



## Klinker ve farinin aşındırıcı olduğu koşullarda çimento üretiminde öğütücü olarak kullanılan demir esaslı sert dolgu ile kaplanmış aşınma plakalarının abrasif aşınma dirençlerinin belirlenmesi

Gökçe Mehmet Genç<sup>1\*</sup>, Reza Ghasemi Owsalou<sup>2</sup>, Süleyman Karadeniz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, 35397, Türkiye

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği A.B.D., Buca, İzmir, 35397, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Sert dolgu ile kaplama yapılması
- Demir esaslı sert dolguların abrasif aşınma dirençleri
- Aşındırıcı partikül olarak farin ve klinker kullanılması

#### Makale Bilgileri

Geliş: 30.06.2015

Kabul: 27.04.2016

#### DOI:

0.17341/gummfd.48584

#### Anahtar Kelimeler:

Abrasif aşınma,  
sert dolgu,  
metal karbür,  
örtülü elektrot kaynağı

#### ÖZET

Triboloji teorilerine ve aşınma mekanizmalarına göre aşınmayı önlemek ve azaltmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan tamir-bakım kaynağında mevcut parça ana malzemesinin yüzeyi aşınma direnci yüksek olan sert dolgular ile kaplanır ve parça endüstriyel işletmelerde tekrar kullanılabilir hale getirilir. Çalışmanın amacı, çimento ham maddesi farinin ve çimento ara maddesi klinkerin çimento üretimi sırasında kullanılan öğütme değirmenlerindeki sert dolgu ile kaplanmış aşınma plakalarının abrasif aşınmalarına etkisini belirlemektir. Kaplamalar EU S355JO çelik plakalar üzerine beş farklı ticari sert dolgu elektrotu kullanılarak örtülü elektrot yöntemi (SMAW) ile yapılmıştır. Abrasif aşınma testleri kuru kum-kauçuk disk abrasif aşınma makinasında ASTM G65 standardında belirtilen Prosedür A'ya göre yapılmıştır. Ancak deneylerde ASTM G65 testinde belirtildiği üzere aşındırıcı olarak kuarz partikülleri yerine klinker ve farin partikülleri kullanılmıştır. Çimento üretiminde kullanılan öğütücü değirmenlerdeki gerçek aşındırıcı olan klinker ve farinin aşındırıcı olarak kullanılması, sert dolgu kaplamalarının aşınma direncinin tespitini kuarz aşındırıcıya göre daha gerçekçi hale getirmiştir. Mikroyapı incelemeleri optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmış ve mikroyapı incelemelerini desteklemek için sert dolgularda oluşan fazlar XRD analizi ile belirlenmiştir. Kaplamaların mikro Vickers sertlik ölçümleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

## Determination of abrasive wear resistances of Fe-based hardfacing coated wear plates that were used as grinders in cement production in cases where clinker and farin were used as abrasives

### H I G H L I G H T S

- Coating with hardfacing
- Abrasive wear resistances of Fe-based hardfacings
- Usage of farin and clinker as abrasives

#### Article Info

Received: 30.06.2015

Accepted: 27.04.2016

#### DOI

0.17341/gummfd.48584

#### Keywords:

Abrasif wear,  
hardfacing,  
metal carbide,  
shielded metal arc welding

#### ABSTRACT

According to tribology theories and wear mechanisms, several techniques are used for preventing and reducing wear. In repair-maintenance welding which is one of these methods, surface of main material is covered with wear high resistant hardfacing materials and thus, materials can be used again in industry. The aim of this experimental study is determining of influences of farin (cement's raw material) and clinker (cement's semi finished product) on abrasive wear conditions of wear plates that were coated with hardfacing alloy and used as grinders in cement production. Coatings were deposited onto EU S355JO steel plates with shielded metal arc welding (SMAW) method by using five different commercial hardfacing electrode. Abrasive wear tests were done with dry sand-rubber wheel abrasive wear testing machine according to Procedure A indicated in ASTM G65 test standard. However in wear tests, farin and clinker abrasives were used instead of quartz abrasives which as stated in ASTM G65 standard. Thus, determination of abrasive wear resistances of wear plates were become more realistic. Microstructure examinations were done by using optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM). Additionally, formed phases in hardfacing coatings were determined by X-ray diffraction (XRD) analysis for supporting microstructure examinations. Vickers hardness measurements of coatings were done in room temperature.

\* Sorumlu Yazar/Corresponding author: mehmet.gencer@deu.edu.tr / Tel: +90 232 301 9282 / 47

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makina elemanlarının ya da kullanılan takımların aşınmaları günümüz endüstrisinde karşılaşılan en yaygın problemlerden biridir [1-5]. Malzemelerin aşınma dirençlerinin çeşitli yüzey modifikasyonlarıyla ya da ana malzemeye işlem uygulayarak geliştirildiği bilinmekte ve literatürde bunlarla ilgili çalışmalar bulunmaktadır [4, 6]. Ana malzemeye uygulanan işlemler uzun süredir yapılmakta iken, malzemelere uygulanan yüzey işlemleri yenidir ve günümüzde gittikçe artan öneme sahip olmuştur. Malzemelerin yüzey özelliklerini modifiye etmek (geliştirmek) için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında sert dolgu ile yüzeyi kaplama, ölçüsel toleransların önemli olmadığı durumlarda özellikle etkili ve kullanışlıdır [4]. Sert dolgu kaynağı ile kaplama (dolgu elde etme), aşınmaya karşı daha dayanıklı yüzeyler oluşturmak veya kullanılan makina parçalarını ya da takımları orijinal boyutlarına getirebilmek için metal parçaların yüzeylerinin farklı kaynak yöntemleri kullanılarak özel alaşımlı malzemelerle doldurulması işlemidir. Metalik malzemeler kullanım alanlarına göre çeşitli aşınma mekanizmaları altında aşınmaya maruz kalırlar [7, 8]. Sert dolgu ile kaplama prosesi, metal parçaların çalışma ömürlerini uzatmak amacıyla aşınma direnci yüksek yüzey oluşturmak için kullanılan düşük maliyetli bir yöntemdir [9]. Yüzey sert dolgu işlemleri özellikle tarım araçlarının, maden uygulamaları için kullanılan parçaların [9-13], iş makinaları kepçelerinin, hammadde karıştırıcılarının, haddeleme merdanelerinin vb. yüzey özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak uygulanmaktadır. Ağır endüstriyel şartlar altında çalışan bu metal parçaların yüzeylerinin sert dolgu ile kaplanmasında kullanılan kaynaklı imalat yöntemleri önemli ve yaygın teknolojilerdir [14]. Sert dolgu kaplaması için en uygun kaynaklı imalat yöntemleri oksit-asetilen kaynağı (OAW), gaz altı kaynağı (GMAW), örtülü elektrot kaynağı (SMAW) ve toz altı kaynağı (SAW)'dır [15]. Bu yöntemler arasındaki en önemli farklar: kaynak işleminin verimi, kaynak dolgusu kimyasal kompozisyonunun seyrelmesi ve kaynak işleminde kullanılan sarf

malzemelerinin üretim maliyetidir [13, 16, 17]. Kaynak yöntemi ile kaplama yöntemleri arasında, düşük boyutsal toleransların gerekli olmadığı durumlarda işlemin kolay uygulanabilirliği ve elektrotların diğer yöntemlere göre uygulama pratikliği, üniversalitesi ve bazı özel kaynak yöntemlerine göre daha ucuz olmaları nedeniyle örtülü elektrot ile dolgu kaynağı yöntemi yaygın biçimde kullanılmaktadır [13]. Birçok tribolojistin çalışma alanı olan abrasif aşınmada [4, 7, 13, 15, 18, 19] birbiriyle temas halinde olan yüzeylerde genellikle oluk açılır ya da yüzeyler çizilir. Makinaların çalışmaları süresince, makina elemanlarının temas eden yüzeylerindeki relatif kayma abrazyonunu artırır [20]. Abrazyon aşınma şartlarında karbürü sert dolguların abrazyon aşınmaya karşı direncinin yüksek olduğu bilinmektedir [11]. Özellikle östenit matris içinde dağılmış karbürlerden oluşan içyapıya sahip kaplamalar sıklıkla abrazyon aşınma şartlarına dayanım amaçlı kullanılmaktadır [13]. Hazırlanan bu çalışmanın amacı, çimento üretim tesislerinde farin ve klinker öğütmek için kullanılan değirmenlerdeki çeşitli sert dolgu alaşımları ile kaplanmış aşınma plakalarının abrazyon aşınma dirençlerini belirlemektir. Bu amaçla, aşındırıcı partiküllerin farin ve klinker olduğu abrazyon aşınma koşulları altında, örtülü elektrot kaynağı ile elde edilen farklı kimyasal kompozisyonlardaki beş farklı demir esaslı sert dolgu kaplamasının aşınma dirençleri araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDY)

### 2.1. Malzemeler, Kaynak Koşulları ve Numune Hazırlama (Materials, Welding Conditions and Specimen Preparation)

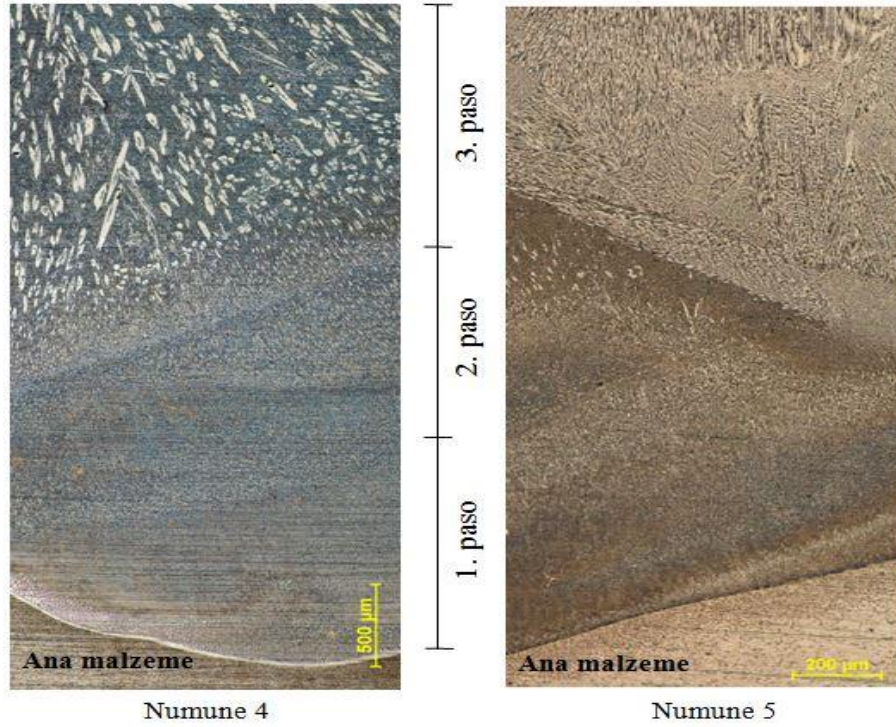
180 HV sertliğe sahip EU 355JO çelik numunelerin yüzeyleri örtülü elektrot kaynak yöntemi ile 5 farklı sert dolgu elektrotu kullanılarak kaplanmıştır. Her kaplama işlemi için 40mm x 200 mm x 20 mm'lik boyutlarda kesilmiş numuneler kullanılmıştır. Kullanılan EU 355JO çelik numunelerin ve sert dolgu elektrotlarının kimyasal kompozisyonları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2 'de verilmiştir.

**Tablo 1.** EU 355JO çelik plakaların kimyasal kompozisyonu (% ağırlık) (Chemical compositions of EU 355JO steel plates (wt %))

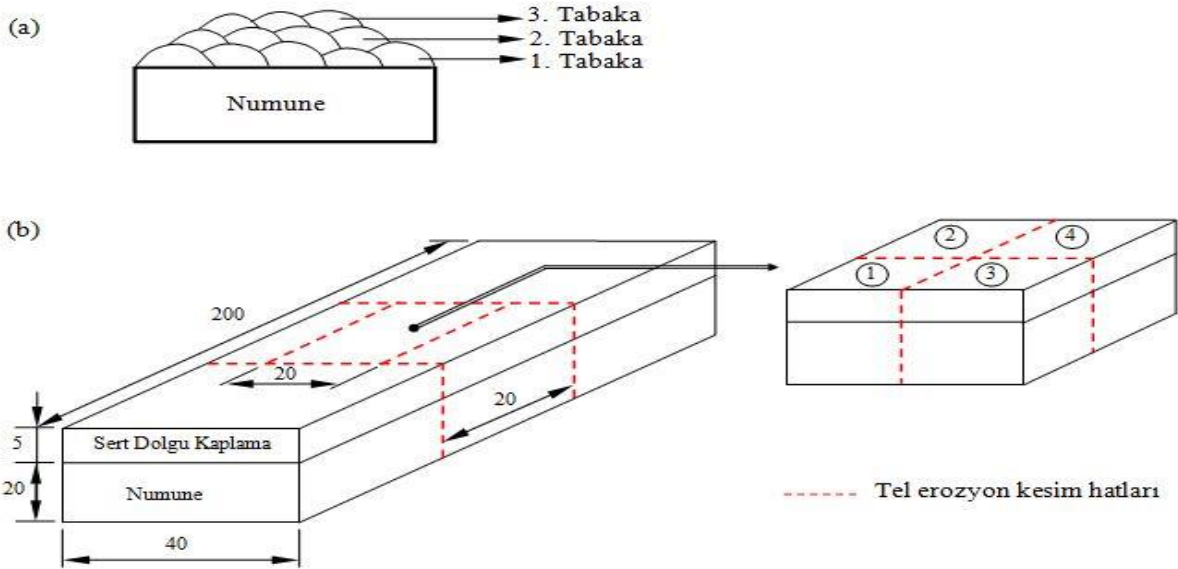
EU 355JO çelik plaka	Kimyasal Kompozisyon (% ağırlık)						
	C	Si	Mn	S	P	Cu	Fe
	0,21	0,5	1,6	0,035	0,035	0,55	Geri kalan

**Tablo 2.** Sert dolgu elektrotlarının kimyasal kompozisyonları (Chemical compositions of hardfacing electrodes)

Elektrotlar (Uluslararası Standartları)	Kimyasal Kompozisyonlar (% ağırlık)									
	C	Cr	Mo	Nb	Mn	Si	Ni	V	W	Fe
Numune 1 (EN 14700 E Fe7)	0,1	13	-	-	0,3	0,5	-	-	-	Geri kalan
Numune 2 (EN 14700 E Fe 8)	0,7	10	-	-	0,7	0,6	-	-	-	Geri kalan
Numune 3 (EN 1600 E 18 9 Mn Mo R 53)	0,07	19	0,75	-	5,6	0,9	8,5	-	-	Geri kalan
Numune 4 (EN 14700 E Fe 14)	4,5	34	-	-	0,5	1,0	-	-	-	Geri kalan
Numune 5 (EN 14700 E Fe 16)	4,5	23,5	5,0	4,0	0,3	1,0	-	1,7	4,0	Geri kalan



**Şekil 1.** Numune 4 ve Numune 5'in 3 pasolu dolgusuna ait kesit görünümü  
(Cross section image of three passes of sample 4 and sample 5)



**Şekil 2.** Kaplama işleminin şematik gösterimi (a) Sert dolgu ile kaplanmış numunenin kesiti; (b) Yapılacak testler için numunelerin hazırlanış bölgelerinin şematik gösterimi (1, 2, 3: Abrasif aşınma deneyi numuneleri, 4: XRD analizi, metalografik muayene ve sertlik testi numunesi, ölçüler mm'dir)

(Schematic indication of coating process (a) Cross section of coated sample, (b) Schematic illustration of sample preparation areas for tests (1, 2, 3: Abrasive wear test samples, 4: XRD analysis and metallographic and hardness test sample, Dimensions in mm))

Numunelerin yüzeyleri yatay pozisyonda kaplanmıştır. Kaplama işlemleri boyunca akım ve kaynak hızı sabit tutulmuş ve tampon tabaka kullanılmamıştır. Sert dolgunun kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri numune malzemesinden farklıdır ve bu fark nedeniyle oluşan yüksek seyrelme sert dolgu metalinin özelliklerini bozar.

Elde edilen sert dolgu kaplamasının istenilen kimyasal kompozisyonunda olması için, yani kaynak işlemi esnasında ana malzeme ile karışarak seyrelme olayını en aza indirmek için, her numune üst üste 3 paso sert dolgu kaynağı ile kaplanmıştır (Şekil 1). Numuneler sert dolgu ile kaplanırken, her üç paso da aynı sert dolgu elektrotu

kullanılarak kaplanmıştır. Elde edilen sert dolgu kaplamaların paso kalınlıkları, örtülü elektrot kaynağının elle ve her pasoda aynı şartlarda yapılıyor olması da göz önüne alındığında, yaklaşık olarak 1,6 mm 'dir. Tablo 3 'de sert dolgu kaplamasında kullanılan kaynak işlemi parametreleri verilmiştir. Numuneler kaplandıktan sonra havada soğutulmuştur. Şekil 2'de kaynak pasolarının oryantasyonu ve kaplama işleminin ardından gerçekleştirilen analizler için gerekli numunelerin çıkarılışları şematik olarak gösterilmiştir. Kaynak işleminden sonra 25 mm x 10 mm x 10 mm 'lık boyutlarda dikdörtgen kesitli numuneler tel erozyon yöntemi ile kesilerek çıkarılmıştır.

**Tablo 3.** Örtülü elektrot ile kaynak işlemi parametreleri (Welding parameters of shielded metal arc welding (SMAW) process)

Parametreler [Birim]	Değerler
Akım [A]	110-130
Gerilim [V]	30
Kaynak Hızı [mm/dak]	160-180
Paso Sayısı	3
Elektrot Kutbu	DCEP

## 2.2. Mikrosertlik Ölçümleri (Microhardness Measurements)

Elde edilen sert dolguların standart Vickers sertlik yöntemi ile mikro sertlikleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri 2,94 N yük altında 15 s'lik yük bekleme süresi ile yapılmıştır. Numunelerin pasolarına ait ortalama sertlik değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Burada numune 4'ün ve numune 5'in ikinci pasolarına ait sertlik sonuçları üçüncü pasolarına göre yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, numune 4 ve numune 5'de karbürlü yapının yoğun şekilde oluşması nedeniyle mikrosertlik ölçümlerinin yapı içindeki karbür tanelerine denk gelecek sonuçların lokal olarak yüksek çıkması ve bu pasoya ait ortalama sertliği arttırmıştır. Elde edilen sert dolgular tümüyle incelendiğinde, birinci pasolardaki seyrelme nedeniyle düşen sertliğin 3 pasolarda arttığı görülmektedir. Bu durum, sertliğin ana malzemeden üçüncü pasoya doğru artışı, Şekil 7'de net şekilde görülmektedir.

**Tablo 4.** Elde edilen sert dolgu pasolarının ortalama sertlikleri (Average hardnesses of hardfacing passes)

	Ortalama Paso Sertliği (HV)		
	1. Paso	2. Paso	3. Paso
Numune 1	593,2	613,3	693,4
Numune 2	677,0	654,7	769,1
Numune 3	271,3	279,5	288,6
Numune 4	885,2	960,0	910,0
Numune 5	1032,8	1115,7	1094,3

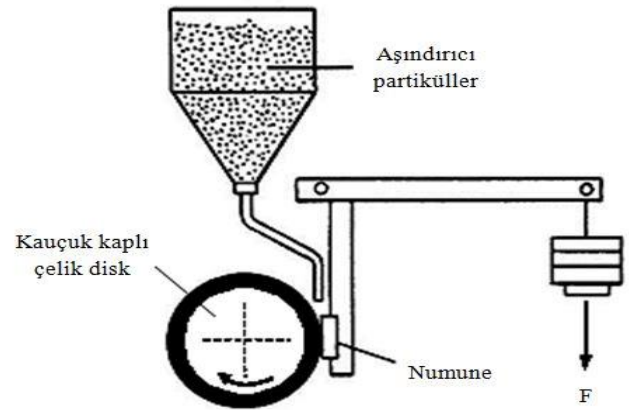
## 2.3. İy yapı Analizleri (Microstructure Analysis)

Numunelerin iy yapılarını analiz etmek için optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Şekil 4'de numunelerin iy yapılarına ait SEM görüntüleri, Şekil 5'de ise optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Analizlerde kullanılan numunelerin kaynak kesitlerinin bulunduğu yüzeyler sırasıyla 80-400-1000-2000

grit olan SiC su zımparaları ile zımparalanmış ve ardından 0,05 µm'lik alümina süspansiyon kullanılarak parlatılmıştır. Numunelerin iy yapılarını ortaya çıkarabilmek için dağlama işleminde *Kalling's No. 2* dağlayıcısı kullanılmıştır. İy yapı incelemelerini desteklemek ve sert dolgularda oluşan fazları belirlemek için XRD analizi yapılmıştır (Şekil 6).

## 2.4. Abrazif Aşınma Testleri (Abrasive Wear Tests)

Aşınma testleri ASTM G65 standardına göre kuru kum-kauçuk disk test cihazında yapılmıştır (Şekil 3). Testte abrasif aşındırıcı olarak kullanılan küresel forma sahip klinker ve farin aşındırıcıları 200-300 µm'lik çaplara sahiptir. Aşındırıcı partiküllerden çimento ara maddesi olan klinkerin sertliği farine göre daha yüksektir. Testlerde numunelere uygulanan yük, test hızı ve aşınma mesafesi Tablo 5'de gösterilmektedir. Tüm aşınma deneyleri ASTM G65 standardına göre Prosedür A baz alınarak yapılmıştır. Testlerde her sert dolgu kaplaması için üç numune test edilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak sert dolgu kaplamaların aşınma dirençleri "(kütle kaybı/aşınma mesafesi)<sup>-1</sup>" formülü ile hesaplanmıştır.



**Şekil 3.** ASTM G65 standardına göre kuru aşındırıcı-kauçuk disk test cihazının şeması [21]

(Schematic diagram of dry sand-rubber wheel testing machine according to ASTM G65)

**Tablo 5.** ASTM G65 kuru aşındırıcı-kauçuk disk test cihazı abrasif aşınma test koşulları

(Abrasive wear test conditions of ASTM G65 dry sand-rubber wheel testing machine)

Prosedür	Yük (N)	Hız (rpm)	Aşınma Mesafesi (m)
A	130	200	4309

Aşınma testlerine başlamadan önce, test edilecek numunelerin aşındırılacak sert dolgu yüzeyleri ASTM G65 standardında belirtildiği üzere taşlanarak istenilen düzgünlüğe getirilmiştir. Taşlama işleminden sonra tüm numuneler ultrasonik yöntemle aseton banyosunda temizlenmiş ve sıcak hava ile kurutulmuştur. Sert dolguların aşınma dirençleri, kauçuk diskin çapındaki değişimler de göz önüne alınarak, numunelerdeki kütle kayıpları (0,1 mg hassasiyetteki) hassas terazi ile ölçülüp değerlendirilmiştir.

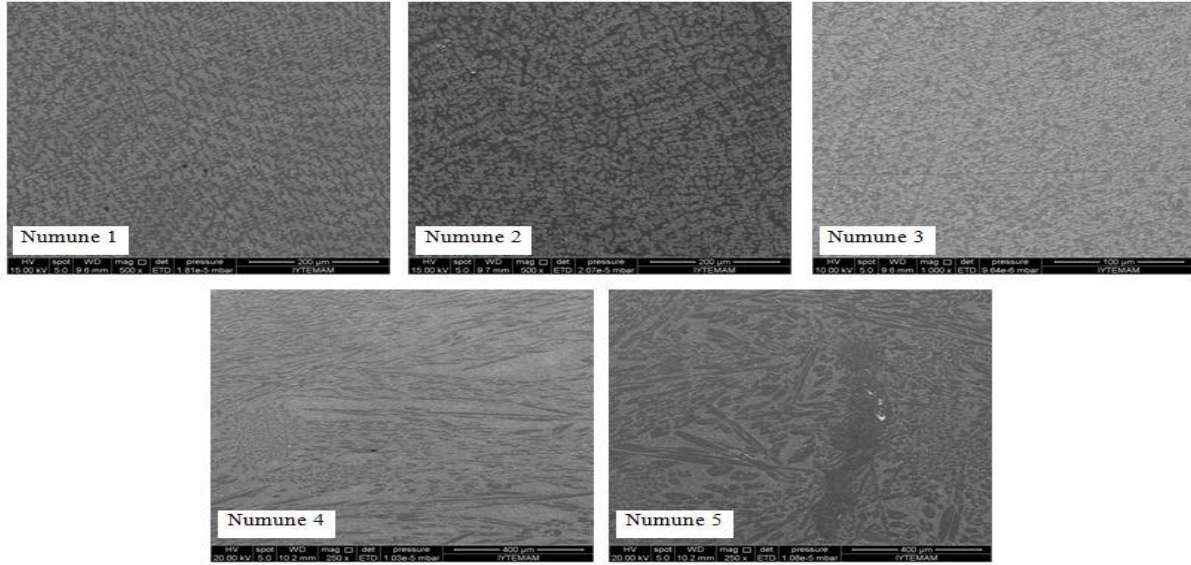
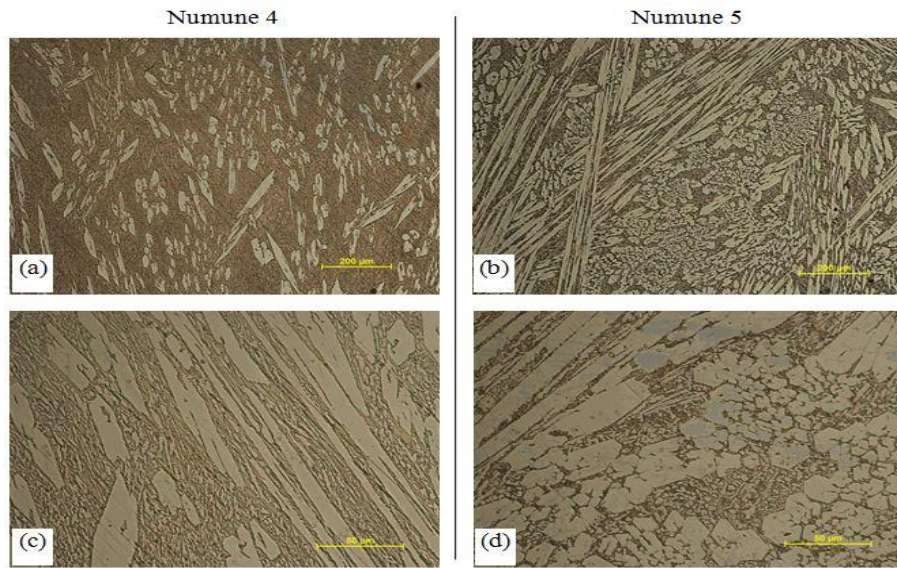


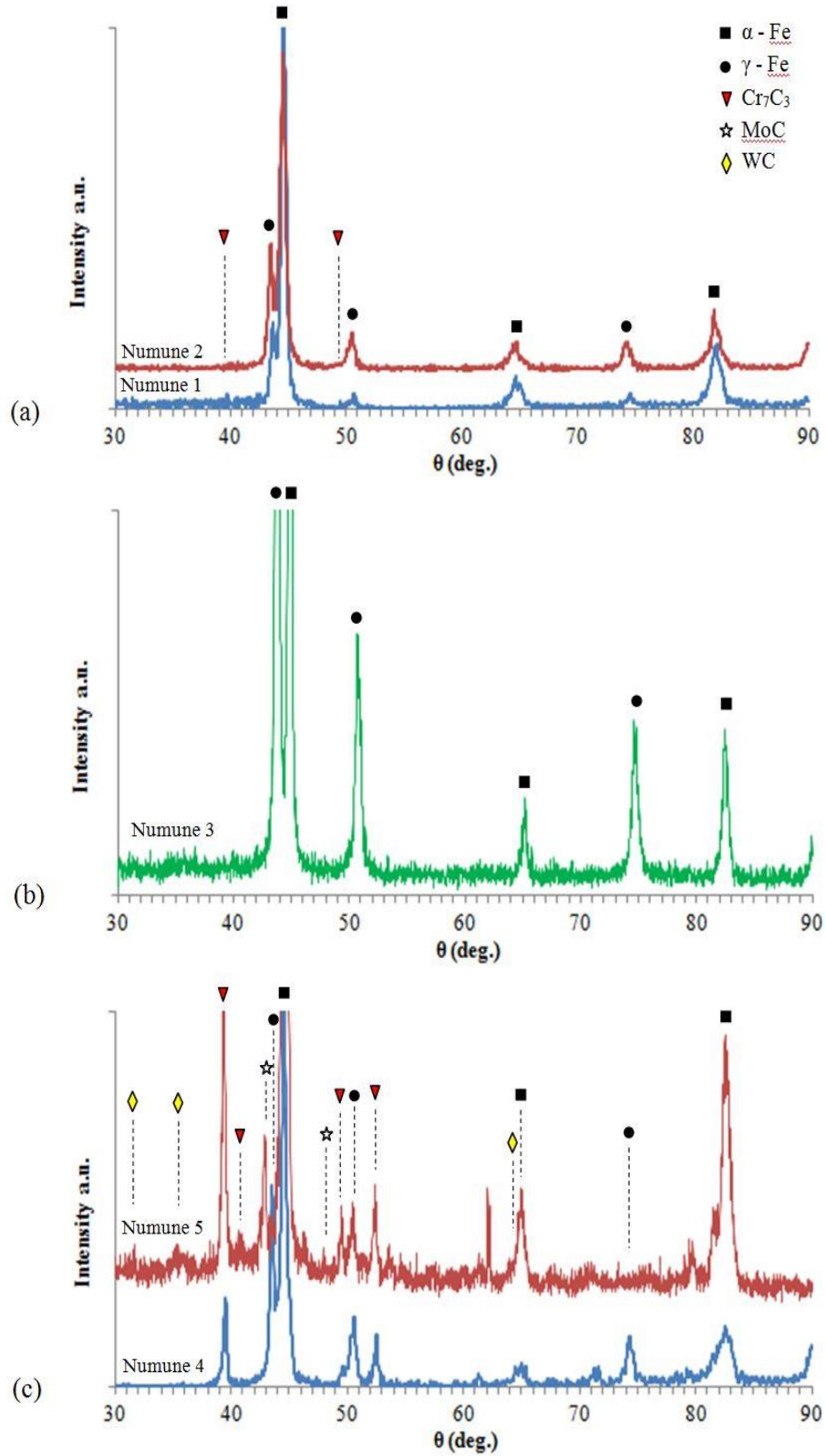
**Tablo 6.** Farinin aşındırıcı partikül olarak kullanıldığı kuru aşındırıcı-kauçuk disk testi sonuçları  
(Test results of dry sand-rubber wheel test in which farin used as abrasive particle)

	Sert Dolgular				
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
Kütle kaybı (mg)	4,2	3,1	8,5	2,2	1,5
Abrazif aşınma direnci <sup>a</sup> (mg/m) <sup>-1</sup>	1026	1390	507	1959	2873
<sup>a</sup> (Kütle kaybı/aşınma mesafesi) <sup>-1</sup>					

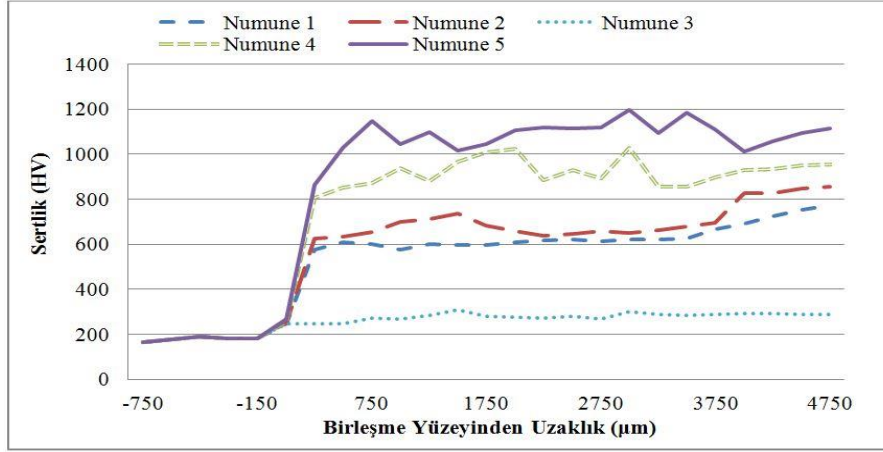
**Tablo 7.** Klinkerin aşındırıcı partikül olarak kullanıldığı kuru aşındırıcı-kauçuk disk testi sonuçları  
(Test results of dry sand-rubber wheel test in which clinker used as abrasive particle)

	Sert Dolgular				
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
Kütle kaybı (mg)	43,6	30,9	84,5	19,2	10,5
Abrazif aşınma direnci <sup>a</sup> (mg/m) <sup>-1</sup>	99	139	51	224	410
<sup>a</sup> (Kütle kaybı/aşınma mesafesi) <sup>-1</sup>					

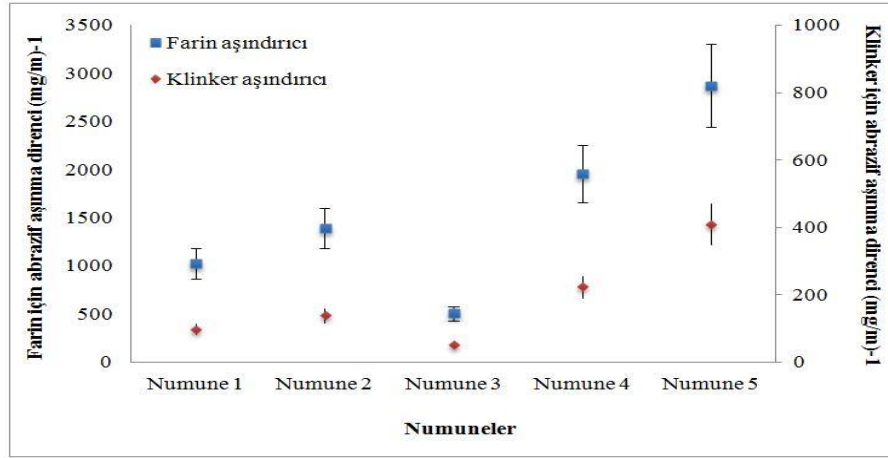
**Şekil 4.** Sert dolgu kaplamaların SEM görüntüleri (SEM images of hardfacing coatings)**Şekil 5.** Numune 4 'e ve numune 5 'e ait sert dolguların optik mikroskop görüntüleri; (a) ve (b) 10x; (c) ve (d) 50x  
(Optical microscopy images of hardfacings of sample 4 and sample 5 (a) and (b) 10x; (c) and (d) 50x)



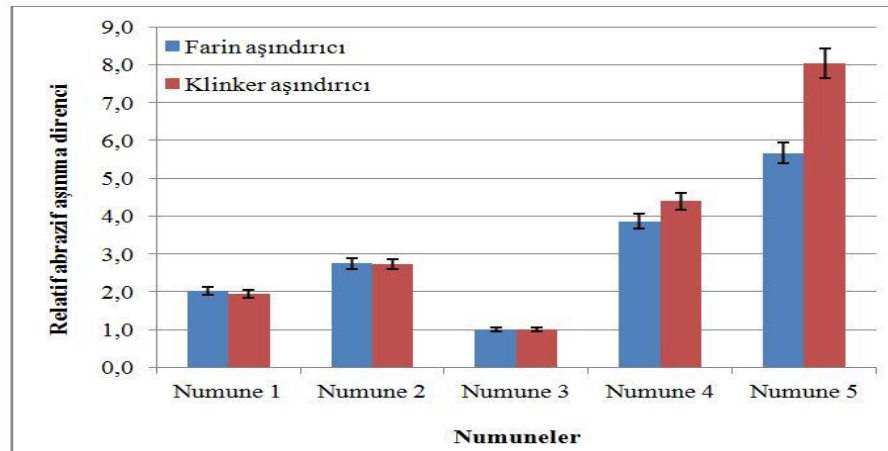
Şekil 6. Sert dolguların XRD analizi sonuçları (XRD analysis results of hardfacings)



Şekil 7. Sert dolguların kesitlerine ait mikro Vickers sertlik profilleri (Micro Vickers hardness profiles of cross-sections of hardfacings)



Şekil 8. Sert dolguların farin ve klinker aşındırıcı partikülleri ile yapılan abrazyif aşınma deneyi sonucu elde edilen abrazyif aşınma dirençleri (Abrasive wear resistances of hardfacing coatings determined by using farin and clinker abrasives in abrasive wear tests)



Şekil 9. Numune 3'e göre farin ve klinker aşındırıcı partikülleri ile yapılan abrazyif aşınma test sonuçlarının relatif abrazyif aşınma dirençlerinin oransal gösterimi (en düşük aşınma direncine sahip olan numune 3'ün aşınma direnci sert dolgular arasında kıyaslama yapabilmek için 1 alınmıştır) (Proportional representation of relative abrasive wear resistances according to abrasive wear test results by using farin and clinker abrasives compared with sample 3 (To make comparison between hardfacings the abrasive wear resistance of sample 3 was taken "1" because of having lowest wear resistance)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Sert Dolguların İç Yapı Karakteristikleri ve XRD Analizleri

(Microstructure Characteristics and XRD Analysis of Hardfacings)

Elde edilen sert dolgu alaşımlarının iç yapıları Şekil 4'de görülmektedir. Sert dolgu kaplamalarının iç yapılarının homojen şekilde oluştuğu ve kaplamalarda porozite ve çatlak gibi dolgu hatalarının olmadığı gözlemlenmiştir. Sert dolgularda oluşan metal karbürler numune 4 ve numune 5 'de büyük boyutları ile rahatlıkla görülebilmektedir (Şekil 4, Şekil 5). Numune 4 'ün iç yapısındaki metal karbürlerin hacimsel yüzdelerinin ve tane büyüklüklerinin, kaplama işleminin 1. pasosundan 3. pasosuna doğru (ana malzemeden kaplama yüzeyine doğru) gidildikçe sert dolgunun kimyasal kompozisyonundaki azalan seyrelme miktarı ile, gittikçe arttığı görülmüştür (Şekil 1). Aynı durum numune 5 'de de gözlemlenmiştir (Şekil 1). Numune 1 ve numune 2 'nin iç yapıları birbirine benzer çıkmıştır. XRD analizi sonucuna göre numune 2 'de çok belirgin olmasa da metal karbüre ait pik tespit edilmiştir (Şekil 6). Bu durum numune 2 'nin abrazyif aşınma direncini artırıcı yönde etki etmiştir. Numune 4 'de elde edilen sert dolguda metal karbürlerin ( $Cr_7C_3$ ) büyük boyutlarda ve iğnemi şekilde oluştuğu; Numune 5 'de ise bu metal karbürlerin ( $Cr_7C_3$ , WC ve MoC) sert dolgu iç yapısında numune 4 'e göre daha homojen, dolayısıyla daha yoğun oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Matris içinde homojen dağılmış ve belirli bir yöne yönelmemiş sert partiküllerin aşınmaya karşı direnç göstermesi ve bu sert partiküllerin bulunduğu relatif olarak sertliği daha düşük matrisin sert partiküllere destek olarak gelen darbeleri sönmemesi (yapıya tokluk kazandırması) abrazyif aşınma durumlarında çalışan parçalar için istenen bir özelliktir [22]. Bu açıklamalarla paralel olarak, numune 5'in sert dolgusundaki yoğun karbür taneleri abrazyif aşınmaya karşı numune 5'in diğer numunelerden daha dirençli olacağını desteklemektedir. Malzemelerin yüksek sertliğe sahip olmaları aşınma dirençlerinin de yüksek olacağını gösterir. Ancak benzer sertliğe sahip alaşımların farklı iç yapıları sahip olmaları, aşınma dirençlerinin farklı olmalarına neden olacağı da unutulmamalıdır. Bu nedenle sert dolgu alaşımlarının abrazyif aşınma dirençlerini belirlerken, hem matrisin hem de matris içindeki sert partiküllerin sertlikleriyle, bu sert partiküllerin matris içindeki boyutları, morfolojileri ve kimyasal kompozisyonları birlikte ilişkilendirilmelidir [15]. Numune 5'in XRD sonuçlarına göre (Şekil 6) sert dolgu içinde Cr esaslı  $M_7C_3$  karbürünün yanı sıra Mo ve W esaslı MC karbürleri de gözlemlenmiştir [1, 23-29]. Molibden ve tungsten matris içinde sert karbürler oluşturduğu için [30] numune 5'in abrazyif aşınmaya direncinin yüksek çıkmasını  $M_7C_3$  karbürleri ile birlikte sağladığı düşünülmektedir.

#### 3.2 Sert Dolguların Sertlikleri ve Abrazyif Aşınma Dirençleri (Hardnesses and Abrasive Wear Resistances of Hardfacings)

Şekil 7 'de elde edilen sert dolgulara ait sertlik profilleri ve Tablo 6 ile Tablo 7'de ise sırasıyla farinin ve klinkerin aşındırıcı partikül olarak kullanıldığı abrazyif aşınma

deneyleri sonunda sert dolguların ölçülen ortalama kütle kayıpları verilmiştir. Ayrıca test edilen sert dolguların hesaplanan ortalama aşınma dirençleri Şekil 8 'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sert dolguların aşınma dirençleri ve sahip oldukları sertlikleri arasında doğru orantılı bir ilişki görülebilmektedir, yüksek sertlikteki sert dolguların aşınma dirençleri de yüksek çıkmıştır. En düşük abrazyif aşınma direnci dolgu iç yapısı  $\alpha$ -Fe ve  $\gamma$ -Fe'den oluşan numune 3 'de tespit edilmiştir. Numune 1 ve numune 2 'de, numune 3'e göre daha iyi abrazyif aşınma direnci elde edilirken, en yüksek abrazyif aşınma direnci çizilmeye, oluk açmaya ve kesilmeye karşı direnç gösteren  $M_7C_3$  [13], MoC ve WC gibi yüksek sertlikteki karbürlerin iç yapısında yoğun olarak bulunduğu ve sert dolgu sertliği en yüksek olan numune 5 'de elde edilmiştir. Sert dolgu içinde oluşan karbürlerin şekilleri ve oryantasyonları (sert dolgu içinde dağılımları) da abrazyif aşınma direncini belirleyen etkenlerdendir [13, 15]. Bu nedenle, numune 4 ve numune 5 'de oluşan karbürlerin belirli yönselliklerinin olmaması (izotropik olması) bu iki numunenin abrazyif aşınma dirençlerinin diğer numunelere göre belirgin şekilde yüksek çıkmasında etkili rol oynamıştır (Şekil 5). Şekil 9, elde edilen sert dolgu kaplamaların, farin ve klinker aşındırıcılar için, aşınma dirençlerinin numune 3'e göre relatif kıyaslamalarını göstermektedir. Dolayısıyla Şekil 9'da aşınma direnci en düşük olan numune 3'ün aşınma direnci 1 alınmış ve bu numuneye göre diğer sert dolgu kaplamaların aşınma dirençlerinin numune 3'ün kaç katı olduğu gösterilmiştir.

Sert dolgu kaplamaların üst üste üç paso şeklinde yapılmasıyla ana malzemeden sert dolgu yüzeyine doğru çıkıldıkça sert dolgunun kimyasal kompozisyonundaki seyrelme (ana malzemeyle karışım) azalmış ve sert dolgu yüzeyine doğru matris içindeki karbür tanelerinin yoğunluğu artmıştır (Şekil 1). Bu durum, Buchely ve ark. [13] yaptığı benzer çalışma ile paralel olarak, kaynaklı imalat ile elde edilen sert dolgunun seyrelme nedeniyle aşınma direncinin azalmasını engelleyerek aşınma direncinin yüksek çıkmasını sağlamıştır. Numune 4 ve numune 5 'in sert dolgusu için kullanılan sert dolgu elektrotunun kimyasal kompozisyonun ihtiva ettiği karbon miktarının % 4'ün üzerinde olması, matris içinde yüksek sertliğe sahip karbürlerin yoğun miktarda oluşmasına yardımcı olarak, abrazyif aşınma direncinin bu numunede yüksek çıkmasına neden olan etkenlerden biri olmuştur. Ancak sertliğin çok artması, sert dolgudaki tokluğun diğer numunelere göre kısmen azalmasına da sebep olacağı unutulmamalıdır.

### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada örtülü elektrot kaynağı kullanılarak elde edilen beş farklı sert dolgu kaplamaların iç yapıları, faz analizleri, sertlik profilleri ve abrazyif aşınma dirençleri (abrazyif aşındırıcı olarak farin ve klinker kullanılarak) araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre: Numune 4 ve numune 5 'in sert dolgusunun iç yapısında homojen yayılmış  $M_7C_3$  karbür tanelerinin bulunduğu belirlenmiştir. Bu karbür taneleri numune 5 'de daha büyük boyutlarda



oluşmuş ve iç yapı içinde daha yoğun olarak bulunmaktadır. XRD analizi sonuçlarına göre numune 5 'in iç yapısında MoC ve WC 'ün de olduğu tespit edilmiştir. Mikro Vickers Sertlik testi sonuçlarına göre numune 5 'in sert dolgusunun en yüksek ortalama sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Abrazif aşınma test sonuçlarına göre kullanılan farinin aşındırıcı olarak kullanıldığı aşınma testleri sonucunda elde edilen aşınma dirençleri, klinkerin aşındırıcı olarak kullanıldığı testlerin sonucunda elde edilen aşınma dirençlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum elde edilen sert dolguların aşınma dirençlerinin, aşındırıcı partiküllerin sertliklerinin artışıyla düştüğünü doğrulamaktadır (aşındırıcı partiküllerden çimento ara maddesi olan klinkerin sertliği farine göre daha yüksektir). Böylece çimento tesislerinde üretimin farklı aşamalarında öğütücülerde kullanılan sert dolgu ile kaplanmış aşınma plakalarının ömürlerinin belirlenebilmesine yardımcı reel sonuçlar elde edilmiştir. Numune 5 'in aşınma direncinin yüksek çıkmasının sebebinin; iç yapıda oluşan iri taneli  $M_7C_3$  karbürlerin yoğun ve homojen şekilde oluşmasının yanında, iç yapıda bulunan MoC ve WC 'ün karbürlerinin de  $M_7C_3$  karbürlerine destek olarak sert dolgunun aşınma direncini arttırmış olacağı düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmada, bir çimento üretim tesisinin öğütücü değirmenlerinde kullanılan sert dolgu ile kaplanmış aşınma plakalarının farin ve klinkeri öğütürken uğradıkları abrazif aşınma, sert dolguların yüksek sertliğe sahip olması ve iç yapılarında  $M_7C_3$  karbürlerinin yoğun şekilde bulunması ile azaltılabileceği tespit edilmiştir. Bunun yanında, sert MoC ve WC karbürlerin de iç yapıda bulunması, aşınma direncinin artmasını sağlamıştır. Böylelikle çimento üretim tesislerinde öğütücü olarak kullanılan aşınma plakalarının ömürlerinin, sert dolgunun içerdiği yoğun karbürü yapıları ile artırılabilceği belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Wang X-h., Zou Z-d., Qu S-y., Microstructure of Fe-Based Alloy Hardfacing Coating Reinforced by TiC-VC Particles, *J. Iron. Steel Res. Int.*, 13 (4), 51-55, 2006.
2. Su Y.L., Chen K.Y., Effect of Alloy Additions On Wear Resistance of Nickel Based Hardfacing, *Welding Journal*, 76 (3), 143-150, 1997.
3. Lin Y.C., Wang S.W., Wear Behavior of Ceramic Powder Cladding on an S50C Steel Surface, *Tribol. Int.*, 36, 1-9, 2003.
4. Jha A.K., Prasad B.K., Dasgupta R., Modi, O.P., Influence of Material Characteristics on the Abrasive Wear Response of Some Hardfacing Alloys, *J. Mater. Eng. Perform.*, 8 (2), 190-196, 1999.
5. Kaçal A., Yıldırım F., Determining the Effects of CBN Cutting Insert's Cutting Performance on Surface Roughness and Tool Wear at Turning of PMD 23 Steel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 181-189, 2016
6. Kahraman F., Gençer G.M., Karadeniz, S., Investigation of Wear Behaviour of Plasma Nitrided X40CrMoV5-1 High Alloy Steel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (1), 7-14, 2013.
7. Gualco A., Svoboda H.G., Surian E.S., Study of Abrasive Wear Resistance of Fe-Based Nanostructured Hardfacing, *Wear*, 360-361, 14-20, 2016.
8. Gualco A., Marini C., Svoboda H., Surian E., Wear Resistance of Fe-based Nanostructured Hardfacing, *Procedia Mater. Sci.*, 8, 934-943, 2015.
9. Correa E.O., Alcântara N.G., Valeriano L.C., Barbedo N.D., Chaves R.R., The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of a Fe-Cr-C-Nb Hardfacing Alloy Deposited by the Open Arc Welding Process, *Surf. Coat. Technol.*, 276, 479-484, 2015.
10. Jankauskas V., Antonov M., Varnauskas V., Skirkus R., Goljandin D., Effect of WC Grain Size and Content on Low Stress Abrasive Wear of Manual Arc Welded Hardfacings with Low-Carbon or Stainless Steel Matrix, *Wear*, 328-329, 378-390, 2015.
11. Venkatesh B., Sriker K., Prabhakar V.S.V., Wear Characteristics of Hardfacing Alloys: State-Of-The-Art, *Procedia Mater. Sci.*, 10, 527-532, 2015.
12. Crook P., Friction and Wear of Hardfacing Alloys, Friction, Lubrication and Wear Technology - ASM Handbook, ASM International, 18, 758-765, 1992.
13. Bucheley M.F., Gutierrez J.C., Leon L.M., Toro A., The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys, *Wear*, 259, 52-61, 2005.
14. Pereira D., Gandra J., Pamies-Teixeira J., Miranda R.M., Vilaça P., Wear Behaviour of Steel Coatings Produced by Friction Surfacing, *J. Mater. Process. Technol.*, 214, 2858-2868, 2014.
15. Kirchgassner M., Badisch E., Franek F., Behaviour of Iron-Based Hardfacing Alloys Under Abrasion and Impact, *Wear*, 265, 772-779, 2008.
16. [16] Wu W., Wu L.-T., The Wear Behaviour Between Hardfacing Materials, *Metall. Mater. Trans. A*, 27A, 3639-3648, 1996.
17. Deng H., Shi H., Tsuruoka S., Influence of Coating Thickness and Temperature On Mechanical Properties of Steel Deposited with Co-Based Alloy Hardfacing Coating, *Surf. Coat. Technol.*, 204, 3927-3934, 2010.
18. Jiang Q. Y., Wang S. N., Abrasive Wear Locomotive Diesel Engines and Contaminant Control, *Tribol. Trans.*, 41 (4), 605-609, 1998.
19. Yang K., Yu S., Li Y., Li C., Effect of Carbonitride Precipitates on the Abrasive Wear Behaviour of Hardfacing Alloy, *Appl. Surf. Sci.*, 254, 5023-5027, 2008.
20. Zhao R., Barber G.C., Wang Y.S., Larson J.E., Wear Mechanism Analysis of Engine Exhaust Valve Seats With a Laboratory Simulator, *Tribol. Trans*, 40 (2), 209-218, 1997.
21. ASTM G 65 - Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, Book of ASTM Standards, 03.02, ASTM International, West Conshohocken, PA.
22. Karadeniz S., Plasmametallurgische Herstellung Von Metallegierungen (Gleitlagerwerkstoffe Auf Al-Pb-

- Sowie Al-Pb-Fe-Basis), Doktorarbeit, Von der Fakultät für Maschinenwesen der Universität Hannover, 1981.
23. Wang X., Han F., Liu X., Qu S., Zou Z., Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy, *Wear*, 265, 583-589, 2008.
  24. Yang J., Tian J., Hao F., Dan T., Ren X., Yang Y., Yang Q., Microstructure and Wear Resistance of the Hypereutectic Fe-Cr-C Alloy Hardfacing Metals With Different La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Additives, *Appl. Surf. Sci.*, 289, 437-444, 2014.
  25. Catillejo F.E., Marulanda D.M., Olaya J.J., Alfonso, J.E., Wear and Corrosion Resistance of Niobium-Chromium Carbide Coatings on AISI D2 Produced Through TRD, *Surf. Coat. Technol.*, 254, 104-111, 2014.
  26. Yamada K., Takahashi T., Motoyama M., Nagai H., X-Ray Spectroscopic Analysis of Solid State Reaction During Mechanical Alloying of Molybdenum and Graphite Powder Mixture, *Mater. Trans.*, 43 (9), 2292-2296, 2002.
  27. Verdon C., Karimi A., Martin J.-L., A Study of High Velocity Oxy-fuel Thermally Sprayed Tungsten Carbide Based Coatings. Part 1: Microstructures, *Mater. Sci. Eng., A*, 246, 11-24, 1998.
  28. Yan Z., Cai M., Shen P.K., Nanosized Tungsten Carbide Synthesized by a Novel Route at Low Temperature for High Performance Electrocatalysis, *Sci. Rep.*, 3, 1646, 2013.
  29. Ganesan R., Ham D.J., Lee J.S., Platinized Mesoporous Tungsten Carbide for Electrochemical Methanol Oxidation, *Electrochem. Commun.*, 9, 2576-2579, 2007.
  30. Cay V.V., Ozan S., Gök M.S., The Effect of Hydrogen Shielding Gas on Microstructure and Abrasive Wear Behaviour in the Surface Modification Process Using the Tungsten Inert Gas Method, *Journal of Coating Technology and Research*, 8 (1), 97-105, 2011.