

FeW-SiC Esaslı Kompozit Kaplamaların Mikroyapı ve Aşınma Özellikleri

Ö. Eski¹, S. Islak², S. Buytoz³

¹Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu Meslek Yüksekokulu, 37100 Kastamonu, Türkiye, ozkaneski@kastamonu.edu.tr

²Kastamonu Üniversitesi, Cide Rifat Ilgaz Meslek Yüksekokulu, 37100 Kastamonu, Türkiye, sislak@kastamonu.edu.tr

³Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 23100 Elazığ, Türkiye, sbuytoz@gmail.com

Microstructure and Wear Properties of FeW-SiC based Composite Coatings

Abstract—In this paper, FeW+SiC based metal matrix composite (MMC) coating layer on the AISI 304 stainless steel were formed by gas tungsten arc (GTA) weld process. Rate of SiC in the produced coating was changed as 10, 25 and 50 wt. % in order to investigate the effect of silicon carbide (SiC) on the microstructure, hardness and abrasive wear properties. Optical microscope (OM), scanning electron microscopy (SEM) equipped with an energy dispersive X-ray spectrometer (EDS) and X-ray diffraction (XRD) were employed for studying the microstructure and elemental analysis of the coatings. Optical and SEM observations showed that coating layer was uniformly bonded to substrate. The formation of Fe₂C, Cr₇C₃, W₂C carbides ve Fe₂Si, CrSi₂ silicides has been determined in the microstructure. It was concluded that FeW-25 % SiC composite coating was the most suitable combination as a result of the study on the properties of hardness and wear performance.

Keywords—GTA cladding, SiC and FeW, microstructure, wear

I. GİRİŞ

Kompozit kaplamalar genellikle, sünek bir matris ile seramik takviye parçacıklardan oluşmaktadır [1]. Bu kompozit kaplamaların üretiminde matris olarak nikel, kobalt, demir ve titanyum esaslı alaşımlar kullanılırken; takviye elemanı olarak da SiC [2], TiC [3], B₄C [4,5], WC [6,7], TiB₂ [8] ve Cr₃C₂ [9,10] gibi sert takviye partikülleri tercih edilmektedir.

Kompozit kaplamalarda, sert partiküller matris içerisine iki şekilde takviye edilmektedir. Birinci yöntemde mekanik alaşımlama şeklinde kaplama tabakasına partikül dıştan ilave edilirken, diğer yöntemde matris içerisinde takviye elemanı sert faz olarak elde edilir. Bunun sonucunda matrisle ile takviye faz arasında güçlü bir metalurjik bağın oluşumu sağlanır oluşturulur [11,12]. Bu kaplamaların üretiminde, kaynak esaslı kaplama yöntemleri [13,14], ısı püskürtme [15] ile kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme yöntemleri kullanılmaktadır [16,17].

Kaynak esaslı yüzey kaplama yöntemleri, genel olarak plazma transferli ark, gaz tungsten ark, lazer ışın, tozaltı, elektro-cüruf ve elektron ışın kaynağı işlemlerini içerir [18,19]. Son zamanlarda, gaz tungsten ark (GTA) kaplama

yöntemi ile kompozit kaplamaların üretimi, araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu yöntemde alt tabaka ile kaplama tozu aynı anda ergir ve yoğun bir kaplama elde edilmesi için hızlıca katılır. Böylece kaplama katı alt tabakaya mükemmel bir metalurjik bağla bağlanmış olur [20-25].

Bir malzemedan istenilen mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri daha iyi bir malzeme elde etmek için farklı toz bileşimleri ile GTA kaplama yöntemi kullanarak kompozit kaplamalar elde edildiği literatürde mevcuttur. Wang ve arkadaşları (2003) AISI 1050 çeliği yüzeyinde GTA kaplama yöntemi ile ürettikleri TiC ve WC seramik parçacık takviyeli Ni, Cr, Co, Mo, W, Ti ve Cu matrisli kompozit kaplamasının aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kaplama işlemi esnasında hızlı soğuma oranından dolayı martenzitin oluşması ve matrisle sert parçacıkların dayanım kazandırması sebebiyle alt tabakaya oranla kaplama tabakasının aşınma özelliklerinde iyileşme tespit edilmiştir [26]. Lin ve arkadaşları (2005), GTA kaynak yöntemini kullanarak AISI 1050 çelik üzerine 9:1 oranında WC:Ti toz karışımını kaplamışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda kaplama tabakası ile alt tabaka arasında kuvvetli bir metalurjik bağın oluştuğu ve sert fazlardan dolayı sertlik ve aşınma direncinde artma meydana geldiği tespit edilmiştir [27].

Bazı çalışmalarda takviye partikülleri, faz şeklinde elde edilmektedir. Xinhong ve arkadaşları (2006) FeCrBSi, FeTi ve grafit tozlarının karışımlarını kullanarak TiC fazını oluşturup TiC takviyeli metal matrisli kompozit kaplamaları üretmişlerdir [28]. Yine benzer bir çalışmada AISI 1020 çeliği üzerinde FeTi, FeV ve grafit tozlarının karışımı GTA kaynak prosesini kullanılarak alaşımlandırılmıştır. Ti ve V'nin karbona karşı bileşik oluşturma afinitesinden dolayı TiC ve VC karbürleri oluşmuştur. Bu sert fazlarda sertliğin artmasına ve aşınma direncinin iyileşmesine katkıda bulunmuştur [29].

Bu çalışmada, SiC partiküllerinin mikroyapıya etkisini araştırmak için FeW-SiC esaslı kompozit tozları AISI 304 paslanmaz çelik yüzeyine gaz tungsten ark (GTA) kaplama yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama tabakasının mikroyapı karakterizasyonu ve kimyasal bileşimi taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD), X ışını enerji dağılım spektrometresi (EDS) ile incelenmiştir. Kaplamaların aşınma davranışı, mikrosertlik ölçümleri ve pim-on-disk testi ile yorumlanmaya çalışılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yüzey kaplama işlemlerinde alt tabaka malzemesi olarak, 20 mm x 10 mm x 80 mm ölçülerindeki AISI 304 paslanmaz çelik kullanılmıştır. GTA kaplama yöntemi öncesinde, paslanmaz çelik malzemelerinin yüzeyleri aseton ile temizlenerek kurutulmuştur. 8 mm genişlik ve 1,5 mm derinliğine sahip kanallar açılarak, kaplama tozlarının kanallara yerleştirilmesi sonrasında alkol ile karıştırılarak sıvanmıştır. Kaplama yönteminde kullanılan argon koruyucu gaz debisinden dolayı sıvanan yüzeyden tozların uzaklaşmaması için bir miktar bağlayıcıyla kaplama yüzeyinde tutulup 50 °C sıcaklıkta 30 dakika kurutulmuştur. Kaplama işleminde kullanılan tozların ve alt malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: AISI 304 paslanmaz çelik, FeW ve SiC tozlarının kimyasal bileşimi

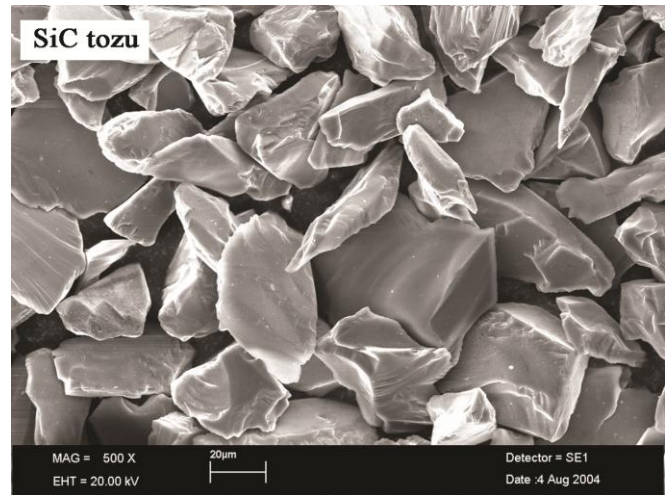
Kimyasal bileşim (% ağı.)	
<u>AISI 304 (Alt malzeme)</u>	
C	0.035
Cr	18.570
Si	0.358
Ni	8.730
Fe	Kalan
<u>SiC tozu</u>	
C	27.659
Si	72.350
<u>FeW tozu</u>	
W	75.000
Fe	Kalan

SiC partikülleri FeW matris tozu içerisine ağırlıkça % 10, 25 ve 50 oranlarında ilave edilmiştir. Toz partiküllerinin boyutu FeW için ortalama 75 µm, SiC ise 40-50 µm'dir. Tablo 2'de kaplama tozlarının karışım oranları verilmiştir. Kaplama işleminde kullanılan tozların SEM görünüşleri Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 2: Farklı SiC oranlarında elde edilen kompozit tozları

Numune	Matris toz	Takviye toz	Üretim hızı (mm/s)	*Isı girdisi (kJ/cm)
S ₁	FeW	% 10 SiC	1.27	42.90
S ₂	FeW	% 25 SiC	1.21	45.24
S ₃	FeW	% 50 SiC	1.17	46.80

*Enerji girdisi = $\eta UI(60/1000V)$; U: gerilim, I: akım, V: üretim hızı, η : verimlilik katsayısı (GTA için 0.65); [20].

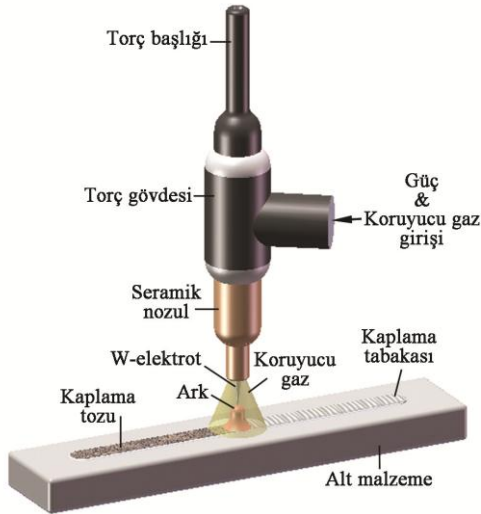


Şekil 1: Kaplamada kullanılan metal tozlarının SEM görüntüsü

Tablo 3'de verilen üretim parametreleri kullanılarak kaplama işlemi yapılmıştır. Şekil 2'de GTA ile yüzey kaplama işleminin prensip şeması görülmektedir.

Tablo 3: Üretim parametreleri

Elektrod	W-%2 ThO ₂ elektrod
Koruyucu gaz	% 99,9 saf argon
Elektrot çapı	2,4 mm
Gaz debisi	12 lt/dak.
Akım	140 amper
Gerilim	20 V
Üretim hızı	1,17 - 1.27 mm/s
Isı girdisi	42,90 - 46,80 kJ/cm



Şekil 2: GTA ile yüzey kaplama işleminin prensip şeması

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 dağılayıcı olarak 5 ml HNO₃ + 200 ml HCl + 65 g FeCl₃ çözeltisi kullanılarak 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.

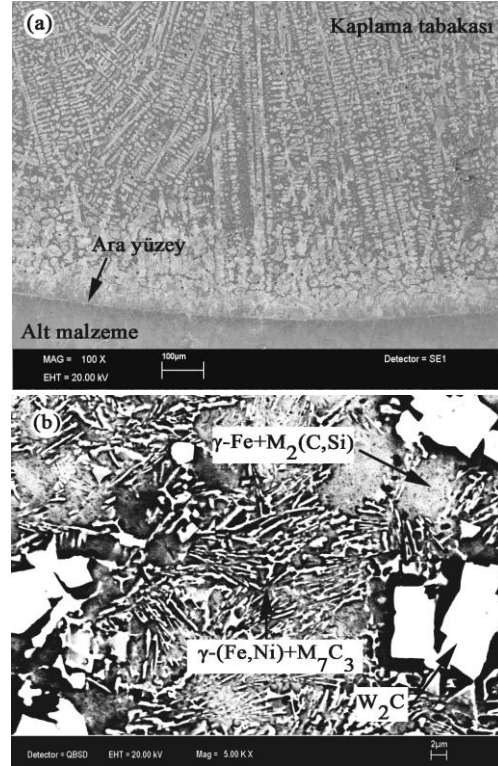
Yüzeyi kaplanmış numunelerin aşınma deneyi oda sıcaklığında kayma sistemli pim-on-disk aparatıyla yapılmıştır. Deneyler 20 ve 30 N'luk iki farklı yükte 150 m kayma mesafesinde tatbik edilerek gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak 120 mesh'lik abrasif aşındırıcı kullanılmış olup, her 30 m kayma mesafesinde değiştirilmiş ve aşınan numunenin yüzeyi basınçlı hava ile temizlenerek kalıntı metallardan arındırılmıştır. Aşınma miktarları, aşınma öncesi ve sonrası 10⁻⁵ g ağırlığa duyarlı Scaltec marka elektronik terazi ile tartılıp, kütle kaybından tespit edilmiştir.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Farklı SiC takviyesi ile elde edilen FeW-SiC esaslı kompozit kaplamaların SEM görüntüleri Şekil 3-Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 3'de S₁ numunesinin SEM görüntüsünde mikroyapının dendritler ile dendritlerarası ötektiklerden meydana geldiği görülmektedir. Dendritlerin yönü kaplama ara yüzeyinden üst bölgeye doğrudur. Bunun nedeni ısının alt malzeme tarafından absorbe edilmesi ve SiC ile alt malzemede mevcut olan demir ve diğer fazlar arasında ergime sıcaklığı farklılığıdır [30].

S₁ numunesinin genel EDS analizi 3.21 % C, 2.57 % Si, 14.44 % Cr, 4.94 % Ni, 13.21 % W ve 61.63 % Fe'dir. Şekil 3b'de görülen beyaz dörtgenimsi fazların EDS analizi ise 13.09 % C, 72.35 % W, 5.44 % Cr ve 9.12 % Fe şeklindedir. Rozet şeklindeki fazın EDS analizi 5.21 % C, 7.11 % Si, 6.42

% Cr, 6.28 % Ni ve 74.98 % Fe; ağ şeklindeki ötektik yapının EDS analizi ise 9.30 % C, 3.61 % W, 17.47 % Cr, 3.68 % Ni ve 65.94 % Fe'dir. EDS analizleri ve Şekil 7'deki X-ışını difraktogramından da görüldüğü üzere S₁ numunesinin mikroyapısında W₂C karbürleri [31], γ-(Fe,Ni)+M₇C₃ ve γ-Fe+M₂(C,Si) ötektik yapıları oluşmuştur.

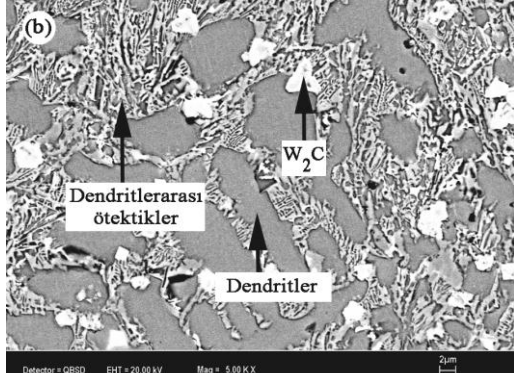
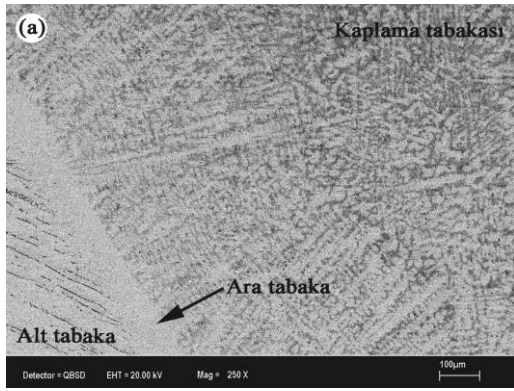


Şekil 3: FeW-% 10 SiC esaslı kompozit kaplamanın SEM görüntüleri: (a) genel görünüm, (b) kaplama tabakası

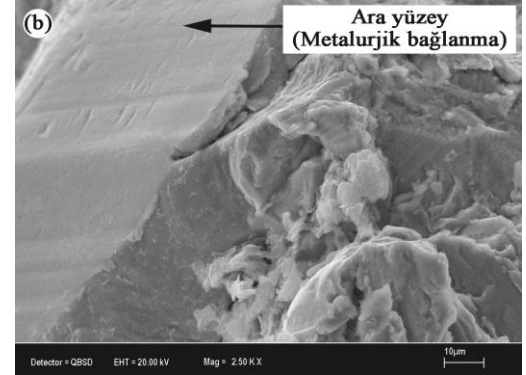
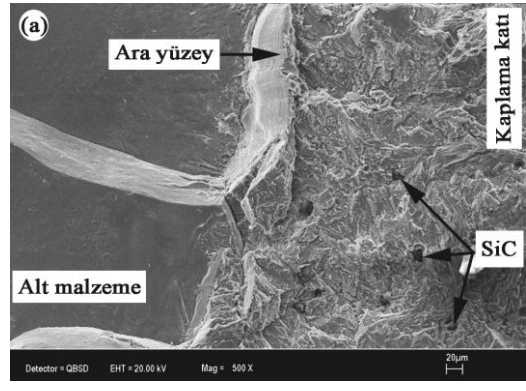
FeW-% 25 SiC toz karışımı ile kaplanmış S₂ numunesinin mikroyapısında yine dendritik yapı gözlenmiştir. Kaplama tabakasında az miktarda çözünmemiş SiC tespit edilmiştir. Bu durum XRD analizi ile de desteklenmektedir (Şekil 7). Bu durum verilen enerjinin SiC'ün tamamını çözmek için yeterli olmadığını göstermektedir [32-34]. S₂ numunesinde S₁ numunesinde olduğu gibi FeW ve SiC tozlarının verilen enerjiyle çözünüp W ve C elementlerinin bileşmesiyle W₂C karbürü oluşmuştur (Şekil 4b).

FeW-% 50 SiC esaslı kompozit kaplamasına (S₃ numunesi) ait SEM görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Mikroyapı dendritler ile dendritlerarası ötektiklerden oluşmuştur. Bu kaplamada yoğun olarak çözünmemiş SiC partiküllerine rastlanılmıştır. Bu durum kırılma yüzeyindeki SiC partiküllerinin varlığı ile de tespit edilmiştir (Şekil 6a). Çözünmemiş SiC oranı diğer kaplamalara (S₁ ve S₂) oranla daha yüksektir. Bunun yanı sıra kaplama tabakası ile alt malzeme arasında metalurjik açıdan homojen bir tabakanın oluştuğu da gözlenmektedir (Şekil 6b).

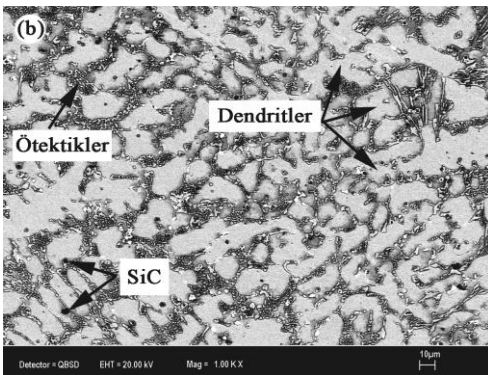
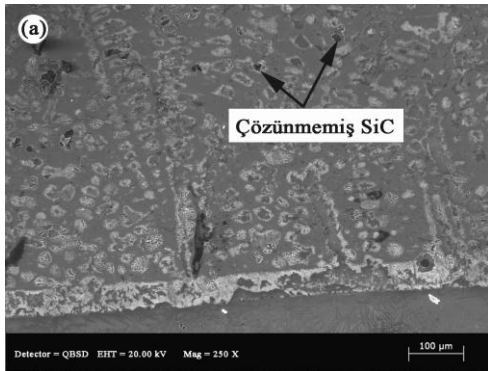
Şekil 7'de SiC ile takviye edilmiş kompozit kaplama tabakalarının X-ışını difraktogramları verilmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik numunelerin yüzeyinde üretilen kaplama tabakaları γ-Fe, martenzit fazı (Fe_{1,88}C_{0,12}), Fe₂C, Cr₇C₃, W₂C karbür ve Fe₂Si, CrSi₂ silislerden oluşmuştur.



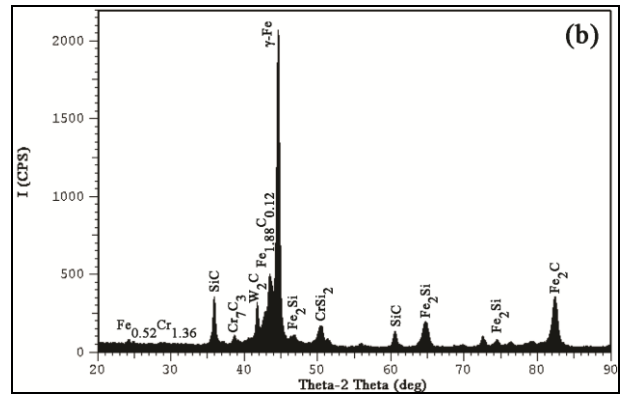
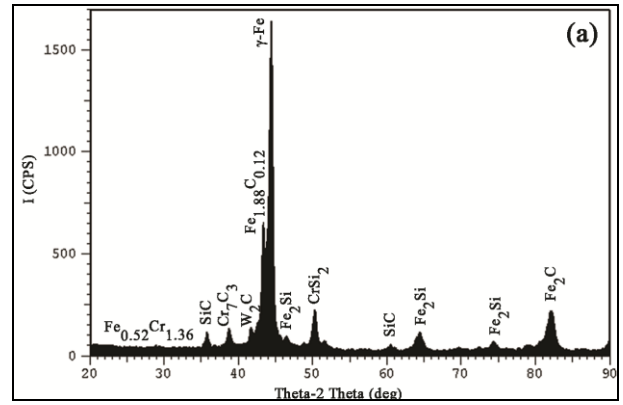
Şekil 4: FeW-% 25 SiC esaslı kompozit kaplamanın SEM görüntüsü: (a) genel görünüm, (b) kaplama tabakası

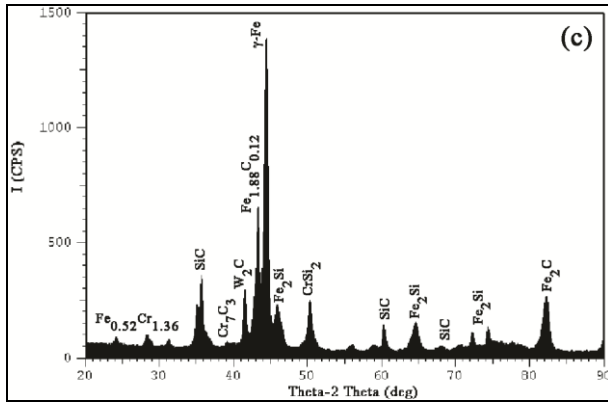


Şekil 6: N3 numunesinde karlıma yüzeyin SEM görüntüsü: (a) alt malzeme-arayüzey-kaplama tabakası, (b) arayüzey



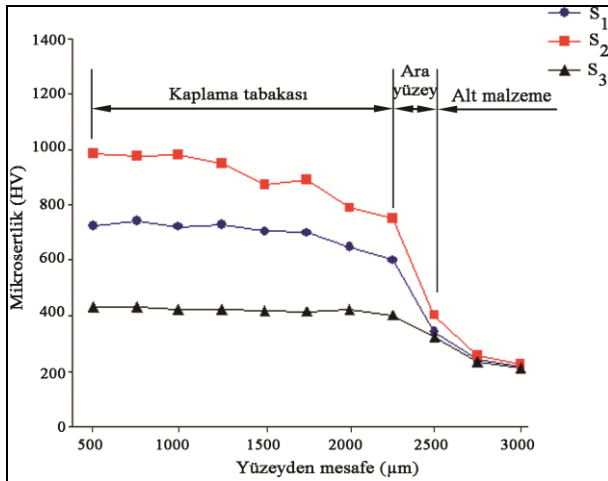
Şekil 5: FeW-% 50 SiC esaslı kompozit kaplamanın SEM görüntüsü: (a) genel görünüm, (b) kaplama tabakası





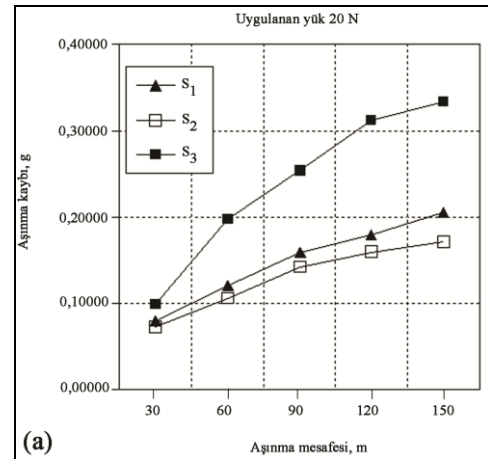
Şekil 7: FeW-SiC esaslı kaplamaların XRD analizi: (a) S₁ numunesi, (b) S₂ numunesi ve (c) S₃ numunesi

Şekil 8’de numunelerin kaplama bölgesi ile alt malzeme arasındaki mikrosertlik değişimi verilmiştir. AISI 304 paslanmaz çeliğin yüzeyinde elde edilen FeW-SiC esaslı kompozit kaplama numunelerinin mikrosertlik değerleri, kaplama yüzeyinin 0.5 mm altındaki bölge ile alt tabaka arasında bir hat boyunca ölçülmüştür. FeW tozu içerisine SiC tozunun ilave miktarına bağlı olarak mikrosertlik değerlerinin değiştiği gözlenmiştir. Numunelerin kaplama tabakasından ölçülen sertlik değerleri S₁, S₂ ve S₃ numunelerinde sırasıyla 740, 985 ve 435 HV şeklindedir. En yüksek sertlik S₂ nolu numune de görülmektedir. Bunun sebebi, Fe₂C, Cr₇C₃, W₂C karbür ve Fe₂Si, CrSi₂ silis fazlarının mikroyapı içinde yoğun miktarda bulunmasıdır. Kaplama bölgesi ile alt tabaka arasındaki sertlik değişiminde, kaplama bölgesinin sertliği maksimum değerde iken arayüze doğru az miktarda azalırken arayüzeyde ani bir şekilde düşmektedir. Bu durum Fe içeriğinin kaplama bölgesinde daha az, arayüzey bölgesinde ise daha fazla olmasıyla, ayrıca kaplama bölgesinde sert fazların yoğunluğunun fazla, arayüze doğru bu yoğunluğun azalması ve tanelerin kaplama bölgesinde küçük, arayüze doğru ise büyük boyutta olması ile açıklanabilir [30,35-37].

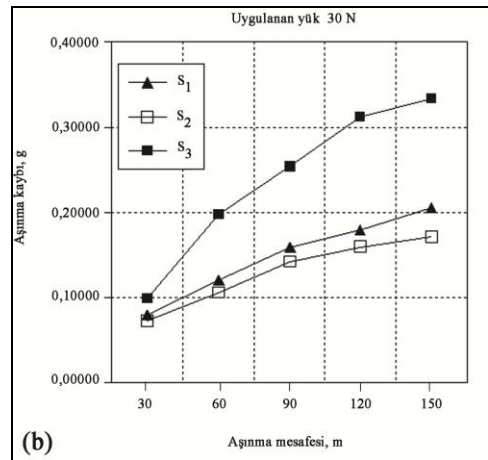


Şekil 8: Kaplama tabakasından alt malzemeye doğru mikrosertlik grafiği (S₁: FeW-10 % SiC, S₂: FeW-25 % SiC, S₃: FeW-50 % SiC)

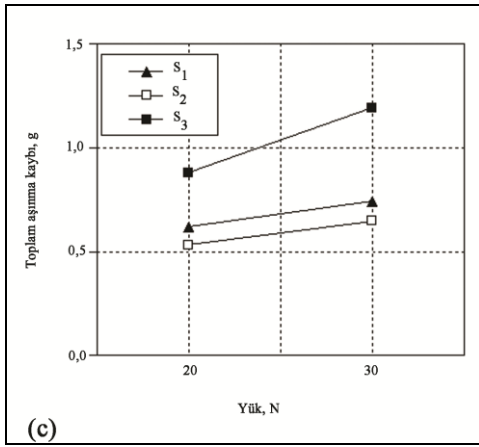
FeW matris tozu içerisine takviye edilen SiC tozunun ilave edilme miktarına göre farklı yükler altında mesafeye bağlı kütle kaybı aşınma grafiği Şekil 9’da görülmektedir. Şekil 9’da 20 N yük altında yapılan aşınma testine göre en fazla kütle kaybı S₃ nolu numunede (FeW-50 % SiC) elde edilmiştir. En düşük kütle kaybı ise S₂ nolu numunede (FeW-25 % SiC) ölçülmüştür. 20 N yük altında toplam kütle kaybı S₁, S₂ ve S₃ nolu numunelerde sırasıyla 0.62185 g, 0.53525 g ve 0.87850 g şeklindedir. 30 N yük altında ise toplam aşınma kayıpları S₁, S₂ ve S₃ numunede sırasıyla 0.74302 g, 0.65114 g ve 1.19324 g olarak ölçülmüştür. Silisyum karbür (SiC) oranı artmasına rağmen S₃ numunede aşınma kayıplarının düşük yerine yüksek çıkması verilen enerjinin % 50 SiC ilavesini çözmede yetersiz kalması ile açıklanabilir. Bu oranda elde edilen kompozit kaplamasının sertliği de diğer kaplamalara göre düşük çıkmıştır. En uygun mikroyapı dizaynının FeW-% 25 SiC olduğu hem aşınma sonuçları hem de sertlik ölçümlerini de desteklemektedir.



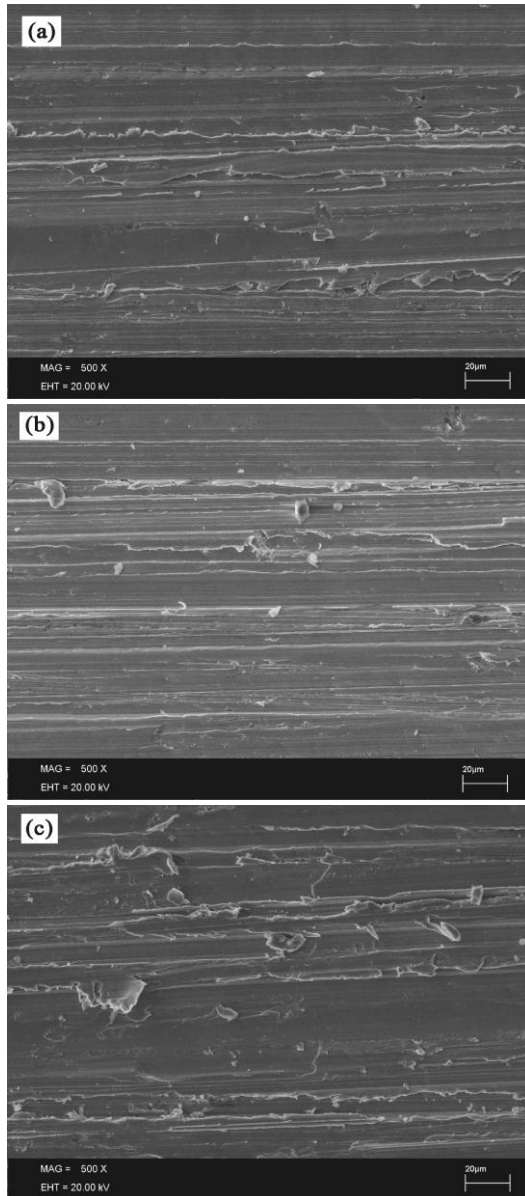
(a)



(b)



Şekil 9: Kütlesel kayıplar: (a) 20 N altında, (b) 30 N altında ve (c) 20 ve 30 N altında toplam kütle kayıpları



Şekil 10: 20 N yük altında aşınmış yüzeylerin SEM fotoğrafları: (a) S₁ numunesi, (b) S₂ numunesi ve (c) S₃ numunesi

Şekil 10'da S₁, S₂ ve S₃ numunelerinin aşınma yüzeyleri görülmektedir. Şekil 10(a) ve (b)' den de görüldüğü üzere aşınma izleri pulluklama şeklinde gerçekleşmiştir. Aynı zamanda yivler dar ve yüzeyseldir. Şekil 10(c)' den S₃ numunesinin yüzeyi aşınma sırasında daha fazla deformasyona uğradığı bölgesel olarak takozlama şeklinde aşınmaya maruz kaldığı belirlenmiştir. Aşınma yüzeyi detayında S₃ numunesi diğer iki numuneye göre daha fazla deforme olduğu ve debrislerin daha derin ve dolayısıyla daha fazla kütle kayba uğradığı Şekil 9' dan da görülebilir. Bunun nedeni yapı içerisinde çözünmemiş SiC tanelerin varlığı (Şekil 5) ve dolayısıyla aşınma sırasında gelen yükün bu partiküller tarafından takoz şeklinde aşınmaya neden olduğu, aşınma mesafesinde uygulanan yükü çözünmemiş SiC tanelerin kaplama bölgesinden delaminasyon aşınması sonucu kopmasıyla daha fazla kütle kayba uğradığı düşünülmektedir.

IV. GENEL SONUÇLAR

Gaz tungsten ark kaynağı yöntemiyle üretilen FeW-SiC kaplamaların mikroyapı ve aşınma performansları incelenmiştir. Kaplama kalınlığı optik mikroskop kullanılarak 2-2.5 mm olarak ölçüldü. Optik ve SEM incelemeleri, tüm üretim parametreleriyle elde edilen kaplamalarda çatlaksız ve gözeneksiz bir mikroyapının oluştuğunu göstermiştir. Kaplama yüzeyleri Fe₂C, Cr₇C₃, W₂C karbürleri ile Fe₂Si, CrSi₂ silislerinden oluşmuştur. Arayüzeyden kaplama tabakasına doğru dendritik yapıların oluşumu gözlenmiştir. Alt malzemeye oranla, FeW-SiC esaslı kaplamaların sertliğindeki belirgin bir şekilde görülmüştür. Kaplamaların ortalama sertliği HV 435 ile 985 arasındadır. Maksimum sertlik değeri HV 992 olarak ölçülmüştür (S₂ numunesi). Bunun sebebi, Fe₂C, Cr₇C₃, W₂C karbür ve Fe₂Si, CrSi₂ silis fazlarının mikroyapı içinde yoğun miktarda bulunmasıdır. S₂ numunesinin aşınma performansı S₁ ve S₂ numunelerinkine göre daha mükemmel çıkmıştır. Çünkü verilen enerji ile kaynak havuzunda SiC'ün en iyi çözünmesi % 25 SiC ilavesinde elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] S. Lu, O. Kwon, Y. Guo, Wear behavior of brazed WC/NiCrBSi(Co) composite coatings, *Wear*, 254 (2003) 421-428
- [2] B. Lou, Z. Chen, W. Bai, G. Dong, Structure and erosion resistance of Ni60A/SiC coating by laser cladding, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 16 (2006) 643-646
- [3] J.J. Candel, V. Amigo, J.A. Ramos, D. Busquets, Sliding wear resistance of TiCp reinforced titanium composite coating produced by laser cladding, *Surface and Coatings Technology* 204 (2010) 3161-3166
- [4] M. Chao, X. Niu, B. Yuan, E. Liang, D. Wang, Preparation and characterization of in situ synthesized B₄C particulate reinforced nickel composite coatings by laser cladding, *Surface and Coatings Technology* 201 (2006) 1102-1108
- [5] S. Buytoz, M. Ulutan, B. Kurt, S. Islak and İ. Somunkiran, Microstructural characteristic of WC-Ni-B₄C reinforced composite coatings on AISI 304 stainless steel by plasma transferred arc weld surfacing, *e-Journal of New World Sciences Academy, E-Journal with International Referee* 5-1 (2010) 35-47
- [6] S. W. Huang, M. Samandi, M. Brandt, Abrasive wear performance and microstructure of laser clad WC/Ni layers, *Wear* 256 (2004) 1095-1105

- [7] G. Xu, M. Kutsuna, Z. Liu, L. Sun, Characteristic behaviours of clad layer by a multi-layer laser cladding with powder mixture of Stellite-6 and tungsten carbide, *Surface and Coatings Technology* 201 (2006) 3385-3392
- [8] B. Du, Z. Zou, X. Wang, S. Qu, Laser cladding of in situ TiB₂/Fe composite coating on steel, *Applied Surface Science* 254 (2008) 6489-6494
- [9] G. Sun, Y. Zhang, C. Liu, K. Luo, X. Tao, P. Li, Microstructure and wear resistance enhancement of cast steel rolls by laser surface alloying NiCr-Cr₃C₂, *Materials & Design* 31 (2010) 2737-2744
- [10] Y.P. Kathuria, Nd-YAG laser cladding of Cr₃C₂ and TiC cermets, *Surface and Coatings Technology* 140 (2001) 195-199
- [11] X.H. Wang, M. Zhang, Z.D. Zou, S.Y. Qu, Microstructure and properties of laser clad TiC+NiCrBSi+rare earth composite coatings, *Surface and Coatings Technology* 161 (2002) 195-199
- [12] A. Singh, N.B. Dahotre, Thermal transitions in Fe-Ti-Cr-C quaternary system used as precursor during laser in situ carbide coating, *Materials Science and Engineering: A* 399 (2005) 318-325
- [13] R. L. Deuis, J. M. Yellup, C. Subramanian, Metal-matrix composite coatings by PTA surfacing, *Composites Science and Technology* 58 (1998) 299-309
- [14] B. Gülenç, N. Kahraman, Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submerged arc welding process, *Materials & Design* 24 (2003) 537-542
- [15] A. Nakajima, T. Mawatari, M. Yoshida, K. Tani, A. Nakahira, Effects of coating thickness and slip ratio on durability of thermally sprayed WC cermet coating in rolling/sliding contact, *Wear* 241 (2000) 166-173
- [16] J.C. Knight, T.F. Page, The fine-scale microstructure of thin hard TiN and TiC coatings on steels, *Thin Solid Films* 193-194 (1990) 431-441
- [17] D.E. Wolfe, J. Singh, K. Narasimhan, Synthesis of titanium carbide/chromium carbide multilayers by the co-evaporation of multiple ingots by electron beam physical vapor deposition, *Surface and Coatings Technology* 160 (2002) 206-218
- [18] K.G. Budinski, Hardsurfacing: an overview of the process, *Welding Design & Fabrication*, July (1986) 51-57
- [19] W. Wu, L.Y. Hwu, D.Y. Lin, J.L. Lee, The Relationship between alloying elements and retained austenite in martensitic stainless steel welds, *Scripta Materialia* 42 (2000) 1071-1076
- [20] Y.C. Lin, S.W. Wang, Wear behavior of ceramic powder cladding on an S50C steel surface, *Tribology International* 36 (2003) p: 1-9
- [21] S. Buytoz, M. Ulutan, In situ synthesis of SiC reinforced MMC surface on AISI 304 stainless steel by TIG surface alloying, *Surface and Coatings Technology* 200 (2006) 3698-3704
- [22] S. Buytoz, Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel, *Surface and Coatings Technology* 200 (2006) 3734-3742
- [23] A.W. Orłowicz, A. Trytek, Effect of rapid solidification on sliding wear of iron castings, *Wear* 254 (2003) 154-163
- [24] A. Trytek, A. Orłowicz, The thermal efficiency and melting efficiency of the fusion process on cast iron with Cr, *Archives of Foundry* 6 (2006) 319-324
- [25] A. Orłowicz, A. Trytek, Surface melting of cast iron alloy with chromium, *Archives of Foundry* 6 (2006) 313-318
- [26] S.W. Wang, Y.C. Lin, Y.Y. Tsai, The effects of various ceramic-metal on wear performance of clad layer, *Journal of Materials Processing Technology* 140, Proceedings of the 6th Asia Pacific Conference on materials Processing (2003) 682-687
- [27] Y.C. Lin, S.W. Wang, Yu C. Lin, Analysis of microstructure and wear performance of WC-Ti clad layers on steel, produced by gas tungsten arc welding, *Surface and Coatings Technology* 200 (2005) 2106-2113
- [28] W. Xinhong, Z. Zengda, S. Sili, Q. Shiyao, Microstructure and wear properties of in situ TiC/FeCrBSi composite coating prepared by gas tungsten arc welding, *Wear* 260 (2006) 705-710
- [29] W. Xinhong, C. Lin, Z. Min, Z. Zengda, Fabrication of multiple carbide particles reinforced Fe-based surface hardfacing layer produced by gas tungsten arc welding process, *Surface and Coatings Technology* 203 (2009) 976-980
- [30] G. Thawari, G. Sundararajan, S.V. Joshi, Laser Surface Alloying of Medium Carbon Steel with SiC_(p), *Thin Solid Films* 423 (2003) 41-43.
- [31] S.S. Hua, Y.X. Min, L.Y. Yong, H.Y. Zhu, K. Shin, Effect of laser power on microstructure and wear resistance of WC_p/Ni cermet coating, *Journal of iron and steel research, International* 13-3 (2006) 74-78.
- [32] X. Wu, Y. Hong, Microstructural evolution of a laser clad coating, *Scripta Materialia*, 43 (2000) 123-127
- [33] X. Wu, G. Chen, Nonequilibrium microstructures and their evolution in a Fe-Cr-W-Ni-C laser clad coating, *Materials Science and Engineering A* 270 (1999) 183- 189
- [34] M.M. Yıldırım, S. Buytoz, M. Ulutan, Microstructural Changes to SiC Coated Metallic Surfaces Produced by the TIG Welding Process on a 45Mn5 Steel, *Practical Metallography* 44 (2007) 2 59-69
- [35] L.N. Jian, H.M. Wang, Microstructure and wear behaviours of laser-clad Cr₁₃Ni₅Si₂-based metal silicide coatings on a titanium alloy, *Surface&Coating Technology* 192 (2005) 305-310
- [36] S. Yang, W. Liu, M. Zhong, Z. Wang, TiC reinforced composite coating produced by powder feeding laser cladding, *Materials Letters* 58 (2004) 1-5.
- [37] Q. Li, G.M. Song, Y.Z. Zhang, T.C. Lei, W.Z. Chen, Microstructure and dry sliding wear behavior of laser clad Ni-based alloy coating with the addition of SiC, *Wear* 254 (2003) 222-229