

Kontrollü Atmosferde Üretilmiş Fe-Co İkili Alaşımlarının Borlanması ve Karakterizasyonu

Yücel GENÇER*, Mehmet TARAKÇI,

Gebze Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Gebze-Kocaeli

(Geliş/Received : 16.08.2016 ; Kabul/Accepted : 08.02.2017)

ÖZ

Bu çalışma, altlıktaki Co miktarının Fe-Co alaşımının borlama davranışına etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Öncelikle, vakum/argon altında ikili Fe-Co (% atomik 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co) alaşımları hazırlanmıştır. Bu Fe-Co alaşımları saf Fe ile birlikte kutu borlama yöntemiyle 1100°C'de 3 saat süre ile borlanmıştır. Oluşturulan borür tabakanın mikroyapısı, faz bileşimi, kalınlığına bağlı sertliği, borür tabakanın kimyasal bileşimi ve yüzey morfolojisi; X-ray kırınımı, taramalı elektron mikroskobu, sertlik cihazı ve profilometre ile karakterize edilmiştir. Tüm alaşımların yüzeyinde testere dişli bir borür tabakasının oluştuğu ve testere dişli morfolojinin Co miktarı ile değişmediği görülmüştür. Borür tabakanın FeB ve Fe₂B fazlarından oluştuğu, bu fazların varlığı ve miktarı altlıktaki Co miktarına bağlı olmadığı, ancak borür tabakada homojen şekilde dağılmış kobaltın varlığı tespit edilmiştir. Borür tabaka kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü altlıktaki Co miktarı ile değişmemiştir. Tüm Fe-Co alaşımları yüzeyinde oluşan borür tabaka sertlik değerlerinin (1450 HV - 2200 HV), saf Fe üzerindeki borür tabakanın sertlik değerinde olduğu ve borür tabaka kalınlığı boyunca sabit kaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kutu borlama, demir borür, fe-co alaşımı, sertlik, takım çelikleri.

Boronizing and Characterization of Fe-Co Binary Alloys Produced in Controlled Atmosphere

ABSTRACT

This study was carried out to reveal the effect of amount of Co in the substrate on boronizing behavior of Fe-Co alloy. Firstly, binary Fe-Co alloys (at. % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co) were prepared under argon/vacuum atmosphere. The Fe-Co alloys along with pure Fe were borided with pack boronizing method at 1100°C for 3 hours. Microstructure, phase composition, hardness with thickness, chemical composition and surface morphology of boride layer were characterized by using X-Ray diffraction, SEM-EDS, hardness measurement device and profilometer. The formation of tooth shaped boride layer on all substrates were observed. The typical saw tooth morphology and the boride layer thickness formed on pure Fe were not changed with Co addition into the substrates. It was revealed that the boride layer contained FeB and Fe₂B phases, and the phase content was not changed with Co concentration in the substrates. The existence and homogenous distribution of Co in the boride layer were revealed. The hardness (1450 HV - 2200 HV) of the boride layer was found to be in the same range of hardness of boride layer formed on pure iron and was independent from the boride layer thickness.

Keywords: Pack boriding, iron boride, fe-co, hardness, tool steels.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hammadde kaynaklarının azalmasıyla, uygulama alanına bağlı olarak malzeme özelliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, malzemenin tüm bünyesini geliştirmek yerine, o malzemenin kullanılacağı şartlara göre, sadece yüzey özelliklerini geliştirmek, özellikle son yıllarda önem kazanmış ve endüstriyel uygulamalarda da geniş kullanım yeri bulmuştur. Bu amaçla, fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), elektrokimyasal, sprey ve difüzyon esaslı borür tabaka teknikleri kullanılarak, aşınma, korozyon ve oksidasyona karşı daha dirençli karbür, nitrür ve borür esaslı kaplamalar ile malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi yoluna gidilmektedir [1-5]. Bu yöntemlerden birisi olan

borlama, demir esaslı ve demir dışı metallere ve alaşımlara uygulanabilen termokimyasal bir yüzey modifikasyon tekniğidir [6-11]. Borlama işleminin diğer geleneksel yüzey modifikasyon tekniklerine göre en büyük avantajı, işlem sırasında malzeme yüzeyinde çok sert borür bileşiklerinin (1450-5000 HV) oluşmasıdır [8-12]. Bu borür bileşiklerin, yüksek sıcaklıklarda kimyasal yapılarını korumaları, malzemenin oksidasyon direncini arttırmakta ve sıvı metallere karşı malzemeyi çok daha dirençli hale getirmektedir [7, 8, 11, 13]. Borlama işlemi esnasında, metalik kristal kafes içerisine bor atomlarının difüzyonu ile malzeme yüzeyinde farklı bor bileşikleri oluşabilmektedir [10]. Borlama sırasında oluşan borür tabaka özelliklerini (morfoloji, fazlar, sertlik ve kalınlık) etkileyen birçok faktör bulunmasına karşın, altlık malzemenin cinsi ve kimyasal bileşimi son derece önemlidir [10]. Alaşım elementlerinin, çeliğin borlama davranışına etkisi, kısıtlı sayıdaki çalışmaya konu olmuştur [11, 14,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

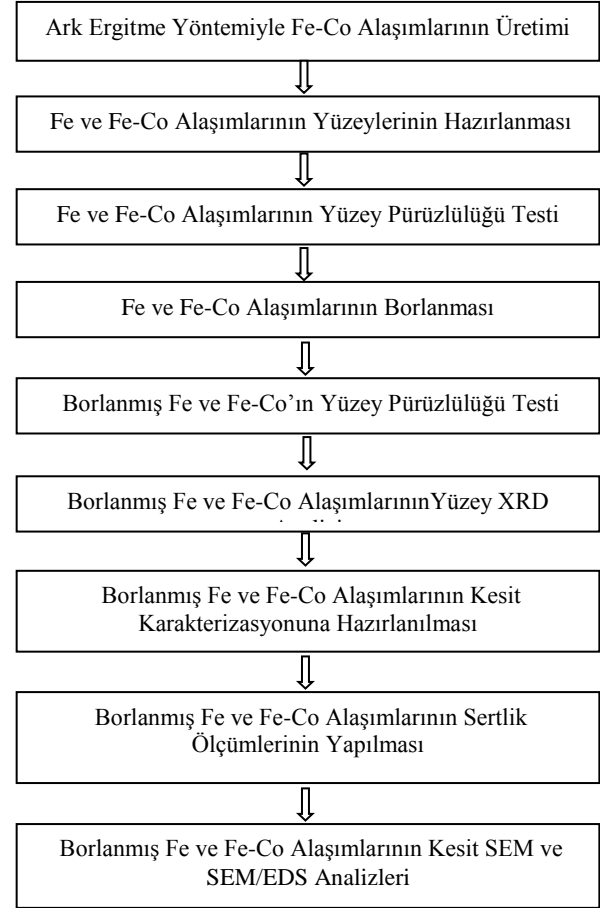
e-posta: gencer@gtu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) :

15]. Ancak, çeliklerin bileşimlerinde birden fazla alaşım elementi olmasından dolayı her bir alaşım elementinin borür tabaka özelliklerine müstakil etkisine dair bulgular oldukça sınırlıdır. Alaşım elementlerinin müstakil etkisini belirlemek amacıyla, Fe-M (M=C, Cr, Ti, Cu, V, Mn, Ni, Si, W, Mo) ikili alaşımları borlanarak, oluşan borür tabaka özelliklerine alaşım elementlerinin etkisi üzerine son zamanlarda sistematik çalışmalar yapılmıştır [16-22]. Brakman ve arkadaşları ile Badini ve arkadaşları saf demire çeşitli oranlarda Cr ve Ni katarak saf demirin borlama davranışına etkisi incelemiştir. Cr borür tabaka boyunca hemen hemen homojen bir dağılım gösterdiği ve Cr içeren Fe-Cr alaşımında belirgin bir geçiş bölgesi oluştuğu, Cr içeren borür tabakanın sertliği, Cr miktarı ile doğru orantılı olarak arttığı rapor edilmiştir. Altlıktaki Ni miktarının artması ile, borür tabaka/matris ara yüzeyinde testere dişli yapının düzlemsel yapıya dönüştüğü, borür tabaka kalınlığının ve sertliğinin azaldığı rapor edilmiştir [22]. Dolayısıyla, söz konusu çalışmalar, Cr ve Ni içeren takım çeliklerinin borlama şartlarının belirlenmesinde katkı sağlamıştır. Takım çeliklerinin alaşım elementlerinden olan titanyumun ve vanadyumun etkisini belirlemek üzere yapılan çalışmalarda, Fe-Ti ve Fe-V ikili alaşımları hazırlanarak borlanmıştır. Fe-Ti alaşımının borlaması sırasında, hem borür tabakada hem de geçiş bölgesinde çökelti halinde TiB_2 fazının oluştuğu ve yüzey sertliğinin arttığı tespit edilmiştir [20]. Fe-V alaşımında artan V miktarına bağlı olarak borür tabaka kalınlığının azaldığı ve saf Fe yüzeyinde tipik olarak oluşan testere diş şeklindeki borür tabakası morfolojisinin kaybolduğu, V_5B_6 fazının oluşması ile de sertliğin arttığı rapor edilmiştir [17]. Literatürde, içerisinde Co bulunan takım çeliklerinin yüzeylerinin borlama metodu ile iyileştirmesine yönelik kısıtlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Ancak yapılan bu çalışmalarda alaşım elementi olarak kobaltın yalın halde etkisi tam olarak rapor edilememiştir. Çünkü kobaltın yanında diğer alaşım elementlerinin etkisi de söz konusudur. Dolayısıyla, bu çalışmada atomik olarak % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co içeren sentetik Fe-Co ikili alaşımları hazırlanmış ve karşılaştırma amaçlı saf Fe ile birlikte $1100^\circ C$ 'de, 3 saat süreyle kutu borlama yöntemiyle borlanmış ve oluşan borür tabaka karakterize edilerek kobaltın etkisi belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Yapılan deneysel çalışmaların akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Öncelikle, Alfa Easer'den temin edilen saf Fe (% 99,97) ve Co (% 99,5) metal parçaları kullanılıp, atomik olarak % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co içeren sentetik Fe-Co ikili alaşımları (Fe-1Co, Fe-2Co, Fe-4Co, Fe-8Co, Fe-12Co, Fe-16Co) vakum / argon altında ark ertitme fırınında hazırlanmıştır. ertitme işlemi sonunda boyutları 50 mm x 10 mm x 10 mm olan çubuk şeklindeki alaşımlar elde edilmiştir.



Şekil 1. Yapılan deneysel çalışmaların akış şeması (Flow chart of the experimental study)

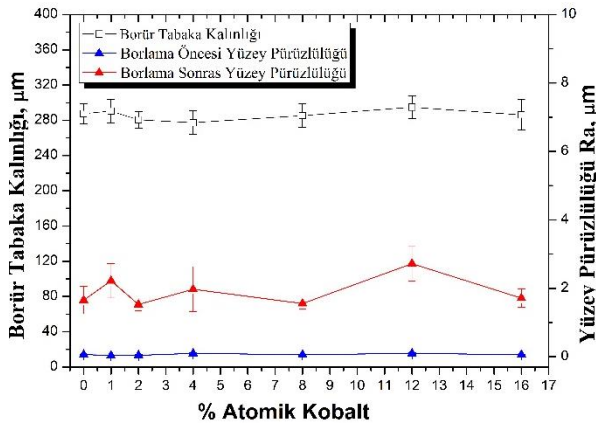
Bu alaşımlar, boyutları 10 mm x 10 mm x 5 mm olacak şekilde dilimlenip, numunelerin iki yüzeyi de 80-1200 nolu silisyum karbür (SiC) zımparalarla aşındırıldıktan sonra 3-1 μm tanecik boyutuna sahip elmas pasta ile parlatılmıştır. Karşılaştırmak amacıyla borlama işlemine tabi tutulacak olan saf Fe numunelerin yüzeyleri de aynı şekilde borlama işlemi için hazırlanmıştır. Fe-Co ikili alaşımları ve saf Fe ticari Ekabor 2 (% 90 SiC, % 5 B_4C , % 5 KBF_4) borlama tozuna gömülmüş ve borlama işlemi sırasında numunelerin oksitlenmesini önleme amacıyla potanın üst kısmına oksit giderici toz konularak potanın kapağı sıkıca kapatılmıştır. Bu pota elektrik dirençle ısıtılan dijital kontrollü kutu fırına yerleştirilerek, fırın sıcaklığı 30 dk içerisinde $1100 \pm 5^\circ C$ 'ye çıkarılarak bu sıcaklıkta 3 saat süreyle borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi sonunda fırının kapağı açılarak numunelerin oda sıcaklığına soğuması sağlanmıştır. Potadan çıkarılan numunelerin üzerindeki borlama tozu kalıntıları mekanik olarak temizlenmiştir. Borlama işlemi öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğünün saf Fe içerisindeki Co miktarına göre nasıl değiştiğini tespit etmek için Veeco Dektak 8 profilometre cihazı ile 0,025 mm/s hızla 2 mm x 2 mm alandan 20 profil taranarak yüzey pürüzlülüğü (R_a) ölçülmüştür. Borlanmış Fe-Co ikili alaşım ve saf Fe

numunelerinin yüzeylerinden Bruker D8 X-ışınları kırınımı (XRD) cihazı ve Cu-K α ışını ile tarama açısı 20° ile 100° arasında seçilerek faz analizleri yapılmıştır. XRD analizi sonrasında borlanan numunelerin kesitten mikroyapı, sertlik ve tamamı elektron mikroskopuyla kimyasal analizini (SEM-EDS) gerçekleştirmek amacıyla hazırlanan yüzeylere dik olacak şekilde kesilerek epoksi kalıp içerisine alınmıştır. Borür tabakaların kesit görüntüsünü ortaya çıkarmak için numuneler 80-1200 SiC zımpara kâğıtlarıyla aşındırılmış ve 3-1 μ m parçacık boyutunda elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Borür tabakaların sertlik değerleri Mitutoyo sertlik cihazı ile 25 g yükün 10 s uygulanmasıyla ölçülmüştür. Yüzeyden altığa doğru mesafeye bağlı sertlik değerleri en az 10 Vickers izi oluşturularak tespit edilmiştir. Numunelerin kesitten, SEM-EDS ile mikroyapı incelemesi, kimyasal analizleri ve borür tabaka kalınlığı ölçümü Philips XL-30 SEM kullanılarak yapılmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

3.1. Borür Tabaka Kalınlığı ve Yüzey Pürüzlülüğü (Boride Layer Thickness and Surface Roughness)

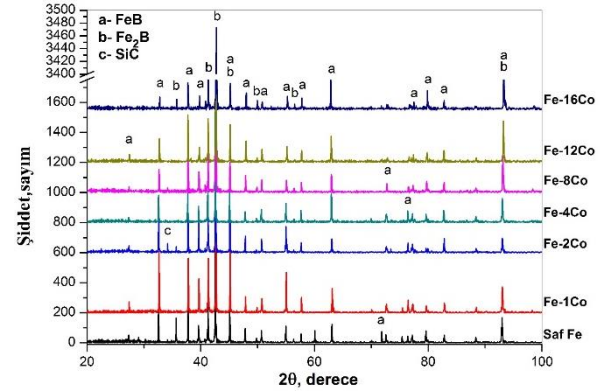
Şekil 2’de borlanmış Fe-Co ikili alaşımları ve saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabaka kalınlığının artan Co miktarına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde artan Co miktarı ile borür tabaka kalınlığında dikkate değer bir değişim görülmemektedir. Verilerdeki saçılmalar göz önüne alındığında, borür tabaka kalınlığındaki değişimlerin ölçüm hata sınırları dâhilinde kaldığı anlaşılmaktadır. Aynı şekilde yüzey pürüzlülüğünün (R_a) artan Co miktarına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Borlama öncesi parlatılan numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri yaklaşık 0,3 μ m civarında olduğu göz önüne alındığında, borlama sonrası numune yüzey pürüzlülüğü değerlerinde tüm alaşım bileşimleri için bir artış söz konusudur. Saf Fe içerisine katılandırılan Co miktarındaki artışa bağlı olarak bir değişim olmasına rağmen, sistematik bir değişim söz konusu olmayıp, borlama sonrası elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerleri 1,5-2,5 μ m arasında değişmektedir.



Şekil 2. Fe içerisindeki Co miktarına bağlı olarak borür tabaka kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin (R_a) değişimi (The change in boriding layer thickness and surface roughness (R_a) values with Fe-Co alloys)

3.2. Faz Analizi (Phase Analysis)

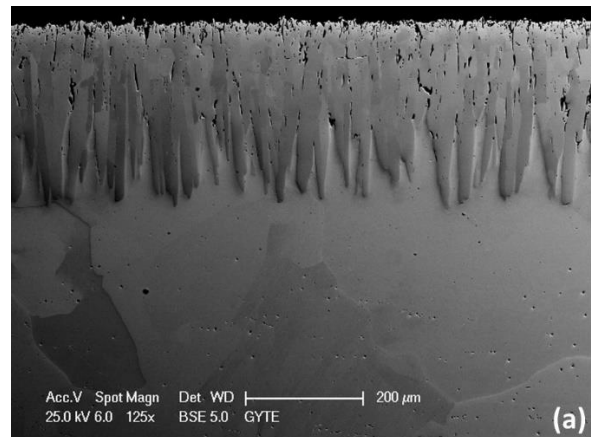
Fe-Co ikili alaşımları ve saf demirin borlama sonrası yüzeylerinden alınan XRD spektrumları Şekil 3’de verilmiştir. XRD spektrumları incelendiğinde borlanmış tüm Fe-Co alaşımları yüzeyinde FeB ve Fe₂B fazlarının oluştuğu görülmekte olup bu fazların farklı yönelime sahip borür kristallerinden oluştuğu anlaşılmaktadır. Bazı alaşımların yüzeyinde SiC fazına ait pikler de var olup, bu fazın Ekabor 2 bileşiminde bulunan SiC tozlarının numune yüzeyinden tamamen uzaklaştırılmamasından kaynaklanmaktadır.

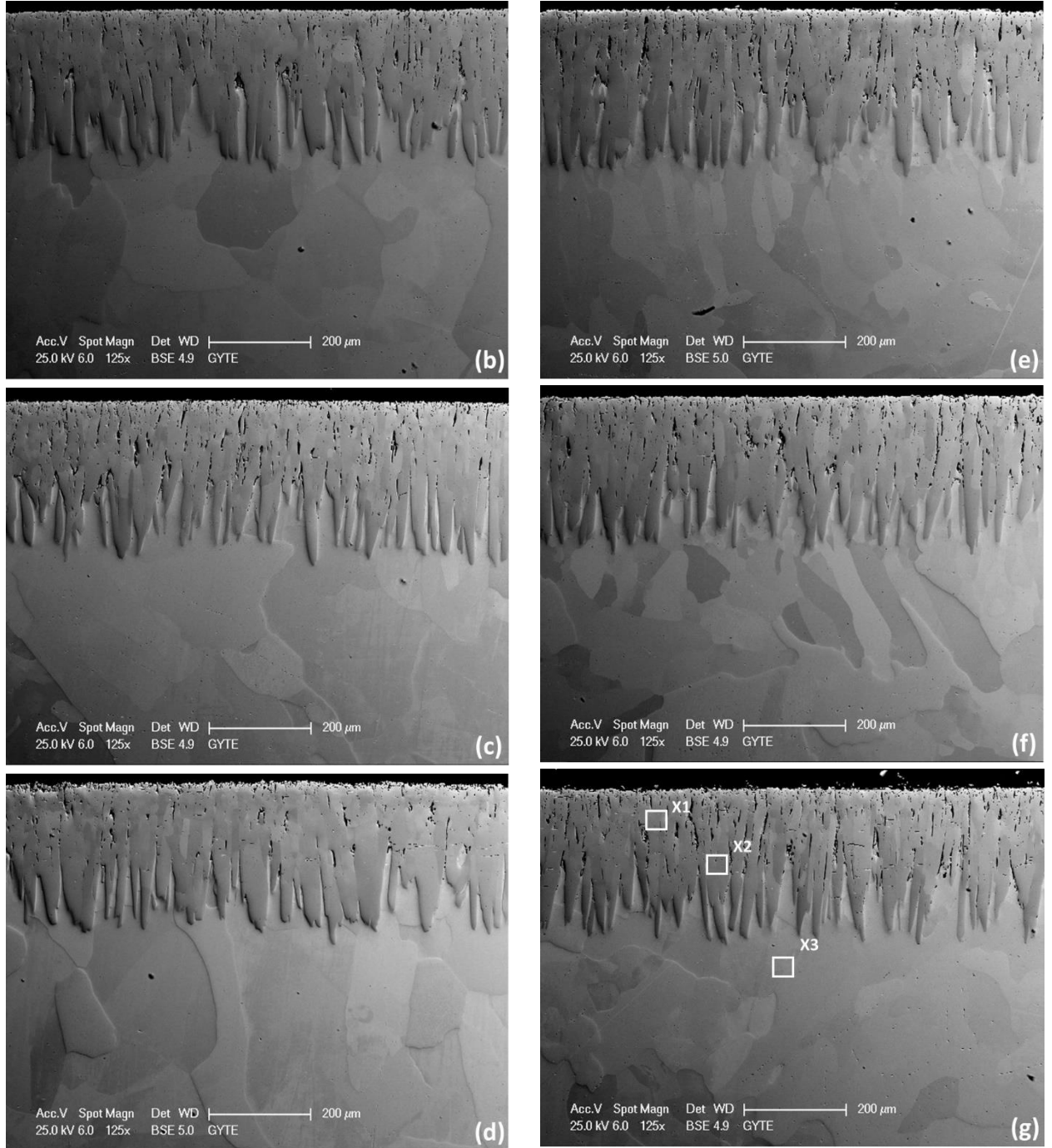


Şekil 3. Fe-Co ikili alaşımları ve saf demirin yüzeyindeki borür tabakanın XRD spektrumları (The surface XRD spectrums of the boride layer on Fe-Co alloys and iron)

3.3. Kesit SEM İncelemesi (Cross-sectional SEM Analysis)

Borlanmış Fe-Co ikili alaşımlarının ve saf demirin kesitten alınan SEM görüntüleri Şekil 4’de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde borür tabakaları genel olarak 2 ayrı bölgeye ayrılabilir; I) Borür tabakası, II) Altlık malzeme. Saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabakasına baktığında borür tabakasının tek renk olduğu ve testere dişli morfolojiye sahip olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4a). Ayrıca tabaka içerisinde özellikle yüzeye yakın bölgelerde gözenek miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Borür tabakanın iç bölgesinde yer yer gözenekler ve küçük çatlaklar olduğu görülmektedir. Co miktarının artması ile testere dişli morfolojinin değişmediği ve farklı miktarda Co içeren Fe-Co alaşımları için benzer olduğu Şekil 4b-g incelendiğinde açıkça görülmektedir.

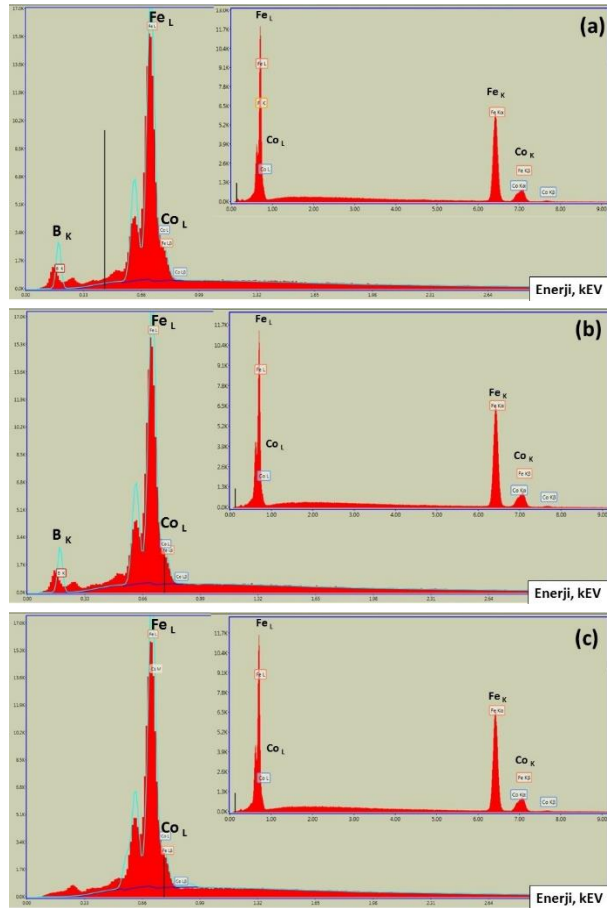




Şekil 4. Borlanmış Fe-Co ikili alaşımlarının ve saf demirin kesitten alınan SEM görüntüleri; (a) Saf Fe, (b) Fe-1Co, (c) Fe-2Co, (d) Fe-4Co, (e) Fe-8Co, (f) Fe-12Co ve (g) Fe-16Co (Cross-sectional SEM micrograph of boride layers on Fe-Co alloys and pure iron; (a) pure Fe, (b) Fe-1Co, (c) Fe-2Co, (d) Fe-4Co, (e) Fe-8Co, (f) Fe-12Co and (g) Fe-16Co)

3.4. SEM-EDS Analizleri (SEM-EDS Analysis)

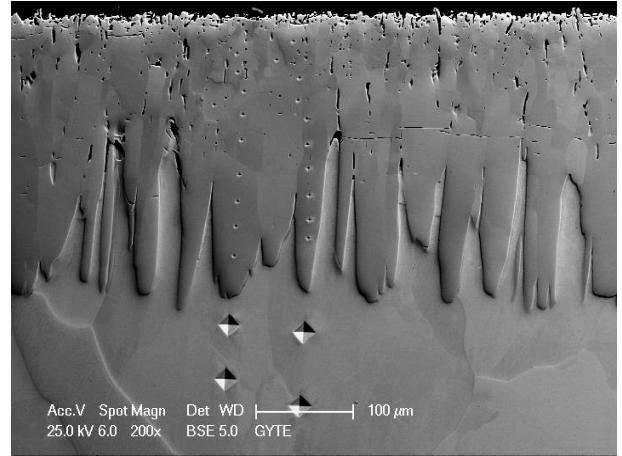
Şekil 4'te Fe-16Co alaşımına ait kesit SEM görüntüsü üzerinde işaretlenen 3 farklı bölgeden elde edilen SEM-EDS spektrumları Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5a'da Şekil 4'ün X1 bölgesinden 15 kV hızlandırma voltajında elde edilen SEM-EDS spektrumu verilmiştir. Ayrıca X1 bölgesinden 5 kV hızlandırma voltajında alınan SEM-EDS spektrumu 15 kV ile alınan spektrum ile birlikte Şekil 5a'da verilmiştir. Benzer şekilde, Şekil 4'teki X2 ve X3 nolu bölgelerden 15 kV hızlandırma voltajı ile elde edilen SEM-EDS sonuçları sırasıyla Şekil 5(b) ve 5(c)'de verilmiştir. Şekil 5(b) ve (c) içerisine 5 kV hızlandırma voltajı ile elde edilen SEM-EDS sonuçları da yerleştirilmiştir. X1 ve X2 bölgelerine ait SEM-EDS sonuçları (Şekil 5(a) ve (b)) incelendiğinde bu bölgelerde yüksek oranda Fe, B ve Co elementlerinin varlığı söz konusu olup, her iki bölgedeki kimyasal bileşim benzerdir. Altlıktan alınan (X3) SEM-EDS spektrumunda B elementi tespit edilmemiş olup, ancak Co ile birlikte yüksek oranda demirin varlığı söz konusudur.



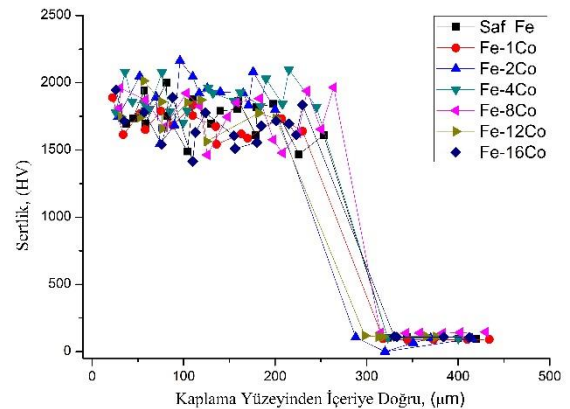
Şekil 5. Fe-16Co ikili alaşımına ait mikroyapı görüntüsünde belirli bölgelerden elde edilen SEM-EDS spektrumları: Şekil 4'te (a) X1 Bölgesi, (b) X2 Bölgesi ve (c) X3 bölgesi (SEM-EDS spectrum for Fe-16Co binary alloys: (a) Area X1, (b) Area X2 and (c) Area X3 in Fig. 4)

3.5. Sertlik (Hardness)

Şekil 6'da Fe-4Co ikili alaşımının yüzeyinde oluşturulan borür tabakanın kalınlığı boyunca ve altlık bölgede elde edilen Vickers sertlik izlerinin tipik SEM görüntüsü verilmiştir. Altlıktan alınan sertlik izlerinin borür tabakadan alınan sertlik izlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu da borür tabaka sertlik değerlerinin altlığın sertlik değerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sertlik izlerinden elde edilen sertlik değerlerine benzer şekilde tüm alaşımlar için borür tabaka yüzeyinden altlığa doğru mesafeye bağlı olarak değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Borür tabaka sertliği 1450 HV ile 2200 HV arasında değişirken, altlık malzeme sertlik değeri 100 HV ile 150 HV arasında değişim göstermektedir. Borür tabaka sertlik değerlerinde bir saçılma söz konusu olup, Co miktarına bağlı bir değişimin olmadığı anlaşılmaktadır. Tüm alaşımlar için borür tabakadan altlığa doğru sertlik değerlerinde ani bir düşüş söz konusu olup, sertlik açısından bir geçiş bölgesi yoktur.



Şekil 6. Borlanmış Fe-4Co ikili alaşımına ait borür tabakadaki sertlik izlerinin SEM görüntüsü (SEM images of hardness indents on the boride layer of Fe-4Co alloy)

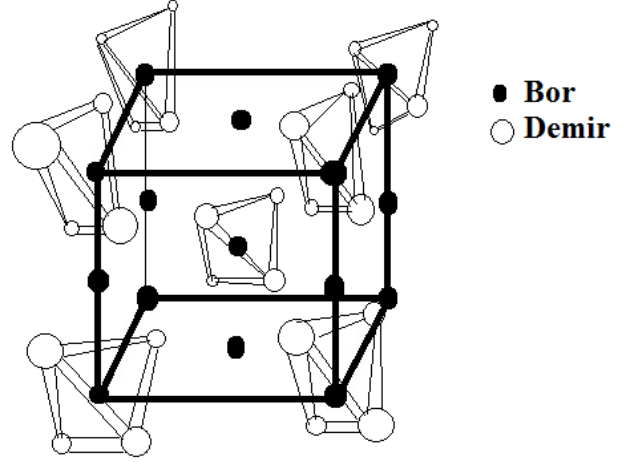


Şekil 7. Fe-Co alaşımları ve saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabaka sertliğinin yüzeyden altlığa doğru değişimi (Microhardness profile from the boride layer surface towards the substrates for the borided pure iron and Fe-Co alloys)

4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Bu çalışmada atomik olarak % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co, demir içerisine katkılanılarak hazırlanan Fe-Co alaşımlarının borlanması sonucu elde edilen borür tabakalarda FeB fazı XRD ile tespit edilmesine rağmen, SEM ile tespit edilememiştir. Literatürde de yaygın olarak belirtildiği gibi her zaman FeB fazını XRD faz analizi ile tespit edilse bile mikroyapı analizi ile görüntülemek her zaman mümkün olmamaktadır [23]. Bunun birkaç nedeni; FeB fazının çok az ve bölgesel oluşması, oluşan FeB fazının kesitten görüntülenemeyecek kadar ince olması ve metalografik olarak numune hazırlanması esnasında FeB fazının dökülmesi olarak değerlendirilmektedir. Kesitten yapılan SEM incelemesinde, ayrıca Co-B içeren bir faz oluşmadığı, ancak borür tabakaların kesitten yapılan SEM-EDS analizi sonunda, borür tabaka yapısındaki Co elementinin altlıklarda olduğu gibi homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Bu tespit, bize Co elementinin demir borür esaslı tabaka içerisinde Co atomlarının demir borür kafes içerisinde Fe atomlarının yerinde yer alan atomlar olarak bulunduğunu göstermektedir. Yani müstakil olarak Co_xB_y gibi bir faz veya fazların oluşmadığı ancak FeB ve/veya Fe_2B fazlarıyla birlikte, (Fe, Co)B, $(Fe,Co)_2B$ şeklinde bulunduğu literatürdeki Fe-Co-B faz diyagramı dikkate alınarak söylenebilir [24]. Co elementinin Fe_2B kristal kafes içerisinde dağılımını daha net anlaşılması için Şekil 8' de Fe_2B fazına ait birim hücre gösterilmektedir. Koyu renk ile gösterilen daireler B atomlarını ($r_B : 0,083$ nm) simgelerken, içi boş çemberler ise demir atomlarını simgelemektedirler. Alaşım elementinde bulunan Co, borlama esnasında yukarıda bahsettiğimiz sebeplerden dolayı Fe atomları ($r_{Fe} : 0,124$ nm) ile yer değiştirmektedir. Birim hücre içinde tüm Fe atomlarının yerine Co atomlarının ($r_{Co} : 0,125$ nm) geçmemiş olması, yani Fe atomuna ait pozisyonların tamamının Co atomlarınca doldurulmamış olması nedeniyle, borür tabakada tamamen Co_xB_y gibi bir faz oluşmamıştır. Bu birim hücredeki Fe atomlarına ait pozisyonların düşük bir oranda Co atomları tarafından doldurulması, kristal kafesinde dikkate değer bir değişim meydana getirmemesi dolayısıyla, atomik olarak en %16 Co içeren Fe-Co alaşımlarının yüzeyinde bile sadece Fe esaslı borür fazlar oluşmuştur. Bu yüzden, yapılan XRD faz analizlerinde Co esaslı bir borür fazı tespit edilememiştir. Literatürde, V, Ti ve Mo gibi elementleri içeren Fe-M alaşımlarının borlanması sonucu bu elementlerin B elementine karşı yüksek kimyasal aktivitesinden dolayı V, Ti ve Mo içeren borürlü bileşikler, hem borür tabakasında hem de geçiş bölgesi olarak adlandırılan bölgede çökeltiler şeklinde olduğu rapor edilmiştir [17, 20, 25]. Ancak, Fe ve Co elementlerinin bor elementine karşı benzer kimyasal davranış göstermeleri ve atom çaplarının yakınlığı dolayısıyla, Co elementi borlama sırasında, B atomu ile farklı bir ara faz oluşturmadığı anlaşılmıştır. Ancak, demir içerisindeki Co miktarı çok yüksek olduğu durumda Co_xB_y gibi ayrı bir faz meydana gelmektedir. Zira atomik olarak % 50 Co içeren ikili Fe-

Co alaışımının borlanması sonucu, yüzeydeki borür tabakada Co_2B fazının olduğu raporlanmıştır [26].



Şekil 8. Hacim merkezli tetragonal Fe_2B birim hücrenin şematik gösterimi (Schematic of body centered tetragonal unit cell of Fe_2B) [22]

Literatürde yapılan çalışmalarda Si, Ni, Cr, Ti, Mo ve V gibi elementlerin borür tabaka morfolojisini değiştirdiği ve borür tabaka kalınlığını azalttığı tespit edilmiştir [16, 17, 20-22, 25]. Ancak borür tabaka morfolojisine ve borür tabaka kalınlığına etki etmeyen Mn gibi elementler de mevcuttur. Demir içerisinde farklı oranlarda katılan Mn elementinin testere dişli borür tabakanın morfolojisini etkilemediği ve borür tabaka kalınlığında bir değişime sebep olmadığı raporlanmıştır [18, 19]. Fe-Co üzerine yapılan bu çalışmada da Mn elementinin gösterdiği etkilere benzer özellikler gösterdiği borür tabaka morfolojisi ve borür dişli yapısının bozulmadığı ve borür tabaka kalınlığında göreceli olarak değişim olmadığı tespit edilmiştir. Saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabaka testere dişli morfolojinin, altlığa atomik olarak % 16'ya kadar ilave edilen Co ile değişmemesi iki şekilde açıklanabilir; Birincisi, borür kristallerin büyümesini ve bor difüzyonunu engelleyecek herhangi bir fiziksel engel oluşturacak kararlı bir (Fe, Co)-B bileşik oluşmadığından, Fe-B saf Fe yüzeyinde olduğu gibi büyümüştür. İkincisi, altlıktaki Co miktarı, Fe-B fazları içerisinde bor elementinin kristal içerisinde tercihli difüzyon yönünü etkilemediğinden kaynaklanmaktadır. Fe-Co alaşımları üzerine yapılan bu çalışmada borür tabakaların sertlik değerlerinde, hem mesafeye bağlı ve hem de altlık alaışımın kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Mesafeye bağlı olarak sertlik değerlerinin borür tabaka kalınlığı boyunca 1450 HV ile 2200 HV arasında değiştiği görülmektedir. Bu sertlik değerleri altlıktaki Co miktarı ile de değişmemiştir. Bu sertlik değerleri borlama sonucu saf Fe üzerinde oluşan borür tabakanın tipik sertlik değerlerine karşılık gelmektedir. Altlık olarak kullanılan Fe-Co alaşımların sertlik değerleri ise 100 HV ile 150 HV arasında ölçülmüştür. Bu arada, borür tabaka sertliği ile altlık sertlik değeri arasında "ara" bir sertlik değeri tespit edilmemiş olup, sertlik açısından bir geçiş

bölgesi tanımlanmamıştır. Yani, borür tabakanın altında herhangi bir şekilde, B atomları açısından zengin katı eriyik bir matris bölgesi veya çökeltilerden oluşan bir geçiş bölgesi oluşmadığı söylenebilir. Her ne kadar Fe esaslı malzemelerin borlanmasında genellikle bu tür geçiş bölgesi görülse de, Fe-Co alaşımlarında geçiş bölgesinin oluşmadığı, mikroyapı incelemesinde, sertlik ölçümünde ve SEM-EDS kimyasal analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır. Bu durum, Co elementinin borür tabaka içerisinde ayrı bir borür faz olarak bulunmaması ve Co atomlarının demir borür fazı içerisinde homojen şekilde dağılması ile açıklanabilir. Benzer durum Fe-Mn ikili alaşımlarının borlanma davranışı üzerine yapılan çalışmada da raporlanmıştır [18].

5. GENEL SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, atomik olarak % 1, 2, 4, 8, 12, 16 Co içeren ikili Fe-Co alaşımları ark ergitme yöntemi ile hazırlanıp, bu alaşımlar kutu borlama yöntemi ile 1100°C ve 3 saat süre ile borlanmıştır. Borlanmış numunelerin karakterize edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Tüm alaşımların yüzeyinde testere dişli morfolojide borür tabaka oluşmuş, bu morfoloji altlıktaki Co miktarı ile değişmemiştir.
2. Borür tabaka FeB ve Fe₂B fazlarından oluşmuş ve bu fazların varlığı ile miktarları altlıktaki Co miktarı ile değişmemiştir.
3. Co elementinin borür tabakada homojen şekilde dağıldığı belirlenmiştir.
4. Altlıktaki Co miktarı değişmesine rağmen, borür tabaka kalınlığı değişmemiştir.
5. Yüzey pürüzlülüğü, borlama işlemi ile bir miktar artmasına rağmen, altlıktaki Co miktarına bağlı dikkate değer bir değişim görülmemiştir.
6. Fe-Co alaşımlarının borlanması sonucunda geçiş bölgesi oluşmamıştır.
7. Tüm Fe-Co alaşımların yüzeyinde oluşan borür tabakanın sertlik değerinin saf Fe yüzeyinde oluşan borür tabaka sertlik değerine yakın olduğu ve bu değerlerin borür tabaka kalınlığı boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Deneysel çalışmalardaki desteklerinden dolayı Yunus Azaklı, Kerem Özgür Gündüz, Zafer Çağatay Öter ve Sezgin Cengiz'e teşekkür ederiz. Bu makale, GYTE BAP 2012-A17 numaralı proje kapsamında yapılan çalışmalardan üretilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Şen Ş., Termokimyasal Borlama İşlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8-15, (1998).

2. Persson A., Hogmark S. and Bergstrom J., "Thermal fatigue cracking of surface engineered hot work tool steels", *Surface and Coating Technology*, 191(2-3): 216-227, (2005).
3. Celikkan H., Ozturk M.K., Aydin H. and Aksu M.L., "Boriding titanium alloys at lower temperatures using electrochemical methods", *Thin Solid Films*, 515(13): 5348-5352, (2007).
4. Pfohl C., Bulak A. and Rie K.T., "Development of titanium diboride coatings deposited by PACVD", *Surface and Coating Technology*, 131(1-3): 141-146, (2000).
5. Hofsass H., Eyhusen S. and Ronning C., "On the mechanisms of cubic boron nitride film growth", *Diamond and Related Materials*, 13(4-8): 1103-1110, (2004).
6. Kholin A.S., "Phase composition and crack resistance of alloy boride layers on steel", *Metal Science and Heat Treatment*, 41(3-4): 159-161, (1999).
7. Riofano R.M.M., L.C. Casteletti, L.C.F. Canale, G.E. Totten, "Improved wear resistance of P/M tool steel alloy with different vanadium contents after ion nitriding", *Wear*, 265(1-2): 57-64, (2008).
8. Mu D., Yang C., Shen B.L. and Jiang H., "Oxidation resistance of borided pure cobalt", *Journal of Alloys and Compound*, 479(1-2): 629-633, (2009).
9. Gunes I., Ulker S. and Taktak S., "Plasma paste boronizing of AISI 8620, 52100 and 440C steels", *Material & Design*, 32(4): 2380-2386, (2011).
10. Sinha A.K., Boriding(Boronizing), (1991).
11. Atik E., Yunker U. and Meric C., "The effects of conventional heat treatment and boronizing on abrasive wear and corrosion of SAE 1010, SAE 1040, D2 and 304 steels", *Tribology International*, 36(3): 155-161, (2003).
12. Tarakci M., Gencer Y. and Calik A., "The pack-boronizing of pure vanadium under a controlled atmosphere", *Applied Surface Science*, 256(24): 7612-7618, (2010).
13. Podgornik B., Hogmark S., Sandberg O., Leskovsek V., "Wear resistance and anti-sticking properties of duplex treated forming tool steel", *Wear*, 254(11):1113-1121, (2003).
14. Ozbek I. and Bindal C., "Mechanical properties of boronized AISI w4 steel", *Surface and Coating Technology*, 154(1): 14-20, (2002).
15. Calik A., Sahin O. and Ucar N., "Mechanical Properties of Boronized AISI 316, AISI 1040, AISI 1045 and AISI 4140 Steels", *Acta Physica Polonica A*, 115(3): 694-698, (2009).
16. Tarakci M., Gencer Y., Azakli Y. and Sahinturk U., "Surface Modification Of Fe-8si Alloy By Boronizing And Its Characterization", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture Gazi*, 28(3): 645-655, (2013).
17. Gunduz K.O., Gencer Y., Tarakci M. and Calik A., "The effect of vanadium on the boronizing properties of pure iron", *Surface and Coating Technology*, 221: 104-110, (2013).
18. Gencer Y., "Influence of manganese on pack boriding behaviour of pure iron", *Surface Engineering*, 27(8): 634-638, (2011).

19. Calik A., Gencer Y., Tarakci M., Gunduz K.O. and Gulec A.E., "Bonding of Equiatomic Fe-Mn Binary Alloy", *Acta Physica Polonica A*, 123(2): 449-452, (2013).
20. Gencer Y., Tarakci M. and Calik A., "Effect of titanium on the boronizing behaviour of pure iron", *Surface and Coating Technology*, 203(1-2): 9-14, (2008).
21. Carbucicchio M. and Palombarini G., "Effects of Alloying Elements on the Growth of Iron Boride Coatings", *Journal of Materials Science Letters*, 6(10): 1147-1149, (1987).
22. Brakman C.M., Gommers A.W.J. and Mittemeijer E.J., "Boriding of Fe and Fe-C, Fe-Cr, and Fe-Ni Alloys - Boride-Layer Growth-Kinetics", *Journal Materials Research*, 4(6): 1354-1370, (1989).
23. Cengiz S., Gencer Y., Tarakci M. and Azakli Y., "Influence Of Copper Amount On The Pack Boronizing Behaviour Of Fe-Cu Binary Alloys", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture Gazi*, 30(3): 339-349, (2015).
24. V. Raghavan, "B-Co-Fe (Boron-Cobalt-Iron)", *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 33(5): 392-394, (2012).
25. Azakli Y., Cengiz S., Tarakci M. and Gencer Y., "Characterisation of boride layer formed on Fe-Mo binary alloys", *Surface Engineering*, 32(8): 589-595, (2016).
26. Gencer Y. ve Tarakci M., "50Fe-50Co Alaşımının Borlanması Ve Karakterizasyonu", *16th International Materials Symposium*, Denizli, Türkiye, 42, (2016).