

# Fe – Esaslı Sert Kaplama Alaşımının Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

Nurşen Saklakoğlu<sup>1</sup>, Simge Gençalp İrizalp<sup>2\*</sup>, Gizem İldaş<sup>3</sup>, Selçuk Demirok<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, 02362012357, 02362412143, nursen.saklakoğlu@cbu.edu.tr

<sup>2</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, 02362012376, 02362412143, simge.gencalp@cbu.edu.tr

<sup>3</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, gizemildas@gmail.com

<sup>4</sup> Egemet Forge, Ankara Asfaltı Taşkahve Mevkii Kemalpaşa / İzmir, 02328771049, 02328771050, sdemirok@egemetforge.com

\*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Recieved: 4 Mayıs (May) 2016

Kabul / Accepted: 1 Aralık (December) 2016

## Özet

Sert kaplama, ağır hizmet koşullarında özellikle kalıp çeliklerinin servis ömrünü uzatan bir prosestir. Bu kaplama karbon çelikleri gibi ekonomik olarak elverişli temel bir malzeme üzerine sert kaplama alaşımının döküm veya kaynak gibi bir prosesle biriktirilmesi ile özellikle aşınma direncini önemli ölçüde geliştirmektedir. Bu çalışmada, Fe-Cr-Mo sert kaplama alaşımı gazaltı ark kaynağı yöntemi ile DIN 1.2714 kalıp çeliği altlık malzemesi üzerine dolgu olarak kaplanmıştır. Gazaltı ark kaynağı ile sert dolgu kaynağı 15 bar basınçta Ar-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> gaz karışımı ile oluşturulan koruyucu atmosferde sabit akış hızında gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametrelerinden, kaynak akımı 180 A' dir. Üretilmiş sert kaplamaların mikroyapı ve aşınma direnci performansı araştırılmıştır. Mikroyapı incelemeleri hem optik mikroskop (OM) hem de taramalı elektron mikroskopu (SEM) yardımıyla yapılmıştır. Aşınma testleri ball-on-disk tipi tribometrede gerçekleştirilmiştir. Kaplama ile altlık malzemesi arasında az bir sertlik farkı varken aşınma direncinin kaplama ile birlikte 10 kata kadar iyileştiği tespit edilmiştir. Mikroyapı ve XRD sonuçları sert kaplamada Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> ve Mo<sub>2</sub>C karbürlerin varlığına işaret etmektedir. Sert kaplama ve altlık arayüzeyinde sağlam bir bağ ile birleşme oluşmuştur. Öte yandan, sert kaplamada gözenek gibi kusurlara rastlanmıştır. Aşınma testi sonrasında yapılan SEM incelemelerinde; kaplama sonrasında porozitenin etkisiyle delaminasyon oluştuğu gözlemlenmiştir. Aşınma direncinin değerlendirilmesi mikroyapısal araştırmalar, karakterizasyon çalışmaları ve sertlik testleriyle desteklenmiştir. Sert kaplamada temel aşınma mekanizması abrasif aşınmadır, altlık malzemesinde abrasif aşınmanın yanında adehsif aşınma da gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Fe-esaslı sert dolgu alaşım; sert kaplama; aşınma

## Microstructure and Wear Properties of Fe – based Hardfacing Alloy

### Abstract

Hardfacing coating is a process to extend service life of especially die steels under heavy service conditions. The hardfacing coating is performed using any process as casting or welding on economically feasible base material like carbon steel and improves significantly its wear resistance. In this study, Fe-Cr-Mo hardfacing alloys were used to deposit on DIN 1.2714 die steel substrates by gas metal arc welding. Hardfacing coatings by gas metal arc welding were performed in shielding gas (Ar-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> gas mixture) at a pressure of 15 bar with constant flow rate. The welding parameter is welding current as 180A. Microstructure and wear performance of the hardfacing coatings were investigated. Microstructural examinations were performed using both optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM). The wear tests were carried out using ball-on-disc tribometer. While there was a little hardness difference between coating and substrate material, the wear resistance showed an increase up to ten times thanks to hardfacing coating. The microstructures and XRD results indicated that Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>

and Mo<sub>2</sub>C carbides existed in hardfacing coating. A sound bond was formed at the interface of Fe-based coatings and die steel substrate. On the other hand, there are some defects observed in the hardfacing coatings such as porosity. Moreover, as a result of SEM examinations, delamination occurred during wear tests due to exist of porosity in hardfacing coating. The evaluation of wear resistance was supported by microstructural investigations, characterization studies and hardness tests. In hardfacing coating, the main wear mechanism was abrasive wear, in substrate material, adhesive wear mechanism was observed as well as abrasive wear.

**Keywords** – Fe-based alloy, hardfacing, wear

## 1 Giriş

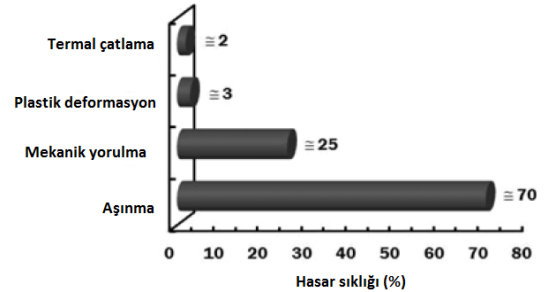
Sert kaplama (hardfacing), değişik amaçlarla bir parçanın yüzeyine, kaynak ya da termal sprej kaplama teknikleri ile yüzey üzerinde bir tabaka oluşturarak yüzeyin aşınma ve/veya korozyon özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu proses ziraat, madencilik, kimya ve çelik/kağıt/gıda işleme makinaları gibi çeşitli sektörlerde özellikle tarım aletleri, madencilik işlemleri için komponentler, toprak hazırlama ekipmanları vb.nin yüzey özelliklerini geliştirmek için yaygın şekilde kullanılan bir yöntemdir [1-3].

Genellikle parçanın yüzeyi mekanik zorlamalar, yorulma, aşınma veya kimyasal etkiler sonucu bozulduğu için, yüzeyi düzeltmek amacıyla bu işleme gerek duyulmaktadır [4]. Bu yöntemde bir alaşım genellikle yumuşak bir malzemenin (düşük veya orta karbonlu çelikler) yüzeyine, sertlik ve aşınma direncini arttırmak amacıyla, homojen olarak bir kaynak yöntemiyle biriktirilir. Sertlik ve aşınma direncindeki bu artış altlık malzemesinin sünekliğinde ve tokluğunda önemli bir düşüğe yol açmamaktadır [2]. Sert kaplama için oksiasetlen gaz kaynağı, gazaltı ark kaynağı, örtülü elektrot kaynağı ve tozaltı ark kaynağı kullanılabilir. Bu teknikler arasındaki en önemli farklar kaynak verimine dayanmaktadır. Gazaltı ark kaynağı sert kaplama uygulamaları için iyi bilinen bir kaynak prosesi haline gelmiştir. Bu prosesin popüleritesi basit işlerliğinden gelmektedir, diğer yöntemlere kıyasla proses kontrol değişkenlerinin sayısı az olduğundan, yüksek verimlilik, otomasyon kolaylığı ve tel bir elektrod şeklinde dolgu metalinin beslenmesi ile kontrol edilebilmektedir. Tüm bunlar gazaltı ark kaynağını çalışma sahalarında kullanım için ideal yapmaktadır. Onarım ve kaynak işlerinde sınırlı ve zor pozisyonlar için uygulanabilir bir yöntemdir.

Fe-esaslı sert kaplama malzemeleri nispeten düşük

maliyeti ve uygulama kolaylığı dolayısıyla sanayide yaygın kullanıma sahiptir. Bunlar arasında yüksek krom ve/veya molibden içeren alaşımlar karbür oluşumlarıyla abrazyon direnci sağladıkları için ilgi çekmektedirler [5].

Sıcak dövme kalıplarında karşılaşılan tipik hasarlar, Şekil 1’de görüldüğü gibi, aşınma, mekanik yorulma, plastik deformasyon ve termal yorulmadır [6]. Görüldüğü gibi, karşılaşılan tüm hasarların %70’i aşınmadır. Bu çalışmada EGEMET firmasında sıcak dövme prosesinde kalıp malzemesi olarak yaygın kullanılan DIN 1.2714 kalıp çeliği üzerine ticari ismi Capilla 64 KBS olan Fe-Cr-Mo alaşımı olan kaynak elektrotları ile kaplama yapılarak aşınma karakteristiği incelenmiş ve kalıp çeliği ile karşılaştırılmıştır.



**Şekil 1.** Sıcak dövme kalıplarında karşılaşılan hasar mekanizmaları [6]

## 2 Deneysel Metotlar

DIN 1.2714 kalıp çeliğinden hazırlanmış 30 mm x 30 mm x 80 mm boyutlarındaki altlık malzemeye ticari adı Capilla 64 KBS olan elektrotlar gazaltı ark kaynağı yöntemi ile kaplanmıştır. DIN 1.2714 çeliğinin nominal kompozisyonu Çizelge 1’ de görülmektedir. Kaynaktan önce, bu numunelerin yüzeyleri zımpara ile düzeltilmiş ve ardından temizlenmiştir.

**Çizelge 1.** DIN 1.2714 malzemesinin nominal kompozisyonu

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Fe
0.50-0.60	0.10-0.40	0.60-0.90	0.80-1.20	0.35-0.55	1.50-1.80	0.05-0.15	Kalan

Capilla 64 KBS malzemesi Fe-Cr-Mo alaşımıdır ve nominal kompozisyonu Çizelge 2' de sunulmuştur. Gazaltı ark kaynağı parametreleri ise Çizelge 3' de verilmiştir. Kaplama işlemi adımları: (i) malzemelerin ısıtılması için İstaş firmasında bulunan EFCO marka elektrikli laboratuvar fırınında 300°C ile 450°C aralığında ısıtılmıştır, (ii) kaynak makinesinde her elektrot için belirlenen amper değerinde kaplama işleri gerçekleştirilmiştir, (iii) kaynak sonrası kontrollü olarak soğutulan malzemeler EFCO marka elektrikli laboratuvar fırınında 450°C de 6 saat süre ile bekletilerek gerilim giderme işlemine tabi tutulmuşlardır.

Sert kaplama numunelerinin yüzeyleri freze ile düzeltilmiştir (Şekil 2 ve 3). Bu kaynak elektrodu yüksek mukavemetli ve ısıya dayanıklı çeliklerin aşınma direncini artırma ya da onarım amaçlı uygulamaları için önerilmektedir.

**Çizelge 2.** Capilla 64 KBS malzemesinin nominal kompozisyonu

C	Si	Mn	Cr	Mo	Fe
0.10	0.50	1.00	2.20-2.70	2.00-2.25	Kalan

**Çizelge 3.** Gazaltı ark kaynağı kaynak parametreleri

Parametre	Değer
Akım (A)	180
Gaz debisi (bar)	15
Gaz karışımı	%75-95 Ar + %4-22 CO <sub>2</sub> + %1-3 O <sub>2</sub>



**Şekil 2.** Dolgu kaynağı yöntemiyle biriktirilmiş sert kaplama tabakaları

Kaplama tabakasının kesitinin mikroyapısı optik mikroskop (OM) tarafından tanımlanmıştır ve kaplama yüzeyinin kimyasal fazları Cu-Kα radyasyonu ve 1.542 Å dalga boyuna sahip difraksiyon açısı aralığı 30°-110° arasında yapılan XRD analizi ile tayin edilmiştir. Kaplama yüzeyinin görüntüsü ve aşınma testi sonrası incelemeler taramalı elektron mikroskobu (SEM) yoluyla analiz edilmiştir.



**Şekil 3.** Sert kaplanmış ve yüzeyleri freze ile düzeltilmiş numuneler

Numunelerin kesitleri ve yüzeyleri zımpara yardımıyla kademeli olarak hazırlanmış ve yüzeyleri elmas süspansiyonla parlatılmıştır ve nital çözeltisi ile dağlanmış. Kesit üzerinde Vickers mikro-sertlik profilleri (yük = 50 gf, yük uygulama süresi = 10s) elde edilmiştir. Aşınma testleri ball-on disk tipi CSM Instruments marka cihazda gerçekleştirilmemiştir. Sert kaplama numuneleri için aşınma testi parametreleri Çizelge 4' de verilmiştir.

**Çizelge 4.** Aşınma testi koşulları

Yük (N)	Hız (rpm)	Mesafe (m)	Karşı eleman	Karşı eleman çapı (mm)	Sıcaklık
10	543	500	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	Oda sıcaklığı

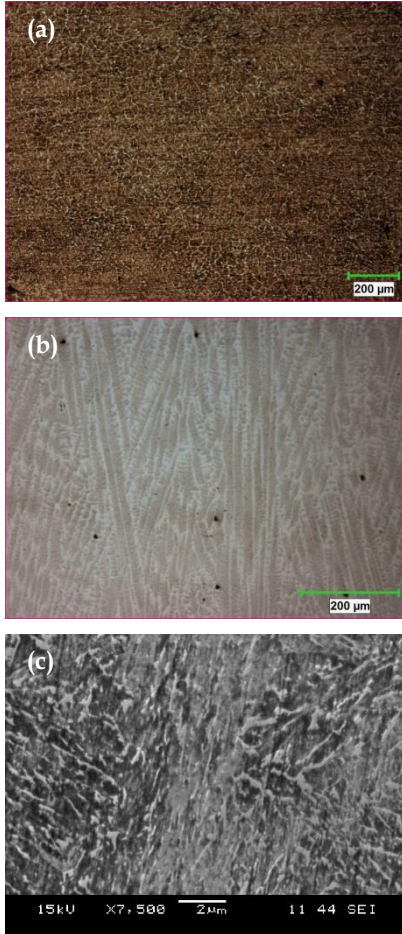
### 3 Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 4' te sert dolgu kaynağı yapılmış yüzeyden ve kesitten yapılan incelemelerde sert kaplamanın dendritik olarak katılaştığı gözlemlenmiştir. Şekil 5'de hem altlık malzemesine ait hem de kaplama malzemesine ait XRD sonuçları verilmiştir. Buna göre XRD paterni altlık malzemesinin (1.2714) ve kaplamanın ferrit fazına sahip olduğunu göstermektedir. Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> ve Mo<sub>2</sub>C gibi karbürü fazlar ferrit fazı ile aynı 2θ açısında bulunduğu ve miktarca az olduğundan XRD paterninde tespit etmek güçtür. Bununla birlikte fazlalık yabancı atomların kafes birim uzunluğunda neden olduğu değişiklikler pik pozisyonlarındaki kaymalardan tespit edilebilmektedir. Kübik kafesler için düzlemlerarası mesafe;

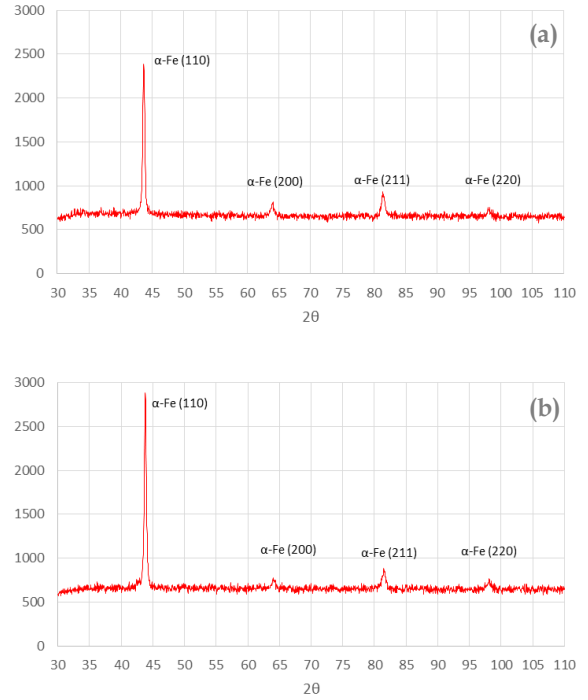
$$d = \frac{a}{\sqrt{(h^2+k^2+l^2)}} \quad (3.1)$$

formülüyle tespit edilmektedir ve burada a birim kafes uzunluğu ve h,k,l miller indisleridir [7]. Eşitlik (3.1) ve XRD paterni pik listesi kullanılarak birim

kafes uzunluğu belirlenebilmektedir. (110) piki için pik yüksekliği değerleri ile birim kafes uzunluğu değerleri Çizelge 5'de verilmiştir. Görüldüğü gibi hem altlık hem de kaplamanın 2θ değerleri referans pikin 2θ değeri ile kıyaslandığında sola kaymış ve birim kafes uzunluğu (a) referans pike göre yüksek bulunmuştur. Bu artış başta karbon olmak üzere alaşım elementlerinin katı çözelti olarak birim kafes içinde yarattığı distorsiyondan kaynaklanmaktadır. Birim kafes genişlemesi kaplamada %1,849 iken, altlıkta %2,4 olmuştur. Kaplama, altlık malzemeye göre yüksek alaşımlı ancak düşük karbonludur. Kaplamada birim kafes genişlemesinin altlık malzemeye göre daha az olması alaşım elementlerinin katı çözelti yerine birim kafes dışında bileşikler halinde bulunmayı tercih ettiği anlamına gelmektedir. Bu durum Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> ve Mo<sub>2</sub>C gibi karburlu fazların oluşma olasılığına işaret etmektedir.



Şekil 4. Kaplama bölgesi (a) yüzey, (b) kesit görünümü (OM), (c) kesitten SEM görüntüsü

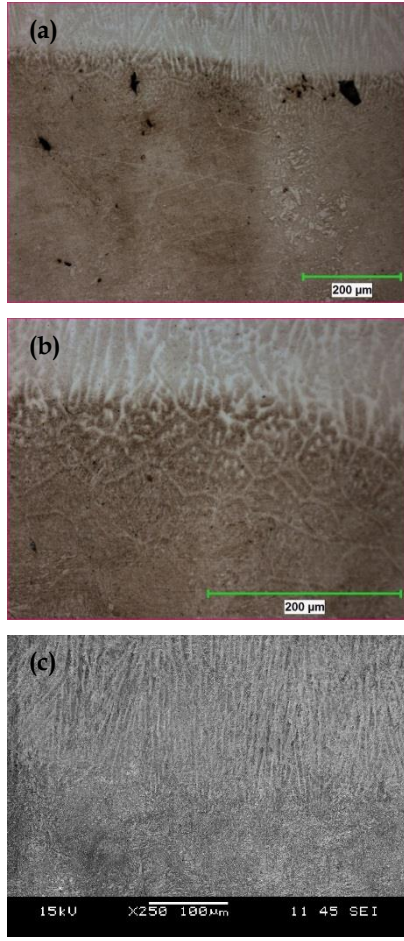


Şekil 5. XRD paterni (a) altlık, (b) kaplama

Çizelge 5. Altlık ve kaplama malzemesinin birim kafesinde meydana gelen değişimler

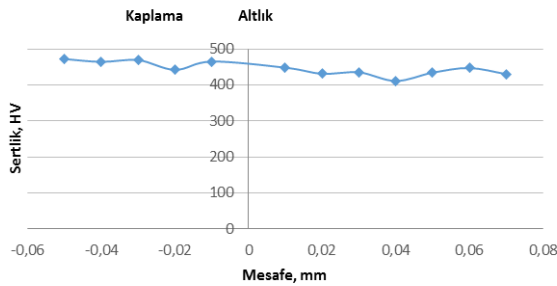
	Altlık malzemesi (1.2714 çelik)	Kaplama malzemesi (Capilla 64 KBS)	Referans
2θ	43,6092	43,8497	44,680
Relatif Pik (%)	100	100	100
Pik yüksekliği	1647,63	2166,07	-
Düzlemlerarası mesafe (d), Å	2,07552	2,06469	2,02657
Birim Kafes uzunluğu (a), Å	2,935	2,919	2,866
Birim kafes genişlemesi, %	2,40	1,849	-

Şekil 6' da sert kaplama yapılmış kesit boyunca mikroyapı gelişimi hem OM (Şekil 6a ve 6b) ile hem de SEM (Şekil 6c) ile verilmiştir. Yüzeyden çelik içine doğru kaplamanın nüfuz ettiği, tane sınırları boyunca bu nüfuziyetin ilerlediği ve yüzeyde tane kabalaşması göze çarpmaktadır. Altlık ve kaplama arayüzünde porozite, boşluk vs kusurlar olduğu gözlenmiştir. Kalıp çeliği temperlenmiş martenzit yapısına sahiptir.



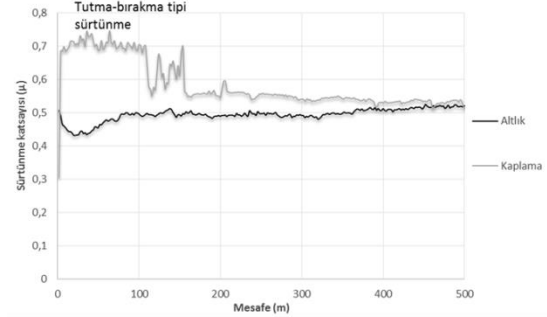
Şekil 6. Kaplama ara yüzey bölgesi

Şekil 7 kesit boyunca sertlik değişimini göstermektedir. Altlık yaklaşık 450 HV mertebelerinde sertliğe sahip iken, kaplamanın yaklaşık 470 HV sertliğe sahip olduğu görülmektedir. Buna göre Capilla 64 KBS ile yapılan kaplamanın aşınan bölgelerin onarımı için uygun olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte kaplama bölgesinde porozite oluşumu gözlenmiş olması sebebiyle kaynak parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir.



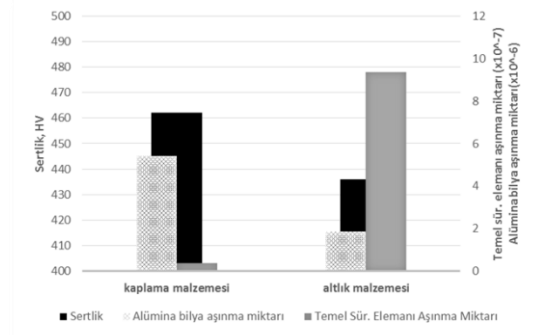
Şekil 7. Kesit boyunca sertlik değişimi

Şekil 8' de mesafeye göre sürtünme katsayısı grafiği verilmiştir. Görüldüğü gibi, alümina bilya karşısında kaplamanın altlığa göre başlangıçta daha yüksek sürtünme katsayısına, yaklaşık 200 m' den sonra altlığa yakın sürtünme katsayısına sahip olmuştur. Kaplamanın başlangıçta tutma-bırakma tipi (stick-slip) sürtünme gösterdiği, tutma-bırakma tipi sürtünmeyi yendikten sonra altlığın sürtünme değerlerine yaklaştığı görülmektedir.

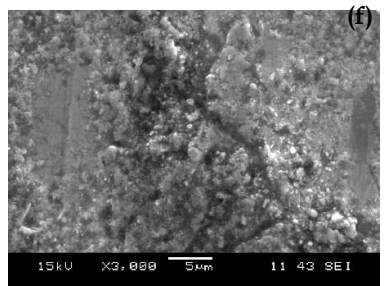
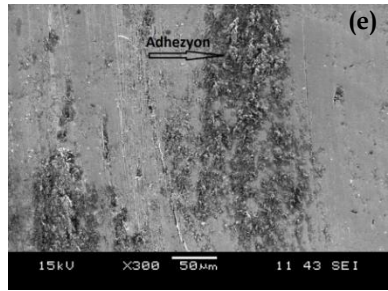
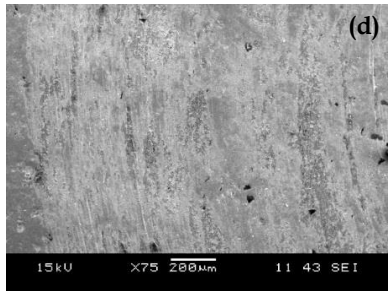
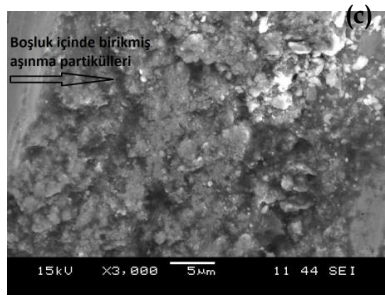
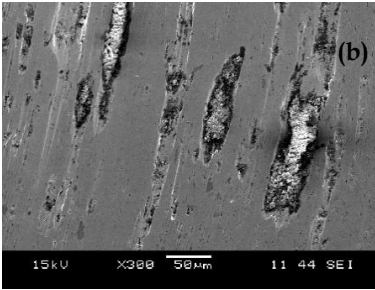
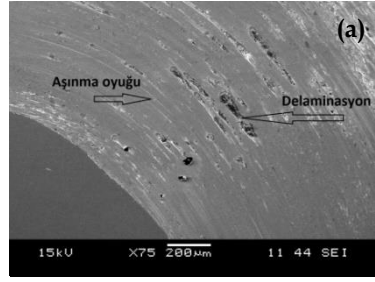


Şekil 8. Mesafeye göre sürtünme katsayısı grafiği

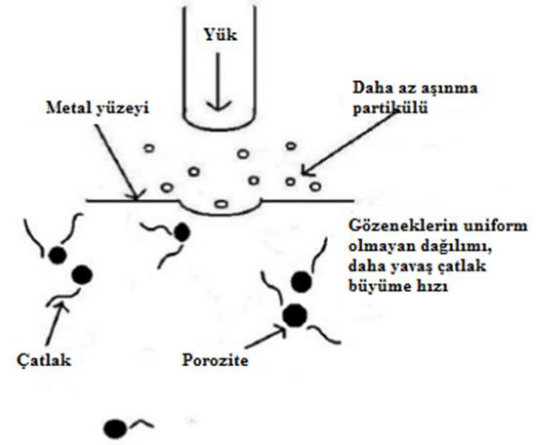
Şekil 9' da sertlik, altlık ve kaplamanın aşınma miktarı ile karşı sürtünme elemanı olan alümina bilyanın aşınma miktarını birlikte gösteren grafik verilmiştir. Kaplama altlığa göre biraz daha yüksek sertlik gösterirken, aşınma miktarı değerlendirildiğinde 10 kat daha az aşınma göstermiştir. Kaplamada Cr ve Mo miktarının fazla olması nedeniyle krom karbür ve molibden karbür gibi çökeltilerin oluşabileceği ve aşınma direncinin artmasının sebebi olabileceği düşünülmektedir. Kompleks karbür çökeltilerinin iyi bir abrasif aşınma direnci gösterdiği bilinmektedir. Sertlik ve abrasif aşınma direnci arasında her zaman bir ilişki bulunmamaktadır. Coronado vd. [8] karbürlerin ve matris mikroyapısının abrazyon direncinde sertlikten daha önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu durum aynı zamanda karşı eleman olan alümina bilyada daha fazla aşınma meydana gelmesinin nedenini de açıklamaktadır.



**Şekil 9.** Sertlik, temel sürtünme elemanına ait aşınma miktarı ve karşı sürtünme elemanına ait aşınma miktarını gösteren grafik



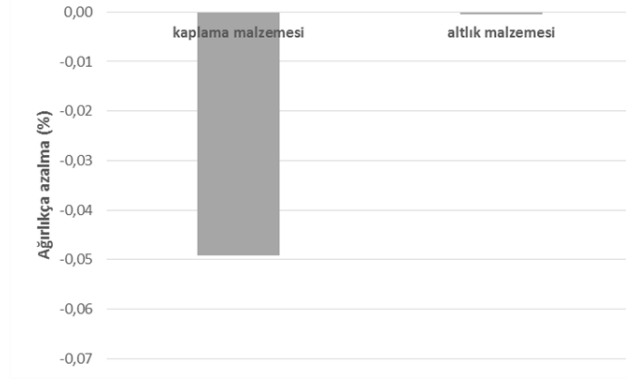
**Şekil 10.** Aşınma izlerine ait SEM mikroyapı görüntüleri: Kaplama (a), (b), (c) ve altlık (d), (e), (f)



**Şekil 11.** Uniform olmayan porozitelerden çatlak oluşumu şematik gösterimi [9]

Şekil 10'da verilen aşınma izleri hem kaplama hem de altlık malzemesinde meydana gelen aşınmanın abrasif karakterli olduğunu göstermektedir. Burada görülen diğer bir aşınma mekanizması delaminasyondur. Delaminasyon yüzey altında bulunan porozitelerin (gerilme konsantrasyon bölgeleri olarak görev yapar) yüzey altı çatlaklarına neden olması ve bu çatlakların ilerlemesi sonucu oluşur [9]. Porozitelerden çatlak oluşumu şematik olarak Şekil 11'de verilmiştir. Altlık malzemesinde kaplama malzemesi kadar porozite oluşumu yoktur. Bu nedenle delaminasyon gözlenmemiştir. Kalıp çeliği yüzeyinde abrasif aşınma oyukları ve adhezyon gözlenmektedir.

Şekil 12'de aşınma testi sonrası numunelerin ağırlığında meydana gelen değişim yüzde cinsinden verilmektedir. Görüldüğü gibi, aşınma testi sonrası hacimsel olarak azalma meydana gelse de (Şekil 9) ağırlıkça malzeme kaybı meydana gelmemiş, hatta çok küçük miktarda ağırlıkça artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Altlıkta meydana gelen ağırlık artışının adhezyondan, kaplama malzemesinde ise boşluklarda biriken aşınma partiküllerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



**Şekil 12.** Aşınma sonrası malzemelerde meydana gelen ağırlıkça değişim

Sonuç olarak bu çalışmada sıcak dövme kalıbı olarak kullanılan DIN 1.2714 kalıp çeliği üzerine ticari adı Capilla 64 KBS olan Fe-Cr-Mo alaşımı elektrod ile gazaltı ark kaynağı metoduyla sert kaplama yapılmıştır. Aşınma testleri, sertlik testleri ve SEM / XRD analizleri yapılarak sert kaplanmamış kalıp çeliği ile karşılaştırılmıştır. Buna göre;

- Kaplama malzemesi kalıp çeliğine göre yaklaşık % 6 daha yüksek sertliğe sahipken, aşınma miktarı değerlendirildiğinde kalıp çeliğine göre 10 kat daha az aşınma göstermiştir.
- Aşınma testleri sonrası adhezyon ve boşluklarda biriken aşınma partikülleri dolayısıyla ağırlıkça azalma yerine artış meydana gelmiştir.
- Kalıp çeliğinde abrasif ve adhesif aşınma görülürken, kaplamada abrasif aşınma ve porozitelerin etkisiyle delaminasyon oluşumu gözlenmiştir.
- Kaplama sonrası sertlikte önemli bir artış görülmesi de aşınma dayanımında elde edilen artış bu sert kaplamanın sıcak dövme kalıplarında kullanılabilirliği hakkında umut verici olmuştur. Ancak kaplamanın porozite içermesi aşınma karakterini değiştirmektedir. Kaplama parametrelerinin optimizasyonunda yarar vardır.
- Bu kaplamanın sıcak dövme kalıplarında uygulanabilirliği için mekanik yorulma ve diğer hasar mekanizmalarının da araştırılması gerekmektedir.

## 5 Referanslar

- [1] Buchanan, V.E. Solidification and Microstructural Characterisation of Iron-Chromium Based Hardfaced Coatings Deposited by SMAW and Electric Arc Spraying, Surf. Coat. Tech. 2009; 203, 3638-3646.
- [2] Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., Leon, L.M., Toro, A. The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys, Wear 2005; 259, 52-61.

[3] Crook, P. Friction and wear of hardfacing alloys. In ASM Handbook Vol. 18: Friction, Lubrication and Wear Technology, Ed.; Blau: USA, 1992; 758-765.

[4] [http://www.oerlikon.com.tr/files/gazalti\\_ve\\_tozalti\\_yontemleri\\_ile\\_dolgu\\_kaynagi.pdf](http://www.oerlikon.com.tr/files/gazalti_ve_tozalti_yontemleri_ile_dolgu_kaynagi.pdf)

[5] Morsy, M., El-Kashif, E. The Effect of Microstructure on High-Stress Abrasion Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Deposits, Weld World 2014; 58, 491-497.

[6] Ahn, D. Hardfacing Technologies for Improvement of Wear Characteristics of Hot Working Tools: A Review, Int. J. Precis. Eng. Man. 2013; 14, 1271-1283.

[7] Mangonon, P.L. The Principles of Materials Selection for Engineering Design, Prentice-Hall Inc., 1999; 824 pp.

[8] Coronado, J.J., Caicedo, H.F., Gómez, A.L. The Effects of Welding Processes on Abrasive Wear Resistance for Hardfacing Deposits, Tribol. Int. 2009; 42, 745-749.

[9] Sinha, A., Islam M.D.A., Farhat Z. Reciprocating Wear Behavior of Al Alloys: Effect of Porosity and Normal Load, Int. J. Metall. Mater. Eng. 2015; 1(117), 1-9.