



Coating of AISI 8620 steel by plasma spraying and characterization of coating

Yakup Kaya^{1*}, Faruk Aktürkoğlu², Nizamettin Kahraman¹

¹Department of Manufacturing Engineering, Tecnology Faculty, Karabük University, Karabük, 78050, Turkey

²Aircraft Maintenance, Turkish Technic, THY Istanbul Sabiha Gökçen Airport, İstanbul, 34906, Turkey

Highlights:

- Coating of worn steel surface using powders with different chemical content
- The effect of different coating powders on wear resistance
- Determination of the interface properties of different coatings

Keywords:

- Atmospheric plasma spray
- AISI 8620 steel
- Scanning electron microscope
- Wear
- hardness

Article Info:

Received: 07.02.2017

Accepted: 18.08.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416410

Graphical/Tabular Abstract

The worn surfaces of AISI 8620 material were prepared before coating and then they were coated by coating plasma spraying method using various powders of different chemical compositions. By doing so, they were made ready for use. Initially, surface roughness values of the coated test specimens were determined. Under service conditions, wear test was done to define the coatings' wear resistance, hardness test was done for the characterisation of coating layer and their interfaces. Tensile test was also carried out to define the adhesion strength of the interface. Also, SEM/EDS tests were done to define their interface properties. The highest hardness was measured for 72F-NS coating. The results revealed that CRC-106 coating led to highest wear resistance and this is followed by 68 F-NS-1, 72F-NS and AMDRY 962 coatings. Finally, the result of SEM/EDS examinations showed the formation of oxides within the coating layer and coating interface.

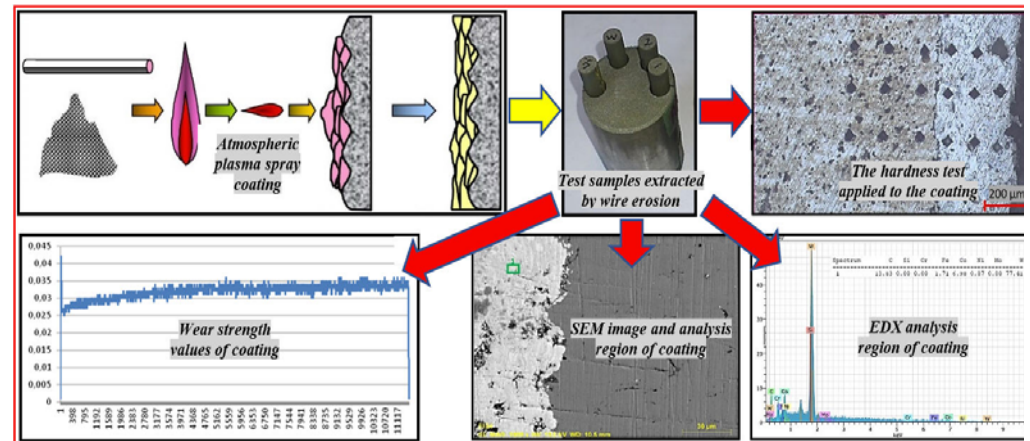


Figure A. Atmospheric Plasma Spray Coating Process and Examination of Coatings

Acknowledgement:

This work was supported by Karabük University (Project number: KBÜ-BAP-13/1-YL-020). We would also like to thank THY Turkish Technic staff for their support in experimental work.

Correspondence:

Author: Yakup KAYA
e-mail: ykaya@karabuk.edu.tr
phone: +90 370 418 7100

Purpose:

In this study, it is aimed to reuse the AISI 8620 steel material subjected to carburizing process by coating the worn surfaces with powders having different chemical content by plasma spraying method.

Theory and Methods:

The abrasion test was used to determine the abrasion resistance of the coatings in service conditions, and the hardness test was performed to characterize the coating layer and interfaces. In addition, scanning electron microscopy (SEM / EDS) studies were performed to determine the interfacial properties of the coating samples.

Results:

As a result of hardness tests; it has been found that the coating with the highest surface hardness is 72F-NS coating. As a result of wear tests applied to coating materials; It has been determined that AMDRY 962 coating material has the highest material loss and CRC-106 coating material has the least amount of material loss. As a result of the SEM experiments, it was observed that there are discontinuities and oxides in the coatings caused by the plasma spraying method. However, it has been determined that these porosities do not exceed the acceptable limit and will not cause any rupture.

Conclusion:

It was determined that the coatings performed under the specified parameters and conditions were successful. It has been determined that the service life of AISI 8620 steel materials can be increased by surface coating using plasma spraying method.



AISI 8620 çelik malzemelerin plazma püskürtme yöntemiyle kaplanması ve kaplamaların karakterizasyonu

Yakup Kaya^{1*}, Faruk Aktürkoğlu², Nizamettin Kahraman¹

¹Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük, 78050, Türkiye

²THY İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı, Hat Bakım Müdürlüğü, İstanbul, 34906, Türkiye.

Ö N E Ç I K A N L A R

- Aşınan çelik yüzeyinin farklı kimyasal içerikli tozlar kullanılarak kaplanması
- Aşınma dayanımına farklı kaplama tozlarının etkisi
- Farklı kaplamaların arayüzey özelliklerinin belirlenmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 07.02.2017

Kabul: 18.08.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416410

Anahtar Kelimeler:

Atmosferik plazma sprey,
AISI 8620 çeliği,
taramalı elektron
mikroskopu,
aşınma,
sertlik

ÖZET

Bu çalışmada, sementasyon işlemi görmüş AISI 8620 çelik malzemenin aşınan yüzeyleri farklı kimyasal içeriğe sahip tozlarla, plazma püskürtme yöntemiyle kaplanarak tekrar kullanıma uygun hale getirilmesi amaçlanmıştır. Kaplamaların servis şartlarındaki aşınma dayanımlarını belirlemek için aşınma testi, kaplama tabakası ve arayüzeylerin karakterizasyonu için sertlik testi yapılmıştır. Ayrıca kaplama numuneleri üzerinde arayüzey özelliklerini belirlemek için, taramalı elektron mikroskopu (SEM/EDS) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda; en fazla yüzey sertliğine sahip kaplamanın 72F-NS kaplaması olduğu tespit edilmiştir. Aşınma testleri sonucunda en yüksek aşınma direncinin CRC-106 kaplamasından elde edildiği ve onu sırasıyla 68 F-NS-1, 72F-NS AMDRY 962 kaplamaları takip ettiği bulunmuştur. SEM/EDS incelemeleri sonucunda kaplama tabakalarının lamelli olduğu ve kaplama tabakası ile arayüzeyde oksitlerin oluştuğu gözlenmiştir.

Coating of AISI 8620 steel by plasma spraying and characterization of coating

H I G H L I G H T S

- Coating of worn steel surface using powders with different chemical content
- The effect of different coating powders on wear resistance
- Determination of the interface properties of different coatings

Article Info

Received: 07.02.2017

Accepted: 18.08.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416410

Keywords:

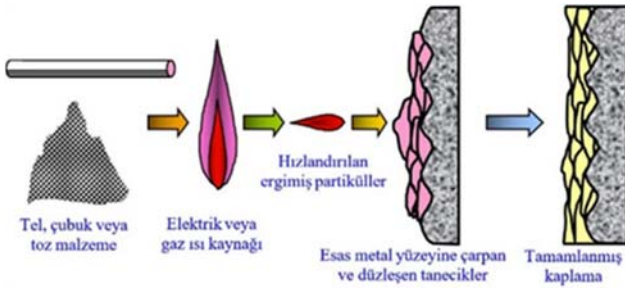
Atmospheric plasma spray,
AISI 8620 steel,
scanning electron
microscope,
wear,
hardness

ABSTRACT

The worn surfaces of AISI 8620 material were prepared before coating and then they were coated by coating plasma spraying method using various powders of different chemical compositions. By doing so, they were made ready for use. Initially, surface roughness values of the coated test specimens were determined. Under service conditions, wear test was done to define the coatings' wear resistance, hardness test was done for the characterisation of coating layer and their interfaces. Tensile test was also carried out to define the adhesion strength of the interface. Also, SEM/EDS tests were done to define their interface properties. The highest hardness was measured for 72F-NS coating. The results revealed that CRC-106 coating led to highest wear resistance and this is followed by 68 F-NS-1, 72F-NS and AMDRY 962 coatings. Finally, the result of SEM/EDS examinations showed the formation of oxides within the coating layer and coating interface.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makina elemanlarının ya da kullanılan takımların aşınmaları günümüz endüstrisinde karşılaşılan en yaygın problemlerden biridir [1, 2]. Yüze mühendisliği, makine parçalarının aşınma direnci ve korozyon dayanımı gibi tribolojik özelliklerini iyileştirmekle ilgilenen bir bilim dalıdır [3, 4]. Günümüzde, mevcut malzemelerin servis ömürlerini ve çalışma performansını arttırmak için çeşitli yöntemler bulunmaktadır [5]. Bunlardan en önemlisi de ısı püskürtme yöntemidir. Isıl püskürtme, yüzeylerin aşınma ve korozyona karşı korunmasında, endüstride geniş kullanım alanına sahip bir yöntemdir [6, 7].



Şekil 1. Isıl püskürtme yöntemlerinin işlem sırası
(Sequence of thermal spray processes)

Isıl püskürtme; ince öğütülmüş metal, metal oksit veya plastiklerin, ergimiş veya yarı ergimiş durumda, uygun bir alt malzeme yüzeyine kaplanması ya da bir yapısal şekil oluşturmak üzere dolgu yapılması işlemidir [6]. Isıl püskürtme teknikleri çeşitlilik gösterip, her teknik beraberinde getirdiği avantajlarla farklı sahalarda kullanım alanı bulmaktadır. Isıl püskürtme yöntemleri genel olarak beş grup altında incelenebilir [8]. Bunlar; alev püskürtme, ark püskürtme, patlama (detonasyon) alev püskürtme, yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme (HVOF) ve plazma püskürtmedir. Bu yöntemlerin içerisinde en fazla kullanılanı ise plazma sprej yöntemidir. İşlem parametrelerinin esnek ve geniş bir spektrumdaki malzeme ve bileşenlerinin kullanımına izin vermesi bu yöntemi çok kullanılan bir yöntem durumuna getirmiştir [8-10]. Plazma püskürtme yöntemi, çok farklı kompozisyon ve özelliklere sahip kaplamalar üretmek için çok geniş bir alanda kullanılabilir [11]. Plazma sprejleme, metalik ve metalik olmayan malzemelerin, bir sprej çökeltisi oluşturmak üzere ergimiş veya yarı ergimiş halde bir altlık malzeme üzerine çöklediği ısı püskürtme prosesleri grubunun bir parçasıdır. Bu proseste altlık malzeme spesifik soğutma aygıtlarıyla nispeten düşük sıcaklıklarda tutulabilir [12, 13]. Plazma sprej kaplama tekniğinin en önemli avantajı yüksek plazma sıcaklığı sayesinde ergime sıcaklığı çok yüksek olan malzemelerin kaplamada kullanılmasına imkân vermesidir. Kaplama sırasında oluşan yüksek sıcaklık yardımıyla kristalin oksitlerden camsı kaplamaların üretiminde de plazma sprej tekniği uygulanabilmektedir [8]. Plazma püskürtme kaplamalarda bağ mukavemetini arttırmak için kaplama öncesi yüzey pürüzlendirilmelidir [14]. Endüstride

çok geniş bir kullanım alanı olan plazma püskürtme yöntemi en çok aşınma olan ve korozyon dayanımı istenen yerlerde kullanılmaktadır. Bu yöntemde metalik, seramik, karbür, kompozit/nanokompozit ve intermetalik kompozit gibi aşınmaya dayanıklı kaplamalar üretilebilmektedir [15-17].

Deneysel çalışmalarda kullanılan, sementasyon işlemine tabi tutularak yüzeyi sertleştirilmiş AISI 8620 çeliği, inşaat iskelelerinin demir kasnaklarının yapımında kullanılan bir makine parçasıdır. AISI 8620 çeliğinden imal edilmiş olan bu makine parçası, çalışma şartlarında maruz kaldığı olumsuz etkenlerden dolayı çapı zaman içerisinde azalmaktadır. Malzeme 30 mm çapında üretilmektedir ve bu çapta ortalama 0.4-1 mm kayıp olduğunda, kullanılmaz hale gelmekte ve hurda malzemesi olarak ayrılmaktadır. Bu çalışmada malzemenin aşınan yüzeylerini, servis şartlarına daha uyumlu bir malzeme ile kaplayarak, malzemenin hurdaya gitmesinden önce tekrar kullanıma verilebilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda AISI 8620 çeliğinin yan yüzeyi (pin-on disk aşınma testi yapılabilmesi için) dört farklı kaplama tozu kullanarak plazma püskürtme yöntemi ile kaplanmış ve kaplanan malzemelerin sertlik, aşınma ve arayüzey özellikleri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada, altlık malzeme olarak servis şartlarında aşınmaya maruz kalmış AISI 8620 sementasyon çeliği, kaplama malzemesi olarak da farklı kimyasal kompozisyonlara sahip AMDRY962, 68F-NS-1, CRC-106 ve 72F-NS tozları kullanılmıştır. Tablo 1'de AISI 8620 çeliğinin kimyasal bileşimi, Tablo 2'de ise kaplama tozlarının kimyasal bileşimleri ve tane boyutları verilmiştir.

Kaplama işlemleri, Türk Hava Yolları (THY) Atatürk Havalimanındaki uçak bakım laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi öncesi kaplama kalitesini arttırmak için kaplanacak yüzeyler mekanik temizleme yöntemlerinden biri olan kumlama yöntemi ile temizlemeye tabi tutulmuşlar ve kaplama yüzeylerinde tekrar pas vb kirlenmelerin oluşmaması için, kumlama işlemi bitiminden hemen sonra kaplama işlemlerinin yapılmasına başlanmıştır. Kaplama işlemleri atmosferik plazma sprej cihazı ile oda şartlarında yapılmıştır. Cihazın kaplama yapılacak olan malzemelerin koyulduğu tablanın, x ekseninde 360° dönmesi ile kaplama esnasında daha üniform bir yapı oluşmasına yardımcı olmuştur. Kaplama esnasında fazla ısı gidisinin parçada distorsiyona ve/veya istenmeyen metalurjik dönüşümlere sebep olacağı düşünülerek, kaplama yapılan bölge, iki adet soğutma kanalı yardımıyla, kompresörden gönderilen hava ile soğutulmuştur.

Kaplama işlemlerinde, Metco ve Praxair firmalarının kataloglarında belirttiği değerlerden yararlanılmış ve kullanarak tozlar optimum kaplama parametreleri tercih edilerek, ortalama 200-500 µm kaplama kalınlığı elde edilecek şekilde kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gaz

olarak Ar-H karışımı bir gaz seçilmiş ve kaplama özelliklerini etkileyen akım, sprej mesafesi, toz beslemesi parametrelerine dikkat edilmiştir. Kaplama proseslerinde kullanılan parametreler Tablo 3'de verilmiştir. Kaplama işlemleri tamamlanan numuneler üzerinde öncelikle yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmış (MarSurf PS1 marka cihaz ile), daha sonra aynı numuneler üzerinde sertlik testi, aşınma testi ve SEM/EDS çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Mikrosertlik testleri için numuneler tel erezyon yöntemiyle kesilmiş ve kesilen numuneler standart zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Altlık ve kaplamaların sahip oldukları mikrosertlik değerleri, numunelerin parlatılmış kesitlerinden alınmıştır. Deneyler SHIMADZU marka cihazında, Vickers (HV_{0,5}) olarak 500 g yük uygulanarak gerçekleştirilmiş ve her bir numuneden üçer adet olmak üzere toplam 18 adet ölçüm yapılmış ve sonuçlar ortalama değer olarak verilmiştir.

Aşınma testleri için numuneler öncelikle Şekil 2'de görüldüğü gibi Ø6x40 mm ebatlarında tel erezyon yöntemiyle kesilerek hazırlanmıştır. Testler KBÜ Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği atölyesinde bulunan pin-on disk tipi aşınma cihazında, oda sıcaklığında farklı yükler altında (5 N, 10 N ve 20 N) ve 160 dev/dk çevrim hızında yapılmıştır. Aşınma esnasında makine üzerine bağlı bulunan loadcell ile kuvvet değerleri otomatik olarak alınmış ve program vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Aşınma işlemleri hasar görmüş disk üzerinde değil, her defasında yeni bir iz (track) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Böylece aşınma esnasında diskte meydana gelen hasarın malzemeye daha fazla zarar vermesi ve disk üzerine yapışan partiküllerin

bir sonraki testte aşınmayı etkilemesi engellenmeye çalışılmıştır. Numunelerin kayma mesafeleri katlamalı olarak 500, 1000 ve 2000 metre olarak seçilmiştir. Numuneler her aşınma işleminden önce 10⁻⁴g hassasiyete sahip RADWAG AS 220/C/2 marka elektronik terazide tartılmıştır. Deney sırasında sürtünme kuvveti grafikleri için aynı anda aşınma cihazına bağlı bilgisayarda gerekli program yardımıyla tüm numuneler teste başlarken eşzamanlı kayda başlanmış ve eşzamanlı sonlandırılmıştır. Elde edilen sayısal veriler programdan Excel'e aktararak grafiğe dökülmüştür.



Şekil 2. Tel erezyon ile çıkarılan aşınma numuneleri (Wear samples extracted by wire erosion)

Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri, CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM modelindeki cihaz ile yapılmış ve elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır. Ayrıca SEM cihazı kullanılarak kaplama tabakaları üzerinden nokta ve çizgi yöntemleri ile EDX analizleri yapılmıştır. EDX çalışmaları tüm deney numunelerinde, ana metal ve kaplama metalleri üzerlerinden nokta analizleri alınmıştır. Ayrıca bütün deney numunelerine çizgisel analizler yapılarak; kaplama tozlarının yapısındaki

Tablo 1. AISI 8620 çeliğinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %) (Chemical compositions of AISI 8620 steel) (wt. %)

C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}	Cr	Mo	Ni	Fe
0,18-0,23	0,2-0,35	0,7-0,9	0,04	0,04	0,4-0,6	0,15-0,25	0,4-0,7	Kalan

Tablo 2. Kaplama tozlarının kimyasal bileşimleri ve tane boyutları (Chemical composition and grain sizes of coating powders)

Kaplama Tozu	Kimyasal Bileşim (%)				Tane boyutu (µm)
AMDRY 962	Ni 58.37	Cr 23.02	Al 10.61	-	-106 + 53
68F-NS-1	Co 37,03	Mo 29.66	Cr 20.01	C 10.86	-45+10
72F-NS	W 77.41	C 13.83	Co 6.98	-	-45+11
CRC-106	Cr 68.78	Ni 16.02	C 14.34	-	-45+5

Tablo 3. Kaplama prosesinde kullanılan sprej parametreleri (Spray parameters used in coating process)

Kaplama Tozu Cinsi	Nozul ¹	Toz Girişi ²	Taşıyıcı gaz (%Ağırlık)		Akım (A)	Toz Besleyici ³ (RPM)	Sprej Mesafesi (mm)	Taşıyıcı Akışı ⁴
			Ar	H				
Metco AMDRY 62	GH	2	80	20	500	1,5	120-130	37
Metco 68F-NS-1	GH	2	87	13	500	1,5	90-110	37
Metco 72F-NS	GE	2	89	11	500	1,5	60-100	37
Praxair CRC 106	GH	2	84	16	500	1,5	50-60	37

1: Nozul: GH/GE

Sprej kaplama tabancasındaki Ar-H karışımının nozul çeşidi (GH 'ın çapı GE den büyüktür).

2: Toz girişi

Sprej kaplama tabancasının ucundaki kaplama tozun çıktığı boşluk.

3: Toz besleyici

Toz besleme ünitesindeki kaplama tozlarını, sprej tabancasına gönderen tamburun dönme hızı.

4: Taşıyıcı akışı

Toz besleme ünitesi ve tamburun içerisindeki Ar-H gazının basıncı.

alaşım elementlerinin kaplama işlemi gerçekleşikten sonra yapıda nasıl dağılım gösterdiği hakkında bilgi sahibi olup, kaplama parametrelerinin etkileri açıklanmaya çalışılmıştır.

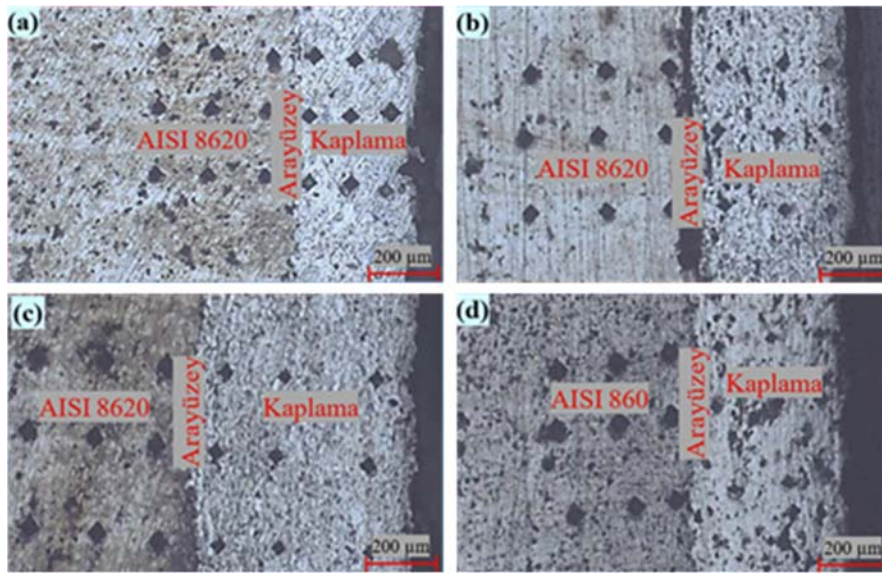
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Sertlik Testi (Hardness Test)

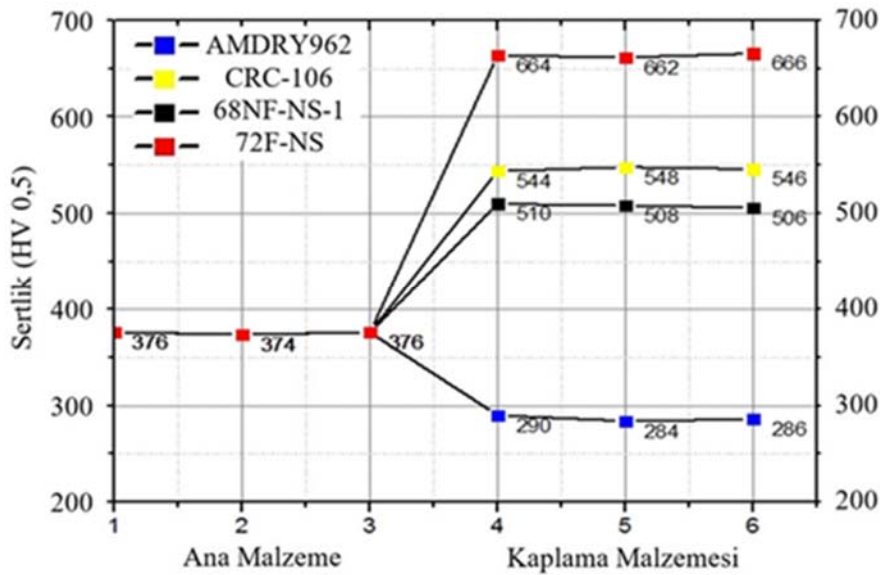
Plazma püskürtme yöntemi kullanılarak kaplanan AISI 8620 sementasyon çeliğinden alınan numunelerin parlatıldıktan sonra ana malzeme/kaplama tabakası sertlik ölçüm işlemleri Şekil 3’de verildiği biçimde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar grafik olarak Şekil 4’de verilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde uygulanan sertlik deneyinde batıcı ucun izleri ana malzeme üzerinde hemen hemen aynı büyüklükte olup, kaplama taraflarında çeşitli nedenlerle farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle 72F-NS ve CRC-106’da görülen uç izlerinin, ana metaldeki ve diğer kaplama metalleredeki uç izleri ile kıyaslandığında çok daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum bu iki tip kaplamanın sertliklerinin ana metal ve diğer kaplama metallere göre belirgin şekilde fazla olduğunu göstermektedir.

Şekil 4’de verilen sertlik grafiği incelendiğinde, AISI 8620 ana malzemenin sertlik değerinin yaklaşık olarak 375 HV_{0.5} olduğu, kaplama sertlik değerlerinin ise 285-664 HV_{0.5} arasında değiştiği görülmektedir. Yapılan deneylerden elde



Şekil 3. Kaplamalara uygulanan sertlik testinin makro görüntüleri, a) AMDRY 962, b) 68F-NS-1, c) CRC-106, d) 72F-NS
(Macro images of the hardness test applied to the coating, a) AMDRY 962, b) 68F-NS-1, c) CRC-106, d) 72F-NS)



Şekil 4. Ana malzeme ve kaplama tabakalarının sertlik değerleri
(Hardness values of main material and coating layers)

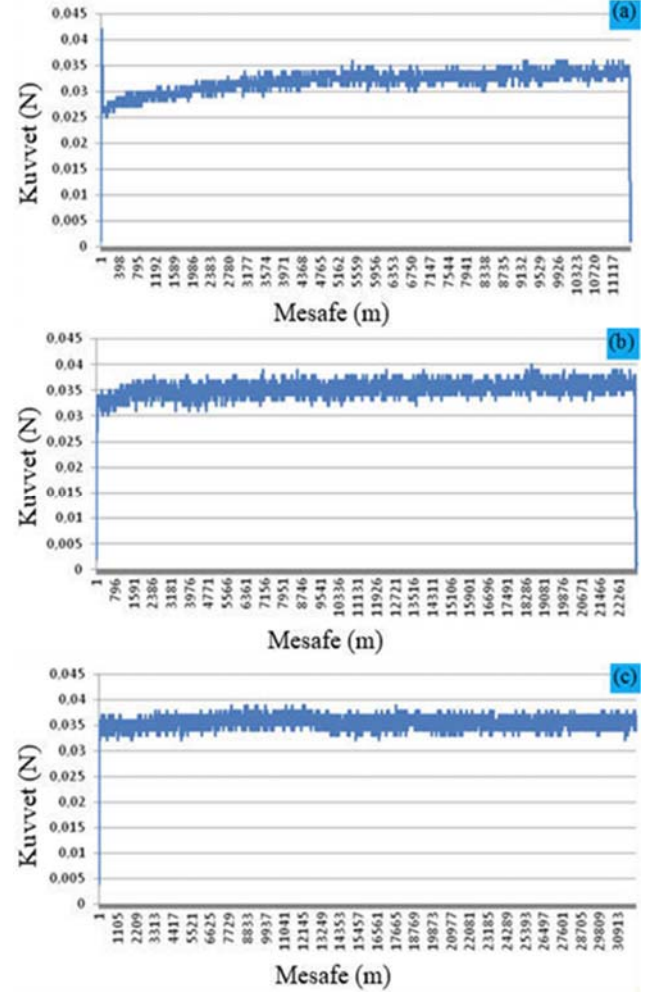
edilen sertlik sonuçlarına göre, kaplama metallерinin sertliği en yüksek olan kaplamadan en düşük olana doğru sıralanırsa; 72F-NS, CRC-106, 68F-NS-1 ve AMDRY 962 şeklinde olduğu görüldü.

72F-NS kaplama malzemesi kaplama metalleri içerisinde sertlik değeri en fazla olan kaplama malzemesidir. Bunun sebebi; 72F-NS kaplama tozunun karbür bazlı yapısı, köşeli/bloklı bir morfolojisi vardır. Bununla birlikte bu kaplama tozu sinterleme ve öğütme ile üretilir. Sonuç olarak bu kaplama tozunun üretim tekniği ve yapısı da bu tozlarla yapılan kaplamaların sertlik olarak çalışmadaki en yüksek değerin elde edilmesine sebep olmuştur. Islak ve arkadaşları [18] yapmış oldukları bir çalışmada, kaplamaların yapısında bulunan karbürlerin sertliği arttırdığını rapor etmişlerdir. CRC-106 kaplamasının sertlik değeri, 72F-NS'den sonra en yüksek değerdedir. Bu kaplama tozunun nikel ve krom tozlarının karışımı olması ve içindeki küçük krom esaslı karbür parçacıklarının varlığı sertliğine olumlu yansıdığı ve bu nedenle de sertlik değerin 72F-NS kaplamasından sonra en yüksek değerde olmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 68F-NS-1 kaplama malzemesinin sertlik değerin 72F-NS ve CRC-106 kaplama malzemelerinden az, ana metal ve AMDRY 962 kaplama malzemesinden ise fazla olduğu görülmektedir. 68F-NS-1 kaplama tozunun yapısında ağırlık olarak en fazla kobalt sonrasında ise molibden vardır. Molibden ilavesinin sertlik artışına olumlu olarak etki ettiği bilinmektedir, ancak molibdenin sertliğe etkisinin, karbürler kadar fazla olmamasından dolayı bu kaplama metalinin sertliğinin bahsedilen diğer iki kaplama metaline (72F-NS ve CRC-106) göre daha az olmasının nedeni olarak gösterilebilir. AMDRY962 kaplama malzemesinin sertliği, kaplama metalleri ve ana metalle kıyaslandığında en düşük değeri gösterdiği görülmektedir. AMDRY 962 kaplama metal taneciklerinin, NiCrAlY içeriği ve küremsi bir morfolojiye sahip olması, sertliğine olumsuz olarak yansıması ve sertlik değerin çok düşük çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir.

3.2. Aşınma Testi (Wear Test)

Plazma püskürtme yöntemi ile kaplama işleminin gerçekleştirilmiş numunelerin aşınma testlerinden doğru sonuçlar elde etmek ve doğru yorumlar yapabilmek için kaplama yapılan numunelerin ve aşındırma diskinin yüzey pürüzlülük değeri ölçülmüştür. Kaplama yapılmış numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değeri AMDRY 962 kaplaması için 10,40 μm , 68F-NS-1 kaplaması için 4,66 μm , CRC-106 kaplaması için 3,44 μm ve 72F-NS kaplaması için 6,24 μm olarak ölçüldü iken aşındırma diskinin yüzey pürüzlülüğü ise 1,9 μm olarak ölçülmüştür. Aşınma testleri, 300 mm çapında, AISI 5190 malzemesinden, ısıl işlemlı ve yaklaşık 62 HRC sertliğe sahip disk üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi esnasında loadcell ile alınan kuvvet değeri, program vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 5'de örnek olması açısından 10N yük uygulanarak gerçekleştirilen CRC-106 kaplamasından üç farklı mesafede elde edilen grafikler verilmiştir. Grafikler

incelendiğinde ölçülen kuvvetin mesafeye bağlı olarak arttığı ve aşınma esnasında fazla bir oynama göstermediği açıkça görülmektedir.



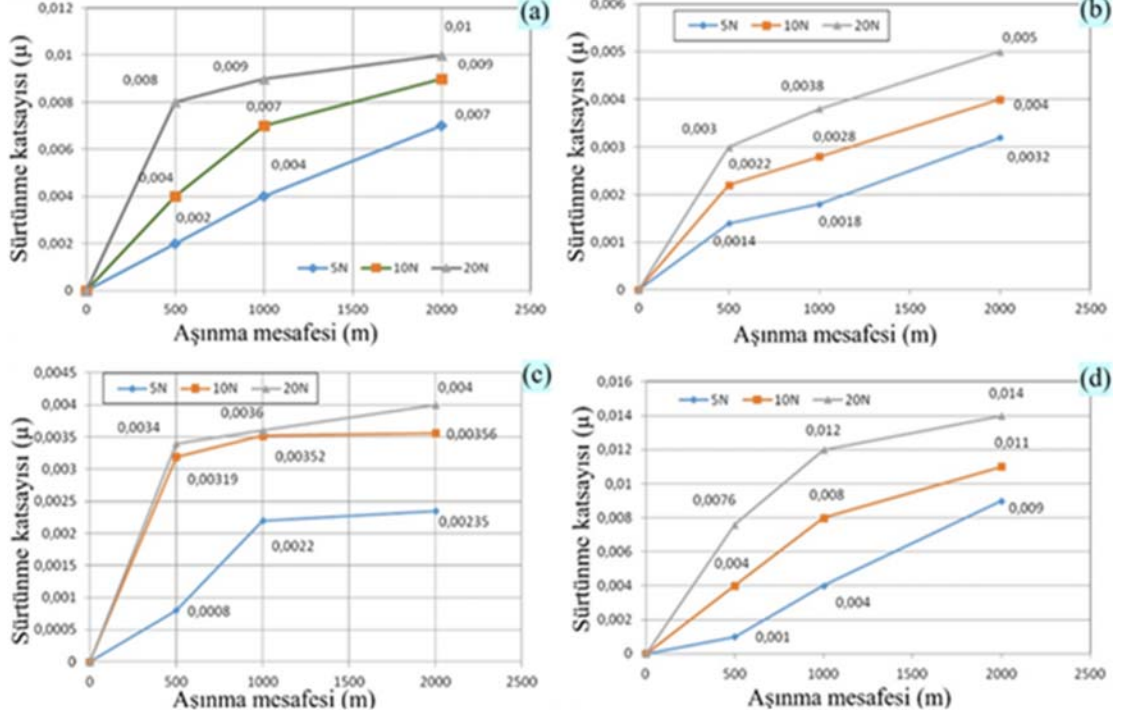
Şekil 5. CRC-106 kaplamasının 10 N aşınma kuvvet değeri a) 500 m, b) 1000 m, c) 2000 m (10 N wear strength values of CRC-106 coating a) 500 m, b) 1000 m, c) 2000 m)

Şekil 5'de örnek olarak gösterilen grafikler, yapılan bütün aşınma deneyleri sırasında her bir kaplama malzemesi için ayrı ayrı elde edilmiştir. Uygulanan kuvvetin aşınma mesafesine olan etkisi daha kolay anlaşılabilmesi için; $F_s = \mu_s \cdot N$ formülü kullanılarak, elde edilen kuvveti, uygulanan yüke bölünmesi ile Şekil 6'da verilen sürtünme katsayısı (μ_s)-aşınma mesafesi (m) grafikleri elde edilmiştir.

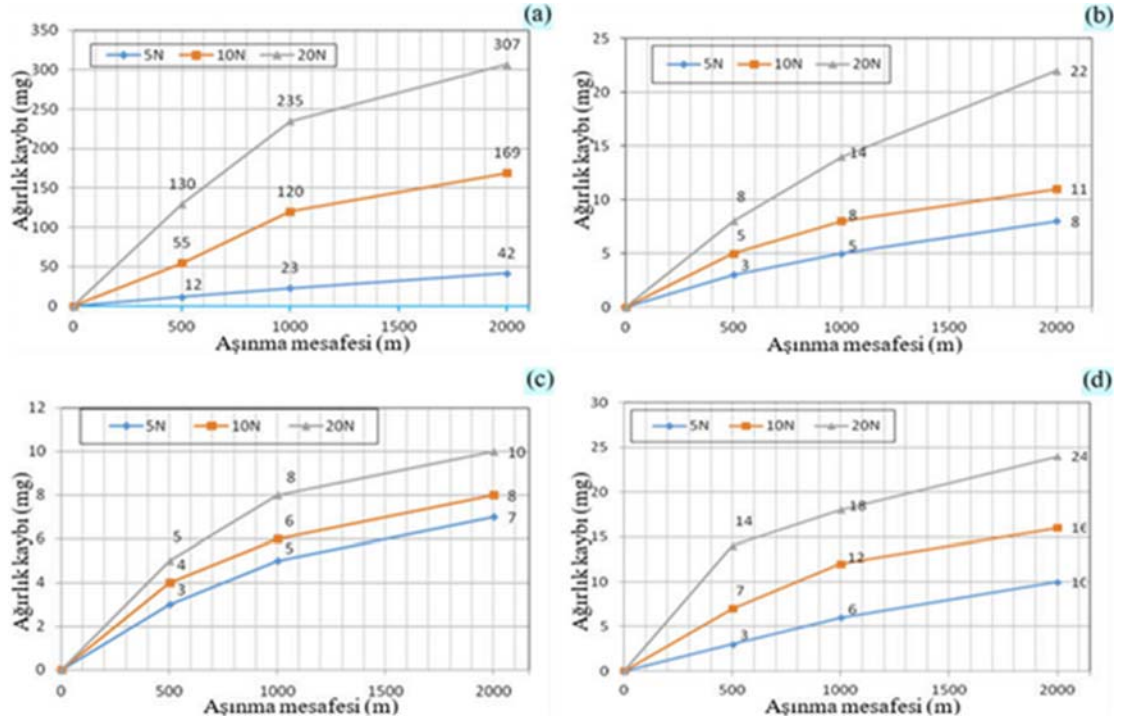
Grafiklerde genel olarak incelendiğinde aşınma mesafesi artıktıkça sürtünme katsayılarının belirli bir mesafeye kadar doğrusal olarak arttığı, daha sonra ise artış eğiliminin azaldığı görülmektedir. Aşınmanın başlangıcında kaplama yüzeylerinin pürüzlü oluşu sürtünme katsayısının hızla artmasına neden olmakta, zamanla sürtünmeden dolayı yüzeydeki pürüzlülükler azalmakta, dolayısıyla sürtünme katsayısındaki artışın hızı da azalmaktadır.

Şekil 7'de plazma püskürtme yöntemi ile AISI 8620 sementasyon çeliği üzerine farklı kimyasal kompozisyonlara sahip tozlar ile gerçekleştirilmiş kaplamalardan elde edilen aşınma mesafesi-ağırlık kaybı grafikleri verilmiştir.

Grafikler incelendiğinde aşınmaya karşı en yüksek dayanım sergileyen kaplamanın CRC-106 kaplaması olduğu, onu sırasıyla 68 F-NS-1 ve 72F-NS kaplamalarının takip ettiği, en düşük aşınma direncinin ise AMDRY 962 kaplamasına



Şekil 6. Aşınma mesafesi-sürtünme katsayısı sonuçları a) AMDRY 962, b) 68 F-NS-1, c) CRC-106 ve d) 72F-NS. (Wear distance-Friction coefficient results a) AMDRY 962, b) 68 F-NS-1, c) CRC-106 ve d) 72F-NS)



Şekil 7. Aşınma mesafesi-ağırlık kaybı sonuçları a) AMDRY 962, b) 68 F-NS-1, c) CRC-106 ve d) 72F-NS (Wear distance-weight loss results a) AMDRY 962, b) 68 F-NS-1, c) CRC-106 ve d) 72F-NS)

ait olduğu görülmektedir. Bu grafiklerdeki en belirgin özellik, sürtünme katsayısı grafiklerinde olduğu gibi aşınmanın deney başlangıcında yüksek olması, mesafe arttıkça ise aşınma miktarındaki azalmanın gözlemlenmesidir. Şekil 7’de verilen grafikler bir başka açıdan değerlendirildiğinde tüm testlerde, uygulanan yükler ve aşınma mesafeleri arttıkça kaplamaların daha çok aşındığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen kaplamalardan aşınmaya en dayanıklı kaplamanın CRC-106 olmasının nedeni; kaplama tozunun tane ebadının küçük olması dolayısıyla kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğünün düşük olması, kaplama tozunun içeriğindeki krom karbür parçacıklarının varlığı ve aynı zamanda kaplamanın sertliğinin yüksek olması gösterilebilir. Aşınma test sonuçlarının daha iyi değerlendirilebilmesi için, deney numunelerine uygulanan aşınma testleri sonucunda meydana gelen aşınma türünün belirlenmesi daha doğru olacaktır. Aşınma türünü belirlemek için yapılan literatür çalışmalarında, aşındırıcı diskin sertliği (Ha) ile aşınan metalin sertliği (Hm) oranları arasında bir bağıntı kurularak, meydana gelen aşınmanın türü hakkında fikir sahibi olunduğu bilinmektedir. $Hm/Ha < 0,8$ ise metalde aşırı kazıma (abrazif) aşınmasının olduğu belirtilmiştir. Ayrıca aşındırıcı diskin sertliği ile aşınan metalin sertliği arasındaki oran birbirine yaklaştıkça, mevcut aşınmanın abrazyon aşınmadan adhezif aşınmaya doğru kaydığı da belirtilmiştir [19, 20]. Aşınma deneyi sırasında 62 HRC (790 HV) sertliğindeki AISI 5190 çelik disk, aşındırıcı olarak kullanılmıştır. Şekil 4’de gösterildiği gibi kaplama numunelerinin sertlik değerleri göz önünde bulundurularak Hm/Ha oranları; 72F-NS için 0,84, CRC-106 için 0,68, 68F-NS-1 için 0,64 ve AMDRY 962 için 0,36 olarak bulunmuştur. Yapılan literatür çalışmaları ve elde edilen sertlik verileri ışığında, 72F-NS kaplamasında adhezif aşınmanın etkin olduğu, CRC-106, 68F-NS-1 ve AMDRY 962 kaplamalarında ise abrazyon aşınmanın etkin olduğu sonucuna varılmaktadır. Yapılan aşınma testleri ile elde edilen sonuçlara göre; AMDRY 962 kaplama malzemesinin en düşük aşınma direncine sahip olduğu belirlenmiştir. AMDRY 962 tozunun tane ebadının büyük olması kaplamayada yansıdığından yüzey pürüzlülüğü en yüksek olan kaplama olması, bu kaplama malzemesinin aşınma direncinin düşük olmasının sebeplerinden biridir. Ayrıca AMDRY 962 kaplamasının en düşük sertlik değerine sahip olması aşınma direncini düşük olmasının sebebi olarak gösterilebilir.

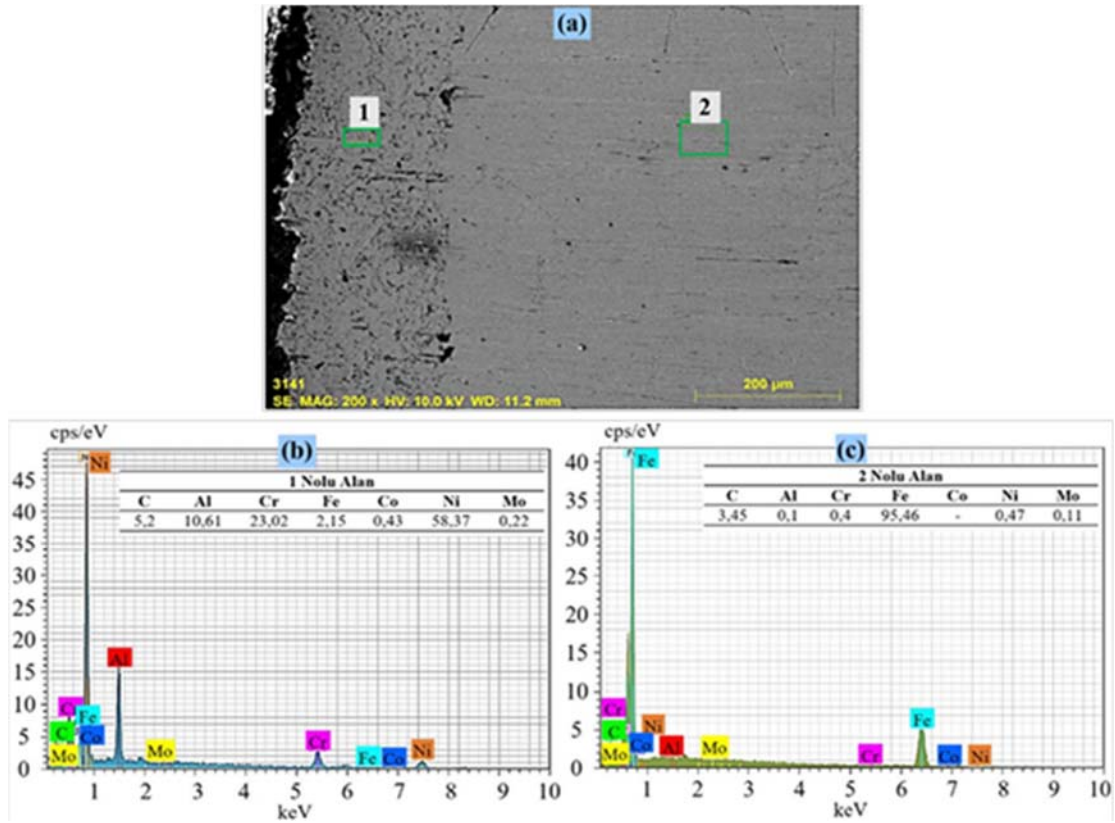
Literatür verilerine göre genellikle sertlik artışının aşınma direncini arttırdığı belirtilmektedir [21, 22]. Bu bilgilere rağmen bazı durumlarda aşınmanın direkt sertlik ile ilişkili olmadığı bir gerçektir. CRC-106 kaplama malzemesi yapılan aşınma deneyleri sonucunda, diğer kaplama malzemeleri ile kıyaslandığında en az ağırlık kaybına uğrayan kaplama malzemesi olmasına rağmen sertliğinin en yüksek olmaması buna tipik bir örnek teşkil etmektedir. Elde edilen sonuçlarda CRC-106 kaplamasının aşınma kayıplarının çok az olması, kaplama tozunun krom karbür esaslı olmasına bağlanabilir. Huang ve arkadaşları plazma sprey kaynak yöntemi ile yaptıkları kaplamalarda, krom karbür esaslı kaplamaların

aşınma dayanımlarının yüksek olduğunu rapor etmişlerdir [23]. Aşınma test sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; kaplamaların aşınma dayanımını arttırmak için tek başına sertliğin artmasının yeterli olmayacağı, kullanılan kaplama tozlarının kompozisyonun ve tane boyutlarının da kaplamaların aşınma dayanımlarında belirleyici faktörler olduğunu göstermiştir.

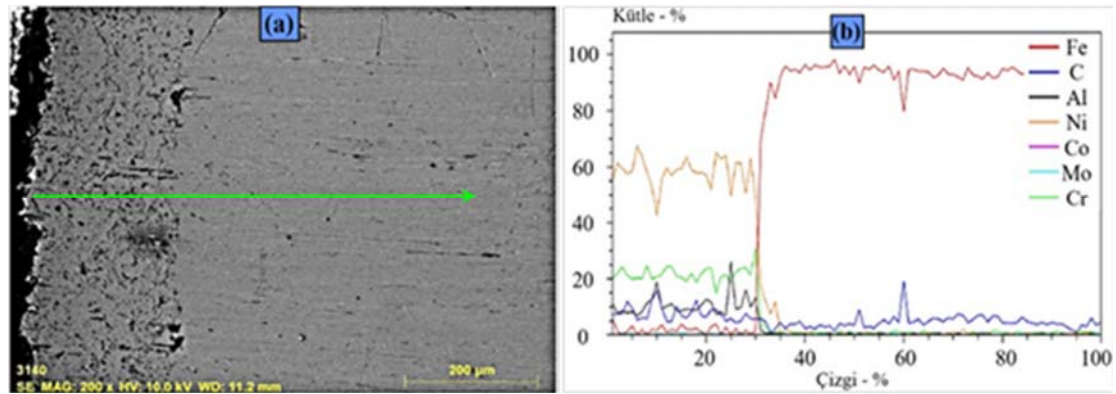
3.3. SEM/EDS Çalışmaları (SEM/EDS Studies)

Plazma püskürtme yöntemi ile farklı kompozisyona sahip tozlarla elde edilmiş kaplama malzemesinin ve sementasyon işlemi görmüş 8620 çelik malzemesinden oluşan altlık malzemenin kimyasal bileşimleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için SEM’de noktasal EDX analizleri gerçekleştirilmiştir. Noktasal EDX analizleri sonucunda elde edilen kimyasal bileşimlerin ilgili deney numunesinin neresini kapsadığı SEM görüntülerinin içerisinde belirtilmiştir. Kaplama malzemesinden ve esas metalden elde edilen kimyasal bileşim bilgileri; yapıda bulunan alaşım elementlerinin kaplamaların sertlik ve aşınma değerlerini nasıl etkilediği ve bu değerlerinde kaplama kalitesine olan etkisi hakkında yorum yapabilmemizi sağlamaktadır.

Numunelerin içyapısındaki alaşım elementlerinin kaplama malzemesi içerisindeki dağılımı kaplama kalitesi açısından belirleyici bir faktördür. Mevcut yapılarıdaki alaşım elementlerinin kaplama malzemesindeki dağılımları hakkında bilgi sahibi olabilmek için; kaplama bölgesi ve ana metali kapsayacak şekilde çizgi üzerinden alınan EDX analizleri alınmıştır. Alınan EDX analiz sonuçları grafik olarak belirtilmiş ve belirtilen kimyasal bileşimin numuneler içerisinde hangi kısmı kapsadığı ise, SEM fotoğraflarında belirtilmiştir. SEM/EDS analiz çalışmalarında tüm numunelere noktasal ve çizgisel analiz olarak uygulanmış ancak, AMDRY 962 kaplamasının hem noktasal hem de çizgisel grafikleri verilir iken diğer kaplamaların sadece noktasal analiz sonuçları verilmiştir. Öncelikle kaplamaların SEM görüntüleri değerlendirildiğinde; tüm kaplamalarda tam ergimiş ve kısmen ergimiş bölgelerin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ergimemiş bölgelerinde (porozitelerin) varlığı tespit edilmiştir, ancak bu porozitelerin, kaplama metali ile ana metali bir birinden ayrılmasını sağlayacak şekilde olmadığı gözlemlenmiştir. Plazma püskürtme kaplamaların karakteristik bir özelliği olan poroziteler, kullanılan toz malzemelerinin cinsi ve kaplama yapılırkenki koşullara bağlı olarak kaplama metallerinde bir miktar bulunmaları doğaldır. Yapılan literatür araştırmalarına göre de bu porozitelerin varlığı kaplama metaline oranla %20’lere kadar müsadde edilir [24, 25]. Diğer kaplama çeşitlerine göre AMDRY 962 kaplamasının yapısında porozitelerin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun başlıca sebebi AMDRY 962 kaplamasının toz ebadının yüksek olması dolayısıyla yüzey pürüzlülük değerinin diğer kaplama metallerine göre çok daha fazla oluşudur. Bu nedenden dolayı bu kaplamanın yapısında porozitelerin, diğer kaplama metallerine göre daha büyük ebatla ve daha fazla olması açıklanabilir. Bu durum kaplama kalitesini de doğrudan olumsuz olarak etkilemektedir.



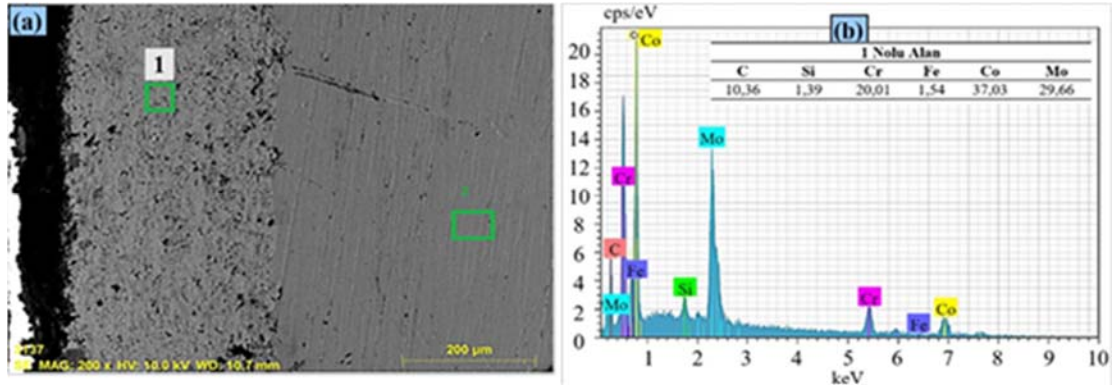
Şekil 8. AMDRY 962 kaplamasının a) SEM görüntüsü ve analiz bölgeleri, b) 1. bölgenin EDX analizi (kaplama), c) 2. bölgenin EDX analizi (ana malzeme) (AMDRY 962 coating, a) SEM image and analysis regions b) EDX analysis of region 1 (coating), c) EDX analysis of region 2 (main material))



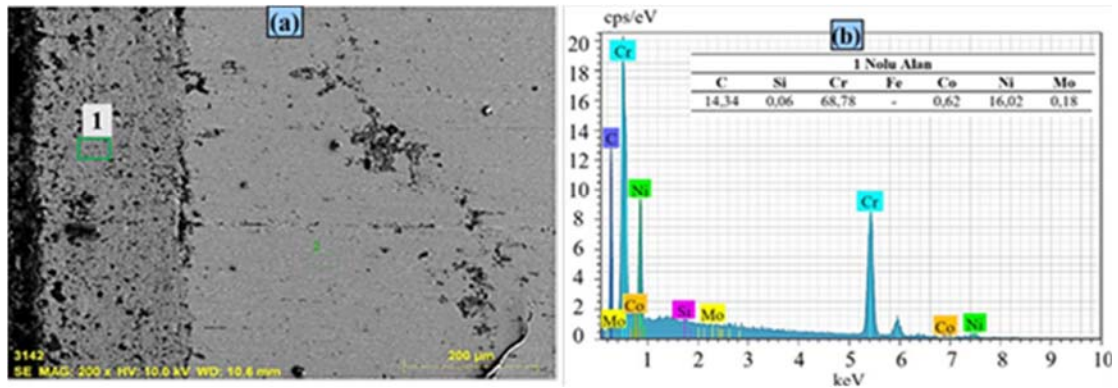
Şekil 9. AMDRY 962 kaplamasının a) SEM fotoğrafı ve çizgisel analiz bölgesi ve b) çizgisel hattın EDX analizi (AMDRY 962 coating, a) SEM photograph and linear analysis area, and b) EDX analysis of linear line)

SEM görüntülerinden anlaşılacağı üzere, 68F-NS-1 kaplamasının gözenek miktarı 72F-NS'den daha az olduğu kanısına varılmıştır. 68F-NS-1 kaplamasının yapısındaki gözeneklilik miktarının 72F-NS'e göre daha az olması; kimyasal bileşimindeki Mo oranının daha fazla olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir. Islak ve arkadaşları [18], yapmış olduğu bir çalışmada Mo ilavesiyle kaplamaların gözenek miktarında azalma olduğunu rapor etmişlerdir. Bunun sebebinin de tozların püskürtülmesi esnasında molibden tozlarının yeterince ergidiği ve kaplamada dolgulama işlevi gördüğü için gözenek miktarının azaldığını

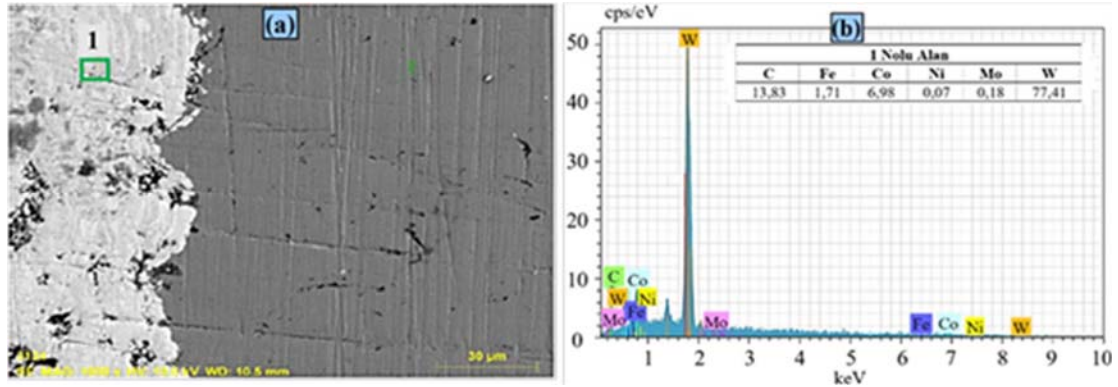
belirtmişlerdir. Kaplamaların SEM/EDX analiz sonuçlarına bakılacak olursa; kaplama metallerinin yapısındaki alaşım elementlerinin, kaplama öncesi tozların kimyasal kompozisyonuna çok benzer oldukları tespit edilmiştir. Bu durum kaplama bölgelerinin kimyasal içeriğinin homojene yakın olduğunun göstergesidir. Kaplama metalindeki bu homojene yakın durum kaplama kalitesi açısından istenen bir durumdur, bunun yanı sıra kaplama bölgelerinde ana metal ile kaplama metalleri arasında ayrışmaların olmaması bu kaplama işlemlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 10. 68F-NS-1 kaplamasının a) SEM görüntüsü ve analiz bölgesi, b) 1. bölgenin EDX analizi (kaplama)
(68F-NS-1 coating a) SEM image and analysis region, b) EDX analysis of region 1 (coating))



Şekil 11. CRC-106 kaplamasının a) SEM görüntüsü ve analiz bölgesi, b) 1. bölgenin analizi (kaplama)
(CRC-106 coating a) SEM image and analysis region, b) EDX analysis of region 1 (coating))



Şekil 12. 72F-NS kaplamasının a) SEM görüntüsü ve analiz bölgesi, b) 1. bölgenin EDX analizi (kaplama)
(72F-NS coating a) SEM image and analysis region, b) EDX analysis of region 1 (coating))

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada servis şartlarında aşınmaya maruz kalmış AISI 8620 çelik malzemeler, farklı kimyasal bileşime sahip metal tozları ile plazma püskürtme yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Yapılan sertlik deneyleri sonucunda; en fazla yüzey sertliğine sahip kaplamanın 72F-NS kaplaması olduğu tespit edilmiştir. Bu kaplamanın yapısında bulunan tungsten karbürlerin sertliğinin yüksek değerinde olmasının başlıca nedenlerinden birisi olduğu saptanmıştır. Kaplamalara

uygulanan sertlik testleri sonucunda; kaplamalarda meydana gelen aşınma mekanizmasının çeşidi hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Alınan veriler ışığında 72F-NS kaplamasında adhezif aşınmanın, AMDRY 962, 68F-NS-1, CRC-106 kaplamalarında ise abradif aşınmanın daha etkin olduğu belirlenmiştir. Kaplama malzemelerine uygulanan aşınma testleri sonucunda; AMDRY 962 kaplama malzemesinin zaman içerisinde en fazla malzeme kaybına uğrayan kaplama olduğu, CRC-106 kaplama malzemesinin ise bu grubun içerisinde aşınmadan en az etkilendiği görülmektedir. CRC-

106 kaplama malzemesinin sertlik değerinin yüksek olmasının aşınma sonuçlarına olumlu yansıdığı belirlenmiştir ancak bu şekilde aşınma dayanımının yüksek olmasında kaplama tozlarının tane boyutlarının en düşük değerlerde olmasının sertlikten daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplama malzemelerine uygulanan aşınma deneyleri sonucunda aşınma mesafesi-ağırlık kaybı ve aşınma mesafesi-sürtünme katsayısı grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerin birbirleri ile ilişkili olduğu, artan aşınma mesafesi ile sürtünme katsayısı değerleri yüksek olan kaplamalarda malzeme kayıplarının daha fazla olduğu görülmüştür.

Uygulanan SEM deneyleri sonucunda kaplamalarda plazma püskürtme yönteminden dolayı kaynaklanan yer yer süreksizliklerin ve oksitlerin olduğu gözlemlenmiştir. Lakin bu gözenekliliklerin kabul edilebilir sınırı aşmadığı ve tamamen kopmalara neden olacak şekilde oluşmadığı gözlemlenmiştir. Kaplamaların SEM/EDX analizleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde; kaplama malzemesi içerisindeki farklı bölgelerdeki alaşım elementlerinin oranının birbirine yakın çıktığı ve aralarında aşırı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç gerçekleştirilen kaplama malzemelerinin kimyasal bileşimlerinin homojene yakın olduğu sonucunu vermektedir. Elde edilen bu veriler ışığında belirtilen parametreler ve şartlar altında gerçekleştirilmiş olan bu kaplamaların başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmayı KBÜ-BAP-13/1-YL-020 numaralı proje ile destekleyen, KBÜ Rektörlüğüne ve BAP komisyonuna teşekkür ederiz. Ayrıca kaplama işlemleri ve deneylerin yapılmasındaki desteklerinden dolayı THY Teknik çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kaçal A., Yıldırım F., Determining the effects of CBN Cutting insert's cutting performance on surface roughness and tool wear at turning of PMD 23 steel, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (1), 181-189, 2016.
2. Gençer G.K., Owsalou R.G., Karadeniz S., Determination of abrasive wear resistances of Fe-based hardfacing coated wear plates that were used as grinders in cement production in cases where clinker and farin were used as abrasives, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (3), 511-520, 2016.
3. Iordanova I., Surtchev M., Forcey K.S., Metallographic and SEM investigation of the thermally sprayed coatings on steel substrate, Surface and Coatings Technology, 139 (2-3), 118-126, 2001.
4. Kahraman N., Gülenç B., Abrasive wear behaviour of powder flame sprayed coatings on steel substrates, Materials and Design, 23 (8), 721-725, 2002.
5. Yıldırım S.E., Y₂SiO₅ tozu üretimi ve plazma sprey tekniği ile kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2009.
6. Özel S., Alüminyum alaşımı ve bronz yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanması araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2009.
7. Kahraman N., Gülenç B., Durgutlu A., Alevle spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerdeki aşınma davranışının incelenmesi, 1.Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, İstanbul-Türkiye, 1392-1399, 2005.
8. Kahraman N., Gülenç B., Investigation of the coating thickness effect on the surface roughness and hardness of powder flame spraying coated specimens, 2. International Conference on Powder Metallurgy, Napoca-Romania, 305-311, 6-8 July 2000.
9. Liu S., Tao W., Li J., Yang Z., Liu F., Study on the formation process of Al₂O₃-TiO₂ composite powders, Powder Technology, 155 (3), 187-192, 2005.
10. Xie L., Ma X., Jordan E.H., Padture N.P., Xiao D.T., Gell M., Deposition mechanisms of thermal barrier coatings in the solution precursor plasma spray process, Surface and Coatings Technology, 177-178, 103-107, 2004.
11. Dong S., Song B., Liao H., Coddet C., Deposition of NiCrBSi coatings by atmospheric plasma spraying and dry-ice blasting: Microstructure and wear resistance, Surface and Coatings Technology, 268, 36-45, 2015.
12. Fauchais P., Vardelle M., Plasma spraying: present and future, Pure and Applied Chemistry, 66 (6), 1247-1258, 2009.
13. Zavareh M.A., Sarhan A.A.D.M., Razak B.B.A., Basirun W.J., Plasma thermal spray of ceramic oxide coating on carbon steel with enhanced wear and corrosion resistance for oil and gas applications, Ceramics International, 40 (9-A), 14267-14277, 2014.
14. Yeşildal R., Günay Y.Z., Plazma sprey yöntemi ile kaplama ve sprey karakteristiklerinin incelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 9 (1), 59-76, 2007.
15. He L., Tan Y., Wang X., Xu T, Hong X, Microstructure and wear properties of Al₂O₃-CeO₂/Ni-base alloy composite coatings on aluminum alloys by plasma spray, Applied Surface Science, 314, 760-767, 2014.
16. Ghadami F., Sohi M.H., Ghadami S., Effect of TIG surface melting on structure and wear properties of air plasma-sprayed WC-Co coatings, Surface and Coatings Technology, 261, 108-113, 2015.
17. Song B., Dong S., Liao H., Coddet C., Microstructure and wear resistance of FeAl/Al₂O₃ intermetallic composite coating prepared by atmospheric plasma spraying, Surface and Coatings Technology, 268, 24-29, 2015.
18. Islak S., Kır D., Buytoz S., Özorak C., Akkaş M., Çalgılı U., Yıldırım M.M., Yüksek hızlı yakıt oksisi ile üretilen WXXo-Mo esaslı kaplamaların mikro yapı karakterizasyonu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21 (8), 344-347, 2015.
19. Boz M., Kurt A., Antimon trisülfid'in bronz esanslı fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma etkisi, Teknoloji Dergisi, 9 (1), 79-90, 2006.
20. Boz M., Kurt A., Effect of ZrSiO₄ on the friction performance of automotive brake friction materials,

- Journal of Materials Science and Technology, 23 (6), 843-850, 2007.
21. Kahraman N., Gülenç B., Abrasive wear behaviour of powder flame sprayed coatings on steel substrates”, *Materials and Design* 23 (8), 721-725, 2002.
 22. Cura M.E., Sıcak preslenmiş Wc-Co/B₄C kompozitlerinin mekanik, manyetik ve mikroyapısal incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
 23. Huang S., Sun D., Xu D., Wang W., Xu H., Microstructures and properties of NiCrBSi/WC biomimetic coatings prepared by plasma spray welding, *Journal of Bionic Engineering*, 12 (4), 592-603, 2015.
 24. Karaoğlanlı A.C., Türk A., Özdemir İ., Seramik esaslı plazma sprey kaplamaların oksidasyon davranışlarının incelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 401-405, 2014.
 25. Aslan O., Plazma sprey kaplama yöntemiyle tek ve çift katmanlı kaplanan AISI 316L paslanmaz çeliğinin korozyon davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2015.