PTA İLE ÜRETİLEN Cr_3C_2+SiC-ESASLI KAPLAMALARIN MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

M. Mustafa Yıldırım[1], Serkan Islak[2], Mustafa Ulutan[3], Muzaffer Karagöz[4], Soner Buytoz[5]

[1]Dumlupınar Üniversitesi Müh. Fakültesi Makine Müh. Bölümü, 43100, Kütahya, mmyildirimprof@gmail.com
[2]Kastamonu Üniversitesi Cide Rıfat Ilgaz Meslek Yük. Okulu, 37100, Kastamonu, sislak@kastamonu.edu.tr
[3]Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, 26030, Eskişehir, mulutan@ogu.edu.tr
[4]Bartın Üniversitesi Müh. Fakültesi Met. ve Malzeme Müh. Bölümü, 74100, Bartın, mkaragoz@bartin.edu.tr
[5]Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 23100, Elazığ, sbuytoz@firat.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Cr_3C_2 ve SiC toz karışımının AISI 304 paslanmaz çeliği yüzeyine plazma transferli ark kaynak yöntemi ile kaplanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Elde edilen kaplamalarda SiC oranı ağırlıkça % 0-100 arasında değiştirildi ve mikroyapı ve sertlik üzerine SiC'ün etkisi deneysel olarak araştırıldı. Kaplama tabakasının mikroyapısı ve mikrosertlik testi, optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD), X ışını enerji dağılım spektrometresi (EDS) ve mikrosertlik test cihazı ile incelenmiştir. Yüzeyden alt tabakaya doğru kaplama derinliği boyunca mikrosertlik değişimleri tespit edildi. Mikroyapıda oluşan γ-(Fe, Ni), Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, Fe_5C_2, Cr_3Si, $CrSi_2$, $Fe_{0.64}Ni_{0.36}$, $CFe_{15.1}$, C-(Fe, Cr)-Si fazlarının varlığında kaplama tabakalarının sertlik değerlerinde belirgin bir şekilde yükselme olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma transferli ark kaynak yöntemi (PTA), Cr_3C_2+SiC kaplamaları, sert kaplama

MICROSTRUCTURE PROPERTIES OF Cr_3C_2+SiC-BASED COATING PRODUCED BY PTA PROCESS

ABSTRACT

In this work it has been aimed the investigation of the ability for cladding of AISI 304 stainless steel with Cr_3C_2 and SiC powder mixture by use of plasma transferred arc welding process. SiC rate in produced coated layer was changed between 0-100 wt.% and the effect of SiC in chosen mixture on the microstructure and hardness of the coating was tested experimentally. The microstructure and micro hardness of coating layer were investigated by using of optical microscope (OM), scanning electron micrograph (SEM), X-ray diffraction analysis (XRD), energy-dispersive X-ray analysis (EDS) and micro hardness tester. It has been observed that through the forming of hard phases; such as γ-(Fe, Ni), Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, Cr_3Si, $CrSi_2$, $Fe_{0.64}Ni_{0.36}$, $CFe_{15.1}$, C-(Fe, Cr)-Si, the hardness of coated layer was increased clearly.

Key words: Plasma transferred arc weld-surfacing (PTA), Cr_3C_2+SiC coating, hardfacing.

1. GİRİŞ

Metalik malzemeler, çalışma koşullarında maruz kaldıkları aşınma, korozyon ve yorulma gibi mekanizmalara karşı yüzey modifikasyonu işlemlerine tabi tutulurlar. Bu yüzden bu işlemler araştırmacıların odak noktası haline gelmiştir (Zhang vd., 2007). Yüzey modifikasyonu işlemleri, geleneksel ısıl işlemler haricinde yüzeyde kaplama katının oluşturulduğu yüzey kaplama tekniklerini içerir. Yüzey kaplama tekniklerinin diğer ısıl püskürtme, iyon

kaynaklı kaplama ve kimyasal esaslı ısıl işlemlerden farkı; kaplama tabakasının alt malzemeye kuvvetli metalurjik bir bağla bağlanmasıdır. Bu sebeple lazer esaslı ve plazma esaslı kaplama teknolojisi hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Fakat yüzey kaplama endüstrisinde kullanılan lazer teknolojisinin pahalı ve verimliliğinin düşük olması onun bu endüstride kullanımını sınırlandırmaktadır. Son zamanlarda düşük maliyet ve etkili performansından dolayı plazma transferli ark (PTA) kaynak yöntemi daha aktif olarak kullanılmaktadır (Silva vd., 2006). PTA kaplama yöntemi, yüksek sıcaklık özelliği (yaklaşık 20.000-30.000°C), yüksek enerji yoğunluğu ve düşük enerjis girdisi (10^5-10^6 Wcm^{-2}) gibi avantajlara sahiptir (Cheng vd., 2008).

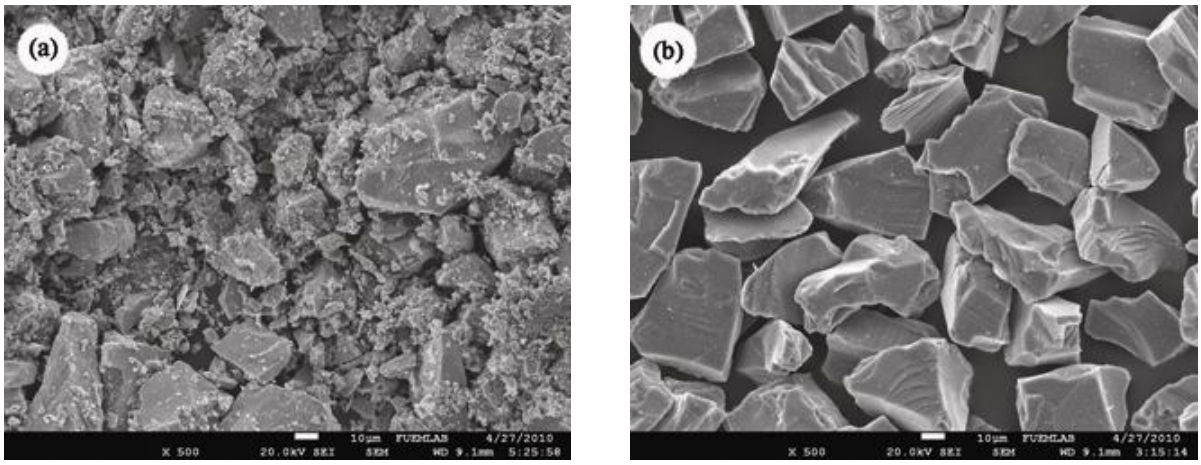
Literatürde bu konu ile ilgili yoğun çalışmalar yapılmıştır. Dawei ve arkadaşları (1998) CO_2 lazer sistemini kullanarak AISI 1045 çeliği yüzeyinde ağırlıkça % 50 Cr_3C_2 partikül takviyeli Ni esaslı kompozitleri üretmişlerdir. Nikel matristeki çözünmemiş haldeki Cr_3C_2 partiküllerin varlığı, ince ötektikler tarafından kuşatılmış yoğun dendritlerin oluşumu, kompozit kaplamanın katılaşması esnasında Cr_7C_3, $Fe_{23}(C,B)_6$ bileşiklerinin çökelmesi, kompozit kaplamanın mukavemet kazanmasının temel faktörlerindendir (Dawei vd., 1998). Sudha ve arkadaşları (2008) Ni-Cr-B-Si alaşım tozlarını AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine plazma transferli ark kaynak yöntemini kullanarak kaplamışlardır. Bu kaplamanın mikroyapı ve mikrokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Mikroyapıda γ-Ni katı çözeltisi dışında birincil faz olan Cr_2B, Cr_7C_3 ve Cr_3C_2 karbür ve börürler gözlenmiştir. Yapıdaki sert fazların kaplama sertliğini yaklaşık HV 700 seviyesine çıkardığı tespit edilmiştir (Sudha vd., 2008). Yun ve Lee (2005) östenit matris içinde dağılmış halde bulunan sert Cr_7C_3 karbürlerinin aşınma direncini ve sertliği arttırdığını tespit etmişlerdir (Yun ve Lee, 2005). Luo ve arkadaşları (2007) Cr_3C_2-Ni_3AI kompoziti ve Stellite 12 alaşımının aşınma davranışını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma Cr_3C_2 ve Cr_7C_3 gibi seramik fazların varlığının aşınmayı iyileştirdiğini belirlemişlerdir (Luo vd., 2007) Huang ve arkadaşları (2008) Ni-esaslı alaşım + % 30 Cr_3C_2 kompozit toz karışımını Q235 karbonlu çeliğinin yüzeyine plazma transferli ark kaynak yöntemini kullanarak kaplamışlardır (Huang vd., 2008).

SiC partiküllerinin 45Mn5 ıslah çeliği yüzeyine GTA yöntemi kullanılarak yapılan kaplama tabakasının mikroyapısında M_7C_3, M_2C ve $FeSi_2$ metalografik fazlarının varlığında parçaların aşınma direncinde ve sertlik değerlerinde yükselme olduğu tespit edilmiştir (Islak ve Yıldırım, 2009). Buytoz ve Ulutan (2006) AISI 304 paslanmaz çeliği yüzeyine farklı miktarlarda SiC tozunu GTA kaynak tekniğini kullanarak kaplamışlardır. Mikroyapıda M_7C_3 birincil karbürleri oluşmuş ve bu karbürlerden dolayı kaplama tabakasının sertliğinin HV 890- 1210 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Buytoz ve Ulutan, 2006). Guo ve arkadaşları (2008) farklı ince ve kaba tane boyutuna sahip SiC tozunu düşük karbonlu çelik yüzeyine plazma ergitme enjeksiyon işlemi ile kaplamışlardır. Alt malzemeye oranla kaplamanın sertliği ve aşınma direnci yükselmiştir. Kaba taneli SiC ile yapılan kaplamanın aşınma direcinin ince taneli SiC ile yapılan kaplamanın aşınma direncine oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Guo vd., 2008).

Bu çalışmanın amacı, plazma transferli ark (PTA) kaynaklı kaplama yöntemini kullanarak AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyinde Cr_3C_2+SiC sert kaplamalarını üretmektir. Kaplamanın mikroyapı karakterizasyonu ve kimyasal bileşimi, optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X ışın difraktogramı (XRD), enerji dağılımlı spektogram (EDS) analizlerini kullanarak tespit edilecektir. Cr_3C_2 tozuna farklı miktarlarda SiC tozu ilave edilerek mikroyapı ve sertik değişimi incelenmeye çalışılacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

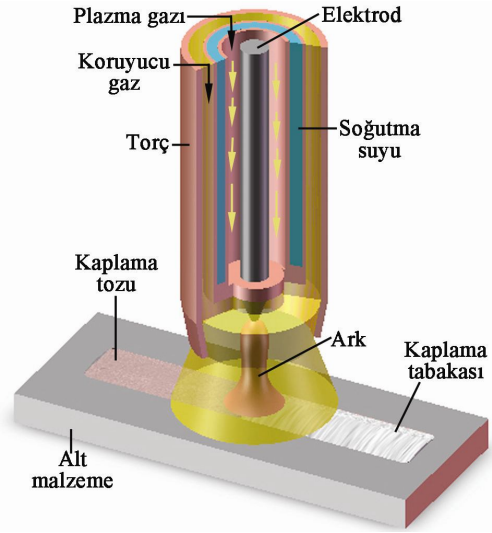
Yüzey kaplama işlemlerinde alt tabaka malzemesi olarak, 100x20x10 mm^3 ölçülerindeki AISI 304 paslanmaz çelik (% 0.035 C, % 0.40 Si, % 18.57 Cr, % 8.73 Ni ve gerisi Fe) kullanılmıştır. Plazma transferli ark kaplama yöntemi öncesinde, paslanmaz çelik malzemelerinin yüzeyleri aseton ile temizlenerek kurutulmuştur. 3,5 mm genişlik ve 1,5 mm derinliğine sahip kanallar açılarak, kaplama tozlarının kanallara yerleştirilmesi sonrasında alkol ile karıştırılarak sıvanmıştır. Kaplama tozları olarak Cr_3C_2 (% 24.07 C ve % 75.93 Cr) ve SiC (% 27.65 C ve % 72.35 Si) tozları kullanılmıştır. Her bir tozun SEM görünüşü Şekil 1' de verilmiştir. Plazma kaynak yüzey kaplama yönteminde kullanılan argon koruyucu gaz debisinden dolayı sıvanan yüzeyden uzaklaşmaması için bir miktar bağlayıcıyla kaplama yüzeyinde tutulup 50 °C sıcaklıkta 1 saat kurutulmuştur. Son olarak Tablo 1'de gösterilen üretim parametreleri kullanılarak kaplama işlemi yapılmıştır. Şekil 2'de PTA ile yüzey kaplama işleminin prensip şeması görülmektedir.



Şekil 1: Kaplamada kullanılan tozların SEM morfolojisi; (a) Cr_3C_2, (b) SiC

Tablo 1: *Kaplama tozu karışım oranları ve üretim parametreleri*

Numune no	Kaplama tozu karışımı	Koruyucu gaz akış oranı, Ar (l/dak.)	Plazma gazı akış oranı, Ar (l/dak.)	Üretim Hızı (mm/s)
1	Cr_3C_2	15	0,2	2,2
2	Cr_3C_2 - % 25 SiC			
3	Cr_3C_2 - % 50 SiC			
4	SiC			



Şekil 2. PTA kaynağı ile kaplama yönteminin şematik resmi

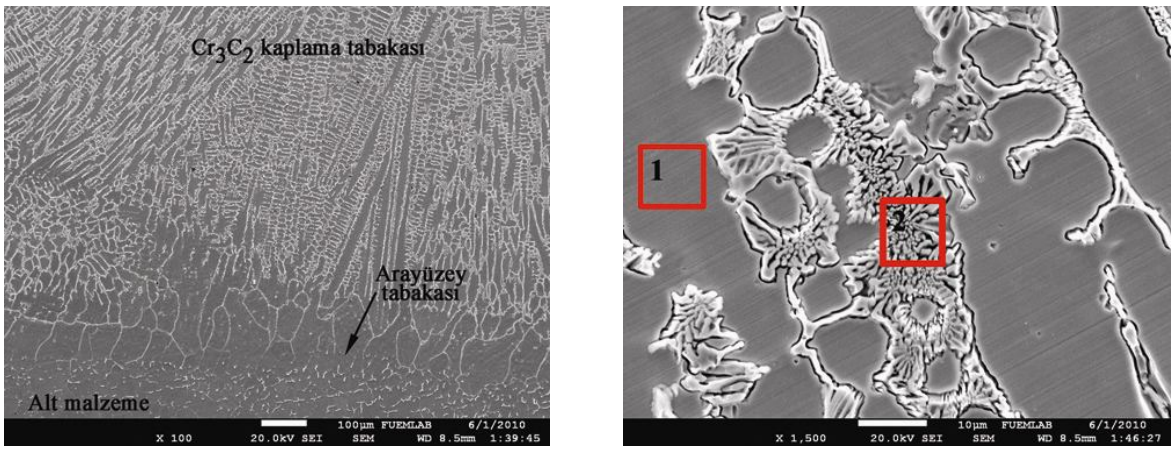
Mikroyapı incelemeleri için kaplama malzemesinin orta bölgesinden 10 mm x 10 mm x 10 mm ebatlarında numuneler çıkarılmıştır. Metalografik işlemlerden geçirilen kaplama malzemeleri, mikroyapı incelemeleri için dağlayıcı olarak % 50 HNO_3 + %50 alkol kullanılarak elektrolitik olarak dağlanmıştır. Mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop (OM) taramalı elektron mikroskobu (SEM), faz analizleri için X-ışını difraksiyonu (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS) faydalanılmıştır. Sertlik ölçümü kaplamanın üst yüzeyinden

alt malzemeye doğru bir hat boyunca 250 µm aralıklarla 10 sn bekleme süresinde ve 200 gr yük ile Future-Tech FM 700 marka mikrosertlik cihazıyla yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

PTA kaynak yöntemiyle AISI 304 paslanmaz çeliği yüzeyinde üretilen Cr_3C_2 + SiC kaplamalarının mikroyapıları sırasıyla Şekil 3-Şekil 6'da gösterilmiştir. SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi kaplamalar tamamen çatlaksız ve homojendir. Ara yüzeyde düzlemsel yapı, kaplama yüzeyine doğru sırasıyla hücreli yapı, sütunsal ve farklı yönlenmelere sahip dendritler oluşmuştur. Bu yapı değişimi PTA ergiyik havuzundaki metalik sıvının katılaşma oranı (R) ve sıcaklık gradyenti (G) ile ilgilidir (Huang vd., 2008). Sıcaklık gradyentinin yüksek, katılaşma oranının düşük olduğu alt malzeme ile kaplama katı arasındaki ara yüzey tabakasında G/R oranı oldukça yüksektir. Bu yüzden ara yüzeyde düzlemsel (planar) yapı mevcuttur. Ara yüzeyin düzlemsel yapıda olması alt malzeme ile kaplama katının metalurjik olarak mükemmel bağlandığının göstergesidir. Düzlemsel katılaşmadan sonra katılaşma oranı hızlıca artar ve başlangıçta maksimum seviyede olan sıcaklık gradyenti hızlıca düşer. Sonuçta G/R oranı düşer ve hücreli yapı oluşumu meydana gelir. Hücreli katılaşmadan sonra dendriritik katılaşma meydana gelir. Yüzeye yakın kısımlarda dendritlerin yönlerinde ve boyutlarında farklılaşma meydana gelir (Hidouci vd., 2000; Li vd., 1999; Kwok vd., 2000). Dendritlerin rastgele yönlü katılaşması, kaplama işlemi esnasında koruyucu atmosferin konveksiyon ve marangoni etkileri ile meydana gelmektedir (Selvan vd., 1999; Thawari vd., 2003).

Cr_3C_2 esaslı kaplamanın (1 nolu) EDS analizi Şekil 3b'de ki 1 ve 2 bölgelerinden alınmıştır. EDS analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Mikroyapı dendtritler ve dendritlerarası ötektiklerden oluşmuştur. % 100 Cr_3C_2 metalik tozu ile yapılan PTA kaplamasının kaplama tabakasında Cr_3C_2 tamamen çözünmüştür. Bu durumu 1 nolu numunenin XRD grafiği de desteklemektedir (Şekil 7). Kaplama tabakasında mikroyapıdaki elementler kısmi olarak dağılmıştır. Bu durum çeliklerin hızlı katılaşmasından kaynaklanmaktadır (Conde vd., 2000).



(a) (b)

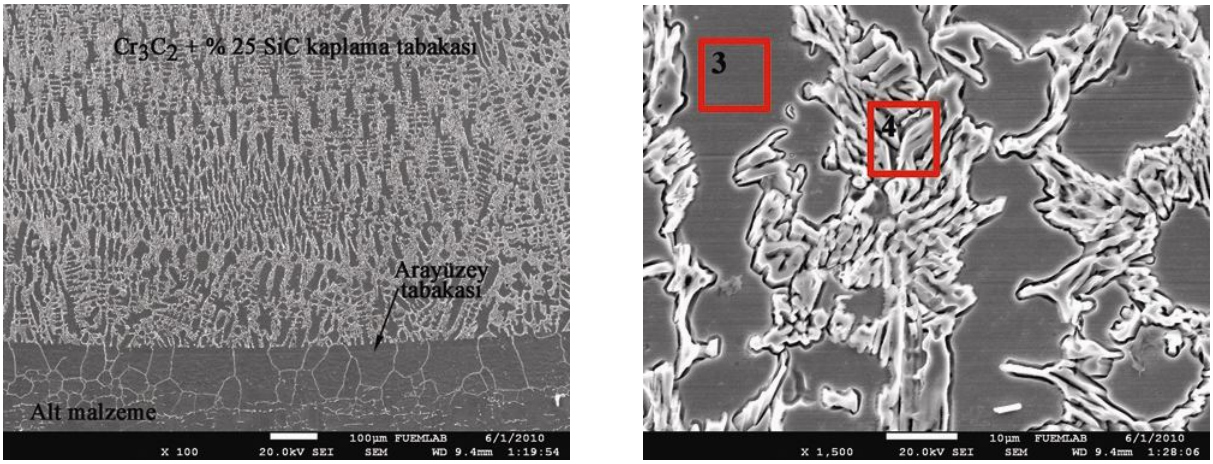
Şekil 3: 1 nolu numunenin SEM görünümü

Tablo 2: 1 nolu kaplama için 1 ve 2 noktasının EDS analizi

Fazlar	Kimyasal bileşim (% ağ.)				
	C	Si	Cr	Fe	Ni
1 noktası	2.37	-	22.90	64.98	9.74
2 noktası	11.04	-	44.11	40.52	4.33

2 nolu numunede % 25 SiC ilavesi ile dendritler arası ötektik yapıların yoğunluğu artmıştır. Tablo 3'de dendrit (3 noktası) ve dendritler arası ötektiklerin (4 noktası) EDS analizi verilmiştir. Hem EDS hem de Şekil 7'deki XRD analiz sonuçlarından mikroyapıda Cr_3C_2 ve SiC'ün tamamen çözündüğü anlaşılmaktadır. SiC ilavesiyle 1 nolu kaplamaya nazaran mikroyapıda Cr_3Si ve $CrSi_2$ silislerinin oluştuğu XRD analizleri ile tespit edilmiştir.

Wang ve Duan (2002) argon koruyucu atmosferinde CO_2 lazeriyle düşük karbonlu çelik üzerinde Cr-Si-Ni elementel tozları ergitilmiştir. Mikroyapıda yoğun olarak Cr_3Si sislislerinin varlığı belirlenmiştir (Wang ve Duan, 2002).



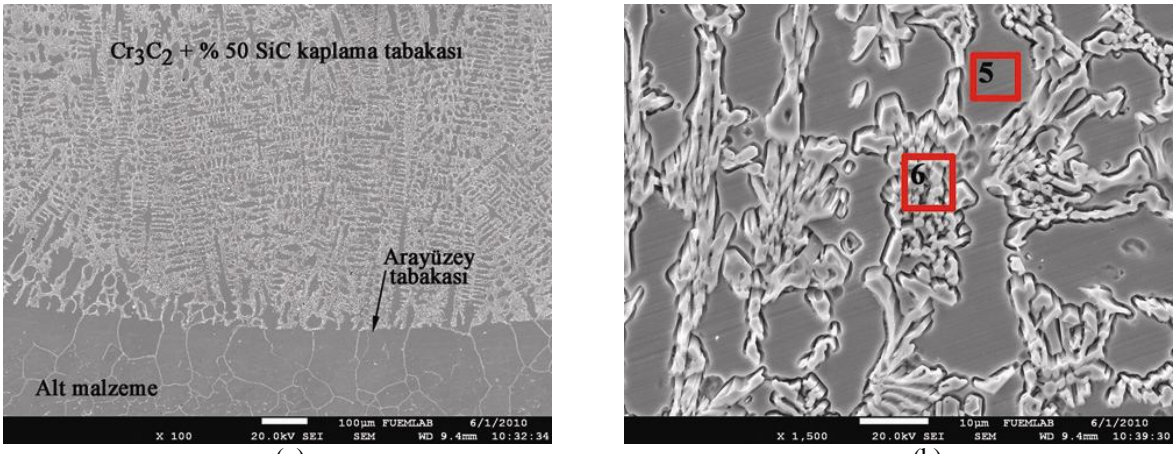
(a) (b)

Şekil 4: 2 nolu numunenin SEM görünümü

Tablo 3: *2 nolu kaplama için 3 ve 4 noktasının EDS analizi*

Fazlar	Kimyasal bileşim (% ağ.)				
	C	Si	Cr	Fe	Ni
3 noktası	2.15	2.19	18.67	68.65	8.33
4 noktası	10.72	0.27	57.23	30.17	1.61

Cr_3C_2 + % 50 SiC esaslı PTA kaplamasının SEM fotoğrafları Şekil 5'de görülmektedir. SEM fotoğraflarından görüldüğü gibi ara yüzeyde planar, kaplama yüzeyine doğru hücreli, sütunlu dendrit ve farklı yönlenmiş dendritler oluşmuştur. Mikroyapı diğer numunelerde olduğu gibi dendrit ve dendritler arası ötektiklerden oluşmuştur. Tablo 4'de 3 nolu kaplamada oluşan dendrit ve dendritler arası ötektik yapılarının EDS analiz sonuçları verilmiştir. 2 nolu ve 3 nolu kaplamaları SiC ilave miktarına göre karşılaştırdığımızda; bu oran paralelinde Si miktarında da artış olmuştur. 2 nolu kaplamada dendrit bölgesinde Si miktarı % 2.19 iken, 3 nolu kaplamanın dendrit bölgesinde bu oran % 3.29'dur. 3 nolu kaplamamızda XRD analiz sonuçlarına göre yine Cr_3Si ve $CrSi_2$ silisleri oluşmuştur.



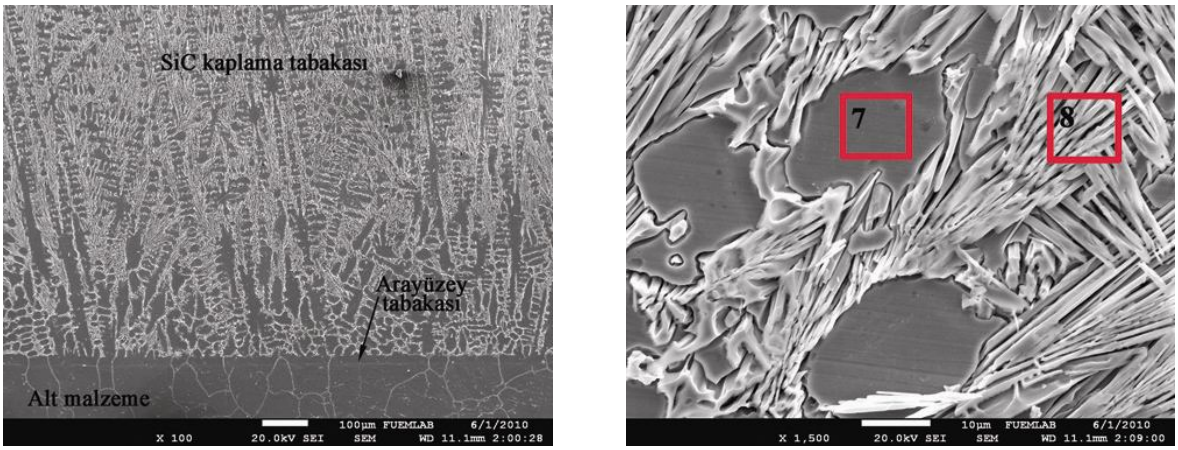
(a) (b)

Şekil 5: 3 nolu numunenin SEM görünümü

Tablo 4: *3 nolu kaplama için 5 ve 6 noktasının EDS analizi*

Fazlar	Kimyasal bileşim (% ağ.)				
	C	Si	Cr	Fe	Ni
5 noktası	2.91	3.29	18.80	66.58	8.42
6 noktası	9.06	0.88	38.56	46.85	4.65

% 100 SiC ilavesiyle üretilen PTA kaplamasının SEM fotoğrafı Şekil 6'da görülmektedir. Kaplama tabakası ile alt malzeme arasında beyaz bir bant tabakası oluşmuştur. Bu tabaka kaplama tabakasının alt malzemeye metalurjik olarak çok iyi bağlandığını gösterir (Buytoz, 2006). Mikroyapı diğer kaplamalarda da (1, 2 ve 3 nolu kaplama) olduğu gibi dendrit ve dendritler arası ötektiklerden oluşmuştur. % 100 SiC ilavesinden dolayı $CrSi_2$ ve Fe_5SiC fazları yapıda oluşmuştur. Şekil 6b'de de görüldüğü gibi Fe_5SiC (Demir silikokarbür) lamelli yapıdadır. Fe_5SiC, sementitin dönüşümüyle oluşan amorf bir fazdır (Syugaev vd., 2009).

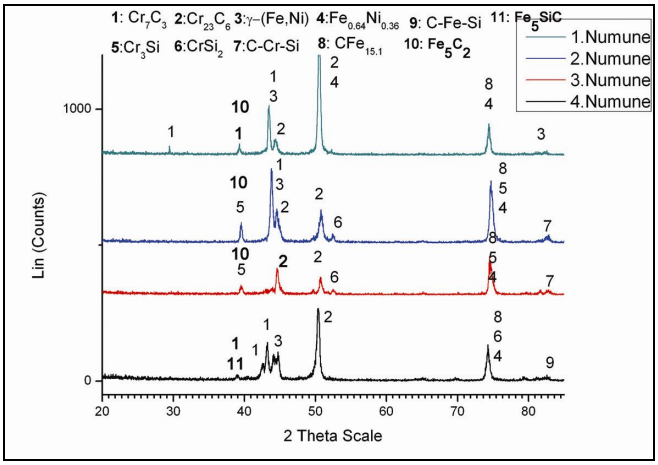


(a) (b)

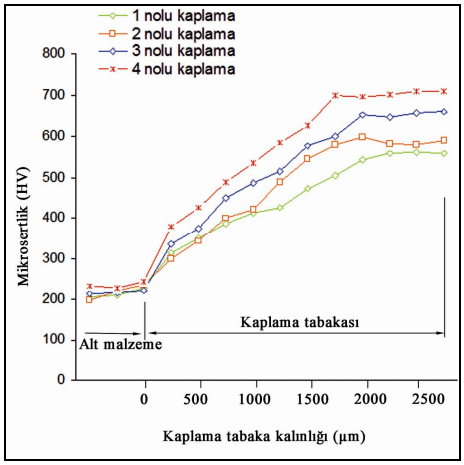
Şekil 6: 4 nolu numunenin SEM görünümü

Tablo 5: *4 nolu kaplama için 7 ve 8 noktasının EDS analizi*

Fazlar	Kimyasal bileşim (% ağ.)				
	C	Si	Cr	Fe	Ni
7 noktası	2.68	3.61	17.89	67.32	8.50
8 noktası	12.95	-	52.11	33.40	1.55



Şekil 7: PTA kaplamalarının XRD grafiği



Şekil 8: Kaplamaların mikrosertlik değişim grafiği

PTA ile üretilen 1, 2, 3 ve 4 nolu kaplamaların kaplama yüzeyinden alt malzemeye doğru mikro sertlik değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Alt malzemeden kaplama tabakasının yüzeyine doğru alınan mikrosertlik değerlerinde bir artış gözlenmiştir. PTA ile kaplama işlemi neticesinde alt malzemeye oranla 2-3 kat daha sert olan bir kaplama tabakası elde edilmiştir. 1, 2, 3 ve 4 nolu kaplamaların maksimum mikrosertlikleri sırasıyla 560 $HV_{0.2}$, 598 $HV_{0.2}$, 662 $HV_{0.2}$ ve 711 $HV_{0.2}$ olarak değişmiştir. Artan SiC ilavesiyle mikrosertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu değişimin nedeni artan SiC ilavesiyle mikroyapıda oluşan $CrSi_2$, Cr_3Si ve Fe_5SiC fazlarının varlığı ve hızlı katılaşmayla oluşan mikroyapı değişimidir. Bu oluşan fazlar γ-(Fe,Ni) matriste takviye elemanı özelliği göstererek sertlikte artış meydana getirmiştir (Wang ve Duan, 2003).

4. GENEL SONUÇLAR

Plazma transferli ark (PTA) kaynak yöntemini kullanarak AISI 304 paslanmaz çeliği üzerinde çatlaksız ve gözeneksiz Cr_3C_2 + SiC esaslı sert kaplamalar üretilmiştir. Elde edilen kaplama tabakası alt malzemeye metalurjik olarak mükemmel bağlanmıştır. Kaplama tabakasında sıcaklık gradyenti ve katılaşma oranına bağlı olarak farklı şekillerde dendritler ve dendritlerarası ötektikler oluşmuştur. XRD analiz sonuçlarına göre mikroyapıda Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, Fe_5SiC, Cr_3Si, $CrSi_2$, Fe_5C_2, $CFe_{15.1}$, C-(Fe, Cr)-Si, γ-(Fe, Ni) ve $Fe_{0.64}Ni_{0.36}$ karbür, silis ve kompleks fazları oluşmuştur. PTA işlemi ile üretilen kaplamaların mikrosertliğinde alt malzemeye oranla 2-3 katlık bir artış ölçülmüştür. SiC ilavesi artışıyla mikrosertik artmıştır. Bunun sebebi ise mikroyapıda oluşan $CrSi_2$, Cr_3Si ve Fe_5SiC gibi metalografik fazlarının varlığıdır.

5. KAYNAKLAR

1. Buytoz, S., Microstructural properties of M_7C_3 eutectic carbides in a Fe-Cr-C alloy, Materials Letters 60, 605-608, 2006
2. Buytoz, S., Ulutan, M., In situ synthesis of SiC reinforced MMC surface on AISI 304 stainless steel by TIG surface alloying, Surface and Coatings Technology 200, 3698–3704, 2006
3. Cheng, J.B., Xu, B.S., Liang, X.B., Wu, Y.X., Microstructure and mechanical characteristics of iron-based coating prepared by plasma transferred arc cladding process, Materials Science and Engineering: A 492, 407-412, 2008
4. Conde, A., Colaco, R., Vilar, R., Damborenea, J., Corrosion behaviour of steels after laser surface melting, Materials & Design 21, 441-445, 2000
5. Dawei, Z., Li, T., Lei, T.C., Laser cladding of Ni-Cr_3C_2/(Ni+Cr) composite coating, Surface and Coatings Technology 110, 81-85, 1998
6. Guo, M., Liu, A., Zhao, M., Hu, H., Wang, Z., Microstructure and wear resistance of low carbon steel surface strengthened by plasma melt injection of SiC particles, Surface and Coatings Technology 202, 4041-4046, 2008
7. Hidouci, A., Pelletier, J. M., Ducoin, F., Dezert, D., Guerjouma, R.E., Microstructural and mechanical characteristics of laser coatings, Surface and Coatings Technology 123, 17-23, 2000
8. Huang, Z., Hou, Q., Wang, P., 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, 2008
9. Islak, S., Yıldırım, M.M., The investigation of wear behaviours of $SiC_{(p)}$- based coatings produced by GTA welding process, e-Journal of New World Sciences Academy, E-Journal with International Referee 4-2, 227-237, 2009
10. Kwok, C.T., Cheng, F.T., Man, H.C., Laser surface modification of UNS S31603 stainless steel. Part I: microstructures and corrosion characteristics, Materials Science and Engineering A 290, 55-73, 2000
11. Li, Q., Lei, T.C., Chen, W.Z., Microstructural characterization of WC_p reinforced Ni-Cr-B-Si-C composite coatings, Surface and Coatings Technology 114, 285-291, 1999
12. Luo, H., Karin, G., LI, S., Cao, X., Zhang, X., Feng, D., Li, C., Abrasive Wear Comparison of Cr_3C_2/Ni_3Al Composite and Stellite 12 Alloy Cladding, Journal of Iron and Steel Research, International 14, 15-20, 2007
13. Selvan, J.S., Subramanian, K., Nath, A.K., Kumar, H., Ramachandra, C., Ravindranathan, S.P., Laser boronising of Ti-6Al-4V as a result of laser alloying with pre-placed BN, Materials Science and Engineering: A 260, 178-187, 1999

14. Silva, M.A.M., Martinelli, A.E., Alves Jr., C., Nascimento, R.M., Tavora, M.P., Vilar, C.D., Surface modification of Ti implants by plasma oxidation in hollow cathode discharge, Surface and Coatings Technology 200, 2618-2626, 2006
15. Sudha, C., Shankar, P., Subba Rao, R.V., Thirumurugesan, R., Vijayalakshmi, M., Raj, B., Microchemical and microstructural studies in a PTA weld overlay of Ni-Cr-Si-B alloy on AISI 304L stainless steel, Surface and Coatings Technology 202, 2103-2112, 2008
16. Syugaev, A.V., Lomaewa, S.F., Maratkanova, A.N., Surnin, DV., Reshetnikov, S.M., Electrochemical Properties of Iron Silicocarbide and Cementite in Acidic and Neutral Environments, Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces 45, 81-88, 2009
17. Thawari, G., Sundararajan, G., Joshi, S.V., Laser Surface Alloying of Medium Carbon Steel with $SiC_{(P)}$, Thin Solid Films 423, 41-43, 2003
18. Wang, H.M., Duan, G., Microstructure and wear resistance of a laser clad reinforced Cr_3Si metal silicide composite coating, Materials Science and Engineering A 336, 117-123, 2002
19. Wang, H.M., Duan, G., Wear and corrosion behavior of laser clad Cr_3Si reinforced intermetallic composite coatings, Intermetallics 11, 755-762, 2003
20. Yun, E., Lee, S., Correlation of microstructure with hardness and wear resistance in Cr_3C_2/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation, Materials Science and Engineering A 405, 163-172, 2005
21. Zhang, L., Sun, D., Yu, H., Li, H., Characteristics of Fe-based alloy coating produced by plasma cladding process, Materials Science and Engineering: A 457, 319-324, 2007

BIOGRAPHIES

M. Mustafa Yildirim is a Professor at the Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Dumlupinar University, Kutahya, Turkey. He graduated from Metallurgical and Materials Engineering in Technische Universitaet Clausthal, Germany, in 1969. He received his M.Sc. in 1970, at Technische Universitaet Clausthal and completed Ph.D. in 1974 at Technische Universitaet Clausthal, Germany. His main interests include the science and engineering of materials.

Serkan Islak is an Instructor at the Cide Rifat Ilgaz Vocational High School, Welding Technology Department of Kastamonu University, Kastamonu, Turkey. He graduated from Metallurgy Education Department in Firat University, Elazig, Turkey, in 2002. He holds M.Sc. at Firat University, in 2005. His main interests include surface coating technologies and tribology.

Mustafa Ulutan is an Asst. Professor at the Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Osmangazi University, Eskisehir, Turkey. He graduated from Mechanical Engineering in Osmangazi University, Eskisehir, Turkey, in 1998. He holds M.Sc. and Ph.D. at Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey in 2001 and 2007, respectively. His main interests include surface coating technologies, tribology and manufacturing engineering.

Muzaffer Karagoz is a Research Assistant in the Engineering Faculty, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Bartin, Turkey. He graduated from Mechanical Engineering in Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey, in 2005. He holds M.Sc. at Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey in 2010. His main interests include manufacturing technologies.

Soner Buytoz is an Asst. Professor at the Technical Education Faculty, Department of Metallurgy, Firat University, Elazig, Turkey. He graduated from Mechanical Engineering in Firat University, Elazig, Turkey, in 1996. He holds M.Sc. and Ph.D. at Firat University, Elazig, in 1999 and 2004, respectively. His main interests include surface coating and abrasion wear of materials, composite materials and their mechanical behavior, corrosion.