanılan en yüksek biyo uyuma sahip inert bir malzemedir [12,13]. Biyomalzeme olarak ise, ventilasyon tüpleri, sterilizasyon cihazları ve ilaç sevk sistemleri gibi yerlerde kullanılmaktadır. Tek kristalli alümina dental implant olarak kullanılmaktadır. Alüminanın 4 µm den daha küçük taneciklerden üretilmesi durumunda elastikiyet modülü 30 GPa değerlerine çıkmaktadır. Bu nedenle biyo malzeme olarak kullanımında başka rahatsızlıklara yol açmaktadır. Tanecik boyutunu büyütme suretiyle mekanik özelliklerinin düşürülmesi, protez olarak kullanımında önemli rol oynamaktadır [14].

Biyoseramik malzemelerden olan kalsiyum fosfatlar da yüksek biyo uyumluluğa sahiptir ve bu malzemelerin yapısı kemik ve diş yapısına büyük benzerlik göstermektedir. Kalsiyum fosfatlardan hidroksiapatit kemik yapısına oldukça benzerdir bu nedenle kemik ile uyumu çok yüksektir [8]. HA'nın doku yenilenmesini destekleyici özelliği vardır. Bu nedenle nano boyutlarda formülize edilmiş HA ortopedik ve dental uygulamalarda araştırma konusu olmaktadır [16]. HA'nın tek başına kullanımı ise, düşük mekanik özellikleri nedeniyle pek mümkün değildir. Bu nedenle HA daha çok yüzey kaplama malzemesi [17] veya alaşım malzemesi olarak kullanılmaktadır [18]. Albayrak ve ekibi, HA'nın düşük mekanik özelliklerini iyileştirmek ve kemik iyileşmesini hızlandırıcı etkisi düşünülerek bor ilavesi yapılmıştır. Üretilen HA'larda bor ilavesinin mikro sertlik ve basma dayanımlarını artırdığı tespit edilmiştir [19]. AISI316L paslanmaz çeliği, biyomalzeme özellikli olması nedeniyle vücutta protez ve implant olarak kullanılmaktadır. 316L paslanmaz çeliğinin implant ve protez olarak tercih edilmesinin nedeni sahip olduğu korozyon direnci, anti bakteriyel aktivitesi ve biyouyumluluğudur [10]. Ancak 316L'nin içeriğinde bulunan nikel ve demir elementlerinin serbest kalması enfeksiyona ve implant yapılan bölgede ağrıya neden olabilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar 316L üzerine HA kaplaması yapmaktadır [11]. Kaplamasız şekilde kullanılan 316L malzemelerin nikel yayması nedeniyle vücutta alerjik reaksiyonlara neden olduğu da literatürde bildirilmiştir [12]. 316L malzemesinde görülen bu tarz negatif etkenlere rağmen en sık kullanılan implant malzemesidir. Bunun nedeni maliyet olarak en uygun malzemelerden olmasından kaynaklanmaktadır [19].

HA üzerine yapılan bir başka çalışmada ise, 316L paslanmaz çeliği HA-Mg ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi öncelikle yoğun bir HA kaplaması ardından en üst tabakada HA-Mg kaplaması şeklinde uygulanmıştır. Çift kaplamalı uygulanan bu yöntem ile toksik elementlerin yayılması önlenmiş ve ayrıca simüle edilmiş vücut sıvısı içerisinde yapılan korozyon testlerinde en üst tabakada HA-Mg olması sayesinde kemik dokusunun gelişimine katkı sağlayacak potansiyel gözenekler elde edilmiştir [20]. Genel olarak son çalışmalarda, HA'nın metal seramiklerle kompozit oluşturması üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. HA kemik ile uyumlu ve doku tamirinde kullanılan bir malzemedir. Ayrıca AL_2O_3 malzemesi ise vücut ile uyumlu bir seramiktir ve protez olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada biyomalzeme olarak kullanılan 316 L paslanmaz çeliğe HA ve AL_2O_3 ilavesi ile biyouyumluluğa katkısı olan takviye elementler kullanılarak mekanik özellikleri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla toz metalürjisi yöntemiyle üretilen AISI316L malzemeye % ağırlık olarak % 0,5 oranında Hidroksiapatit ve Alümina tekli ve ikili ilavesi yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir.

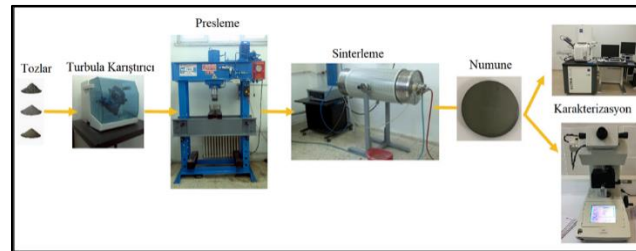
2. Deneysel Metot

Bu çalışmada toz metalürjisi tekniği kullanılarak Çizelge 1’de verilen kimyasal bileşimlerde çelik numune üretimi gerçekleştirilmiş ve Hidroksiapatit ve Alümina tekli ve ikili ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Numunelerin üretiminde kullanılan aşamalar Şekil 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Üretilen numunelerin kimyasal bileşimi

| Numune | Bileşim | Al ₂ O ₃ (%ağırlık) | HDA (%ağırlık) | 316L (%ağırlık) |
|--------|--|---|----------------|-----------------|
| A | 316L | - | - | Geri kalan |
| B | 316L +0.5HDA | - | 0.5 | Geri kalan |
| C | 316L + 0.5 Al ₂ O ₃ | 0.5 | - | Geri kalan |
| D | 316L+ 0.5Al ₂ O ₃ + 0.5HDA | 0.5 | 0.5 | Geri kalan |

Tozların tartımı Çizelge 1’de verilen miktar doğrultusunda 0,0001 hassasiyete sahip dijital hassas terzi kullanılarak yapılmıştır. Tartımı gerçekleştirilen toz karışımlar Turbula marka üç eksenli karıştırıcı aracılığıyla iki saat bilyeli olarak harmanlanmıştır. Karıştırılan tozlar, Ø32 mm çapına sahip silindir kalıpta 700 MPa presleme basıncında tek yönlü olarak preslenerek blok haline getirilmiştir.

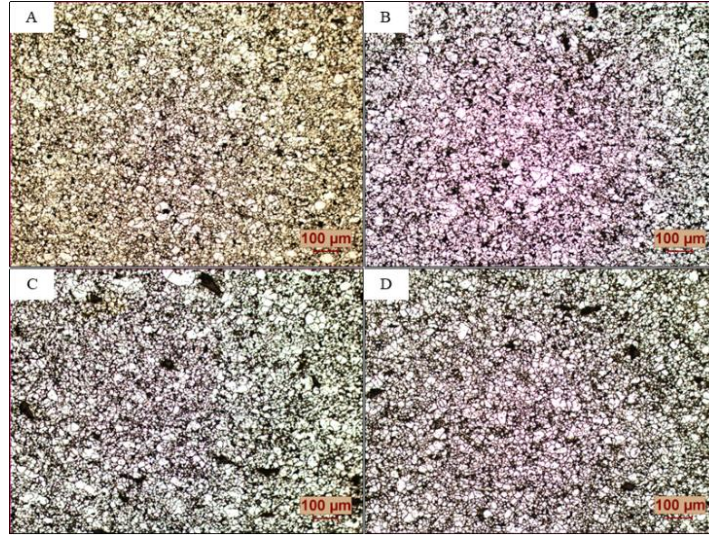


Şekil 1. Üretim aşamasının şematik tasviri

Sinterleme işlemi 1250 °C’de 2 saat argon atmosferinde uygulanmıştır. Sinterlenen numunelerin sertliklerini belirlemek amacıyla vickers mikrosertlik testi 0,5 kg yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ortalama tane boyutu doğrusal kesme yöntemi uygulanarak hesaplanmıştır. Mikroyapı incelemeleri X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ve CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM marka SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bakalite alınan numuneler zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler, 10gr. Oksalik asit 90ml. Saf su çözeltisinde 2 amper akım şiddetinde 12 volt gerilim altında elektrolitik dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Metalografik numune hazırlama işlemi sonrası numunelerin farklı bölgelerinde görüntüler alınarak mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

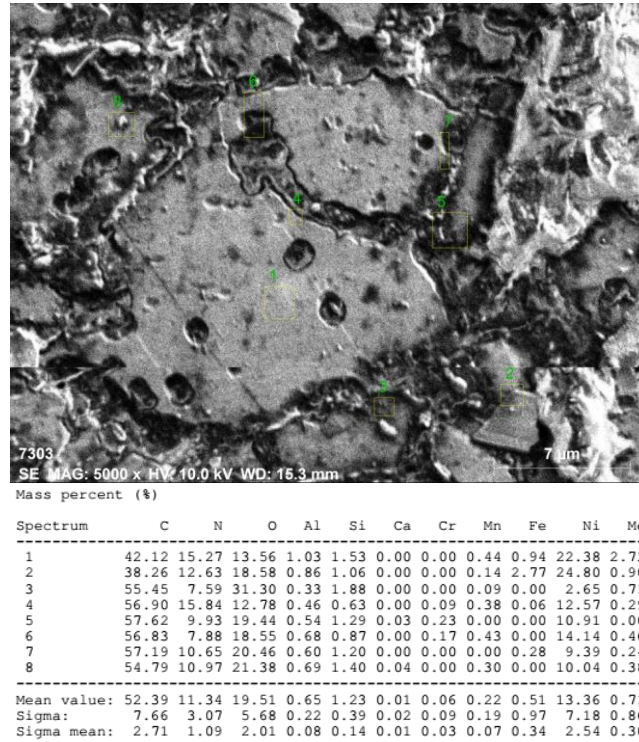
3. Sonuçlar ve Tartışma

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen 316L paslanmaz çelik malzemeler mikroyapı, sertlik testlerine tabi tutulmuştur. Şekil 2’deki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, farklı alümina ve HA ilave edilen 316L malzemelerin tek yönlü soğuk presleme yapılarak toz metalürjisi ile üretilmiş olması nedeniyle boşluklar görülebilmektedir. Bunun nedeni toz metalürjisi ile yapılan üretimde meydana gelen ufak boşluklardan kaynaklanmaktadır [21]. Nitekim bu boşluklar şekil 2’de verilen mikroyapı görüntülerinden de anlaşılmaktadır. Dispersiyon ve çökelti sertleşmesi birbirine benzer proseslerdir. Her ikisinde de amaç dislokasyonların hareketini engellemek suretiyle dayanım artışı sağlamaktır [22].



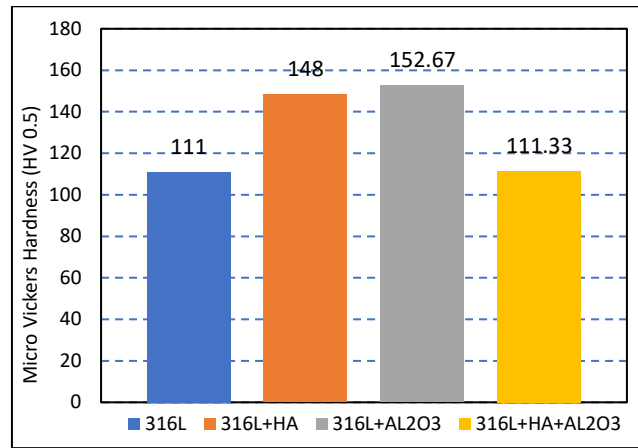
Şekil 1. Numunelerin optik mikroskop görüntüleri

Ayrıca mikroyapı resimlerine bakıldığında Al_2O_3 ve HA ilavesi ile tane boyutunun küçüldüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, malzeme içerisinde oluşan Al_2O_3 , MoC(N), CrC(N), MoCrC(N), CrMnMoC(N) ve CaO gibi tekli, iki ve çoklu partiküllerin matris içerisinde bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde SEM, XRD ve TEM gibi analizleri ile tekli, ikili ve çoklu çökeltilerin oluştuğunu ifade eden çalışmalar mevcuttur (Şekil 3) [22-54].



Şekil 3. SEM ve EDS analiz sonuçları.

Oluşan bu partiküller, tane boyutu küçültme, çökelti sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi ve kümeleşme sertleşmesi gibi dayanım artırıcı mekanizmalarla malzemenin dayanımını arttırmaktadır. Nitekim şekil 3'te bu durum açıkça görülmektedir. Sertlik artışı oluşan bu partiküller sonucu gerçekleştiği literatürde de belirtilmiştir [21–25]. Sertlik değerleri incelendiğinde, AISI 316L malzemesine HA veya Al_2O_3 ilavesi ile sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. En yüksek sertlik değeri Al_2O_3 ilavesinde elde edilmiştir. HA ve Al_2O_3 katkılarının beraber ilave edilmesi yaklaşık olarak sertlik değerini eski seviyesine düşürmüştür. 316L malzemesinde görülen bu artış tane boyutu küçültme, çökelti sertleşmesi ve dispersiyon sertleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde Özdemirler vd. ağırlık olarak %55 grafik içeren demir matrisli kompozitlere farklı oranlarda Nb ilavesi sonrası çekme ve sertlik değerlerinde artış sağlamışlardır [26]. Nb ilavesi ile sağlanan bu dayanım artışı, matris ve tane sınırlarında NbC, NbN ve NbCN gibi çökeltilerin oluşması ve bu çökeltilerin çökelti sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi ve tane boyutu küçültme gibi mukavemet artırıcı mekanizmaları ile sağlandığı belirtilmiştir [27]. Yapılan başka bir çalışma da Gündüz vd. toz metalürjisi ile üretilen mikro alaşım çeliklerine Nb ve Al ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmış, Nb ve Al ilavesi ile mekanik özelliklerinin arttığını gözlemiştir. SEM, EDS ve XRD analizlerinin uygulandığı çalışmada NbC, AlN çökeltileri görülmüş ve mekanik özelliklerde sağlanan iyileşmenin oluşan bu çökeltiler ile sağlanan çökelti sertleşmesine ve tane boyutu küçülmesi ile sağlanan mukavemet artışıyla ilişkilendirmişlerdir [28].



Şekil 3. Mikro sertlik değerleri.

Sonuç olarak, Al_2O_3 ve HA ilavesi ile ortalama tane boyutunun daha da küçüldüğü görülmüştür ve HA ilavesi ile malzeme sertlik ve dayanım değerlerinde ciddi artışlar görülmüştür. Ayrıca özellikle HA ilavesi ile 316L malzemeden üretilen protez ve implantın vücuda daha hızlı uyum sağlayacağı düşünülmektedir [18,29–41].

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, TM yöntemi ile 316L paslanmaz çeliğine Al_2O_3 ve Hidroksiapatit elementlerinin tekli ve çoklu ilavesinin mikroyapı ve sertlik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 316L ve üç farklı Al_2O_3 ve HA hacim oranına sahip (%0,5 Al_2O_3 - %0,5HA - %0,5 HA+%0,5 Al_2O_3), olan 316L TM çelikleri soğuk presleme ve ardından 1250°C'de argon atmosferinde sinterleme işlemi uygulanarak üretilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Al_2O_3 ve HA ilave edilen 316L çelikleri toz metalürjisi yöntemiyle başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- Al_2O_3 ve HA elementinin ikili ilavesi ile ortalama tane boyutunun daha da küçüldüğü görülmüştür.

Bu durum sinterleme esnasında ve sonrasında tane sınırlarında ve tane içinde oluşan Al_2O_3 , CaO , $MnCN$, CrC , CrN , $CrCN$ ve $CrMoC$, $CrMoCN$ ve $CrMoMnCN(N)$ gibi tekli, ikili ve üçlü çökeltilerin tane büyümesini engellemesi sonucunda olduğu düşünülmektedir. Ayrıca oluşan bu partiküllerin çökelti sertleşmesi, dispersiyon sertleşmesi ve tane boyutu küçültme gibi mukavemet artırıcı mekanizmalar ile Al_2O_3 ve HA ilave edilmiş 316L numunelerin Al_2O_3 ve HA içermeyen 316L numuneye göre sertlik dayanımının daha üstün olduğu gözlemlenmiştir.

- En yüksek sertlik değeri %0,5 Al_2O_3 ilaveli numunede 152,67 HV ölçülmüştür. Al_2O_3 içermeyen 316L numuneye göre sertlik dayanımında yaklaşık %37 artış belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri KBÜBAP-22-DS-061, KBÜBAP-22-DS-062, KBÜBAP-22-YL-074, KBÜBAP-21-YL-118, KBÜBAP-21-YL-085 ve FYL-2020-2397 numaraları altında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bu çalışmayı destekleyen Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinatörlüğü teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

1. Türkmen M., Erden M. A., Karabulut H., Gündüz S. (2019). The Effects of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Nb V Microalloyed Powder Metallurgy Steels”, *Acta Physica Polonica A*, 135(4), 834–36.
2. Erden MA, & Ayvaci B (2019) The effect on mechanical properties of pressing technique in PM steels. *Acta Phys Pol A* 135:1078–1080. doi.org/10.12693/APhysPolA.135.1078
3. Simsir H., Akgul Y., & Erden M.A. (2020). Hydrothermal carbon effect on iron matrix composites produced by powder metallurgy. *Mater Chem Phys* 242:122557. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122557>
4. Erden M. A., Gündüz S., Karabulut H., & Türkmen, M. (2017). Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method. *Mechanics*, vol. 23(4), 574-580.
5. Erden M. A., Erer A. M., Odabaşı Ç., & Gündüz S. (2022). The Investigation Of The Effect Of Cu Addition On The Nb-V Microalloyed Steel Produced By Powder Metallurgy. *Science of Sintering*, 54(2), 153-167.
6. Lo K. H., Shek C. H. & Lai J. K. L. (2009) Recent developments in stainless steels. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 65(4-6), 39–104.
7. Podder A. Saha & Bhanja A. (2013). Applications of Stainless Steel in Automobile Industry. *Advanced Materials Research*, 794,731–740.
8. Kurgan N., Sun Y., Cicek B., & Ahlatci H. (2012). Production of 316L stainless steel implant materials by powder metallurgy and investigation of their wear properties. *Chinese Science Bulletin*, 57(15),1873–1878.
9. Esmaeilzadeh R., Salimi M., Zamani C., Hadian A. M., & Hadian A. (2018). Effects of milling time and temperature on phase evolution of AISI 316 stainless steel powder and subsequent sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, 766, 341–348.
10. Zhou J., Sun Y., Huang S., Sheng J., Li J. & Agyenim-Boateng E. (2019). Effect of laser peening on friction and wear behavior of medical Ti6Al4V alloy. *Optics & Laser Technology*, 109, 263–269.
11. Ahmadi R. & Izanloo S. (2022). Development of HAp/GO/Ag coating on 316 LVM implant for medical applications,” *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 126, 105075.

12. Al-Moameri H. H., Nahi Z. M., Rzajj D. R., & Sharify N. T. (2020). View Of A Review On The Biomedical Applications Of Alumina.” *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 24(05), 28-36.
13. Ruys A. J. (2021). Introduction to metal-reinforced ceramics. *Metal-Reinforced Ceramics*, 1–20. doi: 10.1016/B978-0-08-102869-8.00001-X.
14. Shanmugam K. & Sahadevan R. (2018). Bioceramics—An introductory overview. *Fundamental Biomaterials: Ceramics*, 1–46.
15. Evis Z. (2011). Çeşitli İyonlar Eklenmiş Nano- Mekanik ve Biyoyumluluk Özellikleri. *International Journal of Research and Development*, 3(1), 55-61.
16. James E. N., Hanna C., & Nair L. S. (2015). Nanobiomaterials for Tissue Engineering Applications,” *Stem Cell Biology and Tissue Engineering in Dental Sciences*, 221–234.
17. Çiftçi N. (2022). Sol-jel yöntemi ile 316 LSS ve Ti implant malzemelerin üzerine hidroxyapatite (HAP) kaplamaların üretilmesi ve korozyon davranışlarının elektrokimyasal yöntemle incelenmesi. Y.lisans tezi.
18. Kowalski K., Nowak M., Jakubowicz J., & Jurczyk M. (2016). The Effects of Hydroxyapatite Addition on the Properties of the Mechanically Alloyed and Sintered Mg-RE-Zr Alloy,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(10), 4469–4477.
19. Albayrak Ö., Uğurlu M., & Mersin T. (2016). Bor katkılı hidroksiapatit üretimi ve karakterizasyonu: Bor oranı ve sinterleme sıcaklığının yapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(3), 749-761.
20. Rezaei A., Golenji R. B., Alipour F., Hadavi M. M., & Mobasherpour I. (2020). Hydroxyapatite/hydroxyapatite-magnesium double-layer coatings as potential candidates for surface modification of 316 LVM stainless steel implants. *Ceramics International*, 46(16), 25374–25381.
21. Clyne T. W. (1996). *Metallic Composite Materials, Physical Metallurgy*, 2567–2625.
22. Erden M. A. (2017). 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.
23. Elitaş M. (2021). Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel. *Mater Test.*, 63, 124–130.
24. Erden M. A. & Akgün M. (2021). Effect of Mo addition on microstructure, mechanical and machinability properties of Cr-PM steels. *Metals*, 11(10), 5455-5467.
25. Guldibi A. S. & Demir H. (2020). Aging Effect on Microstructure and Machinability of Corrax Steel. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10(1), 5168–5174.
26. Özdemirler D., Gündüz S., & Erden M. A. (2017). Influence of nbc addition on the sintering behaviour of medium carbon PM steels. *Metals (Basel)* 7:121. <https://doi.org/10.3390/met7040121>
27. Özdemirler D., Gündüz S., Erden M. A., Karabulut H. & Türkmen M. (2016). Microstructure and mechanical properties of Nb added PM steels sintered at defferent temperatures, AKU,” *J. Sci. Eng.*, 16 (1), 87-91.
28. Erden M. A., Gündüz S., Karabulut H. & Türkmen, M. (2017). Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method”. *Mechanics*, vol. 23(4), 574-580.
29. Guma A. M., Gündüz S., Erden M. A. & Taştumur D. (2017). Dynamic Strain Aging Behaviour in AISI 316L Austenitic Stainless Steel under As-Received and As-Welded Conditions. *Metals*, 7(9), 362.
30. Tanrıverdi A. N., Akgül Y. & Erden M. A. (2022). A novel approach on production of carbon steels using graphene via powder metallurgy. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 61(1), 85-93.
31. Erden M. A., Korkmaz M. E., Yaşar N., Ayvacı B., Sworna R. K. N. & Mia M. (2021). Investigation of Microstructure, Mechanical and Machinability Properties of Mo Added Steel Produced by Powder Metallurgy Method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114, 2811–2827.

32. Karabulut H., Erden M.A. , Karacif K., & Gündüz S. (2022). Investigation of the effects of SiC reinforcement ratio in iron-based composite materials on corrosion properties. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 122(6), 317-322.
33. Erden M.A., & Aydın F. (2021). Wear and mechanical properties of carburized AISI 8620 steel produced by powder metallurgy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28 (3), 430-439.
34. Ahssi M.A.M., Erden M.A., Acarer M., & Çuğ H. (2020). The Effect of Nickel on the Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Properties of Niobium–Vanadium Microalloyed Powder Metallurgy Steels. *Materials*, 13, 4021. doi.org/10.3390/ma13184021
35. Erden MA (2017). Effect of pressing pressure on microstructure and mechanical properties of non-alloyed steels produced by powder metallurgy method. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 6(1), 257-264.
36. Türkmen M., Karabulut H., Erden M.A., & Gündüz S. (2017). Effect of tin addition on the microstructure and mechanical properties of Pm steels. *e-Jour New World Sci Acad.*, 12, 178–184. doi.org/10.12739/nwsa.2017.12.4.2a0125
37. Gündüz S, Karabulut H, Erden MA, & Türkmen M (2013). Microstructural effects on fatigue behaviour of a forged medium carbon microalloyed steel. *Mater Test* 55:865–870.
38. Güney, B. (2021). Microstructure analysis of welding fume of low and medium carbon steels. *Rev. Metal.* 57(1), e187. doi.org/10.3989/revmetalm.187
39. Güney B., & Dilay Y. (2022). Determination of abrasion resistance of Fe28Cr5C1Mn coating applied to 30MnB5 boron alloy cultivator blades via electric arc spray. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(17), 9687-9699.
40. Kurt B., Özdoğan L., Güney B., Bölükbaşı Ö. S., & Günen A., (2020). Characterization and wear behavior of TiBC coatings formed by thermo-reactive diffusion technique on AISI D6 steel. *Surface and Coatings Technology*, 385:125332
41. Erden M. A., Taslıyan M.F., Akgul Y. (2021). Effect of TiC, TiN, and TiCN on Microstructural, Mechanical and Tribological Properties of PM Steels, *Science of Sintering*, 53(4), 497-508.
42. Erden MA, & Ayvaci B (2020) The effect on mechanical properties of pressing technique in PM steels. *Acta Phys Pol A* 135:1078–1080. doi.org/10.12693/APhysPolA.135.1078
43. Demir H, Gündüz S., & Erden MA (2018). Influence of the heat treatment on the microstructure and machinability of AISI H13 hot work tool steel. *Int J Adv Manuf Technol* ., 95, 2951–2958. doi.org/10.1007/s00170-017-1426-3
44. Demirtaş H., & Erden M.A. (2019). Cr ve Ni İlavesinin Sade Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1217-1223.
45. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., & Karabulut H. (2014). Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels. *Materials Science and Engineering A*, 616: 201-206.
46. Erden MA (2016). Investigation of the effect of nickel content on microstructure and mechanical properties of non alloyed steels produced by powder metallurgy. *GU J Sci PartC*, 4, 241–245.
47. Simsir H., Akgul Y., & Erden M.A. (2020). Hydrothermal carbon effect on iron matrix composites produced by powder metallurgy. *Mater Chem Phys* 242:122557. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122557
48. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., & Karabulut H., (2016). The Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels. *Materials Testing*, 58(5), 433-437.
49. Erden MA (2017). The effect of the sintering temperature and addition of niobium and vanadium on the microstructure and mechanical properties of microalloyed PM steels. *Metals (Basel)*:7. doi.org/10.3390/met7090329
50. Erden MA, Gündüz S, Çalığılı U, & Boz M. (2018). Investigation of hardness and microstructure properties of non alloyed and hardox steel combined with submerged arc welding method. *J Fac Eng Archit Gazi Univ* 33:221–226. doi.org/10.17341/ gazimmfd.406794

51. Erden M. A., Barlak S., Adalı B., & Çelikkıran Ö. (2018). Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Vanadyum İlavesinin Mikroyapı Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(3),629-636.
52. Erden M. A., Erer A. M., Odabaşı Ç., & Gündüz S. (2022). The Investigation Of The Effect Of Cu Addition On The Nb-V Microalloyed Steel Produced By Powder Metallurgy. *Science of Sintering*, 54(2), 153-167.
53. Erden MA, & Taşçı MT (2016). The effect of Ni on the microstructure and mechanical properties of Nb-V microalloyed steels produced by powder metallurgy. *J Polytech*, 19, 611–616.
54. Gething, B. A., Heaney, D. F., Koss, D. A., & Mueller T. J., (2005). The Effect of Nickel on the Mechanical Behavior of Molybdenum P/M Steels. *Materials Science and Engineering A*, 390,19–26.

Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Farklı Oranlarda Nikel İçeren Mo Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Mehmet Akif Erden¹ 

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Müh. ABD, Karabük/Türkiye

Başvuru: 12/12/2022

Kabul: 15/12/2022

Çevrimiçi Basım: 18/12/2022

Öz

Çelikler, içerisinde en fazla %2,06 C(karbon) içeren demir esaslı malzemelerdir. Çelik içerisinde genel olarak Mn, Si, P, S ve Si belirli miktarda bulunur. Cr, Mo, Ni, Al, V, Nb, Ti, W ve B gibi diğer elementler ise aşınma, darbe, sertlik ve korozyona dirençli olması gibi mekanik, termal, korozif gibi özelliklerini geliştirme beklentileri karşılamak için belli oranlarda çelik içerisine ilave edilir. Kullanım yerine göre bu alaşım elementlerinin miktarı ve çeşidi farklılık gösterir. Bu eklentiler sonucunda çelikler çok geniş kullanım alanına sahip olur. Bunun en net göstergesi alaşımli çeliklerin günümüzde en çok kullanılan mühendislik malzemesi olmasıdır. Bu çalışmada Fe matris içerisine % ağırlık olarak 0,55 grafit ve % 3 Mo ilavesinin sabit oranda ilave edilmiştir. Bu kombinasyon üzerine farklı oranlarda (0-1 ve 3 Ni) Ni ilave edilmiştir. Toplamda 3 farklı kompozisyonda toz bileşimi karıştırılmıştır. Elde edilen toz malzeme ASTM E8M standartlarında tasarlanan çekme numunesi şeklinde kalıp içerisine doldurulmuş ve 750 MPa presleme basıncında tek yönlü sıkıştırılmıştır. Bu işlem sonucunda üretilen numuneler sinter fırınında 1400 °C sıcaklıkta argon atmosferinde sinterlenmiş ve farklı kombinasyonlarda alaşımli çelik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı kimyasal bileşime sahip çelik numunelere çekme testi uygulanmıştır. % ağırlık olarak Ni alaşım elementlerinin oranlarının artması sonucunda çekme dayanımında artış tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Mo Alaşımli Çelikler, Ni ilavesi, Mekanik Özellikler”

Investigation of Mechanical Properties of Mo Steels Containing Nickel in Different Ratios Produced by Powder Metallurgy Method

Abstract

Steels are iron-based materials containing up to 2.06% C (carbon). In general, Mn, Si, P, S and Si are found in certain amounts in steel. Other elements such as Cr, Mo, Ni, Al, V, Nb, Ti, W and B are added in certain proportions to meet the expectations of improving mechanical, thermal and corrosive properties such as abrasion, impact, hardness and corrosion resistance. The amount and type of these alloying elements differ according to the place of use. As a result of these additions, steels have a very wide usage area. The clearest indicator of this is that alloy steels are the most widely used engineering material today. In this study, 0.55 wt.% graphite and 3% Mo addition were added to the Fe matrix at a constant rate. Ni was added at different rates (0-1 and 3 Ni) on this combination. In total, 3 different compositions of powder composition were mixed. The obtained powder material was filled into the mold in the form of a tensile specimen designed in ASTM E8M standards and compressed in one direction at a pressing pressure of 750 MPa. The samples produced as a result of this process were sintered in the sinter furnace at 1400 °C in an argon atmosphere and alloyed steel materials were produced in different combinations. Tensile test was applied to steel samples with different chemical compositions. So, the increase in the ratio of Ni alloy elements in wt.%, an increase in tensile strength was determined.

Key Words: Powder Metallurgy, Mo Alloy Steels, Ni addition, Mechanical Properties”

*Sorumlu Yazar: Mehmet Akif ERDEN
makiferden@karabuk.edu.tr



Bu makaleden alıntı yapmak için: M. A. Erden, Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Farklı Oranlarda Nikel İçeren Mo Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Çelik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 3(2), 33-39.

1. Giriş

Çelikler genel olarak demir karbon alaşımı olup günümüzde yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemesidir. Çelikler içerdiği karbon oranı ve içerisinde alaşım elementlerine göre sınıflandırılabilir. Alaşımli çelikler, alaşimsız çeliklerde elde edilemeyen özellikleri kazandırmak için bir veya birden fazla alaşım elementi katılarak üretilen çeliklerdir [1-16]. Toz metalurjisi yöntemi gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, mekanik alaşımlama, kimyasal elektroliz vb. toz üretim yöntemleri ile üretilmiş metal içerikli tozların istenen belirli oranlarla karıştırılması, istenen parçanın şekline sahip kalıba doldurularak preslenmesi sinterleneme işlemi ve gerekli görülmesi durumunda delik delme yüzey serleştirme ikincil presleme gibi ikincil işlemler içeren müstakil bir üretim tekniğidir [17-25].

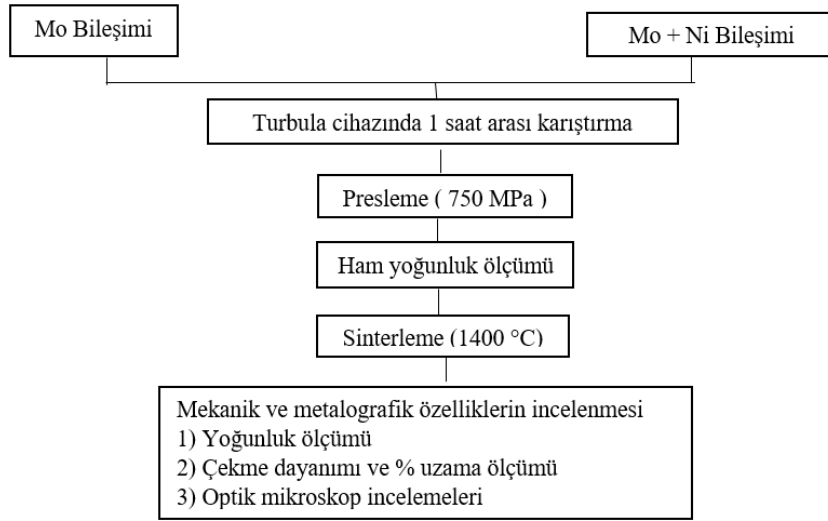
Nikel östenit dengeleyici bir element olan nikel, demir karbon krom alaşımlarında östenit bölgesini genişletir. Ayrıca ferrit alanını daraltır. Ayrıca sıcaklık ortamının yüksek olduğu durumlarda oksitlenme ve korozyon direncini artırır. Nikel elementi, mukavemet artırma mekanizmalarından olan tane boyutunu küçültme etkisine sahiptir. Bunun yanı sıra tufal oluşumunu engelleyici özelliği de vardır. Ni ilavesinin perlit miktarını arttırdığı yönünde çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Kalathur ve Frederick ürettiği demir matrisli malzemelerde Ni miktarının artması ile perlit miktarında artış tespit etmişlerdir [26-28]. Nikel elementi karbon, bakır ve molibden gibi birçok elemente göre demir içerisinde yavaş yayılım gösterir. Buda mikroyapıda nikelce zengin bölgelerin oluşmasını sağlar [7, 29].

Toz metalurjisi (TM) yöntemi kullanarak alaşımli çelik üretimi ile ilgili birçok çalışma literatürde mevcuttur. Örneğin Erden vd. (2014), çalışmalarında TM yöntemiyle Ti mikro alaşımli çelik üretmiştir. Sinterleme sıcaklığı 1150 °C ve sinterleme süresi 60 dakika olarak sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ti oranı yükseldikçe akma ve çekme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Dayanımdaki artış sinterleneme öncesi, sinterleme sırasında ve soğuma sırasında TiCN, TiC, TiN gibi çökeltilerin çökelti sertleşmesi, kümeleşme sertleşmesi ve tane boyutu inceltme gibi dayanım artırıcı mekanizmalar sonucunda oluştuğunu ifade etmişlerdir. Erden et.al., yaptığı bu çalışmada SEM analizi ile tespit edilen TiC gibi çökeltiler tespit edilmiştir [14].

Bu çalışmada TM yöntemi ile Fe matris içerisine % ağırlık olarak 0,55 grafit ve % 3 Mo elementi yanı sıra 2 farklı % ağırlık oranında (% 1 ve 3) Ni ilave edilmiştir. Elde edilen karışım Turbula 3 eksenli karıştırıcıda 1 saat karıştırma işlemi sonucu alaşımli çelik toz homojen hale getirilmiştir. Elde edilen toz karışımları presleme ve sinterleme sonrası alaşımli çelik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen alaşımli çeliklerin karakterizasyonu çekme testi ve optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir.

2. Deneysel Metot

Bu çalışma birçok işlemi içermektedir. Bu işlemler tozların temini, belirli ölçülerde karışımların hazırlanması ve karıştırılması, hidrolik preste tozların tek yönlü ve oda sıcaklığında sıkıştırılması, sinter fırınlarında sinterleme işleminin yapılması, üretilen parçaların mekanik özelliklerinin incelenmesi ve mikroyapısal özelliklerinin belirlendiği basamaklardır. Bu basamaklar şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmanın akış şeması.

TM ile çelik üretiminde gerekli olan tozların toz boyutu ve saflık özellikleri ve üretici firma bilgileri aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tozların temini ve özellikleri

| Elementel tozlar | Toz boyutu (µm) | Saflık (%) | Üretici |
|------------------|-----------------|------------|---------------|
| Demir | <150 | 99,95 | Höganäs |
| Karbon | 10-20 | 96,5 | Höganäs |
| Molibden | <100 | 99 | Sigma Aldrich |
| Nikel | <150 | 99,95 | Sigma Aldrich |

Çizelge 2'de belirtilen kompozisyonlarda tartılmış ve hazırlanmış toz karışımlar turbula üç eksenli karıştırıcı ile 1 saat karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Hazırlanan karışımlar Hidroliksan marka 96 ton presleme kapasiteli pres kullanılarak presleme basıncı 750 MPa uygulanarak ASTM (E 8M) standardında hazırlanan çekme numunesi şeklinde kalıpta tek yönlü olarak preslenerek üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Alaşımli toz metal çeliklerin kimyasal bileşimleri (% ağırlık)

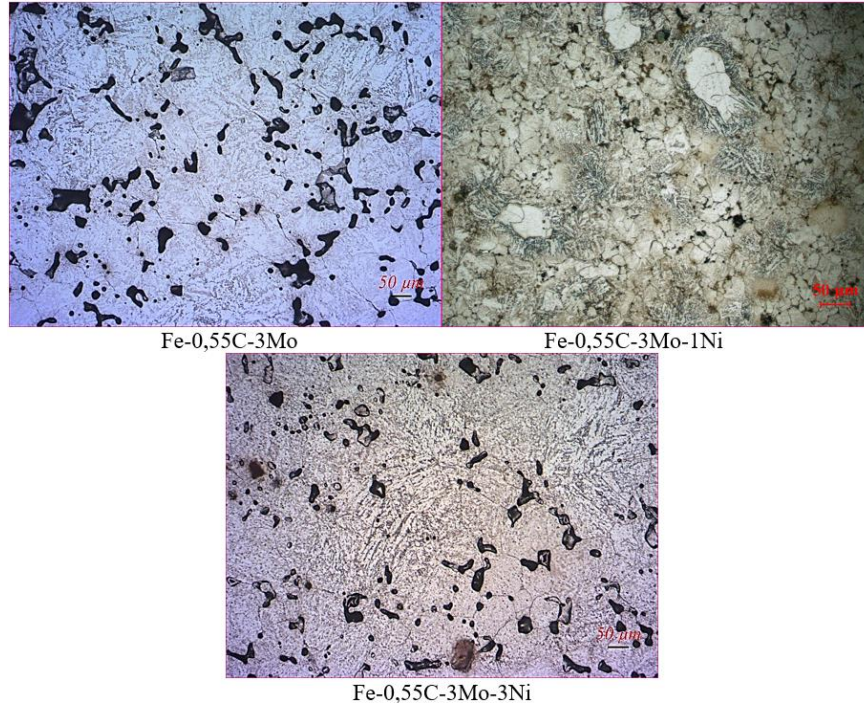
| Bileşim | Grafit | Mo | Ni | Fe |
|------------------------|--------|----|----|-------------|
| Fe + 0.55C + 3Mo | 0.55 | 3 | - | Geri kalanı |
| Fe + 0.55C + 3Mo + 1Ni | 0.55 | 3 | 1 | Geri kalanı |
| Fe + 0.55C + 3Mo + 3Ni | 0.55 | 3 | 3 | Geri kalanı |

Sinterleme işlemi yüksek sıcaklıklarda preslenmiş parçanın moleküllerinin birbirine bağlanmasını sağlayan ve parçaya mukavemet kazandırmak için yapılan bir işlemdir. Sinterleme işlemi Protherm marka atmosfer kontrollü fırınında argon atmosferinde 1400°C de 1 saat kullanılarak sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası mekanik özellikleri belirlemek için 1 mm/dk. hızında çekme testi uygulanmıştır. Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile farklı büyütme ölçeklerinde mikroyapı resimleri alınmıştır. Dağlayıcı olarak % 2 Nital çözelti kullanılmıştır. Numuneler çözeltiye 10-15 saniye arası daldırıldıktan sonra su ile iyice yıkanıp dağlanan

yüzeyle alkol püskürtülüp kurutulmuştur. Üretilmiş numunelerin yoğunluk ölçüm işlemleri, on binde bir hassas terazi ile RADWAG AS60 yoğunluk ölçüm kiti kullanılarak Archimedes prensibine göre hesaplanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Üretilen numunelerin mikroyapıları Şekil 2’de görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde gözeneklerin mikroyapıda tane ve tane sınırlarında bulunduğu görülmüştür. Mikroyapı incelemelerinde Ni içermeyen molibden çeliğinin mikroyapısının perlit ve ferrit fazlarından oluştuğu görülmektedir. % 3 Ni ilavesi ile perlit ve beynit miktarında artış görülmüştür. % ağırlık olarak %2 Nikel ilavesine kadar perlit miktarının arttığı, beynit fazının oluştuğu literatürdeki çalışmalarda yer almaktadır. Ayrıca %2’den %5’e kadar nikel ilavesi ile beynit ve martenzit fazlarının oluştuğu beynit miktarının arttığı ifade edilmiştir. Literatür çalışmaları tarandığında bu sonucu destekleyen veriler bulunmuştur [26-31]. Örneğin; Kalathur ve Frederick (2007) yaptıkları çalışmada Nikel içeren demir karbon alaşımlarda Nikel miktarının artış, perlit içindeki karbonu azalttığı ve perlit miktarını ise arttırdığı dolayısı ile yumuşak faz olan ferrit fazı azaldığı tespit edilmiştir. Sonuçta Nikel miktarının arttığı demir matrisli malzemelerde mekanik özellikler gelişirken tokluk azaldığı görülmüştür [28].

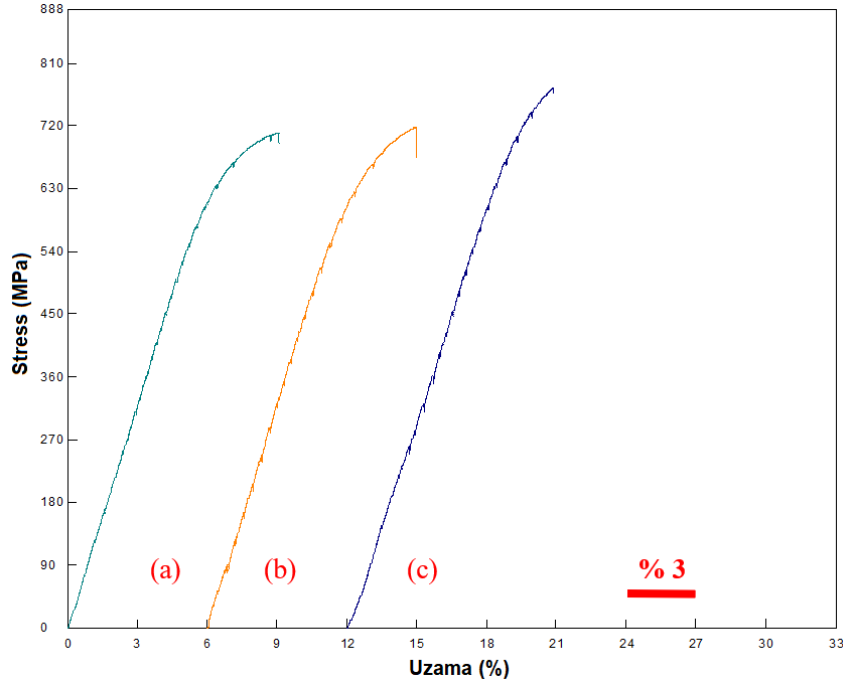


Şekil 2. Argon atmosferinde 1400°C’de sinterlenmiş farklı nikel oranlarına sahip alaşımlı Mo içeren TM çeliklerin mikroyapı görüntüleri. (200X)

Çizelge 3’te üretim sonrası yoğunluk ve gözeneklilik miktarı verilmiştir. TM çeliklerde Ni miktarının arttığında gözenek miktarının arttığı da görülmektedir. Literatür incelendiğinde çok küçük ve küresel şekilli gözeneklerin tane içinde bulunması mekanik özellikleri olumsuz etkilemediği ifade edilmiştir [30, 33-34].

Çizelge 3. Alaşımli TM çelikler numunelerin yoğunluk (gr./cm³) ve gözenek miktarı.

| Kimyasal Bileşim | Teorik | Sinter Sonrası | Gözenek Miktarı (%) |
|------------------------|--------|----------------|---------------------|
| Fe + 0.55C + 3Mo | 7,9114 | 7,3188 | 7,49 |
| Fe + 0.55C + 3Mo + 1Ni | 7,9218 | 7,3229 | 7,56 |
| Fe + 0.55C + 3Mo + 3Ni | 7,9426 | 7,3397 | 7,59 |

**Şekil 3.** TM Numunelerin Stress-Uzama eğrileri. a) Fe-0,55C-3Mo b) Fe-0,55C-3Mo-1Ni c) Fe-0,55C-3Mo-3Ni**Çizelge 4.** TM çeliklerin mekanik özellikleri

| Bileşenler | Akma Dayanımı (N/mm ²) | Maks. Çekme (N/mm ²) | Maks. Uzama (%) |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 0,55C + Fe + 3Mo | 224 | 711 | 9 |
| 0,55C + Fe + 3Mo + 1Ni | 235 | 721 | 9 |
| 0,55C + Fe + 3Mo + 3Ni | 186 | 777 | 9 |

İlave edilen nikeldeki artış mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür. Bu iyileşme nikel miktarındaki artışla beraber perlitteki artışın yanı sıra sert faz olan beynit ve martenzit fazının oluşmasına bağlanmıştır. Gerekli literatür araştırması yapıldığında bunu destekleyen sonuçlara ulaşılmıştır [27-31]. Örneğin, Kalathur ve Frederick, Nikel içeren demir karbon sisteminde nikel ilavesindeki artış, kısmen perlitin fazındaki karbon oranının azaldığı ve mikroyapıda perlit miktarının arttığı ifade etmişlerdir. Bu nedenle dayanımda artış olduğunu ifade edilmiştir. Bu çalışmada Mo içeren çeliklerde nikel miktarındaki artış, akma ve çekme dayanımını arttırmıştır. Sonuçlar, literatürle uyumludur [27-33]. Örneğin Getting vd. [31] yaptığı çalışmada Molibden toz metal çeliklerinin mekanik özellikleri üzerine Ni ilavesinin etkisini araştırmıştır. Elde ettiği sonuçlar, ilave edilen Ni miktarının artması ile çekme dayanımı ve sertlikte artış görülmüştür.

4. Genel Sonuçlar

Farklı oranda nikel içeren (%0-1-3) molibden çelikleri TM yöntemi ile üretilmiştir. Çekme testi ve optik mikroskop görüntüsü alınarak karakterize edilmiştir. Aşağıda bu çalışmanın genel sonuçları verilmiştir.

- 1- Nikel ilavesi ile devam edildiğinde yapıda perlit miktarının arttığı, beynit ve az miktarda martenzit fazı görülmüştür.
- 2- Nikel miktarının artışı ile yüzde uzama değerleri benzer çıkması yanında çekme ve akma dayanımının ve gözenek miktarının arttığı görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜBAP-22-DS-061, KBUBAP-21-YL-085, KBUBAP-21-YL-118, KBUBAP-22-YL-074 ve FYL-2020-2397

Referanslar

1. Elitaş M. (2021). Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel. *Mater Test.*, 63, 124–130.
2. Elitaş, M. & Çiftçi, İ. (2017). Sertleştirilmiş AISI 52100 Malzemenin Aşındırıcı Diskle Kesilmesinin Araştırılması . *TÜBAV Bilim Dergisi* , 10 (2) , 1-10.
3. Erden M. A., Gündüz S., Karabulut H., & Türkmen, M. (2017). Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method”. *Mechanics*, vol. 23(4), 574-580.
4. Güney, B. (2021). Microstructure analysis of welding fume of low and medium carbon steels. *Rev. Metal.* 57(1), e187. doi.org/10.3989/revmetalm.187
5. Güney B., & Dilay Y. (2022). Determination of abrasion resistance of Fe28Cr5C1Mn coating applied to 30MnB5 boron alloy cultivator blades via electric arc spray. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(17), 9687-9699.
6. Ahssi M.A.M., Erden M.A., Acarer M., & Çuğ H. (2020). The Effect of Nickel on the Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Properties of Niobium–Vanadium Microalloyed Powder Metallurgy Steels. *Materials*, 13, 4021. doi.org/10.3390/ma13184021
7. Tracey, V. A., (1992). 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, USA
8. Erden MA (2017). Effect of pressing pressure on microstructure and mechanical properties of non-alloyed steels produced by powder metallurgy method. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 6(1), 257-264.
9. Kurt B., Özdoğan L., Güney B., Bölükbaşı Ö. S., & Günen A., (2020). Characterization and wear behavior of TiBC coatings formed by thermo-reactive diffusion technique on AISI D6 steel. *Surface and Coatings Technology*, 385:125332
10. Erden MA, & Ayvaci B (2020) The effect on mechanical properties of pressing technique in PM steels. *Acta Phys Pol A* 135:1078–1080. doi.org/10.12693/APhysPolA.135.1078
11. Demir H, Gündüz S., & Erden MA (2018). Influence of the heat treatment on the microstructure and machinability of AISI H13 hot work tool steel. *Int J Adv Manuf Technol* ., 95, 2951–2958. doi.org/10.1007/s00170-017-1426-3
12. Özdemirler D., Gündüz S., & Erden M. A. (2017). Influence of nbc addition on the sintering behaviour of medium carbon PM steels. *Metals (Basel)* 7:121. https://doi.org/10.3390/met7040121
13. Demirtaş H., & Erden M.A. (2019). Cr ve Ni İlavesinin Sade Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1217-1223.
14. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., & Karabulut H. (2014). Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels. *Materials Science and Engineering A*, 616: 201-206.

15. Türkmen M., Karabulut H., Erden M.A., & Gündüz S. (2017). Effect of tin addition on the microstructure and mechanical properties of Pm steels. *e-Jour New World Sci Acad.*, 12, 178–184. doi.org/10.12739/nwsa.2017.12.4.2a0125
16. Erden MA (2016). Investigation of the effect of nickel content on microstructure and mechanical properties of non alloyed steels produced by powder metallurgy. *GU J Sci PartC*, 4, 241–245.
17. Karabulut H., Erden M.A. , Karacif K., & Gündüz S. (2022). Investigation of the effects of SiC reinforcement ratio in iron-based composite materials on corrosion properties. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 122(6), 317-322.
18. Simsir H., Akgul Y., & Erden M.A. (2020). Hydrothermal carbon effect on iron matrix composites produced by powder metallurgy. *Mater Chem Phys* 242:122557. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122557
19. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., & Karabulut H., (2016). The Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels. *Materials Testing*, 58(5), 433-437.
20. Gündüz S, Karabulut H, Erden MA, & Türkmen M (2013). Microstructural effects on fatigue behaviour of a forged medium carbon microalloyed steel. *Mater Test* 55:865–870. doi.org/10.3139/120.110511
21. Erden MA (2017). The effect of the sintering temperature and addition of niobium and vanadium on the microstructure and mechanical properties of microalloyed PM steels. *Metals (Basel):7*. doi.org/10.3390/met7090329
22. Erden MA, Gündüz S, Çalgılı U, & Boz M. (2018). Investigation of hardness and microstructure properties of non alloyed and hardox steel combined with submerged arc welding method. *J Fac Eng Archit Gazi Univ* 33:221–226. doi.org/10.17341/ gazimmfd.406794
23. Erden M. A., Barlak S., Adalı B., & Çelikkıran Ö. (2018). Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Vanadyum İlavesinin Mikroyapı Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(3),629-636.
24. Erden M.A., & Aydın F. (2021). Wear and mechanical properties of carburized AISI 8620 steel produced by powder metallurgy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28 (3), 430-439.
25. Erden M. A., Erer A. M., Odabaşı Ç., & Gündüz S. (2022). The Investigation Of The Effect Of Cu Addition On The Nb-V Microalloyed Steel Produced By Powder Metallurgy. *Science of Sintering*, 54(2), 153-167.
26. Aşkun Y., Hasırcı H., & Şeker U. (2003). 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.
27. Erden MA, & Taşçı MT (2016). The effect of Ni on the microstructure and mechanical properties of Nb-V microalloyed steels produced by powder metallurgy. *J Polytech*, 19, 611–616.
28. Kalathur S. N. & Frederick J.S. “Sintering of powder premixes – a brief overview” Hoeganaes Corporation, 1001 Taylors lane, Cinnaminson, NJ 08077, Paper No. 2007-01-0145 (2007).
29. Upadhyaya, G. S., (2000). *Sintered Metallic and Ceramic Materials-Sintered Low-Alloy Ferrous Materials*. John Wiley & Sons LTD, West Sussex, England.
30. Sarıtaş, S., Türker, M, & Durlu, N., (2007). Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri”, *Türk Toz Metalurjisi Yayınları*, 05, Anlara.
31. Gething, B. A., Heaney, D. F., Koss, D. A., & Mueller T. J., (2005). The Effect of Nickel on the Mechanical Behavior of Molybdenum P/M Steels. *Materials Science and Engineering A*, 390,19–26.
32. Erden M. A., Tashyan M F., & Akgul Y. (2021). Effect of TiC, TiN, and TiCN on Microstructural, Mechanical and Tribological Properties of PM Steels”, *Science of Sintering*, 53(4), 497-508.
33. Tanrıverdi A. N., Akgül Y., & Erden M. A. (2022). A novel approach on production of carbon steels using graphene via powder metallurgy. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 61(1), 85-93.