

TIG kaynağı ile yüzeyi sertleştirilen AISI1020 ve AISI 316 çeliğinin mikroyapı incelemeleri

Ali Alparslan Çelik^{1*}, Şaduman Şen², Uğur Şen³

11.06.2014 Geliş/Received, 20.08.2014 Kabul/Accepted

ÖZ

Bu çalışmada farklı oranlarda hazırlanan ferro vanadyum,ferro bor ve demir tozları TIG kaynağı yöntemi ile AISI 1020 ve AISI 316 çeliklerinin yüzeylerine sert kaplama yapılmıştır. Öncelikle makro inceleme yapılmış olup matris, arayüzey ve kaplama tabakası açık bir şekilde görülmüştür. Değişen vanadyum ve bor oranlarına bağlı olarak mikroyapı ve sertlikteki değişimler incelenmiştir. Bor oranına bağlı olarak borür miktarının arttığı ve morfolojik olarak değişimlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Kaplama tabakasının kompozit sertliği AISI 1020 çeliği için 280 ile 150 HV AISI 316 çeliği için ise 450 ile 250 HV arasında değişmektedir. Kaplama tabakasında yapılan XRD analizleri sonucu kaplama tabakasının Fe, Fe₂B ve VB fazlarını içerdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: TIG kaynağı, yüzey sertleştirme, ferrovanadyum, ferrobör

Microstructure investigation of harfaced AISI 1020 and AISI 316 steel by TIG welding

ABSTRACT

In this study, ferrovanadium, ferroböron and iron powders prepared in different rates were cladded by TIG welding on AISI 1020 and AISI 316 steel surfaces. Matrix, interface and coating layers were seen clearly by macro investigation. Variations of microstructure and hardness according to vanadium and böron rates were examined. It was figured out that borides were increased depending on böron rates. Also morphological changes were observed. Hardness values of cladding layers for AISI 1020 and AISI 316 steels are changing between 280-150 HV and 450-250 HV respectively. Analysis of X ray Diffraction demonstrated that coating layer includes phases of Fe, Fe₂B and VB.

Keywords: TIG welding, hardface, ferrovanadium, ferroböron

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul - alparslan.celik@marmara.edu.tr

2 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya – sdmnsen@sakarya.edu.tr

3 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya – ugursen@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Vanadyum VB, V_2B_3 gibi kararlı borür formları oluşturan borür formları için sık olarak kullanılan bir elementtir. Bu bileşimler Zr, Ti ve Cr borürleri gibi yüksek ergime sıcaklığı, sertlik ve aşınma direnci gösterirler [1]. Bu etkileyici özelliklerinden dolayı vanadyum borürler endüstrideki bir çok alanda kullanılmaktadır ve gelecekte kullanımları daha da çok artacaktır [2]. Yüzey sertleştirme, seçilen alaşımın karakteristiğine göre yüzey özelliklerini iyileştirmek için kaynak ile yüzey modifikasyonunun gerçekleşmesidir. Bu teknolojiye kaplama tabakası ile altlık arasında metalurjik olarak bağ oluşmaktadır [3]. Metallerin yüzey performanslarını arttırmak için metallere değişik yüzey sertleştirme prosesleri uygulanmaktadır [4]. Genel yüzey sertleştirme teknikleri oksiasitlen gaz kaynağı (OAW), gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) veya tungsten inert gaz kaynağı, örtülü ark kaynağı (SAW) ve plazma transferli ark kaynağı (PTA) şeklinde söylenebilir [5]. TIG kaynak yöntemiyle yapılan yüzey sertleştirme işlemlerinin kolay uygulanması ve ucuz olması benzer yöntemlere göre üstünlüğünü ortaya koymaktadır. TIG kaynak yöntemi ile istenmeyen karakteristik özelliklerin çoğunun üstesinden gelinmektedir. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesiyle elde edilen mikro yapıların korozyon ve aşınma dirençleri, alışılagelmiş yüzey işlem teknikleriyle elde edilenlere göre çok daha iyi olmaktadır [6]. Amushahi ve arkadaşları düşük karbonlu çelik ve St52 çeliği üzerine bor oranı fazla olan elektrot kullanarak ark spray ve GMAW (MIG) prosesleri ile Fe_2B , FeB borür fazları içeren sert bir kaplama elde etmişlerdir. Bu işlemler sonucunda mikroyapıda ve kaplama sertliğinde önemli gelişmeler gözlemlenmişlerdir [7]. Lim ve arkadaşları Laser clad yöntemi ile AISI 1020 çeliği üzerine borür oluşturmaya yatkın Colmonoy 6, karbür oluşturmaya yatkın Colmonoy 88, WC oluşturmaya yatkın Al-1236 tozları ile sert kaplama tabakası oluşturmuşlardır. Colmonoy 6 tozları ile $(Ni,Fe)_3B$ borür fazları oluşturmuşlar ve 690 HV sertlik değeri elde etmişlerdir. Bunun yanında oluşan yapılarıdaki mikroyapı ve sertlikteki değişimlerini incelemişlerdir [8]. Mehmet Eroğlu değişik oranlarda bor içeren elektrotlar üretmiş ve bunları SMAW yöntemi ile SAE1020 çeliğinin üzerine borür fazları oluşturarak sert kaplama yapmıştır. Bor oranına bağlı olarak mikroyapı ve sertlikteki değişimleri incelemiştir [9]. Bu çalışmada sert yüzey kaplama yapmak için farklı oranlarda ferrovanadyum ve ferbor tozları mekanik olarak karıştırılmış ve TIG kaynağı ile AISI 316 ve AISI 1020 altlıklarının üstüne kaplama yapılarak mikroyapı ve sertlik değerleri incelenmiştir.

2.DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHODS)

Bu çalışmada AISI 316 çeliğinden $6(\text{genişlik}) \times 25(\text{en}) \times 60(\text{boy})$ mm AISI 1020 çeliğinden $6 \times 30 \times 50$ mm boyutlarında kesilmiş olup numune yüzeylerini pas ve yağdan arındırmak için taş motoru ile temizlenmiştir. AISI 316 çeliğinin ve AISI 1020 çeliğinin kimyasal analizi Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. AISI316 ve AISI1020 çeliklerinin kimyasal analizleri (% ağı) (Chemical analyses of AISI316 and AISI1020 steels (%wt))

	AISI316	AISI1020
%C	0,037	0,17
%Si	0,583	0,4
%Mn	0,69	0,3
%Ni	9,273	-
%Cr	17,49	-
%Mo	0,220	-
%V	0,0866	-
%S	0,012	0,02
%P	0,015	0,02
%Fe	70,70	-

Sert yüzey kaplama tozu olarak ise Ferro-Bor Ferro-Vanadyum ve demir tozu karışımları kullanılmıştır. Kaplama tozlarının kimyasal analizleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Ferrovanadyum ve ferbor'un kimyasal analizi(% ağı) (Chemical analyses of ferrovanadium and ferboron (%wt))

	Ferbor
%B	19,63
% C	0,44
% Al	0,44
% Si	0,98
% P	0,01
% S	0,01
% Fe	77,7
	Ferrovanadyum
%V	79,39
%Al	0,95
%Si	0,58
%C	0,2
%P	0,02
%S	0,02
%Fe	17,13

Sert yüzey kaplama malzemeleri ferbor ve ferrovanadyum taşları halkalı değirmende öğütülmüş ve

37 mikronluk seviyeye getirilmiştir. Daha sonra hassas terazi yardımı ile çalışmada kullanılacak 10 farklı toz bileşimleri hazırlanmıştır. Bu sert kaplama toz bileşimleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Sert kaplama toz bileşimleri (% at) (Powder compositions of hardfaced coatings)

Bileşim No	Sert Kaplama Toz bileşimleri % atomsal ağırlık		
	V	B	Fe
1	25	25	50
2	25	20	55
3	25	15	60
4	25	10	65
5	25	5	70
6	25	0	75
7	20	25	55
8	15	25	60
9	10	25	65
10	5	25	70

Hazırlanan bileşimler altlık malzeme yüzeyine dökülüp preslenmiştir. Sert yüzey kaplama için TIG kaynağı yöntemi ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak şartları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Kaynak Şartları (Welding Parameters)

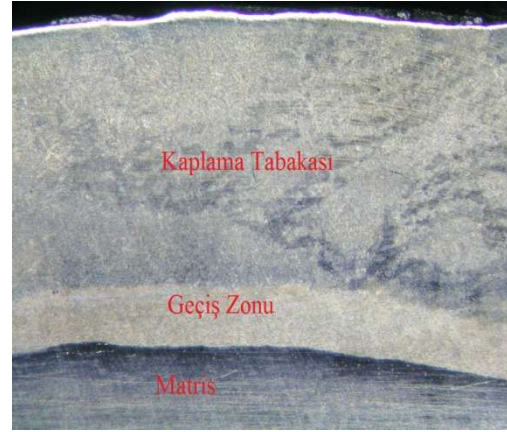
Kaynak Hızı	100/dk
Elektrot Çeşidi	%0,02 Toryumlu Tungsten
Elektrot Çapı	2,4mm
Gaz Debisi	12lt/dk
Akım şiddeti	110A
Koruyucu Gaz	%99.9 saflıkta Argon

Üretilen numunelerin mikroskopik incelemeleri için 80-1200 meshlik zımparaya kadar zımparalama işlemleri yapıldıktan sonra 3 mikronluk alümina parlatıcı ile parlatılmıştır. Parlatılan numunelerin $\times 15$ ve $\times 20$ büyütmelerde makroskopik görüntüleri çekildikten sonra dağlanmış ve $\times 100$, $\times 200$, $\times 500$ büyütmelerde mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Ayrıca kaplama tabakasının dış yüzeyinden her numune için malzemeye doğru 3 set sıra sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Farklı bölgelerden sertlik ölçümleri için 100 g yük altında Future Tech FM 700 isimli cihaz ile mikrosertlik ölçülmüştür. Bunun yanında taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal analiz (EDS) incelemesine tabi tutulmuş kaplama tabakasının fotoğrafları çekilmiş ve noktasal analizleri de alınmıştır. Son olarak X-Işınları incelemelerine tabi tutulmuş ve böylece daha detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Makro İnceleme Çalışmaları (Macro Analysis Studies)

Çalışmada kaplama işlemi yapıldıktan sonra stereo mikroskop yardımı ile makroskopik olarak $15\times$ ve $20\times$ büyütmelerde incelenmiştir.



Şekil 1. AISI 316 paslanmaz çeliğinin 4 no'lu bileşim ile kaplamasının $15\times$ görüntüsü (15x Images of hardfaced coatings with number four composition on AISI 316 stainless steel)

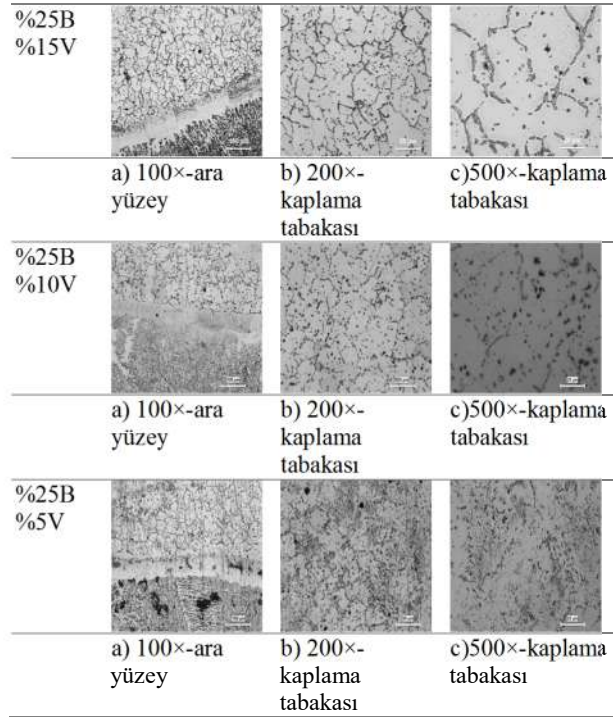
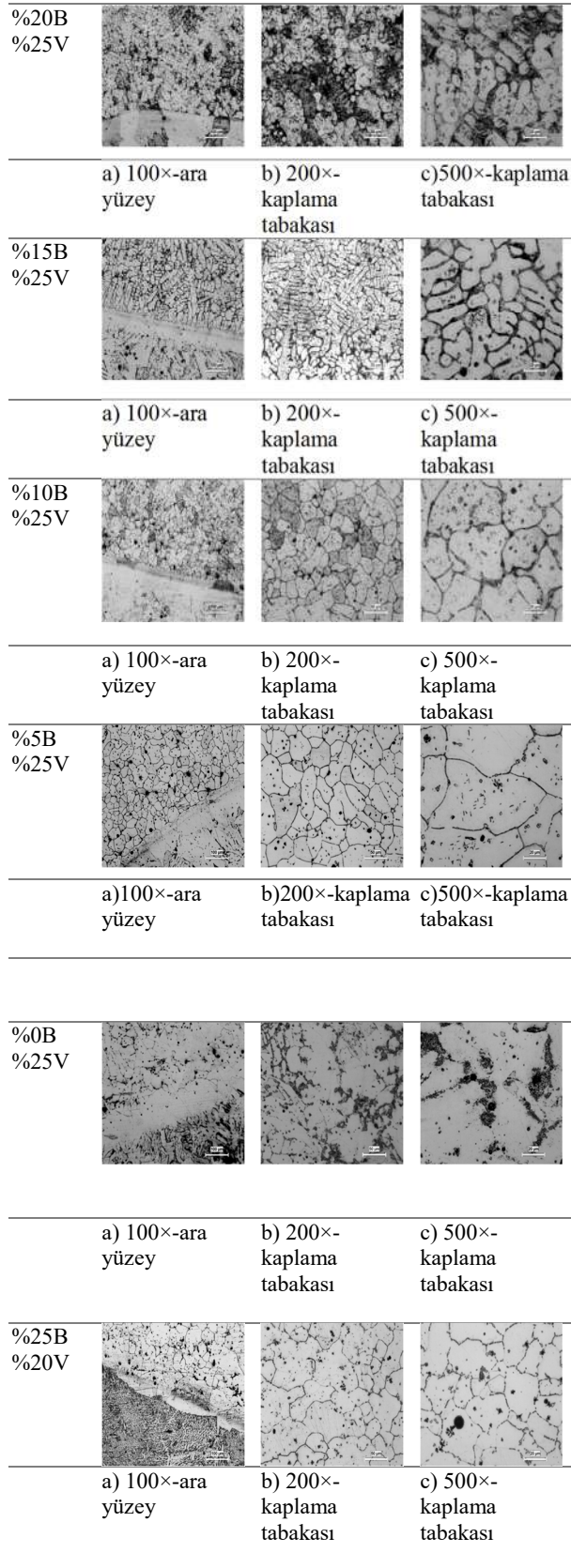
Şekilde paslanmaz çelik üzerine 4 no'lu bileşimin TIG kaynağı ile kaplanması ile geçiş zonu ve kaplama tabakası açık bir şekilde görülmektedir.

3.2. Metalografik ve Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri (Metallographic and Scanning Electron Microscope Review)

Metalografik hazırlama işleminden sonra numuneler mikroskopik incelemeye tabi tutulmuş mikroyapı özellikleri tespit edilmiştir. Tablo 5'te AISI 1020 çeliği numunelerinin Tablo 6'da ise AISI 316 paslanmaz çeliğinin mikroyapıları gösterilmektedir.


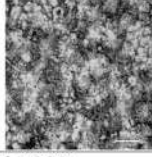
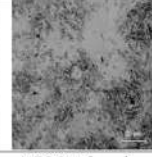
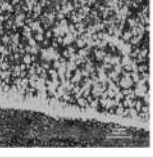
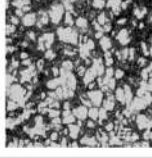
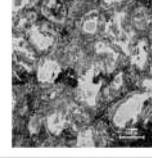

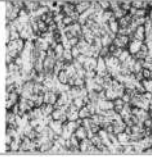
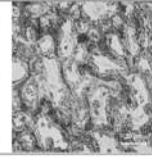


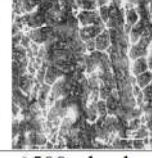
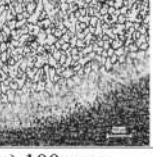
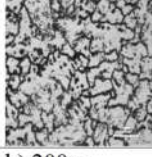






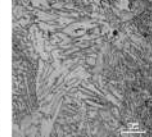
Tablo 5. AISI 1020 çeliği mikroyapıları (Microstructure of AISI 1020 steel)

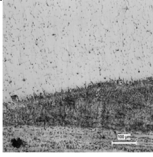
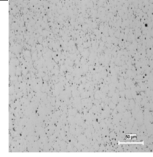
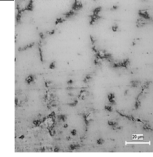

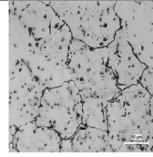
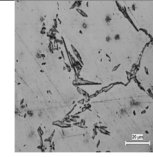

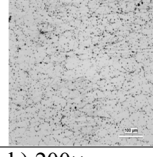
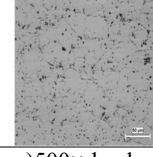
%25B %25V			
	a) 100x-ara yüzey	b) 200x-kaplama tabakası	c) 500x-kaplama tabakası



Mikroyapı incelemelerinden görüldüğü gibi AISI 1020 çeliği üzerine yapılan kaplama işlemlerinde bor içermeyen ve %10'a kadar bor içeren Fe-V-B alaşımlarında taneler yapı hâkimdir. %10' un üzerinde bor içeren alaşımlarda dendritik yapı görülmekte olup yapı homojen dağılımlı beyaz renkte adacıklar şeklinde borür fazlarının görüldüğü dendritik kolları arasında çelik matrisin varlığı görülmektedir. Tablo 3.2'de alaşım bileşimlerine bağlı olarak matris, geçiş zonu ve kaplama tabakası (a) kolonunda kaplama tabakasının mikroyapı görüntüleri de (b) ve (c) kolonlarında görülmektedir. Bor miktarı arttıkça oluşan borür fazlarının dağılım miktarı artış göstermektedir. Ayrıca özellikle %5 bor içeren bileşimde tane içinde dağılmış halde küçük iğnemi fazların oluştuğu da görülmektedir. Benzer fazlar %20 bor bileşiminde de açıkça görülmektedir. Bor miktarının artışına bağlı olarak tane yapısı incelmekte %25 bor seviyesinde en küçük yapıya ulaşmaktadır. V miktarına bağlı olarak taneler incelmemektedir ve yine V miktarına bağlı olarak %15 V'a kadar bant halinde taneler tane sınırlarında gözlemlenmiş ve ikinci fazın varlığının küçük küresel formda tane içinde de yer aldığı ve yine bir takım porozitelerin tabaka içinde varlığı tespit edilmiştir. %20 V bileşiminde eş eksenli homojen tane dağılımlı ve tane sınırlarında belirgin olarak ikinci bir fazın görülmemesi V miktarının artışına bağlı olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 6. AISI 316 Paslanmaz Çeliği mikroyapıları (Microstructures of AISI 316 stainless steel)

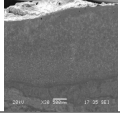
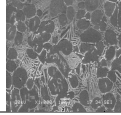
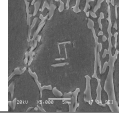
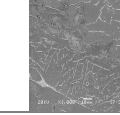
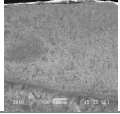
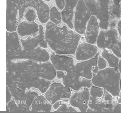
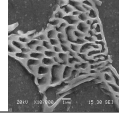
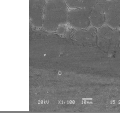
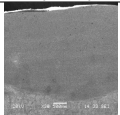
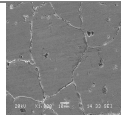
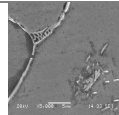
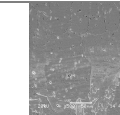
%25B %25V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%20B %25V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%15B %25V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%10B %25V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%5 B %25V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%0 B %25V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%25B %20V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası

	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%25B %15V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%25B %10V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası
%25B %5 V			
	a) 100×-ara yüzey	b) 200×-kaplama tabakası	c) 500×-kaplama tabakası

%25 V içeren Bor içermeyen alaşımda özellikle iki fazlı bir yapının varlığı ve bu faz dağılımlarının daha çok ötektik mikroyapıya benzediği görülmektedir. Bor miktarının artışına bağlı olarak önce %5 B içeren mikroyapıda taneler yapı görülüp bor miktarı arttıkça yapı dentritik yapıya dönmüştür. Bor miktarının daha da artmasıyla (%20) yapı dentritik yapıya dönüşümüne uğramış, karmaşık yapıya beyaz renkte borür fazlarını içeren ve borür tabakaları arasında çekil matris görülmüştür. Yine (a) kolonunda kaplama tabakası, geçiş zonu ve matris net bir şekilde görülmektedir. V miktarına bağlı olarak tane yapısı incelmekte ve daha homojen bir yapı elde edilmektedir. V miktarının değişken olduğu kaplama tabakalarında yapı az da olsa porozitelidir. Düşük V yüzdeleri için özellikle tane sınırlarında yer alan ikinci bir fazın varlığı %15 V bileşimine kadar açık bir şekilde görülmektedir. %20 V bileşimlerinde eşeksizlik tek fazlı bir mikro yapı sergilemektedir. Buna rağmen taneler yapı içinde gri renkli küçük küresel oluşumlar tespit edilmiştir. Yapılan SEM incelemelerinde metalografik incelemelerdeki benzer yapılara rastlanmış, meydana gelen yapıların büyük büyütmelemlerde daha ayrıntılı incelemesi yapılmıştır. 25V-25B 25V-15B ve 25V-5B bileşimindeki numunelerin metalografik incelemelerinde olduğu gibi SEM incelemelerinde de bor miktarının artması ile oluşan borür fazlarının dağılımı artış göstermektedir. Aynı şekilde burada da %5 bor

içeren bileşimde tane içinde dağılmış halde küçük iğnemi fazların oluştuğu 5000x büyütmede tekrar görülmektedir. Bor miktarının artışı ile tane yapısının incelendiği bir kez daha gözlemlenmiş, oluşan borür fazlarının gözenekli (25V-15B – 10000x) bir yapı sergilediği görülmüştür. Borür fazları daha çok tane sınırlarında toplanmakta, karbür iğneleri daha çok tane içinde yer almaktadır.

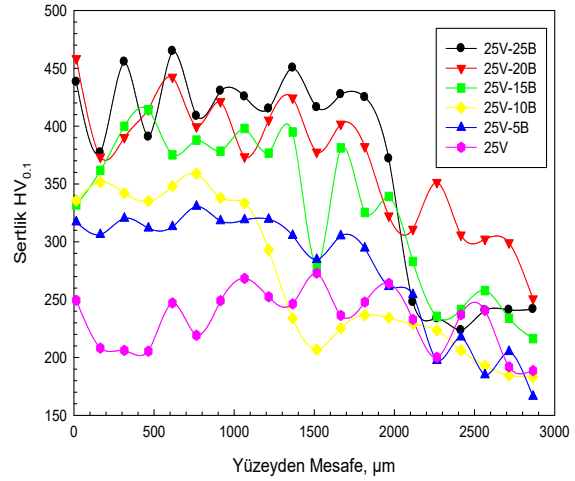
Tablo 7. 25V-25B, 25V-15B ve 25V-5B bileşimindeki AISI 1020 çeliği kaplamalarının SEM görüntüleri (SEM images of hardfaced coatings with 25V-25B, 25V-15B ve 25V-5B composition on AISI 1020 steel)

25 V 25 B				
	a) 30× Kaplama tabakası	b) 1000× kaplama tabakası	c) 5000× kaplama tabakası	d) 1000× arayüzey
	ve arayüzey			
25 V 15 B				
	a) 30×kapl ama tabakası	b) 1000× kaplama tabakası	c) 10000× kaplama tabakası	d) 1100× arayüzey
	ve arayüzey			
25 V 5 B				
	a) 30× kaplama tabakası	b) 1000× kaplama tabakası	c) 5000× kaplama tabakası	d) 500× arayüzey
	ve arayüzey			

3.3. Sertlik Ölçümleri (Hardness Measurement)

Tablo 2.3'te verilen bileşimlerle kaplanan numunelerin yüzeyden matrise doğru üç set sıra sertlik ölçümleri alınmış ve meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Sıra sertlikler yüzeyden matrise doğru 0,15 mm aralıklarla olmak üzere 20 adet ve 3 set alınmış ve ortalaması alınarak sertlik verileri elde edilmiştir. Şekil 2'de AISI 316 paslanmaz çeliği üzerine yapılan kaplamaların bor oranına bağlı olan sertlik değişimleri gözlemlenmiştir.

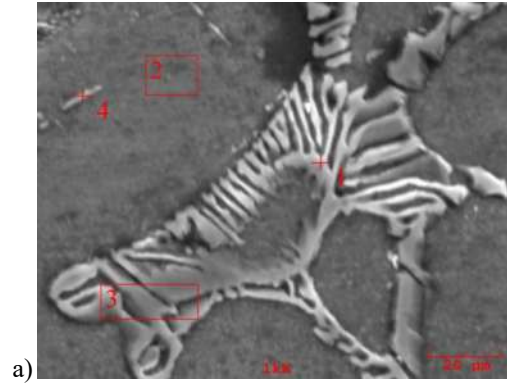
TIG kaynağı ile yüzeyi sertleştirilen AISI1020 ve AISI 316 çeliğinin mikroyapı incelemeleri

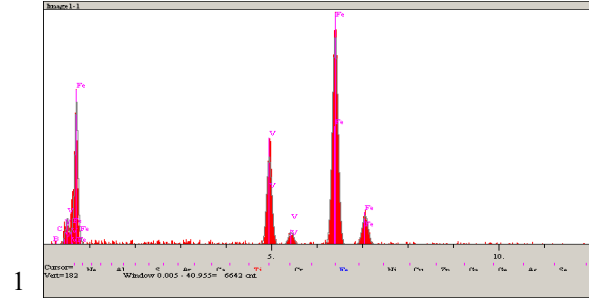


Şekil 2. Bor oranına bağlı olarak AISI 316 paslanmaz çeliği üzerine yapılan kaplamalar üzerindeki sertlik değişimleri (Variations of hardness depend on boron ratio of coatings on AISI 316 stainless steel)

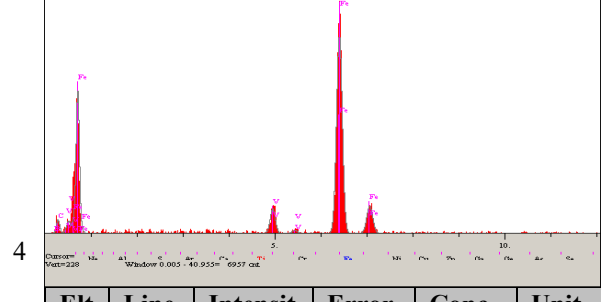
Şekil 2'de 25V-25B ve 25V-20B numunelerinin sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki numunenin yüzeye yakın bölgelerinde yaklaşık olarak 450 HV değerlerine ulaşılmıştır. Bor oranının azalmasıyla sertlik değerlerinin belirgin bir şekilde düştüğü ve 25V-0B bileşimindeki numunenin en düşük sertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Yüzeyden yaklaşık olarak 1750 µm sonra tüm numunelerdeki sertlik değerlerinin hızlı bir şekilde düştüğü ve bu noktadan sonra matris fazına geçildiği gözlemlenmiştir.

3.4. Elementer Analiz İncelemesi (EDS Analysis)



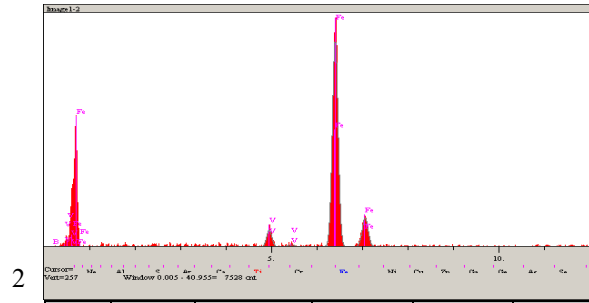


Elt	Line	Inten. (c/s)	Error 2-sig	Conc	Unit %
B	Ka	0,00	0,000	0,000	wt.
C	Ka	0,00	0,000	0,000	wt.
V	Ka	96,17	6,202	17,55	wt.
Fe	Ka	254,17	10,08	82,44	wt.
				100,0	wt.



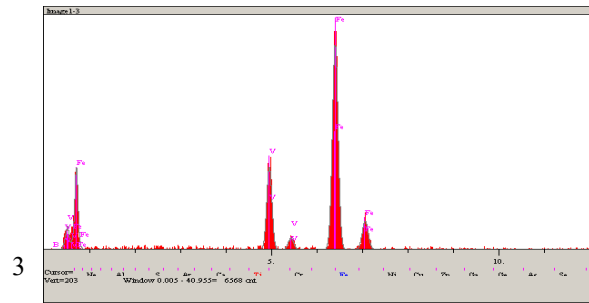
Elt	Line	Intensit (c/s)	Error 2-sig	Conc	Unit %
B	Ka	0,02	0,083	0,000	wt.
C	Ka	12,45	2,231	26,29	wt.
V	Ka	33,38	3,654	3,948	wt.
Fe	Ka	301,03	10,97	69,76	wt.
				100,0	wt.

Şekil 3. AISI 1020 çeliği üzerine yapılmış 25V-15B bileşimindeki kaplamanın sem fotoğrafı (a) ve eds analizleri (1.2.3.4) (SEM images of coatings with 25V-15B composition on AISI 1020 steel (a) and eds analysis)



Elt	Line	Inten. (c/s)	Error 2-sig	Conc	Unit %
B	Ka	0,00	0,000	0,000	wt.
V	Ka	25,72	3,207	3,331	wt.
Fe	Ka	356,54	11,94	96,66	wt.
				100,0	wt.

Yapılan EDS çalışmalarında AISI 1020 çeliği üzerine yapılmış 25V-15B bileşimindeki kaplamanın içindeki borür tabakalarının, matrisin ve matris içerisinde yer alan iğnemsiz küçük fazların EDS analizleri alınmıştır. Yapılan çalışmada ağırlıklı olarak borür fazlarının Fe ve V içerdiği buna karşılık matrisin V miktarının daha düşük, Fe miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca iğnemsiz yapıda, matris içerisinde oluşan yapılarda önemli ölçüde C elementi saptanmıştır. Bu da çelik matris içerisinde borür ve karbür fazlarının oluştuğunu göstermektedir.

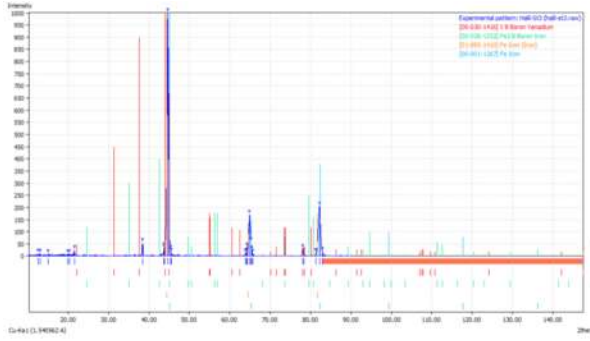


Elt	Line	Inten. (c/s)	Error 2-sig	Conc	Unit %
B	Ka	0,00	0,000	0,000	wt.
O	Ka	0,00	0,000	0,000	wt.
V	Ka	101,49	6,369	16,96	wt.
Fe	Ka	278,84	10,55	83,03	wt.
				100,0	wt.

3.5. X-ışınları Difraksiyon Analizi (Analysis of X-ray Diffraction)

Bu çalışmada üretilen sert kaplama numunelerinin X-Ray analizleri alınarak mevcut olan bileşikler tespit edilmiştir.

Yapılan X-ışınları taraması sonucu, AISI 1020 çeliği üzerine yapılan 25V-15B ve 25B-15V bileşimindeki kaplamaların VB, Fe₂B ve Fe fazları içerdiği saptanmıştır. Bu durum diğer çalışma numunelerinde mevcut olup AISI316 paslanmaz çeliğinde ayrıca Fe-Cr fazı saptanmıştır.



Şekil 4. 25V-15B bileşimindeki AISI 1020 çeliği üzerine yapılan kaplamanın X-ışınları incelemesi (X-rays investigations of coating with 25V-15B composition on AISI 1020 steel)

4. GENEL SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

1. Tozlardan oluşan alaşım AISI 1020 ve AISI 316 paslanmaz çelik malzeme üzerinde yüzey alaşımlama işlemi başarı ile gerçekleştirilmiştir.
2. Kaplama tabakası genel olarak homojen dağılımlı, çok fazlı bir yapıdadır. AISI 1020 çeliği üzerine yapılan kaplamalarda Fe, Fe₂B ve VB fazlarını içermektedir.
3. Kaplama tabakasının kompozit sertliği AISI 1020 çeliği için 280 HV ile 150 HV arasında AISI 316 paslanmaz çelik için ise 450 HV ile 250 HV arasında değişmektedir.
4. Yapılan SEM incelemesinde B miktarının artışına bağlı olarak ikincil fazın miktarının arttığı (borür) görülmektedir. Aynı zamanda bor yüzeylerine bağlı olarak morfolojik değişimlerin de ortaya çıktığı görülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. Sen, "The characterization of vanadium boride coatings on AISI 8620 steel", *Surface and Coating Technology*, 190, 1-6, 2005
- [2] M. Tarakci, Yucel Gencer, Adnan Calik, "The pack-boronizing of pure vanadium under a controlled atmosphere", *Applied Surface Science*, 256, 7612-7618, 2010
- [3] F. Madadi, F. Ashrafizadeh, M. Shamanian, "Optimization of pulsed TIG cladding process of stellite alloy on carbon steel using RSM", *Journal of Alloys and Compounds*, 510, 71- 77, 2012

- [4] O. Ozdemir, M.A. Omar, M. Usta, S. Zeytin, C. Bindal, A.H., Ucisik, "An investigation on boriding kinetics of AISI 316 stainless steel", *Vacuum*, 83, 175-179, 2009.
- [5] F. Madadi, F. Ashrafizadeh, M. Shamanian, "Optimization of pulsed TIG cladding process of stellite alloy on carbon steel using RSM", *Journal of Alloys and Compounds*, 510, 71- 77, 2012.
- [6] M. Ulutan, "AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması", *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi FBE, 2007.
- [7] M.H. Amushahi, F. Ashrafizadeh, M. Shamanian, "Characterization of boride-rich hardfacing on carbon steel by arc spray and GMAW processes", *Surface and Coatings Technology*, 204(16-17), 2723-2728, 2010.
- [8] L.C Lim, Qian Ming, Z.D Chen, "Microstructures of laser-clad nickel-based hardfacing alloys", *Surface and Coatings Technology*, 106(2-3), 183-192, 1998.
- [9] M. Eroğlu, "Boride coatings on steel using shielded metal arc welding electrode: Microstructure and hardness", *Surface and Coatings Technology*, 203(16), 2229-2235, 2009.