

Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Hardox 400 Çelik Malzemenin Yüzeyinin Farklı Oranlardaki FeCrC Tozuyla Alaşımlandırılması

Ali Kaya GÜR, Muhammet Hulusi CENGİZ*, Tülay YILDIZ, Semih TAŞKAYA
Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metallurji ve Malzeme Mühendisliği, Elazığ, Türkiye
*mhcengiz@hotmail.com

(Geliş/Received: 01.10.2017; Kabul/Accepted:02.11.2017)

Özet

Bu çalışmada, aşınmaya dayanıklı olan Hardox 400 çelik malzemenin yüzeyi B₄C, TiC, SiC tozlarını sabit olmak koşuluyla, FeCrC tozlarının farklı kombinasyonları kullanılarak plazma transferli ark (PTA) kaynak yöntemiyle alaşımlandırılmıştır. PTA kaynak ile yapılan kaplama işleminde FeCrC tozunun Hardox 400 çelik üzerine etkisi araştırılmıştır. Kaplama tabakası; mikrosertlik, optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS) faydalanılarak incelenmiştir. Optik mikroskop, mikroyapı incelemeleri ve mikrosertlik değerleri neticesinde, kaplama tabakası ile alt tabakanın birbirlerine metalurjik olarak bağlandığı, FeCrC'nin varlığında sertlik değerlerinde gözle görülür bir artış meydana geldiği ve aynı zamanda yapıda MC (metal karbür) ve Me-B (metal borür) fazları oluştuğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hardox 400, Plazma Transferli Ark, FeCrC, Borür ve Karbür

The Alloying of FeCrC Powder Different Rates at Hardox 400 Steel Surface by Plasma Transfer Arc Transfer Welding Method

Abstract

In this study, Hardox 400, which is resistant to abrasion, is alloyed with plasma transfer arc (PTA) welding method using different combinations of FeCrC powders, provided that B₄C, TiC, SiC powders are fixed to the steel surface. The effect of FeCrC powder on Hardox 400 steel was investigated in the PTA welding process. The coating layer was analysed using optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM), X-ray diffractogram (XRD) and X-ray energy dispersive spectrometer (EDS). As a result of optical microscope, microstructure analyses and microhardness, coating layer and the sub-layer were connected to each other metallurgical, there is a visible increase in hardness values in the presence of FeCrC and also MC (metal carbide) and Me-B (metal boride) phases were detected in the structure.

Keywords: Hardox 400, Plasma Transferred Arc, FeCrC, Boride And Carbide

1.Giriş

Yüzey mühendisliği konusundaki çalışmalar, insanoğlunun malzemeleri kullanması kadar eskidir. Geride kalan yüzyılda, bilim adamları yüzey mühendisliğini bir kavram olarak bilmemelerine karşın; bu konuda önemli geliştirici çalışmalarda bulunmuşlardır [1]. Metal yüzeylerinin dış ortamın zararlı etkilerinden korunması veya kullanım alanına göre; maruz kaldığı sürtünme, yorulma ve aşınmaları tamamen ve ya minimuma indirmek amacıyla çeşitli yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır

[2-4]. PTA tekniği, yoğun ve homojen kaplamalar, yüksek derecede tekrarlanabilirlik, maliyet etkinliği, endüstriyel olarak kolay bulanabilirliği, 6 mm kalınlığına kadar kolay kaplamalar ve güçlü metalurjik bağ meydana getirmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır [5-8]. Bu yöntemde, kaplama tozları kaplanacak malzemenin yüzeyinde PTA kaynak yöntemiyle oluşturulan ergiyik havuza ayrı bir toz besleme ünitesiyle yedirilir [9]. Bununla birlikte, kaplama tozları malzemenin yüzeyine özel bağlayıcılarla yapıştırılarak da kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir [10].

Tozlar, PTA kaynak yöntemi tarafından verilen enerjiyle ergitilerek kaplama ve alaşımlama işlemi yapılmaktadır [11]. Yüzey özellikleri ve kalitesi, kaplama işlemi gerçekleştirecek kaplama yöntemine ve seçilen alaşımlara bağlıdır [12]. Bu sebepten dolayı, PTA kaynak yöntemi ve lazer kaplama gibi yüksek enerji yoğunluklu kaynaklar kullanılarak yapılan yüzey kaplamaları, yüzeylerin mekanik, korozyon ve tribolojik özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [13-16]. Liu, vd. (2006), orta karbonlu çelik yüzeyine Fe-Cr-C-Ni elementi tozlarını kullanarak PTA kaynak yöntemiyle $(Cr,Fe)_7C_3$ karbür takviyeli kompozit kaplamasını üretmişlerdir [17]. Pandey, vd. (2016), Hardox 400 çelik yüzeyinin aşınma özelliklerini geliştirmek amacıyla tungsten karbid elektrot kullanarak, metal ark kaynak yöntemiyle kaplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kullanılmış olan elektrot, 4.0 mm çap ve 350 mm uzunluğa sahiptir. Yüzey kaplama işleminde kaynak işlemi, 140A(Amper) ve 160A tercih edilmiştir. Tungsten karbid elektrotundaki karbonun varlığı ve Cr, Si gibi elementlerin sertliğe olan etkisi vurgulanmıştır. Kaplama işlemiyle birlikte ana metalin sertlik değeri 1.7 kat arttığı ve Amerikan Test Malzemeleri Derneği (ASTM) B117 tuz spreyle yapılan korozyon testi sonucunda herhangi bir pas ve leke meydana gelmediği belirtilmiştir. Aşınma direnci, artan amperle ve alaşım elementlerinin nufuziyeti sayesinde arttığı belirtilmiştir [18]. Xibao, vd. (2005), düşük karbonlu çelik yüzeyinde Fe-Ti alaşımı ile B_4C karbür tozları ergitilerek kaplama tabakaları üretilmiştir. Kaplama tabakalarının katılma sonrası mikroyapıları ve mekanik özellikleri ark enerji yoğunluğuna, kaplama tozunun miktarı, biçimi ve boyutundan önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir [19]. Yao, vd. (2005), plazma transferli kaynak yöntemiyle ürettikleri Co esaslı Cr-W-C-Mo Stellite alaşımlarının kaplama malzemesinin abrazyon, adhezyon ve erozif aşınma gibi mekanik özellikleriyle beraber, korozyon-oksidasyon dirençlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kaplama tabakasının mikroyapısında ötektik üstü ve ötektik altı karbürlerin varlığı sayesinde aşınma ve korozyon direncinin ana malzemeye göre oldukça iyi olduğunu belirlemişlerdir [20]. Tabur, M. (2008), Hardox 400 çeliği ile dişlilerin

üretiminde yaygın olarak kullanılan AISI 8620 sementasyon çelikliğini borlayarak yüzey kaplama işlemi yapmıştır. Borlama işlemi için katı ortam tercih edilmiştir. Borlama işlemi sonucunda, Hardox 400 çeliğinin yüzey kaplama işlemi için uygun olduğu düzgün, çatlaksız bir yüzey morfoloji sayesinde kanıtlamıştır. Borlama işlemiyle Hardox 400 ve AISI 8620 çeliklerinin sertliği, x-ışını kırınım analizi ile görüntülenen FeB, Fe_2B borürler sayesinde arttığı vurgulanmıştır [21]. Zhang, vd. (2007), plazma transferli kaynak yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzeyini Fe esaslı alaşımlarla kaplama işlemi yapmışlardır. Üretilen kaplama tabakasının karakteristiklerini incelemişlerdir. Kaplama tabakasında östenit ve hiperötektik yapılar elde edilmiştir. Kaplama tabakasında birincil fazlar, dentritik östenit γ -Fe ile $(Fe,Cr)_7(C,B)_3$ ve $(Fe,Cr)_3C_2$ elde edilmiştir. γ -Fe fazı dengesiz katı çözelti fazıdır. Fe esaslı kaplama tabakası abrasiv aşınma testi sonuçlarında, kaplama tabakasının aşınma direncinin düşük karbonlu çelikten çok yüksek çıktığı tesbit edilmiştir. Buna dağınık dentritik östenitler, sert karbür ve borürler katkıda bulunmuştur. Kaplama tabakasının maksimum mikrosertliği 780 vickers sertliği (HV) çıkmıştır [22]. Liu, vd. (2006), PTA yöntemiyle yapılan $(Cr,Fe)_7C_3 / \gamma$ -Fe seramik kompozit kaplamaların adhesiv aşınma direnci ve mikroyapılarını incelemişlerdir. Çalışmada alt tabaka olarak 0,45 C'lu çelik yüzeyine PTA metoduyla FeCrC kaplanmıştır. Kaplama tabakasında hızlı katılma seramik ikincil dentritler $(Cr,Fe)_7C_3$, ve dentritler arası $(Cr,Fe)_7C_3 / \gamma$ -Fe içeren ötektik fazlar oluşmuştur. Kaplama işlemi 120 A' de ve Ar atmosferinde yapılmıştır. Oluşan M_7C_3 ve M_7C_3 / γ fazlarının varlığından dolayı kaplama tabakasının aşınma direnci oldukça yüksek çıkmıştır. Kaplama tabakasının aşınma davranışı alt malzeme olan % 0,45 C'lu çelikten çok daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca kaplama tabakasının maksimum mikrosertliği 850 HV civarına çıkmıştır [23]. Gür, vd. (2017), AISI 304 çeliğinin yüzeyine Fe-Cr- B_4C kompozit kaplamasıyla, PTA kaynak yöntemi kullanılarak kaplanma işlemi yapmışlar. PTA kaynak yönteminde yüksek ısı girdisiyle kaplanan numunede Fe-Cr- B_4C toz karışımı başarıyla ergitildiği, kaplama da herhangi bir çatlama olmadığı bununla birlikte M_7C_3 karbürü,

$M_{23}(C,B)_6$ borür karbürü ve (Cr,Fe) B borürlerin oluştuğu dolayısıyla sertliklerinde karbürlerin önemli bir faktör oluşturduğu görülmüştür [24]. Kononov, vd. (2016), aşınmaya dayanıklı çelik gruplarından Hardox 450'nin yüzeyine Özlü tel kullanarak yüzey kaplama işlemi yapılmış ve bu oluşumun metalografik incelemesi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, yapıda $M_{23}C_6$ ($(Cr, Fe, W)_{23}C_6$), NbC karbürler tesbit edilmiştir. Malzemenin aşınma direnci, Hardox 450 çeliğinden daha yüksek olduğu ve ikinci birikmiş tabakanın malzemenin tribolojik özelliklerini pek fazla etkilemediği sonucuna varmışlardır. Gelişen çok fazlı mikron altı ve nanoyapıya bağlı olarak, çökelmiş tabakanın mekanik ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesinin mümkün olduğu bulunmuştur. Ayrıca Fe, Cr, W ve Nb karbürlerinin mukavemet özelliklerini artırdığı tespit edilmiştir [25]. Mindivan, H. [26] darbeli plazma nitrürleme ve borlama işlemlerinin bir kombinasyonunu içeren dubleks muameleyle, Hardox 400 çeliği için iki aşamalı bir yöntemle kaplama işlemi yapılmış ve XRD işlemi sonucu FeB, Fe_2B , Fe_4N gibi sert fazlar tespit edilmiş, akabinde aşınma testine maruz bırakılarak, darbeli plazma nitrasyonundan sonra borlama işleminin, sürtünme katsayısını ve aşınma oranını azaltmada faydalı bir etkiye sahip olduğunu mikroskopik incelemelerle ortaya koymuştur.

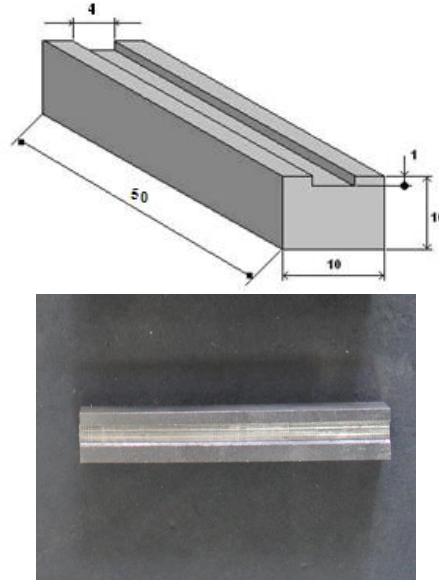
Bu çalışmada, PTA kaynak yöntemiyle, Hardox 400 çeliğinin yüzeyi diğer tozlar sabit olmak koşuluyla, FeCrC tozlarının farklı kombinasyonları kullanılarak alaşımlandırılmıştır. Kaplama tabakası sabit akım ve sabit hız değerleriyle, koruyucu gaz atmosferinde yapılmıştır. Kaplama tabakasının ve Hardox 400 çelik ile kaplama tabakasının arayüzeyi, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X ışın analizleriyle incelenerek mikrosertlikleri tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Method

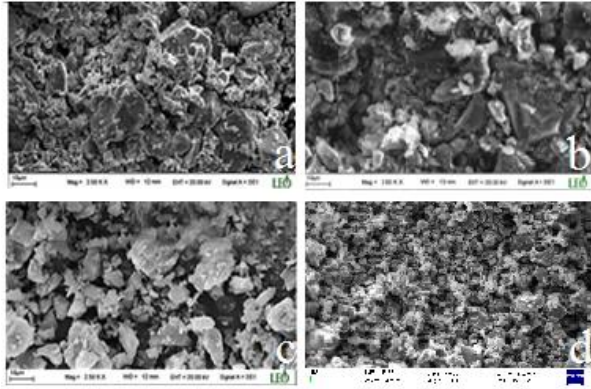
Yüzey alaşımlama işleminde alt tabaka malzemesi olarak, 10 mm x 10 mm x 50 mm ölçülerindeki aşınmaya dayanıklı Hardox 400 çelik kullanılmıştır (Şekil 1). PTA ile alaşımlama yöntemi öncesinde, çelik malzemelerinin yüzeyleri aseton ile temizlenerek kurutulmuştur.

4 mm genişlik ve 1 mm derinliğine sahip kanallar açılarak, alaşımlanacak tozların kanallara yerleştirilmesi sonrasında alkol ile karıştırılıp sıvanarak preslenmiştir. Kullanılan tozun SEM görünüşü Şekil 2' de verilmiştir. Alaşımlama tozları olarak Tablo 1' de kimyasal bileşimleri verilen B_4C , SiC, TiC, oranları sabit tutulmuş FeCrC %70, %55, %40 ve %25 oranlarında tatbik edilmiştir. PTA yüzey alaşımlama yönteminde ark üflemesinin sebep olacağı tozların sıvanan yüzeyden uzaklaşmaması için bir miktar sodyum silikat bağlayıcıyla kaplama yüzeyinde tutulup 50 °C sıcaklıkta 30 dk kurutulmuştur. Bu görüntü SketchUp Pro 2016' da çizilerek sunulmuştur (Şekil 3).

Numuneler kurutulduktan sonra PTA yöntemiyle Hardox 400 çelik malzeme Şekil 4'de ki gibi Tablo 2'de ki parametrelere uygun olacak şekilde Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü atelyesinde bulunan Thermal Dynamic/Arc marka PTA kaynak makinesi kullanılarak alaşımlandırılmıştır. Bu işlem sırasında birinci N_1 nununesi %70 oranında FeCrC, N_2 nununesi %55 FeCrC, N_3 nununesi %40 FeCrC, N_4 nununesi %25 FeCrC oranında alaşımlandırılmıştır.



Şekil 1. Hardox 400 numune boyutları ve optik resmi

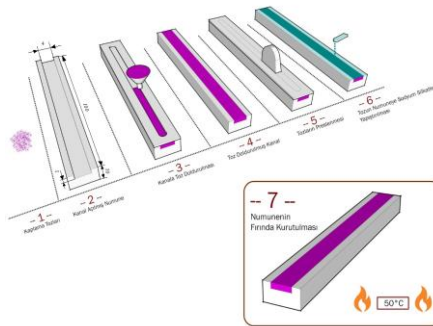


Şekil 2. Alaşımlamada kullanılan tozların morfolojisi, SEM resmi (a. B₄C Tozu, b. FeCrC Tozu, c. SiC Tozu, d. TiC Tozu)

PTA yöntemiyle yapılan yüzey alaşımlama işleminde üretim parametreleri Tablo 2’ de verilmiştir. PTA kaynak yöntemiyle yüzey alaşımlama işlemi 130A’de gerçekleştirilmiştir. Argon koruyucu gazının debisi 25 lt/dak ve plazma gazının debisi 0,5 lt/dak olarak seçilmiştir. PTA kaynak yöntemiyle yapılan alaşımlama işleminde kaplama malzemesinin makro görünüşü Şekil 5’ de verilmiştir. Alaşımlama sonrası katılma işlemi neticesinde yüzeyde herhangi bir makro çatlğa rastlanılmamıştır.

Tablo 1. Hardox 400 çelik tabakası ile alaşım tozlarının kimyasal bileşimleri

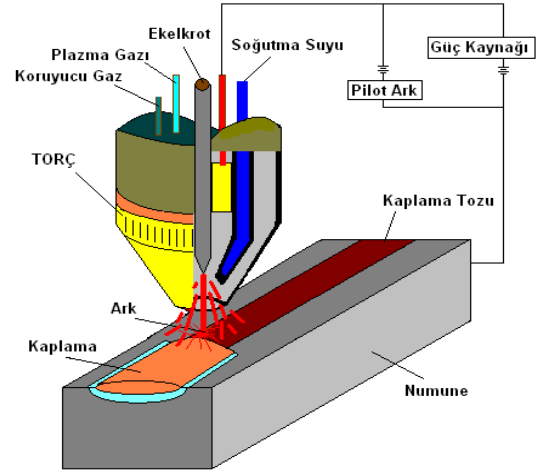
	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)										
	Cr	C	B	Ni	Si	Mn	W	P	S	Mo	Fe
Hardox 400	0,50	0,15	0,004.	0,25	0,70	1,60	-	0,025	0,010	0,25	-
FeCrC	70.21	12.44	-	-	1.08	-	-	-	-	-	Diğ.
B ₄ C	%99 Saflıkta										
SiC	%99 Saflıkta										
TiC	%99 Saflıkta										



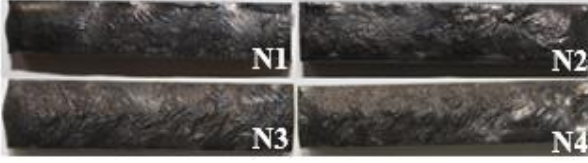
Şekil 3. Alaşımlanacak olan Hardox 400 numunenin kaynak işlemine hazırlanması

Tablo 2. PTA kaynak yöntemiyle alaşımlama işlem parametreleri

Akım (A)	130
Gerilim (V)	18
Koruyucu gaz debisi (m ³ /h)	25
Plazma gaz debisi (m ³ /h)	0,5, Ar
Elektrod çapı (mm)	4,7
Elektrot Türü	% 2 thoryumlu tungsten elektrot
İlerleme Hızı (m/dak)	0,15
Torç Malzeme Arası Mesafe (mm)	3~4
Torç Uç Çapı (mm)	3,25
Set Back (mm)	4
Isı Girdisi (KJ) Q	9,3
Enerji Girdisi (KJ) Qw	5,115
η:0,55	

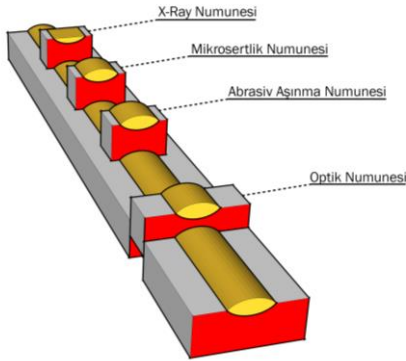


Şekil 4. PTA kaynağı ile alaşımlama yönteminin şematik resmi[27].



Şekil 5. Alaşımlama yapılmış numunelerin makro resimleri

Mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop (OM) taramalı electron mikroskobu (SEM), faz analizleri için X-ışını difraksiyonu (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS)' den faydalanılmıştır. Alaşımlanmış yüzey tabakasının mikrosertlikleri yan kesit kaplama ara tabakasından başlanıp, 100 µm(mikrometre) mesafelerde, Fırat Üniversitesi Prof.Dr Nuri ORHAN Metalografi Laboratuvarında bulunan Duraschan 20 mikrosertlik cihazında mikrosertlik alınmıştır.



Şekil 6. İnceleme numunelerinin çıkarılışı

3. Sonuçlar ve Tartışma

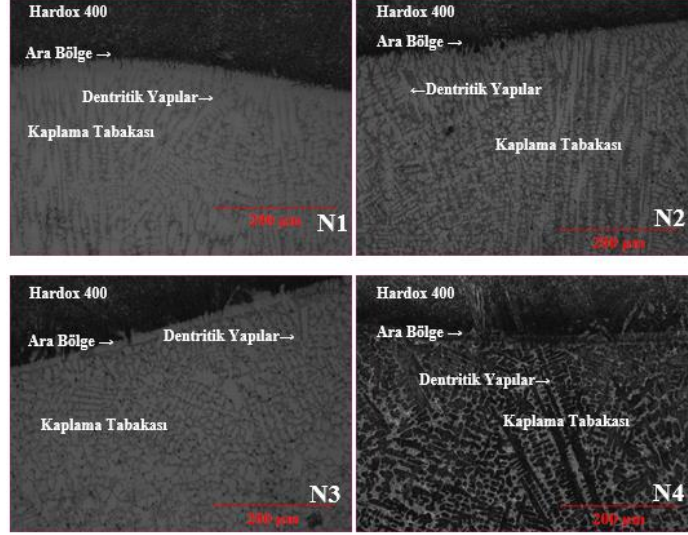
PTA yöntemiyle, aşınmaya dayanıklı Hardox 400 çelik yüzeyinde oluşturulan ve Şekil 7'de optik görünüşü verilen kaplama tabakasının kalınlığı ısı girdisinin varlığıyla 1.4 ± 0.7 mm arasında değişmektedir. Kaplama tabakası ile alt tabaka arayüzey bölgesinde dendritik katılma gerçekleşmiştir. Katılma yönü kaplama alt tabaka arayüzeyine dik yöndedir. Dendritik bölge, kaplama tabakasında ortalama 400 µm'lik bir bölgesinde meydana gelerek ikincil, yer yer üçüncül dendritik kollar şeklinde göstermiştir. Bununla birlikte ara bölgeden uzaklaştıkça taneler küresel, hegzonik bir görüntü almıştır. PTA kaynak yönteminde, hem yüzeyi hem de

kaplanan toz ve karbürlere verilen enerji oldukça yüksektir. Yerel olarak ergitilen alt tabaka malzemesiyle kaplama malzemesinin soğuma ve katılma hızı da bir o kadar yüksek olmaktadır. Yüksek sıcaklıkta karbür ve alaşım elementlerin çözünmesi neticesinde eğiyik havuz içerisinde katılma sırasında yeni bir faz ve karbürlere oluşturarak katılır [27]. Bununla birlikte yeterli sıcaklık ve zaman bulunmadığında toz taneleri çözünmez, taneler eğiyik havuz içerisinde çözünmeden yapı içerisinde blok halinde bir katılma sergiler [19]. Şekil 5' de de görüldüğü üzere, FeCrC karbür ve diğer element tozlarıyla yapılan kompozit kaplamasında, tüm toz taneleri tamamiyle çözünerek, yapı içerisinde homojen bir şekilde katılma göstermiştir.

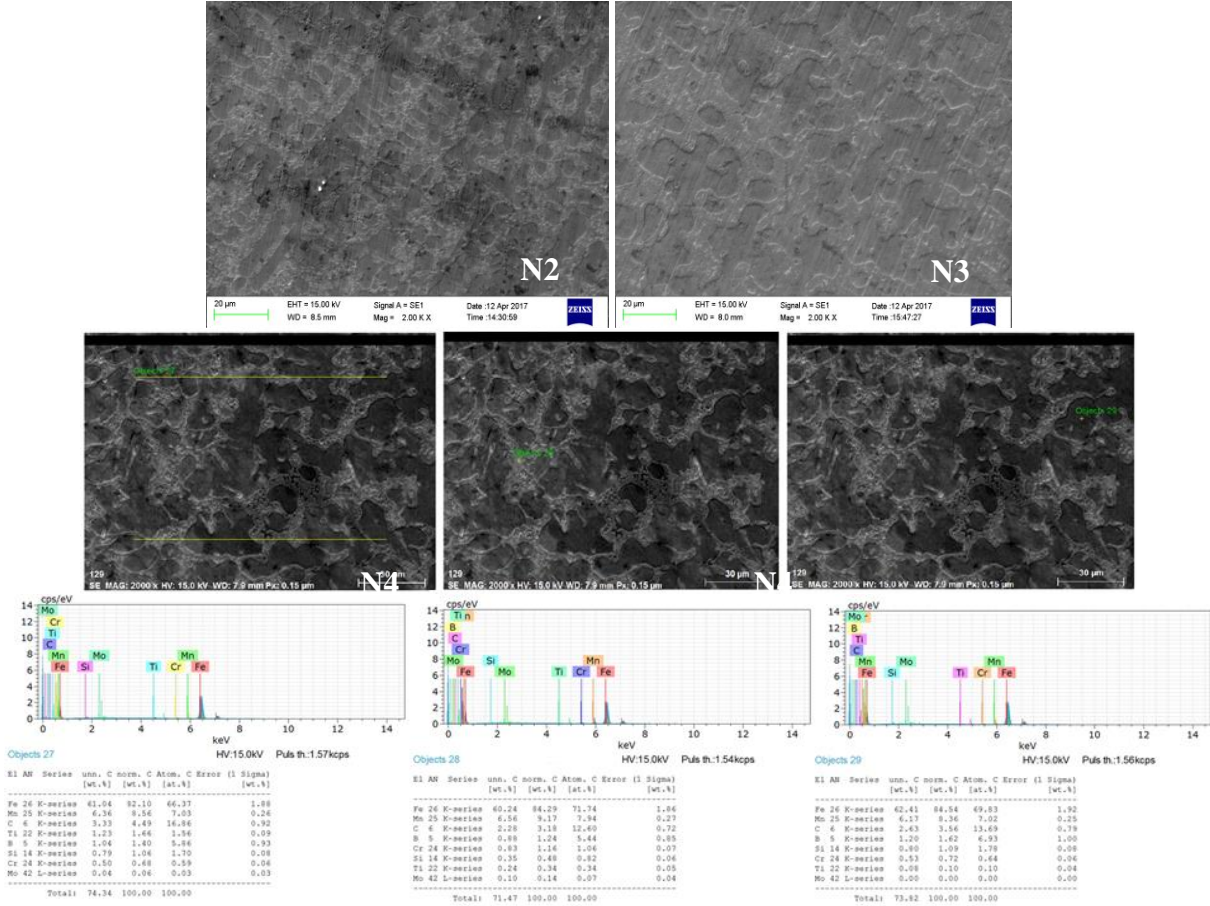
Alaşımlanmış kaplama tabakasının üst yüzey bölgesine bakıldığında dendritik yapı daha çok martenzitik görünümüne sahip küçük tanelere bırakmıştır. PTA işlemi sonrasında alaşımlanmış kaplama tabakasının ovale yakın bir görüntü aldığı, maksimum nüfuziyetin ortada olduğu kenar bölgelerine doğru gidildikçe ise kalınlığın incelendiği görülmektedir. Bu görüntünün oluşumuna enerji yoğunluğunun elektrot ucuna dik olan doğrultuda daha yoğun şekilde meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 6' da Fırat Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı EVO MA10 cihazında alınan SEM ve EDS görüntülerinde fazlar matrisi çepeçevre sarmıştır. Ötektik matristen alınan EDS verilerine dayanarak elementlerin yapı içine nüfuz ettiği, Şekil 6 (N2) numunesinde dendritik yapılar kendisini ikincil, yer yer üçüncül dendritik kolları şeklinde göstermiştir. Şekil 6 (N3)' de dendritler arası ötektik matriste katılan fazlar, yapı içerisinde görüldüğü gibi yoğundur. Bununla birlikte östenit yapı yüksek sıcaklığa çıkıldıktan sonra katılma yapı bırakılırsa, yüksek konsantrasyonlu Cr elementine sahip bir yapı oluşarak malzemeyi korozyona karşı daha dayanıklı yaparak koruyacaktır [20]. Şekil 6 (N4)' de oluşan fazlar, FeCrC oranındaki azalmayla birlikte dendritik kollar arasındaki mesafeler daha genişleyerek katılma meydana geldiği görülmektedir. Şekil 6 (N4) bölgesel ve noktasal EDS analizinde tespit edilen Fe, Cr, C elementlerinin alaşımlanan altlığa yüksek oranda geçtiği görülmektedir. Yapıda bulunan karbürlere ise ısı girdisinin artmasına bağlı olarak altlık

malzemenin daha yoğun ergimesiyle kimyasal kompozisyon farkından ve katılaşma zamanının değişmesinden ötektik yapı içinde dağıldığı düşünülmektedir. Bu sonuç Şekil 7 XRD analizinde, N1-N4 numaralı numunelerinin

alaşımlanmış kaplama tabakasının X-ışını difraktogramında verilmiştir.



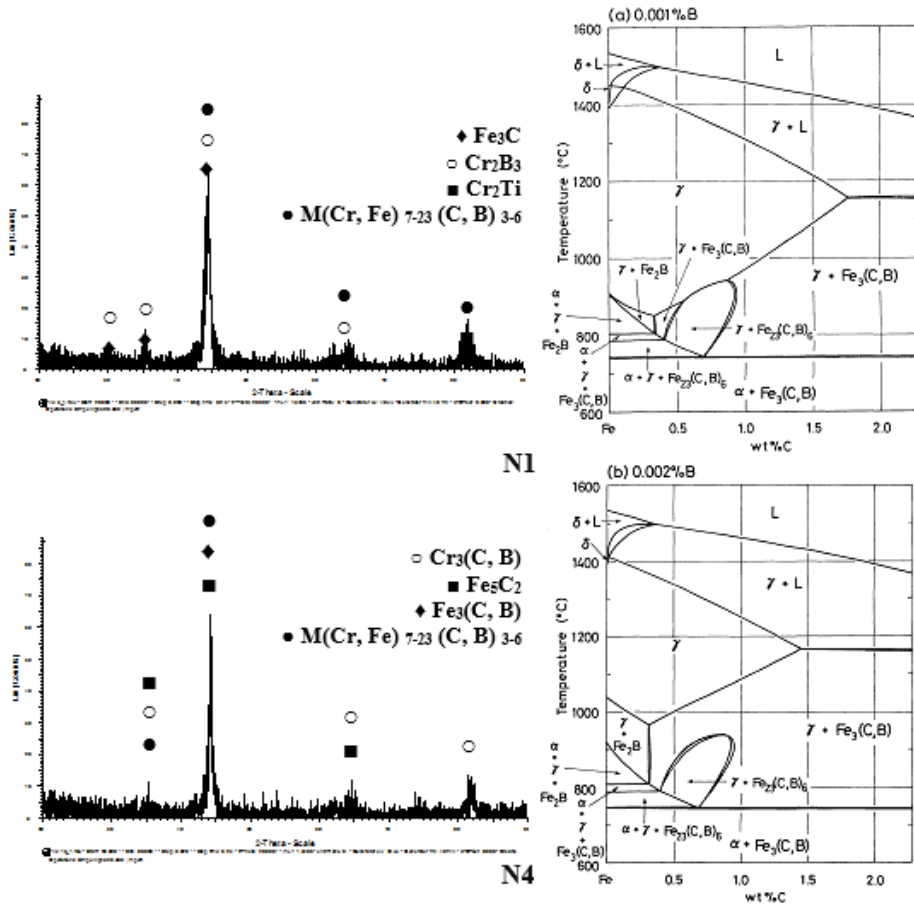
Şekil 7. FeCrC toz karışımıyla elde edilen alaşımlanmış kaplama/ alt tabaka arayüzünün optik görüntüleri



Şekil 8. Numunelerin alaşımlanmış kaplama tabakasının SEM ve EDS analizleri

Fırat Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı D8 Advance'den alınan EDX verilerindeki elementlerin varlığına dayanarak X-ışını sonucu, PTA yardımıyla kaplama tabakasında $Fe_3(C, B)$, $M(Cr, Fe)_{7-23}(C, B)_{3-6}$, $Cr_3(C, B)$, Cr_2B_3 , Fe_5C_2 , Cr_2Ti karbür ve intermetalik bileşikler Şekil 8'de varlığını göstermektedir. Şekil 9'da ki Fe-C-B üçlü denge diyagramının varlığında oluşabilecek fazların göstergesidir. N1 nolu numunenin aksine N4 numunesinde Fe_3B borürü tespit edilmiştir. Bu oluşumun meydana gelme sebebi yüksek ısı girdisinden dolayı katılaşma hızının değişmesi

ile daha fazla demirin yapıya karışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.[28] EDX sonuçlarında bu numunenin kaplama tabakasında daha fazla demirin bulunduğunu doğrulanmaktadır. $FeCrC$ ile alaşımlandırılmış numunelerin kaplama tabakasından alınan sertlik değerlerinin ortalaması N1:946, N2:941, N3:879 ve N4:815 Hv değerlerine çıkmıştır. Bu değerlerin yüksek çıkmasında kaplama tabakasında oluşan sert karbür fazların varlığı söz konusu olduğu düşünülmektedir



Şekil 9. N1 ve N4 alaşımlanmış numunelerin kaplama tabakasından alınan XRD analizi ve Fe-C-B üçlü denge diyagramı.

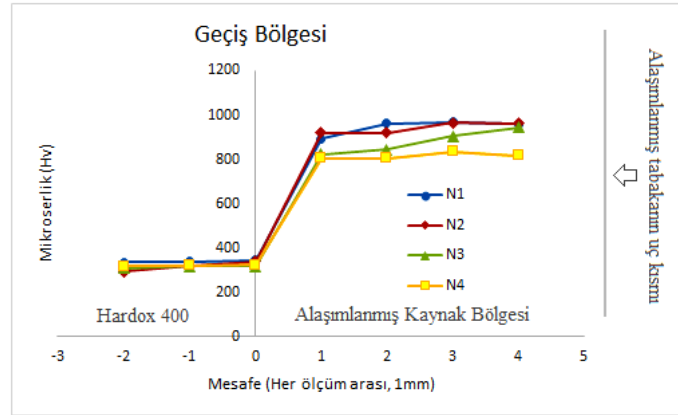
PTA yöntemi yüksek enerji girdisi avantajı ile birlikte $FeCrC$ bileşiğinin kaplama sonrasında yüzeye nüfuz ettiği ve arayer fazı oluşturması sebebiyle sertleşmeyi artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek enerji girdisine sahip PTA yönteminin yine mikroyapıda oluşan karbürlerin ergimesine yardımcı olmasıyla mikroyapıda karbürlerin homojen bir şekilde yapıya dahil olmasına sebep olup, sertlik değerlerini olumlu

yönde etkilemiştir. Geleneksel tekniklerle üretilen $Fe+Cr+C$ alaşımlarında mikroyapı içerisinde ferrit ve kompleks M_3C , M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ karbürlerinin şekillendiği tespit edilmektedir [29]. Cr_7C_3 ile iyi süneklik, dayanım ve uyuma sahiptir. Kaplama ile oluşturulan bu kompozit tabaka $(Cr, Fe)_7C_3$ fazı ile güçlendirilerek iyi aşınma direnci ve yüksek sertliğe sahip olmuştur [30]. Bu değerlerin

yüksek çıkmasında, oluşan $Fe_3(C, B)$, $M(Cr, Fe)_{7-23}(C, B)_{3-6}$, $Cr_3(C, B)$, Cr_2B_3 , Fe_5C_2 , sert faz, karbür ve borürlerin oluşması sebep olmuştur. Ayrıca FeCrC tozunun karbon oranının fazla olmasından, kaynak banyosunda karbür affinitesi yüksek olan krom ile yoğun bir karbür ağı oluşmaktadır. FeCrC ilavesiyle bu durum daha da yükselmesine sebep olmaktadır. Kaplanan ana malzemeden başlanarak, kaplama tabakasının altında gerçekleşen az orandaki difüzyonla birlikte sertlik artmaya başlamış (Şekil 8); daha sonra karbür bileşiklerinin oluşmasıyla ara tabakada hızla sertlik artışı gözlenmiş ve ara tabakadan yaklaşık 0,2 mm uzaklıktan itibaren sertlik 804–969 HV değerlerine kadar ulaşmıştır [23]. Kaplama tabakasında oluşan karbür ve metalik bileşiklerin homojen dağılımı sonucunda, tabaka içerisinde sertlik dağılımı tamamen dengeli bir şekilde gerçekleşmiştir. Şekil 10’ da görüldüğü gibi ortalama maksimum mikrosertlik N1’ de gözlenmektedir. Bu değer Hardox 400 çeliğinin sertliğinden önemli oranda fazladır. En düşük sertlik değeri ise N4 numunesinde ölçülmüştür. Tüm numunelerinin

kaplama bölgesi sertlik dağılımları, homojen bir dağılım göstermektedir.

Genel sonuçlar olarak, PTA kaynak yöntemi kullanılarak Hardox 400 aşınmaya dayanıklı çelik yüzeyinde FeCrC tozu ve diğer karbür element tozları başarılı bir şekilde ergitilerek alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakasının makroyapısına göre herhangi bir makro ve mikro çatlak meydana gelmemiştir. Katılaşma sonrası mikroyapıda Cr_2B_3 , $Fe_3(C, B)$, Fe_5C_2 , $M(Cr, Fe)_{7-23}(C, B)_{3-6}$, $Cr_3(C, B)$, Cr_2Ti karbür ve intermetalik bileşikler meydana gelmiştir. Altlık malzemesinin sertliği 319 HV iken en yüksek 969 HV değerleriyle N1 numaralı numunede saptanmıştır. Sertlik değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasında alaşımlama tozunda bulunan karbür yapıcı tozların ilavesiyle kaplama tabakasında oluşan MC ve MB sert fazlarının [31-34] ve dağınık halde bulunan dentritik yapılar sebep olmuştur. Sonuçta; Hardox 400 çelik altlığına PTA yardımıyla alaşımlama işlemi yapılmış ve altlık malzemeye nazaran, kaplama tabakasının sertliği oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. Mikrosertlik değerleri

4. Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Proje No: TEKF-1622 tarafından desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

1. Burakovski, T., Wierzchon, T. (1999). Surface engineering of metals, (Ed) Ralph B., CRC Press LLC, London press, 1: 1-52.

2. Lo, K.H., Cheng, F.T. and Man, H.C. (2003). Cavitation erosion mechanism of S31600 stainless steel laser surface-modified with unclad WC, *Materials Science and Engineering A*, **357**: 168–180.

3. Bourithis, L., Milonas, Ath. and Papadimitriou, G.D. (2003). Plasma transferred arc surface alloying of a construction steel to produce a metal matrix composite tool steel with TiC as reinforcing particles: *Surface and Coatings Technology*, **165**: 286–295.

4. Lu, S.P., Kwon, O.Y. and Guo, Y. (2003). Wear behavior of brazed WC/NiCrBSi(Co) composite coatings, *Wear*, **254**: 421–428.
5. Fauchais, P.L., Heberlein J.V.R. ve Boulos, M.I. (2014). Plasma-Transferred Arc Thermal Spray Fundamentals, *Thermal Spray Fundamentals*, 631–673.
6. Takano, E.H., Queiroz, D.D. and D'Oliveira, A.S.C.M. (2010). Evaluation of processing parameters on PTA hardfacing surfaces, *Welding International*, **24**: 1754-2138.
7. Yaedu, A.E., D'Oliveira, A.S.C.M. (2005). Cobalt based alloy PTA hardfacing on different substrate steels, *Materials Science and Technology*, **21**: 459-466.
8. Sigolo, E., Soyama, J., Zepon, G., Kiminami, C.S., Botta, W.J. and Bolfarini, C. (2005). Wear resistant coatings of boron-modified stainless steels deposited by Plasma Transferred Arc, *Surface & Coatings Technology*, **302**: 255-264.
9. Xibao, W., Hua, L. (1998). Metal powder thermal behaviour during the plasma transferred-arc surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, **106**: 156-161.
10. Bourithis, L., Papadimitriou, G.D. (2009). The effect of microstructure and wear conditions on the wear resistance of steel metal matrix composites fabricated with PTA alloying technique, *Wear*, **266**: 1155-1164.
11. Xibao, W., Chunguo, L., Xiaomin, P., Libo, S. and Hong, Z. (2006). The powder's thermal behavior on the surface of the melting pool during PTA powder surfacing, *Surface and Coatings Technology*, **201**: 2648-2654.
12. Krishna, B.V., Misra, V.N., Mukherjee, P.S. and Sharma, P. (2002). Microstructure and properties of flame sprayed tungsten carbide coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, **20**: 355-374.
13. Liu, X.B., Gu, Y.J. (2006). Plasma jet clad $\gamma/\text{Cr}_7\text{C}_3$ composite coating on steel, *Materials Letters*, **60**: 577-580.
14. Skarvelis, P., Papadimitriou, G.D. Plasma transferred arc composite coatings with self lubricating properties. (2009). Based on Fe and Ti sulfides Microstructure and tribological behavior, *Surface and Coatings Technology*, **203**: 1384-1394.
15. Bourithis, E., Tazedakis, A. and Papadimitriou, G. (2002). A study on the surface treatment of “Calmax” tool steel by a plasma transferred arc (PTA) process: *Journal of Materials Processing Technology*, **128**: 169-177.
16. Huang, Z., Hou, Q. and Wang, P. (2008). Microstructure and properties of Cr_3C_2 -modified nickel-based alloy coating deposited by plasma transferred arc process, *Surface and Coatings Technology*, **202**: 2993-2999.
17. Liu, Y.F., Xia, Z.Y., Han, J.M., Zhang, G.L. and Yang, S.Z. (2006). Microstructure and wear behavior of $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$ reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, **201**: 863-867.
18. Pandey, K.P., Ranjit, S. (2016). Experimental Investigation of Surface Properties of Hardox 400 Hardfaced with WC, *International Journal of Engineering Research & Technology*, **5(5)**: 622-626.
19. Xibao, W., Xiaofeng, W. and Zhongquan, S. (2005). The composite Fe–Ti–B–C Coatings by PTA powder surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, **192**: 257-262.
20. Yao, M.X., Wu, J.B.C., Xu, W. and Liu, R. (2005). Metallographic study and wear resistance of a high-C wrought Co-based alloy Stellite 706K, *Materials Science and Engineering A*, **407**: 291-298.
21. Tabur, M. (2008). Examination Of The Abrasive Wear Behaviour Of Boron Carbide Coated AISI 8620 And Hardox 400 Steels. MSc Thesis, *Gazi University*. 173-176.
22. Zhang, L., Sun, D., Yu, H. and Li, H. (2007). Characteristic of Fe-based Alloy Coating Produced By Plasma Cladding Process, *Materials Science and Engineering A*, **457**: 319-324.
23. Liu, Y.F., Han, J.M., Li, R.H., Li, W.J., Xu, X.Y., Wang, J.H. and Yang, S.Z. (2006). Microstructure and dry-sliding wear resistance of PTA clad $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3/\gamma\text{-Fe}$ ceramal composite coating, *Applied Surface Science*, **252**: 7539-7544.
24. Gür, A. K., Kaya, S. (2017), “Abrasive wear resistance optimization of three different carbide coatings by the Taguchi method”, *Materials Testing*, **59(5)**: 450-455.
25. Kononov, S., Kormyshev, V., Gromov, V. and Ivanov, Yu. (2016). Metallographic Examination of Forming Improved Mechanical Properties via Surfacing of Steel Hardox 450 with Flux Cored Wire, *Materials Science Forum*, **870**: 159-162.
26. Mindivan, H. (2013). Effects of Combined Diffusion Treatments on the Wear Behaviour of Hardox 400 Steel, *Procedia Engineering*, **68**: 710-715.
27. Yildiz, T., Gür, A.K. (2011). Microstructural characteristic of N_2 shielding gas in coating FeCrC composite to the surface of AISI 1030 steel with PTA method, *Archives of Metallurgy and Materials*, **56(3)**: 723-729.
28. Gürgeç, T., Özel, C. (2016). Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of FeCrC, FeB and FeW Alloys Coated AISI 1020 Steel Using PTA Method, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **28(2)**: 221-232.
29. Yılmaz, O., Ozenbaş, M. and Korkut M.H. (2002). Microstructural Characteristics of Gas Tungsten Arc Synthesised Fe-Cr-Si-C Coating, *Material Science and Technology*, **18**: 1209-1216.

- 30.** Liu ,Y.F., Xia, Z.Y., Han, J.M., Zhang, G.L. and Yang, S.Z. (2006). Microstructure and wear behavior of (Cr,Fe)7C3 Reinforced Composite Coating Produced by Plasma Transferred Arc Weld-Surfacing Process, *Surface and Coating Technology*, **201**: 863–867.
- 31.** Gür, A.K. (2013). Investigating the wear behaviour of FeCrC/B4C powder alloys coating produced by plasma transferred arc weld surfacing using the Taguchi method, *Materials Testing*. **55**: 462-467.
- 32.** Gür, A.K, Ozay, C., Orhan, A., Buytoz, S., Çalgülü, U and Yigittürk, N. (2014). Wear Properties of Fe-Cr-C and B4C Powder Coating on AISI 316 Stainless Steel Analyzed by the Taguchi Method, *Materials Testing*, **56**: 393-398.
- 33.** Gür, A.K., Yildiz, T. (2008). The Effect at Wear Behavior Of Coating Layer of Proportion Gases N2, *Technological Applied Sciences*, **3(4)**: 627-635.