DÜMF Mühendislik Dergisi

web: http://dergipark.gov.tr/dumf

Araştırma Makalesi / Research Article

Ferromolibden ve ferrobor takviyeli lazer kaplamaların aşınma karakteristiği ve mikroyapısı

Hülya DURMUŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, Türkiye.
E-mail: hulya.durmus@cbu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-7270-562X

Nilay ÇÖMEZ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, Türkiye.
E-mail: nilay.comez@cbu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-6432-6582

Canser GÜL*
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, Türkiye.
E-mail: canser.gul@cbu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-1339-936X

Melis YURDDAŞKAL
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Manisa, Türkiye.
E-mail: melis.yurddaskal@cbu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-8774-3848

Recep Onur UZUN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, Manisa, Türkiye.
E-mail: r.o.uzun@cbu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-1042-0493

Geliş: 11.01.2019, Revizyon: 30.01.2019, Kabul Tarihi: 15.02.2019

Öz

Lazer kaplama yöntemi ile kalıp yüzeylerinde aşınmaya dirençli bir tabaka oluşumu veya kalıpta meydana gelen bölgesel aşınmaların tamiratı gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğinin aşınma direncini geliştirmek amacıyla ferromolibden (FeMo) ve ferrobor (FeB) takviyeli demir esaslı kaplamalar lazer yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların aşınma direnci ball-on-disk aşınma testiyle tespit edilmiştir. Mikroyapı incelemeleri hem optik mikroskop hem de taramalı elektron mikroskobu altında gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü sonucunda FeB takviyeli kaplamanın FeMo takviyeli kaplamaya göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu görülmüştür. Artan kaplama sertliği aşınma direncini artırarak FeB takviyeli kaplamada daha az malzeme kaybı meydana getirmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Lazer kaplama, aşınma, sertlik, bor, molibden*

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.511737

Giriş

Aşınma, mekanik bileşenlerin yüzeylerinde kademeli olarak meydana gelen malzeme kaybı veya bozunma olarak tanımlanabilir. Günümüzde pahalı kalıpların, makine parçalarının veya ana gövdelerin aşınması büyük maddi kayıplara neden olmaktadır. Aşınan bu malzemelerin tribolojik özelliklerini geliştirmek ve meydana gelen aşınmayı önlemek için kullanılan çeşitli yüzey modifikasyon yöntemleri mevcuttur (Cay vd., 2011). Sert dolgu kaplamalar yüzeylerde farklı yöntemlerle oluşturulabilir. Bu yöntemlerden bazıları çeşitli fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleri, plazma kaplamalar ve lazer kaplamalardır (Cay vd., 2011; Buytoz vd., 2013).

Lazer kaplama, dolgu malzemesinin yüksek güçlü lazer ışımasıyla ergitilerek iş parçalarının yüzeylerine biriktirilmesi esasına dayanan verimliliği yüksek bir uygulamadır (Birger vd., 2011; Chandrasekar vd., 2016; Torims, 2013). Aşınmaya dayanıklı yeni bir yüzey oluşturulmasında veya aşınmış yüzeylerin onarılmasında yüksek yüzey kalitesi, düşük distorsiyon ve seyrelme meydana getiren lazer kaplama yöntemi oldukça uygundur (Birger vd., 2011; Torims, 2013). Lazer kaplama uygulaması, türbin kanatları, gaz türbini ve içten yanmalı motor parçaları gibi yüksek değerli bileşenlerin onarımının yanı sıra özellikle kalıp yüzeylerinin kaplanmasında tercih edilmektedir (Torims, 2013; Dai vd., 2016). Kalıpların hasarı, servis ömrünü ciddi biçimde etkileyen yüzey aşınmasından kaynaklanmaktadır. Aşınmış kalıbın yenisiyle değiştirilmesi kaynak israfına neden olur. Sert dolgu kaplamaların lazerle uygulanması diğer yöntemlere göre çeşitli avantajlara sahiptir. Kaplamaları lazer kaynak yöntemiyle oluşturulması, diğer yöntemlerden farklı olarak altlık malzemesine daha az ısı geçişi ve dolayısıyla daha sert ve dayanımı yüksek bir kaplama eldesini mümkün kılmaktadır (Chen vd., 2012). Ayrıca, kaplama malzemesi ile kalıp malzemesi arasında %100 metalurjik bağ oluşturarak kalıbın aşınmış yüzeyini bölgesel olarak onarmaktadır (Dai vd., 2016; Birger vd., 2011).

Lazer kaplama ile yapılan koruyucu kaplamalar kalıbın aşınmış yüzeylerini onarırken, bu bölgelerde sert faz oluşturucu çeşitli takviye tozlar kullanılmasıyla da bu yüzeyleri aşınmaya daha dayanıklı hale getirebilmektedir. Demir (Fe) elementi içerikli kaplamalar düşük maliyeti, yüksek sertlikleri ve aşınma dayanımları nedeni ile tercih edilmektedir. Chen vd., 2012, yaptıkları çalışmada Ti altlıklar üzerine Fe bazlı kaplamalar yapmışlardır. Oluşan tabakanın Fe, Fe_2Ti, Fe_2B, Fe_3Si, Ti_2Ni ve Fe_2O_3 fazlarını içerdiği ve tabakanın metalurjik olarak tamamen altlık malzemesine bağlandığı görülmüştür. Kaplamaların orta derecede yapışkan ve aşındırıcı karakteristikte aşındığını ve aşınma dayanımlarında büyük ölçüde bir artış meydana geldiğini göstermişlerdir.

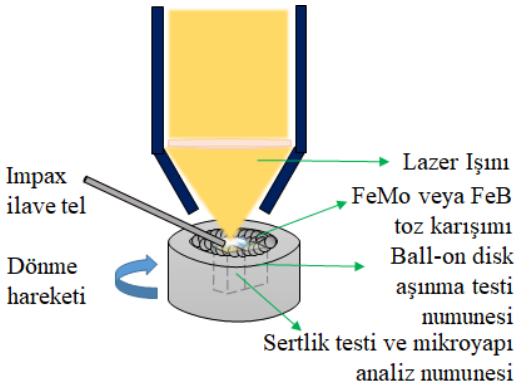
Fe içerikli kaplamalara katkı olarak bor elementi veya karbür yapıcı elementler eklendiğinde karbürler veya borürler oluşur. Bunlar yüksek sertlikleri nedeniyle matris içinde dağıldıklarında aşınma dayanımlarını arttırır (Torims, 2013). Kobalt, krom, molibden gibi elementler karbon ile birlikte yapıda karbür fazları oluşturan elementlerin başında gelmektedir (Zhang vd. 2018). Molibden (Mo) elementi, MoC ve Mo_2C şeklinde karbürler oluşturarak, sertliğin, aşınma direncinin ve sıcaklık dayanımının artmasına katkı sağlamaktadır (Wang vd. 2008; Badisch ve Mitterer 2003). Bor ilavesi de benzer şekilde kaplamanın sertliğini ve aşınma direncini artırmaktadır (Buytoz vd., 2013). Yoo vd., 2006 yılında yaptıkları çalışmada, Satellite 6 alaşımına Fe içerikli geleneksel sert dolgu kaplamalar uygulamıştır ve artan bor içeriğinin tane boyutlarını küçülttüğünü, aşınma sonrası hacim kayıplarını azalttığını tespit etmiştir (Yoo vd., 2006).

Bu çalışmada, AISI4140 çelik numunelerin yüzeyine Nd-YAG lazer kaynak yöntemi kullanılarak FeMo ve FeB tozlarından oluşan sert dolgu alaşımları kaplanmıştır. Kaplamaların, yüzey sertliğini ve aşınma direncini artırması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Lazer kompozit kaplamaların üretimi

Altlık malzemesi olarak AISI 4140 çeliğinden 10 mm çapında ve 5 mm yüksekliğinde, numuneler hazırlanmıştır. FeB ve FeMo tozları, her birinden 0,27 g olacak şekilde altlık malzemesinin üzerine serilmiştir. FeMo tozuna, lazer kaynak uygulaması sırasında karbür oluşumunu sağlaması için 0,03 g grafit tozu ilave edilmiştir. Tozların işlem esnasında yüzeyden ayrılmaması için ön işlem olarak altlık malzemesinin kenarına bir sıra halinde dolgu teli ile bariyer yapılmıştır. Oluşan havuzun içerisine tozlar ilave edilerek tozların üzerine ticari dolgu teliyle (AISI P20) birlikte lazer ışını uygulanmıştır. Yaklaşık 0,8 mm kalınlığında kaplamalar elde edilmiştir. FeB ve FeMo takviyesinin etkisini belirlemek için takviyesiz durumda referans kaplama numunesi de üretilmiştir.



Şekil 1. *Lazer kaplama uygulamasının şematik gösterimi*

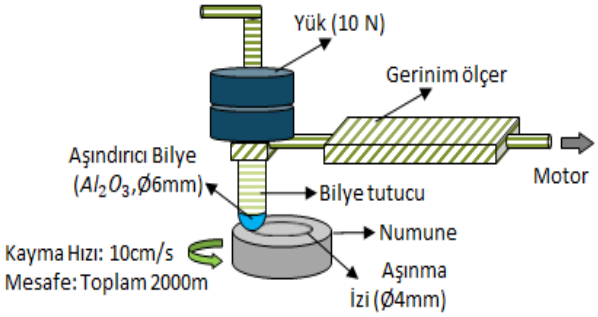
Mikroyapı incelemeleri

Zımparalanıp parlatılan kaplama numuneleri Kalling's çözeltisi ile dağlanmıştır. Kaplamaların mikroyapı ve morfolojik incelemeleri için optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve elementel analiz için enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) kullanılmıştır.

Sertlik ve aşınma testleri

Kaplamaların ve ana malzemenin sertliği Vickers (HV1) sertlik metodu ile ölçülmüştür. Her bir numuneden üç ölçüm alınarak ortalama sertlik değeri hesaplanmıştır. Kesit boyunca mikro sertlik dağılımları Vickers metodu ile 100 g-kuvvet yük altında gerçekleştirilmiştir.

FeMo ve FeB takviyelerle kaplanmış numunelerin aşınma testleri için CSM Instruments ball-on-disk aşınma test cihazı kullanılmıştır (Şekil 2). Kuru ortamda ve oda sıcaklığında gerçekleştirilen aşınma testlerinde karşı eleman olarak 6 mm çapında alümina (Al_2O_3) bilye kullanılmıştır. Test süresince uygulanan yük 10 N, kayma hızı 10 cm/s, toplam kayma mesafesi 2000 m ve aşınma çapı 4 mm olarak belirlenmiştir. Hacimsel kaybın belirlenmesi için her 400 metrede bir yüzey profilometre ile aşınma izinin topografik ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüme göre hacimsel kayıplar hesaplanmıştır.



Şekil 2. *Ball-on-disc aşınma testinin şematik gösterimi*

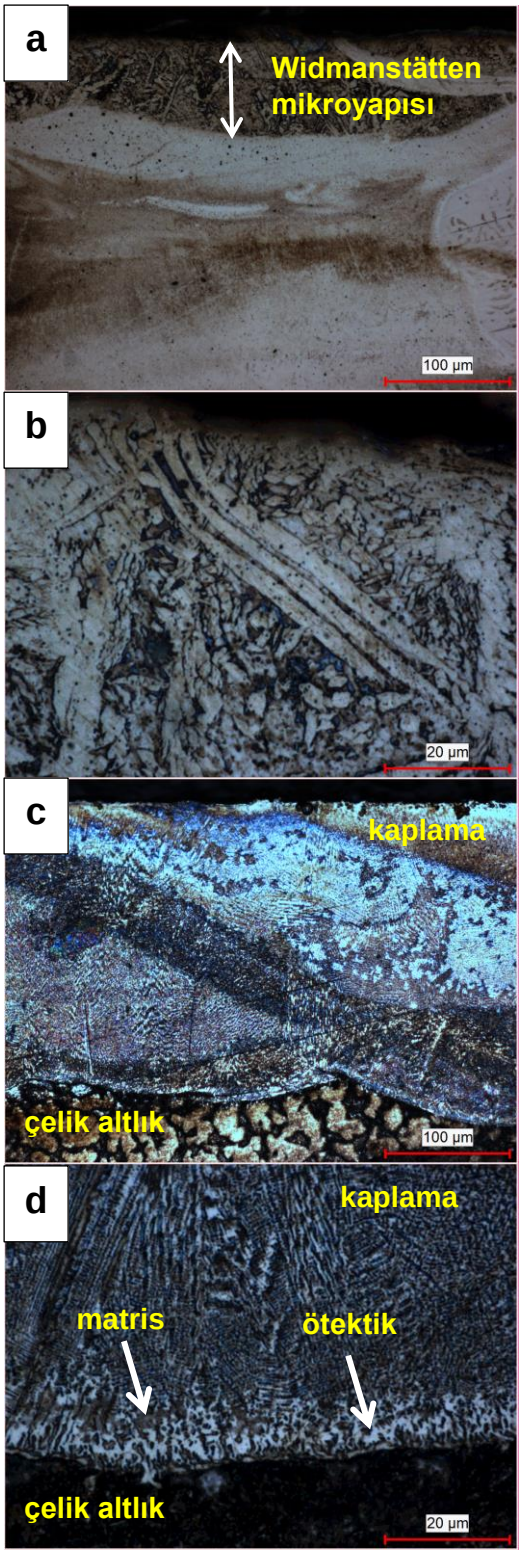
Sonuçlar ve Tartışma

Mikroyapı incelemeleri

Lazer kaplama ile oluşturulan kaynak dikişlerinin makro görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir. Kaynak dikişleri birbiri üzerine bindirilerek FeB ve FeMo takviyeli kompozit kaplamalar oluşturulmuştur.

Şekil 3. *Takviyesiz lazer kaplama tabakasının üstten stereo mikroskop görüntüsü.*

Kaplamaların optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde (Şekil 4), FeMo takviyeli kaplamada iğnemsi ve plaka benzeri mikroyapısal bileşenler tespit edilmiştir. Yaklaşık 80 µm kalınlığında bir bölgeyi kapsayan bu yapının Widmanstätten ferrit olduğu düşünülmektedir. Ötektoid öncesi ferrit, iğnemsi ya da plaka benzeri taneler içeren morfoloji sergilediğinde bu yapı sıklıkla Widmanstätten ferrit olarak adlandırılmaktadır. Widmanstätten ferrit oluşumuna, haddelenmiş çeliklerde, hızlı soğutulmuş çeliklerde, kaynak metallerinde veya kaynaklı yapıların ısı tesiri altındaki bölgelerinde rastlanabilmektedir. Ferritin, kaba östenit taneleri boyunca tamamen büyümesi güçleşir ve dolayısıyla Widmanstätten ferrit oluşumu, kaba östenit taneleri tarafından desteklenir. Bir diğer faktör ise soğuma hızıdır. Kaba östenit taneleri ile nispeten hızlı soğumanın kombinasyonu Widmanstätten ferrit oluşumuna eğilimi artırır (Bodnar ve Hansen, 1994). İnce tane yapısı, ince karbür/nitrür çökeltileri ile östenit tanelerinin büyümesinin engellenmesi sonucunda meydana gelir (Maropoulos vd., 2007). Lazer kaplama esnasında, yoğunluğu demir esaslı kaynak metaline göre daha yüksek olan FeMo tozları kaplamanın orta ve alt bölgelerinde kalarak Şekil 4a'da görüldüğü gibi ince taneli karbür çökeltileri oluşturmuştur. Karbürlerin tercihen kaplamanın orta bölgesinde oluşması sebebiyle yüzeye yakın bölgelerde meydana gelen karbür eksikliğinin, östenit tane boyutunda irileşmeye sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca dış yüzeyde soğuma hızının daha yüksek olabileceği göz önüne alındığında Widmanstätten ferrit oluşumunu destekleyen tüm koşullar sağlanmaktadır.

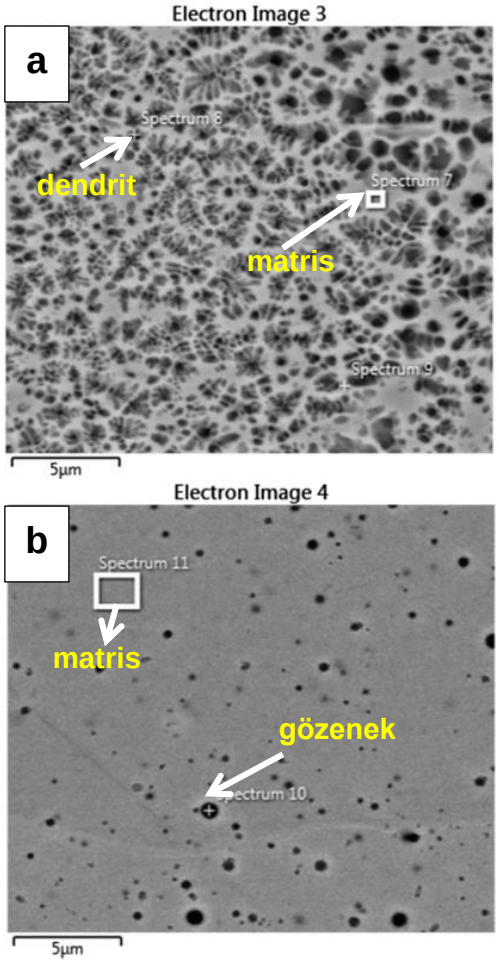


Şekil 4. *Kaplamaların mikroyapı görüntüleri: a) FeMo takviyeli, b) FeMo takviyeli kaplamada Widmanstätten ferrit oluşumu, c-d) FeB takviyeli*

FeB takviyeli kaplamada, dendrit kolları arasında çökelen fazlar görülmektedir (Şekil 4d). Du, 2013, yaptığı çalışmada Ti, B ve Fe içeren numuneler ile yaptıkları çalışmada dendritik matris içine dağılmış siyah granül benzeri fazlara rastlanmıştır. Bu fazların yüksek miktarda Ti ve B elementleri içeren ara bileşikler nedeniyle oluştuğu tespit edilmiştir. Fu vd., 2015, Fe esaslı kaplamalarda mikroyapıların kompozisyon ve oluşum mekanizmalarını araştırmışlardır. Bu kaplamaların esas olarak dendrit ve ötektik içeren mikroyapılara sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüksek katılaşma oranlarında, önce dendritler oluşmaktadır. Devamında ötektik oluşumu gerçekleşmektedir. Dendrit kolları arasında çökelen fazların bor içeriğinin matrisin bor içeriğinden daha yüksek olduğu EDX analizleri ile ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5, Tablo 1). FeMo takviyeli kaplamanın EDX analizinde oksijene rastlanmıştır (Tablo 1). Bu durum kaplama yüzeyinde oksit oluşumunu işaret etmektedir.

Sertlik testi

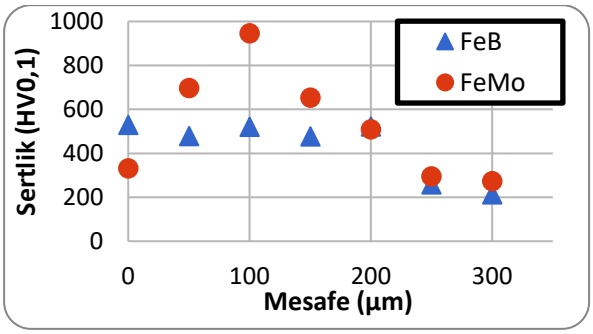
Kaplamaların kesitinden alınan mikro sertlik değerleri Şekil 6'daki grafikte görülmektedir. FeB takviyeli kaplamanın sertliği kesit boyunca homojene yakın bir dağılım sergilerken, FeMo takviyeli kaplamanın sertliği kaplama yüzeyinde ve altlık malzemesine yakın bölgelerde göreceli olarak düşük, kaplamanın orta bölgelerinde ise daha yüksektir. FeMo takviyeli kaplamanın kesitten alınan mikroyapı görüntüsü incelendiğinde, kaplamanın üst yüzeye yakın bölgesinde kaba taneli bir mikroyapı gözlenirken, orta bölgelerinde ince taneli çökeltilerin bulunduğu tespit edilmiştir. Molibdenin yoğunluğu 10,23 g/cm^3'tür (Gasik, 2013). Ağırlıkça %60-65 oranında molibden içeren FeMo ferro alaşımının yoğunluğu ise yaklaşık 9 g/cm^3 olarak hesaplanmaktadır. Lazer kaplama esnasında ergiyen demir esaslı kaynak telinin yoğunluğu FeMo alaşımına ve molibdene kıyasla daha düşük yoğunlukta olduğundan yüzeye çıkma eğilimi sergilemiştir. Yoğunluğu nispeten yüksek olan molibdenin ise yüzeyin altında kalarak bu bölgede ince karbürler oluşturup çökeldiği düşünülmektedir. Bu nedenle orta bölgede mikro sertlikte artış meydana gelmiştir. Altlık malzemeye yakın bölgede sertliğin tekrar düşmesinin sebebi ise seyrelmedir. Seyrelme, altlık malzemesinin kaplama malzemesi içerisindeki oranı olarak tanımlanmaktadır (Balasubramanian vd., 2009). Aslında, alt tabaka ile iyi bir yapışmayı garanti etmek için asgari bir karışım seviyesi gerekli olsa da, aşırı miktarda seyrelme kaplamanın özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir (Zanzarin vd., 2016). Seyrelmenin etkisi FeMo takviyeli kaplamada belirgin olarak görülmektedir. Bu kaplamanın altlık malzemesine yakın bölgesinde sertlikte düşüş meydana gelmiştir (Şekil 6).



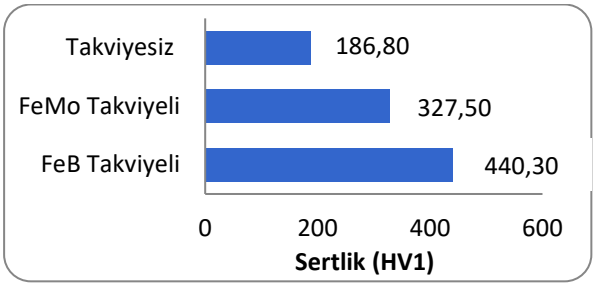
Şekil 5. *Kaplamaların SEM-EDX analizleri a) FeB, b) FeMo*

Tablo 1. Numunelerin EDX sonuçları

Element	C	Si	Cr	Fe	Ni	B	Mo	O	Mn
Spektrum 7	3,24	0,46	14,82	71,46	3,90	6,12	-	-	-
Spektrum 8	4,09	0,41	14,41	69,40	3,64	8,06	-	-	-
Spektrum 9	4,90	0,42	14,28	66,96	3,68	9,77	-	-	-
Spektrum 10	3,79	3,02	14,91	52,53	4,67	-	7,17	10,01	3,90
Spektrum 11	3,10	4,04	14,83	49,77	4,73	-	7,69	11,41	4,43



Şekil 6. *Takviyeli kaplamaların kesitten mikrosertlik dağılımı*

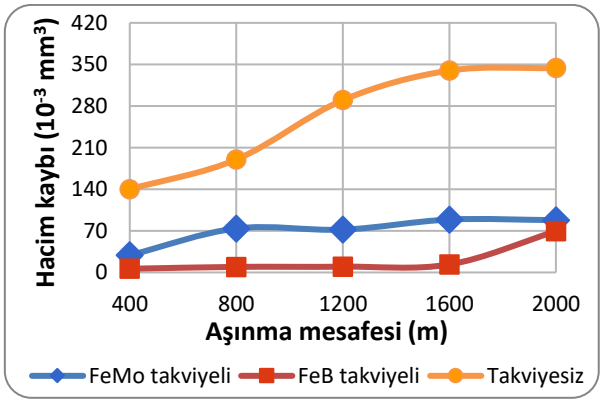


Şekil 7. *Kaplamaların ortalama sertlik değerleri*

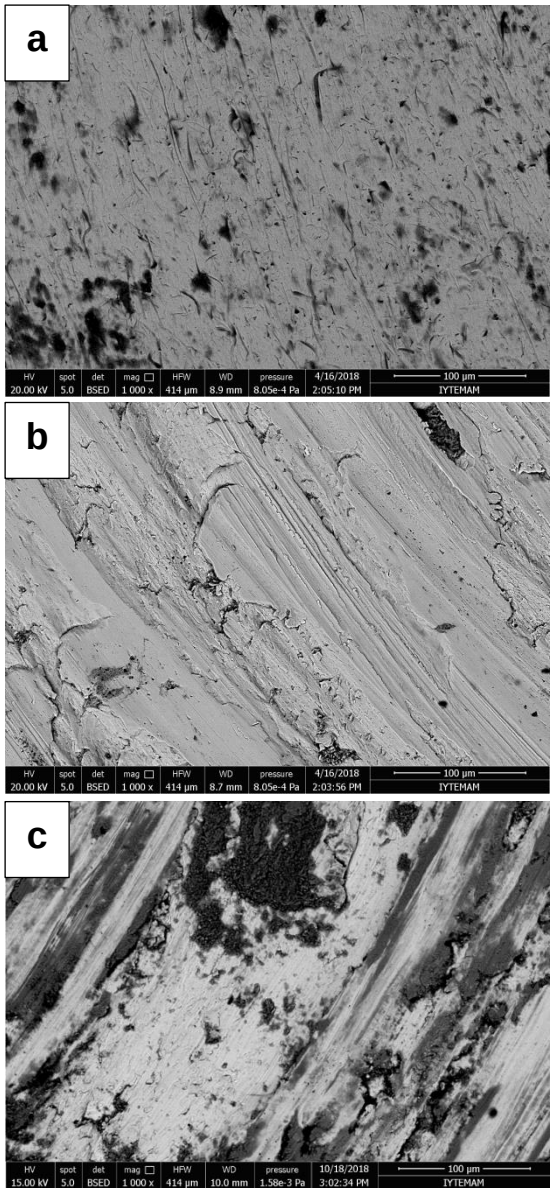
Kaplamaların ortalama sertlik değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Takviyesiz durumdaki kaplamanın ortalama sertlik değeri 186,8 HV olarak tespit edilmiştir. FeMo ve FeB ilave edilerek üretilen kaplamaların ortalama sertlik değerleri ise sırasıyla 327,5 HV ve 440,25 HV olarak ölçülmüştür. Bor ilavesinin yüzey sertliğini artırmada molibdene göre daha etkili olduğu görülmüştür. FeMo ilavesiyle yüzey sertliği yaklaşık 1,75 kat artarken FeB ilavesiyle 2,36 kat artmıştır.

Aşınma testi

Kaplamaların aşınma testi sonucunda hacimsel malzeme kaybına ait grafik incelendiğinde FeB içeren kaplamanın daha iyi aşınma direnci sergilediği görülmektedir (Şekil 8). FeMo içeren kaplama, mesafeye bağlı olarak malzeme kaybında artış eğilimi sergilemektedir. Buna karşın FeB içeren kaplama, aşınma yolunun 1600 metresine kadar hacimsel malzeme kaybında çok az değişim göstererek 2000 metrede bir anda malzeme kaybına uğramıştır. En fazla malzeme kaybı sadece dolgu teli ile üretilen takviyesiz kaplamada meydana gelmiştir. Artan kaplama sertliğinin aşınma direncini artırdığı tespit edilmiştir. Luyckx ve Love, 2004 WC takviyeli kobalt esaslı alaşımlarında abrazyon direncinin, alaşımın artan sertliği ile birlikte parabolik olarak arttığını gözlemlemişlerdir (Luyckx ve Love, 2004). Bu çalışmada, FeB takviyesi ile diğer kaplamalara kıyasla en yüksek sertlik değerine ve dolayısıyla aşınma direncine ulaşılmıştır.



Şekil 8. *Takviyesiz, FeMo ve FeB takviyeli kaplamaların hacim kayıpları*



Şekil 9. *2000 m sonrası kaplamaların aşınma yüzeyi: a) FeB takviyeli kaplama, b) FeMo takviyeli kaplama, c) takviyesiz kaplama*

Aşınma testi sonrasında aşınma izinden ölçülen mikro sertlik değerlerinin ortalaması FeB takviyeli, FeMo takviyeli ve takviyesiz durumdaki kaplamalar için sırasıyla 765,7 HV, 635,7 HV ve 403 HV olarak hesaplanmıştır. Kaplamaların aşınma yüzeylerine ait SEM görüntüleri Şekil 9'da verilmiştir. FeB takviyeli numunede süreksiz ve derin olmayan aşınma izlerine rastlanmıştır. Aşınma esnasında meydana gelen pekleşme ile aşınma bölgesinde sertlik 1,7 kat artarak 765,7 HV değerine yükselmiştir. Bu nedenle FeB takviyeli kaplamada aşınma izleri çok derin değildir. Buna karşın, yüzey sertliği Widmanstatten mikroyapısı nedeniyle 300 ila 350 HV arasında olan FeMo takviyeli kaplamada daha derin aşınma oyukları ve sürekli aşınma çizgileri meydana gelmiştir. FeMo takviyeli kaplamada aşınma sonrası sertliğin yaklaşık 1,9 kat yükselmesi, düşük sertlikteki yüzeye yakın bölgenin yüksek oranda plastik deformasyona uğrayarak pekleşmesidir. Benzer aşınma yüzeyi ve yüksek oranda plastik deformasyon takviyesiz kaplamada da gözlenmiştir.

Sonuçlar

Lazer kaynak yöntemi ile üretilen kaplamaların, çelik altlık malzemesi ise metalurjik bağ oluşturabildiği görülmüştür. FeB ve FeMo takviyesiyle lazer kaplamaların sertlik ve aşınma dirençlerinin artırılabileceği deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Bulgular aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

1. FeB takviyeli kaplamada kesit boyunca homojene yakın bir mikroyapı elde edilirken, FeMo takviyeli kaplamanın dış katmanında yaklaşık 80 µm kalınlığında Widmänstatten ferrit mikroyapısı gözlenmiştir. FeB takviyeli kaplama, homojene yakın mikroyapı sergilemesi nedeniyle mikro sertlik dağılımında birbirine çok yakın sertlik değerleri elde edilmiştir. FeMo takviyeli kaplamada ise Widmänstatten ferrit oluşumu nedeniyle dış katmanda daha düşük, orta kısımlarda ise daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır.
2. En yüksek sertlik değeri FeB takviyeli kaplamada elde edilmiştir. FeB içeren kaplamanın sertliği takviyesiz kaplamaya göre ise yaklaşık 2,4 kat artış göstermiştir. Artan kaplama sertliği, hacimsel aşınma kaybını azaltmıştır. En yüksek aşınma kaybı takviyesiz kaplamada meydana gelirken, en yüksek aşınma direncini FeB takviyeli kaplama sergilemiştir.
3. FeMo takviyeli kaplamanın ve takviyesiz kaplamanın aşınma yüzeylerinde süreklilik sergileyen abrazif aşınma çizikleri ve derin oyuklar oluşurken, FeB takviyeli

kaplamada süreksiz aşınma izleri gözlenmiştir. FeMo takviyeli kaplamada daha fazla aşınma meydana gelmesinin sebebi, dış tabakada oluşan düşük sertlikteki Widmänstatten ferrit fazıdır. Aşınma esnasında gerçekleşen plastik deformasyon sebebiyle aşınan bölgede sertlik artmıştır.

Kaynaklar

Badisch, E., Mitterer, C., (2003). Abrasive wear of high speed steels: Influence of abrasive particles and primary carbides on wear resistance, Tribology International, 36(10), 765-770.

Balasubramanian, V., Varahamoorthy, R., Ramachandran, C.S., Muralidharan, C., (2009). Selection of Welding Process for Hardfacing on Carbon Steels Based on Quantitative and Qualitative Factors, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40, 887-897.

Bodnar, R.L., Hansen, S.S., (1994). Effects of austenite grain size and cooling rate on Widmanstätten ferrite formation in low-alloy steels, Metallurgical and Materials Transactions A, 25(4), 665-675.

Birger, E.M., Moskvitin, G.V., Polyakov, A.N., Arkhipov, V.E., (2011). Industrial laser cladding: current state and future, Welding International, 25(3), 234-243.

Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A. K., Caligulu, U., (2013). Microstructural Development of Fe–Cr–C and B 4 C Powder Alloy Coating on Stainless Steel by Plasma-Transferred Arc Weld Surfacing, Arabian Journal for Science and Engineering, 38(8), 2197-2204.

Cay, V.V., Ozan, S., Gök, M.S., (2011). The effect of hydrogen shielding gas on microstructure and abrasive wear behavior in the surface modification process using the tungsten inert gas method, Journal of Coatings Technology and Research, 8(1), 97-105.

Chen, J.M., Chun, G., Zhou J.S., (2012). Microstructure and Tribological Properties of Laser Cladding Fe-Based Coating on Pure Ti Substrate, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 22(9), 2171–2178.

Chandrasekar, M., Shivalingappa, D., Channankaiah. D., (2016). Recent Developments in Cladding Process – A Review, International Journal for Innovative Research in Science & Technology, 2(10), 310-315.

Dai, S., Zuo, D.W., Fang, C., Zhu, L., Cheng, H., Gao, Y.X., Li, W.W., (2016). Characteration of Laser Cladded Fe-Mn-Cr Alloy Coatings Modified by Plasma Nitriding, Materials Transactions, 57(4), 539-543.

Du, B., (2013). Fabrication of In-situ Fe-Ti-B composite coating by laser cladding, Surface Review and Letters, 20(3-4), 1-8.

Fu, Z.K., Ding, H.H., Wang, W.J., Liu, Q.Y., Guo, J., Zhu, M.H., (2015). Investigation on microstructure and wear characteristic of laser cladding Fe-based alloy on wheel/rail materials, Wear, 330, 592-599.

Gasik, M., eds. (2013). Handbook of ferroalloys: theory and technology, Chapter 12: Technology of Molybdenum Ferroalloys, 387-396, Butterworth-Heinemann.

Luo, K.Y., Xu, X., Zhao, Z., Zhao, S.S., Cheng, Z.G., Lu, J.Z., (2019). Microstructural evolution and characteristics of bonding zone in multilayer laser cladding of Fe-based coating, Journal of Materials Processing Technology, 263, 50-58.

Luyckx, S., Love, A., (2004). The relationship between the abrasion resistance and the hardness of WC-Co alloys, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 104(10), 579-582.

Maropoulos, S., Karagiannis, S., Ridley, N., (2007). Factors affecting prior austenite grain size in low alloy steel, Journal of materials science, 42(4), 1309-1320.

Toms, T., (2013). The Application of Laser Cladding to Mechanical Component Repair, Renovation and Regeneration in Katalinic, B., Tekic, Z., eds, DAAAM International Scientific Book, DAAAM International, 587-608, Vienna, Austria.

Wang, X.H., Han, F., Liu, X.M., Qu, S.Y., Zou, Z.D., (2008). Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings, Materials Science and Engineering: A, 489(1-2), 193-200.

Zanzarin, S., Bengtsson, S., Molinari, A., (2016). Study of dilution in laser cladding of a carbon steel substrate with Co alloy powders, Powder Metallurgy, 59(1), 85-94.

Zhang, M., Liu, S.S., Luo, S.X., Qu, K.L., (2018). Effect of molybdenum on the high-temperature properties of TiC-TiB2 reinforced Fe-based composite laser cladding coatings, Journal of Alloys and Compounds, 742, 383-390.

Wear characteristics and microstructure of ferromolybdenum and ferroboron reinforced laser claddings

Extended abstract

Mold parts are exposed to severe abrasive-corrosive conditions during the service. Abrasion causes a great economic loss for molding processes. Tribological properties of mold surfaces can be improved by several techniques. An abrasion-resistant coating on the mold surfaces or the repair of worn mold parts can be carried out by laser cladding method.

In this study, iron-based coatings alloyed by ferromolybdenum (FeMo) and ferroboron (FeB) were produced by laser cladding method in order to improve the abrasion resistance of AISI 4140 steel. The wear resistance of the coatings was determined by the ball-on-disc wear test. Microstructure studies were performed under both an optical microscope and scanning electron microscope. The macro hardness of the coatings was measured from the top surface. In addition, microhardness measurements were carried out along the cross section of the coatings. Vickers indenter was used both in macro and microhardness tests.

Microstructural investigations reveal that FeB reinforced coating exhibits a homogeneous microstructure that consists of dendrites and eutectic. In contrast, FeMo reinforced coating has a layer of Widmänstatten ferrite. Below this layer, the formation of fine precipitations was observed. Minimum macro hardness value was obtained in the unreinforced coating. The surface hardness of FeB reinforced coating is higher than that of FeMo reinforced coating. However, the microhardness of the middle zone reached the hardness value of 945 HV while the top surface is 318 HV in FeMo reinforced coating. The hardness of the middle zone of FeMo reinforced coating is higher than the top surface hardness of FeB reinforced coating. Relatively low hardness of the top surface of the FeMo reinforced coating relies on the Widmänstatten ferrite layer. It can be concluded that the FeMo reinforced coating exhibited a non-homogeneous hardness distribution along the cross-section. In contrast, FeB reinforced coating showed a homogeneous hardness distribution all along the coating. The hardness of reinforced coatings tended to decrease right above the steel substrate due to the dilution of coating material by the substrate material.

The increased coating hardness increased the wear resistance, resulting in less material loss in the FeB containing coating. The unreinforced coating showed the maximum material loss. It is understood that the surface hardness has a great influence on the wear resistance. Shallow and discontinuous scratches appeared in the worn surface of the FeB reinforced coating. Unreinforced and FeMo reinforced coatings were abraded severely. As a result, deep grooves and continuous scratches were generated. The hardness of the worn surfaces was increased due to the plastic deformation.

Keywords: *Laser cladding, wear, hardness, boron, molybdenum*