I. ULUSAL HAVACILIK VE UZAY KONFERANSI
21-23 Eylül 2006, ODTÜ, Ankara

UHUK-2006-067

A4 PERÇİNLERİN ALÜMİNYUM LEVHALARDA BİNDİRME PERÇİN BAĞLANTILARINDAKİ FRETTING AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Veysel Erturun*
Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Göv. Mot. Bölümü, 38039 KAYSERİ

Durmuş Odabaş †, Kemal Yıldızlı ‡
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, 38039 KAYSERİ

ÖZET

Bu çalışmada, alüminyum alaşımı levhaların bindirme perçin bağlantılarında, fretting aşınması oluşumu araştırılmıştır. Fretting testleri için uçak yapısal parçalarında yaygın olarak kullanılan 6061-T6 alüminyum alaşımı plakalar ve A-4 tipi perçin kullanılmıştır. Fretting olan yüzeyler, Üst plakanın perçin başı ile temas yüzeyi, üst plakanın alt plaka ile temas yüzeyi, alt plakanın üst plaka ile temas yüzeyi, alt plakanın perçin şişme başı ile temas yüzeyidir. Genel olarak, yük ve çevrim arttığında fretting izleri ve pürüzlülük değerleri artmıştır.

GİRİŞ

Fretting düşük genlikli salınım hareketi yapan iki yüzey arasında meydana gelen bir aşınma türüdür. Fretting ile meydana gelen yorulmaya fretting yorulması adı verilir. Yorulma sırasında frettingin meydana gelmesi halinde elemanların yorulma ömrü önemli ölçüde azalmaktadır. Normal yorulma halinde yorulma çatlağı başlangıcı toplam yorulma ömrünün % 90'ın dan sonra meydana gelirken, fretting yorulmasında çatlak toplam yorulma ömrünün % 4'den hemen sonra başlar. Frettingle başlayan ilk yorulma çatlak ilerleme hızı sürtünme kuvvetlerinin tesiri ile artar. Çatlak belirli bir uzunluğa ulaştığında ise, çatlağın ilerleme hızı normal yorulmadaki hızla ilerler [7].

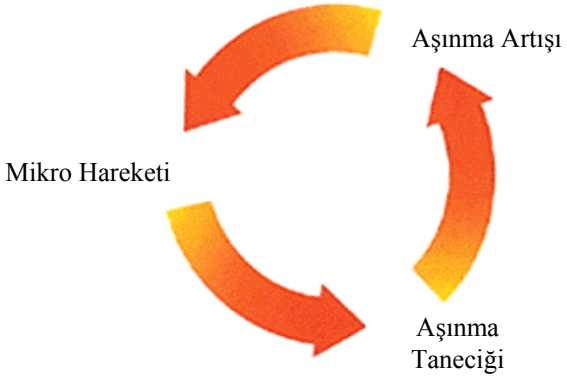
Makine elemanlarında oluşan hasarların çoğunluğu, değişken yüklerin sebep olduğu yorulma ile meydana gelir. Metalik parçalar, statik dayanımından daha düşük yani elastik sınır altındaki tekrarlanan gerilmeler altında çalışırlar. Fakat belirli bir yükleme çevrim sayısı sonunda genellikle yüzeylerinde çatlaklar oluşur. Oluşan çatlaklar, tekrarlı yüklerin etkisiyle ilerler ve parçalar kırılırlar. Bunun sonucu yapı kullanılamaz hale gelir [2].

Fretting mühendislik malzemelerini tahrip eden hasar sebeplerinden biridir. Fretting hasarı oluşmasında yükleme çevrim sayısı önemli faktörlerden biridir. Yorulmaya maruz elemanların dizaynında fretting olayı da göz önünde bulundurulmalıdır. Fretting yorulmasının oluşmasında makine parçalarının temas geometrisi ve işletme yükleri çok etkili rol oynar. Fretting yorulması makine parçaları arasındaki metal-metal temasını artırarak parçalar arasında adhezyona aşınmaya ve bağlantı elemanlarının gevşemesine sebep olur. Ayrıca fretting yorulması erken yorulma çatlak çekirdeklenmesine sebep olarak parçalardaki hasarın hızla yayılarak elemanın çalışma ömrünü düşürür [1].

Fretting olayı sürtünmeli çalışan bağlama elemanlarında yaygın olarak görülür. En yaygın sürtünmeli bağlantılar kelepçe halkaları, presli geçme, sıcak geçme, konik geçmeler ve perçin

* Uzman, Uçak Gövde-Motor Böl., E-posta: erturun@erciyes.edu.tr
† Yrd. Doç. Dr., Makine Müh. Böl., E-posta:odabasd@erciyes.edu.tr
‡ Araştırma Görevlisi, Makine Müh. Böl., E-posta:kyildizli@erciyes.edu.tr

bağlantılarıdır. Yukarıda adı geçen bağlama teknikleri çok ekonomik olup yüksek hızlarda gevşemeye karşı kararlılıklarını sürdürürler. Ayrıca ilave eksenel desteklemeye ihtiyaç duymazlar. Fakat bu bağlama elemanları momenti sürtünme ile iletirler. Bu sebeple sürtünmeli bağlantılarda azda olsa mikro kayma hareketleri olur. Bunun sonucu bu elemanlarda hızlı aşınma ve arızalar meydana gelir (Şekil 1). Kaynak, lehim ve yapıştırıcı kullanılması ile mikro-hareketler engellenir. Dolayısıyla doğru tasarlanmış bağlantı şekilleri aşınmayı ortadan kaldırır [4].

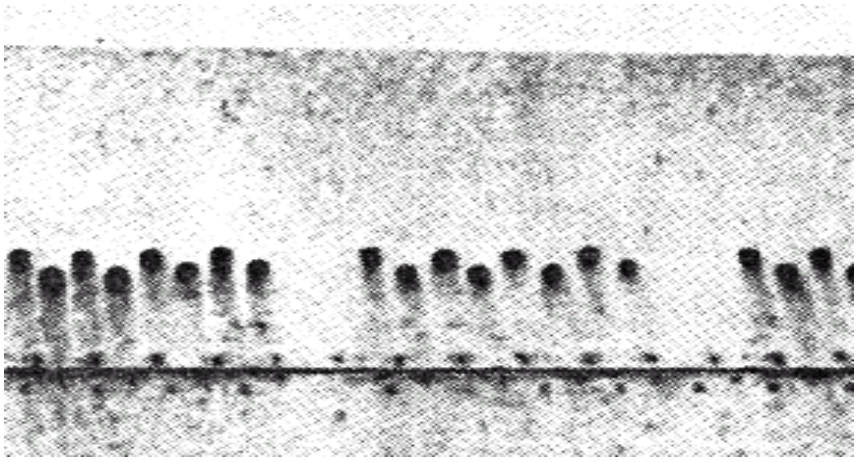


Şekil 1: Fretting Aşınma [4].

Parçada bulunan çatlak, çentik, boşluk, sert parçacıklar ve ani kesit değişimlerinin çevresindeki gerilmeler parçanın maruz kaldığı dış gerilmelere göre daha büyük değerlerde olur. Bu yüksek gerilmeler yapı içerisinde plastik şekil değişimi meydana getirirler. Bir metal parçaya etki eden elastik sınır altındaki yükler mikro yapı içersindeki mevcut hataları (dislokasyonlar) bölgesel olarak harekete geçirirler. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılar gerilme yığılmasına sebep olurlar. Gerilme yığılmasının etkisiyle yüzeyde mikro çatlaklar oluşur. Mikro çatlaklar zamanla büyüyerek ilerler ve yapı içerisinde yayılırlar. Bağlama elemanlarının sabit şartlar altında belirli bir gerilme değeri altında çatlama veya kopma olayı gösterdikleri N çevrim sayılarının ortalamasına yorulma ömrü adı verilir [6].

FRETTİNG AŞINMASININ PERÇİN BAĞLANTILARINDA OLUŞMASI

Fretting aşınması uçakların dış kaplama saçlarını bağlayan perçinlerin arkalarında hava akımın geldiği yönün tersinde siyah artık işaretleri bırakır (Şekil 2). Fretting aşınması sacın içinde ve perçinlerin etrafında meydana gelir. Perçin başının etrafında akımın ters yönünde siyah artıklarla işaret edilen perçinler mümkün olur olmaz değiştirilmelidirler.Fretting aşınmasının en çok görüldüğü yerler uçak kanat yüzeyleri ve uçak motor kapaklarında bulunan duman renkli perçinlerdir [12].



Şekil 2: Fretting Aşınması.

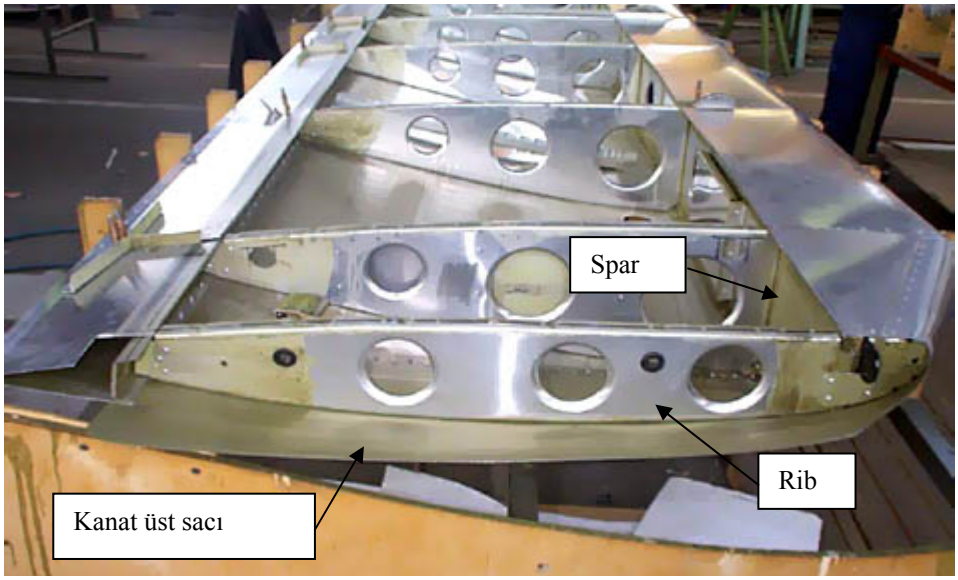
Forsyth [13] fretting aşınmasının perçin bağlantının gevşemesine ve fretting yorulması ile sonuçlanacağını belirlemiştir. Lyer [10] bindirme perçin bağlantılarındaki fretting aşınması ve yorulmasının oluşturduğu hasarların etkilerini inceledi ve perçinli iki plaka arasıdaki yüzeyde fretting meydana geldiğini tespit etti. Szolwinski [8] yüksek basınç kuvveti ile temas eden yüzeyler arasında fretting hasarının yüksek olduğunu belirledi. Schijve [11] perçin bağlantılarındaki yorulma çatlaklarının başlangıcının fretting aşınmasından ileri geldiğini buldu.

Chen ve arkadaşları [3] kendinden yarıklı perçin bağlantılarının fretting aşınmasını incelediler. Bağlantılarda tekrarlı çevrimler sonucunda yüzey hasarları görüldü. Perçin ve perçinle birleştirilmiş plaka arasındaki ara yüzeylerde fretting hasarlarının meydana geldiği tespit edildi.

Amerika Birleşik Devletlerinin ulusal sivil havacılık otoritesi FAA'nın (The Federal Aviation Administration) rehberliğinde Utah Üniversitesinde hava araçlarının perçin bağlantılarında yapılan araştırmalar sonucunda, fretting hasarının çatlak çekirdeklenmelerinin ana sebebi olduğu bildirilmiştir [9]. Fretting yorulma çatlakları normal yorulmadan çok daha erken başlar. Fretting yorulma ömrü küçük çatlakların yayılması ile belirlenir. Bundan dolayı yorulma ömrünü tahmin etmek için fretting yorulma çatlaklarının başlangıcı ve yayılması çok önemlidir [5].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

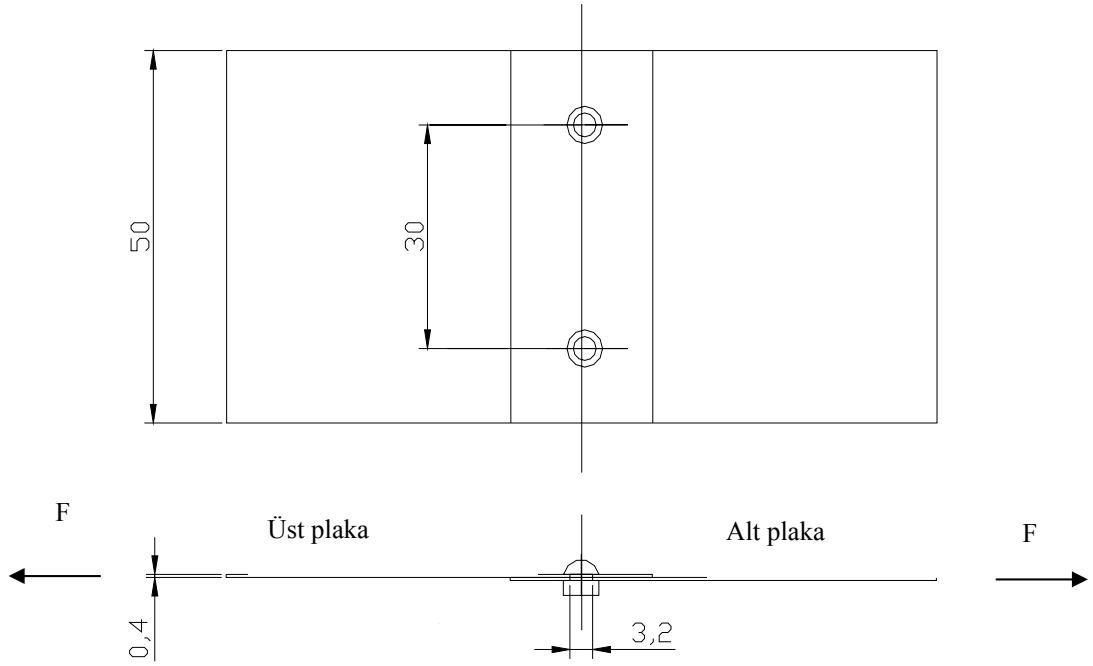
Fretting deneylerinde kullanılan numunelerin hazırlanmasında, malzeme seçimi ve boyutlandırması Zenith Stol CH 701 model uçağının kanat kaplama sacına uygun olarak yapılmıştır. Şekil 3'de, bu tipteki bir uçak kanadında, bindirmeli perçin bağlantısı ve bağlantı bölgesinde oluşan kuvvetler şematize edilmiştir.



Şekil 3: Zenith Stol CH 701 Uçağının Kanat İç Yapısı.

AA 6061-T3 alüminyum alaşımı saclar ve A-4 çekme perçinler kullanılarak, Şekil 4' de verilen boyutlarda her bir numune hazırlanmıştır. 0.4 mm kalınlığındaki alüminyum levhaların bindirmeli perçinleme işlemi, havalı çekme perçin tabancası ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler, 200kN statik, 100kN dinamik yük kapasiteli bilgisayar kontrollü, Instron (8500 model) test cihazında yapılmıştır. Numune cihaz çenelerine hidrolik basınçla sıkıştırılan kavrama teçhizatı ile yük dağılımı düzgün olacak şekilde bağlanmıştır. Testlerdeki, tekrarlı yük değerleri 0-0.48 ve 0-0.96kN sinüsidal dalga olarak; çevrim sayıları ise $2x10^4$ - $6x10^4$ aralığında değiştirilmiştir. Frekans tüm deneylerde 20 Hz olarak alınmıştır.

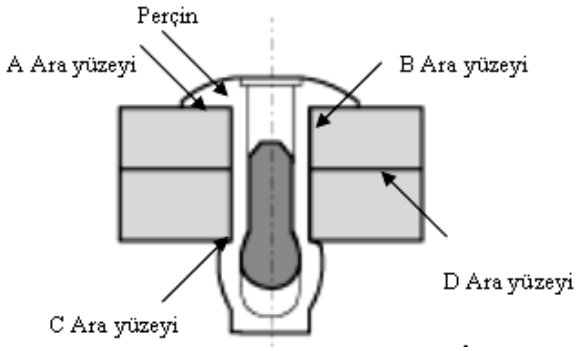
Deneylerde kullanılan değerlerin kontrolünde MAX paket bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu programda deneylerin ortalama yük değeri, genlik, frekans ve çevrim sayısı bilgileri girilerek yapılmaktadır. Fretting deneyleri sonucunda parçaların yüzeyleri taramalı elektron mikroskobunda (SEM-CamScan) incelenmiştir.



Şekil 4: Çift Perçinli Bağlantının Geometrisi ve Yük Yönü.

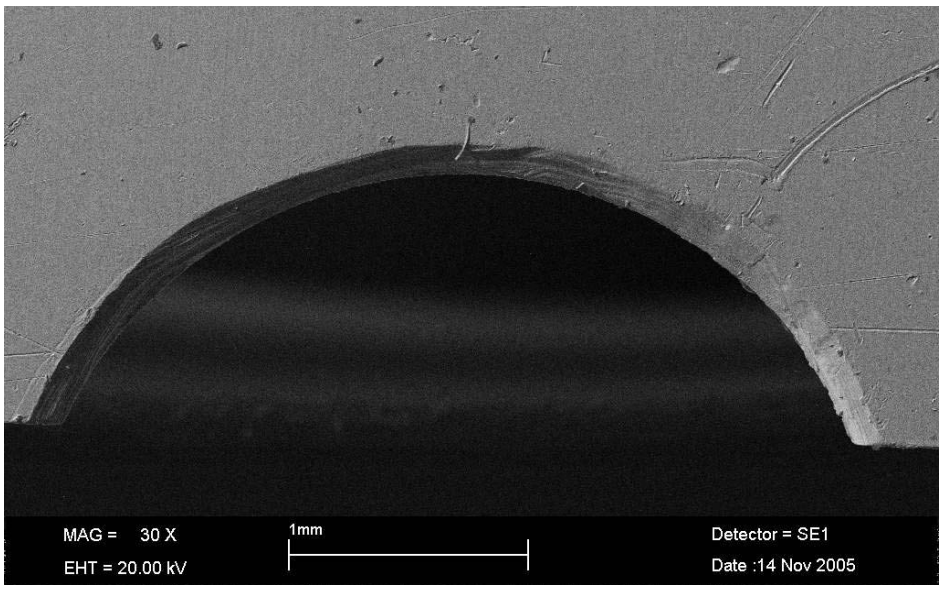
TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Bir bindirme perçin bağlantısının kesit görüntüsü Şekil 5 de verilmiştir. Genel olarak, deney sonuçları ve bu sonuçların irdelenmesi neticesinde, şekilde belirtilen A, B, C ve D ara yüzeylerinde fretting hasarlarına rastlanmıştır.

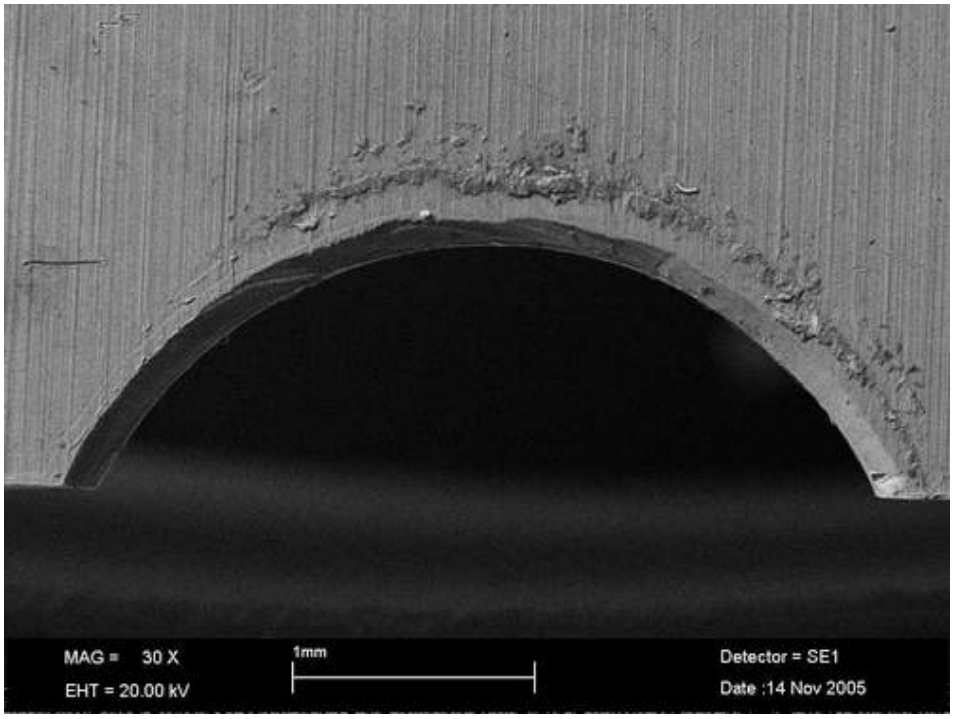


Şekil 5: A4 Çekme Perçin Bağlantısı

Perçin başı ile üst levha arasındaki ara yüzeyin yük uygulanmamış numune resmi şekil 6'da, yük uygulanmış yüzeyde oluşan fretting bölgesi şekil 7'de gösterilmiştir. Bu bölge şekil 5'te A ara yüzeyi olarak gösterilen bölgedir.

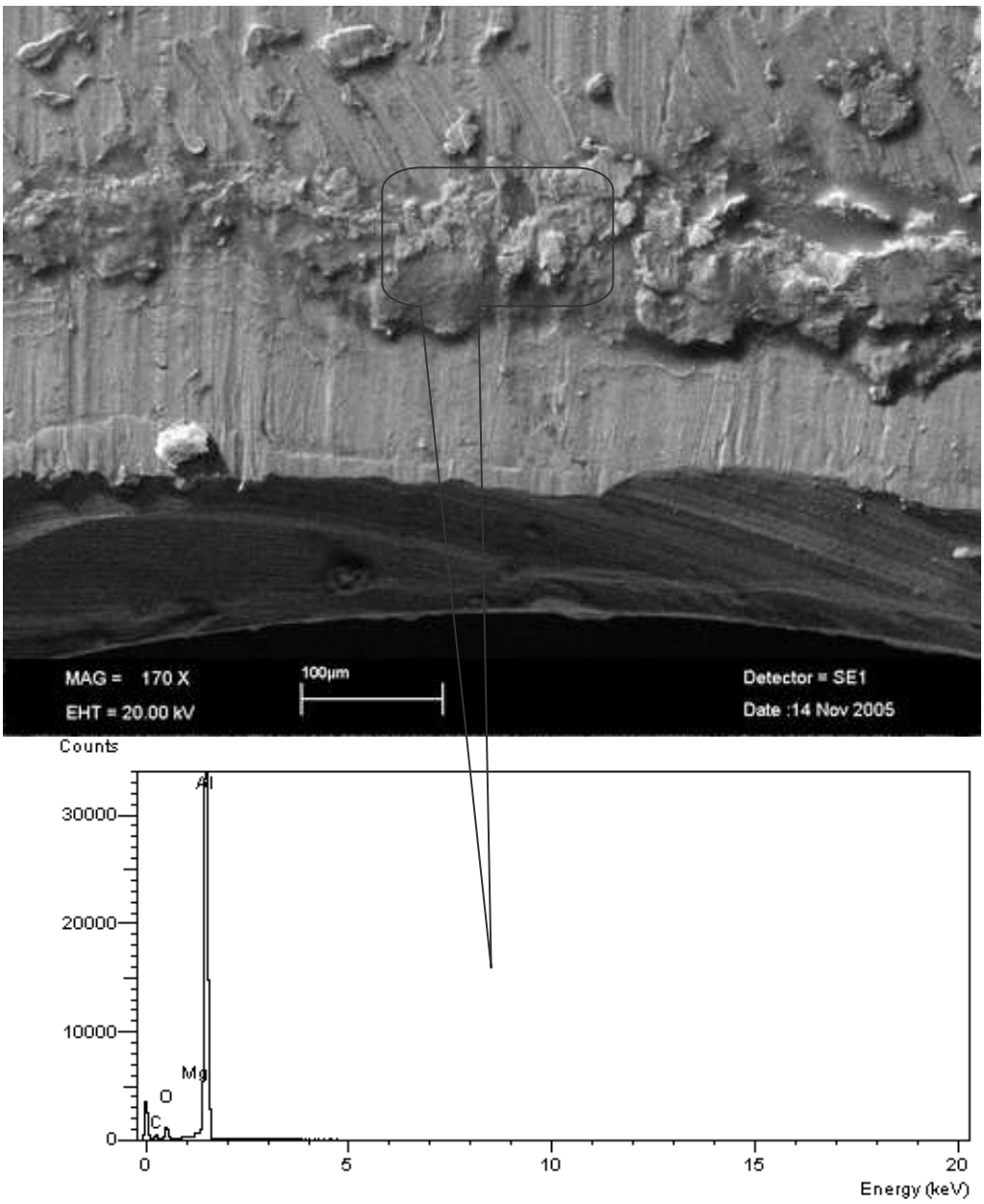


Şekil 6: Perçin Başı ile Levha Arasındaki Ara Yüzeyde Oluşan Fretting Bölgesi : 0.95 kN İçin $6x10^4$ Çevrim



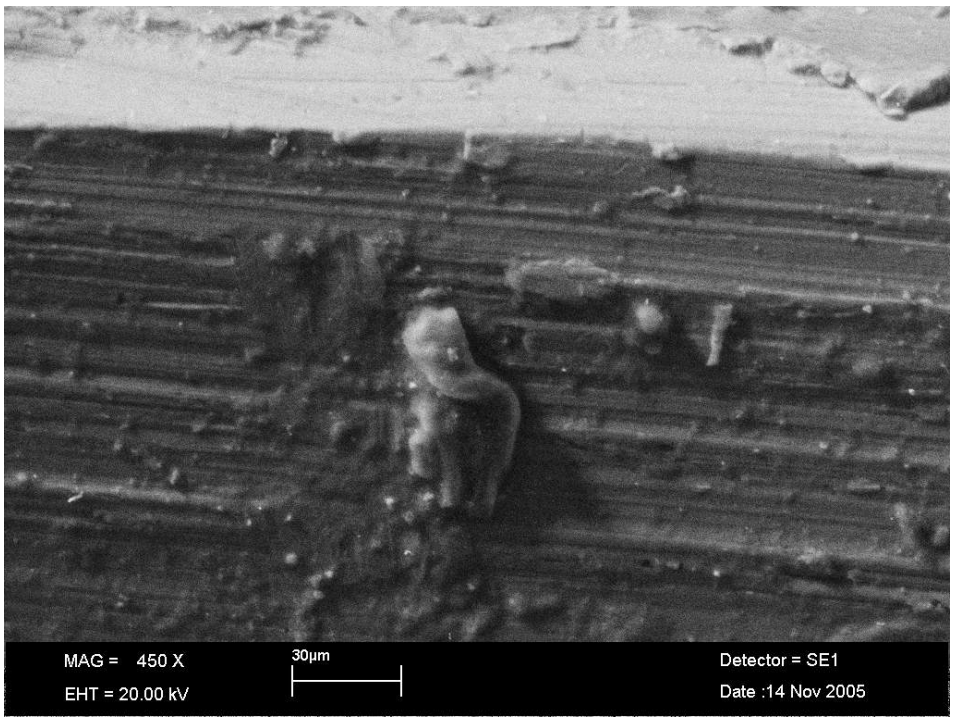
Şekil 7: Perçin Başı ile Levha Arasındaki Ara Yüzeyde Oluşan Fretting Bölgesi : 0.95 kN İçin $6x10^4$ Çevrim

Fretting bölgelerinde EDX analizi yapılarak aşınma partiküllerinin bileşiminin alüminyum, magnezyum ve bunların oksitlerinden meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 8).



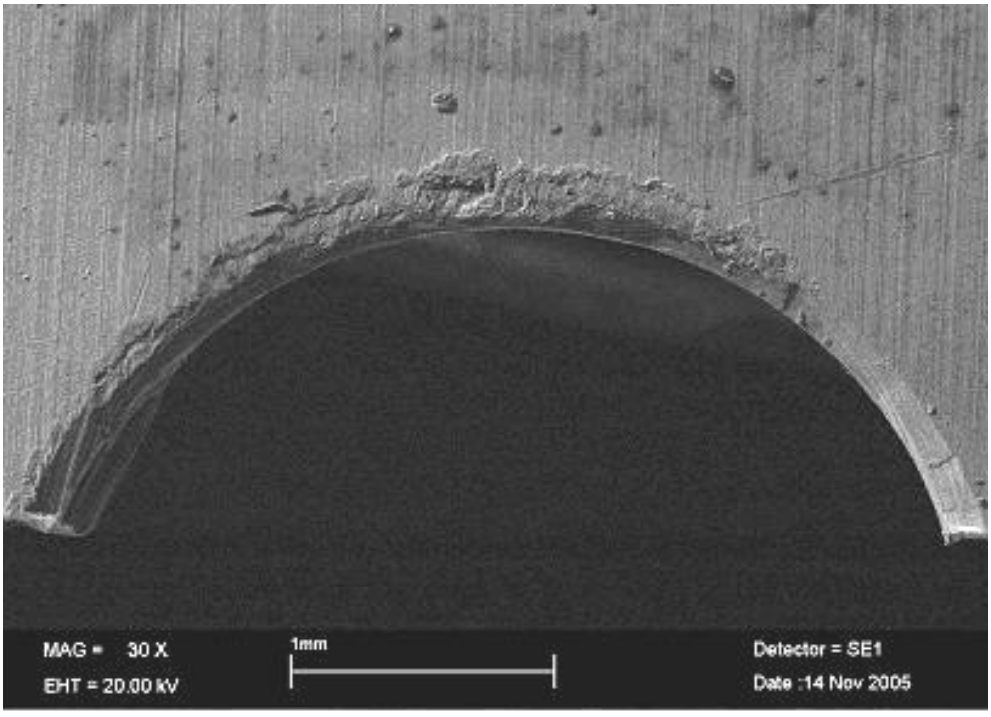
Şekil 8: Üst Plakanın Perçin Başı ile A Temas Yüzeyini Görüntüsü ve Plaka Üzerindeki Fretting Bölgesinin EDX Analizi (Yük: 480 N/Perçin , Çevrim Sayısı: $6x10^4$, Perçin Sayısı:2, Büyütme: 30x).

Perçin ile alt levha arasındaki delik yüzeyinde oluşan fretting bölgesi şekil 9'da gösterilmiştir. Bu bölge şekil 5'te B ara yüzeyi olarak gösterilen bölgedir.



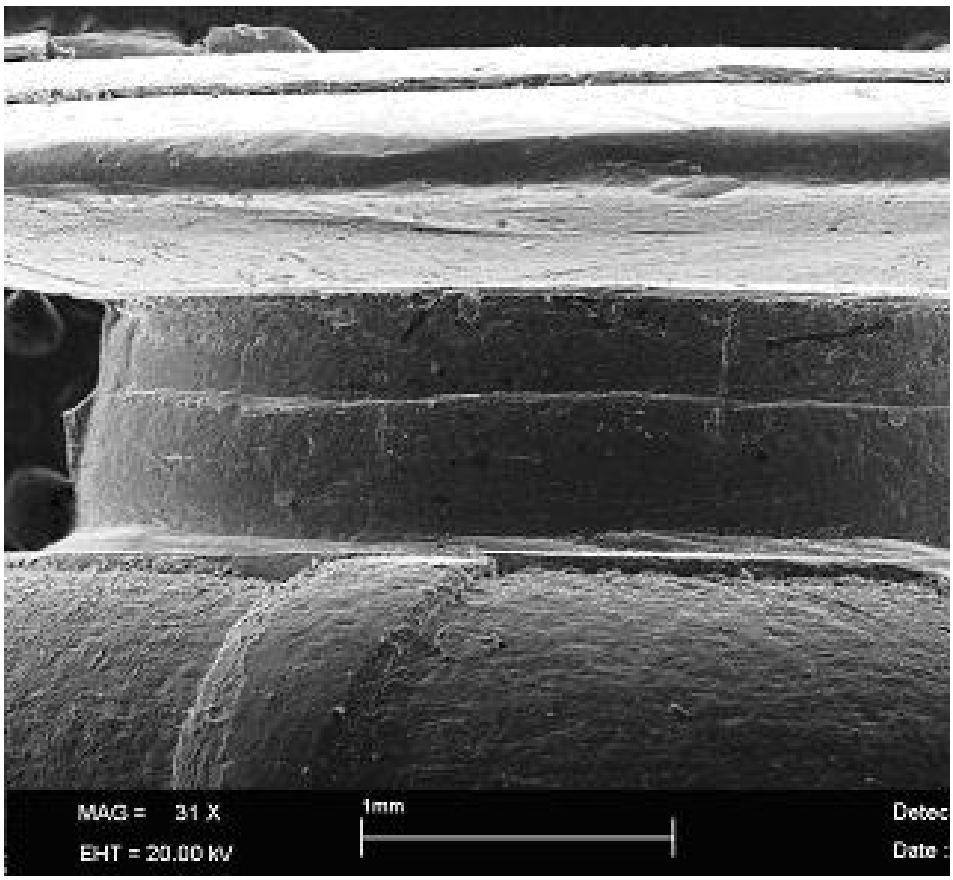
Şekil 9: Alt Levha Üzerinde Delik Ara Yüzeyinde Oluşan Fretting Bölgesi : 0.95 KN için $6x10^4$ Çevrim

Perçin sişme başı ile alt levha arasındaki ara yüzeyde oluşan fretting bölgesi şekil 10'da gösterilmiştir. Bu bölge şekil 5'de C ara yüzeyi olarak gösterilen bölgedir.

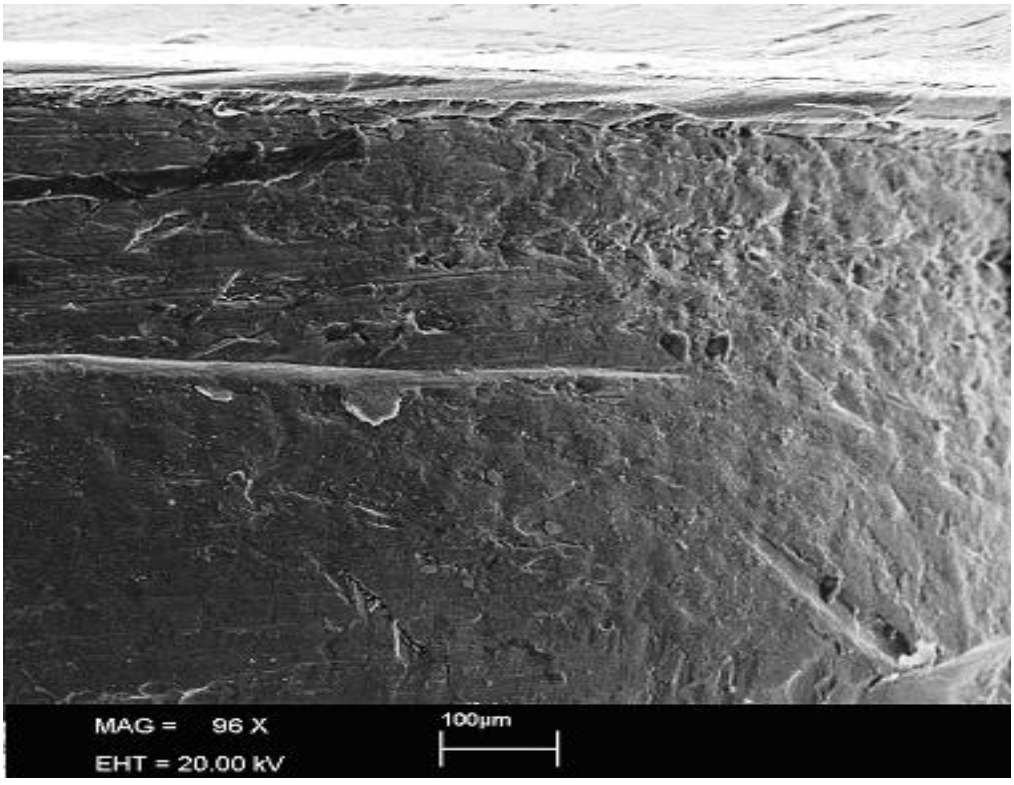


Şekil 10: Perçin Şişme Başı ile Alt Levha Arasındaki Delik Ara Yüzeyinde Oluşan Fretting Bölgesi : 0.95 KN için $6x10^4$ Çevrim

Alt levha ile üst levha arasındaki ara yüzeyde, şekil 5'te D ara yüzeyi olarak gösterilen bölgede de çok az fretting bölgesi oluşmuştur. Perçin yüzeyinde oluşan fretting bölgesi şekil 11'de ve şekil 12'de gösterilmiştir. Ayrıca perçin üzerinde kesme izleride oluşmuştur.



Şekil 11: Perçin Yüzeyinde Oluşan Fretting Bölgesi : 0.95 KN için $6x10^4$ Çevrim



Şekil 12: Perçin Yüzeyinde Oluşan Fretting Bölgesi : 0.95 KN için $6x10^4$ çevrim

SONUÇLAR

1. Çekme perçin bağlantısında fretting hasarı perçin başı ile levhalar arasında, iki levha arasında ve perçin deliği ile perçin arasında fretting hasarları görülmüştür.

2. Fretting aşınması başlangıçta metal-metal teması ile başlar. Daha sonra oluşan metalik aşınma partikülleri oksitlenerek sertleşir. Bu sert partiküller yüzeyler arasında yayılarak üç cisimli fretting aşınmasına sebep olur.

3. Fretting aşınma yüzeyi genişliği yük ve çevrim sayısının artışı ile artar.

4. Çekme perçinli bağlantılarda elemanlar arasında homojen bir temas sağlamak çok zordur. Özellikle perçinin esas başı ve şişirme başı ile plakalar arasında tam bir temas mümkün değildir.

KAYNAKLAR

[1] Lu, F., Xu, J., Evaluation of cyclic in elastic response in fretting based on unified Chaboche model, International Journal of Fatigue, 27(9), 1062-1075, 2005

[2] Karcı, A., Turan, D., 2024-T3 Al Alaşımının Tek Aşırı Yük Altında Yorulma Çatlak İlerleme Davranışı, Kayseri V. Havacılık Sempozyumu, 2004

[3] Chen, Y.K., at al., Fretting wear in self-piercing riveted aluminium alloy sheet, Wear, 255 (7-12), 1463–1470, 2003.

[4] Silindirik metal bağlantılarda sıkı geçme, http://www.loctite.com.tr/wwdh/tr/ book/i115ch07.htm#fig62

[5] Hattori, T., Nakamura, M., and Watanabe, T., Simulation of fretting-fatigue life by using stress-singularity parameters and fracture mechanics, Tribology International, 36(2), 87-97, 2003

[6] Karcı, A., 2024-T3 Al alaşımın tek aşırı yük altında yorulma davranışı, Yüksek Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2002

[7] Hasçalık, A., ve Aksoy, M., F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi 13, 2, 237-245, 2001

[8] Szolwinski, M.P., Linking riveting process parameters to the fatigue performance of riveted aircraft structures, J. Aircraft 37, 130–137, 2000.

[9] David W. Heoppner, Charles D. Eliot, Mark W. Moesser, The Role of Fretting Fatigue on Aircraft Rivet Hole Cracking, Utah Unıv Salt Lake Cıty Dept Of Mechanıcal Engıneerıng, OCT 1996

[10] Lyer, K. et al., Contribution of fretting to the fatigue and corrosion deterioration of a riveted lap joint, Struct. Integ. Ageing Aircraft, ASME 47, 35–61, 1995.

[11] Schijve, J., Multi-site-damage fatigue of riveted joints, Durability of Metal Aircraft Structures, Atlanta Technology Publications, 21–27, 1992.

[12] Reithmaier, L., Aircraft Repair Manuel, Palomar books. ABD, p.90, 1990

[13] Forsyth, P.J.E. Occurrence of fretting fatigue in practice, Fretting Fatigue, London Applied Science, 99–125, 1981.