



Uçak İniş Takımında Kullanılan Al Esaslı Destek (Bracket) Parçasının Hata Analizi

Yusuf ER*

Fırat Üniversitesi, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, Elazığ
yusufer@firat.edu.tr ORCID: 0000-0001-5500-9481, Tel: (424) 237 00 00 (8983)

Geliş: 07.06.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Alüminyum, metal pazarında demir-çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Alüminyum, 1900'lü yılların başlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, birçok üstün özellikleri sayesinde endüstride ve nispeten düşük bir öz kütleye sahip olması sebebiyle özellikle havacılık sektöründe kullanım alanı her geçen gün artmaktadır. Yapısında alüminyum daha çok barındıran araçların diğerlerine nazaran daha hafif olması, artan yakıt fiyatları da göz önünde bulundurulduğunda ekonomik olarak ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımlarında galvanik, çukur, taneler arası, pullanma, gerilmeli ve yorulma tipi korozyon çeşitleri sıklıkla görülmektedir. Titanyum ve alüminyum alaşımların yüzeysel temasından kaynaklanan galvanik korozyon, bu iki alaşımın beraber kullanıldığı ortamlarda sıklıkla görülmektedir. Bu çalışmada; Türk Teknik A.Ş. den temin edilen Airbus A320-214 tipi yolcu uçağının iniş takımlarında kullanılan destek parçasının (bracket) 10.000 saat kullanımından sonra yapısında meydana gelen korozyon mekanizması araştırılmıştır.

Bu amaçla; parçanın hatalı ve hatalı olmayan kısımlarından numuneler alınarak mikroyapı, kimyasal ve korozyon analizleri sırasıyla SEM, EDX ve AFM teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Taramalı Elektron Mikroskopu incelemelerinde Alüminyum esaslı bracket parçasının korozif olan ve olmayan bölgeleri Atomik Kuvvet Mikroskopu (AFM) tekniği kullanılarak tespit edilmiş ve meydana gelen lokalize çukurcuk korozyonu üzerinde değerlendirme yapılmıştır.

Sonuç olarak; elde edilen veriler ışığında bakıldığında Airbus A320-214 tipi uçağın iniş takımında kullanılan bracket parçasında meydana gelen bu korozyon hasarının net olarak çukurcuk korozyonu olduğu görülmektedir. Ancak bu gerçekleşmeden önce alüminyumun birçok korozif ortama karşı gösterdiği direncin nedenlerinden biri olan yüzey tabakasındaki amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasını ortadan kaldıran lokalize sürtünme korozyonu neticesinde meydana gelen mekanik bozulmayla meydana geldiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Al2019; İniş takımı; Korozyon; AFM;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Alüminyum, metal pazarında demir-çelikten sonra ikinci sırayı almaktadır. 1900'lü yılların başlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan alüminyumun birçok üstün özellikleri sayesinde endüstride kullanım alanı her geçen gün artmaktadır (Aydın, 2002). Yapısında alüminyum daha çok barındıran taşıtların diğerlerine nazaran daha hafif olması, artan petrol fiyatları göz önünde bulundurulduğunda ekonomik olarak bir avantaj sağlamaktadır (Kurt, 2006). Havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımları bazı uçak tiplerinde % 20 oranına kadar çıkmaktadır. Uçaklar çeşitli atmosferik koşullarda (tropik, endüstriyel, denizsel, karasal, çöl, kutuplar) bulunurlar. Uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımlarında galvanik, çukur, taneler arası, pullanma, gerilmeli ve yorulma tipi korozyon çeşitleri sıklıkla görülmektedir. Titanyum ve alüminyum alaşımların yüzeysel temasından kaynaklanan galvanik korozyon, bu iki alaşımın beraber kullanıldığı ortamlarda görülmektedir (Anes vd., 2016, Ghavamian vd., 2015). Korozyon, uçağın ömrü ilerledikçe çeşitlenmekte ve çoğalmaktadır. Korozyon hasarları başlangıçta tespit edilemez ve tamiri yapılmaz ise bütün yapı için ciddi tehlike oluşturabilir. Uçak tipi aynı olsa bile farklı ortamlarda kullanılma, oluşacak korozyon hasarının miktarını değiştirir. Uçaklar kuru havada daha az korozyona uğrarken, nemli, ılık ve tuzlu ortamlarda daha kısa sürede korozyona uğrarlar (Güler, 2003). Uçuş faaliyetlerinde bir uçağın uçuşa elverişliliğin, yeterli ve gerekli seviyelerde emniyet ve güvenilirliğin sağlanması açısından uçak motor ve komponentlerinde meydana gelebilecek bu hasar ve/veya arızaların kazalar gibi ciddi sonuçlara yol açmadan daha önce belirlenmesi, tespit edilmesi oldukça önem arz etmektedir (Uludağ, 2017).

Çukurcuk korozyon, alaşım yüzeyinde nemle temas eden anodik ve katodik kısımların bulunması halinde oluşur. Metal alaşımı, elektronların taşınması için metal yolu meydana getirir. Çukurcuk korozyonu, alüminyum ve magnezyum alaşımlarında sık rastlanan bir korozyon çeşididir. İlk belirtisi, yüzeyde

toplanan ve kabaran beyaz ve gri tozumsu yığıntılardır. Bu yığıntılar temizlendikten sonra küçük oyuklar veya boşluklar görülebilir. Bu oyuklar baştan küçük olmasına rağmen, zamanla büyür. Çukurcuk korozyonunun oyukları, eğer parça kalınlığı uygun ise kazınarak temizlenebilir. Konsantrasyon hücre (concentration cell) korozyonu ise alüminyum uçak gövdesi, su tabakası ile kaplandığında ve su damlacıkları metal levha birleşimlerinin arasına girdiğinde oluşur. Konsantrasyon hücre korozyonunun olabileceği belli başlı yerler; oyuklar, bindirme dikişleri, kalıntılar ve metal ara yüzeyleri olarak sayılabilir. Bu yerler konsantrasyon hücre korozyonu oluşumu için nemin hapsediği uygun yerlerdir. Elektrolitteki metal iyon konsantrasyonu farkı veya oksijen iyonu konsantrasyonu farkı bu tür korozyona neden olabilir. Konsantrasyon hücre korozyonu çeşitlerinden biri sürtünme korozyonudur. Sürtünme korozyonu, nemin girmesine engel olamayan ve titreşime maruz kalan statik yüklerle yüklenmiş parçalarda görülür. Burada korozyon ve aşınmanın etkisi birlikte oluşur (Bhaumik vd., 2007, Kristic vd., 2013). Sürtünme korozyonu, metalde ufalanma ve metal aşınması ile kendini gösterir. Uçak üstünde sürtünme korozyonunun en sık görüldüğü yerler, iniş takım dikmelerindeki burçlar, çok küçük toleranslarla burçlara geçirilen civatalar ve kanadı gövdeye bağlayan kaplama kısımlarıdır.

Uçuş emniyetinin ön plana çıktığı ve en ufak bir hatanın dahi göz ardı edilemeyeceği havacılık sektöründe hava araçlarında rastlanan korozyon problemleri üzerinde titizlikle durulması kaçınılmazdır. Özellikle hava araçları bakımlarında bu problemin tespiti, önlemlerin alınması ve korozyonu giderme teknikleri önem kazanmaktadır (Karakoç vd., 2012). Uçak yapısal bileşenlerinin başarısızlığı, sonuçta hayat kaybı ve uçakların felâket sonuçlarına neden olabilir. Uçak yapılarındaki kusurların ve arızaların incelenmesi, daha fazla olayı önlemede hayati öneme sahiptir (Asi vd., 2013).

Bu çalışmada; A320-214 model uçağın iniş takımında kullanılan ve kendisinden farklı bir alaşım üzerine montaj edilmiş destek parçasının (bracket) birleşme yüzeyinde sınırlı bir bölgede

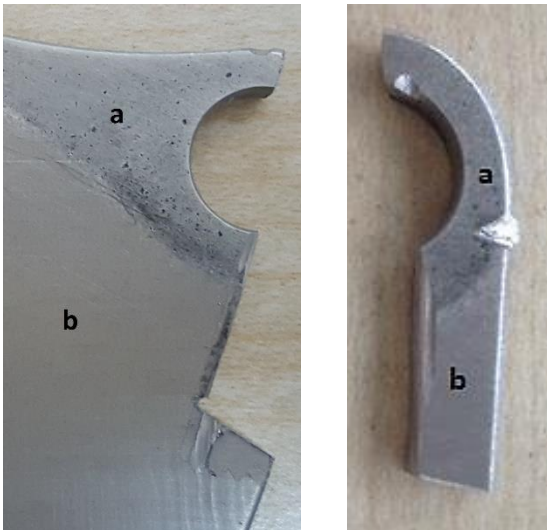
meydana gelen korozyon mekanizması araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

THY Teknik A.Ş.' den temin edilen Airbus A320-214 tipi yolcu uçağının iniş takımında kullanılan destek parçası (bracket) ilk olarak görsel olarak ikinci aşamada ise optik mikroskop ile incelendi. Destek parçasının, diğer parçaya montaj edildiği temas yüzeyinde korozyona uğradığı görüldü. (Şekil 1.) Parça üzerinde, korozyon oluşan ve korozyon oluşmayan her iki bölgeden numune alınarak mikroyapı, kimyasal ve yüzey analizleri yapıldı.



Şekil 1. Montaj temas alanında korozyona uğramış bracket



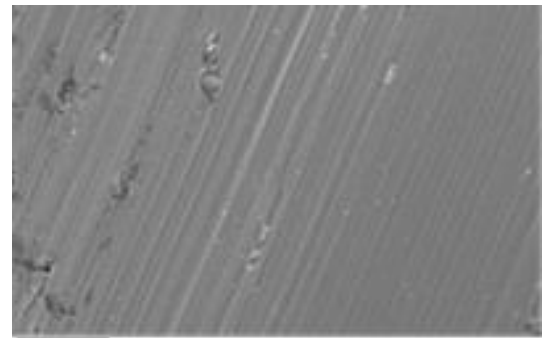
Şekil 2. Montaj temas alanında korozyona uğramış bölge (a) ve temas alanı dışında korozyona uğramamış bölge (b)

Bracket malzemesinin hangi alüminyum serisine ait olduğunu tespit etmek için bracketin hasarsız bölgesinden 4x4 cm büyüklüğünde numune çıkarılarak kimyasal analiz için EDX cihazında incelendi. Ayrıca aynı numune mikroyapı incelemeleri için ise SEM elektron mikroskopunda incelendi. Şekil 2. de görülen numunede a ve b harfleri ile gösterilen korozyon ve korozyon olmayan her iki bölgenin yüzey morfolojisini ve pürüzlülüğünü belirlemek için Atomik kuvvet mikroskobu (Şekil 3.) ile incelenerek yüzey analizi yapıldı.

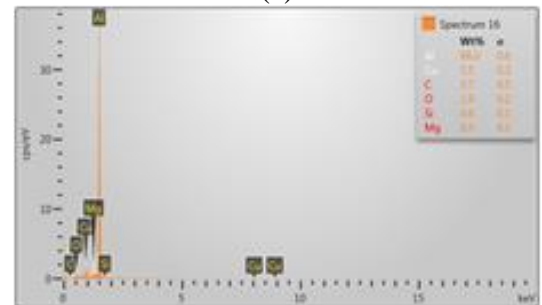


Şekil 3. Yüzey analizinde kullanılan Atomik Kuvvet Mikroskobu

Parçanın montaj edildiği diğer parça ile temas ettiği yüzeyde sınırlı bir bölgede (lokalize) korozyon meydana geldiği tespit edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. Korozyona uğramamış bölgeden alınmış SEM görüntüsü (a) ve EDX analizi (b)

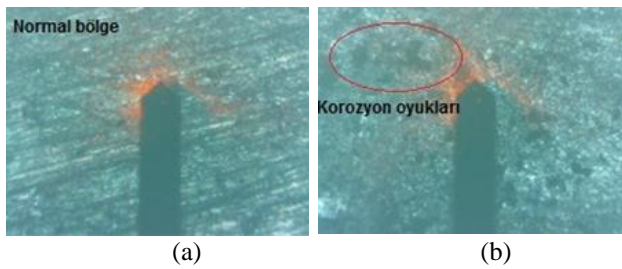
Şekil 4.'te Bracket parçasına ait SEM görüntüsü ve EDX analizi görünmektedir. Tablo 1'de Bracket parçasına ve Al2019, Al2024 e ait alaşım içerikleri verilmiştir.

Tablo 1. Korozyona uğramış Bracket parçanın ve Al 2019, Al 2024 alaşımlarının içerikleri (Aerospace Mat, 2017)

Element (%)	Korozif Bracket	Al 2019	Al 2024
Cu	5.5	5.8-6.8	3.8-4.9
Mg	0.5	0.02	1.2-1.8
Zn	0	0.1	0.25
Mn	0	0.2-0.4	0.3-0.9
Si	0.6	0.2	0.5
Fe	0	0.3	0.5
Cr	-	-	0.1
Ti	-	0.02-0.1	0.15
Zr	-	0.1-0.2	-
Al	Balans	Balans	Balans

Bracket parçasına ait EDX analizinde (4.b) bir miktar C ve O olduğu görünmektedir. Ancak bu durumun analiz cihazındaki detektörden kaynaklandığı öngörülmektedir. Alaşımın ağırlıkça bakır içeren Al2xxx serisi bir alaşım olduğu anlaşılmaktadır. İçeriğindeki C ve O göz ardı edildiğinde Al2019 kompozisyonuna yakın olduğu görülmektedir.

Alüminyum braket parçasından kesilen örnek yüzeyde korozyona uğramış bölge ve uğramamış bölge ayrı ayrı AFM tekniği ile incelenmiş ve yüzey topografi haritaları çıkarılmıştır. Şekil 5.'te AFM yayı, yüzeyi tarama esnasında mikroskop kamerasından görülmektedir. Şekil 5. a'da yay, korozyona uğramamış normal bölge üzerindedir. Şekil 5. b'de ise korozyona uğramış yüzey kameradan görülmektedir. Kırmızı çember ile işaretli bölge içinde korozyon oyukları görülmektedir.

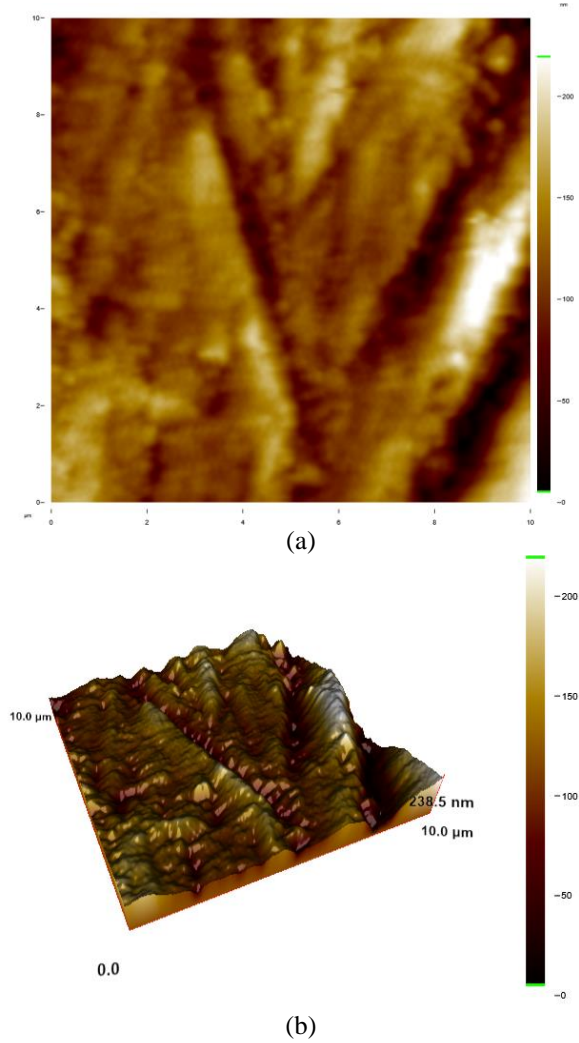


(a)

(b)

Şekil 5. AFM yayının tarama esnasındaki kamera görüntüsü Normal bölge ve Korozyona uğramış bölge

AFM ile yapılan yüzey analizi sonucunda parçanın normal yüzey bölgesinin topografi ve 3D görüntüsü Şekil 6.'a ve b'de görülmektedir. Üretim prosesi sonucunda oluşması mümkün olan standart çizgili bir yapı söz konusudur.



(a)

(b)

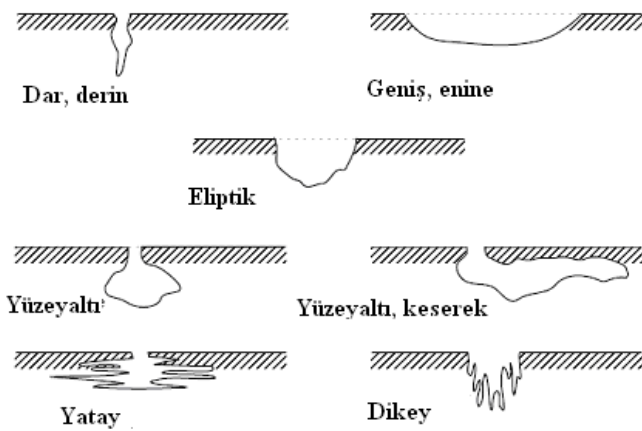
Şekil 6. Alüminyum braket normal yüzey topografisi (a) ve 3D görünüş (b), 10x10µm alan

Şekil 8. a'da korozyona uğramış bölgede AFM ile alınan topografi ve b'de bölgenin 3D görüntüsü görülmektedir. 10x10 µm alanda alınan görüntülerde korozyon sonucunda yapıda granüler bir bozunmanın söz konusu olduğu görülmüştür. Şekil 9. a'da ki AFM topografisi ve b'de ki faz görüntüleri eşzamanlı alınmıştır. Faz görüntüsü incelendiğinde farklı kontrast veren bir bölge görülmemektedir bu da yüzeyde

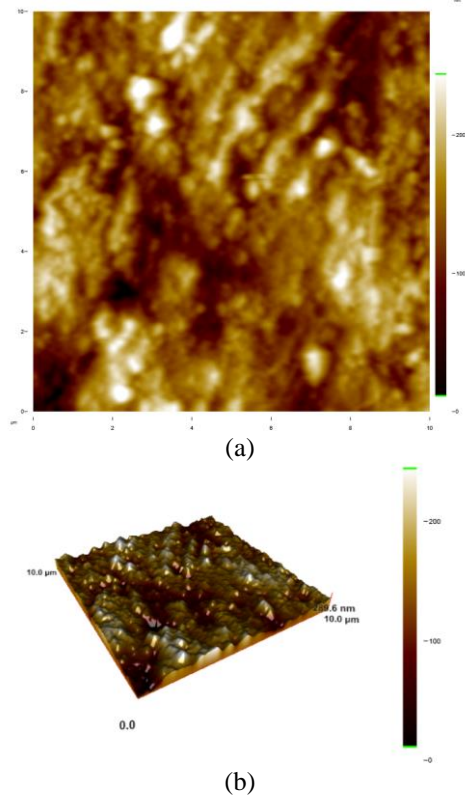
herhangi bir faz ayrışması olmadığını göstermektedir.

Bracket parça yüzeyinde kameradan görülen korozyon oyukları tarandığında, çukurcuk boyutları topografi görüntülerinden elde edilebilmiştir. Şekil 10. a'da AFM topografi görüntüleri ve b'de görüntü üzerinde alınan çizgi profili grafiği görülmektedir. Çizgi profili incelendiğinde çukurcuk derinliği 200-300 μm boyutunda ölçülmüştür. Bu da bu bölgede oluşan korozyon türünün çukurcuk korozyonu olduğunu göstermektedir.

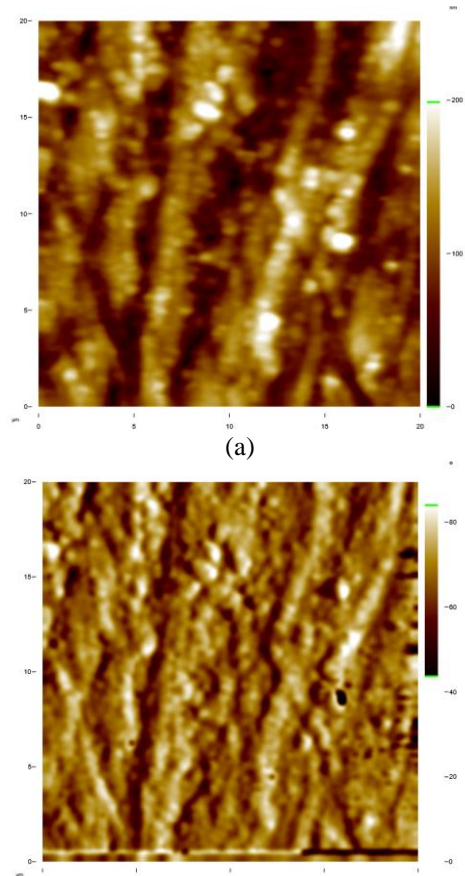
Bu tip korozyonda çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktadan kısa sürede delinmesine neden olur. Bu nedenle çukur tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyon türü olarak kabul edilir. Çok az malzeme kaybı olmasına rağmen, ekipman kısa sürede devre dışı kalabilir. Çukurcuk korozyonlarda oyuklanmalar farklı şekillerde meydana gelebilmektedir. AFM topografi görüntülerinden de anlaşılacağı üzere bracket üzerinde oluşan oyuklanma tipi geniş ve sığ (Shallow and wide) şeklindedir. Bu tip oyuklanma korozyonu diğer tiplere göre en masum olanıdır. Çukurcuk korozyonunda oluşan en tehlikeli oyuklanma tipi ise dar ve derin (Narrow and deep) dir. Bu tip oyuklanma oldukça tehlikelidir. Çünkü çok hızlı bir şekilde parçanın et kalınlığına ulaşabilmekte ve parçada çentik etkisi oluşturmaktadır. Şekil 7. Şematik olarak bu korozyon tiplerini göstermektedir. (ASTM, 2018).



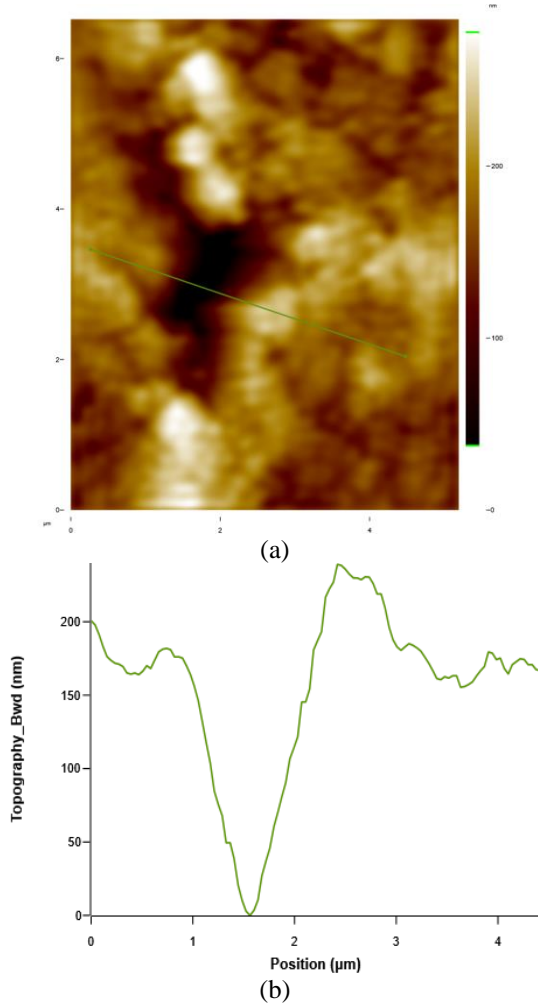
Şekil 7. Korozyon tiplerinin şematik olarak görünümü



Şekil 8. Korozyona uğramış yüzey topografisi (a) ve 3D görünüşü (b), 10x10 μm



Şekil 9. Korozyona uğramış yüzey topografisi (a), faz görüntüsü (b), 20x20 μm alan



Şekil 10. Korozif yüzey topografi görüntüsü (a) ve grafiği (b)

Sonuçlar ve Tartışma

Atomik kuvvet mikroskobu tekniği kullanılarak iniş takımlarına ait Alüminyum bracket parçası yüzeyinde oluşan korozyon hasarı incelenmiştir. Atomik kuvvet mikroskobu ile yapılan tarama sonuçlarına göre; korozyona uğramamış bölgede alınan topografi görüntüsünde üretim prosesi sonucu oluşan mikro çizgiler görülmektedir. Korozyona uğramış bölgedeki topografi görüntüsünde ise granüler yapı söz konusudur. Granüler yapıda aktif noktalardan ayrışma başlamış ve korozyon oyukları oluşmuştur. Bu oyuklar çukurcuk korozyonu olarak adlandırılmaktadır. Korozyona uğramış bölgede alınan topografi verisi çizgi profili incelendiğinde oyukların derinliği 200-300µm arasında ölçülmüştür. Al2019 kompozisyonunda olan bracketin bakır oranının % 5,5 olması

mikro-galvanik etki sonucu korozyon direncini düşürmektedir.

Korozyona uğramış bölgeden alınan AFM faz görüntüsünde farklı bir faza rastlanmamıştır. Oluşan hasar sonucunda faz ayrışması görünmemektedir.

Sonuç olarak elde edilen tüm verilere bakıldığında iniş takımlarında kullanılan bracket parçasında meydana gelen bu korozyon hasarının net olarak çukurcuk korozyonu ve oyuklanma korozyonu, korozyon tipinin ise geniş ve sığ (Shallow and wide) olduğu görülmektedir. Ancak bu gerçekleşmeden önce alüminyumun birçok korozif ortama karşı gösterdiği direncin nedenlerinden biri olan yüzey tabakasındaki amorf veya kristalin alüminyum oksit tabakasını ortadan kaldıran sürtünme korozyonu ile beraber lokalize olarak meydana geldiği görülmektedir. Al2019 serisinde bakır içeriğinin fazla olması parçada mikro-galvanik etkiyi arttırmaktadır. Bakır oranı Al2019 serisine göre daha az olan Al2024 serisinin tercih edilmesi, mikro-galvanik etkiyi azaltacaktır. Bundan dolayı bracket malzemesinde bakır oranı daha az olan Al2024 serisi tercih edilmesinde korozyon direncinin artırılması açısından önem arz etmektedir.

Teşekkür

İncelemeye tabi tutulan parça temininde bulunan THY Teknik A.Ş. ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- A. Ghavamian, M. R. Maghami, S. Dehghan, C. Gomes, Concerns of corrosive effects with respect to lightning protection systems, *Engineering Failure Analysis* 57 (2015) 434–443
- ASTM G46 - 94(2018) Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion *Aerospace Materials and Material Technologies Volume 1: Chapter 2. Aluminium Alloys for Aerospace Applications*, Prasad, N.E., Wanhill, R.J.H., 2017, XXIX, 586 p., ISBN: 978-981-10-2133-6
- Asi, O. and Yesil, Ö., Failure Analysis Of An Aircraft Nose Landing Gear Piston Rod End, *Engineering Failure Analysis* 32 (2013) 283–291

- Aydın, B., AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2002,
- B. Krstic, B. Rasuo, D. Trifkovic, I. Radisavljevic, Zoran Rajic, M. Dinulovic, Failure analysis of an aircraft engine cylinder head, *Engineering Failure Analysis* 32 (2013) 1–15
- Güler, K. A., Uçak Yapımında Kullanılan Malzemeler Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Bitirme tezi, 2003,
- Karakoç, H., Çalışır, D., Karakoç, N., Uçak Motorlarında Korozyona Yönelik Bakım Süreçleri, *Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu, Mühendis ve Makina - Cilt 43 Sayı 512*
- Kurt, K., Direk soğutmalı ve çift merdaneli döküm yolu ile üretilen 6xxx serisi kaynaklı ve kaynaksız alüminyum alaşımlarının oyuklanma korozyonu davranışı, Yüksek Lisans Tezi, 2006
- S.K. Bhaumik, M. Sujata, M.A. Venkataswamy, Fatigue failure of aircraft components, *Engineering Failure Analysis* 15 (2008) 675–694
- Uludağ, A., Bir Uçak Ana İniş Takımı Jantının Sıvı Penetrant Kontrol Yöntemi ile İncelenmesi, *Journal of Aviation*, 2017, 1(2) 128-139
- V. Anes, R.S. Pedro, E. Henriques, M. Freitas, L. Reis, Galvanic corrosion of aircraft bonded joints as a result of adhesive microcracks, *Procedia Structural Integrity*, 1, (2016), 218–225

Failure Analysis of Al-based Bracket Parts Used in Aircraft Landing Gear

Extended abstract

Aluminum is the most commonly used metal after iron and steel in the metal market. Aluminum has been widely used in the early 1900's and has been used in the aviation industry day by day because of its superior properties and its relatively low self-mass. It is economically advantageous when considering the increasing fuel prices, as the vehicles that contain more aluminum in the structure are lighter than others. Aluminum alloys commonly used in the aerospace industry are up to 20% in some aircraft types. The planes are found in a wide variety of atmospheric conditions, such as tropical, industrial, marine, terrestrial, desert and polar, due to the travels they make. Such as galvanic, pitting, intergranular, scaling, tensile and fatigue types of corrosion are often seen in the Aluminum alloys used in airplanes. The galvanic corrosion caused by the superficial contact of titanium and aluminum alloys is often seen in the environment where these two alloys are used together. Corrosion multiplies and grows as the age of the aircraft progresses. Corrosion damage can not be detected at the beginning and if it is not repaired, it could cause serious danger to the entire structure. Even if the aircraft type is the same, the use in different environments will change the amount of corrosion damage that will occur. Airplanes undergo less corrosion in dry air, while in humid, warm and salty environments they experience corrosion in shorter time. The most common areas of corrosion on airplanes are the bushes on the landing gear, the bolts passing through the bushes with very small tolerances, and the covering that connects the wing to the body.

It is of utmost importance that this damage and / or failures that may occur in aircraft engines and components in order to ensure the suitability of a flight for a flight in flight activities and the safety and reliability of the necessary and sufficient levels are determined and determined before they cause serious consequences such as accidents.

It is inevitable to focus on the corrosion problems encountered in air vehicles in the aviation sector where flight safety is at the forefront and even the smallest mistake can not be ignored. Especially in the maintenance of air tools, it is important to detect this problem, take precautions and remove corrosion.

Failure of aircraft structural components can ultimately lead to life loss and catastrophic consequences for aircraft. Examination of defects and malfunctions in aircraft structures has vital importance in preventing further events

In this study, Corrosion behaviors of the bracket piece used in landing gear of the airbus A320-214 aircraft after 10,000 hours of use has been investigated. Microstructure, chemical and surface analysis of bracket were examined using SEM, EDX and AFM analysis instruments. Corrosive and non-corrosive zones of aluminum-based brackets were characterized using Atomic Force Microscopy (AFM) technique, and pitting corrosion has been evaluated.

According to the scan results made with AFM; the topographic image taken from the unbroken area shows micro and nano-lines formed as a result of the production process. The topography in the corroded area is the granular structure. The separation from the active sites in the granular structure has begun and corrosion cavities have formed. These cavities are called pitting corrosion. When the topographic data line profile taken in the corroded area is examined, the depth of the grooves is measured between 200-300 nm. It is seen that in the bracket copper content is 5.5% in Al2019 composition. The proportion of copper in the Al2019 alloy content will be higher than that of the Al2024 alloy, which will result in more micro-galvanic effect. With this result; it is understood that the corrosion rate decreases as the copper ratio increases. Therefore, Al series, which has less copper ratio in bracket material will be preferred in terms of corrosion resistance. The AFM phase image taken in the corroded region did not reveal a different case. It can be said that phase separation does not appear as a result of the damage.

As a result; it can be said that this corrosion damage in the bracket part used in the landing gear of the Airbus A320-214 type aircraft is clearly the pitting corrosion. And corrosion type can be said to be wide and shallow. However, it can be said that before this corrosion occurs, one of the causes of the resistance of aluminum to many corrosive environments is localized with friction corrosion, which lifts the amorphous or crystalline aluminum oxide layer in the surface layer.

Keywords: Al2019, Landing Gear, Corrosion, AFM