

## Yüksek Hızlı Oksi- Yakıt Püskürtme Tekniği ile Üretilmiş MCrAlY Esaslı Kaplamaların Sıcak Korozyon Davranışı

Yılmaz YALÇIN<sup>1</sup>, Ramazan Tuncer<sup>1</sup>, Muhammet Karabaş<sup>2\*</sup>, Yusuf Kayalı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, A.N.S Kampüsü ,Teknoloji Fak., Metalurji ve Malz. Müh. Böl., Afyonkarahisar

<sup>2</sup>Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bil. Ve Müh. Böl., Hakkari

Geliş / Received: 05/12/2018, Kabul / Accepted: 30/08/2019

### Öz

Bu çalışmada küresel grafitli dökme demir (KGDD) altlıklar Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) yöntemi ile Ni esaslı AMDRY 9624 ve Ni-Co esaslı AMDRY 9951 olmak üzere iki farklı malzeme ile kaplanmıştır. Kaplamaların mikroyapı ve faz analizleri enerji dağılımlı X-Ray spektrometrelili taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX) ve X ışınları difraksiyonu (XRD) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bu kaplamaların, %50 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + %50 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> korozif tuz karışımından oluşan ortamda ve üç farklı sıcaklıkta sıcak korozyon davranışları incelenmiştir. Karakterizasyon çalışmaları neticesinde dökme demir altlıklar üzerinde yaklaşık 80 µm kalınlığında yoğun, porozitesiz bir kaplama tabakası elde edildiği ve kaplama ile altlık malzeme arasında sürekli yapışma sağlandığı görülmüştür. AMDRY 9624 ile kaplanan dökme demirlerin γ ve β intermetalik fazlarını ihtiva ettiği, AMDRY 9951 ticari toz ile üretilen kaplamanın ise sadece γ fazını ihtiva ettiği tespit edilmiştir. Sıcak korozyon testleri sonrasında dökme demir altlığın korozyon tuzlarıyla reaksiyonu sonucu üç sıcaklıkta da FeVO<sub>4</sub> korozyon ürünü oluşmuştur. Kaplama uygulaması sonrası ise 500 °C de tuzların etkisi ile herhangi bir metal vanadat bileşiği oluşmazken, 600 ve 700 °C sıcaklıkta çeşitli metal vanadat korozyon ürünlerinin oluşumu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sıcak Korozyon, HVOF, Kaplama

### Hot Corrosion Behaviour of MCrAlY Based Coatings Fabricated by High Velocity Oxy-Fuel

#### Abstract

In this study, ductile cast irons (DCI) were coated with two different AMDRY 9624 Ni based and AMDRY 9951 Ni-Co based materials by HVOF method. Microstructure and phase analyzes of the coatings were performed to by using Scanning electron microscopy equipped with Energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX) and X-Ray diffraction (XRD) methods. Hot corrosion behavior of DCI are investigated by using %50 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + %50 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> salts. As a result of the characterization studies it was observed that a dense non-porous coating layer of about 80 µm thickness was obtained on the cast iron samples and continuous adhesion was provided between the coating and the substrate. It has been determined that the cast iron coated with AMDRY 9624 contains γ and β intermetallic phases and the coating produced with AMDRY 9951 commercial powder contains only γ phase. After the hot corrosion tests, The characterization studies reveal that the reaction of the cast iron substrate with corrosive salts resulted in the formation of FeVO<sub>4</sub> corrosion product at all three temperatures. After coating application, no metal vanadate compound was formed by the reaction of salts with the coatings at 500 °C. The formation of various metal vanadate corrosion products at 600 and 700 °C temperature was determined.

**Keywords:** Hot corrosion, HVOF, Coating

## 1. Giriş

Madencilikten tarıma, otomotivden inşaata kadar birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan dökme demirlerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, bu malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ve

korozif ortamlarda dayanımlarını arttıracak gibi, farklı alanlarda kullanımlarının da önünü açmaktadır (O'Rourke, 2001; Singh, 2009). Yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde en yaygın tekniklerden birisi malzeme üzerine kaplama uygulamasıdır. Lazer, plazma ve

elektrokimyasal destekli kaplama tekniklerine ek olarak termal püskürtme teknikleri de dökme demir malzemelerin kaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Cheng et al., 2013; Fernandes et al., 2012; Lestan et al., 2013; Liu et al., 1997; Maco & Belzunce, 1998; Ocelik et al., 2007). Özellikle maden ve kağıt endüstrisinde kullanılan ve dökme demirden üretilmiş ruloların yüzeyleri termal püskürtme teknikleri ile aşınmaya dayanıklı Tungsten-Karbür-Kobalt (WC-Co) gibi malzemeler ile kaplanmaktadır (Fauchais & Vardelle, 2012; Yoganandh, Natarajan, & Babu, 2013). Otomotiv endüstrisine yönelik araştırma geliştirme faaliyetleri kapsamında da döküm yöntemi ile üretilmiş alüminyum esaslı parçaların üzerine termal püskürtme teknikleri ile çeşitli kaplamalar üretilmekte ve çeşitli testlere tabii tutulmaktadır (Vetter et al., 2005).

Yüksek sıcaklıklarda atmosferik koşullarda oluşan oksidasyon sonucunda ve saldırgan bileşiklere maruz kalan metalik malzemelerin yüzeyinde korozyon ürünü olarak yeni oluşumlar meydana gelmektedir. Bu oluşumlar ana malzemenin yapısını değiştirerek veya bozarak çalışma ortamında sağlanması gereken mekanik özellikleri bertaraf etmektedir.  $V_2O_5$  (Vanadyum pentaoksit) ve  $Na_2SO_4$  (Sodyum sülfat) bileşikleri saldırgan bileşiklere birer örnektir. Gaz türbinlerinde, sıvı yakıtlı fırınlarda ve otomobil motorlarında düşük kaliteli yakıtların içerisinde düşük oranlarda bu bileşikler mevcuttur ve zamanla mekanik parçalar üzerinde birikmektedir. Vanadyum pentaoksit özellikle sodyum sülfat varlığı ile Sodyum Vanadat (sodyum vanadyum oksit) oluşturarak daha agresif hale gelmektedir. Bunun sonucunda ana

malzeme veya kaplama yüzeyindeki elementler ile kimyasal reaksiyona girerek yeni bir korozyon ürünü veya metal oksit tabakaları oluşturabilmektedir (Dudziak et al., 2009; Montero & Galetz, 2018).

MCrAlY (M: Ni, Co veya Ni-Co) esaslı termal püskürtme kaplamalar, gaz türbin motorlarında kullanılan termal bariyer kaplama sistemlerinde bağ katman olarak uygulanmaktadır (Wright & Pint, 2005). Bu kaplamalar yüksek sıcaklığın ve korozif ortamların söz konusu olduğu servis şartlarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu kaplamaların nikel esaslı, kobalt esaslı ve nikel-kobalt esaslı olmak üzere üç farklı kompozisyonu vardır. Yüksek sıcaklık gaz ortamında oksidasyona karşı direnç istenen ortamlarda nikel esaslı (M:Nikel), sıcak gaz korozyonuna karşı direnç istenen ortamlarda ise kobalt esaslı ve hem oksidasyon hem korozyon direnci istenen ortamlarda ise nikel-kobalt esaslı kaplama malzemesinin kullanılması gerekmektedir (Huang et al., 2008; Itoh et al., 2000; Seiersten & Kofstad, 1987). Bu metalik esaslı kaplamalar plazma püskürtme, yüksek hızlı oksi-yakıt (HVOF) yöntemleri ile başarılı şekilde uygulanabilmektedir. Fakat yüksek hızlı oksi-yakıt ile üretilen kaplamalar plazma püskürtme ile üretilen kaplamalara göre daha yoğun, porozitesiz ve daha az metal-oksit içermektedir. Bu durumun sebebi plazma püskürtme işleminde yüksek hızlı oksi-yakıt tekniğine göre partikül sıcaklığının yüksek ve partikül hızının da daha düşük olmasıdır. Bu sebeple metalik kaplamaların üretiminde yüksek hızlı oksi-yakıt en uygun termal püskürtme tekniği olarak bilinmektedir (Davis, 2004; Joshi & Sivakumar, 1991; Shibata et al., 2006).

Yüksek hızlı oksı-yakıt yönteminde oksijen ve yanıcı gaz veya sıvı (propan, hidrojen, kerosen) tabanca da bulunan yanma odasına gönderilir ve burada gazların karışması sağlanır. Karışan ve basınç kazanan gazlar bir nozülde ateşlenir ve yüksek hızlı bir alev jeti elde edilir. Elde edilen bu alev jetine kaplama tozları beslenir ve tozların ısınarak kinetik enerji kazanması sağlanır. Yarı ergiyik hale geçen ve hızlanan tozlar altlık malzemeye püskürtülür ve kaplama birikimi gerçekleşir (Grewal et al., 2011; Koutsky, 2004).

Bu çalışmada; Nikel ve Kobalt esaslı Metco firması tarafından ticari olarak sunulan

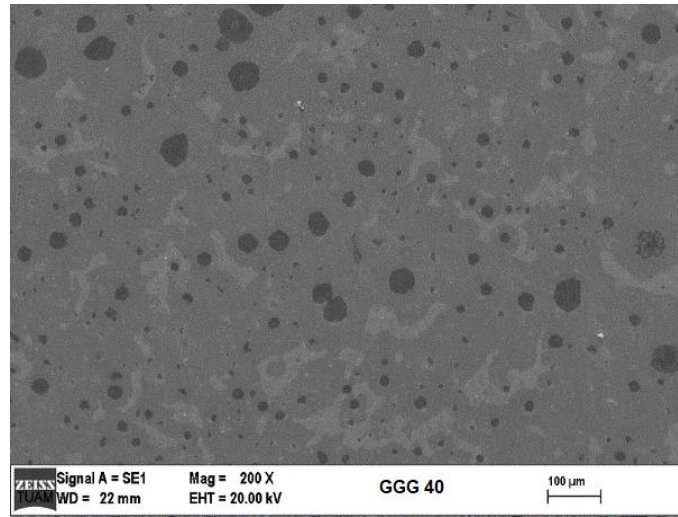
AMDRY 9624 ve AMDRY 9951 kodlu kaplama tozları HVOF yöntemi ile Küresel Grafitli Dökme Demir yüzeyine kaplanarak, kaplama yüzeylerinin 500, 600 ve 700 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tuzlarıyla etkileşimi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada altlık malzeme olarak GGG40 kalite küresel grafitli dökme demirler seçilmiştir. Kullanılan küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de, SEM mikroyapı resimleri de Şekil 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. GGG40 Kalite küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi.

	C	Si	S	Mo	Cu	Mn	P	Fe
GGG40 KGDD	3.850	2.273	0.010	0.001	0.044	0.141	0.048	Kalan



Şekil 1. GGG40 kalite küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı.

10 mm çapında ve yüksekliğindeki silindir şeklinde hazırlanan dökme demir numuneler tüm numunelerin bir kerede kumlara aynı yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi amacı ile çift taraflı bant kullanılarak bir plakaya yapıştırılmış ve

kaplanacak yüzeyleri 50-80 mesh boyutunda alümina kumu ile 150 mm mesafeden kumlama işlemine tabii tutulmuştur. Kumlama işleminden sonra dökme demir numuneler, teknik etanol içerisinde 15 dk ultrasonik temizleyici ile

temizlenmiş ve kumlama işlemi sırasında oluşabilecek kirlilikler giderilmiştir. Oda sıcaklığında kurutulan dökme demir numuneler 3 eksenli CNC tezgâha bağlı bir döner tablaya bağlanmış ve Metco DJ2700 HVOF tabancası ile nikel ve nikel-kobalt

esaslı iki farklı kaplama tozu püskürtülerek kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kaplama tozlarına ait kataloglarda verilen kimyasal bileşim değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kaplama tozlarının kimyasal bileşimi.

	Ni	Cr	Al	Co	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Diğer
<b>Amdry 9624</b>	Kalan	21-23	9-11	-	0.8-1.2	-
<b>Amdry 9951</b>	29-35	18-24	5-11	Kalan	0.1-0.8	1

HVOF tabancası ile alev jeti oluşturmak amacıyla propan, oksijen ve hava karışımı kullanılmıştır. Bu gazlara ait akış hızları ve

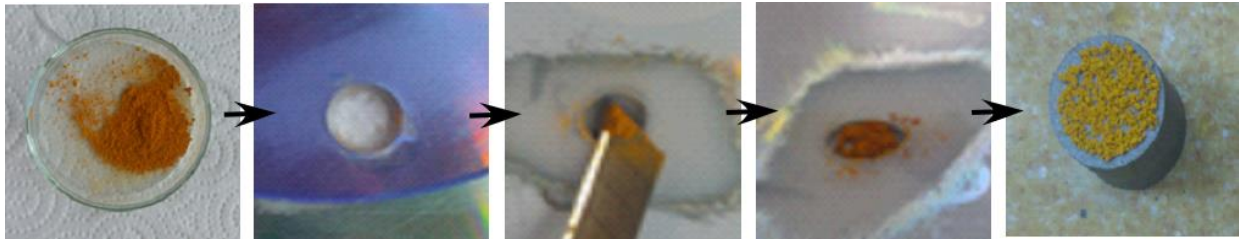
kaplama üretiminde kullanılan diğer parametrelere ait değerler Çizelge 3’te görülmektedir.

Çizelge 3. HVOF işlem parametreleri.

Malzeme	Basınç (bar)			Akış Hızı (normal kübik feet/saat)			İşlem	
	Oksijen	Propan	Hava	Oksijen	Propan	Hava	Sprey mesafesi	Besleme Hızı
<b>Amdry 9624</b> <b>Amdry 9951</b>	10,3	6,2	7,2	24	40	50	250 mm	50 gr/dk

Sıcak korozyon tuzları olarak seçilen V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kütlece %50 olacak şekilde hassas terazide tartılmış ve kuru olarak turbulada 4 saat karıştırılmıştır. Karıştırılan korozyon tuzlarının kaplanmış dökme demir yüzeylerine serilmesi için bir kalıp

oluşturulmuş ve bu kalıp yardımı ile %50 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + %50 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oranında tuz karışımı 16 mg/cm<sup>2</sup> olacak şekilde numunelerin kaplanmış yüzeylerine serilmiştir. Şekil 2’de sıcak korozyon deneyleri için numune hazırlama aşamaları görülmektedir.



Şekil 2. Sıcak korozyon deneyleri için numune hazırlama aşamaları.

Sıcak korozyon deneyleri, kuyu tipi fırında otomobil motorları için ortalama çalışma sıcaklıkları referans alınarak, korozyon tuzu serilmiş numunelerin 500 °C, 600 °C ve 700 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta, 6 saat süreyle bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

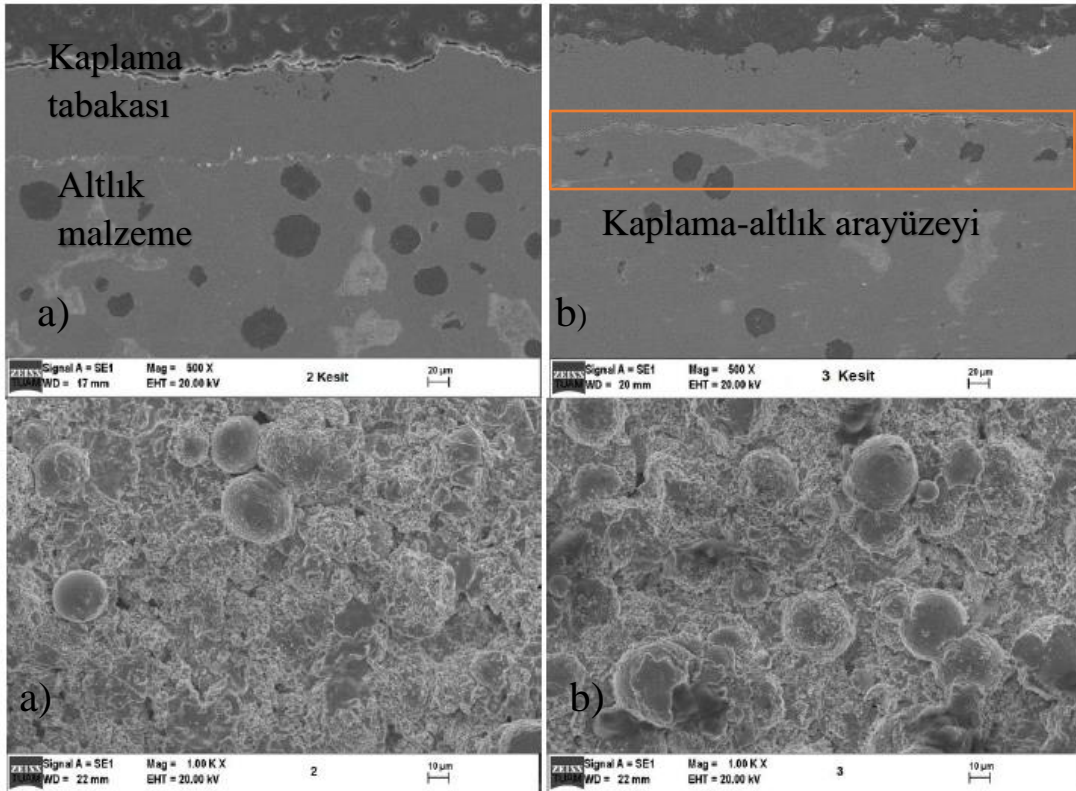
20 °C/dakika sıcaklık artış hızı ile belirtilen süre ve sıcaklıkta bekletilen numuneler fırın içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

Sıcak korozyon tuzları ile kontamine olması sağlanan numunelerin üzerindeki erimiş fazla tuz kalıntıları bir spatula yardımıyla kazınmış ve asıl numune yüzeyinde meydana gelen değişimleri incelemek amacıyla numune yüzeyleri ve kaplama kesitleri sıcak korozyon testleri öncesinde ve sonrasında EDX ekipmanlı SEM (LEO marka 1430 VP) ve XRD (Bruker D8 Advance) ile karakterize edilmiştir. Ayrıca Korozyon testleri öncesinde ve sonrasında numune yüzeylerinden XRD analizleri ( $2\theta=10-100^\circ$ , tarama hızı= $5^\circ/\text{dk}$ ) alınarak kaplama yüzeyinde meydana gelen değişimler anlaşılmasına çalışılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 3'te AMDRY 9624 ve 9951 kodlu tozların GGG40 dökme demir malzeme üzerine HVOF ile püskürtülmesi sonucu elde edilen kaplamalara ait kesit ve yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Dökme demir

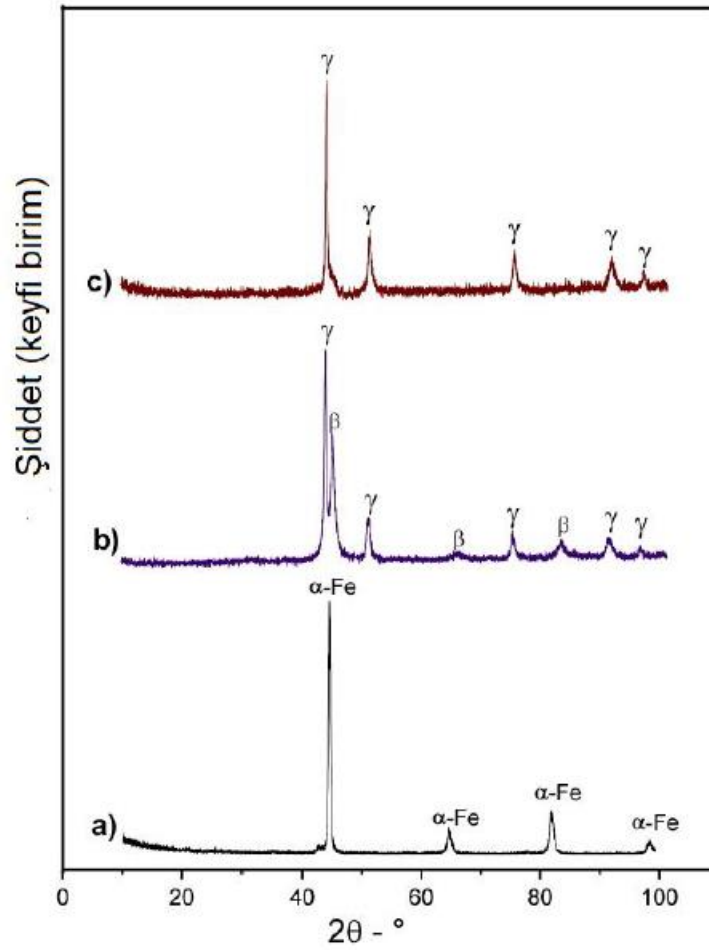
altlık malzemede küresel şekilde rastgele dağılmış grafitler net şekilde görülmektedir (El-Kashif et al., 2003; Faizul Idham, 2003). Her iki toz için de sürekli, yoğun ve çok az poroziteli kaplama tabakası elde edilmiştir. Kaplama kesitlerinden elde edilen SEM resimlerinden tabaka kalınlığı her iki kaplama malzemesi için de yaklaşık  $80\ \mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Kaplama tabakası ile dökme demir altlık malzeme arasında sürekli bir yapılaşma sağlanmıştır. Yüzey SEM resimleri incelendiğinde ise tozların HVOF alev jetinden geçmesi ile iyi bir ergime sağlandığı ve altlık malzemeye ulaştığında katılarak kaplama oluşumu için birikmenin meydana geldiği görülmektedir. Fakat az da olsa HVOF alev jetinden geçerken tam ergimeden altlık malzemeye ulaşmış ve kaplama yüzeyine tutunmuş küresel şekilli ergimemiş partiküllerin varlığı dikkat çekmektedir (Seo & Ogawa, 2012; Taheri et al., 2012).



Şekil 3. Kaplamaların kesit ve yüzey SEM görüntüleri a) AMDRY 9624 kaplama, b) AMDRY 9951 kaplama.

Küresel grafitli dökme demir numunelerin kaplama işleminden önceki ve iki farklı malzeme ile kaplanması sonucu yüzeyden elde edilen X-Işınları Difraksiyonu (XRD) kırınım grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4a kaplama öncesi dökme demirden elde edilen XRD grafiğidir ve  $\alpha$ -Fe fazına ait XRD pikleri (JCPDS kart no: 03-65-4899) elde edilmiştir (Faizul Idham, 2003). Şekil 4b'de ise AMDRY 9624 (NiCrAlY) tozu ile elde edilen kaplamaya ait XRD grafiği verilmiştir. Bu XRD grafiğine göre

HVOF yöntemi ile üretilen kaplama  $\beta$  ve  $\gamma$  olmak üzere iki farklı fazdan oluşmaktadır.  $\beta$  fazı, Cr ve Ni elementlerinin tek başına veya birlikte Al ile yaptığı intermetalik bileşiklerdir ( $Al_3Ni_2$ ,  $Al_3Ni$  ve  $AlNi$ , JCPDS kart no'ları sırasıyla 00-002-1265, 00-002-0416, 03-065-0420) ve hacim merkezli kübik (HMK) kafes yapısındadır.  $\gamma$  fazı ise Co, Ni, Cr ve Al elementlerinin katı çözeltilisidir ve yüzey merkezli kübik (YMK) kafesi yapısındadır (Saeidi et al., 2009, 2011).



Şekil 4. a) Kaplamasız GGG40 dökme demir, b) AMDRY 9624 kaplama, c) AMDRY 9951 kaplama XRD analizi sonuçları.

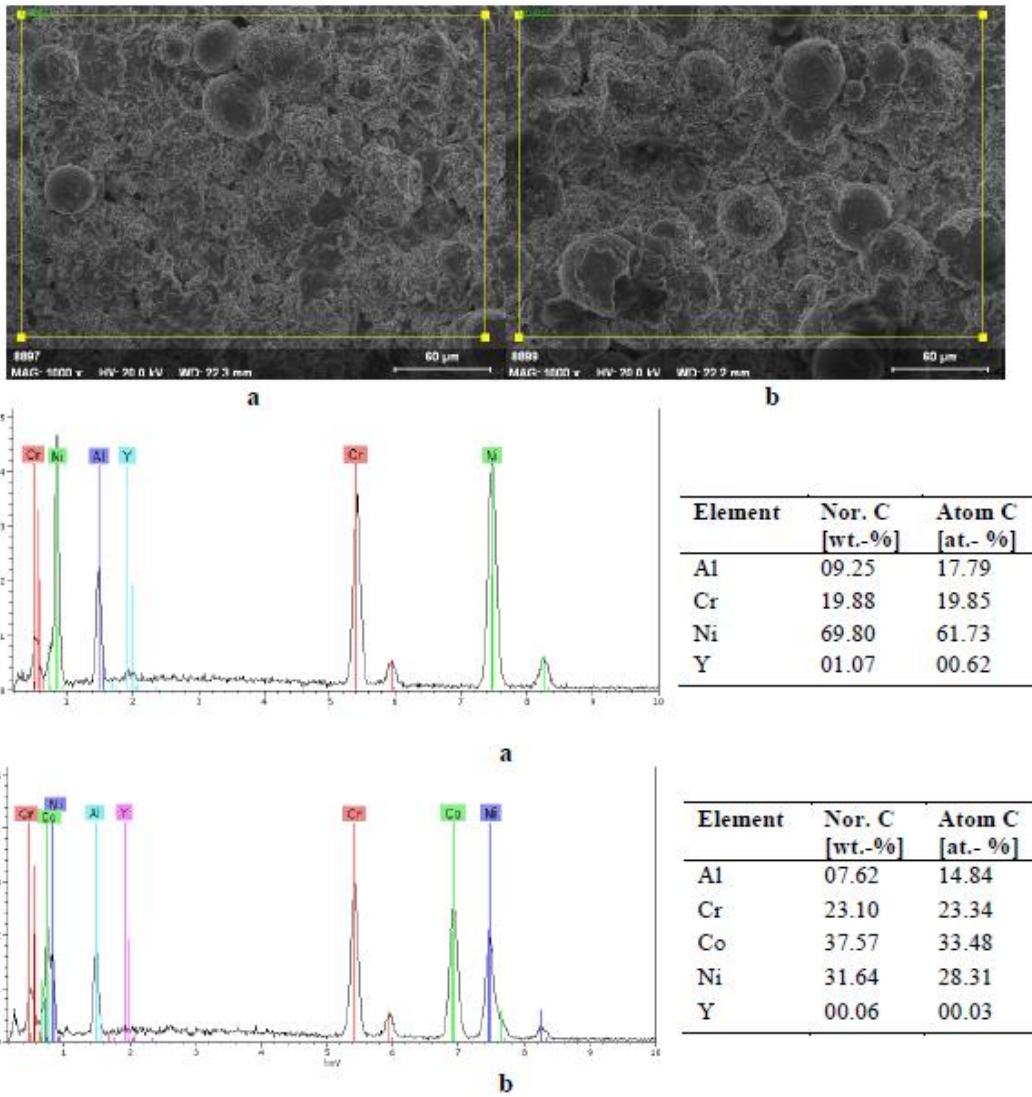
Şekil 4c'de ise AMDRY 9951 tozu (CoNiCrAlY) ile üretilmiş kaplamaya ait XRD grafiği görülmektedir. Elde edilen kaplama,  $\gamma$  katı çözeltilisi ve  $\beta$  ( $Ni,Co$ ) $_3Al_4$ , AlCo, JCPDS kart no'ları sırasıyla: 00-044-

0922, 00-029-0021) intermetalik fazlarını ihtiva etmektedir. Ancak  $\beta$  fazı çok düşük seviyeli pikler halinde bulunduğu için belirgin bir konum işaretlenemediğinden

grafik üzerinde belirtilememiştir (Saeidi et al., 2009, 2011).

Şekil 5'te HVOF ile dökme demir altlıklar üzerine üretilmiş iki farklı kaplama yüzeylerinden elde edilen EDX analizi sonuçları görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde her iki kaplama için elde edilen sonuçların, tozların başlangıç kimyasal kompozisyonlarına yakın olduğu görülmektedir. Tozların

HVOF alev jetinden geçmesi sonucu altlığa ulaşana kadar atmosferde bulunan azot ve oksijen gibi elementler ile reaksiyona girmediği anlaşılmıştır. Kaplama üretimi esnasında oksitlerin oluşmaması bu tip kaplamaların yüksek sıcaklık performanslarını önemli derecede arttırmaktadır. Ayrıca bu durum kullanılan HVOF işlem parametrelerinin de uygunluğunu kanıtlamaktadır (Taheri et al., 2012).



Şekil 5. a) AMDRY 9624 kaplama, b) AMDRY 9951 kaplamaların EDX yüzey alan analizi sonuçları.

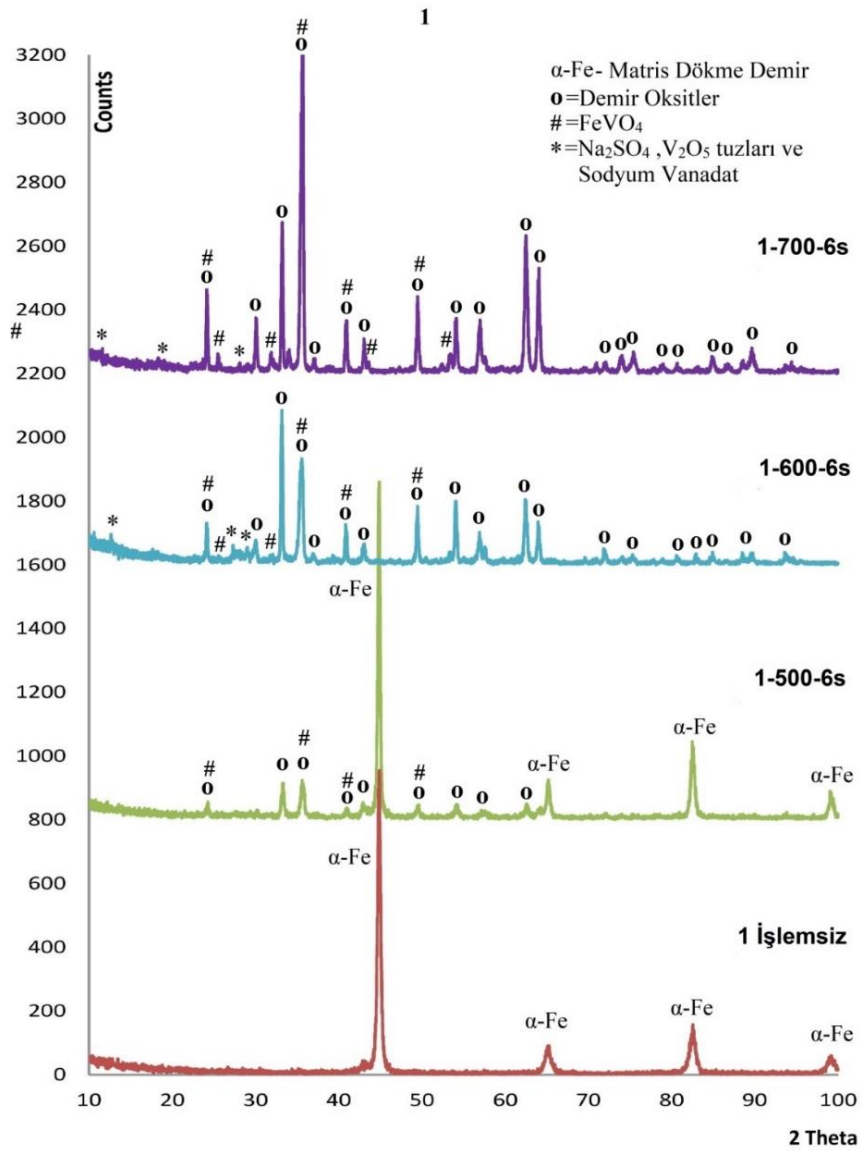
Şekil 6'da kaplamasız dökme demir numunelerin 500, 600 ve 700 °C sıcaklıklarda, 6 saat süreyle, ağırlıkça

%50V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + %50Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tuz karışımı ile yapılan sıcak korozyon deneyleri sonrası

elde edilen XRD analiz sonuçları verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar başlangıç dökme demir numuneden elde edilen XRD kırınım deseni ile karşılaştırıldığında tüm sıcaklıklarda dökme demirin muhtevasında bulunan demirin atmosferdeki oksijen ve korozyon tuzlarından  $V_2O_5$  ile reaksiyona girmesi sonucu  $Fe_xO_y$  demir oksitleri ve  $FeVO_4$  demir vanadat (JCPDS kart no: 00-029-0735) oluşturduğu tespit edilmiştir. Korozyon tuzlarının ergime noktaları

düşünüldüğünde ( $V_2O_5$ -690 °C,  $Na_2SO_4$ -884°C) sıcaklığın 500 °C'den 700 °C'ye artmasıyla korozyon tuzlarının yüzeye tutunma ve yayılma rejimi artmış ve 600 ve 700 °C sıcaklıklarda yapılan korozyon deneyleri sonucu elde edilen XRD analiz sonuçlarında korozyon tuzlarına ait XRD pikleri de belirlenmiştir. Ayrıca bu durum XRD grafiklerinde dökme demir malzemeye ait  $\alpha$ -Fe piklerinin de yok olmasına sebep olmuştur (Montero & Galetz, 2018).

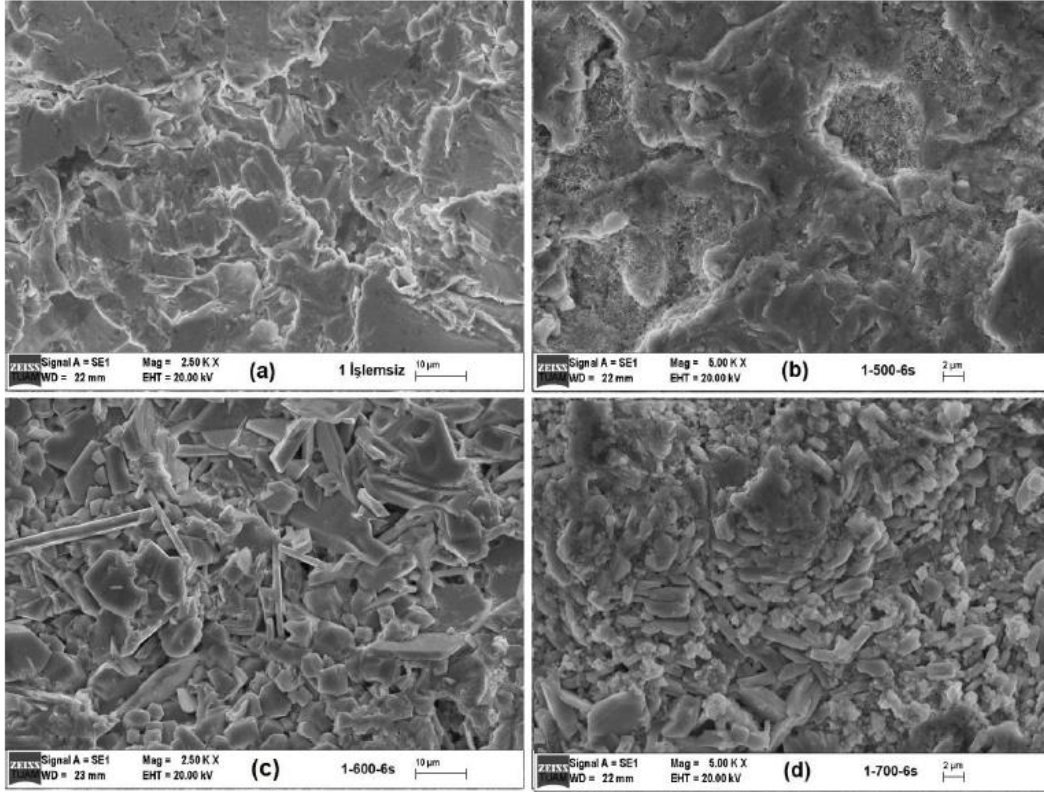


Şekil 6. Kaplamasız GGG40 küresel grafitli dökme demirin sıcak korozyon deneyi sonrası XRD grafiklerinin karşılaştırılması.



Şekil 7’de kaplamasız küresel grafitli dökme demirler için sıcak korozyon deneyleri öncesi ve sonrasında yüzey SEM resimleri verilmiştir. Elde edilen SEM resimleri değerlendirildiğinde 500 °C sıcaklıkta yapılan korozyon deneyi sonrasında yüzeyde belirgin herhangi bir korozyon ürününün oluşmadığı görülmektedir. Sıcaklığın 600 ve 700 °C’ye

çıkması ile yüzeyde çubuksu ve elips şeklinde korozyon ürünlerinin oluştuğu görülmüştür. Bu sıcaklıklarda elde edilen XRD analiz sonuçları da düşünüldüğünde bu korozyon ürünlerinin FeVO<sub>4</sub> olduğu anlaşılmaktadır (Jegadeeswaran et al., 2013).



Şekil 7. Kaplamasız GGG40 küresel grafitli dökme demirin sıcak korozyon deneyi sonrası SEM görüntüleri a)1-ışlemsiz, b)1-500-6s, c)1-600-6s, d)1-700-6s.

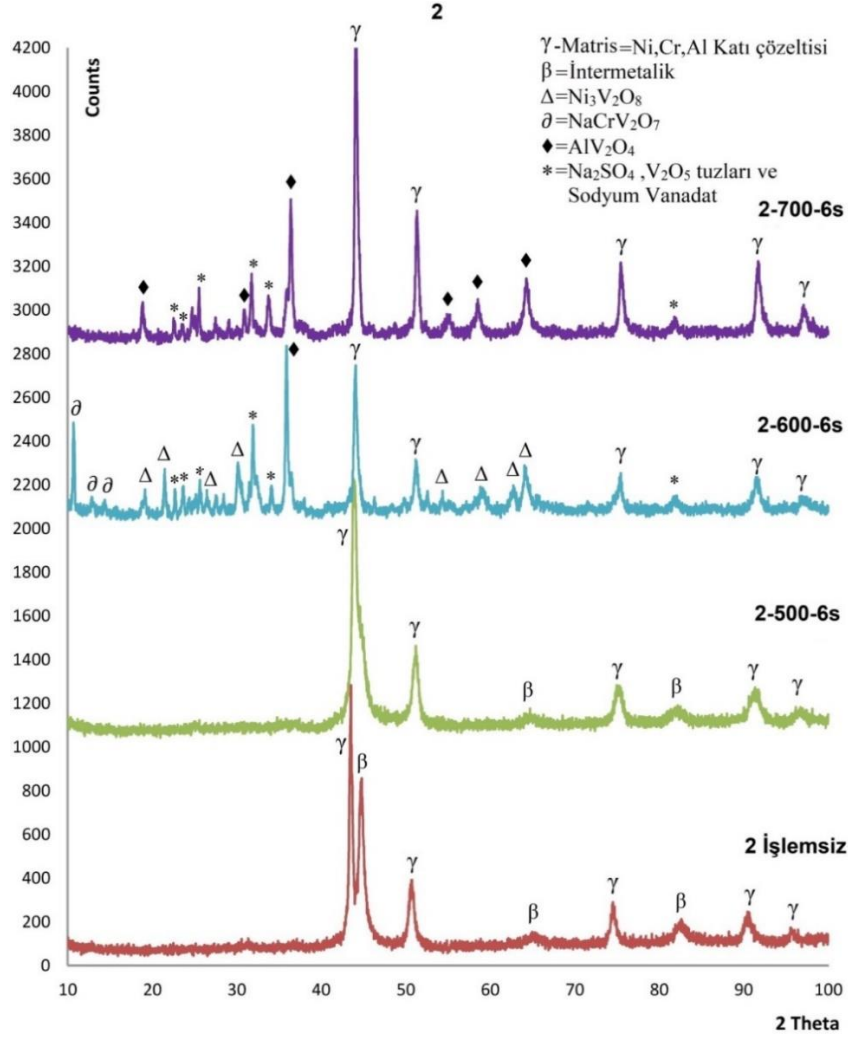
Şekil 8’de AMDRY 9624 (NiCrAlY) metalik tozu ile kaplanmış GGG40 KGDD’in %50 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + %50 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tuz karışımına maruz kalarak sıcak korozyon deneyine tabi tutulmuş numunelerinin XRD diyagramları karşılaştırmalı şekilde verilmiştir.

500 °C sıcaklıkta gerçekleşen sıcak korozyon deneyinde kaplamanın korozif tuzlarından etkilenmediği, herhangi bir bileşik oluşturmadığı ve işlemsiz numuneye

benzer şekilde XRD piklerinin meydana geldiği görülmüştür. Sıcaklığın 600 °C’ye çıkması ile Ni, Cr ve Al’un oluşturduğu katı çözümleri olan  $\gamma$ -matris fazının korozyon tuzları ile etkileşimi sonucu Ni<sub>3</sub>V<sub>2</sub>O<sub>8</sub> ( $\Delta$ , JCPDS kart no:01-070-1384), NaCrV<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ( $\partial$ , JCPDS kart no:00-036-0256) ve AlV<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ( $\diamond$ , JCPDS kart no:01-077-2131) Metal Vanadat bileşiklerine ait pikler XRD grafiklerinde belirlenmiştir. 700 °C sıcaklıkta sıcak korozyon deneyi yapılan numunede ise  $\gamma$ -matris fazı ve AlV<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ( $\diamond$ )

bileşiğine ait XRD pikleri tespit edilmiştir. 600 °C ve 700 °C sıcaklıkta gerçekleşen sıcak korozyon numunelerinde ‘\*’ şeklinde gösterilen kalıntı tuzlar ve iki tuzun birlikte oluşturduğu sodyum vanadat bileşiklerine ait pikler de dikkat çekmektedir. Genel olarak XRD karşılaştırmalı diyagramda numuneye uygulanan AMDRY 9624 metalik kaplamasının 500 °C sıcaklıkta

atmosferik ortamdan ve korozif tuzlardan etkilenmediği gözlemlenmiştir. Fakat 600 °C ve 700 °C sıcaklıkta ise saldırgan tuzların etkisiyle kaplama içerisindeki metallerin korozif tuzlarla etkileşime girerek korozyon ürünü metal-vanadat bileşiklerini meydana getirdiği tespit edilmiştir (Jegadeeswaran et al., 2013; Montero & Galetz, 2018).



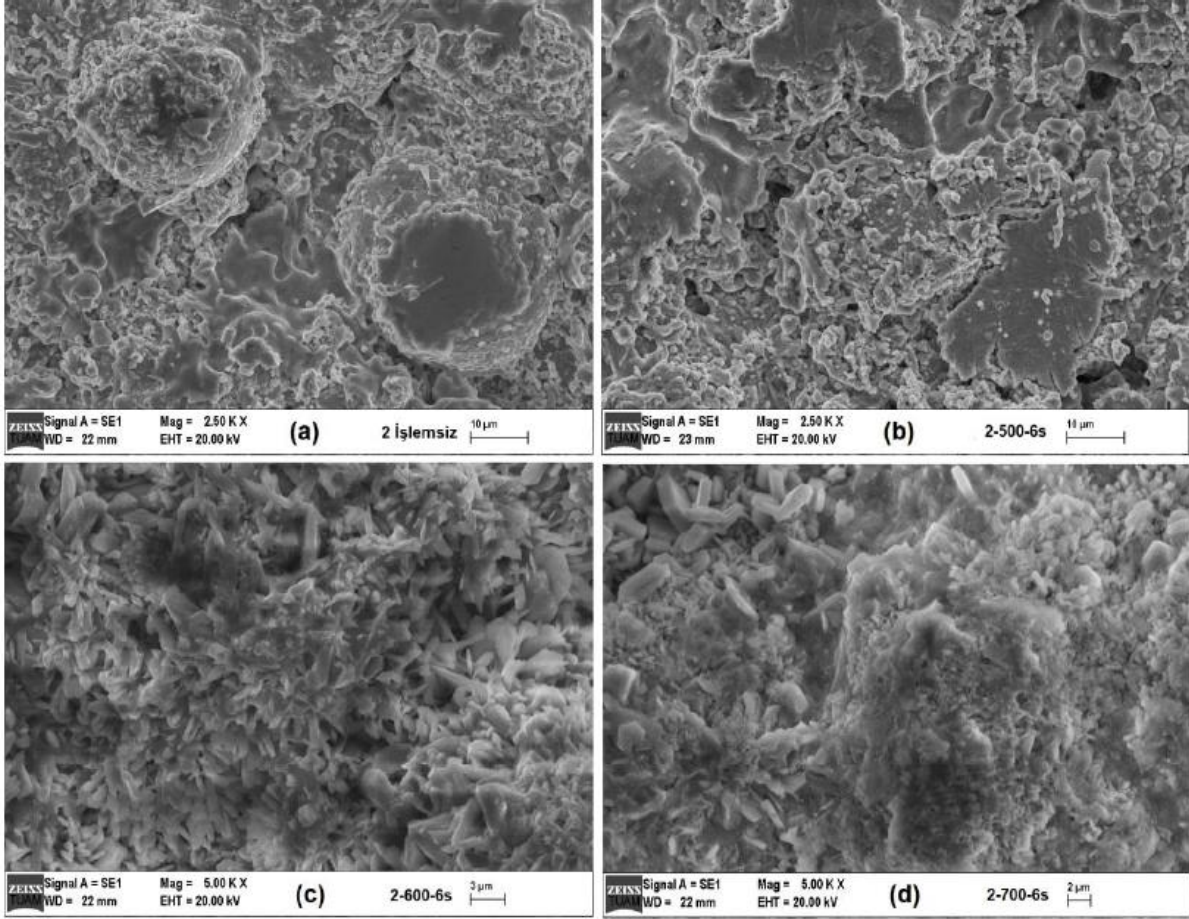
Şekil 8. AMDRY 9624 metalik toz kaplanmış GGG40 (2) küresel grafitli dökme demirin sıcak korozyon deneyi sonrası XRD grafiklerinin karşılaştırılması.

AMDRY 9624 tozu kullanılarak HVOF tekniği ile kaplanmış dökme demirlerin üç farklı sıcaklıkta yapılmış korozyon deneyleri sonrası elde edilen yüzey SEM resimleri Şekil 9’da görülmektedir. Şekil 9a’da verilen sıcak korozyon deneyi yapılmamış numune ile sıcak korozyon

deneyi yapılmış numuneler karşılaştırıldığında 500 °C sıcaklıkta kaplama yüzeyinde belirgin herhangi bir değişimin meydana gelmediği görülmektedir. Fakat sıcak korozyon deney sıcaklığının 600 ve 700 °C'lere çıkması ile yüzeyde korozyon tuzlarının yayılması ve

karişik şekilli metal vanadat korozyon ürünlerinin oluşumu ile değişimler meydana geldiği görülmektedir. Elde edilen SEM resimleri, XRD analizlerinde belirlenen sıcak korozyon ürünlerinin

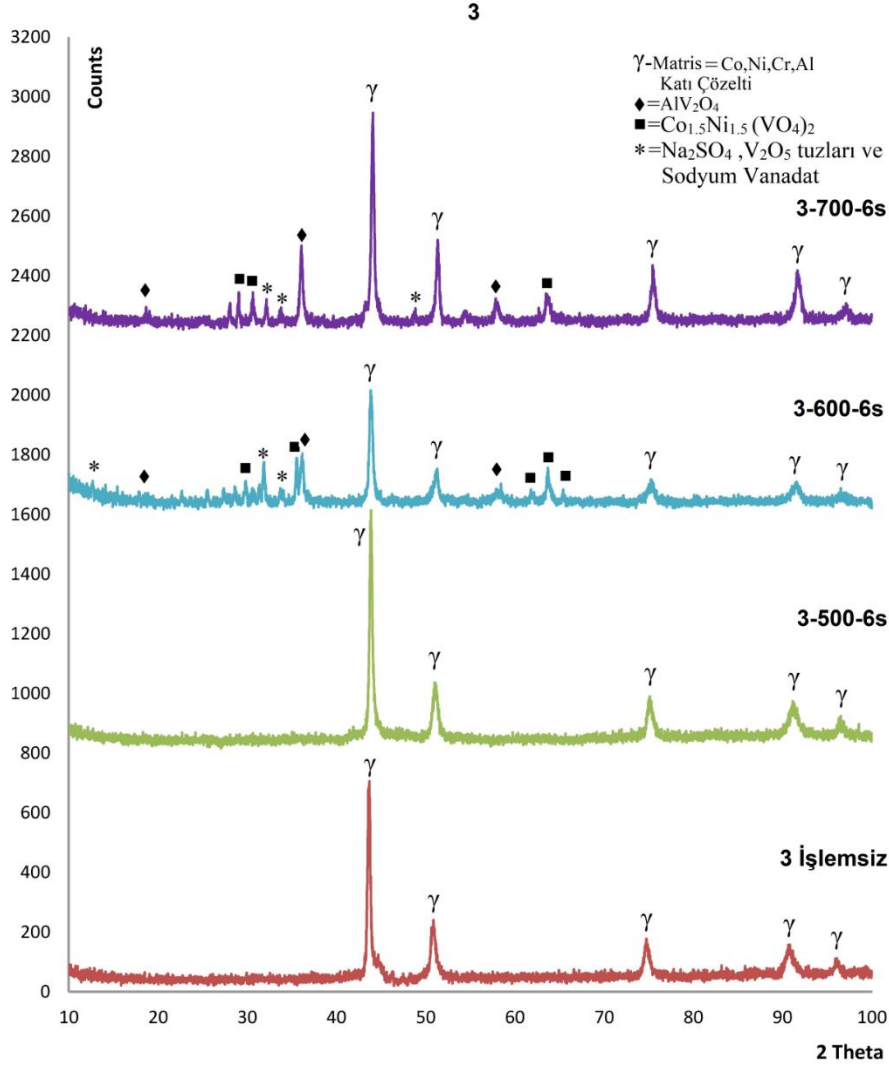
oluşumunu görsel olarak ta desteklemektedir (Jegadeeswaran et al., 2013).



Şekil 9. AMDRY 9624 metalik toz kaplamalı GGG40 küresel grafitli dökme demirin sıcak korozyon deneyi sonrası SEM görüntüleri a) 2-ışlemsiz, b) 2-500-6s, c) 2-600-6s, d) 2-700-6s.

Şekil 10'da AMDRY 9951 (CoNiCrAlY) metalik tozu ile kaplanmış GGG40 KGDD'in %50 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + %50 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tuz karışımı ile sıcak korozyon deneyine tabi tutulmuş numunelerden elde edilen XRD diyagramları görülmektedir. 500 °C sıcaklıkta gerçekleşen sıcak korozyon deneyinde kaplamanın korozif tuzlardan etkilenmediği, herhangi bir bileşik oluşturmadığı ve kaplanmış numuneye benzer şekilde XRD piklerinin meydana geldiği görülmektedir. 600 ve 700 °C sıcaklıkta, sıcak korozyon deneyine tabii

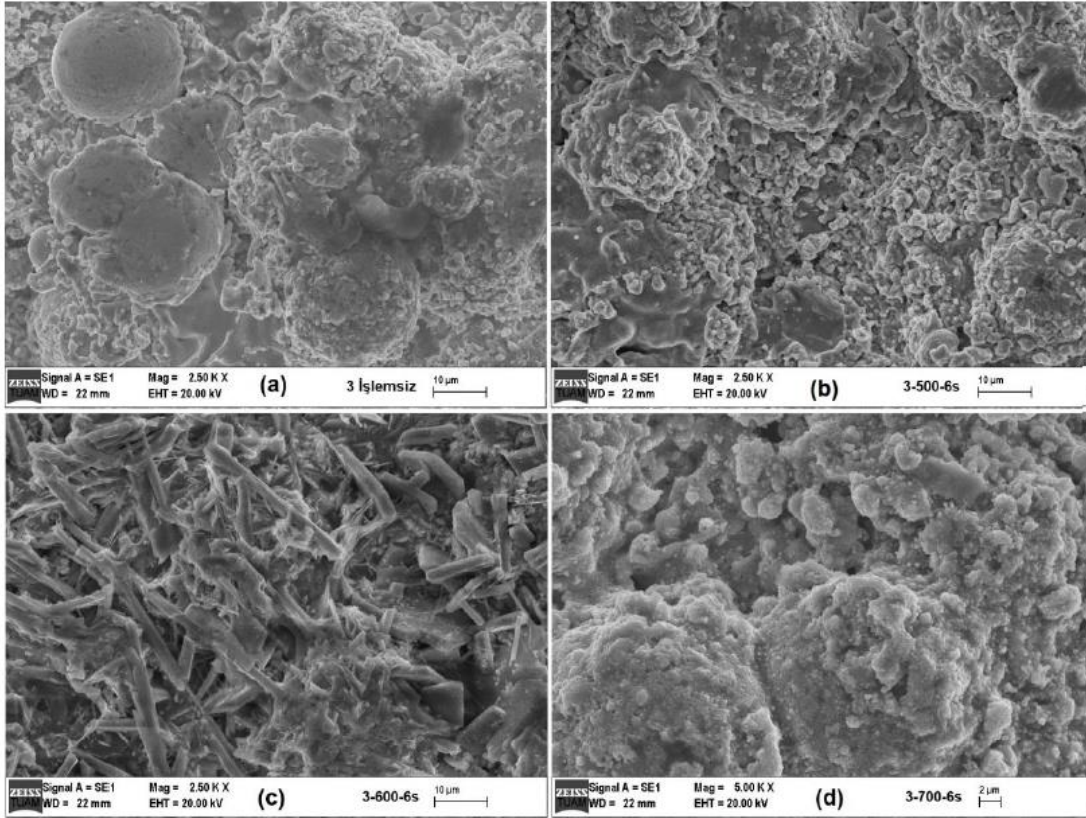
tutulan numunelerde Co, Ni, Cr ve Al'un oluşturduğu katı çözelti olan  $\gamma$ -matris fazının yanında Co<sub>1.5</sub>Ni<sub>1.5</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (■, JCPDS kart no:01-076-2046) ve AlV<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (◆, JCPDS kart no: 01-077-2131) metal vanadat bileşiklerine ait pozisyonlarda pikler meydana geldiği gözlemlenmiştir. 600 °C ve 700 °C sıcaklıkta gerçekleşen sıcak korozyon numunelerinde ‘\*’ şeklinde gösterilen kalıntı tuzlar ve iki tuzun birlikte oluşturduğu Sodyum Vanadat bileşiklerine ait pikler de tespit edilmiştir(Jegadeeswaran et al., 2013; Montero & Galetz, 2018).



**Şekil 10.** AMDRY 9951 metalik toz kaplanmış GGG40 (3) küresel grafitli dökme demirin sıcak korozyon deneyi sonrası XRD grafikleri karşılaştırılması.

Şekil 11a'da korozyon deneyleri öncesi kaplama yüzey SEM görüntüsü, 11b'de 500 °C, 11c'de 600 °C ve 11d resminde ise 700 °C sıcaklıkta sıcak korozyon deneylerine tabii tutulmuş numunelerin yüzeylerine ait SEM resimleri görülmektedir. Şekil 11b'de 500 °C de yapılan korozyon deneyinde kaplama yüzeyinde herhangi bir korozyon ürünü meydana gelmemiştir. Bu durumu XRD analizleri de desteklemektedir. Şekil 11c'de ise deney sıcaklığının 600 °C'ye çıkması ile kaplama yüzeyinde meydana gelen metal-vanadat bileşiklerine ait korozyon ürünleri kolonsal şekilde net

olarak görülmektedir. Bu bileşiklerin neler olduğu AMDRY 9951 ile kaplanmış numunelerin XRD analizlerinin değerlendirildiği kısımda detaylı açıklanmıştır. Sıcak korozyon deney sıcaklığının 700 °C'ye çıkması ile yüzeyde yine korozyon ürünleri oluşmuş ve bu ürünler XRD analizi ile tespit edilmiştir. Fakat yüzey SEM çalışmalarında numune temizleme işlemi kaynaklı olarak korozyon ürünleri yüzeyde kalmadığından ve SEM resimleri ile net olarak belirlenememiştir (Jegadeeswaran et al., 2013).



Şekil 11. AMDRY 9951 metalik toz kaplamalı GGG40 küresel grafitli dökme demirin sıcak korozyon deneyi sonrası SEM görüntüleri a) 3-İşlemsiz, b) 3-500-6s, c) 3-600-6s, d) 3-700-6s.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir;

- HVOF yöntemi ile KGDD üzerine Nikel ve Nikel-Kobalt esaslı tozların kaplanması sonucunda sürekli, yoğun ve çok az poroziteli kaplama tabakası elde edilmiştir.
- Nikel esaslı toz ile üretilen kaplamaların matris ve intermetalik olmak üzere iki faz ihtiva ettiği, Nikel-Kobalt esaslı toz ile üretilen kaplamanın ise tek faz ihtiva ettiği belirlenmiştir.
- Sıcak korozyon deneyinde uygulanan Nikel ve Nikel-Kobalt esaslı kaplama tabakalarının altlık malzemeyi korozif etkilerden koruduğu, altlık malzeme ile korozif ortam arasında etkileşim olmadığı görülmüştür.

- 500 °C sıcaklıkta gerçekleşen korozyon deneyinde iki kaplama türünün de korozif ortamdan etkilenmeyerek kimyasal ve fiziksel yapılarını koruduğu tespit edilmiştir.
- 600 °C ve 700 °C sıcaklıklarda uygulanan sıcak korozyon deneylerinde ise her iki kaplama için metal-vanadat bileşiklerinin korozyon ürünü olarak meydana geldiği ve bu korozyon ürünlerinin yüzeyde çubuksu ve karmaşık şekilli bir formda oluştuğu belirlenmiştir.

#### 5. Kaynaklar

Cheng, X., Hu, S. B., Song, W. L., & Xiong, X. S. (2013). Improvement in corrosion

- resistance of a nodular cast iron surface modified by plasma beam treatment. *Applied Surface Science*, 286, 334-343. doi:10.1016/j.apsusc.2013.09.083
- Davis, J. R. (2004). Handbook of Thermal Spray Technology. *ASM International*, 338.
- Dudziak, T., Du, H. L., Datta, P. K., Wilson, A., Ross, I. M., Moser, M., & Braun, R. (2009). Sulphidation/oxidation behaviour of TiAlCr and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated Ti45Al8Nb alloy at 750 degrees C. *Corrosion Science*, 51(5), 1189-1196. doi:10.1016/j.corsci.2009.02.015
- El-Kashif, E., El-Banna, E., & Riad, S. (2003). Stepped austempering of GGG 40 ductile cast iron. *ISIJ international*, 43(7), 1056-1062.
- Faizul Idham, M. A., Bulan & Syarif, Junaidi & Jaffar, Ahmed & Alias, Siti & Saad, Nor. (2003). Microstructure and XRD of Ductile Iron Using Annealing-Tempering Heat Treatment Process. *Applied Mechanics and Materials*, 393, 83-87.
- Fauchais, P., & Vardelle, A. (2012). Thermal sprayed coatings used against corrosion and corrosive wear. In *Advanced plasma spray applications: InTech*.
- Fernandes, F., Cavaleiro, A., & Loureiro, A. (2012). Oxidation behavior of Ni-based coatings deposited by PTA on gray cast iron. *Surface & Coatings Technology*, 207, 196-203. doi:10.1016/j.surfcoat.2012.06.070
- Grewal, P. S., Chawla, V., & Grewal, J. S. (2011). High Velocity Oxy-fuel Sprayed Coatings- a Review. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 47(2), 30-36.
- Huang, Z. W., Wang, Z. G., Zhu, S. J., Yuan, F. H., & Wang, F. G. (2008). Effect of HVOF sprayed MCrAlY coating on thermomechanical and isothermal fatigue life of superalloy M963. *Surface Engineering (Icse 2007)*, 373-374, 23-+. doi:DOI 10.4028/[www.scientific.net/KEM.373-374.23](http://www.scientific.net/KEM.373-374.23)
- Itoh, Y., Saitoh, M., & Tamura, M. (2000). Characteristics of MCrAlY coatings sprayed by high velocity oxygen-fuel spraying system. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-Transactions of the Asme*, 122(1), 43-49. doi:DOI 10.1115/1.483173
- Jegadeeswaran, N., Ramesh, M., & Bhat, K. U. (2013). Combating Corrosion Degradation of Turbine Materials Using HVOF Sprayed 25%(Cr 3 C 2-25 (Ni20Cr))+ NiCrAlY Coating. *International Journal of Corrosion*.
- Joshi, S. V., & Sivakumar, R. (1991). Particle Behavior during High-Velocity Oxy Fuel Spraying. *Surface & Coatings Technology*, 50(1), 67-74. doi:DOI 10.1016/0257-8972(91)90195-3
- Koutsky, J. (2004). High Velocity Oxy-Fuel spraying. *Journal of Materials Processing Technology*, 157, 557-560. doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.07.114
- Lestan, Z., Milfelner, M., Balic, J., Brezocnik, M., & Karabegovic, I. (2013). Laser deposition of Metco 15E, Colmony 88 and VIM CRU 20 powders on cast iron and low carbon steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(9-12), 2023-2028. doi:10.1007/s00170-012-4478-4
- Liu, J. L., Shi, G. Q., Ding, P. D., Ye, H., & Ou, Z. X. (1997). Features of laser alloying of grey cast iron. *Lasers in Engineering*, 6(2), 81-101.
- Maco, A. L., & Belzunce, F. J. (1998). Laser surface hardening of gray cast irons. *Revista De Metalurgia*, 34(2), 126-130. doi:DOI 10.3989/revmetalm.1998.v34.i2.674
- Montero, X., & Galetz, M. C. (2018). Sulfate–Vanadate-Induced Corrosion of Different Alloys. *Oxidation of Metals*, 89(3), 499-516. doi:10.1007/s11085-017-9831-4
- O'Rourke, R. (2001). Cast iron: The engineered metal. *Advanced Materials & Processes*, 159(1), 65-68.

- Ocelik, V., de Oliveira, U., de Boer, M., & de Hosson, J. T. M. (2007). Thick Co-based coating on cast iron by side laser cladding: Analysis of processing conditions and coating properties. *Surface & Coatings Technology*, 201(12), 5875-5883. doi:10.1016/j.surfcoat.2006.10.044
- Saeidi, S., Voisey, K. T., & McCartney, D. G. (2009). The Effect of Heat Treatment on the Oxidation Behavior of HVOF and VPS CoNiCrAlY Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*, 18(2), 209-216.
- Saeidi, S., Voisey, K. T., & McCartney, D. G. (2011). Mechanical Properties and Microstructure of VPS and HVOF CoNiCrAlY Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*, 20(6), 1231-1243.
- Seiersten, M., & Kofstad, P. (1987). Sodium Vanadate-Induced Corrosion of Nickel and MCrAlY Coatings on Inconel-600. *Materials Science and Technology*, 3(7), 576-583. doi:10.1080/02670836.1987.11782270
- Seo, D., & Ogawa, K. (2012). Isothermal Oxidation Behavior of Plasma Sprayed MCrAlY Coatings. In *Advanced Plasma Spray Applications: InTech*.
- Shibata, M., Kuroda, S., Watanabe, M., & Sakamoto, Y. (2006). Oxidation property of CoNiCrAlY coatings prepared by various thermal spraying techniques. *High-Temperature Oxidation and Corrosion 2005*, 522-523, 339-344. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.522-523.339
- Singh, R. (2009). Cast Iron Metallurgy. *Materials Performance*, 48(9), 58-61.
- Taheri, M., Valefi, Z., & Zangeneh-Madar, K. (2012). Influence of HVOF process parameters on microstructure and bond strength of NiCrAlY coatings. *Surface Engineering*, 28(4), 266-272. doi:10.1179/1743294411Y.0000000024
- Vetter, J., Barbezat, G., Crummenauer, J., & Avissar, J. (2005). Surface treatment selections for automotive applications. *Surface & Coatings Technology*, 200(5-6), 1962-1968. doi:10.1016/j.surfcoat.2005.08.011
- Wright, I. G., & Pint, B. A. (2005). Bond coating issues in thermal barrier coatings for industrial gas turbines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part a-Journal of Power and Energy*, 219(A2), 101-107. doi:10.1243/095765005x6836
- Yoganandh, J., Natarajan, S., & Babu, S. P. K. (2013). Erosion Behaviour of WC-Co-Cr Thermal Spray Coated Grey Cast Iron under Mining Environment. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 66(4), 437-443. doi:10.1007/s12666-013-0262-x