







Sementasyon İşleminin Sıcak İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi

Sharfuldeen Ali Abourawi Alfaydh¹ , Harun Çuğ¹ , Yasin Akgül² , Alper İncesu² ,
Andinet Kumella Eticha¹ , Salih Birhanu Ahmed¹ 

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.

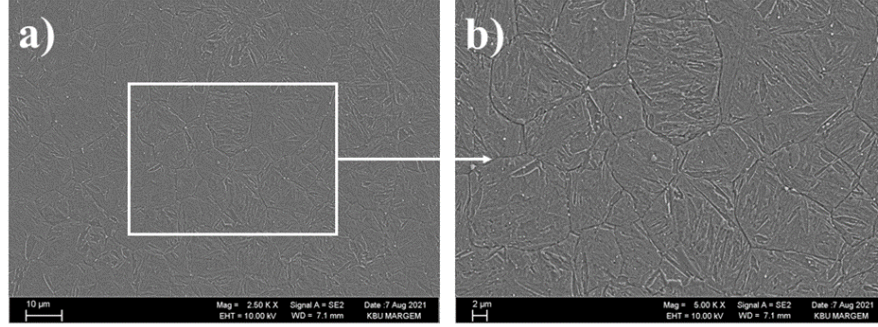
Numuneler mikroyapı incelemesi için kesitten sırasıyla 400, 800, 1200 ve 2500 kumlu zımparalarla zımparalanmıştır. Daha sonra 3µm ve 1µm elmas çözeltileri ile parlatma yapılmıştır. Akabinde, %2 nital solüsyon hazırlanarak dağlama işlemi yapılmıştır. Vickers sertlik testleri QNESS marka Q250M model sertlik 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.

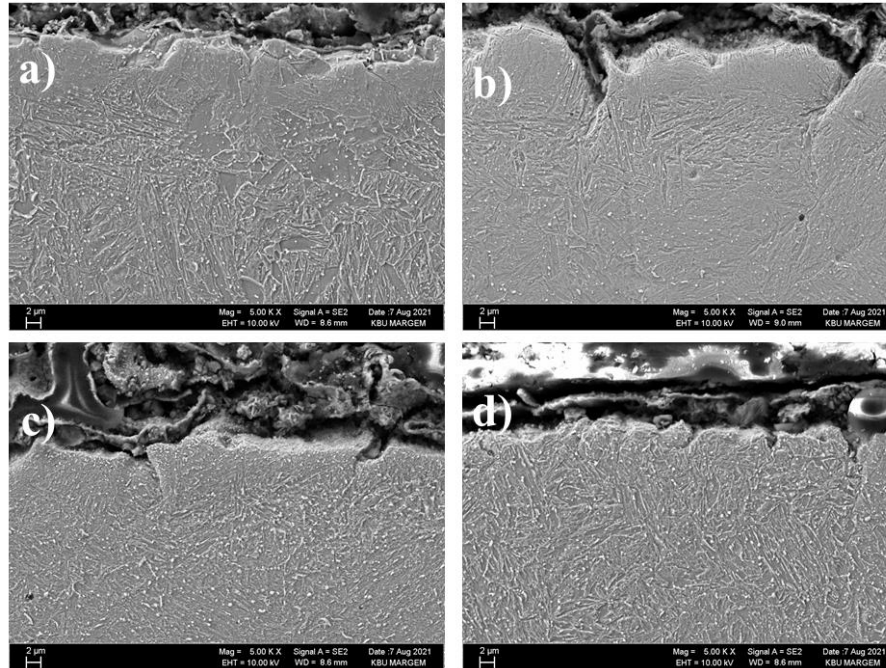
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

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.



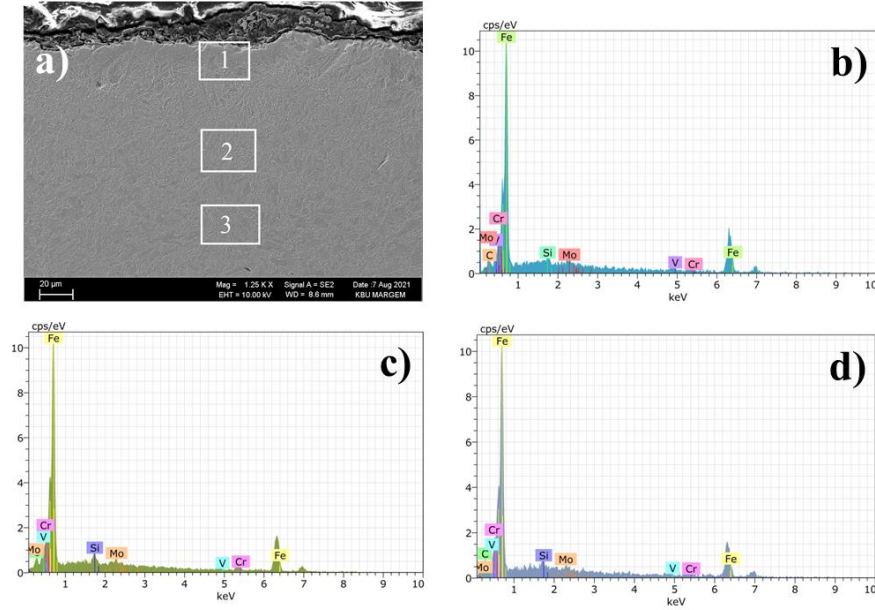
Şekil 1. AISI H13 takım çeliğine ait a) 2500x, b) 5000x mikroyapı görüntüleri

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.



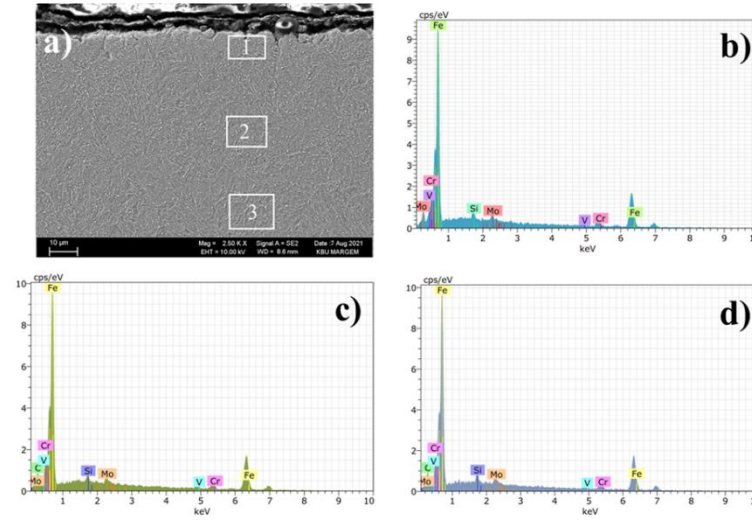
Şekil 3. 800 °C'de 3 saat kutu sementasyon uygulanmış numuneye ait SEM görüntüsü ve EDX analizi

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.