

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇAKLARDA KULLANILAN ALÜMİNYUM
MALZEMELERDEKİ KOROZYONUN İNCELENMESİ,
ÖNLENMESİ VE TAHRİBATSIZ MUAYENE İLE
TESPİTİ**

Met. ve Malz. Müh. Özgür Ergin KORKMAZ

**FBE Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ergün KELEŞOĞLU

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL HATLARIYLA UÇAK PARÇALARI	3
2.1 Gövde	3
2.1.1 Gövde Yapısına Etki Eden Kuvvetler	7
2.2 Kanat.....	9
2.3 Kuyruk.....	10
2.4 Uçuş Kumanda Yüzeyleri.....	11
2.4.1 Ana Uçuş Kumanda Yüzeyleri	12
2.4.2 Yardımcı Uçuş Kumandaları ve Diğer Elemanlar.....	13
2.5 İniş Takımları	14
3. ALÜMİNYUMUN KOROZYONU ve ÇEŞİTLERİ	17
3.1 Alüminyum Korozyonun Elektrokimyasal Temeli	17
3.1.1 Alüminyumun Çözünme Potansiyeli.....	21
3.2 Alüminyum ve Alaşımlarında Görülen Korozyon Çeşitleri.....	24
3.2.1 Üiform Korozyon	24
3.2.2 Oyuklanma (pitting) korozyonu	24
3.2.2.1 Oyuklanma Korozyonunun Başlangıç Basamağı	25
3.2.2.2 Oyuklanma Korozyonunun Gelişme Basamağı	26
3.2.3 Tanelerarası ve Tane içi Korozyon.....	27
3.2.4 Tabakalaşma Korozyonu	29
3.2.5 Gerilmeli korozyonu.....	30
3.2.6 Kurtçuk Korozyonu	32
3.2.7 Aralık korozyonu.....	33
3.2.8 Erozyon.....	33
3.2.9 Mikrobiyolojik korozyon.....	33
3.2.10 Galvanik Korozyon	34

4.	UÇAKLARDA KOROZYONDAN KORUNMA ve ÖNLENMESİ	36
4.1	Uçaklarda Korozyona Neden Olan Faktörler	37
4.2	Korozyon Kontrol Yöntemleri.....	39
4.2.1	Malzeme Seçimi	40
4.2.2	Kaplama Seçimi.....	40
4.2.2.1	Kimyasal Dönüşüm Kaplamaları.....	42
4.2.2.2	Anotlama	43
4.2.3	Dolgu Macunları.....	45
4.2.4	Korozyon Önleyici Bileşikler (CIC).....	47
4.2.5	Tahliye	50
4.2.5.1	Tahliyeyi Engelleyen Yapısal Bileşenler	52
5.	TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ.....	55
5.1	Tahribatsız Muayenede Kullanılan Yöntemler ve Uygulama Alanları	57
5.1.1	Sıvı Penetrant Muayenesi	59
5.1.1.1	Korozyon Ürünlerinin Penetrant Uygulamaya Etkisi.....	65
5.1.2	Girdap Akımları ile Muayene.....	66
5.1.2.1	Girdap Akımlarıyla Korozyon Tespiti.....	71
5.1.3	Ultrasonik Muayene	72
5.1.4	Radyografik Muayene	76
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	81
6.1	Alüminyum Yapılarda Perçin Çevresindeki Korozyonun Girdap Akımları Kullanılarak Tespiti	81
6.2	Alüminyum Yapılarda Perçin Delikleri Çevresindeki Tabakalaşma Korozyonunun Girdap Akımları Kullanılarak Tespiti	85
6.3	Alüminyum Saclarda Korozyon Kaybının Girdap Akımlarında Düşük Frekans Kullanılarak Belirlenmesi.....	87
6.4	Farklı Derişiklikte HCl Çözeltisi Kullanılarak Korozyona Uğratılmış Parçada Korozyon Tespiti	89
6.5	Sıvı Penetrant Kullanılarak Korozyon Tespiti.....	92
6.6	X Işınları Kullanılarak Korozyon Tayini.....	96
6.7	Ultrasonik Muayene ile Korozyon Tayini	101
7.	SONUÇLAR.....	109
	KAYNAKLAR.....	113
	ÖZGEÇMİŞ.....	115

SİMGE LİSTESİ

δ	Nüfuziyet derinliği
μ	Manyetik geçirgenlik
σ	Elektriksel iletkenlik
f	Frekans
λ	Ultrasonik ses dalgalarının dalga boyu
C	Ultrasonik ses dalgalarının yayılma hızı
T	Periyot

KISALTMA LİSTESİ

ASNT	The American Society for Nondestructive Testing
ASM	American Society of Materials
ASTM	American Society For Testing and Materials
BSOPM	Boeing Standard Overhaul Practice Manual
IACS	International Annealed Copper Standard
CIC	Corrosion Inhibiting Compound
NDT	Non-Destructive Testing
NTM	Non-Destructive Testing Manual
NDTSPM	Non-Destructive Testing Standard Practice Manual
SRM	Structural Repair Manual

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yatay, dairesel kiriş ve bağlantıları	5
Şekil 2.2 Arka basınç bölmesi	6
Şekil 2.3 Döşeme yapıları.....	7
Şekil 2.4 Gövde yapısına etki eden kuvvetler	8
Şekil 2.5 Temel kanat yapısı.....	9
Şekil 2.6 Kuyruk kısmı	11
Şekil 2.7 Uçaklarda eksenler ve hareketler	11
Şekil 2.8 Bir uçağın ana uçuş kumanda yüzeyleri.....	12
Şekil 2.9 Bir yolcu uçağının açılmış haldeki slatların alttan görünüşü	13
Şekil 2.10 Flaplar tamamen kapalı, sadece flaplar açık, flaplar ve spoilerler birlikte açık durumları	14
Şekil 2.11 İnişi takiben açılan spoilerler	14
Şekil 2.12 Uçakta iniş takımları	15
Şekil 3.1 Metal-çözelti arayüzündeki elektrokimyasal reaksiyonlar	18
Şekil 3.2 Alüminyumun çözünme potansiyeline alaşım elementlerinin etkisi.....	21
Şekil 3.3 Yaşlandırma süresinin 2014 ve 7075 alüminyum alaşımlarının çözünme potansiyeline etkisi	23
Şekil 3.4 Alüminyumun oyuklanma korozyonunun mekanizması.....	27
Şekil 3.5 Tane sınırlarında katodik fazın çökmesi	29
Şekil 3.6 Gerilmeli korozyon çatlağı, elektrokimyasal ilerleme	31
Şekil 3.7 Airbus A320 uçağının gövde üstündeki kurtçuk korozyonu.....	32
Şekil 3.8 Aralık Korozyonu.....	33
Şekil 4.1 Korozyonunun sık görüldüğü bölgeler.....	38
Şekil 4.2 Dış gövdede rastlanan korozyon bölgeleri	39
Şekil 4.3 Korozyon engellemesinde önemli parametreler	39
Şekil 4.4 Astar ve anotlamanın fonksiyonu.....	41
Şekil 4.5 Birbiri üzerine binmiş yüzeylerde dolgu macun uygulaması	45
Şekil 4.6 Nem girişini engellemek için perçinle birlikte montelenen perçin	46
Şekil 4.7 Çeşitli dolgu macun uygulamaları.....	46
Şekil 4.8 Korozyon önleyici bileşiklerin uçaklarda kullanım yerleri.....	49
Şekil 4.9 Korozyonun engellenmesinde kullanılan bileşiklerin sırası.....	50
Şekil 4.10 Gövde üst yapısında korozyon bölgeleri	51
Şekil 4.11 Gövdenin alt kısmında zayıf tahliye kaynaklı korozyon bölgeleri ve nedenleri	51
Şekil 4.12 Yatay kiriş bağlantı elemanlarında tahliye yanlışlıkları.....	52
Şekil 4.13 Kargo kapısı çevresinde yanlış tahliye	52
Şekil 4.14 Giriş kapısı çevresinde korozyonlu bölgeler	53
Şekil 4.15 Arka basınç bölmesinde korozyonlu bölgeler	53
Şekil 4.16 Basınç bölmesinin alt kısmındaki farklı dizayn	54
Şekil 5.1 Yüzeye açık süreksizlik.....	58
Şekil 5.2 Yüzeye yakın süreksizlik.....	58
Şekil 5.3 Malzeme içindeki süreksizlik.....	58
Şekil 5.4 Yüzey yöntemleri	58
Şekil 5.5 Hacimsel yöntemler.....	58
Şekil 5.6 Penetrant Uygulaması.....	60
Şekil 5.7 Kapiler Hareket	61

Şekil 5.8 Fazla Penetrantın giderilmesi	61
Şekil 5.9 Developer Mekanizması	62
Şekil 5.10 Işık dalga boyları	63
Şekil 5.11 Farklı penetrant izleri	63
Şekil 5.12 Sabit çalışma sistemi	64
Şekil 5.13 Penetrant, solvent ve developer spreyleyler	64
Şekil 5.14 Farklı tip penetrant uygulamalarında tatbikat sırası	64
Şekil 5.15 Gerilmeli korozyon ve yorulma çatlağı mikro yapıları	65
Şekil 5.16 Girdap akımları ile muayene düzeneği	67
Şekil 5.17 Dijital ve analog girdap akım cihazları	68
Şekil 5.18 Frekansın girdap akımlarına etkisi	69
Şekil 5.19 Girdap akımlarının iletkenlikle değişimi.....	70
Şekil 5.20 Ultrasonik Muayene	72
Şekil 5.21 Boyuna Dalgalar	73
Şekil 5.22 Enine Dalgalar	74
Şekil 5.23 Yüzey Dalgaları.....	74
Şekil 5.24 Ultrasonik hata tespiti.....	75
Şekil 5.25 Radyografi örneği.....	78
Şekil 5.29 X ışınları üretimi ve malzeme kontrolü.....	80
Şekil 6.1 OLYMPUS NORTEC 500D girdap akım kontrol cihazı.....	82
Şekil 6.2 DAC GSET AL.01 kalibrasyon standardı	82
Şekil 6.3 NORTEC ML/100-500 kHz/A/90.5/6 girdap akım probu	82
Şekil 6.4 Cihaz-malzeme denge ayarı ve lift-off hattı.....	83
Şekil 6.5 Kalibrasyonu tamamlanmış girdap akım cihazı	83
Şekil 6.6 Girdap akım cihazıyla test parçasının denge konumuna getirilmesi.....	84
Şekil 6.7 Farklı korozyon yoğunluklu bölgelerden elde edilen sinyal çeşitleri	85
Şekil 6.8 Tabakalaşma korozyonu kalibrasyon standardı	86
Şekil 6.9 Tabakalaşma korozyonuna ait girdap akım sinyali	86
Şekil 6.10 Dairesel şablon kullanılarak tabakalaşma korozyonu taraması.....	87
Şekil 6.11 127- .050 kodlu kalibrasyon standardı	88
Şekil 6.12 M02250 girdap akım probu	88
Şekil 6.13 %10, %20, %30 oranında kalınlık azalan bölgelerden alınan sinyaller	89
Şekil 6.14 %10, %20, %30 oranlarında HCl çözeltisine tabi tutularak korozyona uğratılmış 2024-T3 alüminyum parça.....	90
Şekil 6.15 %10 HCl çözeltisiyle korozyona uğratılmış bölgeden alınan sinyal.....	91
Şekil 6.16 %20 HCl çözeltisiyle korozyona uğratılmış bölgeden alınan sinyal.....	91
Şekil 6.17 %30 HCl çözeltisiyle korozyona uğratılmış bölgeden alınan sinyal.....	91
Şekil 6.18 Sabit çalışma sistemi	92
Şekil 6.19 Daldırma yöntemiyle penetrant uygulaması.....	93
Şekil 6.20 Penetrant uygulaması sonrası beklemeye bırakılmış test parçası.....	93
Şekil 6.21 Hidrofilik temizleyici tankı	93
Şekil 6.22 Yıkama işlemi	94
Şekil 6.23 Test parçasının kurutulması	94
Şekil 6.24 Developer uygulaması	95
Şekil 6.25 Test parçası ön yüzeyindeki korozyonun siyah ışık altında görünümü.....	95
Şekil 6.26 Test parçasının arka yüzeyindeki az ve fazla korozyonlu bölgeler.....	96
Şekil 6.27 YXLON SMART 583 marka x ışın cihazı	97
Şekil 6.28 Radyografi filminin pozlanması	98

Şekil 6.29 Film banyo tankı.....	98
Şekil 6.30 Film aydınlatma ekranı.....	99
Şekil 6.31 127-.050 numaralı bloğunun 80 kV' de çekilmiş radyografi filmi	99
Şekil 6.32 127-.050 numaralı bloğun 60 kV' de çekilmiş radyografi filmi	100
Şekil 6.33 HCl uygulanan parçanın 60 kV' de 2 dakika pozlanmasıyla elde edilen görüntü	100
Şekil 6.34 HCl uygulanan parçanın 60 kV' de 3 dakika pozlanmasıyla elde edilen görüntü	101
Şekil 6.35 Kalınlık ölçüm cihazıyla kontrol.....	102
Şekil 6.36 Korozyonun ultrasonik B taraması görüntüsü.....	103
Şekil 6.37 USM 35 ultrasonik hata detektörü	103
Şekil 6.38 127-0.50 numaralı blokta 0.129 mm' den alınan sinyal.....	104
Şekil 6.39 127-.050 numaralı blokta 0.116 mm' den alınan sinyal.....	104
Şekil 6.40 127-.050 numaralı blokta 0.104 mm' den alınan sinyal.....	105
Şekil 6.41 127-.050 numaralı blokta 0.091 mm' den alınan sinyal.....	105
Şekil 6.42 HCl çözeltisinde korozyon uğratılan parçada korozyonsuz bölgeden alınan arka cidar sinyali	106
Şekil 6.43 %10 HCl ile korozyona uğratılan bölgeden alınan sinyal.....	107
Şekil 6.44 %20 HCl ile korozyona uğratılan bölgeden alınan sinyal.....	107
Şekil 6.45 %30 HCl ile korozyona uğratılan bölgeden alınan sinyal.....	108

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Standart elektrot potansiyelleri.....	20
Çizelge 3.2 Alüminyum alaşımlarının çözünme potansiyeli.....	22
Çizelge 3.3 İntermetalik fazların çözünme potansiyeli	22
Çizelge 3.4 Katı eriyik ve intermetalik fazların çözünme potansiyeli	28
Çizelge 5.1 X-ışınları değerleri ve uygulama alanları.....	77
Çizelge 5.2 X-ışını filmlerinin özellikleri.....	77

ÖNSÖZ

Havacılık, günümüz taşımacılığında güvenlik ve hız faktörleri göz önüne alındığında en önde yer alan sektör konumundadır. Havacılıktan beklenen uçuş güvenliği, üretim ve bakım faaliyetlerinin kalitesiyle orantılıdır. Üretim ve bakım çalışmalarında alınan önlemlerle uçakların içinde bulundukları ağır koşullardan kaynaklanan korozyon hasarlarının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Üretim sırasındaki çeşitli kaplama ve boyalarla korozyonun önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemleri her türlü hasarda olduğu gibi uçaklardaki korozyonun ileri safhalara taşınarak büyük yıkımları önlemek için bakım çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada değerli bilgilerini benimle paylaşarak, bana yol gösteren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ergün KELEŞOĞLU' na teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca, hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme, çalışmamı tamamlamada yardımlarını eksik etmeyen MyTECHNİC uçak bakım şirketi çalışanlarına ve arkadaşım Elvan ZAMAN' a minnettarlığımı sunarım.

Mayıs 2010

Özgür Ergin KORKMAZ

ÖZET

Sivil uçakların yapıları genel hatlarıyla incelenmiş ve önem arz eden bölgeler irdelenmiştir. Uçaklarda yüksek oranda kullanılan alüminyum alaşımlarında görülen korozyon çeşitleri araştırılmış ve uçak üreticilerinin korozyonu engellemek için aldıkları tedbirler kullanılan malzeme, tasarım ve kaplamalar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımlarında görülen korozyonun erken tespitinde ve sınırlarının belirlenmesinde en çok tercih edilen yöntem olan tahribatsız muayene tekniklerinden girdap akımları, ultrasonik muayene, radyografi ve sıvı penetrant yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Açıklanan tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak, uçak üzerinde ve laboratuvar şartlarında korozyona uğratılan parçalarda korozyon kontrolleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar uçak üretici firmaların prosedürlerine ve uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel çalışmalar bölümünde detaylı olarak irdelenmiş ve nedenleriyle açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, tahribatsız muayene, alüminyum

ABSTRACT

Aircraft structures have been generally investigated and high concern areas have been examined. Types of corrosion on aluminium alloys that are highly used in aircraft structures have been researched and prevention methods of aircraft manufacturers have been evaluated as part of used materials, design and coatings.

Nondestructive testing methods are the most preferred technique of early detection and determination the boundaries of corrosion. Eddy current, ultrasonic inspection, radiography and liquid penetrant methods have been explained in detail. Corroded parts by naturally and under laboratory environment have been inspected for corrosion by the explained nondestructive methods.

Experimental studies have been done according to procedures of aircraft manufacturers' and international standards. Results of the experimental studies have been examined in detail and explained with reasons.

Keywords: Corrosion, nondestructive testing, aluminium

1. GİRİŞ

20. yüzyıl başlarında havacılık endüstrisi teknolojinin en ileri ve dayanıklı ürünlerini kullanarak gelişmeye başlamıştır. Gelişimini, emniyet faktörlerini hep ön planda tutarak sürdüren bu sektör; 21. yüzyılda da insan ve kargo taşımacılığında en güvenli ve hızlı sektör olma özelliğini sürdürmektedir.

Güvenliği hep ön planda tutan havacılık sektöründe kullanılan üst düzey malzemeler, üretimden başlayarak servis şartlarında sürekli kontrol altında tutulur. Uçak üzerindeki milyonlarca parçanın kontrolde tutulmasındaki amaç; servis şartlarında büyük kuvvetlere ve zorlu hava şartlarına maruz kalan parçalarda çatlak ve korozyon oluşumunu en aza indirmek ve bu oluşumların erken teşhisini mümkün kılmaktır.

Malzemelerin bulundukları ortamla girdikleri reaksiyon sonucunda kimyasal olarak indirgenerek korozyona uğrayan malzemelerdeki kayıp ve hasarlar, uçakların kullanım ömürlerini ciddi biçimde etkilemektedir. Dünya üzerinde insan ve kargo taşımacılığında en çok tercih edilen uçaklarda oluşabilecek her türlü hasar gibi, korozyon kaynaklı hasarlar da çok büyük can ve mal kayıplarına sebep olurlar. Uçak üretici firmaları; gerek üretim sırasında geliştirdikleri kaplama ve koruyucu uygulamalarıyla, gerek bakım çalışmaları için geliştirdikleri yöntemlerin kullanımını zorunlu kılarak korozyon ve korozyonun sebep olacağı hasarların oluşumunu en aza indirmişlerdir.

Uçak üretiminde büyük oranda kullanılan korozyona dayanıklı alüminyum malzemelerin, bu dayanımlarını daha da arttırmak amacıyla bu malzemelerin üretimleri sırasında; anotlama, kladlama, kimyasal dönüşüm kaplaması, korozyon önleyici bileşik kullanımı, gelişmiş astar ve boya kullanımının yanı sıra bağlayıcı macun da kullanılmaktadır.

Bakım faaliyetleri çerçevesinde; uçak parçalarının maruz kaldıkları atmosferden dolayı korozyona uğramaması için, servis esnasında kaplama ve korozyon önleyiciler belirli aralıklarla bu parçalara uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra tahribatsız muayene yöntemleri de korozyonun erken tespiti amacıyla kullanılmaktadır.

Hafiflik, yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona dayanım özelliklerinden ötürü uçaklarda % 70 oranında alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Bu alaşımlardan en çok kullanılanları; yaşlandırma ısı işlemi ile dayanımı artırılan ve düşük yoğunluğunun vermiş olduğu hafiflik avantajıyla birçok mühendislik alaşımına tercih edilen 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarıdır.

Yüksek dayanım özellikleri ile dikkat çeken 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarında görülen korozyonun, tahribatsız muayene yöntemleriyle tespitinde 4 ana yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler; girdap akımı, sıvı penetrant, radyografi ve ultrasonik muayeneleridir. Özellikle alüminyumun iyi elektrik iletken olma özelliğinden faydalanılarak yapılan girdap akımları muayenesi ve kalınlık kontrolleri yapılmasına olanak sağlayan ultrasonik muayene alüminyum korozyonunun tespitinde kullanılan en pratik yöntemlerdendir.

Bu çalışmadaki amaç, literatürde dağınık olarak bulunan ve akademik olarak çalışma konusu bulunmayan uçaklarda kullanılan 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarında görülen korozyon çeşitlerini ve alınan korozyon önlemlerini incelemek ve tahribatsız muayene yöntemleriyle korozyon tespitine ait örnekler göstermektir. Bu amaçla; tez çalışmasının ikinci bölümünde genel hatlarıyla uçak parçaları ele alınacaktır. Üçüncü bölümde, uçaklarda görülen korozyon çeşitleri incelenecek ve dördüncü bölümde korozyonu önlemek için uçak üretici firmaların el kitaplarında belirttikleri uygulamalar anlatılacaktır. Beşinci bölümde korozyonun erken tespitinde kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri incelenecektir. Altıncı bölümde uçaktaki korozyon tespit uygulamalarıyla ilgili tahribatsız muayene deneyleri, uçak bakım el kitaplarında belirtildiği gibi yapılacak ve son bölümde de sonuçlar irdelenecektir.

2. GENEL HATLARIYLA UÇAK PARÇALARI

Bu bölümde uçuşta görevli ana elemanlar tanıtılarak, resimlerle gösterilecektir. Bu sırasıyla gövde, kanat, kuyruk, uçuş kumanda yüzeyleri ve iniş takımları hakkında bilgiler verilecektir.

2.1 Gövde

Uçak gövdesi önden bakıldığında iki bölüme ayrılır. Bunlar üst yarım dilim ve alt yarım dilim şeklinde adlandırılır. Bu yarı dilimler, yaklaşık olarak yolcu ve kargo kompartımanlarını birbirinden ayıran zemin hizasında birleşir. Uçağın ön kesitinden bakılacak olursa, bu zemini oluşturan zemin kirişleri görülebilir. Zemin yapısının üst kısmı, yolcu ve uçuş kompartımanlarını taşımaktadır. Tüm bu kabin bölmesi, ön ve arka ucundan basınç bölmeleri ile kapatılmıştır. Basınç bölmeleri, kabin havası ile ona göre düşük basınçlı olan dış ortam basıncını birbirinden ayırır. Bu bölgede, gövde devamlı sayılabilecek bir şekilde kabini örter. Gövde üzerinde kapı ve pencereler için kesim bölgeleri bulunur. Zemin yapısının altındaysa, alt yarım dilim tarafından kapatılmış kargo kompartımanı bulunur. Uçağın bu bölgesi esasta iki parça olup çeşitli yapısal elemanlarla bölünmüştür. Bu yapısal elemanlar; burun iniş takımı yuvası, merkez yakıt tankı ve ana iniş takımı yuvasıdır. Uçağın arkasında bulunan arka basınç bölmesinin arkasında zemin yapısı devam etmez, bu bölge dikey ve yatay dengeleyici bağlantıları ve yedek güç ünitesi (apu) kompartımanı için ayrılmıştır.

Uçak üzerine etki eden çeşitli yükler; uçuş, yerde duruş, iniş ve hava basıncı etkilerinin toplamı şeklinde gelişir. Temelde uçak gövdesi, kanatlarından kirişlerle desteklenen içi boş bir boruyu andırır. Bu durum gereği, uçuş manevraları gibi çeşitli sebeplerden ötürü oluşan çevirme yükleri, tüm gövdeyi etkiler. Uçağın birinci dereceden önemli kısımları olan merkez yakıt tankı ve ana iniş takımı yuvası bölgeleri özel tasarım özellikleri ile bir araya getirilip devamlı gövde iskelet yapısı oluşturulur. Kanat bağlantılarının bulunduğu bölgede, iskelet devamlılığını sağlamak için omurga kirişi kullanılır. Omurganın üzerinde konumlandırılmış olan merkez yakıt tankı üst bölgesini uçağın kanadı oluşturur. Zemin yapısının da desteklendiği bu kısım, gövde sağlamlığı açısından son derece önemlidir (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006).

Merkez kanat kısmında, kanat gövde bağlantıları için iki adet kiriş kullanılmaktadır. Gövde kaplaması üstteki kirişe bağlı durumdadır. Diğer kirişler ise kanat kutusunu merkez kanat kutusuna bağlar. Ana iniş takımı ve kanat ağırlığı, bu kısımda bulunan iniş takımı destek kirişleri ile gövdeye iletilir. Gövde sacı üzerinde bulunan tüm kapı ve pencerelerden

kaynaklanan açıklıklar özel olarak güçlendirilir. Gövde sacında bulunan bu açıklıklar yüklerin bir kısmının biriktiği ve sürekli zorlamanın bulunduğu bölgelerdir.

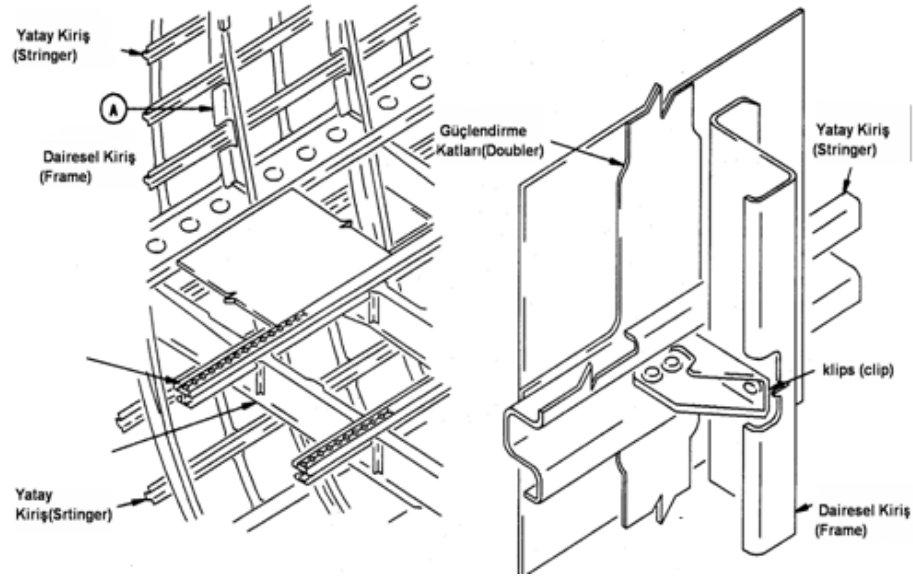
Tüm yapı, yapısal sorunlara karşı emniyetlendirilmiş olup herhangi bir yapısal elemanın arızalanması halinde bu elemanın taşıdığı yükleri üzerine alacak çeşitli yapılar mutlaka bulunmaktadır. Bu elemanlar, sadece bir ya da birkaç yapısal elemanın arızalanması hainde tüm uçağın tehlikeye girmesini önler.

Gövde birbirinden ayrı dört kısımdan oluşur. Öndeki üç kısım, basınçlı bölümün içerisinde ve yolcu, uçuş ve kargo kompartımanlarını kapsar. Ön kısımda bulunan zemin yapısının üzerinde uçuş kompartımanı (kokpit), ön giriş kapısı ve ön servis kapısı bulunur. Zeminin altında ise burun iniş takımı yuvası, burun kompartımanı dış erişim kapağı, merdiven ve elektronik kompartımanı bulunmaktadır. Burun kısmının en önünde hava radarı ve onu kapatan radar kapağı bulunur. Radar kapağı yapısal olmayan bir muhafazadır. Radarın arkasında ise ön basınç bölmesi bulunur. Ön gövde üst tarafında yolcu kompartımanının ön bölgesi oluşur. Alt tarafında da sağ alt kısmında bir kapağı olan ön kargo kompartımanı bulunmaktadır. Arka gövde kısmı, ön gövde kısmı ile arka basınç bölmesi arasındadır. Zemin yapısı üstünde, arka yolcu kompartımanı, acil çıkışlar, arka giriş kapısı ve arka servis kapısı bulunur. Zeminin altında; merkez yakıt tankı, ana iniş takım yuvası ve kapısını bulunduran arka kargo kompartımanı vardır. Kuyruk kısmı ise arka basınç duvarından başlar. Kuyruk kısmının üstünde dört noktadan uçak yapısına bağlanan dikey dengeleyici bulunur. Kuyruğun en arkasına kuyruk konisi yerleştirilmiştir. Yatay dengeleyicinin altı, yangın bölmeleri ile yapıdan ayrılmıştır. Burası yedek güç ünitesi (apu) kompartımanıdır. Yatay dengeleyici uçak yapısına menteşelerle tutturulmuştur. Gövde yapısal elemanları aşağıda anlatılmıştır ve Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3’ te şekillerle gösterilmiştir.

Yatay Kiriş (Stringer): Yatay kirişler, dairesel kiriş yapı elemanlarını birbirine ve gövde sacına bağlayan elemanlardır. Gövde iskelet yapısının şeklini oluşturur. Uçak gövde sacının iç tarafına yerleştirilmiştir. Gövde yapısında oluşan eğme, kesme, gerilme ve kabin basıncından dolayı oluşan yükleri taşımak için tasarlanmış yapı elemanıdır. Yatay kirişler birbirlerine bağlanırlar. Dairesel kirişlerin içinden geçerek perçinler ile birleştirilirler. Dairesel kirişe açısallı şekilli veya “T” şekilli klipsler ile bağlanırlar. Klipsler gövde sacının iç yüzeyinde yatay ve dairesel kirişlere bağlı olarak bulunur. Amaçları basınç yükünü gövde sacından dairesel kirişlere transfer etmektir. Aynı zamanda dairesel kirişlerin sıkıştırma gerilmelerini taşımasına yardımcı olur. Yatay kirişler gövde üzerinde 25 cm arayla bulunurlar (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006).

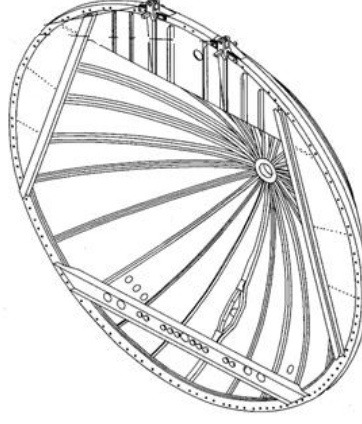
Dairesel Kiriş (Frame): Gövdenin şeklini oluşturan ana yapı elemanlarından biridir. Yatay kirişlerin boylarının kısa tutulmasını sağlar. Yapısal dengesizliği önlerler. Gövde yapısı üzerinde oluşan kesme ve gerilme yüklerini taşırlar. Gövde yapısında 50 cm aralıklarla dizilmişlerdir.

Güçlendirme Katları: Bu yapı elemanları, güçlendirme gereken yerlerde pencere ve kapı açıklıklarının etrafında kullanılan güçlendirme katlarıdır. Aynı zamanda tamir yapılan yüzeylerde de kullanılan gövde tamir katları (gövde yamaları) da bu şekilde adlandırılır.



Şekil 2.1 Yatay, daireselel kiriş ve bağlantıları (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

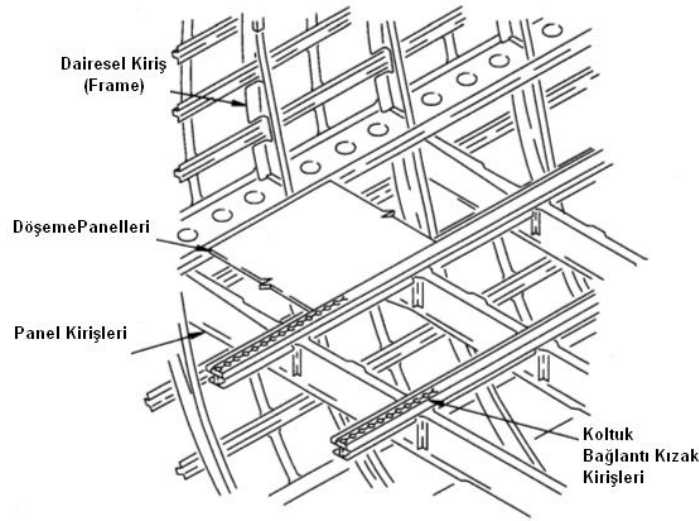
Basınç Bölmeleri: Basınç bölmeleri daireselel kirişlere benzer fakat daha güçlü yapılardır. Gövde üzerinde belli yerlerde yerleşmişlerdir. Gövdede oluşan farklı yükleri taşırlar ve dağıtırlar. Gövde üzerinde kanat bağlantılarının olduğu bölgede, iniş takımları ve kuyruk bölümü yüzeyinde bulunurlar. Bu bölgeler gövde üzerinde yüksek yoğunluklu kuvvetlerin bulunduğu kısımlardır. Gövde yapısı üzerindeki büyük gerilimlere maruz kalırlar. Ayrıca gövdenin ön ve arka kısmında, basınç bölmeleri denilen basınca karşı kurulmuş farklı yapıda bölmeler bulunur. Ön ve arka basınç bölmeleri duvar şeklinde örülmüş yapılardır. Gövde yapısını bir basınçlı kaba benzetecek olursak basınç bölmeleri bu tüpü kapatan ve gövdenin basınçlandırılmasını yani uçak yapısında basınçlı bölge ile basınçsız bölgeleri ayıran bir yapıdır. Ön ve arka basınç bölmeleri arasında kalan gövde yapısı basınçlandırılmış kabin yapısını oluşturur. Basınç bölmelerinden sonra gövdenin basınçsız bölgeleri bulunur. Şekil 2.2' de arka basınç bölmeleri görülmektedir (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006).



Şekil 2.2 Arka basınç bölmesi (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

Gövde Yüzeyi: Gövde yüzeyi, gövdenin dış şeklini meydana getirir. Gövde sacı ve güçlendirme yapıları, gövdenin en uzun birimleridir. Yatay ve dairesel kirişlerin düzgün aralıklarla dizildiği gibi yapıyı sarar ve aynı zamanda ana yükleri taşır. Ayrıca gövde kesitini oluşturur. Gövde yüzeyi, yapı üzerindeki burulma ve buruşmayı önlemeye yardım eden yapıdır. Gövde yüzeyi, kladlanmış alüminyum, kromik asit ile anotlanarak işlem görmüş alüminyum veya korozyonu önlemek için kimyasal dönüşüm kaplamaları ile işlem görmüş alüminyumdan oluşur.

Döşeme Yapıları: Döşeme yapıları kabin zeminini oluşturan yapılardır. Genellikle kabin ile kargo bölümlerini birbirinden ayıran yapıyı oluşturur. Yatay olarak uzanan ve gövde sacına birleşik yapılardır. Dairesel kirişlere bağlanarak basınçtan doğan yükleri taşırlar. Kabinin basınçlandırılmasını sağlarlar. Koltuk bağlantı kızakları ve zemin panellerinin normal yüklerini üzerinde taşıyan yapıdır. Gövdenin her iki tarafında bulunan, döşeme yapıları ile yükselen ve kabin basınç yüklerinin dağıtılmasında yol sağlayan bağlantı elemanları bulunur. Bu elemanlar döşeme yapıları, dairesel ve yatay kirişlere bağlanmış elemanlardır (Meral, 2009).



Şekil 2.3 Döşeme yapıları (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

Omurga Kirişi (Keel Beam): Omurga Kirişi yapısı gövdenin merkez kanat kısmında bulunur. Maksimum eğilmenin meydana geldiği iniş takım yuvasını destekler. İniş takımlarının yuvasına toplanabilmesi için mümkün olan yapıyı da oluşturur. Gövde yapısı içindeki en büyük kiriş yapısıdır. İniş takım yuvasında görülebilir.

2.1.1 Gövde Yapısına Etki Eden Kuvvetler

Gövde yapısına gerilim, çekme, sıkıştırma, burulma, eğilme ve kesme kuvvetleri etki etmektedir. Bu kuvvetlerle ilgili bilgiler aşağıda anlatılmıştır ve Şekil 2.4' te gösterilmiştir.

Gerilim: Gerilim, bir kuvvetin yönüne ve şekline bağlı olarak bir cisme etki etmesiyle, cisim üzerinde farklı şekil değişiklikleri oluşturmaya zorlamasıdır. Uçak gövde yapısı üzerine etkiyen farklı kuvvetler vardır. Gövdeye etkiyen bu kuvvetler yapı üzerinde farklı gerilimler meydana getirir. Bu kuvvetler genel olarak; yerçekimi etkisiyle uçağın kendi ağırlığından kaynaklanan ağırlık kuvveti (G), uçuş için gerekli olan ve aerodinamik yüzeyler ile meydana getirilen kaldırma kuvveti (L), motorlar tarafından meydana getirilen itiş kuvveti (T) ve itiş kuvvetine zıt yönde oluşan sürüklenme kuvvetidir (D). Bu dört kuvvet için ağırlık kuvveti (G) ile kaldırma kuvveti (L) ve itiş kuvveti (T) ile sürüklenme kuvveti (D) birbirlerine zıt yönde oluşur. Ayrıca uçak gövde yapısı üzerinde basınçlandırmadan dolayı gövde içinden dışarıya doğru oluşan basınç ile uçak üzerine uçuş anında etki eden atmosferik kuvvetler (rüzgâr ve diğer etkenler dolayısıyla) mevcuttur. Tüm bu kuvvetlerin etkisiyle uçak gövde yapısı

üzerinde oluşan farklı zorlamalar vardır. Bunlar; çekme, sıkıştırma, burulma, eğilme ve kesme kuvvetleri olarak tarif edilir (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006).

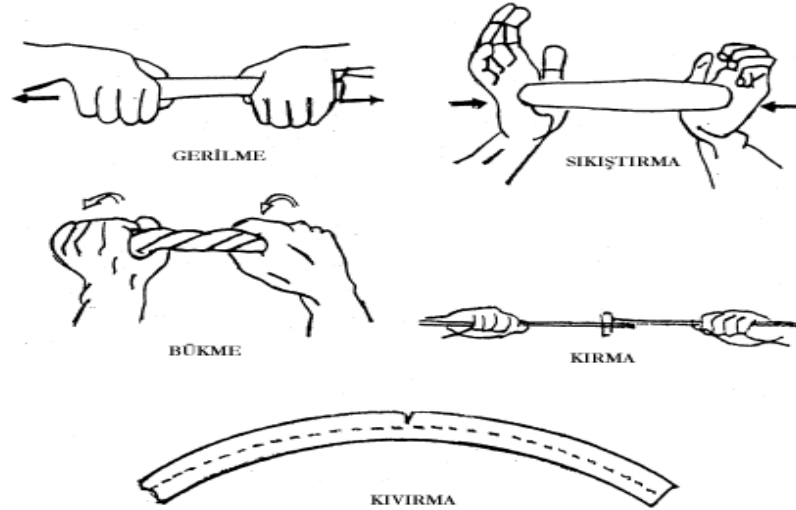
Çekme Kuvveti: Çekme kuvveti, bir cismin iki ucundan birbirine zıt yönde çekilmesi oluşan zorlamadır.

Sıkıştırma Kuvveti: Sıkıştırma kuvveti, bir cismin iki ucundan birbirine zıt yönde basılması ile meydana gelir.

Burulma Kuvveti: Burulma kuvveti, bir cismin iki farklı ucundan kendi eksenine etrafında birbirine zıt yönde dönmeye zorlanması ile oluşur. Uçak ileri hareket ederken motorların bir tarafa dönmeye zorlaması ile oluşur.

Eğilme Kuvveti: Eğilme kuvveti, cismin iki ucundan uygulanan kuvvetler ile eğilmeye zorlanmasıdır. Eğilme geriliminde iki farklı gerilim meydana gelir. Eğilen cismin bir tarafında çekme gerilimi oluşurken, diğer tarafında basma gerilimi meydana gelir.

Kesme Kuvveti: Kesme gerilimi, cismin bir tabakasının üzerindeki tabakanın kayması ile oluşan bir kırılma kuvvetidir. Genellikle perçin, cıvata ve vidalarda meydana gelen bir zorlamadır. Bu tür bağlantı elemanları ile yapılan birleştirmelerde, birleştirilen parçaların zıt yönde kayması ile meydana gelir. (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)



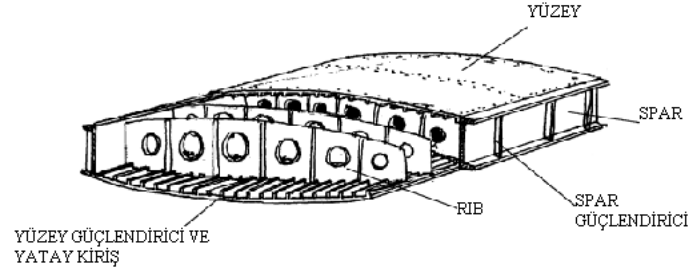
Şekil 2.4 Gövde yapısına etki eden kuvvetler (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

2.2 Kanat

Kanat çeşitleri yapılarına göre; tek sparlı, çok sparlı ve kutu kirişli olmak üzere üçe ayrılır. Yaygın bir uygulama alanı bulunan kutu kirişli kanat tipi, iki spar arasında riblerle (kaburga) oluşturulan bölmelerle donatılmıştır. Kanat iç yüzeyi, yatay kiriş ya da takviye edici elemanlarla desteklenmiştir. Gelişmiş kutu kirişli kanatlar, kanat sacı üzerinde takviye edici elemanlar ile birlikte talaşlı imalat yöntemleri ile imal edilir.

Kanatlar, yapılarının yanı sıra uçak gövdesine bağlanışına göre, yarı iç bağlantı kirişli ve iç bağlantı kirişli olarak iki gruba ayrılır. Yarı iç bağlantı kirişli bağlantılarda kanat hem kanat içinden yapısal elemanları ile hem de kanat dışından bir dirsek kirişi ile uçak yapısına tutturulmuştur. Bu dirsek kirişine kanat desteği adı verilir. Destek elemanlı kanatlar genellikle küçük ve hafif uçaklarda veya üstten kanatlı bazı uçaklarda tercih edilir.

İç bağlantı kirişli kanatların bağlantısında dış dirsek kirişi kullanılmaz. Bu kanatlar gövdeye üstten, ortadan veya alttan bağlanabilir. Kanat üzerinde oluşan tüm yükler, kanat içi yapısal elemanlar ve kanat sacı tarafından taşınır. Temel kanat yapısı Şekil 2.5’te gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Temel kanat yapısı (Meral, 2009)

Kanatlar uçak ağırlığı, uçuş hızı, tırmanış hızı gibi faktörler göz önünde bulundurularak imal edilirler. Bu nedenle her uçak tipi için farklı bir kanat yapı ve şekli bulunmaktadır. Ancak kanat şekilleri farklı olmakla birlikte temel yapı elemanları aynıdır. Bunlar; spar (uçak kanadı ana kirişi) ve riblerdir. Bu yapı elemanları aşağıda açıklanmıştır.

Spar: İçyapıyı oluşturan ve temel yük taşıyıcı eleman sparlardır. Uçak tipine göre kanat yapısında bir, iki veya üç adet bulunabilir. Küçük uçaklarda ahşap veya alüminyum, daha büyük uçaklarda ise çelik alaşımlı gelişmiş malzemeler kullanılır. Sparlar, riblere bağlıdır.

Rib: Ribler, kanadın dış bombelerine şekil verir, onu destekler. Ribler de kanat boyunca uzanan yatay kirişlere bağlıdır. Yük transferi, yüzey kaplamasından yatay kirişlere ve riblere oradan sparlara ve son olarak da merkez kanat kutusuna doğru gerçekleşir (Meral, 2009).

2.3 Kuyruk

Kuyruk; yatay ve dikey dengeleyiciler ile kuyruk konisi kısımlarından oluşmaktadır. Kuyruk kısmına ait Şekil 2.6' da gösterilmiştir.

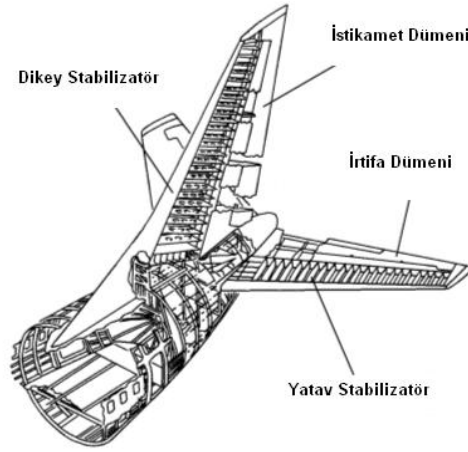
Yatay Dengeleyici: Uçağın kuyruk kısmını dengeleyiciler ve kuyruk konisi oluşturur. Sağ ve sol yatay dengeleyiciler de merkez kısmından ayarlanabilir bir kafes yapısına sabitlenmiştir. Hareket edebilen bu kısım arka basınç bölmesine sabitlenmiştir. Yatay stabilizatörlerin firar kenarlarında kumanda yüzeyi bağlantıları vardır. Yatay dengeleyici; sağ ve sol kısımlardan ve merkez kafes yapısından oluşur. Dengeleyici, arka spardan (uçak kanadının arka kirişi) menteşelidir ve hareket ettirilebilir. Ön spar, hücum kenarını taşıırken; arka spar da firar kenarını ve irtifa dümeni menteşelerini üzerinde bulundurur.

Yatay dengeleyici dış tarafında bulunan dış sac, ribler, sparlar ve merkez dengeleyici kafes kirişleri temel yapıyı oluşturur. Dengeleyicilere ait kontrol panelleri dengeleyiciye sadece sparlar üzerinden bağlanır. Bu bağlantıda başka bir yapısal bağlantı parçası kullanılmamaktadır. Arka sparın arka yüzü, irtifa dümeni menteşeleri ile birleşik olan ribler tarafından oluşturulur. İrtifa dümeni bağlantılarının bulunduğu bu bölge riblere bağlanan panellerle kapatılır. Bu panellerin bazıları bakım amaçları için sökülebilir niteliktedir.

Dikey Dengeleyici: Uçağın kuyruk kısmında bulunan dikey stabilizatör ön ve arka sparı birbirine bağlayan kaplama sacından ve riblerden oluşmuş gövdeye bağlı bir yapıdır. Dikey stabilizatörün firar kenarında kumanda yüzeyi bağlantıları bulunmaktadır.

Dikey dengeleyici gövdeden sökülebilir özelliktedir. Dengeleyicinin önünde bulunan hücum kenarı da temel yapıdan ayrılabilir. Dikey dengeleyicinin, alt ön kısmında bulunan sırt kanatçığı ayrı bir ünite olarak yapıdan ayrılabilir. Ön ve arka sparlar, ribler ve kaplama dikey dengeleyicinin ana yapısını meydana getirir. Dengeleyicinin gövdeye olan bağlantısı, ön ve arka sparlarda bulunan bağlantı elemanlarıyla yapılır. Dikey dengeleyici arka sparının arkası istikamet dümenini destekleyen ribler tarafından oluşturulur.

Kuyruk Konisi: Kuyruk konisinin çapı gövdeye göre daha dar bir şekildedir. Bu bölgenin yapısı da uçağın gövde yapısıyla aynıdır. Kuyruk konisinin en arkasına bazı uçaklarda yedek güç ünitesi (apu) yerleştirilmiştir ve alt tarafında yedek güç ünitesi ulaşım kapağı bulunmaktadır. Kuyruk konisinin üzerinde dikey ve yatay dengeleyici bağlantıları bulunmaktadır. Bu kısım uçaktaki basınçlı bölmeler ile ayrılmıştır (Meral, 2009).



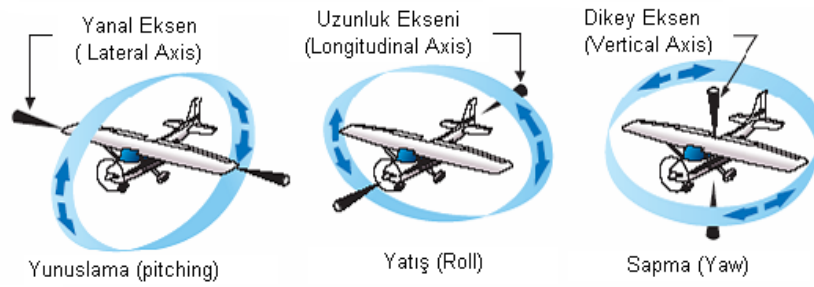
Şekil 2.6 Kuyruk Kısım (Meral, 2009)

2.4 Uçuş Kumanda Yüzeyleri

Bir uçak 3 eksen üzerinde hareket etmektedir. Bu eksenler yanal, uzunlamasına ve dikey eksenlerdir. Bu hareketler şekil 2.7’ de gösterilmektedir. Kumanda yüzeylerinin yapısı ve boyutları uçağın modeli ve boyutlarına göre değişir.

Uçağın hareketlerini yapabilmesi için kumandalara ihtiyaç vardır. Bu kumandalar;

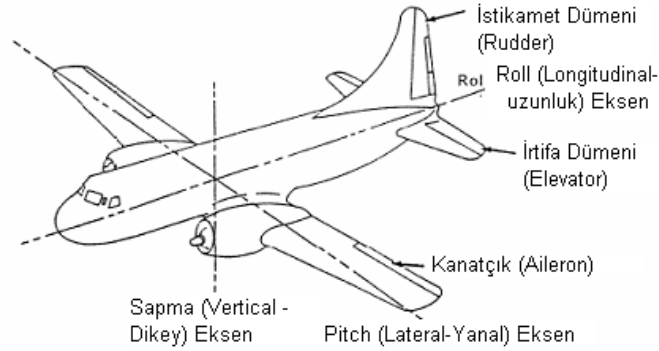
- Ana kumandalar
- Yardımcı kumandalar olmak üzere ikiye ayrılırlar



Şekil 2.7 Uçaklarda eksenler ve hareketler (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

2.4.1 Ana Uçuş Kumanda Yüzeyleri

Ana uçuş kumanda yüzeyleri kanatçık (aileron), irtifa dümeni (elevator) ve istikamet dümenidir (rudder). Şekil 2.8’ de bu yüzeyler görülmektedir.



Şekil 2.8 Bir uçağın ana uçuş kumanda yüzeyleri (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

Kanatçık: Kanatçıklar kanat ucunda bulunan, arka spara menteşelenmiş ana uçuş kumanda yüzeylerinden biridir. Kanatçıklar, hücum ve firar kenarlarındaki kırışlar ve bu kırışlar arasındaki yapıdan oluşur. Kanatçıklar bal peteği grafit/epoksi malzemeden yapılmıştır. Kanatçıkların görevi uçağa yatış yaptırmaktır. Yatış hareketi kanatların yere paralel olmaması durumudur. Bu durumda uçak hangi kanadı aşağıda ise o tarafa doğru dönmeye başlar. Sağ ve sol kanat ucunda birer tane kanatçık vardır. Ancak büyük jet yolcu ve nakliyat uçaklarında her kanatta ikişer adettir. Bu uçaklar belli bir hızdan sonra kanat uçlarındaki kanatçıklar yerine gövdeye yakın olan kanatçıkları kullanırlar. Kanatçıklar birbirlerine göre ters çalışırlar. Yani sağ kanatçık yukarı kalkarsa, sol kanatçık aşağı iner. Yatış sırasında yukarı kalkan kanatçık, bulunduğu kanatın hava akımını bozarak kaldırma kuvvetini azaltır.

İrtifa dümeni: İrtifa dümeninin temel yapısı iç kısımda çift sparlı, dış tarafta tek sparlı olarak oluşturulmuştur. Tüm yüzey riblerle güçlendirilmiştir. İrtifa dümeni menteşeleri, yatay dengeleyici bağlantı ribleri ile irtifa dümeni ön sparı arasındadır. İrtifa dümeninin görevi uçağa yunuslama hareketi yaptırmaktır. Yunuslama, uçağın burnunu kuyruğa göre yukarıya ya da aşağıya getirmedir. Böylece uçak irtifa kazanır ya da kaybeder. Burun aşağıda ise süzülme ya da alçalma, burun yukarıda ise tırmanış gerçekleşir. Kuyruğun yatay kısmında, bir sabit kısım bir de hareketli kısım vardır. Sabit kısma yatay dengeleyici denir. Hareketli kısım yukarı çekilirse burun kalkar, uçak tırmanmaya başlar. Aşağı çekilirse burun aşağı iner, uçak irtifa kaybeder (Kroes vd., 1993).

İstikamet Dümeni: İstikamet dümeni bir ön spardan, riblerden ve kaplama sacından oluşmuştur. İstikamet dümeni hücum kenarında, dikey dengeleyici arkasında istikamet dümeni burun kısmı bulunur. Uçağın dikey eksen üzerinde sağa ya da sola doğru döndürülmesini yani burnun sağa ya da sola döndürülmesine sapma denir. Bunun için kuyruktaki hareketli dik istikamet dümeni kullanılır. Kokpitte pedallara basılarak istikamet dümeni hareket ettirilir.

2.4.2 Yardımcı Uçuş Kumandaları ve Diğer Elemanlar

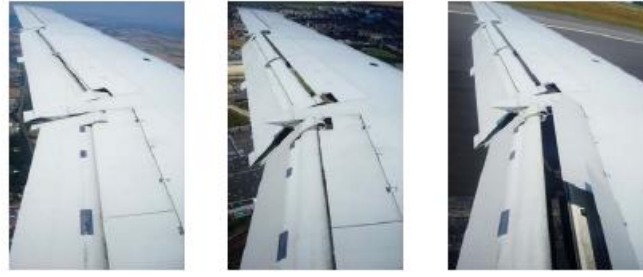
Bu bölümde yardımcı uçuş kumanda yüzeylerinden slat, flap ve spoiler hakkında bilgiler verilecektir.

Slat: Kanat hücum kenarının ileriye doğru uzamasını sağlayan parçalara slat denir. Böylece kanat kamburluğu artarak kaldırma kuvveti de artar. Düşük hızlarda uçabilmeyi sağlar. Şekil 2.9’ da yolcu uçağının açılmış slatları görülmektedir.



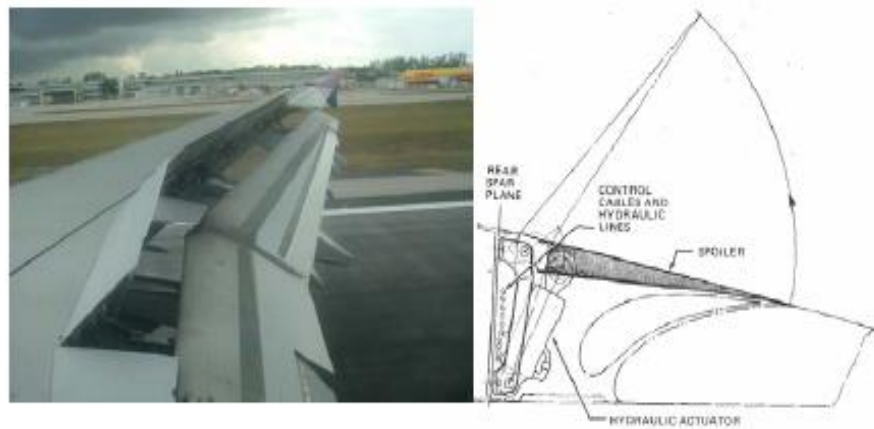
Şekil 2.9 Bir yolcu uçağının açılmış haldeki slatların alttan görünüşü (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

Flap: Flap kanat alanını ve üst kısmın kavisini artıran böylece kaldırma kuvvetinin de artmasını sağlayan kısımlardır. Ayrıca süzülüşlerde geri sürüklenme kuvvetinin artmasını sağlayarak uçağı yavaşlatır. Açılma miktarı açılarla ifade edilir. Örneğin ”Flap 10° açık “denir. Yavaş uçuşlarda, kalkış ve inişlerde flap kullanılır. Şekil 2.10’ da flapların uçuş anındaki kapalı ve açık pozisyonları görülmektedir (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006).



Şekil 2.10 Flaplar tamamen kapalı, sadece flaplar açık, flaplar ve spoilerler birlikte açık durumları (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

Spoiler: Uçaklarda geri sürüklenme kuvvetini arttırmak için kullanılan yardımcı kumanda elemanlarından biri spoilerdir (bozucu). Uçakların çeşitlerine göre sayıları değişmektedir. Kanatların üzerinde bulunurlar ve kapalı konumdayken kanadın üst dış kabuğunun bir kısmını oluştururlar. Açıldıklarında ise hava akımının kanadın üst kısmında akışını bozarak geri sürüklenme kuvvetini arttırırlar. Spoilerlerin diğer adı da kaldırma damperidir. Şekil 2.11’ deki inişi takiben açılan spoilerler görülmektedir (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006).



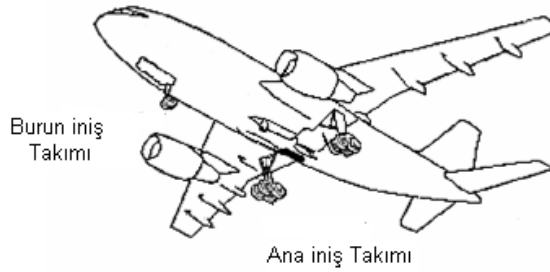
Şekil 2.11 İnişi takiben açılan spoilerler (MEGEP, uçak gövde yapısı, 2006)

2.5 İniş Takımları

Uçakların iniş, kalkış ve yerdeki hareketlerini gerçekleştirebilmeleri için üzerinde durabildikleri yapısal elemanlara iniş takımları adı verilir. İniş takımları, uçakların yerde hareket etmesini sağlayan ve pistte tekerler açıldığında uçağın maruz kaldığı yükleri azaltan yapılardır. Genellikle, iniş takımları üç adet tekerlekten meydana gelmektedir. Bu

tekerleklerden iki tanesi sağ ve sol ana dikme olmak üzere gövdede, diğer tekerlek ise ön dikme veya arka dikme olmak üzere uçağın önünde veya arkasındadır.

İniş takımları; “kuyruktan tekerlekli”, “burundan tekerlekli” ve “çok tekerlekli” olmak üzere üç tipe ayrılır. Bunlardan burundan tekerlekli olanlar, günümüz yolcu uçaklarında sıkça kullanılan iniş takımlarıdır. Ayrıca iniş takımları; sabit iniş takımları ve toplanabilen iniş takımları olmak üzere iki gruba ayrılır. Sabit iniş takımlı uçaklar, düşük performanslı ve düşük maliyetlidir, ayrıca sistemleri de daha basittir. Toplanabilen iniş takımlarına sahip olan uçaklarda, iniş takımları, uçağın tasarımına göre gövde veya kanat içine toplanabilir. Bu tip uçakların performansı yüksek olduğu gibi maliyetleri de bir hayli yüksektir. Şekil 2.12’ de uçağın iniş takımları görülmektedir (Kroes vd., 1993).



Şekil 2.12 Uçakta iniş takımları (Meral, 2009)

İniş takımlarının yaptıkları görevler aşağıda detaylı biçimde aktarılmıştır;

Yerde Hareket: Uçakların yer ile teması tekerlekler, su ile teması da kayıklar veya uçağın gövde yapısı ile sağlanır. Ancak diğer taşıtlardan farklı olarak, uçakların yerde hareketi ana tepki kaynağından, yani uçuş için kullanılan güçten elde edilir. Pervaneli uçaklar için pervanenin çekme kuvvetinden, jet uçaklarında ise doğrudan doğruya motorun tepkisinden faydalanılır. Uçağın yerde hareketi ancak durduğu yerden kalkış yapmak üzere pist başına kadar gitmesi ve inişten sonra duracağı yere kadar gelmesinden ibarettir. Bakım ve yenilenme için uçak meydanı ile bakım hangarı arasındaki geliş gidişler için uçakların traktörle çekilmeleri en ekonomik ve emniyetli yoldur.

Uçağın yerde hareket etmesi ile ilgili en önemli konu yön verebilme yeteneğidir. Uçakların hem hafif, hem de yerdeki hareketlerde yeteri kadar dengeli olabilmeleri için üç tekerlekli iniş takımı kullanılmaktadır. Bunlardan ikisi sağ ve sol taraflarda olmak üzere ana iniş takımları, biride uçağın burnunda veya kuyruk kısmında olan yardımcı iniş takımıdır. Ana iniş takımları

esas yükleri taşımağa, yardımcı iniş takımları ise yerde uçağa yön vermeğe yaramakta ayrıca iniş yüklerini taşımakta ana iniş takımına yardım etmektedir.

Kalkış: Hızlanma, yerden kesilme ve tırmanışa geçmek için burun yukarı dönerek yerden uzaklaşmaya başlamasıdır. Günümüzde kullanılan jet uçaklarında kalkıştan sonra uçağın yüksek ivmesi, iniş takımları dışarıda olarak uçabilecek maksimum hıza çabuk erişilmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple iniş takımlarından aranan diğer bir nitelikte içeri alınma süresinin yeteri kadar kısa olmasıdır.

İniş: İniş yapan bir uçak yere değdiği zaman hem yatay hem de düşey hız bileşenlerinin kinetik enerjisini taşımaktadır. İnişte uçak pistin başına doğru belirli bir süzülüş açısı ile alçalma yapar. Pilot uçağın hızını uçak tipine ve iniş şartlarına uygun olarak, minimum hızın %5 ile 10 kadar üstünde tutar ve yere temastan evvel pilot uçağı yere paralel uçuş yapacak şekilde düzeltir ve mümkün olan en düşük düşey hız ile tekerlekleri yere değdirir. Bundan sonra pilot aerodinamik, motor ve tekerlek frenlerini kullanarak uçakla yerde emniyetle taksi yapacağı hıza düşürür ve uçağı durdurur. Uçak yere değdikten durana kadar olan, yatay enerji aerodinamik, motor ve tekerlekler tarafından ısı enerjisine çevrilerek yutulurken, yere değdiği andaki düşey enerji ise iniş takımlarının yayları, amortisörleri ve tekerlek tarafından ısı enerjisine dönüştürülerek yutulur (Kroes vd., 1993).

3. ALÜMİNYUMUN KOROZYONU ve ÇEŞİTLERİ

Korozyon; metalin görünümünün, yüzey özelliklerinin veya mekanik özelliklerinin çevresel koşulların etkisi altında yavaş veya hızlı ilerleyerek bozulmasıdır. Bahsedilen çevre koşulları; atmosfer, su, deniz suyu, çeşitli çözeltiler, organik ortam ve benzerleridir. Korozyon olgusu metallerin bulunuşundan beri bilinmektedir. Korozyon ile ilgili çalışmalar 19. yüzyılda başlamış ve korozyonun elektrokimyasal teorisi 1830 yılında geliştirilmiştir. Alüminyum üzerine bilinen ilk deneyler ise 1890 yılı itibariyle alüminyumun yaygınlaşmasıyla başlamıştır. Bu tarihlerde ayrıca alüminyumun yağmur suyuna ve bira, çay, kahve gibi çeşitli içeceklere dayanımı belirlenmiştir.

3.1 Alüminyum Korozyonun Elektrokimyasal Temeli

Metallerin korozyonu saf metal veya alaşımının sulu bir faz ile elektrokimyasal reaksiyonundan kaynaklanmaktadır. Korozyon, malzemenin atomik yapısı ile ilgili olan karmaşık elektrokimyasal reaksiyonlar ile ilerlemektedir. Malzemeler, iyon ve elektron adı verilen elektrik yük taşıyan temel parçacıklardan ve bu temel parçacıklardan oluşan nötr atomlar ve moleküllerden oluşur. Metallerde atomların elektriksel ortamı serbest elektronlardan oluşur ve bu elektronlar metal içerisinde dolaşabilme kabiliyetindedirler.

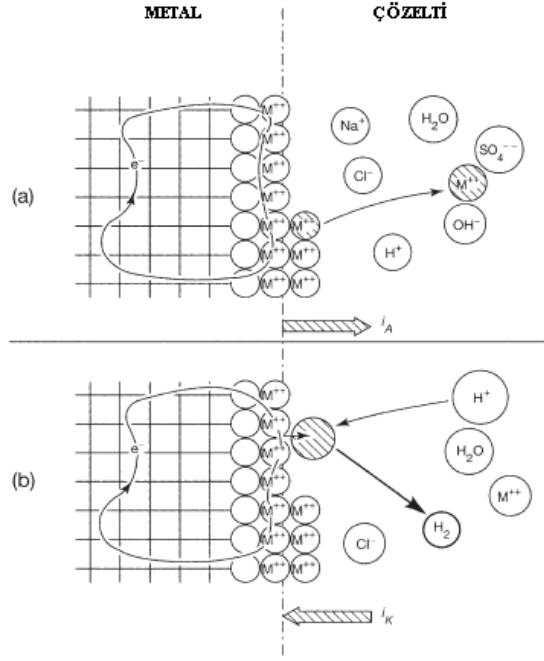
Çözeltilerde aşağıdaki haller bulunabilir;

- Pozitif iyonlar(katyonlar) ve negatif iyonlar(anyonlar)
- Su gibi nötr moleküller ve çeşitli ayrışmamış bileşikler

Metal ve su arayüzeyinde elektrik yüklerin transferi elektrokimyasal reaksiyona neden olur.

- Metal atom okside olur ve oluşan M^{n+} iyonları sulu faza geçer.
- Sulu fazda iyonlar ve moleküller indirgenir. Metalden elektron alarak diğer kimyasal türlere dönüşürler.

Metal- çözeltili arayüzeyinde reaksiyona giren elektronlar çözeltiliye nüfuz etmez. Şekil 3.1' de metal-çözeltili arayüzeyindeki reaksiyonlar gösterilmiştir (Vargel, 2004).



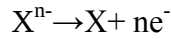
Şekil 3.1 Metal-çözelti arayüzeyindeki elektrokimyasal reaksiyonlar (Vargel, 2004)

Metal korozyonu elektriksel olarak dengede iki reaksiyonun sonucu gerçekleşir;

- Elektron kaybı ile sonuçlanan metal oksidasyonu aşağıdaki temel reaksiyona göre olur;



- Sulu çözeltideki iyonun indirgenmesi aşağıdaki temel reaksiyona göre olur;

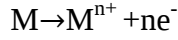


- Oksidasyon ve indirgenme reaksiyonları metal yüzeyinin açık bölgelerinde olur. Oksidasyonun gerçekleştiği yüzey anot olarak adlandırılır. Negatif yükler taşır ve (-) işareti ile temsil edilir. İndirgenme katot denilen yüzeyde gerçekleşir ve (+) işareti ile temsil edilir.

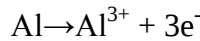
Elektrokimyasal reaksiyonların oluşabilmesi için X^- iyonlarının indirgenerek metal yüzeyine ulaşması gerekir ya da tam tersi M^{n+} katyonları metal yüzeyini terk etmelidir. Çözelti içerisindeki oksijenin difüzyon direnci gibi çeşitli olgular iyonların hareketini engelleme ya da anottaki oksidasyonu, katottaki redüksiyonu geciktirme eğilimindedir. Çünkü elektrot yüzeyi korozyon ürünlerinin ya da inhibitörlerin birikiminden kaynaklanan değişikliğe uğrar. Polarizasyon olarak adlandırılan elektrokimyasal reaksiyonlardaki bu gecikmenin anlamı termodinamik olarak reaksiyonların artık tersinir olmadığıdır ve korozyon hızının

azalacağıdır. Diğer yandan elektrot reaksiyonları aşağıdaki denge reaksiyonu kalıcı olarak sağa tarafa yönlendiğinde artabilir. Bu olay sürekli çözünme sağlar (Vargel, 2004).

Örneğin, dış akım ya da güçlü dağılayıcı ajanlar etkisindeyken. Bu olaydan mümkün mertebe kaçınmaya çalışılır (Vargel, 2004).



Alüminyumun sulu ortamda korozyonundaki temel reaksiyonlar birçok çalışmanın konusu olmuştur. Basitleştirilmiş ifadelerle alüminyumun sudaki oksidasyonu aşağıdaki reaksiyona göre gerçekleşir;

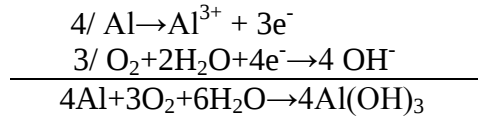


Bu reaksiyon çözeltideki iyonların açığa çıkan elektronları kapmasıyla gerçekleşen indirgenme reaksiyonuyla dengelenir. Taze su, deniz suyu ve nem gibi nötr pH' ya yakın sulu ortamlarda bilinen indirgenme reaksiyonu aşağıdaki gibidir;

Suda çözünen oksijenin redüksiyonu:

- Alkali ya da nötr ortamda: $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4 OH^{-}$
- Alkali ya da nötr ortamda: $H_2O + 2e^{-} \rightarrow 1/2 H_2 + OH^{-}$

Sulu ortamda alüminyumun korozyonu, oksidasyon ve redüksiyon elektrokimyasal reaksiyonlarının toplamıdır.



Alüminyumun korozyonu suda çözülmeyen ve korozyon oyukları içerisinde beyaz jelimsi ince parçacıklar şeklinde çökelen $Al(OH)_3$ oluşumuyla sonlanır. Yeni oluşmuş alüminyum hidroksit büyük oranda su içerir. Korozyon oyuklarını kaplayan jelimsi beyaz alüminyum hidroksitin havayla temasından birkaç hafta sonra sulu kısım uçar ve alüminyum hidroksit beyaz toz halinde gözükür. Kuru ya da ıslak halde alüminyum hidroksit, metal yüzeyine yapışır (Vargel, 2004).

Elektronegatif potansiyele sahip metaller oksitlenmeye meyillidir ve sulu ortamda korozyona uğrarlar. Bu istek, potansiyelin daha elektronegatif hale gelmesiyle artar. Magnezyumun nem etkisi altında kurşuna göre daha fazla bozulacağı buradan tahmin edilir. Alüminyumun standart elektrot potansiyeli -1.66 V ile oldukça negatiftir. Bu yüzden alüminyum nemin varlığı halinde oldukça kararsız olması beklenir ancak alüminyum kaplayan doğal oksit filmi termodinamik öngörüü değiştirir ki alüminyum pasif bir metaldir. Standart elektrot potansiyeli termodinamik bir parametredir ve sadece verilen reaksiyonun mümkün olup olmadığını açıklar. Reaksiyonun kinetiği ile ilgili bilgi vermez. Standart potansiyel skalanın iki metalin birbirine göre durumlarını vermesinden dolayı iki metal temastayken hangisinin anot olarak davranacağı bilinir. Her zaman daha fazla elektronegatif metal çözünür. Çizelge 3.1’ de standart elektrot potansiyelleri görülmektedir.

Çizelge 3.1 Standart elektrot potansiyelleri (Vargel, 2004)

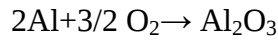
Reaksiyon	Potansiyel (V)
$\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^{3+} + 3\text{e}^-$	+1.42
$\text{Pt} \rightleftharpoons \text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^-$	+1.20
$\text{Pd} \rightleftharpoons \text{Pd}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0.83
$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0.80
$2\text{Hg} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^-$	+0.80
$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	+0.34
$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	0
$\text{Pb} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.12
$\text{Sn} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.14
$\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.23
$\text{Co} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.27
$\text{Cd} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.40
$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.44
$\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	-0.71
$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0.76
$\text{Ti} \rightleftharpoons \text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^-$	-1.63
$\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	-1.66
$\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	-2.38
$\text{Na} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{e}^-$	-2.71

Alüminyumun elektrokimyasal davranışını üzerindeki doğal oksit film etkiler. Bu film alüminyumun korozyon dayancını etkiler. Alüminyumun ölçülen potansiyeli sadece metalin değil, oksit tabaka ve metalin karışık potansiyelidir. Su gibi oksitleyen ortamlarda oksit tabanın 1 ms veya daha kısa bir sürede oluşmasından ötürü metalden ayrı düşünülemez.

Alüminyumun davranışını tahmin etmede oyuklanma potansiyeli çelikteki gibi aynı öneme sahip değildir. Çelikte oyuklanma potansiyelinde belirlendiği üzere başlangıç aşamasında kontrol altına alınır. Alüminyumun matrise göre katodik potansiyelli intermetalik fazların çevresinde çok küçük ve çok sayıda yüzeysel oyuk başlangıcı her zaman olacaktır.

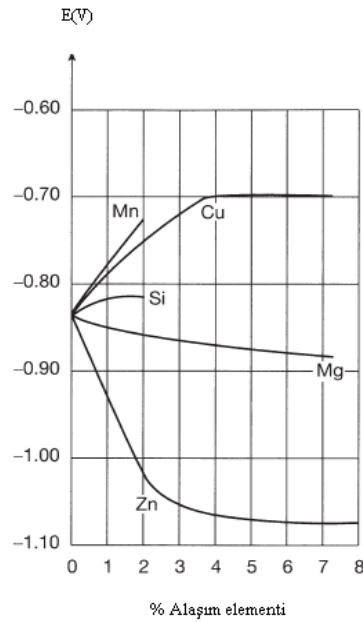
Alüminyumda korozyon nötr ortama yakın koşullarda oyuklanma olarak görülür (Vargel, 2004).

Alüminyum doğal olarak pasiftir ve bu yüzden pasifleştirmeye ihtiyaç duymazlar. Bir metal kimyasal işleme maruz kalıyorsa ya da alaşım elementi içeriyorsa pasifleştirilebilir. Bu işlem alüminyuma uygulanmaz çünkü her zaman doğal oksit film ile kaplıdır. Yüksek elektronegatifliğinden dolayı alüminyum en kolay okside olan metallere dendir. Fakat özellikle su, hava gibi oksitleyici atmosferlerde oldukça kararlı davranır. Bunun nedeni alüminyumun tüm diğer pasif metaller gibi sürekli ve homojen doğal oksit filmi ile kaplı olmasındandır. Bu film oksitleyici atmosferlerde kendiliğinden oluşan Al_2O_3 tür ve aşağıdaki reaksiyona göre oluşur;



3.1.1 Alüminyumun Çözünme Potansiyeli

Alaşım elementleri alüminyumun potansiyelini her iki yönde de değiştirebilir. Bir alaşımın çözünme potansiyeli metal yüzeyinin büyük bölümü ile kararlaştırılır. Alüminyumun çözünme potansiyeline alaşım elementlerinin etkisi Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Alüminyumun çözünme potansiyeline alaşım elementlerinin etkisi (Vargel, 2004)

Çinko potansiyeli fazlaca düşürür bu yüzden 7xxx serisi alaşımların elektronegatif potansiyeli en fazladır. Bakır içeren 2xxx serisi alaşımlar ise en az elektronegatif potansiyele sahiptir. En bilindik alüminyum alaşımlarının çözünme potansiyelleri Çizelge 3.2’ de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Alüminyum alaşımlarının çözünme potansiyeli (NaCl çözeltisinde, H₂O₂, ASTM G69)

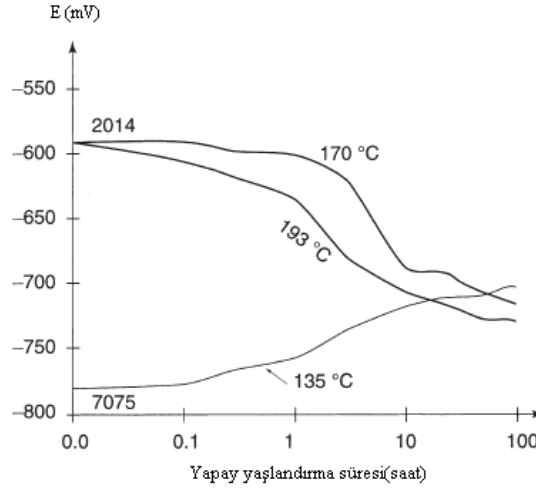
Alaşım	Isıl işlem	Potansiyel (mV)	Alaşım	Isıl işlem	Potansiyel (mV)
1060		-750	5456		-780
1100		-740	6005A		-710
1199		-750	6009	T4	-710
2008	T4	-690	6010	T4	-700
	T6	-700	6013	T6, T8	-730
2014	T4	-600	6053		-740
	T6	-690	6060		-710
2017	T4, T6	-600	6061	T4	-710
2024	T3, T4	-600		T6	-740
	T8	-710	6063		-740
2090	T3, T4	-650	7003		-940
	T8	-750	7005		-840
2091	T3, T8	-670	7039	T6, T63	-840
2219	T3, T4	-550	7049	T7	-750
	T6, T8	-700	7050	T7	-750
3003		-740	7072		-860
3003/7072		-870	7075	T6	-740
3004		-750		T7	-750
5042		-770	7178	T6	-740
5050		-750	7475	T7	-750
5052		-760	8090	T3	-700
5056		-780		T7	-750
5083		-780	42000 (A-S7G03)		-820
5086		-760	45000 (A-S6U3)		-810
5154		-770	51200 (A-G10)		-890
5182		-780	51300 (A-G5)		-870
5454		-770	71000 (A-Z7GU)		-990

İntermetalik fazların çözünme potansiyelleri katı eriyikten farklı olmasına rağmen çözünme potansiyeline etkisi yoktur. Fakat bunlar tane sınırlarına yakın ise ya da tane sınırlarında kümelenmişse tanelerarası, tabakalaşma ya da gerilmeli korozyonu riskini artırır (Vargel, 2004). Çizelge 3.3’ te alüminyum alaşımlarında bulunabilecek intermetalik fazların çözünme potansiyelleri görülmektedir.

Çizelge 3.3 İntermetalik fazların çözünme potansiyeli (NaCl çözeltisinde, H₂O₂, ASTM G69)

İntermetalik Fazlar	Çözünme Potansiyeli(mV)
Si	-170
Al ₃ Ni	-430
Al ₂ Cu	-440 and -640
Al ₃ Fe	-470
1050A	-750
Al ₆ Mn	-760
Al ₂ CuMg	-910
MgZn ₂	-960
Al ₃ Mg ₂	-1150
Mg ₂ Si	-1190

2xxx ve 7xxx serisi alaşımlarda çözünme potansiyelleri ısıtma işlemine de bağlıdır. İntermetalik fazların çözünme potansiyellerini ölçmek boyutların çok küçük olmasından dolayı zordur. Bunlar boyutları genellikle 100 μm altındadır. Ancak alaşım ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde soğutma koşullarının intermetalik fazların bileşiminde ve boyutlarında etkili olduğu sonucuna varılır. Şekil 3.3’ te yaşlandırma süresinin 2014 ve 7075 alüminyum alaşımlarının çözünme potansiyeline etkisi görülmektedir (Vargel, 2004).



Şekil 3.3 Yaşlandırma süresinin 2014 ve 7075 alüminyum alaşımlarının çözünme potansiyeline etkisi (Vargel, 2004)

Alaşım elementlerinin ve ilavelerin konsantrasyonu metal ve doğal oksit filminde genellikle farklıdır. Oksidin oluşma hızı ve yüzey özellikleri altında bulunan metale değil kendi kompozisyonuna bağlıdır. Örneğin metalin oksidasyon hızı alaşım elementi ilavesi ile düşürülebilir. Oksijen ile reaksiyona girer ve oksit film oluşturarak difüzyon hızını azaltır. Belirli elementler oksit filmin koruyucu özelliklerini karışık oksitler oluşturarak güçlendirir. 5xxx serisi alaşımlar mükemmel korozyon dayanımına sahipken bakır gibi belirli elementler bu koruyucu özellikleri zayıflatır. Bu da bakır içerikli 2xxx ve 7xxx serisi alaşımların korozyon direncinin düşüklüğünü açıklar.

Çözünme hızı asidik ve alkalın pH değerlerinde daha yüksektir. Asidik veya alkalın pH’ da çözünme potansiyeli suda çözünen asit veya bazın niteliğine de bağlıdır. Belirli bir pH değerinde alüminyum üzerinde hidroklorik asit veya hidroflorik asit, asetik asit çözeltilerine göre daha saldırgandır. Tüm diğer pasif metaller gibi alüminyum nötr’e yakın sulu ortamlarda oyuklanma korozyonuna yatkındır. Bu koşullar altında oyuklanma korozyonu klorür gibi anyonların miktarına, sulu ortamın pH değerinden daha çok bağlıdır (Vargel, 2004).

3.2 Alüminyum ve Alaşımlarında Görülen Korozyon Çeşitleri

Alüminyumda değişik tipte korozyon çeşitleri görülür. Bunların bazıları çıplak gözle görülebilir. Alüminyumda görülen korozyon çeşitleri üniform, oyuklanma, gerilmeli korozyon gibi çeşitlerdir. Korozyon metale, ortama ve kullanım koşulları gibi çok sayıda faktöre bağlıdır. Alüminyum ve alaşımlarına ait özel bir korozyon çeşidi yoktur.

3.2.1 Üniform Korozyon

Üniform korozyon mikrometre ölçeğinde çok küçük yarıçaplı oyuklar şeklinde oluşur ve metalin tüm yüzeyinde homojen bir azalmayla sonuçlanır. Bu korozyon çeşidi doğal oksit filminin çözünabilirliğinin yüksek olduğu yüksek asidik veya alkalın ortamda gözlenir.

Filmin çözülme hızı oluşum hızından daha hızlıdır fakat hızlarının birbirine oranı zamanla değişir. Örneğin, sodyum hidroksit çözeltisinde çözülme hızının yirmi günün üzerinde yapılan testlerde azaldığı görülmüştür.

Ortamdaki asit veya bazın özelliğine bağlı olarak çözünme hızı yılda birkaç mikrometreden saatte birkaç mikrometreye kadar değişebilir. Ancak bu hız uygun inhibitörlerle düşürülebilir. Örneğin, sodyum silikat alkalın içerisinde çözünme hızını büyük oranda düşürür. Üniform korozyon hızı, kaybolan kütle miktarının ölçülmesi veya açığa çıkan hidrojen miktarıyla belirlenebilir (Vargel, 2004).

3.2.2 Oyuklanma (pitting) korozyonu

Çok sayıda klorür iyonlarının varlığında oluşan bölgesel bir korozyondur. Oksit tabakasının zayıf bölgelerinde oluşur (Svenningsen, 2003). Metal yüzeyinde düzensiz oyuklar şeklinde açığa çıkan bölgesel korozyon çeşididir. Oyuk çapı ve derinliği metal, ortam ve servis koşulu ile ilgili parametrelere bağlıdır. Alüminyum nötr pH' ya yakın ortamlarda oyuklanmaya meyillidir. Bu ortamlar su, deniz suyu ve nemli hava gibi tüm çevresel koşullardır. Diğer metallerin aksine alüminyumda oyuklanma korozyonu dikkat çekicidir çünkü oyuklar beyaz, çok miktarda ve jelimsi alümina jel $Al(OH)_3$ kabarcıkları ile kaplıdır. Bu kabarcıklar oyuklardan çok daha büyüktür. Oyuklanma korozyonu metalin su, deniz suyu, yağmur suyu ve nemli ortam gibi sulu bir ortama konulmasında gerçekleşir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki oyuklanma korozyonunun ilerlemesi korozyonun açığa çıktığı ilk haftalarda olmaktadır (Vargel, 2004).

Oyuklanma korozyonu çok ciddi bir konudur ve uzun yıllar geniş çalışmaların yapılmış olmasına rağmen bugün bile hala mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır. Oyuklanmanın hangi koşullar altında başladığı, ilerlediği ve nasıl yavaşlatılacağı bilinmemektedir.

Tüm pasif metallerde olduğu gibi pasif filmin bölgesel olarak bozulması halinde alüminyum bölgesel korozyona meyillidir. Bu durumda uygun koşullarında olması halinde oyuklanma şeklinde sonuçlanır. Oyuklanma korozyonun elektrokimyasal mekanizması çok karmaşıktır ve tam olarak anlaşılamamıştır. Oyuklanma korozyonu oluşum ve ilerleme şeklinde iki farklı basamak gösterir.

3.2.2.1 Oyuklanma Korozyonunun Başlangıç Basamağı

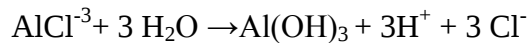
Oyuklanma korozyonu klorun olması halinde oluşmaktadır. Cl^- iyonları doğal oksit filme adsorbe olur ve filmin zayıf olduğu noktadan filmin kopmasına sebep olarak birkaç nanometre genişlikte mikro çatlaklar oluşturur. Çoğu oyuk çok kısa bir süre içinde oluşur (10^7 cm^{-2} 'e kadar). Fakat çoğu oyuk birkaç gün içerisinde duracaktır. Polarizasyon çalışmaları oyukların büyümesi durduğunda tekrar pasifleşeceğini göstermiştir. Metal bir kez daha polarize olduğunda pasifleşmiş oyuklar tekrar gelişemeyecektir ancak oyuklanmalar yeni bölgelerden başlayacaktır (Vargel, 2004).

Katot bölgesinde oksijen yavaşça indirgenecektir. Bu bölgede oksit tabakasının altında intermetalik fazlar görülür. Film çatladığı yerde alüminyum hızla oksitlenecek ve AlCl^{-4} oluşacaktır.

Oyukta $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$ reaksiyonuna göre alüminyum oksitlenir. Oyuğun ağzında ise $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ reaksiyonunca oksijen indirgenir.

Oyuktaki metal korozyona uğrarken sıvıda çözünen oksijeni tüketenecektir. Bölgenin geometrisi difüzyonu sınırlayana kadar oyuktaki oksijen Al^{3+} iyonlarının artışıyla tüketenecektir. Bu olay klorür iyonlarının aralık bölgeye akışına neden olur. Aralığın küçük hacmi dolayısıyla buradaki ortam hızlıca 2-3 pH değerine ulaşarak asidik hale gelir.

Alüminyum klorür aşağıdaki reaksiyona göre hidrolize olur;



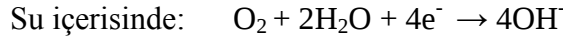
3.2.2.2 Oyuklanma Korozyonunun Gelişme Basamağı

Oluşan oyuklar kısa süre zarfında iki elektrokimyasal reaksiyona göre gelişmeye devam edecektir.

Anottaki oyuğun tabanından oluşan oksidasyon reaksiyonu;

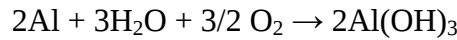


Oyuğun dışında oluşan katottaki indirgenme reaksiyonu;

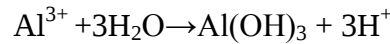


Anot kararlı ve bölgesel ise korozyon delik oluşturacaktır. Bu delik oyuk olarak adlandırılır. OH^{-} iyonlarının oluşumu veya H^{+} iyonlarının tüketimi OH^{-} iyonlarının bölgesel olarak artmasına sebep olacaktır ve bazik pH' a sebep olacaktır.

Oyuklanma korozyonunun genel reaksiyonu aşağıdaki gibidir;



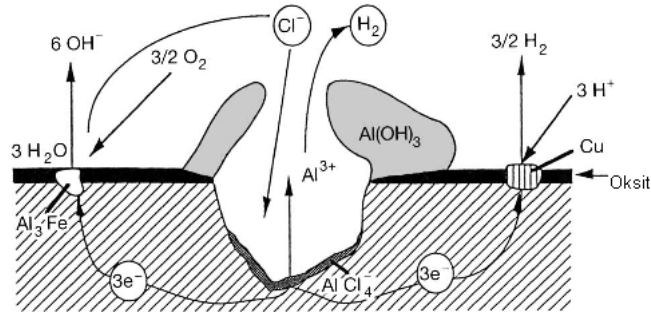
Oyuğun tabanında Al^{3+} iyonlarının oluşması neticesinde alüminyumun çözünmesi Cl^{-} iyonlarını oyuğun tabanına taşınmasını sağlayan elektrik alanı yaratır. Çözelti kimyasal olarak nötrleşir ve alüminyum klorürler oluşur. Cl^{-} iyonları bu reaksiyonlarda yer alan iyonlar arasında en hareketli iyondur. Alüminyum klorürlerin hidrolizi aşağıdaki reaksiyona göre gerçekleşir;



Bu reaksiyon oyuğun tabanında asitleşmeye neden olarak pH değerini üçün altına kadar indirger. Ortam asitleşerek oyuğun kendiliğinden gelişmesine neden olur.

Al^{3+} iyonları oyuğun tabanında yüksek konsantrasyona ulaşarak daha alkalın bir ortam olan oyuğun açıklığına doğru difüze olurlar. Özellikle bu ortam katodik reaksiyonların bazikleştirdiği yan yüzeylerde bulunur.

$\text{Al}(\text{OH})_3$ çökelecektir ve H^{+} iyonlarının indirgenmesiyle meydana gelen mikro hidrojen köpükleri oluşan alüminyum hidroksitleri oyuğun ağzına iterek beyaz küçük kabarcık birikintileri oluştururlar. Korozyon ürünlerinin oyuğun tepesinde toplanması oyuğun girişini bloke eder. Bu olay iyonların değişimini engelleyerek oyuklanmanın neden yavaşladığını ve durduğunu açıklar. Şekil 3.4' te alüminyumun oyuklanma korozyonu resimli olarak açıklanmaktadır (Vargel, 2004).



Şekil 3.4 Alüminyumun oyuklanma korozyonunun mekanizması (Vargel, 2004)

3.2.3 Tanelerarası ve Tane içi Korozyon

Metal içerisinde korozyon tane seviyesinde tüm yönlerde veya tercihli yolları takip etmek suretiyle iki farklı yolla ilerleyebilir. Korozyonun tüm yönlere yayılması halinde korozyon yönden bağımsız olarak tüm yapıyı etkiler. Tane içinde ilerlediği için tane içi korozyon olarak adlandırılır.

Tercihli yolları takip etmesi halinde korozyon tane sınırlarında ilerliyor demektir. Tane içi korozyondan farklı olarak metal miktarındaki kaybı azdır. Bu tip korozyon Tanelerarası korozyon olarak adlandırılır. Bu korozyon çıplak gözle tespit edilemez ancak 50 büyütme gibi mikroskop kontrollerinde belirlenir. Tanelerarası korozyonun tanenin içine nüfuz etmesi halinde özellikle uzama gibi mekanik özelliklerin düşüşüne neden olarak parçanın kırılmasına neden olur. Tanelerarası korozyonun ilerlemesi oyuklardan başlar. Tanelerarası korozyonun nüfuziyet derinliğiyle oyukların yarıçapı arasında bir ilişki yoktur. Kısacası Tanelerarası korozyon çok küçük, yüzeysel oyuklardan dahi gelişebilir.

Tanelerarası korozyon intermetalik fazların çökeldiği tane sınırlarıyla tane içi arasındaki elektrokimyasal potansiyel farktan kaynaklanmaktadır. Tane veya matris katı çözelti ve çökelmiş intermetalik fazlar içerir. Oda sıcaklığında alüminyumdaki demir, nikel veya magnezyumun çözünürlüğü çok düşüktür. Katı eriyik alaşımsız 1050'ye yakın potansiyele sahiptir. Fakat katı eriyik doyurulduğunda ya da ortam sıcaklığında zenginleştirildiğinde potansiyel alaşım elementlerinin konsantrasyonuna bağlıdır (Vargel, 2004).

İntermetalik bileşiklerin çözünme potansiyeli alüminyumdan farklıdır. Çizelge 3.4' te katı eriyik ve intermetalik fazların çözünme potansiyelleri gösterilmiştir. İntermetalik bileşikler;

- Katı çözeltiden az elektronegatiflikte (Al_3Fe , Al_2Cu): Katı çözeltiye nazaran katodiktir, tanelarası korozyon halinde katı eriyik çözülür.
- Katı çözeltiden fazla elektronegatiflikte (MgZn_2 , Al_3Mg_2 ve Mg_2Si): Katı çözeltiye nazaran anodiktir, Tanelarası korozyon halinde intermetalikler çözünecektir.

Çizelge 3.4 Katı eriyik ve intermetalik fazların çözünme potansiyeli ($\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}_2$ Çözeltisinde)

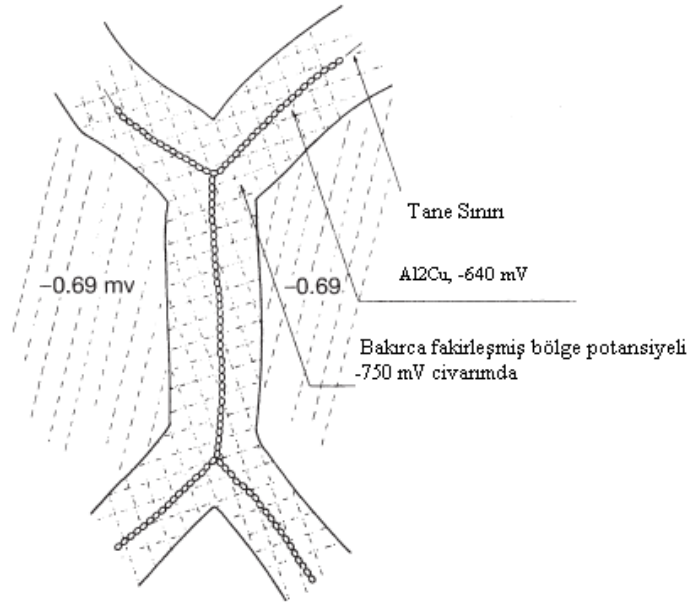
Katı eriyik	Çözünme potansiyeli mV SCE	İntermetalik faz
	-170	Si
	-430	Al_3Ni
	-470	Al_3Fe
$\text{Al}-4\text{Cu}$	-610	
	-640	Al_2Cu
$\text{Al}-1\text{Mn}$	-650	
1050A	-750	
	-760	Al_6Mn
$\text{Al}-3\text{Mg}$	-780	
$\text{Al}-5\text{Mg}$	-790	
$\text{Al}-1\text{Zn}$	-850	
	-910	Al_2CuMg
	-960	MgZn_2
$\text{Al}-5\text{Zn}$	-970	
	-1150	Al_3Mg_2
	-1190	Mg_2Si

Tanelarası korozyon koroziv ortam varlığında, intermetalikle katı eriyik potansiyelleri arasında 100 mV mertebesinde fark olduğunda (Bu yüzden Al_3Mn ile Tanelarası korozyon olmaz) ve intermetaliklerin sürekli çökmesinde oluşur.

Çökelmeyle sertleşebilen alaşımlarda intermetalik çökeltilerin boyutu ve dağılımı su vermeye ve yapay yaşlandırma koşullarına bağlıdır. İntermetaliklerin tane sınırlarında sürekli çökmesi böylece önlenabilir. Alüminyum alaşımlarında anodik fazın veya katodik fazın çökmesi gibi iki farklı durum oluşabilir (Vargel, 2004).

Anodik Fazın Çökmesi: Magnezyumun %3.5' ten fazla olduğu 5xxx serisi alaşımlarda anodik fazın çökmesi görülür. Uzun süreli ısıtmada $\beta\text{-Al}_3\text{Mg}_2$ fazı tane sınırlarında çöker. Bunun çözünmesi (-1150 mV) katı eriyiğe göre (-780 mV) oldukça anodiktir. Uygun şartlar altında yani koroziv ortamın varlığında tanelarası korozyon oluşur.

Anodik Bölgenin Oluşumu: 2024 gibi %4 bakır içeren 2xxx serisi alaşımlarda çökelmiş anodik bölge oluşur. Soğutma hızı çok düşük olduğunda intermetalik faz Al_2Cu (-640 mV) tane sınırlarında çökelecektir. Bu faz bakır atomlarından oluşur ve tane sınırlarına yakındır. Bu yüzden civar bölge bakırca fakirleşecektir. Bakırca fakirleşmiş katı eriyik ise -750 mV potansiyele yakındır ve tane sınırlarına göre anodiktir. Şekil 3.5' te tane sınırlarında katodik fazın çökelmiş olduğu 2024 alüminyum alaşımının mikroyapısına ait örnek gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Tane sınırlarında katodik fazın çökmesi (Vargel, 2004)

Tanelerarası korozyona uygun koşullar altında bakırca fakirleşmiş bölge tane sınırlarına paralel bir yol boyunca çözülecektir. Genel olarak, çökelmeyle sertleşebilen alaşımlarda korozyona yatkınlık mikro yapıya ve ısıtılma koşullarına bağlıdır. T3 ve T4 ısıtılma işlemlerinin korozyona yatkınlığı T6 ısıtılma işlemine nazaran azdır. Ayrıca T73 ısıtılma işlemiyle de tanelerarası korozyona karşı direnç artışı sağlanır. Çökelmeyle sertleşebilen alaşımların tanelerarası korozyonu uygun ısıtılma işlemlerle kontrol edilebilir;

- Yüksek soğutma hızı
- 2xxx serisi alaşımlar için uzun yaşlandırma süreleri
- 7xxx serisi alaşımlar için çift yaşlandırma (T73)

3.2.4 Tabakalaşma Korozyonu

Tabakalaşma korozyonu hadde veya ekstrüzyon yönüne paralel olarak ilerleyen çok sayıda düzlem boyunca oluşur. Bu düzlemler arası çok incedir ve korozyon ürünlerinin kabarması ile yavaş yavaş yukarı itilerek bir kitabın sayfası gibi soyulur. Bu yüzden tabakalaşma terimi kullanılır. Metalin şişmesiyle bu korozyonun yol açtığı en son boyuta ulaşılır.

Tabakalaşma korozyonu, 2xxx ve 5xxx serisi gibi şekil değiştirme yönüne paralel uzun taneli yapı gösteren alaşımlarda tanelerarası korozyon şeklinde gözlenebilir. 7xxx serisi alaşımların bakırlı ve bakırsız tiplerinde de görülebilir. Korozyon Al_6Mn , $Al_{12}CrMn$, $AlFeMn$ gibi katı eriyiğe nazaran katodik uzamış intermetalik fazların çökmesinden kaynaklanır (Vargel, 2004).

3.2.5 Gerilmeli Korozyon

Gerilmeli korozyonu eğme, çekme gibi mekanik gerilim ve koroziv ortamın birleşmiş etkisiyle gerçekleşmektedir. Bu parametreler tek başına metalin dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip değil iken birlikte büyük zararlar verebilmektedirler.

1922 yılında Rawdon tarafından alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyona yatkınlığı açıklanmıştır. Rawdon aynı zamanda Al-Cu alaşımlarında gerilmeli korozyon ile tanelerarası korozyon arasındaki ilişkiyi de kurmuştur. 2xxx ve 7xxx serisi gibi yüksek mekanik dayanıma sahip alaşımlar ve 5xxx serisindeki yüksek magnezyumlu alaşımlar (%7'den yüksek) gerilmeli korozyonuna duyarlıdır.

Gerilmeli korozyonun mekanizması birçok çalışmanın konusu olmuştur. Alüminyum alaşımlarında gerilmeli korozyon çatlaklarının ilerlemesi tane sınırları boyunca gerçekleşir. Bu tip korozyon mekanik gerilmenin tane sınırları boyunca çatlak ilerlemesini hızlandırdığı koşullarda tanelerarası korozyonun özel bir hali olarak düşünülür. Fakat bu görüş hatalıdır çünkü 6xxx serilerinde olduğu gibi mekanik gerilmenin olmadığı hallerde tanelerarası korozyona yatkın olan fakat gerilmeli korozyona yatkın olmayan alüminyum alaşımları vardır.

Havacılık sektöründe kullanılan yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarının gerilmeli korozyonu özellikle 7xxx serisi alaşımları havacılık endüstrisine girdiği 50 ve 60'lı yıllarda birçok çalışmanın konusu olmuştur.

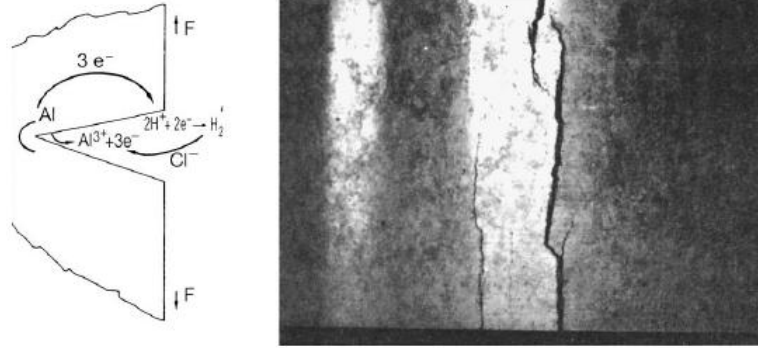
İki önemli mekanizma alüminyum alaşımlarındaki gerilim mekanizmasını açıklamaya yardımcı olur;

- Elektrokimyasal ilerleme
- Hidrojen kırılabilirliği

Elektrokimyasal ilerleme: 1932 yılında Brenner, 1944 yılında Mears, Brown ve Dix 2xxx ve 5xxx serisi Al alaşımlarında gerilmeli korozyonunun tanelerarası ilerleme teorisini geliştirmiştir. Korozyonun ilerlemesi elektrokimyasal mekanizmaya dayanır. Çatlak başladığında mekanik gerilimden kaynaklanan gerilim çatlağın tepe noktasında yoğunlaşır. Tepe noktasında çatlağın cidarlarına nazaran anodik olan bir bölge oluşur ve bu bölgede film yeniden oluşarak katodik bölgenin oluşumunu sağlar. Şekil 3.6' da gerilmeli korozyon çatlağı resimli olarak izah edilmiştir (Vargel, 2004).

Sulu ortamda çatlak bir korozyon hücresi oluşturur. Oluşan bu pil hücresinde çatlağın tepe noktası anottur. Anot tükenirken çatlak ilerlemesi gerçekleşir. Çatlak ilerledikçe doğal filmin

hızlıca tekrar oluşması için gereken şartlar azalacaktır. Bu da çatlak ilerleme hızını artıracaktır.



Şekil 3.6 Gerilmeli korozyon çatlak, elektrokimyasal ilerleme (Vargel, 2004)

2xxx ve 5xxx serisi alaşımlarda gerilmeli korozyonu sadece yüksek miktarda klorit içeren ortamda gelişir. Düşük klorit seviyeli suda veya nemli atmosferde oluşmaz. Deniz atmosferinde bu alaşımlarda tanelerarası korozyon ve gerilmeli korozyon arasında iyi bir ilişki kurulmuştur. Pratikte 2xxx serisi alaşımların hem gerilmeli korozyona hem de tanelerarası korozyona yatkınlığı yoktur.

Hidrojen kırılganlığı: Elektrokimyasal teori tüm alüminyum alaşımları için geçerli değildir. 6xxx serisi alaşımlar tanelerarası korozyona yatkın iken gerilmeli korozyona yatkın değildir. Diğer yandan 7xxx serisi alaşımlar gerilmeli korozyona yatkın iken tanelerarası korozyona değildir. 1960'ların sonuna kadar hidrojen kırılganlığının alüminyum alaşımlarına uygun olmadığı aşağıdaki iki sebepten ötürü düşünülüyordu;

- Çok yüksek basınçta bile alüminyumda hidrojen kaynaklı kırılma oluşmaz. Kuru hidrojen ortamında alüminyum çelikte olduğu gibi kırılma hassasiyeti göstermez.
- Hidrojenin alüminyumdaki çözünürlüğü ve difüzyon hızı çok düşüktür.

Yukarıdaki bu görüşler AlZnMg alaşımının nemli atmosferde gerilmeli korozyona yatkınlığı görülünce aşılmıştır. Bu kırılganlık metalde hidrojenin varlığından kaynaklanmaktadır. Aslında üretim sırasında hidrojen metal içerisine korozyon sırasındaki indirgeme sırasında metal oksit film arayüzeyinden nüfuz edebilir. Çatlakın tepe noktasında alüminyum doğal oksit film ile kapalı değildir. Su ile reaksiyona girmesi sonucu açığa çıkan hidrojen tane sınırlarında yoğunlaşır ve tanelerarası ayrılma meydana gelir (Vargel, 2004).

Genel hallerde gerilmeli korozyona direnç aşağıdaki ısıtım koşullarında daha yüksektir;

- TX51: T451 ve T651 ısıt ışılemlerinde yarı mamul su verme sonrası (T451) veya su verme ile yaşılandırma arasında çekilir. Uygulanan toplam gerilim şekil değışiminden kaynaklanan i gerilim ve servis koşullarından kaynaklanan gerilimin toplamına eşit olana kadar çekilir çünkü yarı mamulleri i gerilimleri halleriyle kullanmak oldukça risklidir.
- T73 aşırı veya çift yaşılandırılmıştır (Vargel, 2004).

3.2.6 Kurtçuk Korozyonu

Bu korozyon boyanmış metallere özğüdür. Aslında bu korozyon yüzeyin görünüşünün değışimidir. Altteki metal birkaç mikron derinliğı geçmeyen çok yüzeysel bir atağı maruz kalır. 0.1-0.5 mm genişliğinde ve birkaç mm uzunluğunda dar iplikçikler şeklinde metal-boya arayüzeyinde ilerler. Korozyon ürünlerinin kabarması boyayı deforme ederek boyanın altında çok dar iplik şeklinde, boyanın altında bir köstebeğinin kazmış olduğı tünele benzer bir ilerleme gösterir. Airbus A320 tipi bir uçağın gövde üstünde tespit edilmiş kurtçuk korozyonuna ait fotoğraf Şekil 3.7’ de görölmektedir.

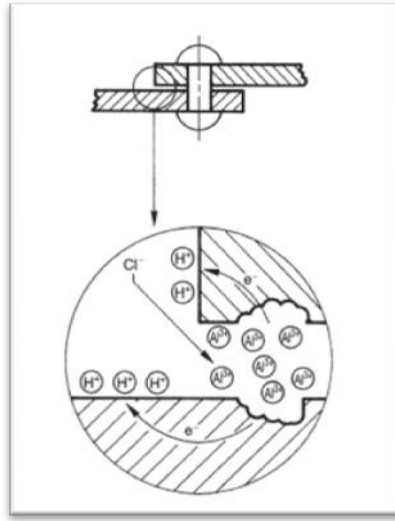


Şekil 3.7 Airbus A320 uçağının gövde üstündeki kurtçuk korozyonu

Kurtçuk korozyonu her zaman boyanın hasara çizik veya keskin köşe, delik gibi zayıf noktalardan başlar. Servisten birkaç yıl sonra görölebilir. Kurtçuk korozyonu ilk olarak 1944 yılında boyalı çelik üzerinde daha sonra havacılıkta kullanılan yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarında görölmüşür (Vargel, 2004).

3.2.7 Aralık korozyonu

Aralık korozyonu üst üste binen parçalarda, bağlantıların altındaki bölgelerde ve çeşitli kalıntıların altında oluşur. Bu bölgeler (aralık diye adlandırılır) çok küçük ve sulu sıvının geçişini zorlaştırır. Aralık bölgede elektrokimyasal reaksiyon oluştuğunda sıvının bileşimi değişecektir. Sonuçta; çözünme potansiyeli daha elektronegatif olur ve oyuk yüzeyi yapının diğer bölümlerine göre anodik hale gelir. Şekil 3.8’ de aralık korozyon hücresi görülmektedir.



Şekil 3.8 Aralık Korozyonu (Vargel, 2004)

3.2.8 Erozyon

Korozyon kaynaklı erozyon hareketli ortamda meydana gelir. Bu korozyon sıvının akış hızıyla ilgilidir. Metalin bölgesel olarak incelmesine neden olarak akış yönüyle aynı doğrultuda çizilmelere, çukurlara ve oluklara neden olur. Alüminyum’da erozyondan kaçınmak için özel önlemler alınmaz diğer metallerdeki önlemler uygulanır (Vargel, 2004).

3.2.9 Mikrobiyolojik korozyon

Metalin mikrobiyolojik korozyonuna aşağıdakiler sebep olabilir;

- Gelişmek için organik bir kaynağa ihtiyaç duyan heterotrof bakteri organik içerikli maddeleri sindirebilirler. Bu maddeleri karbondioksit, organik aside çevirir. Bu

maddeler de ortam koşullarını değiştirerek korozyona neden olur. Kısacası bakterinin kendisi değil ortam koşullarındaki değişiklikler korozyona sebep olur.

- İnorganik elementlerin varlığında gelişen ototrof bakteri kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlarla enerji alırken korozyona neden olur. Alüminyum ve alaşımları için bilinen ototrof bakteri yoktur.

Alüminyumda en iyi bilinen tek mikrobiyolojik korozyon vakası uçaklardaki yakıt tanklarındadır. 1950'li yıllarda Amerikan hava kuvvetleri yakıt tanklarındaki ilk korozyon vakasını tespit etmiştir. Yakıt tamamen susuz değildir. Her zaman 25 °C' de 75 ppm nem kalıntısı içerir. Uçak yakıtı Kerosenden ayrılarak tankın yüzeyinde birikir. Tahliyesi oldukça zor olan bu nemli ortam korozyona neden olur. Yakıt mikroorganizmalar içerir ve bu ortamda besin bulurlar. Uçak yakıt tanklarındaki korozyonun ana nedeni kerosendeki cladasporun resinae' bakterisinin büyümesidir.

Korozyon, yakıt-su arayüzeyinde oyuklanma olarak başlar. Diğer korozyon tipleri gibi elektrokimyasal reaksiyon ile oluşur. Bakteri nedeniyle meydana gelen kerosenin oksidasyonunda organik asit açığa çıkar ve ortamın pH' ını değiştirir. Mikrobik birikintiler bölgesel asitleşme dolayısıyla anodik bölgeler oluşturur. Oksidasyon reaksiyonu kerosen ve sudan çözünen oksijeni tüketir.

Bakterinin içerdiği enzimler tercihi olarak 7075 Al alaşımında bulunan çinko ve magnezyuma saldırır. Uçak yakıt tanklarındaki mikrobiyolojik korozyonun suda çözülebilen strontium kromat veya kerosende çözülebilir mono etilen glikol gibi bakteri öldürücüler kullanılır. Özellikle çok sayıda bakteri içeren deniz suyu gibi sulu ortamda alüminyumun mikrobiyolojik korozyonuna ait özel bir hal yoktur (Vargel, 2004).

3.2.10 Galvanik Korozyon

İki farklı metalin iletken bir sıvıda direk temas halinde bulunması halinde iki metalden biri korozyona uğrayacaktır. Bu olguya galvanik korozyon denir. Galvanik korozyon, aynı sıvıda metaller ayrı olarak yerleştirildiğinde meydana gelecek korozyondan yoğunluk ve çeşit açısından farklıdır.

Diğer korozyon çeşitlerinden farklı olarak galvanik korozyon metalin karakterine ve ısı işlemine bağlı değildir. Galvanik korozyon herhangi iki metalin iletken bir sıvıda temas halinde bulunmasıyla başlayabilir.

Galvanik korozyonun görünümü oldukça farklıdır. Oyuklanma korozyonu gibi yayılma göstermez ancak diğer metal ile temas bölgesinde oldukça yoğun gözlenir. Alüminyumun

korozyonu ovalleşmiş kraterler halinde gerçekleşir. Galvanik korozyondan etkilenen bölge yüzeyin diğer kısmına göre daha parlak görünüşe sahiptir. Tüm alüminyum alaşımları galvanik korozyona maruz kalabilir bunun yanında 2xxx ve 7xxx alaşımlarında tanelerarası ve tabakalaşma korozyonu oluşabilir. Galvanik korozyonun oluşabilmesi için üç koşulun var olması gerekmektedir. Bunlar; farklı tip metaller, elektrolit, iki metal arasında elektriksel devamlılıktır.

İki farklı metal temas halinde olduklarında galvanik korozyon mümkündür. Daha fazla elektronegatif olan metal anot olarak davranır. Hangi metalin galvanik korozyona maruz kalacağını tespit etmek için metal ve alaşımlarının çözünme potansiyelleri karşılaştırılmalıdır. Temas halindeki metaller arasında en az 100 mV potansiyel farkı var ise galvanik korozyon gözlenir. Galvanik korozyonun yoğunluğu metaller arasındaki potansiyel farklılıkla ilişkili değildir.

İyonik iletkenliğin sağlanması için temas yüzeyinin sulu sıvıyla ıslanmış olması gerekmektedir. Aksi takdirde galvanik korozyon oluşmaz. Galvanik korozyon sıvı flor, sıvı amonyak ve yoğun nitrik asit gibi iyonik ortamlarda da oluşabilir.

Elektriksel devamlılık iki metal arası direkt temas ile sağlanabileceği gibi civata gibi bağlantı elemanı ile sağlanabilir.

Galvanik korozyonun korunmasında anotlama etkin bir rol almaz. Galvanik korozyondan, iki metal birbirinden yalıtılarak, temas halindeki yüzeylerden tercihen katodik yüzey boyanarak, alüminyum civata kullanılarak galvanik korozyon önlenir (Vargel, 2004).

4. UÇAKLARDA KOROZYONDAN KORUNMA ve ÖNLENMESİ

Uzun yıllar boyunca havacılık sektöründe korozyon ve korozyondan korunmanın önemi göz ardı edilmiş “bul ve tamir et” yaklaşımı baskın gelmiştir. Eski tip uçaklarda karşılaşılan korozyon kaynaklı hasarlar neticesinde yeni uçakların üretimleri ve dizaynında önemli gelişmeler yapılmıştır. Uçak üreticileri seneler boyu uçak dizaynında korozyona daha dayanıklı malzeme kullanımı, gelişmiş adhezif bağlanma prosesleri, üst üste bindirilmiş yüzeylerde ve perçin deliklerinde dolgu macunu kullanımı, uçak mutfak teçhizatlarındaki dökülmelerin ve tuvaletlerdeki sıvıların kontrolü gibi birçok yenilikler uygulamışlardır. Uçakların üretimlerine ve korozyon tasarımına verilen önem neticesinde, yeni nesil uçakların servis süresi 20 yıldan 40 yıla çıkmıştır ancak bütün bu gelişmelere rağmen çeşitli konuların varlığı etkin korozyon kontrolünü engellemiştir. Yeni malzemelerin kullanılmasına rağmen bunları yeni dizaynlarda üretme tereddüdü vardır. Korozyona yatkın 7075-T6 ve 2024-T3 alaşımları, aynı dayanım ve yorulma özelliklerine sahip yeni korozyona dirençli alüminyum alaşımlarının olmasına rağmen hala geniş çapta kullanılmaktadır. Korozyon sürecini anlama eksikliğinden, korozyon başlangıcını ve büyümesini tahminin zorluğundan korozyona verilen önem yapısal sağlamlığa verilen önemin çok gerisinde kalmıştır. Bu sebeplerden korozyon daha çok “bul ve tamir et” felsefesiyle kabul görmüştür. Bu görüş yapısal ve yapısal olmayan parçalarda oluşan korozyon neticesinde bakım masraflarını önemli miktarda arttırmıştır. Korozyon önleminin zamanında alınmadığı takdirde uçağın bütünlüğü etkilenmektedir. Ayrıca uçak gövdesinin yaşlanmasıyla birlikte korozyon, gövdenin yapısal bütünlüğünü daha da etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı gerek uçak üreticileri gerekse uçak operatörleri uçak servis süresi boyunca teknolojik gelişmeler çerçevesinde bir korozyon kontrol programına sahiptirler.

Yeni tip uçakların korozyon tasarımında önemli gelişmeler yapılmıştır. 25 yıllık süre çerçevesinde üreticiler birçok tasarım yenilikleri geliştirmişlerdir. Bu gelişmeler, 7075-T6 gibi korozyona yatkın malzemelerin değişimi, gelişmiş adhezif yapıştırma işlemleri, temas yüzeylerinde ve perçin deliklerinde dolgu macunu kullanımı, uçak mutfak ve tuvalet ekipmanlarından doğan sıvı saçılmalarının kontrolüdür. Diğer uçaklarda da buna benzer gelişmeler kaydedilmiştir.

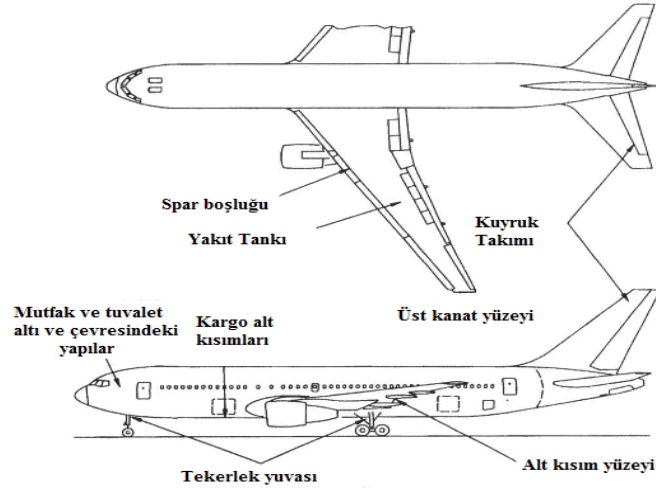
Özellikle 1988 yılı 28 nisan ayında Aloha havayollarına ait Boeing 737-200 tipi bir uçağın gövde sacının ayrılması sonucu dikkat çekmiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde bu kazanın, gövde saclarının birleşim noktalarından ayrılması ve ayrılan bölgelerde yükün eşit

dağılmaması sonucu yorulma çatlaklarının oluştuğu, ayrılmanın ayrıca korozyona neden olarak bağlantı bölgesinde hasara neden olduğu tespit edilmiştir (Aloha airlines,1988).

Bu kazadan sonra yapılan çalışmalar neticesinde korozyondan korunma ve kontrol programları (CPCP) geliştirildi. Oluşturulan bu programlar neticesinde her tip uçak için korozyon korunması ve önlenmesi için operatörlerin uyması gereken asgari gereklilikler belirtilmiştir (Gerhardus, 2001).

4.1 Uçaklarda Korozyona Neden Olan Faktörler

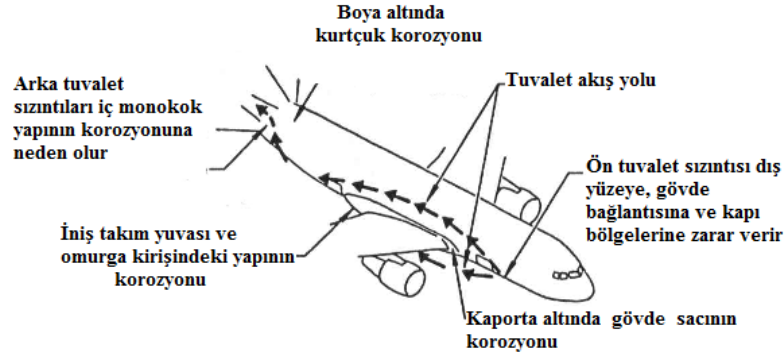
Ticari uçaklarda korozyona neden olan çeşitli etkenler bulunmaktadır. Korozyon oluşumu ilk olarak tasarımdan kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra malzeme seçimi, son işlemler ve yapısal düzenlemenin bir uçağın korozyon direncine önemli etkileri vardır. Tasarım aşamasında korozyon temelli tasarıma özen gösterilmelidir. Buna bağlı olarak korozyona dayanıklı malzeme seçimine dikkat edilmelidir ve farklı metallerin birbiri ile temasından, boşluklu yapılardan, gerilmelerden, zayıf tahliye sistemlerinden kaçınmak gerekmektedir. Ayrıca, uygun bağlayıcı malzeme ve son işlemlerin seçimi de korozyona dayalı tasarımda önemli bir noktadır. Örneğin; yeni nesil uçakların bağlayıcı elemanlarında ve temas eden yüzeylerde korozyon önleyici astar ve macun kullanımı sıklıkla kullanılan işlemlerdendir. Korozyona yatkın olan tüm birleşim bölgelerinde temas yüzeyi macunu kullanılarak korozyona neden olan boşluklardan kaçınılmaktadır. Korozyon önleyici bileşikler birçok uçak parçasının montajı sırasında rutin olarak kullanılır. Korozyonun sıklıkla görüldüğü bölgeler; gövde içi üst ve alt bölgeler, basınç bölmeleri, uçak tuvalet ve mutfak bölmelerinin alt kısımları, iniş takım yuvaları, kanat ve kuyruklar, kuyruk tork kutusu iç bölmeleri ve kaportaların alt kısımlarıdır. Şekil 4.1’ de uçaklarda korozyonun çok görüldüğü bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Korozyonunun sık görüldüğü bölgeler (Boeing, protective treatment, 1997)

Korozyonun bir diğer kaynağı ise üretime dayanmaktadır. Genellikle, montaj ve son işlemler bir parçanın erken korozyona uğramasında etkin olur. Uygun korozyon korunmasının sağlanması için uygun yüzey ön işlemi uygulanmalı ve kullanılacak koruyucu kaplama ve macunların uzun süre dayanıklılık sağlaması gerekmektedir.

Uçaklar operatörlerin kullanımındayken uçuş koşulları ve bakım işlemleri gibi birçok faktör uçakların korozyona uğrama sürelerini etkiler. Deniz ve tropikal atmosfer koşulları, yüksek nem ve endüstriyel kirlilik içeren hava koşulları uçağın özellikle dış yüzeyine karşı yüksek oranda korozyon etkiye sahiptir. Bununla birlikte, kullanım sırasında koruyucu yüzey işlemleri; çizilme, kopma, perçin çevresinde kırılma, aşınma ve eskime sebebiyle bozulmaktadır. Uçak içerisindeki çevresel koşullar ise daha ciddi hasarlara neden olabilmektedir. Örneğin; uçak tuvalet ve mutfak ekipmanlarından yayılan döküntüler, kimyasal döküntüler, hayvan atıkları, mikrobik gelişim, yangın kalıntıları, tuzlu su gibi korozyon kargolar uçak içerisinde ciddi korozyon ortamları yaratabilirler. Uçak içindeki bu gibi etmenlerin varlığı uçak içi korozyonun en önemli kaynağıdır. Uçakların dış gövdelerinde korozyona uğrayan bölgeler Şekil 4.2’ de gösterilmiştir (Gerhardus, 2001).

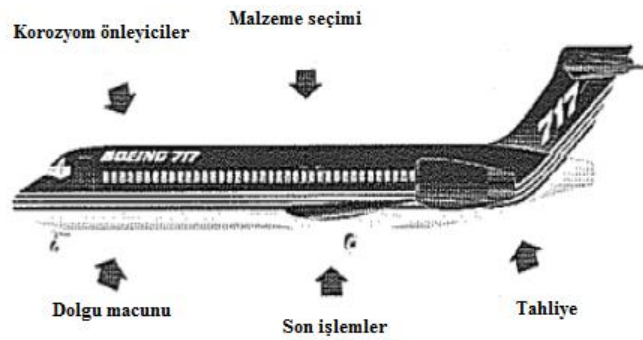


Şekil 4.2 Dış gövdede rastlanan korozyon bölgeleri (Boeing, protective treatment, 1997)

4.2 Korozyon Kontrol Yöntemleri

Korozyon kontrolü tasarım ve üretim aşamasında yapılabileceği gibi kullanım ve bakım sırasında da gerçekleştirilebilir. Korozyona karşı korunmak için yapılabilecek en basit yöntem korozyona duyarlı parçalara koruyucu kaplama uygulamak, ilgili parçalardan tüm nemi uzaklaştırmak, anodu katot malzemeden izole etmek ve elektroliti ortamdaki uzaklaştırmak ve böylelikle korozyon hücrelerinin temel elemanlarını fonksiyonsuz kılmaktır (Boeing, protective treatment, 1997).

Korozyon kontrolü için uygun tasarım; korozyona dayanıklı malzeme seçimi, kaplama, macun, uygun tahliyenin sağlanması, korozyon önleyici bileşikler gibi korozyon önleyici son işlemlerin seçimi ve uygulanmasını içermektedir. Şekil 4.3’ te tasarım ve üretimde dikkat edilmesi gerekli parametreler gösterilmiştir. Ayrıca farklı metallerin birbiri ile temasından kaçınılmasına, bakıma elverişliliğe, korozyonlu yapıya kolay ulaşım imkânının sağlanmasına ve uçak içi çeşitli döküntüler ve nem için uygun tahliyeye özen gösterilmelidir (Boeing, structural finishes, 1998).



Şekil 4.3 Korozyon engellemesinde önemli parametreler (Boeing, structural finishes, 1998)

4.2.1 Malzeme Seçimi

Yüksek dayanımlı Alüminyum alaşımları yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü uçaklarda geniş çapta kullanılmaktadır. Ancak bu alaşımlar korozyona karşı oldukça yatkındırlar. Kladlı sac ve plaka Al alaşımları tabakalaşma ve gerilmeli korozyon çatlağına dayanıklılık için çeşitli ısı işlemleri korozyon dirençleri artırılarak ağırlık ve işlevsel olarak izin verilen yerlerde kullanılırlar. Tabakalaşma korozyonuna karşı yatkın olmayan 7055-T7751 plakası kanat üstlerinde 7150-T651'in yerini almıştır. Ayrıca yapısal amaçlı olarak kullanılan çoğu Al alaşımlarına gerilmeli korozyon ve yorulma dirençlerini arttırmak amacı ile shot-peen uygulanır.

4.2.2 Kaplama Seçimi

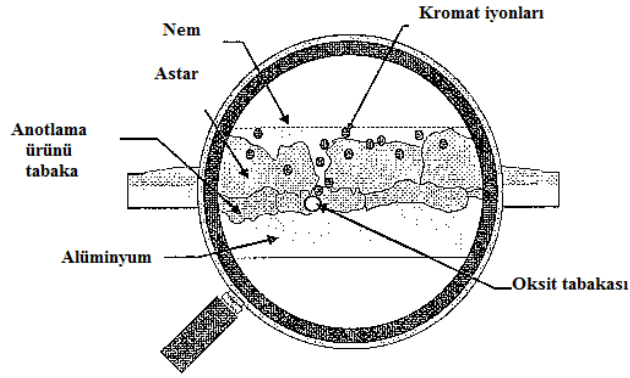
Korozyona karşı korunmanın en pratik ve etkin yolu uygun kaplama uygulamasıdır. Al alaşımları için kaplama sistemi genellikle anotlanmış (eloksal) yüzey veya yüzey üzerinde kimyasal bir film oluşturmak için kullanılan kimyasal dönüşüm kaplamaları ile birlikte korozyon önleyici astar ve boya kullanımından oluşmaktadır. Uçakta sıklıkla kullanılan anotlama işlemleri fosforik asit veya kromik asit ile anotlamadır. Bu filmin morfolojisi astarın çok iyi yapışmasıdır.

Alüminyum malzeme yüzeyine boya uygulanması malzemenin korozyon dayanımının artırılması için gerçekleştirilir. Uçak alüminyum yüzeylerinde gövde içi korunmanın sağlanması için iki kat epoksi astar ile birlikte kladlanmış yüzeylerde kimyasal dönüşüm kaplama uygulanması, çıplak yüzeylerde ise kromik asit anotlama yapılmaktadır. Dıştan boyanacak yüzeylerde ise iç bölgelerde olduğu gibi kladlanmış yüzeylerde kimyasal dönüşüm kaplama ile yüzey işlemi veya çıplak yüzeylerde kromik asit ile anotlama işlemi yapılır ancak kullanılan astar malzemesi kurtçuk korozyonuna karşı dayanımı artırılarak daha iyi korozyon koruması yapacak şekilde formüle edilmiştir. Bunlar haricinde korozyon koşullarının ağır olduğu yerlerde veya dekoratif işlemlerin gerektiği yerlerde ek kaplamalar kullanılır.

Genellikle nem ve koroziv kimyasallardan etkilenen tahliye bölgeleri, iniş takımı yuvaları, tuvalet ve mutfak teçhizatlarının alt bölgeleri gibi yerlerde kromik asit ile anotlanmış yüzey üzerine iki kat epoksi astar, astar üzerine de epoksi emaye kullanılır. Bu bölgelerdeki bağlantı kısımlarında ise dolgu macunu kullanılmaktadır.

Uçak kanat yüzeyleri ise sürekli suya ve havaya açık durumdadır. Bu bölgelerde öncelikli işlem kanat yüzeylerine kromik asit anotlama ve tek kat epoksi astar uygulamasıdır. Kimyasal işlem uygulandığı takdirde kimyasal dönüşüm kaplaması epoksi astar ile kullanılır. Daha sonra üst kanat yüzeyi iki kat polisülfat ile kaplanır. Alt kanat yüzeyleri ve spar boşlukları ise yumuşak üretilen ile kaplanır. Kanatlarda kullanılan epoksi astar üretim sırasında oda sıcaklığında kür edilir. Bu astar korozyon dayanımı arttırmak için formüle edilmiştir ve tüm yakıt tankı yapısında bir veya iki kat kullanılır. Bu astar ile birlikte yüzey işlemi olarak kimyasal dönüşüm kaplaması veya anotlama kullanılmalıdır çünkü kür işlemi kimyasal dönüşüm kaplamasının diğer tipleri için uygulanamamaktadır. Kuyruk yapısında tahliye bölgeleri gibi yerlerde kromik asit anotlama ve iki kat epoksi astar kullanılır. Bazı uçak modellerinde ise üzerine ilave beyaz emaye kaplanır (Boeing, protective treatment, 1997).

Astar ve anotlanmış tabaka, bazı uygulamalarda kimyasal dönüşüm kaplaması, nemin varlığı halinde serbest kalan kromat iyonları içerirler. Alüminyum metalini açıkta bırakacak şekilde bir çizik ve nemin olması halinde kromatlar açıkta kalan alüminyum ile reaksiyona girerek çözülme-yen oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka nemin alüminyum ile temasını önleyerek korozyonu engeller. Şekil 4.4' te astar ve anotlamanın fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 4.4 Astar ve anotlamanın fonksiyonu (Boeing, structural finishes,1998)

Açık alüminyum yüzeylerinde astar kullanımı korozyonun önlenmesinde önemli bir artış sağlar. Uçak üzerinde yapılan bir tamir sonrası bakım el kitaplarında optimum korozyon korunması ile ilgili tüm basamaklar belirtilmektedir. Bu prosedürlerden sapılması halinde uygulanan bitirici işlemlerin etkinliği düşerek korozyon riski artar ve yapısal bütünlüğü ciddi biçimde etkilenir. Uçağa uygulanan son işlemler yapıyı aktif olarak korozyon başlangıcından korur. Bununla birlikte bu işlemlerin yapıyı yüksek seviyede koruyabilmesi için hasara uğradıklarında yenilenmelidir.

Yapının korozyona uğradığı tespit edildikten sonra korozyonlu yüzey tıraşlandıktan ve bir çözelti vasıtasıyla temizlenmesi sonrası kullanılacak yere göre hazırlanan kimyasal dönüşüm kaplaması çözeltisi yüzeye uygulanır. Kimyasal dönüşüm kaplaması ilk uygulama sonrası kırılğan ve jelatimsidir. Dehidrate olmasıyla birlikte kaplanan kimyasal dönüşüm kaplama tabakası sertleşir. Astar uygulamasına geçilmeden önce kaplamanın tamamıyla kuru hale gelmesi için tavsiye edildiği üzere en az bir saat beklenmesi sağlıklı netice vermektedir.

4.2.2.1 Kimyasal Dönüşüm Kaplamaları

Kimyasal dönüşüm kaplamaları alüminyum yüzeyinde kimyasal bir film oluşturarak anotlanmış yüzey ile aynı görevi yapmaktadır. Oluşan film anodik işlemlerde oluşan filme göre daha yumuşaktır. Kimyasal dönüşüm kaplamaları 0.05-0.15 μm mertebesinde ince, karmaşık bir oksit tabaka oluşturur. Bu karmaşık oksit tabaka asidik, alkalın veya kromat banyolarda elde edilebilir. Tamiri yapılan bölgelerde ve iç kısımlarda kimyasal dönüşüm kaplamalarından kullanılır. Kimyasal dönüşüm kaplamaları toz halinde olup distile su ile polietilen, paslanmaz çelik veya benzeri kaplarda toz çözülene kadar karıştırılma sonrası çözelti bir saat bekletildikten sonra kullanılır. Çözeltiler düşük miktarlarda hazırlanır ve 24 saatten fazla beklemiş çözelti kullanılmadan atılır. Kimyasal dönüşüm kaplamalarından en çok kullanılanı kromat-fosfat uygulamalarıdır (Vargel, 2004). Kimyasal dönüşüm kaplamaları ile kaplanacak yüzeyler solvent veya yağ sökücü ile iyice temizlendikten sonra bez veya hava ile kurutulduktan sonra pamuk bez veya naylon ile kaplama uygulanır. Yaklaşık 30 saniye ıslak yüzeyde altınımsı bir renk oluşana kadar ovulur. Daha sonra yüzey temiz su ile temizlenir ve pamuk bez ile kurulandıktan sonra 1 ila 3 saat yüzeyin kuruması beklenir ve kuruma sonrası hemen bitirici işlemler uygulamaya başlanır. Kaplama ilk uygulandığında yumuşaktır. Bu yüzden yüzey temizlenirken ve kurutulurken dikkat edilmelidir aksi takdirde kaplama çizilebilir ya da kalkabilir (Boeing 737-400 SRM 51-20-01, 2005).

Kullanılan korozyon önleyici astarlar genel kullanım veya aerodinamik dış yüzeylerde kullanılmak için üretilmiş olup yangına ve havacılık hidrolik sıvısına dayanıklı epoksi içermektedir. Gövdenin dış yüzeyi ve dikey dengeleyici üreten katkılı epoksi astar üstüne havacılıkta kullanılan hidrolik sıvısına dayanıklı dekoratif poliüretan ile boyanır ve böylece kurtçuk korozyonuna karşı dayanıklılık sağlanır.

4.2.2.2 Anotlama

Alüminyumun korozyon ve aşınma dirençlerini arttırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile oksit tabakası kalınlaştırılır. Bu film olduğundan birkaç kez daha kalınlaştırılabilir (Perryman,1997). Bu işlem ismini kaplanacak Al parçanın elektrolitik bir hücrede anot olarak davranmasından almaktadır. Bundan farklı olarak elektro kaplama işleminde ise parça katot haline getirilir. Anotlama her ne kadar alüminyum ile özdeşleşmişse de magnezyum, titanyum ve çinko için de benzeri işlemler vardır.

Alüminyumun anotlanması çok farklı elektrolitlerde, farklı çalışma şartlarında, ilave malzemelerin varlığında, çeşitli sıcaklık, voltaj ve akımlarda gerçekleştirilebilir. Anotlanan yüzeyin korozyona karşı dayanıklı olmasının yanı sıra atmosfere ve tuzlu suya karşı yüksek derecede dirençlidir. Anodik kaplama korozif elemanlara karşı bir bariyer görevi görerek altında bulunan metali korur. Optimum korozyon dayanımı sağlamak için anotlamayla oluşturulan amorf alüminyum oksit asitli sıcak suda, kaynayan deiyonize suda, sıcak dikromat çözeltide veya nikel asetat çözeltisinde işleme tabi tutulur.

Anotlama işleminde korozyona karşı dayanım kazandırılmasının yanı sıra aşınma dayancı artırılır, görünüm düzgünleştirilir, boyanın yapışma kabiliyeti artırılır, adhezif bağlanma özellikleri ve yağlayıcı özellikleri geliştirilir. Özellikle havacılıkta kullanılan ince fosforik asit veya kromik asit anotlama ile bağ dayanımı artırılır.

Anotlama işlemlerinde isimlendirme kullanılan elektrolite göre yapılır. Elektrolit olarak kromik asit kullanıldığında kromik anotlama, sülfürik asit kullanıldığında sülfürik anotlama veya sülfürik asit ile ilave malzemelerin kullanımında sert anotlama adıyla anılan üç temel anotlama işlemi vardır. Özel prosesler ile daha seyrek olarak kullanılan anotlama çeşitlerinden bazıları ise havacılık için fosforik asit olmak üzere borik asit, oksalit asit, tartarik asit' dir. Sert anotlama işlemiyle elde edilen kalın kaplama dışında çoğu proseste kalınlık 5-18 µm aralığındadır (ASM volume 5, 2002).

Başarılı bir anotlama işlemi için kimyasal olarak temiz yüzey en temel gerekliliktir. Kimyasal olarak temizlemede yüzeyin tüm yağlardan, korozyon ürünlerinden ve doğal olarak oluşan alüminyum oksitten arındırılmış olması gerekir. Temizleme yöntemi kirliliğin tipine ve boyutsal toleransa göre belirlenir. Temizlik yöntemlerinden ilki buhar ile yağ gidermedir. Buharla yağ gidermeye alternatif olarak ise solvent ile temizleme, alkaline ile temizleme organik kirlilikleri temizlemek için günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Bu yöntem ile amaç alüminyum yüzeyinde kimyasal olarak temiz bir yüzey sağlamak ve böylelikle sonradan uygulanacak olan asit dağılayıcıların tüm yüzeye homojen olarak dağılması amaçlanır.

Temizlik sonrası yüzeydeki oksitleri çıkarmak için, deoksidasyon amacıyla dağlama işlemi yapılır. Yansıtıcı yüzeyler istenildiğinde ise parlatma işlemi bir çözeltide gerçekleştirilir. Parlatma veya dağlama işleminden sonra önceki işlemlerden kaynaklanan ağır metal çöküntülerinin arındırılması işlemine geçilir.

Doğal oksitler gibi anodik kaplamaların da asidik ve alkaline ortamlarda dayanımları zayıftır. Bunun içindir ki anotlanmış yüzeylerin bakımları spesifik temizlik ajanlarıyla yapılmalıdır. Ayrıca unutulmamalıdır ki, anotlanmış yüzeyler galvanik korozyon riskini elemine etmemektedir (Vargel, 2004).

Alüminyum alaşımının bileşimi, yüzey işlemleri, ön işlemler, ısı işlemler anodik kaplamanın kalitesini belirler. Kromik asit ile anotlama %5 Cu veya % 7,5' den fazla alaşım elementi içeren Al alaşımlarında kullanılmaz. Aksi halde işlem sonucunda malzemede oyuklanma görülür. Sadece alaşım elementleri değil bunun yanında ısı işlem de önemli bir parametredir. Örneğin; 2024-T3 veya T4 ısı işlenmiş parçalarda istenilen film kalınlığı için gerekli voltaj % 25 oranında değişiklik gösterir. Isıl işlenebilir parçalarda alaşım elementlerinin mikro yapısal olarak yerleşimi anodik kaplamanın görünümünü değiştirmektedir. Çözeltide bulunan alaşım elementleri anodik kaplama üzerinde az etkili iken çözeltiden çökelen elementlerin etkisi daha büyüktür.

Kromik asit banyoları için düşük karbonlu çelik tanklar kullanılmaktadır. Bu tanklarda tankın yarısı cam gibi bir yalıtkan malzeme ile katot alanı anot alanının maksimum %5' i olacak şekilde ayarlanır. Anotlama çözeltisi elektrikli veya buharlı ısıtıcılarda 32-35 °C'ye ısıtılmalıdır. Isıtmada buharlı ısıtıcıların banyoyu kirletmesinden dolayı daha temiz banyo elde etmeye olanak sağlayan elektrikli ısıtıcılar tercih edilir.

Anotlama işlemi neticesinde ısı açığa çıktığı için banyonun özellikle de elektrolitin fazla ısınmasını önlemek için karıştırma yapılır. Ayrıca banyodaki sıcaklığı kontrol etmek için sıcaklık kontrol ekipmanı bulunmaktadır. Karıştırma ise elektrikli sistemlerle, pompalar veya hava ile sağlanır. Düzgün karıştırma sağlanmadığında cihazda yanma olabilmektedir

Kromik Anotlama İşlemi: Kromik anotlamanın patenti 1923 yılında alınmış olup 2xxx ve 7xxx alüminyum alaşımlı uçak parçalarını korumak amacıyla ortaya çıkmıştır. Kromik asit anotlamanın diğer anotlama atmosferleri gibi yaygın bir kullanımı vardır. Yapısı ve özellikleri alüminyum üzerindeki doğal oksit filminden farklı olarak büyüyen oksit tabakasından oluşur. 5 µm boyutundaki ince anodik katman alaşım tipine göre gri tonlarındadır (Vargel, 2004). Bu işlemde kullanılacak uygulama sırası parçanın tipine, anotlanacak alaşıma ve anotlamanın nedenine bağlıdır. Sülfürik asidin korozif etkisinden dolayı kromik asit ile anotlama çözeltinin

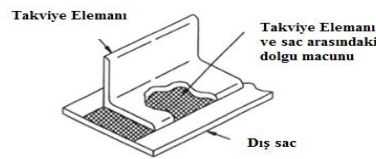
arındırılmasının zor veya imkânsız olduğu perçin veya kaynaklı parçalarda tercih edilir. Anodik işlemle yüksek bakır alaşımlı Al alaşımlarında gri renk elde edilir.

Kromik asit anotlama çözeltileri ağırlıkça %3-10 CrO_3 içerir. Çözelti hazırlanırken bir tankın yarısına kadar su doldurulur ve asit su içerisinde çözündürülür akabinde ise istenilen işlem koşulunu sağlamak için su ilavesi yapılır.

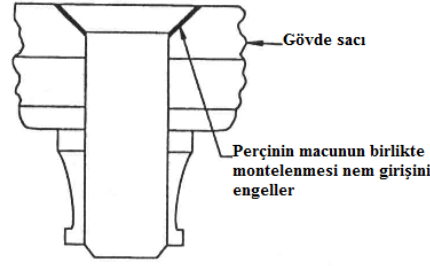
Fosforik Anotlama: Fosforik asit ile anotlama işleminde ise hazırlık bölümü kromik asit ile anotlamadaki gibi olmak üzere ağırlıkça % 10-12 oranında fosforik asit kullanılır. Akım yoğunluğu $0,5 - 0,8 \text{ A/dm}^2$ olacak şekilde $21-24^\circ\text{C}$ 'de 20-25 dakika işlem yapılır ve adhezif bağlanma için hazırlık yapılmış olur. Fosforik anotlama ile yüksek gözenekli oksit filmleri oluşturulur. Bu işlem uçaklarda doğru akımla 10 dakika süreyle uygulanmaktadır ve Boeing işlemi olarak anılmaktadır. Yüzey özellikleri işlem sonrası birkaç ay sürmektedir (Vargel, 2004).

4.2.3 Dolgu Macunları

Korozyonun önlenmesinde malzemelerin izolasyonu ve su girişine karşı bir diğer koruma dolgu macunlarının kullanımıyla sağlanır. Macunlar, birbirine temas eden farklı veya aynı malzemeler arasında kaplama şeklinde kullanılır. Şekil 4.5' te birbiri üzerine binmiş yüzeylerde dolgu macun uygulaması gösterilmektedir. Temas eden yüzeylerde perçinler macun ile birlikte montelenerek perçin deliğinden suyun girmesi engellenmiş olur. Şekil 4.6' da bu uygulamaya ait örnek görülmektedir. Birleşim bölgelerinde, birbiri üzerine binen yüzeylerde dolgu macunu kullanılarak aralık korozyonunun önüne geçilmiştir. Bu amaçla kullanılan macunların yanı sıra basınç sağlaması için parçanın kenarında kullanılan macunlarda kullanılmaktadır. Polisülfat dolgu macunları özellikle, gövde sacı-yatay kiriş bağlantılarında, gövdenin alt bölümlerinde, uzunlamasına ve çevresel yüzey bağlantılarında, gövde yamalarında, kanat ve kuyrukta spar sacının kirişe ve kirişin yüzeye olan bağlantılarında, iniş takım yuvasında ve basınç kubbelerinde kullanılır (Gerhardus, 2001).

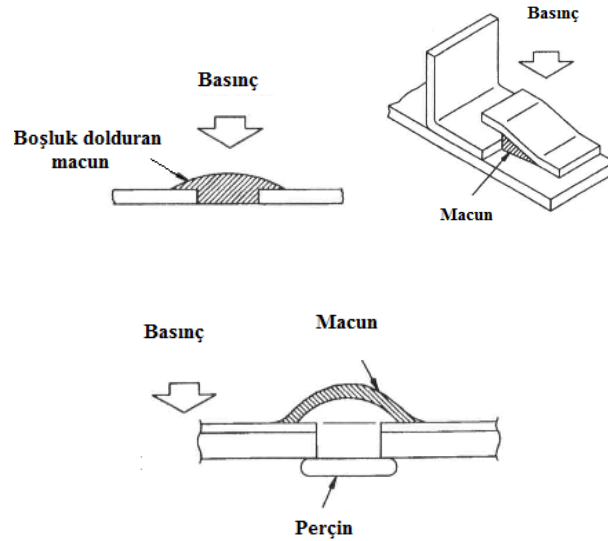


Şekil 4.5 Birbiri üzerine binmiş yüzeylerde dolgu macun uygulaması (Boeing, protective treatment, 1997)



Şekil 4.6 Nem girişini engellemek için perçinle birlikte montelenen perçin (Boeing, protective treatment, 1997)

Uçakların çeşitli bölgelerinde kullanılan dolgu macunları nemi uzaklaştırarak korozyonu önlemenin yanı sıra kabin basıncı sağlamak, yangın tehlikesini indirgemek, boşlukları doldurmak ve uçak yüzeyindeki süreksizlikleri düzgünleştirmek için kullanılmaktadır. Çeşitli macun uygulamaları Şekil 4.7’ de gösterilmiştir. Kullanılacak macun tipi ve miktarı ilgili dokümanlarda belirlenerek, belirli bir alan içine uygulanır.



Şekil 4.7 Çeşitli dolgu macun uygulamaları (Boeing, protective treatment, 1997)

Macunlar ıslak akışkan hamur şeklinde uygulanır ve belirli bir müddet sonra kürleşmenin ardından lastiksi bir katı haline gelerek temas halinde olduğu yüzeylere sıkıca yapışır. Kullanılan çoğu macun polisülfat esaslıdır ve kür işlemleri polimer malzemenin katalizör ile kombinasyonu ile başlar. Kullanılan diğer çeşitleri ise RTV silikon esaslıdır ve kürleşmeleri için havadaki nem ile reaksiyonu yeterli olmaktadır. Polisülfat macunlar katalizör malzeme ile

takım halinde satılmaktadır ve kullanım öncesi karıştırılarak kullanılırlar. Çoğunlukla kullanılan macunlar silikon veya polisülfat esaslı polimerlerdir.

Kullanımdaki bazı macunlar mangan dioksit veya kromat kür sistemlerine sahiptir. Bazı tiplerin içerdiği mikro baloncuklar macunun ağırlığının azalması, çekme direncinin, uzama kabiliyetinin ve dökülmeye olan direncin düşmesine neden olduğundan macunun dökülerek temas eden yüzeylere zarar vermesinden dolayı buralarda kullanılmamaktadır.

Yakıt tanklarının içlerinde kullanılan macunlar da mangan dioksit veya kromat kür sistemlerine sahiptir. Bu tiplere yapılan birçok testin yanında yakıt tanklarında kullanılan boyalara yapışma testi de uygulanır. Bu testler yakıta ve tuzlu suya batırma testlerini kapsar.

Çözülebilir kromatlar içeren macunlar içerdikleri kromatların yardımıyla korozyonun engellenmesini sağlarlar. Bu çeşit macunlar yeşildir ve boyasız dış bölgelerde kullanılır.

Platin kür ajanı içeren silikon macunların kürleşmesi diğer silikonlar, polisülfatlar ve epoksi astar gibi tamamen kürleşmemiş bazı malzemelerle olan temastan dolayı engellenebilir. Bu macunun silikon olmayan yüzeylere yapışmasının sağlanması için astar gereklidir (Boeing, protective treatment, 1997).

4.2.4 Korozyon Önleyici Bileşikler(CIC)

Yukarıda bahsedilen tasarım faaliyetleri uçakların korozyonun önlenmesinde büyük katkı sağlamasına rağmen korozyon önleyici bileşikler (CIC) ilave katkıyı sağlamak amacıyla özellikle periyodik olarak servis sırasında sıklıkla kullanılır. Bu bileşikler boya ile birlikte korozyonu önlemek için ya da boyanın hasara uğradığı bölgede korozyonu durdurmak için kullanılır. Bunların çoğu küçük boşluklara girerek suyu ortamdan uzaklaştırır. Dolayısıyla boyanın hasara uğradığı bölgede temas eden yüzeylerin veya perçin ve boşluk aralarına girebilmektedirler. Bu bileşikler yüzeye püskürtülebilen veya fırçayla sürülebilen uçucu sıvılardır ve normal kullanımla kolaylıkla çıkarılamayacak kadar dayanıklıdır. Özellikle korozyon önleyici bileşikler ilk olarak gövdenin alt bölümleri gibi korozyona yatkın bölgelerde kullanılmıştır. Günümüzde ise üretim sırasında çoğu alüminyum yapısına uygulanmaktadır (Gerhardus, 2001).

Üretimde kullanılan korozyon önleyici bileşikler suyu uzaklaştıran veya kaplama olarak davranan uzun ömürlü çeşitleri olmak üzere iki çeşittir. Suyu uzaklaştıran tipteki korozyon önleyiciler solvent içerisinde çökelmiş uçucu olmayan petrol bazlı bileşikler içerir. Solvent ile karıştırılarak bileşik daha akışkan hale getirilir. Bu tip önleyiciler temas eden yüzeylere nüfuz etmesi için yapı üzerine püskürtülür ve solvent buharlaştıktan sonra kalan ince film yapıdan

suyu uzaklaştırarak koruma sağlar. Bunların ultraviyole ışık altında görülebilen renksiz film bırakan ve göz muayenesi ile görülebilen renkli film bırakan çeşitleri vardır. Bu bileşik kuruduktan sonra yüzeyde balmumu gibi bir tabaka bırakır. Bu tabaka yapışkandır ve istenmeyen malzemeleri toplar. Bu önleyicilerin aktif halde kalabilmeleri için birkaç yılda bir uçağın maruz kaldığı çevre şartlarına bağlı olarak düzenli olarak temizlenmeli ve aşınma gerçekleştiği için tekrar uygulanmalıdır.

Uzun süreli olan korozyon önleyici ise diğer bileşiğe göre solvent içerisine çökelmiş daha fazla uçucu olmayan petrol bazlı bileşikler içerir ve daha kalın bir film tabakası oluşturur. Bu bileşiklerin beyaz ışık altında görülebilen renkli kalın ve orta kalınlıkta film bırakan çeşitleri vardır. Bu bileşikler diğer çeşit önleyici gibi küçük boşluklara girebilme kabiliyetine sahip değildir ancak aynı diğer tip gibi yüzeyde balmumu gibi kalın bir tabaka bırakır. Uygulama sonrası yaklaşık altı saatte kurumaktadır. Bu tip bileşiklerin aşınma direnci yüksektir. Bu bileşikler de yapıya püskürtülerek kullanılır ancak daha viskoz olup daha az nüfuziyet kabiliyetleri vardır (Boeing BSOPM 20-41-02).

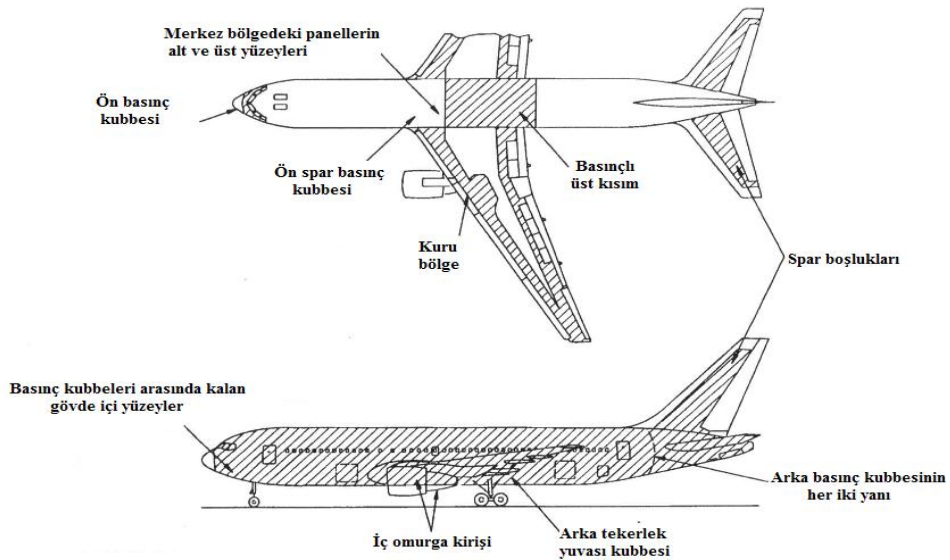
Bunlar uçağın korozyona en meyilli parçaları üzerinde kullanılırlar. Üst bir kat oluşturmak için kullanılırlar ve uçak içersinde çok çeşitli ortamlarda kullanım alanına sahiptir. Korozyon engelleyici bileşikler korozyonun engellenmesinde çok etkin bir yöntem olup tamir, muayene gibi çıkarılması gereken durumlarda veya yüzeye boya, dolgu macunu uygulanması öncesi tamamıyla çıkartılmalıdır. Özellikle penetrant muayenesi öncesi bu bileşiklerin tamamıyla çıkarılması büyük önem taşır. Bileşik tamamen yüzeyden temizlenene kadar hava püskürtülür (Boeing, protective treatment, 1997).

Korozyon engelleyici bileşiklerin kullanımı korozyon ve koruma programlarında belirtilmiştir. Uçakta kullanılan korozyon önleyici tüm bileşikler nemi uzaklaştırıcı özelliktedir. Bunların esas amacı; nemi uzaklaştırmak ve aralıklara girerek temas yüzeylerinde bariyer oluşturarak nemin bu bölgelere girmesini engellemektir. Bu bileşikler düşük yüzey gerilimine sahip metal yüzeyindeki suyu uzaklaştırmaya yardımcı solvent içerirler. Solventin kurumasıyla birlikte metal ile su arasında korozyona neden olan reaksiyona engelleyen ince bir film oluşturur. Korozyon önleyici bileşikler kapiler etki ile çatlaklara ve boşluklara girer. Bu yüzden herhangi bir basınçlı püskürtme cihazına gerek yoktur. Bu bileşikler korozyonun önlenmesinde dönüşüm kaplamaları ve astar kullanımı sonrasında ikincil koruyucu olarak kullanılmaktadır. 1975 yılından beri Boeing firması üretimi uçaklarda suyu uzaklaştıran tipteki önleyiciler kullanılmaktadır. Bu ürün diğer tipteki önleyiciye göre daha kısa süreli ve mükemmel nüfuziyet kabiliyeti neticesinde tüm yüzeyleri kaplar ve uygulama sonrası kolayca yıkanabilmektedir. Korozyon önleyicilerin kullanımında aşırıya kaçılmasının korumayı

arttırıcı bir etkisi yoktur aksine muayeneye engel teşkil ederek, ağırlığı ve kuruma zamanını arttırır, tahliye deliklerini ve yollarını tıkar.

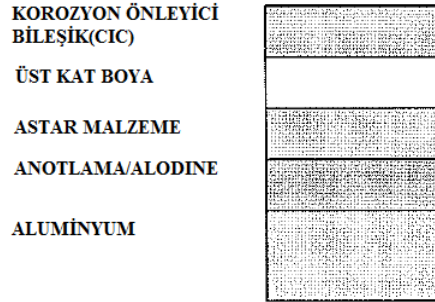
Önleyicilerin geniş bölgelerdeki tatbikatında havasız spreylere kullanılırken, stringer kenarı gibi ulaşılması zor bölgelere uygulaması ise özel geliştirilmiş çubuklar ve nozüller yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Muayeneyi engelleyici durumda, dönüşüm kaplaması, macun gibi son işlemlerin tekrar tatbikatında veya önleyicinin çatlaması, kirlenmesi durumunda korozyon önleyiciler çıkarılır. Tekrar uygulamada ise yüzeyde atık veya sıvı olmamalı, tamamen temiz olması gerekmektedir.

Korozyon önleyicilerin kür süresini boya kalınlığı, havalandırma, sıcaklık ve nem etkilemektedir. Kullanılan farklı tiplerin kür süreleri bir ila altı saat arasında değişmektedir. Bu bileşikler; kanat kenarları, kenar boşlukları, spar kirişleri, spar ve kirişler arasında temas eden bölgelerin kenarları gibi atmosfere açık bölgelerde, suyun toplanarak tahliye edilemediği iskelet altı bölgelerde, mutfak teçhizatı ve lavabo altları gibi korozyon sıvılarıyla temastan doğan korozyonlu bölgelerde, boyanın veya dolgu malzemesinin hasara uğradığı temas yüzeylerinde, perçin çevresinde boya tabakasının kalktığı bölgelerde kurtçuk korozyonunu önlemek için ve korozyonun tespit edildiği tüm diğer bölgelerde kullanılır (Boeing BOSPM 20-41-02). Şekil 4.8’ de korozyon önleyici bileşiklerin uçaklarda kullanım yerleri gösterilmektedir. Yüksek nüfuziyet kabiliyetli, düşük viskoziteli olan tipi üretim sırasında içyapıda kullanılır.



Şekil 4.8 Korozyon önleyici bileşiklerin uçaklarda kullanım yerleri (Boeing, protective treatment, 1997)

Şekil 4.9’ da korozyon engelleyici bileşiklerin korozyonun önlenmesindeki uygulanma sırası görülmektedir.



Şekil 4.9 Korozyonun engellenmesinde kullanılan bileşiklerin sırası (Boeing, structural finishes,1998)

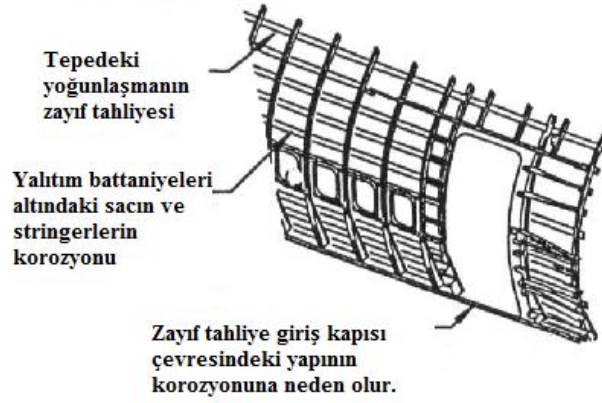
4.2.5 Tahliye

Tahliyenin, uçak tasarımının başından itibaren sağlanması gerekmektedir. Tüm uçak yapısının etkin sıvı boşaltımı sıvıların boşluklarda birikmesini önlemek için önem arz etmektedir. Atmosferdeki hava, tahliye veya su kaynağı borularındaki sızıntı, kargoda içi sıvılar, kabin içi yer panelindeki macun hasarları, uçak içerisinde dolaşan havadan kaynaklı nem ve uçak içerisindeki döküntüler gibi uçak içerisindeki sıvılar çeşitli yerlerde birikmektedir. Tüm yatay yüzeyler ve cepler bahsedilen sıvıların birikmesini engelleyecek şekilde bir çıkış yoluna sahip olmalıdır. Mümkün oldukça çıkış yoluna sahip olmayan yatay yüzeylerden kaçınılmalıdır. Uçak servis süresince uçak içerisindeki sıvıları tahliye edecek deliklerin yarıçapı en az 9.5 mm olmalıdır. İki parçanın arasındaki boşluk alanı ise en az 2.8 mm² olmalıdır. Bu rakamsal ifadeler şirketlerin uçuş tecrübelerine dayanarak belirlenmiştir. Tahliye işleminin yeterli seviyede sağlanamaması uçak içi korozyon için son derece tehlikelidir. Bu sebepten dolayı özellikle tamir sonrası bu deliklerin kapatılmamasına özen gösterilmelidir. Tüm düşük basınçlı gövde tahliye delikleri vasıtasıyla boşaltılır. Sıvılar, bu tahliye deliklerine uzunlamasına ve çapraz tahliye yollarıyla stringer ve frame kelepçelerinden geçerek ulaşır (Boeing, protective treatment, 1997).

Tüm uçaklar göze alındığında en önemli korozyon problemi, temas yüzeylerinde veya ceplerde biriken nemdir. Canlı kargolardan ve yolcuların vücudundan kaynaklanan nemin yoğunlaşması, havalandırma sisteminin uçak içerisindeki nemi sirküle etmesi, açık servis ve kargo kapılarından giren yağmur ve kar suları, su veya kar kaplı kargolar, kapı macun

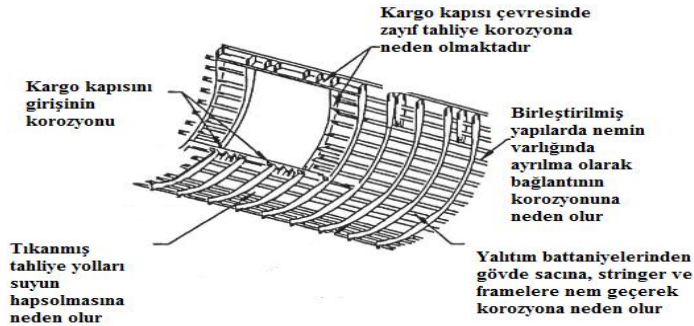
sızıntıları, mutfak teçhizatındaki döküntüler panelden gövdenin alt bölümüne sızıntılara sebep olur. Ayrıca, tuvaletten gövdenin alt bölümüne sızıntıların geçmesi, yolculardan ve kabin içi kargodan kaynaklanan saçılmalar ve ıslak merdivenlerden gövdenin alt bölümüne nem geçişi uçak içindeki neme sebep olan kaynaklardandır.

Kabin içinde gövde tepesindeki yoğunlaşmadan kaynaklanan nemin zayıf tahliyesi, yalıtım battaniyeleri altındaki sacın ve yatay kirişlerin korozyonuna sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra zayıf tahliyeden dolayı, giriş kapısı çevresindeki yapı ve giriş kapısı eşiği korozyona uğramaktadır. Şekil 4.10' da gövde üst yapısındaki korozyon bölgeleri gösterilmiştir (Boeing, protective treatment, 1997).



Şekil 4.10 Gövde üst yapısında korozyon bölgeleri (Boeing, protective treatment, 1997)

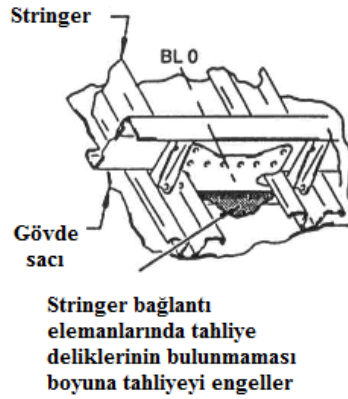
Kargo bölmesinde ise zayıf tahliye ve tıkanmış tahliye yolları nemin hapsolmasına neden olur. Kargo kapısı eşiğinde ve kapı çevresinde korozyona sebep olmasının yanında birleştirilmiş yapılarda da ayrılmaya neden olarak yapının korozyonuna sebep olur. Şekil 4.11' de kargo bölmesinde korozyona uğrayan bölgeler gösterilmiştir



Şekil 4.11 Gövdenin alt kısmında zayıf tahliye kaynaklı korozyon bölgeleri ve nedenleri (Boeing, protective treatment, 1997)

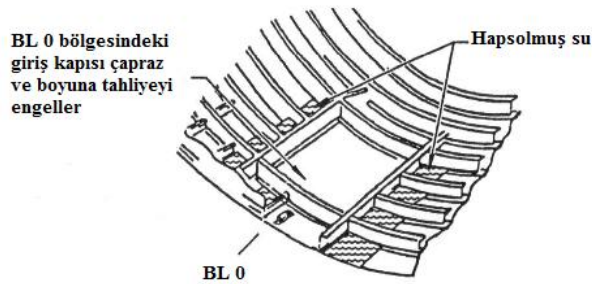
4.2.5.1 Tahliyeyi Engelleyen Yapısal Bileşenler

Uçak gövdesi içerisinde boyuna uzanmış olarak bulunan iskeletin temel yapı elemanlarından stringerlerin(yatay kiriş) framerlerle(dairesel kiriş) bağlantısını sağlayan bağlantı elemanlarında tahliye deliklerinin bulunmaması boyuna gerçekleşecek tahliyeyi engeller ve buralarda suyun hapsolmesine ve zamanla yapının korozyonuna neden olur. Bu olaya ait örnek Şekil 4.12’ de gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Yatay kiriş bağlantı elemanlarında tahliye yanlışlıkları (Boeing, protective treatment, 1997)

Uçak gövde yapısının merkezi olarak kabul edilen BL0 bölgesi kargo kapısı çevresinde çapraz ve boyuna tahliyeyi engelleyerek çevredeki yapıların korozyonuna neden olur (Boeing, SRM 737-400 51-00-01, 2009). BL0 bölgesinde korozyona neden olan yapı Şekil 4.13’ te gösterilmektedir.



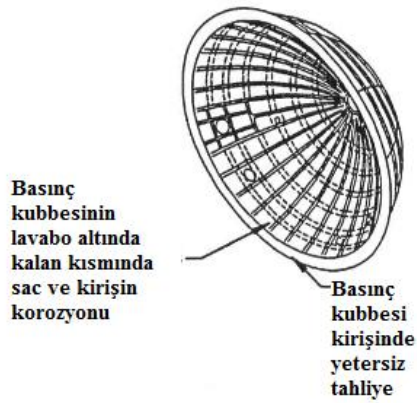
Şekil 4.13 Kargo kapısı çevresinde yanlış tahliye (Boeing, protective treatment, 1997)

Yolcu giriş kapısı çevresinde yolcu merdiveninden, mutfak teçhizatından ve lavabo aksamından doğan nem ve benzeri çeşitli döküntüler bu çevredeki yapıların korozyonuna sebep olur. Bu yapı Şekil 4.14’ te görülmektedir.



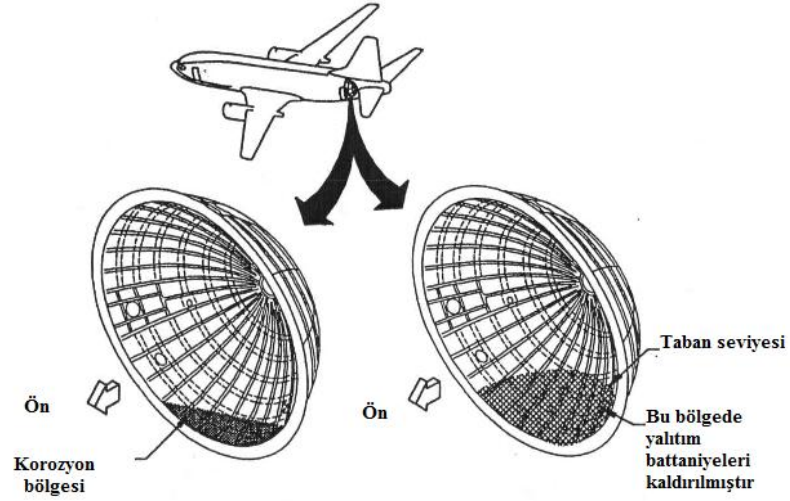
Şekil 4.14 Giriş kapısı çevresinde korozyonlu bölgeler (Boeing, protective treatment, 1997)

Uçak arka basınç bölmesinin, lavabo altında kalan kısımda yetersiz tahliyeden kaynaklanan korozyona rastlanmaktadır. Resimli açıklama Şekil 4.15’ te verilmiştir.



Şekil 4.15 Arka basınç bölmesinde korozyonlu bölgeler (Boeing, protective treatment, 1997)

Uçakların arka basınç bölmelerinin alt kısımlarında basınçlandırmaya engel olan korozyona karşı kullanılan yalıtım battaniyeleri basınç bölmesinin en alt kısmından kaldırılarak taban paneli seviyesine veya taban paneli seviyesinden aşağıda belirli bir mesafeye taşınarak yalıtımsız bölge sınırlandırılmıştır. Bu değişiklik Şekil 4.16’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 Basınç bölmesinin alt kısmındaki farklı dizayn (Boeing, protective treatment, 1997)

5. TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

Tahribatsız muayene, bir malzeme ya da sistemin bütünlüğüne zarar vermeden malzemenin kullanılabilirliğini etkileyen herhangi bir süreksizliğin olup olmadığını tespit etmek ya da diğer malzeme özelliklerini değerlendirmek için inceleme yapan tüm test yöntemlerini kapsamaktadır. Bu teknolojiyi tanımlamak için tahribatsız değerlendirme, tahribatsız inceleme gibi başka terimler de kullanılmaktadır. Tahribatsız yöntemler malzemelerin boyut, görünüş veya alaşım içeriği, sertlik, tane boyutu gibi diğer karakteristik özelliklerini tayin etmede de kullanılır. Tahribatsız muayene teknolojisi yıllardan beri var olmasına rağmen bu teknolojinin hafife alınmış olması yıllardır süregelen uçak kazaları, inşaat yıkıntıları ve malzemelerin servis sürelerini erken doldurmalarına sebep olmuştur. Tahribatsız teknolojisi hata oluşumuna garanti veremese de bir hata oluşma olasılığını en aza indirmede önemli rol oynamaktadır. Yanlış dizayn ve malzemenin hatalı kullanımı gibi faktörler tahribatsız yöntemler uygun kullanılsa dahi hata oluşumuna sebep olabilirler (Hellier, 2003).

Tahribatsız muayene teknolojisi geçen otuz yılda önemli bir büyüme ve değişiklik göstermiştir. Bugün bu teknoloji bulunduğu nokta itibarı ile son yıllarda en hızlı büyüyen ve gelişen yeniliklerden kabul edilmektedir. Günümüzdeki cihaz ve ekipmanların gelişimi de malzemeleri daha iyi anlamaya olanak sağlayarak bu çok önemli ve birçok endüstri dalı olmak üzere geniş kullanım alanı olan tahribatsız teknolojisinin gelişimine katkıda bulunmuştur. Bu teknik güvenliğin sağlanmasına medikal alan da dahil olmak üzere diğer tüm teknolojilerden daha fazla katkıda bulunmuştur. Tahribatsız muayeneler, ürün hatalarının hayati ve hayati olmayan kazalarla sonuçlanan her türden endüstri dalının bir parçasıdır.

Tahribatsız muayene ile çoğu birey tarafından günlük hayatta uygulanmaktadır ancak bunun pek farkında değildir. Örneğin; bozuk para bir makineye atıldığında içecek veya yiyecek istenilen şeyin seçimi yapıldığında para bir seri tahribatsız muayeneye maruz kalmaktadır. Paranın boyut, ağırlık, şekil, iletkenlik ve metalürjik özellikleri hızlıca kontrol edilir. Para bütün bu testlerden geçtiği takdirde seçilen ürün makineden alınır. Sonik enerji ile bir sunta arkasındaki çivinin yerini tespit etmek ya da görme duyumuz ile düzenli olarak renk, şekil, boyut belirlemeleri yaparak malzeme karakteristiklerinin değerlendirmeleri çok sıklıkla yapılır. Bu sayılanlar malzemenin özelliklerini ve şeklini değiştirmeden yaptığımız kontrollerdendir ve çok genel anlamıyla birer tahribatsız muayenedir. Özellikle insan vücudu en gelişmiş tahribatsız muayene cihazlarından bir tanesidir.

Endüstride tahribatsız muayene daha geniş amaçlarla kullanılır. Bu yöntemle etkin olarak yapılanlar aşağıdaki gibidir;

1. İşleme öncesi hammaddelerin incelenmesi
2. İşleme sırasında işlemin kontrolü amacıyla malzemelerin değerlendirilmesi
3. Bitmiş ürünlerin incelenmesi
4. Ürün ve yapıların servisteyken incelenmesi (Hellier, 2003).

Üreticiler tarafından bu yöntemlerin uygulanış amacı şöyledir;

1. Ürün bütünlüğünü sağlamak için
2. Hataları önlemek ve kazaları önleyerek insan yaşamını kurtarmak için
3. Üreticinin saygınlığını korumak ve kullanıcının memnuniyetini sağlamak
4. Daha iyi bir ürün dizaynına yardımcı olmak
5. Üretim prosesini kontrol etmek
6. Üretim masraflarını azaltmak
7. Kalite seviyesinin standardizasyonu
8. Operasyon çabukluğunu sağlamak (ASNT V:10, 1996).

Esasında, tahribatsız muayene gelişmiş elektronik cihazlarla ve diğer özel ekipmanların kullanımıyla insan duyularının geliştirilmiş hali olarak düşünülebilir. Bu gelişmiş cihaz ve ekipmanların kullanımı insan duyularının hassaslığının arttırmaktadır. Ancak diğer bir yandan tahribatsız bir muayenenin yanlış uygulanması veya suistimal edilmesi kötü sonuçlar doğurabilir. Testin doğru uygulanmaması veya test sonuçlarının yanlış yorumlanması yıkıcı sonuçlara neden olabilir (Hellier, 2003).

Tahribatsız muayene test parçasının bütünlüğünü incelemek için kullanılmaktadır. Örneğin; radyo astronomi, voltaj ve amper ölçümü gibi diğer birçok yöntem tahribatsızdır ancak malzeme özelliklerinin değerlendirilmelerinde kullanılmamaktadırlar. Tahribatsız muayene, bir parçanın ne kadar kullanılacağı ve gelecek sefere ne zaman kontrolün gerektiği gibi test parçasının verimi ile ilgilenmektedir.

Tahribatsız muayenelerle ilgili bazı yanlış anlaşılan konular vardır. Yapılan en büyük yanlış tahribatsız muayenenin parçanın kırılmasına ve bozulmasına engel olacağı yönündedir. Tüm tahribatsız test metotlarının çeşitli sınırlamalarının olduğu bilinmelidir. Çoğu muayenede en az iki farklı yönetime ihtiyaç duyulur. Bunlardan bir tanesi parça içerisindeki koşullar için diğeri ise parçanın yüzeyindeki koşullara daha duyarlıdır. Her metodun sınırlamaları kontrol öncesinde bilinir. Örneğin, süreksizlik kontrol için uygun olmayan bir şekilde yönelmiş olabilir. Ayrıca hatayı tespit etmek için gereken eşik değeri de her yöntem için bilinmesi gereken bir faktördür. Süreksizliğin tipi ve boyutunu açıklayan standartlara bağlı olarak kabul, red kararları verilir. Ancak uygulanan yöntem kusurları açığı çıkarmada yetersizse kullanılan standartlar anlamsızdır. Yapılan diğer bir yanlış incelenecek parçanın özelliklerine ilişkin

yeterli bilgi edinilmemesidir. Bu sebeple test gerçekleştirilmeden önce standartlarla ilgili ve incelenecek parçada oluşabilecek süreksizliğin yapısıyla ilgili mümkün olan en fazla bilgi edinilmelidir. Standartlarda kabul edilebilir olarak belirtilen süreksizlikler vardır ancak bu süreksizliklerin servis sırasında bir çeşit hasara neden olmayacağına dair garanti vermez. Bu nedenlerle parça servise girdiğinden itibaren belirli dönemlerde incelemeler yapılmalıdır.

Bir diğer çok düşülen hata muayeneyi gerçekleştirecek personeli ile ilgilidir. Gelişmiş cihazlarla ve tekniklerle yapılan kontroller kalifiye olmayan bir personelin elinde yetersiz sonuçlar verebilir. Bu sebeple personel eğitimleri tahribatsız muayene teknolojisinde çok büyük önem arz eder (ASNT V:10, 1996).

Malzemeler üretimleri esnasında çeşitli problemler nedeni ile istemeyen kusurlara sahip olabilir. Bunlar malzeme çalışırken problemlere neden olur. İki çeşit kusur vardır. Bunlar;

Hatalar: Bir parçanın normal fiziki yapısı yada konfigürasyonunda meydana gelen kesikliklerdir.

Süreksizlik: Çalışma şartlarında parçanın performansını etkilemiyorsa "kabul edilebilir" olarak değerlendiriliyorsa buna süreksizlik denir. Süreksizlikler üretim sırasında veya kullanım esnasında oluşabilir. Üretimin ilk aşamasında oluşan süreksizlikler birincil süreksizlikler, üretimde son işlemlerin uygulanması sırasında oluşuyorsa ikincil süreksizlikler, kullanım sırasında oluşuyorsa servis süreksizlikleri olarak adlandırılırlar. Süreksizlikler döküm, kaynak, plastik deformasyon, korozyon, yorulma, sürünme neticesinde oluşmaktadır ve tespitleri tahribatsız yöntemlerle yapılmaktadır (Hellier, 2003).

5.1 Tahribatsız Muayenede Kullanılan Yöntemler ve Uygulama Alanları

Bütün tahribatsız test yöntemleri iki esas fonksiyonla tanımlanır. Bunlardan birisi nüfuziyet, diğeri de algılama fonksiyonudur. Nüfuziyet fonksiyonu, nüfuz edici elemanın test malzemesi içerisine girici ve fiziksel süreksizlikleri algılama elemanına aktarılmasıdır. Algılama elemanı ise, nüfuz edici elemanından aldığı bilgileri test operatörünün algılayacağı bilgiler haline getirir. Örneğin, radyografide malzemeye nüfuz edici eleman radyasyon, algılayıcı elemenda radyografik filmdir. Film üzerindeki bilgiler kimyasal işlemlerden sonra gözle algılanır belirtiler haline gelir. Tahribatsız muayene yöntemlerini açıklamadan önce süreksizliklerin malzeme içindeki konumlarını incelersek tahribatsız muayene yöntemlerini daha iyi sınıflandırabiliriz. Malzemedeki süreksizlikler üç şekilde olabilir.

Bunlar; Şekil 5.1’ deki gibi yüzeydeki süreksizlikler, Şekil 5.2’ deki gibi yüzey altında veya yüzeye yakın süreksizlikler ve Şekil 5.3’ te gösterildiği gibi malzeme içindeki süreksizliklerdir.



Şekil 5.1 Yüzeye açık süreksizlik



Şekil 5.2 Yüzeye yakın süreksizlik



Şekil 5.3 Malzeme içindeki süreksizlik

Bu süreksizliklerin kontrolleri açısından tahribatsız muayene yöntemleri genel olarak iki ana bölüme ayrılır;

Yüzey yöntemleri: malzemelerin yüzeyinde ve yüzey altında, yüzeye yakın bulunan süreksizlik/ hataların tespitinde uygulanır. Yüzey yöntemleri; penetrant (sıvı girinim), manyetik parçacık, girdap akım kontrolleridir. Bu yöntemler Şekil 5.4’ te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Yüzey yöntemleri

Hacimsel yöntemler: Malzemede test bölgesinin tamamına nüfuz etmek suretiyle hataların algılanmasını sağlar. Hacimsel yöntemler Şekil 5.5’ te gösterilen radyografi ve ultrasonik kontrollerini kapsar.



Şekil 5.5 Hacimsel yöntemler

Süreksizliklerin tiplerini, boyutlarını ve konumlarını belirlemek için her yöntem farklı tekniklerle uygulanabilir. Ayrıca birleşik yöntem adı verilen akustik ses dalgalarıyla ve termografik yöntemlerle de tahribatsız muayeneler yapılmaktadır.

Tahribatsız Muayene yöntemleri genel olarak beş gruba ayrılır.

1. Sıvı girinim (Penetrant Sıvısı) ile Muayene
2. Manyetik Parçacık ile Muayene
3. Girdap akımları (Eddy current) ile Muayene
4. Ultrasonik Muayene
5. Radyografik Muayene

Manyetik parçacık muayenesi, ferromanyetik malzemelerin kontrolünü kapsadığından uçaklardaki alüminyum malzemelerde kullanılmamaktadır.

5.1.1 Sıvı Penetrant Muayenesi

Penetrant (sıvı girinim) kontrolü, özel sıvılar yardımıyla gözeneksiz malzemelerin yüzeylerindeki çok küçük kılcal çatlakları, oyukları açığa çıkarmak için kullanılan tahribatsız test yöntemlerinden biridir. Bu kontrol tatbik edilen sıvının yüzey süreksizliğine kapiler hareketle girmesi ve süreksizliğe giren penetrantın süreksizlik ve parça yüzeyi arasında kontrast oluşturarak süreksizliği görülebilir hale getirmesine dayanır (33-B-1-1, 2005). Bu muayene genellikle bitmiş veya kontrol edilecek sökülmüş uçak parçalarının kontrolünde kullanılmaktadır. Sıvı penetrant uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için;

- Yüzeye açık süreksizliklerin (yüzey altı süreksizlikleri veya yüzeye kapalı çatlaklar tespit edilemez) olması
- Parçanın iyice temizlenmesi
- İyi bir göz kontrolü gerekmektedir (Shull, 2001).

Sıvı penetrant kontrolünde kullanılan penetrantlar, içerdikleri boya çeşidine ve onu test parçasından gidermek için gerektirdikleri işleme göre sınıflandırılırlar.

Boya çeşitleri: Gözle görülür renkte boya içeren penetrantlara görülebilir penetrant ya da boya penetrantlar denir. Genellikle renkleri parlak kırmızıdır. Flüoresan boya içeren penetrantlara da flüoresan penetrant denir. Gözle görülür ve flüoresan boyaların birleşimini içeren penetrantlara çift hassasiyetli penetrantlar denir.

İşlemler: Seyrelticiyi kendi içinde olan ve normal su ile temasa geçtiğinde kendiliğinden seyrelen penetrantlara suyla yıkanabilen penetrantlar denir. Penetrantın suyla yıkanabilir

olabilmesi için ayrı bir seyreltici maddesinin kullanıldığı işlemlere de sonradan seyreltilen penetrantlar denir. Penetrantın solventle giderildiği işlemler ise solventle giderilen penetrantlar olarak adlandırılır.

Sıvı penetrant muayenesinde süreksizlik belirtilerini tespit etmek için uygulanan işlemler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

Yüzeyin hazırlanması: Penetrant ile muayene işleminde malzeme yüzeyinin temizliği çok önemlidir. Kontrol edilecek parçanın bütün yüzeyleri kir, yağ, gres, boya, kaplama malzemeleri, kaynak artıkları gibi penetrant sıvısının girişini engelleyecek bütün artıklar temizlenmelidir.

Yapılan temizlik işlemi kontrol edilecek malzemeye zarar vermeden yapılmalıdır. Temizleme işlemi; çözücü ile temizleme, kimyasal temizleme, mekanik temizleme ve kimyasal dağlama metodu ile temizleme olmak üzere dört grupta toplanır.

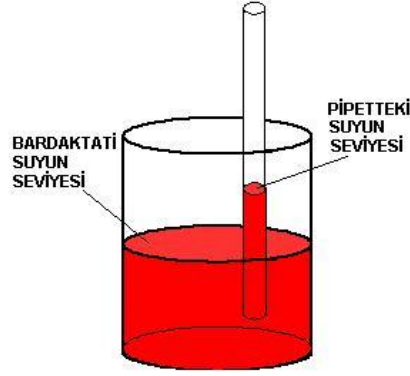
Penetrantın uygulanması: Sıvı penetrant kontrolünde penetrant test parçasının yüzeyine uygulanır ve yüzeye açık olan süreksizliklere nüfuz etmesi için yeterli bir süre beklenir. Şekil 5.6' da penetrant uygulaması görülmektedir. Penetrant ve çevre ısısı 5°C ile 50 °C arasında olmalıdır. Test parçasının üzerine penetrant fırça veya sprey ile uygulanabileceği gibi, test parçası penetrant banyosuna da daldırılabilir (Onursal, 2007).



Şekil 5.6 Penetrant Uygulaması

Penetrantın malzeme yüzeyine nüfuziyeti yüzey gerilimine, ıslatma kabiliyetine ve kapiler harekete bağlıdır. Bu kontrol, sıvıların kapiler hareketine dayanmaktadır. Kapiler hareket bir sıvı yüzeyinin bir katı ile temasa geçtiği noktada yükselmesi veya alçalması hareketidir. Sıvının çatlak, oyuk gibi küçük açıklıklara penetre etmesi şeklinde ifade edilir (33-B-1-1, 2005). Sıvı penetrant kontrolünde kullanılan maddeler ve işlemler, kapiler hareketi kolaylaştırmak ve görülüp yorumlanabilen sonuçlar çıkarmak için hazırlanmıştır. Kapiler hareket olayı, doğadaki en önemli kuvvetlerden biridir. Kapiler hareketin oranı ve kapsamı;

- Kohezyon
- Adezyon kuvvet
- Yüzey gerilimi
- Vizkosite gibi faktörlere bağlıdır.

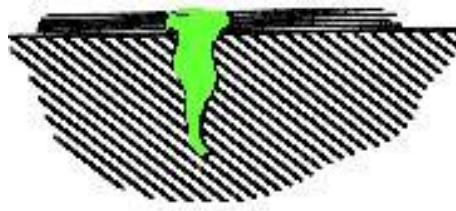


Şekil 5.7 Kapiler Hareket

Plastik bir pipet, içi su dolu bir bardağa sokulduğunda kapiler hareket gözlenebilir. Pipet suya sokulduğunda, su molekülleri pipetten içeri girer ve yanındaki diğer molekülleri birleşmeden dolayı pipetten yukarıya doğru çekmeye başlar. Bu işlem su daha yukarıya çıkıncaya kadar devam eder. Yüzey geriliminin çekişi eşitleninceye kadar su yükselmeye devam eder. Birleşme kuvveti, suyun pipetten geri inmesini önler. Kapiler hareket, Şekil 5.7’ de gösterilmiştir.

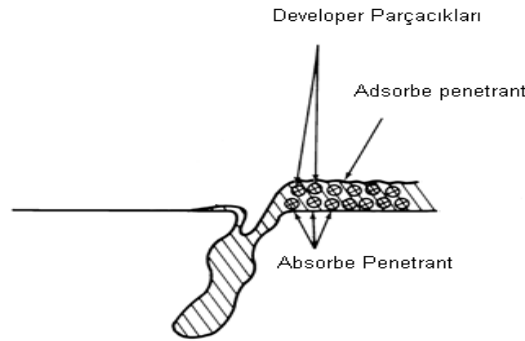
Bekleme zamanı: Penetrantın yüzeydeki herhangi bir açıklığa girmesinin sağlanması için beklenmesi gereken zamanıdır. Bekleme zamanı boşluk boyutu, penetrant hassasiyeti, malzeme tipi ve üretim şekli, süreksizlik tipi gibi çeşitli faktörle bağlıdır (33-B-1-1, 2005). Uçak malzemeleri için gerekli bekleme zamanı uçak üreticileri tarafından belirtilen el kitapçıklarında (NTM) belirtilmektedir. Bekleme zamanı uzatılacak olursa işlem yeniden tekrarlanır.

Fazla Penetrantın Giderilmesi: Penetrantın yüzeye açık süreksizliklere nüfuz etmesi için yeterli bir süre geçtikten sonra penetrantın fazlası yüzeyden giderilir. Yüzeyin ıslak bir bezle hafif bir şekilde silinmesi veya bir solvent kullanılması ile gerçekleştirilir. Süreksizlik içindeki penetrantın da giderilmemesine dikkat edilmelidir. Fazla penetrantın giderilmesi Şekil 5.8’ de gösterilmiştir.



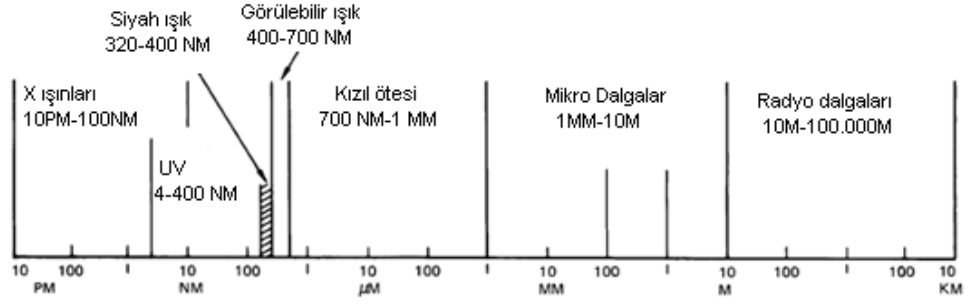
Şekil 5.8 Fazla Penetrantın giderilmesi

Developerın Uygulanması: Kapiler hareket, developer kullanılarak tekrar işleve sokulur. Süreksizlik içerisindeki penetrantın ters kapiler hareketle görülebilmesi için developer (geliştirici) uygulanır. Geliştirme işleminin mekanizması adsorpsiyon ve absorpsiyon mekanizmasıdır. Adsorpsiyonda, adhezif kuvvetlerle parça yüzeyindeki sıvı tutulur. Bu hareket süreksizlik bölgesindeki penetranta developerın yapışmasını sağlar. Absorpsiyon ise sıvının emici partiküllerle karışması halinde oluşan emme olayını açıklar. Developerlar, yüzeyden gelen yansımaları azaltırlar ve uv ışık altında mavi-siyah gözükürler. Mavi-siyah renk, sarı-yeşil penetrantla kontrast oluşturur ve indikasyon görüntüsünü daha rahat görülebilir hale getirir. Developerın mekanizması Şekil 5.9’ da gösterilmiştir. Developerın etkisini göstermesi içinde penetrant bekleme süresinin yaklaşık yarısı kadar beklenmesi gerekir (33-B-1-1, 2005).



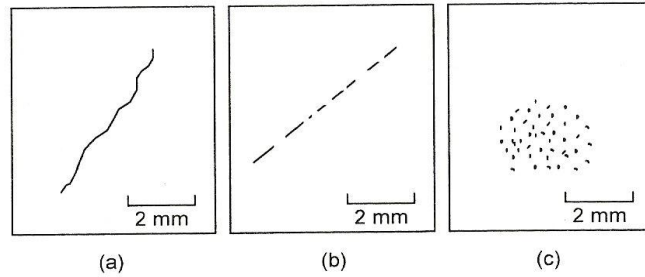
Şekil 5.9 Developer Mekanizması (33-B-1-1, 2005)

Kontrol: Bu aşama developer ile kaplı test parçası yüzeyinin penetrant belirtilerini görmek üzere incelenmesini içerir. Kontrol işlemi yüksek bir kontrastın oluşturulması için mor ötesi (ultra violet-uv) ışık altında yapılır. Çatlaktan alınan flüoresan ışığın kuvveti, hata derinliğinin bir göstergesi olarak değerlendirilir. Uv ışığı, görülebilir ışık ve x ışınları dalga boyları arasında olan bir elektromanyetik radyasyondur ve insan gözü tarafından görülemez. Bu kontrolde yumuşak ultraviyole ya da uzun dalga boylu olarak bilinen UV-A tipi kullanılır ve siyah ışık olarak adlandırılır. Siyah ışık Şekil 5.10 ‘da görüldüğü gibi görülebilir ışık sınırındadır.



Şekil 5.10 Işık dalga boyları (33-B-1-1, 2005)

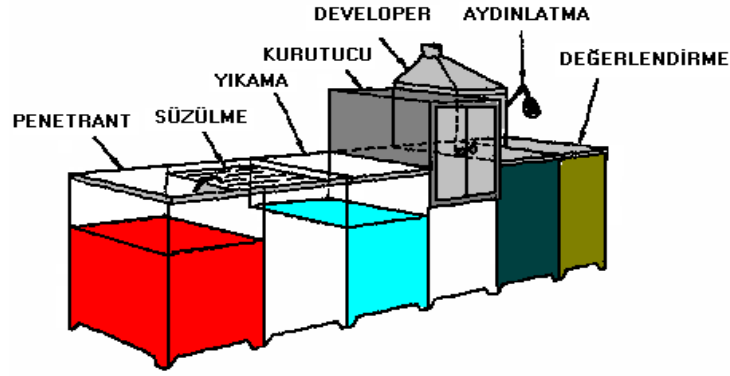
Yapıda bulunan süreksizliğin türüne ve oluşum mekanizmasına göre, elde edilen penetrant izleri değişim göstermektedir. Şekil 5.11' de a, b ve c' de, farklı süreksizlik türleri için elde edilen izler görülmektedir. Şekil 5.11a' da verilen sürekli hat şeklinde izler, genellikle yorulma çatlaklarına, soğuma sırasında oluşan çatlaklara aittirler. 5.11b' de verilen kesik hat şeklindeki izler, imalat sırasında oluşan süreksizlik izleridir. 5.11c' de verilen küçük delikler ise, yüzey pürüzlülüğü, korozyon ve büyük taneli içyapı nedeniyle oluşan izlerdir.



Şekil 5.11 Farklı penetrant izleri

Son Temizlik: Kontrol işleminin ardından yüzey temizlenerek, kurutulur. Test parçasındaki developer artıklarının ve penetrant artıklarının tekrar temizliğini içerir.

Yukarıda sayılan penetrant uygulama kademelerinin sırasıyla yapılmasına imkân tanıyan, uçaktan sökümü yapılan parçalar için uygun sabit çalışma sistemlerinde olması gerekenler Şekil 5.12' de gösterilmiştir. Bunlar; penetrant tankı, emülsifier\remover tankı, siyah ışıklı yıkama tankı, developer tankı (sıvı developer kullanıyorsa), kurutma fırını, developer tankı (kuru toz kullanılıyorsa), siyah ışıklı inceleme odasıdır.



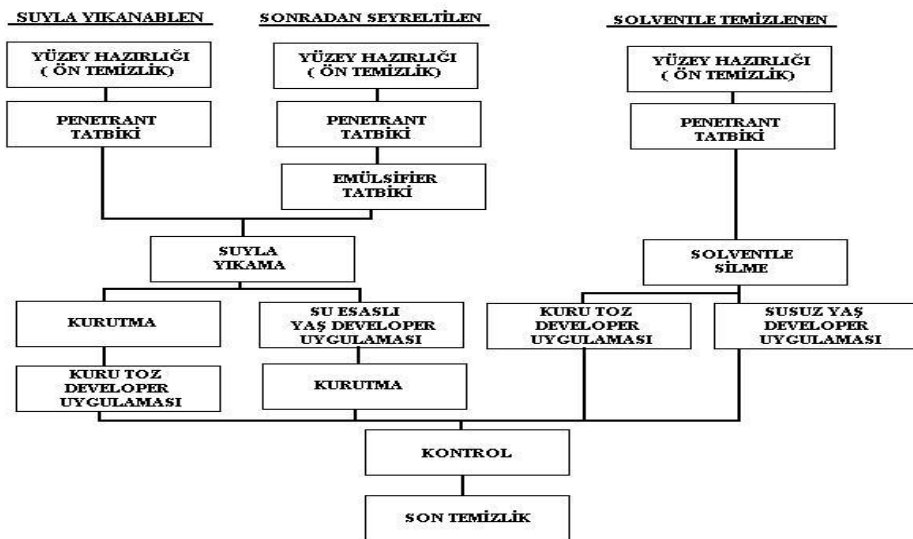
Şekil 5.12 Sabit çalışma sistemi

Uçak üzerinde sökümü yapılamayacak şekilde olan gövde parçalarının kontrolleri ise Şekil 5.13’ te gösterilen penetrant, solvent, developer spreylere kullanılarak gerçekleştirilir.



Şekil 5.13 Penetrant, solvent ve developer spreylere

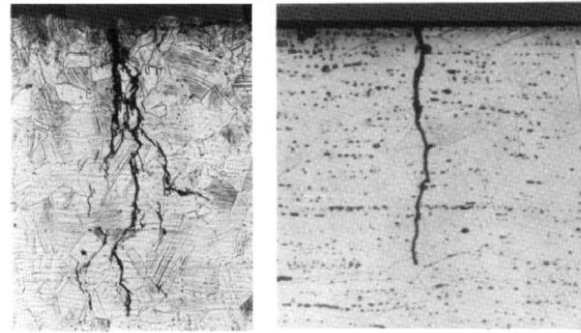
Çeşitli yöntemler kullanıldığında uyulması gereken sıra Şekil 5.14’ te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Farklı tip penetrant uygulamalarında tatbikat sırası

5.1.1.1 Korozyon Ürünlerinin Penetrant Uygulamaya Etkisi

Bu süreksizlikler kısmi veya sürekli bulunabilirler. İçi dolu süreksizlikler penetrantın girmesini ve yüzeyden çıkmasını engelleyebilir. Yüzeyde kalan penetrant da yanlış yorumlamaya yol açabilir. Gerilmeli korozyon ürünleri çatlakların içinde oluşabilir ve tam olarak çıkarılmaları çok zor olabilir. Gerilmeli korozyon çatlaklarının tespiti için yapılan penetrant muayenesinde penetrant girişinin sağlanması için fazla bekleme zamanlarına gerek duyulur. Gerilmeli korozyon çatlağının penetrant indikasyonu yorulma çatlaklarına benzemektedir. Çoğu zaman yüzey görünümüleri nedeniyle yorulma çatlaklarından ayırt edilemezler. Kesin olarak ayırt etmek için mikroskobik bir inceleme yapılması gerekmektedir. Bu inceleme, gerilmeli korozyonun taneler arasında ilerlediğini gösterir. Penetrant incelemesinde kirlilik yoksa yorulma çatlakları kolaylıkla tespit edilebilir, kirlilik olması halinde veya yüksek artık basma gerilmesi etkisindeyse tespit etmek çok zor olabilir. Gerilmeli korozyon çatlaklarında ise çatlak içerisinde az veya çok korozyon ürünleri bulunabilir. Korozyon ürünlerinin miktarı hata tespitini önemli ölçüde etkilemektedir. Yorulma çatlağının tespitinde olduğu gibi bazı gerilmeli korozyon tipleri penetrant ile tespit edilemezler. Daha öncede bahsedildiği gibi fazla bekleme süreleri kontrol için gerekebilir. Şekil 5.15’ te gerilmeli korozyon ve yorulma çatlağının mikro yapıları görülmektedir.



Şekil 5.15 Gerilmeli korozyon ve yorulma çatlağı mikro yapıları (33-B-1-1, 2005)

Penetrant muayenesi korozyonun tespitinde sıklıkla kullanılır. Korozyon genel olarak tane sınırlarında tane içinde olduğundan daha hızlı ilerler ve çok küçük çatlak ağları oluşturur. Korozyon parça yüzeyinde oyuklar halinde bulunabilir. Başlangıç aşamasında çatlak veya oyuklar sadece 10X veya daha fazla büyütme ile görülebilir. Tanelerarası korozyon veya oyuklar penetrant muayenesinde artık arka plan olarak görülürler ve sadece büyütme ile ayırt edilirler. Penetrant indikasyonu büyüteç ile değerlendirilirken developer kullanılmaz. Taşlama

ile korozyonun yeterli şekilde çıkarılmasını izlerken de penetrant uygulanır. Bu izleme sırasında da developer kullanılmaz. Fazla penetrantın çıkarılmasında 3X-5X büyütme büyüteç ile işlem takibi yapılmalıdır. En az 5 dakika developerda bekletme sonrasında inceleme tekrar edilir. Korozyonun tespit edilmediği anda suda çözülme developer ile işleme devam edilir (33-B-1-1, 2005).

5.1.2 Girdap Akımları ile Muayene

Girdap akımları yöntemi elektrik iletkenliği olan malzemelerde yüzey ve yüzeye yakın süreksizlikleri bulmakta kullanılır. Tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinden biri olan girdap akımları yöntemi temel olarak iletken malzemelerin incelenmesinin esası olan elektromagnetikliğe dayanmaktadır. Girdap akımları, elektromagnetik indüksiyon denilen işlem doğrultusunda elde edilir. Kalite kontrol konusundaki gelişmeler ile girdap akımları kullanılarak yapılan tahribatsız muayene yöntemi büyük önem kazanmıştır.

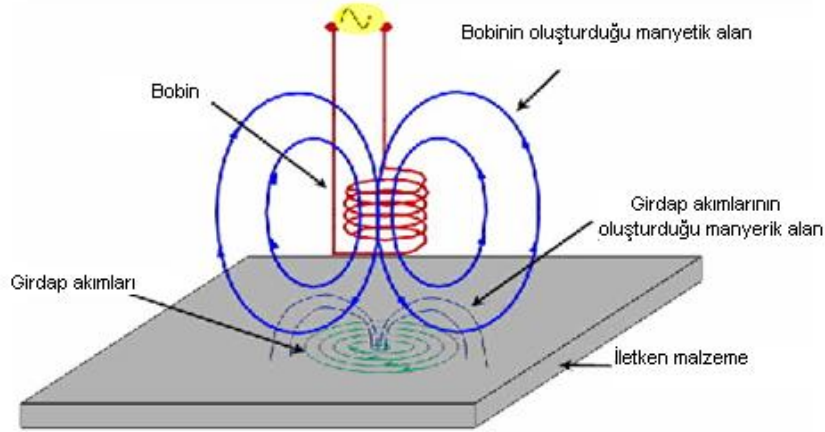
İletken bir malzemeye alternatif akım (örn; bakır tel) uygulanırsa bu malzeme içinde manyetik alan oluşur. Oluşan bu manyetik alana bir iletken yaklaştırılırsa (örn; alüminyum) iletken malzeme içerisinde dairesel yolla akan girdap akımları indüklenir. Bu isim, sıvıların ve gazların uygun koşullarda nesnelerin çevrelerinde dairesel yol almalarından gelmektedir.

İletken içerisinde oluşan girdap akımları telde oluşan birincil manyetik alanı karşılayan kendi ikincil manyetik alanlarını oluşturur. Malzeme içerisinde var olan kusurlar, geometrik ve metalürjik değişimler, elektriksel iletkenlik ve geçirgenlik değişimleri dolayısıyla indüklenen girdap akımlarının yolu ve gücü değişir. Bu değişim ikincil manyetik alanın dolayısıyla birincil manyetik alanın gücünü değiştirir. Girdap akımlarındaki bu yerel değişimler bir ekran ya da sayaçla tespit edilir. Böylece malzemenin elektriksel, manyetik ve geometrik süreksizlikleri endirekt olarak ölçülmüş olmaktadır.

İçerisinden akım geçen bir iletkenin etrafı bir magnetik alanla çevrilidir. Bu magnetik alanın gücü, kendini oluşturan bu akımla direkt olarak ilişkilidir. Büyüklüğü değişen bu akım, örneğin zamana bağlı olarak değişen bir alternatif akım, bir magnetik alan yaratır. Şayet elektrik iletkenliğine sahip bir malzeme bu magnetik alan içerisinde bırakılırsa, malzemenin içerisinde bir gerilim indüklenir. Malzeme iletken olduğunda bu gerilim malzemenin içerisinde bir akım indükler. Bu akım girdap akımı ya da girdap akımı olarak bilinir. Girdap akımı kendini oluşturan akımın özelliklerini taşır fakat doğrultusu terstir. Malzeme yüzeyindeki girdap akımı doğrudan doğruya kendini oluşturan akımın frekansı ile ilgilidir. Bu açıdan, girdap akımının etkilediği derinlik bu frekansın artmasıyla azalacaktır. Malzeme

yüzeyinden içerideki oluşan girdap akımları, yüzeyde oluşan akımların faz değişimleri ile ilişkilidir.

Girdap akımları şayet çatlak, boşluk, yüzey hasarları veya hatalı kaynak birleştirmeleri gibi malzeme kusurları ile karşılaşır, hareketi olması gerektiği doğrultuda yayınamaz. Bunun sonucunda magnetik alanda bir değişiklik oluşur ve buna bağlı olarak test bobini de reaksiyon verir. Girdap akımlarının malzeme içerisine indüklenmesi Şekil 5.16’ da gösterilmektedir.



Şekil 5.16 Girdap akımları ile muayene düzeneği (ASNT v:10, 1996)

Bu kontrolde, bakır telden sarılmış bir bobin prob adı verilen tutucu içerisine yerleştirilmiştir. Bu prob girdap akım kontrolünde kullanılan manyetik alan üretir. Probun yarattığı manyetik alan iletken malzeme yaklaştırıldığında iletken malzeme içinde girdap akımları indükler. Malzemenin elektrik iletkenliği, manyetik geçirgenliği, geometrisi ve süreksizliği girdap akımlarının dağılımında ve şiddetinde değişikliğe neden olur. Bu değişiklikler kullanılan cihazın devrelerince tespit edilir ve cihaz ekranında sinyal alınarak değişiklik tespit edilir. Şekil 5.17’ de gösterilen girdap akım cihazlarını kalibre etmek için referans bir standarda ihtiyaç vardır. Hata tespiti yapılırken en az üç değişik hata boyutu içeren bir standart gereklidir. Bu standartlar ayrıca kalınlık ölçümü, korozyon ölçümü, iletkenlik ölçümü için de kullanılır.



Şekil 5.17 Dijital ve analog girdap akım cihazları

Tahribatsız muayene olarak girdap akımlarının temel avantajlarından biri çeşitli kontrol ve ölçümlerin gerçekleştirilebilmesidir. Genel olarak, girdap akımlarının kullanım yerleri şunlardır;

- Yüzey ve bazı yüzey altı çatlakları
- Malzeme süreksizlikleri
- İletkenlik ölçümü (Malzeme tespiti, ısı hasarı tespiti, ısıtma işlem izleme amacıyla)
- İnce metal kalınlıkları, iletken malzeme üzerindeki yalıtkan ve yalıtkan olmayan kaplama kalınlıkları
- Korozyonun ve buna bağlı metal kaybını tespiti (Boeing NTM 51-06-00, 1982).

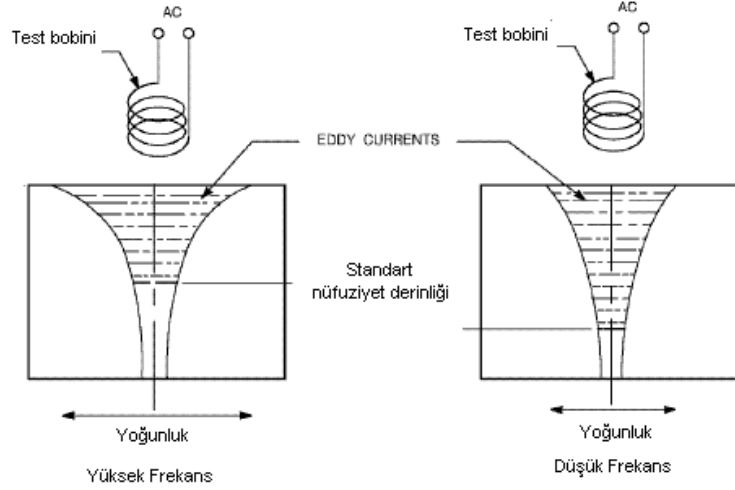
Girdap akım muayenesini etkileyen faktörler;

- Parçanın boyut ve şeklindeki değişimler
- Çatlak, korozyon oyukları, gözeneklilik, boşluk ve inklüzyonlar
- Alaşım veya kimyasındaki değişimler
- Isıl işlem veya mekanik işlemler
- Test parçası ve prob arasındaki boşluk etkisi (lift-off)
- Manyetik geçirgenlikteki değişimler (sadece ferromagnetik malzemelerde değişme gösterir) (Boeing NTM 51-06-00, 1982).

Test koşullarının girdap akımlarına etkisi aşağıda belirtilmiştir;

Frekans: Girdap akımları kontrolünde kontrolü yapılacak malzemenin kalınlığına göre çalışma frekansı seçilir. Malzemeye indüklenen girdap akımları şiddeti çalışma frekansının artmasıyla artar. Şiddetli girdap akımlarının yaratacağı ikincil manyetik alan da fazla olacağından bu alan bobinin yarattığı birinci manyetik alanın etkisini azaltır ve girdap akımları parça yüzeyinde toplanır. Bu nedenle yüzey süreksizliklerinin tespitinde yüksek

frekans kullanımı tercih edilir. Nispeten düşük frekans kullanımında ise girdap akımlarının nüfuziyet derinliği artarak yüzey altı süreksizlikleri tespit edilebilir. Şekil 5.18’ de açıklanan bu etkiler görülmektedir.



Şekil 5.18 Frekansın girdap akımlarına etkisi (33-B-1-1, 2005)

Manyetik Temas: Bobin tarafından oluşturulan birincil manyetik alan ile test parçasının yarattığı manyetik alan arasında bir etkileşim vardır. Bobinden olan mesafe arttıkça manyetik alanın gücü azalır. Bunun sonucunda parça yüzeyindeki girdap akımlarının yoğunluğu düşecektir.

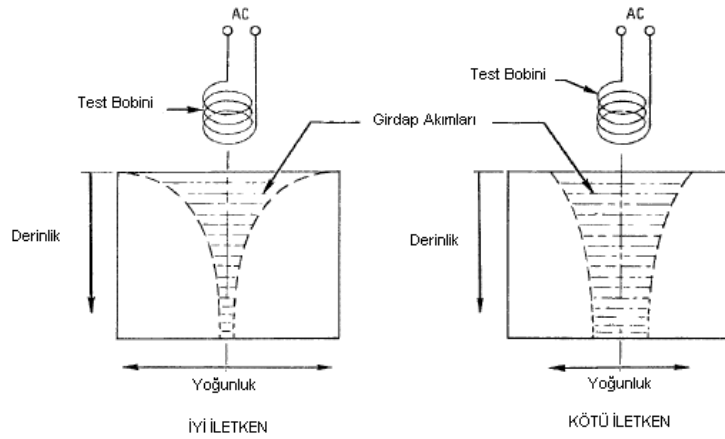
Sıcaklık: Daha önceki konularda değinildiği gibi, sıcaklık gerek malzemelerin iletkenliği gerekse manyetik özellikleri üzerine etki eden bir parametredir. Sıcaklığın düşmesi ise iletkenliği artırır. Sıcaklığın manyetik özellikler üzerine etkisi vardır. Belirli bir sıcaklıktan (curie noktasından) sonra manyetizma yok olur. Sıcaklığın etkisiyle parçanın yüzeyindeki girdap akımlarının şiddeti düşer ve nüfuziyet derinliği artar.

Standart nüfuziyet derinliği: Girdap akımları kontrolü yapılan test malzemesi içinde her yere eşit olarak yayılamaz. İletkenlik, manyetik geçirgenlik ve frekans standart nüfuziyet derinliğini etkileyen faktörlerdir. Standart nüfuziyet derinliği test parçasının yüzeyindeki girdap akım yoğunluğunun parça içerisinde %37’ sine düştüğü derinliktir.

İletkenlik: Yüksek iletkenlikli malzemede güçlü girdap akımları yüzeyde oluşur. Şiddetli girdap akımlarının yaratacağı ikincil manyetik alan da fazla olacağından bu alan bobinin yarattığı birinci manyetik alanın etkisini azaltır ve girdap akımları parça yüzeyinde toplanır. Bunun sonucu olarak yüzey altındaki derinliğin artmasıyla birincil alanın gücü hızla azalır.

Frekansla iletkenlik arasında da bir ilişki vardır. % 30 IACS iletkenlikteki 2024 alaşımda yüzeydeki süreksizliklerin tespiti yapılırken 200 kHz frekans kullanımı yeterken %1 IACS iletkenlikteki Ti-6Al-4V titanyum alaşımında yüzey süreksizlikleri için 6 mHz kullanımı gerekir.

İletkenlik; alaşımlama, tavlama, yaşlandırma gibi ısı işlemlerden etkilenir. Yabancı element ilavesi alaşımın iletkenliğini saf haline göre düşürecektir. Isıl işlemler de elde edilen sertlik değerine göre malzemenin iletkenliğini değiştirecektir. Girdap akımlarının elektrik iletkenliğiyle değişimi Şekil 5.19’ da görülmektedir (33-B-1-1, 2005).



Şekil 5.19 Girdap akımlarının iletkenlikle değişimi (33-B-1-1, 2005)

Girdap akımları ile kontrolün avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmektedir;

Avantajları:

- Küçük çatlaklara ve diğer hatalara karşı duyarlıdır.
- Yüzey ve yüzeye yakın hataları tespit eder.
- Kontrol hemen sonuç verir.
- Ekipmanlar taşınabilir.
- Metot kusur tespitinden çok daha fazlası için kullanılabilir.
- Minimum parça hazırlığı gereklidir.
- Test problemlerinin parçaya değmesi gerekmez.
- Kompleks şekillerde ve sayıda iletken malzeme kontrolünde kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Sadece iletken malzemeler test edilebilir.
- Prob yüzeye erişebilmelidir.

- Diğer yöntemlerden daha kapsamlı beceri ve eğitim gerektirir.
- Yüzey temizliği ve pürüzsüzlük gereklidir.
- Limitli penetrasyon derinliği vardır.
- Ayar için standart referanslar gereklidir.
- Prob bobini sarımına ve tarama yönüne paralel olan tabakalar halinde dizilmiş hatalar tespit edilemezler.

5.1.2.1 Girdap Akımlarıyla Korozyon Tespiti

Korozyon tespitinde korozyonun çeşidi ve derinliği yapılacak kontrolü etkilemektedir. Bilindiği gibi korozyonun oluşması için farklı metallerin elektronları arasında bir alışveriş olması gerekmektedir. Bu iletim herhangi bir iletken malzeme yoluyla gerçekleşir. Bu malzemeler hava, su ya da iletken yapıştırıcı olabilir. Çözeltinin iletkenliğinin artmasıyla korozyon hızı da artacaktır. Korozyon çeşitleri oldukça fazladır ancak 5 çeşidinin tespiti esastır. Bunlar üniform korozyon, oyuklanma, tanelerarası korozyon, tabakalaşma korozyonu ve gerilmeli korozyon çatlağıdır. İnce metallerin ulaşılabilen bölgelerindeki korozyon tespiti korozyona uğramamış bölgeye ulaşım sağlanabiliyorsa girdap akımlarıyla mümkündür. Korozyonun tespiti sinyaldeki bazı değişikliklerle birlikte bir kalınlık ölçümüdür çünkü bazı bölgeler fazla korozyona uğramış olabilir veya uzak yüzeydeki metalik parçalardan etkilenilebilir.

Frekans seçimi: Korozyonun çeşidine ve metalin kalınlığına bağlı olarak çalışma frekansı seçilir. Küçük oyukların ya da küçük bölgelerdeki tanelerarası korozyon ve tabakalaşma korozyonun tespitinde yüksek frekans kullanımı iyi sonuç verir. Düşük frekanslar nüfuziyet derinliğini artırır.

Prob seçimi: Kullanılacak prob çalışmanın yapılacağı frekansa göre seçilir. Birden fazla prob modeli kullanılacak frekansa uyuyorsa parçanın ve probun geometrisi dikkate alınır. Dar bölgelerde küçük çaplı prob kullanımı avantajlıdır. Geniş çaplı problar ise kalın malzemelerde daha iyi hassasiyet sağlar.

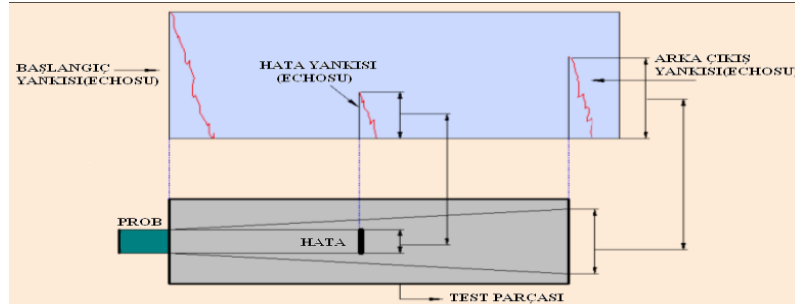
Korozyon referans standartları: Her korozyon çeşidinin yapacağı etkiye ve iletkenlikteki etkisine bağlı olarak referans standartlar aynı alaşım ve standartta üretilmelidir. Korozyon kontrolü birleşmiş parçaları içeriyorsa standartlar bu birleşime uygun şekilde aynı kalınlıkta ve yalıtkan kaplamalı olmalıdır.

Korozyon tespiti prosedürü: Uçak gövdelerindeki korozyonun girdap akımlarıyla tespiti çoğunlukla ulaşılabilen bölgelerde uygulanır. Korozyon genellikle nemin bulunduğu

bölgelerde olur. Kalınlıkta nispeten üniform bir incelme bekleniyorsa, korozyon tespiti bir kalınlık ölçüm işlemidir. Çoğunlukla korozyon küçük çaplı alanlarda oluşur. Sac kalınlığının artmasıyla düşük seviyedeki korozyona hassasiyet artar (33-B-1-1, 2005).

5.1.3 Ultrasonik Muayene

Ultrasonik muayene ile tüm malzemelerde muayene gerçekleştirilebilir. Bu yöntem yüzey ve yüzey altında hata tespiti etmede oldukça hassastır. Yöntem her türlü sanayide yoğunluklu olarak kullanılmaktadır. Havacılık sektöründe de hem malzeme kalite kontrolünde hem de bakım programlarında yer almaktadır. Çatlak kontrolünün yanı sıra birbirine yapışık halde bulunan metal ve kompozit yapıların bağ testinde de kullanılır. Hacimsel yöntemlerden biri olan ultrasonik kontrolünün test prensibi, prob tarafından üretilen yüksek frekanstaki ses dalgalarının test malzemesi ortamında yayılması ve bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması esasına dayanır. Prob tarafından algılanan dalgalar elektrik sinyallerine dönüştürülür ve katot ışınları tüpü ekranında malzeme iç yapısının habercisi olan yankılar halinde görülür. Bu yöntemde darbe yankı yöntemi denir ve yöntemde boyuna, enine, yüzey dalgaları kullanılır. Ekran üzerinde gözlenen yankıların konumları ve genlikleri hatanın bulunduğu yer ve boyutları hakkında bilgi verir. Bu yöntemde kullanılan ses dalgaları 20000 Hz' den büyüktür ve kontrol de adını bu büyük dalga boylarından almıştır. Ultrasonik muayene şematik olarak Şekil 5.20' de gösterilmektedir.



Şekil 5.20 Ultrasonik Muayene (Onursal,2007)

Ultrasonik enerji ara düzeyde büyük kayıplara uğramaktadır. Kontaklama, ultrasonik probta üretilen ses enerjisini test malzemesi ortamına iletmek için bir ara maddesi ile yapılan işlemdir. Ara yüzey kayıplarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

- Yüzey pürüzlülüğü (1/10 dalga boyundan küçük olmalı)
- Yüzey temizliğinin yetersizliği
- Yüzeydeki oksit veya boya tabakaları
- Yüzey eğriligi

- **Kontak maddesinin cinsi ve homojenliği**

Su ve yağ en çok kullanılan kontak sıvıdır. Ayrıca, gliserin, gres, vazelin ve balda kontak amacıyla kullanılır. Parlak yüzeylerde düşük viskoziteli yağlar, pürüzlü yüzeyler de ise koyu yağlar kullanılır. Kontaklama işlemi, doğrudan kontaklama tekniğinde çok ince bir sıvı film tabakası sayesinde yapılır. Daldırma tekniğinde ise, kontaklamayı su yapar ve prob ile test parçası arasında belli bir su aralığı vardır. Bu teknik homojen bir kontaklama sağladığı gibi, probun sürtünmeden dolayı aşınması önlenir.

Ultrasonik kontrolün genel olarak avantajları ve dezavantajları şunlardır;

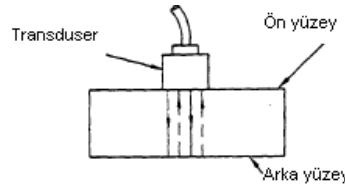
Avantajları:

- 1-Küçük hataların tespitinde çok hassas sonuçlar verir.
- 2-Çok kalın malzemelerin kontrolünde kullanılabilir.
- 3-Süreksizliğin yeri ve boyutları hakkında net sonuçlar verir.
- 4-Test süresi kısadır.
- 5-Test Yapılacak parçanın tek yüzeyi yeterli olabilir.

Dezavantajları:

- 1-Testi yapılacak olan parçanın değişik geometrik şekilleri
- 2-Parça üzerindeki gözenekler, yabancı maddeler veya üzerindeki çökeltiiler değerlendirmelerde hatalı sonuçlar verebilir (MEGEP, 2006).

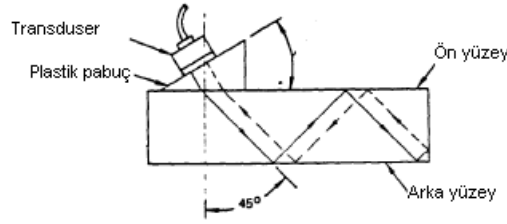
Boyuna dalgalar: Bu dalgalar parça yüzeyine dik olarak girerler. Üç dalga çeşidi arasından parça içerisinde en fazla sürat ulaşan dalga tipidir. Dalganın hızı malzemenin elastik modülü ve yoğunluğuna bağlıdır ve her malzeme için sabittir. Parça kalınlığını ölçmede, korozyon incelme tayininde kullanılabildiği gibi malzeme yüzeyine paralel her tip süreksizlik tespitinde de kullanılır (33-B-1-1, 2005). Boyuna dalgalar Şekil 5.21’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.21 Boyuna Dalgalar (Boeing NTM 51-04-00,1985)

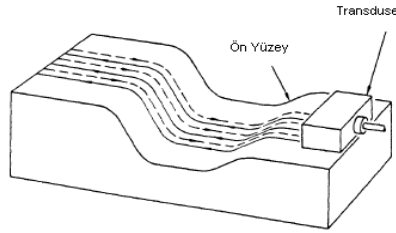
Enine dalgalar: Parça içerisine enlemesine dalga gönderirken test parçası yüzeyiyle transdüser arasına plastik pabuç yerleştirilir. Enlemesine dalgaların hızı boyuna dalgaların

yarısı kadardır. Ayrıca bu dalgalar boyuna dalgalar göre daha kısadır. Bu çeşit dalgalar saklı hataları bulmada kullanılır (33-B-1-1, 2005). Şekil 5. 22’ de enine dalgalar görülmektedir.



Şekil 5.22 Enine Dalgalar (Boeing NTM 51-04-00,1985)

Yüzey dalgaları: Bu dalgalar parça içerisine dalmadan yüzeyde yollarına devam eder. Hızları ve dalga boyları enine dalgaların 9/10’u kadardır. Bu dalgaları oluşturmak için pabuç kullanılır. Yüzey hatalarını tespit etmekte bu dalgalardan faydalanılır. Şekil 5.23’ te yüzey dalgaları görülmektedir.



Şekil 5.23 Yüzey Dalgaları (Boeing NTM 51-04-00,1985)

Ultrasonik yöntemle en büyük ayrılmadan, en küçük çatlığa kadar bütün hatalar hassasiyet sınırları içerisinde test edilebilir. Hatalar ultrasonik demete dik doğrultuda olduklarında en iyi şekilde algılanır. Ultrasonik yöntemle ayrıca kalınlık ölçümü yapılarak korozyondan kaynaklı malzeme incelmeleri tespit edilebilerek korozyon bulunur.

Ultrasonik kontrolünde kullanılan bazı ifadeleri bilmek bize kolaylık sağlar. Bunlar;

Frekans(f): Bir parçacığın saniyedeki titreşim sayısı olup, birimi (Hz)’dir. $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$

Dalga boyu(λ): Aynı titreşim fazında bulunan iki komşu parçacık arasındaki mesafe olup, birimi (m)’ dir.

Periyot(T): Bir titreşimin tamamlanması için geçen süre olup frekansın tersine eşittir.

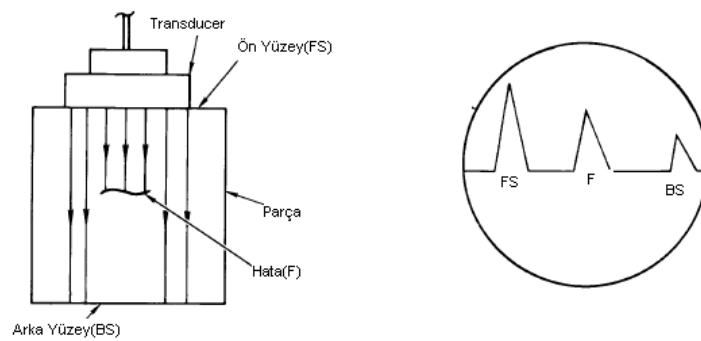
Yayılma hızı(C) : Belli bir dalga fazının birim zamanda aldığı yol miktarı olup, dalga boyu ile frekansın çarpımına eşittir. Buna faz hızı da denir.

Prob üzerindeki piezoelektrik kristal, aldığı elektriksel yankılar üzerine titreşir ve parçada yayılan ultrasonik dalga sıralarını meydana getirir. Malzemedeki bir çatlak veya diğer süreksizliklerin sebep olduğu akustik dirençteki bir değişim probdaki piezoelektrik kristale dalgayı geri yansıtır. Bu kristal işlenerek polarize edilmiş baryum titanattır.

Problar çeşitli şekillerde olabilirler; Normal doğrultuda ses dalgaları demeti gönderen problemler, boyuna dalgalar üretir ve bunlarla çalışırlar. Açılı problemlerde ise kristal, normalle belirli bir açı ile yerleştirilmiştir ve bir geliş açısı ile ses dalgası demeti gönderirler. Böylece, test parçasının içine belirli bir açı ile ilerleyen enine veya yüzeyi izleyen yüzey dalgaları gönderilebilir (Onursal,2007).

Ultrasonik yöntemde ile hata tespiti, kusur ile onu çevreleyen ana malzemenin ara yüzeyinde akustik empedansın ani değişimine dayanır. Yüksek frekanslı ses dalgaları homojen malzeme içinde önemli bir kayba maruz kalmadan yayılırlar. Fakat malzeme yüzeyinden havaya pratik olarak geçemezler. İki katı yüzeyin ara yüzeyinden ise pek az geçebilirler, dolayısıyla ultrasonik dalgalar dış yüzeylerden, malzeme içindeki boşluklardan, inklüzyonlardan kuvvetle yansır ve saçılırlar.

Transdüser tarafından algılanan dalgalar (piezoelektrik olay ile) elektrik sinyallerine dönüştürülür ve ekranda malzeme iç yapısının habercisi olan yankılar (ekolar) şeklinde görülür. Ekran üzerinde gözlenen ekoların konumları ve genlikleri süreksizliğin bulunduğu yer ve boyutları hakkında bilgi verir. Tespit edilen bir hata ile ilgili örnek Şekil 5.24' te verilmiştir.



Şekil 5.24 Ultrasonik hata tespiti(Boeing NTM 51-04-00,1985)

5.1.4 Radyografik Muayene

Hacimsel yöntemlerden olan radyografik kontrolün iki esas prensibi vardır. Bunlar nüfuz edici ve algılayıcıdır. Burada nüfuz edici eleman x ve gama ışınları, algılayıcı eleman da filmlerdir. Radyografik kontrol endüstriyel alanda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, x ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerinin (borular, buhar kazanları, uçak parçaları, vs.) herhangi bir hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Bu işlemler, özel olarak imal edilmiş x ışını üreten veya gama ışını yayan radyoizotop içeren cihazlarla yapılmaktadır. x ışını ile yapılan çalışmalar x ışını grafi, gama ışınları ile yapılan çalışmalar ise gamagrafi olarak, her ikisi birden radyografi olarak adlandırılır (ASNT v:10,1996). Bu yöntem ferromagnetik ve ferromagnetik olmayan metaller ve diğer malzemelerde uygulanır. X ışınları malzemelere zarar vermeden içyapılarını inceleme olanağı sağladığından, tahribatsız muayenede yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu kontrolle esas amaç gözle görülemeyen yerlerde çatlak veya hata tespiti yapabilmektir (Boeing NTM 51-02-00,1985). X ya da gama ışınlarıyla malzemelerdeki kalınlık değişimleri, yapısal değişiklikler, malzeme içindeki hatalar, aşınmalar, korozyon, çatlaklar, bal peteği malzemelerde su kontrolü, montaj detayları tespit edilebilmektedir (33-B-1-1,2005). Elektriksel olarak üretilen x ışınları ve radyoaktif izotoplardan yayılan gama ışınları, içerisinden geçtikleri malzeme tarafından absorbe edilirler. Kalınlığın artmasıyla beraber absorbe edilen miktar da artar. Dolayısıyla, daha yoğun malzemede daha fazla radyasyon absorbe edilir. Işık gibi x ve gama ışınları da elektromagnetik dalga gurubuna aittirler. Aralarındaki tek fark dalga boylarının farklı olmasıdır. X ve gama ışınlarının dalga boyları çok küçük olduğundan gözle görülmezler ve malzemelere nüfuz etme yetenekleri vardır. X ve gama ışınları, ışık ile aynı özelliklere sahip olup, gümüş kristallerini fotoğraf filmi üzerinde metalik gümüşe çevirirler ve filme ulaşan radyasyon yoğunluğu oranına göre bir resim oluştururlar. Endüstriyel radyografide en temel kural, malzemenin bir tarafında ışın kaynağının, diğer tarafında ise bir algılayıcının (detektör) bulunmasıdır. Radyasyon kaynağı olarak x ya da gama ışın kaynağı, detektör olarak da film kullanılmaktadır. Radyasyon kaynağının enerjisi malzemeyi delebilecek güçte seçilmelidir. Enerjinin nüfuz gücünü belirleyen dalga boyudur. Dalga boyu küçüldükçe nüfuz gücü artar. X ışını radyografisinde, x ışınlarının nüfuziyet gücü, x ışın tüpüne uygulanan voltaj ile ayarlanır. Çizelge 5.1’ de x ışınlarının uygulama alanları görülmektedir.

Çizelge 5.1 X-ışınları değerleri ve uygulama alanları (Onursal, 2007)

VOLTAJ	UYGULAMA
50 kV	Odun, plastik ve yaklaşık 6 mm kalınlığındaki çelik
100 kV	Hafif metaller, alaşımlar ve 6 mm kalınlığındaki çelik
150 kV	Hafif metallerin kalın kesitleri, alaşımlar, 2,5 cm kalınlığındaki çelik
250 kV	Bakır ve 5 cm kalınlığındaki çelik
1000-2000 kV	12,5-20 cm kalınlığında çok ağır demir ve demir dışı kesitler

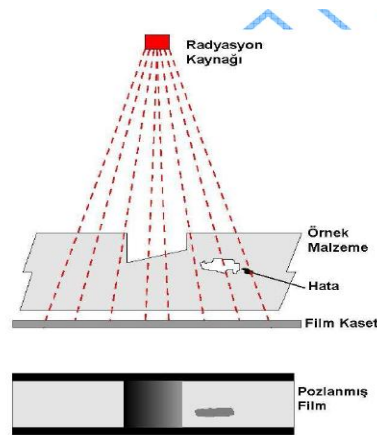
Gama radyografisinde delme gücünü izotop belirler ve her izotop için değiştirilmesi olanaksızdır. Malzemeyi delerek karşı tarafa geçen ışınları algılayan film, genellikle ışık geçirmez kurşun muhafazalı bir zarf içerisinde konularak test edilen malzemenin arka tarafına yerleştirilmektedir (ASM V:17, 1992). Burada dikkat edilmesi gereken kural, zarfın ön yüzeyi ışınları kolaylıkla geçirebilecek malzemeden yapılmış olmasıdır. X ışınlarının film üzerinde oluşturduğu görüntü, normal bir ışık kaynağının oluşturduğu gölgeye benzemektedir. Gölgeden farklı olarak malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna bağlı olarak film üzerinde oluşan gölgenin (görüntünün) yoğunluğu da değişmektedir.

Kontrollerde birden fazla film tipi kullanılabilir. Bunlar ilgili yerlerin kontrolleri için dokümanlarda belirtilen, tecrübelerle en iyi sonucun elde edildiği tip film kullanılır. ASTM E94'e göre x-ray çalışmalarında kullanılacak film tipleri ve sahip oldukları özellikler Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.2 X ışını filmlerinin özellikleri (Boeing NTM 51-02-00,1985)

X-RAY FİLM ÖZELLİKLERİ			
FİLM TİPİ	HIZ	KONTRAST	TANE BOYUTU
1	Düşük	Çok Yüksek	Çok İnce
2	Orta	Yüksek	İnce
3	Yüksek	Orta	Kaba

Görüntünün netliği ve büyüklüğü radyasyon kaynağının odak büyüklüğüne, radyasyon kaynağının filme olan uzaklığına, malzemenin filme olan mesafesine bağlıdır. Kaset içerisindeki film, test parçasının arkasına yerleştirildikten sonra belli bir süre x ışınları ile pozlanır. Pozlanmış film, banyo edildikten sonra kararma miktarına bakılır. Filmin kararması kısaca yoğunluk olarak adlandırılmaktadır. Filmde farklı yoğunlukların olması, test edilen parçada farklı yapıların olduğunu göstermektedir. Filmin fazla radyasyon alan kısımları daha fazla kararır. Bunun anlamı, bu bölgede film yoğunluğu yüksektir. Örneğin, malzemedeki bir boşluk film üzerinde daha siyah olarak görülür. Filmin sağlıklı okunup değerlendirilebilmesi için ışıklı film okuma cihazları kullanılmaktadır. Çekilen filmin kalitesin kontrolünün yapılabilmesi ve gözle değerlendirme için uygun kontrastın yakalandığını kontrol etmek için pozlanmış filmin yoğunluğu kontrol edilir. Kontrol için ilgili dokümanlarda aksi belirtilmedikçe uygun bir filmin metal malzemeler için yoğunluğunun 2-3.5 arasında, bal peteği malzemelerin film yoğunluğunun ise 1.8-2.5 olması gerekmektedir (Boeing NTM 51-02-00,1985). Şekil 5. 25' de radyografi çekimine ait örnek gösterilmiştir.



Şekil 5.25 Radyografi örneği

İdeal bir filmde çarpıklık minimum olmalı veya hiç olmamalı, netliği yüksek olmalıdır. Numunenin kenarları filmde keskin görülmeli, eğer film üzerinde numunenin kenarlarının görüntüsü keskin olarak görünmüyorsa, bu bölgede oluşacak süreksizlikler görülmeyebilir. Film mümkün olan en yüksek kontrasta sahip olmalıdır. Yüksek kontrastta küçük süreksizlikler daha iyi görünür. Bunun dışında film uygun yoğunluğa sahip olmalıdır. Radyograf yoğunluğu çok yüksek olursa, filmde yeterli ışık geçmeyeceğinden süreksizlikler görülmeyebilir. Eğer yoğunluk yeterli değilse küçük süreksizlikler görülmeyebilir.

Birçok radyografik kaynağı olmasına rağmen pratikte radyografi için uygun kaynak çok azdır. Kaynak seçimine, kaynak boyutu, radyografi cihazının taşınabilirliği, büyüklüğü, radyografi

yapılacak cismin taşınabilirliği ve kaynak enerjisi etki eder. Radyografik kontrolde kullanılan x ve gama ışınlarının üretimi dışındaki bütün özellikleri aynıdır. X ve Gama ışınları elektromagnetik radyasyondur. Elektromagnetik radyasyonlar dalga ve tanecik yapısına sahiptir. X ve Gama ışınları kısa dalga boyludur. Dalga boyu buların enerjilerini ve dolayısı ile giricilik güçlerini tayin eder. Dalga boyu ile giricilik arasında ters orantı vardır. Dalga boyu arttıkça, giricilik gücü azalır ve dalga boyu küçüldükçe giricilik artar. Genel olarak x ve Gama Işınları;

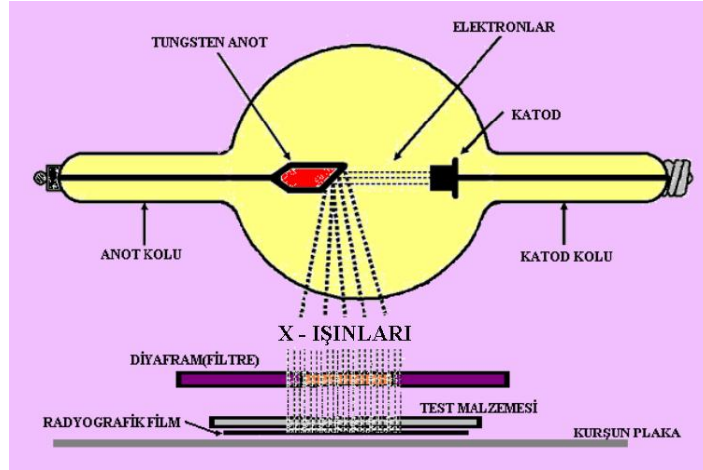
- Fotoğraf filmine etki eder.
- Bazı malzemelerde flüoresans ve fosflüoresans meydana getirir.
- Elektrik ve magnetik alandan etkilenmez.
- Doğrusal olarak hareket eder.
- Işık hızıyla hareket eder.
- Canlı dokulara zarar verebilir.
- Bazen dalga, bazen tanecik karakterinde gözükrler.

X ve Gama ışınları arasındaki tek fark yukarıda bahsedildiği gibi oluşum (üretilme) yerleridir. X-Işınları bir jeneratör (elektrik kaynağı) vasıtasıyla x-ışını tüplerinde oluşur, gama ışınları ise radyoaktif bozunum sırasında meydana gelir. Alüminyum yapılarda yeterli gücü sağladığından x ışınları ile kontrol yapılmaktadır.

X ışınları: X-ışınları, x-ışını tüpünde üretimi elektronların yüksek hızda bombardımanı sonucu oluşur ve üretilen x-ışınları endüstriyel radyogafide kullanılabilir. Şekil 5.29' da x-ışınlarının x-ışın tüplerinde meydana geldiği kısımlar görölmektedir. Şekilde de göröldüğü gibi odaklama kabı (tungsten Anot), telden (katot) çıkan elektronları aşağı doğru yönlendirir. Buradaki çarpışma ile yüksek ısı ve x-ışınları meydana gelir. Yüksek ısı, yağ veya su gibi soğutmalı sistemler ile soğutulur. Oluşan x-ışınları diyaframdan geçerek test malzemesi üzerine gönderilir. Işınlar radyografik film üzerine yansır ve test malzemesi hakkında bilgi verir. Film üzerinden geçen x-ışınları kurşun plaka tarafından emilir.

X-ışını üretiminde en önemli iki kontrol şunlardır;

- X-ışını demetinin enerjisi veya giricilik gücü
- X-ışını demetinin şiddeti.



Şekil 5.29 X ışınları üretimi ve malzeme kontrolü

X-ışınlarının enerjisi (giricilik gücü), x-ışın tüplerine uygulanan voltajla doğrudan ilişkilidir. Voltaj artarsa dalga boyu küçülür ve giricilik(enerjisi) artar. X-ışınlarının şiddeti ise, belli bir zaman aralığında, birim alandan geçen veya birim alana çarpan ışınların sayısıdır. Uçaklardaki alüminyum parçalarda yapılan radyografi kontrollerinde x-ışınları kullanılır. Radyografik Kontrolün avantajları ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir;

Avantajları:

- Sonuç resim olarak görüntülenir.
- Test ortamından farklı bir yerde ve zamanda görülebilecek kalıcı kayıt sağlar.
- İnce parçalar için uygundur.
- Hassasiyet her film üzerinde gösterilmektedir.
- Herhangi bir malzemede uygulanabilir.

Dezavantajları:

- Genel olarak kalın parçalarda uygun değildir.
- Sağlık için zararlı olabilir.
- İki boyutlu hatalar için direkt ışın gereklidir.
- Otomasyona uygun değildir.
- Yüzey hataları için uygun değildir.
- Yüzeyin altındaki hatanın derinliği hakkında bilgi vermez.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışma olarak çeşitli korozyon tiplerinin girdap akımları, ultrasonik, x ışınları ve sıvı penetrant muayenesiyle tespitine ait örnekler 2024 ve 7075 alüminyum malzemeler kullanılarak uçak üreticilerinin belirlediği standartlardan faydalanılarak gerçekleştirilecektir.

6.1 Alüminyum Yapılarda Perçin Çevresindeki Korozyonun Girdap Akımları Kullanılarak Tespiti

Alüminyum yapılarda perçin çevresindeki yüzeysel korozyonun tespiti uçak tahribatsız muayene el kitaplarında belirtilen ölçütlere uygun olarak girdap akımları test metodu kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu uygulamayla varlığı bilinen ya da şüphe edilen korozyonun sınırları belirlenecektir. Deneysel çalışmada Boeing firmasının MD-80 uçağına ait tahribatsız muayene el kitabında yer alan NDTSPM 06-10-01.011 numaralı doküman referans olarak kullanılacaktır.

Kontrolde empedans-düzlem diyagramına sahip girdap akım hata detektörü, 0.31 mm çaplı 100-500 kHz frekans aralığında çalışan bir girdap akım probu ve uçakta kontrolü yapılacak bölgedeki alüminyum malzeme ile aynı alaşımdan yapılmış ve aynı ısıl işleme tabi tutulmuş bir referans standart kullanılacaktır. Test parçası ile referans standart aynı malzemeden ve aynı işlemlerden geçirilerek girdap akım kontrollerinin esasını oluşturan iletkenlik değerinin referans standart ve test malzemesinde aynı olması sağlanır. Kontrole yardımcı olabilmesi yardımıyla perçin çevresi kontrolü yapılırken kullanılan probun perçin malzemesine çok yaklaşarak test parçasından farklı malzemeli perçinin iletkenliğinden etkilenmemesi için yalıtkan, dairesel bir şablon kullanılması da faydalı olmaktadır. Yalıtkan şablon probu perçinden belirli bir mesafede tutarak iletkenlik etkileşimini en aza indirmektedir.

Girdap akım probunun, girdap akım hata detektörüyle bağlantısı gerçekleştirildikten sonra cihaz, probun çalışma aralığı olan ve kontrolün gerçekleştirileceği frekans değerine ayarlandı. Frekans, girdap akımlarının alüminyum malzeme içerisindeki nüfuziyet derinliğini etkilemektedir. Yüzeyde aranacak korozyon için Boeing firmasının MD-80 uçağına ait tahribatsız muayene el kitabında yer alan NDTSPM 06-10-01.011 numaralı dokümana göre 100-500 kHz frekans çalışma aralığında seçilen girdap akım probu, bu kontrol için 300 kHz frekans değerinde çalıştırılmıştır. Bu frekans değerinde girdap akımları alüminyum malzemenin yüzeyinden 0.19 mm derine nüfuz ederek yüzey korozyonunu tespit etmemize olanak tanıyacaktır.

Deneyde NORTEC ML/100-500 kHz/A/90.5/6 numaralı prob, OLYMPUS NORTEC 500D girdap akımları test cihazı ve 7075-T6 malzemeden imal edilen DAC GSET AL.01 numaralı çatlak kalibrasyon bloğu kullanılmıştır. Deneyde kullanılan malzemelerin fotoğrafları Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’ te gösterilmiştir.



Şekil 6.1 OLYMPUS NORTEC 500D girdap akım kontrol cihazı

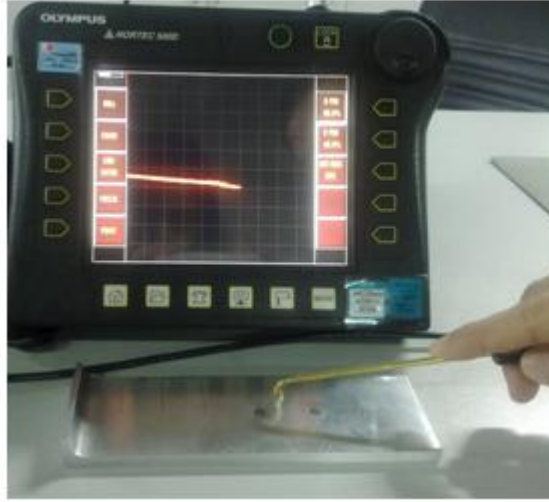


Şekil 6.2 DAC GSET AL.01 kalibrasyon standardı



Şekil 6.3 NORTEC ML/100-500 kHz/A/90.5/6 girdap akım probu

Girdap akım probu girdap akımları hata detektörüne tanıtıldıktan sonra cihaz üzerinde 300 kHz frekans değeri ayarlanmıştır. Akabinde, referans standart kullanılarak prob malzeme ile denge konuma getirilerek, faz açısının ayarı yapılmış ve aralık etkisi olarak adlandırılan lift-off hattı ekranda sola yatık pozisyona getirilmiştir. Lift-off hattının cihaz ekranındaki görüntüsü Şekil 6.4’ te gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Cihaz-malzeme denge ayarı ve lift-off hattı

Cihaz denge konumuna getirildikten sonra kullanılan referans dokümana göre üzerinde çatlak olan referans standarttaki çatlaklar taranarak cihaz üzerinde istenilen kazanç ayarları yapılarak farklı derinliklere sahip çatlaklardan istenilen şiddette sinyaller alınmıştır. Ayarlar sonrasında Şekil 6.5' teki görüntü elde edilmiştir.



Şekil 6.5 Kalibrasyonu tamamlanmış girdap akım cihazı

Ayarlar tamamlandıktan sonra Boeing 737-400 tipi bir yolcu uçağının arka kargo kapısı girişinden alınan parçanın korozyon kontrolüne geçildi ve Şekil 6.6' da olduğu gibi prob korozyona uğramamış muayene bölgesine yerleştirildiğinde cihaz üzerindeki denge komutuyla (balance) cihaz denge konumuna getirilmiştir.



Şekil 6.6 Girdap akım cihazıyla test parçasının denge konumuna getirilmesi

Kontrol parçasında perçin delik kenarları taranırken probun kenarlara temas etmemesine özen gösterilerek deneyin yanlış sonuçlar vermemesine dikkat edilmiştir. Parçada az korozyon tespit edilen bölgelerde sinyal bulunduğu düzlemde (lift-off hattı) yatay olarak ilerleyen bir nokta şeklinde gözlenmiştir. Fazla korozyona uğrayan bölgelerde ise korozyon indikasyonları Şekil 6.7’ de gösterildiği gibi gözlenmiştir. Korozyonun sınırlarını belirlemek amacıyla perçin bölgesinden dışarıya doğru taramaya devam edilerek indikasyonun daha fazla alınmadığı bölgeler tespit edilmiştir.

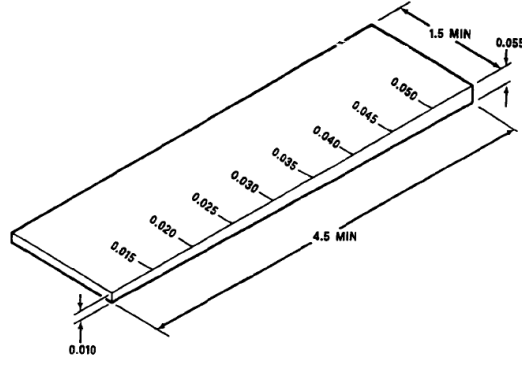


Şekil 6.7 Farklı korozyon yoğunluklu bölgelerden elde edilen sinyal çeşitleri

6.2 Alüminyum Yapılarda Perçin Delikleri Çevresindeki Tabakalaşma Korozyonunun Girdap Akımları Kullanılarak Tespiti

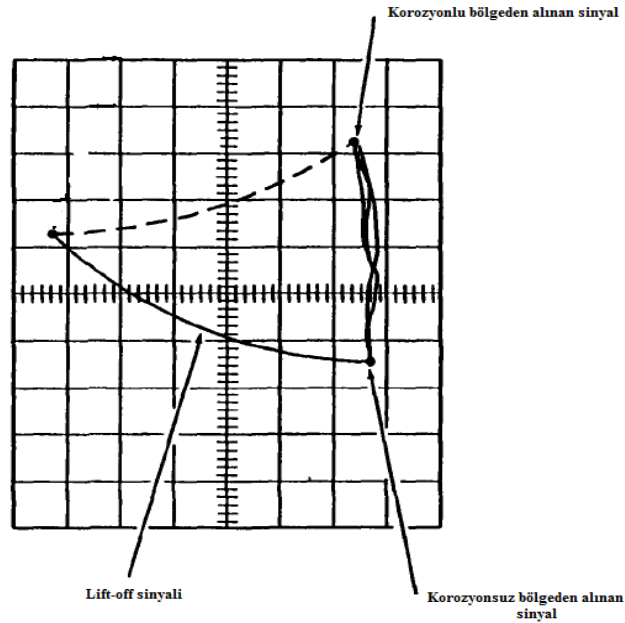
Bu çalışmada girdap akımları yöntemi kullanılarak perçin delikleri çevresinde yüzeyde ve yüzeyin hemen altında oluşan tabakalaşma korozyonunun tespiti anlatılacaktır. Bu deney, Boeing firmasının MD-80 uçağına ait tahribatsız muayene el kitabında yer alan NDTSPM 06-10-01.009 numaralı dokümanı referans olarak kullanılarak izah edilecektir.

Kontrolü yapılacak bölgeye geçilmeden önce cihazın hassasiyet ayarı için kontrol bölgesiyle aynı malzemeden yapılmış ve aynı işlemlere tabi tutulmuş bir kalibrasyon cihazı, 20-50 kHz arasında frekansla çalışan bir girdap akımları probu ve empedans-düzlem diyagramına sahip girdap akımları cihazı kullanılmalıdır. Korozyon standardı, kalınlığı 0.14-0.025 mm arasında değişen ve kontrol edilecek bölgeyle aynı malzemeden yapılmalıdır. Kalibrasyona standardı Şekil 6.8' de gösterilmiştir.



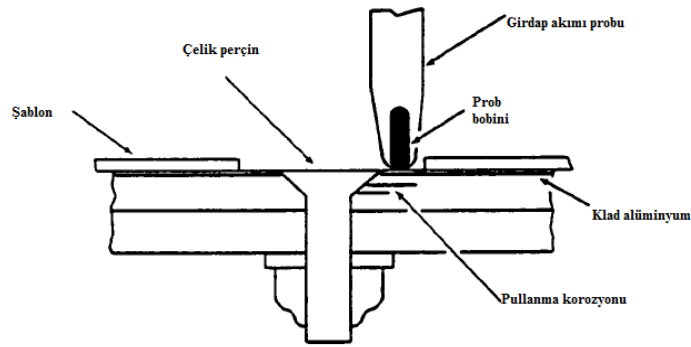
Şekil 6.8 Tabakalaşma korozyonu kalibrasyon standardı

Bu kontrol için girdap akımları probu girdap akımları test cihazına bağlanarak 20 kHz' de çalıştırılmalıdır. Frekans değeri ayarlandıktan sonra cihaz, kalibrasyon bloğu üzerindeki en kalın bölgede dengeye getirilmelidir. Bunun amacı, kalın olan bölgeyi cihaza referans olarak tanıtmaktır böylece kalınlıkta azalmanın olduğu bölgeler tarandığında cihaz ekranında korozyon sinyali alınacaktır. Kullanılan kalibrasyon standardı kalın bölgeden ince bölgeye doğru prob ile taranarak cihaz ekranında sinyaldeki değişiklikler gözlenir. Şekil 6.9' da faz açısı, kazanç gibi parametreler cihaz üzerinden ayarlanarak elde edilen girdap akım korozyon sinyali görülmektedir.



Şekil 6.9 Tabakalaşma korozyonuna ait girdap akım sinyali

Bu kontrolde uçak yüzeyinde test malzemesinden farklı olan perçin malzemesinden etkilenmemek için yalıtkan dairesel bir şablon kullanılarak perçine fazla yaklaşmanın önüne geçilebilir. Kontrole geçildiğinde perçin üzerine dairesel şablon sabitlenerek öncelikle malzemenin test parçasıyla dengelenmesi sağlanmalıdır. Şekil 6.10’ da yalıtkan dairesel şablon kullanılarak tabakalaşma korozyonu incelemesi gösterilmektedir. Dengelemeyle cihaza, kontrolü yapılacak malzemeye ilgili verilere yüklenir. Her bir perçinin çevresi 360° prob ile taranarak cihaz göstergesinde korozyon indikasyonu incelenir. Malzeme incelmesi tespit edildiğinde perçin kenarından dışarıya doğru taranarak indikasyonun daha fazla alınmadığı bölge tespit edilerek korozyonun sınırları belirlenmelidir.



Şekil 6.10 Dairesel şablon kullanılarak tabakalaşma korozyonu taraması

6.3 Alüminyum Saclarda Korozyon Kaybının Girdap Akımlarında Düşük Frekans Kullanılarak Belirlenmesi

Bu çalışmada, iki tabakalı üst üste binmiş alüminyum yapılarda, dış sacdaki toplam kalınlığın %10’ u veya daha fazla korozyonun tespiti amaçlanmaktadır. Deneyde Boeing firmasının 737-345 serisi uçaklarına ait tahribatsız muayene el kitabı (NTM bölüm 6 51-00-00 figür 12 numaralı dokümanı) kullanılacaktır. Bu deney için referans standart gereği empedans-düzlem diyagramlı girdap akımları test cihazı, dış sac kalınlığı 0.11 mm-0.14 mm arası değişen 2024-T3 alüminyum kalibrasyon bloğu ve kalibrasyon bloğundaki metal kaybını tespit edebilecek kadar düşük frekansta çalışabilen yüzey altı girdap akım probu kullanılacaktır. Kontrol parçası ve kalibrasyon bloğunun iletkenlik veya kalınlık değerlerindeki farklılıklar, korozyon kaynaklı tanelerarası çatlama ve malzeme üzerindeki boya girdap akımları çıkışını değiştirecektir. Kontrole geçmeden cihaz üzerinde kalibrasyonu gerçekleştirmek için kontrolü yapılacak bölge ile aynı özellikleri taşıyan (malzeme, ısıtılma işlemi, kalınlık) Şekil 6.11’ de gösterilen 2024-T3 alüminyum malzemeden imal edilmiş 127-.050 kodlu kalibrasyon bloğu

ve Şekil 6.12’ de gösterilen 1-50 kHz aralığında çalışabilen M02250 yüzey altı girdap akım probu kullanılmıştır.



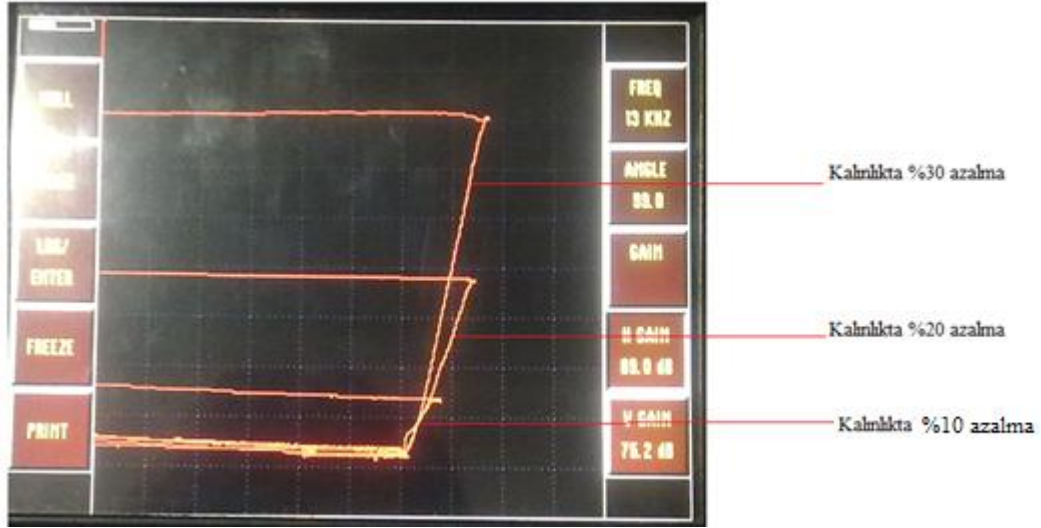
Şekil 6.11 127-.050 kodlu kalibrasyon standardı



Şekil 6.12 M02250 girdap akım probu

Kontrolü yaparken referans olarak alınan standart uyarınca, (Boeing NTM bölüm 6 51-00-00 figür 12) kullanılacak kalibrasyon standardı kalınlığına göre bir frekans değeri tayin edilmiştir. Ancak belirtilen bu frekans değerinin altında frekans kullanıldığında dahi iyi netice alındığı gözlemlendiğinden belirlenen frekans değeri girdap akımları cihazına tanıtılarak bu değer üzerinden çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kalibrasyon standardında Şekil 6.11’ de görülen plastik şablon, uçaklardaki iki sacın yapışmasını sağlayan bağlayıcı macunu temsil etmektedir. Kalibrasyonun ilk aşamasında frekans değeri 13 kHz olarak belirlenmiştir ve faz açısı ayarlanan prob kalınlığı azalmamış bölgeye konularak cihaz ile kalibrasyon bloğu denge konumuna getirilmiştir. Cihaz, dengeye getirilen kalınlığı azalmamış bu bölgeyi hasarsız olarak hafızasına kaydeder. Akabinde, kalınlık azalmasının olduğu bölgelerden geçilerek sinyal şiddetindeki ayarlamalar cihazın kazanç ayarları vasıtasıyla yapılmıştır. Ayarlamalar sonrasında sırasıyla toplam malzeme kalınlığında %10, %20 ve %30 azalmanın olduğu bölgeler taranmış ve farklı şiddetteki sinyaller Şekil 6.13’ deki olduğu gibi ekran üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 6.13 %10, %20, %30 oranında kalınlık azalan bölgelerden alınan sinyaller

Bu çalışmada frekans çok düşük seçildiğinde saclar arasındaki ayrılmalar yanlış korozyon sinyallerine neden olabilir. Çok yüksek frekans kullanımında ise girdap akımları malzemenin toplam kalınlığına nüfuz edemeyeceğinden yeterli hassasiyet elde edilemeyecektir. Bu yüzden deneyde tahribatsız muayene el kitabında belirtilen frekans değerinin aksine yeterli şiddette sinyal elde edebilmek için daha düşük bir frekans değeri seçilmiştir.

6.4 Farklı Derişiklikte HCl Çözeltisi Kullanılarak Korozyona Uğratılmış Parçada Korozyon Tespiti

Girdap akımları tekniği ile düşük frekans kullanarak korozyon kontrol araştırılması yapılan bu deneysel çalışmada bölüm 6.3' te kullanılan 127-.050 kodlu kalibrasyon blok üzerinde gerçekleştirilen düşük frekansla korozyon kontrolü, laboratuvar şartlarında korozyona uğratılan parça üzerinde gerçekleştirilmiştir. 19x14x1 mm ölçülerinde 2024-T3 alüminyum sac üç eşit bölgeye ayrılarak her bir bölme farklı oranlarda HCl çözeltisinde bir hafta bekletilerek korozyona uğratılmıştır ve sonuçlar girdap akımları cihazında izlenen indikasyon değişiklikleriyle gösterilmiştir.

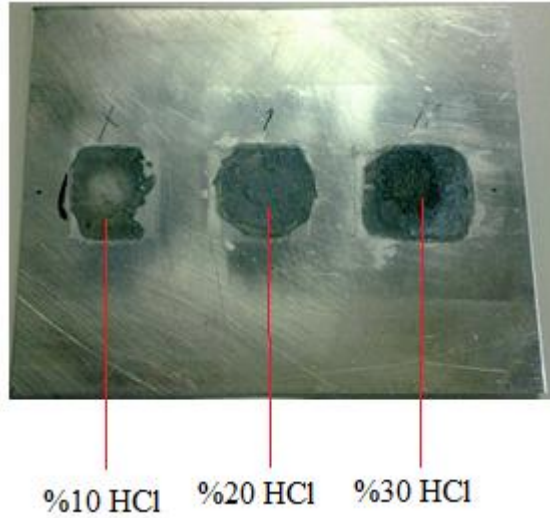
Deneye başlamadan önce sac üzerinde korozyona uğratılacak alanlar hesap edilmiş ve 2024-T3 alüminyum levhadan 19x14x1 mm ölçülerinde sac kesilmiştir. Sac üzerinde belirlenen alanlardan ilkinde %10, ikincisine %20, üçüncüsüne ise %30 oranında HCl çözeltisi bir hafta uygulanarak alüminyum sac korozyona uğratılmıştır.

Bir hafta bekleme sonrasında korozyona uğratılan alüminyum parçanın toplam kalınlık ve % IACS (uluslararası tavlınmış bakır standardı) iletkenlik değeriinden gidilerek parçanın arka yüzeyinden korozyonu tespit edebilmek için gerekli frekans değeri (6.1) eşitliğindeki nüfuziyet derinliği formülü ile hesap edilmiştir.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \mu f \sigma}} \quad (6.1)$$

Hesaplar sonrasında 8 kHz frekans kullanmak gerektiği tespit edilmiştir. Ancak yapılan denemeler sonrasında korozyondan elde edilen en iyi sinyal 13 kHz olarak belirlenmiş ve deneyde bu frekans değeri kullanılmıştır.

Deneyde OLYMPUS NORTEC 500D marka girdap akımları test cihazı, M02250 girdap akım probu ve Şekil 6.18’ de gösterilen 19x14x1 mm ebatlara sahip %10, %20 ve %30 HCl kullanılarak korozyona uğratılan 2024-T3 alüminyum sac kullanılmıştır.



Şekil 6.14 %10, %20, %30 oranlarında HCl çözeltisine tabi tutularak korozyona uğratılmış 2024-T3 alüminyum parça

Şekil 6.14’ te gösterilen laboratuvar şartlarında %10, %20 ve %30 oranlarında HCl çözeltisi kullanılarak korozyona uğratılan test parçasının korozyona uğramamış yüzeyinden M02250 numaralı girdap akım probu, NORTEC 500D girdap akım test cihazında 13 kHz değeriinde çalıştırılarak prob ile denge durumuna getirilmiştir. Test parçasının özellikleri girdap akımları test cihazına dengeleme işlemi ile tanıtıldıktan sonra korozyona uğrayan bölgelerden geçilerek farklı seviyedeki korozyonlu bölgeler cihaz üzerinde farklı şiddette sinyallerle gözlenmiştir. %10 HCl çözeltisi kullanılan bölgede girdap akımları ile yapılan kontrolde 1 birimlik korozyon sinyali, %20 HCl çözeltisi kullanıldığında 4 birimlik korozyon sinyali ve

%30 HCl çözeltisi kullanıldığında ise 5 birimlik korozyon sinyali elde edilmiştir. Elde edilen sinyaller Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17’ de gösterilmiştir. Deneyde %10 HCl çözeltisinde elde edilen sinyalin %20 ve %30 HCl çözeltilerine göre düşük kalması bu oranın 2024-T3 sacını korozyona uğratma hızının diğer oranlara göre oldukça düşük kaldığını göstermiştir. Ayrıca %20 ile %30 derişiklikte HCl kullanımının 2024-T3 sacının korozyona uğramasını yaklaşık olarak aynı etkilediği tespit edilmiştir.



Şekil 6.15 %10 HCl çözeltisiyle korozyona uğratılmış bölgeden alınan sinyal



Şekil 6.16 %20 HCl çözeltisiyle korozyona uğratılmış bölgeden alınan sinyal



Şekil 6.17 %30 HCl çözeltisiyle korozyona uğratılmış bölgeden alınan sinyal

Yukarıda girdap akımları sinyal şekilleri gösterilen örneklerde %20 ve %30 HCl kullanılarak korozyona uğratan bölgelerde alınan sinyallerin 2 birimlik bölümden sonra boyun vermesi korozyonun vermiş olduğu hasarın homojen olarak dağılmadığını göstermektedir.

6.5 Sıvı Penetrant Kullanılarak Korozyon Tespiti

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi sıvı penetrant metodu yüzey çatlaklarının ve korozyonun tespiti amacıyla kullanılan güvenilir bir yöntemdir. Bu metot yüksek giriciliğe sahip sıvıların yüzey kusurlarına nüfuz etmesi ve gelişmiş karışımlarla nüfuz eden bu sıvıları görünür hale getirildiği bir test metodudur. Bu yöntem kullanılarak gerçekleştirilecek deneyde daha önce girdap akımları ile yüzey korozyonun tespit edildiği Boeing 737-400 tipi bir uçağın arka kargo kapısı girişinde limit dışı korozyon sebebiyle sökülmüş 2024-T3 alüminyum sacda korozyon tespiti gerçekleştirilecektir.



Şekil 6.18 Sabit çalışma sistemi

Uçaktan sökülmüş bu parça Şekil 6.18’ de gösterilen sabit çalışma sisteminde hassas tipte flüoresan penetrant, solvent ve developer uygulamaları neticesinde siyah ışık altında incelenecektir. Penetrant uygulaması öncesi uçaktan çıkarılan parça iyice temizlenmiştir. Temizleme sonrası test parçası Şekil 6.19’ da gösterildiği gibi ZL-37 numaralı seviye dört hassas tipteki flüoresan sıvı penetrantın bulunduğu tankın içerisine askı vinci yardımıyla daldırılıp çıkartılmış ve Şekil 6.20’ deki gibi 20 dakika beklemeye bırakılmıştır.

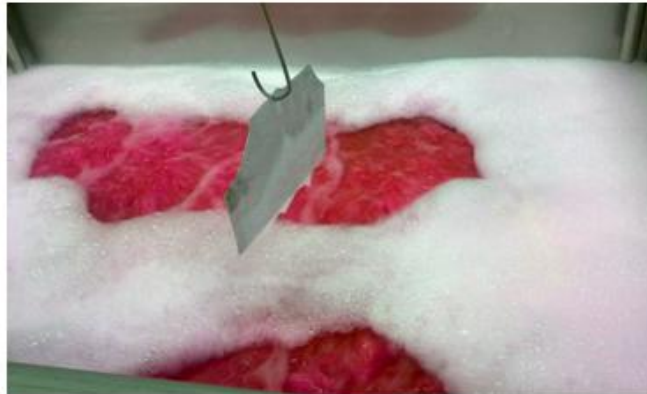


Şekil 6.19 Daldırma yöntemiyle penetrant uygulaması



Şekil 6.20 Penetrant uygulaması sonrası beklemeye bırakılmış test parçası

Test parçasının korozyona uğrayan bölgelerine penetrantın nüfuz edebilmesi için standartlarca tavsiye edilen 20 dakikalık bekleme sonrasında test parçasında korozyonlu bölgeleri tespit edebilmek için diğer bölgelerde fazla kalan penetrantı yüzeyden çıkartmak için ZR-10C numaralı hidrofilik temizleyici tankına Şekil 6.21’ deki gibi daldırılıp çıkarılmıştır.



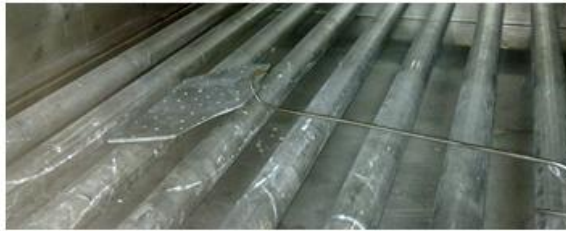
Şekil 6.21 Hidrofilik temizleyici tankı

Temizleyiciye daldırılıp çıkartılan test parçası yüzeyini temizleyiciden arındırmak ve temizleyicinin sonrasında fazla penetrantın yüzeyde kalmasını önlemek amacıyla test parçası Şekil 6.22’ de olduğu gibi yıkanmıştır. Yıkama tankının üzerindeki siyah ışık kullanılarak fazla penetrantın yüzeyde kalıp kalmadığına dair kontrol yapılmıştır.



Şekil 6.22 Yıkama işlemi

Yıkama işlemi sonrasında test parçasının üzerindeki nemi kurutmak maksadıyla Şekil 6.23’ teki kurutma işlemiyle devam edilmiştir. Bu işlem basamağında parça kurutma fırınına koyularak fırının kapağı kapatılmıştır ve parça kuruyana kadar fırında bekletilmiştir. Bu işlem uygulama aşamasında developerın yüzeyde dağılmasını önlemek için çok dikkatle gerçekleştirilmesi gereken bir basamaktır.



Şekil 6.23 Test parçasının kurutulması

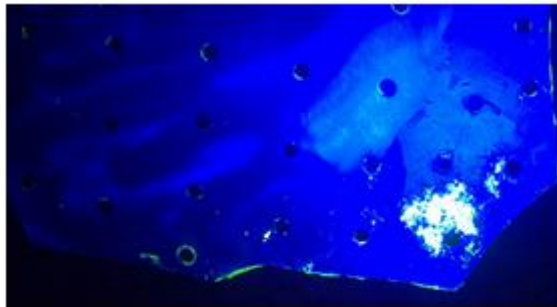
Kurutma aşamasından sonra developer uygulamasında ters kapiler etki kullanılarak korozyonlu bölgenin içerisine girmiş olan sıvı penetrant yüzeyde görünür hale getirilir. Sabit çalışma sistemlerinde kullanılan kuru developerin aksine deneyde sprey halindeki developer kullanılmıştır. Bunun sebebi elimizde bulunan sprey developerin daha hassas olmasından

kaynaklanmaktadır. Böylelikle daha hassas bir görüntü elde edilecektir. Developer standartlar uyarınca Şekil 6.24’ te olduğu gibi belirli bir mesafeden sıkılarak parça yüzeyine homojen olarak dağıtılmıştır.

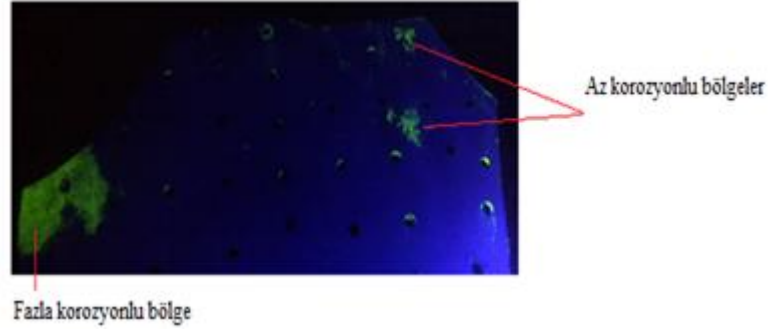


Şekil 6.24 Developer uygulaması

Developer uygulandıktan sonra standartlarca belirtildiği gibi penetrant bekleme süresinin yarısı kadar beklenmiştir. 10 dakika beklemenin ardından karanlık odaya geçilerek Şekil 6.25’ teki gibi siyah ışık altında test parçasının değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmeler sonrası görülmüştür ki daha önce girdap akımları yöntemi kullanılarak tespit edilerek uçak üzerinden söktürülen test parçasının korozyonlu bölgeleri siyah ışık altında çok belirgin olarak tespit edilmiştir. Bunun haricinde sökölme sonrası parçanın arka yüzeyinin de kontrolü de Şekil 6.26’ da olduğu gibi yapılmıştır. Bu yüzeydeki fazla korozyonlu bölgelerin dışındaki az korozyonlu bölgeler de rahatlıkla tespit edilebilmiştir.



Şekil 6.25 Test parçası ön yüzeyindeki korozyonun siyah ışık altında görünümü

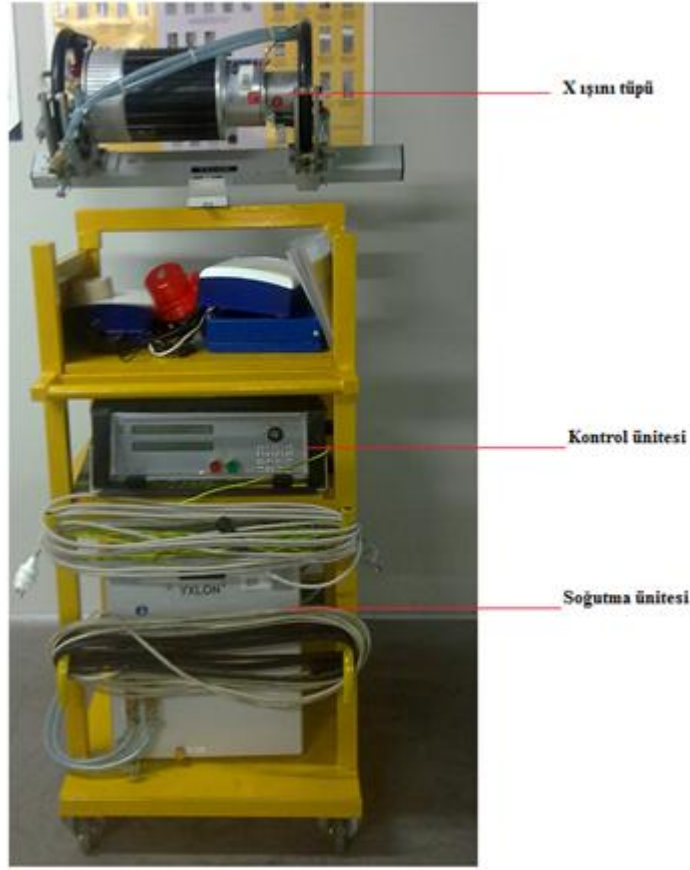


Şekil 6.26 Test parçasının arka yüzeyindeki az ve fazla korozyonlu bölgeler

6.6 X Işınları Kullanılarak Korozyon Tayini

Bu deneysel çalışmada x ışınları kullanılarak toplam kalınlığından %10, %20 ve %30 oranlarında malzeme alınarak üretilen Boeing firmasına ait 127-.050 numaralı 2024-T3 alüminyum alaşımlı test parçasında ve farklı derişiklikte HCl çözeltisi kullanılarak korozyona uğratılmış 2024-T3 alüminyum sacdaki korozyon tespit edilecektir.

X ışınları kullanılarak korozyonun tespiti yapılacak çalışmada Şekil 6.27' deki YXLON marka SMART 583 model su soğutmalı x ışın cihazı kullanılacaktır. Bu cihaz ile 127-.050 numaralı Boeing firmasına ait korozyon referansının ve her bölgede farklı derişiklikte (%10, %20 ve %30 oranında) HCl içeren çözelti kullanılarak korozyona uğratılmış test parçalarının farklı kilovolt değerlerinde radyografi filmi çekilecektir.



Şekil 6.27 YXLON SMART 583 marka x ışın cihazı

Film çekimine başlamadan önce x ışın cihazı çekim yapacağımız kilovolt değerinin üstündeki bir değere ısıtılarak tüp içinde yer alan tungsten telin ısınması sağlanmıştır. Isıtma işlemi sırasında cihazdan x-ışınının çıktığı bölme cihaza ait kurşun koruyucu vasıtasıyla kapatılarak çevrenin radyasyondan etkilenmesi önlenmiştir. Bu amaçla cihaz 100 kV değerine ısıtılmıştır ve cihazın verdiği ısıtma süresi gereğince beklenmiştir. Deneye başlandığında ilk olarak Boeing firması tarafından 2024-T3 alüminyum malzemeden üretilmiş 127-.050 numaralı korozyon referans standardında çalışılmıştır.

Malzemenin arka yüzeyinden toplam kalınlığının %10, %20 ve %30 oranlarındaki kısmı alınarak korozyonun simüle edildiği bu parçanın altına filmin her iki yüzeyinde kurşun levha bulunan KODAK marka MX125 filmi konularak parça film çekime hazır hale getirilmiştir. Filmin ön yüzeyinde bulunan kurşun levha zararlı ışınların filmi etkilemesini önlemek, altındaki kurşun levha ise saçılmaları önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Test parçası Şekil 6.28’ de olduğu gibi x ışın kaynağı ve film arasına konularak parça içerisinden geçen x ışınlarının radyografi filmini karartması sağlanmıştır.



Şekil 6.28 Radyografi filminin pozlanması

Bu çalışmada test parçası önce 80 kV’ de film kaynaktan 75 cm uzağa konularak 1 dakika pozlanmıştır. Aynı test parçası daha sonra 60 kV’ de 2 dakika 75 cm mesafeden pozlanmıştır. Pozlama işlemi sonlandıktan sonra filmler Kodak marka 515 5924 numaralı geliştirici içerisinde 5 dakika bekletilmiştir. Geliştirici içerisine konulan filmin üzerinde bulunan ve x ışınlarından etkilenen gümüş bromür tanelerinin geliştirilmesi sağlanır. Bu işlemde sonra film Kodak marka 505 2584 numaralı sabitleyici içerisinde bekletilerek film üzerinde x ışınlarından etkilenmeyen gümüş bromür tanelerinin film üzerinden koparak sabitleyici içerisine geçmesi sağlanarak net bir görüntü elde etmek amaçlanır. Bu deney çalışmasında filmler geliştirici içerisinde 5 dakika, sabitleyici içerisinde ise 15 dakika bekletilmiştir. Şekil 6.29’ da film banyo tankındaki geliştirici ve sabitleyici görülmektedir. Banyo işlemi sonrasında filmler Şekil 6.30’ da görülen film aydınlatma ekranında değerlendirilmiştir.

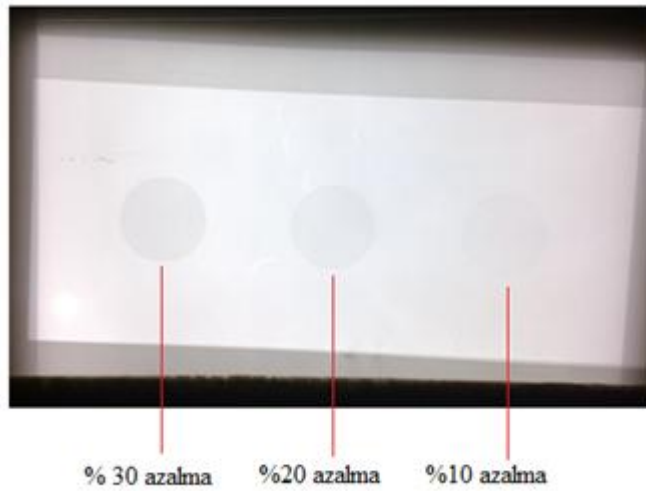


Şekil 6.29 Film banyo tankı



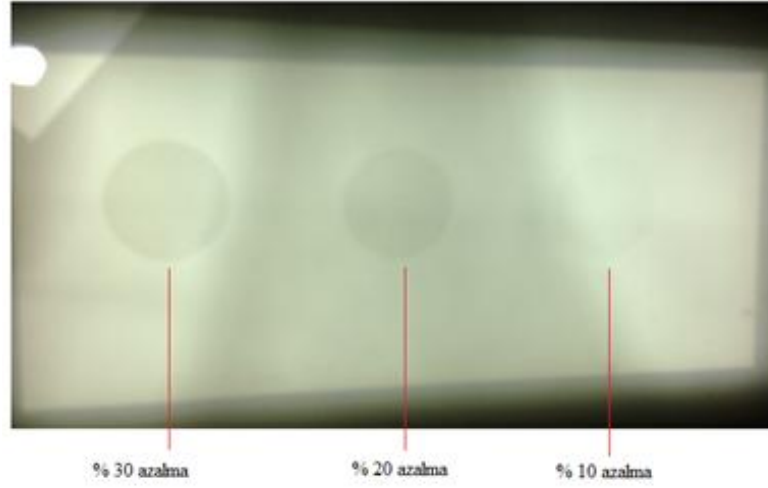
Şekil 6.30 Film aydınlatma ekranı

Filmlerin değerlendirilmesine ilk olarak 127-.050 numaralı kalibrasyon bloğu ile başlanmıştır. Şekil 6.31’ de bu bloğun 80 kV değerinde 1 dakika pozlanmasıyla elde edilen radyografi filmi görülmektedir. Şekil 6.32’ da ise aynı bloğun 60 kV değerinde 2 dakika pozlanan radyografi filminin film aydınlatma ekranındaki görüntüsü görülmektedir.



Şekil 6.31 127-.050 numaralı bloğun 80 kV’ de çekilmiş radyografi filmi

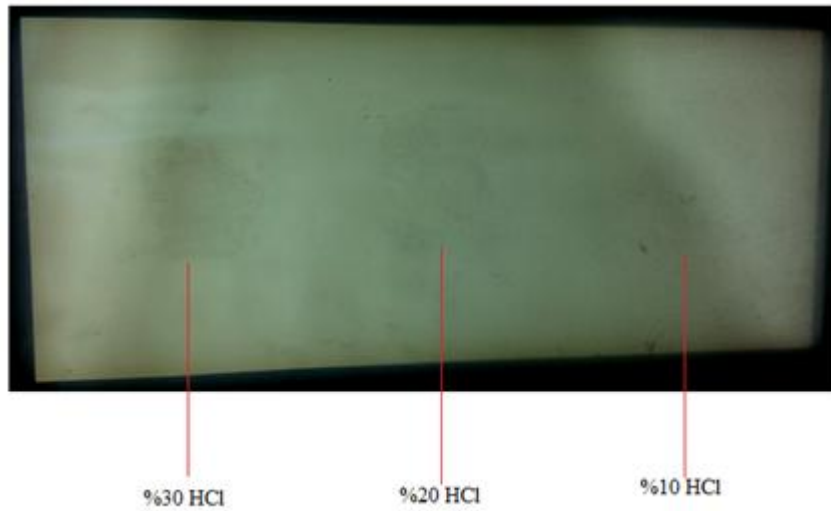
Şekil 6.31’ de görüldüğü gibi toplam kalınlığın %30 oranında azaldığı bölümde x ışınları filmi daha fazla karartmıştır ve film üzerinde bu bölge, toplam kalınlığın %10 ve %20 oranında azalan bölgelerin vermiş oldukları görüntüye nazaran daha siyah çıkmıştır.



Şekil 6.32 127-.050 numaralı bloğun 60 kV’ de çekilmiş radyografi filmi

Şekil 6.32’ de görülen filmde kilovolt değeri düşürülmesine rağmen pozlama süresinin uzatılmasından dolayı film görüntüsü 80 kV’ de çekilen filme göre daha fazla kararmıştır ancak malzeme kalınlığındaki azalmadan elde edilen radyografi film görüntüsündeki yoğunluk farklılıkları Şekil 6.31 ile aynıdır. Filmde görülen lekeler film banyosundan kaynaklanmaktadır.

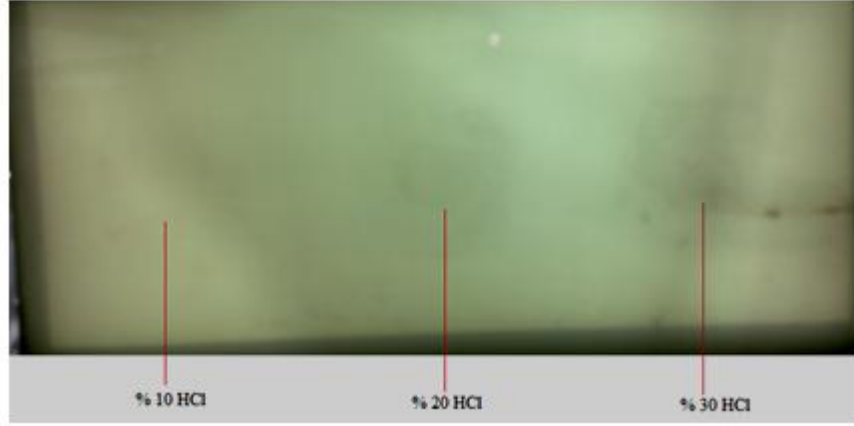
Şekil 6.33 ve Şekil 6.34’ de ise %10, %20 ve %30 oranlarında HCl çözeltisiyle reaksiyona sokulan 2024-T3 alüminyum sacın 60 kV’ de 75 cm mesafeden 2 ve 3 dakika pozlanan filmleri görülmektedir.



Şekil 6.33 HCl uygulanan parçanın 60 kV’ de 2 dakika pozlanmasıyla elde edilen görüntü

Şekil 6.33’ de radyografi filmi görülen HCl çözeltisi kullanılarak korozyona uğratan 2024- T3 alüminyum sacdaki korozyonlu bölgelerin film aydınlatma ekranındaki görüntüsü

127-.050 numaralı kalibrasyon bloğuna göre daha az belirgindir. Bunun sebebi bu sacın doğal olarak korozyona uğratılması sonucu yüzeyin oldukça bozuk olmasıdır. Şekil 6.34’ de ise süre biraz daha uzatılarak daha iyi görüntü elde edilmeye çalışılsa da benzer görüntü elde edilmiştir.



Şekil 6.34 HCl uygulanan parçanın 60 kV’ de 3 dakika pozlanmasıyla elde edilen görüntü

Filmlerde görülen puslu görüntü ise film banyolarından kaynaklanmıştır. Deney neticesi göstermiştir ki doğal olarak oluşturulan korozyonlu bölgede yüzeyin kötü olması gelen x ışınlarının saçılmasına neden olarak net bir görüntü almayı engellemiştir. Ancak her iki parçada elde edilen film görüntüleri itibariyle korozyonun radyografi filmlerinde malzeme kaybını işaret eder nitelikte karardığı gözlenmiş ve bu yolla korozyon x ışınlarıyla tespit edilmiştir.

6.7 Ultrasonik Muayene ile Korozyon Tayini

Yüksek frekanslı ses dalgaları kullanılarak ilk olarak diğer tahribatsız muayene yöntemleriyle korozyon tespitinde kullanılan 127-.050 numaralı Boeing firmasına ait kalibrasyon bloğunda kalınlık ölçüm cihazı kullanılarak kalınlık ölçümü yapılacaktır. İkinci olarak ise ultrasonik hata detektörü kullanılarak daha önceki deneylerde de kullanılan Boeing firmasının 737-400 tipi yolcu uçağının arka kargo bölümünden çıkartılan parçada korozyon tespiti yapılacaktır.

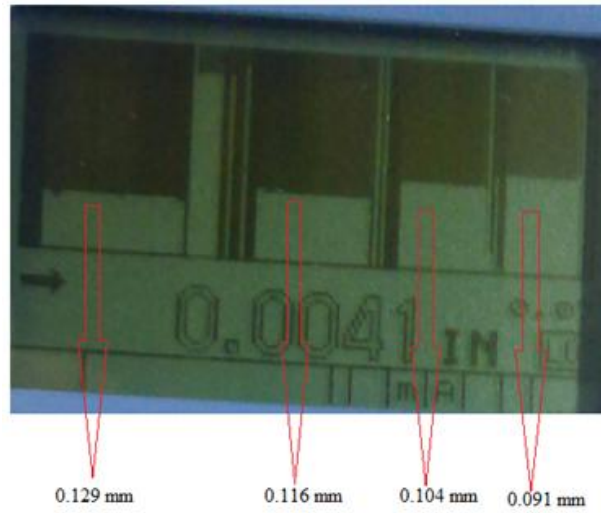
Ultrasonik muayene ile korozyon tespiti deneylerine ilk olarak kalınlık ölçümü ile başlandı. Deneylerin ilk bölümünde OLYMPUS firmasının PANAMETRICS 35 model kalınlık ölçüm cihazı, 20 MHz frekans ile ses dalgası üreten bir kalınlık ölçüm probu ve 127-.050 numaralı kalibrasyon bloğu kullanılmıştır. Deneyde probun ürettiği ses dalgasının test malzemesine

giriş yapabilmesi için özel yağ kullanılmıştır. Şekil 6.35’ te PANAMETRICS 35 marka kalınlık ölçüm cihazı ile test parçasının arka yüzeyden ölçümüne ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 6.35 Kalınlık ölçüm cihazıyla kontrol

Kalınlık ölçüm cihazının dijital olarak kalınlık ölçümü yapabilmesinin yanında malzemedeki değişikliklerin kesitsel görüntüsünü de veren B taraması modu kullanılarak kalınlık değişimi incelenmiştir. Öncelikle cihazın kalibrasyonu yapıldıktan sonra 127-.050 numaralı test parçasında korozyonun simüle edildiği tek katında kalınlığı azalmayan bölgenin kalınlığı ölçülmüştür. Burada kalınlık 0.129 mm bulunmuştur. Daha sonra sırasıyla toplam kalınlıktan %10 oranında, %20 oranında ve %30 oranında malzeme alınan yerlere konularak kalınlık sırasıyla 0.116, 0.104, 0.091 mm bulunmuştur. Bu değerler B taraması görüntüsüyle Şekil 6.36’ da gösterilmiştir. Şekilde korozyondan kaynaklanan malzeme incelmesinin A ve B taramaları kullanılarak tespit edilebildiği görülmektedir.



Şekil 6.36 Korozyonun ultrasonik B taraması görüntüsü

Kalınlık ölçümüyle HCl çözeltisiyle korozyona uğratılmış parçada da korozyon tespiti denenmiştir ancak korozyona uğrayan yüzeylerin düzgün olmamasından dolayı kalınlık değerleri ölçülememiştir. Bu bölgelerde pürüzlülük nedeniyle probdan çıkan ses dalgasının geri dönmeden saçılması ölçümü etkilemiştir. Seste beklenmedik bu davranış korozyonun varlığını bize göstermektedir.

Ultrasonik muayene ile yapılan bir diğer korozyon deneyinde Şekil 6.37’ de görülen GE firmasının USM 35 marka ultrasonik hata detektörü, 20 MHz frekansta ses dalgası üreten ultrasonik prob, 127-.050 numaralı kalibrasyon bloğu ve HCl çözeltisi ile korozyona uğratılmış 2024-T3 alüminyum sac kullanılacaktır.



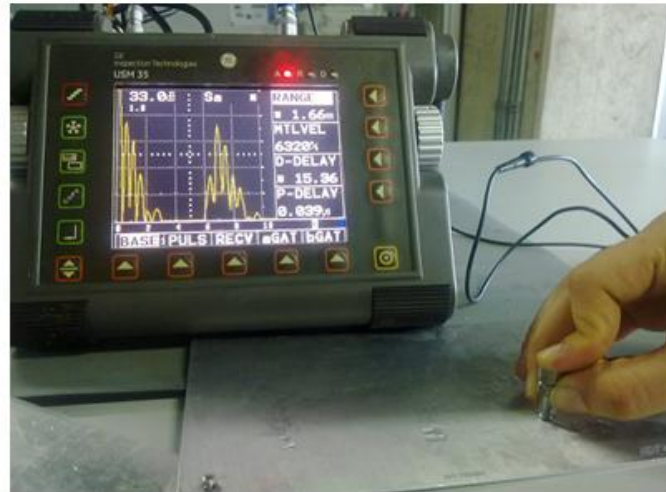
Şekil 6.37 USM 35 ultrasonik hata detektörü

Deneye başlamadan önce Şekil 6.37’ de görülen ultrasonik hata detektöründe kontrol sahası cihaz göstergesinde 1.66 mm mesafe değerine, ses hızı alüminyum malzemelerdeki 6320 m/s değerine ve probun çalışma frekansı cihaz üzerinden ayarlanmıştır. Ayarı yapılan cihazda ilk önce prob 127-.050 numaralı test parçasında kalınlığın en fazla olduğu 0.129 mm’ lik bölgeye konularak malzemenin arka cidarından sinyal alınmıştır. Alınan sinyal Şekil 6.38’ de görüldüğü gibi cihaz göstergesi zaman ekseninde 6.2’ den alınmıştır.



Şekil 6.38 127-0.50 numaralı blokta 0.129 mm’ den alınan sinyal

Deneyde sırasıyla toplam kalınlığın %10, %20 ve %30 azaldığı bölgelerden arka cidar sinyali alınarak kalınlık azalmasının ultrasonik hata detektöründe gösterimleri Şekil 6.39, Şekil 6.40 ve Şekil 6.41’ de verilmiştir. Şekil 6.39’ de %10 azalmanın olduğu bölümden arka cidar sinyalinin zaman ekseninde 6.0’ dan alındığı görülmektedir.



Şekil 6.39 127-.050 numaralı blokta 0.116 mm’ den alınan sinyal

Şekil 6.40' de ise toplam kalınlığın %20 azaldığı bölgeden 0.104 mm' lik bölgeye prob konularak arka cidar sinyali alınmıştır. Daha ince olan bu bölümden alınan sinyal zaman ekseninde 5.0' dan alınmıştır.



Şekil 6.40 127-.050 numaralı blokta 0.104 mm' den alınan sinyal

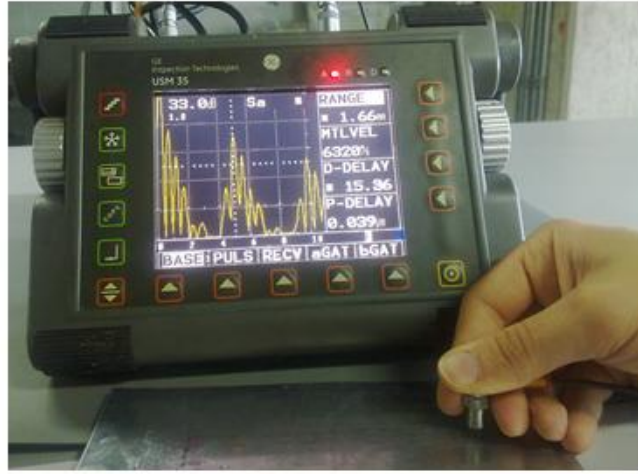
Şekil 6.41' de ise toplam kalınlığın %30 azaldığı bölüm olan 0.091 mm' lik bölgeye prob konularak arka cidar sinyali zaman ekseninde 4.1' den alınmıştır. Bu deneyde malzeme kalınlığı azaldıkça sesin probtan çıkarak tekrar geri döndüğü ses yolu mesafesi azaldığı için cihaz ekranındaki zaman ekseninde daha yakından sinyal alındığı görülmüştür.



Şekil 6.41 127-.050 numaralı blokta 0.091 mm' den alınan sinyal

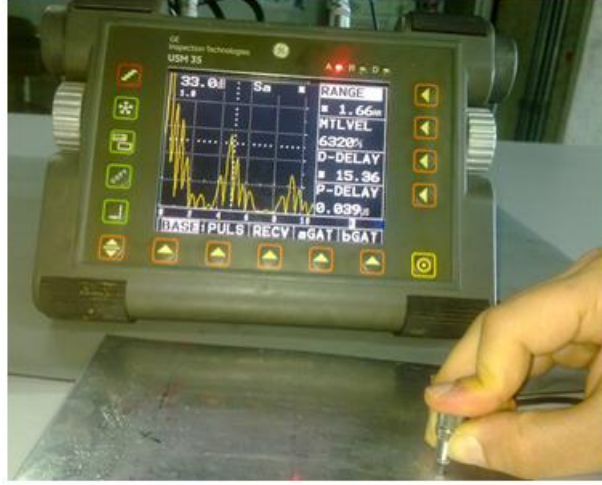
Yukarıda yapılan deneyin bir benzeri farklı yüzdesel oranlarda HCl çözeltisi kullanılarak korozyona uğratılan 2024-T3 alüminyum sac kullanılarak yapılmıştır. Bu sac üzerindeki korozyonun tespiti USM 35 marka ultrasonik hata detektörü ve 20 MHz frekansta ses dalgası üreten ultrasonik prob kullanılmıştır.

Deney başlangıcında yukarıdaki deneyde olduğu prob frekansı, sesin alüminyum malzemede yayılım hızı ve cihaz ekranında kontrolü yapmak istediğimiz mesafe ayarlanmıştır. HCl çözeltisine tabi tutulan sacın korozyona uğratılmayan yerinden arka cidar sinyali alınarak Şekil 6.41’ da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi arka cidar sinyali zaman ekseninde 4.0’ dan alınmıştır.



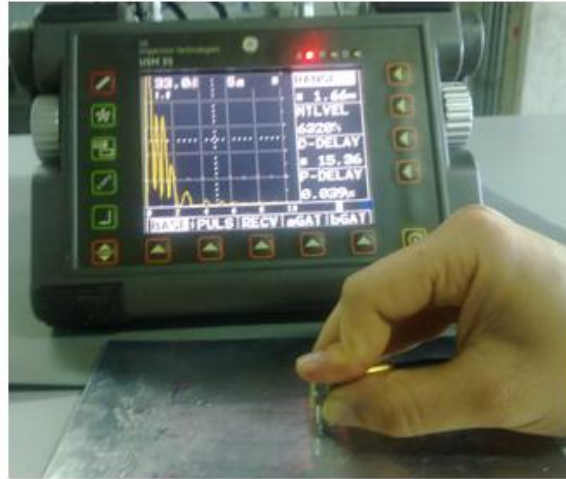
Şekil 6.42 HCl çözeltisinde korozyon uğratılan parçada korozyonsuz bölgeden alınan arka cidar sinyali

Bu parçanın %10, %20 ve %30 HCl çözeltisinde bekletilerek korozyona uğratılan bölgelerinde de ultrasonik hata detektörü ile kontrol yapılmıştır. Parçanın %10 HCl çözeltisinde bekletilerek korozyona uğratılan bölgesinin arka yüzeyden kontrolünde Şekil 6.42’ de olduğu gibi arka cidar sinyali malzeme kaybından dolayı 3.8’ den alınarak zaman ekseninde korozyonsuz bölgeye nazaran daha önde alınmıştır. Yüzeyin bozukluğundan ötürü sesin saçılması sinyalin şiddetinde azalmaya neden olmuştur.



Şekil 6.43 %10 HCl ile korozyona uğratılan bölgeden alınan sinyal

Aynı işlem bu parçanın %20 ve %30 oranında HCl ile reaksiyona sokulan bölgelerine de uygulanmıştır. Ancak bu yüzlerde yüzey özelliklerinin çok bozuk olması probtan çıkan ses dalgasının tekrar proba dönmeden büyük oranda saçılmasına neden olduğundan ekranda zaman ekseninde 3.8' den önde ve az şiddette alınmıştır. Beklenen sinyal bu bölgelerden alınamamıştır. %20 ve %30 HCl çözeltisinin kullanıldığı bölgelerden alınan sinyaller Şekil 6.44 ve Şekil 6.45' te görülmektedir. Sinyal almada güçlük çekilen %20 ve %30 HCl ile korozyona uğratılan bölgeleri belirlemek amacıyla prob ile sinyal alınan ve alınmayan bölgeler belirlenerek korozyonlu bölge tayin edilmiştir.



Şekil 6.44 %20 HCl ile korozyona uğratılan bölgeden alınan sinyal



Şekil 6.45 %30 HCl ile korozyona uğratılan bölgeden alınan sinyal

7. SONUÇLAR

Günümüzde, insan ve yük taşımacılığında en çok tercih edilen havacılıkta; güvenlik faktörlerine çok önem verilmektedir. Uçağın her bir parçası, güvenli uçuşu sağlamada göz ardı edilemeyecek bileşenlerdir. Bu parçaların uzun süre hasarsız olarak kullanılabilmeleri üretimde ve bakım faaliyetlerinde gerçekleştirilecek çalışmaların kalitesine bağlıdır. Uçağın kullanım ömrünün arttırılabilmesi için bütünü oluşturan bu parçaların çevreleriyle etkileşimlerinden doğan ve adeta insan vücudundaki kanserli bir hücre gibi hareket ederek büyük yıkımlara neden olan korozyonun engellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla uçak parçalarında, hafiflikleri ve korozyon dayanımları gibi özelliklerinden dolayı %70 oranında alüminyum alaşımları kullanılır. Uçaklar bulundukları hava şartları gereği büyük kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu yüzden uçaklarda özellikle yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları tercih edilir. Bu amaçla çelik gibi birçok mühendislik alaşımıyla aynı mukavemet değerlerine ve yüksek dayanım/ağırlık oranlarına sahip 2024 ve 7075 alüminyum alaşımları kullanılır. Bu tez çalışmasında, 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarında karşılaşılan korozyonun önlenmesi ve tespitinde kullanılan tahribatsız muayene teknikleri araştırılmış ve deneylerle tespit teknikleri gösterilmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde; araştırılan bu konunun önemi anlatılarak, çalışma konuları belirtilmiştir. İkinci bölümünde; tüm yüklemelere maruz kalan ve uçağın havada kalmasını sağlayan gövde, kanat, yatay ve dikey stabilizeler ve yardımcı uçuş kumanda yüzeyleri gibi 2024 ve 7075 alüminyum alaşımından üretilen önemli yapısal elemanlar şekillerle izah edilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde; korozyon konusunda literatür araştırmaları yapılmış ve alüminyum yapılarda görülen üniform, oyuklanma, tanelerarası ve tane içi, tabakalaşma, gerilmeli, kurtçuk, erozyon, mikrobiyolojik ve galvanik korozyon çeşitlerinin mekanizmaları incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise; her türlü korozyondan korunmak için üretim ve bakım çalışmalarında alınan önlemler incelenerek üretici firmaların kullandığı anotlama, kladlama, kimyasal dönüşüm kaplaması, korozyon önleyici bileşik, astar, boya ve macun uygulamalarının kullanım yerleri ve koruma mekanizmaları incelenmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde; uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımlarında korozyonu ve sınırlarını tespit etmek için kullanılan 4 ana tahribatsız muayene yöntemi araştırılarak, kontrol prensipleri ve teknikleri incelenmiştir. Bu yöntemler; malzemelerin elektrik iletkenlik özelliklerine dayanan girdap akımları, yüksek giricilikteki sıvıların kılcal hasarlara nüfuz ederek hasarları tespite olanak sağlayan sıvı penetrant, malzemeye gönderilen yüksek enerjili x ışınları ile malzemenin tamamının kontrolünün yapılabilirdiği radyografi ve malzeme içerisine yüksek

frekansta ses yollanarak hasar kontrolünün gerçekleştirildiği ultrasonik muayenelerdir. Tez çalışmasının altıncı ve son bölümünde beşinci bölümde açıklanan tahribatsız muayene teknikleri kullanılarak korozyon tavinleri gerçekleştirilmiş ve deneysel çalışmalar anlatılmıştır.

Deneysel çalışmada ilk olarak, alüminyumun iyi elektrik iletkenliği özelliğinden dolayı uçak bakım çalışmalarında en çok kullanılan tahribatsız muayene metotlarından girdap akımları yöntemi kullanılmıştır. Bu teknik ile yapılan çalışmalarda, empedans-düzlem diyagramlı girdap akım hata detektörü ve çeşitli test parçaları kullanılmıştır. Alüminyum yapılarda perçin çevresinde oluşan yüzey ve tabakalaşma korozyonu yüksek frekans, üst üste binmiş parçalarda yüzey altındaki korozyon ise düşük frekans kullanılarak tespit edilmiştir.

Perçin çevresindeki korozyonu belirlemek amacıyla Boeing 737-400 tipi bir yolcu uçağının kargo girişinde doğal olarak korozyona uğramış alüminyum yapı kullanılmıştır. Bu amaçla; öncelikle cihazın frekans, faz açısı ve kazanç değerleri Boeing firmasının NDTSPM 06-10-01.011 numaralı referans dokümanı kullanılarak ayarlanmıştır. Kalibrasyon tamamlandıktan sonra korozyon kontrolü 300 kHz frekans kullanılarak gerçekleştirilmiş ve perçin çevresindeki korozyon rahatlıkla tespit edilmiştir. Girdap akımlarında yüksek frekans kullanılarak yapılan diğer bir kontrolde ise Boeing firmasının NDTSPM 06-10-01.009 numaralı referans dokümanında belirtilen aşamalar anlatılarak 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarında çok rastlanılan tabakalaşma korozyonunun tespit yöntemi açıklanmıştır. Girdap akımlarıyla yapılan üçüncü deneyde ise düşük frekans kullanılarak üst üste binmiş yapılarda dış sacda toplam kalınlığın %10 veya daha fazla azalmasına neden olan korozyon tespit edilmiştir. Bu çalışma için Boeing firmasının tahribatsız muayene el kitabı 51-00-00 figür 12 numaralı referans standardında belirtilen teknikler uygulanmıştır. 127-.050 numaralı kalibrasyon standardında gerçekleştirilen deneyde, malzeme kalınlığının %10, %20 ve %30 azaldığı bölümlerden 13 kHz ile düşük frekans girdap akımları kullanılarak korozyon rahatlıkla tespit edilmiştir. Boeing firmasının kalibrasyon bloğundakine benzer çalışma 2024-T3 sacın belirlenen bölgelerine, %10, %20 ve %30 oranındaki HCl çözeltisiyle reaksiyona uğratılan test parçasında yapılmıştır. Bu parçada nüfuziyet derinliği formülünden gidilerek korozyonlu bölgeleri arka yüzeyden tespit etmek için gereken frekans değeri bulunmuştur. Optimum değer olarak 13 Khz belirlendikten sonra, BOEING firmasının tahribatsız muayene elkitabı bölüm 6 51-00-00 figür 12 numaralı standardı referans alınarak korozyonlu bölgeler rahatlıkla belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın ilk bölümünde, girdap akımlarında düşük ve yüksek frekans kullanarak korozyon kontrollerinin rahatlıkla tespit edilebildiği görülmüştür.

Sıvı penetrant yöntemiyle yapılan korozyon tespit çalışmasında Boeing 737-400 tipi uçağın arka kargo bölümünden çıkarılan parça kullanılmıştır. Bu kontrol için sabit çalışma sistemi kullanılmıştır. Öncelikle iyice temizliği yapılan test parçasına daldırma yöntemiyle ZYGLO ZL-37 marka penetrant uygulanarak 20 dakika beklenmiştir. Daha sonra ZR-10C numaralı hidrofilik temizleyicide temizlenen parça suyla yıkanarak fırında kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan parça da korozyonlu bölgenin oluşturduğu aralıklara giren sıvı penetrantın yüzeyde görünebilirliğini sağlamak için developer uygulanarak 10 dakika bekletilmiştir. Bekleme süresi sonrasında karanlık odaya geçilerek siyah ışık altında yapılan değerlendirme sonucunda parça yüzeyindeki çeşitli yoğunluktaki korozyonlu bölgelerin rahatlıkla tespit edilebildiği görülmüştür.

Radyografi çalışmasında ise YXLON SMART 583 marka su soğutmalı x ışın cihazı kullanılmıştır. Malzeme kalınlığında %10, %20 ve %30 oranlarında azalma olan 127-.050 numaralı kalibrasyon bloğunda ve laboratuvar şartlarında %10, %20, %30 HCl ile reaksiyona sokularak korozyona uğratılan alüminyum sacda x ışınları ile deney yapılmıştır. Deneylerde KODAK firmasına ait MX125 radyografi filmi ve banyo malzemeleri kullanılmıştır. Deneyde öncelikle, 127-.050 numaralı referans blok, x ışın kaynağı ile film arasına konularak 75 cm mesafeden 80 kV ile 1 dakika ve 60 kV ile 2 dakika pozlanmıştır. Pozlanma sonrası 5 dakika geliştiricide, 15 dakika sabitleştiricide filmlerin banyoları yapılmıştır ve her iki filmde de aynı yoğunlukta kararmalar gözlenmiştir. Bu filmlerde, %30 oranında malzeme azalmasının olduğu bölgeden daha fazla x ışını geçtiği ve bu bölgenin daha fazla karardığı görülmüştür. %20 malzeme kaybının olduğu bölgeden elde edilen film görüntüsünün, %10' luk azalmanın olduğu bölgeye nazaran daha fazla karardığı gözlenmiştir. Deney sonucunda korozyondan dolayı malzeme kaybına uğrayarak incelen bölgelerin x ışınlarından daha fazla etkilenecek, karardığı gözlenmiştir. X ışınlarıyla yapılan diğer deneyde %10, %20 ve %30 oranlarında HCl kullanılarak korozyona uğrayan test parçasında 75 cm mesafeden 60 kV kullanılarak 2 ve 3 dakika pozlanan radyografi filmlerinin 5 dakika geliştiricide, 15 dakika sabitleştiricide banyoları yapılmıştır. Banyo sonrasında aydınlatma ekranında yapılan değerlendirmelerde doğal olarak korozyona uğratılan parçanın yüzeyinin çok pürüzlü olmasından dolayı filmlerin değerlendirilmesi zor olmuştur. Ancak % 30 HCl ile korozyona uğratılan bölge daha fazla malzeme kaybına uğradığından filmi daha fazla kararttığı belirlenmiştir. X ışınlarıyla yapılan deneyler sonucunda, gözle görülemeyen bölgelerde korozyonun bu yöntemle rahatlıkla tespit edildiği görülmüştür.

Deneyisel çalışmaların son kısmında ise malzeme içerisine yüksek frekanslı ses dalgasının gönderildiği ultrasonik muayene ile kalınlık ölçüm cihazı ve ultrasonik hata detektörüyle

korozyon tainleri yapılmıştır. Deneyde OLYMPUS firmasının PANAMETRICS 35 model kalınlık ölçüm cihazı ve GE firmasının USM 35 marka ultrasonik hata detektörü kullanılmıştır. Kalınlık ölçüm cihazının B taraması modu kullanılarak 127-.050 numaralı kalibrasyon bloğunda korozyonun neden olduğu kalınlık azalması hem sayısal değer hem de kesit görüntüsü olarak elde edilmiştir. Hassas ultrasonik kalınlık ölçümü ile toplam kalınlığı 0.129 mm olarak bulunan test parçasında kalınlığının azaldığı bölgeler sırasıyla 0.116, 0.104, 0.091 mm olarak hassas bir şekilde tespit edilmiştir. Ultrasonik deneylerin ikinci kısmında ise HCl ile korozyona uğratan ve 127-.050 numaralı parça, ultrasonik hata detektörü ile kontrol edilmiştir. Bu kontroller ultrasonik A taraması ile yapılarak zaman ekseninde korozyonlu bölgelerden elde edilen sinyallerin konumları değerlendirilmiştir. Malzeme kalınlıkları makine ile alınarak düzgün yüzeyler elde edilen 127-.050 numaralı parça ile hata detektöründe yapılan kontrollerde; malzeme kalınlığında %30 azalmanın olduğu bölgeden arka cidar sinyali kalınlık azalmasının nispeten az olduğu bölgelere nazaran cihazın zaman ekseninde daha önde alınmıştır. Sinyalin zaman ekseninde önde alınmasının nedeni; et kalınlığı azalan bölgeden gönderilen sesin toplam kat ettiği mesafenin az olmasıdır. HCl ile korozyona uğratan parçanın sadece %10 oranında HCl kullanılan bölgesinden arka cidar sinyali alınmıştır. Bu sinyal zaman ekseninde beklenildiği gibi korozyonsuz bölgeden alınan sinyalin önünde ve daha az şiddette çıkmıştır. %20 ve % 30 oranında HCl kullanılarak daha fazla korozyona uğratan bölgelerde ise yüzey özellikleri çok bozulduğundan gönderilen ses geri dönmeden tamamına yakını saçıldığından sinyal az şiddet alınmıştır. Ultrasonik deneyler sonucunda korozyon, gerek kalınlık ölçümü ile gerek hata detektörü kullanılarak rahatlıkla tespit edilmiştir. Fazla korozyona uğrayarak yüzey özelliklerinin bozuk olduğu bölgeler, sinyal şiddetinde görülen azalmadan gidilerek tespit edilmiştir ve korozyonlu bölgeler tam olarak belirlenmiştir.

Tez çalışması sonucunda önemli yapısal uçak parçaları, bu parçalarda görülen korozyon çeşitleri ve uçaklarda korozyonu engelleme yolları öğrenilmiştir. 2024 ve 7075 alüminyum parçalarda korozyonlu bölgelerin tahribatsız muayene metotlarından girdap akımları, sıvı penetrant, radyografi ve ultrasonik muayene ile tespit etmekte kullanılacak bilgi ve beceriler kazanılmıştır.

KAYNAKLAR

ASM Handbook Volume 13, (1992), Corrosion.

ASM Handbook Volume 17, (1992), Nondestructive Evaluation and Quality Control.

ASM Handbook Volume 5, (1993), Surface Engineering.

ASNT, (1996), Nondestructive Testing Handbook, Second Edition: Volume 10, Nondestructive Testing Overview.

ASNT, (2004), Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 5, Electromagnetic Testing.

ASTM E94-4, (2004), Standard Guide for Radiographic Examination.

ASTM G69-97, (2009), Standard Test Method for Measurement of Corrosion Potentials of Aluminum Alloys.

Boeing, (1982), Boeing 737 Nondestructive Testing Manual 51-06-00.

Boeing, (1985), Boeing 737 Nondestructive Testing Manual 51-04-00.

Boeing, (1995), MD80 Nondestructive Testing Standard Practice Manual 06-10-01.009.

Boeing Training, (1997), Protective Treatment.

Boeing Training, (1998), Boeing structural finishes.

Boeing, (2004), Boeing 737-400 Nondestructive Testing Manual 51-00-00 fig.12.

Boeing, (2007), MD80 Nondestructive Testing Standard Practice Manual 06-10-01.011.

Boeing, (2010), Boeing 737-400 Structural Repair Manual 51-00-01.

Boeing, (2010), Boeing 737-400 Structural Repair Manual 51-20-01.

Boeing, (2010), Boeing 737-400 Standart Overhaul Practices Manual 20-41-05.

Gerhardus, H. K., (2001), Aircraft.

Hellier, C.J., (2003), Handbook of Nondestructive Evaluation, Mcgraw-Hill.

Kayrak Armatlı, M., (2001), Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri, Eskişehir.

Kroes, Watkins, Delp, (1993), Aircraft Maintenance and Repair, Glencoe Aviation Technology Series.

Megep, (2005), Korozyon, Uçak Bakım, Ankara.

Megep, (2006), Uçaklarda Tahribatsız Muayene, Uçak Bakım, Ankara.

Megep, (2006), Uçak Gövde Yapısı, Uçak Bakım, Ankara.

Meral, D., (2009), “Uçak Parçalarına Uygulanan Tahribatsız Muayene Yöntemleri”, YTÜ yayınları.

Nondestructive Inspection Methods, (2005), 33-B-1-1 Basic Theory Technical Manual.

Onursal, M., (2007), “Uçak Parçalarına Uygulanan Tahribatsız Muayeneler”, YTÜ Yayınları.

Perryman, J., (2007), Corrosion Resistance of Aluminum, Waterfront Solutions.

Shull, P.J., (2001), Nondestructive Evaluation Theory, Techniques and Applications, The Pennsylvania State University, Pennsylvania.

Svenningsen, G., (2003), Corrosion of Aluminium Alloys, Department of Materials Technology.

Vargel, C., (2004), Corrosion Of Aluminum.

<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/educationresource.htm>.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad Özgür Ergin KORKMAZ

Doğum Tarihi 25.04.1985

Doğum Yeri İstanbul

Lise 1996-2003 Yeşilköy Anadolu Lisesi

Lisans 2003-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fak.
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal. ve Malz. Müh. Anabilim Dalı, Malz. Programı

Çalıştığı Kurumlar

2008-Devam Ediyor MRO Teknik Servis San. & Tic. A.Ş