



# Mikroalaşımli Hardox 400 Çelik Yüzeyinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Alaşımlandırılması ve İncelenmesi

**Ali Kaya GÜR**

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ/Türkiye  
[akgur@firat.edu.tr](mailto:akgur@firat.edu.tr) ORCID: 0000-0001-6077-1892

**Muhammet Hulusi CENGİZ**

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ/Türkiye  
[mhcngz@hotmail.com](mailto:mhcngz@hotmail.com) ORCID: 0000-0001-8456-8047

**Semih TAŞKAYA\***

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ/Türkiye  
[muh.semihtaskaya@gmail.com](mailto:muh.semihtaskaya@gmail.com) ORCID: 0000-0003-1524-4537, Tel: 0 537 560 29 63

Geliş: 20.02.2019, Revizyon: 22.04.2019, Kabul Tarihi: 29.04.2019

## Öz

*Bu araştırmada, mikroalaşımli Hardox 400 çeliğin yüzeyi, Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak yöntemi kullanılarak FeCrC, SiC, TiC ve B<sub>4</sub>C tozları ile alaşımlandırılmıştır. PTA kaynak yöntemiyle yapılan yüzey alaşımlama işleminde ilave tozların mikroalaşımli Hardox 400 çelik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Alaşımlanan numunelerin kaplama tabakalarının mikroyapıları, Hv cinsinden sertlik değerleri, SEM, EDS ve XRD analizleri incelenmiştir. Yapılan bu incelemeler sonucunda; yüzey kaplama için kullanılan tozlarının tamamı, PTA kaynağı enerjisi sayesinde ergidiği için katılma sonrası mikroyapılarda FeB, Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>(C, B), Fe<sub>5</sub>C<sub>2</sub>, M(Cr,Fe)<sub>7-23</sub>, (C,B)<sub>3-6</sub>, Cr<sub>3</sub>(C,B) fazlarının oluştuğu görülmüştür. Ayrıca kaplama tabakası ile alt tabakanın metalürjik olarak bir bağ meydana getirdiği gözlemlenmiştir. FeCrC, SiC, TiC ve B<sub>4</sub>C tozları ile kaplanan yüzeylerde sertlik değerlerinde büyük bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** B<sub>4</sub>C; FeCrC; Plazma Transferli Ark; SiC; TiC; Yüzey Alaşımlama

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak kaplama işlemi, aşınmaya maruz kalan mekanik iş parçalarının yüzeylerini süper alaşım metal tozlarıyla kaplamak için kullanılan uygun bir eritme kaynağıdır. Bu eritme kaynak yöntemi, kaplanmış yüzeylerin sertliğini ve aşınma direncini arttırdığı için otomotiv, denizcilik ve petrokimya endüstrisi gibi pek çok alanda tercih edilmektedir.

PTA işlemi, tüketilemeyen bir tungsten elektrotu (-) ile bakır plazma nozülü (+) arasında kaynak torçu (pilot ark) ile oluşturulan arkın, argon gazının iyonlaştırılmasıyla elde edilen yüksek yoğunluklu bir plazma arkını karakterize eder (Commersald, 2019). Bu yüzden, plazma ark kaynağı (PAW), tungsten atıl gaz kaynağı (TIG) ve gaz metal ark kaynağı (GMAW) gibi diğer genel ark kaynağı teknolojilerinden daha yüksek ark sıcaklığı, ark hızı ve güç yoğunluğu teknolojisine sahiptir (Li ve ark., 2019). Bu teknoloji, PTA işlemi ile alaşımların yüzeylerini farklı tozlar ile alaşımlandırmada uygun hale getirmiştir.

Bilindiği gibi alaşım, metallerin eriyene kadar ısıtılması ve metale arzu edilen özelliklerin kazandırılması için eriyik içerisine farklı alaşım elementlerinin ilave edilmesi ve kalıplanmasıyla elde edilir. Oluşan alaşım en az iki elementin bir kombinasyonudur. Alaşımlarda, tipik olarak, birincil bileşen önce eritilir ve daha sonra diğer alaşımlar buna eklenir (Eoncoat Llc, 2019). Ancak elde edilen alaşımda hala arzu edilemeyen bir takım özellikler olabilir. Bu özellikler alaşım üzerine PTA işlemi ile kaplama yapılarak sağlanabilir. Kaplama işleminde farklı malzemeler kullanılmaktadır.

Bor Karbür ( $B_4C$ ), çok sert bir malzeme (Mohs sertliği >9) olduğu için kaplamalarda tercih nedenidir.  $B_4C$ , Elmas ve kübik bor nitrürün arasında bilinen en sert malzemelerden biridir. Yüksek sertliği, aşınma direnci, kırılma tokluğu, kimyasal kararlılık ve nötron emici gibi özelliklere sahiptir (Çelik ve Kilickap, 2019). Bor Karbür tozları reaksiyona bağlı, sıcak preslenmiş veya sinterlenmiş seramik

uygulamaları için kullanılabilir. Bu nedenle aşınma parçaları, gövde ve araç zırhı gibi endüstriyel parçalar için çok uygundur (Paradyne Lnc, 2019). Zhang ve ark., çalışmalarında farklı  $B_4C$  içerikli  $MoSi_2-B_4C$  kaplamalarını Nb alaşımı üzerinde kıvılcım plazma sinterleme (SPS) işlemi ile hazırlamışlardır. Kaplamada başlangıç malzemeleri olarak Mo, Si ve  $B_4C$ 'nin toz karışımlarını kullanılmışlardır.  $MoSi_2$  ve  $B_4C$  fazlarının yanı sıra, sinterleme sırasında Mo, Si ve  $B_4C$  tozlarının reaksiyonlarından dolayı kaplamalarda az miktarda SiC ve MoB de bulunduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca  $MoSi_2-B_4C$  kaplamaların mikroyapı gelişimi ve oksidasyon davranışları tartışılmışlardır (Zhang ve ark., 2018). Li ve ark., çeşitli  $B_4C$  partikül içeriğine sahip tavllanmış 2.8 mm kalınlıkta  $B_4C/6061Al$  kompozit malzemeleri (ağırlıkça % 15, 20, 25 ve 30), 1000 rpm'lik dönme ve 50-150 mm/dk'luk ilerleme hızlarında sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirmişlerdir. Kaynaklı bağlantılardaki sertliğin,  $B_4C$  içeriğinden etkilenmediğini, fakat kaynak hızlarından yüksek oranda etkilendiğini belirtmişlerdir (Li ve ark., 2018).

Farklı malzemeler ile ilgili yapılan çalışmalarda; Deng ve ark., aşınmaya dayanıklı bir Fe-Mo kaplamayı, öncü malzeme olarak saf Mo tozları kullanılarak -PTA işlemi ile AISI 1045 çelik yüzeyi üzerine kaplamışlardır. Kaplamanın mikroyapı, mikro sertlik ve aşınma direnci üzerine etkilerini enerji dağıtıcı spektrum (EDS), X-ışını difraksiyonu (XRD), Vickers sertliği ve disk üzerinde pim aşınma test cihazları ile elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelenmişlerdir. Kaplamanın, esas olarak hücresele R-Fe63Mo37 dendritlerden ve a-Fess matrisinde düzgün bir şekilde dağılmış az miktarda lamel R-Fe63Mo37 / a-Fess dendritlerinden oluşan hızlı bir şekilde katılmış mikroyapı gösterdiğini bulmuşlardır (Deng ve ark., 2018). Shiwei ve ark., bir ağırlıkça Ti-6wt %Al-4wt %V Ti64 alaşımlı numuneyi ısıtmak için uygulanan bir endüstriyel plazma ark ocağıyla yüzeyel ısı akışı dağılımının belirlenmesi ve uygulanması özetlemişlerdir. Uygulamalarını, endüstriyel

ölçekli bir plazma ark ocağı içinde gerçekleştirmişler ve numuneyi üst yüzeyin altına yerleştirerek 15 termokupl ile donatmışlardır. Numuneyi 278 saniye ısıtarak belli bir zaman aralığında sıvı havuzunun oluşmasını sağlamışlardır. Çalışma sonunda, ısı akısı dağılımından, genel olarak % 28'lik bir ısı transfer etkinliğini hesaplamışlardır (Shiwei ve ark., 2018). Naik ve ark., iş parçası malzemesi olarak çok yüksek dirençli çelik olan Hardox 400'ü kullanmışlardır. Plazma ark kesme işlemi sırasında kesme akımı, besleme gazı basıncı, kesme hızı ve Standoff mesafesi gibi parametreleri değiştirerek kesme kalitesini arttırmaya çalışmışlardır. Ayrıca en uygun kesme koşullarını bulmak için Taguchi analizi ile gözlem yapılmışlardır. Araştırma sonuçlarında; belirli girdi işlem parametresi aralığının gelişmiş işlenebilirliği sağladığını vurgulamışlardır (Naik ve ark., 2018). Frydman ve Pękalski çalışmalarında, kaynaklı Hardox 400 ve Hardox 500 çeliklerinin ısı etkisi altındaki bölgelerini ve bu bölgelerdeki sertlik değişimini incelemişlerdir. Bu çeliklerin ITAB bölgelerinde aşına direnci düşük olduğu gözlemlenmiştir. (Frydman ve Pękalski, 2008).

Bu çalışmada, PTA kaynak kaplama yöntemiyle, mikroalaşımli Hardox 400 çeliğin yüzeyi FeCrC, SiC, TiC ve B4C tozları kullanılarak alaşımlandırılmıştır. PTA yardımıyla sabit enerji girdisinde ve sabit işlem hızı hız değerleriyle oluşturulan kaplama tabakası koruyucu gaz atmosferinde uygulanmıştır. Oluşturulan bu tabakanın ve mikroalaşımli Hardox 400 çeliğin ara yüzeyi ve kaplama tabakası optik mikroskop, SEM, EDS ve XRD analizleriyle incelenmiş ve sertlik dayanımları tespit edilerek karşılaştırılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, yüzey kaplama işlemlerinde altlık malzemesi olarak, 10 mm x 10 mm x 100 mm boyutlarındaki mikroalaşımli Hardox 400 çeliğinden yararlanılmıştır. PTA kaynak kaplama yöntemi yapılmadan önce çelik numunelerin yüzeylerine parmak freze çakısıyla

1 mm derinliğinde ve 4 mm genişliğinde kanallar açılmıştır. Kanal açma işlemi tamamlanan numuneler aseton ile temizlenerek kurutulmuştur. Kurutulan yüzeylere kaplama malzemesi olarak SiC, B<sub>4</sub>C ve TiC gibi seramik tozları ile FeCrC alaşım tozu ilave edilmiştir. Deneysel altlık malzemesi olarak kullanılan Hardox 400 alaşım çeliği ile kaplama olarak kullanılan FeCrC alaşım tozunun özellikleri Tablo 1'de, kaplama olarak kullanılan SiC, B<sub>4</sub>C ve TiC seramik tozlarının özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Bu tozlar PTA yöntemi ile karıştırılarak preslenmiştir. Bu işlem esnasında tozların kanallardan uçmaması ve yayılmaması için diğer bir deyişle açılan kanallardaki tozların temas eden yüzeyden uzaklaşmaması için bir miktar Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> bağlayıcı ile kaplama yüzeyinde bekletilip 50 °C sıcaklıkta 30 dk kurutulma işlemi sağlanmıştır (Şekil 1).

Bu işlemden sonra PTA kaynak kaplama işlemiyle mikroalaşımli Hardox 400 çelik malzemenin yüzeyi Şekil 2'de ki gibi Tablo 3 verilen değişkenleri uyum olacak şekilde Fırat Üni. Tekn. Fak., Met. ve Malz. Müh. Bölümü laboratuvarında bulunan Ticari 1 marka PTA kaynak cihazı kullanılarak alaşımlandırılmıştır. Kaplama yapılırken Tablo 4'te ki parametrelerden faydalanılmıştır.

PTA metoduyla uygulanan yüzey kaplama işleminde imalat parametreleri Tablo 3'te gösterilmiştir. PTA kaynak metoduyla yüzey kaplama işlemleri 130 A de uygulanmıştır. Argon koruyucu gazının akışkan hacmi 25 lt/dak. ve plazma gazının akışkan hacmi 0,5 lt/dak olarak belirlenmiştir. PTA kaynak metoduyla uygulanan kaplama malzemesinin makro resmi Şekil 3' de verilmiştir. Kaplama işleminden sonra katılma sonucunda yüzeyde herhangi bir makro çatlak görülmemiştir. Mikroyapı analizleri için kaplama yüzeyinin orta kısmında 10 mm x 10 mm x 10 mm boyutlarında numuneler çıkarılmıştır. (Şekil 4). Metalografik aşamalardan geçirilen kaplama malzemeleri, mikroyapı testleri için Nital (%2 NHO<sub>3</sub> + %98 Etil alkol) çözeltisiyle dağlanmıştır.

Tablo 1. Hardox 400 çelik altlığı ile alaşım tozuna ait özellikler

Alaşım	Yapı Şekli	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)										
		Cr	C	B	Ni	Si	Mn	W	P	S	Mo	Fe
Hardox 400	Plaka	0.50	0.15	0.004	0.25	0.70	1.60	-	0.025	0.010	0.25	-
FeCrC	Toz	70.21	12.44	-	-	1.08	-	-	-	-	-	Diğ.

Tablo 2. Seramik tozlara ait özellikler

Seramik Tozlar	Safılık
B <sub>4</sub> C	%99.9
SiC	%99.9
TiC	%99.9

Tablo 3. PTA kaynak metoduyla kaplama işlem parametreleri

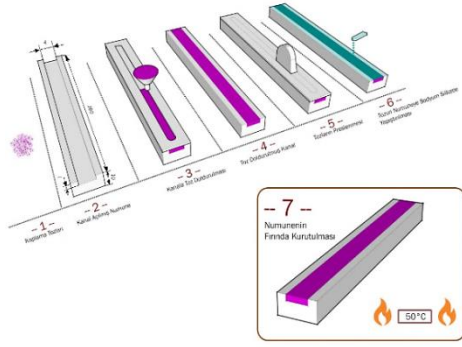
Numuneler	N1	N2	N3	N4
Akım (A)		130		
Gerilim (V)		18		
Koruyucu gaz debisi (m <sup>3</sup> /h)		25		
Plazma gaz debisi (m <sup>3</sup> /h)		0.5, Ar		
Elektrod çapı (mm)		4.7		
Elektrot Türü		% 2 thoryumlu tungsten elektrot		
İlerleme Hızı (m/dak)		0.15		
Torç Malzeme Arası Mesafe (mm)		3~ 4		
Torç Uç Çapı (mm)		3.25		
Set Back (mm)		4		
Isı Girdisi (KJ) Q		9.3		
Enerji Girdisi (KJ) Qw η:0.55		5.115		

Tablo 4. PTA kaynak kaplama numune parametreleri

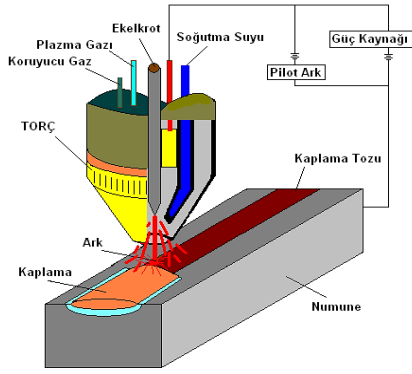
Numune Adı	Kaplanan Toz Oranı (Ağırlıkça % Bileşim)			
	B <sub>4</sub> C	FeCrC	SiC	TiC
N1	70	10	10	10
N2	55	15	15	15
N3	40	20	20	20
N4	25	25	25	25

Mikroyapı testleri için optik mikroskop SEM, bileşik analizleri için XRD ve EDS analizleri uygulanmıştır. Kaplama tabakasının sertlik dayanımları yan kesit yüzeyinin ara tabakasından başlanıp, 100 µm aralıklarla, Fırat Üni. Metalografi Lab. 'ında bulunan Dura schan 20 mikro sertlik cihazından alınmıştır.

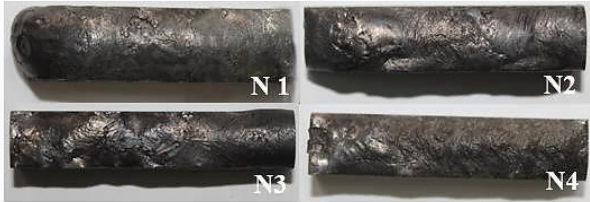
Numuneler N1-N2-N3- ve N4 olarak isimlendirildi. Numunelerin kaplama tabakasında kullanılacak toz karışım oranları Tablo 4 'de verilmiştir. Kaplama tozları ortogonal olarak kendi aralarında miktar olarak değişim göstermektedirler.



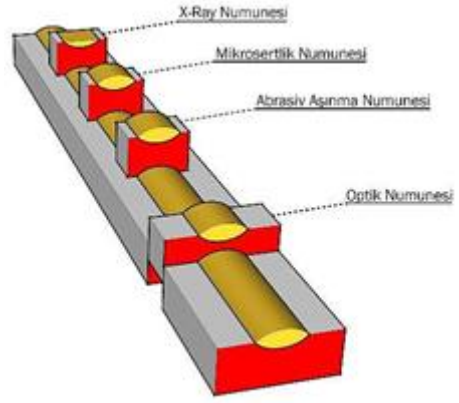
Şekil 1. Kaplama numunesinin kaynak işleme hazırlanması



Şekil 2. PTA kaynağı ile kaplama yönteminin şematik resmi (Gür ve Yıldız, 2008)



Şekil 3. Kaplama yapılmış numunelerin makro resimleri

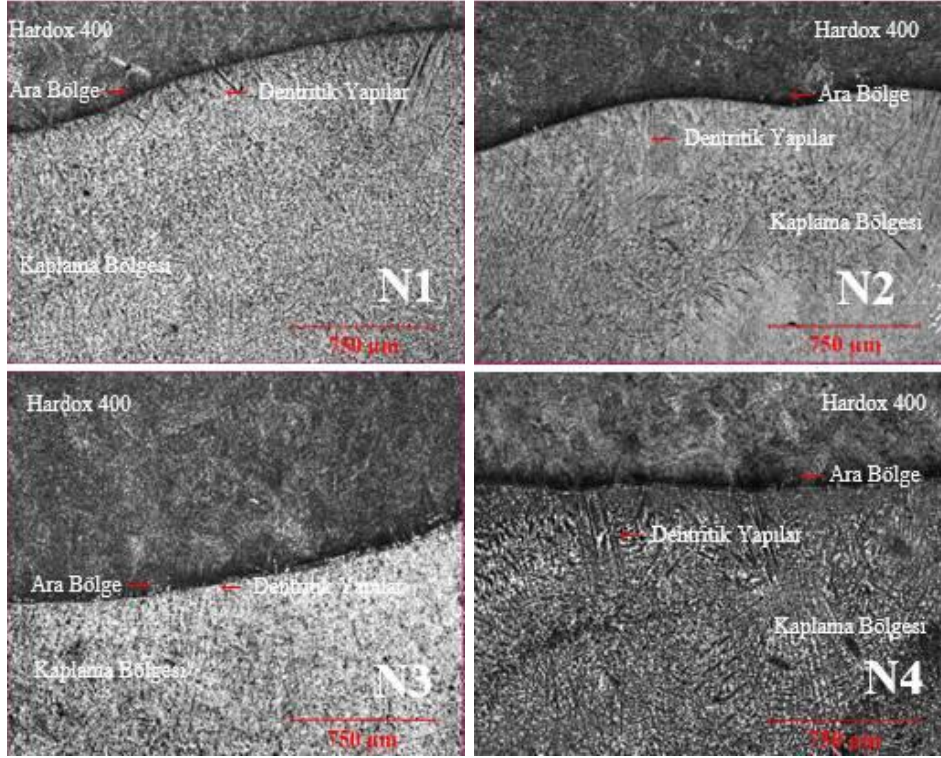


Şekil 4. İnceleme numunelerinin çıkarılışı

## Bulgular ve Tartışma

PTA metoduyla alaşımlandırılmış mikroalaşımli Hardox 400 çelik yüzeyi üzerinde oluşan kaplama tabakalarının mikroyapısı Şekil 8’de verilmiştir. Kaplama tabakalarının kalınlığı  $1.4 \pm 0.7$  mm’dir. Kaplama tabakası ile alt tabaka geçiş yapılarında dentritik katılaşmalar oluşmuştur. Katılaşma konumu kaplamanın alt tabakasında ara yüzeyine dik yöndedir.

PTA kaynak alaşımlama yönteminde verilen enerji oldukça yüksektir. Dolayısıyla verilen yüksek enerji girdisiyle kaplama tozları çözünerek, ergiyik havuz içerisinde katılaşma esnasında karbürler ve yeni bir faz meydana getirerek katılaşır. İşlem sırasında metal toz taneciklerin çözünmesi için uygun zaman ve sıcaklık olmadığında, taneler ergiyik havuz kısmında çözünmeden yapı içerisinde blok şeklinde katılaşır (Wang ve ark., 2005). Şekil 5’te verildiği gibi, B<sub>4</sub>C karbürü ve diğer metal tozları ile elde edilen kaplama tabakalarında, bütünü çözünerek yapıda homojen olarak katılaşma gerçekleşmiştir.

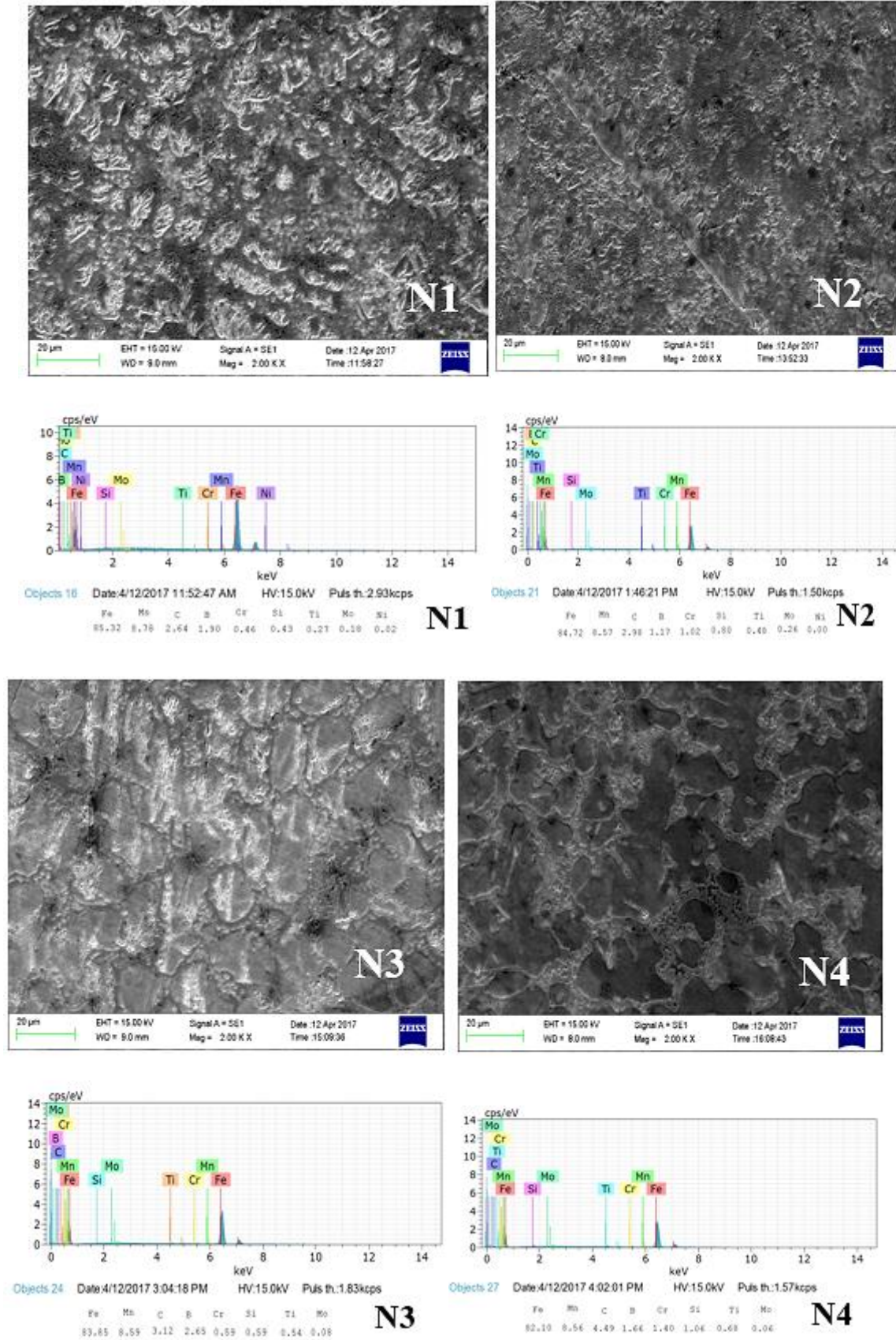


Şekil 5.  $B_4C$  toz karışımıyla oluşan kompozit kaplama / alt tabaka ara yüzeyinin optik görünüşleri

Üst yüzey bölgesine doğru gidildikçe kaplama tabakasının dentritik yapısı yerini martenzitik yapıya sahip fazların oluşmasına bırakmıştır.

PTA kaplama tabakasının oval bir şekil aldığı maksimum nüfuziyetin ortada belirginleştiği, kenar kısımlarına ise kalınlığın incelendiği görülmüştür. Bunun sebebi, enerji fazlalığının elektrod ucuna dik olan doğrultuda çok yoğun şekilde gelmesidir. Kaplama tabakalarından alınan genel EDS verileri göre N1 numaralı bileşime sahip yapıda Şekil 6 (N1)'de görüldüğü üzere dentritik yapılar meydana gelmiş numune B ve C elementlerini bünyesine alarak katılaşma oluşturmuştur. Şekil 6 (N2)'de dentritler arası ötektik matriste katılaşan fazlar

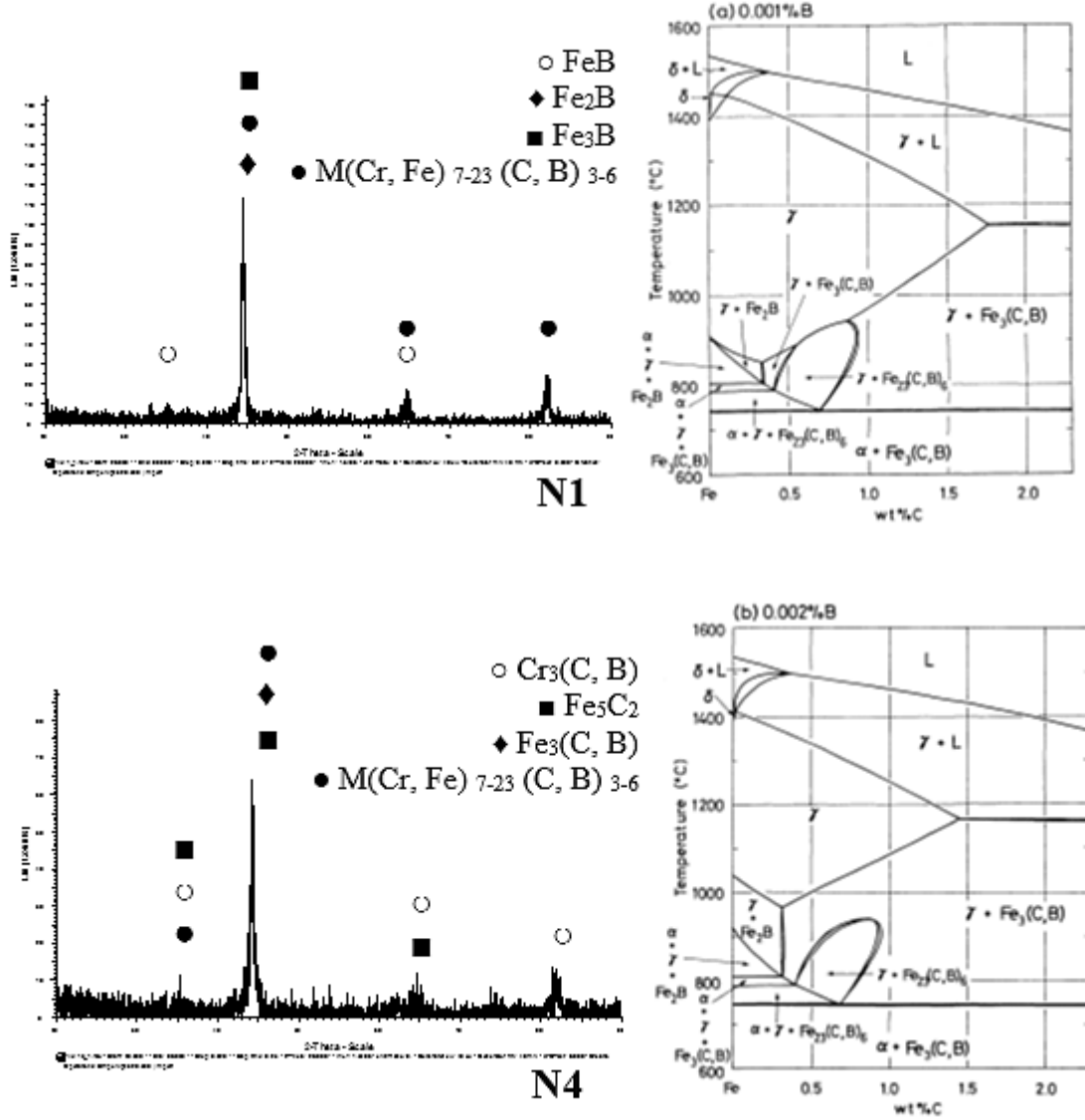
yapı kısmında belirtildiği gibi yoğundur. Katılaşma işlemi sonrasında katılaşma, dentit kolları şeklinde ana tabakadan yüzeye doğru ikincil ve az da olsa üçüncül dentritleri oluşturarak devam etmiştir. Şekil 6 (N3)'te oluşan yine dentritik bir katılaşma meydana gelirken tanelerin daha da büyüdüğü görülmektedir. Şekil 6 (N4)'te meydana gelen fazlar,  $B_4C$  oranındaki azalmasıyla birlikte dentrit kollarında daralma ve nisbeten daha büyük taneler ile katılaşma meydana gelmiştir. Yapıda bulunan karbürler ötektik yapı içinde dağılmıştır.



Şekil 6. Numunelerin kaplama tabakasının SEM ve EDS analizleri

Şekil 7'de, N1 ve N4 numaralı malzemelerin kaplama tabakalarından alınan XRD analizleri, kaplama tabakasında FeB, Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>(C,B), M(Cr,Fe)<sub>7-23</sub>(C,B)<sub>3-6</sub>, Cr<sub>3</sub>(C,B), Fe<sub>5</sub>C<sub>2</sub> fazları varlığını göstermektedir. Numunelerin kaplama

tabakalarından alınan Hv sertlik ortalamaları N1:591, N2:725, N3:570 ve N4:744 Hv değerlerinde çıkmıştır.

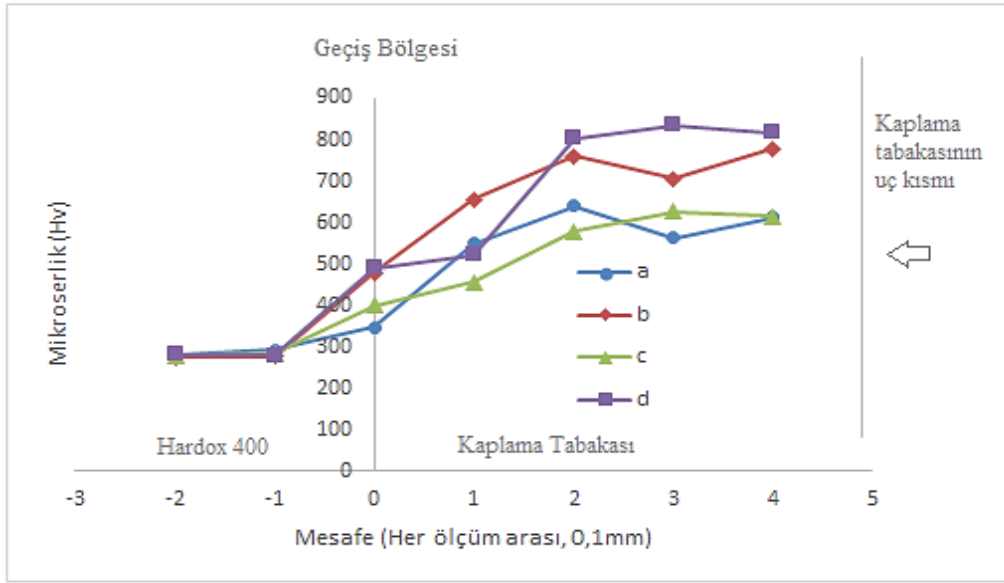


Şekil 7. N1 ve N4 numunesinin kaplama tabakasından alınan XRD analizi ve Fe-C-B üçlü faz diyagramı.

Yüksek enerji girdisine sahip PTA kaynak kaplama yönteminde kaplama tabakasında oluşan ve mikroyapılarda görünen karbürlerin varlığıyla sertlik değerleri artmıştır. Sertlik değerlerinin yüksek olmasında, oluşan sert

fazların etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca FeCrC, SiC, TiC ve B<sub>4</sub>C, kaynak havuzunda karbür bağlanma gücü fazla olan Cr ile yoğun bir karbür tabakası meydana getirmektedir. B<sub>4</sub>C ilavesiyle bu yapının daha fazla yükselmesine neden olmaktadır.





Şekil 8. Mikrosertlik değerleri

Şekil 8’de verilen Hv sertlik değerleri geçiş bölgesinden itibaren hızlı bir artış göstermektedir. Kaplama tabakasında oluşan ve XRD analizleriyle de tespit edilen sert karbür ve fazlar bu artışa sebep olmuştur. Geçiş bölgesinden yaklaşık 0.2 mm uzaklıktan itibaren sertlik 550–850 Hv ölçüm değerlerine kadar ulaşmıştır (Li ve ark., 2006). Kaplama tabakasında meydana gelen metalik ve karbür yapıların homojen dağılması sebebiyle, tabakada meydana gelen sertlik dağılımları tamamen dengeli bir hal almıştır.

## Sonuçlar

Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak kaplama yöntemiyle mikroalaşımli Hardox 400 çelik yüzeyinde FeCrC TiC, SiC ve B<sub>4</sub>C tozları başarılı olarak ergitilmiştir. Kaplama tabakasının makroyapısına göre hiçbir mikro ve makro çatlak oluşmamıştır. Yüzey kaplama için uygulanan FeCrC TiC, SiC ve B<sub>4</sub>C tozlarının hepsi PTA kaynağı enerjisi sonucunda ergitilerek katılma sonrası mikroyapıda FeB, Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>(C, B), Fe<sub>5</sub>C<sub>2</sub>, M(Cr,Fe)<sub>7-23</sub>, (C,B)<sub>3-6</sub>, Cr<sub>3</sub>(C,B) fazları oluşmuştur. Altlık malzemesinin sertliği 280 Hv iken oluşan karbürlerin sertliği maksimum 836 Hv ölçümleriyle N4 numaralı malzemede

incelenmiştir. Sertlik ölçümlerinin bu kadar fazla yükselmesinde kaplama tozunda var olan karbür oluşturuç tozların katılmasıyla kaplama tabakasında meydana gelen MC ve FeB, Fe<sub>3</sub>(C, B), Fe<sub>5</sub>C<sub>2</sub> (Gür, 2013; Yıldız ve Gür, 2011; Gür vd., 2014; Gürgeç ve Özel, 2016) bileşiklerinin oluşumu bu durumu oluşturmuştur. Sonuçta; Hardox 400 çeliğinin alt tabakaya göre kaplama tabakasındaki sertliğin daha yüksek olduğu incelenmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) TEKF-16.22 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- CommersaldS.P.A., <https://www.commersald.com/the-pta-process-plasma-transferred-arc.htm> , (10 Ocak 2019)
- Çelik, Y.H., Kilickap, E., (2019). Hardness and wear behaviours of Al matrix composites and hybrid composites reinforced with B<sub>4</sub>C and SiC, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 57(9-10), 613-622.
- Deng, X., Zhang, G., Wang, T., Ren, S., Bai, Z., Cao, Q., (2018). Investigations on microstructure and wear resistance of Fe-Mo alloy coating fabricated by plasma transferred

- arc cladding, *Surface and Coatings Technology*, 350, 480-487.
- Eoncoat Llc, <https://eoncoat.com/what-is-alloying/> , (10 Ocak 2019)
- Frydman, S., Pękalski, G, (2008). Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels. *Archives of civil and mechanical engineering*, 8(4), 15-27.
- Gur, A. K., Ozay, C., Orhan, A., Buytoz, S., Caligulu, U., Yigitturk, N., (2014). Wear Properties of Fe-Cr-C and B<sub>4</sub>C Powder Coating on AISI 316 Stainless Steel Analyzed by the Taguchi Method. *Materials Testing*, 56 (5), 393-398.
- Gur, A.K., (2013). Investigating the wear behaviour of FeCrC/B<sub>4</sub>C powder alloys coating produced by plasma transferred arc weld surfacing using the Taguchi method. *Materials Testing*, 55 (6), 462-467.
- Gürgeç, T., and 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).
- Gür, A.K., Yildiz, T, (2008). The Effect at Wear Behavior Of Coating Layer of Proportion Gases N<sub>2</sub> , *e-Journal of New World Sciences Academy*, 3(4),627-635.
- Ji, S., Duan, J., Yao, L., Maijer, D. M., Cockcroft, S. L., Fiore, D., Tripp, D.W, (2018). Quantification of the heat transfer during the plasma arc re-melting of titanium alloys, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 119, 271-281.
- Kumar Naik, D., Maity, K.P, (2018). An optimization and experimental analysis of plasma arc cutting of Hardox-400 using Taguchi based desirability analysis, *Materials Today: Proceedings*, 5, 13157–13165.
- 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 (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>/γ-Fe ceramal composite coating, *Applied Surface Science*, 252 (20), 7539-7544.
- Li, Y. Z., Wang, Q. Z., Xiao, B. L., Ma, Z. Y, (2018). Effect of welding parameters and B<sub>4</sub>C contents on the microstructure and mechanical properties of friction stir welded B<sub>4</sub>C/6061Al joints. *Journal of Materials Processing Technology*, 251, 305-316.
- Li, Yan, Ling, Wang, Chuansong, Wu, (2019). A novel unified model of keyhole plasma arc welding, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 133, 885-894.
- PanadyneInc, <http://www.panadyne.com/boroncarbidepowders.html>, (10 Ocak 2019)
- Zhang, P., Chen, C., Chen, Z., Ren, X., Shen, C., Feng, P, (2018). Reaction synthesis of spark plasma sintered MoSi<sub>2</sub>-B<sub>4</sub>C coatings for oxidation protection of Nb alloy. *Ceramics International*, 45(4), 4290-4297.
- Wang Xibao, Wang Xiaofeng, Shi Zhongquan, (2005). The composite Fe–Ti–B–C Coatings by PTA powder surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, 192 (2-3), 257-262.
- Yildiz, T., Gür,A., (2011). Microstructural characteristic of N<sub>2</sub> 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.

## **Alloying and Investigation of Microalloyed Hardox 400 Steel Surface by Plasma Transfer Arc Welding Method**

### **Extended abstract**

*In this study, the surface of the microalloyed Hardox 400 steel is alloyed with FeCrC, SiC, TiC and B<sub>4</sub>C powders using Plasma Transfer Arc welding method. The effect of the additional powders on the microalloyed Hardox 400 steel was investigated in the surface alloying process by PTA welding method. Coating layers of the alloyed samples; microstructure, SEM, EDS, XRD and Hv hardness were examined. As a result of these investigations, it was observed that the coating layer and the substrate produced a metallurgical bond and a significant increase in the hardness values was observed in the presence of FeCrC, SiC, TiC and B<sub>4</sub>C powders. FeCrC, TiC, SiC and B<sub>4</sub>C powders used for surface coating were all melted by PTA source energy and microstructure FeB, Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>(C,B), Fe<sub>5</sub>C<sub>2</sub>, M(Cr,Fe)<sub>7-23</sub>, (C,B)<sub>3-6</sub>, Cr<sub>3</sub>(C,B) phases were formed after solidification. In this study, 10 mm x10 mm x100 mm micro-alloy Hardox 400 steel was used as the base material for surface coating operations. Before the PTA welding coating method, channels were opened on the sample surfaces with a 1 mm deep and 4 mm wide finger milling machine. Afterwards, the surfaces of the sample and channels were cleaned and cleaned with acetone. The coating is pressed into the channel.*

*In the PTA welding alloying process, in order to prevent the dusts from flying from the channels, the powder is kept on the surface of the coating with a Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> binder and dried for 30 minutes at 50 °C in order to prevent the dusts from flying through the channels.*

*A macro picture of the coating material made by PTA welding method is given in Figure 3. As a result of solidification after coating, no macro cracks were observed on the surface. For microstructure investigations 10 mm x 10 mm x 10 mm samples were removed from the middle of the coating material. The coating materials, which are metallographic processes, are etched with Nital (2% NHO<sub>3</sub> + 98% Ethyl alcohol) solution for microstructure investigations.*

*For microstructure tests, optical microscope SEM was applied for XRD and EDS analysis for compound analysis.*

*The thickness of the coating layers is  $1.4 \pm 0.7$  mm. Dendritic solids were formed in the coating layer and the substrate transition structures. The solidification position is perpendicular to the interface in the lower layer of the coating. The energy supplied by the PTA welding alloying method is very high. Thus, the powder of the coating dissolves by means of the high energy input, and the melt solidifies by forming a new phase and carbides during solidification in the pool.*

*As the surface of the covering layer was moved towards the upper surface area, the dendritic structure was left to form martensitic phases. When the PTA coating layer has an oval shape, the max. it is observed that penetration has become apparent in the middle and the thickness has decreased in the edge regions. After solidification, solidification continued as secondary dendrites in the form of dendrite arms, forming a secondary and a few tertiary dendrites.*

*In the PTA welding coating method with high energy input, hardness values increased with the presence of carbides in the coating layer and appearing in microstructures. In the high hardness values, the formation of the hard phases formed was effective. In addition, FeCrC, SiC, TiC and B<sub>4</sub>C, the source pool with a high carbide binding strength chromium is formed with a dense carbide layer.*

*Plasma Transfer Arc (PTA) welding method has successfully melted FeCrC TiC, SiC and B<sub>4</sub>C powders on the Hardox 400 steel surface. According to the macro structure of the coating layer, no micro and macro cracks were formed.*

**Keywords:** B<sub>4</sub>C; FeCrC; Plasma Transfer Arc; SiC; tic; Surface Alloying