



Turan Gürgeç
Cihan Özel

Fırat University, Elazığ-Turkey
tgurgenc@firat.edu.tr, cozel@firat.edu.tr,

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2016.11.4.2A0105>

**PTA YÖNTEMİ İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN FE-CR-W-B-C KOMPOZİT KAPLAMASININ
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

ÖZ

Bu çalışmada, düşük karbonlu AISI 1020 çeliğinin yüzeyi Fe-Cr-W-B-C kompozit kaplamasıyla plazma transfer ark (PTA) kaynak yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama tozu olarak ağırlıkça yüzde 80FeCrC-10FeW-10FeB ve 60FeCrC-20FeW-20FeB karışımları kullanılmıştır. Kaplamalar iki farklı ilerleme hızı (0.15 m/dk, 0.1 m/dk) ve akım değerinde (120 A, 160 A) gerçekleştirilmiştir. Kaplama işleminden sonra kaplama tabaları OM, SEM ve EDS ile incelenmiştir. Kaplanan numuneler mikrosertlik testine ve pin-on-disk aşınma testine tabi tutulmuştur. Fe-Cr-W-B-C ile AISI 1020 çeliğinin yüzeyinin PTA yöntemi kullanılarak sorunsuz şekilde kaplanabildiği tespit edilmiştir. Maksimum mikrosertlik değeri 1668 Hv_{0.2} olarak ölçülmüştür. Fe-Cr-W-B-C ile yüzeyi kaplanmış AISI 1020' nin aşınma direncinin ve sertliğinin kaplanmamış AISI 1020' ye oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PTA kaynağı, Fe-Cr-W-B-C Kaplama,
Karbür, Aşınma, Mikrosertlik

**MICROSTRUCTURAL AND WEAR PROPERTIES OF FE-CR-W-B-C COMPOSITE COATING
PERFORMED WITH PTA METHOD**

ABSTRACT

In this study, surface of low carbon steel AISI 1020 was coated with Fe-Cr-W-B-C composite coating by using plasma transferred arc (PTA) welding method. For coating powders in chemical composition of (wt. %) 80FeCrC-10FeW-10FeB and 60FeCrC-20FeW-20FeB mixtures were used. The coatings were carried out at two different travelling speed (0.15 m/min.), 0.1 m/min.) and current (120 A, 160 A). After coating process, the coating layers was examined by OM, SEM and EDS. Coated samples were subjected to microhardness test and pin-on-disc wear test. It was determined that the AISI 1020 steels surface can be coated with Fe-Cr-W-B-C without any problems by using PTA method. The maximum microhardness was measured 1668 Hv_{0.2}. It was determined that the wear resistance and microhardness of the coated AISI 1020 surface with Fe-Cr-W-B-C was higher than the uncoated AISI 1020.

Keywords: PTA welding, Fe-Cr-W-B-C Coating,
Carbide, Wear, Microhardness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

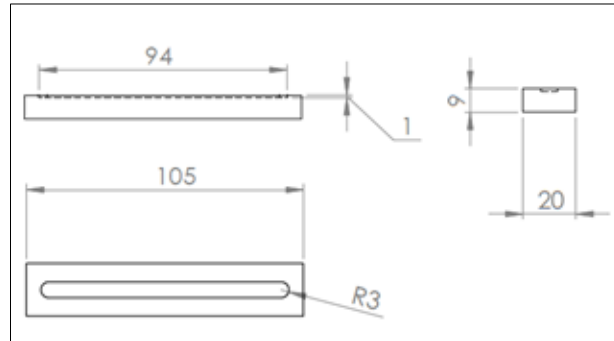
Aşınma mekanik parçalarda istenmeyen malzeme kayıplarına ve bozulmalara neden olan bir süreçtir. Yüzey kaplama teknolojisi ile aşınmaya maruz kalan parçaların tribolojik özellikleri iyileştirilmekte ve malzemelerin yüzeylerinde yüksek aşınma dirençli kaplamaların meydana getirilmesi mümkün olmaktadır [1]. Önemli derecede aşınmaya maruz kalan makine parçalarında etkili bir yüzey koruma tabakası meydana getirmek, bakım sürelerini azaltmak ve yedek parça maliyetlerini düşürmek için oldukça önemlidir [2]. Yüzey kaplamada yaygın olarak kullanılan yöntemlerden olan lazer kaplama, plazma transfer ark (PTA) kaplama, gaz tungsten ark (GTA) kaplama, alev sprej ve plazma sprej teknikleri ile yüzeyde kalın kaplama tabakaları elde etmek mümkündür [3]. Metal tabanlı kompozit kaplamalar; lazer kaynağı, GTA kaynağı, PTA kaynağı ve termal sprej gibi yöntemlerle malzeme yüzeylerine uygulanmakta. Böylelikle yüzeyde korozyona ve aşınmaya karşı dirençli bir tabaka meydana getirilmektedir [4]. PTA kaplama yöntemi yüksek biriktirme oranı ve yüksek ısı girdisi avantajlarından dolayı malzemelerin yüzeylerinin aşınma, korozyon ve ısı direnci gibi özelliklerini artırmada kullanılan verimli yöntemlerden biridir [5, 6 ve 7]. Krom karbür; Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$ ve Cr_3C_2 olmak üzere üç polimorfundan dolayı çok iyi korozyon, oksidasyon ve aşınma direncine sahip bir malzeme fazıdır. Bu özelliklerinden dolayı krom karbür yapılar endüstride malzeme yüzeylerinin aşınmaya ve korozyona karşı dayanıklı bir hale getirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır [8 ve 9]. Fe-Cr-C kaplamalar korozyon ve aşınmanın etkili olduğu alanlarda sıklıkla kullanılan bir kaplamadır [10 ve 11]. Ayrıca Fe-W-C kaplamalar ve bor kaplamalarda yüksek aşınma dirençli kaplamalar olarak bilinmektedir [12 ve 13].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışma ile özellikle madencilik, çimento, haddeleme endüstrisi gibi yüksek aşınma ve sürtünmelere maruz kalan makine elemanlarının, maliyeti yüksek olan alaşımlı çelikler yerine yüzeyi plazma transfer ark (PTA) kaynak yöntemini kullanarak yüksek aşınma dirençli Cr, C, W ve B ile kaplanmış AISI 1020 çeliğinden yapılarak daha ucuz ve kullanışlı biçimde üretilmeleri hedeflenmektedir.

3. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada yüzeyi kaplanacak malzeme olarak düşük karbonlu AISI 1020 çeliği kullanılmış ve Şekil 1' de görülen ölçülerde freze tezgâhında hazırlanmıştır.



Şekil 1. Altlık malzeme boyutları (mm)
(Figure 1. Dimensions of substrate material (mm))

Yüzeyde Fe-Cr-W-B-C kompozit kaplama tabakası oluşturmak için yaklaşık 38 μ m boyutunda FeCrC, FeW ve FeB ferro alaşım tozları



kullanılmıştır. Tablo 1' de AISI 1020 çeliğinin ve ferro alaşım tozlarının ağırlıkça yüzde (%wt) kimyasal kompozisyonları görülmektedir.

Tablo 1. AISI 1020 ve ferro alaşımların ağırlıkça yüzde kimyasal kompozisyonları
(Table 1. Weight percent chemical composition of AISI 1020 and ferro alloys)

Malzeme	Cr	B	C	P	Si	W	Mn	Fe
AISI 1020	-	-	0.2	0.02	0.286	-	0.356	Kalan
FeCrC	66.77	-	7.95	0.007	0.55	-	-	Kalan
FeW	-	-	0.045	0.05	0.52	79.26	-	Kalan
FeB	-	18.22	0.3	0.05	0.5	-	-	Kalan

Kaplamadan önce freze tezgâhında hazırlanan AISI 1020' nin yüzeyi basınçlı hava tutulduktan sonra yüzeyini yağdan ve kirden arındırmak için asetonla temizlenmiştir. Üzerindeki nemin giderilmesi için ise fırında 60°C de 30 dakika kurutulmuştur. Kaplama tozu olarak kullanılacak Ferro alaşım tozlarının nemini gidermek için ise tozlar fırın içerisinde 110°C' de 1 saat kurutulmuştur. Kurutulan Ferro alaşım tozları ağırlıkça yüzde 80FeCrC-10FeW-10FeB ve 60FeCrC-20FeW-20FeB içerecek şekilde hassas terazi ile tartılmış ve her bir karışımdan 30 g karışım elde edilmiştir. Elde edilen iki farklı karışım mekanik karıştırıcıda 150 d/dk' da 1 saat karıştırılmıştır. Karıştırılan tozlar AISI 1020 üzerine parmak frezeyle açılan kanala her bir numuneye 3g toz karışımı olarak yerleştirilmiş ve kaynak esnasında tozların uçmaması için alkolle yüzeye yapıştırılmıştır. Bu işlemden sonra nemin giderilmesi için deneysel numuneler fırına yerleştirilmiş ve 100°C' de 1 saat ısıtılmıştır. Numuneler fırından çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar beklenmiş ve Tablo 2' de verilen parametrelerle Thermal Dynamics marka PTA kaynak cihazı kullanılarak yüzey kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaplama işleminden sonra numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

Tablo 2. Kaplama parametreleri
(Table 2. Coating parameters)

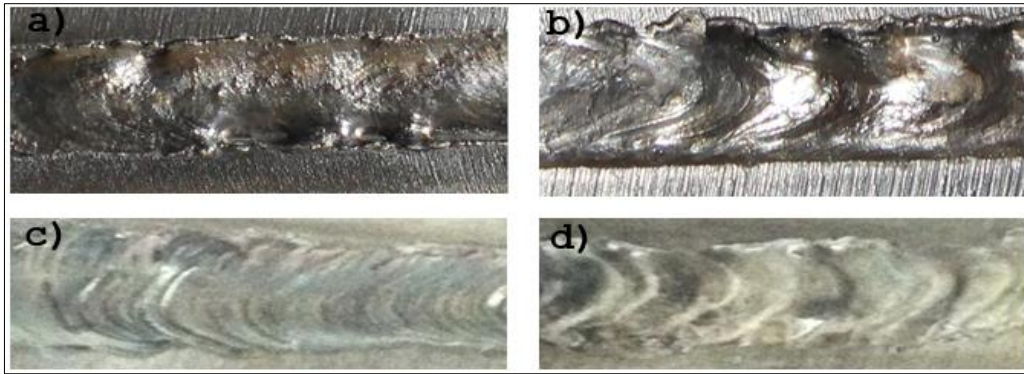
Numune	N1	N2	N3	N4
Akım	160A	120A	160A	120A
Karışım Tozu	80FeCrC-10FeW-10FeB		60FeCrC-20FeW-20FeB	
İlerleme hızı (m/dk)	0.15	0.1	0.15	0.1
Volt (V)	18-20			
Argon plazma gazı debisi (lt/dk)	0.5			
Argon koruyucu gaz debisi (lt/dk)	8			
Torç ve malzeme arası mesafe (mm)	2			
Isı girdisi (kj/mm)	0.704	0.713	0.704	0.713

Mikroyapı analizleri için gerekli olan numuneler PTA yöntemiyle kaplanmış numunelerin yüzeyine dik doğrultuda ve ortasından 10x9x10 mm³ ölçülerinde Al₂O₃ kesme diskiyle kesilmiştir. Hazırlanan mikroyapı numuneleri sırasıyla 60, 120, 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 meshlik SiC zımpara kâğıtlarıyla zımparalanmış ve parlatılmıştır. Parlatılan mikroyapı numuneleri alkolle yıkanmış ve kurutulmuştur. Bu işlemden sonra N1 ve N2 mikroyapı numuneleri 15g FeCl₃, 15 ml HCl ve 100 ml saf su karışımı ile 1 dakika, N3 ve N4 numuneleri ise 2 dakika dağlanmıştır. Dağlanan numuneler sabunla yıkandıktan sonra alkolle temizlenmiş ve kurutulmuştur. Dağlanan kaplama yüzeyleri optik

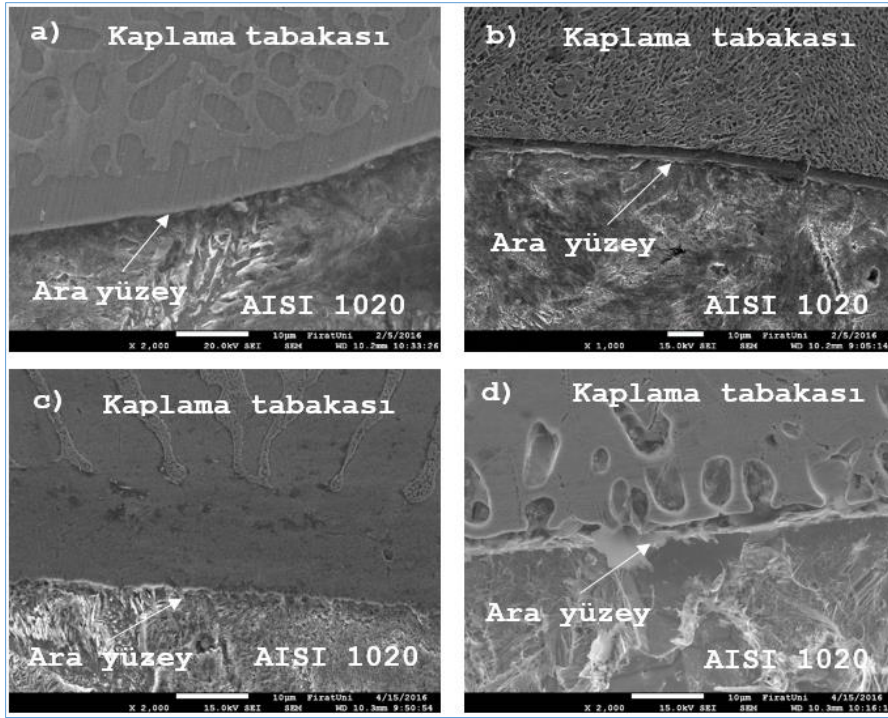
mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Kaplama tabakasının kimyasal kompozisyonu enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) analizi ile kaplama tabakasını meydana getiren bileşikler ise X-ışını kırınımı (XRD) analizi ile tespit edilmiştir. Kaplamanın mikro sertliği kaplama yüzeyinin orta üst noktasından ana malzemeye doğru 0.25 mm aralıklara mikrosertlik test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Aşınma testinden önce numuneler 800 meshlik zımpara ile zımparalanmış ve alkol ile temizlenmiştir. Aşınma testleri pin-on-disk aşınma cihazında 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte gerçekleştirilmiştir. Her bir yükte her 300 m' de bir olmak üzere toplam 900 m kayma mesafesinde numuneler aşındırılmış ve ağırlık kayıpları 300 m' de bir 10^{-5} g hassasiyetinde hassas terazi ile ölçülmüştür.

4. DENEY SONUÇLARI (EXPERIMENTAL RESULTS)

Fe-Cr-W-B-C kompozit kaplamasıyla, PTA yöntemi kullanılarak Tablo 2' de verilen parametrelerle kaplanan numunelerinin kaplama yüzeyi makro görüntüleri Şekil 2' de, ara yüzey SEM görüntüleri ise Şekil 3' de verilmiştir. Görüldüğü gibi deneysel kaplama numunelerinin yüzeylerinde herhangi çatlak rastlanmamış, ayrıca bütün numunelerde alaşım tozları ergiyerek AISI 1020 çeliğiyle ara yüzey bağı oluşturmuştur.

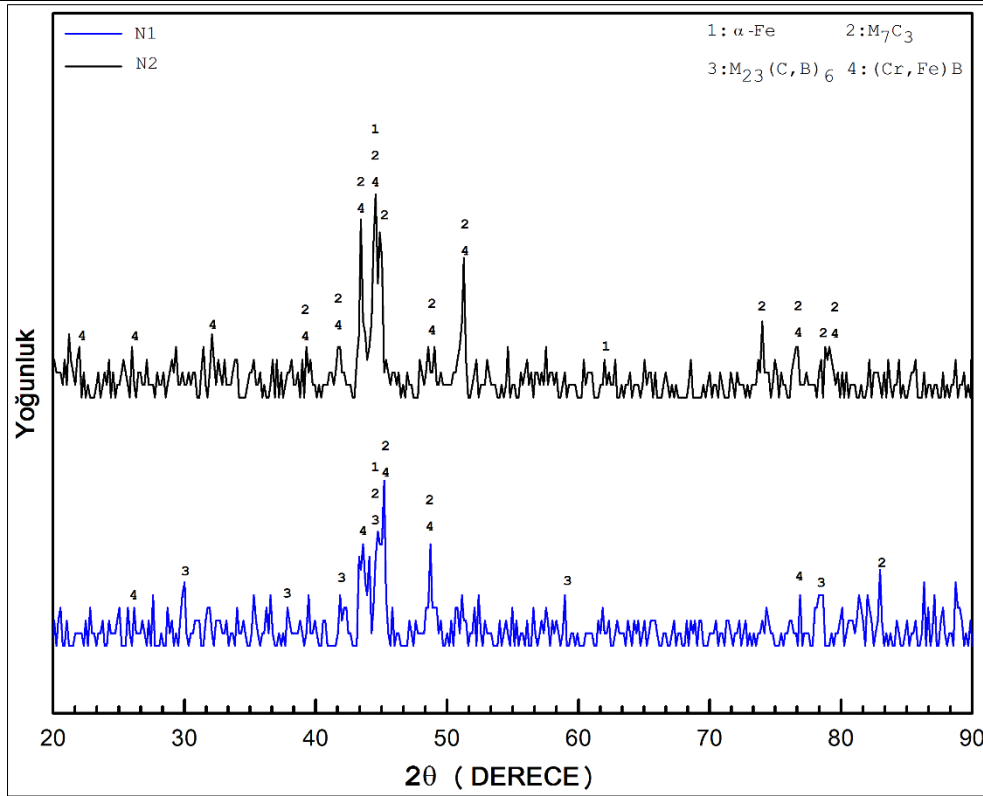


Şekil 2. Kaplama yüzeyleri makro görüntüleri a) N1, b) N2, c) N3 ve d) N4
(Figure 2. Macro images of coating surfaces a) N1, b) N2, c) N3 and d) N4)



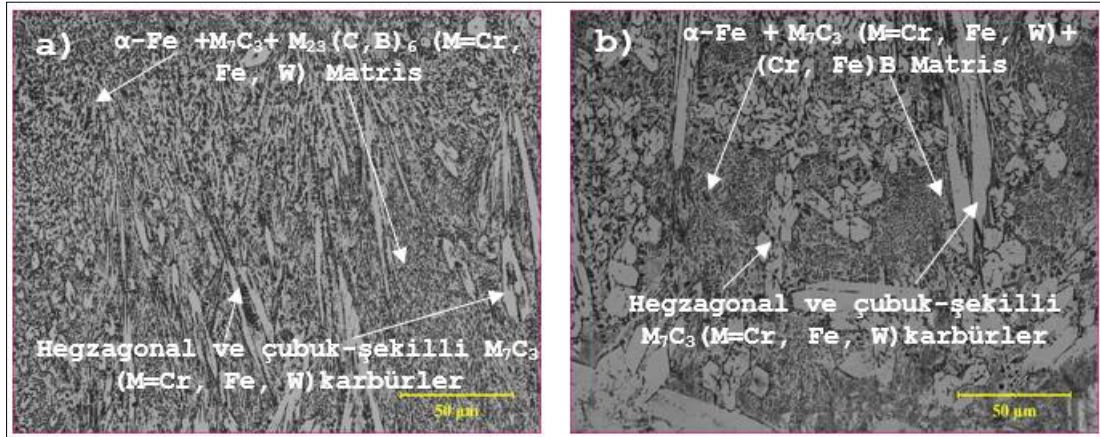
Şekil 3. Ara yüzey SEM görüntüleri a) N1(x2000), b) N2(x1000), c) N3(x2000) ve d) N4(x2000)
(Figure 3. SEM images of interface a) N1(x2000), b) N2(x1000), c) N3(x2000) ve d) N4(x2000))

Şekil 4' de 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımıyla farklı ilerleme hızları ve akım değerleriyle kaplanan N1 ve N2 numunelerine ait XRD sonuçları görülmektedir. Görüldüğü gibi N1 numunesinin kaplama tabakası M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürü, $M_{23}(C,B)_6$ (M=Cr, Fe, W) borür karbürü ve (Cr, Fe)B borüründen oluşmaktadır. N1 numunesinin matrisi ise α -Fe- M_7C_3 (M=Cr, Fe, W)- $M_{23}(C,B)_6$ (M=Cr, Fe, W) yapısından oluşmaktadır. N1 numunesine göre daha yüksek ısı girdisi ve düşük ilerleme hızıyla kaplanan N2 numunesinin kaplama tabakası ise; M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürü ve bir miktar (Cr, Fe)B borüründen oluşmaktadır. N2 numunesinin matrisi ise α -Fe, M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürü ve (Cr, Fe)B ötektik yapısından oluşmaktadır. N1 ve N2 numunelerindeki yapılar benzer çalışmalarda da rastlanmıştır [14]. N2' de $M_{23}(C,B)_6$ (M=Cr, Fe, W) borür karbürüne rastlanmamasının ısı girdisinin artmasına bağlı olarak altlık malzemenin daha yoğun ergimesiyle kimyasal kompozisyon farkından ve katılaşma zamanının değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. N1 ve N2 numunesi XRD analizleri
(Figure 4. XRD analysis of samples N1 and N2)

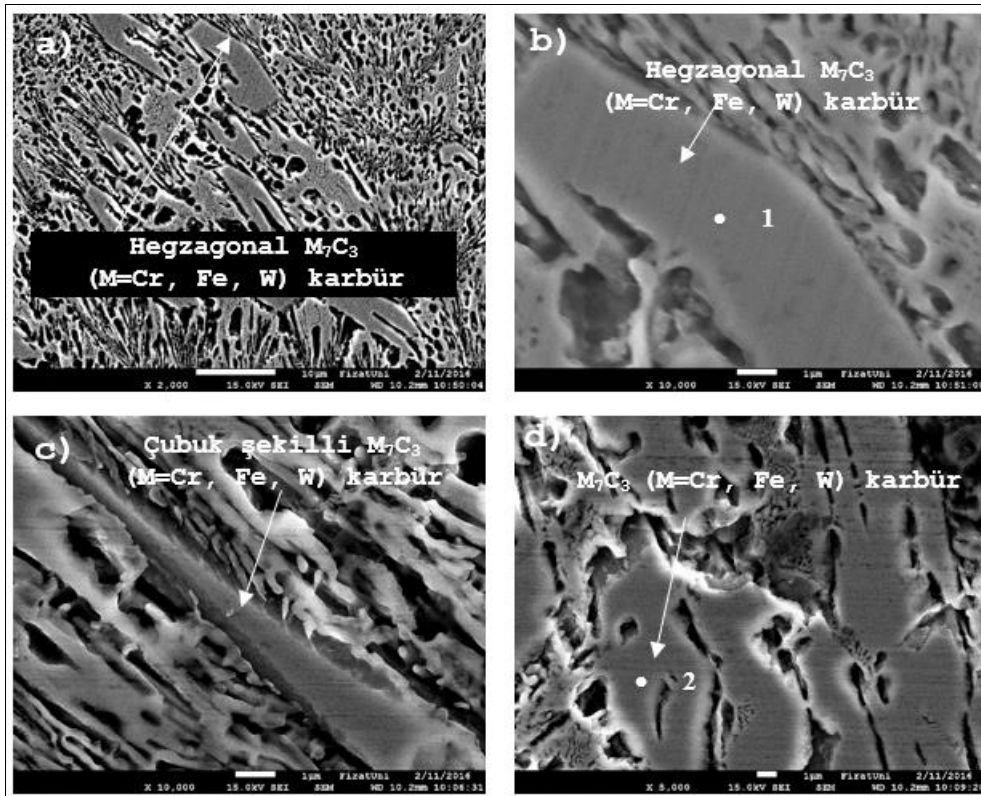
Şekil 5' de N1 ve N2 numunelerine ait kaplama tabakalarının OM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 5. N1 ve N2 kaplama tabakası OM görüntüleri a) N1(x500) ve b) N2(x500)
(Figure 5. Coating layer OM images of N1 and N2 a) N1(x500) and b) N2(x500))

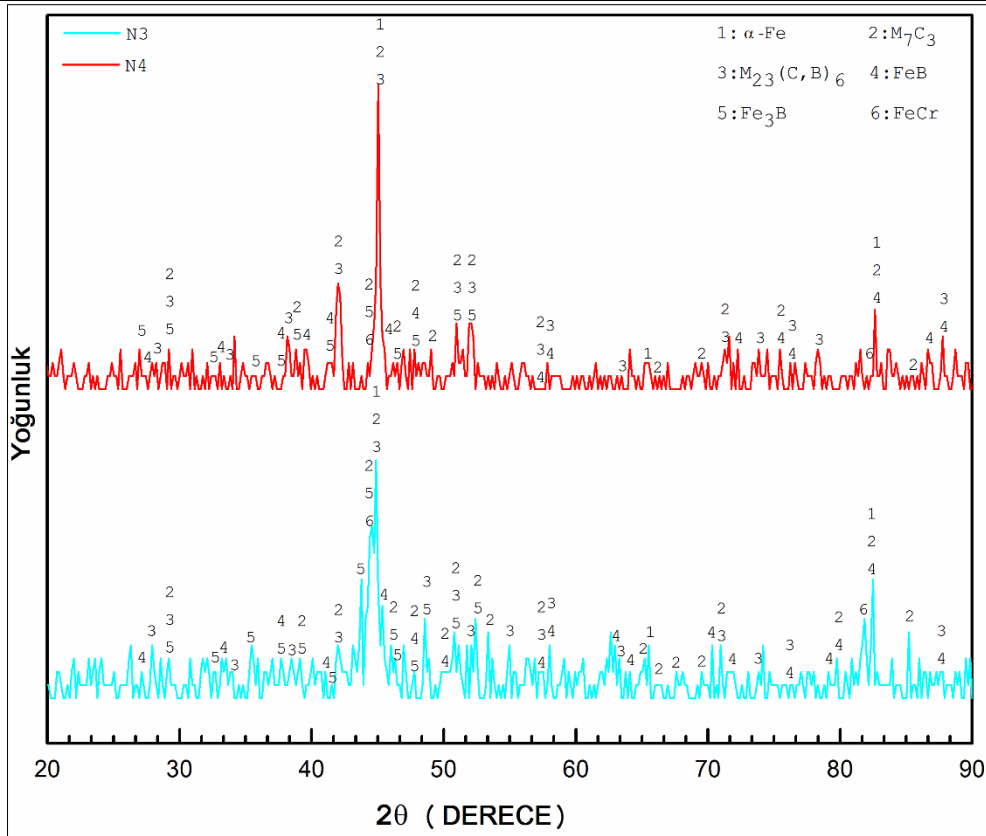
Şekil 5a' da görüldüğü gibi N1 numunesinin kaplama tabakası içerisindeki karbürler neredeyse homojen bir dağılım göstermiş ve genellikle çubuk şekillidir. N2 numunesindeki yapılar ise matris içerisinde gelişmiş güzel dağılmış ve kümelenmiş halde bulunmaktadır. Ayrıca bu numunedeki karbürler genellikle hegzagonal şekillidir. Karbürlerin iki numunede farklı dağılım göstermelerinin, farklı ısı

girdilerinin ve ilerleme hızlarının katılaşma zamanını etkilemiş olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Şekil 6' da N1 ve N2 numunelerinin kaplama bölgelerinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 6b' de 1 ile gösterilen noktadan alınan EDS sonuçlarına göre hegzagonal şekilli karbür ağırlıkça yüzde 19.32C-36.88Cr-39.98Fe-3.82W elementi içermektedir. Literatürdeki yapılan çalışmadaki Cr/Fe oranları göz önüne alındığında bu karbürün M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) olduğu anlaşılmaktadır [15]. Şekil 6d' de verilen 2 noktasından alınan EDS analiz sonuçlarına göre yapı ağırlıkça 29.68C-33.83Cr-32.02Fe-0.17Sr-4.29W içermektedir Cr/Fe oranı göz önüne alındığında bu yapının da M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürü olduğu anlaşılmaktadır.



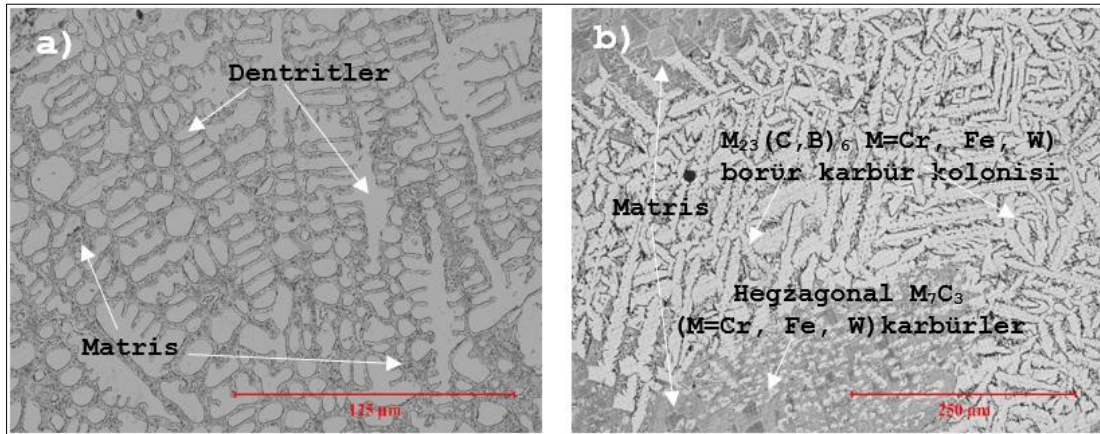
Şekil 6. N1 ve N2 kaplama tabakası SEM görüntüleri a) N1(x2000), b) N2(x10000), c) N3(x10000) ve d) N3(x5000)
(Figure 6. Coating layer SEM images of N1 and N2 a) N1(x2000), b) N2(x10000), c) N3(x10000) and d) N3(x5000))

Şekil 7'de 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımıyla kaplanan numunelerin XRD analizleri görülmektedir. Görüldüğü gibi her iki numunenin de kaplama tabakası çoğunlukla M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürü, $M_{23}(C,B)_6$ (M=Cr, Fe, W) borür karbürü ve bir miktarda FeB borürü, Fe_3B borürü, $FeCr'$ den oluşmaktadır. N1 ve N2 numunesinin aksine (Cr, Fe)B borürüne rastlanmamasının kaplama tozlarının karışım oranlarının değişmesiyle kaplama içerisindeki kimyasal kompozisyon farkından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. N3 ve N4 numunesi XRD analizleri
(Figure 7. XRD analysis of samples N3 and n4)

Şekil 8'de N3 ve N4 numunelerine ait kaplama tabakalarının OM görüntüleri görülmektedir.

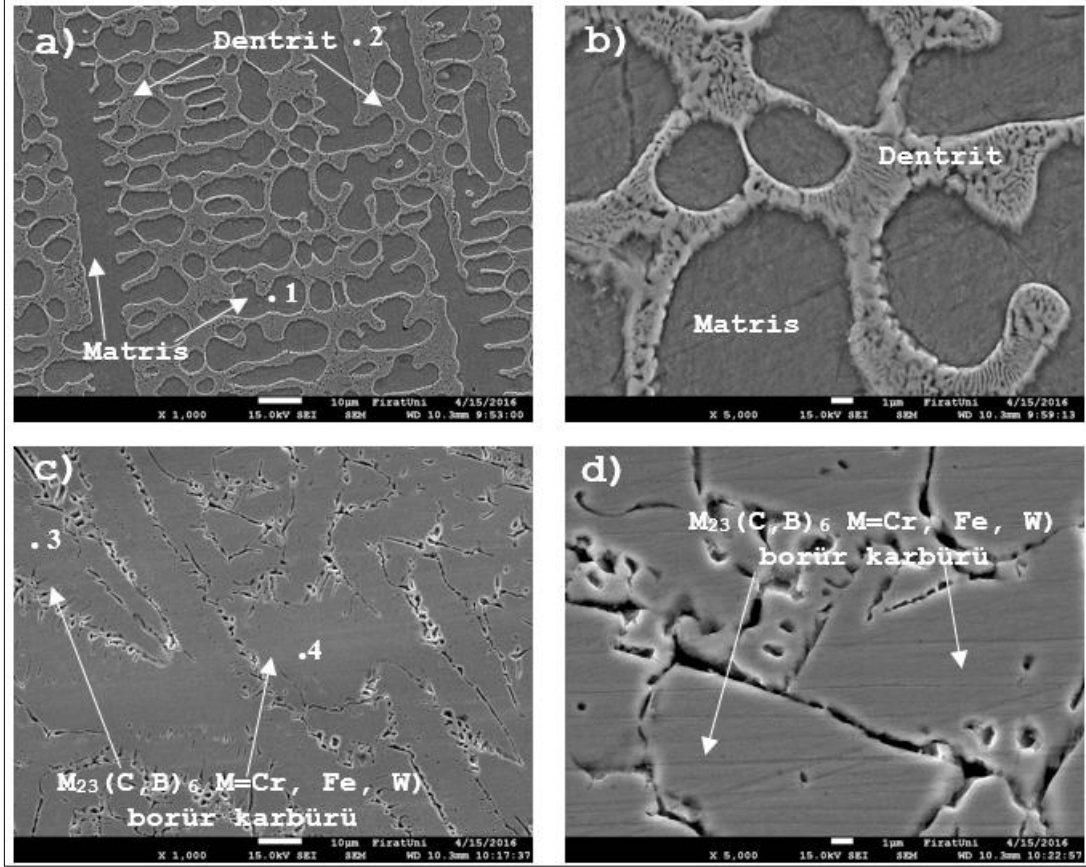


Şekil 8. N3 ve N4 kaplama tabakası OM görüntüleri a) N3 (x500) ve b) N4 (x200)

(Figure 8. Coating layer OM images of N3 and N4 a) N3 (x500) and b) N4 (x200))

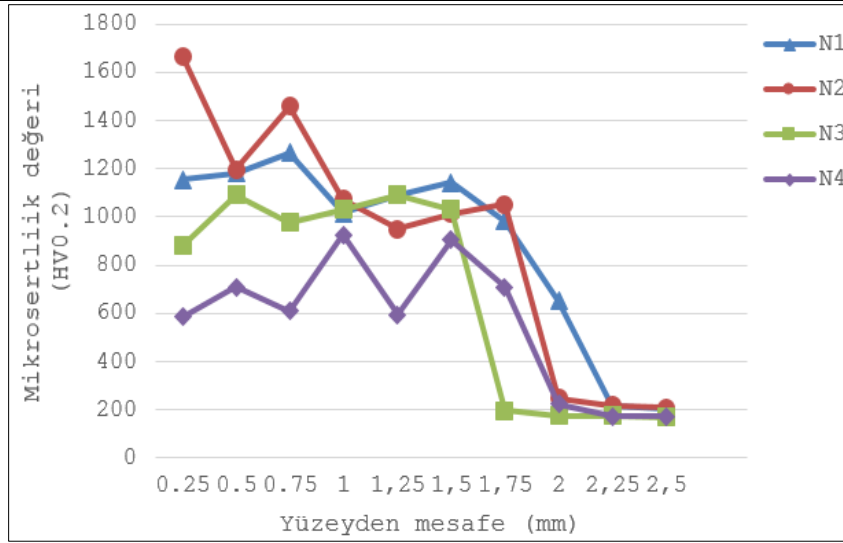
Şekil 8a'da görüldüğü gibi N3 numunesinin yapısı dentritik bir yapıdadır, bunun nedeni olarak hızlı soğuma ve katılaşma zamanının yetersiz olması gösterilebilir. Şekil 8b incelendiğinde ise kaplama yapısının genelde $M_{23}(C,B)_6$ M=Cr, Fe, W borür karbürlerinden oluştuğu ve bu borür karbürlerin toplu halde kaplama tabakası içerisinde

bulunduğu görülmektedir. Borür karbürler arasında ki bölgelerde ise matris içerisinde dağılmış küçük taneli M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürleri bulunmaktadır. N3 numunesine göre N4 numunesinin kaplama tabakasının farklı olmasının ilerleme hızının düşük ve ısı girdisinin yüksek olmasının etkisiyle katılma zamanının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 9' da N3 ve N4 numunelerinin kaplama bölgelerinden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.

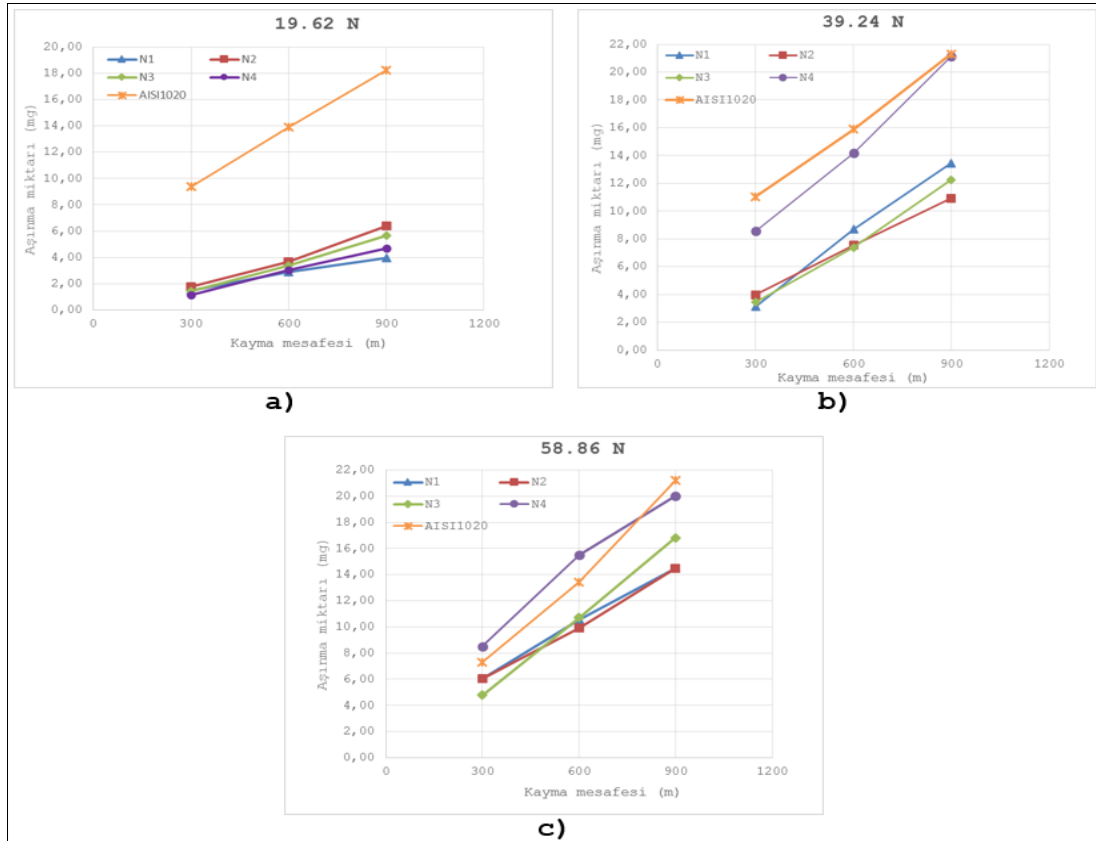


Şekil 9. N3 ve N4 kaplama tabakası SEM görüntüleri a) N3(x1000), b) N3(x5000), c) N4(x1000) ve d) N4(x5000)
(Figure 9. Coating layer SEM images of N3 and N4 a) N3(x1000), b) N3(x5000), c) N4(x1000) and d) N4(x5000))

Şekil 9a'da 1 numaralı noktadan alınan EDS sonuçlarına matris yapısı ağırlıkça yüzde 21.1C-6.53Cr-71.09Fe-1.28W elementi, 2 numaralı noktadan alınan EDS analiz sonuçlarına göre ise dentritik yapı 22.32C-11.8Cr-57.32Fe-8.56W içermektedir. Cr/Fe oranı göz önüne alındığında dentritik yapı içerisinde borür karbürlerin varlığından söz edilebilir. XRD analizleri de bu yapıları doğrulamaktadır. Şekil 9c' de 3 noktasından ve 4 noktasından alınan EDS sonuçlarında göre bu noktalar sırasıyla ağırlıkça yüzde 28.12C-18.86Cr-46.85Fe-4.47W-1.71Sr, 17.1C-21.48Cr-53.85Fe-6.95W elementi içermektedir. Cr/Fe oranına göre ve XRD analiz sonuçlarına göre bu noktalardaki yapıların $M_{23}(C,B)_6$ M=Cr, Fe, W borür karbürleri olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 10' da kaplanmış numunelerin kaplama bölgesinden ölçülen mikrosertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 10. Kaplama bölgeleri mikrosertlik dağılımı
(Figure 10. Microhardness distribution of coating layers)



Şekil 11. AISI 1020 ve kaplama numuneleri aşınma miktarları a) 19.62 N
b) 39.24 N ve c) 58.86 N yükte
(Figure 11. The wear amount of AISI 1020 and coating samples a) 19.62 N
b) 39.24 N and c) 58.86 N load)

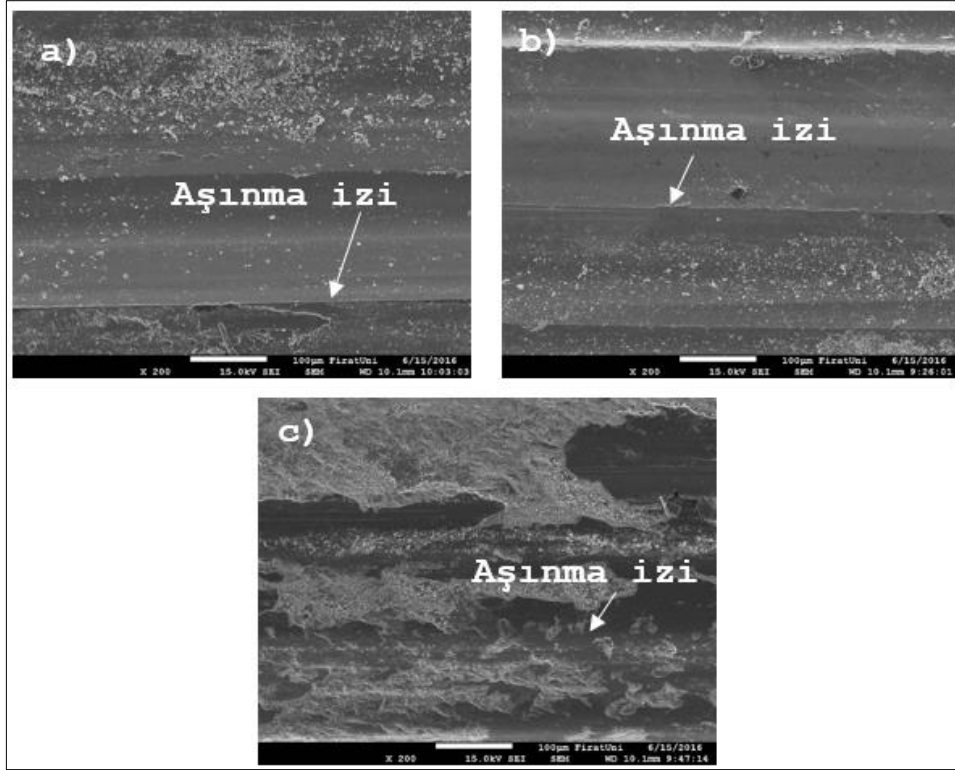
Mikrosertlik dağılımı grafiğinden görüldüğü gibi tüm numunelerin mikrosertlik değerleri AISI 1020 çeliğinin sertliğinden önemli derecede yüksektir. Maksimum mikrosertlik değeri N2 numunesinde kaplama yüzeyinden 0.25 mm mesafede 1668 Hv_{0.2} olarak ölçülmüştür.



Bunun nedeni olarak kaplama tabakası içerisindeki sert karbür ve borürler gösterilebilir. N1 ve N3 numunelerinin kaplama tabakalarındaki mikrosertlik dağılımları diğer numunelerle karşılaştırıldığında daha homojen bir dağılım göstermektedir. Bunun nedeni olarak yüksek sertlikteki karbür ve borürlerin yapı içerisinde daha homojen dağılımı gösterilebilir. Kaplama bölgelerinin ortalama mikrosertlik değerleri ise N1 için 1063 Hv_{0.2}, N2 için 992 Hv_{0.2}, N3 için 1017 Hv_{0.2} ve N4 için 720 Hv_{0.2} olarak ölçülmüştür. Şekil 11'de AISI 1020 çeliğinin ve kaplanmış numunelerin aşınma miktarları görülmektedir.

Aşınma grafiklerinden görüldüğü gibi bütün numunelerin 900 m kayma mesafesinde 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte aşınmaya karşı gösterdikleri direnç AISI 1020 malzemesine göre daha yüksektir. AISI 1020 çeliğinin aşınma miktarı yükün 19.62 N' dan 39.24 N' a çıkmasıyla artmakta yük 58.86 N olduğunda ise aşınma miktarı azalmaktadır. Bu durumun bu yük altındaki pekleşmeden dolayı gerçekleştiği düşünülmektedir [16]. Şekil 11a' da görüldüğü gibi 19.62 N yükte bütün numuneler neredeyse lineer bir aşınma göstermektedir. Bu yükte en iyi aşınma direncini gösteren numune N1 numunesi iken en az aşınma direncine sahip numune N2 numunesidir. 39.24 N yükte 300 m kayma mesafesinde en iyi aşınma direncine sahip numune N1 iken en kötü aşınma direncine sahip numune N4 numunesidir. Ortalama sertlik değerlerine bakıldığında da N1 numunesinin ortalama sertlik değerinin en yüksek olduğu ve sertlik değerinin artmasıyla da aşınma direncinin yüksek olacağı bilinmektedir. 39.24 N yükte 600 m kayma mesafesinde aşınma miktarı en az olan numune N3 numunesi iken en fazla olan numune N4 numunesidir. 900 m kayma mesafesinde ise aşınma direnci en yüksek olan numune N2 numunesi, en kötü olan numune ise N4 numunesidir.

Şekil 11c' de verilen yüksek yükteki (58.86 N) aşınma deneyi grafiği incelendiğinde N4 numunesinin aşınma miktarının 300 m ve 600 m kayma mesafesinde AISI 1020 çeliğinin aşınma direncinden daha düşük olduğu, 900 m kayma mesafesinde ise aşınma miktarının AISI 1020' ye göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak bu numunenin sertliğinin kaplama tabakasının yüzeyinden itibaren artması gösterilebilir. 58.86 N yükte N1, N2 ve N3 numuneleri ise kayma mesafesine göre neredeyse lineer olarak aşınmışlardır. 900 m kayma mesafesinde 58.86 N yükteki toplam aşınma miktarları göz önüne alındığında, aşınma direnci en yüksek olan numune N1 ve N2 numunesidir. 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte 900 m kayma mesafesinde ortalama aşınma miktarları göz önüne alındığında aşınma direnci en yüksek olan numune N2, aşınma direnci en düşük olan numune ise N4 numunesidir. Şekil 12' de yüksek yükte (58.86 N) 900 m kayma mesafesinde en iyi aşınma direncine sahip olan numunelerin ve AISI 1020 çeliğinin aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir.



Şekil 12. 58.86 N yükte aşındırılmış yüzeylerin SEM görüntüleri a) N1 (x200), b)N2 (x200) ve c) AISI1020 (x200)
(Figure 12. SEM images of abraded surface at 58.86 N load a) N1(x200), b)N2(x200) ve c) AISI 1020(x200))

Şekil 12c' de görüldüğü gibi kaplanmamış AISI 1020 çeliğinden önemli miktarda malzeme aşınmanın etkisiyle kaybolmuştur. Yüzeyde adhesiv kraterler ve pullanma görülmektedir. Aşınma direnci yüksek olan N1 ve N2 numunelerinin aşınma görüntüleri incelendiğinde ise aşınma izlerinin kesintisiz ilerlediği ve malzeme yüzeyinden kopan parçacıkların malzeme yüzeyine yapıştığı görülmektedir. Ayrıca bu numunelerde aşınma izlerinin ortasında oluklar görülmektedir ve aşınma genellikle pullanma şeklinde gerçekleşmiştir.

5. GENEL SONUÇLAR (GENERAL CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliğinin yüzeyi Fe-Cr-W-B-C kompozit kaplamasıyla PTA Yöntemiyle farklı ısı girdilerinde ve toz oranlarında kaplanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- PTA kaynak yöntemiyle Fe-Cr-W-B-C toz karışımı başarıyla ergitilerek AISI 1020 düşük karbonlu çeliği üzerine başarıyla kaplanmıştır ve kaplama ara yüzeylerinde herhangi bir çatlakla rastlanmamıştır.
- 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımıyla gerçekleştirilen kaplamaların mikroyapısının, 0.704 kJ/mm ısı girdisiyle kaplanan numunede M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürü, $M_{23}(C,B)_6$ (M=Cr, Fe, W) borür karbürü ve (Cr, Fe) B borüründen oluştuğu, 0.713 kJ/mm ısı girdisiyle kaplanan numunenin mikroyapısının ise M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürü ve (Cr, Fe)B borüründen oluştuğu tespit edilmiştir. 60FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımıyla gerçekleştirilen kaplamaların mikroyapısının, M_7C_3 (M=Cr, Fe, W) karbürü, $M_{23}(C,B)_6$ (M=Cr, Fe, W) borür karbürü, FeB borürü, Fe_3B borür ve FeCr' den oluştuğu görülmüştür.



- 0.704 kJ/mm ısı girdisiyle kaplanan numunelerin kaplama mikroyapısının daha homojen olduğu görülmüştür.
- Mikrosertlik ölçümlerinde Fe-Cr-W-B-C kompozit kaplamasıyla kaplanmış numunelerin sertliğinin AISI 1020' nin sertliğinden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Yüzeyi kaplanmış numunelerde en yüksek sertlik değeri 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımıyla 0.713 kJ/mm ısı girdisiyle kaplanan numunede 1668 Hv_{0,2} olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama sertlik değeri ise yine 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımıyla 0.704 kJ/mm ısı girdisiyle kaplanan numunede 1063 Hv_{0,2} olarak ölçülmüştür.
- Fe-Cr-W-B-C kaplanmış numunelerin 19.62 N, 39.24N ve 58.86 N yükte aşınma dirençleri AISI 1020 malzemesine göre daha yüksektir. 19.62 N, 39.24N ve 58.86 N yükte 900 m' de toplam aşınma miktarlarının ortalama değerleri alındığında en yüksek aşınma direncine sahip numune 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımıyla 0.713 kJ/mm ısı girdisiyle kaplanan numunedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmaya MF.15.09 nolu proje ile maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine (FÜBAP) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Cheng, J.B., Xu, B.S., Liang, X.B., and Wu, Y.X., (2008). Microstructure and Mechanical Characteristics of Iron-Based Coating Prepared by Plasma Transferred Arc Cladding Process. Materials Science and Engineering: A. Cilt:492, Sayı:1, ss:407-412.
2. Veinthal, R., Sergejev, F., Zikin, A., Tarbe, R., and Hornung, J., (2013). Abrasive Impact Wear and Surface Fatigue Wear Behaviour of Fe-Cr-C PTA Overlays. Wear, Cilt:301, Sayı:1, ss:102-108.
3. Liu, Y.F., Xia, Z.Y., Han, J.M., Zhang, G.L., and Yang, S.Z., (2006). Microstructure and Wear Behavior of (Cr, Fe)7C3 Reinforced Composite Coating Produced by Plasma Transferred Arc Weld-surfacing Process. Surface and Coatings Technology, Cilt:201, Sayı:3, ss:863-867.
4. Hu, G., Meng, H., and Liu, J., (2014). Microstructure and Corrosion Resistance of Induction Melted Fe-Based Alloy Coating. Surface And Coatings Technology, Cilt:251, ss:300-306.
5. Hou, Q.Y., Gao, J.S., and Zhou, F., (2005). Microstructure and Wear Characteristics of Cobalt-Based Alloy Deposited by Plasma Transferred Arc Weld Surfacing. Surface and Coatings Technology, Cilt:194, Sayı:2, ss:238-243.
6. Bourithis, E., Tazedakis, A., and Papadimitriou, G., (2002). A Study on The Surface Treatment of "Calmax" Tool Steel by a Plasma Transferred Arc (PTA) Process. Journal of Materials Processing Technology, Cilt:128, Sayı:1, ss:169-177.
7. Gür, A.K., (2013). Investigating the Wear Behaviour of Fecrc/B4c Powder Alloys Coating Produced by Plasma Transferred Arc Weld Surfacing Using the Taguchi Method. Materials Testing, Cilt:55, Sayı:6, ss:462-467.
8. Zikin, A., Hussainova, I., Katsich, C., Badisch, E., and Tomastik, C., (2012). Advanced Chromium Carbide-Based Hardfacings. Surface and Coatings Technology, Cilt:206, Sayı:19, ss:4270-4278.
9. Yuan, Y. and Li, Z., (2014). Effects of Rod Carbide Size, Content, Loading and Sliding Distance on the Friction and Wear



-
- Behaviors of (Cr, Fe)₇C₃-Reinforced α -Fe Based Composite Coating Produced via PTA Welding Process. *Surface and Coatings Technology*, Cilt:248, ss:9-22.
10. Neville, A., Reza, F., Chiovelli, S., and Revega, T., (2005). Erosion-corrosion Behaviour of WC-based MMCs in Liquid-solid Slurries. *Wear*, Cilt:259, Sayı:1, ss:181-195.
 11. Gur, A.K., Ozay, C., Orhan, A., Buytoz, S., Caligulu, U., and Yigitturk, N., (2014). Wear Properties of Fe-Cr-C and B₄C Powder Coating on AISI 316 Stainless Steel Analyzed by the Taguchi Method. *Materials Testing*, Cilt:56, Sayı:5, ss:393-398.
 12. Lin, Y.C., Chen, H.M., and Chen, Y.C., (2013). Microstructures and Wear Properties of Various Clad Layers of the Fe-W-C-B-Cr System. *Surface and Coatings Technology*, Cilt:236, ss:410-419.
 13. Iakovou, R., Bourithis, L., and Papadimitriou, G., (2002). Synthesis of Boride Coatings on Steel Using Plasma Transferred Arc (PTA) Process and Its Wear Performance. *Wear*, Cilt:252, Sayı:11, ss:1007-1015.
 14. Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A.K., and 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*. Cilt:38, Sayı:8, ss:2197-2204.
 15. Wiczerzak, K., Bała, P., Stępień, M., Cios, G., and Kozieł, T., (2015). The Characterization of Cast Fe-Cr-C Alloy. *Archives of Metallurgy and Materials*, Cilt:60, Sayı:2, ss:779-782.
 16. Matik, U. And Çıtak, R., (2015). Influence of the Heat Treatment on Hardness and Adhesive Wear Performance of Ni-P Deposit with Low Phosphorus Content. *Materials Testing*, Cilt:57, Sayı:5, ss:431-436.