

## PTA Yöntemi kullanılarak FeCrC, FeB ve FeW Alaşımlarıyla Kaplanan AISI 1020 Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Turan GÜRGENÇ<sup>1</sup>, Cihan ÖZEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 23119 ELAZIĞ

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 ELAZIĞ

\*tgurgenc@firat.edu.tr

(Geliş/Received:28.06.2016; Kabul/Accepted:20.09.2016)

### Özet

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliğinin yüzeyi plazma transfer ark (PTA) kaplama yöntemi ile FeCrC, FeB ve FeW ferro alaşım tozları kullanılarak kaplanmıştır. Ferro alaşım tozları ağırlıkça %80 FeW, %10 FeB ve %10 FeCrC olarak karıştırılmış ve AISI 1020 çeliğinin yüzeyi iki farklı akım (120A, 160A) ve iki farklı ilerleme hızında (0.15 m/dk, 0.1 m/dk) kaplanmıştır. Elde edilen numunelerin mikroyapısı optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD), dalga boyu dağılımlı X-ışını (WDX) ve enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) yöntemleriyle analiz edilmiştir. Kaplamaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için ise mikro sertlik testi ve pin-on-disk aşınma testinden faydalanılmıştır. Aşınma testleri 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte ve 900 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak kaplama tabakalarının çoğunlukla  $M_7C_3$  (M=Fe, Cr, W) ve  $M_{23}C_6$  (M=Fe, Cr, W) karbürlerinden oluştuğu, yüksek ısı girdisi ve düşük hızla kaplanan numunenin mikroyapısının dentritik olduğu görülmüştür. Maksimum mikrosertlik değeri 1668 HV<sub>0,2</sub> ve en yüksek ortalama sertlik değeri de 1063 HV<sub>0,2</sub> olarak ölçülmüştür. Fe-Cr-W-B-C ile yüzeyi kaplanmış AISI 1020' nin aşınma direncinin kaplanmamış AISI 1020' ye oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** PTA, Fe-Cr-W-B-C Kaplama, Mikroyapı, Mikrosertlik, Aşınma.

### Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of FeCrC, FeB and FeW Alloys Coated AISI 1020 Steel Using PTA Method

#### Abstract

In this study, surface of AISI 1020 steel was coated by using FeCrC, FeB and FeW ferro alloy powders with plasma transferred arc (PTA) coating method. Ferro alloy powders were blended in chemical composition of (wt.%) 80FeCrC -10FeW-10FeB and AISI 1020 steel surface was coated at two different currents (120A, 160A) and two different travelling speeds (0.1 m/min, 0.15 m/min). The microstructure of the obtained samples were analyzed with optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), wave length dispersive X-ray (WDX) and energy dispersive X-ray (EDS) methods. Microhardness test and pin-on-disc test was utilized for determining the mechanical properties of the coating. Wear tests were performed at 19.62 N, 39.24 N and 58.86 N load and the sliding distance of 900 m. The results indicate that the coating layers consists of mainly  $M_7C_3$  (M=Fe, Cr, W) and  $M_{23}C_6$  (M=Fe, Cr, W) carbides and the microstructure of the sample, which was coated with high heat input and low travelling speed is dendritic. The maximum microhardness was measured 1668 HV<sub>0,2</sub> and the highest average hardness was measured 1063 HV<sub>0,2</sub>. Wear resistance of the coated AISI 1020 surface with Fe-Cr-W-B-C was determined higher than the uncoated AISI 1020.

**Keywords:** PTA, Fe-Cr-W-B-C Coating, Microstructure, Microhardness, Wear.

#### 1. Giriş

Birçok makine parçası işletme şartlarında yüksek korozyon ve aşınmaya maruz kalabilmektedir. Aşınma ve korozyon mekanik parçalarda istenmeyen bozulmalara ve malzeme kayıplarına neden olmakta ve buda makine

parçalarının ömrünü azaltmaktadır [1-3]. Malzeme yüzeylerinin yüksek aşınmaya ve korozyona dirençli malzemelerle kaplanması, hem ekonomik hem de teknolojik açıdan hareketli metalik parçaların ömürlerinin ve performanslarının artırılmasında kullanılan en

verimli yöntemdir [4], [5]. Plazma transfer ark (PTA), Gaz tungsten ark (GTA), Lazer ve Elektrik Ark gibi kaynak yöntemleri ile metalik tozların ergitilerek yüzeylerinin alaşımlandırılması endüstride sıklıkla kullanılmaktadır [6-9].

PTA kaynak yöntemi ile kaplama işlemi diğer ergitme kaynak yöntemleriyle karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık (20000 - 30000 °C), yüksek enerji girdisi, düşük termal girdi ve düşük üretim maliyeti gibi avantajlara sahiptir [3], [10], [11].

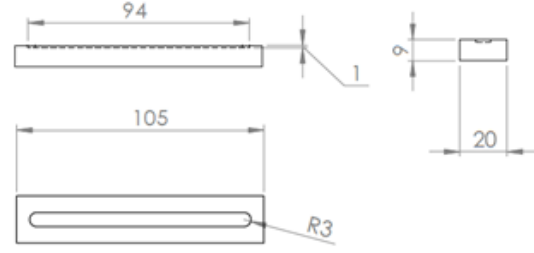
Demir esaslı alaşımlar yüksek korozyon ve aşınmaya maruz kalan parçaları korumada sıklıkla kullanılmaktadır [10], [12], [13]. Yüksek Krom içerikli Fe-Cr-C kaplamalar mükemmel aşınma ve korozyon direncine sahiptirler [1], [2]. Bunun nedeni yapısında bulunan yüksek sertlikteki, aşınma ve korozyon dirençli  $M_7C_3$  (M=Fe, Cr),  $M_{23}C_6$  (M=Fe, Cr) karbürleridir [4], [14]-[16]. Fe-Cr-C alaşımıyla yapılan kaplamanın mikroyapısı kimyasal kompozisyona ve soğuma hızına bağlı olarak hiperötektik, ötektik ve hipoötektik yapılar gösterir [12], [17-19]. Malzeme yüzeylerinin W ve B içeren alaşımlarla kaplanması yüzeyde oluşan borür, WC,  $M_7(C,B)_3$  (M=Fe, W) ve  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Fe, W) yapılarından dolayı sertliği ve aşınma direncini artırmaktadır [20-23]. Daha önceki çalışmalarda GTA yöntemiyle kaplanan Fe-Cr-W-C ve Fe-Cr-W-B-C toz karışımlarıyla yüzey kaplamanın mikroyapıya etkisi araştırılmıştır [24-26].

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliği yüzeyi Fe-Cr-W-B-C alaşımıyla PTA kaynak yöntemi kullanılarak farklı ısı girdiklerinde kaplanmış ve kaplamaların mikroyapısı OM, SEM, XRD, WDX ve EDS yöntemleriyle analiz edilmiştir. Ayrıca kaplamanın mikrosertlik dağılımı ve adhesiv aşınma direnci belirlenmiş ve aşınan

yüzeyler SEM mikroskobu kullanılarak görüntülenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

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



Şekil 1. AISI 1020 kaplama numunesi boyutları (mm).

Yüzey kaplama malzemesi olarak yaklaşık 38 µm boyutunda FeCrC, FeW ve FeB ferro alaşım tozları kullanılmıştır. AISI 1020 çeliğinin ve ferro alaşım tozlarının kimyasal kompozisyonu Tablo 1’ de verilmiştir. Kaplamadan önce altlık malzeme yüzeyi hava tutularak, asetonla temizlenmiş ve fırında 60 °C de 30 dakika kurutulmuştur. Kaplama tozları 110 °C’ de 1 saat kurutulduktan sonra ağırlıkça yüzde 80FeCrC-10FeW-10FeB içerecek şekilde tozlar hassas terazi ile tartılmış ve toplam 30g toz karışımı 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 yapıştırılması sağlanmıştır. Bu işlemten sonra nemin giderilmesi için deneysel numuneler fırına yerleştirilmiş ve 100 °C’ de 1 saat ısıtılmıştır.

Tablo 1. AISI 1020, FeCrC, FeB ve FeW’ ın ağırlıkça kimyasal kompozisyonları

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

Numuneler fırından çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar beklenmiş ve Tablo 2’ de verilen parametrelerle PTA kaynak cihazı

kullanılarak kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaplama işleminden sonra

numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

**Tablo 2.** PTA kaplama parametreleri

Numune	N1	N2	N3	N4
Akım	120A	160A	120A	160A
İlerleme hızı	0.15	0.15	0.1	0.1
	m/dk	m/dk	m/dk	m/dk
Volt	18-20 V			
Plazma gazı debisi (Ar)	0.5 lt/dk			
Koruyucu gaz debisi (Ar)	8 lt/dk			
Torç ve malzeme arası mesafe	2 mm			
Isı girdisi	0.475	0.704	0.713	1.056
	kJ/mm	kJ/mm	kJ/mm	kJ/mm

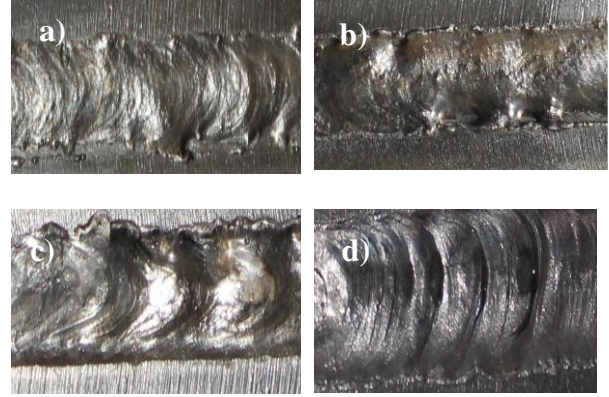
Kaplanan numunelerin mikroyapı analizleri için numuneler kaplama yüzeyine dik doğrultuda ortasından  $10 \times 9 \times 10 \text{ mm}^3$  ölçülerinde kesilmiştir. Hazırlanan mikroyapı numuneleri sırasıyla 60, 120, 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 meshlik SiC zımpara kâğıtlarıyla zımparalanmış ve parlatılmıştır. Parlatılan mikroyapı numuneleri alkolle yıkanmış ve kurutulmuştur. Bu işlemden sonra mikroyapı numuneleri 15g FeCl<sub>3</sub>, 15 ml HCl ve 100 ml saf su karışımı ile 1 dakika dağlanmıştır. Dağlanan numuneler sabunla yıkandıktan sonra alkolle temizlenmiş ve kurutulmuştur.

Dağlanan kaplama yüzeyleri OM ve SEM kullanılarak karakterize edilmiş ve kaplamanın kimyasal kompozisyonu EDS, WDX ve XRD analizleri kullanılarak tespit edilmiştir. Kaplamanın mikrosertliği 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. Son olarak aşınan numunelerin aşınma yüzey fotoğrafları SEM mikroskobu kullanılarak değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Kaplama mikroyapısı

Tablo 2’ de verilen kaplama parametrelerine göre kaplanan numunelerin yüzeylerinde herhangi bir çatlak ve gözeneğe rastlanmamıştır (Şekil 2).



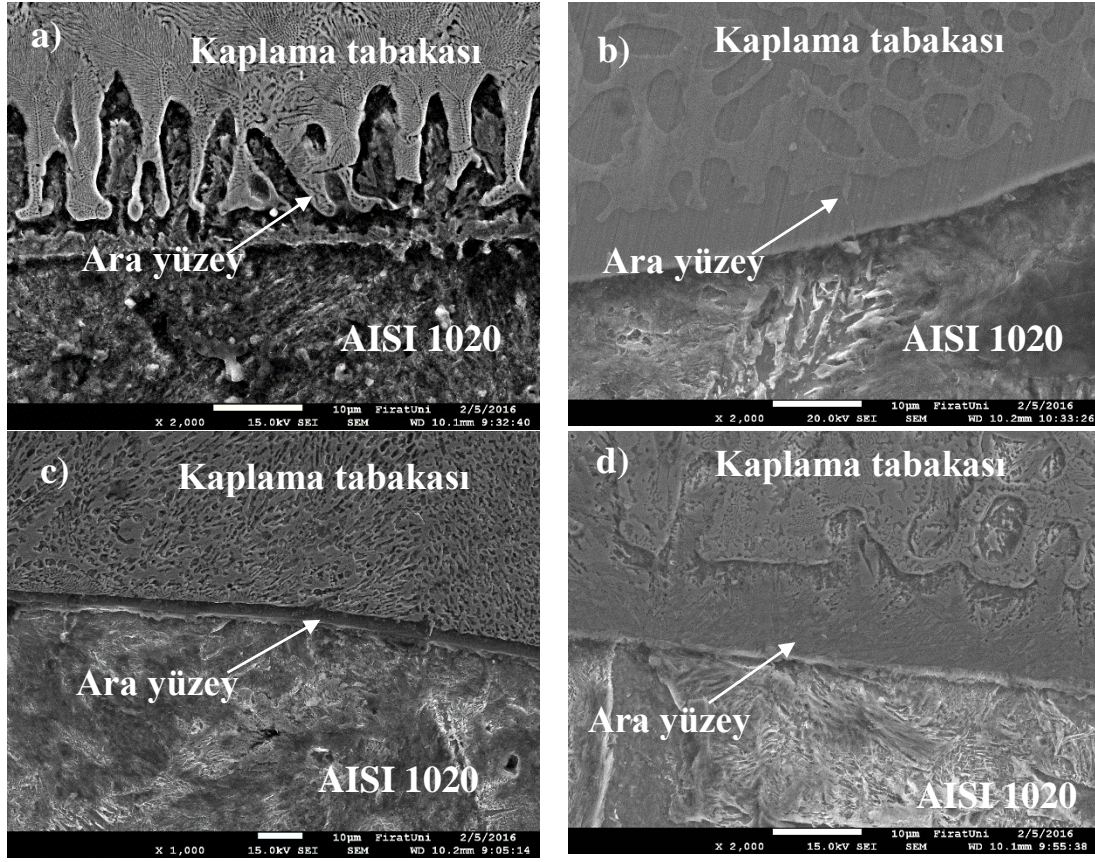
**Şekil 2.** Kaplama yüzeylerinin fotoğraf görüntüleri a) N1, b) N2, c) N3 ve d) N4.

Bu numunelerde ısı girdisinin ve işlem parametrelerinin kaplama genişliğine ve kalınlığına etkisi Tablo 3’ teki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Kaplama tabakası boyutları

Numune	N1	N2	N3	N4
Kaplama genişliği (µm)	5600	6235	6307	8303
Kaplama derinliği (µm)	1874	2120	2000	2522

Kaplama ara yüzey SEM görüntüleri Şekil 3’ te verilmiştir. Şekil 3 teki SEM görüntülerinden, ana malzeme ile kaplama arasında çatlak oluşmadığı ve metalurjik olarak iyi bir ara yüzey bağının gerçekleştiği görülmektedir. Bütün numunelerin kaplama tabakasının hemen altındaki bölgede hızlı soğumadan dolayı martenzitik yapılar meydana gelmiştir ve bütün numunelerde ana malzeme ergiyerek kaplama tabakasına doğru yayılmıştır. Sonuçlar ısı girdisinin artmasıyla kaplama kalınlığının ve genişliğinin arttığını göstermektedir. Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalarla da uygunluk göstermektedir [24].



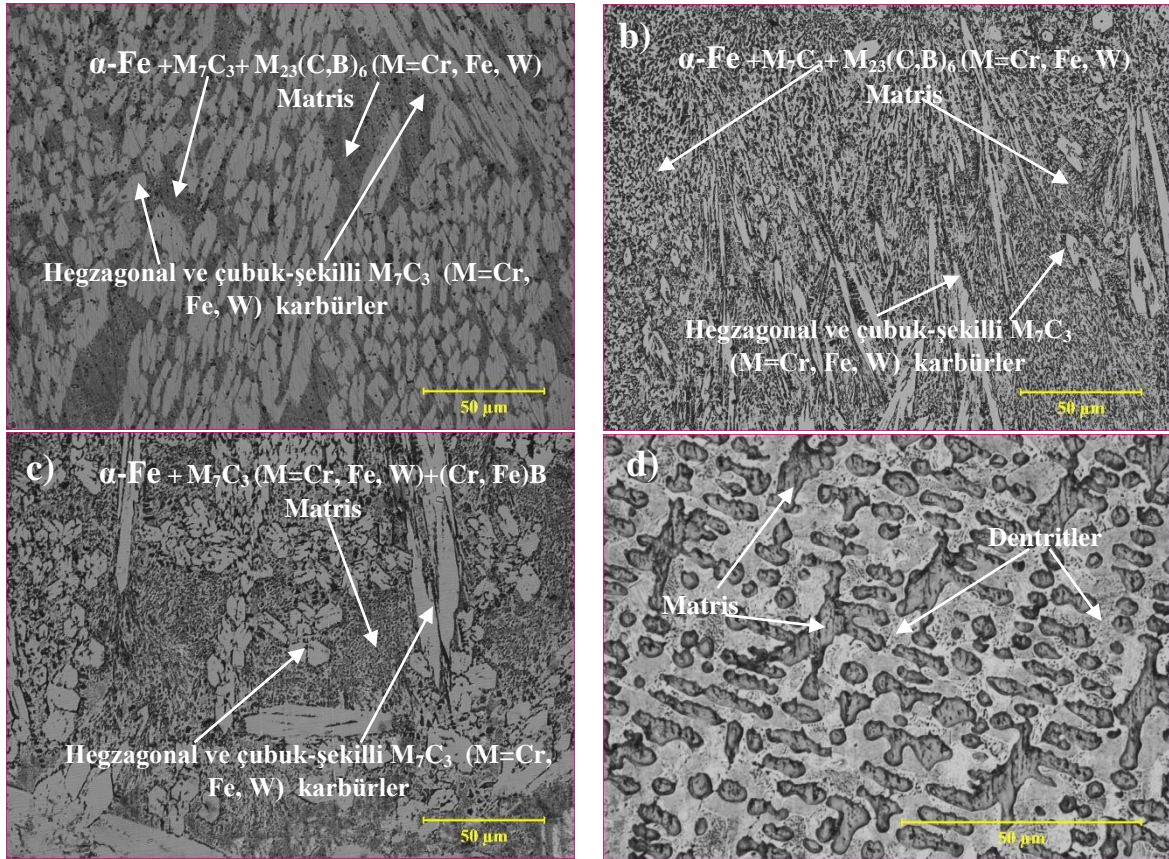
Şekil 3. Kaplama ara yüzey SEM görüntüleri a) N1 (x2000), b) N2 (x2000), c) N3 (x1000) ve d) N4 (x2000).

Farklı ısı girdilerinin kaplamanın mikroyapısına etkisi Şekil 4 de görülmektedir. Şekil 4a ve b' de N1 ve N2 numunelerindeki yapılar kaplama tabakası içerisinde neredeyse homojen bir dağılım göstermişken diğer numunelerde yapılar homojen bir dağılım göstermemiştir. Bunun nedeni olarak farklı ısı girdileri ve ilerleme hızlarının katılma zamanını etkilemiş olduğu düşünülebilir. Şekil 4c' den görüldüğü gibi N3 numunesindeki yapılar matris içerisinde gelişmiş güzel dağılmış ve kümelenmiş halde bulunmaktadır. Şekil 4d incelendiğinde ilerleme hızının düşük ve ısı girdisinin yüksek olduğu N4 numunesinin yapısının hızlı soğumanın da etkisiyle ince taneli dentritlerden oluştuğu ve birincil dentrit kollarının yatay yönde yönelmiş şekilde oluştukları görülmektedir. Diğer numuneler ise hegzagonal ve çubuk-şekilli yapılardan oluşmaktadır. Şekil 5' de verilen XRD analizleri incelendiğinde hegzagonal ve çubuk-şekilli

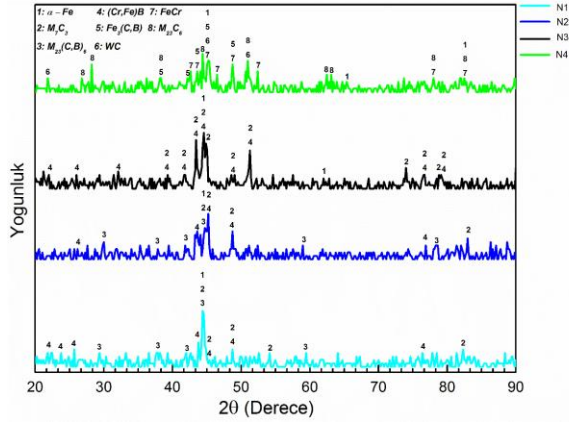
yapıların  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürleri olduğu tespit edilmiştir. Bu yapılar benzer araştırmalar da da görülmüştür [6], [17], [26]. XRD analiz sonuçlarına göre N1 ve N2 numunelerinin kaplama tabakaları çoğunlukla  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü, miktarda  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) borür karbürü ve bir miktarda (Cr, Fe)B borüründen oluşmaktadır. N1 ve N2' nin matrisleri ise  $\alpha$ -Fe,  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) ve  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) yapısından oluşmaktadır. Şekil 4b' de görüldüğü gibi N2 numunesinde ki  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü N1 numunesine göre daha iyi dağılmış ve genellikle çubuk şeklindedir. Bu durumun ısı girdisinin artmasıyla katılma hızlarının farklı olmasından ve ergime yoğunluğunun artması nedeniyle kaplama tabakasının kimyasal kompozisyonun değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [16], [27], [28]. N3 numunesinde ise ısı girdisinin artması ve ilerleme hızının azalmasıyla kaplama

mikroyapısının çoğunlukla  $M_7C_3$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) karbürü ve bir miktar  $(Cr, Fe)B$  borüründen, matrisin ise  $\alpha-Fe$ ,  $M_7C_3$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) ve  $(Cr, Fe)B$  ötektik yapısından oluştuğu görülmektedir. N3' de N1 ve N2 numunelerinin aksine  $M_{23}(C,B)_6$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) borür karbürüne rastlanmamasının ısı girdisinin artmasına bağlı olarak altlık malzemenin daha yoğun ergimesiyle kimyasal kompozisyon farkından ve katılma zamanının değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca  $M_7C_3$  karbürünün  $M_{23}C_6$  karbürüne dönüşümü yüksek krom içeriklerinde gözlenebilir ve kimyasal

kompozisyonun değişmesiyle yapıda  $M_7C_3$ ,  $M_3C$ ,  $M_{23}C_6$  ve  $M_6C$  karbürleri oluşabilir [29]-[32]. En yüksek ısı girdisiyle kaplanan numune olan N4 numunesinin XRD sonuçları incelendiğinde kaplama tabakasının diğer numunelerden farklı yapılar içerdiği görülmektedir. XRD sonuçlarından görüldüğü gibi kaplama mikroyapısı çoğunlukla  $M_{23}C_6$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) karbürü ve bir miktarda  $Fe_3(C, B)$  borür karbürü, WC karbürü ve FeCr den meydana gelmektedir. Matris ise  $\alpha-Fe$ , FeCr, WC ve  $Fe_3(C, B)$  yapısından oluşmaktadır.



Şekil 4. Kaplama tabakası OM görüntüleri a) N1 (x500), b) N2 (x500), c) N3 (x500) ve d) N4 (x1000).



Şekil 5. XRD sonuçları.

Bor elementinin atom numarasının düşük olmasından dolayı EDS analiziyle kaplama içerisindeki elementlerin kompozisyonları tespit edilemediğinden, kaplama bölgelerinin kesitlerinden WDX analizleri alınmıştır. WDX sonuçları Tablo 4’ de verilmiştir.

**Tablo 4.** Kaplama kesitinden alınan WDX sonuçları

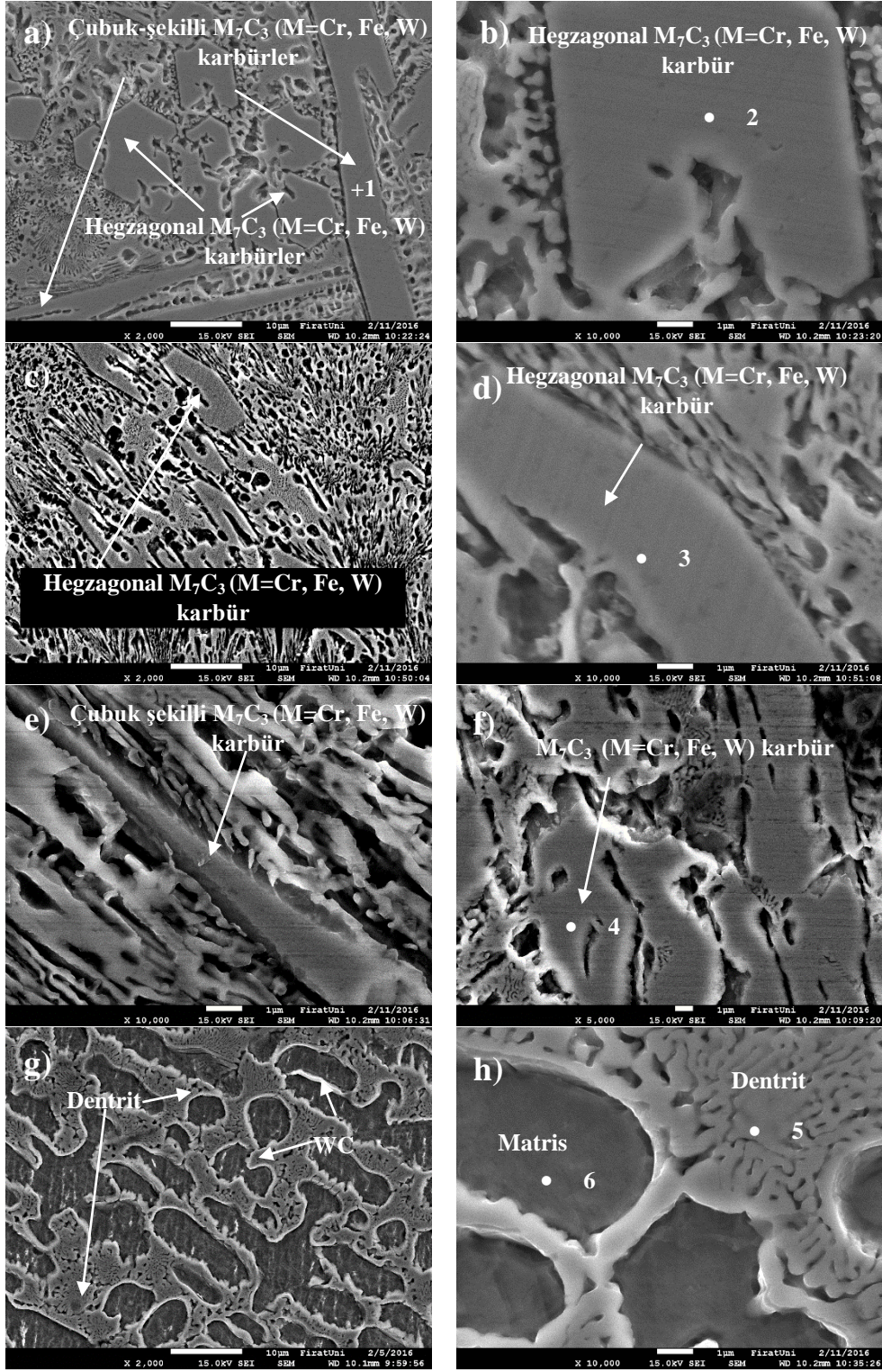
Element % (ağırlıkça)	Fe	Cr	C	W	B
N1	26.4	43.37	19.43	6.4	4.4
N2	33.02	32.83	22.98	4.18	2.85
N3	37.44	30.94	22.55	4.25	4.82
N4	55.42	20.52	18.48	3.06	2.52

WDX sonuçları ısı girdisinin artmasıyla altlık malzemenin yoğun ergimesinden dolayı Fe oranının arttığını göstermektedir. Şekil 6’ da kaplama tabakalarına ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 6a’ da 1 ile gösterilen noktadan alınan EDS sonuçlarına göre şerit şekilli karbür kimyasal kompozisyon olarak ağırlıkça yüzde 20.4C-40.5Cr-36.07Fe-3.03W içermektedir. Literatürde yapılan çalışmadaki Cr/Fe oranıyla şerit şekilli yapının Cr/Fe oranı karşılaştırıldığında bu yapının  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü olduğu anlaşılmaktadır [33]. Şekil 6b’ de 2 ile gösterilen hegzagonal şekilli karbürden alınan EDS analizlerine göre ise yapı ağırlıkça yüzde 8.90C-

42.94Cr-33.72Fe-4.44W içermektedir. Bu sonuçlara göre bu karbürde  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür. Şekil 6d’ deki 3 noktasından alınan EDS sonuçlarına göre hegzagonal  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü ağırlıkça yüzde 19.32C-36.88Cr-39.98Fe-3.82W elementi içermektedir. Şekil 6f’ de 4 noktasından alınan EDS analizine göre karbür ağırlıkça yüzde 29.68C-33.83Cr-32.02Fe-0.17Sr-4.29W içermektedir.

Cr/Fe oranına göre bu yapıda, XRD sonuçlarında da görüldüğü gibi  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür. Şekil 6’ da 5 ve 6 ile gösterilen noktalardan alınan EDS analizine göre dentritik yapı ve matris sırasıyla kimyasal kompozisyon olarak ağırlıkça yüzde 18.41C-23.01Cr-54.90Fe-3.69W, 22.77C-10.03Cr-64.78Fe-2.42W içermektedir. EDS ve XRD sonuçlarına göre dentritlerin kromca zengin  $M_{23}C_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürlerinden oluştuğu söylenebilir. Fe miktarı yüksek ısı girdisi ve düşük ilerleme hızının altlık malzemenin erime yoğunluğunu artırmasından dolayı en fazla bu numunededir. Şekil 6g’ de verilen SEM görüntüleri incelendiğine diğer numunelerde oluşmayan WC’ lerin matris ve dentritik yapı arasındaki bölgelerde oluştuğu görülmektedir. Benzer çalışmada da bu tip bir yapı tespit edilmiştir [34].

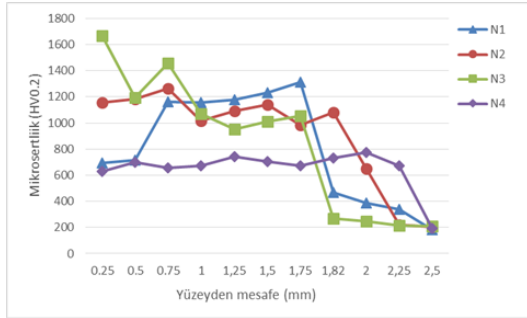
WC’ ün sadece bu numunede oluşmasının WC’ ün yüksek sıcaklıklarda oluşmasından ve artan ısı girdisi ile katılma hızlarının farklı olmasından kaynaklandığı söylenebilir [34]. Yine diğer numunelerin aksine N4 numunesinde  $Fe_3(C, B)$  borür karbürü tespit edilmiştir. Bunun nedeninin yüksek ısı girdisinden dolayı katılma hızının değişmesi ve altlık malzemenin daha fazla ergimesi ile daha fazla demirin yapıya karışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. WDX sonuçları da bu numunenin kaplama tabakasında daha fazla demirin bulunduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 6. Kaplama tabakası SEM görüntüleri a) N1 (x2000), b) N1 (x10000), c) N2 (x2000), d) N2 (x10000), e) N3 (x10000), f) N3 (x5000), g) N4 (x2000) ve h) N4 (x10000).

### 3.2. Kaplama mikrosertliği

Kaplama bölgelerinin mikrosertlik değerleri numunelerin merkezinden 0.25 mm aralıklarla alınan ölçümlerle elde edilmiştir. Bu ölçümler yüzeyden merkeze doğru toplamda 11 ayrı noktadan alınmıştır. Şekil 7’ de kaplama bölgelerinin mikrosertlik dağılımları görülmektedir.



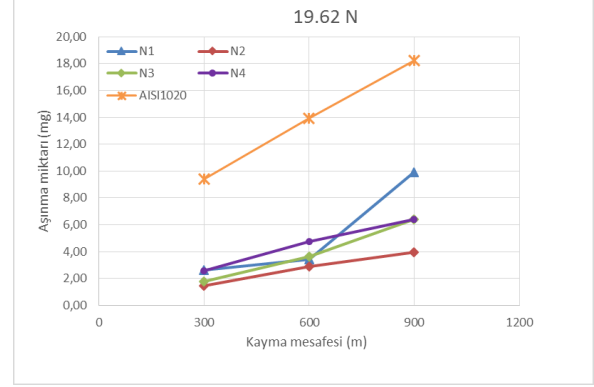
Şekil 7. Kaplama bölgesi mikrosertlik dağılımları.

Şekil 7’ de görüldüğü gibi maksimum mikrosertlik değeri N3 numunesinde 1668 HV<sub>0,2</sub> olarak ölçülmüştür. Bu değer AISI 1020 çeliğinin sertliğinden önemli oranda fazladır. Bu sertlik artışının kaplama içerisinde dağılmış sert M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> (M=Cr, Fe, W) karbürlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. En düşük sertlik değeri ise N4 numunesinde 627 HV<sub>0,2</sub> olarak ölçülmüştür. N2 ve N4 numunelerinin kaplama bölgesi sertlik dağılımları diğer numunelere göre homojen bir dağılım göstermektedir. N1 numunesinin mikrosertlik dağılımı incelendiğinde sertliğin ilk olarak azaldığı daha sonra ise yaklaşık 500 HV<sub>0,2</sub>’ lik bir artış göstermiştir. Bu durumun en düşük ısı girdisiyle kaplanan bu numunede katılma zamanının daha kısa olmasından ve kaplamanın üst kısmında soğuma hızının daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplama tabakalarına ait ortalama mikrosertlik değerleri ise N1, N2, N3 ve N4 numuneleri için sırasıyla 990 HV<sub>0,2</sub>, 1063 HV<sub>0,2</sub>, 992 HV<sub>0,2</sub> ve 697 HV<sub>0,2</sub> dir.

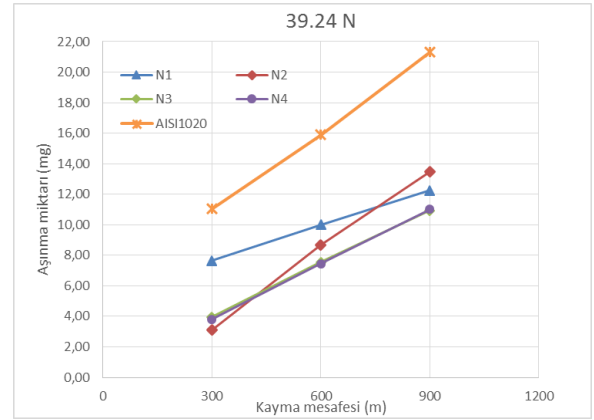
### 3.3 Adhesiv aşınma sonuçları

AISI 1020 çeliğinin ve PTA yöntemiyle Fe-Cr-W-B-C alaşımıyla yüzeyi modifiye edilen N1, N2, N3 ve N4 numunelerinin 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte kayma mesafesine bağlı

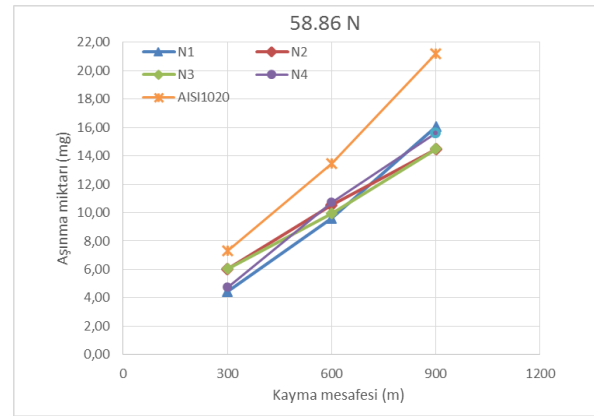
adhesiv aşınma miktarları Şekil 8’ de görülmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 8. AISI1020, N1, N2, N3 ve N4 numuneleri aşınma miktarları a) 19.62 N b) 39.24 N ve c) 58.86 N yükte.

Aşınma grafiklerinden görüldüğü gibi bütün numunelerin 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte aşınmaya karşı gösterdikleri direnç AISI 1020



malzemesine göre daha yüksektir. Bunun nedeni olarak da kaplamaların yapısında bulunan yüksek aşınma dirençli karbür yapılar gösterilebilir. Yine grafiklerden görüldüğü gibi AISI 1020 malzemesindeki aşınma miktarı uygulanan kuvvetin 19.62 N' dan 39.24 N' a çıkmasıyla artmaktadır. Uygulanan normal kuvvet 58.86 N' a çıktığında ise 300m ve 600m kayma mesafesinde aşınma miktarı azalmaktadır. Uygulanan kuvvetin 3 katına çıkmasına rağmen aşınma miktarının düşmesinin, uygulanan yüksek kuvvet neticesinde malzeme yüzeyinde meydana gelen pekleşmeden ve yüzeyden kopan parçaların yüzeye yapışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer sonuçlar literatürdeki AISI 1020 çeliğinin aşınmasıyla ilgili yapılan çalışmada da görülmüştür [35]. 58.86 N yükte 900m kayma mesafesinde ise AISI 1020' nin aşınma miktarının 19.62 N yükte aşındırılan malzemeye göre daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 8.a ve b' de görüldüğü gibi yükün artmasıyla N1 numunesi hariç diğer kaplama numunelerinde aşınma miktarı beklenildiği gibi artmaktadır. N1 numunesinde ise 39.24 N yükte 300 ve 600 m kayma mesafesinde 58.86 N' a çıkmasına rağmen aşınma miktarı azalmakta 900 m' de ise artmaktadır. 19.62 N yükte 900m mesafede en iyi aşınma direncine sahip numune N2 iken en düşük aşınma direncine sahip numune N1 dir. 19.62 N yükte N2, N3 ve N4 numuneleri mesafeye göre neredeyse lineer olarak aşınırken, N1 numunesinin aşınma miktarında 600 m mesafeden sonra önemli bir artış gözlemlenmektedir. Bunun nedeni olarak bu numunedeki karbürlerin matris içerisinde daha yoğun olarak bulunmasından dolayı daha gevrek bir yapıda olması düşünülebilir. 19.62 N yükte en iyi aşınma direncine sahip numune N2 numunesidir. Ortalama mikrosertlik değerlerine bakıldığında en yüksek değer bu numunededir. 58.86 N yükteki aşınma deneyi sonuçlarına bakıldığında ise bütün kaplama numunelerin aşınma miktarlarının kayma mesafesine göre neredeyse lineer bir artış gösterdiği görülmektedir. 58.86 N yükte 900m mesafede aşınma miktarı en düşük olan numune N2 ve N3 numuneleri, en yüksek olan numune ise N1 numunesidir. Yüke bağlı 900 m deki aşınma miktarları göz önünde bulundurulduğunda, adhesiv aşınma direnci en yüksek olan kaplanmış

numune, 19.62 N yükte N2 numunesi 39.24 N yükte ise N3 numunesidir. 58.86 N yükte ise N2 ve N3 numunelerinin aşınma dirençleri en yüksektir. Aşınma direnci en düşük olan kaplama numuneleri ise; 19.62 N ve 39.24 N yükte N1, 58.86 N yükte ise N2' dir. 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte aşınma miktarlarının ortalama değerleri alındığında en yüksek aşınma direncine sahip numune N3, en düşük aşınma direncine sahip numune ise N1 numunesidir.

Şekil 9' da 58.86 N yükte 900 m kayma mesafesinde aşındırılan kaplama numunelerinin ve AISI 1020 malzemesinin aşınma yüzeylerinin SEM fotoğrafları görülmektedir.

Şekil 9.a' da görüldüğü gibi yüzeyi kaplanmamış AISI 1020 malzemesinden önemli miktarda malzeme aşınmanın etkisiyle kaybolmuştur. Yüzeyde adhesiv kraterler ve pullanma görülmektedir. Kaplanmış numunelerin aşınma görüntüleri incelendiğinde ise aşınma izlerinin kesintisiz ilerlediği ve malzeme yüzeyinden kopan parçacıkların malzeme yüzeyine yapıştığı görülmektedir. Tüm numunelerde aşınma izlerinin ortasında oluklar görülmektedir ve aşınma genellikle pullanma şeklinde gerçekleşmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, FeCrC, FeB ve FeW Alaşımlarıyla PTA Yöntemiyle kaplanan AISI 1020 çeliğinin mikroyapı analizleri, mikrosertlik ve aşınma sonuçları değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

(1) PTA kaynak yöntemiyle FeCrC, FeW ve FeB tozları başarıyla ergitilerek AISI 1020 düşük karbonlu çeliği üzerine başarıyla kaplanmıştır.

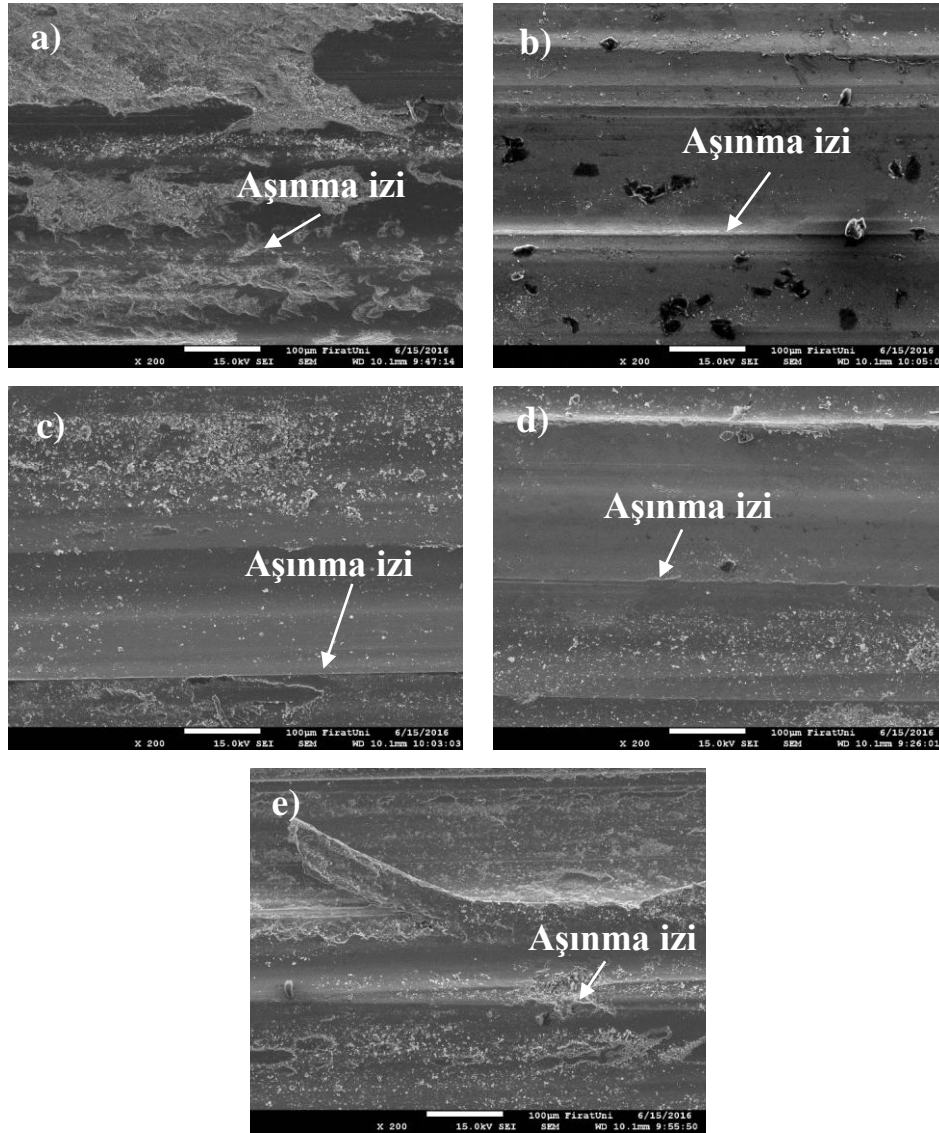
(2) İlerleme hızının düşmesi ve ısı girdisi yoğunluğunun artmasıyla altlık malzemenin daha yoğun ergidiği ve daha fazla demirin kaplama yapısına girdiği tespit edilmiştir.

(3) Fe-Cr-W-B-C toz karışımıyla PTA yöntemi kullanılarak oluşturulan kaplama tabakasının mikroyapısının düşük ısı girdilerinde genellikle  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürlerinden, 0.1 m/dk ilerleme hızı ve yüksek ısı girdisi (1.056 kJ/mm) ile kaplamada ise  $M_{23}C_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Düşük ilerleme hızı ve yüksek ısı girdisiyle kaplamada mikroyapının dentritik olduğu gözlemlenmiştir.

(4) Mikrosertlik ölçümlerinde Fe-Cr-W-B-C kaplanmış numunelerin sertliğinin AISI 1020'nin sertliğinden oldukça yüksek olduğu ölçülmüştür. Kaplamalı numunelerde en yüksek sertlik değeri 0.1 m/dk ilerleme hızıyla ve 0.713 kJ/mm ısı girdisiyle kaplanan numunede 1668 HV<sub>0,2</sub> olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama sertlik değeri ise 1063 HV<sub>0,2</sub> olarak tespit edilmiştir.

(5) Fe-Cr-W-B-C kaplanmış numunelerin 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte adhesiv

aşınma dirençleri AISI 1020 malzemesine göre daha yüksektir. 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte aşınma miktarlarının ortalama değerleri alındığında en yüksek aşınma direncine sahip numune 0.1 m/dk ilerleme hızıyla ve 0.713 kJ/mm ısı girdisiyle kaplanan numune, en düşük aşınma direncine sahip numune ise düşük ilerleme hızı ve düşük ısı girdisiyle kaplanan numunedir.



Şekil 9. 58.86 N Yükte aşındırılmış yüzeylerin SEM görüntüleri a) AISI1020 (x200), b) N1 (x200), c) N2 (x200), d) N3 (x200) ve e) N4 (x200).

## 5. Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmaya MF.15.09 nolu proje ile maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine (FÜBAP), teşekkür etmeyi bir borç bilir.

## 6. Kaynaklar

1. De Damborenea, J. (1998). Surface modification of metals by high power lasers. *Surface and Coatings Technology*, **100**, 377-382.
2. Bourithis, L. and Papadimitriou, G. D. (2009). The effect of microstructure and wear conditions on the wear resistance of steel metal matrix composites fabricated with PTA alloying technique. *Wear*, **266**(11), 1155-1164.
3. 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*, **492**(1), 407-412.
4. 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)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>-reinforced  $\alpha$ -Fe based composite coating produced via PTA welding process. *Surface and Coatings Technology*, **248**, 9-22.
5. Liu, Y. F., Xia, Z. Y., Han, J. M., Zhang, G. L. and Yang, S. Z. (2006). Microstructure and wear behavior of (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process. *Surface and Coatings Technology*, **201**(3), 863-867.
6. Hou, Q. Y., Gao, J. S., & Zhou, F. (2005). Microstructure and wear characteristics of cobalt-based alloy deposited by plasma transferred arc weld surfacing. *Surface and Coatings Technology*, **194**(2), 238-243.
7. Zikin, A., Hussainova, I., Katsich, C., Badisch, E. and Tomastik, C. (2012). Advanced chromium carbide-based hardfacings. *Surface and Coatings Technology*, **206**(19), 4270-4278.
8. Flores, J. F., Neville, A., Kapur, N. and Gnanavelu, A. (2009). An experimental study of the erosion-corrosion behavior of plasma transferred arc MMCs. *Wear*, **267**(1), 213-222.
9. Deuis, R. L., Yellup, J. M. and Subramanian, C. (1998). Metal-matrix composite coatings by PTA surfacing. *Composites science and technology*, **58**(2), 299-309.
10. 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*, **301**(1), 102-108.
11. Bourithis, L., Papaefthymiou, S. and Papadimitriou, G. D. (2002). Plasma transferred arc boriding of a low carbon steel: microstructure and wear properties. *Applied Surface Science*, **200**(1), 203-218.
12. Flores, J. F., Neville, A., Kapur, N. and Gnanavelu, A. (2009). Erosion–corrosion degradation mechanisms of Fe–Cr–C and WC–Fe–Cr–C PTA overlays in concentrated slurries. *Wear*, **267**(11), 1811-1820.
13. Kirchgaßner, M., Badisch, E. and Franek, F. (2008). Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear*, **265**(5), 772-779.
14. Y Yuan, Y. and Li, Z. (2013). Analysis of nucleation of carbide (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> in the Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>/Fe–CrNiBSi composite coating. *Surface and Coatings Technology*, **228**, 41-47.
15. Chang, C. M., Chen, Y. C. and Wu, W. (2010). Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe–Cr–C hardfacing alloy. *Tribology international*, **43**(5), 929-934.
16. Chang, C. M., Hsieh, C. C., Lin, C. M., Chen, J. H., Fan, C. M. and Wu, W. (2010). Effect of carbon content on microstructure and corrosion behavior of hypereutectic Fe–Cr–C claddings. *Materials Chemistry and Physics*, **123**(1), 241-246.
17. Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A. K. and Caligulu, U. (2013). Microstructural Development of Fe–Cr–C and B<sub>4</sub>C Powder Alloy Coating on Stainless Steel by Plasma-Transferred Arc Weld Surfacing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **38**(8), 2197-2204.
18. Wang, X., Han, F., Liu, X., Qu, S. and Zou, Z. (2008). Microstructure and wear properties of the Fe–Ti–V–Mo–C hardfacing alloy. *Wear*, **265**(5), 583-589.
19. Fan, C., Chen, M. C., Chang, C. M. and Wu, W. (2006). Microstructure change caused by (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> carbides in high chromium Fe–Cr–C hardfacing alloys. *Surface and Coatings Technology*, **201**(3), 908-912.
20. Yilmaz, S. O., Özenbas, M. and Yaz, M. (2011). FeCrC, FeW, and NiAl Modified Iron-Based Alloy Coating Deposited by Plasma Transferred Arc Process. *Materials and Manufacturing Processes*, **26**(5), 722-731.
21. Eiholzer, E., Cusano, C. and Mazumder, J. (1985). Wear properties of laser alloyed and clad Fe–Cr–Mn–C alloys. *In Proc. ICALEO*, **84**, 159-167.

22. Nagarathnam, K. and Komvopoulos, K. (1993). Microstructural characterization. *Metallurgical Transactions A*, **24**(7), 1621-1629.
23. Komvopoulos, K. and Nagarathnam, K. (1990). Processing and characterization of laser-cladded coating materials. *Journal of Engineering Materials and Technology*, **112**(2), 131-143.
24. Buytoz, S., Yildirim, M. M. and Eren, H. (2005). Microstructural and microhardness characteristics of gas tungsten arc synthesized Fe–Cr–C coating on AISI 4340. *Materials Letters*, **59**(6), 607-614.
25. Yılmaz, S. O. (2006). Wear behavior of gas tungsten arc deposited FeCr, FeCrC, and WC coatings on AISI 1018 steel. *Surface and Coatings Technology*, **201**(3), 1568-1575.
26. 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*, **236**, 410-419.
27. d'Oliveira, A. S. C. M., Vilar, R. and Feder, C. G. (2002). High temperature behaviour of plasma transferred arc and laser Co-based alloy coatings. *Applied Surface Science*, **201**(1), 154-160.
28. Buytoz, S., Ulutan, M. and Yildirim, M. M. (2005). Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings. *Applied Surface Science*, **252**(5), 1313-1323.
29. Wiengmoon, A., Chairuangri, T., Poolthong, N. and Pearce, J. T. (2008). Electron microscopy and hardness study of a semi-solid processed 27wt% Cr cast iron. *Materials Science and Engineering: A*, **480**(1), 333-341.
30. Wiengmoon, A. (2011). Carbides in High Chromium Cast Irons. *Naresuan University Engineering Journal*, **6**(1), 64.
31. Inoue, A. and Masumoto, T. (1980). Carbide reactions ( $M3C \rightarrow M7C3 \rightarrow M23C6 \rightarrow M6C$ ) during tempering of rapidly solidified high carbon Cr-W and Cr-Mo steels. *Metallurgical Transactions A*, **11**(5), 739-747.
32. Buytoz, S. (2006). Microstructural properties of M7C3 eutectic carbides in a Fe–Cr–C alloy. *Materials Letters*, **60**(5), 605-608.
33. Wiecezrak, K., Bała, P., Stępień, M., Cios, G. and Kozieł, T. (2015). The Characterization Of Cast Fe-Cr-C Alloy. *Archives of Metallurgy and Materials*, **60**(2), 779-782.
34. Hajihashemi, M., Shamanian, M. and 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.
35. 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*, **57**(5), 431-436.