



Makale / Research Paper

Çevrimli ve İzotermal Sıcak Korozyonun Nikel Esaslı Süper Alaşım Malzemeye Etkisi

Kadir Mert DÖLEKER^{1*}, Abdullah Cahit KARAOĞLANLI²

^aOndokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 55280 Samsun/TÜRKİYE

^bBartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 74100 Bartın/TÜRKİYE

*mertdoleker@gmail.com

Received/Geliş: 25.02.2020

Accepted/Kabul: 20.04.2020

Öz: Nikel esaslı süper alaşımlar gaz türbinleri, nükleer reaktörler, jeneratörler gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Mekanik dayanım ve korozyon direncinin önemli olduğu alanlarda özellikle tercih edilirler. Sıcak korozyon, yüksek sıcaklık uygulamalarında oldukça yıpratıcı bir hasar türüdür. Sıcak korozyonda, erimiş tuzlar reaktif bileşenlerle kolayca reaksiyona girer ve iş parçalarında erken hasara neden olur. Bu çalışmada, nikel bazlı süper alaşım olarak Inconel 718, sıcak korozyon testlerine tabi tutulmuştur. % 50 V₂O₅-50% Na₂SO₄ karışımları korozyon bileşeni olarak kullanılmıştır. 900 ° C’ de, 18 saat süreyle çevrimli ve izotermal sıcak korozyon testleri uygulanmıştır. Inconel 718’ de oluşan korozyon ürünleri ve mikroyapısal değişiklikler, sıcak korozyon testlerinden sonra taramalı elektron mikroskopu (SEM), SEM-Enerji Dağılımlı X-Işını (EDX), SEM-haritalaması ve X-Işını Kırınımı (XRD) analizleri ile karakterize edilmiştir. İzotermal ve çevrimli sıcak korozyon testleri sonunda, çevrimli olarak sıcak korozyona maruz kalan Inconel 718’ in hasardan daha çok etkilendiği görülmüştür. Meydana gelen korozyon ürünleri ve hasar mekanizması bakımından ise benzer sonuçlar gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sıcak korozyon; Inconel 718; Na₂SO₄; V₂O₅; Ergimiş tuz

The Influence of Cyclic and Isothermal Hot Corrosion on Nickel Based Superalloy

Abstract: Nickel-based superalloys have a wide range of usage area such as gas turbines, nuclear reactors, generators. They are especially preferred in areas where mechanical strength and corrosion resistance are important. Hot corrosion is a highly corrosive type of damage in high temperature applications. In hot corrosion, molten salts easily react with reactive components, causing premature damage to the workpieces. In this study, Inconel 718 was subjected to hot corrosion tests as a nickel-based superalloy. 50% V₂O₅-50% Na₂SO₄ mixtures were used as corrosion salt. Cyclic and isothermal hot corrosion tests were carried out at 900 ° C for 18 hours. Corrosion products and microstructural changes formed in Inconel 718 were characterized by scanning electron microscopy (SEM), SEM-Energy Dispersive X-Ray (EDX), SEM-mapping and X-Ray Diffraction (XRD) analysis after hot corrosion tests. At the end of the isothermal and cyclic hot corrosion tests, Inconel 718, which has been subjected to cyclic hot corrosion, has been found to be more affected by the damage. Similar results were observed in terms of the corrosion products and the damage mechanism.

Keywords: Hot corrosion; Inconel 718; Na₂SO₄; V₂O₅; Molten salt.

1. Giriş

Süper alaşım malzemeler yüksek sıcaklıklarda mekanik, korozyon, oksidasyon ve sürünme gibi hasarlara karşı üstün direnç gösteren alaşım gruplarıdır [1]. Yaygın olarak demir, nikel ve kobalt

Bu makaleye atıf yapmak için

Döleker, K. M., Karaoğlanlı, A. C. “Çevrimli ve İzotermal Sıcak Korozyonun Nikel Esaslı Süper Alaşım Malzemeye Etkisi” El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7 (2); 763-772.

How to cite this article

Doleker, K. M., Karaoglanli, A. C. “Influence of Cyclic and Isothermal Hot Corrosion on a Nickel Based Superalloy ” El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020 7 (2); 763-772.

esaslı üç tip süper alaşım grubu kullanılmaktadır. Belirtilen element miktarının fazlalığı o alaşım grubuna adını vermektedir. Demir esaslı alaşımlar eski dönemlerde tercih edilen nispeten nikel ve kobalt esaslılara göre daha zayıf özelliklere sahiptirler. Kobalt esaslılar ise demir esaslılara nazaran daha dikkat çekici özelliklere sahiptirler. İçerik olarak önemli miktarda kobaltın yanı sıra Cr ve W içerirken, az miktarda Mo, Nb, Ta ve Ti gibi elementlerde içermektedirler. Demir esaslılara kıyasla kısmen yüksek sıcaklık dirençleri daha üstündür. Nikel esaslı süper alaşımlar ise en çok tercih edilen gruptur [2,3]. Özellikle gaz türbin ve motor bileşenlerinde tercih edilen bu malzeme grubu hem çökelme sertleşmesi hem de katı eriyik sertleşmesi ile mukavemet özellikleri geliştirilmiş süper alaşımlardır. Nikel esaslı süper alaşımlarda γ (Nikelce zengin), γ' (Ni₃Al veya Ni₃Ti) ve γ'' (Ni₃Nb) gibi fazlar içermektedirler [4].

Inconel 718 en çok tercih edilen nikel esaslı süper alaşım malzemelerden biridir. Ağırlıkça Ni, Fe, Cr içerirken bir miktar Nb, Mo, Ti ve az miktarda birkaç element daha içermektedir. Çökelme sertleşmesi ile Ni₃Nb fazı çökeltiyerek yapının mukavemet kazanması sağlanabilmektedir. Yüksek oksidasyon, korozyon ve yorulma dayanımına sahip bir malzemedir. Yaygın olarak pervanelerde, türbin kanatçıklarında, roket motorlarında, egzoz valf, yakıt tankları, nükleer reaktörlerde ve sıcak iş kalıplarında tercih edilmektedir [5]. Çalışma koşullarına bağlı olarak bu malzeme grupları oksidasyon ve sıcak korozyona maruz kalmaktadırlar. Özellikle sıcak korozyon hasarları, oksidasyona nazaran daha tahribat verici hasarlar ve malzeme kayıplarına sebep olmaktadır. Örneğin uçak motorlarının yakıt tankları sülfür içerikli yakıtlardan kaynaklı sülfidasyona maruz kalmaktadır [6].

Korozyon metalik malzemeler için oldukça etkin bir hasar türüdür [7-9]. Yakıtlarda bulunan empürিতeler ergimiş tuz formunda malzeme yüzeyinde oluşan oksitlerden kolaylıkla penetre olarak malzemenin korozyonuna sebep olmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak tip 1 ve tip 2 olarak ikiye ayrılan sıcak korozyonda, tip 1 için 850 °C ve üzeri sıcaklıklarda meydana gelirken, tip 2 sıcak korozyon ise 650-750 °C' ler de meydana gelmektedir. Yaygın olarak nispeten düşük ergime sıcaklıklı olan sodyum sülfat ve vanadat karışımlarının malzemeye yüzeyinden penetre olmasıyla sıcak korozyon meydana gelmektedir. Tip 1 sıcak korozyonu daha yüksek sıcaklıklarda meydana gelmesinden ötürü daha hasar verici olmaktadır. Bu tip korozyonda başlangıçta yavaş bir korozyon oranı görülürken, daha sonra hızlanarak devam etmektedir. Bu durum başlangıçta meydana gelen koruyucu oksit oluşumunun direnci kaynaklıdır, fakat devam eden süreçte koruyucu oksit tabakası çözünerek hasar içeriye doğru ilerlemektedir [10]. Sodyum sülfat ve vanadatın reaksiyonu ile meydana gelen sodyum vanadat düşük ergime sıcaklıklı asidik eritkenlik gösteren bir tuz türü olduğundan oluşan oksitlerle reaksiyona girerek korozyon ürünleri meydana getirmektedir [11]. Bu çalışmada Inconel 718, izotermal ve çevrimli olarak sodyum sülfat ve vanadat içeren sıcak korozyon testlerine tabi tutulmuştur. Testler sonunda malzemede meydana gelen korozyon etkisi, derinliği ve oluşan korozyon ürünleri incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışma

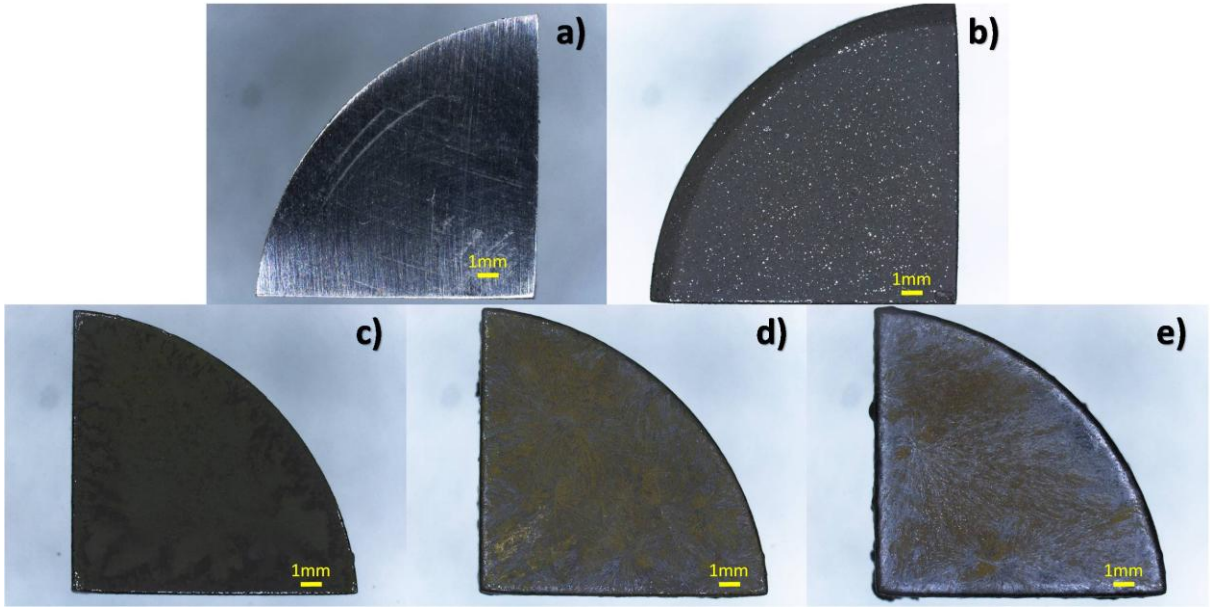
Ticari olarak temin edilen Inconel 718 malzeme, 5mm kalınlıklı, 1 inç çaplı numune dörde enine kesit görüntülerini rahat incelemek amacıyla dörde bölünmüştür. Yaklaşık %99 saflık değerlerine sahip V₂O₅ ve Na₂SO₄ bileşikleri ağırlıkça yarı yarıya oranda mekanik olarak 1 saat karıştırıldıktan sonra malzemenin bir yüzeyinin tamamına yaklaşık 10 mg/cm² lik ağırlıkta serilmiştir. Sıcak korozyon testleri elektrik fırınında (Protherm PLF130/20) 900 °C' de 6 saatlik çevrimlerle toplamda 3 çevrim yani 18 saat olarak ve sadece 18 saat izotermal olarak gerçekleştirilmiştir.

Sıcak korozyon testleri sonrası numunelerin üst yüzey görüntüleri stereo mikroskop (Nikon Shuttle Pix P-400R) ile incelenmiştir. Sıcak korozyon testinden önce ve her korozyon çevrimi sonrası numunelerin faz analizleri için XRD (X-ışını kırınımı) paternleri (Rigaku Dmax 2200 PC) alınmıştır. Ayrıca her çevrim sonrası numune üst yüzeylerinden ve son çevrim sonrası da hem üst

hem de enine kesit yüzeyinden taramalı elektron mikroskobu (SEM) (TESCAN, MAIA3 XMU) ile görüntüleri alınmıştır. Her çevrim sonrası üst yüzeylerden enerji dağılımlı spektrum (EDS) ve enine kesitlerden de elementel haritalama görüntüleri alınarak korozyon etkisinin karakterizyon incelemeleri yapılmıştır.

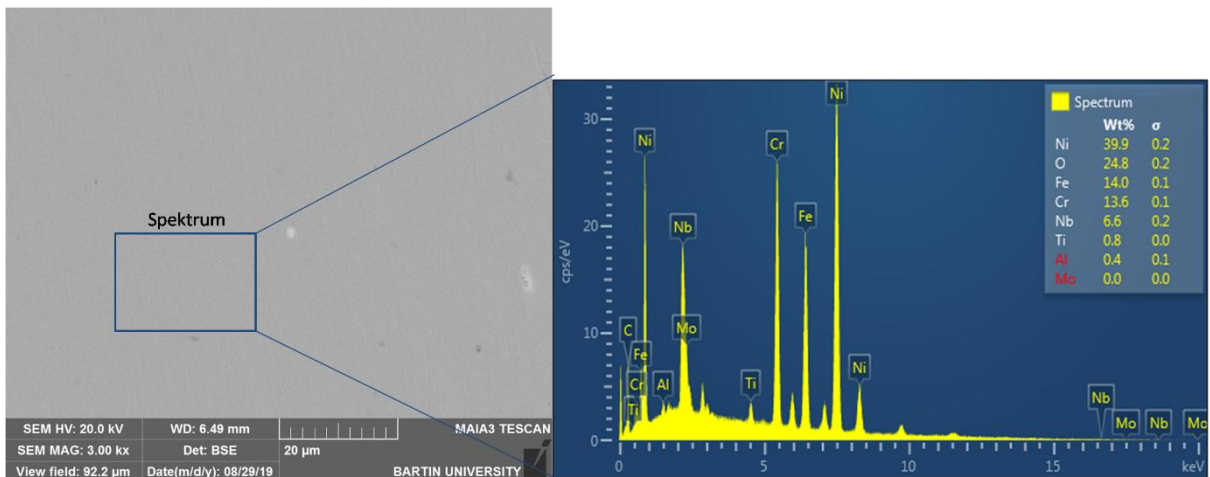
3. Bulgular ve Tartışma

Inconel 718 süper alaşım malzemenin her bir sıcak korozyon testi sonrası stereo mikroskopla 20x büyütmede alınan makro görüntüleri şekil 1’ de verilmiştir. Alınan görüntülerde numunelerde ciddi bir pullanma vb. hasarın olmadığı anlaşılmaktadır. Çevrimli oksidasyon testlerinde çevrim sayısı arttıkça numune yan yüzeylerinde meydana gelen oksit büyümleri dikkat çekmektedir. Bunun yanında numune yüzeyinde sarı renkli korozyon tuzlarına ait izlerin olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Inconel 718 malzemeye ait a) sıcak korozyon testi öncesi, b) izotermal 18 saat sonrası, c) 6 saat sonrası (1. çevrim), d) 12 saat sonrası (2. çevrim) ve e) 18 saat sonrası (3. çevrim) makro görüntüleri

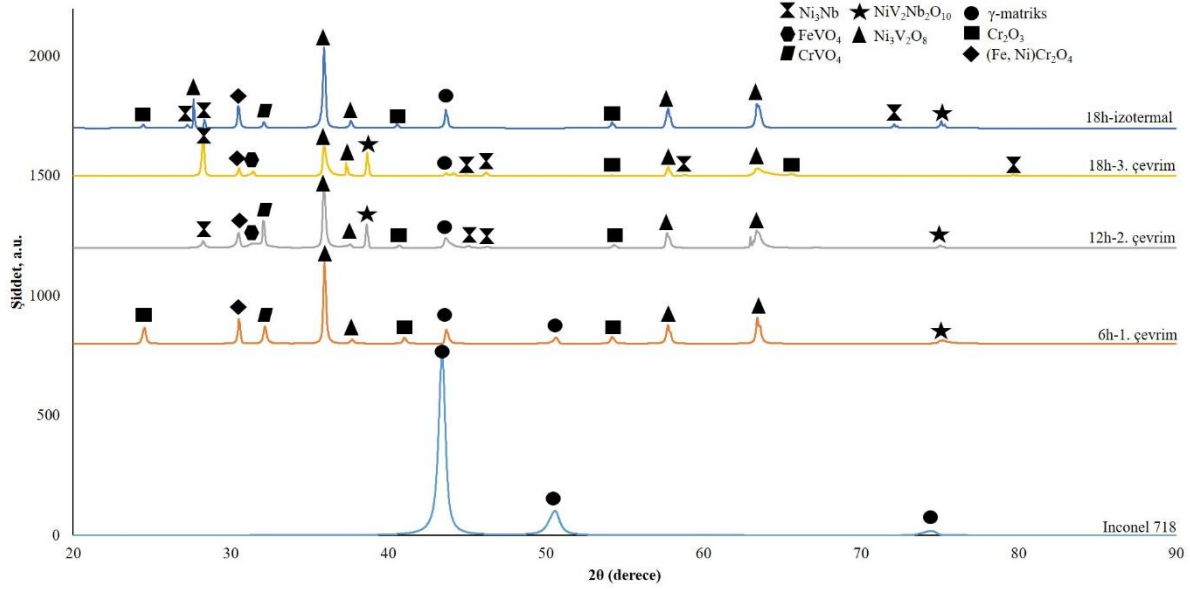
Şekil 2’ de kullanılan süper alaşım Inconel 718 malzemeye ait dağlamasız SEM görüntüsü ve EDS ile alan elementel tarama analiz sonucu verilmiştir.



Şekil 2. Inconel 718 malzemeye ait SEM görüntüsü ve EDS analizi

Analiz sonucuna göre malzemenin ağırlıklı olarak Ni, Fe ve Cr' dan meydana geldiği bununda yine bir miktar Nb olduğu görülürken diğer elementlerin oranlarının çok az olduğu görülmektedir.

Sıcak korozyon testleri öncesi ve sonrası alınan XRD analiz verileri Şekil 3' de verilmiştir. XRD analizine göre Inconel' in γ fazından meydana geldiği yani Ni, Fe ve Cr içeriği zengin bir katı çözeltili fazına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Altı saatlik ilk sıcak korozyon çevrim sonrası ise matriks fazın piklerinde azalmalar görülürken $Ni_3V_2O_8$, $(Fe, Cr)VO_4$, $NiV_2Nb_2O_{10}$, gibi korozyon ürünlerinin yanı sıra Cr_2O_3 ve spinel $(Fe, Ni)Cr_2O_4$ fazlarının meydana geldiği tespit edilmiştir. İlerleyen süreçte bu fazların yanı sıra Ni_3Nb intermetalik fazında meydana geldiği ve 18 saatlik izotermal sıcak korozyon testi sonunda benzer fazların meydana geldiği tespit edilmiştir.



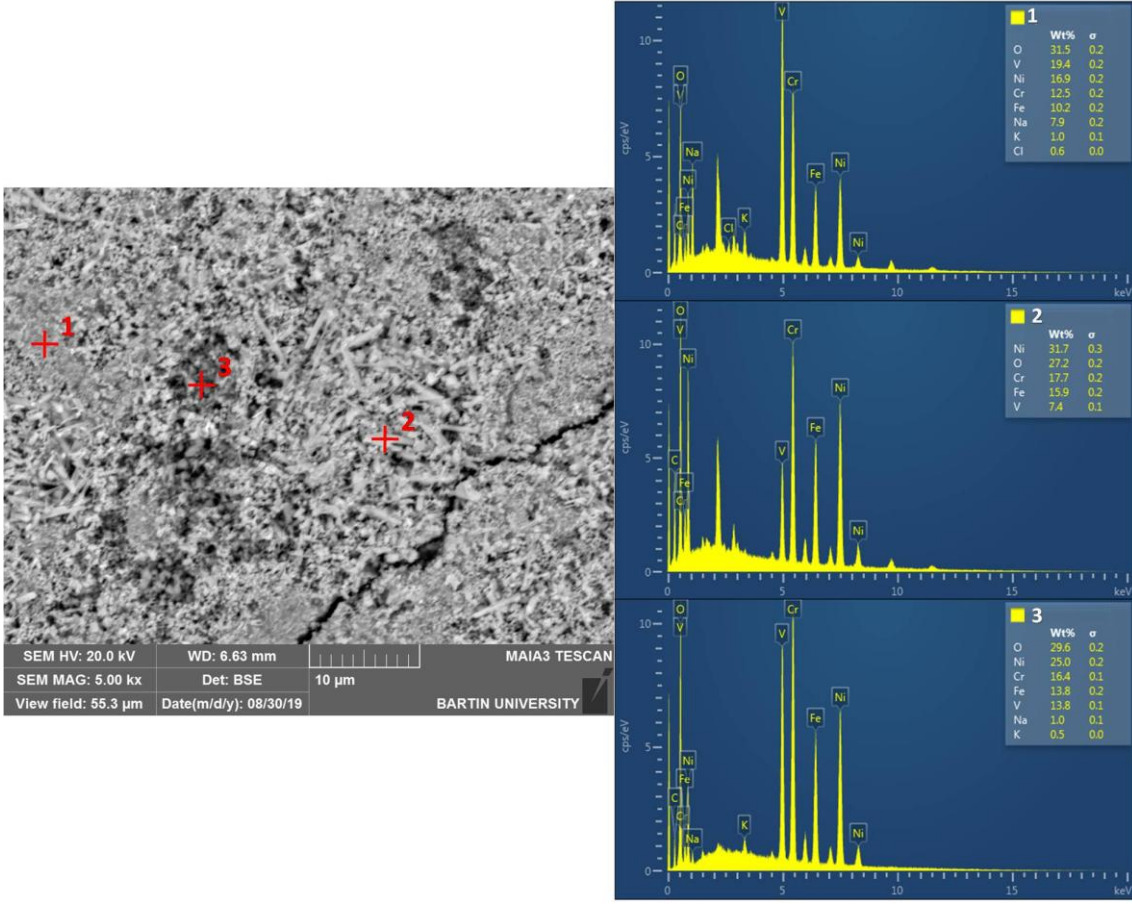
Şekil 3. Sıcak korozyon testleri öncesi ve sonrası XRD paternleri

6 saatlik ilk sıcak korozyon çevrim sonrası numune yüzeyinden alınan SEM ve EDS analizleri Şekil 4' te verilmiştir. Numune yüzeyinde termal gerilmeler nedeniyle kılcal çatlak oluşumu dikkat çekmektedir. 5kx büyütmede ki SEM görüntüsünden alınan EDS sonuçlarına göre vanyum içerikli fazların meydana gelmiş olabileceği görülmektedir. Spektrum 2' de açık gri parçacıkların XRD analizinde dikkate alındığında $CrVO_4$ veya NiV_3O_8 gibi korozyon ürünleri ve $(Fe, Ni)Cr_2O_4$ spinel oksit fazlarında temsil etmiş olabileceği düşünülmektedir. Üçüncü spektrumun koyu renkli olması yapıda çukurcukların oluşmaya başladığını gösterirken, spektrum sonucu ise birinci spektrumunkine benzerdir.

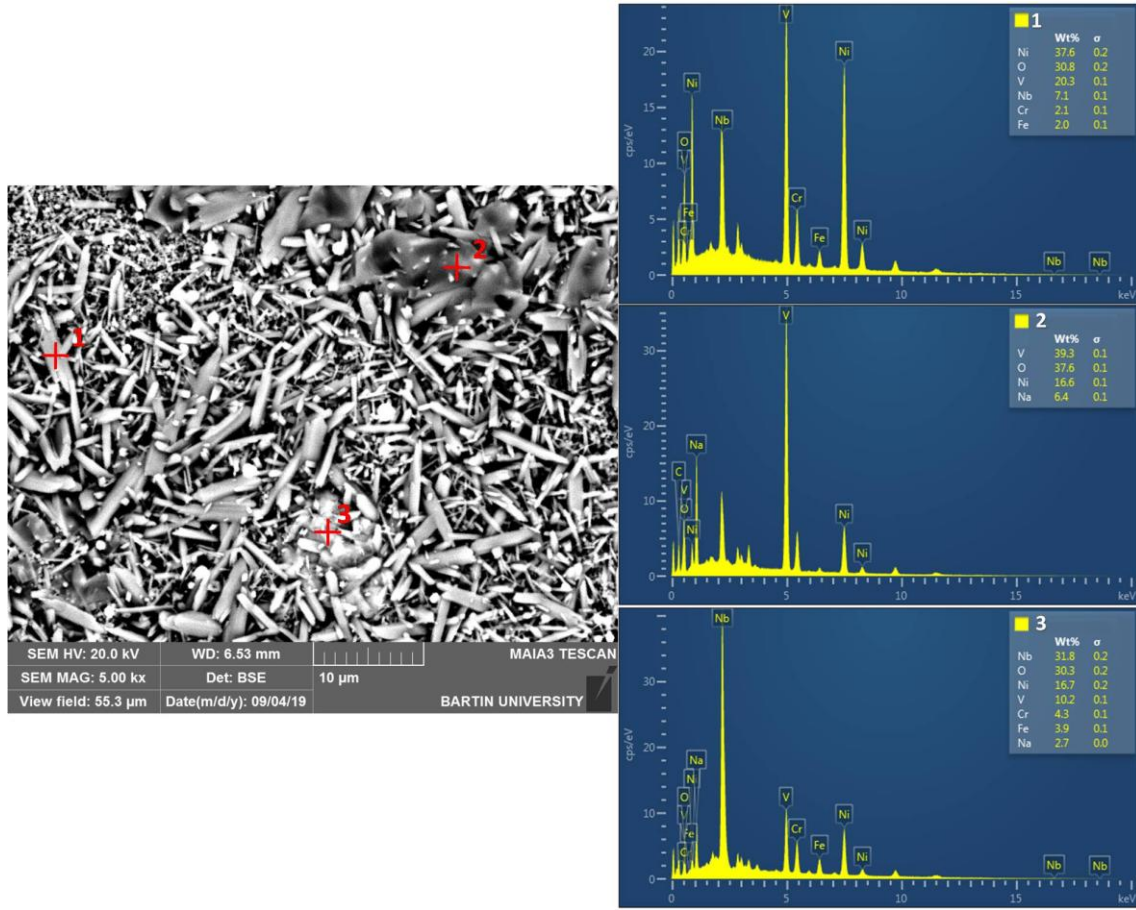
İkinci sıcak korozyon çevrimi sonunda yüzeyden alınan SEM ve EDS analizleri şekil 5' te verilmiştir. Yapının baskın olarak kısa çubuksu forma sahip $Ni_3V_2O_8$ veya $NiV_2Nb_2O_{10}$ fazları olabileceği düşünülmektedir. İkinci spektrumda ise ergimiş formlu bir yapının olduğu düşünülmektedir. Na_2SO_4 ve V_2O_5 in reaksiyonu sonrası oluşan $NaVO_3$ ve Na_2O nun NiO ile reaksiyonu neticesi de oluşabilecek $Ni_3V_2O_8$ fazı olduğu düşünülmektedir. Üçüncü spektrum ise Nb miktarının yüksek olması Ni_3Nb intermetalik fazının yanı sıra $NiV_2Nb_2O_{10}$, $(Fe, Cr)VO_4$ gibi korozyon ürünlerinin de meydana gelmiş olabileceğini göstermektedir.

18 saatlik son sıcak korozyon çevrimi sonrası alınan SEM ve EDS analizleri Şekil 6' da verilmiştir. İkinci çevrimden farklı olarak ergimiş formlu yapının (üçüncü spektrum) malzeme yüzeyinde hâkim olduğu bir önceki çevrimde elde edilen çubuksu yapıların (ikinci spektrum) üstlerini örttüğü

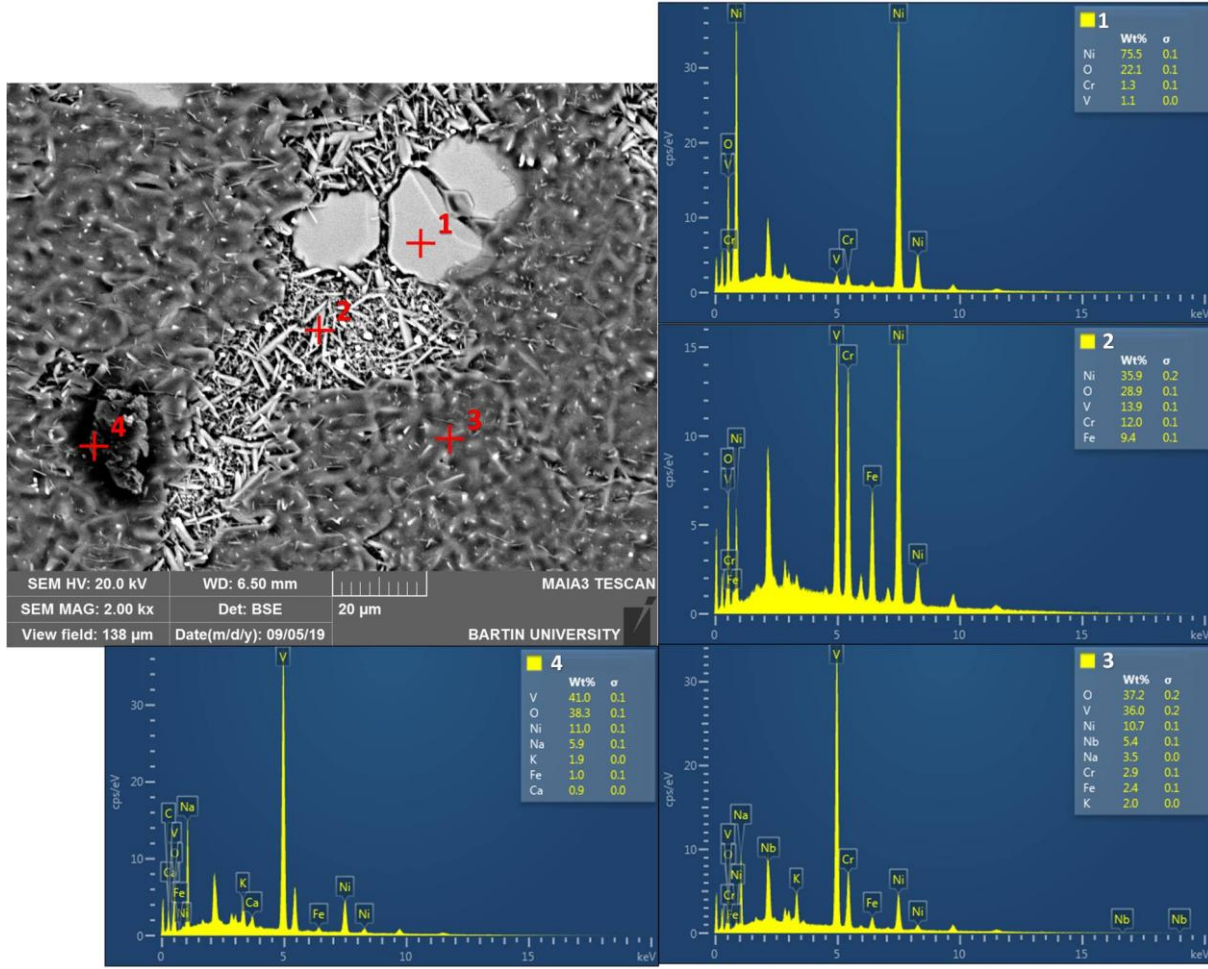
görülmeştir. Ayrıca nikelce zengin adacıklardan (birinci spektrum) meydana bir fazın oluşturuğu görülmektedir.



Şekil 4. 6 saatlik tek çevrimli sıcak korozyon sonrası SEM görüntüsü ve EDS analizleri



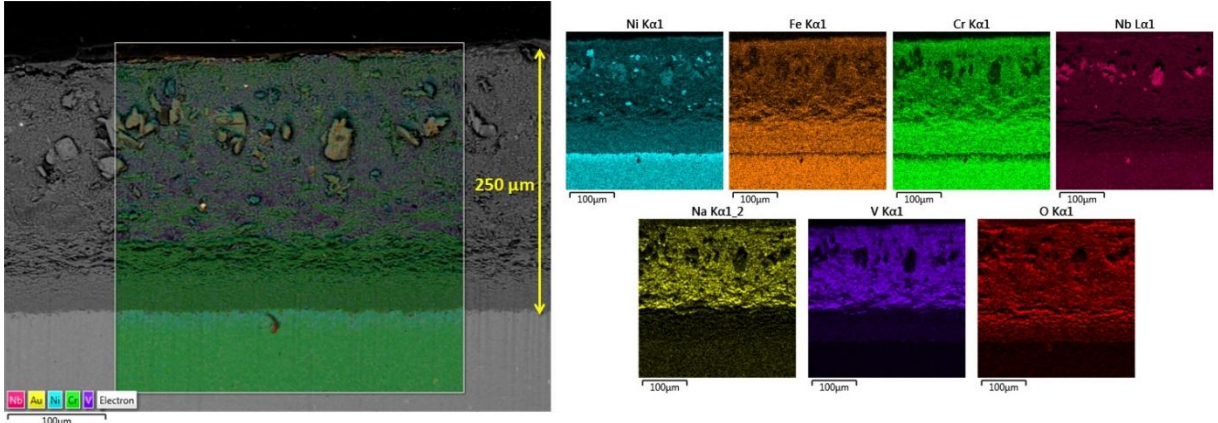
Şekil 5. 12 saatlik 2 çevrimli sıcak korozyon sonrası SEM görüntüsü ve EDS analizleri
 Bu yapının reaksiyon vermemiş nikelce zengin γ fazını temsil ettiği düşünülmektedir. Koyu siyah bölgelerde (dördüncü spektrum) ise çukurcuk olduğu yani korozyon etkisiyle sızan korozyon tuzlarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. EDS analizlerine göre vanadyum içeriğinin yüksek olması bu bölgede NaVO_3 ve $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_8$ gibi fazların olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. 18 saatlik 3 çevrimli sıcak korozyon sonrası SEM görüntüsü ve EDS analizleri

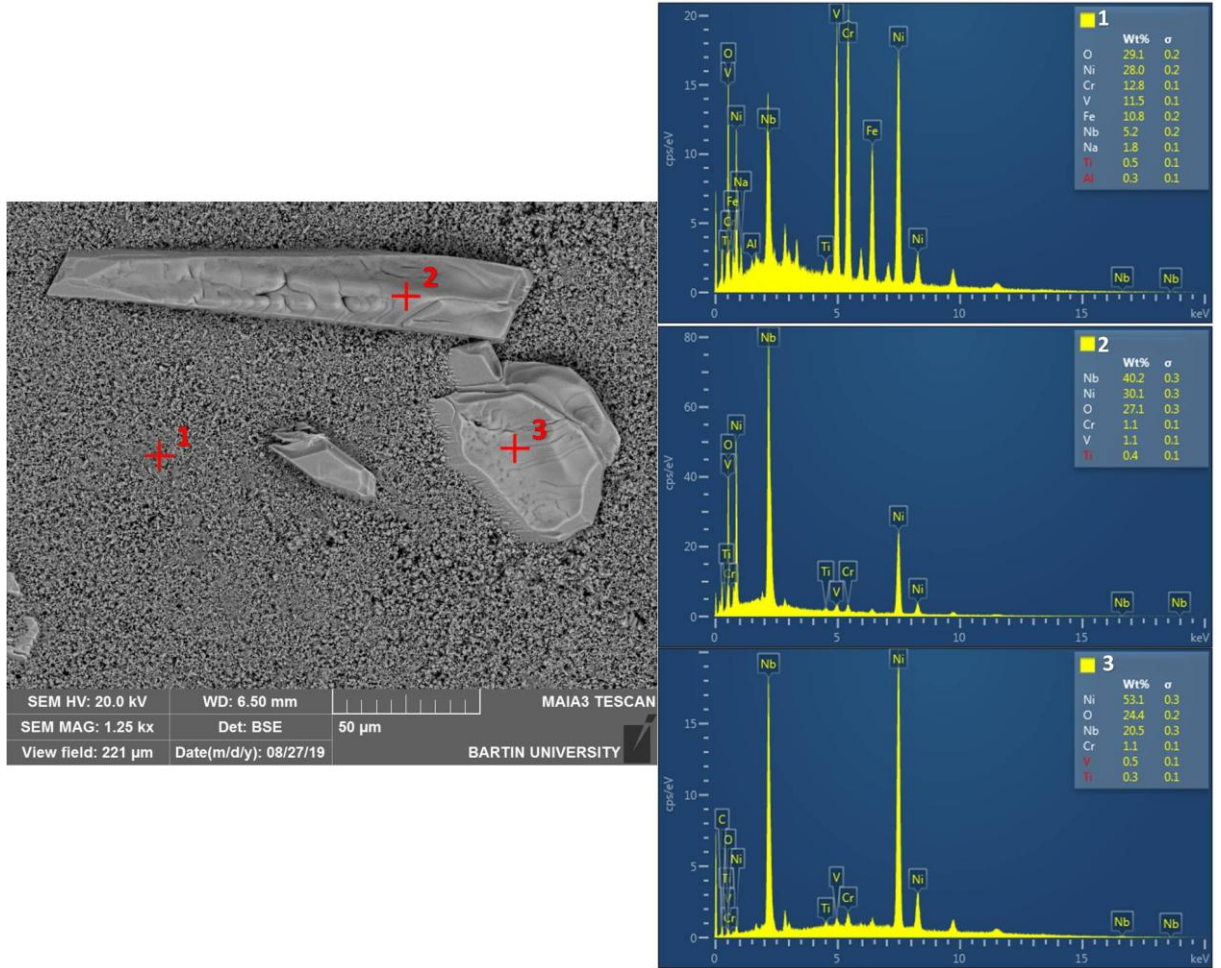
Son çevrime ait numunenin enine kesit SEM görüntüsü ve elementel haritalama görüntüleri Şekil 7’de verilmiştir. Korozyon etkisinin bütünlüğünü koruduğu yapıda çatlak veya ayrılma meydana getirmediği anlaşılmaktadır. Yaklaşık 250 µm derinliğe kadar korozyon etkisinin tesir ettiği anlaşılmaktadır. Alınan elementel dağılım haritalamaları Ni, Fe, Cr ca zengin korozyon ürünlerinin olduğunu teyit etmektedir. Na ve V izlerinin çakışması NaVO₃ formunun ergiyerek yapı içerisine sızdığı ve Ni, Fe, Cr ile reaksiyon verdiğini göstermektedir. Yapılan XRD ve EDS incelemelerinde de muhtemel oluşmuş olabilecek fazlardan yukarıda bahsedilmiştir. Mikroyapıya dikkat edildiğinde korozyon tabakası orta kısımlarında adacıklar görünmektedir. Elementel haritalamaya göre bu adacıkların büyük kısmı ağırlıkça Nb içeriklidir ve herhangi bir korozyon etkisine maruz kalmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca Nb içeriklilerden daha küçük parçacıklı ağırlıkça Ni oranı daha yüksek adacıklarda bulunmaktadır. Yine bu yapılarda da herhangi bir reaksiyon olmadığı takip edilen Na ve V izlerinden anlaşılmaktadır. Na ve V izleri en alt tabakalara yani ana metale doğru azaldığı dikkat çekmektedir. Burada Fe ve Cr ca zengin bir dağılımın olduğu yani FeCr₂O₄ spinel oksit fazının oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. Korozyon tabakasının bittiği kısımda ise Ni izlerinin baskın olarak sınırladığı ve reaksiyon vermediği düşünülmektedir.

Şekil 8’de izotermal olarak 18 saat sıcak korozyon testine tabi tutulmuş Inconel 718 malzemenin üst yüzeyinden alınmış SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları verilmiştir. Birinci spektrumun sahip olduğu fazın daha baskın olarak yapıda dağıldığı görülürken, ikinci ve üçüncü spektrumlar ise daha çok reaksiyon vermemiş, iri adacıklar şeklinde yapıda dağılım gösteren ürünler olduğu görülmektedir.



Şekil 7. 18 saatlik 3 çevrimli sıcak korozyon sonrası enine kesit SEM görüntüsü ve elementel haritalama analizi

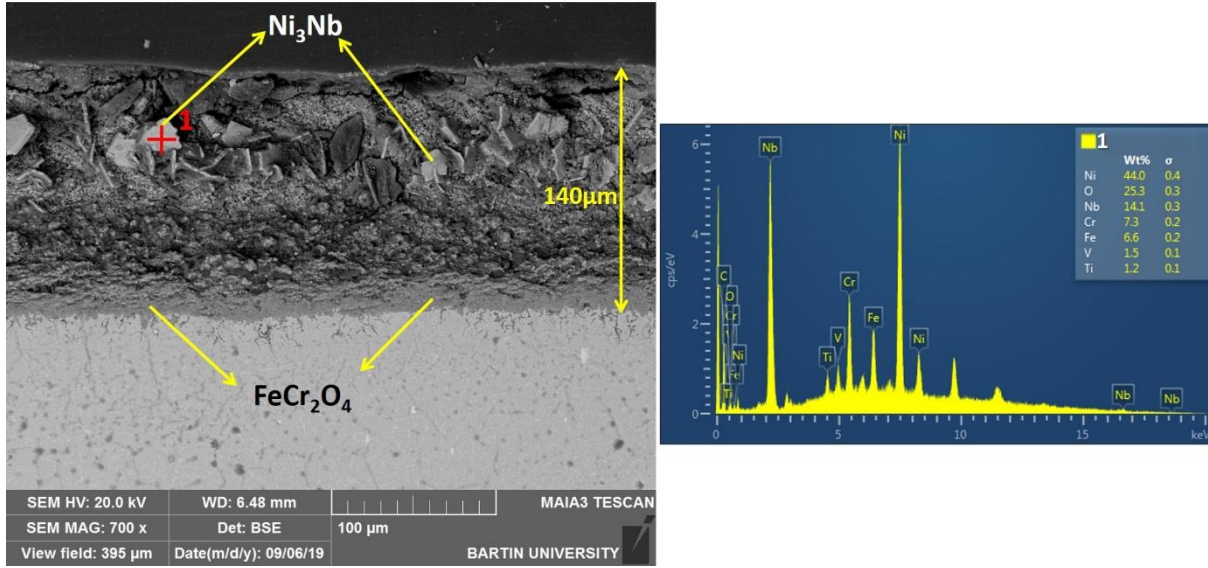
Birinci spektrum Inconel 718’ e ait elementel dağılıma sahiptir fakat önemli miktarda V içermesi, vanadyum içerikli korozyon ürünleri ve oksitler içerdiğini göstermektedir. Adacık şeklinde bulunan 2 ve 3. spektrumların ise Ni ve Nb ca oldukça zengin olması bu yapıların intermetalik Ni_3Nb bileşiklerini olduğunu göstermektedir.



Şekil 8. 18 saatlik izotermal sıcak korozyon sonrası SEM görüntüsü ve EDS analizleri

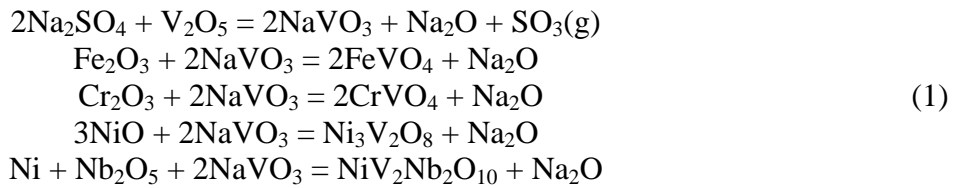
Bu durum Ni_3Nb ’ un korozyona uğramadığını da göstermektedir. Benzer durum çevrimli 18 saatlik sıcak korozyon testi sonrası alınan enine kesit görüntülerinde de tespit edilmiştir.

İzotermal 18 saatlik sıcak korozyon testi sonunda alınan enine kesit SEM görüntüsü Şekil 9’ da verilmiştir. Mikroyapı incelendiğinde orta kesimlerde plakalı parçacıklar gömülü vaziyette durmaktadır. Bu parçacıklar Ni_3Nb fazlarını temsil ettiği düşünülmektedir. Yapının diğer dağılımları çevrimli sıcak korozyona benzer şekildedir yani Na ve V içerikli tuzun sızarak yapıda korozyon ürünleri meydana getirdiği düşünülmektedir. Ana malzemeye doğru açık gri renkli bölgelerinde spinel yapılı $FeCr_2O_4$ fazı olduğu düşünülmektedir. Korozyonun tesir ettiği derinlik ise yaklaşık 140 μm olarak ölçülmüştür.



Şekil 9. 18 saatlik izotermal sıcak korozyon sonrası enine kesit SEM görüntüsü ve EDS analizi

Yapılan korozyon testleri sonrası çevrimli sıcak korozyonun iki kata yakın daha fazla ilerlemiş olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum çevrimler sonrası tekrar korozyon tuzlarının ilavesi ve çevrimler neticesinde meydana gelmiş olabilecek termal gerilmelerin etkisi ile oluşabilecek kılcal açıklıklardan korozif tuzların sızmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. 900 °C Inconel 718’ in oksidasyona uğraması için oldukça yüksek bir sıcaklıktır. Bu nedenle başlangıçta malzemenin oksitlendiği sonrasında ise korozyon tuzları ile aşağıdaki gibi reaksiyonlar vermiş olabileceği düşünülmektedir.



Oluşan $FeVO_4$ ve $CrVO_4$ fazlarının da test sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta ergidiği belirtilirken, Na_2O ’ nun ise metal oksitlerin çözünürlüğünü düşürdüğü belirtilmiştir [12]. $Ni_3V_2O_8$ ’ in ise daha yüksek ergime sıcaklığına sahip olduğu ve bu nedenle nikelin diğer elementlere nazaran korozyonu daha yavaşlatıcı etki yaptığı belirtilmiştir [13]. Bu çalışmada Ni_3Nb ve nikelce zengin oluşumların korozyon testleri sonrası tespit edilmesi bu bulguyu desteklemektedir. Ayrıca Na_2O ’ nun Cr_2O_3 ile reaksiyon vererek Na_2CrO_4 , $Na_2Cr_2O_7$, Na_2CrO_7 gibi fazlarda meydana getirdiği literatürde belirtilmiştir [14]. Benzer bulgu çalışmamızda tespit edilememiştir. Fakat alınan EDS analizlerinde Na elementi ile Cr elementinin beraber pik verdiği analizlerde eser miktarda olma ihtimali söz konusudur. Inconel 718’ e daha düşük sıcaklıkta yapılan vanadat içerikli sıcak korozyon testlerinde korozyon ürünlerinden ziyade oksitlere daha çok rastlanmıştır. Artan sıcaklık korozyon tuzunun daha akışkan ve reaktif olmasını sağlamasından dolayı bu çalışmada oksitlerden ziyade korozyon ürünleri daha çok tespit edilmiştir. Kamal ve arkadaşları [15] yapmış oldukları çalışmada Inconel

718, Nimonic 75 ve Incoloy 800H süper alaşımlara, Na_2SO_4 -%60 V_2O_5 içerikli korozyon testlerini 900 °C sıcaklıkta birer saatlik çevrimlerle 100 saat tabi tutmuşlardır. Testlerin sonunda korozyon ürünlerine rastlanmamış, yalnızca Fe_2O_3 , Cr_2O_3 ve NiO gibi oksitlerin oluşumundan ötürü numunelerin korozyona karşı direnç gösterdiğini savunmuşlardır. Fakat bu çalışmada çevrim sürelerinin 6 saat olması korozyon ürününün meydana gelmesinde baskın faktördür. Çünkü bir saatlik süreçte malzemede meydana gelen oksitler korozyon tuzlarına direnç gösterebilir. Fakat uzun süreli süreçte reaksiyonlar açığa çıkarak korozyon oluşumu kaçınılmaz olarak meydana gelmektedir. Bilindiği gibi sıcak korozyonun ilk evrelerinde korozyon hızlarının oldukça yavaş olduğu fakat süreye bağlı olarak ivmeli şekilde artış göstermektedir [16-19].

4. Sonuçlar

Nikel esaslı bir süper alaşım malzeme olan Inconel 718'e sodyum sülfat ve vanadat karışımlarıyla 900 °C'de çevrimli ve izotermal sıcak korozyon testleri başarılı şekilde uygulanmıştır. Sıcak korozyon testleri sonrası yapılan karakterizasyon testleri ve incelemelere bağlı olarak elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Çevrimli sıcak korozyon testi, izotermal sıcak korozyon testine nazaran malzemenin daha fazla korozyona uğramasına sebep olmuştur.
2. Korozyon testleri sonrası oluşan her iki deney sonunda benzer korozyon ürünleri tespit edilmiştir.
3. Meydana gelen korozyon ürünlerinin koruyucu oksitlerle reaksiyonu neticesinde meydana geldiği görülürken, XRD ve EDS analizlerine göre $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_8$ fazının nispeten daha baskın olduğu tespit edilmiştir.
4. Korozyon sonrası bazı bölgelerde nikelce zengin ve Ni_3Nb gibi fazların korozyondan etkilenmeden kaldığı görülmüştür. Korozyon etkisinin azaldığı yani ana metalin yakın bölgelerde FeCr_2O_4 fazlarının meydana gelerek korozyonun ilerlemesini yavaşlattığı görülmüştür.

Teşekkür

10-12 Ekim 2019 tarihlerinde Gaziantep Üniversitesi'nde düzenlenen TICMET19 konferansında sunulan çalışmamın seçilmesinde TICMET19 organizasyon komitesine en derin teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Kaynaklar

- [1]. Tümer, M., Kerimak, M. Z., Nikel Bazlı Süper Alaşım Inconel 625 ile AISI 304L Paslanmaz Çelik Malzeme Çiftinin Birleştirilmesinde Farklı İlave Metallerin Tokluk ve Mikroyapısal Özelliklere Etkisi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2017, 4(1), 116-126.
- [2]. Akca, E., Gürsel, A. A review on superalloys and IN718 nickel-based INCONEL superalloy. *Periodicals of engineering and natural sciences*, 2015, 3, 15-27.
- [3]. Betteridge, W.; Heslop, J., "Nimonic alloys and other nickel-base high-temperature alloys", Edward Arnold Ltd., London, 1974.
- [4]. Thomas, A., El-Wahabi, M., Cabrera, J. M., Prado, J. M., High temperature deformation of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, 177(1-3), 469-472.
- [5]. El-Awadi, G. A., Abdel-Samad, S., & Elshazly, E. S., Hot corrosion behavior of Ni based Inconel 617 and Inconel 738 superalloys. *Applied Surface Science*, 2016, 378, 224-230.
- [6]. Fesharaki, M. N., Shoja-Razavi, R., Mansouri, H. A., & Jamali, H., Evaluation of the hot corrosion behavior of Inconel 625 coatings on the Inconel 738 substrate by laser and TIG cladding techniques. *Optics & Laser Technology*, 2019, 111, 744-753.

- [7]. Mindivan, H., Kale, A., Berse, U., Samur, R., A Comparative Study of Thermal Sprayed AISI 316L Stainless Steel Coatings, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2017; 4(1): 127-134.
- [8]. Şeker, A., Gürten, A., Asidik Ortamda Yumuşak Çeliğin Korozyonu Üzerine Melia Azedarach Özütünün İnhibitör Davranışı, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2015, 2(3), 1-13.
- [9]. Topçu, İ., Uygunoğlu, T., GFRP Çubukların Özellikleri ve Prefabrik Altyapı Elemanlarında Kullanımı, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2020, 7(1), 178-169.
- [10]. Lai, G. Y. "Hot corrosion in gas turbines.", ASM International, Ohio: Materials Park, 31, 2007.
- [11]. Sidhu, T. S., Prakash, S., Agrawal, R. D., Hot corrosion and performance of nickel-based coatings, *Current Science*, 2006, 90, 41-47.
- [12]. Sotelo-Mazón, O., Cuevas-Arteaga, C., Porcayo-Calderón, J., Melgoza-Alemán, R. M., Cisneros, M. G. V., Izquierdo-Montalvo, G., Gómez, L. M., Electrochemical Study of the Corrosion Performance of AISI-309 and AISI-310 Exposed in NaVO₃ at High Temperature, *International Journal of Electrochemical Science*, 2015, 10, 9112-9130.
- [13]. Sotelo-Mazón, O., Porcayo-Calderon, J., Cuevas-Arteaga, C., Ramos-Hernandez, J. J., Ascencio-Gutierrez, J. A., Martinez-Gomez, L. EIS Evaluation of Fe, Cr, and Ni in NaVO₃ at 700° C, *Journal of Spectroscopy*, 2014, 1-10.
- [14]. Mahobia, G. S., Paulose, N., Singh, V. Hot corrosion behavior of superalloy IN718 at 550 and 650 C. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2013, 22(8), 2418-2435.
- [15]. Kamal, S., Jayaganthan, R., & Prakash, S. High temperature cyclic oxidation and hot corrosion behaviours of superalloys at 900 °C. *Bulletin of Materials Science*, 2010, 33(3), 299-306.
- [16]. Pettit, F., Hot corrosion of metals and alloys, *Oxidation of Metals*, 2011, 76(1-2), 1-21.
- [17]. Prakash, S., Hot corrosion of alloys and coatings, In *Developments in High Temperature Corrosion and Protection of Materials*, Woodhead Publishing, 2008, 164-191.
- [18]. Lin, Z. J., Li, M. S., Wang, J. Y., Zhou, Y. C., High-temperature oxidation and hot corrosion of Cr₂AlC *Acta Materialia*, 2007, 55(18), 6182-6191.
- [19]. Goebel, J. A., Pettit, F. S., Goward, G. W., Mechanisms for the hot corrosion of nickel-base alloys. *Metallurgical Transactions*, 1973, 4(1), 261-278.