



WC-Ni sert dolgu alaşımının kuru ve NaCl çözelti ortamlarındaki aşınma performansı

Nilay ÇÖMEZ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, Türkiye.

e-mail: nilay.comez@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6432-6582

Geliş: 19.02.2019, Revizyon: 25.03.2019, Kabul Tarihi: 29.04.2019

Öz

Nikel esaslı matris malzemesi içerisinde homojene yakın bir şekilde dağılmış tungsten karbür (WC) parçacıkları ile üretilen sert dolgu kaplamaları, sertlik, aşınma direnci ve korozyonun mükemmel kombinasyonunu sunmaktadır. Bu çalışmada plazma ark kaynağı ile nikel esaslı matris malzemesine küresel WC partikülleri ilave edilerek sert dolgu kaplama üretimi gerçekleştirilmiştir ve aşınma ortamının aşınma miktarına etkisi araştırılmıştır. Kaplamanın genel sertliği makro Vickers (HV10) metodu ile ölçülmüştür. Ayrıca, WC partiküllerinin ve matris/karbür ötektığının sertliği HV3 metodu ile belirlenmiştir. Kaplamanın "ball-on-disc" aşınma testleri hem kuru ortamda hem de ağırlıkça %5 NaCl sulu çözeltisi içerisinde, 10 N yük altında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Karşı eleman olarak 6 mm çapında alümina bilye kullanılmıştır. Kayma hızı ve mesafesi sırasıyla 3 cm/s ve 2000 m olarak ayarlanmıştır. Her 500 metrede bir profilometre ile aşınma izinin topoğrafyası çıkarılmıştır ve hacimsel malzeme kaybı hesaplanmıştır. Artan kayma mesafesi ile malzeme kaybı artmıştır. Çözelti ortamındaki aşınma testinde gerçekleşen hacimsel malzeme kaybının kuru ortama göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çözeltide yapılan aşınma testinde, sadece aşınmanın mekanik etkisi ile değil aynı zamanda korozyon sebebiyle de malzeme kaybı meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tungsten karbür, nikel, sert dolgu, aşınma, sertlik

Giriş

Bir bileşenin amaçlanan işlevini yerine getirmemesi durumu arıza olarak tanımlanmaktadır. Mühendislik bileşenlerinin arızası, başlıca dört başlık altında incelenmektedir: kırılma, korozyon, aşınma ve deformasyon. Aşınma, toplam arızaların %55'ini oluşturmaktadır. Aşınma, malzeme yüzeyine temas eden bir katı, sıvı veya gazın mekanik etkisiyle meydana gelen malzeme kaybı ve yüzey hasarı olarak tanımlanmaktadır (Pawar vd., 2019).

Yüksek sertlikte karbürleri barındıran tok metalik matrise sahip kaplamalar, aşınmanın sebep olduğu kayıpların üstesinden gelmek için korumalı metal ark kaynağı, gazaltı kaynağı, TIG kaynağı, özlü telle ark kaynağı, plazma transfer ark kaynağı ve lazer kaynağı gibi çeşitli sert dolgu teknikleri ile üretilmektedir (Van Acker vd., 2005; Buchely vd., 2005; Chaidemenopoulos vd., 2019).

Sert dolgu kaplamaların en yaygın uygulamaları arasında maden endüstrisinde kullanılan ekskavatörlerin kenarları, sondaj ekipmanları, maden kırıcıları ve toprak hazırlama ekipmanları yer almaktadır (Chaidemenopoulos vd., 2019). Bu kaplamalar aşınmanın yanı sıra üstün korozyon direnci de sağlayabilmektedir (Buchely vd., 2005) .

Tungsten karbür (WC) parçacıkları yüksek sertlik ve aşınma direnci özellikleri sebebiyle sert dolgu alaşımlarında sıkça takviye elemanı olarak tercih edilmektedir (St-Georges, 2007; Zhou vd., 2012; Hajihashemi vd., 2015). WC parçacıklarının nikel gibi sünek bir matris malzemesi içerisinde bulunması, aşınma direncine ilave olarak oldukça iyi darbe ve yorulma direnci sağlamaktadır (Van Acker vd., 2005; Buchely vd., 2005; Leech vd., 2012). Balakrishnan vd., 2013, WC içerikli sert dolgu kaplamayı 4 mm kalınlığında orta katman olarak uygulayıp tüm kaplamanın balistik performansına etkisini incelemiştir. Leech vd., 2012, WC-Ni kaplamanın aşınma direncini hem kuru kum-kauçuk tekerlek abrazyon

testiyle hem de pin-on-flat aşınma testiyle tespit etmişlerdir. Van Acker vd., 2005, ise lazer yöntemiyle üretilmiş WC-Ni kaplamalara ball-crater aşınma testi uygulamışlardır. Literatürde uygulanan aşınma testleri kuru ortamda gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, plazma ark kaynağı ile üretilen WC-Ni kaplamanın kuru ortamda ve %5 NaCl içerisindeki aşınma davranışı incelenmiştir. Bu sayede çözeltinin aşınma kaybına etkisini ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

WC-Ni kaplamasının üretimi

Hacimsel olarak yaklaşık %60 küresel WC parçacığı ve %40 NiCr13.5B2.8Si4C0.55Fe3.9 kompozisyonuna sahip nikel esaslı ticari alaşımı içeren toz karışımı plazma ark kaynağı ile 5 mm kalınlığındaki düşük karbonlu çelik altlık üzerine kaplanmıştır (Tablo 1). Ni-esaslı alaşımlı toz, kaplamanın matris fazı olarak kullanılmıştır. WC-Ni toz karışımı kaynak esnasında arkın olduğu bölgeye sevk edilerek 3 mm kalınlığında bir kaplama elde edilmiştir.

Tablo 1. Nikel esaslı matris malzemesinin ve çelik altlığın kimyasal kompozisyonu

Element	Cr	B	Si	C	Fe	Ni
Matris	13.5	2.8	4	0.55	3.9	75.25
Element	C	Mn	Fe		Diğer	
Çelik	0.05	0.22	99.68		0.045	

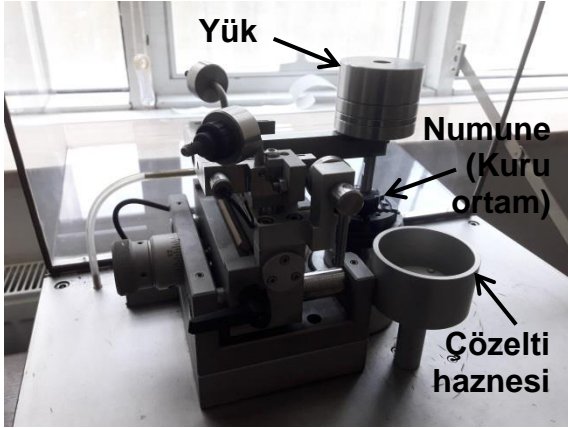
Mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi

Zımparalama-parlatma işlemine tabi tutulan kaplama optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu altında incelenmiştir. Makro sertlik testleri Vickers uç kullanılarak 10 kg yük altında 10 saniye boyunca gerçekleştirilmiştir. Ayrıca WC parçacıklarının ve matris/karbür ötekliğinin sertliği HV3 metodu ile ölçülmüştür.

Aşınma testi

WC-Ni sert dolgu kaplamasının aşınma performansı CSM Instruments Tribometer aşınma test cihazında ball-on-disc metodu ile belirlenmiştir (Şekil 1). Aşınma testleri hem kuru ortamda hem de %5 NaCl içerisinde gerçekleştirilmiştir. Karşı eleman olarak 6 mm

çapında alümina bilye kullanılmıştır. Aşınma testleri 10 N yük altında 3 cm/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Toplam kayma mesafesi 2000 m olarak ayarlanmıştır ve her 500 metrede bir profilometre ile aşınma izinin profili çıkarılmıştır. Bu sayede hacimsel aşınma kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 1. Aşınma test cihazı

Sonuçlar ve Tartışma

Mikroyapı incelemeleri

Mikroyapı incelemeleri, WC parçacıklarının nikel esaslı matris içerisinde homojene yakın bir dağılım sergilediğini ve karbür parçacıklarının matris malzemesi tarafından ıslatılabilirliğinin uygun olduğunu göstermektedir (Şekil 2a). WC parçacıklarının boyutu Şekil 2b'de görüldüğü gibi ölçülmüştür ve ortalama parçacık boyutu 74.39 µm olarak hesaplanmıştır.

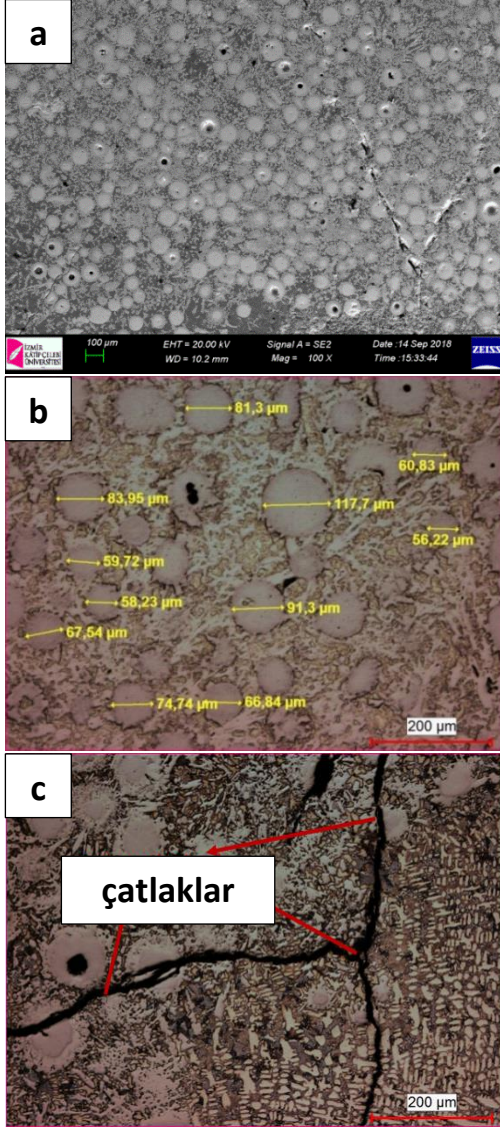
Şekil 2c'de kaplamada çatlakların meydana geldiği görülmektedir. Çatlaklar WC parçacıkları boyunca ilerleyerek bu karbürleri iki parçaya ayırmaktadır. Çatlak oluşumu, kaplamanın katılaşması esnasında kırılgen karbür fazları sebebiyle meydana gelebilmektedir (Buchanan vd., 2008). Kaplamadaki çatlaklar, çalışma sırasında çatlak yayılımı açısından bir kusur olarak algılanabilir. Bununla birlikte, oluşan çatlaklar katılaşma esnasında meydana gelen gerilmeleri hafifleterek ve dökülmeleri önleyerek faydalı olabilirler (Buchanan vd., 2007).

Şekil 3a'da kaplama/çelik altlık ara yüzeyi görülmektedir. Kaplama malzemesinin altlık malzemesinin tanelerinden epitaksiyel olarak büyüdüğü tespit edilmiştir. Epitaksiyel büyümede, kaplama malzemesinin atomları çelik altlık malzemesine eklenir ve bu nedenle bu taneleri kaplama malzemesine doğru büyütür (Karimzadeh vd., 2006). Kaplamanın altlık malzemesine yakın bölgesinde dendritik mikroyapı ve dendrit kolları arasında çökelen ikincil karbürler dikkat çekmektedir. Buytoz vd., 2013, AISI 316 paslanmaz çelik altlık üzerine B₄C tozuyla takviye edilen Fe-C-Cr sert dolgu alaşımını plazma transferli ark kaynağı ile kaplamışlardır. Kaplamanın üretim esnasında altlık malzemesi tarafından seyreltilmesi sebebiyle kompozisyon ve mikroyapısal değişimlerin meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde altlık malzemesinden uzaklaştıkça sekonder karbür morfolojisinin değişime uğradığı tespit edilmiştir. Kaplama ve altlık malzemesi ara yüzeyinde nüfuziyet eksikliği ya da gözenek oluşumu tespit edilmemiştir.

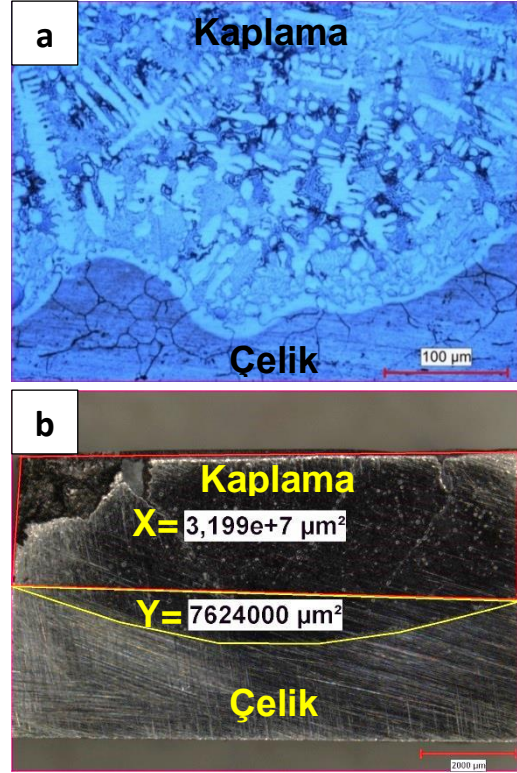
Şekil 3b'de kaplamada meydana gelen seyrelme alan olarak ifade edilmiştir. Seyrelme oranı, %Seyrelme=(Y/(X+Y))*100 ifadesi ile kolayca hesaplanabilmektedir (Tahaei vd., 2016). Şekil 3'te ölçülen alanlara göre seyrelme oranı %19.25 olarak hesaplanmıştır.

WC parçacığı boyunca alınan SEM-EDX çizgi analizi Şekil 4'te verilmiştir. Tungsten elementince zengin açık renkli dairesel alanda demir ve nikel eser miktarda bulunurken, bu dairenin dışına doğru özellikle nikel miktarında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Kaplama esnasında, WC parçacığının dış yüzeyinde çözünme meydana gelmektedir. Çözünen tungsten karbür ve nikel esaslı matris arasındaki reaksiyon Ni₂W₄C ve/veya NiW gibi intermetalik bileşiklerin oluşumuna sebep olmaktadır (Leech vd., 2012; Deng vd., 2015). SEM-EDX çizgi analizinde tespit edilen WC parçacığının çözünmeyen açık renkli kısmının etrafındaki fazların Ni₂W₄C ve/veya NiW fazları olduğu XRD analiziyle doğrulanmıştır (Şekil 5). Bu fazlar haricinde, kaplamada NiW₄,

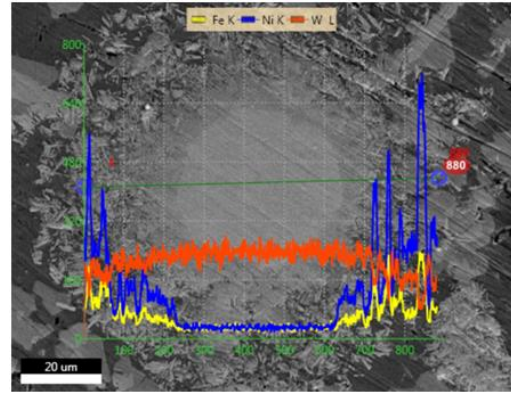
W₂C ve CrB gibi fazların da oluştuğu tespit edilmiştir.



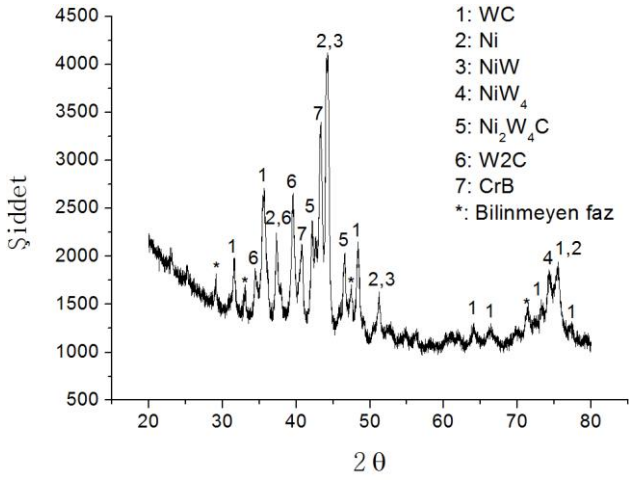
Şekil 2. a) WC-Ni sert dolgu kaplaması, b) WC parçacıklarının boyutu, c) Çatlak oluşumu



Şekil 3. a) WC-Ni kaplamasında meydana gelen epitaksiyel büyüme, b) kaplamada meydana gelen seyrelme



Şekil 4. WC parçacığı boyunca SEM-EDX çizgi analizi



Şekil 5. WC-Ni kaplamasına ait XRD grafiği

Sertlik ve aşınma testleri

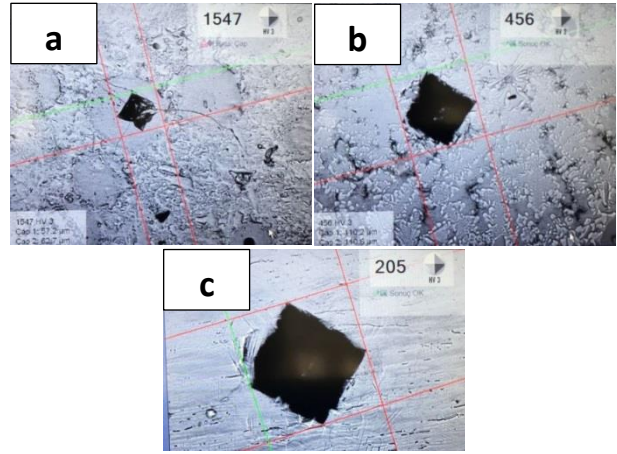
WC-Ni sert dolgu kaplamasının sertlik değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Kaplamanın genel sertlik ölçümünün yanı sıra Şekil 6’da görüldüğü gibi WC parçacıklarının ve matris/karbür ötektiğinin de sertlik değerleri HV3 metodu ile tespit edilmiştir (Şekil 6a ve 6b). Çelik altlık malzemesinin sertliği 205 HV3 olarak bulunmuştur (Şekil 6c).

Tablo 2. WC-Ni sert dolgu kaplamasının sertlik değerleri

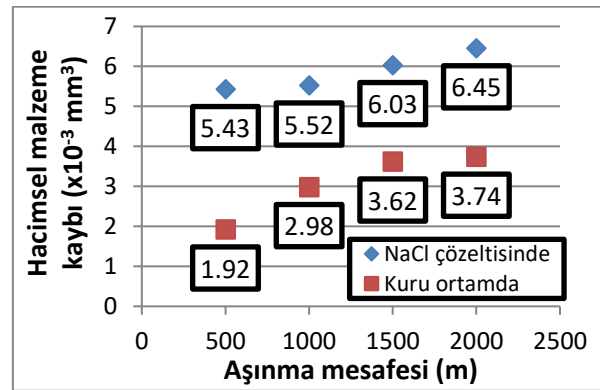
Ölçüm	Genel sertlik (HV ₁₀)	Karbür/Matris Ötektiği (HV ₃)	WC (HV ₃)
1	1211	456	1547
2	1086	513	1640
3	1218	498	1866
Ort.	1171.7	489	1684.3

Liyanage vd., 2012, üç farklı Ni esaslı alaşım kullanarak WC-Ni kaplamaları üretmişlerdir ve 601-852 HV aralığında kaplama sertlik değerleri elde etmişlerdir. Bu çalışmada, WC-Ni kaplamasında 1171.67 HV genel ortalama sertlik değerine ulaşılmıştır. Kaplamanın genel ortalama sertlik değerinin, çelik altlık malzemesinden yaklaşık 5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. En yüksek ortalama sertlik değeri 1684.3 HV ile WC parçacıklarında elde edilmiştir. Parçacıkların yüksek sertliği kırılabilirliği da beraberinde getirmiştir. Şekil 6a’da görüldüğü gibi sertlik ölçümü sırasında

WC parçacığından başlayan çatlak bir diğer WC parçacığına ve karbür/matris ötektiğine kadar yayılmıştır.



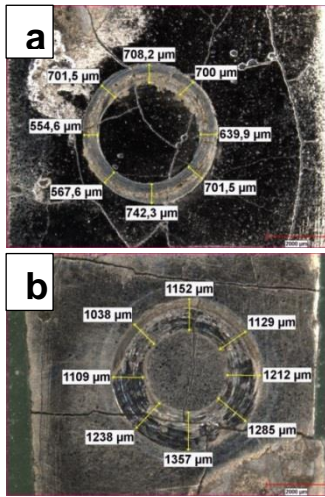
Şekil 6. Sertlik izleri: a) WC, b) Karbür/matris ötektiği, c) Çelik



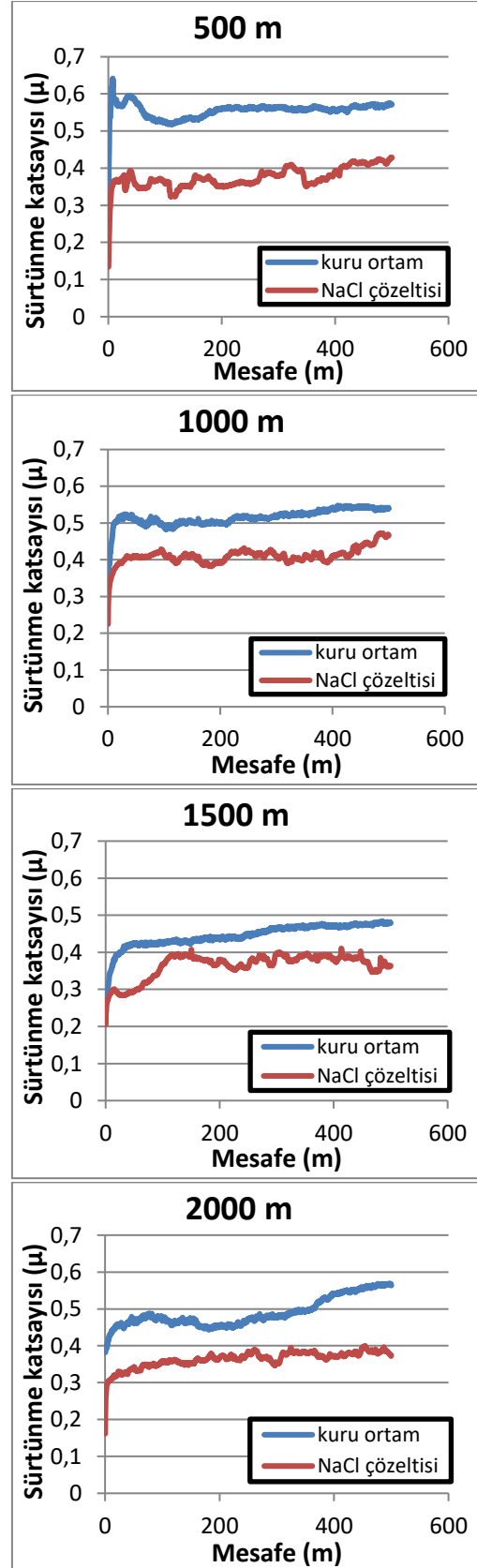
Şekil 7. Aşınma testi sonucunda meydana gelen hacimsel malzeme kaybı

Kuru ortamda ve %5 NaCl içerisinde gerçekleştirilen aşınma testi sonucunda meydana gelen hacimsel malzeme kaybı mesafeye bağlı olarak Şekil 7’de verilmiştir. Her iki durumda da malzeme kaybının artan aşınma mesafesiyle arttığı görülmüştür. Kuru ortamda gerçekleştirilen aşınmada ölçüm alınan iki mesafe arasındaki malzeme kaybının farkı azalma eğilimi sergilemiştir. Örneğin, 500 m ve 1000 m arasındaki malzeme kaybı farkı $1.06 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ iken 1000 m ve 1500 m arasında bu fark $0.64 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Son olarak bu değer 1500 m ve 2000 m arasında $0.12 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ ’e kadar gerilemiştir. Bu durum

oluşmasında iki sebep akla gelmektedir. Birincisi, matris fazının aşınmasıyla açığa çıkan sert WC parçacıkları karşı eleman olan alümina bilyayı aşındırabilir. Bunun sonucunda alümina bilyanın oluşturduğu aşınma ürünleri aşınma izini doldurarak malzeme kaybındaki farkın giderek azalmasına sebep olabilir. İkincisi ise kaplamanın matris malzemesinde pekleşme meydana gelmesi ve pekleşme sebebiyle artan sertliğin aşınma sürecini yavaşlatması şeklinde açıklanabilir. %5 NaCl içerisinde gerçekleşen aşınma testinde ise ölçüm alınan iki mesafe arasındaki malzeme kaybının farkı artma eğilimi sergilemiştir. 500 m ve 1000 m arasındaki malzeme kaybı farkı $0.09 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ iken 1000 m-1500m ve 1500m-2000m arasındaki fark sırasıyla $0.51 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ ve $0.42 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Sıvı aşınma ortamında aşınma ürünlerinin kolayca aşınma izinden uzaklaşabilmesi ve çözeltinin korozif etkisi sebebiyle aşınmanın daha şiddetli gerçekleşmesi bu farkın artmasına sebep olan etmenler olarak göz önüne alınmıştır. Ortalama aşınma izi genişliği, aşınma testi %5 NaCl içerisinde gerçekleştirilen numunede daha fazla ölçülmüştür. Aşınma izinin ortalama genişliği kuru ortamda $664.45 \mu\text{m}$ iken çözeltide yapılan aşınmada $1190 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Aşınma izlerinin makro görüntüleri: a) Kuru ortam, b) Çözelti ortamı

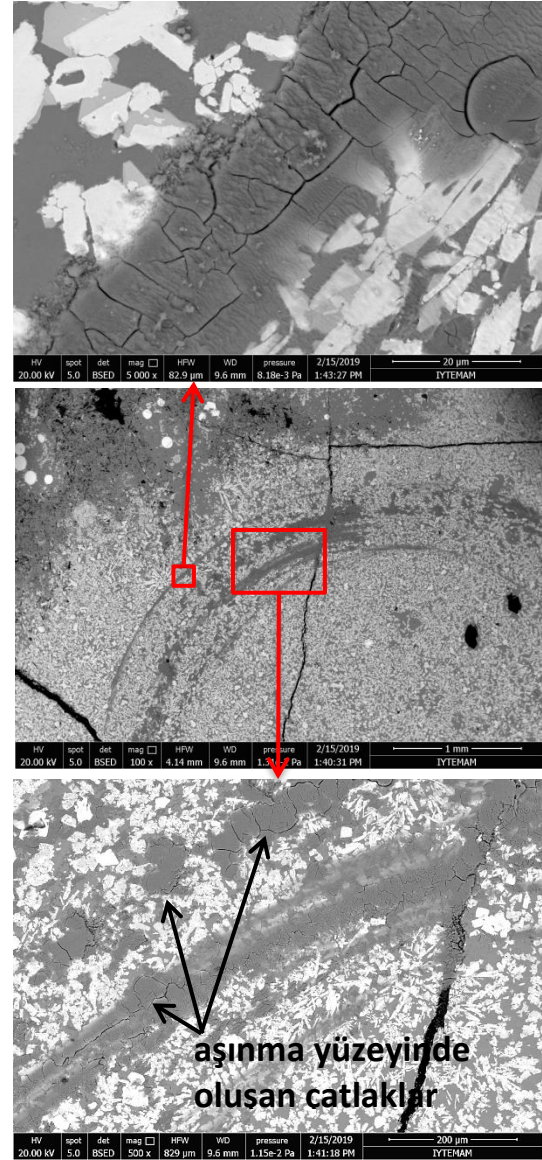


Şekil 9. Sürtünme katsayısı grafikleri
Mesafeye bağlı sürütünme katsayısı grafikleri Şekil 9'da verilmiştir. Kuru ortam aşınma

testinde sürtünme katsayısının daha yüksek olduğu görülmüştür. Aşınma testinin %5 NaCl içerisinde gerçekleştirilmesi durumunda hem sıvı ortamın hem de NaCl sebebiyle aşınma yüzeyinde oluşabilecek oksitli aşınma ürünlerinin etkisiyle sürtünme katsayısı kuru ortamda aşınmaya göre daha düşüktür. Han vd., 2016, NaCl konsantrasyonunun SAF 2507 duplex (çift fazlı) pazlanmaz çeliğinin aşınma-korozyon davranışına etkisini incelemiştir. Artan NaCl konsantrasyonu ile sürtünme katsayısının azaldığını bildirmişlerdir. Çözelti yüzeydeki oksit tabakasının oluşumunu hızlandırarak sürtünme katsayısını azaltmaktadır (Han vd., 2016).

Kuru ortamda gerçekleşen aşınma testi sonrasında yapılan SEM incelemelerinde, matris malzemesinin plastik deformasyonu sonucu çatladığı ve aşınma izinin kenarına yığıldığı görülmüştür (Şekil 10). Malzeme kaybının, oluşan çatlakların pul pul dökülmesi sebebiyle meydana geldiği düşünülmektedir. Şekil 11’de ve Tablo 3’te kimyasal analizi verilen açık renkli W-Ni-C-Cr bileşiklerinin ise aşınmaya karşı WC partikülleri gibi direnç sergilediği tespit edilmiştir.

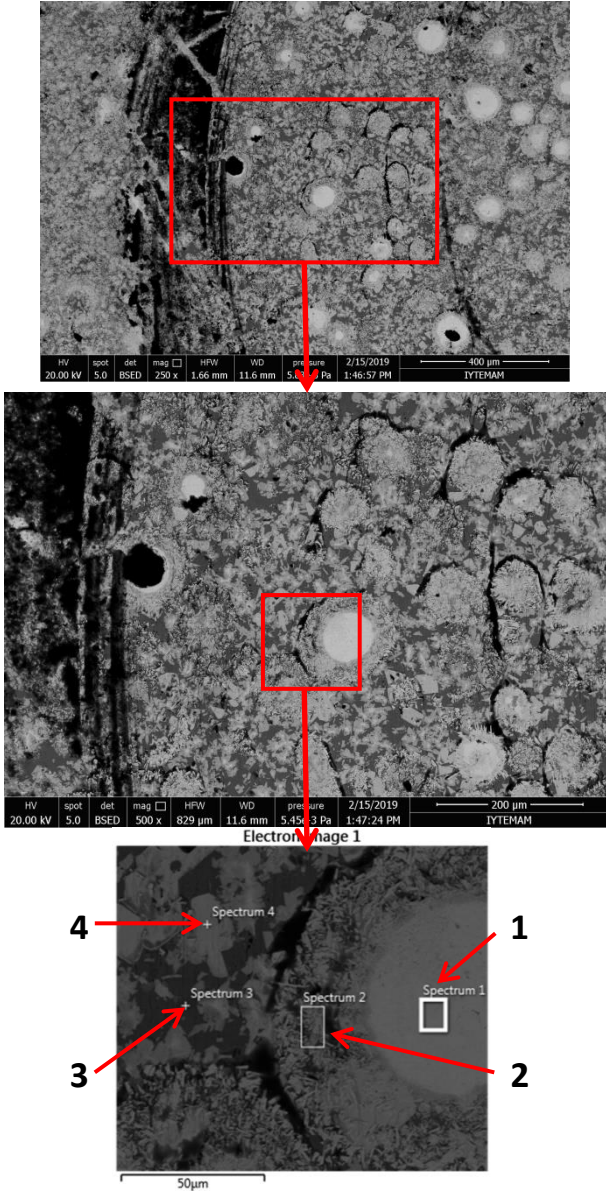
Şekil 11’de çözeltide gerçekleştirilen aşınma testi sonrasında aşınma izinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Kuru ortamda gerçekleşen aşınma testi ile kıyaslandığında, hem aşınma izinde hem de WC parçacıklarının etrafında korozyon sebebiyle malzeme kaybı meydana geldiği görülmüştür. Dolayısıyla %5 NaCl ortamındaki aşınmada malzeme kaybı sadece mekanik etki ile değil aynı zamanda korozyon etkisi ile meydana gelmiştir. 2 ile numaralandırılan EDX analizinde oksijen bulgusuna rastlanmıştır (Şekil 11 ve Tablo 3). Bu durum korozyon sonucu oksitli bileşiklerin oluşumuna işaret etmektedir. Bu nedenle çözeltide gerçekleştirilen aşınmada kuru ortama göre hacimsel malzeme kaybı daha yüksektir (Şekil 7).



Şekil 10. Kuru ortamda aşınma testi sonrası aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü

Tablo 3. Şekil 11’de verilen EDX analizinin sonuçları

Element	1	2	3	4
W	90.87	61.84	1.56	80.00
C	6.35	5.68	5.89	2.93
Ni	-	16.94	77.55	12.43
Fe	-	2.99	10.67	1.72
Na	0.12	-	-	-
O	2.66	9.60	-	-
Cr	-	2.95	4.33	2.92
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00



Şekil 11. NaCl çözeltisi içerisinde aşınma testi sonrası aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü

Sonuçlar

WC takviyeli nikel esaslı sert dolgu alaşımı plazma ark kaynağı ile başarılı bir şekilde düşük karbonlu çelik altlık yüzeyine kaplanmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

1. WC parçacıkları özellikle kaplamanın üst yüzeyinde birikmiştir ve bu bölgede homojene yakın bir dağılım sergilemiştir. WC parçacıklarının nikel matris tarafından iyi ölçüde ıslatılabildiği görülmüştür. Kaplama ve altlık malzemesi arasında epitaksiyel büyümeyi içeren bir

metalurjik bağ gerçekleşmiştir ve ara yüzeyde nüfuziyet eksikliği ya da gözenek oluşumu tespit edilmemiştir.

2. WC/Ni sert dolgu kaplamanın ortalama makro sertliği 1171.67 HV olarak tespit edilmiştir. WC parçacıklarının ve karbür/matris ötektiğinin ortalama sertlik değerleri ise sırasıyla 1684.3 ve 489 HV'dir. Kaplama, çelik altlık malzemesine kıyasla 5.7 kat daha serttir.
3. Hem kuru ortam hem de %5 NaCl içerisinde yapılan aşınma testinde, malzeme kaybı artan kayma mesafesi ile birlikte artmıştır. çözeltide gerçekleştirilen aşınma sonucunda kuru ortama kıyasla daha fazla malzeme kaybı meydana gelmiştir. Malzeme kaybındaki artışta korozyonun etkili olduğu görülmüştür.
4. Sürtünme katsayısı kuru ortamda gerçekleşen aşınmada daha yüksek iken çözeltinin yüzeyde oluşturduğu oksit tabakası nedeniyle %5 NaCl içerisinde gerçekleştirilen aşınmada daha düşüktür.

Kaynaklar

- Balakrishnan, M., Balasubramanian, V., Reddy, G.M., (2013). Effect of hardfacing consumables on ballistic performance of Q&T steel joints, *Defence Technology*, 9(4), 249-258.
- Buchanan, V.E., McCartney, D.G., Shipway, P.H., (2008). A comparison of the abrasive wear behaviour of iron-chromium based hardfaced coatings deposited by SMAW and electric arc spraying, *Wear*, 264(7-8), 542-549.
- Buchanan, V.E., Shipway, P.H., McCartney, D.G., (2007). Microstructure and abrasive wear behaviour of shielded metal arc welding hardfacings used in the sugarcane industry, *Wear*, 263(1-6), 99-110.
- Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., Leon, L.M., Toro, A., (2005). The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, *Wear*, 259(1-6), 52-61.
- Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A. K., Caligulu, U. (2013). Microstructural Development of Fe-Cr-C and B₄C Powder Alloy Coating on Stainless Steel by Plasma-Transferred Arc Weld Surfacing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(8), 2197-2204.

- Chaidemenopoulos, N.G., Psyllaki, P.P., Pavlidou, E., Vourlias, G., (2019). Aspects on carbides transformations of Fe-based hardfacing deposits, *Surface and Coatings Technology*, 357, 651-661.
- Deng, D., Zhang, L., Niu, T., Liu, H., Zhang, H., (2015). Microstructures and wear performance of PTAW deposited Ni-based coatings with spherical tungsten carbide, *Metals*, 5(4), 1984-1996.
- Hajihashemi, M., Shamanian, M., Azimi, G., (2015). Physical, Mechanical, and Dry Sliding Wear Properties of Fe-Cr-WC Hardfacing Alloys Under Different Tungsten Addition, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 46(2), 919-927.
- Han, G., Jiang, P., Wang, J., Yan, F., (2016). Effects of NaCl concentration on wear-corrosion behavior of SAF 2507 super duplex stainless steel, *RSC Advances*, 6(112), 111261-111268.
- Karimzadeh, F., Ebnonnasir, A., Foroughi, A., (2006). Artificial neural network modeling for evaluating of epitaxial growth of Ti6Al4V weldment, *Materials Science and Engineering: A*, 432(1-2), 184-190.
- Leech, P.W., Li, X.S., Alam, N., (2012). Comparison of abrasive wear of a complex high alloy hardfacing deposit and WC-Ni based metal matrix composite, *Wear*, 294, 380-386.
- Liyanage, T., Fisher, G., Gerlich, A.P., (2012). Microstructures and abrasive wear performance of PTAW deposited Ni-WC overlays using different Ni-alloy chemistries, *Wear*, 274, 345-354.
- Pawar, S., Jha, A.K., Mukhopadhyay, G., (2019). Effect of different carbides on the wear resistance of Fe-based hardfacing alloys, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 78, 288-295.
- St-Georges, L., (2007). Development and characterization of composite Ni-Cr+ WC laser cladding, *Wear*, 263(1-6), 562-566.
- Tahaei, A., Vazquez, F. G., Merlin, M., ArizmendiMorquecho, A., Valdes, F. A. R., & Garagnani, G. L. (2016). Metallurgical Characterization of a Weld Bead Coating Applied by the PTA Process on the D2 Tool Steel. *Soldagem & Inspeção*, 21(2), 209-219.
- Van Acker, K., Vanhoyweghen, D., Persoons, R., angrunderbeek, J., (2005). Influence of tungsten carbide particle size and distribution on the wear resistance of laser clad WC/Ni coatings, *Wear*, 258(1-4), 194-202.
- Zhou, Y.F., Yang, Y.L., Li, D., Yang, J., Jiang, Y.W., Ren, X.J., Yang, Q.X., (2012). Effect of titanium content on microstructure and wear resistance of Fe-Cr-C hardfacing layers, *Welding Journal*, 91(8), 229-235.

Wear performance of WC-Ni hardfacing coating in dry medium and NaCl solution

Extended abstract

Wear and corrosion are common problems almost in all industrial fields. Hardfacing coatings are strongly recommended as a solution for the combination of wear and corrosion due to the ease of application and a wide variety of hardfacing alloys. The hardfacing coatings produced by tungsten carbide (WC) particles embedded in a nickel matrix provide an excellent combination of hardness, wear, and corrosion resistance.

In this study, the hardfacing coating was produced by plasma arc welding using nickel-based matrix material and spherical WC particles. In literature, the studies about the wear performance of WC-Ni hardfacing coatings in different media are insufficient. However, the effect of corrosive agents on wear resistance should be enlightened. For this purpose, this study investigated the effect of wear test media on the material loss.

Microstructural examinations were carried out by an optical microscope and scanning electron microscope. The coating consists of a nickel-based matrix, WC particles and secondary carbide/matrix eutectic around these particles. The metallurgical bond between the steel substrate and the WC-Ni coating was found to be adequate due to the formation of epitaxial growth. No pore was observed at the coating/substrate interface. The average WC particle size was calculated as 74.39 μm .

The overall hardness of coating was determined by macro Vickers (HV10) hardness test. In addition, hardness values of WC particles, secondary carbide/nickel matrix eutectic, and steel substrate were measured by HV3 method. All hardness values were calculated as the mean of three measurements. The overall hardness of WC-Ni hardfacing coating was determined as 1171.67 HV10. The average hardness values of WC particle and the eutectic of secondary carbide and matrix were obtained as 1684.3 and 489 HV3, respectively. The hardness of the coating was found to be 5.7 times harder than the steel substrate.

The coating was subjected to “ball-on-disc” wear test in dry sliding condition and in 5 wt.% NaCl aqueous solution media under 10 N load at room temperature. Alumina ball in a diameter of 6 mm was employed as the counterpart. Sliding speed was set to 3 cm/s along the sliding distance of 2000 m. Volumetric material loss was calculated by obtaining the profile of the wear track for every 500 m. Material loss tended to increase with increasing sliding distance. The volumetric material loss was found to be higher for the wear test carried out in NaCl solution than that of the wear test in dry sliding condition. NaCl solution induced the corrosion and increased the material loss by the material dissolution in addition to the mechanical effect of the wear mechanism. Oxygen was detected by SEM-EDX analysis after the wear test in NaCl media. That indicates the formation of corrosion products such as iron oxide or chromium oxide.

Keywords: Tungsten carbide, nickel, hardfacing, wear, hardness