

## FeCrC, WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kullanılarak Kaplanmış AISI4340 Çeliğinin Aşınma Karakteristiği

### The Wear Behaviors of FeCrC, WC, and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coated AISI 4340 Steel Substrate

M. Özenbaş

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mim. Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Müh. Bol., Ankara*

O. Yılmaz

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, Elazığ*

**ÖZET:** FeCrC, WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> malzemelerinin tozları ayrı ayrı olarak Gaz Tungsten Ark (GTA) tekniği kullanılarak düşük alaşımlı AISI 4340 çeliğinin yüzeyine alaşımlamayla kaplandı. Numunelerin abrasiv aşınma karakteristiği (Pin-on-Disk) yöntemiyle yüke ve mesafeye bağlı olarak belirlendi. Belirlenen aşınma sonuçlarına göre bu malzemelerin düşük karbonlu ve alaşımlı çeliklerin yüzeylerinin kaplanmasında kullanılabileceği görüldü. Ayrıca B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün kullanılmasının, yüzeyde diğer klasik tekniklerle oluşturulabilen sert yüzeylerden farklı olarak bir doku oluşturduğu görüldü. Bu mikroyapıda, sertliği 2200-3300 HV<sub>10</sub> olan fazlar tespit edilirken matrisin sertliğinin 1000-1300 HV<sub>10</sub> olarak değiştiği belirlendi. Elde edilen yüzeyin 3-5 mm kalınlığında bir katman olduğu görüldü. Yüzeyde elde edilen dokuda MC, M<sub>3</sub>C, M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> ve M7C3 karbürleri ile takviye edilmiş mikroyapının aşınma oranları yola ve yüke bağlı olarak karşılaştırıldı. En düşük aşınma oranı WC-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilaveli yüzeyden elde edildi.

**ABSTRACT:** FeCrC, WC, and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders were developed for coatings on AISI 4340 steel substrate by gas tungsten arc processing (GTA). The wear behaviors of the coated surfaces were evaluated over pin-on-disc and 80 grade SiC abrasive paper as a function of load and distance. The usage of the B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders produced a surface having (BC) hard phases with a hardness value of 2200-3300 HV<sub>10</sub> and a surface layer of 3-5 mm in thickness. In addition the matrix hardness varied as 1000-1300 HV<sub>10</sub>. The test results were compared with each other as a function of load and wear distance. It was seen that the best wear resistance was observed with WC-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alloy coating.

## 1. GİRİŞ

Lazer ve gaz-tungsten-ark (GTA) yöntemleri kullanılarak demir esaslı malzemelerin yüzeyleri kaplanabilmektedir. Lazer yöntemi kullanımı ile malzeme yüzeyinde çok küçük ebatlı fazlara haiz bir mikro yapının oluşumu sağlanabilmektedir (Blake et. al., 1988). Lazer yöntemi yerine GTA yönteminin kullanımın bazı avantajları mevcuttur. Bu yöntemlerle elde edilen malzemelerin aşınma ve korozyon özellikleri mevcut yüzey işlemleri ile geliştirilen yüzeylere nazaran çok daha verimli sonuçlar vermektedir (Minemura et. al., 1990).

Yüksek krom ve karbon konsantrasyonuna sahip demir esaslı alaşımlar yüksek aşınma dirençli yüzeylere sahip malzemeler olarak ağır aşınma

şartları altında kullanılmaktadırlar (Kulkarni et. al., 1984, Kinzel et. al., 1937). Metallerin mineraller ile olan etkileşimini içeren aşındırıcı ortamlarda yüksek aşınma dirençli malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yüksek oranda alaşım elemanı barındıran çeliklerin mikroyapılan incelendiğinde, yapıda esas olarak  $\alpha$ -ferrit, kompleks karbürler (M<sub>3</sub>C, M7C3 ve M23Q), alaşımlama kompozisyonuna bağlı olarak oluşur (Kuo, 1957). Yüksek oranda karbon ve krom içerikli yapılarda ötektik karbürlerin (M7C3) bulunduğu ve bu karbürlerin ebatlarının farklılık gösterdikleri belirlenirken, alaşımsız yüksek karbonlu yapılarda M3C karbürlerinin bulunduğu bildirilmektedir (Griffing et. al., 1962, Dodd et. al., 1980).

Yüksek oranda alaşım elementi içeren yapılarda soğuma oram malzemenin özelliklerim önemli oranda etkiler. Dökümle üretilen malzemelerde veya kaynaklı parçaların mikroyapılarında fazların büyük taneli yapılarda olması ve dağılımlarının homojen olmaması, alaşım elementlerinin segregasyonlan nedeniyle parçalarda termal distorsiyon oluşturmaktadır. Aynı zamanda kaynaklı yapıda, ısı tesiri altındaki bölgelerin genişliği artmaktadır. Ancak, hızlı soğuma teknikleri sayesinde bu istenmeyen özelliklerin bertaraf edilmesi mümkündür. GTA yöntemi ile yüzey modifikasyonu sayesinde, yüzeyde belirli bir kalınlıkta ve istenen kimyasal kompozisyonda bir tabakanın elde edilmesi mümkündür. Bu teknik ile elde edilen kaplanmış bölge ile ana malzeme arasında iyi bir bağ olması istenen bir durumdur ve kaplanmış bölgenin yüksek sertlik ve aşınma direncine haiz olması istenir. Bu çalışmada, FeCrC tozları ile kaplanmış bölgelerde yapı içerisinde M7C3 karbürlerinin oluşturulması istenirken, WC kullanımı ile yapıda WC karbürlerinin dağılımı ve diğer alaşım tozlarının kullanımı ile de alaşım elementlerinin yapı , içerisinde çeşitli fazları oluşturması ve ana matrisi ise segregasyon ile güçlendirmesi amaçlanmıştır

## 2. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

13x5x1 cm ebatındaki AISI 4340 çelik plakalar deney numunesi olarak kullanıldılar. 64 % Cr, 7 % C ve 2 % Si içeren yüksek karbonlu ferrokrom, WC ve % 65 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren borik asit tozları aynı ve belirli kanşım oranlarında malzeme yüzeyine GTA prosesinde püskürtüldüler. Proses esnasında 2 KW lık güç , 2.4 mm ve % 2 lik toryumlu tungsten elektrot, 6.5 mm/s lik proses hızı ve 0.5 gr/s lik besleme oranları kullanılmıştır. Yüzey modifikasyonu esnasında argon gazı atmosfer kontrolü için kullanılmıştır. Mikroyapı görüntüleri için 5 g FeCl<sub>3</sub>, 30 ml HCl ve 100 ml saf su ile hazırlanan dağlama çözeltisi kullanılmıştır. Ayrıca yüzeylerin SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) görüntüleri alınarak mikroyapıdaki elementel konsantrasyon değişimleri EDS (Enerji Dispersif Analiz Ünitesi) yardımıyla tespit edilmiştir.

Numuneler pin-on-disk yöntemi ile aşındırılmışlar ve aşındırıcı olarak 80 meşlik SiC'li zımpara kağıdı kullanılmıştır. Aşınma oranı olarak  $W=grxN/cm^2$

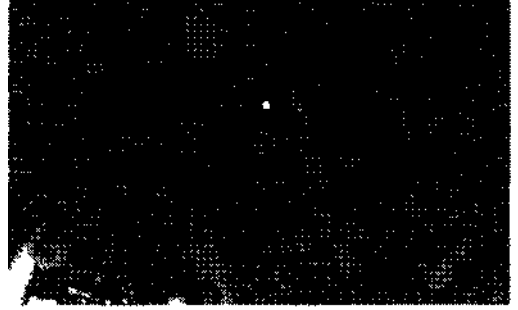
birimi kullanılmıştır. Aşınma testleri boyunca yükler 10, 20 ve 30 N olarak değiştirilmiştir. Her test esnasında aşındırıcı kağıt değiştirilmiştir. Ağırlık kayıpları, 10<sup>-5</sup> gr hassasiyetindeki tartımlarla yapılmış ve her test 3 kez tekrarlanmıştır.

## 3. SONUÇLAR

FeCrC, WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metalik tozları 150 um lik ebatlarda kullanıldı. Bu kaplanmış numunelerin mikroyapıları Şekil 1-3 de verilmiştir.

Bu yapılardan sertlik, maliyet ve aşınma direnci dikkate alındığında en uygun tozların FeCrC- B<sub>2</sub>C<sub>3</sub> ve FeCrC-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-WC tozlarının birlikte kullanılması ile elde edilebileceği görüldü. WC-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , WC ve FeCrC-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-WC kaplı yüzeylerin aşınma dirençlerinin en iyi sonuçları olduğu belirlendi. Bu sebeple bu yapıların SEM görüntüleri alındı ve mikroyapıdaki fazların analizleri belirlendi. Mikroyapı ve EDS analizlerine dayanarak matrisin östenit ve ikinci fazları ise tane sınırları karbürleri olduğu kanaatine varıldı.

Şekil 1 de FeCrC tozlarının kullanılması ile elde edilen yapının optik mikroskop görüntüsü verilmektedir. Şekil 2 de ise WC ve FeCrC+WC metalik tozlarının kanşımı ile kaplanmış yüzeyin optik mikroskop görüntüleri bulunmaktadır.

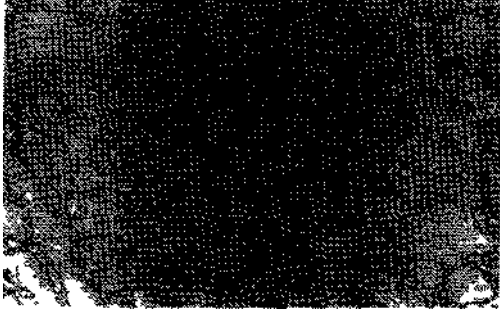


Şekil 1. FeCrC ile kaplanmış yüzeyin optik mikroskop görünüşü (X400)

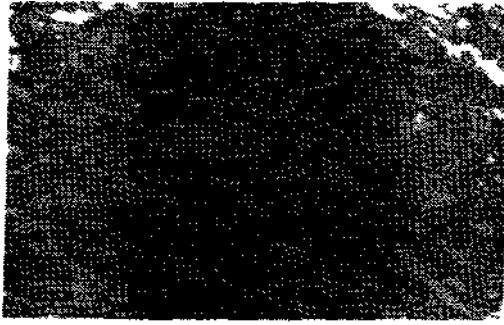
Yüksek karbonlu ferrokrom (FeCrC) tozları ile oluşturulan yüzeyin mikroyapısında ana fazın kübik yüzey merkezli östenit fazı (γ) ve yapıda dağılmış

bir vaziyette M7C3 (M=Cr,Fe) karbürleri olduğu belirlenmiştir (Yılmaz et. al., 2002).

WC tozları ve WC+FeCrC tozlarının birlikte kullanımı ile oluşturulan yeni yüzeylerin mikroyapıları Şekil 2 de verilmiştir. Şekil 2.a dan görüldüğü gibi saf WC partiküllerinin kullanılması ile elde edilen yapıda partiküllerin arasının Fe'ce zengin bir yapı ile sarıldığı görülmektedir. WC-FeCrC yapısının kullanılması ile dendritik bir yapı oluşmakta ve Wee zengin partiküller küçülmektedirler.



(a)



(b)

Şekil 2. a) WC karbürlerinin kullanılmasıyla elde edilen mikroyapı görünümü (X500), b) FeCrC+WC ile kaplı yüzeyin optik mikroskop görüntüsü (X500)

Şekil 3 te FeCrC partiküllerinin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri ile karıştırılması neticesinde yüzeyde oluşturulan yeni mikroyapı verilmiştir. Her iki tozun oranları hacimsel olarak eşdeğer alınmıştır. Şekil 1 ve 3'te görüldüğü gibi yapıya B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi sert karbür dendritlerinin oluşumunu sağlamıştır. Çizelge 1'de

bu yapıdaki fazların analizleri verilmiştir. Bu çizelgede verilen değerlerden de anlaşılacağı gibi 1 numaralı beyaz renkli bölge sert karbürleri içeren bölgedir.



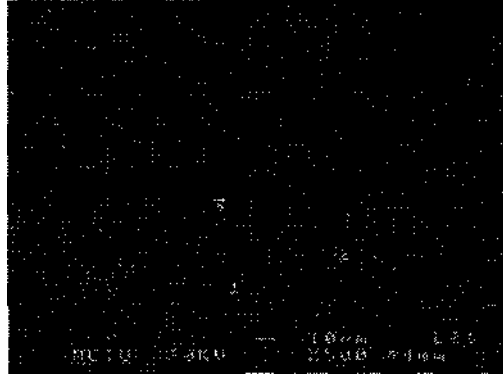
Şekil 3. FeCrC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in kullanımı ile elde edilen yapınn SEM görüntüsü.

Çizelge 1. FeCrC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplanmış Şekil 3'deki mikroyapının EDS sonuçları.

Analiz	Fe	Cr	Mn	Ni	Si
1 Nolu Bölge	57.3	41.4	1.13	-	0.17
2 Nolu Bölge	84.3	12.6	0.79	1.46	0.89
3 Nolu Bölge	86.6	11.4	0.52	1.04	0.43

Şekil 4'te hazırlanan FeCrC+B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışımına WC partiküllerinin eklenmesi ile oluşturulan yüzey mikroyapısı verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bu yapıda tane sınırları karbürleri ile y-Fe matris (siyah bölge) görülmektedir. Şekil 3'te verilen yapıya WC ilavesinin ana yapıyı değiştirmedığı anlaşılmaktadır.

Şekil 4'te verilen mikroyapıdaki fazların EDS analizleri Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çizelgede verilen değerlerden de anlaşılacağı gibi 1 numaralı beyaz renkli bölge tane sınırlarını içeren bölge olup, 2 ve 3 numaralı koyu renkli bölgeler ise y-Fe matris bölgesini temsil etmektedirler.



Şekil 4. FeCrC, WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanımı elde edilen yapı.



Şekil 5. WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' in birlikte kullanımı elde edilen mikroyapının SEM görüntüsü.

Çizelge 2. FeCrC, WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplanmış Şekil 4 deki mikroyapının EDS sonuçları.

Analiz	Fe	Cr	Mn	W	Si
1 Nolu Bölge	58.1	15.3	0.51	25.9	-
2 Nolu Bölge	80.5	7.5	0.60	9.4	1.98
3 Nolu Bölge	81.3	7.1	0.58	9.4	1.59

AISI-4340'ın yüzey modifikasyonunda WC ile B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ün birlikte kullanımının tüm yapılardan daha farklı bir doku oluşturduğu Şekil 5'te ve fazların EDS analizleri Çizelge 3'te verilmiştir. Bu çizelgede verilen değerlerden de anlaşılacağı gibi 3 numaralı koyu renkli bölge y-Fe matris bölgesini temsil etmektedir. Diğer analiz bölgeleri farklı yapıdaki karbürlere işaret etmektedir.

Kaplanan yüzeylerin mekanik ve tribolojik özellikleri özellikle kaulaşan fazları tane ebadına, matris içindeki karbürlerin dağılımlarına ve alaşım elementlerinin segregasyonlarına bağlıdır. Yapı içerisinde oluşan sert karbürlerin (M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, WC) ana matris yapılarından a ferrit, östenit (γ) ve M<sub>3</sub>C karbürlerinden daha sert olmaları nedeniyle GTA yöntemi ile elde edilen kaplanmış yüzeylerin diğer yöntemler ile elde edilen yapılardan daha sert yapılar olmasına sebebiyet vermiştir (Sare, 1979).

Çizelge 3. WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplanmış Şekil 4 deki mikroyapının EDS sonuçları.

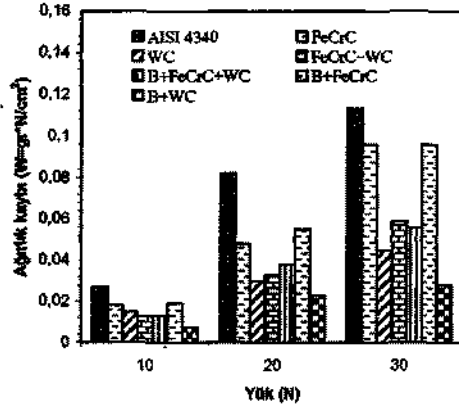
Analiz	Fe	Cr	Mn	W	Si
1 Nolu Bölge	31.2	1.05	-	66.7	1.10
2 Nolu Bölge	72.6	2.68	1.09	22.8	0.77
3 Nolu Bölge.	83.8	1.37	0.75	12.8	1.33
4 Nolu Bölge	56.7	1.85	0.56	39.9	1.01

Bu çalışmada farklı kaplama tozları kullanılarak elde edilen numunelerin yüzey sertlikleri ise Çizelge 4'te verilmektedir. 6 değişik kombinasyondaki toz karışımlarının neticesinde elde edilen yüzeylerin sertlikleri incelendiğinde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı WC tozlarının kullanımıyla elde edilen yüzey en yüksek sertlik değerini vermektedir.

Çizelge 4. Numunelerin yüzey sertlikleri.

Kaplamada kullanılan toz	Sertlik Re
WC+B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62-64
WC	58-60
WC+ FeCrC+ B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56-58
WC+FeCrC	53-56
FeCrC+B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52-54
FeCrC	48-53
AISI4340	25-30

Yük, ağırlık kaybı ilişkisi altı farklı numune için Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 6. FeCrC, WC, FeCrC+WC, B+ FeCrC+WC, B+WC, B+FeCrC tozları ile kaplanmış ve kaplamasız AISI4340 yapılarının yük-ağırlık kaybı ilişkileri.

Abrasiv aşınma test sonuçlarına göre B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve WC tozları ile kaplı örnek yüzey aşınma direnci olarak çok iyi sonuç verirken, WC tozlarının kullanımıyla elde edilen mikroyapı ve daha sonra B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeCrC ve WC tozlarının karışımı ile kaplı yüzeyler sırasıyla en iyi aşınma direnci gösteren yüzeyler olmuştur.

#### 4. GENEL SONUÇLAR

WC, FeCrC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları GTA yöntemi kullanılarak AISI 4340 çeliğinin yüzeyinin kaplanmasında kullanılmıştır. WC alaşım tozlarının pahalı olması nedeni ile bu alaşıma alternatif olarak FeCrC tozları kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün WC, FeCrC ve WC+FeCrC alaşım karışımı ile elde edilmiş yüzey üzerindeki etkileri incelenmiştir. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün WC tozları ile karıştırılması sonucunda elde edilen yüzeyin aşınma direncinin sadece WC tozları ile kaplanan yüzeye göre dikkate değer ölçüde arttığı görülmüştür. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün yapıya ilavesi, ana malzemenin dokusundan farklı mikroyapıda yapıların oluşumunu sağlarken, oluşan sert karbür dendritleri de sertlik ve aşınma dirençlerinin artmasını sağlamıştır. Abrasiv aşınma direnci açısından karşılaştırıldıklarında, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve WC tozları ile kaplı

yüzey aşınma direnci olarak çok iyi sonuç verirken, FeCrC tozlarının WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları ile karışımıyla elde edilen yüzey, sadece WC tozları ile elde edilen yüzeyin aşınma direncine yakın bir aşınma direnci göstermiştir. FeCrC, WC ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları karışımının, çok sert ve aşınma dirençli uygulamalarda yüzey kaplama seçeneği olarak düşünülebileceği kanaatine varılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- Blake, A.G., Mangaly, A.A., Everett, M.A. and Hammeke, A.B. 1988. *SPCE, Bellingham, WA*, 957, 56-65
- Dodd, J. and Parks, L. 1980. *AFS Int. Cast Mel. J.*, Vol. 3, 37-46
- Griffing, N.R., Forgeng, W.J.D. and Healy, G.W. 1962. *Trans. TMS-AIME*, Vol. 224, 148-159
- Kinzel, A.B. and Crafts, W. 1937. "The alloys of iron and chromium", McGraw-Hill, New York, NY, Vol. 1, 25-79
- Kinzel, A.B. and Crafts, W. 1937. "The alloys of iron and chromium", McGraw-Hill, New York, NY, Vol. 2, 173-260
- Kulkarni, K.M. and Anand, V. 1984. *Metals Handbook*, 9<sup>th</sup> ed., American Society for Metals, Metals Park, OH, Vol. 7, 823-836
- Kuo, K. 1957. *JIronSteelInst.*, Vol. 185, 297-303
- Minemura, T., Ihoue, A., Kojima, Y. and Masumoto, T. 1990. *Metall. Trans. A*, Vol. 11A, 671-673
- Sare, L.R. 1979. *Met. Technol.*, Vol. 6, 412-419
- Yılmaz, O., Özenbaş, M. and Korkut, M.H. 2002. *Mater. Sci. and Tech.*, Vol. 18, 1209-1216

