

UÇAK BAKIMINDA KOROZYON ANALİZİ

Mevlüt Serkan GÖVCE
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Kasım - 2005

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UÇAK BAKIMINDA KOROZYON ANALİZİ

M. SERKAN GÖVCE

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık AnaBilim Dalı

Danışman: Yard.Dç.Dr. Müge ARMATLI KAYRAK

2005, 88 Sayfa

Uçak bakımı, uçağın üretiminden itibaren başlayıp uçak servisten alınmaya kadar devam eden bir süreçtir. Bakımın amacı uçağı her zaman gerekli performansı ve uçuş emniyetini sağlayacak durumda tutmaktır. Korozyon ise malzemenin üretimi ile başlayan ve tamamen ortadan kaldırılması mümkün olmayan bir olaydır. Genel olarak korozyon, uçak malzemelerinin çevresindeki etkenler ile tepkimeye girerek tahrip olması veya yapısının bozulmasıdır.

Bu çalışmada öncelikle korozyon hakkında gerekli bilgiler verilerek uçaklarda en çok karşılaşılan türleri hakkında bir analiz yapılmış, daha sonra uçaklarda kullanılan metal malzemeler göz önüne alınarak, bu malzemelerin saf durumları ve alaşımlandırılmış durumlarına göre korozyon davranışları incelenmiştir.

Bakım yaklaşımları, bunların gelişim süreçleri ve korozyona yönelik faaliyetler ile uçak üzerindeki korozyon riski yüksek olan bölgeler belirtilmiş, korozyonun yorulma ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bakım faaliyetleri içinde önemli bir yer tutan hasarın ve arızanın tespiti için kullanılan tahribatsız kontrol teknikleri tanıtılarak, bu tekniklerin korozyonun tespiti için nasıl kullanıldıkları incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı uçak bakımı ve korozyon ile ilgili analizler yaparak, korozyonun emniyet ve ekonomiye olumsuz etkilerini vurgulayarak, bunların bakım uygulamalarındaki önemini ortaya koymaktır..

Anahtar Kelimeler: Uçak Bakımı, Korozyon, Uçak Malzemesi, Tahribatsız Kontrol, Emniyet

ABSTRACT
Master of Science Thesis

Corrosion Analysis On Aircraft maintenance

M. SERKAN GÖVCE

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Aviation Program

Supervisor: Assist.Prof. Dr. Müge ARMATLI KAYRAK

2005, 88 Pages

Maintenance of aircraft is a process which begins with the production of aircraft and continues until the aircraft stops flying. The purpose of maintenance is to keep the aircraft always ready with flight safety and required performance. Corrosion is a phenomena which starts with the production of the materials and it is impossible to eliminate. In general corrosion is the degradation of aircraft materials after interaction with environment effects.

In this study, the general information about corrosion is given by different types of corrosion which is the most commonly observed on aircraft materials is analyzed. Afterwards, corrosion behavior of metals and their alloyed states are compared.

Maintenance approaches, their development processes, corrosion attacks and corrosion prone areas of aircraft against corrosion were determined, relationship between corrosion and fatigue is examined. Non Destructive Inspection which is very important for finding out the damage and defects is presented and the way that these techniques are used for the determination of corrosion damage is examined.

The aim of the study is to show the negative effects of corrosion on safety and cost of aircraft by analyzing on aircraft maintenance and corrosion, and to realize the importance of corrosion in maintenance of aircraft.

Keywords: Aircraft Maintenance, Corrosion, Aircraft materials, Non Destructive Inspection, Safety

TEŞEKKÜR

Bu eserin oluŐmasında sayın danışmanım Yard. Dç. Dr. Müge ARMATLI KAYRAK'A teŐekkürü bir borç bilirim. Kendisinin danışmanlık dışında bana göstermiş olduğu ilgi ve motivasyon desteği sayesinde bu tezin gerçekteŐi bir gerçektir.

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu Uçak Bakım Bölümünün değerli personeline de göstermiş oldukları desteklerden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca bana olan inançlarını hiç kaybetmeden beni destekleyen aile üyelerim sayın Nurten GÖVCE ve Tarkan GÖVCE'ye de sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Mevlüt Serkan GÖVCE

Kasım - 2005

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. KOROZYON TÜRLERİ	4
2.1. Uniform Korozyon.....	4
2.2. Galvanik Korozyon.....	
2.3. Çukurcuk Korozyonu.....	7
2.4. Çatlak Korozyonu.....	9
2.5. Filiform Korozyon.....	10
2.6. Tanelerarası Korozyon.....	11
2.7. Eksflorasyon Korozyon.....	12
2.8. Fretting Korozyon.....	13
2.9. Gerilmeli Korozyon.....	14
2.10. Yorulma Korozyonu.....	15
2.11. Mikrobiyolojik Korozyon.....	15
3. UÇAK YAPISAL MALZEMELERİNİN KOROZYON	
DAVRANIŞLARI	16
3.1. Alüminyum ve Alaşımları.....	16
3.1.1. Döküm alüminyum alaşımları.....	18
3.1.2. Isıl İşlem uygulanabilen dövme alüminyum	
alaşımları.....	19

3.1.3. Isıl işlem uygulanamayan dövme alüminyum alaşımları.....	20
3.2. Magnezyum ve Alaşımları.....	21
3.2.1. Döküm magnezyum alaşımları.....	23
3.2.2. Isıl İşlem uygulanabilen dövme magnezyum alaşımları.....	24
3.2.3. Isıl işlem uygulanamayan dövme magnezyum alaşımları.....	25
3.3. Titanyum ve Alaşımları.....	25
3.3.1. Dökme titanyum alaşımları.....	30
3.3.2. Dövme titanyum alaşımları.....	30
3.4. Çelikler.....	30
3.4.1. Düşük alaşımlı çelikler.....	30
3.4.2. Çok yüksek dayanımlı çelikler.....	31
3.4.3. Östenitik paslanmaz çelikler.....	32
3.4.4. Martensitik paslanmaz çelikler.....	32
3.4.5- Yaşlandırma ile sertleştirilen çelikler.....	33
3.4.6. Nikel krom çelikleri.....	33
3.5. Nikel ve Alaşımları.....	35
3.6. Petek Yapılı Metal Kompozitler.....	36
4. UÇAK BAKIMINDA KOROZYON.....	41
4.1. Uçak Bakımının Amacı.....	41
4.2. Uçak Bakımında Emniyet Yaklaşımları.....	42
4.3. Korozyonun Ekonomik Etkileri.....	45
4.4. Korozyon Riskinin Yüksek olduğu Bölgeler.....	47
4.4.1. Kanat flap ve spoyler bölgesi.....	47
4.4.2. Bağlantı bölgeleri.....	48
4.4.3. Yakıt tankları ve sıvı rezervuarları.....	49
4.4.4. İniş takımları.....	49
4.4.5. Motor ön bölgesi ve soğutma havası çıkışları.....	50
4.4.6. Egzoz bölgesi.....	50

4.4.7. Batarya bölümü ve batarya çıkış hattı.....	50
4.4.8. Gövde içi alt boşluklar.....	50
4.4.9. Su boşaltma bölgeleri.....	51
4.4.10. Diğer riskli bölgeler.....	51
4.5. Korozyon ve Yorulma Etkileşimi.....	52
4.5.1. Frekans etkisi	54
4.5.2. Gerilim genliğinin etkisi	54
4.5.3. Çevre etkileri	54
4.5.3.1. Yorulma dayanımı üzerine etkileri	54
4.5.3.2. Çatlak başlangıcı üzerine etkileri.....	55
4.5.3.3. Çatlak yayılımı üzerine etkileri.....	55
4.5.4. Korozyonun yorulma ömrüne etkileri.....	56
5. UÇAK BAKIMINDA KOROZYON TESPİT YÖNTEMLERİ ...	58
5.1. Gözle Kontrol.....	58
5.2. Sıvı Penetran ile Kontrol.....	59
5.3. Ultrasonik Kontrol.....	61
5.4. Radyografik Kontrol.....	64
5.5. Nötron Radyografisi.....	65
5.6. Girdap Akımları ile Kontrol.....	66
5.7. Manyetik Parçacıklarla Kontrol.....	67
5.8. Termal Kontrol (Termografi).....	68
5.9. Vurma Testi.....	70
5.10. Fokker Bağlantı Testi.....	70
5.11. Bondaskop.....	70
6. UÇAK BAKIMINDA TESPİT EDİLEN KOROZYON ÖRNEKLERİ.....	72
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1.	Uniform korozyon.....	4
2.2.	Galvanik korozyon.....	7
2.3.	ES-3B Viking uçağının yatay kuyruk bölgesi üzerinde galvanik korozyon.....	7
2.4.	Bir alüminyum alaşımlı (7075-T73) malzeme üzerinde çukurcuk korozyonu.....	9
2.5.	Bir uçağın dış yüzeyindeki perçinlerde oluşmuş çatlak korozyonu.....	10
2.6.	Filiform korozyon.....	10
2.7.	Tanelerarası korozyon.....	11
2.8.	Alüminyum alaşımından (7075-T6) imal edilmiş bir gövde kirişi üzerinde exflorasyon korozyon.....	12
2.9.	Fretting korozyon.....	13
2.10.	Gerilmeli korozyon.....	14
3.1.	Petek yapının yapıştirılarak elde edilmesi.....	38
3.2.	Petek yapıllı malzemelerin uçak üzerinde kullanımı.....	38
3.3.	Fırar kenarı flap bölgesi üzerinde korozyon nedeniyle oluşan hasar.....	39
4.1.	MSG3 Prosedürünün temel akış şeması örneği.....	43
4.2.	Avrupa kıtası için korozyon risk dağılımı.....	43
4.3.	Sıvı toplama bölgesindeki korozyon riskinin azaltılması a- Eski dizayn b- Yeni dizayn.....	47
4.4.	Karbon çeliğinde meydana gelen korozyon yorulması hasarı....	56
4.5.	Çatlak oluşumuna çevrenin etkisi.....	57
5.1.	Sıvı penetran yönteminin uygulanması.....	60
5.2.	Sıvı penetran sonucunun yorumlanması a- Yorulma ve soğuma sırasında oluşan çatlaklar b- İmalat hataları c- Korozyon.....	61
5.3.	Korozyon Hasarının ultrasonik (C-tarama) ile tespit edilmesi....	64

5.4.	İç yapıda toplanan suyun radyografi ile tespiti.....	65
5.5.	Bir nötron radyografi sistem şeması.....	66
5.6.	Termal kontrol ile malzeme kalınlığının tespit edilmesi.....	69
6.1.	Gerilimli korozyon sonucu oluşan çatlak.....	72
6.2.	İniş Takımı ayar rotlarında oluşan uniform korozyon.....	72
6.3.	Helikopter motorunun biyel kolunda oluşan fretting korozyon.....	73
6.4.	Menteşe pimlerinde oluşan fretting korozyon.....	74
6.5.	İniş takımlarında gerilmeli korozyon sonucu çatlak oluşumu....	74
6.6.	Bir yakıt tankında mikrobiyolojik korozyon oluşumu.....	75
6.7.	SKA 200 uçağı kanat iç bölgesinde oluşan galvanik korozyon.....	75
6.8.	Egzoz bölgesinde oluşan korozyon.....	76
6.9.	Fren bölgesi üzerinde tespit edilen korozyon.....	76
6.10.	İzolasyon battaniyeleri altında korozyon oluşması.....	77
7.1.	SKA-200 uçağının klima basınç hattında meydana gelen çukurcuk korozyonu.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1.	Uçak malzemeleri için elektro-kimyasal seriler.....	6
3.1.	Magnezyum alaşım kodlarının anlamları.....	22
3.2.	Titanyum alaşımlarının gerilmeli korozyon dirençleri.....	29
3.3.	Alaşımli çeliklerde ana alaşım elementlerinin oranları (SAE normuna göre).....	34
3.4.	Uçak malzemelerinde görülebilecek korozyon türleri.....	40
4.1.	Korozyon maliyet kayıp örnekleri (1992 yılı).....	46
7.1.	Uçak yapısında karşılaşılan korozyon türleri ve riskli bölgeler.....	79
7.2.	Uçak yapısal malzemelerinde oluşabilecek korozyon türleri ve etkili tespit yöntemleri.....	82
7.3.	Petek yapılı metal malzemelerde hasarlar ve tespit yöntemleri.....	83
7.4.	Korozyon türüne göre etkili NDI yöntemi.....	84

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A.D.	:	Airworthiness Directives (Uçabilirlik Direktifleri)
FAA	:	Federal Aviation Administration
LCF	:	Low Cycle Fatigue (Kısa Çevrimli Yorulma)
MIC	:	Microbiological Influenced Corrosion (Mikrobiyolojik Korozyon)
MSG3	:	Maintenance Steering Guide (Bakım Yönlendirme Kılavuzları)
NDI	:	Non Destructive Inspection (Tahribatsız Kontrol Yöntemleri)
SB	:	Service Bulletins (Servis Bültenleri)
SAE	:	Society of Automotive Engineers
SKA-200	:	Beechcraft Super King Air 200
SSI	:	Structural Significant Item (Yapısal Önem Parçaları)
mpy	:	Mile per year (yılda mil olarak, korozyon aşınması)

1. GİRİŞ

Uçak bakımı uçağın üretiminden itibaren başlayan ve servisten kaldırılıncaya kadar devam eden bir süreçtir. Bakım işlemlerinde amaç uçağı yapısal ve fonksiyonel olarak üretildiğı ilk günkü performansta tutmaktır. Bunun için yapılan bütün işlemler bakım faaliyetlerinin konusudur.

Uçaklar imal edilip servise verilmelerinden sonra, değişik çalışma şartlarına ve çalışma gerilimlerine maruz kalırlar. Bu nedenle yüksek dayanımlı, esneyebilen, özgül ağırlığı düşük malzemeler seçilir. Bununla birlikte kullanılacak malzemelerin korozyon direnci gibi diğer özellikleri de göz önünde bulundurulur. Yüksek korozyon direncinin sağlanması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle ticari isteklerin bir kenara bırakılması gereklidir. Dizayn esnasında, montajda ve bakım uygulamalarında korozyona ve koruyucu kaplamalara yönelik çalışmalar, korozyonun erken tespit edilmesini dolayısıyla da uçağın uçuş emniyetinin sağlanmasını ve ticari ömrünün uzatılmasını sağlar.

Uçak yapılarının üretimdeki özellikleri zamanla bozulmaya başlar. Bozulma, mekanik hasarlar biçiminde görünecektir. Mekanik hasarlara örnek olarak aşınma, zayıflama ve yorulma verilebilir. Bu bozulmalar ayrıca korozyon nedeniyle de oluşabilir. Korozyon nedeniyle bozulma durumları yapının dizaynına, malzemelerin üretim biçimine, koruma faktörlerine ve uçağın çalıştığı ortamın kimyasal durumuna bağlıdır.

Korozyon hasarı genellikle zamanla artar. Uçağın yaşı arttıkça korozyonun etkisi de daha şiddetli olacaktır. Eğer korozyon erken tespit edilemez ve giderilemezse sonuçta uçağın yapısal bütünlüğünde tehlikeli hasarlar oluşacaktır. Korozyonun özellikle önemli olan bir sonucu da diğer hasarlara neden olmasıdır. Buna en güzel örnek yorulma hasarının meydana gelmesidir. Yorulma ile uçağın yapısal bütünlüğü tamamen bozulacaktır.

Bütün bu tehlikeli korozyon sonuçlarından korunmak için servise verilmiş uçakların programlı bakımlarında mutlaka korozyon kontrolü mevcuttur. Ayrıca bazı özel durumlarda da üretici tarafından programlı bakım dışında da korozyona yönelik özel kontroller istenebilir.

Kullanımdaki metallerin tabiattaki doğal hallerine dönme meyli, metallerde korozyonu yaratır. Bu olgu uçak ve teçhizatlarda kullanılan tüm metal ve alaşımları için de geçerlidir. Uçak ve teçhizatlar korozyona karşı korunmamışlarsa dönüşüm çok daha hızlı olacaktır. Kontrolde çıkan korozyon, uçağın yapısal bütünlüğünü ve uçuş emniyetini kötü yönde etkileyebileceği gibi aynı zamanda uçağın hazır tutulabilmesi için yüksek maliyetli onarım ve modifikasyonlar gerektirecektir.

Genel olarak korozyon, uçak malzemelerinin çevresindeki etkenler ile tepkimeye girerek tahrip olması veya yapısının bozulmasıdır. Korozyon için yapılabilecek diğer bir teknik tanımlama ise; metalleri tuz ve oksitlerine ayrıştıran karmaşık bir elektro kimyasal olaydır. Tanımlamayı genişletilecek olursak; korozyon, katı metalin yüzeyinde bulunan atomların bir cisimle teması sonucu meydana gelen kimyasal ya da elektro-kimyasal olaylar zinciridir denilebilir.

Metal korozyonu, prosesin tamamlandığı yani metalin üretildiği anda başlar. Aşınma hızı, korozyonun ilerleme hızı, birçok faktöre bağlıdır. Öncelikli olarak göz önüne alınan faktörler şunlardır;

- Kullanılan malzeme tipi ve türü
- Malzemenin karşı karşıya olduğu çevre
- Malzemenin temas halinde olduğu diğer malzemelerle uyumu
- Isıl işlemler
- Korozyon süresini geciktirmek için yapılan koruyucu önlemlerin metodu veya derecesi

Aslında korozyon kompleks bir elektro-kimyasal olaydır. Korozyon metalleri kendi orijinal tuz ve oksitlerine geri döndürür. Bu tuzlu madde metali değiştirir ve yapıda çeşitli dayanım azalmalarına neden olur. Gerçek korozyon mekaniği nispeten basittir ve ileriye doğrudur, yani gelişir. Korozyon gelişimi üç temel ihtiyaca gereksinim duyar;

- 1- Yapı içinde bir elektriksel potansiyel fark olmalı
- 2- Potansiyel fark olan iki bölge arasında bir iletim olmalı
- 3- İki bölgeyi kaplayan bir elektrolit veya sıvı olmalı

Metaller kendi doğal orijinal durumlarına dönme eğiliminde olduklarından korozyon tamamen kontrol edilemez, fakat önlenabilir. Korozyonun önlenmesi

için korozyon oluşumu için gerekli olan üç temel faktörün oluşması engellenmelidir. Metal yüzeyi ya temiz tutulmalı yada metalin potansiyel farklara sahip bölgeleri arasında bir iletim hattı oluşturan elektroliti önleyen, yüzey üzerindeki organik tabakalar korunmalıdır.

Korozyonun görünümü metale göre değişir. Alüminyum alaşımları ve magnezyum malzemelerde yüzeyde çukurcuk ve aşınma olarak görünür ve sık sık da gri veya beyaz toz atıklar korozyon ürünleridir. Bakır ve bakır alaşımlarında korozyon biçimi yeşilimsi film tabakasıyken çelikte kırmızımsı pastır. Gri, beyaz, yeşil veya kırmızımsı atıklar çıkartılabilirken, atıkların şiddetine bağlı olarak yüzeylerin her birisinde aşınma ve çukurcuklar görülebilir. Eğer bu yüzeylerdeki çukurlar çok derin değilse, metal dayanımında önemli bir değişim olmaz. Bazı korozyon tipleri yüzey kaplaması altında gelişir ve parça hasarlanana kadar yayılır.[1]

2. KOROZYON TÜRLERİ

2.1. Uniform Korozyon

Uniform korozyon bütün veya toplam alanın büyük miktarı üzerinde muntazam gelişen bir korozyondur. Kopma meydana gelene kadar incelmeye meydana gelir. Şekil 2.1 uniform korozyonun malzeme üzerinde nasıl oluşacağını ve giderilmediği takdirde oluşacak hasarı açıkça belirtmektedir. En sık karşılaşılan korozyon türü olduğu için en önemli korozyon tipidir. Bununla birlikte uniform korozyon kolay bir şekilde tespit edilebilir. Bu sebeple felaketle sonuçlanan hasarlara nadiren rastlanır. Birçok durumda sadece görünüş açısından sakıncalıdır. Metal parçanın tüm yüzeyinde düzgün dağılımlı olarak meydana geldiği için katodik koruma veya boya kullanımı ile kontrol edilebilir.[1,2,3]

Uniform korozyonun asıl sebebi su içeren sıvılar ile hava ve diğer gazların içindeki nemdir. Bu tür korozyon uçakların normal çalışma bölgelerinde ve özellikle su ve buğu toplamaya elverişli yapılarında en çok görülen türdür. Yüksek sıcaklık oksidasyonu uniform atakların özel bir biçimidir.[4]

Uniform korozyon genellikle geniş bölgeli hasarlar üretir ve oluşan korozyona eğilimli bölge göz kontrolü ile kolayca bulunur. Örneğin, parlatılmış bir yüzey üzerinde ilk önce görülen genellikle yüzeyin donuklaşmasıdır. Eğer atakların devamına izin verilirse yüzey pürüzlü ve buzlu bir görünüm alacaktır. Bu oldukça erken tespit edilebilir ve arıza giderici işlem hemen uygulanabilir. Contalanmış iç bölgelerde veya göz kontrolünün yapılamayacağı diğer bölgelerde oluşan uniform korozyon özel tahribatsız kontrol yöntemleri (Non Destructive Inspection - NDI) ile tespit edilebilir. Bu tür bölgelere örnek olarak petek yapılar ile elektronik cihazlar verilebilir. Tespit edilmediği takdirde ciddi zararlara neden olur [1].



Şekil 2.1 Uniform korozyon [5]

2.2. Galvanik Korozyon


Bu tür korozyon, farklı potansiyel farka sahip iki metalin korozif bir ortamda temas etmeleri durumunda oluşur. Bu prensip Şekil 2.2 ile verilmektedir. İki metalden daha soy olanı katot diğeri ise anot olacak ve bunların elektrolitik hücrede teması ile korozyon oluşacaktır. Bu tür korozyonun belirtileri yüzeyde beyaz veya gri toz şeklinde bir görünüm oluşmasıdır. Ayrıca yüzeyden başlayarak kalınlık yani malzeme kaybı olur. Sonuçta yüzey kalitesi bozulur ve fonksiyonel bozukluklar meydana gelir.[4]

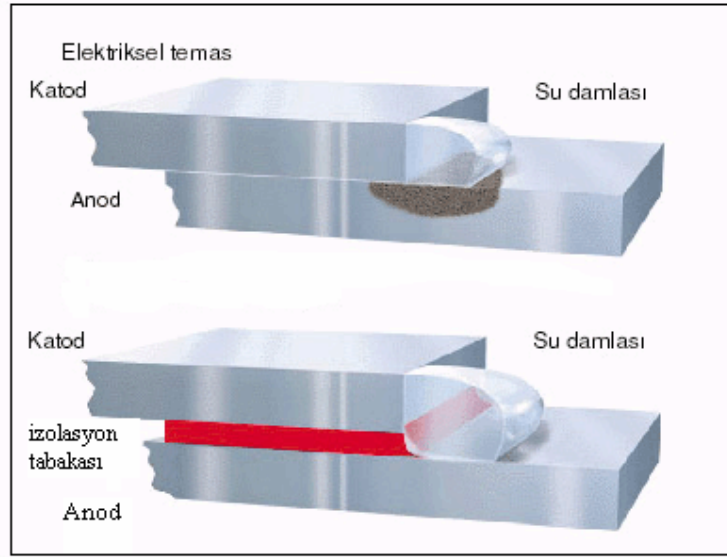
Metallerin galvanik korozyon için durumları galvanik seride sıralanır. Bu seriler malzeme çiftlerinin seçiminde korozyon önleme doğrultusunda nispeten bir kolaylık sağlar. Aslında bu seri göz önüne alınmadan malzeme seçimi yapılamaz. Çizelge 1.1, uçak malzemeleri için galvanik seriyi vermektedir.

Genellikle galvanik korozyona en hassas olarak bilinen metal çiftlerine örnek olarak demir-bakır, bronz-çelik verilebildiği gibi aynı metalin ısıl işlem görmüş hali ile soğuk işlenmiş durumu arasında da galvanik korozyon oluşur. Uçak yapılarında ise en genel örnek alüminyum veya magnezyum yüzey üzerindeki bağlantı deliklerine çelik civata veya perçin bağlanmasıdır. [1,4]

İki farklı metalin temas halinde olduğu durumlarda korozyonu önlemek için koruyucu kaplama olarak örneğin kadmiyum kullanılabilir. Kadmiyum galvanik seride genel alaşımlı çelikler ile alüminyum arasında yer alır. Çizelge 2.1’de bu durum görülebilir. Kadmiyum kullanımı ile elektro-kimyasal potansiyel durum alüminyum/kadmiyum hücresi ve kadmiyum/çelik hücresi şeklinde olur. Bu da korumasız alüminyum/çelik hücresine göre galvanik korozyon şiddetini çok azaltacaktır.[4]

Çizelge 2.1. Uçak malzemeleri için elektro-kimyasal seriler [4]

Magnezyum ve Magnezyum Alaşımları	
Çinko	
7079 Alüminyum	
7075 Alüminyum	
6061 Alüminyum	
5052	
2024 (kaplanmış)	
3003 Alüminyum	
6061 T-6 Alüminyum	
7075 T-6 Alüminyum	
7178	
Kadmiyum	
2017-T4 Alüminyum	
2024-T4 Alüminyum	
2014-T6 Alüminyum	
Çelik veya Demir	
Dökme Demir	
Kurşun	
Kalay	
Pirinç	
Bakır	
Bronz	
Titanyum	
Monel (Bakır-Nikel)	
Nikel (pasif)	
Inconel (pasif)	
Paslanmaz Çelik	
Gümüş	
Grafit	
Altın	
Platin	



Şekil 2.2 Galvanik korozyon [6]

Şekil 2.3’de bir uçağın yatay stabilizesi üzerindeki bağlantı noktalarında oluşmuş galvanik korozyon görülmektedir. Bu duruma muhtemel sebep ise bu bağlantı noktalarında kullanılan bağlayıcıların yatay kuyruk malzemesi ile olan galvanik uyumsuzluğudur.[5]



Şekil 2.3 ES-3B Viking uçağının yatay kuyruk bölgesi üzerinde galvanik korozyon [5]

2.3. Çukurcuk Korozyonu

Korozyon olayının çok dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan korozyon türüdür. Metal yüzeyinde oluşan çok sayıda çukurcuklar genellikle bir karıncalanma görünümü verir. Çukurcukların çapı, derinliği ve sıklığı malzeme ve ortama bağlı olarak değişir. Toplam metal kaybı homojen dağılımlı korozyonun aksine çok küçüktür. Ancak parçalar kısa zamanda

delinerek kullanılmaz hale gelirler. Ayrıca, çukurcuk diplerinde oluşan mekanik gerilim yoğunlaşması dayanım kaybı yanında korozyonlu yorulma ve gerilimli korozyon olarak tanınan çatlama olaylarını başlatabilir. Bozucu etkisi, yaygınlığı ve kontrolündeki güçlükler nedeni ile çukurcuk korozyonu en korkulan korozyon türlerinin başında gelir [7,8]. Çukurcuk korozyonunun bozucu etkisi Şekil 2.4'de açıkça görülmektedir.

Çukurcuk korozyonunu birçok metal ve alaşımlarda görmek mümkündür. Çukurcuk korozyonu genellikle klor ve brom iyonları içeren nötr ortamlarda oluşur. NaCl ve oksijen bakımından hayli zengin olan deniz suyu çukurcuk korozyonuna yol açan etken bir ortamdır.

PH - değeri ortamın çukurcuk korozyonu bakımından etkinliğini belirleyen önemli bir göstergedir. Çukurcuk korozyonu öncelikle nötr ortamlarda oluşur. PH - değeri düşürülünce yerini uniform korozyona terk eder.

Oksitleyici, yani indirgenebilen metal iyonlarının klorürlerini içeren ortamlar çukurcuk korozyonu yönünden en tehlikeli olanlardır. Bu ortamlar da katodik olay klorürlerden kaynaklanan metal iyonlarının indirgenmesidir. Oksijene gerek olmadığı gibi, oksijen miktarının çukurcuk korozyonuna etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.

Çukurcuk korozyonunun belirgin özelliklerinden biri de çok küçük çözelti miktarları ile oluşmasıdır. Yani korozyonun yoğunlaştığı çukurcuk dipleri ile ortamın büyük hacmi arasında bir tıkanıklığın gerekliliğinden söz edilebilir. Bu tıkanıklığı giderici etkiler, örneğin durgun haldeki bir ortamın akış haline dönüştürülmesi, çukurcuk korozyonu eğilimini önemli ölçüde azaltabilir. Bu tür etkilere bir örnek; saldırgan ortamların nakli için kullanılan paslanmaz çelik pompalar sürekli çalışma koşullarında tam dayanım gösterirken çalışmaya bir süre ara verilmesi üzerine korozyona uğrarlar.[2,4]



Şekil 2.4 Bir alüminyum alaşımlı (7075-T73) malzeme üzerinde çukurcuk korozyonu [5]

2.4. Çatlak Korozyonu

Metal yüzeyinde bulunan çatlak, aralık veya cep gibi çözeltilerin durgun halde kaldığı bölgelere oksijen transferi güçleşir. Bunun sonucu olarak bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyleri katot olur.

Çatlak korozyonu yalnız metal yüzeyinde bulunan bir çatlakta değil, metal olmayan bir malzeme ile metal yüzeyi arasında da meydana gelebilir. Ayrıca conta yüzeyleri arasında, yüzey kirleri altında veya perçin ve cıvata başlarının altında toplanan az miktarda durgun çözeltiler ile de oluşabilir. Bu tip korozyon noktasal veya lokal olarak görülebilir.

Çatlak korozyonunu önlemek için sızdırmazlık sağlayıcılar ile yağlayıcılar kullanılabilir veya korozyona dirençli boya uygulaması yapılabilir [4]. Bir uçağın dış kaplaması üzerinde oluşmuş olan çatlak korozyonu örneği Şekil 2.5 ile verilmiştir.



Şekil 2.5 Bir uçağın dış yüzeyindeki perçinlerde oluşmuş çatlak korozyonu [6]

2.5. Filiform Korozyon

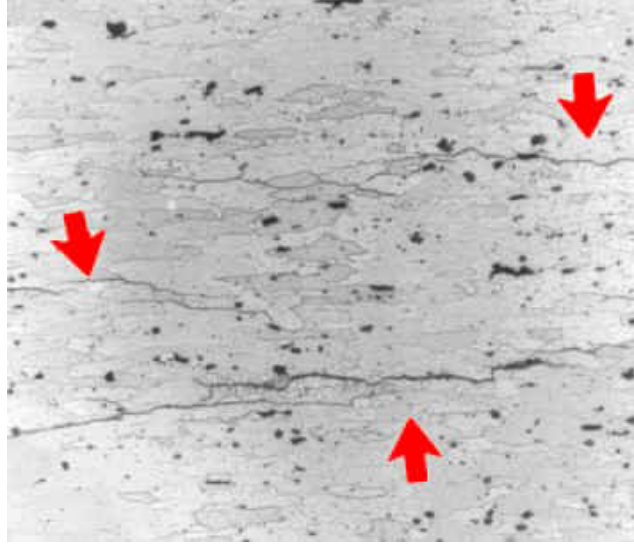
Filiform korozyon uçak yapılarında en az karşılaşılan korozyon türüdür. Genellikle anlaşılması güçtür veya diğer korozyon türleri kadar kolay tespit edilemez. Çukurcuk veya tanelerarası korozyonun bazı karakteristiklerine sahiptir. Sık sık korozyon çukuru ile başlar. Metalin içine doğru nüfuz etmek yerine, korozyon ipliğe benzer biçimde dış yüzey üzerinde yayılır. Bu durum Şekil 2.6’da görülmektedir. Genellikle kaplamalı alüminyum alaşımlarında görülen bu tür korozyonda ilk çukur kaplama altına nüfuz eder. Daha sonra yüzeye paralel olacak şekilde yön değiştirir ve en sonunda çok sayıda düğümlenmiş iplik görünümü alır. Bu tür korozyonun önlenmesi için hasarın giderilmesi yeterlidir.[4]



Şekil 2.6 Filiform korozyon [5]

2.6. Tanelerarası Korozyon

Bu korozyonun mekanizması elektro-kimyasaldır. Bir alaşım, metal taneleri ve tane sınırında birbiriyle temas halinde olan iki farklı yapıya sahiptir. Tane sınırları taneciklere göre daha anodiktir ve bu nedenle tane sınırları kemirilir. Alaşımın mukavemeti büyük ölçüde tanecikler arasındaki bağ ile sağlanır. Bu bağ bir kere tahrip edilirse tanecikler birbirleriyle mekanik olarak bağlı gibi görünse de aralarındaki kimyasal bağ kopmuş durumdadır. Çukurcuktaki gibi bu tür korozyon atağında da tahrip edilen miktarına oranla malzemede çok büyük mukavemet ve süneklik kaybı olur. Taneler arası korozyon, bir tane sınırı zayıf bölge olması sebebiyle bu bölgelerdeki çökmelerde meydana gelir. Şekil 2.7'de bu tür korozyonun sonucunda malzemede oluşan durum görülmektedir.



Şekil 2.7 Tanelerarası korozyon [5]

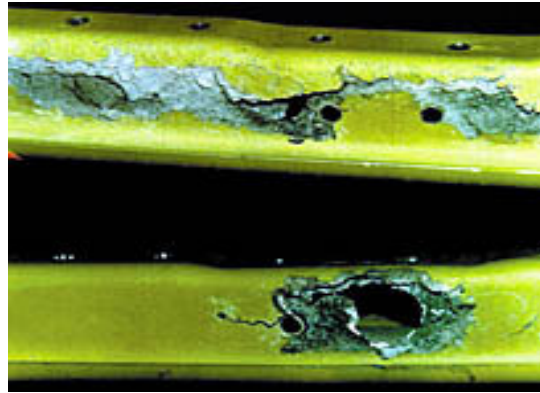
Tanelerarası korozyonu özellikle östenitik dokulu krom - nikel çeliklerinde ve alüminyum - bakır alaşımlarında görülür. Ferritik dokulu paslanmaz çelikler ancak çok sınırlı koşullar altında bu tür korozyona duyarlılık gösterirler.

Tanelerarası korozyonun en belirgin özelliği çok küçük ağırlık kaybına karşın, korozyon hızının tane sınırları yakınında çok yüksek değerlere ulaşabilmesidir. Bu nedenle parçalar kısa sürede tüm kesit alanı boyunca

koroziona uğrayarak bozulurlar. Taneler bütünlük ve şekillerini korurlarken taneler arası bağ hasara uğrar. Bunun sonucu olarak metallere özgü bazı tutumlarda önemli değişiklikler beklemek gerekir. Bunlardan en önemlisi korozyonun etken olduğu bölgelerde mekanik dayanımın sıfıra indirgenmesidir. Örneğin tane sınırları korozyonu ile bozulan östenitik krom - nikel bir parçayı parmaklar arasında ezerek toz haline getirmek mümkündür. Parçaların dış görünüm ve ölçülerinde önemli bir değişiklik görülmez. Bu koşullar tane sınırları korozyonun izlenmesini ve kontrol altına alınmasını güçleştirir.[2,4]

2.7. Eksflorasyon Korozyon

Haddelenmiş veya kalıptan çekilmiş malzemelerin tane yapılarında bozulmalar meydana gelir. Taneler çalışma yönüne doğru yassılır veya uzar. Sonuçta ürünün yüzeyinde pul pul olma ve katmanlar oluştuğu görülür. Bu durum eksflorasyon korozyon olarak bilinir. Şekil 2.8 ile eksflorasyon korozyona bir örnek verilmiştir. Bu tür korozyonun nedeni üretim tekniğidir. Üretim sırasında gerilme birikimi veya yüzey aşınması ile çatlaklar oluşabilir. Ayrıca tanelerarası korozyonda olduğu gibi taneler ile tane sınırları arasında potansiyel fark oluşabilir. Tane sınırları anodik, taneler ise katodiktir. Eksflorasyon korozyonunu önlemek için malzeme seçimine dikkat edilmeli ve ayrıca ön ısıtma işlemi uygulanmalıdır. [4,9]



Şekil 2.8 Alüminyum alaşımından (7075-T6) imal edilmiş bir gövde kirişi üzerinde eksflorasyon korozyon [5]

2.8. Fretting Korozyon

Fretting korozyon, birbirine sürtünen bağlantı parçaları arasında görülen bir çeşit korozyondur. Yük altındaki sürtünme nedeniyle metallerin birinde veya her ikisinde de korozif ataklar oluşabilir. Bu tür korozyonun oluşmasındaki en büyük sebep titreşim ve küçük boşluklardaki kayma hareketleridir. Bu titreşim ve kayma hareketleri metal yüzeyindeki yağlayıcı, conta veya boya gibi koruyucu bölgelere zarar verir. Bu bölgelerde oluşan galvanik durum sebebiyle fretting korozyon meydana gelir. Fretting korozyon şematik olarak Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

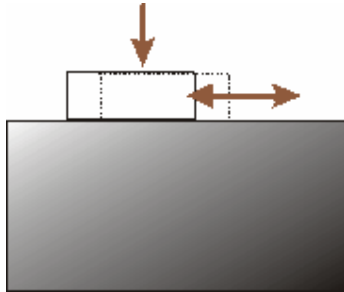
Bu korozyon türünün oluşması için aşağıdaki durumlar mevcut olmalıdır:

- 1- Metal yüzeyi yük altında olmalıdır.
- 2- İki metal yüzeyi arasında az miktarda kayma yüzeyi olmalıdır. Böylece iki metalin yüzeyleri arasında çarpma veya sürüklenme oluşacaktır.
- 3- Metal yüzeyleri arasında devamlı tekrarlanan bir hareket olmalıdır.

Fretting korozyonun sonuçları ise:

- 1- Temas bölgelerinde metal kaybı,
- 2- Aşınma, boyut değişimi, çatlak veya yüzey kalitesinde bozulma,
- 3- Bağlantı parçalarında boyut toleransının limit dışına çıkması,
- 4- Birleşim yüzeylerinde boşluk oluşmasıdır.

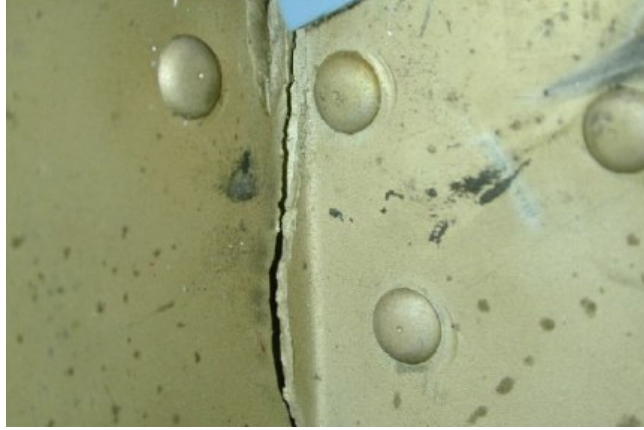
Bu tür korozyonu önlemek için uygun malzeme seçilmelidir. Bunun için galvanik listeler göz önüne alınmalıdır. Malzemelere yüzey sertleştirme işlemleri de uygulanabilir. Ayrıca yağlayıcılar kullanılabilir ve metal yüzeylerine kaplama yapılabilir.[2,4]



Şekil 2.9 Fretting korozyon [5]

2.9. Gerilmeli Korozyon

Alaşımlar çalışacakları ortamlardaki korozyona karşı gösterecekleri dirence göre seçilirler. Tecrübeler göstermektedir ki komponentler süreç sırasında her zaman korozyon ile hasara uğramamaktadır. Parçaların yüzeyinde mevcut olan statik, dinamik gerilmeler ve ortam etkileri ile korozyon hasarı oluşmakta ve ilerlemektedir. Çatlak ilerleme mekanizması; öncelikle korozif vrenin etkisi, sonra korozyona karşı önlem alınmamış yüzeyde güçlü gerilim oluşumu ve sonuçta da gerilmeli korozyon çatlağı olarak bilinen hasar oluşumu şeklinde gelişir. şekil 2.10'da bu tür korozyon ile oluşmuş bir makro boyutta çatlak grlmektedir.



şekil 2.10 Gerilmeli korozyon [5]

Gerilmeli korozyon özellikle en sinsi korozyon türü olarak nitelendirilebilir. Bu korozyon türünde hiçbir görsel bulgu yoktur. Örneğin parça üzerinde ne bir renk değişimi ne de diğer korozyon türlerinde gözlenen korozyon ürünleri yoktur.

Parça yüzeyinde gerilmelerin lokal olarak birikmesi aynı zamanda galvanik etkilerinde düşünülmesini gerektirir. Gerilme birikimi olan bölgeler daha anodiktir. Aynı zamanda lokal olmayan sıcaklık etkisi ile ısıl gerilmeler meydana gelir ve bu da gerilmeli korozyon oluşmasını sağlar.

Gerilmeli korozyonu önlemek için malzeme seçimi ve tasarımı önemlidir. Ayrıca yüzey koruma işlemleri yapılmalıdır. Lokal kalıntı iç gerilmeleri ortadan kaldırmak için de ısıt işlemler uygulanmalıdır.[1,4,9]

2.10. Yorulma Korozyonu

Bir tür gerilmeli korozyon olan yorulma korozyonu, malzemeler üzerinde çevrimsel dinamik yükler olduğunda ve korozif bir ortamda meydana gelir. Gerilme korozyonuna benzer bir korozyondur. Gerilme kuvvetleri genellikle çok düşüktür. Öyle ki, bu kuvvetler malzemenin dizayn edilirken hesaplanmış olan dayanabileceği yüklerden çok daha azdır. Yorulma ve korozyonun her birinin malzemenin hasarsız çalışma ömrünü olumsuz etkilediği bilinmektedir. Yorulma sadece kendisi zamanla yüzey çatlakları oluşturan bir durumdur. Bu çatlakların oluşumu korozyonun ilerlemesini hızlandırır [4,5]. Dördüncü bölümde uçaklarda yorulma ve korozyon ilişkisi ile korozyonun yapı ömrüne etkileri tartışılmıştır.

2.11. Mikrobiyolojik Korozyon

Mikrobiyolojik korozyon (MIC - microbiological influenced corrosion) mikroplar, bakteriler ve mantarlar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. 100 yılı aşkın bir süre önce ortaya çıkarılan MIC'in, modern endüstriyel sistemler için ciddi bir problem olduğunun farkına son 30 yılda varılmıştır.

MIC, metal ve yapı malzemelerine olan korozyon zararlarının yaklaşık % 20'sini oluşturmaktadır. Dünya genelinde MIC'in direkt olarak sebep olduğu zararın yıllık 30 – 50 Milyar \$ mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir [9]. Mikrobiyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir. Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda mikrobiyolojik korozyon olayına nadiren rastlanır. Başka sebeplerle meydana gelen korozyon olaylarına ayrıca mikrobiyolojik korozyon olayları da katılarak korozyon hızını artırıcı etki yapar.[4]

3. UÇAK YAPISAL MALZEMELERİNİN KOROZYON DAVRANIŞLARI

3.1. Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyumun sahip olduğu özelliklerin birleşimi onu uçak yapısı için son derece uygun bir malzeme haline getirir. Alüminyum, düşük yoğunluğu ($2,70 \text{ gr/cm}^3$) nedeniyle uçak parçalarının yapımında özellikle tercih edilir [10]. Yüzeyinde meydana gelen sağlam oksit tabakası nedeniyle, doğal ortamların çoğuna karşı iyi bir korozyon direnci gösterir. Saf haldeki alüminyumun düşük dayanımına rağmen, alaşımlandırılarak dayanımı artırılabilir. Örneğin ısıtılma işlemi uygulanmış bir alüminyum alaşımı olan 7075-T6 malzemesinin elastik modülü 76 GPa 'ya kadar çıkabilir. Alüminyumun nispeten düşük maliyeti de onun tercih edilmesinde diğer bir faktördür. Alüminyuma katılan ana alaşım elementleri bakır, manganez, magnezyum, silisyum ve çinko'dur. Bu alaşımların her biri alüminyuma farklı bir özellik ilave eder. Silisyum dökümü kolaylaştırır. Çinko ve manganez dayanımı artırır. Çinko oranı yüksek olursa malzeme gevrekleşir. Magnezyum ise korozyon direncini artıran bir elementtir [11]. Dövme alüminyumun alaşımları için kullanılan kodlama sistemi aşağıdaki gibidir.

1xxx – Saf Alüminyum (en az %99 alüminyum içerir)

2xxx – Bakır

3xxx – Manganez

4xxx – Silisyum

5xxx – Magnezyum

6xxx – Magnezyum-Silisyum

7xxx – Çinko

Alüminyum alaşımlarının gösteriminde kullanılan çeşitli harflerin ifadeleri ise şöyledir:

F- parçanın imal edildiği şekilde olduğunu gösterir.

O- malzeme tavllanmış.

H- parçanın soğuk şekillendirildiğini gösterir.

W- parçanın katı eriyiğe alınmış olduğunu gösterir.

T- yaşlandırma işlemini gösterir (yaşlandırma ve çökeltme sertleştirilmesi).

Bu işlemlerden bazıları şunlardır:

- T1- İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
T2- İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T3- Katı eriyiğe alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T4- Katı eriyiğe alınmış ve yaşlandırılmış
T5- İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış
T6- Katı eriyiğe alınmış ve yapay yaşlandırılmış
T7- Katı eriyiğe alınmış, aşırı yaşlandırma ile dengelenmiş
T8- Katı eriyiğe alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9- Katı eriyiğe alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş
T10- İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış. [4]

Elektro kimyasal serideki durumu alüminyumun anodik davranışlı ve termodinamik olarak reaktif bir metal olduğunu gösterir. Birçok durumda hızlı bir şekilde oluşan oksit tabakası alüminyumu korozyona karşı korur.

Alüminyumun yüzeyindeki korozyon atakları genellikle çok belirgindir. Korozyon ürünleri beyazdır ve genellikle büyük bir alanı etkiler. Erken aşamalarda bile, alüminyum korozyonu dağlanma, çukurcuk veya alüminyumun yüzeyinde pürüzlülük gibi açık bir görünüme sahiptir. Alüminyum alaşımları genellikle kalınlığı 0.0224 ile 0.0056 mm arasında olan düzgün bir yüzey oksidasyonu ile biçimlendirilir. Alüminyum için genel yüzey atakları nispeten yavaştır. Fakat, erimiş tuzlar bu atakları hızlandıracaktır. Önemli ataklar genellikle yapının dayanımında büyük kayıplar olmadan önce meydana gelir. Bununla birlikte, alüminyum alaşımlarında üç tür atak özellikle önemlidir.

- 1- Alüminyum boruların duvarlarına nüfuz eden çukurcuk korozyon
- 2- Devamlı gerilim altındaki malzemelerdeki gerilmeli korozyon
- 3- Uygun olmayan ısı işlemler nedeniyle oluşabilen taneler arası korozyon [12]

Alüminyum alaşımlarındaki korozyon davranışı alaşımların kimyasal kompozisyonlarından oldukça fazla etkilenir. Kimyasal kompozisyonlar elementlerin saflığı ve ilave elementler ile tanımlanabilir. Bunlar alaşımların elektrolitik çözelti potansiyellerini etkiler. Çözelti potansiyeli öncelikle,

alaşımlardaki ilk baskın faz olan alüminyumun yüksek katı eriyik kompozisyonu ile tanımlanır. Fakat; kalıntılar, dağılan parçalar ve çökeltiler gibi ikinci faz parçacıkları korozyon için önemlidir. Çünkü bunlar alüminyumun katı eriyiğinde elektro kimyasal potansiyel fark oluşmasına sebep olacaktırlar. Bu nedenle lokal galvanik çiftler oluşabilir. Bu durum taneler arası veya eksflorasyon gibi korozyon durumlarının oluşmasına neden olabilir.

Çinko ve magnezyum gibi reaktif elementler alüminyumun çözelti potansiyellerini azaltır, çok reaktif ikili alaşımlar üretir. Silisyum, bakır ve manganez çözelti potansiyelleri üzerinde ters etkiye sahiptir. Üçlü veya daha fazla sayıda element ile oluşmuş alaşımların etkileri doğal alüminyumun çözelti potansiyeline ilave olacaktır [4,12].

3.1.1. Döküm alüminyum alaşımları

Havacılık endüstrisinde kullanılan dökme alüminyum alaşımları, Al-Si-Mg ve Al-Cu-Mg alaşımları baz alındığında ısıl işlem uygulanabilir alaşımlardır. Yüksek akışkanlık, katılma esnasındaki büzülme eğiliminin düşük olması, sıcak çatlağına karşı yüksek dirençleri ve basınç dayanımının iyi olması gibi özellikleri nedeniyle bu alaşımlar tercih edilirler. Bununla birlikte, alaşımlar ayrıca yüksek korozyon direncine ve kaynak kabiliyetine de sahip olmalıdır.

Silisyum birçok alaşımda esas alaşım elementidir. Serbest silisyum ve silisid parçacıkları büyük hacimlerde mevcuttur. Bu parçacıklar yüzlerce milivolt ile alüminyum matrisi için oldukça katodiktir. Bu nedenle bu alaşımlarda korozyon ilerlemesi beklenebilir. Bununla birlikte korozyon direnci üzerindeki etkisi çok azdır. Çünkü silisyum parçacıklarının yüksek polarizasyonu düşük korozyon akım yoğunluğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Üçlü Al-Si-Mg 356 alaşımı önemli ölçüde korozyon direncine sahiptir. Endüstride ve deniz kıyısı gibi çevrelerde kullanılırlar. Gerilimli korozyon çatlağına karşı yüksek dirence sahiptir ve bugüne kadar gerilimli korozyon çatlağı hiç rapor edilmemiştir. %1,3 bakır içeren 355 alaşımı da 356'dan daha alt seviyede olmasına rağmen korozyona ve gerilimli korozyon çatlağına karşı yüksek dirence sahiptir. Bakırın yaklaşık %5'in üzerinde ilave edilmesi korozyon direncini genellikle azalttığı için önemli bir durumdur.[4]

3.1.2. Isıl işlem uygulanabilen dövme alüminyum alaşımları

Bunlar çok değişik tiplerde ve uçak gövde yapılarında çok fazla kullanılan önemli alaşımlardır. Bu alaşımlar içerisinde en önemlileri Al-Cu-Mg (2xxx serisi) ve Al-Zn-Si (7xxx serisi) alaşım sistemleridir. 6xxx serisi alaşımlar, örneğin 6061 gibi, Al-Mg-Si sistemleri çok daha az kullanılırlar.

Alaşımların, çözelti ısıl işlemi, hızlı su verme, çözelti sertleştirme işlemleri ile dayanımları artırılır. Korozyon direnci gibi bir çok özellik ile birlikte bu alaşımların sertleştirme tepkileri ısıl işlem parametrelerine bağlıdır. Çözelti sıcaklıkları, su verme hızları, yaşlandırma derecesi göz önünde bulundurulmuş en önemli parametrelerdir.

2xxx serisi alaşımlar tavlama üstü durumların tamamında kullanılırlar ve bu nedenle de bunların korozyon davranışı değişir. Korozyon üzerindeki elektro kimyasal etkiler, alaşımdaki bakır nedeniyle diğer alaşımlara göre daha güçlü olabilir. Katı eriyik içindeki bakır konsantrasyonundaki değişiklikler elektrot potansiyelinde belirgin değişikliklere neden olur. Bu nedenle, kompozisyondaki lokal değişimler lokal galvanik hücrelerde artışa neden olabilir. Bu alaşımlar enine doğru gerilimler olduğunda özellikle gerilmeli korozyona karşı hassastırlar. Bununla birlikte gerilmeli ve eksplorasyon korozyona karşı direnç, yapay yaşlandırma içeren T6 veya T8 gibi ısıl işlemler ile artırılabilir.

6xxx serisi alaşımlar orta dayanımlı malzemelerdir. Bu alaşımların korozyon dirençleri 2xxx ve 7xxx serisi alaşımların dirençlerinden daha üstündür. Bu malzemeler bir iyonik bileşik olan Mg_2Si 'nin çökeltilmesi ile güçlendirilir. Bu bileşik alüminyuma göre anodiktir ve asidik solüsyonlarda reaktiftir. Bununla birlikte Mg_2Si çökeltisi alüminyumun elektrot potansiyeli üzerinde önemsiz bir etkiye sahiptir. Bu nedenle korozyon direnci belirgin bir şekilde etkilenmez. Tane yapısının kontrolü için az miktarda krom, manganez ve zirkonyum ilave edilebilir. Fakat bu miktar korozyon direncini etkilemeyecek düzeyde olmalıdır. 6061 gibi alaşımlarda dayanımı artırmak için bakır kullanılır. 6063 gibi bakır bulunmayan alaşımlar ile karşılaştırıldığında bakır kullanılan alaşımların korozyon direncinin daha düşük olduğu görülür. Korozyon direnci genellikle bakır miktarı arttıkça düşer.

7xxx serisi alaşımlar büyük miktarda çinko ve magnezyum içerir. 7010, 7050, 7075, 7178 ve 7475 gibi bakır içeren alaşımlar büyük oranda kullanılmaktadır. Bu alaşımlar geniş bölgeler üzerinde dayanım sağlarlar ve dayanım/yoğunluk oranı göz önüne alındığında mümkün olan en yüksek dayanımlı malzemeler arasındadırlar. Bu alaşımlar 2xxx serisi alaşımlara göre genel korozyona karşı çok yüksek dirence sahiptirler. Bununla birlikte, özellikle gerilmeli korozyon çatlağına ve eksflorasyon korozyonuna karşı hassastırlar. Bu durum, bu biçimdeki ataklara karşı bağışıklığı geliştirmek için uygun ısıl işlemler yapıldığında ortadan kalkacaktır.

Dayanım ve korozyon direnci konularında bakır anahtar alaşım elementidir. Daha yüksek dayanım seviyelerinin mümkün kılınması için bakır gereklidir. Alaşımlarda %1,8'den daha yüksek oranlarda bakır mevcuttur. Örneğin; 7050'de %2,3 ve 7178'de %2'dir. Bakır bulunmayan alaşımların dayanımı düşük olmasına rağmen genel korozyona karşı gerçekten dirençlidirler. Korozyona dirençli olan 3xxx, 5xxx ve 6xxx serisi alaşımlar ile karşılaştırıldığında bu alaşımların dirençlerinin gayet iyi olduğu görülür. Bakır ilavesi genel korozyona karşı dirençte bir azalma oluşturmasına rağmen gerilmeli korozyon direnci üzerinde faydalı bir etkiye sahiptir. Yüksek oranda bakır içeren alaşımlar dayanımda büyük düşüşlere izin verilmemek koşulu ile yüksek sıcaklıklarda yaşlandırılabilir. Örneğin T76 ve T73 işlemleri ile eksflorasyon korozyon ve gerilmeli korozyon çatlağına karşı bir direnç üretilmiş olur.

Bu alaşımların birçoğu korozyon koruması sağlayan yüzey kaplamaları ile birlikte kullanılırlar. Kaplama alaşımları asıl alaşıma göre anodik olacak şekilde seçilir. Böylece asıl alaşıma katodik koruma sağlanmış olur.[4]

3.1.3. Isıl işlem uygulanamayan dövme alüminyumu alaşımları

Havacılık endüstrisinde kullanılan bu tip alaşımların en önemlisi 5xxx serisi alaşımlardır. Bu alaşımlar asıl olarak Mg içermekle birlikte az miktarda manganez ve/veya krom içerirler. Yaklaşık %3'den daha az miktarda alaşımlandırma malzemesi içeren alaşımlarda, elementler ya katı eriyikte kalırlar yada Al_8Mg_5 'in ikinci faz parçacıklarının düzgün dağılımı ile bölünürler. Bu

alaşım lar hemen hemen saf alüminyum kadar yüksek korozyon direncine sahiptirler.

Bu serilerdeki en ağırlıklı alaşımlandırma malzemeleri %7'den fazla Mg içerirler. Örneğin 5090, düşük yoğunluğu ve mükemmel korozyon direnci nedeniyle 7075-T6 kadar dayanıklı olmamasına rağmen, bazı uygulamalarda 7075-T6 yerine kullanılabilirler. 5090 diğer yüksek dayanımlı alaşımlara göre, örneğin; 2024, 7075 ve diğer 5xxx serisi alaşımlar gibi, daha anodik iken, en genel kaplama alaşımlarından biri olan 7072 ile uyumludur. 5090 alaşımı ayrıca ek florasyon korozyon ve gerilmeli korozyon çatlağına karşı yüksek dirence sahiptir.[4]

3.2. Magnezyum ve Alaşımları

Magnezyum hafif bir metal olup (yoğunluk: 1,74 gr/cm³) düşük yoğunlukta metal gerektiren uygulamalarda alüminyum ile rekabet eder. Fakat, magnezyum ve alaşımlarının, yaygın olarak kullanılmalarını engelleyen birçok özelliği de vardır. Öncelikle, magnezyum alüminyuma göre daha az ekonomiktir. Magnezyum erimiş halde havayla temas ettiğinde yandığı için, döküm sırasında örtü eritkeninin kullanılması gerekir. Magnezyum aynı zamanda düşük dayanıma, düşük sürünme ve korozyon direncine sahiptir. Ayrıca oda sıcaklığında magnezyumun şekil değiştirmesi güçtür. Çünkü magnezyum sıkı düzen hekzagonal kristal yapısı olduğundan sadece üç kayma sistemine sahiptir. Buna rağmen, düşük yoğunlukları nedeniyle havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır.[11]

Magnezyum alaşımlarının kodlama sistemi Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. AZ92A alaşımını bu tabloya göre inceleyecek olursak; ilk ikili harf grubundaki harflerden birincisi olan A alüminyumu, ikincisi olan Z çinkoyu ifade etmektedir. İkili rakam grubundaki 9, %9 oranında alüminyum, ikinci rakam 2 ise %2 çinko olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.1. Magnezyum alaşım kodlarının anlamları [4]

Birinci bölüm	İkinci bölüm	Üçüncü bölüm	Dördüncü bölüm
İki ana alaşım elementini gösterir. İki harf kullanılır. Miktarı yüksek olan element önce yazılır. Miktarlar eşit ise alaşımlar alfabetik olarak sırayla yazılır. Kullanımdaki alaşım elementlerinin kodları: A- Alüminyum E- Nadir toprak elementleri H- Toryum K- Zirkonyum M- Manganez Q- Gümüş S- Silisyum T- Kalay Z- Çinko	Alaşım elementlerinin % olarak miktarlarını gösterir. Rakam ile gösterilir.	İlk önce belirtilen alaşım elementleri ile alaşım yapıldığını belirtir. Tek harf kullanılır. I ve O harfleri kullanılmaz.	Isıl işlem durumunu gösterir. Bir harf ve bir rakam ile gösterilir. Kullanılan kodlar alüminyumda kullanılanlar ile aynıdır (örneğin: F, O,H, T gibi).

Alaşım-sız magnezyum yapısal amaçlar için çok fazla kullanılmaz. Bu nedenle asıl konu alüminyum, lityum, çinko, renyum, toryum ve gümüş içeren yüksek dayanımlı magnezyum alaşımlarıdır. Seryum, manganez ve zirkonyum gibi elementlerin küçük oranlarda kullanılması da mümkündür. Bu alaşım elementleri sertleştirme işlemlerine tepkiyi artırmak ve ayrıca korozyon direnci konusunda magnezyum ile uyumu sağlamak amacıyla kullanılırlar. Demir, nikel, kobalt ve bakır gibi diğer elementler magnezyumun korozyon direncini azaltırlar. Bu nedenle de kabul edilebilir korozyon direncini sağlayacak olan belirli tolerans limitlerini bozan katkı elementleri olarak kabul edilirler.

Magnezyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşımlandırma elementleri alüminyum ve çinkodur. Çünkü, bu alaşımlar yüksek çözünürlüğe sahiptirler ve oda sıcaklığındaki gerilme direnci yaklaşık 275 MPa olan yüksek dayanımlı

alaşım oluşmasını mümkün kılarlar. Manganez, alüminyum ile birlikte üçlü alaşım sistemlerinde sık sık kullanılır. Çinko ise korozyon dengesini artıran bir elementtir.

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının galvanik serinin anodik ucundaki pozisyonları nedeniyle, yüksek iletkenliğin olduğu ortamlarda diğer birçok metal ile çift oluşturduklarında çok hızlı bir şekilde korozyona maruz kalacaklardır. Galvanik atak oranı metal ve katot arasındaki potansiyel farka bağlıdır. Alüminyum alaşımlarının magnezyum ile galvanik etkileşimde olduğu durumda, alüminyum içindeki demir, bakır, nikel ve çinko gibi elementlerin varlığı nedeniyle etkileşim çok daha hızlı olacaktır.

Genellikle magnezyum alaşımları ile 5052, 6053, 6061 ve 6063 gibi bazı alüminyum alaşımlarının oldukça uyumlu olduğu görülür. Bu alaşımlar rondelalar, şimler, bağlayıcılar ve yapıdaki geçme elemanlar için kullanılan alaşımlardır. Paslanmaz çelik, titanyum, bakır, monel ve 2024, 7075 gibi alüminyum alaşımları korozif bir ortamda magnezyumun korozyona uğramasına neden olacaklardır. Bu nedenle bu tür eşleşmelerde koruyucu önlem şarttır. Korozyon önleme sistemleri çok değişik formlarda olabilir. Birbirinden farklı malzemeler arasında bir izolasyon tabakası oluşturulabilir. Magnezyum malzemelerin yüzeyine koruma işlemleri uygulanabilir.[4]

3.2.1. Döküm magnezyum alaşımları

Genelde beş tip alaşım sistemi kullanılır. Bunlar:

- Mg-Al-Zn (AZ serisi)
- Mg-Ag-Nadir toprak elementleri (QE serisi)
- Mg-Nadir toprak elementleri-Zn (EZ serisi)
- Mg-Zn-Th (ZH ve HZ serileri)
- Mg-Zn-Zr (ZK serisi)

Bu alaşımların tamamı birçok çevrede uniform ve çukurcuk korozyonuna karşı hassastır. Bu nedenle uygun yüzey işlemleri ile korunmalıdır. Korozif ortamlarda uzun süreli veya devamlı kullanımları, koruyucu bölgede oluşacak bir hasarda malzemenin çok hızlı korozyona uğraması nedeniyle risklidir.

Bu alaşımların bazılarında yüksek dayanım seviyelerine ulaşmak mümkündür. Oda sıcaklığında (21°C) 275 MPa gerilme direncinin sağlandığı tespit edilmiştir. Magnezyum döküm alaşımlarından HZ31A ve HZ32A gibi toryum içerenlerin yüksek sıcaklık özellikleri iyidir. HZ32A alaşımında %2,1 çinko bulunması 260°C ve üzerindeki sıcaklıklarda optimum sürünme direnci sağlar.

Magnezyum alaşımlarının ualarda kullanılma amacı sadece korozyon direnci değildir. Bu alaşımlar düşük ağırlık ihtiyaı nedeniyle de tercih edilirler. Magnezyum alaşımları genellikle diğer alaşımların korozyona karşı korunması için anot olarak kullanılırlar. Magnezyum alaşımları birçok alkaliye, çok sayıda organik kimyasala, konsantre hidrofliorik aside, saf florrlere, kromat ve bikromatlara karşı korozyon direncine sahiptir. Diğer asitler ve sulu tuz zelteleri magnezyumda korozyon ataklarının oluşmasına neden olur. Magnezyuma ilave edilen alaşım elementlerinin korozyon direnci üzerinde fark edilir bir etkisi olmaz.[4,9]

3.2.2. Isıl işlem uygulanabilen dövme magnezyum alaşımları

Dövme magnezyum alaşımlarının korozyon dirençleri birbirine yakındır. Bazı alaşımlar gerilmeli korozyona eğilimlidir. AZ80A, HK31A, HM31A ve ZK60A bunlara örnek olarak verilebilir. Gerilmeli korozyona karşı bu alaşımların geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bazı alaşımlarda olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Örneğin EK31A alaşımı gerilmeli korozyona karşı tamamen dirençli duruma getirilmiştir. HM21A, Mg-Th-Mn alaşımıdır. Bu alaşımda nispeten gerilmeli korozyona karşı dirençlidir.

Bir miktar lityum içeren alaşımlar son zamanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu alaşımlar çok yeni magnezyum alaşımları arasındadır. LA91A alaşımı iki fazlı bir malzemedir. Kübik hacim merkezli β -fazı matrisi içinde hekzagonal α -fazı içeren bir alaşımdır. LA141A ise daha çok miktarda lityum içeren ve tamamen β -fazında bulunan bir malzemedir. Bu alaşımlar en düşük ağırlığa sahip malzemeler arasındadır. Bu alaşımların korozyon dirençleri lityum miktarı ile tersine gelişir. LA91A alaşımının korozyon direnci LA141A alaşımından daha yüksektir. Korozyona karşı yüzey işlemleri gereklidir. Diğer

birçok magnezyum alaşımına göre bu alaşımlardaki korozyon hızı oldukça yüksektir. Birçok magnezyum alaşımında oksit tabaka nedeniyle zamanla korozyon hızı azalırken, Mg-Li alaşımlarındaki oksit tabaka çok az veya hiç koruma sağlamayacak ve korozyon hızı sabit kalma eğiliminde olacaktır. Kaynaklı birleştirmelerde önlem alınmazsa La141A alaşımında taneler arası korozyon görülebilir.[4]

3.2.3. Isıl işlem uygulanamayan dövme magnezyum alaşımları

%8'den daha az alüminyum ve çinko içeren Mg-Al-Zn alaşımları ısıl işlemlere tepki vermez. Bu nedenle bu alaşımların dayanımları mekanik işlemler ile artırılır. Bu alaşımlardan en önemli ikisi AZ31B ve AZ61A alaşımlarıdır. Bunlar sırasıyla %3 ve %6 alüminyum, %1 çinko içeren alaşımlardır. AZ31B iyi mekanik özellikleri ve mükemmel biçimlendirilme yeteneği nedeniyle geniş bir alanda kullanılır. Korozyon direncinin sağlanması için yüzey işlemleri ve boyama gereklidir. AZ61A alaşımı düzenli korozyon direnci sağlar. Bunun sebebi ise daha çok miktarda alüminyum içermesidir. Fakat özellikle klorür iyonlarının bulunduğu nemli havada korozyon meydana gelir ve ayrıca alaşım gerilmeli korozyon eğiliminde olur.[4]

3.3. Titanyum ve Alaşımları

Titanyum yaklaşık $4,4 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğu nedeniyle havacılık endüstrisi için çekici bir malzemedir [12]. Titanyumun alaşımları da $4,5-4,84 \text{ gr/cm}^3$ aralığındaki yoğunluğa, yüksek dayanım/ağırlık oranlarına ve yüksek korozyon dirençlerine sahiptirler. Titanyum 882°C 'de allotropik dönüşüme uğrar. 882°C 'nin üzerinde kübik hacim merkezli kristal yapıya sahipken (α , alfa fazı), bu derecenin altında hegzagonal sıkı dolgulu kafes yapıya sahiptir (β , beta fazı). Titanyum alaşımları biçimlendirilebilir ve dayanımı alüminyum alaşımlarından daha yüksektir.[11,13]

Titanyum içerisinde çözünebilen elementler iki grupta incelenebilir:

1- Alfa-Beta dönüşüm sıcaklığını arttıran elementler: Alüminyum, bizmut, kalay, antimon, indiyum ve kurşun.

2- Alfa-Beta dönüşüm sıcaklığını azaltan elementler: Demir, hidrojen, berilyum, silikon, krom, manganez, gümüş, kobalt, nikel, tungsten, uranyum, zirkonyum, vanadyum, kolombiyum, molibden ve tantal.

Titanyum ve alaşımları nemli bölgelerde hızla pasifleşirler ve diğer birçok alaşım ile şaşırtıcı bir şekilde iyi bir uyuma sahiptirler. Titanyum karbona karşı anodiktir. Eğer güçlendirilmiş fiber kompozitlerde kullanılan grafit fiber veya karbon ile temas olursa, titanyumda galvanik korozyon oluşması beklenebilir. Bununla birlikte bu durum pasif tabakanın dengesinden dolayı titanyum alaşımları ile titanyumun temas etmesi halinde meydana gelmez. Büyük oranda molibden ilavesi titanyumun aşındırıcı asitlere karşı direncini artırıcı yönde rol oynar. Az miktarda nikel ilavesi ile çatlak korozyonu önlenir ve yüksek sıcaklıklarda nötr klorür çözeltilere karşı korozyon direnci artırılabilir.

Titanyum reaktif bir metaldir ve korozyon direnci de koruyucu bir film (TiO_2) tabakasına bağlıdır. Durağan çevrelerde döküm veya kaynak yapılmalıdır. Metal, absorbe ettiği gazlara bağlı olarak gevrekleşme eğilimindedir. Bu nedenle titanyum yüksek sıcaklık malzemesi değildir. Titanyumun korozif ortamlarda tercih edilmesini sağlayan karakteristikleri: deniz suyu ve diğer klorür tuz çözeltilerine, hipokloritler ve nemli klor, dumanlı asitler içeren nitrik aside karşı olan dirençleridir. Aynı zamanda titanyum birçok metal için katodiktir.[13]

Titanyum ve alaşımları koruyucu tabakaları yok eden ortamlarda hızla korozyona uğrarlar. Hidroklorik asit tuzu, hidroflüorik, sülfürik, fosforik ve formik asit titanyumu aşındırır. Bununla birlikte bu aşındırma asit tuzu ilavesi, oksitleyici asitler ve diğer uygun önleyiciler ile azaltılır. Kuru klor titanyumu aşındırır. Fakat titanyum nemli klor ile SO_2 ve CO_2 gibi diğer oksitleyici gazlara karşı gerçekten tamamen dirençlidir.

Titanyum $177^\circ C$ ($350^\circ F$) üzerindeki sıcaklıkta her yoğunluktaki nitrik asitlere karşı mükemmel dirence sahiptir. %20 oranındaki nitrik asit içinde bile aşınma 12 mpy'dir. Titanyum susuz dumanlı nitrik asit içinde kullanıldığında reaksiyon çabuk yanıcı olabilir. Titanyumun kromik asit direnci nitrohidroklorür asitlerde olduğu gibi iyidir.

Titanyum alkalilerin seyreltik çözeltilerine iyi direnç gösterir. Sıcak, kuvvetli ve kostik çözeltiler, alaşımlı ve alaşımsız titanyumu aşındırır.

Titanyumun korozyona, deniz ortamında oluşan çukurcuk korozyona ve birçok nötr klorür çözeltilisine karşı direnci paslanmaz çelikten daha iyidir. Titanyum alaşımlarında çukurcuk korozyona sebep olan alüminyum klorür, kalay klorür, bakır klorür, çinko klorür, magnezyum klorür ve kalsiyum klorür'ün kaynamış çözeltileri ana istisnalardır. Sıcaklık yaklaşık 95°C (200°F) üzerindeyken, deniz suyu ve brom içindeki titanyumda çatlak korozyonu görülebilir. Paslanmaz çelik için çok korozif ortamlar olan demir klorür ve sodyum klorür ortamlarında titanyum çok fazla korozyona uğramaz.

Saf hidrokarbonlar titanyum için korozif değildir. İlâveten, titanyum birçok klorlanmış ve florlanmış hidrokarbonlara karşı korozyon direnci gösterir. Hidrolik ve ısı değiştirici sıvılar gibi diğer kullanılan bileşimler için de durum aynıdır. Yüksek ısılarda, titanyum tarafından absorbe edilmiş olan hidrojenin bir kısmının serbest kalması hidrokarbonları ayrıştırabilir, bunun sonucunda haddeleme kabiliyeti de azalır. Yüksek ısılarda ayrıca, stres-korozyon çatlaklarını da başlatabilen klorürler serbest kalabilir.[4,13,14]

Dumanlı nitrik asit veya hidroklorik asit, sülfürik asit veya brom içeren metanol hariç titanyumun herhangi bir ortamda stres korozyon çatlaklarına uğradığı görülmemiştir. Bunla birlikte “plain stain” (düz leke) koşullarında, düşük gerilim seviyeli deniz suyunda oksijen içeren alaşımsız titanyum hızlı çatlak yayılımı gösterir. Genel sulu stres korozyon test çözeltileri normal koşullar altında titanyum alaşımlarını etkilemez. Bazı sulu stres korozyon çözeltileri titanyumun yorulma ömrünü etkiler. Tuzlu su içindeki ön kırıklı titanyum alaşımlarının stres korozyon çatlaklarına karşı hassasiyetini, alüminyum ve alüminyum-kalay içeren bileşikler ve eş biçimli (izomorfus) beta sabitleyicileri etkiler. Hassasiyet yüksek içerikli alüminyum ve alüminyum-kalay ile artar. Ti-8Mn alaşımı bir istisnadır. Molibden, vanadyum ve kolombiyumun varlığı titanyum alaşımlarının hassasiyetini azaltır. Tuzlu su içinde hızlı çatlak yayılımı için hassasiyet görülen alaşımlar; alaşımsız titanyum, Ti-8Mn, Ti-3Al-11Cr-13V, Ti-5Al-2,5Sn, Ti-6Al-4V, Ti-8Al-1Mo-1V'dur. Ti-4Al-3Mo-1V alaşımlarıdır.

Tuzlu su içindeki titanyum alaşımlarının stres korozyon çatlaklarına karşı hassasiyet derecesi ısı işlemi ile değiştirilebilir. 480-905°C (900-1300°F) arasındaki yaşlandırma işleminde hızlanmış çatlak için direncin azalması, beta

dönüşüm sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıktan hızlı su verme işlemi ile düzeltilebilir.

Metil alkol titanyum ve titanyum alaşımlarında stres korozyon çatlakları başlatır. Metanol'e az miktarda brom, hidroklorik asit veya sülfürik asit ilavesiyle alaşımsız titanyumda bile çatlak meydana gelebilir. Kimyasal olarak saf metanol ile titanyum alaşımlarının hassasiyeti alaşıma, ısıtma ve stres seviyelerine bağlı olarak değişir.

Birçok titanyum alaşımı sıcak-tuz korozyon çatlaklarına bir miktar yatkındır. Alfa alaşımları görünüşte saldırıya çok hassastır. Alfa-beta alaşımları ise daha az hassastır. Ama, hassasiyet derecesi alüminyum içeriğinin artışı ile yükselir. Çift tavlı ve frezeli Ti-7Al-1Mo-1V alaşımı çok hassastır. Bununla birlikte alüminyum içermeyen Ti-8Mn alaşımı da hassaslık gösterir.

Orta derecede dirençli alaşımlar; Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2,5Sn ve Ti-13V-11Cr-3Al'dir. Sıcak-tuz stres korozyon çatlaklarına en dayanıklı alaşımlardan birisi Ti-4Al-3Mo-1V'dur. Isıtma işlemlerindeki değişiklikler birçok alaşımın tepkisini etkiler.

Katı eriyik gevrekliği stres korozyon çatlakları ile yakından bağlantılıdır. Erimiş kadmiyum titanyum alaşımlarında çatlaklara sebep olur. Cıva ve cıvalı alaşımlar da çatlak başlatır. Bununla birlikte, burada, elastikten ziyade plastik şekillendirme çatlak olasılığını azaltmak için gereklidir. 345°C (650°F) ve üzerindeki sıcaklıklarda Ti-7Al-4Mo ve Ti-5Al-2,5Sn alaşımlarında, gümüş stres çatlaklarına sebep olacaktır.[4,13]

Çizelge 3.2'de bazı titanyum alaşımlarının gerilmeli korozyon dirençleri verilmektedir. Bu tabloya göre bazı alaşımlara uygulanan ısıtma işlemleri ile gerilmeli korozyon direncini artırmak mümkündür. Fakat titanyum alaşımlarının birçoğu hiçbir ısıtma işlemi gerek duyulmaksızın gerilmeli korozyon direnci göstermektedir.

Çizelge 3.2. Titanyum alaşımlarının gerilmeli korozyon dirençleri [4]

Direnci En Düşük	Kısmen Dirençli	Yüksek Dirençli
Ti-5Al-2,5Sn (1) Ti-12Zr-7Al Ti-8Al-1Mo-1V (1) Ti-5Al-5Sn-5Zr Ti-6Al-6V-2Sn Ti-5Al-1Fe-1Cr-1Mo	Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al Ti-5Al-5Sn-5Sr-1Mo-1V Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo Ti-5Al-2,75Cr-1,25Fe Ti-13V-11Cr-3Al Ti-8Al-1Mo-1V (2) Ti-2Fe-2Cr-2Mo Ti-4Al-4Mo Ti-6Al-4V	Ti-4Al-3Mo-1V Ti-10Sn-5Zr-2Al-1Mo-0,2Si Ti-11,5Mo-6Zr-4,5Sn Ti-8Mn
1- Tavlanmış 2- Üç aşamalı tavlama işlemi uygulanmış		

Birçok çevresel koşulda, pasif titanyum potansiyeli Monel (nikel-bakır alaşımı) ve paslanmaz çelik benzerliği gösterir. Titanyum alaşımları bu maddelerle birleştiğinde galvanik etkilerin oluşması pek olası değildir. Alüminyum alaşımları, karbon çelikler ve magnezyum alaşımları gibi asal maddeler titanyum ile birleştiğinde korozyon atağı hızlanır. Galvanik atakların kapsam ve derecesi titanyum ve diğer metalin nispi alanlarına bağlıdır. Örneğin, anodik bir maddenin alanı ile ilişkisi az ise, anodik madde de şiddetli korozyon oluşur. Eğer iki metal yer değiştirilirse bölgede daha az atak olacağı aşıkardır. Atak birçok durumda koruyucu boyalar veya diğer işlemler ile önlenir veya minimize edilir.[13]

Titanyum ve alaşımlarında çatlak korozyonu, yükseltilmiş ısılarda klorür tuz çözeltilerinde meydana gelir. Atak yaklaşık 95°C'da (200°F), 150°C'dan (300°F) 205°C'a (400°F) artan frekansla oluşur. Asit ve tabii eriyikler çok büyük hassasiyete sebep olurlar. Ph 9 ve daha yüksek derecelerde hiçbir atak gözlenmemiştir. Alaşımsız titanyum ve ticari titanyum alaşımlarında çatlak korozyonu aynı sıklıkta meydana gelir.[13]

3.3.1. Döküm titanyum alaşımları

Döküm Titanyum alaşımları içinde en çok kullanılan Ti-6Al-4V alaşımıdır. Döküm alaşımlar dövme alaşımlar ile karşılaştırıldığında dayanım, haddelenme kabiliyeti, sürünme, yorulma dayanımı ve yüksek sıcaklık dengesinin biraz daha düşük olduğu görülür. Korozyon özellikleri ise dövme ve dökme alaşımlarda benzerdir.[9,13]

3.3.2. Dövme titanyum alaşımları

Dövme titanyum alaşımları özellikle deniz suyu benzeri ortamlarda çukurcuk, gerilmeli korozyon, galvanik korozyon, çatlak korozyonu ve korozyon yorulmasına karşı mükemmel dirence sahiptir. Bununla birlikte bazı durumlarda titanyum alaşımları gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı hassastır. Halide iyonları içeren sulu çevreler ile metanol, etanol ve etilen glikol gibi sıvıların olduğu çevreler bu durumlara örnek olarak verilebilir.[13]

3.4. Çelikler

Uçak yapılarında çok farklı çelikler kullanılmaktadır. Özellikle yüksek dayanım istenen yerlerde çelikler tercih edilmekle birlikte yoğunluklarındaki yükseklik (örneğin 3140 çeliğinin yoğunluğu $7,9 \text{ gr/cm}^3$ tür.) kullanımlarını kısıtlamaktadır. Korozyona karşı hassasiyet ve korozif atakların biçimleri tamamıyla alaşım kompozisyonları ve ısıl işlemlerin durumlarına bağlıdır. Alaşımsız karbonlu çelikler veya düşük alaşımlı çelikler uniform, çukurcuk veya tanelerarası korozyon ataklarına maruz kalabilirler. Yüksek alaşım çelikleri ve paslanmaz çeliklerin birçoğu hemen hemen uniform korozyona karşı bağımsızlığa sahiptir. Bununla birlikte yine de bu alaşımlar çukurcuk ataklarına, hidrojen gevrekleşmesine, gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı eğilimlidirler. Ortamda nem mevcut olduğunda korozyon ürünleri kolayca fark edilebilen kırmızımsı kahverengi film tabakası şeklinde olur.[4]

3.4.1. Düşük alaşımlı çelikler

620-700 MPa gerilme dayanımı istenen yerlerde su verilmiş ve tavlanmış düşük alaşımlı çelikler kullanılır. Korozyon direnci alaşım kompozisyonuna

bağlıdır. Az miktarda nikel, krom ve bakır ilavesi korozyon direncini artıracaktır. T1 çeliğini (Fe, 0.15C, 0.92Mn, 0.88Ni, 0.5Cr, 0.46Mo, 0.32Cu, 0.26Si) örnek alırsak, bu malzemenin atmosferik korozyon direncinin alaşımsız karbonlu çeliklerin dört katı olduğu görülür. Ayrıca bu tür çelik su ve sodyum klorür içeren atmosferik ortamlarda gerilmeli korozyona karşı oldukça dirençlidir.

Su verme ve tavlama işlemleri ile düşük alaşımları çelikler daha yüksek gerilme dirençlerine sahip olabilirler. Fakat bu işlemler bu malzemeleri genel paslanma, çukurcuk ve gerilmeli korozyona karşı eğilimli hale getirir. Bu nedenle bu alaşımlar elektroliz ile kaplanmalı veya boyanmalıdır. Bu alaşımlar ayrıca krom, nikel ve kadmiyum kaplama solüsyonlarında hidrojen gevrekletirmesine karşı hassastırlar. Alkali ve anodik asit temizleyiciler genellikle daha az probleme neden olur. [4,15]

3.4.2. Çok yüksek dayanımlı çelikler

Çok yüksek dayanımlı çelikler çok iyi sertleştirilebilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle bu çelikler gerilme direncinin 1400 MPa'dan daha yüksek olması gereken yerlerde kullanılırlar. Bu çeliklerin genel korozyon direnci zayıftır. Ferritik ve martensitik çelikler nemli ortamlarda uniform korozyon eğilimi gösterir. Korozif atakların hızı sıcaklıkla, korozif çözeltinin asitlik oranıyla ve akışkanın akım hızıyla artış gösterir. Normal koşullar altında bu çeliklerin yüzeyinde koruyucu oksit tabaka oluşmaz. Daha katodik metaller ile temas durumunda bu çelikler galvanik ataklara maruz kalacaklardır.

Çok yüksek dayanım özelliği sağlamak için yapılan ısı işlemler hidrojen gevrekletirmesine karşı hassasiyeti artıracaktır. Hidrojen gevrekletirmesi çok düşük gerilim seviyelerinde ve özellikle gerilimin yoğunlaştığı çentik gibi bölgelerde kırılmalara neden olabilir. Hidrojen gevrekletirmesini önlemek için malzeme 150-350°C sıcaklığında fırınlanabilir. Alaşıma ve gevrekleşmeye sebep olan yüzey işlem türüne bağlı olarak fırınlama işlemi 1-24 saat arasında uygulanmalıdır.

%18 nikel içeren maraging çelikleri bu grup içinde yer alabilir. Bu sınıfta yer alan alaşımlar üç tiptir. 1400, 1725 ve 1950 MPa gerilme dayanımı üretebilirler. %18 nikel'den başka değişik oranlarda kobalt, molibden, titanyum ve

alüminyum içerirler. Karbon oranı ise %0,03 kadar düşük seviyelerde tutulur. Nispeten düşük sıcaklıklarda (95-200°C) östenitik bölgeden su verme martensit dönüşümüne neden olur. Bu ise çok iyi bir yapıdır.

Bu alaşımlar çatlak ilerlemesine karşı en iyi direnci gösterecek şekilde dizayn edilirler. Oksidasyon, korozyon, gerilmeli korozyon çatlağı, korozyon yorulması ve hidrojen gevrekletirmesine karşı düşük alaşımlı çeliklere göre üstün bir dirence sahiptirler.[4]

3.4.3. Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler en az %16 krom ve %6 nikel içeren demir bazlı alaşımlardır. Göze çarpıcı bir korozyon direncine ve tavlama durumlarında iyi biçimlendirilme özelliklerine sahiptirler. Dövme ve dökme olarak şekillendirilmeleri mümkündür. Bu alaşımların yüksek korozyon direnci krom ve nikelin çok ince, yüksek yapışkanlıkta ve düzgün dağılımlı oksit tabakasının biçimine bağlıdır. Krom ve nikelin yoğunluğunun artışı korozyon direncini de artıracaktır. 310 Tipi paslanmaz çelikler gibi %25Cr ve %20Ni içeren bu alaşımlar en yüksek korozyon direncini sağlarlar.

Klorür iyonları yüzeydeki koruyucu oksit tabakasına zarar verir ve hızlı ataklara neden olur. Klorür iyonları yüksek çekme gerilmeleri ile birleştiğinde gerilmeli korozyon çatlağı meydana gelir. Bu alaşımlar hemen hemen her türlü yoğunluk ve sıcaklıktaki nitrik aside karşı mükemmel dirence sahiptir. [4,9]

3.4.4. Martensitik paslanmaz çelikler

Hava ile sertleştirilen bu alaşımlar genellikle yüksek dayanım sağlar. Fakat korozyon dirençleri östenitik paslanmaz çeliklerden daha düşüktür. Korozyon direncinin artırılması için %12-17 arasında krom ilave edilir. Ayrıca bu alaşımlarda az miktarda nikel, molibden, tungsten, niyobyum ve vanadyum ilave edilebilir. Bu alaşımlar dövme ve dökme olarak kullanılabilirler.

Martensitik alaşımlar genellikle atmosferik korozyona karşı dirençlidir. Fakat bu alaşımlar gerilmeli korozyon ve hidrojen gevrekletirmesine eğilimlidir. Bu tür ataklara karşı hassasiyetleri özel alaşım kimyasına ve ısıl işlemlere bağlıdır. Örneğin basit demir-krom alaşımını ele alırsak, bu alaşım su verilip veya

hava ile soğutulup 370-480°C arasında tavlandığında özellikle gerilmeli korozyon çatlağına hassas hale gelir. Bu tip bir işlemin sonucunda genel korozyon direncinde de bir azalma görülür. Genellikle yüksek gerilim altındaki durumlarda gerilmeli korozyon ve hidrojen gevrekletirmesi eğilimi artar. Az miktarda nikel, molibden, tungsten ve vanadyum ilavesi gerilmeli korozyon direncini artırır. Bu alaşımların birçoğu çok iyi oksidasyon direncine sahiptir. Bu nedenle genellikle gaz türbinli motorların sıcak bölgelerinde kullanılırlar.[4]

3.4.5. Yaşlandırma ile sertleştirilen çelikler

Bu alaşım serileri martensitik ve yarı östenitik paslanmaz çelikleri içerirler. Ana alaşım elementleri krom ve nikel olup bunların toplam miktarı %20'den fazladır. Bu elementlere az miktarda molibden, alüminyum, titanyum, kobalt, bakır ve niyobyum ilave edilebilir. Bu alaşımların atmosferik korozyon direnci östenitik alaşımlar ile benzerdir. Ayrıca oksidasyon direnci martensitik alaşımlardan genellikle daha iyidir. Çeşitli ısıl işlemler ve termomekanik işlemler ile mükemmel gerilme direnci sağlanması mümkündür.

Bu alaşımların korozyon dirençleri ısıl işlem şartlarına bağlıdır. Bu serideki alaşımların birçoğu genel korozyona karşı dirençli olmakla birlikte çatlak ve çukurcuk korozyona eğilim gösterirler. Bazı alaşımlar şiddetli atmosferik çevrelerde gerilmeli korozyona karşı hassastır.[4]

3.4.6. Nikel krom çelikleri

Bu alaşımlar yüksek dayanım, korozyon ve oksidasyona karşı mükemmel direnç gösteren alaşımlardır. Çok dengeli östenitik matris yapısına sahiptirler. %20'den daha fazla nikel kullanılır. Az miktarda krom ilave edilir. Bu serilerdeki yaşlandırma sertleştirilmesi uygulanabilen alaşımlar iyi oksidasyon direncine sahip oldukları için gaz türbinli motorlarda kullanılırlar. Yaşlandırma sertleştirilmesi uygulanamayan alaşımlar ise çok yüksek oksidasyon direnci gösterirler. Örneğin Incoloy gibi alaşımlar güçlü oksitleyici çözeltilerde (nitrik ve sülfürik asit gibi) korozyona karşı dirençlidirler. Diğer östenitik alaşımlar gibi bu alaşımlarda uzun süreli ısıtma veya yavaş soğutma durumlarında taneler arası ataklara karşı hassas olabilirler.[4,9]

Çizelge 3.3. Alaşımli çeliklerde ana alaşım elementlerinin oranları (SAE normuna göre) [11,12]

Alaşımli çelik	Alaşım elementleri
10xx	Mn 0.30-0.95
13xx	Mn 1.75
23xx	Ni 3.50
25xx	Ni 5.00
31xx	Ni 1.25, Cr 0.65
33xx	Ni 3.50, Cr 1.55
40xx	Mo 0.20-0.25, Mo 0.25 ve S
41xx	Cr 0.50-0.95, Mo 0.12-0.20
43xx	Ni 1.83, Cr 0.50-0.95, Mo 0.25
44xx	Mo 0.53
46xx	Ni 0.85-1.83, Mo 0.20-0.35
47xx	Ni 1.05, Cr 0.45, Mo 0.20-0.35
48xx	Ni 3.50, Mo 0.25
50xx	Cr 0.40
51xx	Cr 0.80-1.00
51xxx	C 1.00, Cr 1.03
52xxx	C 1.00, Cr 1.45
61xxx	Cr 0.60-0.95, V 0.13-0.15
86xxx	Ni 0.55, Cr 0.50, Mo 0.20
87xxx	Ni 0.55, Cr 0.50, Mo 0.25
88xxx	Ni 0.55, Cr 0.50, Mo 0.35
92xxx	Si 2.00 veya Si 2.00, Cr 0.70
93xx	Ni 3.25, Cr 1.20, Mo 0.12
94xx	Ni 0.45, Cr 0.40, Mo 0.12
98xx	Ni 1.00, Cr 0.80, Mo 0.25
50Bxx ¹	Cr 0.28-0.50
51Bxx ¹	Cr 0.80
81Bxx ¹	Ni 0.30, Cr 0.45, Mo 0.12
94Bxx ¹	Ni 0.45, Cr 0.40, Mo 0.12

1: Bor çeliği olduğunu gösterir.

3.5 Nikel ve Alaşımları

Nikel ilk olarak 1751 yılında keşfedilmiştir [16]. Doğadan elde edilmesi diğer malzemeler ile kıyaslandığında oldukça zor olan nikelin, bu özelliği maliyetinde artışa neden olmaktadır. Uçaklar üzerinde ilk olarak 1941 yılında kullanılmaya başlanan nikel bazlı alaşımlar yüksek sıcaklık, gerilim ve oksidasyon direnci sağlayan malzemelerdir. Bu zellikleri nedeniyle nikel esaslı alaşımlar uçakların gaz trbimli motorlarında kullanılmaktadır. [17]

Ayrıca nikel esaslı alaşımlar yüksek dayanım ve mükemmel korozyon direncine sahiptirler. Bu zellikleri nedeniyle nikel alaşımları uçak üzerinde dişlielerde ve iniş takımlarının açılma sistemlerindeki zincirlerde kullanılır. Egzoz manifoldları ve karbüratör içindeki valfler gibi dayanım ve yüksek korozyon direncinin birlikte olması istenen bölgelerde de nikel esaslı alaşımlar kullanılır. Uçak yapısal elemanları için korozyona karşı direnci nedeniyle tercih edilen bir malzemedir.[12]

Nikel esaslı alaşımlar (süperalaşımlar), motorun sıcak bölge parçalarının imalinde kullanılmaktadır. Yanma odasında kullanılan özel alaşım saclar (Hastelloy X - C263), düşük mukavemet, oksidasyona dayanım, şekillendirilme ve kaynak edilebilme özellikleri olan malzemelerdir. Trbim uygulamaları için ise, esas olarak 2 grup süper alaşım söz konusudur : birincisi dövme ile üretilir ve bu malzemeler diskler ve ringler için kullanılır. İkincisi dökümdür ve bu malzemeler, sabit veya hareketli kanatçıklarda kullanılır. Sıcaklığa dayanımlarını iyileştirmek için farklı mukavemet arttırma işlemleri gerekir. [18]

Nikel alaşımlar diskler ve dönel bilezikler için de kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygını IN718'dir ve yüksek basınç kompresör ve türbininin arka kademelerinde kullanılmaktadır. Bu süper alaşımların, 750°C' nin altında iyi dinamik mukavemet değerleri bulunmaktadır. Waspalloy yüksek sıcaklık özellikleri ile IN718 ile karşılaştırılabilir. Ancak Waspalloy mikro yapısı çok kritik metalürjik davranışlar sergiler. Dövme olarak üretildiğinde homojen, ince dağılımlı mikro yapı elde edilmesi hemen hemen olanaksızdır. Bu nedenle Waspalloy'un işleme ve kaynak özellikleri kısıtlıdır. Waspalloy'un yerine, yüksek sıcaklık kabiliyetleri nedeni ile, yalnızca toz metalürjisi teknolojisi ile elde edilen Udimet700, ReNe95 veya IN100 gibi malzemeler kullanılmıştır. Bazıları, yüksek

sıcaklıkta çok yüksek mukavemet değerleri gösterirken, kırılma mukavemetleri zayıf kalabilmektedir. Halihazırda ise, Udimet 720 Li gelişmiş bir malzeme olarak, mekanik işlem gerekmesizin disk uygulamalarında kullanılabilir. Maksimum kullanım sıcaklığı 730°C'ye ulaştığı için, IN 718 ile karşılaştırıldığında, Udimet 720 Lİ' nin +80°C' lik bir çalışma sıcaklığı üstünlüğü vardır. Ancak malzemenin fiyatı oldukça yüksektir.[18]

Özet olarak, U720 Li alaşımı ile yüksek sıcaklık mukavemeti açısından karşılaştırılabilecek malzeme yoktur denebilir [18]. Ticari motorlarda kullanımı makul fiyatlarla cazip hale getirilmektedir. Türbinlerdeki tüm sabit ve hareketli kanatçıklar döküm olarak elde edilmektedir. Dövme malzemenin kullanılmamasının nedenleri ısıl-mekanik özelliklerinin, sürünme mukavemetinin ve basınç altında kırılma mukavemetini taşıma özelliklerinin döküm malzemeye göre daha düşük kalmasıdır. Çünkü, kanatçıklar çok yoğun ve aşırı yüksek gaz sıcaklıklarına ve dönel yüklere maruzdur.[18]

Nikel alaşımları galvanik serideki konumları nedeniyle (birçok malzemeye göre oldukça katodiktir) özellikle galvanik korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Nikel alaşımsız olarak birçok durumda korozyona karşı dayanıksızdır. Fakat çeşitli metaller ile alaşımlandırılarak korozyon direnci artırılır.[19]

Uçaklar üzerinde nikel alaşımlarının özellikle gaz türbinli motorlarda kullanılması göz önüne alındığında havanın içindeki korozif maddeler ile yanma sonunda ortaya çıkan gazların korozif etkilerine karşı yüksek direnç beklenir. Özellikle yanma sonunda ortaya çıkan sodyum sülfat, kloridler ve süfürlere karşı dirençli olmalıdır. Bu direnç nikel içine krom, molibden ve az miktarda çelik ilave edilmesiyle sağlanır. Bu maddelerin ilave edilmesi nikelin yüksek sıcaklıklarda da mukavemetinin ve korozyon direncinin artmasını sağlar.[17]

3.6. Petek Yapılı Metal Kompozitler

Petekli yapılı metal kompozit yapılar, özellikle çarpma sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği yüksek mekanik dayanım gerektiren konstrüksiyonlarda kullanılır. Oldukça hafif sistemler elde etmek için, sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasına bu petekli yapılar yerleştirilir. Tabakalar arasına petekli yapının yerleştirilmesi, yapının atalet momentinin ve eğilme

dayanımının artmasını sağlar. Ondüle edilmiş plakaların birleştirilmesi sonucu elde edilen petek yapılı hücreler, sandviç yapıların iç (dolgu) malzemesini oluşturur. [20]

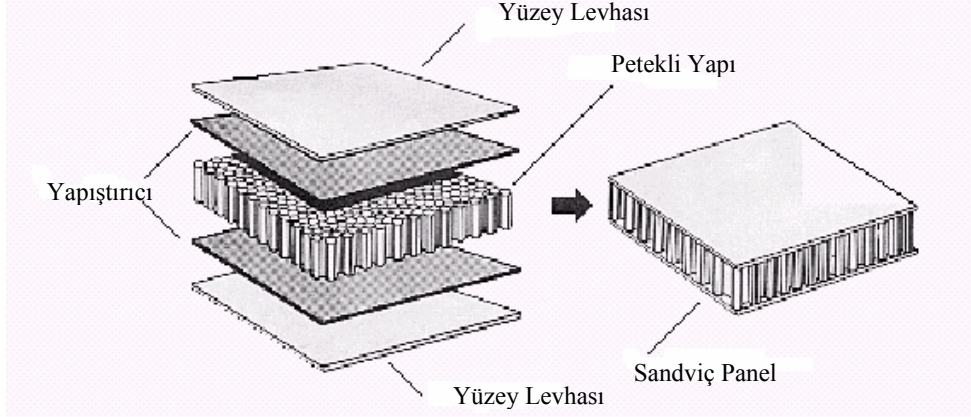
Teknolojide kompozit malzemeler 1940'lı yıllarda havacılık sektörüne hizmet vermeye başlamak üzere geliştirilmeye başlanmıştır. Amaç, çelik ve alüminyum alaşımları gibi konvensiyonel malzemelerin yerine daha düşük ağırlıklı ancak daha dayanıklı, sertlik değeri, aşınma dayanımı ve kırılma tokluğu yüksek malzemelerin geliştirilmesiydi.[10]

Günümüzde kullanılan petekli yapıların büyük bir çoğunluğu bir yapıştırıcı sayesinde hücrelerin birbirleri ile yapıştırılması sonucu oluşturulurlar. Petekli yapılar genellikle sandviç yapılarda dolgu elemanı olarak kullanılırlar. Buradan hareketle sandviç panellerden söz edilebilir. Bir sandviç panel, petekli yapının alt ve üst yüzeylerin yapıştırıcı kullanılarak yüzey örtüleri ile yapıştırılması sonucu elde edilir.

Bir sandviç panelin yapısı Şekil 3.1' de açık bir şekilde gösterilmiştir. Çelik, titanyum ve nikel alaşımlı metal hücre yapılı petekli yapılar yapıştırıcı yerine daha çok kaynak ve lehimleme ile birleştirilirler. Bu tür hücreler öncelikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Bu tür yapılarda genellikle hafif olmaları nedeniyle alüminyum malzemeler kullanılır. Yüksek rijitlik ve dayanım/ağırlık oranına sahip olan sandviç yapılar son derece hafif yapılardır. Petek yapılı kompozitler, diğer sandviç konstrüksiyon ara malzemelerine oranla daha pahalıdır ve sandviç yapı haline dönüştürülmesi daha özel işçilik gerektirmektedir. [20]

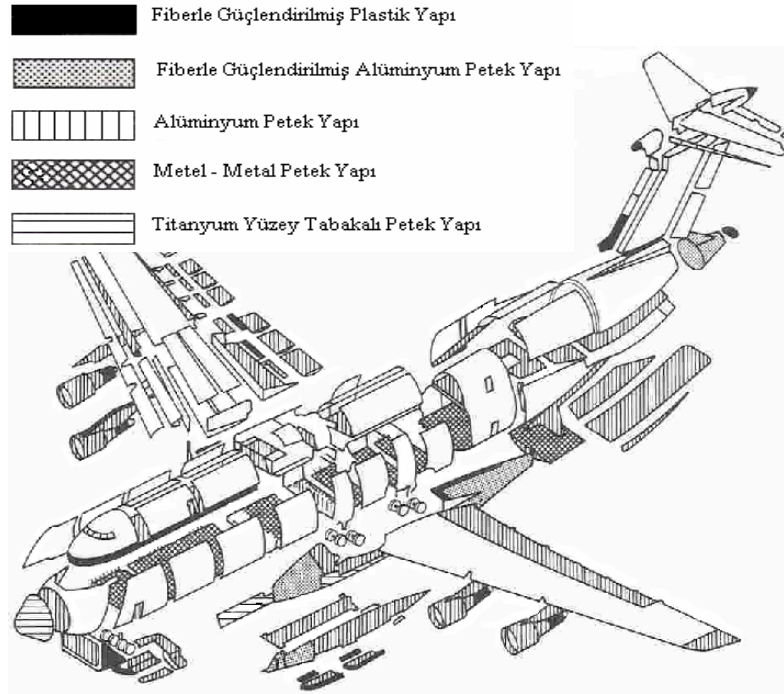
Havacılık sektörüne yönelik uygulamalarda hafiflik ve rijitlik özellikleri önem taşımakta ve genellikle uçağın taban kaplamaları, kanat ve kuyruk parçaları, helikopter pervanesi gibi parçalar sandviç konstrüksiyon tekniği ile üretilmektedir.[20]

Uçaklar petekli kompozit yapılar yüksek mukavemet, ısıl dayanıklılık ve yorulma dayanımı gibi üstün özelliklerine ilaveten mükemmel korozyon direnci göstermeleri nedeniyle tercih edilirler.



Şekil 3.1 Petek yapının yapıştırılarak elde edilmesi [20]

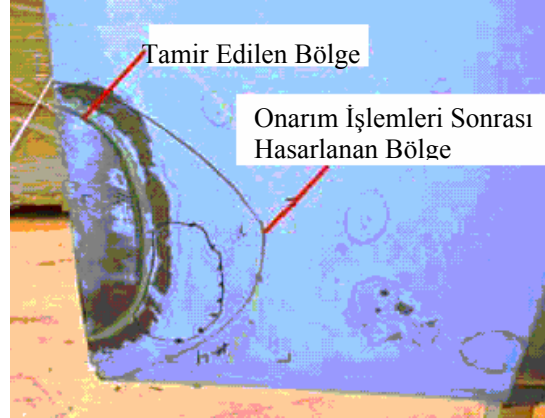
Uçaklar üzerinde her geçen gün kullanım oranı artmakta olan petek yapılı kompozitlere bir örnek Şekil 3.2 ile gösterilmiştir. Burada örnek olarak Lockheed C-5A nakliye uçağı verilmiştir. Bu uçak üzerinde kullanılan kompozit malzeme yaklaşık $2230 m^2$ dir. [21]



Şekil 3.2 Petek yapılı malzemelerin uçak üzerinde kullanımı [21]

Petekli kompozit yapılarda en sık karşılaşılan hasar türü yapı içinde nem görülmesidir. Nemli hava yapı içine uçak yerde veya havadayken girebilmektedir. Yüksek irtifalarda havanın soğuk olması nedeniyle nem yoğunlaşır ve petek yapının hücrelerinde kalır. Petek içindeki su havanın soğuk olduğu yerlerde donar ve daha sonra yüksek sıcaklık bölgelerinde genişleyerek petek yapıyı hasarlar. Petek malzeme hücre kalınlığının çok az olması ve oluşacak hafif bir korozyon yapıyı mukavemet yönünden oldukça zayıf düşürecektir. Ayrıca bu tür yapıların metal bölgeleri de korozyona karşı özel maddeler ile kaplanır. Bu kaplamaların zarar görmesi metal bölgenin korozyona karşı tamamen korumasız kalması anlamına gelir.

Şekil 3.3’ de F/A 18 uçağının firar kenarı flap bölgesi üzerinde yapılan onarım işlemi sonrası meydana gelen korozyon hasarı görülmektedir. Onarım sırasında yapıştırma işleminde malzemeye ısı uygulanması nedeniyle buharlaşma ve sonra da buharın yoğunlaşması ile sıvı faza dönüşmesi korozyon meydana getirmiştir. Korozyon sonucunda tabakalarda bir ayrılma oluşmuştur.[22]



Şekil3.3 Firar kenarı flap bölgesi üzerinde korozyon nedeniyle oluşan hasar [22]

Çizelge 3.4 ile bazı malzemelerin uçak yapılarında kullanım yerlerine örnekler verilmiştir. Ayrıca bu malzemelerin hassas oldukları korozyon türleri de belirtilmiştir. Malzeme, kullanım yeri ve korozyon arasındaki ilişki bu çizelgede açıkça görülebilir. Örneğin bir kanat spar’ında kullanılan alüminyum alaşımlı bir malzemede gerilme birikimlerinden dolayı gerilmeli korozyon oluşma riski

yüksektir. İniş takımları gibi atmosfere açık bölgelerde kullanılan çelikler uniform ataklara maruz kalabilirler.

Çizelge 3.4. Uçak malzemelerinde görülebilecek korozyon türleri [4]

Alaşım Tipi	Örnek Kullanım Yeri	Oluşabilecek Korozyon Türü
Isıl işlem uygulanabilen dövme alüminyum alaşımları	Kanat ve gövde kaplamaları, motor kaportası, bağlayıcılar, Kanat sparı	Gerilmeli, eksplorasyon korozyon
Döküm magnezyum alaşımları	Orta dayanımlı, maliyeti düşük ve çok hafif olması istenen parçalar	Uniform, çukurcuk korozyon
Döküm titanyum alaşımları	Kompresör çarkları, pencere çerçevelerinde, yatak yuvalarında	Gerilmeli korozyon
Dövme titanyum alaşımları	Yüksek sıcaklık uygulamalarında, jet motoru kompresör parçaları, disk ve fan blade'leri	Gerilmeli korozyon
Çok yüksek dayanımlı çelikler	Dişliler, iniş takımları, biyel kolları, cıvatalar	Uniform korozyon
Östenitik paslanmaz çelikler	Egzoz manifoldları	Gerilmeli korozyon
Yaşlandırma ile sertleştirilen çelikler	Yüksek dayanımlı bağlayıcılar, uçak basınç hatları	Çukurcuk, çatlak korozyonu
Nikel krom çelikleri	Türbin diskleri, egzoz parçaları	Taneler arası korozyon

4. UÇAK BAKIMINDA KOROZYON

4.1. Uçak Bakımının Amacı

Uçak bakımı; uçağın imalatından başlayıp hizmetten kaldırılmasına kadar geçen süreç içinde uçağın her zaman yapısal ve fonksiyonel olarak ilk günkü kadar yeni, temiz, iyi ve düzgün çalışır durumda olması ve aynı zamanda ekonomik ve uçuşa elverişli olabilmesi yani güvenilirliğinin tam olması için yapılan faaliyetlerdir. Uçak bakımında öncelikli amaç her zaman emniyettir. Korozyona yönelik bakım işlemlerinde de emniyet ön plandadır. Fakat korozyonun neden olduğu ekonomik kayıpların en düşük seviyelere indirilmesi bakımın diğer önemli amacıdır.

Uçak bakımı temelde önleyici bakım, düzeltici bakım ve koruyucu bakım olarak üç yaklaşımla incelenebilir.

Önleyici Bakım: Önceden belirlenmiş periyotlarda veya kriterlerde parça komponent veya yapıya uygulanan bakım faaliyetleridir. Bu periyotlar malzemenin bu süre içinde bir bozulmaya veya aksaklığa uğrama ihtimali tasarlanarak belirlenir. Bu süreler ve bakımda yapılacak kontroller üretici firma tarafından belirlenir. Fakat zamanla kullanıcıların bilgi ve tecrübeleri ile bu süre ve kontrollerde değişim olabilir. Bu değişikliklerde üreticinin onayı olmak zorundadır [23]. Korozyon tespit edildikten sonra yapılacak işlemler düzeltici bakım faaliyetleri içinde yer almaktadır.

Düzeltilici Bakım: Bir parça, komponent veya yapının kullanılabilirliğini devam ettirmek için, çeşitli ayar ve onarımları da içeren bakım yaklaşımıdır. Bu bakımın uygulandığı parça, komponent veya yapının durumunda bir bozulma veya aksaklık gereklidir. Bu bakım yaklaşımının uygulanması için herhangi bir zaman kısıtlaması yoktur. Bozulma veya aksaklık tespit edildiğinde düzeltici işlemler uygulanır. [23]

Koruyucu Bakım: Bu bakım yaklaşımı parça, komponent veya yapının çalışacağı ortama göre uğrayabileceği bozulmalar ve arızalar göz önüne alınarak, bu parça, komponent veya yapıya uygulanan koruyucu faaliyetler ve bunların kullanıcı tarafından kontrolünü ve eğer mümkünse yenilenmesini içerir. Bu bakım yaklaşımı uygulamada genelde önleyici bakım kapsamında yer alır.

4.2. Uçak Bakımında Emniyet Yaklaşımları

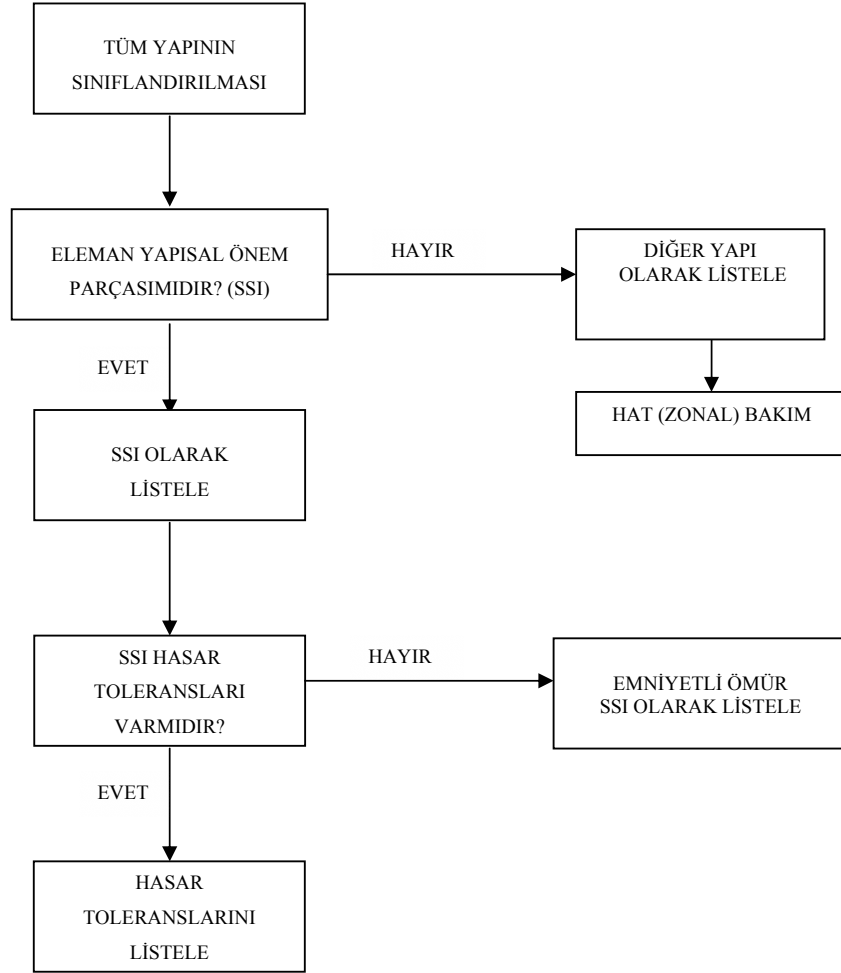
Korozyonun emniyete en önemli etkisi malzemenin önceden belirlenen hizmet ömrünü azaltmasıdır. Yorulma baz alınarak tespit edilen çalışma ömrü korozyon nedeniyle oldukça kısalmaktadır. Bu durum ise zamanında önlem alınmadığında büyük kazalara neden olabilir. Korozyon sadece çalışma ömrünü kısaltmaz. Uçuş emniyetini doğrudan etkilemeyen parça ve komponentlerin de verimli kullanımını ortadan kaldırır.

Uçağın emniyetli olarak hizmet verebilmesi için çeşitli bakım yaklaşımları geliştirilmiştir. Bugüne kadar uygulanan üç tür bakım yaklaşımı içinde korozyona yönelik işlemler sadece hasar toleransı (damage tolerance) yaklaşımında yer almıştır. Diğer yaklaşımlar olan emniyetli ömür (Safe-Life) ve hata emniyeti (Fail-Safe) bakım yaklaşımlarında ise uçağın sadece yorulmaya yönelik olarak kontrolleri dikkate alınmıştır. Hasar toleransı yaklaşımında tüm hatalar (yorulma, korozyon, kaza etkileri, üretim ve bakım hataları) dikkate alınır.

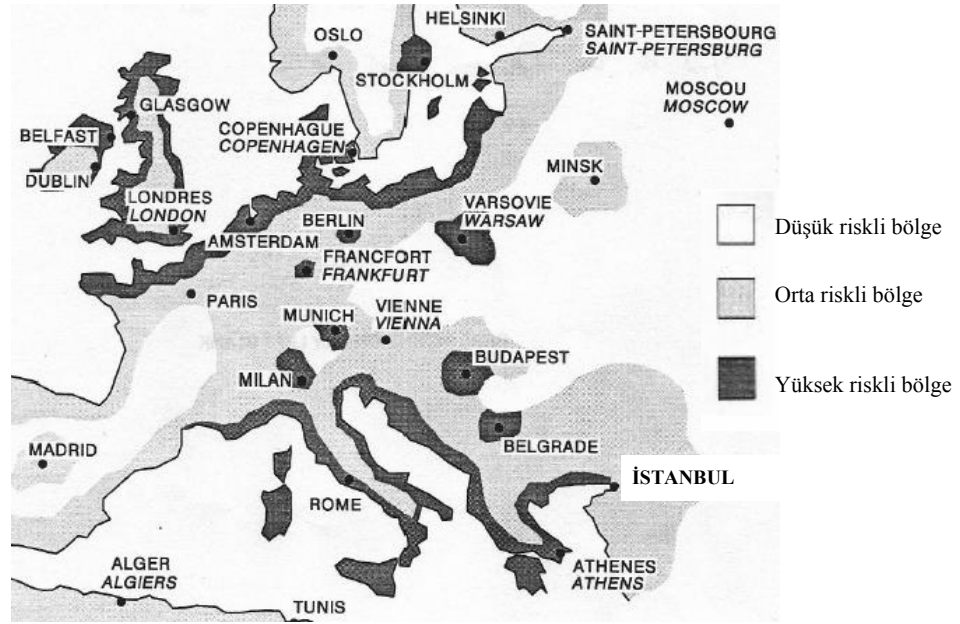
Bu yaklaşımın uygulanması için öncelikle bakım yönlendirme kılavuzları (Maintenance Steering Guide-MSG3) hazırlanır. Bu kılavuzlar ile kontrol edilmesi gereken parça ve komponentlere uygun bakım işlemleri uygulanır. MSG3 temel akış şeması Şekil 4.1. ile verilmiştir. Bu şema incelendiğinde malzemenin önem derecesine göre yapılacak bakım işlemlerinin belirlendiği görülmektedir. Akış şemasında da görüldüğü gibi yapının hangi derecede önemli olduğu belirlenir. Birinci dereceden önem taşıyan (Structural Significant Item-SSI) parçalar listesi oluşturulur. Bu parçalar için emniyetli ömür veya hasar toleransı durumları tespit edilir. Yapısal önem parçalarının büyük bir bölümü hasar toleransı yaklaşımının içine dahil edilir. Emniyetli ömür yaklaşımı ise az sayıdaki parçaya uygulanmaktadır.

Korozyonun yorulma dahil malzemenin birçok özelliğini olumsuz etkilemesi nedeniyle bakım uygulamalarında artık öncelikli konulardan birisi de korozyon olmuştur. Bakım prosedürü hazırlanması esnasında malzemenin korozyon davranışları tespit edilerek, çeşitli testler göz önüne alınarak hangi ortam ve kullanım şartlarında korozyona eğilimli olduğu ve bu durumlarda hangi aralıklarda ve hangi tür kontrol yöntemi uygulanması gerektiği tespit edilmiştir. Uçakların çalışacağı bölgeler de korozyon açısından bakım faaliyetlerinin

değişeceği bir durumdur. Çalışma bölgelerine ilişkin örnek bir harita Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu harita incelendiğinde deniz kenarı gibi nem ve tuz oranının yüksek olduğu bölgelerde korozyon riskinin oldukça artmakta olduğu açıkça görülebilir.



Şekil 4.1 MSG3 Prosedürünün temel akış şeması [24]



Şekil 4.2 Avrupa kıtası için korozyon risk dağılımı [25]

Uçak bakım programları hazırlanırken korozyona yönelik kontroller de özel bir durum olarak yer almaktadır. Korozyona yönelik bakım programları da MSG3 prosedürleri ile hazırlanmaktadır. Korozyon önleme ve kontrol programları olarak isimlendirilen bu bakım programları uçuş emniyetini tehdit eden durumların önlenmesi için geliştirilmiştir. Özellikle programlı bakımlarda daha önceden belirlenmiş olan korozyon kontrolleri yapılır. Bu kontrollerde korozyonun seviyesi belirlenir. Korozyon seviyeleri üç grupta incelenir.[25]

1. Seviye: Korozyon uygun kontrol yöntemleri ile tespit edilmiştir. Korozyon önceden belirlenen limitleri aşmamıştır. Herhangi bir yapısal güçlendirme, onarım veya parça değişimi gerekli değildir. Uçuş emniyetini tehdit eden bir durum mevcut değildir.
2. Seviye: Korozyon önceden belirlenen limitleri aşmıştır. Yapısal güçlendirme, onarım veya parça değişimi gereklidir. Fakat bu işlemlerin uçuş emniyeti açısından hemen yapılması zorunlu değildir.
3. Seviye: Korozyon limit dışıdır. Yapısal güçlendirme, onarım veya parça değişimi gereklidir. Uçuş emniyeti açısından bu işlemler uçak uçuşa verilmeden yapılmalıdır.

Korozyona yönelik bakım uygulamalarında Seviye1 her zaman mümkün olan bir durumdur. Bu seviyede tespit edilen ve giderilen korozyon herhangi bir tehlike oluşturmaz. Seviye2 veya 3 tespit edildiğinde ise üretim, bakım programları veya bakım uygulamalarında bir aksaklık olduğu düşünülebilir. Çünkü korozyona yönelik bakım programları korozyonun bu seviyelere ulaşmadan önce tespit edilip, giderilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu tür bir durum tespit edildiğinde üreticiye hemen ayrıntılı bir şekilde bilgi verilmelidir.

Programlı bakımlar dışında uygulanması mecburi olan FAA (Federal Aviation Administration) tarafından yayınlanan A.D.'ler (Airworthiness Directives - Uçabilirlik Direktifleri) ve üretici tarafından yayınlanan SB'ler (Service Bulletins – Servis Bültenleri) ile korozyona yönelik özel kontroller yapılabilir.

Gelişen teknoloji ile korozyonun sebebi, nasıl giderileceği ve sonuçları artık bilinen bir konudur. Emniyet açısından önemli olan korozyonun tespit edilmesidir. Gözden kaçan en küçük belirti istenmeyen büyük problemlere yol açabilir. Her ne kadar korozyon tespit yöntemleri oldukça ilerleme göstermiş olsada insan faktörü göz ardı edilemez. Bu nedenle gerek üretim aşamasında gerekse bakım işlemlerinde korozyon konusunda bilgili ve tecrübeli elemanlar gereklidir.

4.3. Korozyonun Ekonomik Etkileri

Havacılık sektöründe uçuş emniyeti her zaman ilk sırada düşünülen bir olgudur. Emniyet konusunda hiç bir zaman taviz verilmesi mümkün değildir. Fakat her gruptan insanın havacılık sektöründen faydalanabilmesi için uçuş maliyetlerinin de belirli bir seviyede tutulması gereklidir. Bu gereklilik havacılık sektöründe emniyete olumsuz etkisi olmamak koşulu ile ekonomikliği de önemli hale getirmektedir. Kuşkusuz korozyonun uçuş emniyetini doğrudan etkilemesinin yanı sıra operasyon ve bakım maliyetlerinde de yaratacağı artış oldukça önemlidir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletlerinde 1996 yılında havacılık sektöründe korozyonun neden olduğu yaklaşık maliyet 2,225 milyar\$ olarak tahmin edilmektedir. Bu miktarın 0,225 milyar\$'ı dizayn ve imalat işlemlerini, 0,3 milyar\$'ı ise korozyonun neden olduğu programsız bakım sonucu uçağın

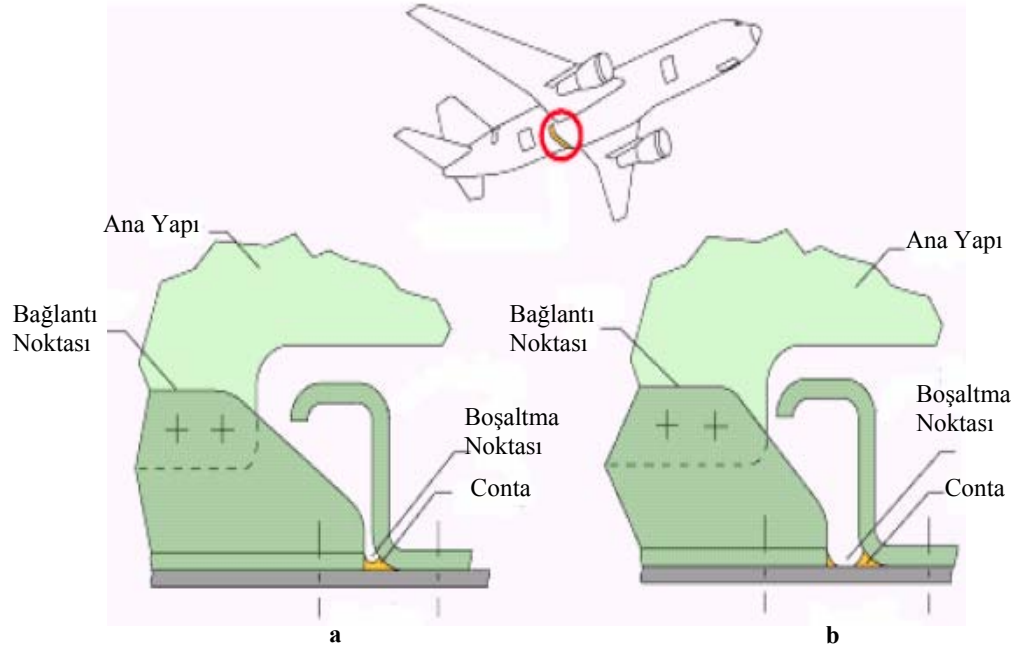
hangarda beklemesi nedeniyle ortaya çıkan maliyetlerdir. Geriye kalan 1,7 milyar\$ ise korozyona yönelik yapılan bakım faaliyetlerini içermektedir.[26]

Ayrıca korozyona yönelik programsız bakımlar göz önüne alınırsa maliyetlerdeki artış daha da dikkat çekici bir duruma gelecektir. Bu maliyetlere bir örnek durum Çizelge 4.1. ile verilmiştir. Bu çizelgede 1992 yılında yayınlanan çeşitli uçak modellerine ait korozyona yönelik Uçabilirlik Direktifleri (A.D.) sonucu maliyetlerdeki artış belirtilmektedir. Bu direktiflerin 6 yıllık büyük bakım periyodunda her yıl uygulanacağı düşünüldüğünde, işleticinin karşılaştığı ilave maliyetin büyüklüğü görülmektedir.[26]

Korozyonun havacılık sektöründeki yeri ve önemi, bu konu üzerinde uzmanlar tarafından oldukça yoğun bir şekilde çalışmalar yapılmasına neden olmaktadır. Günümüzde artık bir korozyon mühendisliği önemli bir bölüm durumuna gelmiştir. Korozyon üzerine yapılan çalışmalar öncelikle dizayn ve üretim aşamasında başlamaktadır. Örneğin, B-777 uçağı için yapısal dizayn aşamasında harcanan mühendislik süresi yaklaşık 100 000 saattir. Bunun maliyeti ise 20 milyon\$'dır. Bu işlemleri destekleyecek olan malzeme testlerinin maliyetleri de yaklaşık 5 milyon\$ olarak hesaplanmıştır. Korozyonun sadece dizayn aşamasındaki maliyeti toplam 25 milyon\$ olarak tespit edilebilir. Şekil 4.3. incelenecek olursa dizayn aşamasında yapılan korozyona yönelik faaliyetlerin olumlu sonuçları görülebilir. Burada, önceden uygulanmakta olan contalama sisteminin dezavantajları tespit edilerek, yeni bir sistem geliştirilmiş ve olası bir korozyon riski azaltılmıştır.[26]

Çizelge 4.1. Korozyon maliyet kayıp örnekleri (1992 yılı) [26]

MODEL	A.D. NUMARASI	MALİYET (\$)
A-300	94-18-02	44000
BAC-1-11	93-02-14	38500
B-707/-720	90-25-07	80640
B-727	90-25-03	80000
B-737	90-25-01	38720
B-747	90-25-05	188800
DC-8	92-22-07	105700
DC-9/MD-80	92-22-08R1	87100
DC-10	52-22-09R1	51900
F-27	94-15-11	28880
F-28	94-05-02	29600
L-1011	93-20-03	139700
	95-21-07	14000



Şekil 4.3. Sıvı toplama bölgesindeki korozyon riskinin azaltılması [26]

- a- Eski dizayn
b- Yeni dizayn

4.4. Korozyon Riskinin Yüksek Olduğu Bölgeler

MSG3 prosedürleri hazırlanırken korozyon riskinin yüksek olduğu bölgeler tespit edilmiş ve bu bölgelerin korozyon açısından kontrollerine özel önem verilmiştir. Bu bölgelerden bazıları aşağıdaki bölümlerde belirtilmiştir. Korozyona eğilimli bölgeler uçak tipine ve uçağın çalışacağı bölgeye göre farklılıklar gösterebilir.

4.4.1. Kanat flap ve spoyler bölgesi

Uçağın dış yüzeyi bakım uygulamaları için görülebilir ve ulaşılabilir bölgelerdir. Bu bölgelerde bile, malzemelerin belli konfigürasyonları ve kombinasyonları belli çalışma koşullarında problem oluşturur. Bu nedenle özel dikkat gerektirebilir.[12]

Nispeten düşük korozyon problemi magnezyum yüzeylerde tespit edilmiştir. Koruyucu işlemlerin hiçbir zaman tamamen uygulanamadığı ayarlama, delme ve perçinleme işlemleri orijinal yüzeyde hasarlar oluşturur. Korozyona

yönelik her kontrol bütün magnezyum malzemeli yüzey bölgelerini kapsar. Özellikle kenar bölgeleri, bağlayıcı çevreleri ile çatlak, çentik ve boya kalkması durumlarına dikkat edilmelidir [12]. Bazı uçaklarda flap firar kenarı bölgesinde alüminyum petek malzemedan üretilmiş panellerde filiform ve çukurcuk korozyonu tespit edilmiştir. Çukurcuk derinliği yaklaşık olarak 0,0254 mm (0,001 inç) olarak ölçülmüştür.[1]

Piyano tipi menteşeler çelik pim ve alüminyum menteşe arasındaki farklı malzeme teması nedeniyle korozyonun oluşabileceği bölgelerdir. Bu bölgeler ayrıca kir, toz ve nemin doğal olarak birikebileceği bölgelerdir. Menteşelerin kontrolleri yağlama işlemlerini de içerir. Yağlama yağının menteşenin her bölgesine nüfuz etmesi sağlanmalıdır. Kaynakla birleştirilmiş metallerdeki korozyon, metal katmanları arasına korozif ajanların girmesi ve birikmesi ile oluşur. Korozyonun bu türü, korozif ajanların girdiği çatlaklarda görülen korozyon ürünleri ile tespit edilebilir. Daha gelişmiş korozif ataklar yüzeyde bozulma ve sonuçta kaynakta çatlak oluşmasına neden olur. Yüzeydeki bozulmalar kaynak dikişlerinin görünüşü veya bir master ile tespit edilebilir. Bu durumu önleyebilecek tek yöntem, dikişlerin ve kaynaktaki kırılma nedeniyle oluşan deliklerin contalama malzemeleri veya uygun bir bileşik ile doldurularak nem girişinin engellenmesidir.

4.4.2. Bağlantı bölgeleri

Uçak üzerinde bağlantı bölgelerinde korozyon oluşma riski oldukça yüksektir. Perçin, cıvata gibi bağlantılarda malzemeler arası galvanik uyum oldukça önemlidir. Malzeme seçiminde galvanik serilerin önemi burada ortaya çıkmaktadır. Bu bölgelerde kullanılan malzemeler arasında her zaman galvanik uyum sağlamak mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda bağlantı elemanları arasında izolasyonu sağlamak gereklidir. Bakım işlemleri sırasında ise boyalar, yağlayıcılar gibi korozyona karşı koruma sağlayan izolasyon malzemelerinin durumları özellikle kontrol edilmeli, herhangi bir aksaklık durumunda bu olumsuz durum giderilmelidir.

Bağlantı sağlamak için kullanılan diğer bir teknik ise kaynaklı birleştirmelerdir. Isıl işlemlerin korozyon direncini azaltması nedeniyle kaynaklı

birleştirmeler korozyon açısından önemlidir. Bu tür bağlantıların kullanıldığı bölgeler üreticinin belirttiği tahribatsız kontrol yöntemleri kullanılarak ve özellikle dikkat edilerek kontrol edilmelidir.

4.4.3 Yakıt tankları ve sıvı rezervuarları

Yakıt tankları özellikle mikrobiyolojik korozyon hasarına karşı oldukça hassas bölgelerdir. Büyük bakımlar hariç diğer periyodik bakımlarda gözle kontrol edilmesi oldukça zordur. Ayrıca bu bölgeler yüzeydeki koruyucu kaplamanın zamanla yakıtın özelliği nedeniyle deformasyona uğraması sonucu diğer korozyon türlerine karşı da hassas duruma gelir. Bazı uçaklarda bu duruma karşı kauçuk malzemeden imal edilmiş yakıt depoları kullanılmaktadır.

Sıvı rezervuarları uçaklarda korozyona yönelik bakım işlemlerinde özellikle dikkat edilmesi gereken bölgelerdir. Sıvılar korozyonun oluşması için gereken iletim işlemini en etkin şekilde sağlayan maddelerdir. Periyodik bakımlarda özellikle bu bölgelerdeki sıvıların tamamen boşaltılarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

4.4.4. İniş takımları

Uçağın diğer bölgelerine göre bu bölümler çamur, su, tuz, ince kum gibi maddeler ile daha çok temas halindedir. Kompleks şekiller, asambleler ve bağlantılar nedeniyle bütün bölgeyi kaplayan boya tabakasının kontrolü zordur. Kısmi uygulanan koruyucular korozyonu önlemek yerine korozyonu gizleme eğilimindedir. Frenleme sonucu oluşan ısınma nedeniyle bazı iniş takımlarında koruyucu uygulanamaz. Bu bölgelerin kontrol işlemleri süresince aşağıdaki durumlara özellikle dikkat edilmelidir:

- 1- Magnezyum alaşımlı malzemeler ile özellikle cıvata başları, dikmeler, boşluklar, su ve su nedeniyle oluşan durumlar
- 2- Rijit borular, özellikle somunlar, contalar, kelepçelerin alt kısımları, boruların üzerindeki tanıtma etiketlerinin alt kısımları
- 3- Pozisyon bildiren şalterler ve diğer elektrik donanımı
- 4- Destekler, kirişler ve gövde alt yüzeyindeki çatlaklar, bu bölgeler özellikle su ve diğer atıkları toplama eğilimindedir.[12]

4.4.5. Motor ön bölgesi ve soğutma havası çıkışları

Bu bölgelerde, havanın içindeki kir ve toz, pistten kaynaklanan ince kum ve yağmur erozyonu nedeniyle aşınmalar oluşur. Bu aşınmalar koruyucu tabakanın aşınması anlamına gelir. Bu bölgelerin bakımları soğutma havasının geçiş yolundaki bütün bölgeleri kapsar. Deniz kenarındaki bölgelerde tuz atıklarının toplanma ihtimaline karşı dikkatli bakım gereklidir. Deniz uçakları ile hem kara hem de deniz bölgelerinde hizmet veren uçakların motor dış yüzeylerinin her zaman kontrol edilerek korozyonun başlangıç aşamasında önlenmesi, boyadaki hasarların giderilmesi ve kalın koruyucu tabakanın kontrol işlemlerinin uygulanması bir zorunluluktur.

4.4.6. Egzoz bölgesi

Jet ve pistonlu motorların hepsinde de egzoz atıkları oldukça koroziftir ve açıklıklar, ek yerleri, menteşeler ve kaplama üzerinde problem oluştururlar. Bu atıklar egzoz gazı çıkış hattı üzerinde birikir ve normal temizleme yöntemleriyle temizlenemezler. Perçin başı bölümleri ile yüzey çatlaklarının olduğu yerlere özellikle dikkat edilmelidir. Bakım işlemleri için kaplamalar ve kontrol kapakları sökülmelidir. Kuyruk takımı gibi ulaşılması zor bölgelerdeki biriken egzoz atıkları gözden kaçırılmamalıdır. Bu bölgelerdeki birikim daha yavaş olacak ve bazen de hiç fark edilmeyecektir. Fakat bu durum uçak için bir problem kaynağıdır.

4.4.7. Batarya bölümü ve batarya çıkış hattı

Aşırı ısınan elektrolitin oluşturduğu buharın kontrol edilmesi zordur. Bu buharlar bitişik bölgelere yayılacak ve korozyona karşı korumasız olan metal yüzeylerde hızlı korozif atıkların oluşmasına neden olacaktır. Uçak dış yüzeyindeki batarya çıkışları, batarya bölgesi için yapılan bakım faaliyetlerinin kapsamına alınmalıdır. Düzenli olarak temizleme, asit artıklarını etkisiz hale getirerek korozyon riskini oldukça azaltacaktır.

4.4.8. Gövde içi alt boşluklar

Bu bölgeler hidrolik sıvılar, su ve kirlerin doğal toplanma bölgeleridir. Atık yağlar tabana yerleşmiş az miktardaki suyu örtecek ve gizli bir korozyon

hücre oluşmasına neden olacaktır. Deniz uçakları ile hem kara hem de deniz bölgelerinde hizmet veren uçaklarda ki bu bölgelere potasyum dikromat içeren kesecikler yerleştirilir. Potasyum dikromat kristalleri biriken suyu belirli oranda emecektir ve metal yüzeyinde oluşması muhtemel olan korozyonu önleyecektir. Bakım işlemleri uzun süre kullanılan bu keseciklerin kontrolünü ve değiştirilmesini içerir.

Mutfak, tuvalet ve bunların uçak dış yüzeyindeki çıkışlarına özellikle dikkat edilmelidir. İnsan atıkları ile tuvalet ve mutfakta kullanılan kimyasallar oldukça koroziftir. Bu bölgeler sık sık temizlenmeli ve boyalı bölgeler kontrol edilerek boyada oluşan hasarlar giderilmelidir.[12]

4.4.9. Su boşaltma bölgeleri

Suyun toplanma ihtimali olan bütün bölgelere, uçağın dizaynı esnasında çeşitli boşaltma çıkışları yerleştirilir. Günlük bakımlarda alt bölgelerdeki çıkışların kontrolü standart bir gerekliliktir. Eğer bu kontrol ihmal edilirse, bu çıkışlarda atıklar, gres ve diğer nedenlerle tıkanmalar oluşabilir.

4.4.10. Diğer riskli bölgeler

Helikopter rotor başları ve dişli kutuları, atmosfere açık çelik yüzeyler, dış bölgede çalışan birçok parça ve farklı metal temasları diğer korozyon problemi oluşturabilecek bölgelerdir. Bu bölgeler sık sık korozyon için kontrol edilmelidir. Uygun bakım, yağlama ve koruyucu kaplama uygulaması bu bölgeleri korozyona karşı koruyabilir.

Uçuş kontrol kabloları ince tellerin birleştirilmesiyle oluşturulmuş çelik malzemelerdir. Kablolar kendisini oluşturan tellerin arasındaki gres tabakası ile korozyona karşı korunur. Bu gres tabakasındaki bozulma kabloda korozyon oluşmasına neden olacaktır.[1]

Bütün uçuş kontrol kabloları, her bakım periyodunda kontrol edilmelidir. Kabloların korozyon kontrolü, bileşik emdirilmiş bez kullanılarak rasgele seçilmiş kısa mesafeli bölgelerin temizlenerek korozyon kontrolünün yapılması işlemlerini içerir. Eğer dış bölgelerde korozyon belirtisi tespit edilirse, kablo gerginliği azaltılarak iç bölgelerin kontrolü yapılır. Kabloların iç bölgelerinde korozyon

tespit edilirse kablo değiştirilir. Dış bölgelerdeki hafif korozyon metal fırçalar ile giderilebilir. Korozyon rnleri temizlendikten sonra kabloların üzerleri koruyucular ile yeniden kaplanır.

4.5. Korozyon ve Yorulma Etkileşimi

Uçak yapılarının üretimdeki özelikleri zamanla bozulmaya başlar. Bozulma, mekanik hasarlar biçiminde görünür. Mekanik hasarlara örnek olarak aşınma, zayıflama ve yorulma verilebilir. Bu bozulmalar ayrıca korozyon nedeniyle de oluşabilir. Bazı korozyon nedeniyle bozulma durumları yapının dizaynına, malzemelerin üretim biçimine, koruma faktörlerine ve uçağın çalıştığı ortamın kimyasal durumuna bağlıdır.

Korozyon hasarı genellikle zamanla artar. Uçağın yaşı arttıķça korozyonun etkisi de daha şiddetli olacaktır. Eğer korozyon erken tespit edilemez ve giderilemezse sonuçta uçağın yapısal bütünlüğünde tehlikeli hasarlar oluşacaktır. Korozyonun özellikle önemli olan bir sonucu diğer hasarlara neden olmasıdır. Buna bir örnek yorulma hasarının meydana gelmesidir.

Tekrarlı gerilmeler veya şekil değişimlerinin etkisi ile malzeme yapısında meydana gelen ve daha sonra çatlak oluşması veya malzemenin kırılması ile sonuçlanan değişiklikler yorulma olarak tanımlanır [27]. Süreç malzeme yapısının çeşitli bölgelerinde hasar birikimleri ile başlar, yüzey çatlaklarının meydana gelmesi ve bu çatlakların ilerlemesi ile devam eder. Malzeme yapısının, kesitinin üzerine gelen yükleri taşıyamayacak duruma gelmesi ve sonra kırılma olayının meydana gelmesi ile sona erer.[28]

Uçak bakımını ilgilendiren diğer bir konu da korozyon ve yorulma arasındaki ilişkidir. Korozyon ve yorulma olaylarının her biri uçuş emniyetini olumsuz etkileyen durumlardır. Ayrıca her ikisinin de ekonomik olarak olumsuz etkileri mevcuttur. Korozyonun tek başına olduğu durumlarda uçakta bir dayanım azalması meydana gelir ve diğer hasarların oluşması mümkün hale gelir. Sonuçta pahalı onarım ve parça değişimleri gerektirir. Sadece korozyonun olduğu bir çok durumda uçuş emniyeti açısından çok fazla problem olmadığı, problemin ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Yorulmanın sonuçları çok pahalı onarımları içerir ve aynı zamanda da yapıda modifikasyonu gerektirir.

Yorulma sık sık korozyonla birlikte oluşur. Korozif bir ortamda bulunan malzemeler çevrimsel gerilmelere maruz kaldığında meydana gelen ve ilerleyen çatlaklar sonucu oluşan hasarlar korozyon yorulması olarak adlandırılır. Korozyon yorulmasında ilk olarak yüzey düzgünlüğünde bozulma oluşur. Yüzeydeki bu bozulma nedeniyle malzeme yüzeyi zayıflar ve yüzeyde gerilme yığılmaları oluşturur. Daha sonra bu bölgelerde mikro çatlaklar meydana gelir. Korozyon bu çatlakların oluşumunu ve ilerlemesini hızlandırır.

Yorulma ile ilgili diğer bir kavram ise kısa çevrimli yorulmadır (LCF-Low Cycle Fatigue). Bu kavram yorulma hasarının meydana gelebilmesi için gerekli olan çevrim sayısının umulandan daha az olduğunu ifade eder. Özellikle gaz türbinli motorların sıcak bölgelerinde görülen bu hasara sebep olarak merkezkaç yükleri, burulma yükleri, gaz basınç yükleri ve sıcaklık kabul edilebilir. Fakat sıcak bölgelerdeki gazların neden olduğu korozyon etkisi de kısa çevrimli yorulma için bir sebeptir. Bu gazlar içerdikleri korozif maddeler nedeniyle korozyona neden olurlar.[29]

Birçok durumda korozyon, yorulma ve korozyon yorulması emniyet açısından önemlidir. Bu tür durumlar ya bakım işlemleri uygun olarak yapılmadığında ya da bakım programı uygun olmadığında ortaya çıkmaktadır. Uygun bakım programı geliştirmek malzemeyi ve uçağı üreten kurumların sorumluluğundadır. [3,4]

Korozyon yorulması devamlı veya düzensiz oluşan gerilim ve korozif ortamın birleşmesiyle ilerleyen çatlak oluşturur. Genellikle, çevresel etkiler daha az sayıdaki çevrimde çatlak oluşturduğu için malzemelerin yorulma ömürlerini azaltır. Yorulma çatlakları bir kere oluştuğunda, korozif ortamda çatlak ilerleme oranını artırabilir.[30]

Korozyon yorulmasında, sadece çevrimsel gerilimin büyüklüğü ve zaman kritik yükleme parametreleri değildir. Zamana bağlı çevresel etkiler de birinci derecede önemlidir. Korozyon yorulması nedeniyle hasar oluştuğunda, çevrimsel gerilimin frekansı, gerilim dalgasının biçimi ve gerilim oranı faktörlerinin hepsi çatlak prosesini etkiler.[30]

4.5.1. Frekans etkisi

Atak olmayan çevrelerde, çevrim frekansı genellikle yorulma davranışı üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Diğer taraftan, atak çevrelerde yorulma dayanımı frekansa oldukça kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Korozyon yorulma direnci genellikle çevrim frekansı azalınca kadar azalacaktır. Bu etki daha çok 10 Hz.'den daha düşük frekanslarda önemlidir.

Korozyon yorulmasının frekansla bağıntısının malzeme ve çevresi arasındaki etkileşimin bir sonucu olduğu düşünülür. Çok yüksek frekanslarda veya plastik-gerilim bölgelerinde, bölgesel ısınmalar malzeme özelliklerini ciddi şekilde etkiler. Bazı etkiler normal olarak korozyon yorulması olayı ile ilişkili olarak değerlendirilmez. Yorulma davranışı üzerinde çevrenin bir etkisi olduğunda, mekaniksel/çevresel etkileşimin önemli olduğu yükleme frekanslarının kritik bölgesi meydana gelebilir. Etkiler genellikle bu bölgenin üzerinde görülür. Bu bölgenin altında ise etkiler azalacaktır.[30]

4.5.2. Gerilim genliğinin etkisi

Genelde, düşük genliğe sahip çevrimsel gerilimler uzun yorulma ömrüne müsaade eder. Gerilimler gözle görülebilir derecede plastik deformasyona neden olacak kadar yüksek olduğunda çevrenin etkisi önemsiz olabilir.

Gerilim genliği, asıl gerilim ve frekans ile birlikte göz önünde bulundurulmalıdır. Düşük gerilim seviyelerinde malzemelerin çevresel koşullardan etkilenmesi için daha uzun zaman gerekirken, frekans yüksek ise hasar oluşması için yüksek dereceli korozyona gerek kalmayabilir.[30]

4.5.3. Çevre etkileri

Serviste, korozyon yorulması çatlaklarının çekirdekleşmesi ve yayılması en çok korozyif çevrelerden etkilenir. Bu çevrelerden başlıcaları, periyodik ve devamlı buhar yoğunlaşması ile üretilen sıvı çözeltiler veya çevrelerdir.[30]

4.5.3.1. Yorulma dayanımı üzerine etkileri

Verilen herhangi bir malzeme için maksimum gerilimin belirli bir değerindeki yorulma dayanımı veya yorulma ömrü atak bir ortamın varlığında

genellikle azalır. Bu etki genellikle öncelikli olarak malzeme/çevre kombinasyonunun karakteristiklerine bağlıdır. Çevre çatlak gelişim oranını veya yorulma çatlak oluşma ihtimalini ya da her ikisini birden etkiler. Birçok malzeme için, yorulma hasarının oluşması için gereken gerilim bölgesi, zaman veya çevrim sayısı ilerledikçe azalır. Bu etki, malzeme ömründe artış veya gerilim azalması ile asal veya atak çevreler için yorulma eğrileri arasında ilerledikçe ayrılım olarak kendini gösterir.

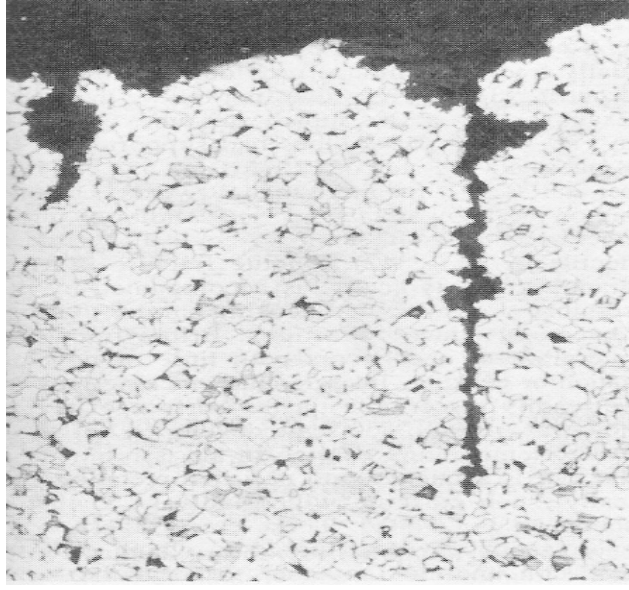
Yüksek dayanımlı çeliklerin yüzeyleri pürüzsüz olan örnekleri üzerinde yapılan korozyon yorulması testlerinde, tuzlu su ortamlarında yorulma dayanımı veya yorulma ömründe büyük düşüşler olduğu gözlenmiştir. Örneğin, on milyon çevrimdeki yorulma dayanımı kuru havadakine göre yaklaşık %10 kadar düşebilir. Bu testlerde, çevrenin asıl rolü yorulma çatlak oluşturmuş lokal gerilmelerde artış oluşturan, işlenmiş yüzeylerdeki korozif ataklardır. Ayrıca tuzlu su çeliklerde çatlak ilerleyişini de hızlandırır.[30]

4.5.3.2. Çatlak başlangıcı üzerine etkileri

Korozyon yorulması çatlaklarının kaynağı olan yüzey özellikleri alaşım ile ve özel çevresel koşullar ile değişir. Karbon çeliklerinde, çatlaklar genellikle korozyonun neden olduğu çukurcuklarda oluşur. Ayrıca genellikle de önemli miktarda korozyon ürünleri içerir. Çatlaklar tanecik yapısında değişime neden olurlar. Bu tür çatlaklarda çok fazla dallanma görülmez. Karbon çeliğinden imal edilmiş bir boru üzerinde oluşan korozyon yorulması çatlaklarının 250 kat büyütülmüş görüntüsü Şekil 4.4' de verilmiştir. Korozyon yorulması sonucu oluşan çatlakın ilerleyiş biçimi ve dallanmadan malzemeyi hasara uğratması net bir şekilde görülmektedir.[30]

4.5.3.3.Çatlak yayılımı üzerine etkileri

Yorulma çatlakları bir kez biçimlendiğinde, çatlak genişleme oranı (çatlak yayılım oranı) genellikle çevresel etkiler tarafından hızlandırılır. Bazı korozif ortamlarda gerilim dalga biçimleri için çatlak gelişim oranındaki artış çok büyük olabilir.[30]



Şekil 4.4. Alaşım-sız adi karbonlu çelikte meydana gelen korozyon yorulması hasarı [30]

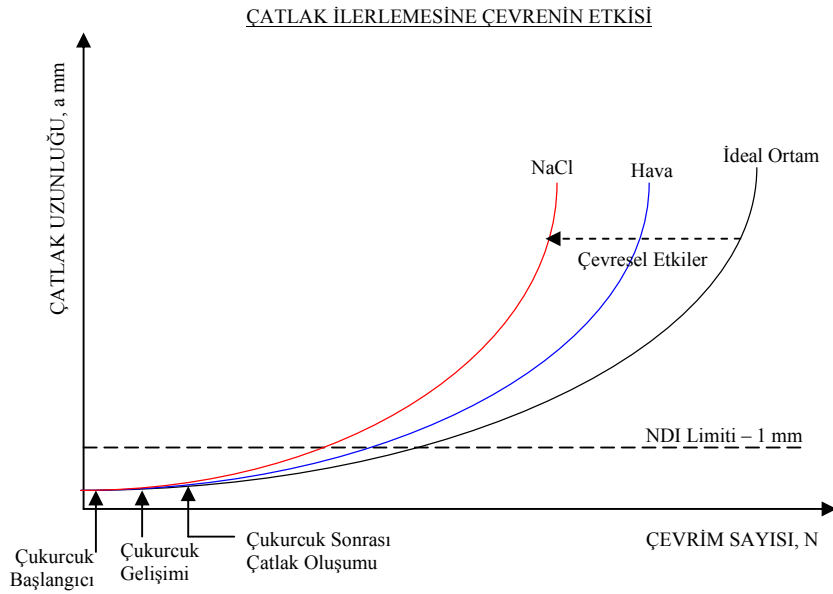
4.5.4. Korozyonun yorulma ömrüne etkileri

Uçak bakımında emniyetli ömür tespiti çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu ömrün tespiti için kullanılacak malzeme üzerinde çeşitli deneyler yapılır. Bu deneyler hasarlı ve hasarsız olarak iki grupta incelenir. Hasarlı deneyler; çekme testi, basma testi, sürünme testi, kopma testi, yorulma testi ve darbe mukavemeti gibi deneylerdir. Hasarsız deneyler ise tahribatsız kontrol yöntemleridir . Bu deneyler ile malzemenin çalışacağı düşünülen durumlarda emniyetli olarak ne kadar süre hizmette kalabileceği tespit edilir. Malzemelerin emniyetli ömürlerini olumsuz yönde etkileyen unsurlar hatalar olarak ifade edilir. Hatalar ise; yorulma (çatlak), korozyon, kazalar, üretim hataları ve bakım hataları olarak belirtilebilir.[31]

Korozyonun malzemelerin emniyetli ömürlerini olumsuz etkileyeceği açıktır. Çalışma yükleri altındaki yapısal malzemelerde çatlak başlangıcı ve bunun gelişim kinetiği genellikle çevre, gerilim ve alaşımın mikro yapısının bir kombinasyonuna bağlıdır. Böylece, malzemenin performansı çevrimsel yükler ve çevrenin birbirini etkilemesi ile azalabilir. Şekil 4.5’de ideal ortama göre daha korozif bir ortamda aynı çevrim sayısı ile malzemede oluşan çatlak ve bunun gelişiminin nasıl değiştiği gösterilmiştir. İdeal ortam örneğin bir vakum ortamıdır.

Malzemelerin normal çalışma ortamı olan atmosferde malzemede çatlak oluşumu korozyona bağlı olarak ideal ortama göre azalırken, malzeme daha korozif bir ortam olan NaCl (sodyum klorür) ortamında daha hızlı bir şekilde dayanım kaybına uğrayacaktır. Bu ise korozyonun malzemelerin emniyetli ömürlerini azalttığını gösterir.[30]

Burada önemli olan korozyondan olumsuz etkilerinden nasıl korunulabilir. Bunun için iki durum mevcuttur. Birincisi, korozyona karşı ön tedbir alabilmek (kaplama vb.), ikincisi ise korozyonu mümkün olduğunca erken tespit edebilmektir. Uçak bakımını ilgilendiren ikinci durumdur. Bunun için de uygun tahribatsız kontrol yöntemleri kullanılmalıdır.



Şekil 4.5. Çatlak oluşumuna çevrenin etkisi [31]

5. KOROZYON TESPİT YÖNTEMLERİ

Korozyonun tespit edilmesi için çeşitli kontrol teknikleri kullanılır. Bu teknikler tahribatsız kontrol yöntemleridir. Yapılacak kontrolde öncelikle korozyonun varlığına ilişkin görsel belirtiler aranır. Uçağın bütün dış yapısı ve gözle görülebilecek yerleri kontrol edilir. Bu kontrol için ayna kullanılabilir. Bu kontrollerde herhangi bir söküm işlemi mevcut değildir. Daha sonra bazı yardımcı ekipmanlar kullanılarak kontrol işlemi yapılır. Bu kontroller ayna, büyüteç veya optik aletler ile yapılabilir. Korozyona karşı hassas olduğu bilinen bölgeler için özel olarak kontrol işlemi uygulanır. Bu kontroller bazı yardımcı ekipmanlar veya basit tahribatsız kontrol yöntemleri ile yapılır. Daha sonra ağırlık kaybı, geometrik boyutlardaki değişimler kontrol edilir. Korozyon kontrolüne yönelik olarak kullanılan bazı tahribatsız kontrol yöntemleri sıvı penetran, girdap akımları, x-ray, manyetik parçacık ve ultrasonik kontroldür. [4]

Uçak bakımında korozyon kontrolü için tahribatsız kontrol yöntemleri uygulanmadan önce yüzey temizleme işlemi uygulanmalıdır. Yağlayıcı tabakaları, bozulmuş kaplamalar ve boya tabakaları temizlenecek durumlara örnek olarak verilebilir. Temizleme işlemi kimyasal veya mekanik olarak yapılabilir. Dolaşım, daldırma, buhar ve köpük yöntemleri kimyasal temizleme yöntemleridir. Mekanik temizleme yöntemleri ise yüksek basınçlı su ve aşındırma yöntemleridir. Temizlik yönteminin seçiminde kirin türü, kontrol edilecek malzemenin bileşimi ve uygulanacak tahribatsız kontrol yöntemleri göz önünde bulundurulması gereken konulardır.

Mekanik yöntemler aşındırıcı etkiye sahip olduklarından tahribatsız kontrol yöntemleri için kimyasal yöntemler daha çok tercih edilirler. Kimyasal temizlemede kullanılan solüsyonların malzeme üzerinde korozif etkiye sahip olup olmadıkları araştırılmalıdır.[32]

5.1. Gözle Kontrol

Gözle kontrol korozyona yönelik yapılacak kontrollerin ilk aşamasıdır. Bu teknik basit, hızlı, uygulaması kolay ve genellikle düşük maliyetlidir. Kontrol edilecek bölge fiziksel olarak ulaşılabilecek bir bölgeyse korozyon tespitinde

genellikle gözle kontrol tekniği kullanılır. Özellikle uçağın dış bølge kontrollerinde yoğun olarak kullanılır. İç bŖlgelerde ise kontrol kapaklarının açılması veya çeşitli ekipmanlar kullanılarak uygulanır.[33]

Korozyon genellikle çok dikkatli bir gŖrsel incelemeyle tespit edilebilir. Ŗrneđin alŖminyum ve magnezyum parçalarda yŖzey Ŗzerinde beyaz veya gri toz Ŗeklindedir. YŖzeyin hemen altındaki kabarcıklar da korozyon belirtisidir. Birbiriyle temas eden yŖzeylerde Ŗzelliklede kaynaklı bŖlgelerde bir çıkıntı veya Ŗiřkinlik korozyon belirtisi olabilir. Modern uçakların kompleks yapılarının kontrolŖnde mikroskoplar, bŖyŖte, ayna, baroskop, fiber optikler ve diğer cihazların kullanımı Ŗzellikle gŖzle gŖrŖlmeyen bŖlgelerin kontrolŖ için bir zorunluluktur. [21]

GŖzle kontrol işleminden Ŗnce, yŖzeyi açığa çıkaracak bir yŖzey temizleme işlemi mutlaka gereklidir. Ayrıca kontrol edilecek yŖzeylerin gŖzle ulaşılabilir olması gereklidir. Uçak yapısal elemanlarında ulaşılabilirliği kolaylaştırmak için Ŗzel giriş kapakları mevcuttur. GŖzle kontrolŖn kısıtları gelişmiş optik aletler kullanılarak kısmen giderilebilmektedir. Optik aletler ile hataların bŖyŖtŖlmesi ve gŖzle ulaşılamayan bŖlgelerin kontrolŖ sağlanabilir. Uçak bakımında tercih edilen optik aletler baroskop, optik mikroskop ve endeskoptur. [32]

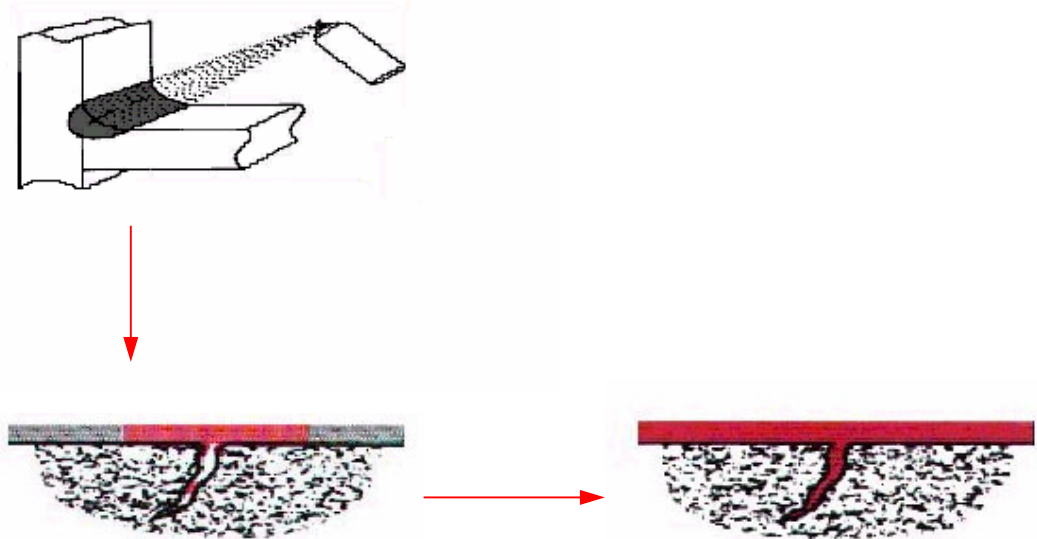
En iyi kontrol için, kontrol edilecek bŖlgelerdeki boya kaldırılmalıdır. Gerektiğinde bu uygulama koruyucu kaplamalar ve contalar içinde yapılabilir. Kontroller renk değişimi, kabarma, çatlaklar ve korozyon ŖrŖnleri gibi korozyonun karakteristik işaretlerini tespit etmeyi amaçlar. Değerlendirme hasarın dış gŖrŖnŖřŖne ve korozyon ŖrŖnlerinin kompozisyon ve tipine gŖre yapılır.[33]

5.2. Sıvı Penetran ile Kontrol

Uçaklarda bazı korozyon tŖrlerinin tespit edilmesi için kullanılabilir. Ŗrneđin gerilimli korozyon sonucu oluşan çatlakların tespiti için bu teknik kullanılabilir. Bu kontrol yŖntemi metal, ametal ve gŖzeneksiz plastikler için etkilidir. Bu yŖntemin temel prensibi yŖzey Ŗzerine penetran sıvısının pŖskŖrtŖlmesi, fırça ile veya penetran banyosuna daldırma yolu ile uygulanmasıdır. Bu malzeme oldukça dŖřŖk yŖzey gerilimine sahiptir ve yŖzeye

doğru ilerleyen çatlağın içine sızar. Bu sıvının sızması için yeterli bir süre beklendikten sonra, yüzey tamamen bu sıvıdan temizlenir ve developer yüzeye püskürtülür. Çatlak içindeki penetranın yükselmesi için kullanılan developer püskürtmeden başka bir tanka daldırma veya kuru toz halde kullanılabilir. Developerin penetranı yükseltmesi için minimum 10 dakika beklenir. Daha sonra uygun bir ışık kaynağı altında penetran izleri incelenir. Bu izler genellikle ultraviyole ışıkta görüntü veren fosforlu renkte veya görünür ışıkta incelenen kırmızı renktedirler. Bu kontrol yöntemi uygulanırken kullanılan penetran sıvının korozif etkileri olmamalıdır. Ayrıca kontrol işleminin bittikten sonra parça yüzeyleri dikkatlice temizlenerek kurutulmalıdır. Bu kontrolün basit bir uygulama şeması Şekil 5.1 ile gösterilmiştir.

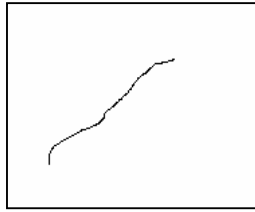
Sıvı penetrant ile kontrol tekniğinin kısıtı çatlakların korozyon ürünleri ile dolmasına bağlıdır. Bu durumda penetrant sıvısı içeri nüfuz edemez. Ayrıca atlak yağ veya gres gibi malzemelerle dolu ise penetrant sıvısı bu bölgelere giremez ve hasarla ilgili bir bulguya rastlanmaz. Gözenekli veya pürüzlü yüzeylerde ise yüzeyin penetrant sıvıdan tamamen temizlenememesi hataların tespit edilmesini engeller. [32,21]



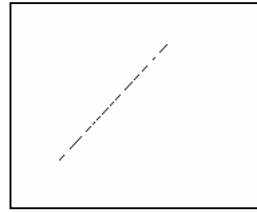
Şekil 5.1 Sıvı penetrant yönteminin uygulanması [34]

Bu kontrol tekniği örneğin; Türk Hava Kuvvetleri tarafından uçak jantlarında ve iniş takımlarında ki H-tipi bağlantılarda gerilmeli korozyon kontrolü için kullanılmaktadır.[33]

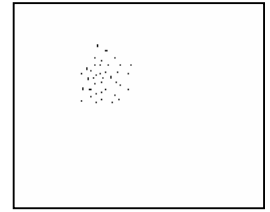
Penetran izlerinin incelenmesi kadar yorumlanması da önemlidir. Yapıda bulunan hataların türüne ve oluşum şekline göre penetran izleri değişim göstermektedir. Şekil 5.2’de bazı hasar türlerinin görüntülerine örnekler verilmiştir. Burada Şekil 5.2a ile gösterilen sürekli hat şeklindeki hata yorulma çatlaklarına ve soğuma sırasında oluşan çatlaklara aittir. Şekil 5.2b’de ise imalat sırasında oluşan hatalar görölmektedir. Korozyon ise Şekil 5.2c’de görölmekte olan küçük delikler şeklindedir. Bunlar ayrıca yüzey pürüzlülüğü veya büyük taneli iç yapı görüntüleri de olabilir.



a



b



c

Şekil 5.2 Sıvı penetran sonucunun yorumlanması [32]

a- Yorulma soğuma sırasında oluşan çatlaklar

b- İmalat hataları

c- Korozyon

5.3. Ultrasonik Kontrol

Korozyonun tespit edilmesi için kullanılan diğer bir metot ise ultrasonik kontrol yöntemidir. Bu yöntemde yüksek enerji frekanslı ses dalgaları kullanılır. Duyulabilir frekansların çok üzerinde bir frekansa sahiptirler. 0,5 megahertz ile 25 megahertz arasındaki frekanslar kullanılır.

Korozyon tespiti için kullanılan ultrasonik kontrol yöntemlerinden birisi darbe yankı metodudur. Bu metotta, ultrasonik enerji bir prop ile malzeme yüzeyinden malzeme içine doğru gönderilir. Malzeme içinde ilerleyen enerji demeti malzeme içindeki hatalardan ve arka yüzeyden yansiyarak tekrar proba

döner. Geri dönen dalgaların şiddeti hata boyutunu, giriş sinyalinden olan uzaklığı ise hatanın yerini belirtir.

Diğer bir ultrasonik kontrol yöntemi ise rezonans metodudur. Bu yöntem malzeme kalınlığının verilmesi ile uygulanır. Bu kalınlığa göre belirlenen özel bir ultrasonik enerji frekansı bir tınlama meydana getirecek veya geri dönüşümün en yüksek miktarını sağlayacaktır. Değişken frekanslı ultrasonik enerji propları besler ve çıkış frekansı ölçülebilir veya bir kulaklık ile dinlenebilir. Rezonans frekansı artırıldığında göstergede en yüksek değer ölçülecek veya kulaklıkta yüksek gürültülü ses duyulacaktır. Eğer malzemede korozyon nedeniyle bir aşınma mevcut ise, tınlama frekansı değişecek ölçüm veya kulaklıktaki ses miktarı daha düşük olacaktır. Rezonans metodu aynı türde kalınlığı bilinen bir malzemede probun kalibre edilmesiyle ölçümü yapılan malzemenin gerçek kalınlığının tespit edilmesi için de kullanılabilir.

Direkt iletim metodu ise iki prop kullanılarak uygulanan bir ultrasonik kontrol yöntemidir. Proplardan birisi malzeme yüzeyinden malzeme içerisine enerji gönderirken diğer prop malzemenin ters yüzeyinde yerleştirilir. Bu prop malzeme içinden geçen enerjiyi değerlendirir. Bu yöntemde yansıyan enerji dikkate alınmaz. Malzeme içinden geçen enerjideki azalma hataların belirlenmesinde kullanılır. Yüzeye yakın hataların tespiti için duyarlı bir yöntemdir. Bu teknik iki taraflı prop kullanıldığından her zaman uygulanması mümkün olmayan bir yöntemdir. [32,36]

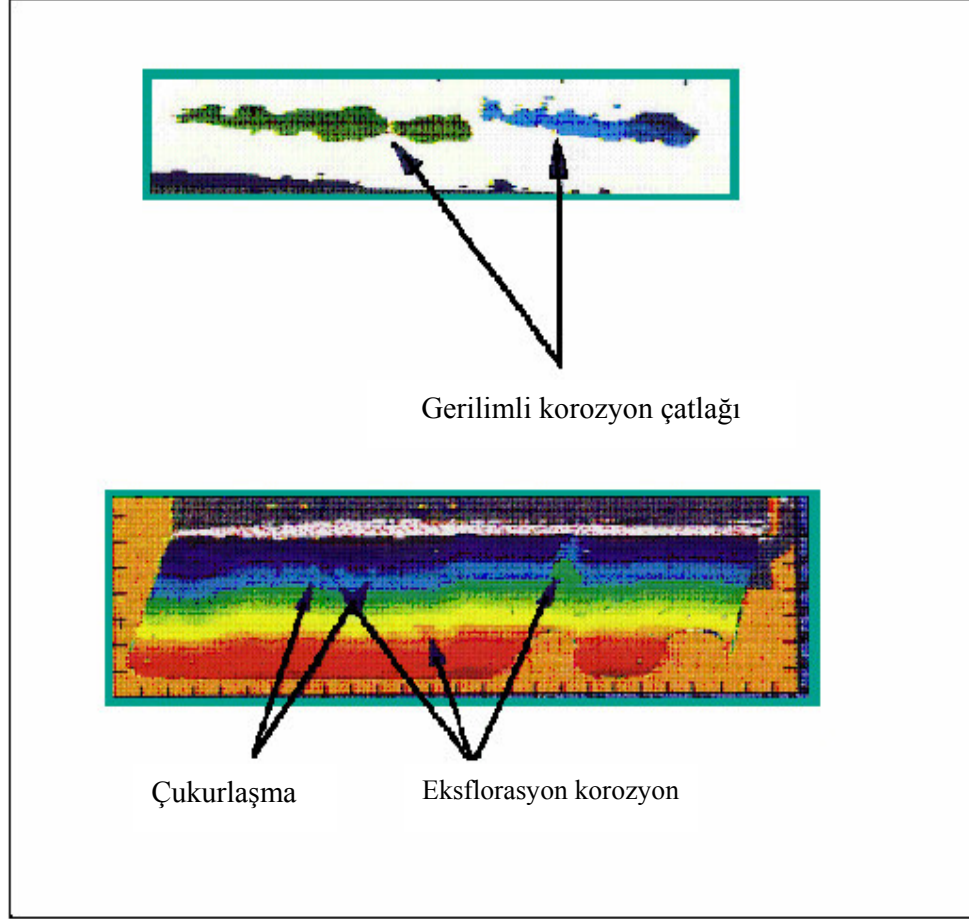
Ultrasonik kontrolde test verileri değerlendirilirken A, B ve C olarak isimlendirilen üç tarama sistemi kullanılır. A-tipi tarama sisteminde prop parça yüzeyinde tek bir noktada sabit durumda iken o noktada tüm parça kalınlığını kontrol eder. Bu sistemle hatanın yeri ve boyutu ölçülebilir. B-tarama sisteminde prop parça yüzeyinde bir eksen boyunca belirli bir kesit için tüm parça yüzeyinde tarama yapabilir. C-tipi tarama sisteminde ise prop parça yüzeyinde iki eksen de hareket ederek kesit içindeki hataların iki boyutlu görüntüsü elde edilebilir.[35]

Bu kontrol tekniği genellikle gerilmeli korozyon, eksplorasyon korozyon ve malzeme kalınlık tespitinde kullanılır. Yüksek dayanımlı dövme alüminyum alaşımlarındaki gerilmeli korozyon çatlakları ultrasonik dalgaların çatlak düzlemine dik olarak gönderilmesiyle tespit edilebilir. Kalınlığın ultrasonik

teknikle ölçülmesi korozyon kontrolü için faydalı bir teknik olabilir. Fakat bu tür kontroller sınırlıdır.[33]

DC-9 uçaklarının merkezi kanat iç bağlantılarında kullanılan T biçimindeki saplamalarda eksplorasyon korozyon ile gerilimli korozyon çatlağına karşı bir eğilim tespit edilmiş ve bu bölgenin kontrolü için de bir servis bülteni yayınlanmıştır. Bu işlemin gözle kontrol tekniği ile yapılabilmesi için kanat bölgesinin tamamen sökülmesi ve yaklaşık 800 adam/saat harcanması gerekmiştir. Alternatif kontrol yöntemi olarak ultrasonik kontrol uygulanmıştır. Şekil 5.3'de ultrasonik teknikle elde edilen sonuç gösterilmektedir. Bu kontrol için gerekli olan süre ise yaklaşık 48 adam/saattir. Ultrasonik kontrolün uygulanması ile uçak başına yaklaşık 9000 \$ kazanç elde edilmiştir [36].

Ultrasonik kontroller eğitim düzeyi yüksek ve tecrübeli personel tarafından uygulanmalıdır. Bu kontrol yönteminde yapılan hatalarda malzemedeki hasar veya hasarlar kolaylıkla gözden kaçabilir. Ayrıca farklı bölgelerin kontrol işlemi için birçok özel proba ihtiyaç vardır. Ultrasonik kontrol karşılaştırmalı kontroldür. Korozyon nedeniyle malzeme kalınlığındaki herhangi bir değişim kolaylıkla ölçülebilir. Korozyonun gerçek miktarının tanımlanması için de en iyi yöntem ultrasonik kontroldür. [21]



Şekil 5.3 Korozyon hasarının ultrasonik (C-tarama) kontrol ile tespit edilmesi [36]

5.4. Radyografik Kontrol

Radyografik kontrol tekniği de ultrasonik kontrol gibi iç yapıda oluşması muhtemel hasarların kontrol edilmesi için kullanılan etkili bir yöntemdir. İleri derecedeki korozyonun tespitinde etkilidir. Bu teknikte, kontrol edilecek yapının içinden geçirilen frekansı oldukça yüksek olan elektromanyetik ışınların fotoğrafik biçime getirilmesi esastır. Elektromanyetik ışınlar parça içinden geçerken yüksek yoğunluktaki bölgelerden daha az enerji geçişi olacaktır. Bu ise en son fotoğraf görüntüsünde daha açık renk ile görünecektir. Malzemenin yoğunluğunda azalma olan bölgeler ise daha çok ışın geçişi olacağı için daha koyu bir görüntüye neden olacaktır. Korozyon kontrolünde en düşük seviye dalga boyu kullanılmaktadır.

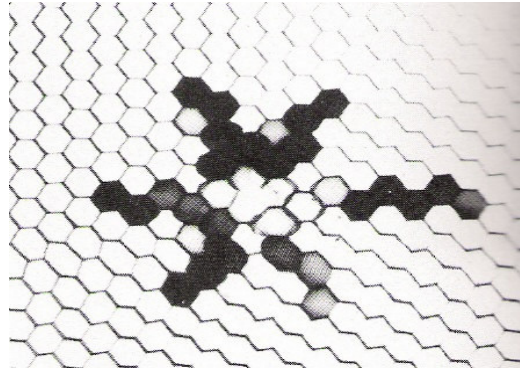
Bu kontrol yönteminde kullanılan X ışınları yüksek voltajlı x ışını cihazından sağlanırken, kullanılan gamma ışınları ise iridyum 192 gibi radyoaktif

izotoplardan elde edilir [37]. Kullanılacak ışın malzeme kalınlığına göre seçilir. Kalın parçalarda X ışınları kullanılır. Gamma ışınlarını elde etmek kolaydır ve bu ışınla yapılan kontrol prosesleri taşınabilir özelliktedir.[37]

Çukurcuk korozyonu ve gerilmeli korozyon çatlakları X ışını radyografisi ile tespit edilebilir. Bunun için X ışını çatlak düzlemi boyunca yönlendirilmelidir. Aynı prosedür eksplorasyon korozyonu için de uygulanır. [33]

Radyografik kontrolde sonuçların doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için kapsamlı eğitim ve tecrübe gerektirmektedir. Ayrıca bu proses de kullanılan radyasyon enerjisi nedeniyle yanıkların oluşması, kan rahatsızlıkları ve bazı durumlarda ölümler meydana gelebilmektedir. Bu tekniğin uygulanması esnasında uygulayıcı personel her zaman koruyucu giysiler giymelidir. [32,21]

Bu kontrol yöntemi aynı zamanda petek yapılı metal kompozitlerin iç yapılarındaki hasarların kontrolünde de etkin olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.4’de radyografik kontrol ile tespit edilmiş iç yapıda toplanmış olan su açıkça görülmektedir.



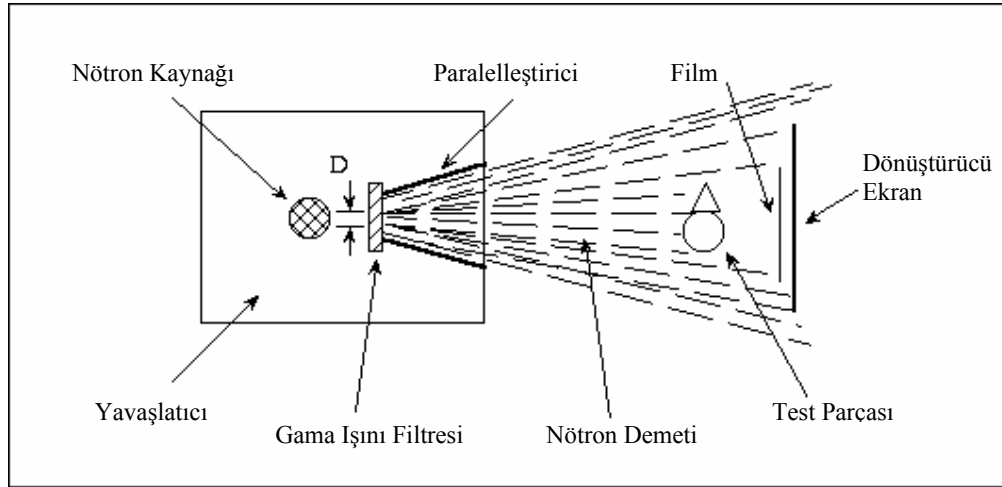
Şekil 5.4 İç yapıda toplanan suyun radyografi ile tespiti [35]

5.5. Nötron Radyografisi

Gerçek anlamda 1960’lı yıllarda kullanılmaya başlanan bu kontrol yönteminde radyografik kontrolde kullanılan X ve gamma ışınlarının yerine nötronlar kullanılmaktadır [37]. Maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle ancak belirli durumlarda kullanılırlar. Bu yöntemde süreç radyografik kontroldeki gibidir. Birçok açıdan X ve gamma ışınları ile yapılan kontrol ile aynı olmakla birlikte bu yöntemin kaynak yapısı ve film kayıt sistemi farklıdır [39,40,41].

Ayrıca yakıt ve yağlar sistemden boşaltılmadan kontrol yapılması mümkündür.[32]

Bir nötron radyografi sisteminde, Şekil 5.5’de de görüldüğü gibi, bir nötron kaynağı, paralelleştirici, yavaşlatıcı, gama ışını filtresi, kayıt filmi ve dönüştürücü ekran bulunur [39]. Nötron radyografisinde nükleer reaktörler, hızlandırıcılar ve bazı radyoaktif izotoplardan elde edilen nötronlar kullanılmaktadır. Elde edilen bu nötronlar yüksek enerjilidir. Nötron radyografisinde düşük enerjili nötronlar kullanıldığı için kaynaktan sağlanan nötronların bir yavaşlatıcı ile kinetik enerjileri düşürülerek kullanılabilir hale getirilirler. Nötronların pozlama problemi nedeniyle görüntü doğrudan film üzerine verilemez. Bu nedenle bir dönüştürücü kullanılarak görüntü elde edilir.



Şekil 5.5 Bir nötron radyografi sistem şeması [39]

Hidrojen gibi bazı hafif elementlere olan yüksek duyarlılığı nedeniyle nem ve neme bağlı olan korozyonun tespitinde oldukça etkili bir yöntemdir. [32,41]

5.6. Girdap Akımları ile Kontrol

Girdap akımları bir kontrol yöntemi olarak ilk önce 1940'lı yıllarda kullanılmıştır [7]. Bu kontrol yöntemi sadece elektriksel iletkenliğe sahip malzemelere uygulanabilir. Yüzey ve yüzey altı çatlaklarının, malzeme kalınlığının, iletken malzemelerin üzerindeki yalıtkan boya veya kaplamaların kalınlığının, korozyonun ve elektriksel iletkenliğin tespit edilmesinde

kullanılabilen bir yöntemdir. Alternatif akım ile uygulanır. Malzemenin iletkenliğinin çok kuvvetli olmasına gerek yoktur. Orta derecede iletkenlik bu kontrol yöntemi için yeterlidir. Bu yöntem ile hatanın boyutu kesin olarak belirlenebilir. Fakat konumunun belirlenebilmesi zordur.[7,32]

Bu yöntemin en büyük avantajı kolay ve kısa sürede uygulanabilir oluşudur. Ayrıca bu yöntem iletken olmayan boya veya kaplamanın altındaki iletken ana yapının kontrolünde kullanılabilir. Bir diğer avantajı ise malzemeye bir temasın gerekli olmayışıdır.

Yöntemin uygulanması için referans bloklar gereklidir. Bunlar olmadan verimli kontrol yapılamaz. Referans bloklar olmadan yapılan kontrollerde hata boyutu belirlenemez, sadece hatanın mevcut olup olmadığı tespit edilebilir. Kullanılan propların çapı 1-2 cm olduğu için geniş yüzeylerin kontrolü zordur.

Girdap akımları ile kontrolü yapılan malzemede iletkenlik homojen olmalıdır. Test frekansı yüksek veya düşük olarak seçilebilir. Parçanın manyetik geçirgenliği mutlaka gerekli olan bir özellik değildir. Prop ile parça arasındaki mesafe sabit ve minimum olmalıdır. Bu arttıkça girdap akımları zayıflar. Hatanın konumu bu teknikte önemlidir. Akımların yönü ile aynı doğrultudaki bir hata tespit edilemez.

Bu teknik ince yapılar ile ulaşılamayan bölgelerin korozyon kontrolünde kullanılabilir. Özellikle tabakalı yapılarda ve bağlayıcıların çevresindeki korozyon kontrolünde tercih edilir. Girdap akımları tekniği kenar ve demir etkileri nedeniyle kapasitesi sınırlı bir teknik olmasına rağmen korumalı proplar kullanılarak bu etkiler giderilebilir. Bu tekniğin kullanım yerlerine örnek olarak gövde üzerindeki bağlayıcıların deliklerinin çevresi ve kanat yüzeyi verilebilir.[33]

5.7. Manyetik Parçacıklarla Kontrol

Manyetik parçacıklarla kontrol yöntemi manyetik geçirgenliğe sahip malzemelerin kontrolünde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu kontrol yönteminde malzeme üzerinde yönlü manyetik alan oluşturulur. Herhangi bir hatanın olduğu bölgede bu manyetik alan bozulacaktır. Yüzeye uygulanan manyetik parçacıklar bu bozuk bölgelerde topaklaşma eğilimindedir. Dolayısıyla

hatanın oluştuğu bölgeyi çok net biçimde tespit etmek mümkün olur. Kuru veya sıvı olarak uygulama yapılabilir. Kuru uygulamada demir tozları doğrudan manyetize edilen parça üzerine uygulanır. Daha genel uygulanan sıvı uygulamada mürekkep formundaki parafin gibi viskozitesi düşük maddeler demir tozlarına ilave edilerek kullanılır. Sıvı yöntemin hassasiyeti daha yüksektir.

Bu teknikte ilk önce yüzeyin kirlere temizlenmesi gerekir. Kirli bir yüzey sonuçların aldatıcı olmasına neden olacaktır. Daha sonra parçanın iki ucuna elektrotlar yerleştirilir ve parça manyetize edilir. Yüzeyin hemen altındaki hatalar için doğru akım kullanılırken, alternatif akım yüzeydeki hatalar için kullanılır. [7,32]

Manyetik parçacıklarla yapılan kontrol işlemleri özellikle çelik ve titanyum malzemelerde tavsiye edilen bir yöntemdir. Bu kontrol yöntemi yüzey altı korozyonunun tespitinde oldukça etkilidir. Özellikle uniform, çukurcuk ve gerilmeli korozyonun tespitinde tercih edilebilir.

5.8. Termal Kontrol

Termal kontrol (Termografi), bir komponentin yüzeyi üzerinden eşdeğer sıcaklık bölgesi veya eşsıcaklık haritaları çıkarılmasını ifade eden bir yöntemdir. Isıya duyarlı maddeler veya cihazlar ısı bölgelerinde düzensizliklerin tespitinde kullanılabilir. Bazı düzensizlikler, hatalar ve kusurlar ile ilgilidir. Termografi özellikle ince tabakalar için uygundur. İnce bir plakaya doğru sıcaklık akışı yapıdaki kusurlardan etkilenecektir. Tespit edilen tipik hatalar bal peteği şeklindeki yapısal hücrelerdeki ayrılmalar, hasarlı hücreler, yüzey tabakasından ayrılan iç kısımlar ve rutubet oluşumlarıdır.

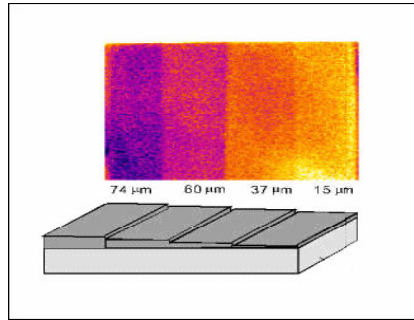
Termal kontrol; komponentlerde, yapılarda, sistemlerde veya fiziksel proseslerde kullanılan ısı duyarlı cihazlardaki metotların tamamını kapsar. Termal metotlar yüzey altı kusur ve süreksizliklerin tespitinde yararlıdır. Termal kontrol malzeme kalınlığı arttıkça verimliliği azalan bir yöntemdir. Çünkü, kusurların oluşabileceği derinlikler malzeme kalınlığı ile doğru orantılı olarak artacaktır. Termal kontrol benzer veya farklı malzemelerden oluşmuş karmaşık biçimli parçalar veya asambleler için uygundur ve parçaların tek taraflı kontrollerinde de kullanılabilir. Bundan başka, kızıl ötesi hassasiyeti nedeniyle termal kontrol

yüzeyle, komponentler ve asamblelerde temas olmaksızın kontrol yapılmasını da sağlar.

Uçak bakımında, kontrol edilecek parça veya komponentin sökülmeden, uçak üzerinde direk kontrolünün yapılabilmesi bu teknik için bir avantajdır. Bu kontrol sistemleri basit olarak şu şekilde çalışır:

Malzeme içinde yüksek güçte bir aydınlatma ile oluşturulan ısı dalgaları yayılır. Bu ısı enerjisi yüzeyde geniş bir alana düzgün bir biçimde yayılır. Daha sonra malzeme içinde sıcaklık basamakları oluşturur. Buna termal dalgalar denilebilir. Malzeme içinde herhangi bir düzensizlik mevcut ise ısı dalgaları bu bölgelere geldiğinde saçılır veya yansır. Saçılmanın derinliğine bağlı olarak bir zaman gecikmesi oluşur. Bu gecikme sonucu yüzeyde yerel soğumalar meydana gelir. Yüzey sıcaklık dağılımı ile malzemenin iç yapısı belirlendiği gibi yerel soğumalar ile de hata derinliği tespit edilebilir. Bu sistemlerde malzemenin iç yapısının görüntüsü termal kameralar ile kaydedilip, veriler bilgisayar ile değerlendirilebilir. Ayrıca fotoğraf görüntüsü elde etmek de bu sistemlerde mümkündür.[35,42]

Termografik kontrol yöntemi ile malzemelerde oluşan hatalar ve malzeme kalınlığı tespiti yapılabilir. Şekil 5.6 ile malzeme kalınlığı tespitinde kullanılan bu yöntemin sonucu görülebilir. Malzemenin kalınlığı farklı olan bölgelerinin görüntüleri de belirgin şekilde farklıdır. Bu özellik korozyon sonucu oluşabilen malzeme kaybının tespiti için faydalıdır. Ayrıca malzeme kaybının belirgin olduğu bölgelerde korozyonun da yoğun olması sonucu elde edilebilir.



Şekil 5.6 Termal kontrol ile malzeme kalınlığının tespit edilmesi [43]

5.9 Vurma Testi

Petek yapılı metal kompozitlerin tabakalarında ayrılma hasarının tespiti için kullanılan bir kontrol yöntemidir. Bu tür hasarların tespiti için kullanılan en basit kontrol yöntemi vurma testidir (Tap Test). İlk önceleri genellikle bir metal para ile uygulanan bu kontrol yöntemi artık küçük bir çekiç ile hafif vuruşlar şeklinde uygulanmaktadır. Kontrol edilecek bölgeye çekicin vurularak çıkan sesin analizi ile uygulanır. Ayrılma olan bölge ile hasar olmayan bölge arasında bariz bir ses farkı tespit edilebilir. Ses farkı dolu bölgede tok bir ses, ayrılma olan bölgede ise daha tiz bir ses şeklinde algılanacaktır. Böylece hasarlı bölge tespit edilir. Bu kontrol yöntemi özellikle ince tabakalarda ve sadece üst yapının kontrollerinde etkilidir. İkinci, üçüncü veya daha derindeki tabakalar için kullanılamaz. Ayrıca bu test ile yüzeyde istenmeyen küçük çentikler meydana gelebilir.[40]

5.10 Fokker Bağlantı Testi

Bu kontrol yöntemi kütle-esnekliği (mass-spring) ve darbe amortisörü (dashpot) sistemlerinin yapıştırılmalı bölgelerdeki uygulamalarının analizleri prensibine dayanır. Petek yapılı metal kompozitlerde tabaka ayrılmasına yönelik daha gelişmiş bir yöntemdir. Bir piezoelektrik güç çevirici kullanılarak bilinen kütle ve rezonans karakteristiklerindeki değişimler tespit edilmesi bu kontrol yöntemi ile mümkündür. Kontrolü yapılan yapıştırma ile birleştirilmiş tabakaların viskoelastik özelliklerindeki değişimler tespit edilir. Bu değişimler ise sistemin rezonans ve empedansındaki değişikliklerdir. Petek yapılı metal kompozitler için oldukça sık kullanılır.[32,35]

Şekil 5.7 ile bir Fokker Bond Test sistemi gösterilmiştir. Sistemin en önemli avantajlarından birisi de sonuçların bilgisayar ortamında kayıt altına alınıp daha sonra farklı işlem ve analizler için kullanılabilmesidir.

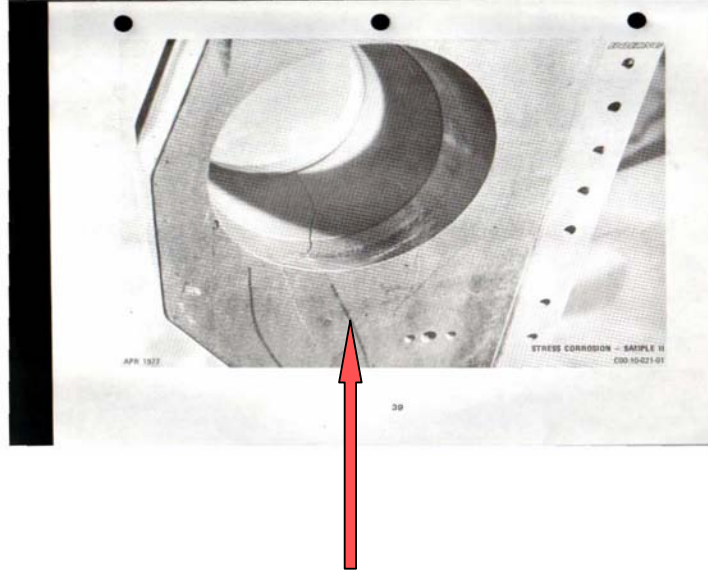
5.11 Bondaskop

Tabakalı yapıların kontrolünde kullanılan gelişmiş bir yöntemdir. Sistemin temel prensibi ultrasonik empedans analizine dayanır. Bu sistemde kontrolü yapılan parçanın toplam ultrasonik empedans vektörü noktasal sinyal olarak bir

monitörde görüntülenir. Bu sinyal monitördeki bir referans orijin ile karşılaştırılır. Dairesel olarak tespit edilen görüntüler empedans faz değişimleri iken düşey hareketlerde amplitüd değişimlerini ifade eder. Kontrol işleminde öncelikle cihazın probu hatasız bölgeye temas ettirilir ve sinyal monitörün ortasında olacak şekilde kalibrasyon işlemi yapılır. Probu herhangi bir konumunda, ekrandaki sinyal sayısı tabakaların ayrılma sayısına karşılık gelecektir.[32,35]

6. UÇAK BAKIMINDA TESPİT EDİLEN KOROZYON ÖRNEKLERİ

Şekil 6.1de gerilimli korozyon sonucu oluşmuş bir makro çatlak görülmektedir. Şekil 6.2’de korumasız bir ortamda bir ayar rotunda oluşan uniform korozyon örneği verilmiştir. Bu malzemenin orijinali kadmiyum kaplamadır. Korozyonun oluştuğu dişler üzerindeki kaplamanın bakım veya montaj sırasında hasarlandığı ve daha sonra da bu bölgede korozyon olduğu düşünülmektedir. Parça üzerindeki kaplamanın yenilenmesi bu hasarı ortadan kaldıracaktır.

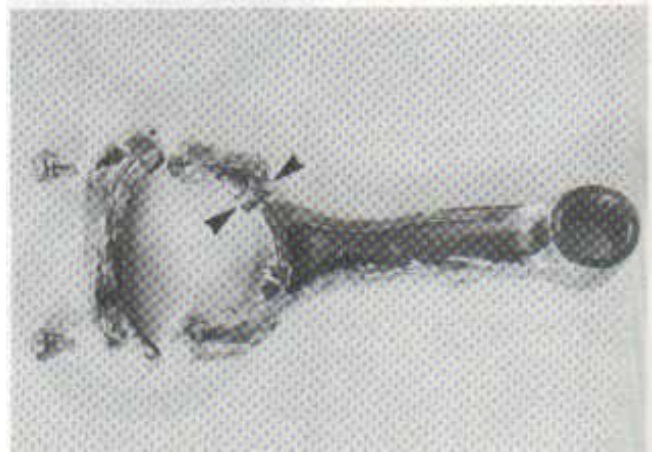


Şekil 6.1 Gerilimli korozyon sonucu oluşan çatlak [1]



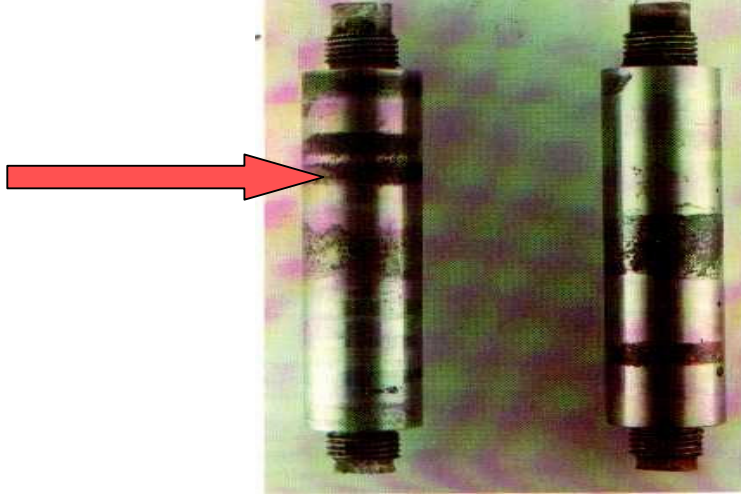
Şekil 6.2 İniş takımı ayar rotlarında oluşan uniform korozyon [4]

Fretting korozyon nedeniyle piston motorlu bir helikopterin biyel kolundaki kırılma Şekil 6.3'de görülmektedir. Bu kırılma sonucu motor hasarlanmış ve helikopter kırım geçirmiştir. Elektron mikroskobu ile yapılan kontrol sonucu oluşan fretting korozyon ile kırılma yönünün paralel olduğu tespit edilmiş, böylece kırılmanın fretting korozyon nedeniyle oluştuğu anlaşılmıştır. Bu korozyonun sebebi ise biyel kolu yataklarındaki boşluk nedeniyle, biyel kolunun salınımlı dönme hareketi yapmasıdır.[4]



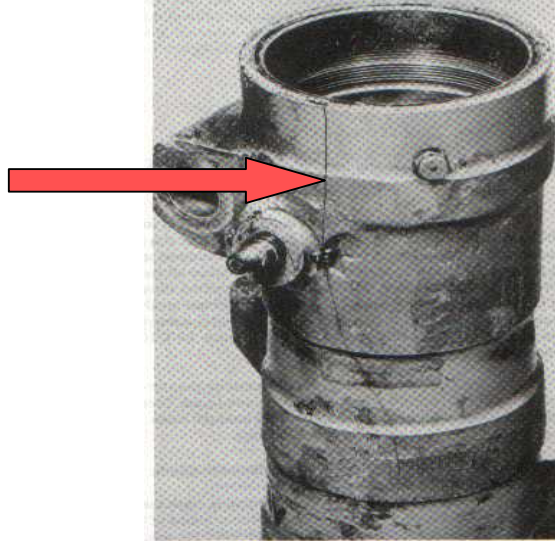
Şekil 6.3 Helikopter motorunun biyel kolunda oluşan fretting korozyon [4]

Şekil 6.4'de ise iki adet uçuş kontrol menteşe piminde meydana gelen fretting korozyon örneği verilmiştir. Bu pimlerde , kontrol yüzeylerinin muntazam hareketleri ve düşük genlikteki düz uçuş titreşimleri ile birleşen pimlerin kendi boşluklarındaki büyük genlikteki hareketler sonucunda fretting korozyon oluştuğu tespit edilmiştir. Böylece hasarın zayıflama ve fretting korozyona bağlı olarak oluştuğu gözlenmiştir. Bu problemlerin büyük ihtimalle yetersiz yağlama nedeniyle olduğu düşünülmektedir.[4]

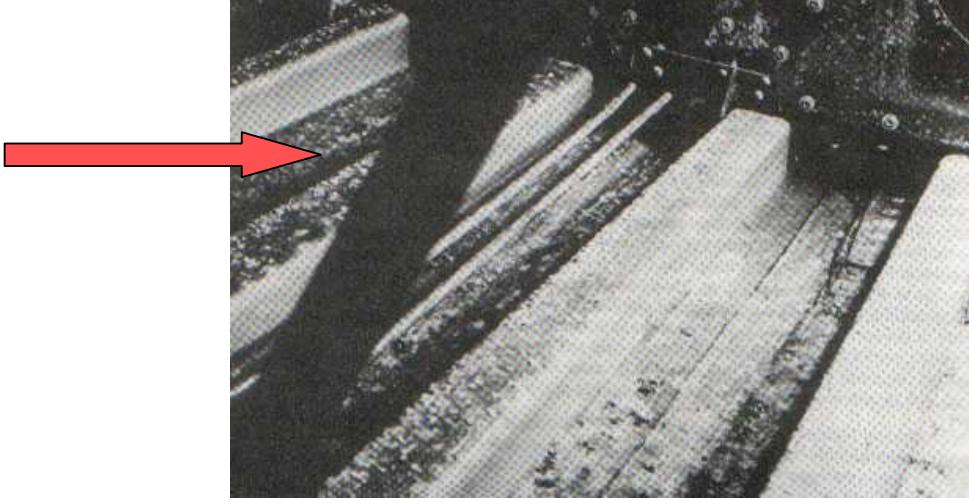


Şekil 6.4 Mentşe pimlerinde oluşan fretting korozyon [4]

Uçaklarda yüksek gerilme etkisi altında olan yerlerden biride iniş takımlarıdır. Gerilmeli korozyon sonucu oluşabilecek çatlaklar bazen makro seviyelerde olabilir. Bu durum Şekil 6.5’de açıkça görülmektedir. Mikrobiyolojik korozyon ile uçak üzerinde kuşkusuz en sık olarak yakıt tanklarında karşılaşılır. Yakıt tanklarında MIC hasarına bir örnek Şekil 6.6 ile verilmiştir.

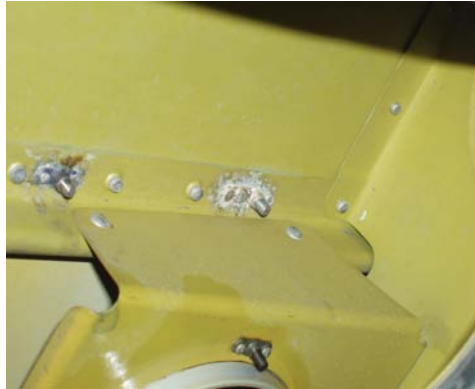


Şekil 6.5 İniş takımlarında gerilmeli korozyon sonucu çatlak oluşumu [4]



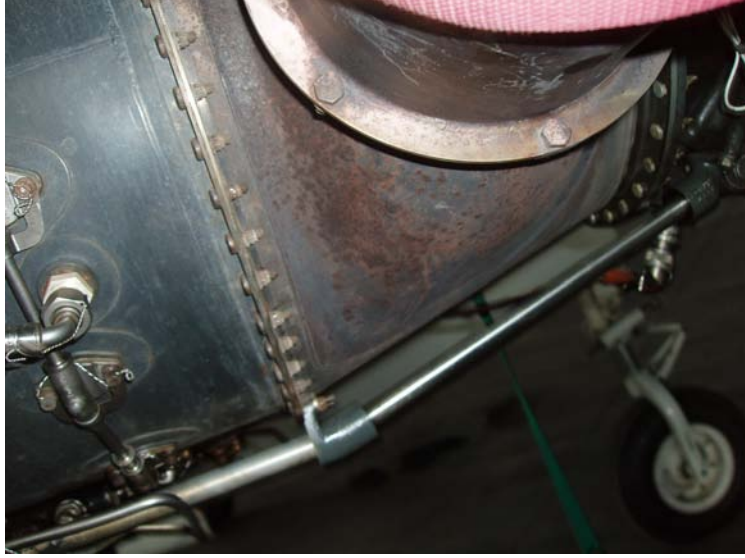
Şekil 6.6 Bir yakıt tankında mikrobiyolojik korozyon oluşumu [4]

Anadolu Üniversitesi envanterinde bulunan Beechcraft Super KingAir 200 (SKA-200) uçağı kanat ucu iç bölgesinde tespit edilen korozyon Şekil 6.7’de verilmiştir. Bağlantı elemanları olan perçinlerin montajı esnasında malzeme üzerinde hasar oluşmuştur. Bölge üzerindeki korozyon önleyici kaplama malzemesi de bu işlem neticesinde zarar görmüştür. Sonuçta bağlayıcı ile diğer malzeme arasında galvanik korozyon meydana gelmiştir. Korozyon, bakım teknisyenlerinin programlı bakım işlemleri sırasında tespit edilmiştir. Bu korozyon hasarı, malzeme ve bağlayıcıların değişimi ile giderilmiştir.



Şekil 6.7 SKA-200 uçağı kanat iç bölgesinde oluşan galvanik korozyon

Şekil 6.8 ve 6.9 ile SKA-200 uçağı üzerinde tespit edilmiş olan diğerkorozyon örnekleri görölmektedir. Egzoz çıkışları üzerinde meydana gelmiş olan korozyon Şekil 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.9’da ise fren bölgesi üzerinde sıcaklık ve çevre koşulları (nem, çamur vb) nedeniyle meydana gelen korozyon gösterilmektedir. Oluşan bu korozyonlar uçuş öncesi bakım esnasında tespit edilmiştir.

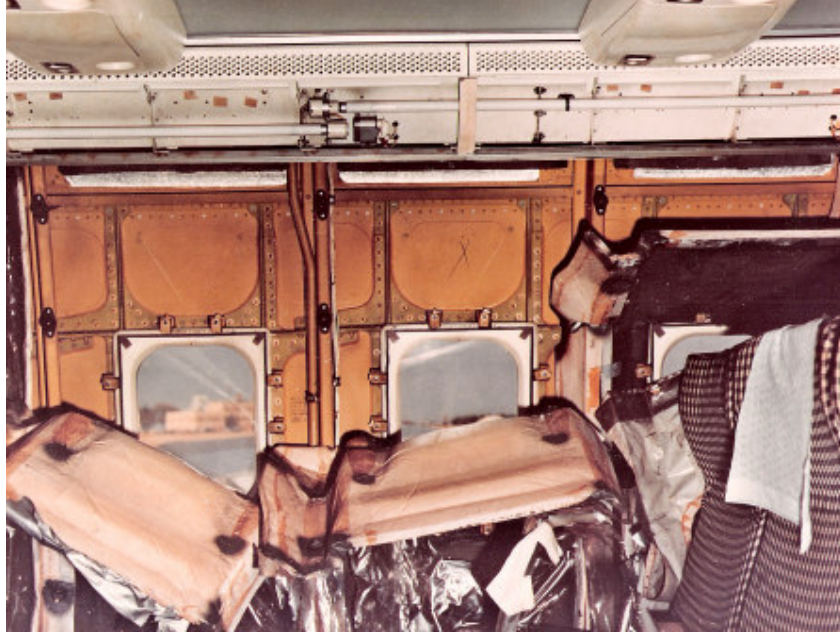


Şekil 6.8 Egzoz bölgesinde oluşan korozyon



Şekil 6.9 Fren bölgesi üzerinde tespit edilen korozyon

Uçak yolcu kabini içinde ses ve ısı izolasyonu sağlayan battaniyelerin altında kalan bölgeler korozyona karşı riskli bölgelerdir. Bu riskin oluşmasındaki en önemli sebep bu bölgelerin nem tutma eğiliminde olmasıdır. Şekil 6.10'da da görüldüğü gibi bu bölgelerde oluşan nem içeride kalır ve korozyon oluşmasına neden olur.



Şekil 6.10 İzolasyon battaniyeleri altında korozyon oluşması [1]

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Daha önceki bölümlerde verilen bilgiler göz önüne alındığında korozyonun uçak bakımındaki yeri ve önemi konusu açıktır. Uçak bakımında korozyona yönelik faaliyetlerin uygulanabilmesi için öncelikle korozyonun ne olduğu ve uçaklarda karşılaşılan türlerinin neler olduğu bilinmelidir.

Uçak bakımında geliştirilen yeni yaklaşımlar ile korozyonun emniyet ve maliyet açısından önemi daha çok açığa çıkmış ve böylece bakım işlemleri içinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Korozyon üzerine yapılan incelemelerin artması ile korozyonun ortaya çıkması için gereken koşullar tam olarak tespit edilmiştir. Ayrıca uçaklar üzerinde karşılaşılabilecek korozyon türleri detaylı bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Korozyonun değişik ortam ve şartlarda farklı türlerinin olması bakım faaliyetleri esnasında yapılacak işlemler açısından oldukça önemlidir. Bunun nedeni ise her korozyon türünün belirtilerinin, oluşma nedeninin, oluşma yerinin ve tespit yönteminin aynı olmamasıdır.

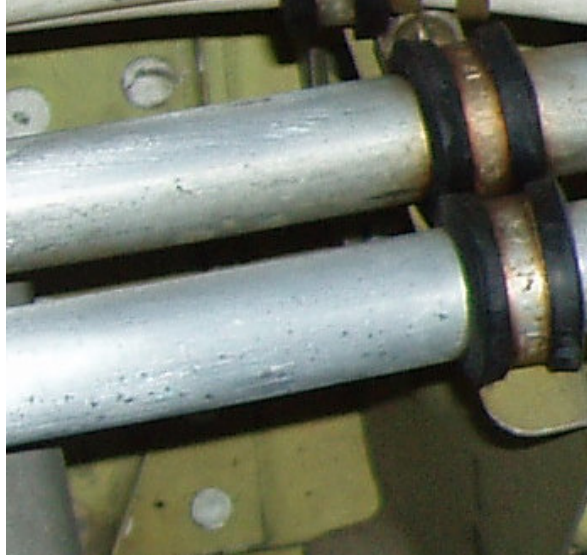
Çizelge 7.1’de korozyon türleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu tabloda korozyon türüne göre karşılaşma olasılığı yaklaşık olarak belirtilmiştir. Ayrıca bu tablo ile hangi tür korozyon uçağın hangi bölümünde oluşabilir, bununla ilgili örnekler verilmiştir. Çizelge 7.1 incelendiğinde korozyon türleri içinde en sık karşılaşılan türlerin uniform, çukurcuk, galvanik ve gerilimli korozyon olduğu görülür. Bunlar içinde uniform korozyon tespitindeki kolaylık nedeniyle nispeten diğerlerine oranla daha az tehlikelidir.

Diğer türleri göz önüne alırsak durumu iki açıdan değerlendirmek faydalı olacaktır. İlk durum korozyonun görünür olduğu durumdur. Korozyon eğer parçanın veya yapının dış yüzeyinde ise tespit edilmesi kolaydır. Bunun için bazı durumlarda gözle kontrol bile yeterli olabilir. İkinci durum ise gizli korozyondur. Kapalı ve ulaşılması mümkün olmayan parça ve yapılarda karşılaşılan bu korozyon durumu çok tehlikelidir. Uniform korozyon genellikle atmosfere açık bölgelerde görüldüğü için uçak etrafında çevresel yol kontrolü ile kolayca tespit edilebilir.

Çizelge 7.1. Uçak yapısında karşılaşılan korozyon türleri ve riskli bölgeler [3,5,31]

Korozyon türü	Oluşma ihtimali (%)	Muhtemel görülebileceği yerler
Uniform	25	Atmosferle temas eden parçalar.
Çukurcuk	25	Alüminyum ve magnezyum alaşımları, düşük alaşımlı çelikler, krom malzemeler (kanat kaplamaları, gaz türbinli motor kompresörü, kompresör çıkış hattı, batarya bölümü, mutfak, tuvalet).
Gerilimli	20	Korozyona dirençli çelikler (kanat-gövde bağlantıları, iniş takımı bağlantı ribleri).
Galvanik	20	Alüminyum ve magnezyum alaşımları. (perçin ve cıvatalı bağlantılar, kumanda elemanları, iniş takımları)
Çatlak	15	Magnezyum alaşımları.
Tanelerarası	3	Düşük alaşımlı çelikler (4000-8000 serisi), korozyona dirençli çelikler (300-400 serisi), yüksek dayanımlı alüminyum alaşımları (2000 serisi), bakır esaslı alaşımlar, pirinç, bronz malzemeler (kanat bağlantıları, pervaneler).
Yorulma	3	Magnezyum ve alüminyum alaşımları, paslanmaz çelikler (iniş takım dikmeleri, ana yataklar, perçinler, çelik borular, helikopter rotor komponentleri).
Eksplorasyon	3	Alüminyum alaşımları (yatay stabilize destekleri, motor egzozu, kanat bağlantı elemanları, pervaneler, helikopter ana rotor palleri, hava giriş alığı).
Fretting	3	Helikopter motoru biyel kolları, pervane shaft yatakları, elektrik bağlantıları (perçin, cıvata bağlantı bölgeleri).
Mikrobiyolojik	3	Yakıt tankları.
Filiform	1	Alüminyum, magnezyum, çelik ve krom kaplamalı nikel malzemeler (kuyruk konisi, kanatçık, flap).

Uniform korozyon kadar sık görülen diğerk bir korozyon türü olan çukurcuk korozyonu ise sadece atmosfere açık olan yerlerde değil kapalı bölgelerde de oldukça sık görülür. Örneğın Beechcraft Super King Air - 200 uçağının klima basınç hattındaki bir iletim borusu üzerinde oluşmuş olan çukurcuk korozyon Şekil 7.1’de görölmektedir. Bu bölgedeki korozyon kontrol kapakları açılarak yapılan göz kontrolü neticesinde tespit edilmiştir.



Şekil 7.1 SKA-200 uçağının klima basınç hattında meydana gelen çukurcuk korozyonu

Galvanik korozyon özellikle cıvata somun bağlantılarında veya perçinli birleştirmelerde karşılaşılan bir korozyon türüdür. Bu korozyon türünün oluşmasındaki en önemli faktör malzemeler arası izolasyon tabakasının zamanla veya diğerk sebeplerden dolayı deforme olmasıdır.

Kanat-gövde bağlantıları veya iniş takım dikmeleri gibi her zaman aşırı yükler altında çalışan malzemelerde ise gerilimli korozyon ve daha az sıklıkta olmak üzere taneler arası korozyon görülür. Her ne kadar dizayn aşamasında bu bölgelerde kullanılacak malzemelerin test işlemleri yapılsa da çalışma koşullarına ve bakım işlemlerinin uygun olarak yapılmasına bağılı olarak korozyon riski her zaman mevcuttur.

Uçak üzerinde kullanılan malzemelerin korozyon davranışları da birbirlerinden farklıdır. Çizelge 7.2 ile bu davranışlara örnekler verilmiştir. Ayrıca bu tabloda etkili tespit yöntemi de belirtilmiştir. Uçak dış kaplamasında kullanılan alüminyum alaşımlı malzemeler ile iniş takımları gibi atmosfere açık bölgelerde kullanılan çelik malzemelerde uniform korozyon oldukça sık görülmektedir. Uniform korozyon için en etkili tespit yöntemi ise gözle kontroldür. Eğer kontrol edilecek malzeme kapalı bir bölgede ise uygulanacak teknik girdap akımları yöntemi olarak tavsiye edilebilir.

Magnezyum alaşımlı parçalar için riskli korozyon türü genellikle uniform ve çukurcuk korozyondur. Fakat bazı durumlarda galvanik korozyon riski de artabilir. Bunun nedeni magnezyumun galvanik serinin anodik bölümüne yakın olmasıdır. Yeterli önlem alınmadığı takdirde yüksek iletkenliğin olduğu durumlarda birçok metal ile oluşturduğu çiftlerde hızla korozyona uğrarlar. Magnezyum rondelalar, şimler ve bağlayıcılarda kullanıldığında bu durum oldukça önemlidir. Magnezyum malzemelerin korozyon kontrollerinde gözle kontrol yeterli olmakla birlikte kapalı bölgelerdeki korozyon kontrolü için girdap akımları uygundur.

Titanyum alaşımlı malzemeler birçok durumda yüksek korozyon direnci gösterirler. Ayrıca yüksek dayanımlı malzemeler olması nedeniyle uçaklarda tercih edilirler. Titanyumun en önemli dezavantajı maliyetindeki yüksekliktir. Titanyum alaşımlarında korozyon çok sık görülmemekle birlikte nadiren gerilmeli ve çatlak korozyonuna rastlanmıştır. Bu tür korozyon oluşumlarına yönelik tavsiye edilen kontrol yöntemleri gözle kontrol başta olmak üzere manyetik parçacık ve girdap akımları tekniğidir.

Yüksek dayanımları ve üretim kolaylığı nedeniyle uçaklarda çok sık kullanılan çelik malzemelerde birçok korozyon türü görülebilir. Gözle kontrol yöntemi etkili bir yöntem olmakla birlikte bazı durumlarda yetersiz kalabilir. Bu gibi durumlarda manyetik parçacık, ultrasonik ve girdap akımları teknikleri tavsiye edilen alternatif yöntemlerdir.

Tespit yöntemleri açısından önemli bir konu da hafif ve ağır korozyon türüne göre tespit yöntemlerinin farklılık göstermesidir. Örneğin radyografik kontrol ile hafif korozyon tespit edilemez. Bunun nedeni ise fotoğrafik

yoğunluğun hafif korozyonda yetersiz olmasıdır. Nötron radyografisi ve ultrasonik kontrol ile hafif korozyon tespiti mümkündür. Sıvı penetran ile kontrol ise birçok durumda korozyon tespiti için yeterli sonuç veremez. Bu kontrol yöntemi ilerlemiş ve çatlak meydana gelmiş korozyon durumlarında etkilidir. Bu durum Çizelge 7.3’de ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir.

Çizelge 7.2. Uçak yapısal malzemelerinde oluşabilecek korozyon türleri ve etkili tespit yöntemleri

MALZEME	KOROZYON TÜRÜ	ETKİLİ TAHRİBATSIZ KONTROL YÖNTEMİ
Alüminyum	Uniform, Galvanik, Gerilmeli, Eksplorasyon Korozyonu	Gözle Kontrol, Girdap Akımları
Magnezyum	Uniform, Çukurcuk, Galvanik Korozyon	Gözle Kontrol, Girdap Akımları
Titanyum	Gerilmeli, Çatlak Korozyonu	Gözle Kontrol, Manyetik Parçacık, Girdap Akımları
Çelik	Uniform, Çukurcuk, Çatlak, Gerilmeli, Tanelerarası Korozyon	Gözle Kontrol, Manyetik Parçacık, Ultrasonik, Girdap Akımları
Nikel	Çukurcuk Korozyonu	Radyografi, Ultrasonik

Petek yapıları metal kompozitler diğer uçak yapısal malzemelerine göre üretim tekniği ve karşılaşılan hasarlar bakımından oldukça farklıdır. Bu tür malzemelerde en sık görülen hasarlar tabakaların ayrılması, petekte su veya nem oluşması ve levhalarda korozyon oluşmasıdır. Çizelge 7.3’ de bu malzemelerde karşılaşılan hasarlar ve etkili tespit yöntemleri belirtilmiştir. Bu çizelgede belirtilen tespit yöntemleri yapıyı oluşturan malzemelerin özelliklerine göre değişiklik gösterecektir. Tespit yöntemleri hasarın bulunduğu bölgeye ve kullanılan malzemeye göre değişiklik gösterir. Özellikle metal levhalarda oluşan korozyon için Çizelge 7.2 gözönüne alınabilir.

Çizelge 7.3. Petek yapılı metal kompozitlerde hasarlar ve tespit yöntemleri

Hasar Türleri	Etkili Tespit Yöntemleri
Tabakaların ayrılması	Vurma Testi, Fokker Bağlantı Testi, Bondaskop
Petekte su veya nem oluşması	Radyografi, Termal Kontrol
Levhalarda korozyon oluşumu (dış yüzey)	Gözle Kontrol, Optik Aletlerle Kontrol
Levhalarda korozyon oluşumu (gizli yüzey)	Ultrasonik kontrol, Girdap Akımları İle Kontrol

Uçak bakımında korozyon kontrolü için yapılan tahribatsız kontrol yöntemleri korozyon türüne göre değişiklik gösterir. Çizelge 7.4 ile korozyon türüne göre uygulanması tavsiye edilen kontrol yöntemi belirtilmiştir. Uniform, galvanik ve çukurcuk korozyon için tespit yöntemi olarak ilk olarak gözle kontrol yeterlidir. Korozyonun oluşum yerine göre bu yöntem etkisiz olduğunda ise alternatif yöntem nötron radyografisidir. Gözle kontrol ile tespit edilmesi mümkün olmayan çatlak korozyonu için öncelikli olarak tavsiye edilen tahribatsız kontrol yöntemi sıvı penetran ile kontroldür. Kontrol edilecek bölgeye sıvı penetran uygulaması yapılamadığı durumlarda ise tavsiye edilen kontrol yöntemi ultrasonik kontroldür.

Filiform korozyon genellikle yüzeyin hemen altında oluşan bir korozyon türüdür ve genelde gözle kontrol yöntemi bu tür korozyonun tespit edilmesi için yeterli olacaktır. Ulaşılması zor bölgelerde ise girdap akımları tekniği filiform korozyonun tespit edilmesi için tavsiye edilir. Malzemelerin tane sınırlarında meydana gelen taneler arası korozyonun tespit edilmesi için radyografik kontrol uygulanabilir. Bu tür korozyonun tespit edilmesi için daha gelişmiş bir teknik olan termal kontrol de etkili bir yöntemdir.

Çizelge 7.4. Korozyon türüne göre etkili NDI yöntemi

KOROZYON TÜRÜ	ETKİLİ TAHRİBATSIZ KONTROL YÖNTEMİ
UNIFORM	Gözle Kontrol, Ultrasonik
GALVANİK	Gözle Kontrol, Ultrasonik
ÇUKURCUK	Radyografi, Ultrasonik
ÇATLAK	Sıvı Penetran, Ultrasonik
FİLIFORM	Gözle Kontrol, Girdap Akımları
TANELER ARASI	Nötron Radyografisi, Termal Kontrol
EKSFLORASYON	Gözle Kontrol, Ultrasonik
FRETTING	Gözle Kontrol, Girdap Akımları
GERİLMELİ	Ultrasonik, Girdap Akımları
YORULMA	Ultrasonik, Girdap Akımları, Radyografi
MİKROBİYOLOJİK	Gözle Kontrol, Nötron Radyografisi

Dizayn aşamasından sonra bakım faaliyetleri ile korozyon kontrol altında tutulmaktadır. Bakım ile ilgili faaliyetler Bölüm 4’ de verilmiştir. Korozyona yönelik bakım işlemlerinin kapsam ve süreleri yakın dönemde üretilen uçaklarda nispeten bir azalma göstermiştir. Bunun nedeni özellikle son 20 yıl içinde korozyona dizayn ve mühendislik aşamasında yeterli önemin verilmiş olmasıdır. Eski dönem uçaklarda korozyona yönelik bakım faaliyetleri oldukça büyük yer tutmaktadır. Çünkü bu dönemlerde üretilmiş olan uçaklar üzerinde korozyon önleyici teknikler yeteri kadar uygulanmamıştır. Gelişen malzeme biliminin buna etkisi büyüktür.

Tahribatsız kontrol yöntemlerindeki gelişim de korozyona yönelik bakım faaliyetlerinde güvenilirliği artırmış, ayrıca yapılan kontrol işlemlerinin uygulama sürelerini de azaltmıştır. Tahribatsız kontrol yöntemlerinin gelişimi aynı zamanda hataların daha erken seviyelerde tespit edilmesine olanak sağladığı için, emniyetli uçuş sürelerinde bir artış sağlamaktadırlar.

KAYNAKLAR

- [1] *Corrosion Manual*, Boeing Commercial Airplane Company, USA, (1980)
- [2] ALPER, Aysun, *Uçak Motorlarında Korozyon, VIII. Uluslar arası Korozyon Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Osmangazi Üniversitesi, (2002)
- [3] LINCOLN, J.W., *Corrosion And Fatigue Safety Issue Or Economic Issue*, Research And Technolgy Organization Meeting Procceding 18, **2**, Canada Comunication Group Inc., (1999)
- [4] WALLACE, W., HOEPPNER, D.W. ve KANDACHAR, P.V., *AGARD Corrosion Handbook Volume1 Aircraft Corrosion: Causes And Case Histories*, AGARD, (1985)
- [5] <http://www.corrosion-doctors.org>
- [6] <http://www.loctite.com.tr/wwdh/tr/book/i147ch09.htm#p149>, Kasım (2003)
- [7] BLITZ, J., *Electrical And Magnetic Methods Of Non-Destructive Testing*, Chapman & Hall, USA, (1997)
- [8] SCULLY, J.C., *The Fundamentals Of Corrosion*. Oxford : Permagon Pres., (1990)
- [9] SCHWER, Philip A., P.E., *Corrosion And Corrosion Protection Handbook*, Marcel Dekker Inc, New York, USA, (1988)
- [10] ARMATLI KAYRAK, M., *Havacılık Kompozitleri Ve Mukavemet-Maliyet Analizi*, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, (1999)
- [11] SMITH, William F., *Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği*, KINIKOĞLU, Nihat G. (çeviren), Literatür Yayınları, İstanbul, (2001)
- [12] *Airframe&Powerplant Mechanics General Handbook*, U.S. Department Of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington, USA, (1976)
- [13] DANOCHIC Jr. MATTHEW J., *Titanium And Titanium Alloys*, Metal Park, Ohio: American Society For Metals, (1982)
- [14] FONTANA MARS G., *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill International Editions, (1986)
- [15] WRANGLLEN, G., *Corrosion And Protection Of Metals*, Chapman And Hall Ltd., New York, USA, (1985)
- [16] <http://www.kimyaevi.org/elementler/nikel/nikel.asp>

- [17] HORNE, Douglas F., *Aircraft Production Technology*, Cambridge University Press, USA, (1985)
- [18] ERDEM, M.S. ve AKMANDOR, İ.S., *Uçak Motoru Ve Elektroyen Gruplarındaki Gaz Türbini Teknolojisindeki İlerlemeler, Malzeme, Yüzey Teknolojileri Ve İmalat Süreçlerindeki Gelişmeler (Bölüm 1)*, Mühendis ve Makina, **528**, Ocak (2004)
http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2004/makale_ucakmotoru.htm
- [19] ROCKEL, M., *Nickel Alloys*, Marcel Dekker INC., New York, USA, (1998)
- [20] ARSLAN, N. ve KAMAN, M. O., *Alüminyum, Kağıt Ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, **4, 3**, 113-123 Ekim (2002)
- [21] Aircraft Corrosion Control, *EA - CC -I Training Series*, International Aviation Publishers Inc., Wyoming, USA, (1985)
- [22] DAVIS, G.D., DACRES, C.M. ve KREBS, L.A., *In-Situ Sensor To Detect Moisture Intrusion And Degradation Of Coatings, Composites And Adhesive Bonds*,(2000),
<http://www.corrosion-doctors.org/Journal-2000/No1/images/No1-fig10.jpg>
- [23] CORDER, A.S., *Maintenance Management Techniques*, McGraw-Hill, London, England, (1976)
- [24] ARMATLI KAYRAK, M., *Uçak Bakımında Emniyet Yaklaşımları*, Kayseri V. Havacılık Sempozyumu, 327-332, (2004)
- [25] SOCATA, *TB-20 Maintenance Manual*, Tarbes, France, (1997)
- [26] KOCH, G. H., *Corrosion Cost And Preventive Strategies in the United States*, Office of Infrastructure Research and Development Federal Highway Administration, Rapor No: FHWA-RD-01-156
<http://www.corrosioncost.com/pdf/aircraft.pdf>
- [27] SURESH, S., *Fatigue Of Materials*, Cambridge University Pres, London, UK, (1991)
- [28] ELLYIN, F., *Fatigue Damage, Crack Growth And Life Prediction*, Chapman & Hall, London, UK, (1997)

- [29] SAE Committee E-32, *Guide To Life Usage Monitoring And Part Management For Aircraft Gas Turbine Engines*, Aircraft Gas Turbine Engine Monitoring Systems: An Update SAE SP-88/728, Society Of Automative Engineers Inc. Warrendale, USA, (1988)
- [30] TYLER, Derek E., *Corrosion Fatigue*, Metals Handbook Desk Edition, (Ed: BOYER, H.E. ve GALL, T.L.), American Society for Metals, Ohio, USA , (1991)
- [31] VASUDEVAN, A.K. ve SADANANDA, K, *Environmental Effects On Fatigue Crack Initiation And Growth*, Research And Technolgy Organization Meeting Procceding 18, Canada, Comunication Group Inc., (1999)
- [32] ARMATLI KAYRAK, M., *Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri*, T.C. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, (2001)
- [33] DORUK, M. ve TÜFEKÇİOĞLU, A., *Maintenance And The Military Enviroment*, Management Of Corrosion, AGARD, (1989)
- [34] <http://www.mme.itu.edu.tr/laboratuvar/hasarsiz/penetrant.htm>
- [35] *Nondestructive evaluation and quality control*, Metals Handbook, Volume 17, ASM International, (1989)
- [36] SMITH, C. ve KOMSKY, I., FAA Centers Of Excellence 3rd Joint Annual Meeting, (2003),
http://www.coe.faa.gov/images/proceedings/ikomsky_DC-9Pres.pdf
- [37] Material Measurement Ltd.
<http://www.corrosion-doctors.org/Inspection/radiographic.htm>
- [38] BİLGE, A. N., *Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması*, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ÇNAEM Matbaası, İstanbul, (1985)
- [39] BERGER, C., ***Radiography, Metals Handbook Desk Edition, (Ed: BOYER, H.E ve, GALL, T.L.), American Society for Metals***, Ohio, USA, (1985)
- [40] BERGER, H., *Nötron Radiography*, Nondestructive Evaluation and Quality Control, Metals Handbook Volume 17, ASM International Handbook Committee, USA, 666-674, (1989)

- [41] LEWIS, W. J., BENNETT, T. R., CHALOVICK, L. G. I. ve
FRANCESCONI, O., Neutron Radiography Of Aircraft Composite Flight
Control Surfaces,
<http://www.ndt.net/article/ecndt02>, (2003)
- [42] HULL, B. ve JOHN, V., *Non-Destructive Testing*, Macmillan Education,
(1989)
- [43] WU, D. ve BUSSE, G., *Lockin Termographie in Der Zerstörungsfreien
Werkstoffprüfung*, NDTnet, **2, 8**, Ağustos (1997)
<http://www.ndt.net/article/dresd97/wu/fig3.jpg>