

Islah Çeliklerinden 4140 Çeliğine (42CrMo4) Değişik Oranlarda Bor İlave Edilerek Uygulanan Isıl İşlem Metotlarının Etkisi

Cemal ÇARBOĞA^{1,*}, Bülent KURT¹, Serkan DAL¹,

¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

Öz

Islah çeliklerden AISI 4140 çeliğinin otomobil-inşaat- ziraat makine parçaları, takım tezgahları, uçak parçaları, akslar, krank milleri ve dişliler gibi birçok kullanım alanları bulunmaktadır. Çalışmada, 4140 çeliği 1640 °C'de ergitilerek içerisine 17 ve 32 ppm bor ilave edilmiştir. Döküm sonrası elde edilen borsuz, 17 ve 32 ppm bor içeren 4140 çeliği (42CrMo4) haddelenmiş ve ısıl işlem için 980 °C de 30 dakika bekletildikten sonra numunelere buzlu suda, normal suda, oda sıcaklığında ve fırında soğutma işlemi uygulanmıştır. Buzlu suda, normal suda, oda sıcaklığında ve fırında soğutma işlemi ile elde edilen numunelerin optik mikroskop ile mikroyapıları incelenmiştir. Ayrıca mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler:4140 Çeliği, Borlu Çelik, Isıl İşlem Metotları.

The Effect of Heat Treatment Methods on Different Rates Boron Added AISI 4140 Improve Steel

Abstract

AISI 4140 Improved steel has the many area such as agricultural machine parts, automobile, construction, machine tools, aircraft parts, axles, crankshafts, gears. In this study, AISI 4140 steel was melted at 1640 °C and was added 17 and 32 ppm boron. After the casting process, the boron free and boron added steels were rolled and heated for 30 min at 980 °C then cooled in ice water, normally water, at room temperature, and furnace. Then heat treated the specimens were examined by optical microscopy. Also, Micro hardness measurements are performed and the results are discussed in comparison with the literature.

Keywords: 4140 Steel, Boron Steel, Heat Treatment Methods.

* e-mail: ccarboga@nevsehir.edu.tr

1. Giriş

Doğada yaklaşık 230 çeşit bor bileşiği (Tinkal, Üleksit, Kolemanit gibi) bulunmaktadır. Bu bileşikler 450'den fazla alanda kullanılmaktadır [1]. Yüzlerce farklı kullanım alanına sahip olan bor ve bor türevi ürünlerin endüstriyel anlamda yeni sayılabilecek uygulama alanlarından biride çelik endüstrisidir [2]. Çelik endüstrisinde bor, alaşım elementi olarak katıldığı çeliğe yüksek oranda sertleşme kabiliyeti kazandırdığı belirtilmektedir [3,4].

Bor, genellikle demir, demir dışı ve sermet malzemelerde yüzey sertleştirme işlemi yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Borun alaşım elementi olarak kullanımı dünyada yaygınken, Türkiye'de çok fazla değildir. Borlu çeliklerin özelliklerini yapıdaki borun dağılımı ve diğer alaşım elementleriyle etkileşimi belirlemektedir. Örneğin düşük alaşımlı çeliklerde bor, östenit dönüşümünü yavaşlatarak sertleşme kabiliyetini artırmaktadır [5,6]. Borlu çelikler, hızlı soğutulduğunda tane içindeki borun katı eriyik olarak bulunduğu durumlarda sertleşebilirlik üzerine en büyük etkiyi sergilemektedirler [7]. Isıl işlemler vasıtasıyla borlu çeliklerin akma ve çekme dayanımlarının önemli seviyede iyileştirildiği belirtilmektedir [8]. Ayrıca Borlu çeliklerde ısıl işlemler ile bu çeliklerin sürünme davranışı ve deformasyon özelliklerinin de iyileştirildiği de bilinmektedir [9,10].

Bu çalışmada, endüstriyel uygulamalarda yaygın kullanılan AISI 4140 çeliği (42CrMo4) kullanılmıştır. AISI 4140 çeliği (42CrMo4) genel olarak otomobil-inşaat-ziraat makine parçaları, takım tezgahları, uçak parçaları, akslar, krank milleri ve dişlilerde kullanılmaktadır. AISI 4140 çeliğine bor ilavesinde, borun oksijen ve azota ilgisinin yüksek olması nedeniyle, oksijenden korumak için 400 ppm alüminyum, azottan korumak için ise 400 ppm titanyum ilave edilmiştir. Elde edilen borsuz, 17 ve 32 ppm bor içeren 4140 çeliği 2 pasoda haddelenmiş ve ısıl işlem için 980 °C de 30 dakika bekletildikten sonra numunelere buzlu suda, normal suda, havada ve fırında soğutma işlemi uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanan numuneler optik mikroyapı incelemeleri ve mikrosertlik analizine tabi tutulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, vakumsuz indüksiyon ocağı kullanılarak AISI 4140 çeliği içerisine 1640 °C'de alüminyum, titanyum ve bor ilave edilmiştir. Döküm işlemi 950 °C'ye kadar ısıtılan 40x40 mm kalınlığındaki kare şekilli seramik kalıplara ergiyik dökülerek ve havada soğutularak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 40x40 mm ebadındaki kare malzemeler, Avcılar Demir ve Çelik Çekme Sanayi fabrikasında 980 °C'de 30 dakika bekletildikten sonra 2 pasoda haddelenerek % 95 oranlarında deformasyon uygulanmıştır. İndüksiyon ocağının vakumsuz olması ve atmosfere açık olması nedeniyle boru oksijen ve azottan korumak için 400 ppm Al ve Ti ilave edilmiştir. Tablo 1. de döküm sonrasında elde edilen numunelerin kimyasal analiz sonuçları görülmektedir.

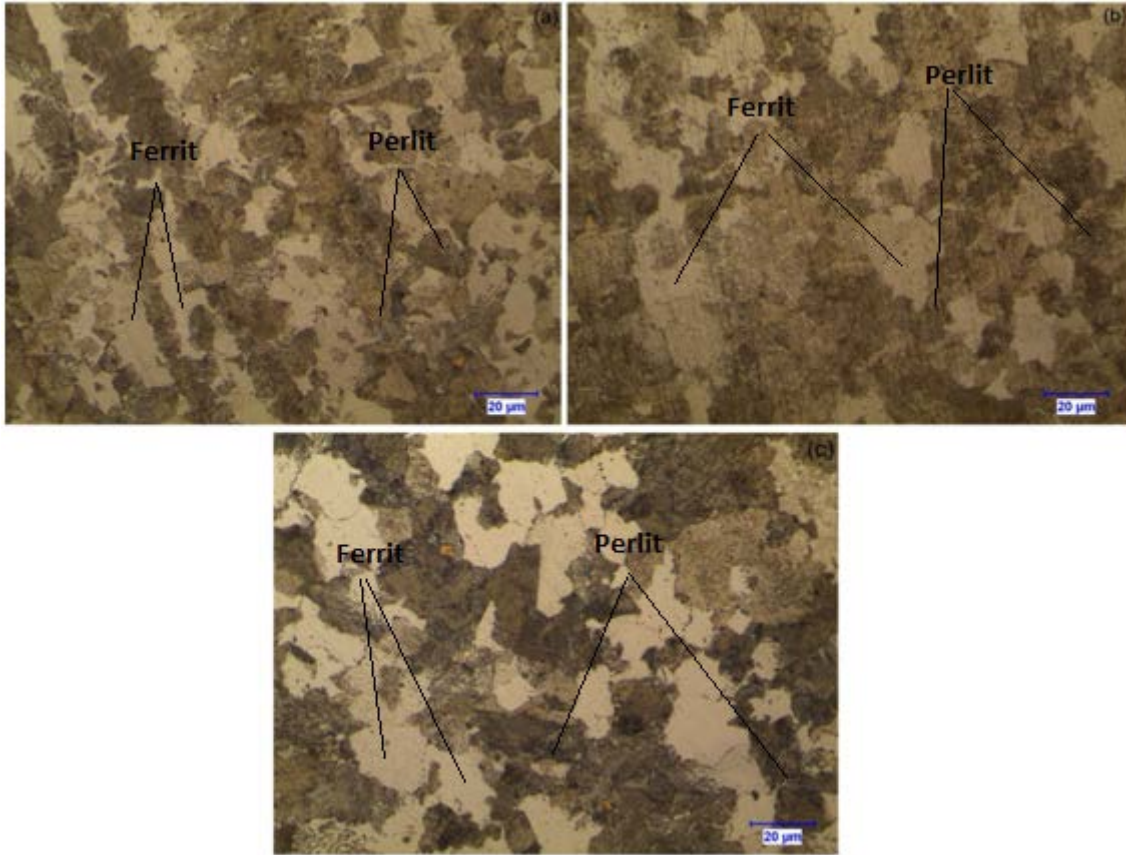
Tablo 1. Değişik oranlarda B ilave edilen AISI 4140 (42CrMo4) çeliğinin % ağırlık olarak kimyasal analizleri.

Num. No	Kimyasal Bileşim (%)								
	C	Mn	Si	P	S	Al	Ti	B (ppm)	N
1	0.44	0.84	0.183	0.013	0.007	0.072	0.028	2	0.013
2	0.44	0.82	0.180	0.014	0.007	0.077	0.021	17	0.012
3	0.45	0.79	0.17	0.014	0.007	0.067	0.017	32	0.011

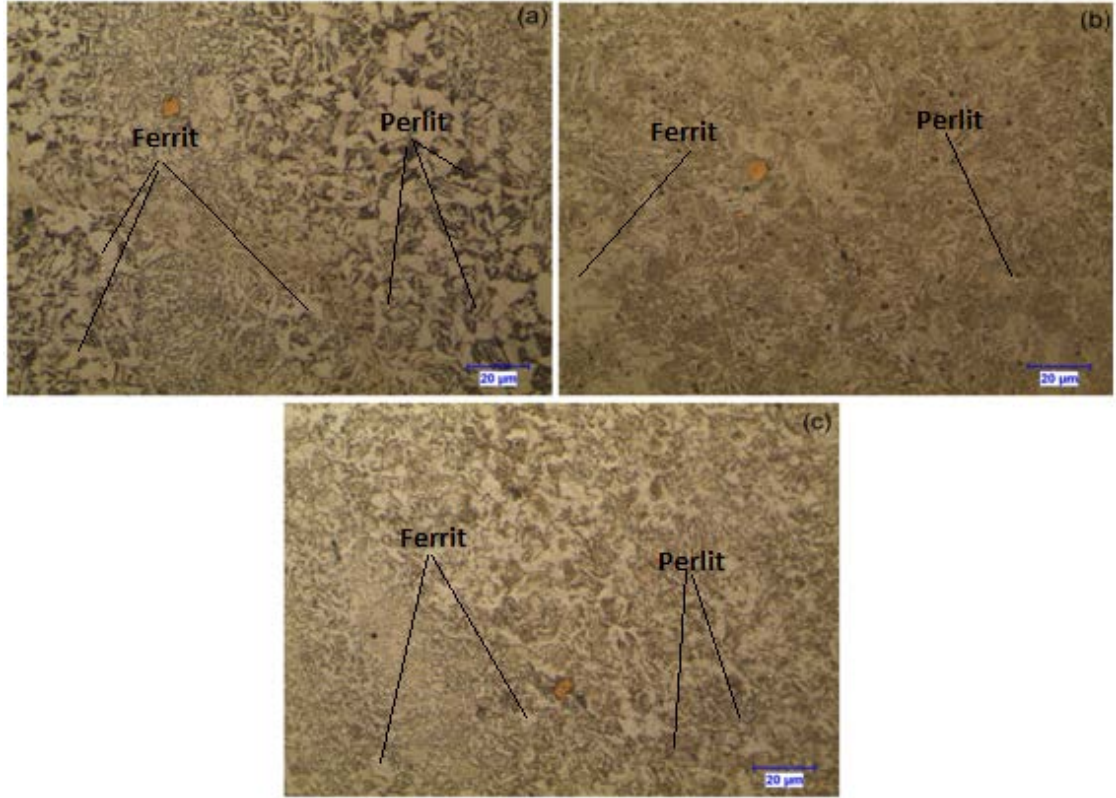
Haddemeleme işlemi sonrasında kesilen numuneler Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü Laboratuvarları'nda bulunan ısıtma fırınında 980 °C de 30 dakika bekletildikten sonra buzlu suda, normal suda, oda sıcaklığında ve fırında sürekli soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Metalografik olarak hazırlanan numunelerin Nikon MA 100 mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi kullanılarak mikroyapıları incelenmiştir. Future-Tech FM 700 mikrosertlik cihazı kullanılarak ise numunelerin mikrosertlik analizi gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

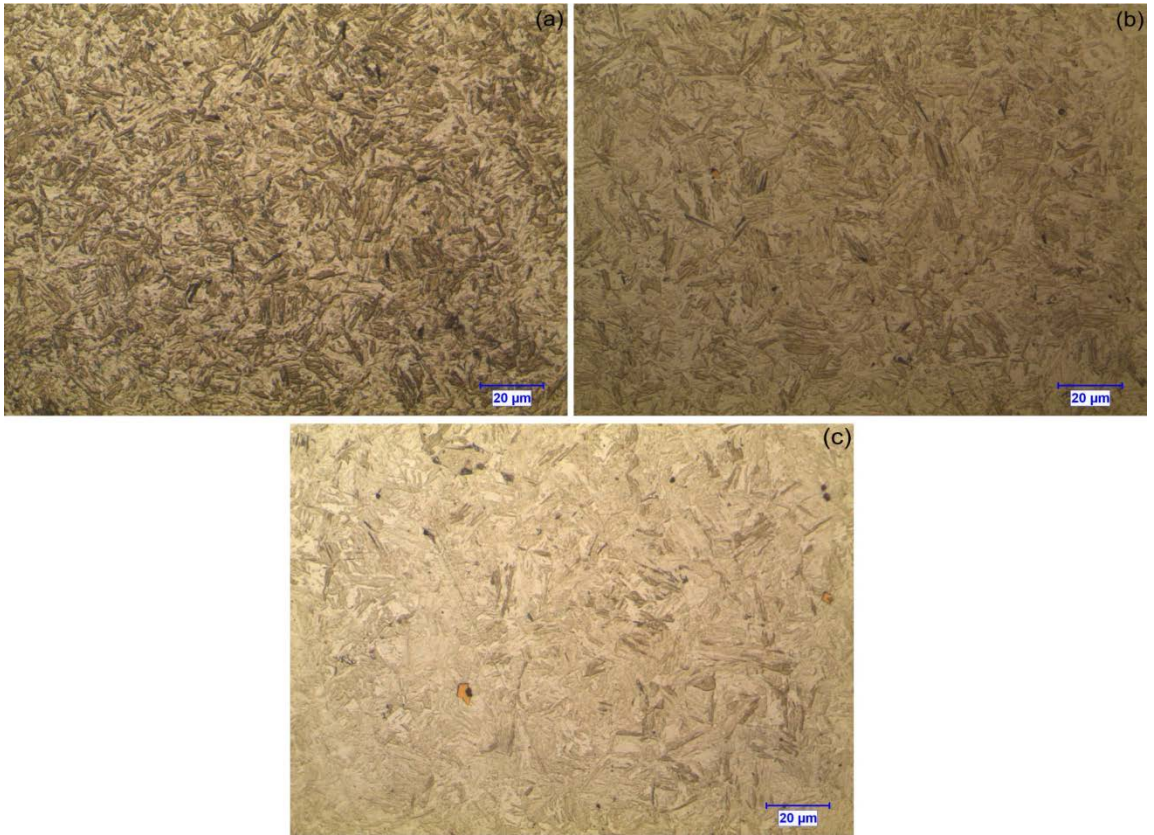
Şekil 1 ve 2'de görüldüğü gibi ısıtma işlemi sonrasında fırında ve oda sıcaklığında yapılan soğutmalarda optik mikroyapı fotoğraflarında ferritik ve perlitik yapı açık bir şekilde görülmektedir.



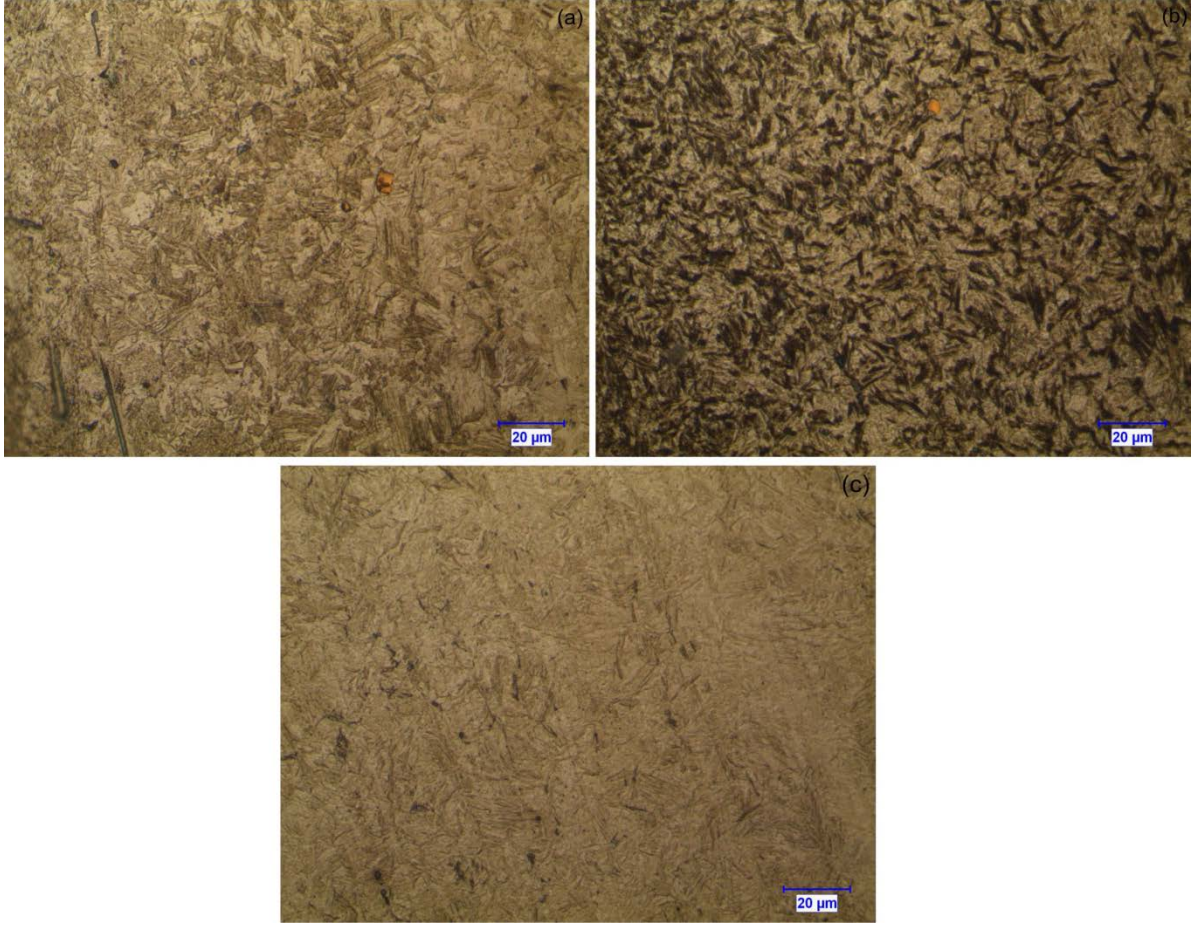
Şekil 1. Farklı oranlarda bor içeren a)Borsuz, b)17 ppm, c) 32 ppm numunelerin fırında soğutma sonrası mikroyapı fotoğrafları.



Şekil 2. Farklı oranlarda bor içeren a)Borsuz, b)17 ppm, c) 32 ppm numunelerin oda sıcaklığında soğutma sonrası mikroyapı fotoğrafları.

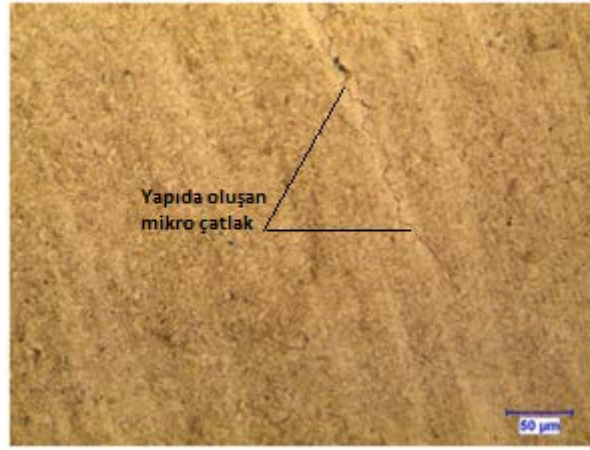


Şekil 3. Farklı oranlarda a)Borsuz, b)17 ppm, c) 32 ppm bor içeren numunelerin suda soğutma sonrası mikroyapı fotoğrafları.



Şekil 4. Farklı oranlarda bor içeren a)Borsuz, b)17 ppm, c) 32 ppm numunelerin buzlu suda soğutma sonrası mikroyapı fotoğrafları.

Buzlu suda ve ortam sıcaklığındaki suda soğutulan numunelerde nispeten yüksek soğuma hızından dolayı karbon atomlarının difüzyonu yavaşlamış ve yapıdaki sementit lamellerinin sürekliliğini kaybederek küçük sementit partikülleri şeklinde bir dağılım sergilemiştir. Ayrıca yapının beynitik yapıya dönüştüğü ve bu durumun artan mikroalaşım bor katkısıyla arttığı görülmektedir (şekil 3. ve şekil 4.). Bor içermeyen numunede ortam sıcaklığındaki suda yapılan soğutmalarda ferrit ve kalın sementit çitaları gözlemlenirken (şekil 3.) bu durum buzlu suda yapılan soğutmada meydana gelmemiştir (şekil 4.). Mikroalaşım bor içerikli numunelerin hızlı soğutma sonrası elde edilen mikroyapılarında beynitik yapı meydana gelmiştir. Aynı zamanda, bor içeriksiz numuneye kıyasla düşük soğuma hızlarında (fırın ve oda sıcaklığı) mikroyapıda daha az ferrit fazının mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Bor içerikli numunelerde oda sıcaklığında yapılan soğutmalarda (Şekil 2) bor içermeyen numuneye kıyasla daha küçük tane boyutu elde edilmiştir. Bu durum mikroalaşım bor katkısının tane boyutuna bağlı olarak mekanik özelliklerde bir iyileşmeye yol açacağı kanaatini güçlendirmektedir. Çelik malzemelerde borun farklı amaçlarla kullanıldığı birkaç çalışmada, alaşım elementi olarak kullanılan borun çeliklerde ısıl işlemler ile sürünme davranışını ve deformasyon özelliklerini iyileştirdiği bildirilmektedir [10,11].

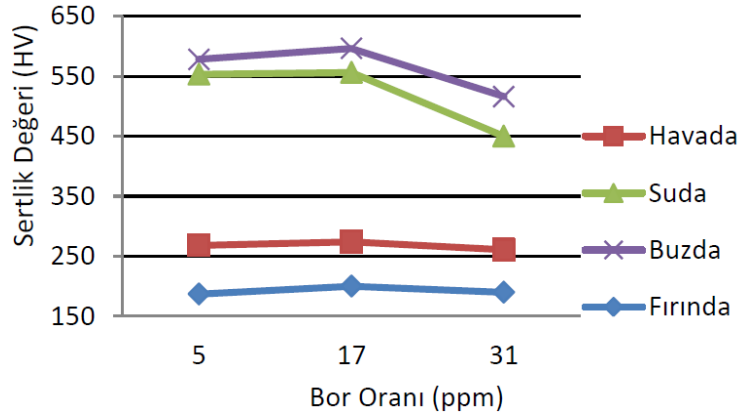


Şekil 5. Borsuz numunenin buzlu suda soğutulma sonrası mikroyapı fotoğrafı.

Borsuz numunenin buzlu suda soğutulma esnasında mikro çatlaklar oluşmuştur (Şekil 5). Fakat bor içeren ve buzlu suda soğutulan 17 ve 32 ppm mikro alaşım bor içeren numunelerde herhangi bir mikro çatlak olmamıştır. Bu durumun mikroalaşım borun özellikle hızlı soğutularda ısıl işlemler açısından bir avantaj sağladığı düşünülmüştür.

Tablo 2. Farklı oranda bor içeren 4140 çeliğinin mikrosertlik değerleri.

Bor Miktarları (ppm)	Mikrosertlik Değerleri (HV)		
	Borsuz	17	32
Fırında	187	200	190
Havada	268	274	261
Suda	553	556	450
Buzlu Suda	578	596	516



Şekil 6. Farklı oranda bor içeren 4140 çeliğinin mikrosertlik değerleri grafiği.

Mikroalaşım bor katkılı numunelerde ısıl işlem sonrasında alınan mikrosertlik analizleri sonucunda artan soğuma hızı ile birlikte tüm numunelerde mikrosertlik değerlerinin arttığı görülmüştür (Tablo 2). Buzlu suda, suda, havada ve fırında yapılan soğutularda 17 ppm bor katkısının mikrosertlik değerini az da olsa artırdığı ve literatürde belirtilen optimum değerler olan 15-25 ppm [11] değerlerin üzerine çıktığında yani 32 ppm bor oranında ise sertliğin düştüğü görülmektedir (Şekil 6).

4. Tartışma ve Sonuç

Farklı oranda bor ilave edilmiş 4140 (42CrMo4) çeliğinin ısıl işlemleri sonrasında;

- Isıl işlem metotlarının hepsinde artan bor oranı (17 ppm) ile birlikte mikrosertlik değerleri de artmış ve 32 ppm’de mikrosertlik değerleri düşmüştür.
- Isıl işlem metotlarından buzlu suda soğutma esnasında borsuz olan numunelerde mikro çatlaklar oluşurken, bor içeren numunelerde çatlak oluşmamıştır.
- Tüm numunelerde fırında ve açık havada soğutmalarda ferritik ve perlitik yapı açık bir şekilde görülmektedir.
- Oda sıcaklığında soğutulan mikroalaşım bor içerikli numunelerde borsuz numuneye kıyasla daha küçük tane boyutu elde edilmiştir.
- Artan mikroalaşım bor miktarı artan soğuma hızı ile birlikte beyrit fazı dönüşümünü hızlandırmıştır.

5. Kaynaklar

- [1] Carboga C., “Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi,” *Gazi Üniversitesi FBE*, 1-210, 2010.
- [2] Er Ü., Gaşan H., “Bazı borlu çeliklerin toprak işleme aletlerinin uç demirlerinde kullanımının laboratuvar koşullarında incelenmesi”, 23. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiriler Kitabı*, 232-230, 2006.
- [3] Ertürkmen M., “Borlu çelikler”, Marmara Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 15-42, 1987.
- [4] Hayashi Y., Sugeno T., “Nature of Boron in Iron”, *Acta Metalurgica*, 18, 693-697, 1970.
- [5] Ünlü B. S., Yılmaz S. S., *Bor ve Borlamanın Kullanım Alanları*. Cilt:47 Sayı:552, 48-54.
- [6] Çarboğa C., “Türk Çelik Sektöründe Alaşım Elementi Olarak Borun Kullanımı,” *International Iron & Steel Symposium*, 02-04 Nisan, Karabük, 2012.
- [7] Çarboğa C., İnem B., İmer C. S., “The Effect of Hardening Heat Treatment on AISI 1022 Steel Containing 15 and 26 ppm Boron”, *Technology*, Vol. 4, No 3, 139-145, 2010
- [8] Naderi M., Ketabchi M., Abbasi M., Bleck W., “Analysis of microstructure and mechanical properties of different boron and non-boron alloyed steels after being hot stamped,” *Procedia Engineering* 10, 460–465, 2011.
- [9] Huai-zhou C., Wei-qing C., “Effect of Boron on Morphology of Inclusions in Tire Cord Steel,” *Journal Of Iron And Steel Research, International.*, 19(4): 22-27, 2012.
- [10] Ma B., Zhao Y., Ma J., Guo H., Yang Q., “Formation of local nanocrystalline structure in a boron steel induced by electropulsing,” *Journal of Alloys and Compounds*, 549 77–81, 2013.
- [11] Melloy G.F., Slimmon P.R., Podgursky P.P., “Optimizing the boron effect”, *Metallurgical Transactions*, 4, 2279-2289, 1973.