

GTAW Yöntemi ile Oluşturulan FeB-FeTi-FeW-C Kaplamalarının Mikroyapı ve Adhesiv Aşınma Davranışının İncelenmesi

Zülküf BALALAN^{1*}, Mehmet YAZ², Serdar Osman YILMAZ³

¹Bingöl Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Metalurji ve Malz. Müh. Böl., 12000 Bingöl/TÜRKİYE

²Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O Makine Böl., 23000 Elazığ /TÜRKİYE

³Trakya Üniversitesi Müh. Fak. Metalurji ve Malz. Müh. Böl., 59000 Tekirdağ/TÜRKİYE

*zbalalan@bingol.edu.tr; zbalalan34@gmail.com

(Geliş/Received: 03.05.2017; Kabul/Accepted: 06.07.2017)

Özet

Bu çalışmada; FeB FeTi ,FeW ve grafit tozları, kullanılarak düşük karbonlu (%0,15 C) çeliğin yüzeyi, farklı işlem parametrelerinde, Gaz Tungsten Ark Kaynak yöntemiyle (TIG) kaplanmıştır. Elde edilen kaplama yüzeyinin mikroyapısı, optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Mikrosertlik ve kuru-sürtünme aşınma deneyleri yapılmıştır. Yoğun enerjili X ışını analizi (EDS) ile aşınma elementlerinin yüzeyden altlık malzemesine doğru dağılımı araştırılmıştır. Kaplama bölgesinin mikroyapısında karbür ve borürlerin oluştuğu gözlenmiştir. Elde edilen sert yüzey kaplamalarında oluşan karbür ve borürlerin şekilleri üçgenden düz kareye dönüşmüştür.

Anahtar kelimeler: FeB; FeTi; Adhesiv Aşınma; GTAW; Kaplama.

Investigation of Adhesive Wear Behavior and Microstructure of FeB-FeTi-FeW-C Coatings Produced by GTAW Method

Abstract

In this study, the surface of 0.15% C carbon steel was coated with FeB, FeTi, FeW and graphite powders applying different operation parameters via a gas tungsten arc welding (GTAW) method. The microstructure of the coated surface examined through optical micrograph (OM) and scanning electron micrograph (SEM). The carbides generated was investigated by microhardness and dry-sliding wear experiments were conducted. Furthermore, intense energy distribution X-ray analysis (EDS) was investigated from the surface of alloy elements to base plate material. The formation of carbide and borides were observed at microstructure. The shapes of the carbides and borides that formed on the obtained hard coated surfaces transformed from triangle to flat square.

Keywords: FeB; FeTi; Adhesive wear; GTAW; Coating.

1. Giriş

TIG kaynak yöntemi malzemenin yüzey özelliklerini geliştirmek için yapılan yüzey işlemlerinden biri olan, sert yüzey kaplama yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, yüksek yoğunluklu lazer ve termal sprey yöntemleriyle orijinal kaplamalar ve malzeme üretiminde önemli gelişmeler sağlanmıştır [1-2]. Bu kaynak yöntemiyle yapılan kaplamaların kolay uygulanması ve ucuz olması benzer yöntemlere göre üstünlüğünü ortaya koymaktadır [3]. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesiyle elde edilen mikroyapıların korozyon ve aşınma dirençleri, alışlagelmiş yüzey işlem teknikleriyle elde

edilenlere göre çok daha iyi olmaktadır [4, 5]. Bir tür alaşımlama tekniği olan TIG yöntemi; ilke olarak, uygun bileşime sahip alaşım toz veya toz karışımlarının alt tabaka malzemesinin yüzeyinde ark ısı etkisiyle ergitilerek, kaplama katı oluşturulan bir yöntemdir. Ergime, hem ana malzemede ve hem de ilave metal ya da bileşik kaplama malzemesinde aynı anda gerçekleşir ve hızla katılaşarak, işlem bölgesinde kaplama malzemesi ile esas metal farklı bileşim ve özelliklerde katı eriyik ya da bileşik oluşturularak birbirlerine bağlanır [6-7]. Katılaşma oranı bu işlemlerle kaplama sırasında çok yüksektir.

Benzer tekniklerin avantajları, hızlı soğuma ile iyi mikroyapı elde edilmesi, yüksek sertlik elde edilmesi ve aşınma direncinin artmasıdır. Bu teknikte çeşitli geleneksel altlık malzemelerin kaplanması Fe, Cr, Co ve Ni esaslı alaşımlar kullanılır [8].

Takımların ve kalıpların kullanım ömürleri ve kaliteleri üretimde önemli faktörlerdir. Özellikle de karmaşık ve büyük yığın halindeki üretimlerde uzun yıllardır farklı teknikler kullanılarak servis ömürlerini ve aşınma dirençlerini gözle görülür arttırmak için birçok araştırma yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda yeterli ısı işlemler ve daha kaliteli malzemelerin uygulanması sağlanmış ve dayanıklılığı arttırmak için yüzeylerin kaplanması ve modifikasyonunun farklı yöntemlerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Yüzey tabakaları, kullanımda farklı şekilde sonuçlanan diğer fiziksel ve kimyasal özellikler, kristal kafesler, mikroyapı ve kimyasal özellikleri ile altlık malzemedeki farklılık gösterir [9, 10].

Demir esaslı matris kompozitler yüksek mekanik dayanımlarının bileşimi nedeniyle geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Ara yüzey reaksiyonlarından kaçınmak ve ara yüzey uyumluluğu geliştirmek, yüksek performanslı kompozitleri üretmek için önemli teknikler kullanılmaktadır. Seramik partikül takviyeli metal matris kompozitlerin üretimleri için yeni teknikler kullanılmaktadır [11, 12].

AISI 1018 çeliği üzerindeki bor tabakaları GTAW tekniği kullanılarak geliştirilebilir. Ergiyik bölgesindeki bor içeriğinin yükselmesi birincil Fe₂B boridleri ve az miktarda Ferrit-Fe₂B ötektikten ibaret olan bir hypo ötektik mikroyapıdan yüksek hypo ötektik mikroyapıya geçişe izin verir [13].

Bor takviyeli metal matris kompozitler (MMC) matris alaşımlar ile karşılaştırıldığında aşınma özellikleri ve mekanik dayanımları belirgin şekilde yükselme gösterirler ve genellikle yumuşak matristen takviye fazına doğru uygulanan yükün dağılımı ve iletimi ile sıkıştırılma ile oluşan basınç ve yüksek gerilmelere karşı koyma kabiliyetine sahiptirler. Diğer taraftan metal matrisli kompozitler matrislerle karşılaştırıldığında düşük dövülebilme ve ikinci derece kırılma tokluğu sıkıntılarına sahiptir ve partikül takviyeliler

genellikle pahalıdır, pahalı üretim işlemlerinden dolayı son üretimin maliyeti de yükselmektedir. Yüzey modifikasyon teknolojisi, yüksek dövülebilme ve kırılma tokluğuna sahip pahalı olmayan kaba malzemeler ile bir MMC yüzey tabakasının üstün özelliklerini birleştiren alternatif bir çözüm olarak gelmektedir. Yakın geçmişte, kompozit tabakaları Fe-B-Cr üçlü faz sistemine uygun CrB ve Cr₂B partikülleri veya Fe-B ikili faz sistemine uygun Fe₂B ve FeB kullanılarak çeliğin yüzeyinde oluşturulmuştur [14].

Sert yüzey kaplama alaşımlarının gelişme durumu bir taraftan daha verimli Fe-Cr-C veya Fe-C-B sistemleri içerirken, diğer taraftan daha pahalı tungsten karbür takviyeli sentetik çok fazlı kompozitler bulunmaktadır. Bundan dolayı, bileşiminde bor ve karbon bulunan niyobyum, titanyum ve molibdenli karmaşık Fe-esaslı alaşımlar en iyi şekildeki matris özellikleri ile ve aşınmaya dirençli sert fazların farklı çökelmelerine göre aşınma direncinin elde edilmesiyle önemli ilerlemeler sağlanmıştır [15-17]. Fe-C-X (X=Cr, Mn, W, Mo, Ni, B vs.) alaşımları, yüksek aşınma direnci sergileyen yüzeyler ile sert yüzey kaplama malzemeleri için mükemmel adaylardır. Lazer alaşımlanmış Fe-C-X kaplamaların mikroyapısal karakterizasyonu krom konsantrasyonuna bağlı olarak, yerinden çıkmış ferrit matrisdeki M₇C₃ karbürler veya ikizlenmiş östenit iğneler ve tamamen martenzit fazın oluşumu göstermektedir [18,19]. Titanyum matrisli kompozitler (TMC_s) sabit yüksek sıcaklıklarda, yüksek elastiklik modülü, mukavemet, yüksek sertlik ve özellikle aşınma direnci uygulamalarında önemli potansiyele sahiptirler. Titanyum esaslı kompozit kaplamalar partikül takviyeyle kaplama yüzeyine olumlu etki ederler [21, 22]. TiB₂ (titanyum borid) en sert boridlerle birlikte yüksek mekanik dayanım, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda yüksek çekme dayanımı sağlarlar [23].

Bu çalışmada bir gaz tungsten kaynak yöntemi (TIG), AISI1018 çeliğinin yüzeyi FeB, FeTi ve grafit tozları ile kaplamak için yüksek enerji yoğunluğu ışınları olarak kullanılmıştır. Kaplanmış yüzeylerdeki faz dönüşümleri optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskopları (SEM) kullanılarak ve EDS analizleri birleştirilerek sistematik olarak

çalışılmıştır. Çalışmanın amacı, adhesiv aşınma aparatı kullanılarak FeB, FeTi ve grafit tozları ile kaplanmış yüzeylerin kayma aşınma davranışlarını karakterize etmek ve aşınma ve sürtünme için var olan temel verilere dayanan sürtünme katsayısı ve aşınmayı iyileştirmektir.

2. Deneysel Çalışma

FeB, FeTi, FeW ve grafit tozlarının karışımları kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. 100x50x10 mm boyutlarında

düşük karbonlu çelik altlık malzemesi olarak kullanılmıştır. Altlık malzemesinin kimyasal analizi 0.15% C, 0.22% Si, 0.76% Mn, 0.034% P, 0.05% S, 0.12% Cr, 0.03% Mo, 0.10% Ni ve 0.52% Cu elementlerini içermektedir. FeB, FeTi, FeW ve grafitin kimyasal analizleri Tablo 1’de, FeB, FeTi, FeW ve grafit tozlarının üç farklı karışım oranı da Tablo 2’de verilmiştir. FeB, FeTi, FeW ve grafit partikülleri ortalama ölçüleri 50 µm’ den küçüktür. Deney şartları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 1. Takviye malzemelerin kimyasal analizi (%)

	Al	Ti	FeW	Si	%S	Fe	Cr	B	C	%P
FeB	0.5			2.5	0.05	Diğ.		18.1	0.5	0.025
FeTi	4	75		0.5	0.03	Diğ.				0.03
FeW			80	0.5		Diğ.	0.5			0.04
Grafit									99.9	

Tablo 2. Kaplama işlemi için kullanılan malzemelerin karışım oranları (%)

Numune No	FeB (%)	FeTi (%)	FeW(%)	C (%)
S 1	90	5	2	3
S 2	80	10	2	8
S 3	70	15	2	13

Tablo 3. Gaz tungsten kaynak yönteminin işlem parametreleri

Akım	120-140 A
Kaynak hızı	10 cm/dak.
Koruyucu gaz	Ar-99.9%
Koruyucu gaz akış hızı	14 l/dak
Ergimeyen elektrot	W-2%Th
Elektrot çapı	2.4 mm

Ergimeyen elektrot olarak %2 ThO₂ tungsten ve 11 mm çapında nozul kullanılmıştır. İşlem sırasında Argon koruyucu gaz olarak kullanılmıştır. Numunelerin metalografik inceleme için 10x10x10 mm boyutlarında numuneler hazırlanmış ve numunelerin yüzeyleri 1500 meshe kadar zımpara ile temizlenmiş ve 1 µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Bu işleminden sonra numuneler 100 ml HCl, 1 gr pikrik asit ve 100 ml etil alkol karışımı ile dağlanmış. Dağlanan numunelerin optik mikroskop ile mikroyapı ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile fotoğrafları çekilerek EDS analizleri alınmıştır. Kaplamaların mikrosertlikleri Lecia Q550 cihazı ile kaplama yüzeyinden başlayarak

geçiş bölgesine doğru 30 gr. yük ile mikrosertlikleri ölçülmüştür. Partiküllerin homojen bir karışımı elde edebilmek için bir mikser ile yaklaşık 1 saat karıştırılmıştır. Elde edilen karışım sodyum silikat (Na₂SiO₃) ile karıştırılarak macun haline getirilmiştir.

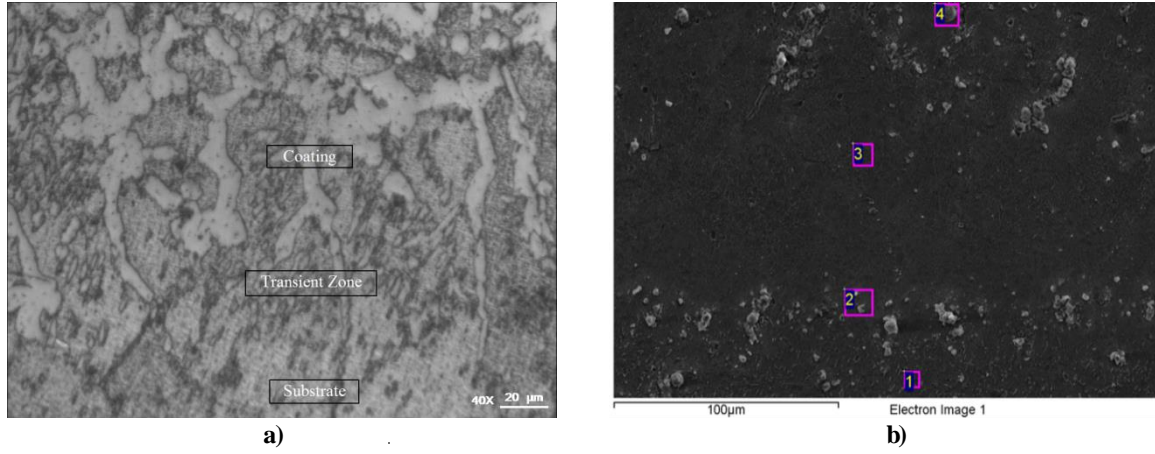
3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Mikroyapı incelemeleri

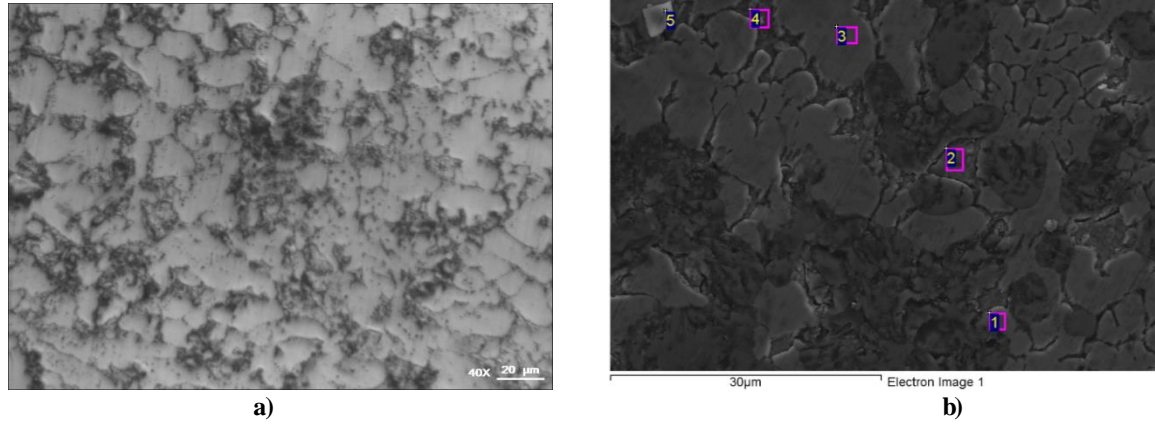
Kaplanmış yüzeylerde mikroyapıların kaplama boyunca homojen olmadığı görülmüştür. Kaplanmış yüzey alanı şekil 1a’da gösterilen S1 numunesinin optik mikroyapı ve şekil 1b’de gösterilen SEM fotoğrafında görülen altlık, geçiş ve kaplama bölgesi olarak üç bölgeye ayrılabilir. Kaplama bölgesinde bor, karbon, titanyum üç numunede tablo 2’de verilen oranlar kullanılmış, yapıda bor ve karbon birlikte kullanılarak borür ve karbürlerin kesit boyunca dağılımları incelenmiştir. Altlık malzemesinin hemen yanındaki geçiş bölgesi sorbitik perlit

adalı ötektik bir yapıdan oluşan ötektik üstü bir mikroyapıda oluşmuştur [15, 16]. Kaplama bölgesinde karbür ve borürlerden oluşan bir doku olduğu ve bu bölgeden, dış yüzeyden altlık malzemesine doğru kesit incelendiğinde kare ve üçgen şekilli TiC ve Ti₂B borürünün oranı artmıştır. Mikroyapıda, ötektik matris içinde üçgen ve kare fiziksel şekilli titanyum borürlerinin olduğu gözlenmiştir. EDS analizlerine göre, birinci bölgede bor içerikli 'Fe₃

(BC)' karbürlere sahip ötektik bir yapı tespit edilmiştir (Şekil 1b). Ayrıca, analizler ikinci bölgedeki sert fazın Fe₇C₃ (Şekil. 1b) ve üçüncü bölgedeki fazların ise borür ve karbürden oluşan "Fe₂B+TiB₂" bir yapı olduğunu işaret etmektedir. Şekil 1b'de gösterilen bölgelerden alınan EDS analizlerinin sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Yapıda sert fazlar demir karbür ve borürlerden ibarettir.



Şekil 1. S1 geçiş bölgesindeki mikroyapı fotoğrafları; a) OM, b) SEM



Şekil 2. S1 kaplamanın orta bölgelerindeki mikroyapı fotoğrafları; a) Optik, b) SEM

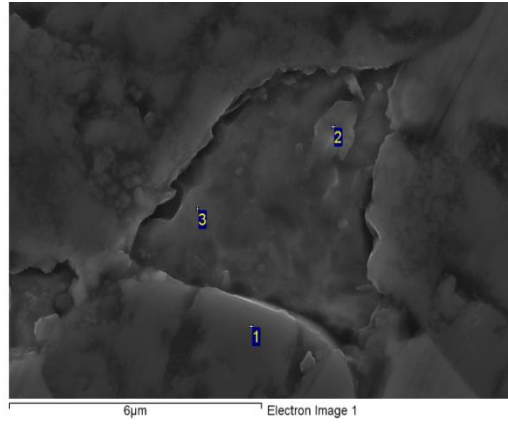
Tablo 4. Şekil. 1b'de SEM mikroyapı S1'in geçiş bölgesi EDS analiz sonuçları

	Elementler %									
	B	C	Al	Si	Mn	Fe	Ti	W	Cu	O
1.Nokta	0.69	7.15		0.29	0.74	84.00	--	0.07	1.91	5.15
2.Nokta	0.63	6.39		0.30	0.67	86.84		0.14	2.06	2.97
3.Nokta	-	6.58	0.26	0.26	0.62	82.91	0.75	0.21	2.55	5.86
4.Nokta	1.12	10.87	0.29	0.21	0.67	64.86	1.83	0.29	1.22	18.49

Tablo 5’de kaplama bölgesinin orta kısımları incelenmiş, yapıda titanyum karbürler ve titanyum borürler oluştuğu tespit edilmiştir. EDS analizleri bor ve karbon elementleri ile birlikte değerlendirildiğinde yapıda TiC, Ti₂B, Fe₃C₂ ve Fe₂B sert fazların varlığı belirlenmiştir.

Tablo 5. Şekil. 2b’de SEM S1’in orta bölgesi EDS analiz sonuçları

	Elementler %								
	B	C	Si	Al	Mn	Fe	Ti	W	O
1.Nokta	4.28	8.56	0.24	0.97	0.38	55.29	20.73	1.58	7.49
2.Nokta	1.02	4.77	0.84	1.36	0.47	73.86	15.29	1.98	--
3.Nokta	2.04	5.00	0.88	0.73	--	60.36	29.03	1.96	--
4.Nokta	--	2.32	1.91	0.83	--	67.87	24.10	2.98	--
5.Nokta	--	2.31	1.44	0.88	--	68.45	23.60	2.80	--



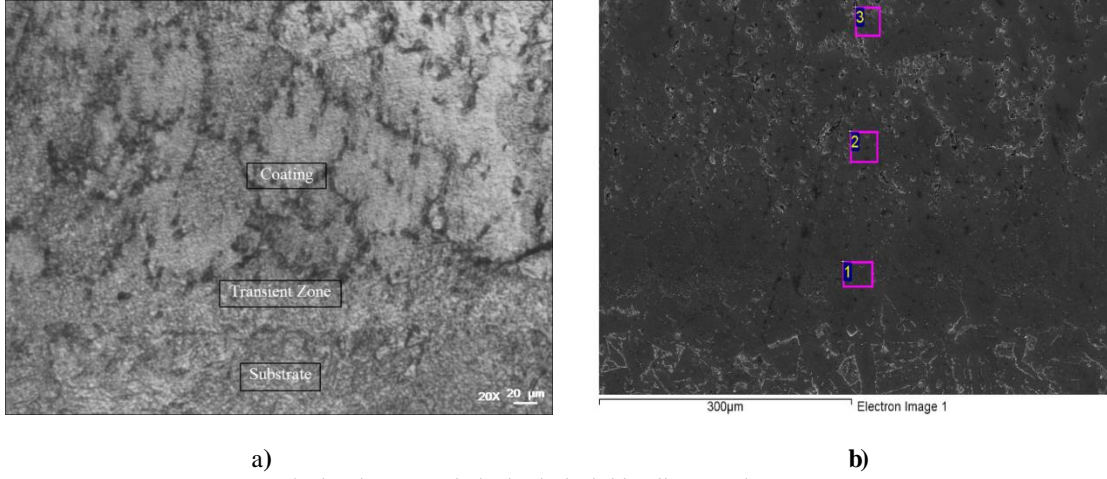
Şekil 3. Sıkı kaplamanın orta bölgelerindeki mikroyapısı SEM X10000

Tablo 6. Şekil 3’de (X10000) S1’in orta bölgesindeki EDS analiz sonuçları

	Elementler %							
	B	C	Si	Al	Mn	Fe	Ti	W
1.Nokta	--	4.51	0.82	1.41	0.47	76.40	13.90	1.97
2.Nokta	--	4.14	1.00	1.25	--	73.90	17.09	2.10
3.Nokta	1.52	4.02	0.98	1.24	--	82.91	18.57	2.42

S1 numunesinin orta bölgelerinde alınan mikroyapı şekil 3’de gösterilmiştir. TiC’lerin varlığı Tablo 6’da gösterilen EDS analizlerinden anlaşılmaktadır. Benzer mikroyapı fotoğrafları S1 ve S2 de görülmüştür. Üç farklı mikroyapı bölgesi görülmektedir. Geçiş bölgesine yakın ötektik yapı katıdır, fakat kare ve üçgen şekilli TiC’lerin yoğunluğu kaplamanın yüzeyine doğru artmaktadır (Şekil 4a,b). Analizlerden sert

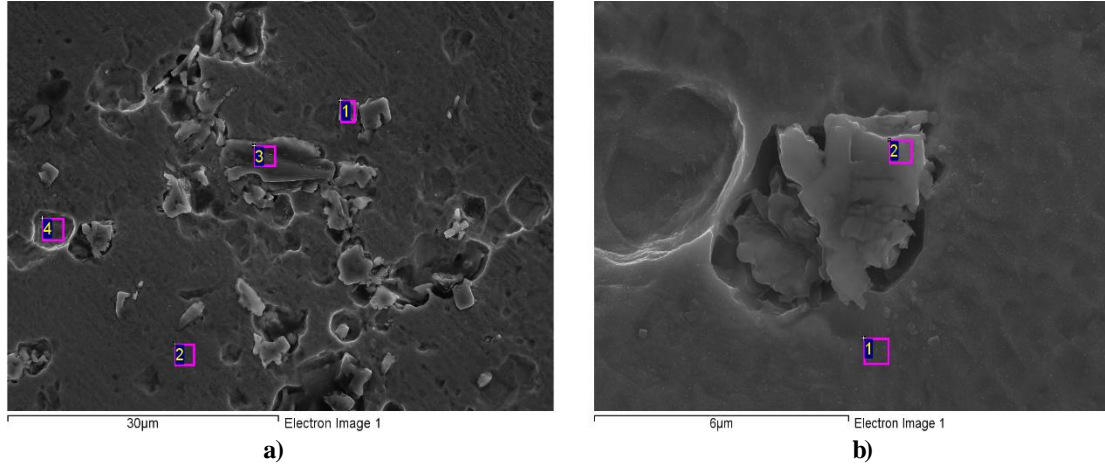
fazların TiC ve Fe₃C₂ olduğu varsayılabilir ve S2’de geçiş bölgesinin yapısı bir ötektik faz karışımı yapısıdır (Şekil. 4). EDS analizlerinden altlık malzemeye Ti ve C atomlarının difüze ettiği görülebilir (Tablo 7). İkinci bölgeden alınan mikroyapılar şekil 5 ve EDS analizleri de tablo 8’de verilmiştir. Bu bölgede Fe₂B boridlerin kümeleştiğini söylemek mümkündür.



a) b)
Şekil 4. S2'nin kaplama geçiş bölgelerindeki mikroyapıları; a) optik, b) SEM.

Tablo 7. Şekil 4b'de verilen mikroyapı S2 numunesinin geçiş bölgesi EDS analizleri

	Elementler %								
	B	C	Si	Mn	Fe	Ti	O	W	Cu
1. Nokta	--	2.84	0.25	0.59	90.10	0.68	3.10	--	2.45
2. Nokta	--	2.49	0.42	0.64	92.33	1.31	--	--	2.82
3. Nokta	--	6.76	0.27	0.53	80.12	7.72	--	2.40	2.20



a) b)
Şekil 5. S2'nin orta bölgesi SEM mikroyapıları a) orta bölge b) orta bölge X10000

Tablo 8. Şekil 5a'da mikroyapının S2'nin EDS analizleri

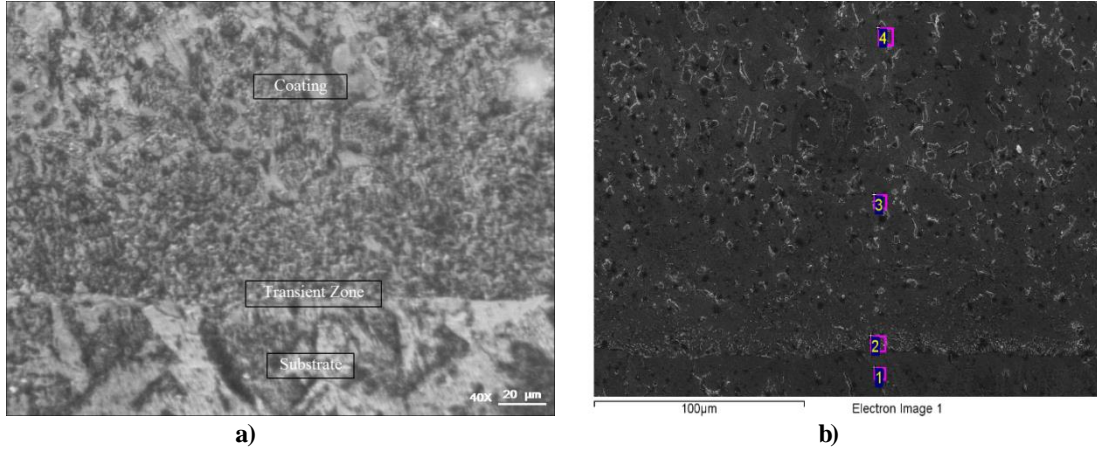
	Elementler %							
	B	C	Si	Mn	Fe	Ti	W	Cu
1.Nokta	--	1.95	0.43	0.56	92.98	0.93	0.75	2.40
2.Nokta	19.09	--	0.15	0.51	64.66	11.34	2.52	1.72
3.Nokta	--	1.94	0.40	0.58	92.75	1.19	0.80	2.34
4.Nokta	--	1.74	0.43	0.68	92.88	1.01	0.94	2.34

Tablo 9. Şekil 5b'de S2'nin mikroyapı EDS analizleri

	Elementler %							
	B	C	Si	Mn	Fe	Ti	W	Cu
1.Nokta	8.24	31.52	0.11	0.31	50.30	6.47	2.01	1.04
2.Nokta	1.03	5.26	0.12	0.53	67.24	18.90	5.47	1.46

S3 numunesindeki Fe_5C_2 , B_4C , FeB, TiC, sert faz karışımlarının mikroyapı fotoğrafları şekil 6'da, EDS analiz sonuçları tablo 7'de, matriks ve borid tabalarının ara yüzeyindeki S2'nin mikroyapısı şekil 7a'da verilmiştir. Yüksek sıcaklıkta tane sınırları boyunca ötektik

karışımın sıvı alaşımı ergittiği görülmüştür. Yüksek sıcaklıktan hızlı soğuma sırasında bu erginemiş bölgeler ve ötektik içerisinde adacıklar oluşmuştur [19]. Öte taraftan kaplamannın ortasında ötektik bir mikroyapı görülmektedir (Şekil.7b).

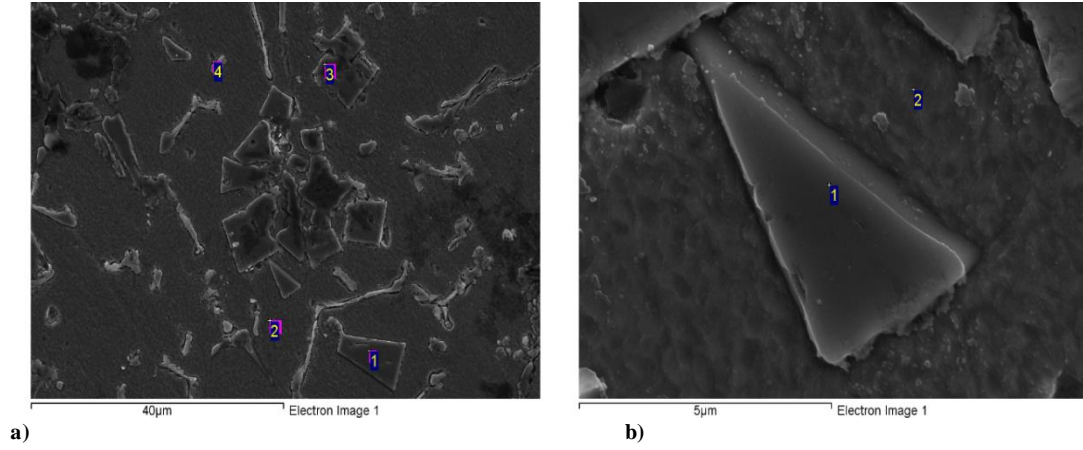
**Şekil 6.** S3'ün geçiş bölgesinin mikroyapıları a) Optik, b) SEM

S3'ün merkezinden alınan EDS analizleri ve mikroyapıları ötektik yapıyı desteklemektedir (Şekil 7a). 1. noktadan alınan EDS analizli C atomunun altlık malzemeye difüze ettiği, ancak B ve Ti atomunun difüze etmediği görülmektedir (Şekil 7b). Bor atom yoğunluğunun altlık

malzemesinden kaplamannın ortasına doğru arttığı görülmektedir. Buna ek olarak karbon yoğunluğu yüzeye doğru dengeli bir dağılım göstermekte, Ti yoğunluğu kaplama ortasından yüzeye doğru arttığı tespit edilmiştir (Tablo10).

Tablo 10. Şekil 6b'de S3'ün geçiş bölgesinden mikroyapı EDS analizleri

	Elementler %								
	B	C	Si	Al	Mn	Fe	Ti	W	Cu
1.Nokta	--	2.85	0.37	--	0.73	94.82	--	--	1.22
2.Nokta	--	3.59	0.50	0.40	0.54	92.49	0.40	0.85	1.24
3.Nokta	--	3.10	0.62	0.43	0.63	90.74	1.33	1.32	1.47
4.Nokta	--	3.12	0.72	0.40	0.70	89.69	1.97	--	3.03



Şekil 7. SEM mikroyapı S3; a) orta bölge b) X12000 büyütme

Tablo 11. Şekil 7a'da S3'ün mikroyapı EDS analizleri

	Elementler %							
	B	C	Si	Al	Mn	Fe	Ti	W
1. Nokta	3.18	18.02	0.26		0.81	23.62	38.26	16.92
2. Nokta	--	4.48	0.54	0.49	0.54	87.14	3.98	2.49
3. Nokta	21.05	9.07	0.05	0.22	--	40.50	21.84	6.92
4. Nokta	--	6.84	0.47	0.43	--	75.74	10.93	5.18

Tablo12. Şekil 7b'de S3'ün mikroyapı (X12000) EDS analizleri

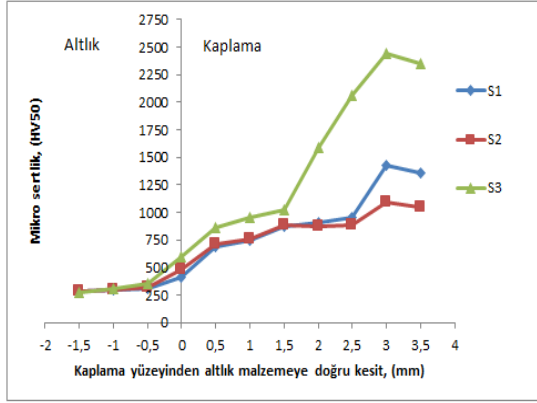
	Elementler %							
	B	C	Si	Al	Mn	Fe	Ti	W
1. Nokta		2.48	0.51	0.53	0.38	87.79	5.77	2.53
2. Nokta	0.14	13.03	0.19	0.37	0.40	55.73	22.64	7.49

Matriks ve borür tabakalarının ara yüzeyindeki S3'ün mikroyapısı şekil 7a'da verilmiştir. Yüksek sıcaklıkta tane sınırları boyunca ötektik karışımın sıvı alaşımı ergittiği görülmüştür. [19]. Öte taraftan kaplamanın ortasından alınan mikroyapıda üçgen şekilli TiC görülmektedir (Şekil7b).

3.2 Mikrosertlik

3 mm kaplama yüzeyinden 3500 µm derinliğinde 0.5 mm aralıklarla ölçülen mikrosertlik değerleri şekil 8'de verilmiştir. S1'in sertlik değeri 688 ile 1354HV arasında değişmektedir. S2'nin sertlik değeri 710 ile 1045 HV arasında olup S1'e göre zıt değerler çıkmıştır. S3'ün sertlik değeri 860 ile 2440 HV arasındadır. En düşük değer şekil 8'de görüldüğü gibi S2'de görülmüş olup, en yüksek değer S3'de

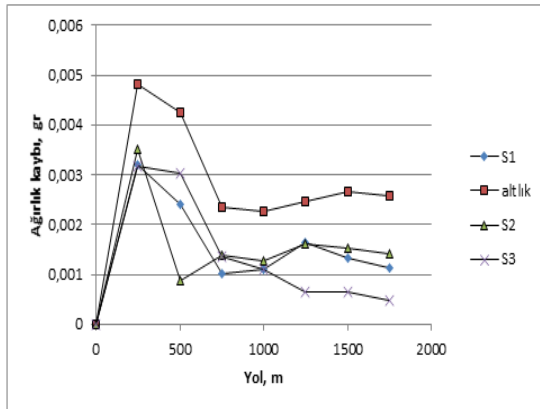
ölçülmüştür. Sertlik değerinin bu numunede görülmesi içerdiği sert karbürlere bağlanmıştır. Kaplamalar sertlik değerleri ile karşılaştırıldığında, geçiş bölgesindeki düşük sertlik değeri bor oranının azalması şeklinde değerlendirilebilir. Geçiş bölgesindeki düşük bor, titanyum ve tungsten, kaplama bölgesindeki fazlar ile karşılaştırıldığında yumuşak fazlar elde edilmiştir. Geçiş bölgesindeki azalma borid tabakasının altlık malzemesine iyi difüze olması şeklinde değerlendirilebilir [13, 20]. Altlık malzemesinin ısıdan etkilenen bölgedeki sertlik değeri 270 ile 350 HV arasında değişmekte, altlık malzemesine doğru yaklaştıkça 265 HV'ye kadar düştüğü görülmektedir. [13].



Şekil 8. Mikrosertlik

3.3. Aşınma

Numunelerin aşınma değerleri 170 N yük ile kütle kaybı olarak araştırılmış (Şekil 9) ve. kütle kaybının 500 metreye kadar yükseldiği görülmekte, aşınma mesafesinin artmasıyla birlikte ters orantılı olarak kütle kaybının azaldığı görülmektedir. En az aşınma miktarı S3'de görüldüğü, FeB, FeTi, FeW ve C ile bu elementlerin oluşturduğu çok sayıda bor, titanyum, wolfram ve karbona bağlı karbürlerin oluşması gösterilebilir. Sonuç olarak üç numunedeki aşınma miktarı 500 m mesafeden sonra grafit tabakaların varlığı sebebiyle kademeli olarak azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 9. Adhesiv aşınma grafiği

4. Genel Sonuçlar

Ana reaksiyon FeB-FeTi-FeW-C tozların TIG kaynak işlemi sırasında FeB, FeTi, FeW, C arasında oluşmuştur. Bu elementler arasındaki

reaksiyon geçiş bölgesinde sınırlı olduğu görülmüştür.

TiB₂, Fe₂B, WB₄, Ti₃B₄, B₂W, B₈C, TiB₁₂, FeWB, WB, Fe₇C₃, Fe₃W₃C, fazlarının kaplama yüzeyinde meydana gelmiştir. S2'de ise WB₄, WB, Fe₇C₃, Fe₃W₃C fazları görülmüştür. S3'de, WB₄, Ti₃B₄, B₈C, TiB₁₂, FeWB, WB, Fe₇C₃, Fe₃W₃C fazlarına ilave olarak Fe₅C₂, B₄C, FeB, TiC, B₁₃C₂, Fe₂C fazları tespit edilmiştir. FeW oranının her üç numunede oransal olarak sabit olmasına rağmen önemli wolfram karbürleri oluştuğu gözlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, GTAW yöntemi ile elde edilen yüzey kaplamada kullanılan alaşım elementlerinin grafit ile birlikte çeliğinin aşınma direncini iyileştirebileceği sonucuna varılabilir [24]. Karbon oranının %3'den %13'e kadar artarak grafit tabakalarının oluşumuna neden olduğu ve kütle kaybı gittikçe azalmıştır. Bu çalışmada, adhesiv aşınma testi sonuçlarına göre, en az kütle kaybı S3'de görülmüştür. Yüksek oranlarda FeB, FeTi, FeW ve C ile bu elementlerin oluşturduğu bor, titanyum, wolfram ve karbona bağlı olarak karbürlerin oluşumu gösterilebilir.

Teşekkür

Yazarlar Fırat Üniversitesi Bilimsel Proje Araştırmaları birimine desteklerinden dolayı teşekkür eder. Bu çalışma FÜBAP (Proje No:1809) tarafından desteklenmiştir

5. Kaynaklar

1. Buytoz, S., Ulutan, M. and Yildirim, M.M. (2005). "Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings", *Applied Surface Science*, **252** (Iss. 5): 1313-1323.
2. Gemelli, E., Gallerie, A., Kopp, F.C.T. and Camargo, N.H.A. (2005). "Improved surface properties of D2 steel by laser surface alloying", *Journal of Materials Science*, **40**:5649-5653.
3. Pashby, I.R., Barnes, S. and Bryden, B.G. (2003). "Surface hardening of steel using a high power diode laser", *Journal of Materials Processing Technology*, **139**: 585-588.
4. Yildirim, M.M., Buytoz, S. and Ulutan, M. (2007). "Microstructural Changes to SiC Coated Metallic Surfaces Produced by the TIG Welding Process on a 45Mn5 Steel", *Prakt. Metallogr.*, **44** (2): 59-69.

5. Wu, X. and Chen, G. (1999). "Nonequilibrium microstructures and their evolution in a Fe–Cr–W–Ni–C laser clad coating", *Materials Science and Engineering*, **A270**: 183–189.
6. Khedkar, J., Khanna, A.S. and Gupta, K.M. (1997). "Tribological behaviour of plasma and laser coated steels", *Wear*, **205**: 220–227.
7. Korkut, M.H., Yılmaz, O. and Buytoz, S. (2002). "Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of a gas tungsten arc (GTA) synthesized Fe–Cr–Si–Mo–C coated low carbon steel", *Surface and Coatings Technology*, **157**: 5–13.
8. Yılmaz, S.O. (2005). Wear behavior of gas tungsten arc deposited FeCrC, FeCrSi, and WCo coatings on AISI-1018 steel, *Surface and Coatings Technology*, **194**, 175–83.
9. Matijević, B. and Stupnišek, M. (2009). Novelty in diffusion coating technology, *Materials and Manufacturing Processes*, **24**: 887–893.
10. Fujita, H. and Arai, T. (1985). Carbide coatings in molten Borax bath- growth mechanism of layer, Properties and Application, *Proceedings of the 4th Int. Congress of IFHT*. Berlin, 1109–1124.
11. Ma, Z.Y. and Tjong, L. (2000). Gen. In-situ Ti–TiB metal–matrix composite prepared by a reactive pressing process, *Scripta Materialia*; **42(4)**: 367–373.
12. Yılmaz, S.O., Ozenbas, M. and Yaz, M. (2009). Synthesis of TiB₂-reinforced iron-based composite, Coating, *Tribology International*, **42**: 1220–1229.
13. Bourithis, L., Papaefthymiou, S. and Papadimitriou, G. D. (2002). Plasma transferred arc boriding of a low carbon steel: microstructure and wear properties, *Applied Surface Science*, **200(1-4)**, 203–218.
14. Darabara, M., Papadimitriou, G.D. and Bourithis, L. (2006). Production of Fe–B–TiB₂ metal matrix composites on steel surface, *Surface & Coatings Technology*, **201**: 3518–3523.
15. Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., Leon, L.M. and Toro, A. (2005), The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, *Wear*, **259**: 52–61.
16. Berns, H. (1995). Microstructural properties of wear resistant alloys, *Wear*, **181**: 271–279.
17. Kirchgaßner, M., Badisch, E. and Franek, F. (2008). Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact, *Wear*, **265**: 772–779.
18. Xiaolei, W. and Guanguan, C. (1999). Material Science and Engineering, **270**, 183.
19. Zhang, L., Liu, B., Yu, H. and Sun, D. (2007). Rapidly solidified non-equilibrium microstructure and phase transformation of plasma cladding Fe-based alloy coating. *Surface & Coatings Technology*, **201**: 5931–5936.
20. Eroglu, M. (2009). Boride coatings on steel using shielded metal arc welding electrode: Microstructure and hardness. *Surface & Coatings Technology*, **203**: 2229–2235.
21. Kulka, M., Makuch, N., Dziarski, P., Piasecki, A. and Miklaszewski, A. (2014). Microstructure and properties of laser-borided composite layers formed on commercially pure titanium. *Opt. Laser Technol.*, **56**: 409–424.
22. Li, G.J., Li, J. and Luo, X. (2015). Effects of post-heat treatment on microstructure and properties of laser clad composite coatings on titanium alloy substrate. *Opt. Laser Technol.*, **65**: 66–75.
23. Laird, G., Gundlach, R. and Rohrig, K. (2000). Abrasion-resistant cast iron handbook. *Illinois: American Foundry Society*, p. 72.
24. Yaz, M. (2013). In situ formation of square shaped Fe₂B borides in coated surface produced by GTAW, *JOAM*, **15**: 1037 – 1046.