

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

106249

**HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
ULTRASONİK VE GİRDAP AKIMLARI TEKNİKLERİNİN
UYGULAMA ALANLARI**

Metalürji Müh. Orkun TUNÇKAN

Metalürji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Alın

Prof. Dr. Ahmet Topuz
Havacılık Mühendisliği Anabilim Dalı
Ekim 2001

İSTANBUL, 2001

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tahribatsız Muayenenin Gelişimini Sağlayan Faktörler	3
2. ULTRASONİK YÖNTEM.....	4
2.1 Darbe-yankı Yöntemi.....	5
2.2 Ekran Değerlendirmeleri.....	6
2.3 Karakteristik Özellikler.....	7
2.4 Ekran ve Muayene Cihazının Fonksiyonları	8
2.5 Mesafe Kalibrasyonu	8
2.6 Daldırma Tekniği.....	9
2.7 Daldırma Testi Ekipmanları.....	11
2.8 Püskürtme Sistemi	13
2.9 Su Jeti.....	13
2.10 Tekerlek Prob.....	15
3. AÇISAL PROBLA DALDIRMA TEKNİĞİ	16
3.1 Huzmenin Dairesel Kesitli Parçalardaki Hareketi	16
3.2 Uygulama Alanları.....	17
3.3 Süreksizliklerin Tanımlanmasındaki Limitler	17
3.4 Test Tekniği ve Prosedür	18
3.5 Sinyallerin Yorumu.....	18
3.6 Hatalı Sinyal Kaynakları.....	19
3.7 Test Spesifikasyonları.....	19
4. KOROZYON TESPİTİ.....	20
4.1 Kompozit Malzemelerin Açısız Probla Testi.....	21
5. ULTRASONİK REFERANS STANDARTLARI.....	24
5.1 Ultrasonik Referans Standartlarının Kullanımı için Önlemler	24

5.2	Ultrasonik Kalibrasyon Standartlarına Duyulan İhtiyaç.....	24
5.3	Referans Standartlarının Kullanım Amacı.....	25
5.4	Ultrasonik Test Prosedürünün Kurulması.....	26
5.5	Ultrasonik Test Hassasiyeti Seviyesinin Belirlenmesi	26
5.6	Malzeme Kalitesinin Ölçümü	26
5.7	Ultrasonik Testlerin Tekrar Edilebilirliği	26
5.8	Ultrasonik Test Sisteminin Kontrolü	27
5.9	Temel Zaman Osiloskobunun Kalibrasyonu	27
5.10	Ultrasonik Ölçüm Karakterleri	28
5.11	Ultrasonik Referans Standart Türleri	28
5.12	ASTM Ultrasonik Referans Blokların Geometrisi	29
5.13	Ultrasonik Referans Blokların Kontrolü.....	30
5.14	Ultrasonik Ürün Standartlarının Tanımlanması ve Korunması	31
5.15	Referans Standartlar için Kullanılan Malzemelerin Karakteristikleri	31
5.16	Ultrasonik Referans Bloklar İçin Dalga Yayılım Gerekliliği	33
5.17	Stringer Tipi Süreksizlikleri Değerlendirmek için Dar-uzun Yivli Referans Blok Tekniği	34
5.18	Stringer Uzunluk Tekniği	34
5.19	Stringer Genişlik Tekniği.....	35
5.20	Süreksizlik Alanının Karşılaştırılması	35
5.21	Uçak Endüstrisi Bileşimleri için Tipik Spesifikasyon Gereklilikleri	36
6.	DGS DİYAGRAMLARI	37
7.	ELEKTROMANYETİK TEST METOTLARI	38
7.1	Girdap Akımları Teorisi.....	39
8.	TEST FREKANSI	42
8.1	Sızıntı Testi Teorisi.....	43
8.2	Girdap Akımları Yöntemi Cihazları	46
8.3	Diğer Ekipmalar.....	51
8.4	Rerzistör ve Tek Prob Sistemi	51
8.5	Köprü Denge Bozma Sistemi	51
8.6	İndüksiyon Köprü Sistemi	54
8.7	İletim Sistemi	55
8.8	Okuma Cihazı	56
8.9	Girdap Akımları Yöntemi ile Saptanabilir Süreksizlikler	57
8.10	Referans Standartlar.....	58
8.11	Prosedür	59
8.12	Tek Frekanslı Teknik	61
8.13	Çift Frekanslı Teknik	62
9.	GENEL GİRDAP AKIMLARI UYGULAMALARI.....	63
10.	UÇAK ENDÜSTRİSİNDE ULTRASONİK TESTİN UYGULAMA ALANLARI 65	
10.1	Uçaklar için ultrasonik test prosedürleri	65
10.2	Referans Standartların Hazırlanması	67
10.3	Test Prosedürü	68
10.4	Uçaklarda Zorlamalara Maruz Kalan Bölgelerin Ultrasonik Test Örnekleri.....	71

10.5	Çatlak Yapılar için Test	72
10.6	Alüminyum kanat kaplamalarındaki galvanik korozyon	76
11.	GİRDAP AKIMLARI YÖNTEMİNİN UÇAKLARDAKİ KRİTİK BÖLGELERE UYGULANMASI.....	79
11.1	Uçaklarda Bindirme Birleştirmeli Bölgelerdeki Ara Yüzey Korozyon Oluşumlarının Çift Frekanslı Girdap Akımları Tekniği ile Muayenesi	79
11.2	Perçinlere Uygulanan Sızdırmazlık Elemanlarının Yüzey Çatlaklarını Maskeleyen Problemi	80
11.3	Clevis / Luq Bağlantısı İçinde Kullanılan Manyetik Olmayan Burçlardaki Çatlak Oluşumları:	80
11.4	Birleşme Noktalarındaki Yorulma Çatlaklarının Tanımlanması	81
11.5	Uçak Penceresi Panelindeki Yüzey Altı Gizli Korozyonu	82
11.6	Dikey Dengeleyici Uçak Ana Kirişi Çatlak ve Korozyonunun Girdap Akımları Tekniği P-3C Prosesi ile Belirlenmesi	84
11.7	Girdap Akımları ve Ultrasonik Yöntem Tarama Sistemleri	89
11.8	Girdap Akımları Cihazı Kalibrasyonu	90
12.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR		91
EKLER		94
ÖZGEÇMİŞ		97

SİMGE LİSTESİ

D	Geçirgenlik derinliği (mm)
D	Prob çapı (cm)
dp	Penetrasyon derinliği
dB	Desibel
f	Frekans (hertz, Hz)
G	Kazanç
Ha	Arka cidar yankı yüksekliği
Hh	Hata yankı yüksekliği
L	İndüktans, henrys (H)
N	Probun en yüksek yoğunluk noktasından uzaklığı (cm)
V	Ses hızı (cm/sn)
X	Test parçası kalınlığı (cm) 1 ve 2 doğrusal azalım dizileridir.
XL	Bobin indüksiyon reaktansı, ohm (Ω)
ΔV	Voltaj değişimi
Y	Gerçek genlik
α	Her bir cm'deki azalım
β	Faz açısı
δ	Standart penetrasyon derinliği
μ_1	Süreklilik
μ_2	Ferromanyetik olmayan malzemeler için 1 Hertz alınacaktır.
π	3.1416
σ	İletkenlik
ρ	Direnç (Ω -cm)

KISALTMA LİSTESİ

AANC	Aging Aircraft Nondestructive Inspection Validation Center
ASTM	American Society of Testing Metariel
FAA	Federal Aviation Agency
% IACS	International Annealing Copper Standarts
NDT	Nondestructive Testing
NTH	Nondestructive Testing Handbook
NTSG	Nondestructive Testing Study Guide
RSC	Raytheon Systems Company
SRP	Sustained Readiness Program



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Hatasız bir malzemedeki ekran görüntüsü..... 5
Şekil 2.2	Farklı konumdaki 2 hataya dik gelen ses dalgalarının ekrandaki sinyal görüntüleri..... 6
Şekil 2.3	Hatanın ultrasonik ses dalgalarına dik olmadığı durumdaki ekran görüntüsü..... 7
Şekil 2.4	Hatasız bir malzemede ultrasonik enerji kaybına bağlı olarak ekran sinyallerinin giderek azalımı..... 7
Şekil 2.5	Önce paralel kaydırmayla çıkış yankısı yaklaşık olarak 0 SKT' na ayarlanır..... 8
Şekil 2.6	Daha sonra aralık ayarı ile ilk kalibrasyon yankısı (R) istenilen konuma (TR) getirilir..... 8
Şekil 2.7	Aralık ayarı ile mesafe $\Delta T = 2$ SKT olacak şekilde ayarlanır..... 9
Şekil 2.8	Paralel kaydırma ile kalibrasyon yankıları istenilen konuma getirilerek oklar ile gösterilir..... 9
Şekil 2.9	SJ' den farklı bir ses yolu kullanılarak mesafe kalibrasyonu kontrol edilmelidir..... 9
Şekil 2.10	Uzun parçalar için, kauçuk malzeme ile karşı pencerelerde sızdırmazlığı sağlayacak bir daldırma tankı dizaynı görülmektedir..... 12
Şekil 2.11	Püskürtme sistemi..... 13
Şekil 2.12	Su jeti..... 14
Şekil 2.13	Tekerlek prob..... 15
Şekil 3.1	Ses dalgalarının boru cidarı etrafındaki yayılımı..... 17
Şekil 4.1	Ultrasonik geri saçılımı kullanılarak ara katman korozyon tespiti..... 20
Şekil 4.2	Alüminyum malzemede iletilen ve yansıyan dalga katsayılarının teorik eğrileri..... 21
Şekil 4.3	Probdan yayılan ses dalgalarının kompozit malzeme ara katmanlarındaki saçılımı..... 21
Şekil 4.4	Yarı izotropik grafit-epoksi malzemesinin 30° geliş açısındaki saçılım değerleri..... 23
Şekil 5.1	Referans standartlar..... 25
Şekil 5.2	Açılı huzme için referans standartlar..... 29
Şekil 5.3	Boyuna dalgalar için referans standartlar..... 29
Şekil 5.4	Açısal huzme kalibrasyon blokları..... 29
Şekil 5.5	Tipik ultrasonik referans standart diyagramı..... 30
Şekil 5.6	Referans yansıtıcılardan alınan cevaplar..... 32
Şekil 5.7	Aynı kalınlıklardaki 4130 ve 347 çeliklerinin azalım faktörlerinin karşılaştırılması..... 32
Şekil 5.8	Süreksizlik uzunluğu ölçüm referans standartları..... 34
Şekil 6.1	Boyuna dalga testi için ultrasonik DGS diyagramı..... 37
Şekil 7.1	Girdap akımları oluşum prensibi..... 40
Şekil 7.2	Girdap akımları muayene cihazının temel elemanları..... 40
Şekil 7.3	Malzeme çatlağının girdap akımlarına etkisi..... 41
Şekil 8.1	Çeşitli metallerin frekansa bağlı olarak standart penetrasyon derinlikleri..... 43
Şekil 8.2	Magnetik akı alanlarının değişen malzeme biçimine göre akışları..... 44
Şekil 8.3	Test parçasındaki hatanın neden olduğu manyetik akı sapması..... 45
Şekil 8.4	Eşit büyüklükteki iç ve dış çatlakların ekran üzerindeki görüntüleri..... 45
Şekil 8.5	Sızıntı akı detektör bobini..... 46
Şekil 8.6	Yüksek frekans ve enerjide sızıntı metodu ile hata taraması..... 46

Şekil 8.7	Mutlak ve karşılaştırmalı metot.....	48
Şekil 8.8	Yüzey probu.....	48
Şekil 8.9	Temel ve transmisyon metotları.....	49
Şekil 8.10	Boyuna uzanan çatlağın girdap akımları ile kontrolü.....	50
Şekil 8.11	4 farklı girdap akımı sistemi.....	51
Şekil 8.12	Muayene ve referans bobin için kompleks voltaj diyagramı.....	53
Şekil 8.13	Farklı iletkenlik ve lift-off değerleri için referans ve muayene bobininin kompleks voltaj diyagramı.....	54
Şekil 8.14	Test parçası yüzeyine konumlandırılmış refleksiyon bobini.....	55
Şekil 8.15	Girdap akımları metodunda kullanılan referans standartlar.....	59
Şekil 8.16	Çeşitli hata formlarına karşılık gelen girdap akımları cihazı ekran görüntüleri.....	60
Şekil 8.17	439 Paslanmaz çelik malzemesindeki çeşitli hataların oluşturduğu ekran görüntüleri.....	60
Şekil 8.18	Üst ve ikincil katman korozyonu oluşumları.....	61
Şekil 8.19	Tek frekans tekniği ile güvenilir bir sonuç alınamayacak ikincil katman korozyon oluşumu.....	61
Şekil 8.20	İkincil katman korozyonu parametreleri.....	62
Şekil 10.1	Geliş ve yansıma açısı arasındaki ilişki.....	66
Şekil 10.2	İniş takımlarının referans standartlarla ultrasonik testi.....	68
Şekil 10.3	İniş takımlarının osiloskop paternleri.....	69
Şekil 10.4	Menteşedeki çatlak kontrolü için ultrasonik test prosedürünün hazırlanması	69
Şekil 10.5	Dairesel referans standart dizaynı.....	70
Şekil 10.6	Geliş açısı hesaplaması için teğet şartları diyagramı.....	70
Şekil 10.7	Yansıma açılarına göre kullanılabilen maksimum θ_2 açısı.....	70
Şekil 10.8	Piston silindirin ultrasonik testi.....	71
Şekil 10.9	Kanat ön dengeleyicisinin ultrasonik testi, bileşim diyagramı ve 7075 ya da 2024 alüminyum referans standardı görülmektedir.....	73
Şekil 10.10	Kanat merkezi ön dengeleyici bağlantısının, ultrasonik test osiloskop paternleri görülmektedir.....	73
Şekil 10.11	7075-T6 alüminyum malzemesindeki gerilmeli korozyon çatlağı.....	74
Şekil 10.12	Pencere bölgesi, gerilmeli korozyon çatlağının ultrasonik testi.....	75
Şekil 10.13	Gerilmeli korozyon çatlağı ultrasonik paternleri görülmektedir.....	75
Şekil 10.14	7075-T6 alüminyum malzemenin çatlak yönleri ve ultrasonik test alanları...	76
Şekil 10.15	Alüminyum kaplamada içinde oluşmuş korozyonun galvanik kalıntıları.....	77
Şekil 10.16	Tabakalaşma bölgesinden alınan sinyal.....	78
Şekil 10.17	Yüksek frekans kalem nokta probu ve dairesel şablon.....	78
Şekil 11.1	Dolgu malzemesi ile kaplanmış perçinin girdap akımları ile testi.....	80
Şekil 11.2	Bağlantı elemanları altındaki çatlakların girdap akımları testi.....	81
Şekil 11.3	Uçak pencere panelindeki ara yüzey korozyonu alanı.....	83
Şekil 11.4	Uçak pencere panelindeki ara yüzey korozyonunun saptanması için uygulanan kalibrasyon prosedürü.....	83
Şekil 11.5	Frekansa bağlı olarak, saptanabilir ara yüzey çatlak genişlikleri.....	84
Şekil 11.6	Dikey dengeleyici ana girişindeki test alanları.....	85
Şekil 11.7	Prob, yüzey üzerinde malzeme kayıpları ya da çatlaklar üzerine konumlandırılmıştır.....	86
Şekil 11.8	Yüzey belirtilerindeki farklılık ve lift-off gösterimi.....	87
Şekil 11.9	Üzerinde yapay oluşturulmuş süreksizlikler bulunan referans parça.....	90

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Ultrasonik ve girdap akımları testi ile belirlenebilir özellikler.....	3
Çizelge 5.1	Boyuna dalga ultrasonik testi için tipik kabul kriterleri.....	36
Çizelge 7.1	Çeşitli metal ve alaşımların iletkenlik, direnç değerleri.....	39
Çizelge 8.1	Girdap akımları cihazlarının çeşit ve dizayn özelliklerinin karşılaştırılması..	57
Çizelge 10.1	Test değerleri.....	72
Çizelge 11.1	Girdap akımları test cihazı ayarı.....	88



ÖNSÖZ

Günümüz endüstrisinde günden güne önem kazanan tahribatsız muayene yöntemlerinden ultrasonik ve girdap akımı teknikleri, uçakların kalite kontrolünde çok önemli bir yere sahiptir. Bu anlamda, ülkemizde de kalite kontrol uygulamaları artık bir gereklilikten çok zorunluluk halini almıştır. Bu tez çalışmasında; iki tekniğin uçak endüstrisindeki uygulama alanları incelenmiş ve Eskişehir TUSAŞ Fabrikasında 9 aylık bir çalışma ile birlikte, 1. Taktik Hava İkmal Bakım Komutanlığı, TÜBİTAK ve TSE’ de kısa süreli araştırmalar yapılmıştır.

Tezin hazırlanması sırasında yardımcı olan Sayın Hocam Prof. Dr. Ahmet TOPUZ, Barış DENİZER ve TUSAŞ Personeline teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Son yıllarda uçak endüstrisinde görülen hızlı teknolojik gelişimlere paralel, kalite kontrol prosesleri içinde değerlendirilebilecek tahribatsız muayene yöntemleri de önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Bu çalışmada ultrasonik ve girdap akımları tekniklerinin yeni teknolojilerle karşılaştırmalı olarak genel hatlarıyla üzerinde durulmuş tipik endüstriyel uygulamalara yer verilmiştir.

Ultrasonik yöntemde; darbe-yankı ve daldırma testi teknikleri ekipmanları ile açıklanmış, ekran değerlendirme uygulamaları gösterilmiştir. Uçaklarda sıkça rastlanan kompozit malzemelerin açılabilir problemlerle testlerine değinilmiş ve referans standartların özellikleri ve kullanım şartları belirtilerek kabul-ret kriterleri ortaya konmuştur. Elektromanyetik test metodlarından girdap akımları tekniği prensipleri ile açıklanmış, sistemler ayrı ayrı ele alınarak bir kıyaslama imkanı yaratılmıştır. Bu yöntemle saptanabilir süreksizlik limitleri, referans standartlar prob çeşitleri tanımlanmış; tek ve çift frekanslı tekniğin avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Uçaklarda sıkça rastlanan korozyon mekanizmalarının önemle üzerinde durularak, çatlak oluşumlarının neden ve sonuçları irdelenmiştir. Ultrasonik ve girdap akımları tekniğinin uçaklardaki yapısal bütünlüğü sağlamak ve korumak; uçuş güvenilirliğini artırarak; zaman, işçilik, ekonomik faktörlerden maksimum yararı sağlamak üzere, uygulamalar tipik örneklerle gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Havacılık endüstrisi, ultrasonik teknik, girdap akımları tekniği, referans standartlar, uygulamalar.

ABSTRACT

In recent years NDT methods, which are considered as a quality control process, have made a significant progress along with the rapid technologic development observed in aircraft industry. Ultrasonic and eddy current inspection techniques have been investigated in general outlines with comparison to recent techniques and typical industrial applications have been mentioned.

In ultrasonic inspection pulse-echo, immersion test techniques and equipments have been explained in details and screen evaluation applications have been presented. Angular probe tests of composite materials, which have been applied on aircrafts frequently, have been mentioned and stating the usage conditions and properties of reference standards has specified accept-reject criterion. Eddy current inspection method has been explained in principles and basic systems have been scrutinized separately to allow comparison. Detected discontinuity limits and reference standard probe types have been defined using this method; advantages and disadvantages of single and couple frequency techniques have been stated. Corrosion defects, which have been detected frequently on aircrafts, have been studied; reason, result and precautions of crack formation have been examined. Studies on supplying and maintaining structural integrity; achieving maximum benefit from time, labour hours and economy by increasing flight reliability have been explained using typical examples.

Keywords: Aircraft industry, ultrasonic testing, eddy current testing, reference standards, applications.

1. GİRİŞ

Tahribatsız muayene yöntemleri; malzemeler de herhangi bir kayıp olmaksızın, endüstriyel uygulamalarda ki kullanım özelliklerini koruyacak şekilde yapılan kalite kontrol yöntemlerinin önemli bir kısmını kapsamaktadır. Genel olarak malzeme bütünlüğünü muayene edecek bir teknikle, tıbbi olmayan araştırmaları içerir. Böyle bir tanıma, tıbbi teşhisleri ilgilendiren tüm tahribatsız muayene yöntemleri girmektedir. X- ışınları, ultrasonik ve endoskopi teknikleri hem tıbbi hem de endüstriyel tahribatsız muayene yöntemlerinde kullanılmaktadır. 1940'lı yıllarla birlikte Amerikan Tahribatsız Muayene Kuruluşlarına üye bir çok kurum tıp alanında uygulanabilecek yöntemleri araştırmaya başlamışlardır. Ancak daha sonraları uygulamaların, insan vücudunu anlama çabasından edinilen deneyimleriyle, endüstride de kullanılabileceği fikri ortaya atılarak tahribatsız muayene yöntemleri yeni bir boyut kazanmıştır.

Tahribatsız muayene yöntemleri spesifik olarak, test parçalarının malzeme bütünlüğünü araştırır. Radyo astronomi, voltaj-akım ve akış ölçümleri gibi bazı modern teknolojiler, tahribatsız tekniklerdir ancak malzeme özellikleri değerlendirilememektedir. Yöntemler asıl olarak test parçalarının pratik kullanımlarındaki performansları ile ilgilidir. Sorunlar genellikle, bir parçanın kullanım ömrü, homojenliği ve periyodik kontrol basamaklarını kapsamaktadır. Bir diğer önemli nokta malzemelerin yararlı kullanım özellikleridir. Bazı malzemeler üzerindeki araştırmalar, kendi doğasından dolayı tahribatlı niteliktedir. Örneğin basınçlı kapların bazı kontrolleri, üzerlerinden örnekler alınarak elektron mikroskobunda yapıldığından doğal olarak tahribatlı bir nitelik kazanmaktadır. Bununla beraber, basınçlı kapların yararlı kullanım özellikleri açısından verilecek bu tahribat endüstriyel bir risk taşımamaktadır. Yararlı kullanım özellikleri fikri, kalite kontrol pratiklerinde parçadan numune alınması ile ilgilidir. Eğer numune servise geri dönüşümlü ise yöntemler tahribatsız diye tanımlanmaktadır.

Tahribatsız muayene yöntemleri sadece çatlak değerlendirmeleri ile sınırlı kalmayıp, porozite, boyut ölçümleri ve korozyondan kaynaklanabilecek süreksizlik muayeneleri için de kullanılabilir. Uygulamalarla, malzeme tanımı ve mikro yapı karakteristikleri gibi malzeme özellikleri ile bağlantılı konularda da bilgi edinilebilmekte ve bu test parçasının servis ömrünü direk etkilemektedir. Tahribatsız muayene yöntemleri, listeleme tekniği ile tanımlanabilmekte, ya da farklı metotlarla sınıflandırılabilir. Bu yaklaşım, yöntemlere endüstriyel uygulamalarda kolaylık, netlik ve kesinlik kazandırmaktadır.

Bu çalışmada, endüstriyel kalite kontrol yöntemleri arasında çok geniş ve önemli bir yere sahip tahribatsız muayene yöntemlerinden ultrasonik ve girdap akımları tekniklerinin, uçak endüstrisindeki uygulamaları araştırılmıştır.

Gelişen teknolojiye koşut olarak, malzemelerin kalite kontrollerinin, her geçen gün daha çok önem kazanması kaçınılmaz bir olgudur. Seri üretim ve özel prosesler artık hataların en aza indirilmesini; işçilik, zaman ve maliyet gibi faktörlerden de sağlanacak tasarrufların en üst seviyeye çıkarılmasını sağlamaktadır. Endüstride uygulanan yıllar öncesine dayanan “Tahribatsız Muayene Yöntemleri”, kalite kontrol teknikleri arasında önemli bir yere sahiptir. Malzeme kaybı olmaksızın, iç ve dış yapının kullanım şartları doğrultusunda kontrolünü kapsayan tahribatsız muayenelerin, ülkemizde de istenilen seviyeye ve ilgiye taşınması artık bir gereklilikten çok zorunluluk halini almıştır.

Tahribatsız muayene yöntemlerinden 5 temel teknik yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemlerdeki çeşitlilik; malzemenin bileşimine, geometrisine, işçiliğe, zamana ve ekonomik şartlara bağlı olarak gelişimini sürdürmektedir. Radyografi, ultrasonik, sıvı penetrant, manyetik parçacık ve girdap akımları bu 5 temel yöntemdir. Çizelge 1.1’de ultrasonik ve girdap akımları testi ile malzemelerdeki belirlenebilir özellikler verilmiştir.

Bu çalışmada incelenecek girdap akımları ve ultrasonik yöntem son yıllarda özellikle uçak ve uzay endüstrisinde, büyük bir gelişim göstermiş ve artık endüstrinin çoğu dalında uygulanılmaya başlanmıştır. Girdap akımları tekniğinin temel esasları uzun bir zamandan beri bilinmektedir. Ancak yöntemin endüstriyel uygulamaları 1950’li yıllarda başlamıştır. Ultrasonik yöntem ise endüstride daha eskilerden bu yana bilinmektedir. Bu süreçte yöntemler giderek artan bir başarı ve geniş bir uygulama alanı bulmuş olup, çeşitli ticari ve bilimsel kaynaklarda rapor edilmiştir. Her iki yöntemde tartışmaya açıktır ve bilimsel anlamda çok geniş bir konuma sahip olup, ayrıntılar içerir. Bu yüzden günümüz teknolojisinde bile yöntemlerin geleceği konusunda tahmin yürütmek güçtür. Amaç genel olarak tekniklerin endüstride nasıl uygulanacağını saptamak olmalıdır. Teknikler konusunda temel bazı alt yapılar sağlandıktan sonra genel uygulamalarla endüstriyel problemlerin çözümüne gidilmelidir. Uygulamalar, pratikte çözümü mevcut problemler yerine, daha önce karşılaşılmamış sorunları çözmek üzerine olmalıdır. Günümüzde bu alanda modern teknikler bulunmakta ve gelişimini sürdürmektedir. Gelecekte de, şu andaki mevcut teknolojilerin sınırları ve durumları üzerine araştırmalar devam edecektir. Ayrıca kalite kontroldeki gelişimler; güvenilirlik, kıyaslamalar, ürün kontrolü ve diğer faktörler yöntemlerin ilerlemesine hız verecektir.

Avantaj ve dezavantajlar, geçmiş tecrübeler de sistem dizaynlarının gelişimine olumlu etki yapacaktır. İleri teknolojiler eskisinin yerini doldurarak , yeni araştırmalarla net test sonuçlarına gidilecek ve robotik sistemlerle insan müdahalesi en aza indirilecektir.

(Shaffer, 1994).

Bu kapsamda, özellikle uçak endüstrisindeki ultrasonik ve girdap akımları tekniklerinin çeşitli örneklemelerle üzerinde durulmuş; konu üstüne gereken ilginin çekilmesi üzerine yapılan çalışmalara bir ek oluşturması amaçlanmıştır.

1.1 Tahribatsız Muayenenin Gelişimini Sağlayan Faktörler

1. Malzeme, enerji kaybını en aza indirmek için parçalar ile konstrüksiyonlarda limit dizaynlara gidilmesi ve bu dizaynlarda ancak ihmal edilebilecek hatalara izin verilmesi,
2. Üretimin herhangi bir aşamasında olası hataları mümkün olan en kısa zamanda tespit ederek, işçilik, zaman ve maliyet gibi faktörlerden tasarruf sağlamak,
3. İş kazalarını ya da sistemdeki zaman kayıplarını önlemek için hatalı parçaların bir an önce ortaya çıkarılması ihtiyaçları (Topuz, 1993).

Çoğu kalite kontrol sisteminde olduğu gibi tahribatsız muayenelerde de, daha önceden karşılaşılmış hata tiplerinden, referans standartlar oluşturularak kısa zamanda kolaylıkla bir tanımlama yapabilme olanağı sağlanılmıştır. Tespit edilen hatalar için kabul-ret kriterleri hazırlanmıştır.

Çizelge 1.1 Ultrasonik ve girdap akımları testi ile belirlenebilir özellikler

Metot	Alaşımın belirlenmesi	Süreksizlik belirlenmesi	Malzeme özellikleri	Gerinim ve gerilim ölçümleri
Ultrasonik	-	-	+	+
Girdap akımları	+	+	+	-

2. ULTRASONİK YÖNTEM

Ultrasonik dalgalar mekanik dalgalar olup, bir prob sisteminden test parçası içine yayılırlar. Fiziksel olarak insan kulağının işitebileceği maksimum ses frekans şiddeti olan 20 kHz üzerindeki seslere “Ultrasonik Ses” ismi verilmektedir.

Ultrasonik cihazında elektriksel olarak üretilen yüksek frekanslı sinyaller, genel olarak piezoelektrik kristallerden yapılan problar aracılığıyla malzeme içine “Ultrasonik Dalgalar” olarak gönderilir. Maddesel ortamda doğrusal olarak yayılan bu dalgaların önüne malzeme içindeki herhangi bir süreksizliğin çıkması halinde dalgalar yansiyarak yön değiştirir. Bu yön değiştiren dalgalar ya aynı ya da farklı bir proba algılanarak tekrar elektrik sinyallerine çevrilir ve ultrasonik cihaz ekranında görüntü haline dönüştürülür. Ultrasonik test cihazı ekranındaki sinyaller, deneyimli bir gözlemci tarafından yorumlanarak, sinyalin oluşmasına neden olan süreksizliğin boyu ve bulunduğu konum tespit edilir.

Ultrasonik dalgalar parça içinde ilerlerken ara yüzeyler ile farklı akustik empedanslarla karşılaşılır (yoğunluk ve akustik hız). Malzeme içindeki akustik empedans uyumsuzluğu, ultrasonik dalgalarda enerji kaybına karşılık gelen yansımalarla neden olur. Bu farklılık nedeniyle yansımaların sebebi, parçanın üretim aşamasında gördüğü işlemler ile ilgilidir. Örnek olarak;

1. Döküm parçalarda sıklıkla rastlanan çekme boşlukları,
2. Cürufklar ve kalıntılar,
3. Kaynaklı parçalarda görülen kaynak dikişindeki kaynamama problemi,
4. Cnc tezgahlarındaki kesim ve delik hataları,
5. Korozyon oluşumları,
6. Isıl işlemlerden kaynaklanan hatalar,
7. Parçanın servis sırasında gördüğü hasarlar,
8. Yüzeysel bozukluklar,
9. Yorulma olayı verilebilir.

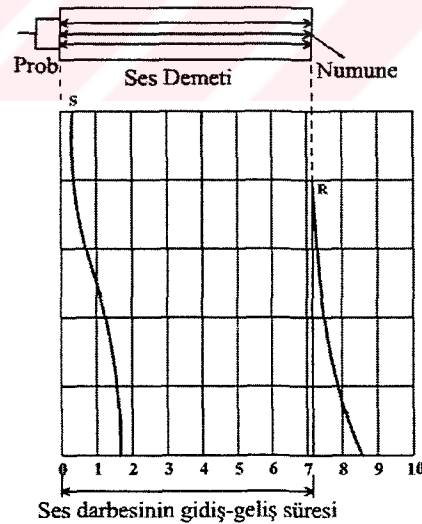
Probdan test parçasına enerji transferini geliştirmek için teknikte 2 farklı ultrasonik yöntem kullanılmaktadır:

1. Darbe-yankı
2. Daldırma yöntemi

İki teknik arasındaki en önemli fark, prob ile test parçası arasındaki ortam ve uzaklıktır. Ultrasonik dalgalarla yapılan tahribatsız muayenenin oldukça duyarlı ve kontrol edilebilen malzeme derinliğinin oldukça fazla olması, diğer yöntemlere göre bir avantaj sayılabilirse de, deneyimli ve bilgili elemanlar ile hassas cihazlara ihtiyaç göstermesi yüzünden endüstride pahalı bir yöntem olarak bilinmektedir.

2.1 Darbe-yankı Yöntemi

Darbe yankı yönteminde, ara yüzeylerden yansıyan darbelerin ses basıncı ölçülür. Bu, bir tek probu hem alıcı hem verici olarak kullanılarak yapılabilir. Darbenin üretilmesi ve yankısının alıcıya ulaşması arasındaki zaman aralığı, prob ve yansıtıcı yüzey arasındaki uzaklık ile orantılıdır. “0” skala taksimatı ile arka cidar yankısının taban noktası arasındaki mesafe, ultrasonik darbenin gidiş-geliş süresine, yani darbenin probdan yansıtıcı yüzeye gidip geri gelmesi arasında geçen süreye karşılık gelir. Eğer malzemedeki dalga hızı bilinirse, geçen süreden proba yansıtıcı yüzey arasındaki mesafe hesaplanabilir. Bu uzaklığı doğrudan bir skala kullanarak ekrandan okuyabilmek için ultrasonik cihaz kalibre edilmelidir. Ses demetinin yolu üzerinde herhangi bir hata yoksa ekrandan çıkış yankısı (S) ile birlikte sadece arka cidar yankısı (R) görülecektir. Eğer cihaz doğru kalibre edilmişse, R ve S arasındaki uzaklık parçanın toplam kalınlığına karşılık gelir. Bu durum Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



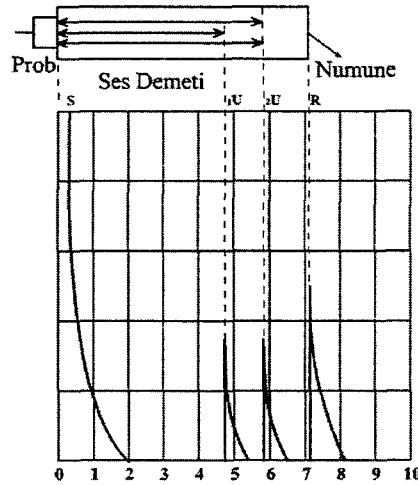
Şekil 2.1 Hatasız bir malzemedeki ekran görüntüsü

Dezavantajlar

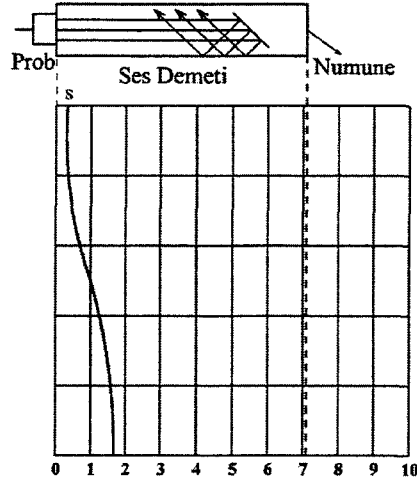
1. Temas hataları malzeme hatası olarak yorumlanabilir
2. Test parçasının geometrik yapısından kaynaklanan uygulama zorlukları görülebilir
3. Aynı nedenden ve süreksizliklerin parça içindeki dağılımlarından doğan yanıltıcı değerlendirmelerle karşılaşılabilir.

2.2 Ekran Değerlendirmeleri

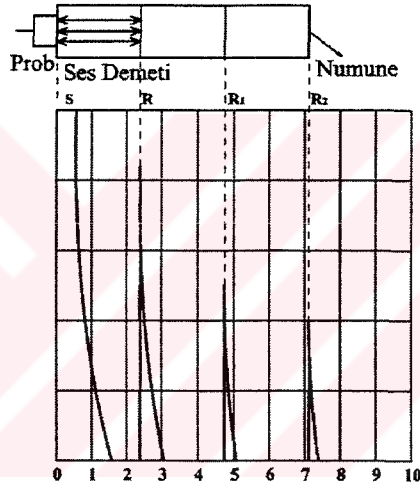
Eğer ses demeti ilerleme yönüne dik konumdaki bir hataya çarparsa, ultrasonik dalgaların bir kısmı geri yansıtılacak, bu da çıkış yankısı “S” ve arka duvar yankısı “R” arasında yer alan hatanın “U” görülmesine yol açacak ve hatanın proba olan uzaklığı, ekrandaki yankı pozisyonundan hareketle tespit edilebilecektir. Arka duvar yankısı bu durumda daha küçük olabilecektir. Eğer ses dalgası demetin tümünü geri yansıtabilecek büyüklükte bir hataya rastlarsa, bu durumda arka duvar yankısı tümüyle yok olur ve geriye sadece hata yankısının görüntüsü kalır. Ses demeti birkaç hataya birden rastlarsa ve bunların birbirlerine olan uzaklıkları bunlara ait yankı genişliklerinden büyükse, bu durumda, Şekil 2.2’ de gösterildiği gibi hatalardan alınan yankılar ayrı ayrı görülecektir. Eğer geniş bir düzlemsel hata yüzeyi mevcut ancak demet yönüne eğik konumdaysa, prob ses dalgalarını algılayamaz; doğal olarak ekranda R/U gözükmez. Bu durum Şekil 2.3’ de gösterilmiştir. Muayene yüzeyine geri gelen ses dalgalarının bir kısmı prob tarafından algılanırken, büyük bir kısmı geri yansıtılır ve tekrar önceki yolu izler. Böylece “R2”, “R3” gibi yankılar ekranda düzenli olarak görülür. Şiddet giderek azalır ve en sonunda kaybolur. Hatalardan alınan yankı dizisi de Şekil 2.4’ deki gibi ekranda benzer biçimde görülebilir.



Şekil 2.2 Farklı konumdaki 2 hataya dik gelen ses dalgalarının ekrandaki sinyal görüntüleri



Şekil 2.3 Hatanın ultrasonik ses dalgalarına dik olmadığı durumdaki ekran görüntüsü



Şekil 2.4 Hatasız bir malzemede ultrasonik enerji kaybına bağlı olarak ekran sinyallerinin giderek azalımı

2.3 Karakteristik Özellikler

Ultrasonik muayenede darbe-yankı yöntemi en çok kullanılan yöntemdir. Çünkü hataların doğrudan gösterimi bu yöneme önemli avantajlar sağlar. Hataların parça içindeki yerleri, ekrandaki yankı konumundan hareketle ve yeterli bir doğruluk derecesi ile belirlenebilir. Temas şartlarındaki değişimler yankının yüksekliğini etkiler, fakat konumunu etkilemez. Yöntemde malzemenin sadece bir yüzeyi incelendiğinden tek prob kullanımı yeterli olmaktadır. Bu yöntemi kullanarak hataların boyutlarını belirlemek, ancak başka koşullar altında bir dereceye kadar mümkün olmaktadır. Yöntemde, incelenecek yüzeyler arasında hava girişini önlemek ve rahat bir kontrol sağlamak için yağ bazlı bileşimler kullanılmaktadır.

2.4 Ekran ve Muayene Cihazının Fonksiyonları

Çıkış Yankısı: Eğer prob cihaza bağlı değilse ya da malzeme ile temas etmiyorsa, ekranda sadece çıkış yankısı görülecektir. Bu yankı en düşük kazanç değerlerinde bile % 100 ekran yüksekliğini aşar. Diğer yankılardan ayırt edilebilmesi için çıkış yankısının sağ bacağı testere dişi gibi çizilir.

Yankı Görüntüleri: Prob muayene parçasına temas ettirildiğinde ekranda ilave yankılar görülür ve bunlar yansıtıcının türüne göre, R1, R2, R3 gibi isimlendirilir.

Kazanç Ayarı: Kazanç kontrolleri kaba ve ince basamaklarla yankı yüksekliğinin değiştirilebilmesini sağlar. Bu aynı zamanda yankı genişliklerini de değiştirir.

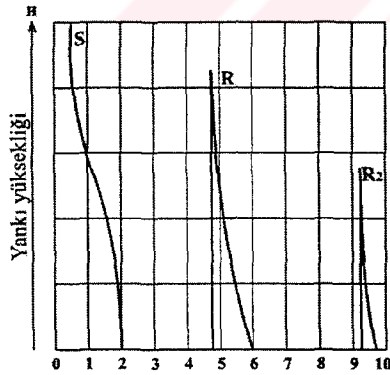
Paralel Görüntü Kaydırması: Paralel görüntü kaydırmasını kullanarak aralarındaki uzaklıkları etkilemeksizin tüm yankılar aynı anda yatay hat boyunca kaydırılabilir.

Zaman Eksen Kontrolü: Zaman eksen kontrolü kullanılarak tüm yankılar arasındaki yatay uzaklıklar kaba ve ince ayarla basamak basamak değiştirilebilir. Bu yapıldığında tüm yankı görüntülerinin konumları değişir.

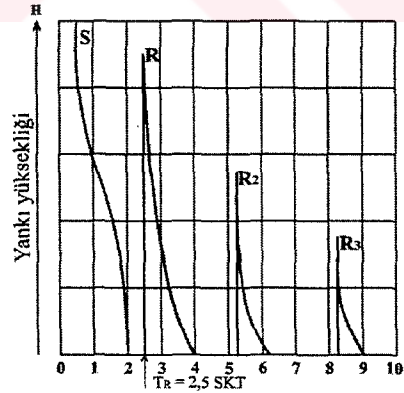
(Almanya Tahribatsız Muayeneler Cemiyeti Yayını, 1992).

2.5 Mesafe Kalibrasyonu

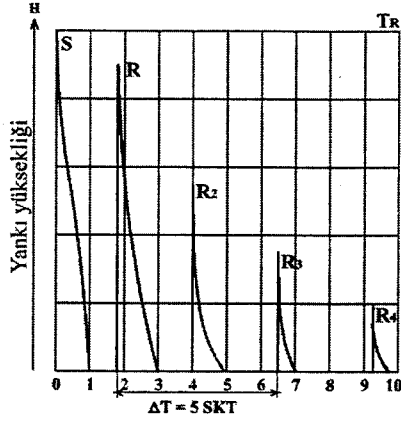
Ultrasonik muayene cihazının probu, uygun bir temas sıvısı (örneğin, yağ) kullanılarak kalibrasyon bloğuna temas ettirilir. Eğer tek prob kullanılacaksa, çalışma modu anahtarı kapalı tutulur, cihaz üzerindeki her iki prob ve bağlama soketi de aynı işleve sahip olur. Aşağıdaki şekillerde mesafe kalibrasyonu ekran görüntüleri verilmiştir.



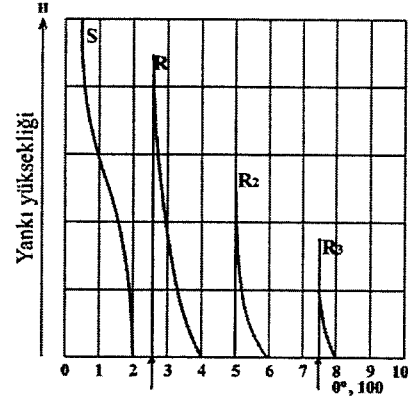
Şekil 2.5 Önce paralel kaydırmayla çıkış yankısı yaklaşık olarak 0 SKT'na ayarlanır.



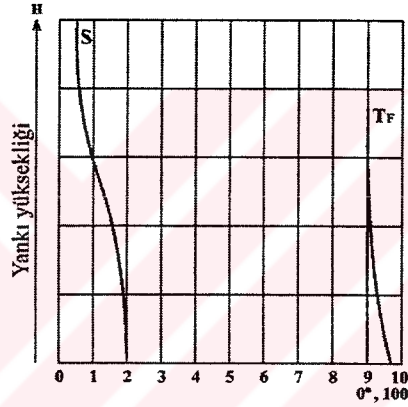
Şekil 2.6 Daha sonra aralık ayarı ile ilk kalibrasyon yankısı (R) istenilen konuma (T_R) getirilir.



Şekil 2.7 Aralık ayarı ile mesafe
 $\Delta T = 5 \text{ SKT}$ olacak şekilde ayarlanır.



Şekil 2.8 Paralel kaydırma ile kalibrasyon
yankıları istenilen konuma getirilerek oklar ile
gösterilir.



Şekil 2.9 SJ' den farklı bir ses yolu kullanılarak mesafe kalibrasyonu kontrol edilmelidir.

2.6 Daldırma Tekniği

Daldırma tekniğinde temas yönteminden farklı olarak su kullanılmaktadır. Muayene sırasında sudaki hava kabarcıklarının olumsuz etkisinden kurtulmak için, parça bir fırça yardımıyla kabarcıklardan uzaklaştırılmalıdır. Prob ile test parçası arasındaki uzaklık, olası hataları en iyi tespit edecek şekilde, ses demeti ise uygun şiddet ve frekansa olmalıdır. Bu uzaklığa "Ses Mesafesi" denilmektedir.

Ses demetinin ayrılması malzemenin iç ara yüzeyi ve ses mesafesi alanı arasında olmaktadır. Mesafe çok iyi ayarlanmak zorundadır, çeşitli yansımalar ekranda yanıltıcı olabilmektedir ve bu da değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır.

Daldırma testinde genel bir kural olarak, ortam ile test parçasının ses hızı oranları; seramikler için (1:6), metaller için (1:4), kompozit ve plastikler içinse (1:2)' dir.

Daldırma tekniğinde özellikle ikinci oran dikkate alınmalıdır. Uçak endüstrisindeki çoğu malzeme için bu gerekli olup, bu endüstride daldırma tekniği çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sınırlamalar

1. Taşınabilir bir sistem olmayıp sabittir, bundan dolayı arazi ölçümlerinde kullanılamaz.
2. Bilgisayar sistemi karışık aynı zamanda pahalıdır.
3. Korozyona duyarlı parçalar teknikten olumsuz etkilenmektedir.
4. Tekniğin uygulandığı parçalar ve kalınlıkları sınırlıdır.
5. Daldırma testi özellikle uzay ve uçak endüstrisinde geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Parçanın muayenesi sırasında, eğimli yüzeyler ya da kontrolü zor yüzeyler, açılı problemlerle kolaylıkla kontrol edilebilmekte, parça sabit bir yerde uygun bir muayene devirinde ve sadece arka yüzeyi için çevrilmesi gerekmektedir. Sistemin otomatik ve bilgisayar destekli oluşu seri kontrole imkan sağlamaktadır. Ayrıca teknik kompozit malzemeler için iyi bir akustik empedans vermektedir.

Malzemenin suda oluşabilecek kimyasal ve biyolojik reaksiyonlardan korunabilmesi için suya çeşitli yavaşlatıcılar eklenmelidir. Gene kabarcıklardan korunmak için de, çeşitli katkıları su ile karıştırılmalı, gerekirse parça yüzeyi fırçalanmalıdır. Kullanılan su filtre edilmiş olmalı ve her dolumdan sonra 15 ila 60 dk arasında bekletilmeli, test sonucunu etkileyecek yabancı partiküllerin olmadığı garanti altına alınmalıdır.

Avantajlar

1. Aynı bir malzemenin boyutları ya da şekli değiştiğinde, özel problemler gerekli değildir.
2. Hızlı demetinin açıları muayene boyunca kolayca ayarlanabilir. Bu özellik, karışık geometrideki parçaların kontrolü ve proses geliştirilmesi için büyük öneme sahiptir.
3. Sistem oldukça hızlı çalışabilmektedir.
4. Daldırma testinde kullanılan probun geometrisi (ovallığı), yüzey durumu ve boyutsal özellikleri diğer yöntemlerdeki kadar etkilenmez.
5. Daldırma testinde kalibrasyon ve diğer ayarlar dikkatlice yapıldığında parçadaki hataların yeri, konumu ve büyüklüğü konusundaki bilgiler netleşir.
6. Sistem seri kontrol için idealdir; yorucu olmayıp, ekonomiktir.

2.7 Daldırma Testi Ekipmanları

Daldırma testindeki en önemli şart, prob ile test parçası arasında sürekli bir sıvı ortamın bulunmasıdır. Sistemin sürekliliği aşağıda açıklanacak aygıtların kontrolündedir. Test de önce test parçası tankın içine yerleştirilir, sonra prob bilgisayar destekli olarak hareket eder ve tankın içinde kalibrasyondan sonra uygun konuma getirilir. Bu sistem endüstride en yaygın kullanılanıdır. Bir diğer yöntem ise gene geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu sistem “Su Jeti” diye adlandırılmaktadır.

Endüstride ultrasonik testlerin maliyeti, kullanılan sistemlerin gelişmişliğine paralel olarak artmaktadır. Bu yüzden ultrasonik test de hangi yöntemin seçileceği, parçaya bağlı olmak üzere; maliyet, zaman ve işçilik gibi faktörler tarafından belirlenmektedir. Günümüzde artık çoğu el ile kumandalı sistem yerini otomatikleşmiş sistemlere bırakmıştır.

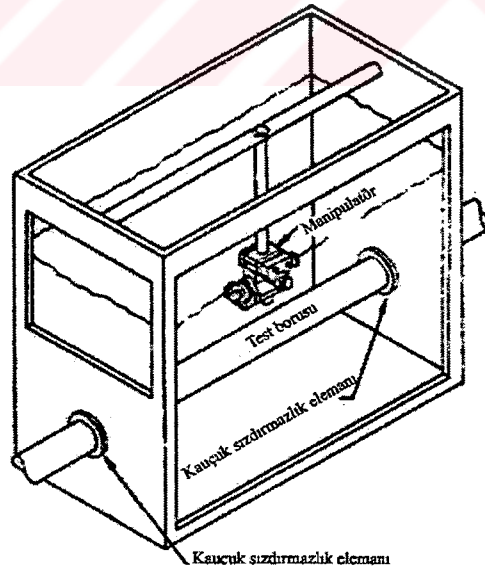


Daldırma Tankları

Ultrasonik testte daldırma tanklarının kullanımı uzun bir zamana dayanmaktadır. 1980’li yıllarda ise artık sistemler bilgisayar donanımlı olmaya başlamış ve sinyal görüntü ekranları ortaya çıkmıştır.

Ultrasonik sistemlerde tipik konfigürasyon, sinyal görüntü ekranı ana sisteme bağlı şekilde, prob en az 2 yönde hareketli, diğerlerinde ise el kontrollü ya da tam otomatik takibi programlar tarafından belirlenmektedir. Tankın üstünde probun hareketini kontrol eden bir manipölatör vardır. Bu sistem proba muayene açılarını vererek, test parçası ile arasındaki mesafeyi ayarlar.

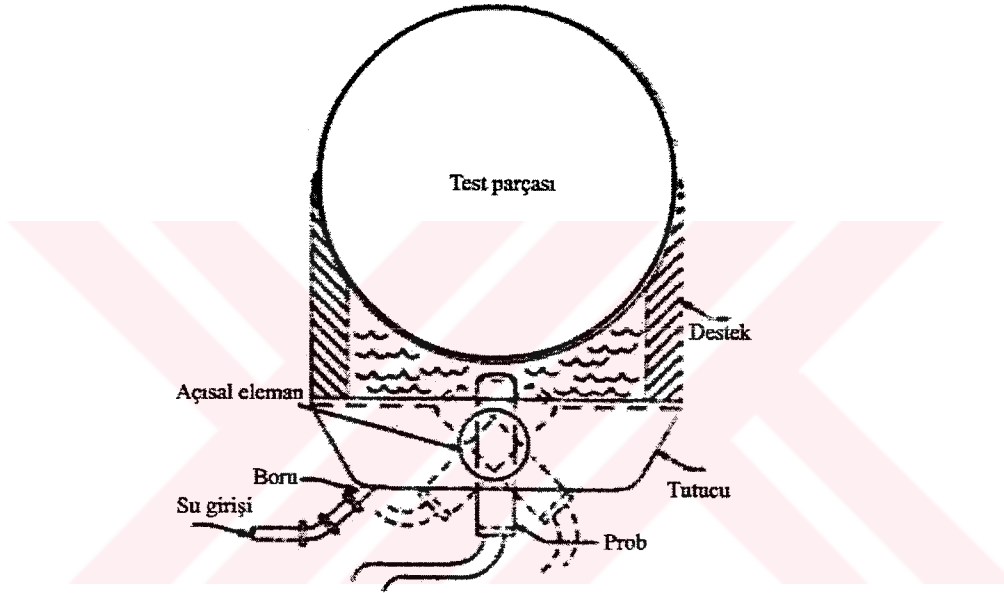
Daldırma tankları birçok farklı formdaki malzemelerin kontrolünde uygundur. Geometrik olarak karmaşık, dairesel ve tel formunda uzun parçaların testi mümkündür. Ancak parça uzunluğu arttıkça, tankın hacmi de artacağından, dolayısıyla bu maliyeti de etkileyeceğinden, havuzun 2 yan penceresine parça çapında delikler açılır ve kaydırma işlemi ile sürekli bir kontrol mümkün olur. Sistemde su sızıntısına dikkat edilmeli, test parçası ile havuz penceresinin temas noktaları silikon ile kaplanmalıdır. Test parçası havuzun içine konulduktan sonra su seviyesi probu geçer ve kontrol için gerekler şartlar sağlanmış olur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Uzun parçalar için, kauçuk malzeme ile karşı pencerelerde sızdırmazlığı sağlayacak bir daldırma tankı dizaynı görülmektedir.

2.8 Püskürtme Sistemi

Bu sistemde proba test parçası arasında, parçayı kısmi olarak çevreleyen su vardır. Test parçası su ile temasta, merkezinin tam karşısında prob konumlandırılmıştır. Parça ile prob arasındaki su devamlı tahliye olmaktadır. Prob otomatik bir kontrol için gerekli açılar alabilecek tarzda dizayn edilmiştir. Suyun devamlı akışı, prob ile parça arasındaki suyun sürekli oluşunu kolay kılmaktadır. Test parçası, püskürtme borusunun altında olacak şekilde konumlandırıldığında, hızlı su akışı sistemden havanın uzaklaştırılmasını gerektirmektedir. Eğer bu yeterli basınçta yapılırsa su yastık görevi görür ve boru test parçasının üzerinde yüzeyle temas ederek hafif bir şekilde hareket eder. Sistemle, cihaz elle kullanılan bir tarayıcıya yerleştirilerek epoksi cam tüplerin kontrolü yapılabilir (Şekil 2.11).

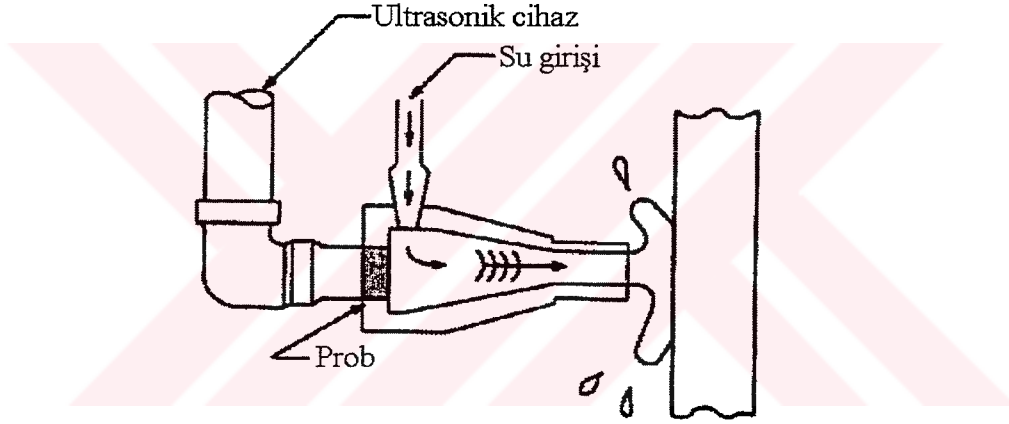


Şekil 2.11 Püskürtme sistemi

2.9 Su Jeti

Sistemde yeterli basınç sağlanırsa, cihaz probun test parçasına temas etmeksizin 120 mm ya da daha uzak mesafelerde kontrolünü mümkün kılar. Sistemin esası probdan parçaya hızla su püskürtmektir. Böylelikle türbülans ve kabarcık oluşumu en aza inmektedir. Bu yöntem özellikle manipülatörün parçanın sivri, köşeli, pürüzlü olduğu yerlerle temas etme olasılığının yüksek olduğu otomatik kontrollerde büyük önem kazanır. Sistem geniş parçaların kontrolü için büyük avantaj sağlar. Suyun parçaya olan ilk darbesinden sonra, yeterli basınç ayarlanarak sistemin sürekliliği sağlanır.

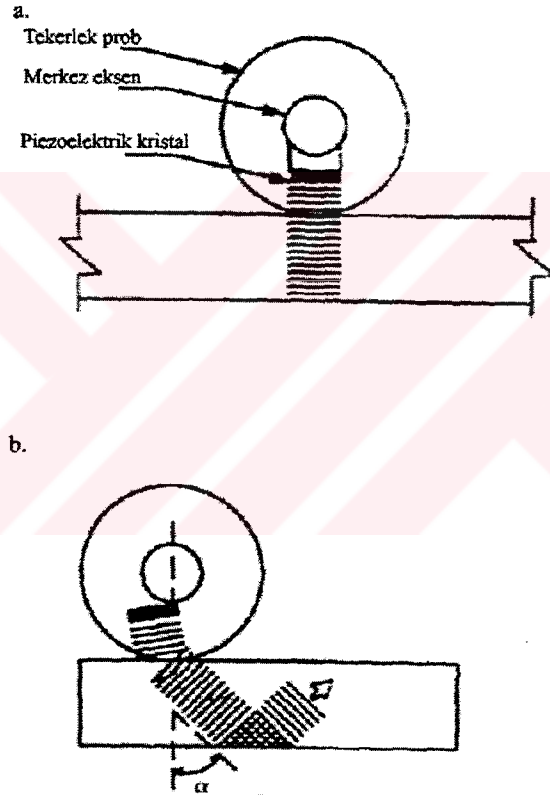
Su jeti testi özellikle uçak endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu endüstrideki malzemelerin iç yapıları hava içermekte, bu hava flotasyon yeteneğine sahip olurken artık daldırma testinin pratik bir önemi kalmamaktadır. Bundan da öte su test sırasında parça içine sızabilmekte, bu da korozyon oluşumunu hızlandırmaktadır. Bu tekniğin bir dezavantajı, sistem çok düzgün konumdayken bile, hızlı püskürtme nedeniyle ön yüzeydeki yansımalar temas noktasında dağılmalara neden olmakta, dolayısıyla teknikte algılama güçlükleri görülebilmektedir. Sistem, test parçasının her iki yüzeyine uygulandığı durumlarda daha çok kullanım alanı bulmaktadır. Püskürtme prosedürü darbe-yankı tekniğine uygulandığında alınan sinyaller çok hassastır. Algılanabilir yeterli sinyali sağlayabilmek için prob parça yüzeyi normali ile 2 derecelik bir açı yapacak şekilde konumlandırılmalıdır. Parça yüzeyi düz olmalı, çizik ve pürüzlerden arındırılmış olmalıdır, yoksa özellikle kompozit bileşimlerin testinde büyük zorluklarla karşılaşmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Su jeti

2.10 Tekerlek Prob

Tekerlek prob, dış çevresinde onu çevreleyen lastik bir kısım ve iç yapısında bir eksen ona bağlı piezoelektrik kristalden oluşur. Ultrasonik test sırasında prob sürekli dönüm hareketiyle parça üzerinden kontrol yapar. Prob tekerlek şaftıyla tutturulmuştur ve pozisyonu plastik yüzeyden birkaç mm kadardır. Prob parçaya enine dalgalar gönderebilmektedir. Probun dönüm yönü ile parça yüzeyi arasındaki açı, herhangi bir yönde 0 ila 90 derece arasında ayarlanabilmektedir. Prob ile parça arasında az bir basınç el ile ya da otomatik olarak uygulanmaktadır. Dış kısmın yarattığı yansıma ile test parçasından gelen öneme sahip yansımalar birbirlerinden ayırt edilebilmeyi gerektirir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Tekerlek prob

(NTH, Kısım 2, s,222-224)

3. AÇISAL PROBLA DALDIRMA TEKNİĞİ

Ultrasonik dalgalar test parçasına dik açıyla gelmediğinden yansıma olur. Daldırma tekniğindeki ortam, kullanılan proba istenilen açığı sağlar. Açısal teknik kullanmanın endüstride belirli nedenleri vardır:

1. Enine dalgalar oluşturmak
2. Ultrasonik dalgaların süreksizliklerden maksimum bir şekilde yansıması
3. Test parçasının ön yüzeyinde meydana gelebilecek speküler yansımadan kaçınmak
4. Yüzeysel dalgalar oluşturmak
5. Döner dalgalar oluşturmak

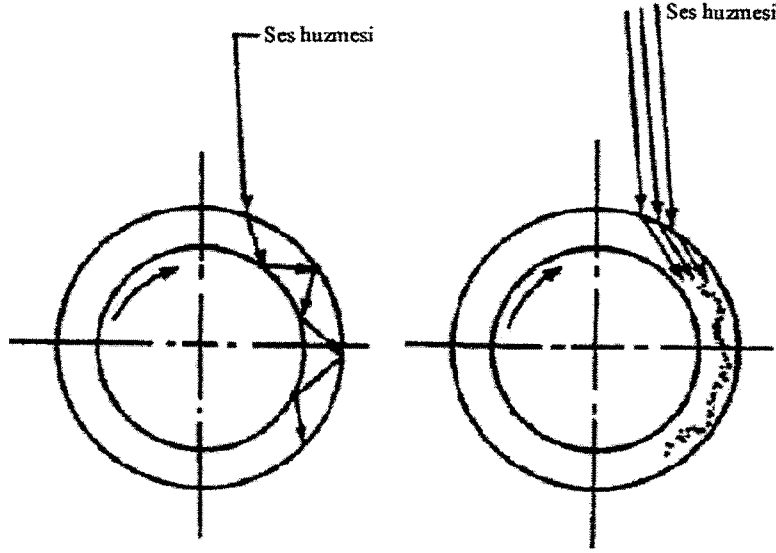
Ultrasonik dalgalar ön yüzeye etkideğinde, geliş açısı normalden farklı ise, transmisyon dalgaları “Snell’s” kanunlarına göre yansır. Bu olay, daldırma testinde borusal biçimli parçalar için kullanılır. Çünkü huzme açısı 10° ile 20° arasında ayarlanabilmekte ve demet boru içinde yansıyabilmektedir.

3.1 Huzmenin Dairesel Kesitli Parçalardaki Hareketi

Ses, boru cidarı etrafında testere dişi yada zigzag şeklinde ilerler ve oluşum boyuna veya enine dalgalar biçimindedir. Testere dişi örneği, eşit aralıklarla keskindir ve hatalar ancak dalgalar çakıştığında belirlenebilir.

DeneySEL veriler göstermiştir ki; ses küçük çaplı kalın tüp cidarının etrafında bozulmuş yatay dalgalar şeklinde ilerler. Eğer malzemenin sınırları birbirine yaklaşırsa, bu ara yüzeydeki yayılan dalgaların girişimi artacak ve boyuna dalgaların hızı düşecektir. Bu dalgalanış, dalga biçimini ideal bir kontrol için düzenlememizi belirtmektedir.

Azalan daha küçük çaplı boru parçalarında, yansımalar daha az keskin köşeli olmaktadır. Cidar çok ince olduğunda, ses çok dar metal cidarında ilerlemektedir. İnce cidarlı test parçalarının gözlemi göstermiştir ki, ses dalgalarının bu davranışı, “Levha dalgalarının oluşum karşılaştırılması” ile açıklanabilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Ses dalgalarının boru cidarı etrafındaki yayılımı
(NTH, Kısım 8, s,249)

3.2 Uygulama Alanları

Daldırma tekniği, kritik testlerde çapı 5 mm, dış çap 0.6 mm (cidar); 6.5 mm dış çaptan 0.4 mm (cidar)'a kadar ve daha geniş dış çaplı (280 mm ve üstü) parçalara başarıyla uygulanabilmektedir.

Bu teknikle genelde boyuna süreksizlikler ile eksen boyunca yönelme gösteren hatalar belirlenebilir. Tipik örnek olarak boyuna süreksizlikler; çatlaklar, oyuklar, dikiş kaynağı hataları, boşluklar, gözenekler, taneler arası korozyon verilebilir. Görünen hataların büyüklüğü, 2 değişkenin fonksiyonu olmaktadır:

1. Yansıma alanı süreksizliklerin kesit alanıyla belirlenebilir ve bu yönelme ışın demeti ile ilgilidir.
2. Akustik empedanstaki değişim, süreksizliklerin varlığı ile ilgilidir.
3. Dikine süreksizlikler, daha geniş yansıma sinyali verirler. Kısa ve derin süreksizlikler ile uzun ve yüzeysel olanları birbirinden ayırt edip tanımlamak güç olmaktadır, çünkü eşit yansıma alanına sahiptirler.

3.3 Süreksizliklerin Tanımlanmasındaki Limitler

Ultrasonik ses dalgaları, en yüksek sinyali çatlak yapılardan verirler, ancak bu sadece dalgaların süreksizliklere dik geldiği konumlarda olur. Eğer bu durum sağlanmazsa, süreksizlikler ancak ses dalgalarının parça içerisinde tek bir yönde yayınlanmasıyla belirlenebilir.

Bununla birlikte aynı hata fark edilmeyebilir, çünkü dalgalar diğer yönlerde de yayılabilmektedir. Bu yüzden ki, bütün borusal biçimli parçalara iki yönlü test uygulanır. Böylece ses dalgalarına tam dik olmayan hataların da belirlenme olasılığı artırılır.

Bazı süreksizliklerden çok zayıf ara yüzey yansımaları olabilmekte ve bu durumda hata tespiti zorlaşmaktadır. Bu hatalar; oluk, oyuk, küçük yönlemsel değişimler, küçük oranlarda yabancı metal karışımları, taneler arası korozyon, küçük çaplı delikler ve tane boyutu gibi metalürjik yapıdaki değişimlerdir.

Deneyimler göstermiştir ki; açısız proba daldırma tekniği sadece boyuna süreksizliklerin tanımlanması için kullanılmalıdır.

3.4 Test Tekniği ve Prosedür

Dairesel kesitli parçalarda, özellikle yatay çatlaklara sıklıkla rastlanır. En basit ve kolaylıkla hazırlanabilen standartlar uzunluğu ve derinliği eşit, yatay dar çatlaklar içindir. Bu tarz süreksizliklerin kabul/ret kriterlerini değerlendirmek oldukça kolaydır. İşlem prosedürlerinden kaynaklanabilen hatalar, standart referanslarla karşılaştırılarak tanımlanabilir. Ancak küçük boyuttaki hatalar için referans standart hazırlamak çoğu zaman güç olmaktadır. Bu durumda doğal olarak meydana gelebilecek hatalar için, küçük çaplı borular referans standart olarak kullanılabilir.

3.5 Sinyallerin Yorumu

Test parçasındaki herhangi bir hatayı belirlemek için, aynı bir malzemedeki önceden bilinen hatalar ile karşılaştırma yapılır. Ekranda görebileceğimiz çelişik sinyaller, gönderdiğimiz dalgaların hataya paralel gitmesi, tam dik açıyla gelmemesi ya da hataların değişik boyutlarda yönlenmesinden ileri gelmektedir. Ekrandaki sinyal yüksekliklerinden hataların derinliği tespit edileceği gibi, malzemenin boyutları da ölçülebilir. Özellikle yüzeysel hatalar 60 dereceden az bir açıyla belirlenebilmektedir. Daha derindeki hatalar içinse 90 dereceden büyük açılar gerekmektedir. Ancak bu kural çok küçük çaplı test parçalarında değişebilmektedir; çünkü ret edilebilir derinlikteki hatalar neredeyse yüzey seviyesinde olmaktadır. Hatalı ya da uyumsuz süreksizlik sinyallerinin yorumu güçtür, fakat açısız proba daldırma tekniği ile sorunlar en aza indirilebilmektedir. Çünkü dönen test parçasıyla, hatalarda aynı hızla dönmekte, proba olan uzaklık ya da geliş zamanı değişmemektedir.

3.6 Hatalı Sinyal Kaynakları

Hatalı sinyallerin kaynağı tipik olarak, test parçası üzerindeki kirler , yağ ya da hava kabarcıklarıdır. Eğer bunlar test parçası üzerine yapışmışsa, ses dalgalarının yansımalarına neden olacak ve ekranda hataymış gibi algılanabilecektir. Ancak bu tür sinyallerin gerçek hatalarla ayrılması kolay olmakla beraber, gerçek süreksizliklerin tanımlanmasını çoğu zaman imkansız hale getirilecektir. Bu yüzden test parçasını muayeneden önce üzerindeki kire göre kimyasallarla, basınçlı suyla ya da havayla temizlemek gerekir.

Genelde, uyumsuz sinyaller çok küçük çiziklerden ve küçük diğer hatalardan kaynaklanır ve endüstrideki kullanım pozisyonuna göre çoğu zaman ihmal edilebilir.

3.7 Test Spesifikasyonları

Kalite kontrol gereksinimi, kontrolünü yapacağımız malzemenin servis ömrüne ve korozyon, ısısal faktörler, gerilim, zorlanma gibi değişkenlere bağlıdır. Endüstriyel uygulamada çok önemi olamayan bir malzemenin detaylı kontrolü, maliyet , zaman ve işçilik gibi faktörlerden dolayı anlamsız bir hal alabilir. Dolayısıyla kalite kontrol kriterleri, malzemenin endüstrideki pozisyonuna göre önem kazanacak ve çoğu zaman belirli hatalar kabul edilebilecektir.

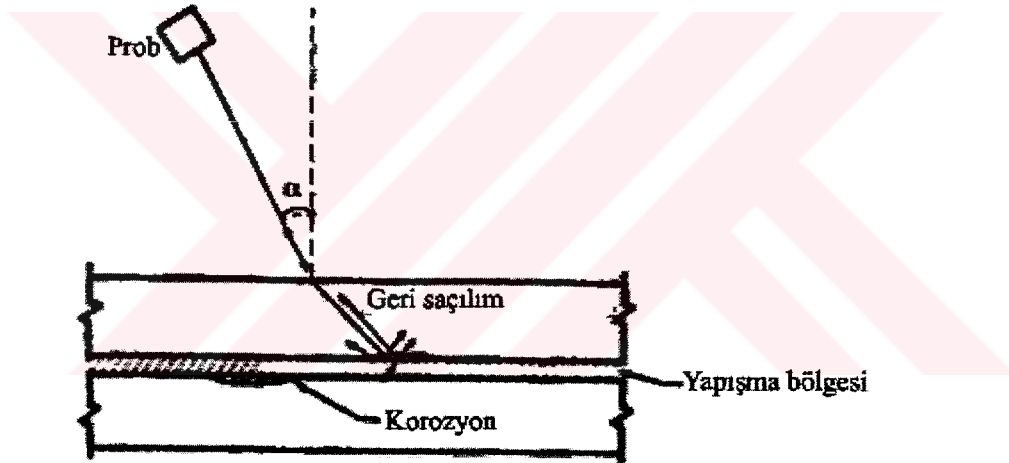
Malzemelerin kalite seviyeleri, endüstriyel kullanım alanlarına ve kullanıcıların özel isteklerine göre belirlenir. Eğer istenilen kalite seviyesi, normalde satıcının elinde bulunandan yüksekse, bu durumda 2 yaklaşım söz konusu olabilir; malzeme isteğe uygun olarak üretilerek yüksek fiyata alınır ya da stok mallar satın alınarak ve gerekli testler yapılarak, yüksek kalitedeki ürünler ayrılır.

Tipik spesifikasyonlar çok spesifik ve detaylı olmalıdır. Özellikle dikkat edilmesi gereken durumlar dış-ıç çap yüzey düzgünlüğü, boyutsal toleranslar ve işlem metotlarıdır.

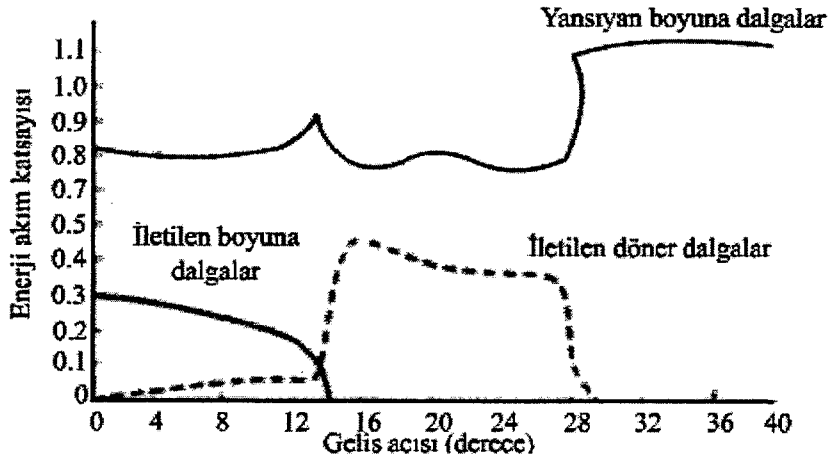
Bu teknik; dikişsiz borularda, basınçlı kaplarda, kaynaklı malzemelerde ve dövme malzemelerde başarı ile uygulanmaktadır. Ancak özellikle kaynak dikişleri teknikte sorun yaratabilmektedir. Kaynaklı noktada yansıma meydana gelebilmekte ve aldığımız ekolar ana malzeme ile kıyasta problem yaratabilmektedir.

4. KOROZYON TESPİTİ

Korozyon çeşitli nedenlerle, çeşitli biçimlerde oluşabilir ve tipik olarak bir malzemenin yüzey şeklinin modifikasyonu olarak açıklanır. Korozyonlu yüzeye vuran bir dalga ters yöne rölatif olarak büyük bir bileşen olarak saçılır. Korozyon için tipik bir ultrasonik test ayarlaması Şekil 4.1' de gösterilmiştir. En yüksek ses sinyal oranını kullanmak için gönderilen transmisyon dalgalarına izin veren şartların belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 4.2' de suya daldırılmış ve boylamsal dalgalara maruz bırakılmış yarı-boş alüminyum için yansıyan ve iletilen katsayıların teorik eğrileri verilmiştir. En fazla transmisyon dalga gönderim katsayısı 16° açısında sağlanmıştır. Bu değer C-tarama sistemi ve iki açısı oranı (16-20) kullanılarak deneysel olarak doğrulanmıştır. Alüminyum bir tabaka 720 saat boyunca tuz bulutu ortamına maruz bırakılmış ve açılı prob teknikleriyle test edilmiştir. 16° 'de testin avantajları dikkat çekmektedir. Bu deneyde tespit edilen korozyon oluşumları, normal prob ultrason tekniği ile test edilemezdi.



Şekil 4.1 Ultrasonik geri saçılımı kullanılarak ara katman korozyon tespiti



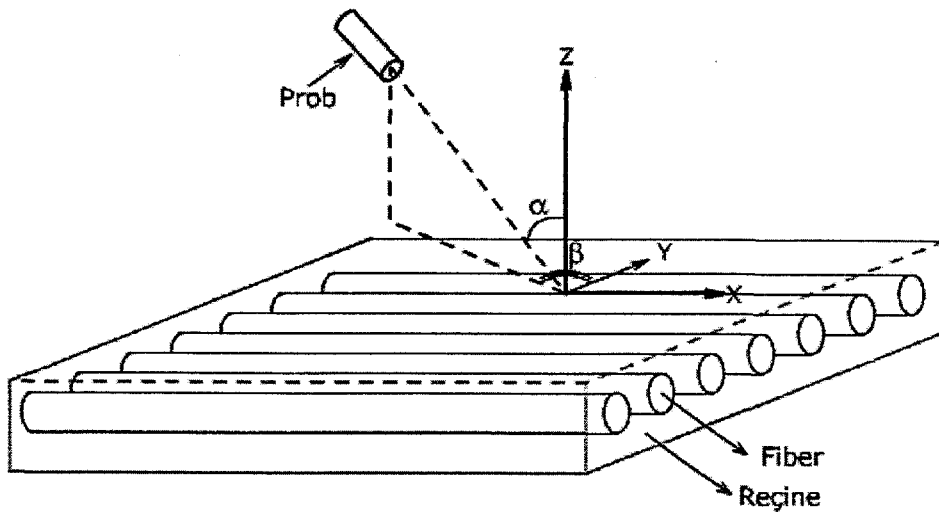
Şekil 4.2 Alüminyum malzemede iletilen ve yansıyan dalga katsayılarının teorik eğrileri

4.1 Kompozit Malzemelerin Açısal Proba Testi

Kompozit malzemeler için test düzeneği Şekil 4.2’de gösterilmiştir. α geliş açısı olmak üzere, “Z” yatayın normali ve “ β ”, “Y” ile yörüngeyi açısıdır.

Grafit-epoksi tek yönlü kompozit malzemesinde, geliş açısı fiber eksenlerinin normali olacak değerlerde olduğunda en fazla saçılma gözlemlenmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü açısal saçılmaya neden olmaktadır ve bu oldukça küçük genlik değerlerine karşılık gelmektedir (fiber malzeme için 1 dB-8 dB).

Bu durum, yüzey parlatma ile elimine edilebilmekte ya da yüzeye sıvı gibi bir kaplama uygulanarak saçılma azaltılabilmektedir. Ancak testten sonra bu kaplama malzemeden uzaklaştırılmalıdır.



Şekil 4.3 Probdan yayılan ses dalgalarının kompozit malzeme ara katmanlarındaki saçılımı

Eğer prob yatay normalinden, fiber eksenine olan bölgeye yerleştirilirse ve geliş açısı değiştirilirse, 3 yanıtla karşılaşılır:

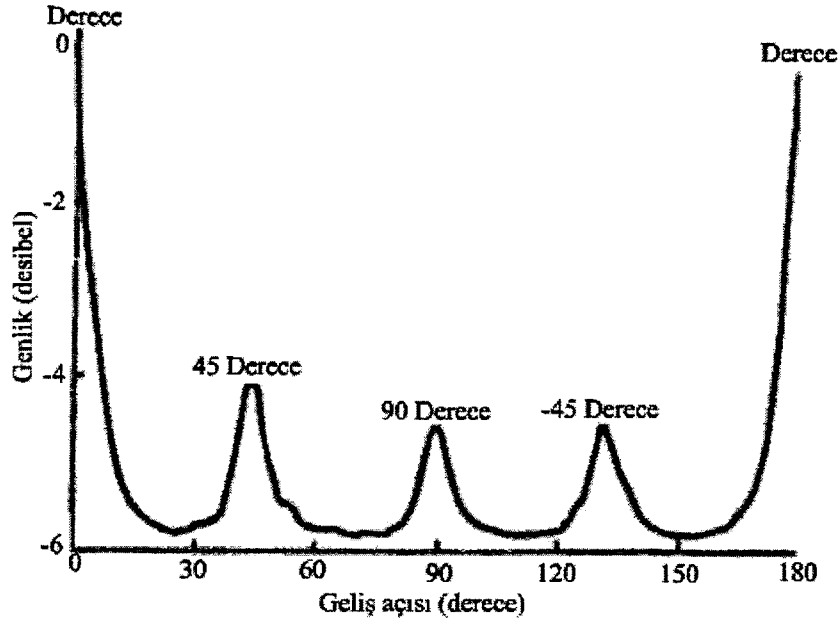
1. Speküler yansıma 0° 'de olur
2. Boyuna kritik açı
3. Enine kritik açı

Çünkü en fazla saçılma kritik açılarda olmaktadır; yüksek sinyal ve gürültülü geri saçılım görülebilmektedir. En fazla saçılma; açı fiber eksenine normal olacak değerdeyken, fiberi yönü tanımlanabilmektedir.

Şekil 4.3'de 30 derece geliş açısında, yarı izotropik grafit-epoksi malzemenin saçılma değerleri verilmiştir. Çeşitli fiber yönlerinde, saçılma tepe noktalarının uygun açılarda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Polar tarayıcı kullanımıyla, fiber yönü görülebilir hale gelebilmektedir. Geri saçılım olayı, fiber dizilimi için çok hassastır ve bu durum polar C-tarama sistemi yardımıyla, düzensiz dizilimlerin görülmesini sağlamaktadır. Bu uygulamaya bir örnek olarak grafit-fenolik malzeme verilebilir. Matriks çatlakları kompozitlerde sıkça rastlanılan bir durumdur ve bunlar delemantasyon için başlangıç yeri olurlar. Bu çatlaklar lamina boyunca uzarlar ve çoğu durumda fiber çapından daha büyük değerlerde olurlar. Örnek olarak; grafitte ki çatlağın uzunluğu $125\ \mu\text{m}$ iken, aynı malzemenin çapı yaklaşık olarak $5\ \mu\text{m}$ olmaktadır.

Geri saçılım, enine çatlaklarda 30 dB'den fazla ve fiber $[0,90]$ 2s lamineyinde saçılım 90 dB'den yüksek olmaktadır. Böylelikle, C- Tarama sistemi kullanılarak enine çatlaklar saptanabilir ve fiberdeki çatlakların saçılım genlikleri bulunarak ayırt edilebilir. Yarı-izotropik grafit-epoksi malzemede, 45° ve 90° 'lerinde enine çatlaklar oluşabilmektedir. Fiberler sadece spesifik açılarda saçılım gösterirler ve süreksizliklerden kaynaklanan farklı yönlerdeki saçılımlar karakterize edilebilirler. Örneğin malzemelerdeki gözeneklilik, geri saçılım spektrumundaki pencereler yardımıyla tanımlanabilir. Gözeneklilik, çeşitli kompozit lamineyt katmanları arasında yığılmaya eğilimlidir.

Rastlantısal saçılım bölgelerinde görülen gözeneklilik, tercihli yönlenme ve eşit genliklerde tüm açılar için, sabit geliş açısı altında geri saçılım göstermez. Bu yüzden gözeneklilik için yapılan ultrasonik testlerde, fiber eksenine normal olmayan tüm açılarda, geri saçılım ölçümleriyle tanımlama yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 4.4 Yarı izotropik grafit-epoksi malzemesinin 30° geliş açısındaki saçılım değerleri
(NTH, Kısım 8, s,255)

Metal-kompozit Lamineyt Testleri

Alüminyum esaslı bazı malzemelerin katmanları, aramid-epoksi bileşimi katmanlarıyla sınırlıdır. Çatlamalar bu bölgelerde meydana gelmektedir. Ultrasonik geri saçılım tekniği ile bu çatlakların yeri belirlenebilmektedir.

Muayene açısı, çatlağın normali olacak şekilde ayarlanır ve geliş açısı da, alüminyum için 1. ve 2. kritik açılar arasına gelecek şekilde konumlanır.

Alüminyum lamineyt içinde farklı 2 katman arasında oluşan çatlaklar oluşabilmektedir. Çatlaklar delikten merkez boyunca uzanmaktadır, ve oluşan dairesel gerilimlere normal olacak şekildedir.

5. ULTRASONİK REFERANS STANDARTLARI

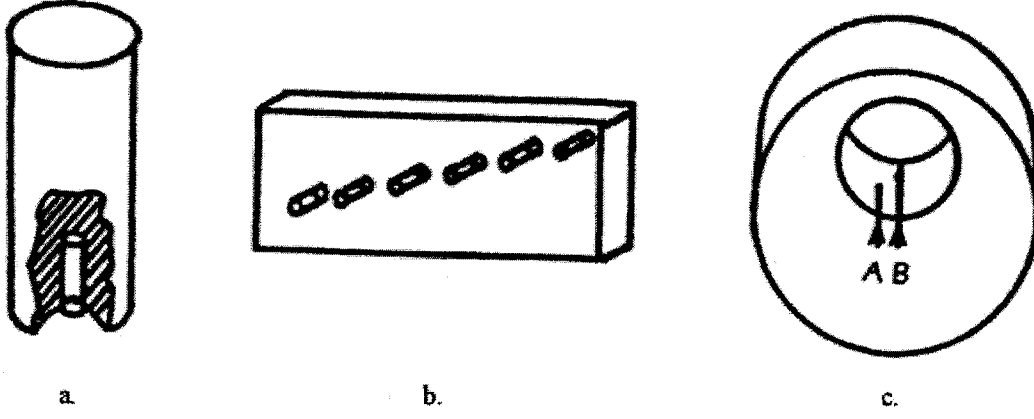
5.1 Ultrasonik Referans Standartlarının Kullanımı için Önlemler

Uygun bir şekilde hazırlanmış ve kalibre edilmiş referans standartları kullanmak, test sonuçları için büyük önem taşımaktadır. Aşağıda verilen önlemler, ultrasonik referans standartlarının kullanımı için önerilmiştir:

1. Bütün ultrasonik test prosedürleri, uygun kalibrasyon standartları üzerine kurulmalıdır. Aksi halde alınan sonuçlar geçersiz olacaktır.
2. Aynı testte 2 ya da daha fazla işlem olduğunda, bunların hepsi için aynı referans standartları kullanmak zorunludur.
3. Orjinal standartların kaybolması ihtimaline karşılık, referans standartlardan elde edilen ultrasonik cevaplar kayıt edilmeli ve bu cevaplar birbirleriyle uyumlu olmalıdır.
4. Kalibrasyon için referans standartların hassaslığı periyodik olarak elektronik desibel atenatör aygıtı ile kontrol edilmelidir.
5. Ekipmanların performansı düzenli aralıklarla, referans standartlarca kontrol edilmelidir.
6. Test sırasında süreksizliklerin boyutları dikkatle gözlenmelidir. Eğer süreksizliklerden alınan sinyallerin büyüklüğü, referans sinyaller kadarsa, süreksizliklerin gerçek büyüklüğü, referans standartlar içindeki kalibre sinyallerden daha büyük olabilir; bu hataların şekline ve yönlenmesine bağlıdır.

5.2 Ultrasonik Kalibrasyon Standartlarına Duyulan İhtiyaç

Çoğu kalite kontrol proseslerinde olduğu gibi, ultrasonik kontrolde de, önceden deneyimlinmiş sonuçlardan yola çıkarak, bilinmeyenler tanımlanabilir. Örneğin test parçasının boyutları, bilinen bir kalibre bloğu ile skala, mikrometre ya da diğer ölçü aletleriyle karşılaştırmalı olarak saptanabilir. Ayrıca ultrasonik testte, bilinmeyen malzeme özellikleri veya bileşim karakteristikleri bilinen ve çoğu zaman referans standartların kalibre karakteristikleri ile karşılaştırılarak belirlenebilir. Bilinen ultrasonik referans standartlarının karakteristikleri, kalibre olmuş boyutları içerebilir. Bunlar; blok alt bölgesi deliği, yan delikler, çentikler veya diğer geometrik özelliklerdir. Doğru seçimler ve referans standartlarının isabetli kullanımı, ultrasonik testte başarının anahtarıdır ve sonuçlara etkisi çok büyüktür. Tersine bir durumda sonuçların bir değeri olmamakta, endüstriyel anlamda çok sakıncalı durumlar ortaya çıkabilmektedir. Referans standartlar Şekil 5.1 'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Referans standartlar
(NTH, Kısım 1, s,435)

5.3 Referans Standartlarının Kullanım Amacı

1. Doğru ultrasonik test prosedürlerinin saptanması ve doğruluklarının güvence altına alınması
2. Spesifik test uygulamaları için ultrasonik test hassaslık seviyesinin belirlenmesi
3. Sürekli kontrol sonuçları karşılaştırılarak, test parçasının kalite şartlarının tanımlanması
4. Tekrarlanabilir kontrollerle, testin doğruluğunun güvence altına alınması
5. Ultrasonik test sistemlerinin kontrolü, probun performans karakteristiklerinin sağlanması
6. A-tarama katod tüpü sinyali, yatay zaman doğrusallığının belirlenmesi ve test parçasındaki hataların boyutlarının saptanması
7. Malzeme içindeki ses hızının tayini, ön-arka yüzeyler arasındaki süreksizliklerin belirlenmesi
8. Ultrasonik sistemin kontrolü ile ortaya çıkan istenilen şartların uyumunun sağlanması
9. Tüm prob karakteristiklerinin ölçümü.

Referans blokların diğer bir yararı da; eğitim sırasında operatöre, ses yayılım ve yansıma kanunlarının temel prensiplerini göstermektir. Her bir bloğun farklı bir amacı, dolayısıyla farklı bir eğitimi vardır.

5.4 Ultrasonik Test Prosedürünün Kurulması

Çoğu testten önce, operatör genellikle hataların tipini ve nerede olacağını bilebilir. Ancak kullanılacak referans standartlar ile sistemin dolayısıyla da sonuçların doğruluğundan emin olacaktır. Eğer test prosedürü, yapay hataların yerini referans standartlar ile net olarak gösterebilirse, doğal hatalar da aynı ya da yakın yönlendirmelerde, şekil ve yerlerde olacaktır.

5.5 Ultrasonik Test Hassasiyeti Seviyesinin Belirlenmesi

Çoğu ultrasonik ekipman, değişken hassaslık seviyesi kontrolüne göre dizayn edilmektedir, ve bu bir çok tipte malzeme ve kalınlık için kullanılmaktadır. Referans standartlar, spesifik test parçalarının doğru hassaslık seviyesinin tayininde kullanılmalıdır. Eğer hassasiyet çok düşükse, süreksizlikleri belirlemek çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Aksi durumda ise; normalde kabul edilebilecek hatalar, sanki çok kritikmiş gibi ret olabilmektedir.

5.6 Malzeme Kalitesinin Ölçümü

Ultrasonik muayenenin amacı, diğer tahribatsız muayene yöntemlerinde olduğu gibi, malzeme bütünlüğünü etkilemeksizin kalite değerlendirmeleri yapmaktır. Testlerdeki başarının temeli; bileşimleri ve malzeme iç yapısındaki hataların özelliklerini yorumlayıp, net olarak ortaya koyabilmektir.

Malzemedeki süreksizliklerin tam olarak yeri ve haklarındaki birtakım özellikleri saptamak, referans standartlar ile kolay anlaşılır hale gelmiştir. Genellikle karşılaşılan durum, malzemedeki süreksizliklerin boyutunun referans standartlardaki ile aynı ya da daha büyük olduğudur. Çünkü doğal hataların yönlendirmesi, formu ve akustik empedansı, gösterilen yapay süreksizliklerden daha geniş olabilmektedir.

5.7 Ultrasonik Testlerin Tekrar Edilebilirliği

Muhtemel birçok değişken, testlerin gerektiğinden fazla zaman almasına neden olmaktadır. Örnek olarak; personel değişimi, test ekipmanlarında meydana gelebilecek arızalar, bakım veya yer değişimi ve sıcaklık değişimleri verilebilir.

Eğer teknik planlar ve proses için tanımlanan şartlar açık olarak referans standartlarının kullanımını gerektiriyorsa, testin hassasiyeti ve kalibrasyon doğru olarak yapılmalıdır. Yoksa, test geçerliliğini yitirir; bu anlamda referans standartlar geçerli sonuçlar için tekrarlanılabilirliği gerektirir.

5.8 Ultrasonik Test Sisteminin Kontrolü

Ultrasonik test için günümüz spesifikasyonları, ultrasonik sistem performansının (alıcı, prob ve pulser bileşimi) yatay ve dikey doğrusalılık için “ASTM” spesifikasyonlarına göre kontrolünü gerektirmektedir. Sistemin kontrolü ayrıca aşağıdaki maddelerin belirlenmesinde de etkilidir:

1. Yakın yüzey çözülümü
2. Uzak yüzey çözülümü
3. Sinyal-gürültü oranı
4. Tanımlanabilir en düşük süreksizlik büyüklüğü
5. Genlik-cevap uzaklığı
6. Genlik-cevap alanı
7. Dinamik alan

Bu değerler; özellikle dizayn edilmiş referans standartlar kullanımı ile, detayları verilmiş prosedürlere göre saptanmaktadır. Çoğu spesifikasyon, bu değerlerin nasıl belirlenebileceğini açıklamaktadır; fakat bazı durumlarda bu, kullanıcının sorumluluğunda; 2. 3.ve 4. parametrelere göre kabul edilebilir limitlerde tanımlanmaktadır.

5.9 Temel Zaman Osiloskobunun Kalibrasyonu

Ultrasonik testlerin bir çoğu gerektirmektedir ki; ses huzmesinin yolculuğunda ki spesifik mesafeyi tayin etmek için, temel zaman osiloskobu katod tüpü kalibre edilmiş olmalıdır. Bu kalibrasyon ya malzeme kalınlığına ya da zamana göre(genellikle salise mertebelerinde) yapılmaktadır. Bu kalibrasyon;

1. Test parçasının ön ve arka yüzeyleri arasındaki süreksizliklerin pozisyonunu saptamak
2. Test parçası kalınlığının ölçümü
3. Üretim dağlama ya da korozyondan kaynaklanan malzeme kaybının saptanması
4. Farklı malzemelerdeki ses hızlarının belirlenmesi
5. Benzer malzemelerin; fiziksel, kimyasal ya da mekanik özellikleriyle ilişkili ultrasonik hız değişimlerinin ölçülmesi
6. Farklı dalga boylarının hızlarının ölçülmesi için (enine ve boyuna dalgalar) yapılmalıdır.

Temel zaman kalibrasyon standartları genellikle paralel yüzey bloklarının ölçülmüş kalınlık boyutlarından oluşur. Bu ölçümler için önemli olan, bir çok yansımanın eşit olarak mesafe aldığı durumlarda, katod tüpünün yatay doğrusallığının tanımlanabilmesidir. Bu gereklilik, net bir bilgi için önem taşımaktadır.

Ayrıca, kalibre edilmiş sinyal jeneratörü, periyot düzenlemelerini sağlamak içinde kullanılır. Yapılacak bu hazırlıklar, osiloskobun ekran olarak kullanılacağı durumlarda daha elverişli olmaktadır.

5.10 Ultrasonik Ölçüm Karakterleri

Ultrasonik sistemde, prob mekanizması çok önemli bir yer tutar ve şu kritik karakteristikleri içerir:

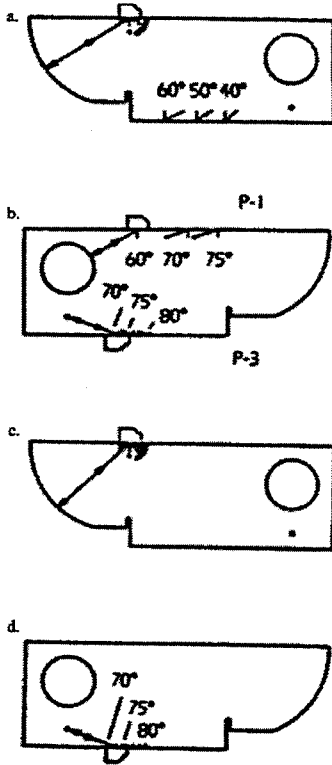
1. Frekans
2. Ultrasonik huzme çapı
3. Huzme profili
4. Sönüm faktörü
5. Uzak ve yakın alan zonlarının uzunluğu
6. Odaksal uzunluk ve odaklanmış huzmenin büyüklüğü.

Özel referans bloklar ya da suyun içine daldırılmış küresel reflektörler kullanılarak, prob kalibre edilir. İşlem için özel tarama cihazları ve elektronik ekipmanlar gereklidir.

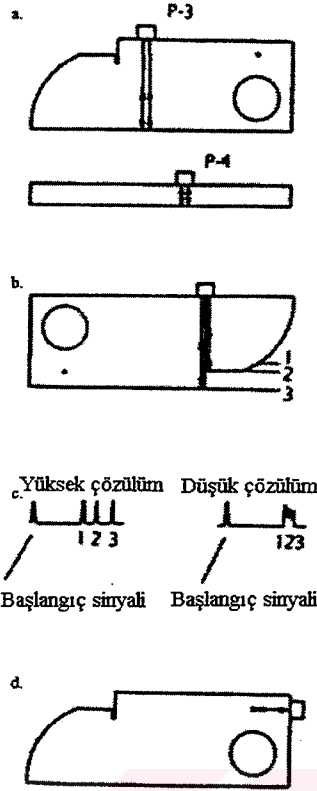
5.11 Ultrasonik Referans Standart Türleri

Tek bir referans standart, tüm ultrasonik test prosedürleri için uygun ve yeterli değildir. Test parçasının türüne ve gördüğü işleme göre kullanılan referans standartlar da çeşitlilik kazanır (dövme, düz, kaynak işlemi görmüş ve borusal). Standartlar ayrıca dalga türlerine göre de sınıflandırılır (boyuna , enine ya da yüzey dalgaları).

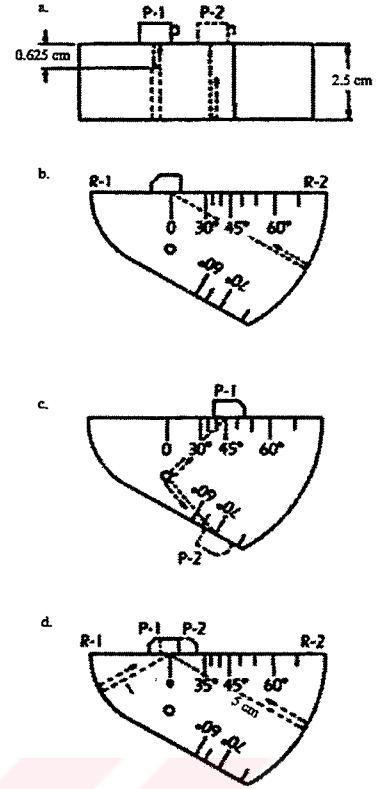
Referanslar, çeşitli test parçalarında doğal olarak oluşmuş süreksizlikleri temsil edecek şekilde hazırlanır (düz tabanlı delik yansıtıcı, yan delikli ve çentikli bloklar). Referans standartlarının geometrisi , test parçasının şeklini temsil etmektedir. Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4’de çeşitli referans standart blokları verilmiştir.



Şekil 5.2 Açılı huzme için referans standartlar



Şekil 5.3 Boyuna dalgalar için referans standartlar

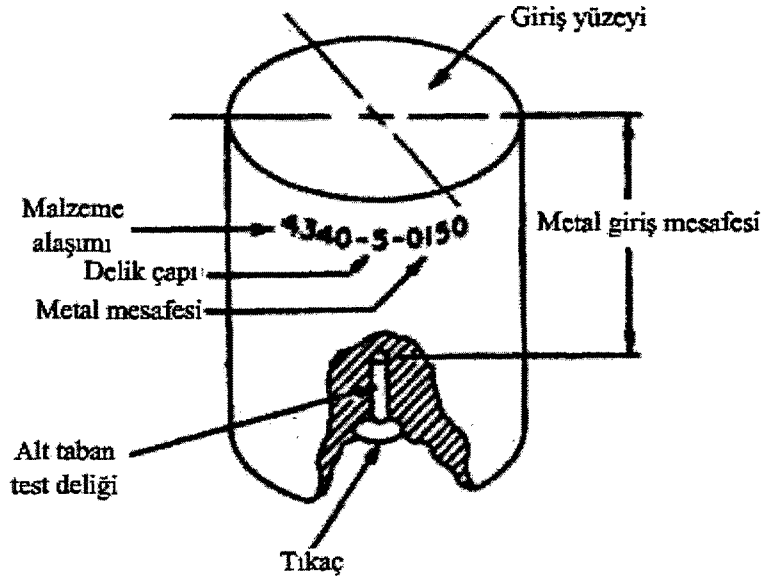


Şekil 5.4 Açısal huzme kalibrasyon blokları

(NTH, Kısım 2, s,449-452)

5.12 ASTM Ultrasonik Referans Blokların Geometrisi

Alüminyum referans blokları, ASTM E127 standartlarına göre tanımlanmıştır ve en yaygın bir kalibrasyon standart konfigürasyonudur. Bu referans standardı, (William Hitt) tarafından dizayn edilmiş olup, bazen “Hitt bloğu” diye de anılmaktadır. Benzer bir referans bloğu çelikten imal edilmiş olup, diğer ASTM spesifikasyonlarına göre tanımlanmıştır. Referans bloklar ayrıca; titanyum, pirinç, bakır ya da diğer bileşimlerden yapılabilirler ve genellikle alüminyum blok konfigürasyonları gibi kullanılabilirler. Alüminyum ultrasonik referans bloklar 5 cm çapında silindirik şeklindedir. Herbir referans blok, düz tabanlı yaklaşık 2 cm derinliğinde bloğun bitiminde bir delik içerir. (Şekil 5.5) Deliğin çapı 1/26 – 1/3 cm arasındadır ve yüzeyden 0,15 ila 15 cm uzaklığındadır. Ayrıca özel istekler doğrultusunda seçilmiş delik boyutları ve metal yolculuk uzaklıkları mevcuttur.



Şekil 5.5 Tipik ultrasonik referans standart diyagramı
(NTH, Kısım 1, s,438)

5.13 Ultrasonik Referans Blokların Kontrolü

Referans bloklar, belirli mühendislik toleranslarında dikkatlice, optimum toleransları sağlamak üzere imal edilirler. Referans bloklar yorumları kolaylaştıracak şekilde ve kullanım hızına göre dizayn edilirler. Spesifik uygulamalar için yaygın araştırmalar ve değerlendirme prosedürleriyle geliştirilmiş olan bloklar kullanılmaktadır. Bazı referans bloklar çoğu farklı ultrasonik testlere uyumludur; çünkü dizaynları muayenesi yapılacak parçalara uygundur. Alüminyum alaşımları referans blokları üzerinde yaygın olarak yapılan çalışma, genlik yanıt kontrolüdür. ASTM'ye göre tanımlanmış alüminyum malzemeleri seçmek, alınacak yanıtlar için önemlidir. Çünkü alüminyumun üretim prosesi gereği, aynı bir alüminyum malzemenin tam olarak belirtilmiş cevapları almasını imkansız kılar. Bu yüzden her bir set alüminyum blok için referans eğrileri vardır; ASTM spesifikasyonlarına göre bunların gerçek performansları tanımlıdır.

Alüminyumdan farklı olan malzemeler ASTM spesifikasyonları kapsamına girmez. Bununla beraber, bu bloklar aynı boyutsal spesifikasyonlarda imal edilirler. Bazı referans bloklardaki yüzey delikleri, korozyondan korunum için yada herhangi bir bulaşmayı engellemek için plastik ya da aynı malzemededen tıpayla saklanırlar. Sızdırmazlık malzemeleri için en önemli temel nokta, su içindeyken elektrolitik davranışlar sonucu meydana gelebilecek istenmeyen oluşumlardır. Referans blokların dış yüzeyleri, anotlaştırma ya da nikel kaplama uygulamaları ile korunabilirler.

5.14 Ultrasonik Ürün Standartlarının Tanımlanması ve Korunması

Tüm referans standartlar, malzeme tipine göre titizlikle tanımlanmalıdır (Delik-çentik büyüklükleri, açısı ve delik çapları). Eğer bir standart, spesifik bir test parçası için kullanılacaksa bu test parçasının numarası ve ilgili standartla aynı tanımlamada olmalıdır. Referans standartlar her kullanımdan sonra kurutulmalı ve dikkatlice temizlenmelidir. Korozyon ve darbelerden korunmalı, muayene sonuçlarını etkileyici bir durum görüldüğünde kullanımından vazgeçilmelidir. Referans standartlardaki delik- çentik kontrolü, normal kalite kontrol prosedürleri ile yapılabilir. Test çentiklerinin plastik kopyaları, silikon lastikler kullanılarak yapılmaktadır.

5.15 Referans Standartlar için Kullanılan Malzemelerin Karakteristikleri

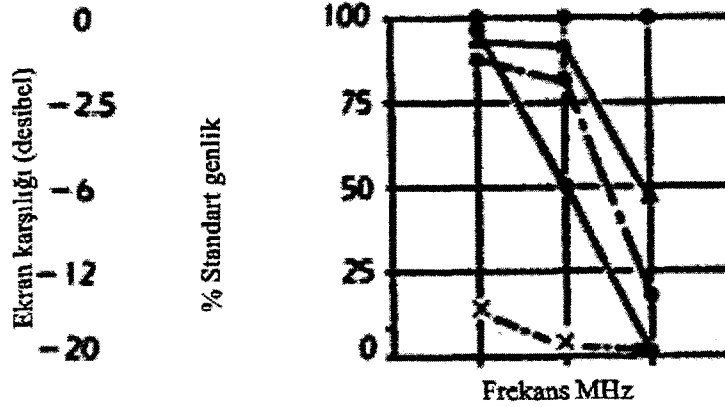
Bazı metal ve alaşımlarda, malzeme yapısına bağlı olarak ses hızı değişirken, çoğu metaller ultrasonikte iyi bir iletkenidir. Genellikle tahribatsız testlerde kullanılan frekans değerlerinde dövülmüş ve preslenmiş alüminyum iyi bir ses iletkeni olarak bilinmektedir. Karbon, molibden ve vanadyum çelikleri hafifçe artan fazla bir enerji gerektirir, fakat bu malzemeler modern ultrasonik ekipmanlarla test edilebilirler.

Çoğu titanyum alaşımının ultrasonik kontrolü çelikle benzerdir ve aynı frekansta test yapılabilir. Bazı paslanmaz çelik bileşimleri, çelik ya da alüminyuma göre daha fazla zayıflama gösterir, fakat 1-5 MHz frekanslarında başarılı bir test mümkün olmaktadır.

Referans standartlardaki zayıflama, test parçasındaki ile benzerdir; uygun düzeltme faktörü ile azalımdaki bu farklılık dengelenebilir. Roket motoru malzemeleri üzerinde yapılan araştırmalarda, farklı süreksizliklerde gözlemlenen zayıflama özelliklerinin ultrasonik cevaplara etkisi değerlendirilmiştir. Araştırma göstermiştir ki; süreksizliklerden alınan cevapların genliği , spesifik test frekanslarında, test parçasının azalım karakteristikleriyle doğrudan orantılı olarak etkilenmektedir. Aynı şekilde bu değerlendirme; belirli limitlerde bir başka malzemeye uygun bir azalım faktörü uygulandığında, ekranda görülecek ultrasonik belirtiler, iki malzeme içinde aynı olacaktır. Ancak azalım ölçümleri için kabul edilebilir genel bir standart olmadığı için, azalımın sebep olduğu malzeme ultrasonik belirtilerindeki farklılıkları düzeltmek ya da ayarlamak için dikkat gerekmektedir.

Tahribatsız testlerde kullanılan frekanslarda, tane boyutu genellikle dalga boyundan küçük olmaktadır. Dalga boyunun 0,1 ila 1 oranlarında, azalımdaki artış, testi imkansız hale getirmektedir.

Referans yansıtıcılardan alınan cevaplardaki değişim, 4 aynı blokta (4130 çelik 2,25, 5 ve 10 MHz frekanslarında) Şekil 5.6'da gösterilmiştir (yaklaşık 0,2 cm çapında düz tabanlı delik, yüzeyden uzaklık 4.375 cm).



Şekil 5.6 Referans yansıtıcılardan alınan cevaplar

Bir ünite kalınlıktaki azalım faktörü denklemi:

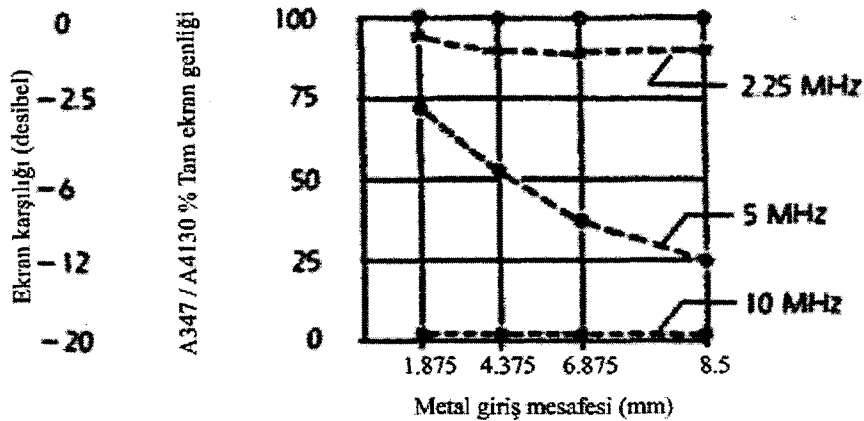
$$dB = 20 \log m/s \quad 1/(X_2 - X_1) \quad (5.15)$$

m: Test malzemesindeki azalım (dB)

s: Referans standart malzemesindeki azalım (4130 çeliği dB)

X: Test parçası yüzeyinden deliğin uzaklığı (cm)

Şekil 5.7'de, aynı kalınlıktaki 4130 çeliği ve 347 paslanmaz çeliğinin, 2,25, 5 ve 10 MHz frekanslarda azalım faktörlerindeki karşılaştırma gösterilmiştir. 2.25 MHz'de, 2 malzeme de eşit azalığa sahiptir ve süreksizlik değerlendirilmesi için düzeltme gerekli değildir. 10 MHz'de, 347 paslanmaz çeliği, 4130 referans bloğu kullanılarak, test edilememektedir. 5 MHz'de, 347 paslanmaz çeliği için azalım düzeltmesi ve süreksizlik genlik tahmini yapılabilir.



Şekil 5.7 Aynı kalınlıklardaki 4130 ve 347 çeliklerinin azalım faktörlerinin karşılaştırılması

Her bir ünite uzunluğundaki azalım hesaplanabilir; azalım uzaklığa bağlı olarak :

$$\alpha = Y_2 - Y_1 / X_2 - X_1 \text{ olur.} \quad (5.16)$$

α : Her bir cm'deki azalım

Y: Gerçek genlik

X: Test parçası kalınlığı (cm) 1 ve 2 doğrusal azalım dizileridir.

5.16 Ultrasonik Referans Bloklar İçin Dalga Yayılım Gerekliliği

Düz tabanlı delikler ya da çentikler; test parçası içindeki ultrasonik yayılımı tespit etmek için kullanılabilirler, ultrasonik zayıflama oranı referans standartlardaki ile ya da uzaklık genlik düzeltme faktörü ile aynıdır. Bazı spesifikasyonlar gerektirir ki; yayılım karakteristikleri, referans blok ve test parçası arasında % 60 ila 160 oranları içinde olmalıdır.

Bu limitler aşağıdaki denklemler ile gösterilmişlerdir.

$0,60 A_1 \leq A_2 \leq 1.6 A_1$, desibel oranları kuralına göre ilişki,

$$-4\text{dB} \leq \log_{10}(A_2/A_1) \leq 4\text{dB} \quad (5.17)$$

A₁: Bloktaki ilk yansımanın genliği

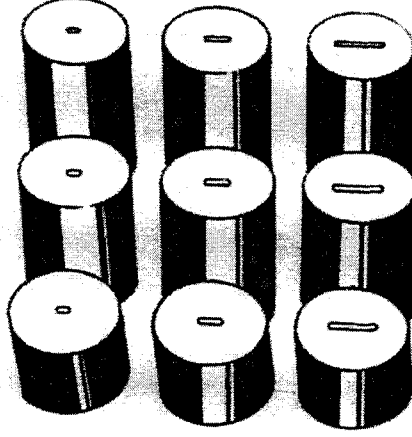
A₂: Test parçası içindeki denk yansıtıcıdan ilk yansıyan dalganın genliği

Referans blokların yayılım karakteristikleri, yaklaşık olarak aynı malzeme içi gidiş gelişler ve aynı test şartları altında karşılaştırılmalıdır. Eğer test parçası içindeki ultrasonik azalım, referans bloktakine göre çeşitli nedenlerle olabilecekse, aşağıdaki alternatifler göz önünde bulundurulmalıdır.

1. Test parçası ve referans standart arasındaki genlik oranı A_2/A_1 , düşük ultrasonik test frekansları kullanılarak geliştirilebilir.
2. Eğer yayılım karakteristikleri sınırları % 60 ila 160 limitlerini geçerse, ultrasonik karşılık farkları için düzeltme faktörü; ilk görüntü için hassasiyet ayarı ve süreksizliklerin tanımlanması için gereklidir. Ultrasonik karşılık düzeltme faktörü için teknikler test raporunda belirtilmelidir.
3. Eğer test parçasından gelen karşılıklar, yukarıda verilen limitlerin dışına çıkarsa (-4dB , 4dB) referans standartlar test parçasından imal edilmelidirler.

5.17 Stringer Tipi Süreksizlikleri Değerlendirmek için Dar-uzun Yivli Referans Blok Tekniği

Şekil 5.8’de gösterilen referans bloklar, süreksizliklerin uzunluğunu ölçmenin gerekli olduğu durumlarda kullanılırlar.



Şekil 5.8 Süreksizlik uzunluğu ölçüm referans standartları
(NTH, Kısım 1, s,443)

5.18 Stringer Uzunluk Tekniği

Bu uzunluk ölçüm tekniği, test parçasındaki stringer tipi süreksizliklerin boyutlarını belirlemek için kullanılır. Prob, yoğun bir süreksizlik alanını tararken, görüntü sinyali genliği, saçılımdan dolayı tüm ekranın % 80’ini kaplar. Bu hassaslık düzeyinde, süreksizlik yansımaları ekranda görülürken ölçüm yapmak mümkün olmaktadır. Bu ölçümü yapabilmek için; prob süreksizliğe ön yüzeye paralel olacak biçimde yaklaşmalı ve hatanın üzerinde merkezlenmelidir. Süreksizliklerden yansıyan sinyal ekranda yaklaşık olarak % 40 seviyesine geldiğinde hemen taşıma aracı durdurulmalı ve indeks pozisyonu not edilmelidir. Sistem, zıt yöndeki süreksizliklerin üzerine doğru hareket ettirilmelidir (Genlikteki sinyal artışı). Sinyal keskinleştiğinde, genlik düşmektedir. Sinyal ekranın % 40’ a düştüğünde, sistem durdurulmalı ve tank yolu üzerine sistemin pozisyonu tekrar not edilip, işaretlenmelidir.

İki işaretleme arasındaki uzaklık ölçümü; süreksizlik sinyali katot ışın tüpü üzerinde devam ederken, sistemin hareket mesafesini vermektedir. Bir sonraki adım, benzer ultrasonik özelliklerden bu referans blokları seçmektir. Yüzeyden itibaren yiv derinliği test parçasını yüzeyinden hataya olan uzaklığı ile eşit uzaklıkta olmalıdır. Referans blok, probun altına gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Böylelikle yivin sonu altta kalacak ve prob blok üzerindeki hatayı tararken, yiv sistemin hareket yönüne paralel olacaktır.

Probun dikey uzaklık ayarını sağlamak için, malzemenin süreksizlik uzunluğu ölçümündeki aynı su mesafesi kullanılmalıdır. Prob yiv üzerine merkezlenecek şekilde, sinyal genlik ayarı, ekranın % 80'ini kaplayacak şekilde yapılmalıdır. Prob yiv üzerine doğru hareket ettirilmeli ve % 40 sinyal görüntü oranında işaretlenmelidir. Eğer blok içindeki yiv, süreksizliğe göre daha uzun sistem hareket mesafesi gösterirse, kısa yivli referans bloklar seçilmeli ve test tekrar edilmelidir.

5.19 Stringer Genişlik Tekniği

Aynı teknik bu kez süreksizliklerin genişlik ölçümünde kullanılabilir. Bu durumda yivi, bloğun merkezinden bir uçtan bir uca kesilmiş tarzda referans bloklar kullanılır. Her bir yiv yaklaşık olarak 1.28 cm derinliğindedir. Tipik stringer süreksizliği genişliği, 0,025 ila 1,28 cm aralığında değişmektedir. Prosedürün amacı , sistem gerçek stringer süreksizliklerden geçerken, bu geçim mesafesini ölçmektir(Hareket mesafesi).

Bu referans bloklar her kombinasyondaki prob boyutlarını karşılayacak şekildedir, frekans ve kazanç seti, eğer stringer ve referans blokları aynı şartlar altında test edilmişse değişkenlik gösterebilir. Çünkü alınacak sinyaller prob boyutunun bir fonksiyonudur; ayrıca huzme geometrisi(netlik ya da değil), frekans ve hassasiyeti de etkilidir. Bu çeşitli tipteki referans standartların kullanımı, süreksizliklerin genişliğini ve uzunluğunu belirlemeyi sağlamaktadır.

5.20 Süreksizlik Alanının Karşılaştırılması

Bu süreksizliğin 10 cm derinlikte olduğu farz edilsin ve süreksizlik sinyal yüksekliği, katot ışın tüpü üzerinde % 30 oranında olsun; spesifikasyon şartları gereği eğer test parçasının süreksizlik kesit alanının 0,2 cm'den büyük olduğu durumlarda ret edilebilir ve bu durumda takibi prosedür kullanılabilir. Aynı alaşımlardan referans bloklar seçilebilir ve haddeli ya da dövülmüş halde olabilir. Bloklar yaklaşık 0.2 cm çapında düz tabanlı delik içermelidir ve yüzeyden uzaklığı 10 cm kadar olmalıdır. Referans bloklarda sinyal ayarı yapılır (hassasiyet kontrolüyle) ve oran ekranın % 80'ni olacak şekle getirilir. Test parçasının süreksizlik sinyali yüksekliği ile bu sinyal yüksekliği karşılaştırılır. Eğer süreksizlik sinyal yüksekliği, referans bloklardan alınandan büyük değerde olursa, süreksizliklerin kesit alanı genelde kabul edilebilir standartlardan büyük olmaktadır. Eğer süreksizlik sinyal yüksekliği, referans bloklardan alınandan küçük değerde olursa, test parçası verilen spesifikasyonlar altında kabul edilebilmektedir. Göz önüne alınması gereken, prob süreksizliklerden en yüksek yanıtı alacak şekilde konumlandırılmalıdır. Aynı prosedür daha küçük çaplı delikler kullanarak, süreksizliklerin gerçek boyutlarını tahmin içinde kullanılabilir.

Blok standartları, her çeşit kombinasyondaki prob çap ve frekansı için kullanılabilir. Bununla birlikte, test parçasındaki süreksizlik boyutu ile referans bloktaki delik boyutunu karşılaştırmak için aynı kombinasyondaki problemler kullanılmalıdır.

5.21 Uçak Endüstrisi Bileşimleri için Tipik Spesifikasyon Gereklilikleri

Genellikle, hassaslık ve süreksizlik değerlendirmeleri saçılma seviyeleri, test spesifikasyonlarına kayıt edilir (Çizelge 5.1).

İlk tarama için, yüzeyden yaklaşık 1 cm uzaklığında düz tabanlı delikler içeren, aynı alaşımların referans bloklarının, genlik sinyali hassaslık seviyeleri belirlenir. İkinci kontrol, test parçasının kalınlığı ile eşit uzaklıktaki bir başka referans blok deliği, eşit ya da daha büyük sinyali, düz tabanlı delik yansıtıcı blokta alınmalıdır. Eğer spesifikasyonlar bu duruma uygun olmazsa, takip edilen asgari gereklilikler kullanılmalıdır. Test spesifikasyonları belirtir ki; bu prosedürde tüm süreksizlikler sinyal yüksekliği, test deliği genişliğinin 1,5 katı olacak şekilde final değerlendirmeleri için mot edilmelidir. İkinci gereklilik 0,2 cm delik çapı içeren referans bloklardan alınan sinyaller, herhangi bir belirtiden küçük olmalıdır. Delik, test yüzeyi mesafesinden hemen hemen eşit derinlikte olmalıdır. Bu sonraki değerlendirmeler için gerekli olmaktadır. Final değerlendirmeleri için, hassaslık azaltımı; referans blok sinyali ekranın % 50'sini kaplayacak şekilde olduğunda gerekli olabilir. Bu test parçasındaki süreksizlik karşılaştırması için gerekli şartları sağlamaktadır. Uçak endüstrisinde boyuna dalga test metodu için kabul edilebilir şartlar, çeşitli standartlarda verilmiştir.

Çizelge 5.1 Boyuna dalga ultrasonik testi için tipik kabul kriterleri

Sınıf	Tek süreksizlik sinyali(cm) ¹	Farklı süreksizlikler(cm) ²	Doğrusal süreksizlik genişliği ve sinyali(cm) ³	Arka duvar yankı kaybı(%) ⁴
A	0.2	0.12	1.04	50
B	0.4	0.2	1.07	50
C	0.4	-	-	50

1. Herhangi bir süreksizlik ile genişliğin düz delik yansıtıcı referans blok sinyalinden büyük olduğu durumda, metal mesafesi (ultrasonik ses dalgasının metal yüzeyinden deliğe yayılım mesafesi) kabul edilemez.
2. Farklı hatalar ile genişliğin bu referans blok sinyalinden büyük olduğu durumda ve süreksizliklerin 2.5 cm' den küçük olduğunda kabul edilemez.
3. Tabloda verilen süreksizlik genişliklerinden daha büyük bir hata ile karşılaşırsa bu kabul edilemez.
4. Arka duvar yansıma kaybı verilen yüzdelerden büyük ise kabul edilemez.

6. DGS DİYAGRAMLARI

DGS diyagramları, referans bloklar kullanmaksızın, düz yansıtıcı sistem değerlerini saptamak üzere geliştirilmişlerdir. Bu diyagramlar huzme biçiminin fiziksel karakteristiklerini açıkça gösterirler. Öte yandan diyagramla malzeme içi süreksizlikleri tespit etmek mümkün olmaktadır. Diyagramla ilgili bağıntılar aşağıda verilmiştir:

$$G = 20 \log H_h/H_a \quad (6.1)$$

G: Kazanç

Hh: Hata yankı yüksekliği

Ha: Arka cidar yankı yüksekliği

Eşdeğer hata büyüklüğü gerçek hata ile aynı yankı yüksekliğini veren disk şeklindeki hata olarak tanımlanmaktadır. Bu büyüklüğün bulunması “G” kazancından çizilen yatay ve “D” den çizilen dikmenin kesiştiği yerde “S” büyüklüğü hesaplanır. Böylelikle kullanılan probun çapı baştan belli olduğundan , buradan eşdeğer hata çapı bulunur (Topuz, 1993).

Bu teknikle, ideal bir düz taban delik yansıtıcılı referans bloğundaki süreksizlik boyutları, büyük bir kolaylıkla tanımlanabilmektedir. Ultrasonik süreksizlik detektörü ve test probuna uygulanabilecek DGS diyagramları ile bahsedilen süreksizlik boyutları ortaya çıkarılabilir. Belirli, özel bir test parçasına yönelik çeşitli DGS diyagramları vardır. Şekil 6.1 bu diyagramlara bir örnek olup, boyuna dalga testi için hazırlanmıştır. Bir diğer bağlantı;

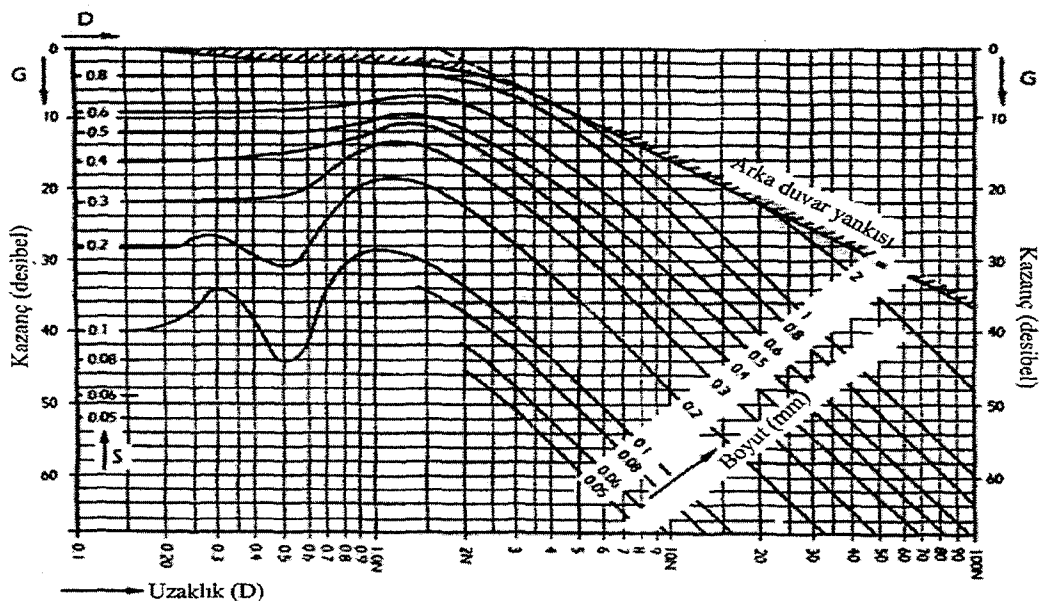
$$N = D^2 f/4V \quad (6.2)$$

N: Proben en yüksek yoğunluk noktasından uzaklığı(cm)

D: Prob çapı (cm)

f: Frekans (hertz)

V: Ses hızı (cm/sn)



Şekil 6.1 Boyuna dalga testi için ultrasonik DGS diyagramı

7. ELEKTROMANYETİK TEST METOTLARI

Elektromanyetik test metotları, girdap akımları tekniği ve sızıntı testi olmak üzere iki kapsamda incelenmektedir. Girdap akımları muayenesinde, alternatif akım kullanılır ve yöntem çeşitli birçok iletken malzemeye uygulanabilir. Sızıntı testinde ise sürekli mıknatıs ya da DC elektromanyetik alan kullanılır ve sadece ferromanyetik malzemeler üzerine uygulanabilir. Girdap akımları yönteminde, test parçası içerisinde alternatif manyetik alan ile girdap akımları oluşturulur. Test parçasındaki elektriksel iletkenliğe etki edebilecek her bir parametre bu sistemle saptanabilmektedir. Sızıntı tekniği ile de gene parça içindeki süreksizlikler belirlenebilmektedir. Çizelge 7.1’de bazı metal ve alaşımların iletkenlik ve direnç değerleri verilmiştir.

Bu iki teknik, aynı ultrasonik ve boyutsal lazer ölçüm testleri gibi biri, bir diğerinin yerine kombine olarak kullanılabilir. Böylelikle, özellikle petrol boru hatları ve diğer boru hatlarında yüksek hızda kontrol gibi önemli başarılar sağlanabilmektedir; bu aynı zamanda bir kalite kontrol gerekliliğidir.

Yüksek hız otomatik test tekniğini bahsedilen yöntemlerle kullanmak mümkündür. Çünkü bunlarda istenilen alanlarda kontrol yapılabilir ve farklılıklar gözlemlenebilir. Ayrıca eş zamanlı olarak, bilgisayar donanımı sayesinde değerlendirme yapılabilir. Tipik bir çok kanallı muayene sistemi ; 16 sızıntı probu, 8 ultrasonik prob, 4 girdap akımları bobini ve 2 lazer ölçüm cihazından oluşmaktadır. Sızıntı problemleri yüzey hatalarını, ultrasonik problemler, iç hatalar ve duvar kalınlıklarındaki değişimleri, girdap akımları bobinleri, yüzey hatalarını, duvar kalınlığındaki ani değişimleri ve iletkenlik farklılıklarını belirlerler. 2 lazer cihazının fonksiyonu ise 90° lik ayrımlarla boru merkezlenmesini ölçer. Bu sistemle yüksek hızlar sağlanabilmektedir.

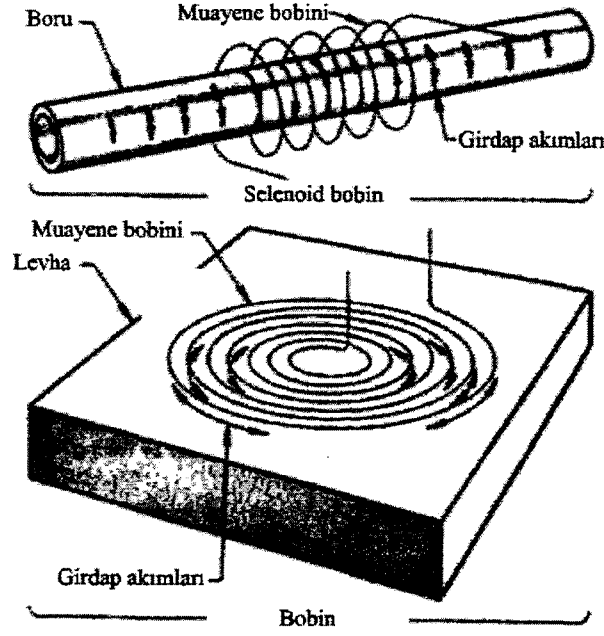
Çizelge 7.1 Çeşitli metal ve alaşımların iletkenlik, direnç değerleri

Metal ve alaşım	Direnç ($\mu\Omega\cdot\text{mm}$)	İletkenlik (% IACS)
Gümüş	16.3	105
Bakır(menevişlenmiş)	17.2	100
Altın	24.4	70
Alüminyum	28.2	61
6061-T6	41	42
7075-T6	53	32
2024-T4	52	30
Magnezyum	46	37
Zirkonyum	500	3.4
Titanyum	548	3.1
304 Paslanmaz çelik	700	2.5
İnkonel 600	980	1.7

7.1 Girdap Akımları Teorisi

Yüzey bobinleri: Şekil 7.1’de görüldüğü gibi uygulanan alternatif akım ile bobin merkezinden etrafına manyetik alan oluşur. Oluşan bu manyetik alan, kontrolü yapılacak parçada girdap akımlarını meydana getirir. En geniş girdap akımları yüzeye yakın bölgelerde oluşur; iç bölgelere doğru ise akım zayıflamaya başlar. Bobin içinde birbirine ters yönlerde birincil ve ikincil manyetik alanlar oluşur. Manyetik alandaki bu durum, malzeme durumuna göre de kaynaklanabilir ve birincil alanda zayıflama görülür ve bu değişim test bobini ile hissedilebilir. Gerçekten, bobinin empedansındaki azalım, test parçasındaki girdap akımlarının etkisinin artımı ile orantılıdır.

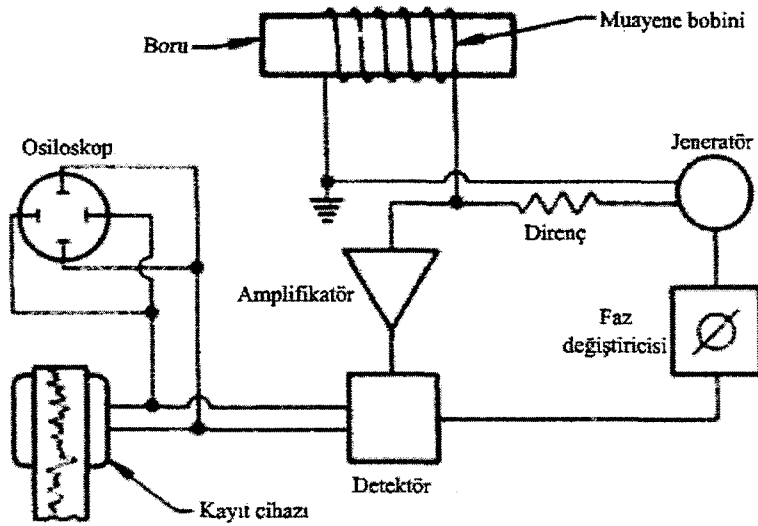
Test parçası içindeki muhtemel değişimler ve hatalar (geometrik ve metalurjik değişimler, elektriksel iletkenlik ve geçirgenlik), girdap akımı akışını engelleyerek kat edilecek mesafenin çoğalmasına, bu da girdap akımlarının karşılaşıcağı direncin artmasına neden olmaktadır. Bu arada da indüklenen girdap akımlarında yerel değişimler görülmekte, ikincil manyetik alan şiddeti azalmakta ve bobin empedansı artmaktadır. Test parçası içerisindeki hata artışının şiddeti, bobinin indüksiyon reaktans artışı ile ilgili olmaktadır. Eğer test parçası çatlak üzerine hareket eder veya test parçasındaki herhangi bir hata belirlenirse, hız oranı sabitinde ve sabit aralıkta bir an için meydana gelebilecek değişimler, bobin reaktansı ve akımı içinde olur. Bu değişimler bilgisayar destekli elektronik donanımda görülebilmektedir.



Şekil 7.1 Girdap akımları oluşum prensibi

(ASTM, s,165)

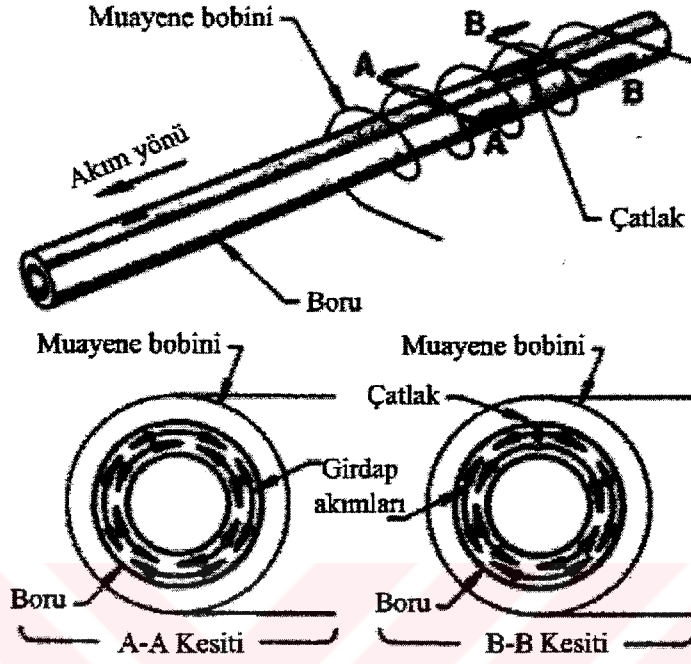
Şekil 7.2 'de basitleştirilmiş temel girdap akımları cihazı şematik olarak verilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi AC jeneratörü test bobinine bağlıdır ve onu kontrol eder. Eğer test bobini, test parçası üzerinde herhangi bir süreksizlikten geçerse, bobin empedansı ve AC voltajı değişir. AC voltajı bir doğrultmaç yardımıyla DC voltajına dönüştürülebilir ve karşıt kutubun sabit DC voltajı ile karşılaştırılır. Bunu bir bateri sağlamaktadır. Sıfır noktasından başlayan bir sayaç ile bobin voltajındaki değişim ölçülebilir. Blok diyagramlarla en temel girdap akımları cihazları temsil edilebilir.



Şekil 7.2 Girdap akımları muayene cihazının temel elemanları

(ASTM, s,166)

Günümüzde gelişmiş girdap akımları sistemleriyle, süreksizlikler daha net saptanabilmektedir. Şekil 7.3’de malzemedeki çatlakların girdap akımlarına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 7.3 Malzeme çatlaklarının girdap akımlarına etkisi
(ASTM, s,165)

İletken bir metale “A” mesafesi uzaklığında bir girdap akımları test bobini konumlandırıldığında, bu bobinin ideal bir bobin olduğu ve hiç direnç kaybı olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Karmaşık bir düzlemdeki bahsedilen bobinin empedansı, “A” uzaklığındaki bir malzemenin iletkenliğinin bir fonksiyonu olmaktadır. Eğer malzeme bir izolator olmuş olsaydı, o zaman iletkenlik katsayısı sıfır olacaktı; direnci ise sonsuz.

8. TEST FREKANSI

Teoride, en yüksek girdap akımları test hızı, test bobin frekansına göre belirlenir. Seçilen test frekansı, girdap akım test bobininin empedansını belirler. Artan operasyon frekansı ile boş bobin empedansı da artar. Eğer test frekansı artarsa ve alan gerilimi sabit tutulursa, yüzey girdap akımları yoğunluğu artar. Küçük süreksizlikler, yüksek frekanslı değişkenler olarak sınıflandırılırlar. Çünkü onlar daha yüksek frekanslarda test edilmişlerdir. Bobin empedansı ile frekans arasındaki bağıntı, aşağıdaki eşitlikte verilmiştir;

$$X_L = 2 \pi f L \quad (8.1)$$

X_L : Bobin indüksiyon reaktansı, ohm (Ω)

π : 3.1416

f : frekans, Hertz (Hz)

L : İndüktans, henrys (H)

Düşük test frekansı, girdap akımları penetrasyonunu artırırlar. Düşük test frekansları tipik olarak ferromanyetik malzemelerde kullanılırlar. Çünkü bu tür malzemelerin nüfuziyeti düşüktür. Frekans, sıcaklık, malzeme sertliği ve nüfuziyet oranı, girdap akımları penetrasyon derinliğinde etkilidirler. % IACS iletkenliği oranının en düşük olduğu durumlarda, girdap akımları penetrasyonu, belirli bir frekansta maximum olmalıdır.

Herhangi bir test şartlarında, elverişli test frekansı, optimum test frekansına yakın değerlerdir. Modülasyon analizinde frekans, iletkenlik ve hatalardan etkilenir. Kimyasal kompozisyon, alaşım ve ısı işlemlerdeki değişimler, düşük frekans modülasyonu sağlar. Girdap akımları sistemlerinin, osilatör birimleri test frekansını kontrol eder. Süreksizliklerin saptanması için optimum hassaslık, uygun frekans seçimi, merkezleşme ve faz ayarlaması ile sağlanır. Süreksizlik taramasında, farklı frekans kullanımı gittikçe artan bir önem kazanmaya başlamıştır. Örneğin; bir borunun girdap akımları ile muayenesinde, yüzeysel hatalar bir frekans aralığıyla kontrol edilebilirken, diğer bir frekans aralığı yüksek duyarlılıktadır ve bu frekans iç hataların saptanması için optimize olmalıdır.

Malzemenin geometrisi, hataların durumu ve pozisyonuna göre operasyonlarda farklı frekans kullanımı net sonuçlar için kaçınılmaz olmalıdır. Bir çok uygulama için daha sonrada ayrıntılı olarak bahsedilecek 2 bobin kullanılmaktadır; bunlar, birincil ve ikincil bobindir.

Girdap akımları yönteminde, (Maxwell's Kuralları) geçerlidir. Girdap akımları geçirgenliği, test frekansı, malzeme iletkenliği ve malzeme sürekliliği ile bağıntılıdır ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir:

$$dp = 1/\sqrt{\pi f \sigma \mu} \quad (8.2)$$

dp: penetrasyon derinliği

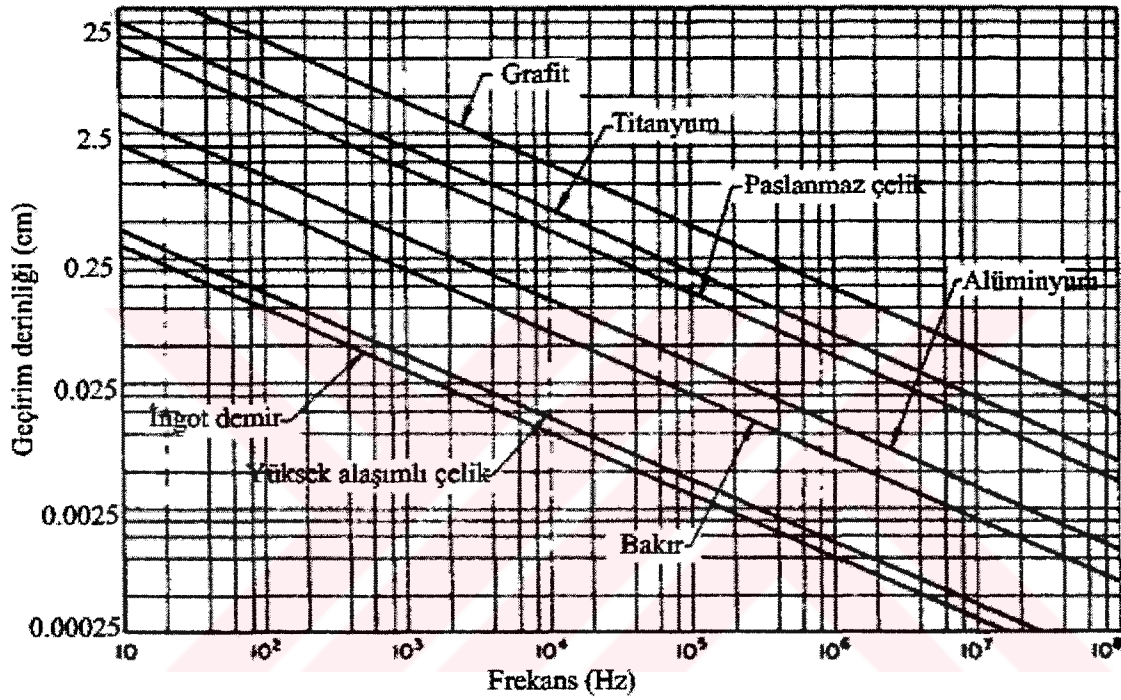
π : 3,1416

f: frekans, Hertz(Hz)

σ : İletkenlik

μ : Süreklilik

Şekil 8.1’de frekansın bir fonksiyonu olarak girdap akımları muayenesinde farklı metaller ve elektriksel iletkenlikler için penetrasyon standart derinlikleri verilmiştir.



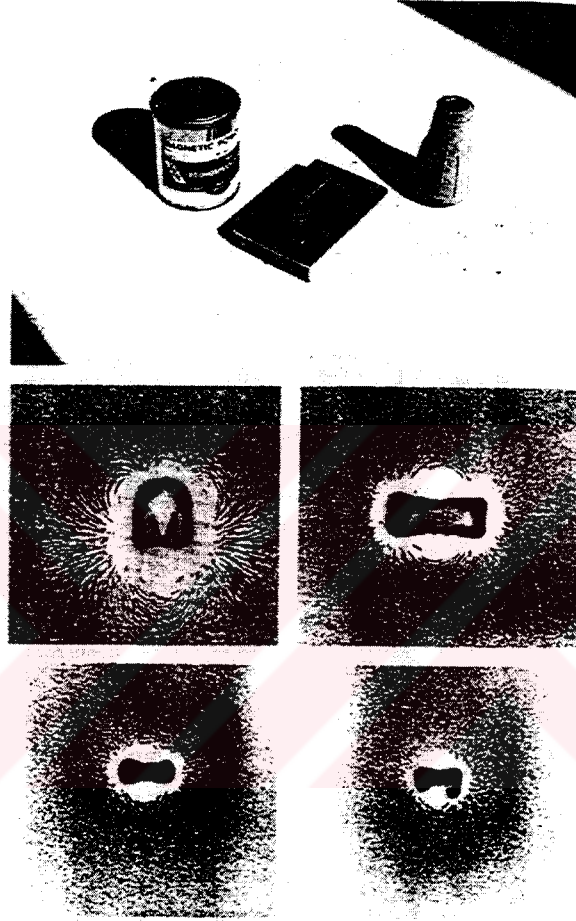
Şekil 8.1 Çeşitli metallerin frekansa bağlı olarak standart penetrasyon derinlikleri

8.1 Sızıntı Testi Teorisi

Ferromanyetik malzemeler magnetlendiklerinde, manyetik alan çizgileri malzeme kutupları boyunca uzanırlar. Bu manyetik alan, test parçasının merkezindeki sıfır noktasından artmaya başlar. Artım yoğunlukla doğru orantılıdır ve kuvvet dış yüzeye doğru artar. Test parçası etrafında oluşacak manyetik alan çizgilerini tanımlamak güç olmaktadır. Ancak magnetize olmuş parçanın yüzeyi çatlak ya da diğer süreksizlikler tarafından tahrip olmuşsa, geçirgenlik değişiminden sızıntı bu hatalardan ortaya çıkacaktır. Bu sızıntıda ki yoğunluk ölçümü ile, bazı hataların uzunluğu hakkında bir tanımlama yapılabilir. Bu sızıntıda ki yoğunluk ölçümü ile, bazı hataların uzunluğu hakkında bir tanımlama yapılabilir.

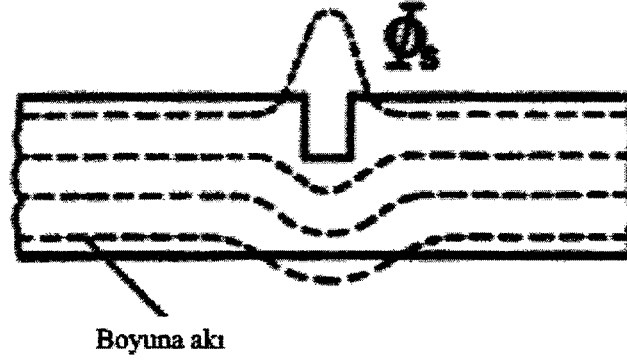
Şekil 8.2’de, güçlü magnet nal, düz bar, dairesel küçük çubuk ve küçük “c” şekilli parçalar için magnetik akış gösterilmektedir. Manyetik parçacıklar bu parçalar etrafında 3 yönde gelişmektedirler.

Kutup parçalarında ve keskin köşelerde sızıntı akışı en yüksek olmaktadır. Uzaklaşan mesafelerde, bu manyetik çizgiler daha kolaylıkla görülebilirler. İdeal sürekli magnetize olmuş bir parça, bu özelliğini kolayca kazanabilmeli ve zorlukla kaybetmelidir. İdeal bir ferromanyetik test parçası, bu yöntemle kontrol edilebilmeli, kolaylıkla magnetize ve demagnetize olmalıdır. Ancak pratikte bu ideal durumlara kısmen de olsa ulaşabilmek oldukça zordur.

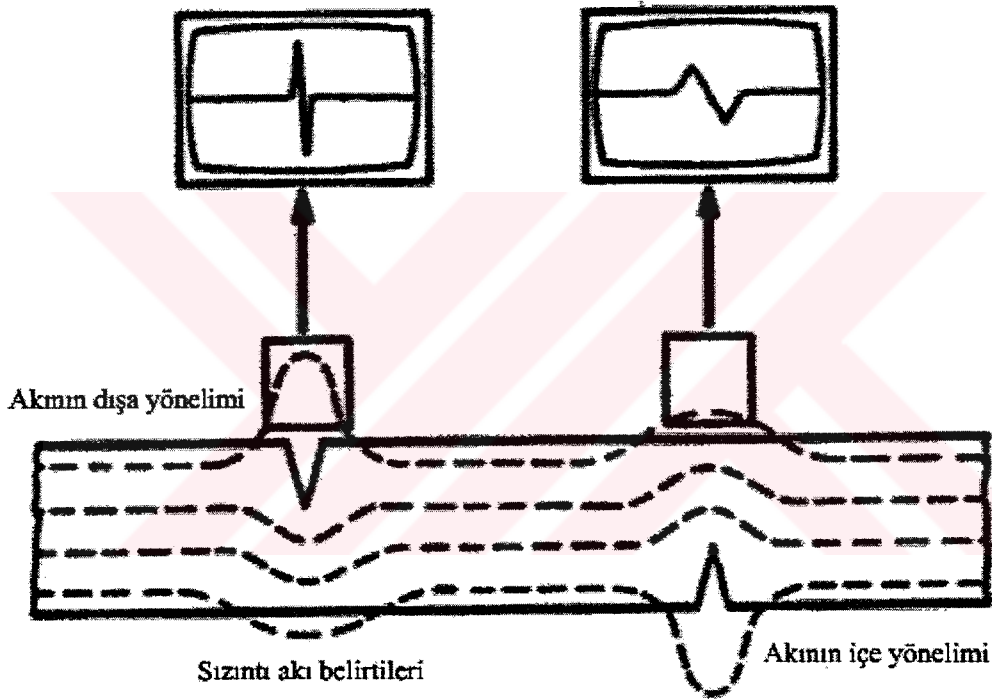


Şekil 8.2 Magnetik akı alanlarının değişen malzeme biçimine göre akışları
(NTSG, s,186)

Şekil 8.3'de, manyetik alanın bir hata ile oluşan sızıntı nedeniyle parça yüzeyinden dışarı doğru sapışı gösterilmektedir. Eğer malzeme çok kalın değilse ($<0,8\text{mm}$), bazı akışlar uzak yüzeyden de çıkabilirler.

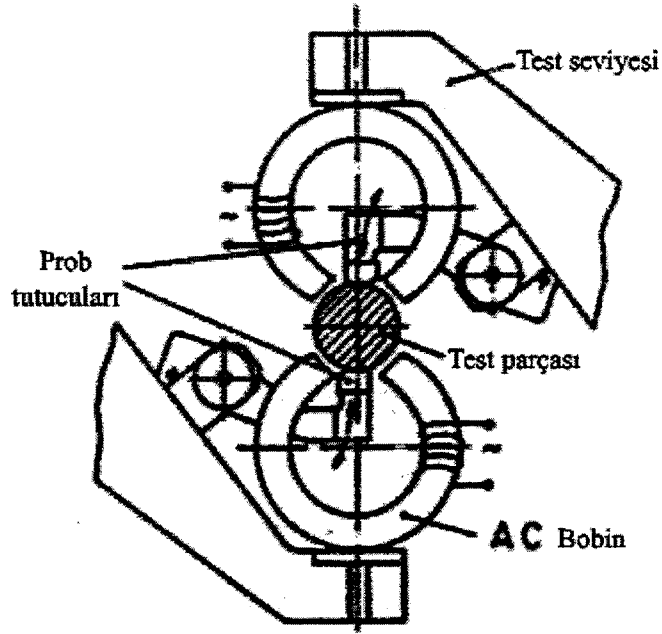


Şekil 8.3 Test parçasındaki hatanın neden olduğu manyetik akı sapması
(NTSG, s,187)



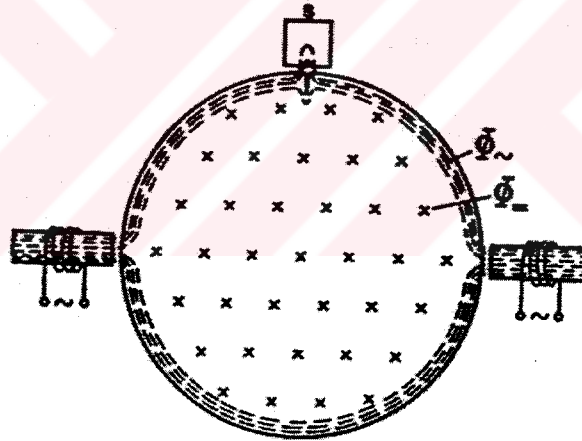
Şekil 8.4 Eşit büyüklükteki iç ve dış çatlakların ekran üzerindeki görüntüleri
(NTSG, s,187)

Otomatik sızıntı muayene sistemleri hata tespiti için manyetik alan alıcıları ve ölçüm akı sızıntı sinyalleri kullanırlar. Boyuna hata taraması için ise çubuk ve tüplerde eksen üzerinde dönen bir çatal kullanılır. Sızıntı metodunda çeşitli bobin sistemleri vardır. Şekil 8.5 'de ve Şekil 8.6' de bunlar gösterilmektedir.



Şekil 8.5 Sızıntı akı detektör bobini

(NTSG, s,189)



Şekil 8.6 Yüksek frekans ve enerjide sızıntı metodu ile hata taraması

(NTSG, s,190)

8.2 Girdap Akımları Yöntemi Cihazları

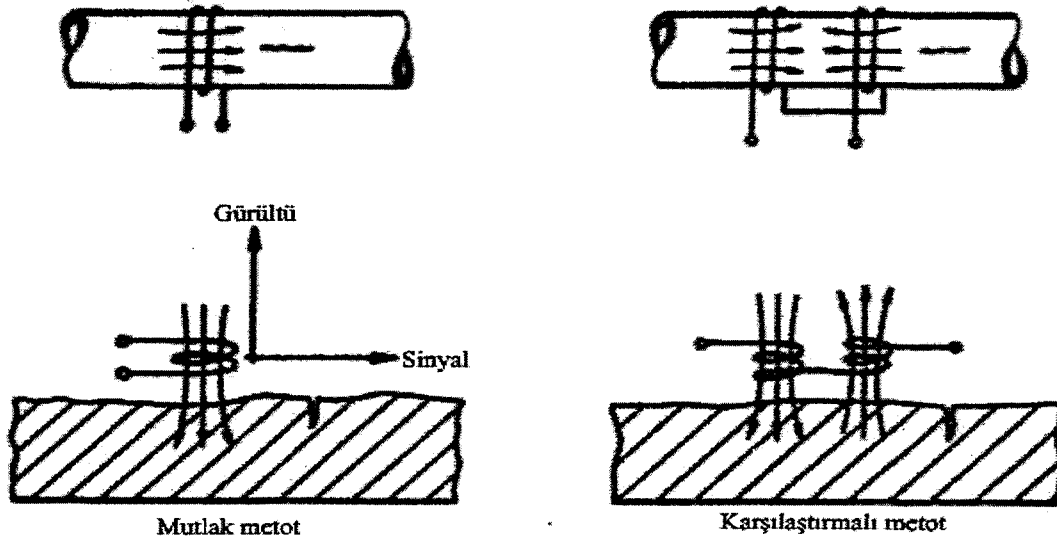
Prob sistemleri: Girdap akımları tekniği ile güvenilir bir süreksizlik taraması yapmak için, çok değişik formlarda olabilecek parazit ve girişimler göz önünde bulundurulmalı ve elimine edilmelidir. Girdap akımları sistemlerindeki sinyal-gürültü oranı aşağıdaki maddeler doğrultusunda, elverişli bir şekilde arttırılabilir:

1. Prob dizaynı
2. Vektör analiz ekipmanları
3. Filtreleme tekniği
4. Ferromanyetik malzeme içindeki değişkenlerin nüfuziyetini elimine edebilme.

Şekil 8.7’de görülen düzenekte 2 metot kullanılmıştır. İlki mutlak metot, ikincisi ise çift bobinle yapılan karşılaştırmalı metottur ve ilkinde önemli algılama hatasına sebep olabilecek manyetik girişimlerin ortaya çıkabileceği görülmüştür. En iyi problemlerle bile bu sorunun üstesinden gelinememektedir. Çünkü malzemenin yüzey değişimleri ve test sırasındaki titreşimler normal olarak karşı karşıya gelmektedir. Esasında, Şekil 8.8’de görülen farklı özelliklere sahip çift temaslandırılmış prob kullanıldığında, bu girişim probleminin azaltılabileceği görülmüştür. 2 bobinli sistemde bobinin manyetik alan çizgileri birbirlerine doğru hareket etmektedirler. Eğer prob malzemedeki süreksizlik üzerine hareket ettirildiği zaman, hata ilk önce birinci, sonrada ikinci prob tarafından algılanmaktadır. Eğer tanımlanan hatalar özdeş ise, o zaman her iki bobinde sanki tek bir bobinmiş gibi davranarak aynı hassaslıkta kontrol yapmışlardır denilebilir.

Prob bobinleri, iletken ya da magnetik malzeme üzerinde, ideal bir muayene için yani hassaslıktaki artış ve net test sonucu için korunabilir. Birbirine komşu farklı yapıdaki süreksizlikler birbirinden ayırt edilebilir şekilde kontrol yapılmalıdır. Eğer gürültüler ya da girişim problem oluyorsa, bakır kullanılarak probdaki sinyal-gürültü oranı düzenlenebilir. Bununla beraber, ilk bobin etrafında magnetik koruyucu kullanıldığında, manyetik alanın genişlemesi ve girdap akım nüfuziyeti azalır. Fiberglas ya da epoksiler gibi metal olmayan malzemeler tipik ve sürekli olarak prob bobin tutucularında kullanılmaktadır. Farklı özelliklere sahip çift proba yapılan bu yöntem, aynı zamanda karşılaştırmalı metot olarak da bilinmektedir; çünkü malzemedeki komşu kısımlar birbirleri ile karşılaştırılabilmektedir. Bu teknik günümüzden yaklaşık olarak 30 yıl önce geliştirilmiş olup, girdap akımları yönteminde başlıca ilerlemeyi temsil etmektedir.

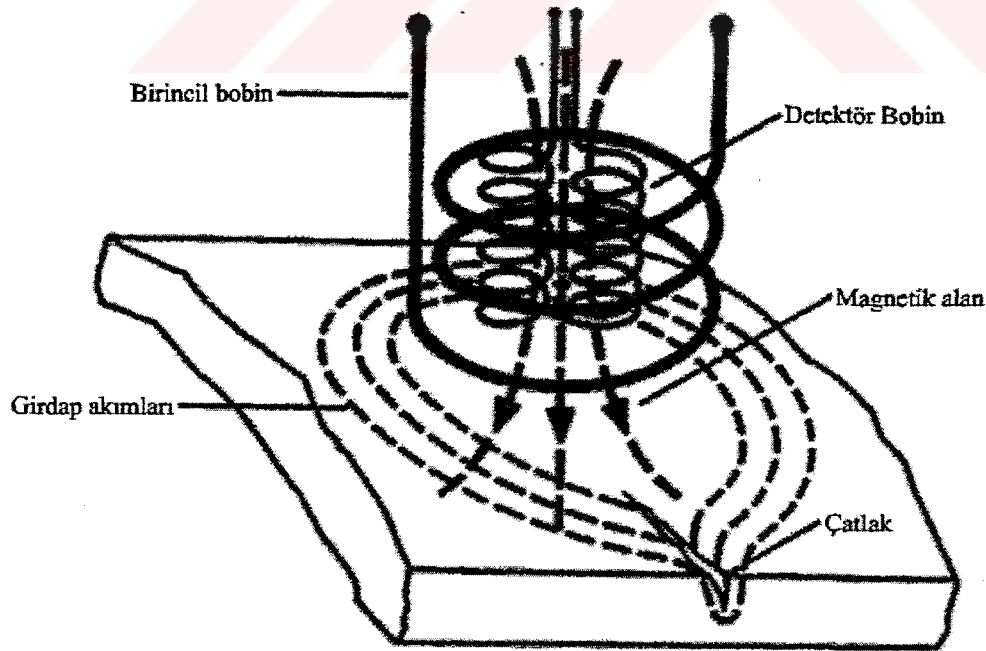
Şekil 8.7’de bu farklı niteliklere sahip, malzeme etrafını kuşatan bobinler gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi, bir tüp kısmı, kendisine komşu diğer bir tüp ile karşılaştırılır. Böylelikle prob için otomatik bir kıyas olur ve tüp çapındaki değişimler kademeli olarak belirlenebilir.



Şekil 8.7 Mutlak ve karşılaştırmalı metod

(NTSG, s,191)

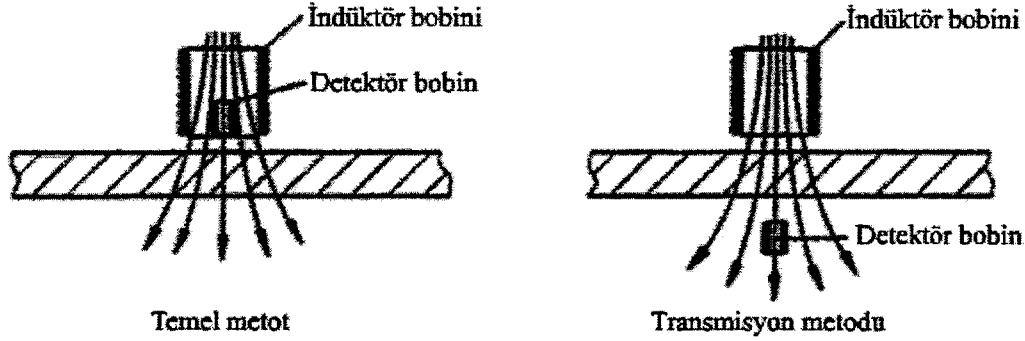
Şekil 8.8’de yüzey probu gösterilmiştir. Prob bobininin içine farklı özelliklere sahip bir alıcı yerleştirilmiştir (diferansiyel algılayıcı). Manyetik alan, diferansiyel alıcının her iki bobininden geçerek test parçasına girerler ve yakın yüzeyde dairesel formda girdap akımlarını oluştururlar. Çatlaklar bu manyetik alan çizgilerinin formunu bozarak, birincil (ana) manyetik alan şiddetini zayıflatırlar ve empedansla voltaj verimi artar. Belirtilen bu yüzey bobini düzensiz şekildeki nesnelerde kullanılabilir.



Şekil 8.8 Yüzey probu

(NTSG, s,192)

Şekil 8.9’da konvansiyonel ve transmisyon girdap akımları yöntemleri karşılaştırılmıştır. Göz önünde bulundurulmalıdır ki; transmisyon metodu ile farklı özellikteki detektör bobinler, uyarı bobininin direk olarak karşısına konumlandırılmıştır. Test malzemesinin cidar kalınlığı, metodun uygulanabilirliğini belirlemektedir.

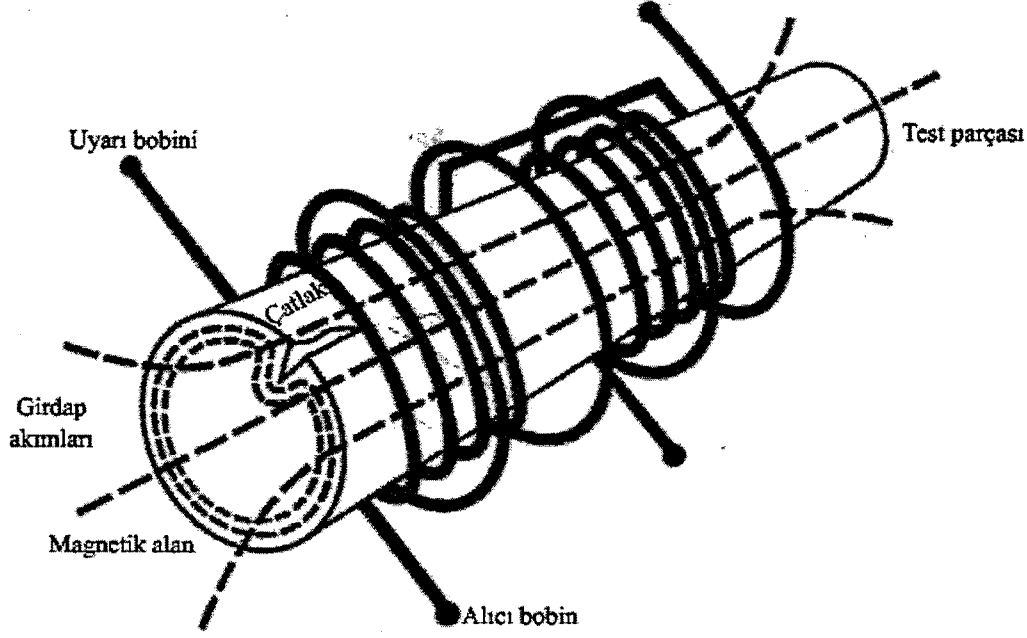


Şekil 8.9 Temel ve transmisyon metotları

(NTSG, s,192)

Şekil 8.10’da sarmal bobin sistemi ile uyarı bobinini ve farklı özellikler gösteren pickup bobinini göstermektedir. Bu taktirde dairesel ya da borusal test malzemesi, test bobin sisteminin içinden geçmektedir. Dışarıdaki geniş bobin; test malzemesi içinden manyetik alanı indirgeyerek, malzeme yüzeyine yakın bölgelerde dairesel girdap akımlarına dönüştürür.

Daha küçük çaplı pick-up bobini ise, geniş olan uyarı bobininin içine konumlandırılmıştır. Farklı özellikteki bobin, malzeme yüzeyindeki çatlaktan kaynaklanan karmaşık genlik-faz değişimlerini belirleyerek, dış merkezlilik için kendi kendine dengeleme ve diğer ilgisiz belirtileri açıklar.



Şekil 8.10 Boyuna uzanan çatlakların girdap akımları ile kontrolü
(NTSG, s,193)

Çok spesifik uygulamalar için geliştirilmiş, özel problar endüstride kullanılmaktadır. Örneğin malzeme etrafındaki, boyuna çatlakları saptamada kullanılan bir bobin, dönen bir malzeme uzunluğunca aşağı doğru tarama yapmaktadır. Kontrolü yapılacak malzeme bir ya da daha fazla sayıda bobin içerebilmektedir. Bu bobinler özellikle kaynaklı borularda, kaynak dikişlerinin kontrolü için kullanılmaktadır. Burada uyarı bobini boru yüzeyine paraleldir ve test bobini test yüzeyine dikey konumdadır. Mutlak bobinde aynı test bobini gibi konumlandırılmıştır. Bu kısmi bobin, boyuna çatlaklar üzerindeki gerilimli bölgenin dikey kısmını kontrol eder, ölçer ve gene gerilimli bölgenin teğet kısmı üzerindeki süreksizliklere de duyarlıdır. Boyuna süreksizliklerin merkezindeki teğetsel alan değeri sıfırdır. Bu dikey kısım en yüksek değerde ve dikey alan sıfır olduğunda, teğet kısmın en yüksek olduğu durumdur. Kare kesitli bir malzemeye, açılı köşegen problarla muayene yapılır.

Kontrolü yapılacak malzemenin çeşidine ve geometrisine bağlı olarak kullanılabilecek alternatif yöntem ve bobinler mevcuttur. Eğer malzemedeki ferromanyetik kısımlar test edilmişse, sarmal bobinle test yüzeyi magnetik olarak aşırı doymuş olabilir. Süreksizliklerin çeşidi, derinliği, konumu ve yönlenmeleri uygun prob seçiminde diğer önemli faktörlerdir. Geniş sarmal bobin çok küçük hataların belirlenmesinde sorun yaratabilmektedir.

Bu tür süreksizlikler, magnetik parçacıklar ya da küçük çaplı yüzey problemleri ile saptanabilmektedir. Bazen iç ve dış yüzeydeki süreksizlikler, dıştan yapılan kontrolde sorun olabilmektedir. Çünkü bu hataların üst üste gelip çakışmaları söz konusu olabilmektedir. Böyle durumlarda muayene, halka-dairesel kesitli problemler ile yapılmalıdır.

Yapılacak kontrolün hızı da prob seçiminde önemli bir etken olmaktadır. Halka prob ile mutlak ve diferansiyel bobinler, kontrolü yapılacak malzemeye göre dizayn edilerek, hız sn' de yaklaşık olarak 1m/sn' ye çıkabilmektedir. Isı değiştiriciler, yüzlerce küçük çaplı boru içerebilir, ve bazı problemler buna göre dizayn edilirler. Kayıt cihazı kullanıldığında, süreksizliklerin yeri kolayca saptanabilmektedir.

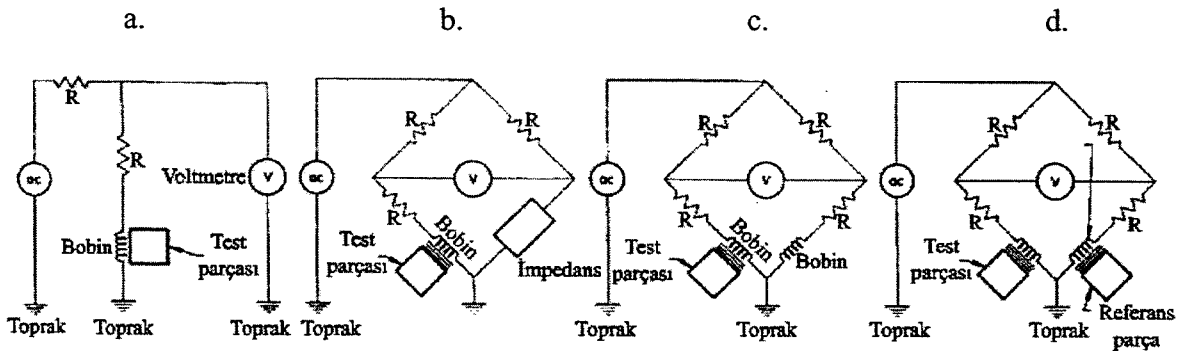
8.3 Diğer Ekipmanlar

Girdap akımları sisteminde birçok çeşit yöntem ve cihaz bulunmaktadır. Bu cihazları aşağıdaki gibi kategorilere ayırmak mümkündür.

1. Rezistör ve tek prob sistemi
2. Köprü denge bozma sistemi
3. İndüksiyon köprü sistemi
4. İletim sistemi

8.4 Rezistör ve Tek Prob Sistemi

Şekil 8.11'da basit bir girdap akımları sistemi görülmektedir. Bu çevrim eğer doğruluk faktörü çok önemli değilse geniş lift-off sistemini ölçmek için elverişli olmaktadır.



Şekil 8.11 Dört farklı girdap akımı sistemi

(ASTM, s,176)

8.5 Köprü Denge Bozma Sistemi

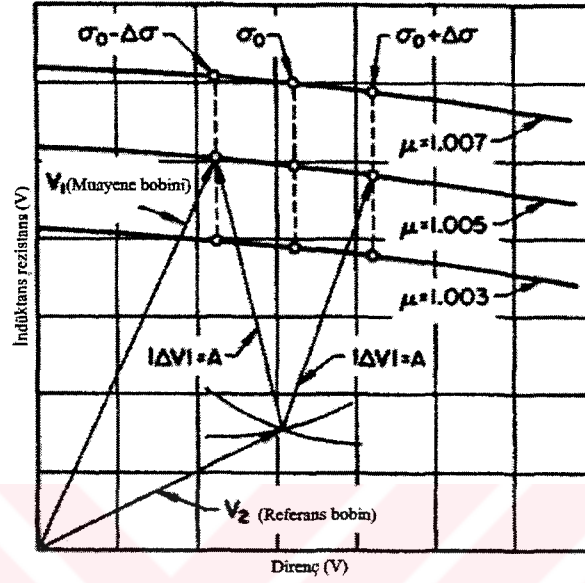
Bu çevrim, test sonuçlarında en yüksek netliği sağlamak için hazırlanmıştır. Bu cihaz; sinyal kaynağı, test bobinin solunda empedans köprüsü ve rezistör, diğer tarafında ise dengeleme empedansı içermektedir.

Köprünün bu iki kısmındaki voltaj farklılığı ise voltmetre tarafından ölçülmektedir. Alternatif olarak, Şekil 8.11 c' deki gibi bir farklı sistem oluşturulabilir. Ya da Şekil 8.11 d' deki gibi test bobini bir referans örnek içerebilir. Eğer köprüdeki diğer bütün bileşimler özdeş ise, sinyal, sadece bobin bu referans örnekten sapma gösterirse meydana gelir.

Uygun bir köprü dengeleme sistemi kurmak için, başka metotlarda mevcuttur. Bunlar, köprünün yukarı bacağındaki gibi rezistörün, dengeleme empedansı ile direnç değerinin değiştirilmesi ile meydana getirilmektedir. En doğru değerdeki köprü, mutlak empedansı değeri % 0.01 oranında ölçülebilir. Buna rağmen girdap akımları yönteminde, empedans köprünün nasıl dengelendiği önemli değildir, fakat nasıl dengesinin bozulduğu önemlidir. Çünkü istenmeyen değişimlerin etkisi, köprü denge sistemiyle girdap akımları yönteminde çok nadir olarak uygulanmaktadır.

Şekil 8.12'de voltajın bobinle olan ilişkisi, V_1 , referans bobin ve V_2 gösterilmektedir. Sistem Şekil 8.11 c' dekine benzerdir. Burada voltmetrenin etkisi göz önünde bulundurulmayarak sadeleştirme yapılmaktadır. 9 farklı örnek için voltaj muayene değerleri, manyetik geçirgenlik kabiliyeti ve 3 farklı kademe için iletkenlik gösterilmiştir. Voltaj, voltmetre tarafından ölçülür ve bobin voltajı ile referans bobin arasındaki farkın büyüklüğüdür. Diyagramdaki köprünün bileşimleri değiştirilerek referans bobinin voltajı herhangi bir noktaya getirilebilir. Bu özel muayenedeki amaç, küçük geçirim kabiliyetlerindeki değişimi, iletkenliklerdeki değişimlerden etkilenmeksizin önlemektir. Eğer köprü normal değerlerde balans edilirse, V_2 vektörü, $\sigma = \sigma_0$ noktasında son bulur ve bu değerde $\mu = 1,005$ olur. Geçirim kabiliyeti değişimleri sonuçları, farklı voltaj büyüklük değerlerinde, geniş bir alanda değişme gösterir ve bu " $|\Delta V|$ " sembolü ile gösterilir, fakat benzer geniş değişimlerin sonucu, iletkenlikteki değişimler olur. Bununla beraber eğer mıknatıs bobin voltajı, $\sigma = \sigma_0 - \Delta\sigma$ ve $\sigma_0 + \Delta\sigma$ bağıntısında eşit uzaklıkta ayarlanırsa, her iki nokta için aynı voltaj değerlerinde olur, fakat farklı voltaj değerlerindeki geniş değişimler, geçirme kabiliyetlerindeki değişimlerle beraber sonuçlanır. Eğer, $\sigma_0 - \Delta\sigma$ ve $\sigma_0 + \Delta\sigma$ hat bu çevrimin bir yayı gibi olursa ve referans bobinin voltajı, çevrimin merkezi gibi ayarlanırsa farklı voltaj büyüklükleri, $\sigma_0 - \Delta\sigma$ ve $\sigma_0 + \Delta\sigma$ arasındaki iletkenlik değişimleri gibi bir fark göstermez. Bu yüzden istenmeyen değişimlerin etkileri, azaltılabilir ya da elimine edilebilir ve istenen değişim geçirgenliği için ölçüm daha hassas olabilir. Bu istenmeyen değişimleri elimine etmek için, köprünün nasıl dengesinin bozulabileceğini gösterir. Girdap akımları tekniğinin en belirgin limiti, teknikte genellikle istenmeyen birçok değişimin bulunmasıdır ve bunları tamamı yapılacak işlemlerle elimine edilememektedir. İletkenlik ile bobin empedans değişimleri ve lift-off'daki empedans değişimleri, birbirlerine paralel olmamaktadır.

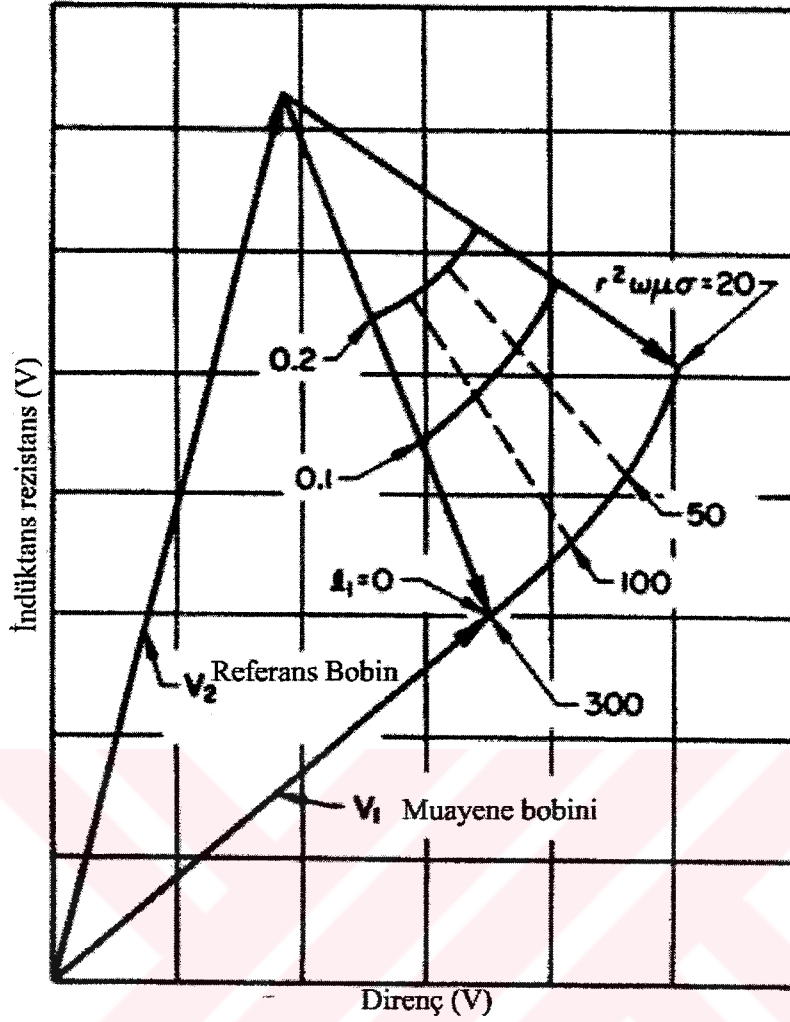
Referans voltaj noktası nerede hazırlandıysa, her iki değişimin etkileri de tam olarak elimine edilememektedir. Bu yüzden, tek frekans muayene yöntemiyle, operasyon şartları tercih edilir olmaktadır ve istenmeyen değişimlerin hepsi yaklaşık birbirlerine paraleldir ve dikey değişimler ölçülebilmektedir. Çift frekans muayenesi ise bu 4 değişim ölçümünü mümkün kılmaktadır.



Şekil 8.12 Muayene ve referans bobin için kompleks voltaj diyagramı
(ASTM, s,177)

Bazı uygulamalarda, voltaj farklılıklarındaki büyüklük ölçümü önemli olmaktadır. Şekil 8.13’de, çeşitli elektriksel iletkenlik ve lift-off için referans ve test bobininin kompleks voltaj diyagramı verilmiştir. Diyagramla, iletkenliğin bir fonksiyonu olarak faz ve nispeten lift-off’daki değişimleri ölçmek mümkündür. Bu bilinen faz ölçüm metodudur. Ayrıca, büyüklük lift-off’un bir fonksiyonu olarak ölçülebilir. Sonuç olarak bu dengesi bozulmuş köprü, 2 değişkenin ayırımına bağlı bir fonksiyon olarak ortaya çıkmaktadır.

Köprü dengesiz hale getirilirken, ortamdaki ısı değişimi de başka bir problemdir. Köprü dengeleştirildiğinde birbirinin yerini tutan aynı ısı derece katsayılarına sahip 2 bileşim oluşmaktadır. Dengesiz köprüdeki bir diğer limit, uygun dengesizleştirme değerinin bulunmasının zorluğudur. Referans voltajın hazırlanması için bir çok alternatif vardır, ve monitör voltajının ölçümü söz konusu olduğunda, bu alternatifleri tanımlamak güç olmaktadır.

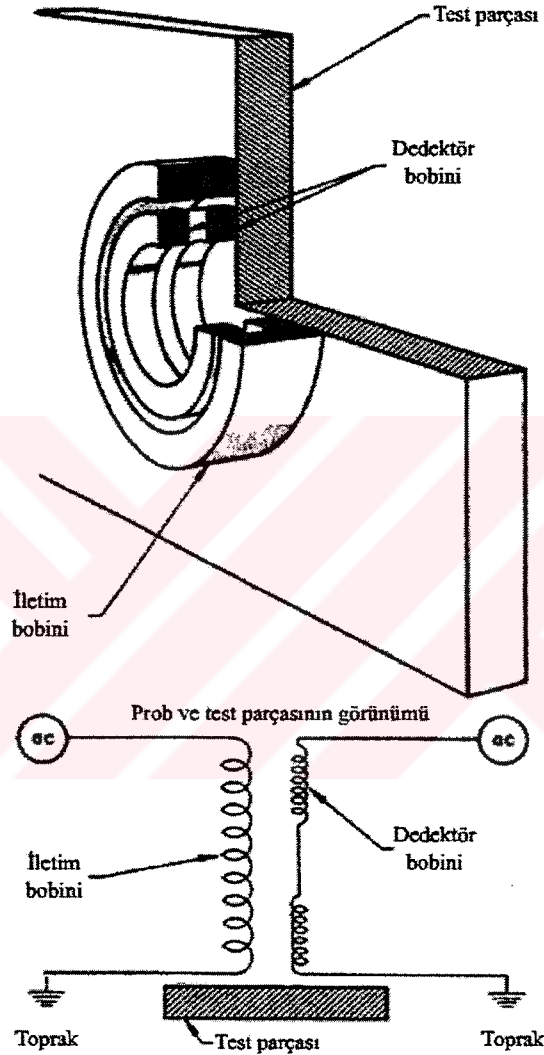


Şekil 8.13 Farklı iletkenlik ve lift-off değerleri için referans ve muayene bobininin kompleks voltaj diyagramı
(ASTM, s,177)

8.6 İndüksiyon Köprü Sistemi

Bir diğer köprü sistemi, indüksiyon köprüsüdür. Bu Şekil 8.14’de gösterilmektedir. İndüktans denge sistemi prob içine konumlandırılmıştır. Prob; iletici, bobin ve 2 küçük detektörden meydana gelmiştir ve sistem birbirinin aynadaki görüntüsü gibidir. Alternatif akım bobine uygulanarak, manyetik alan yaratılmış olur. Eğer bobin iletkenin komşusu değilse , 2 detektör bobini aynı alanı tarar çünkü, birbirlerinin karşılarında simetrik olarak konumlandırılmışlardır ve sinyal değeri sıfırdır. Bununla beraber, probun sonu, metal yüzeyine yakın konumlandırılmışsa, alanlar 2 prob için farklıdır ve net voltaj iki prob arasında belirlemektedir. Alanın bileşkesi sinyalin miktarını verir. Bu her zaman görülebilir ve yansıyan sinyal iletken metal yüzeyi ile ilişkilidir.

Sinyalin yoğunluğu, bobin ve ileticinin (test parçasının) artan mesafesi ile azalır ve bu yansıyan dalganın yoğunluğu içinde aynı şekilde meydana gelir. Tarama bobini test parçasının aynısından ve bu yansıyan dalgayı taramaktadır; ancak diğer referans bobinler farklı yerlerde, çünkü dalganın genliği, arka prob ve yansıyan metal yüzeyi arasında hızla azalır (Şekil 8.14). Probu ısısal değişimlerinin etkisi, faz-değişim ölçümlerinden tamamen elimine edilebilmektedir.



Şekil 8.14 Test parçası yüzeyine konumlandırılmış refleksiyon bobini
(ASTM, s,178)

8.7 İletim Sistemi

Bu sistemde, sinyal probdan metal boyunca iletilir ve metalin karşı tarafındaki diğer prob tarafından algılanır. Eğer 2 prob arasındaki uzaklık belirlenir ve tarama çevrimi yüksek empedansa sahip olursa, sinyal taraması metalin pozisyonundan bağımsız olur ve aralarında kalır. Bu çeşit bir ölçüm, lift-off'u tamamen elimine eder fakat 2 probun uygun konumlandırılmış olmasını gerektirir.

8.8 Okuma Cihazı

Bu cihaz, girdap akımları sisteminin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Okuma cihazı, birbirleriyle değişebilir kablo sistemleri ya da kabloyla bağlanmış tek bir ünite içerebilir. Bu cihaz elverişli hızda, tam bir doğrulukta ve sistemin muayene gerekliliklerine göre sıralanmış olmalıdır. Sık sık çeşitli okuma sistemleri, tek muayene sistemine göre kullanılmaktadır. Okuma cihazı maliyetine ve karmaşıklığına göre sistemler içinde en uygun yerini almalıdır. Aşağıda verilen okuma cihazları fiyat artış ve gelişmişliklerine göre sıralanmıştır:

1. **Alarm sistemi:** İşlevi, test parametrelerinin limitleri aşıldığında operatörü uyarmaktır.
2. **Sesle uyarma:** Alarm sistemi gibi benzer bir amaca sahiptir, fakat operatör daha serbest çalışabilmektedir ve probu ekran vasıtasıyla el ile kumanda edebilmektedir.
3. **Elektrik düzenleyicisi:** Mekanizmayı otomatik olarak çalıştırır ve test parametreleri aşıldığında kabul-ret kriterlerini belirleyebilir.
4. **Analog ölçüm cihazı:** Sisteme sürekli bir akım sağlar. Yaklaşık 1 Hz frekansında doğrulukla ve hızla çalışabilir ve direk olarak parametrelerin okunmasıyla, dereceler kalibre edilebilir. Cihazın doğruluk limiti, tam direncin yaklaşık %1'i kadardır. Alarm sistemi, ses alarmı ve elektrik düzenleyicisinde limitleri düzenlemek için kullanılabilir.
5. **Dijital ölçüm sistemi:** Analog ölçüme göre, daha büyük doğrulukla çalışır. Operatörün hata yapma olasılığı bu cihazda daha azdır ancak hızlı yönelimler yorumları zorlaştırabilmektedir. Bununla birlikte birçok dijital ölçüm sistemi iki kısımlı ve ondalık kodlarla nispeten yavaş çalışmaktadır.
6. **X-Y plan sistemi:** Girdap akımı cihazı karşılıklarının planını hazırlar ve ekranda gösterir. Bunlar, girdap akım köprü denge bozma muayenesinin hazırlanması ve dizaynında çok yararlı olmaktadır ve istenmeyen değişimleri ayırt edebilmektedir. Ayrıca sonuçları kendi içinde sınıflandırabilmekte ve sürekli çıktı alınarak hata paylarını çok azaltılabilmektedir.
7. **X-Y kayıt osiloskobu:** Bir önceki sisteme çok benzer. Farkı sinyalleri yüksek bir hızda elde edebilmesindedir. Bununla beraber sinyaller el ile kumanda edilmek zorundadır ve ekran sinyaller tarafından çabukça karmaşık bir hale getirilebilmektedir.
8. **Grafik kayıt edici:** Net bir doğrulukta kayıt imkanı sağlar (tam ekranın % 1'i kadar) ve oldukça yüksek bir hıza sahiptir. Bununla beraber , grafik üzerindeki datalar operatör tarafından okunmak zorundadır. Çeşitli kanallar aynı zamanda sürekli kayıt edilebilir.
9. **Manyetik bant kayıt cihazı:** Yüksek hızlarda (1kHz), net bir doğrulukla kayıt yapılabilir. Ayrıca datalar otomatik sistemlerle kontrol edilebilmektedir.
10. **Bilgisayar donanımı:** Çeşitli kanallardan gelen datalar, analog ya da dijital yüksek hızda kontrol edilebilir.

Bilgisayar parametreleri ayrılabilir ve önemli değişimleri hesaplayabilir; dataları sınıflandırabilir, sonuç özetlerini çıktı olarak verebilir ve kayıtlı tüm özellikleri gelecek muayeneler için referans olarak saklayabilir.

Çizelge 8.1 Girdap akımları cihazlarının çeşit ve dizayn özelliklerinin karşılaştırılması

Cihaz	Frekans değeri	Sinyal ölçümleri	Eş zamanlı frekans değeri	Özellikler
Rezistör ve tek bobin	1 kHz-5MHz	Büyüklik	1	Direkt okuma, analog ölçüm
Muayene bobini ve balans bobini	1 kHz-5MHz	Büyüklik, faz X_1, X_2	1	Sinyallerin faz yönleri, empedans düzlemini gösterimi, devamlı değişken frekans, X-Y alarm cihazı.500 kHz'e çıkabilir
Muayene bobini, çeşitli empedanslar ve dengesiz köprü	1 kHz-2MHz	Büyüklik, faz X_1, X_2	1	Kalınlık, iletkenliğin direkt dijital gösterimi ve ondalık kodda çıktı
İndüksiyon köprüsü	100 Hz-50 MHz	Büyüklik, faz	2	4 değişkenin eş zamanlı ölçümü, analog bilgisayar, ondalık kodda çıktı, kalınlık ve lift-off'un direkt dijital gösterimi ve 500 kHz'e çıkabilme kabiliyeti

8.9 Girdap Akımları Yöntemi ile Saptanabilir Süreksizlikler

Temel olarak, girdap akımları normal akışı değişimlerine karşılık gelen tüm süreksizlikler, bu yöntemle belirlenebilmektedir. Test yöntemine ve malzemeye göre seçilecek bobinler ile, test parçasında farklı yönlerde konumlanmış olan hataları tespit etmek mümkündür.

Eğer aynı boyuttaki hatalar, malzeme yüzeyinden başlayarak alt alta bir gelişim gösterirlerse, bunların saptanması gittikçe güç olmaktadır, ve 1,3 cm'den daha derinde olan hatalar ancak özel ekipmanlarla test edilebilmektedir. Öte yandan, kaynaklı borularda görülebilen ince levha şeklindeki süreksizlikler, girdap akımlarına hata saptaması yapacak ölçüde değiştiremeyebilmekte ve böylelikle belirlenemeyen hatalar gittikçe gelişip ileride problemlere neden olabilmektedir. Benzer bir muayene zorluğu, dairesel kesitli parçaların eksenine dikey yönde yönelme göstermiş, ince düzeysel süreksizliklerde görülmektedir.

Anormal olmayan durumlarda genel olarak, hataların büyük bir kısmı girdap akımları yöntemiyle ekonomik ve hızlı bir şekilde test edilebilmektedir. Bu süreksizliklere örnek olarak; kaynak dikişleri, katlanmış kısımlar, çatlaklar, kıymıklar, kabuksu kısımlar, oyuklar, açık kaynaklar, hatalı kaynaklar, çok küçük delikler, çengel şekilli ve yüzey çatlakları verilebilir.

8.10 Referans Standartlar

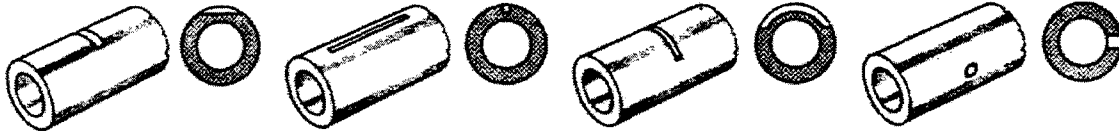
Girdap akımları yöntemi için temel gereklilik; güvenilir, birbirleriyle ve test parçasıyla uyumlu, parçanın hassasiyetini belirleyebilecek ve her bir işlem kademesinde kullanılabilecek referans standartlardır. Referans standartlar, bu amaç doğrultusunda sağlanmış olmalıdır. Referans standartlar kullanılmadığı zaman muayene değerini yitirmektedir.

Standart referans seçiminde genel prosedür, mamulden bir örnek oluşturmak ve test parçasından herhangi bir belirti gelmeksizin muayene prosedürü boyunca denenmesidir. Çeşitli örnekler en uygununu bulana dek denenmiş olmalıdır ve bulunan örnekte referans süreksizlikler oluşturulmalıdır.

Referans süreksizlik tipleri her bir özel uygulama için net bir şekilde belirtilmek zorundadır. Referans süreksizlik seçiminde bazı temel gereklilikler aşağıda verilmiştir:

1. Gerekli spesifikasyonları sağlamalıdır.
2. Kolay imal edilebilir olmalıdır.
3. Tekrar aynı şekilde hazırlanabilir olmalıdır.
4. Boyutlarına göre sınıflandırılarak üretilmelidir.
5. Referans standartları üzerinde oluşturulan yapay süreksizlikler, doğrallarıyla benzer ve uyumlu olmalıdır.

Şekil 8.15’de yapay olarak oluşturulmuş hataların, girdap akımları tekniğinde referans standart olarak kullanılması gösterilmektedir.



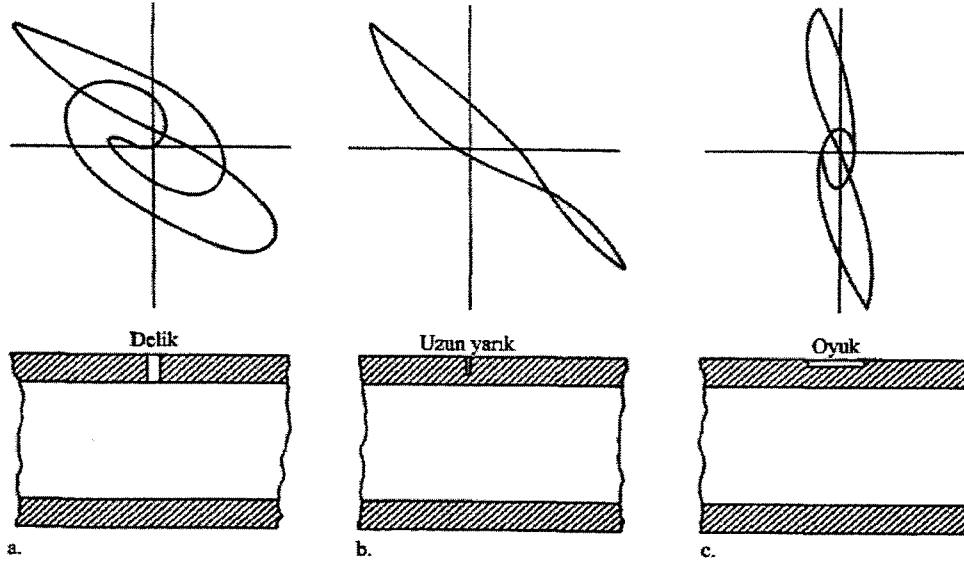
Şekil 8.15 Girdap akımları metodunda kullanılan referans standartlar
(ASTM, s,179)

8.11 Prosedür

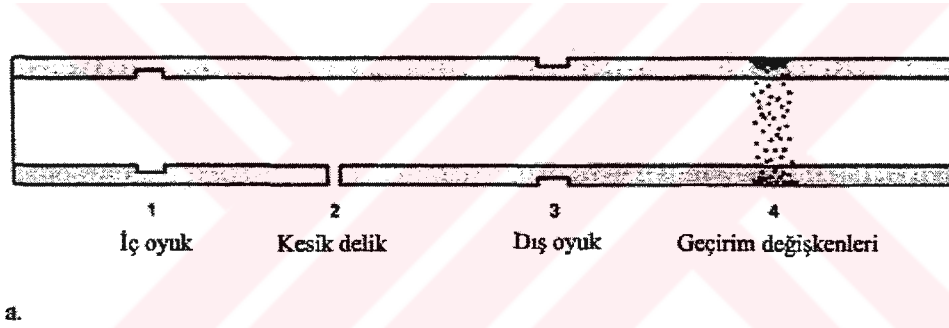
Küçük çaplı yüzey bobinleri ya da prob bobinleri, esas olarak küçük süreksizliklerin konumunun ve büyüklüklerinin saptanmasında kullanılırlar. Yüzey problemleri normalde, küçük çaptaki boruların kontrolünde kullanılmazlar. Çünkü nispeten düşük muayene hızına sahiptirler ve doğalında var olan mekanik problemleri bulunur. Eğimli prob girdap akımları ekipmanı, çok küçük yüzey hatalarının belirlenmesinde kullanılır; hataların daire etrafındaki pozisyonları bu problemlerle kolaylıkla saptanabilir. Eğimli prob girdap akımları ekipmanları ile kalibrasyon standartları, beklenen hataların derinliği ile benzer özelliklerin sağlanması için kullanılırlar. Aynı zamanda sistemin çeşitli kontrollerinde ve prob bobini hasarın belirlenmesinde kullanılırlar.

Eğimli bobinler, eğimli problemlerden farklıdır; onlar test parçasını etrafında dairesel pozisyonlarda dizayn edilmişlerdir. Geniş, etrafını saran bobinlerle belirli bir çaptaki test parçasının iletkenliği ve boyutsal değişimleri kontrol edilir. Bu bobinlerle esas olarak dairesel kesitli malzemeler muayene edilir.

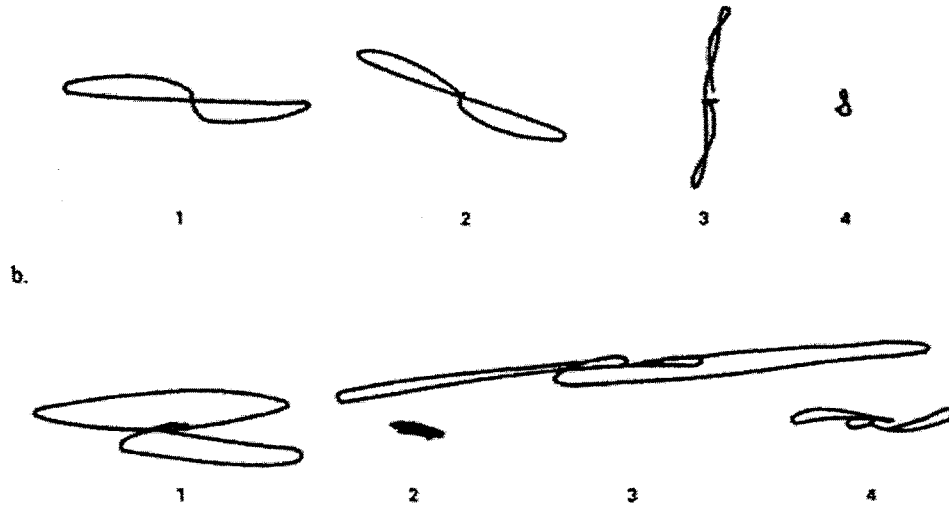
Etrafını saran bobinler ile en iyi sonuçlar için, en yüksek hızda muayene edilmiş bir boruda; bobin uzunluğu, iyi bir çözünürlük ve test frekansı çok önemlidir. Girdap akımları sistemleri de, diğer sistemlerde olduğu gibi referans standartlarla kalibre edilirler. Bu standartlar; doğal ve yapay durumdadırlar ya da bazı durumlarda süreksizlik içermeyebilirler. Delikler, oluk-yiv ve diğerleri yapay olarak hazırlanmış süreksizliklere örnektirler ve bunlar test hassaslığının belirlenmesinde sık sık kullanılırlar. Bu kalibrasyon standartlarının kullanılmasının amacı; genliğin kontrolüdür. Otomatik sistemlerde muayene sırasında, öncesinde ve sonrasında kalibrasyon ve hassaslık ayar işlemlerine dikkat edilmelidir. Şekil 8.16 ve Şekil 8.17 ' de muayene derinlikleri ve çeşitli hatalara karşılık gelen ekran görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 8.16 Çeşitli hata formlarına karşılık gelen girdap akımları cihazı ekran görüntüleri (ASTM, s,180)



a.



b.

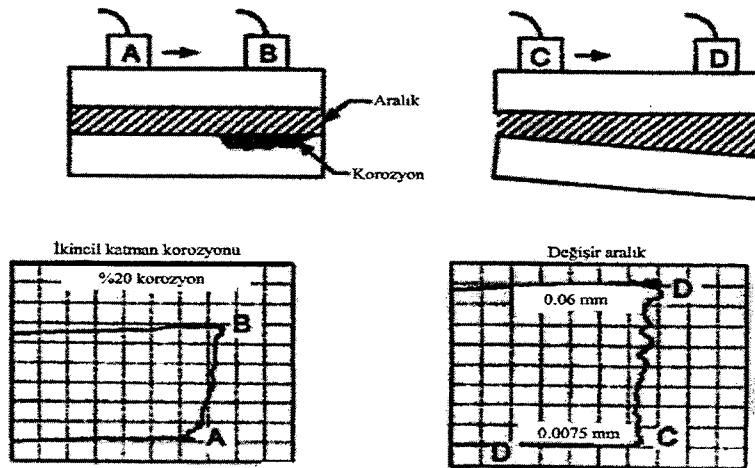
Şekil 8.17 439 Paslanmaz çelik malzemesindeki çeşitli hataların oluşturduğu ekran görüntüleri (ASTM, s,182)

8.12 Tek Frekanslı Teknik

Bu teknik, dış yapı korozyonunu saptamak için kullanılmaktadır. Optimum test frekansı katman kalınlığına göre belirlenmektedir. Nispeten yüksek frekanslı ölçümlerde, sinyal üst katman karakteristiğine bağlı olarak etkilenmektedir. Operasyon frekansı genel olarak bir üst katman kalınlığının yarısına karşılık değerde seçilir. Üst katman korozyon tespiti için seçilecek frekans 0,8 mm kalınlık için yaklaşık 50 kHz dir, 3,2 mm için ise 30 kHz frekans gerekmektedir. Operasyon frekansı seçildiğinde kalibrasyon, referans standartlara göre yapılır. Bu referans standartlar muayene bölgesi ile benzer iletkenlik özelliklerine sahip olup, eş kalınlıktadır. Korozyon nedeniyle tabaka kalınlığındaki azalış %10-20 ve 30 oranlarına karşılık gelir ve referans standartlarda gösterilir. Şekil 8.15' bu referans standartlar gösterilmiştir. Tek frekanslı girdap akımları tekniği ile ara katman korozyonu belirlemek mümkün değildir. Yapılacak kontrollerin sonucu da geçersiz olmaktadır. Şekil 8.18 'de bu tip bir ara katman korozyonu görülmektedir.



Şekil 8.18 Üst ve ikincil katman korozyonu oluşumları

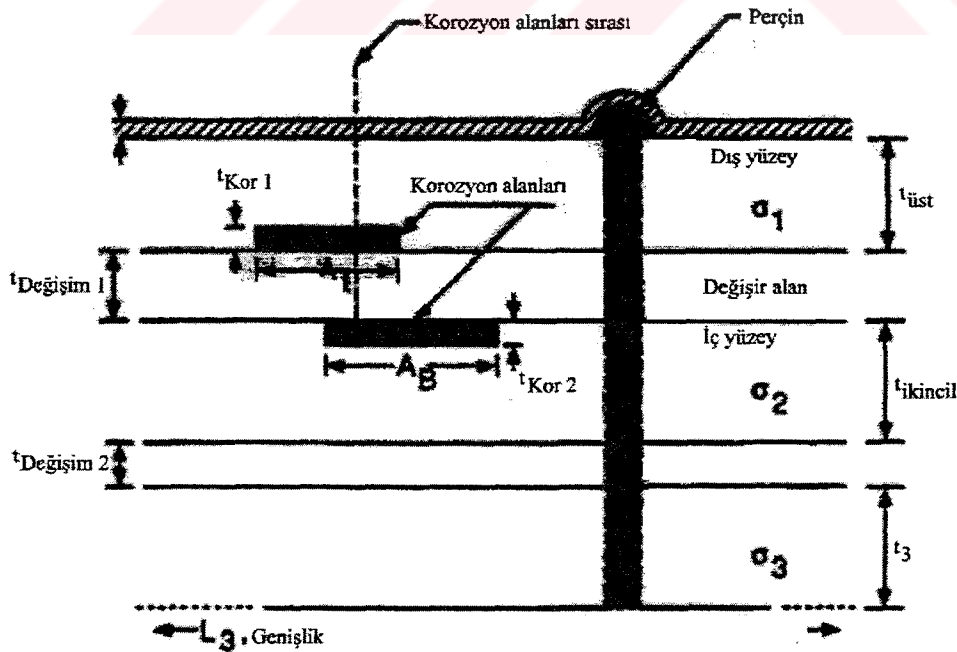


Şekil 8.19 Tek frekans tekniği ile güvenilir bir sonuç alınamayacak ikincil katman korozyon oluşumu

8.13 Çift Frekanslı Teknik

Bu teknikte, değişken katmanlardan kaynaklanan istenmeyen sinyaller elimine edilerek korozyonlu bölgeler net olarak saptanabilir. 2 ayrı frekans kullanılır ve böylelikle ara yüzeylerden gelebilecek gürültüler önlenmiş olur. Problardan elde edilen manyetik alan ile ikincil katman korozyonları incelenir. İncelenen katman kalınlığı 1,6 ila 6,4 mm arasında olup, bunun için düşük frekans kullanılır (1-5 kHz). Düşük frekans kullanımı, ara yüzey taramaları için oldukça hassas bir muayene yapma imkanı sağlar. Şekil 8.20'de sistem tüm ayrıntıları ile görülmektedir. En iyi test sonucu için, ikinci frekans ilk frekansın yarı değerinde olmalıdır. Ancak gene bu yöntemde de, iç ve dış katmanlar arası değişimler, muayene için en ciddi problemi oluşturmaktadır. Bu yüzden seçilecek her iki frekans değeri de kritiktir. Çünkü bir uçakta yüzlerce perçin deliğine rastlamak mümkündür. Buna rağmen bu test bir çok yönden başarılı olabilmektedir, çünkü her bir perçin deliğinin kontrolü düzenlenmiş perçinlere göre açık bir tercih nedenidir. Teknikte genel 2 muayene yöntemi kullanılır. Bunlar halka yada kayma şeklinde adlandırılır. Bu 2 teknikte iyi yetiştirilmiş eleman ve elemeği gerektirir. Son derece dikkatli ve titiz olunmalıdır. Çünkü operatörün en ufak bir hatası test sonuçlarını önemli ölçüde etkiler.

Günümüzde bu konu üzerine yapılan çalışmalar insan faktörünün test sonuçlarına müdahalesini en aza indirmek; maliyet, zaman ve iş gücü gibi faktörlerini minimumda tutmak üzere robotik sistemler geliştirmek üzeredir.



Şekil 8.20 İkincil katman korozyonu parametreleri

9. GENEL GİRDAP AKIMLARI UYGULAMALARI

Genel girdap akım teknikleri uygulamaları, birkaç farklı kapsamda verilebilir. Fiziksel özelliklerin farklılıklarının ölçümü; (bunlar uzunluk ve hatalar olabilir) sertlik gibi daha çok malzemenin iletkenliğini ilgilendiren durumlar ya da ferromanyetik kısımlardaki geçirgenlik değişimleri gibi olaylardır. Bunlar birbirlerinden kesin çizgilerle ayıramayacak fonksiyonlardır. Çünkü; fiziksel parametreler aynı zamanda bobin empedasına ve efektif malzeme iletkenliğine de etki eder. Isıl işlemler ferromanyetik olmayan malzemelerdeki iletkenliğe etki eder ayrıca ferromanyetik kısımlardaki geçirgenliği değiştirebilir. Aşağıda önce fiziksel parametrelerle sonra geçirgenlikle ilgili uygulamalara örnekler verilmiştir:

1. Çeşitli birçok yüzey çatlaklarının ve (gerilim, sertlik ve ezilme sonucu oluşan) kaynak dikişi, oyuklanma, kabuklaşma, kıymıklar, poroziti, inklüzyonlar gibi istenmeyen durumların meydana çıkarılması ve tanımlanması
2. Kaynaklı ya da kaynaklı borulardaki yapısal bütünlüğe bağlı ölçümlerin saptanması, taneler arası korozyon, dikiş çatlakları ve diğer oluşumların belirlenmesi
3. Alüminyum, titanyum ve grafit kompozitlerindeki hataların ölçümü
4. Perçin, cıvata gibi bağlantı elemanlarının yuvalarında oluşabilecek korozyon ve diğer süreksizliklerin açığa çıkarılması
5. Kaplama kalınlıklarının ölçümü, ayrıca iletken malzemelerin üzerindeki iletken olmayan kaplamaların kontrolü , ölçümleri
6. Malzemeye şekil verme uygulamaları sonrası boyutsal değişimlerin kontrolü
7. Çok küçük çaplı malzemelerdeki yapısal bütünlük kontrolü
8. Metalik olmayan malzemelerdeki, istenilen yada istenilmeyen metalik kısımların belirlenmesi
9. Metal tozu karışım oranlarının tayini ve metal tozundan üretilmiş kısımların sinterleme derecesi
10. Sertlik tayini
11. Korozyon ürünlerinin özellikle dairesel kesitli parçalardaki kalınlıklarının saptanması ve muhtemel etkilerinin belirlenmesi
12. Malzemedeki alaşım kısımlarının ayrılması ve tanımlanması
13. Mikro yapı ya da tane yapısıyla metalik malzemelerin çeşitlendirilmesi, ayrılması
14. İletkenlik ölçümü
15. Isıl işlem şartlarının belirlenmesi, meneviş kademeleri ve yaşlanma etkileri
16. Çeliklerdeki karbon içeriğinin belirlenmesi

17. Ferromanyetik malzemelerin alaşım kompozisyonlarının geçirgenliğe bağlı olarak saptanması
18. Magnetik malzemeler üzerindeki manyetik olmayan kaplamaların ölçümü
19. Magnetik geçirgenliğin ölçümü, ısıtılmalarmın magnetik geçirgenlik üzerindeki etkileri

Spesifik Uygulamalar

Spesifik uygulamalar üzerine, özellikle son yıllarda bir çok araştırma yapılmıştır. Bunların çoğu uçak endüstrisini kapsamaktadır, süreksizliklerin belirlenmesi ve ölçümü, girdap akımları tekniğinde gelişmiş metotlara kaymaktadır. Özellikle uçaklardaki; iniş takımları, kanat ve gövde, tekerlekler ve türbin kanatlarındaki üzerindeki uygulamalar gün geçtikçe önem kazanmakta dolayısıyla yöntemler hızla gelişmektedir. Diğer uygulamalara örnek olarak:

1. Farklı özellikteki prob teknikleri kullanılarak motorlardaki piston halkalarının konumlarının tayini
2. Prob sistemleri ile tungsten perçin yüzeylerindeki süreksizlerin tayini
3. Mutlak bobin tekniği kullanılarak, kaynaklı borulardaki kaynamamış kısmın genişlik ölçümü
4. Mutlak bobin kullanımı ile yüksek hassaslıkta tel gibi ince parçalardaki süreksizliklerin belirlenmesi
5. Özel problemler ile motor valfi kolunun belirlenmesi
6. Tek prob tekniği kapsamındaki kontroller
7. Hareketli iki prob kullanılarak motor valfi parçalarının testi verilebilir.

10. UÇAK ENDÜSTRİSİNDE ULTRASONİK TESTİN UYGULAMA ALANLARI

Uçak malzemelerinde, uçuş ve iniş sırasında zorlamalardan ya da diğer nedenlerden kaynaklanabilecek çatlak gelişimleri görülebilir. Bu yüzden çatlakların tanımlanması ve şartların belirlenmesi için, üretici firmaların uçak operatörlerine periyodik tahribatsız bakım konusunda bilgi ve prosedürü sağlamaları gerekmektedir. Çatlakların yeri, büyüklüğü ve şekli hakkındaki ayrıntılar böylelikle saptanabilecektir. Gözle görülebilir yüzeylerde muhtemel çatlak oluşumları için; gözle, penetrasyon yöntemiyle manyetik parçacık ya da girdap akımları ile muayene yapmak mümkündür. Ancak birçok katmanlardan oluşan detaylı bileşimlerde durum hassastır. İç yapıda ya da cıvata, perçin gibi bağlantı bölgelerinde çatlaklara sıkça rastlanır ve genellikle bu çatlaklar büyüyerek gözle görülebilir alanlara ulaşmadan belirlenemeyebilir. Fakat ara yüzey ve bağlantı organları gibi kritik bölgeler için; radyografik, x-ışınları ya da ultrasonik yöntemle erken bir kontrol yapılabilir.

Uçaklarda kapı ve pencere etraflarındaki gövde malzemeleri ince yapıda katmanlardan oluşur. Bu yapının kontrolü için genellikle radyografik yöntem kullanılır; ayrıca bu yöntem kanat, kapak, dümen ve iniş takımı gibi bağlantılı kısımlarda da uygulanabilir. Ultrasonik yöntem ise uçaktaki ince bağlantıları kontrol için başarılı sonuçlar verir. Gövde-kanat lehimlerinde ya da iç ve dış kanat bağlantılarında bu yöntem kullanılabilir.

10.1 Uçaklar için ultrasonik test prosedürleri

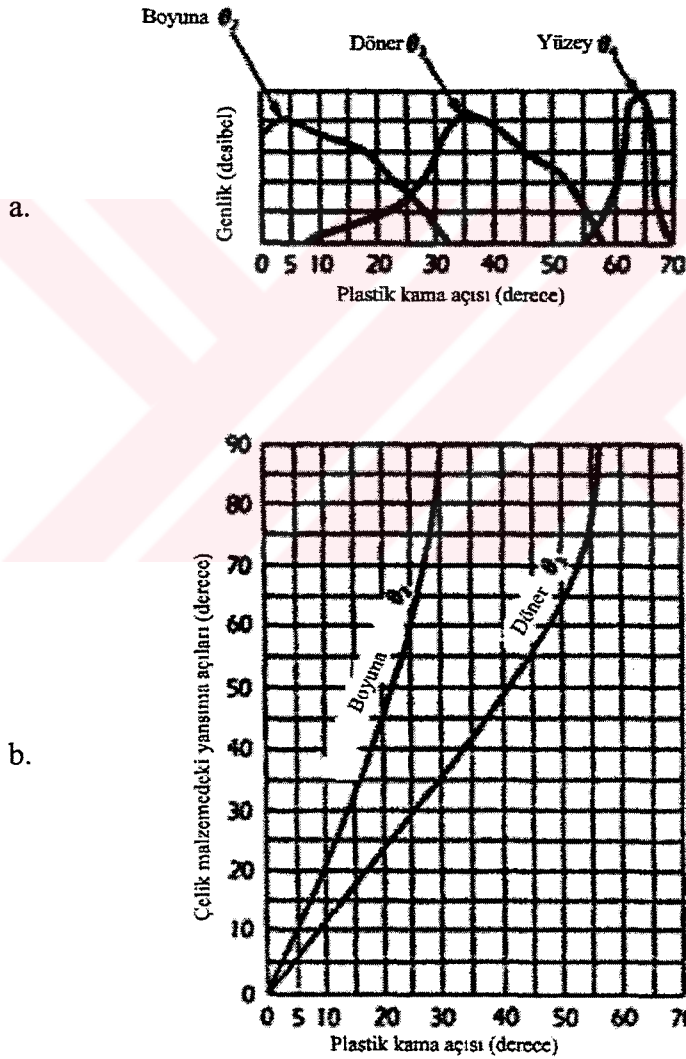
Testteki dalga modları

Darbe-yankı metodunda, prob içinde bulunan bir piezoelektrik kristalde oluşan ultrasonik enerjiye yüksek frekansta mekanik dalgalar formundadır. Probdaki piezoelektrik element, aynı zamanda test parçası içindeki süreksizliklerden yansıyan enerjiyi algılayan bir alıcı görevi de görmektedir. Teknik 3 dalga modu şeklinde uygulanabilir:

1. Boyuna dalga
2. Açılmal huzme
3. Yüzeysel dalgalar

Boyuna dalgalar, malzeme yüzeyi üzerinde istenilen her açıda yayınabilirler. Yatay ve yüzey dalgalar ise malzeme içinde eş zamanlıdır. Geliş açısı sıfır olduğunda oluşan ilk dalgalar boyuna dalgalar modundadır. Artan geliş açısıyla, derece derece boyuna dalgalar yatay dalgalara dönüşür. Kritik geliş açıları ise her bir dalga modunu tanımlar. Bu kritik açı; gelen huzmenin dalga hızı ve test parçası içindeki belirli bir dalga hızının fonksiyonu olmaktadır (Snell's kanunlarına göre). Her bir mod, kritik açı değerini aşan geliş açılarında, test parçasından bu mod değeri için elimine olur.

Örneğin yansıma açısı 90° 'yi geçtiğinde bunu görmek mümkündür. Ortam içindeki gelen açının hızı onu izleyenlerden daha az olmaktadır; çünkü değişen ortamla atomik yapıya bağlı olarak enerji düşmektedir. Bu yüzden artan geliş açısında, boyuna dalgaların kritik açı değerlerine ilk olarak ulaşılır (boyuna dalgalar enine ve yüzey dalgalarından daha hızlı yayılırlar). İlk kritik açı aşıldığında, boyuna dalga elimine olarak yerini enine ve yüzey dalgalarına bırakır. Artan geliş açılarında 2. kritik açının aşılmasıyla bu sefer enine dalgalar yerini yüzey dalgalarına bırakır. Şekil 10.1 'de akrilik kama kullanıldığı durumda çelik içindeki gelen ve yansıyan açı değerleri arasındaki ilişki gösterilmektedir. Eğer çelikten farklı bir malzeme kullanılırsa, akrilik kamaların kullanıldığı durumlarda Snell's formülüne göre saptanabilir.



Şekil 10.1 Geliş ve yansıma açısı arasındaki ilişki

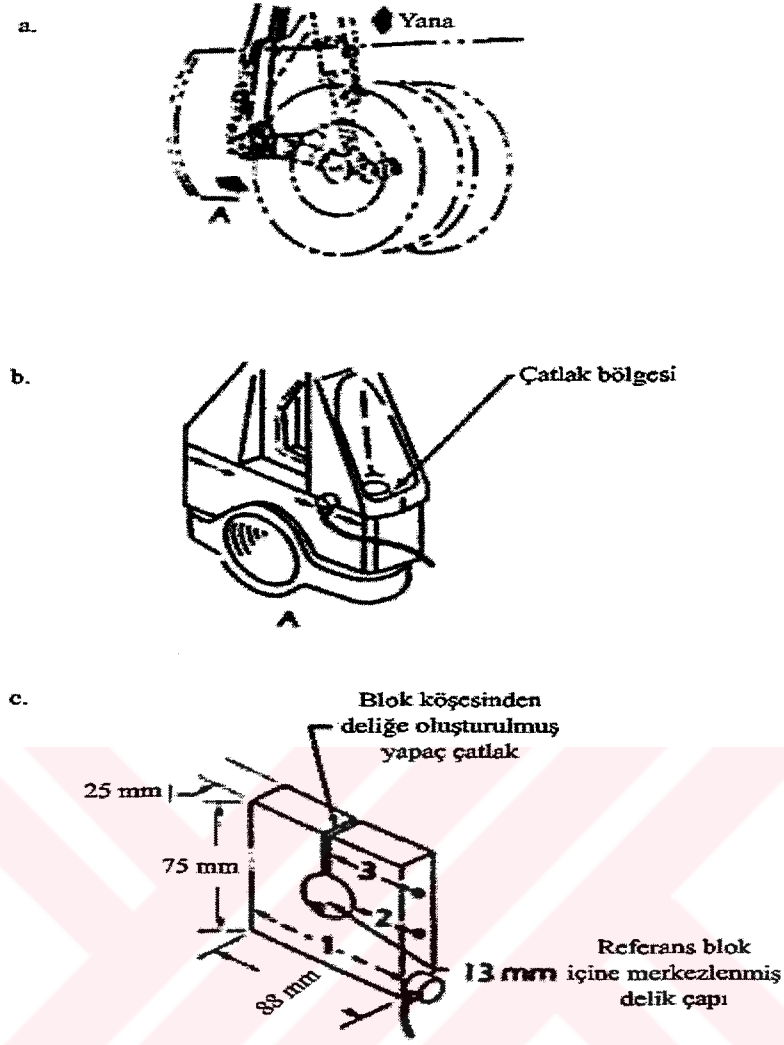
a. Genlik datası b. Açı datası

(NTH, s,635)

10.2 Referans Standartların Hazırlanması

İlk olarak muayenesi yapılacak parçanın köşe-kenar etkisini elimine etmek için uygun frekanstaki ses dalgaları gönderilmelidir. Referans blok doğal pisliklerden (kir, pas, yağ) olabildiğince uzak tutulmalı; test parçasının ısıtma işlemi, kimyasal kompozisyon, zayıflama katsayısı, hızı ve geometrik şekli gibi özellikleriyle uyumlu olmalıdır.

Kalibrasyon bloğunda, muhtemel malzeme hatalarına göre hazırlanmış yapay hatalar vardır ve bunların şekli, büyüklüğü ve konumu bilinmektedir. Bu referansla muayenesi yapılacak malzeme içerisindeki süreksizlikler farklı teknikler kullanılarak tanımlanabilir. Seri bir kontrol için en uygun bloğun seçimi, başarılı bir ultrasonik test için en önemli anahtardır. Özellikle uçak malzeme bileşimleri için prosedürü tam olarak uygulamak, test sonuçlarında çok etkili olmaktadır. Eğer referans standartlardaki yapay hatalar test prosedüründe açıklıkla belirlenebiliyorsa, gerçek hatalarda muayene sırasında o kadar net tanımlanabilir. Referans standartlar belirli bir test parçası için hassaslık seviyesini belirleyebilmelidir. Eğer seviye çok düşük olursa süreksizlikler gözden kaçabilir; tersi bir durumda ise doğal malzeme karakteristikleri sanki hataymış gibi görülebilir. Şekil 10. 2’de alüminyum referans standartlar kullanılarak iniş takımlarının ultrasonik muayenesi görülmektedir.

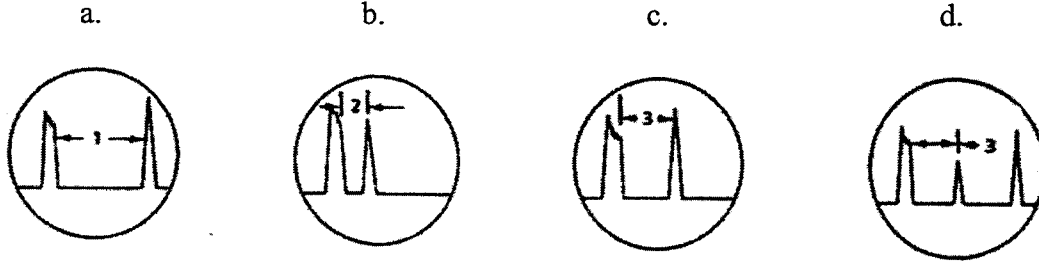


Şekil 10.2 İniş takımlarının referans standartlarla ultrasonik testi
(NTH, s,637)

10.3 Test Prosedürü

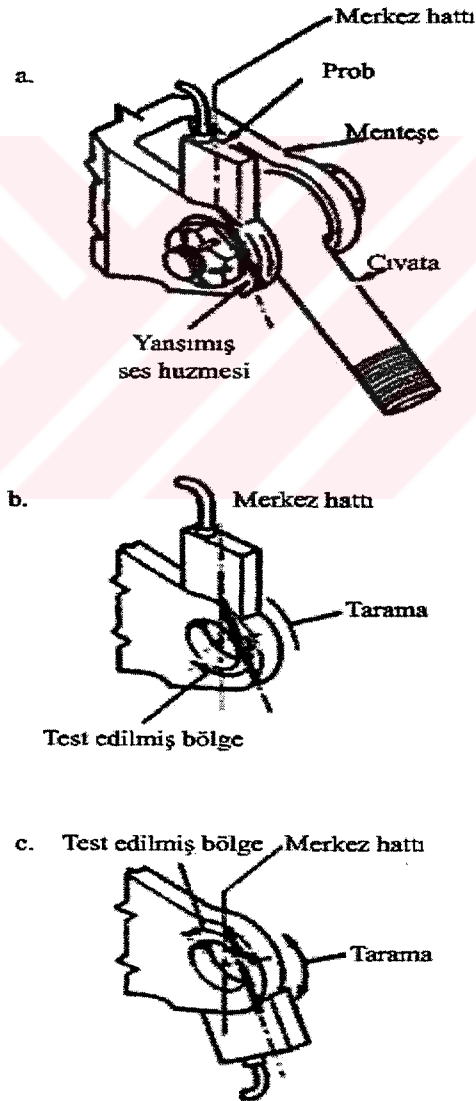
Tipik bir ultrasonik test için aşağıdaki adımlar izlenmektedir. Bu durum Şekil 10.3 ve Şekil 10.4'de görülmektedir.

1. Kalibrasyon için referans standartlar hazırlanır.
2. Parça temizlenir.
3. Test ekipmanlarının kontrol ayarları yapılır.
4. Kontrolü yapılacak alana uygun ortam sağlanır (temas testi için yağ esaslı bileşimler, daldırma testi için ise su).
5. Test parçası, bileşim özelliklerine göre gözden geçirilir.
6. Süreksizlikler; konum, büyüklük ve şekil olarak belirlenir ve tanımlanır.
7. Testten sonra, ultrasonik ekipmanlar bir diğer kontrol için hazır hale getirilir; eğer temas testi uygulanmışsa yağ parça üzerinden uzaklaştırılır.

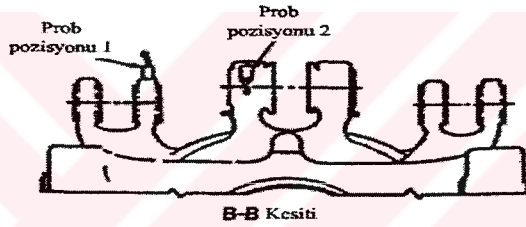
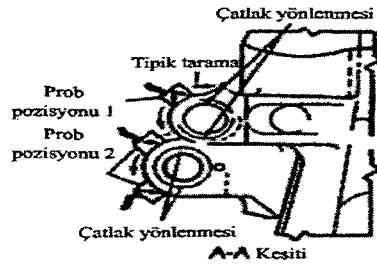
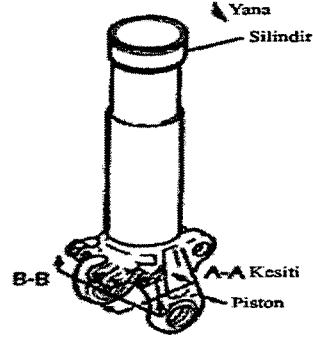


Şekil 10.3 İniş takımlarının osiloskop paternleri

- a. Solda başlangıç sinyali, sağda ise arka duvar sinyali görülmektedir.
- b. Delik köşe sinyali görülmektedir.
- c. Geniş bir çatlaktan gelen sinyal görülmektedir.
- d. Küçük bir çatlak sinyali görülmektedir.



Şekil 10.4 Menteşedeki çatlak kontrolü için ultrasonik test prosedürünün hazırlanması



Şekil 10.8 Piston silindirinin ultrasonik testi

(NTH, s,640)

10.4 Uçaklarda Zorlamalara Maruz Kalan Bölgelerin Ultrasonik Test Örnekleri

Uçaklarda zorlamalar (aşırı yük binen kanatlar ve iniş takımları gibi titreşime maruz kalan gölgeler) etkisinde kalan bölgelerde, yorulmalar sonucu oluşabilecek olası çatlak gelişimleri görülebilir. Bu kritik bölgelere taşınabilir ultrasonik cihazlarla test yapılmaktadır. Ancak belirli bir referansa göre hareket edilmesi gerektiğinden, önceden bu kritik bölgeler tespit edilerek aynı boyut, bileşim ve malzeme karakteristiklerinde bir test parçası hazırlanır. Bu test parçasının çatlak oluşabilecek bölgesinde yapay bir hata oluşturulur. Sonra test yapılarak çatlaktan alınan sinyal standartlar doğrultusunda; örneğin ekranın %80 'ni olacak şekilde düzenleme yapılır. Kazanç ayarlaması ile o değerdeki "dB " ölçülür kabul-ret kriterleri uzun deneyimler sonucu hesaplanarak belirli bir bölge için belirli bir referans parça hazırlanır. Sonra uçakların periyodik bakımlar sırasında, bu referans doğrultusunda ultrasonik test yapılır. Eğer bölge ret olursa değiştirilerek sorun giderilmiş olur. Test sırasında bir ya da daha çok dalga modu kullanılır. Eğimli olan bölgelere sadece boyuna dalga tekniğiyle test yapılabilir.

Bu bölgeler; ana ve arka kanatlar, kanatlara bağlı hareketli kanatçıklar ve yatay dengeleyicilerdir. Açıklanacak 2 metot bu uygulamayı kapsar. İlk metot da belirli bir açı altında dış eğimli yüzeyden iç eğimli yüzeye test uygulanır. 2. metot da ise gelen ışınlar, delik eksenine dikey konumdadır ve probun yanal hareketine izin verecek şekilde kırılan boyuna dalgalar dıştaki eğimli yüzeye teğet olurlar.

Metot 1 kolaylıkla uygulanabilir fakat gelen açılar, her bir delik çapı için ayarlanmalıdır. 2. metot biraz zor olmasına rağmen aynı ekipmanlarla farklı çaplardaki kontrole imkan verir. Özel referans standartlar her iki metot içinde gereklidir.

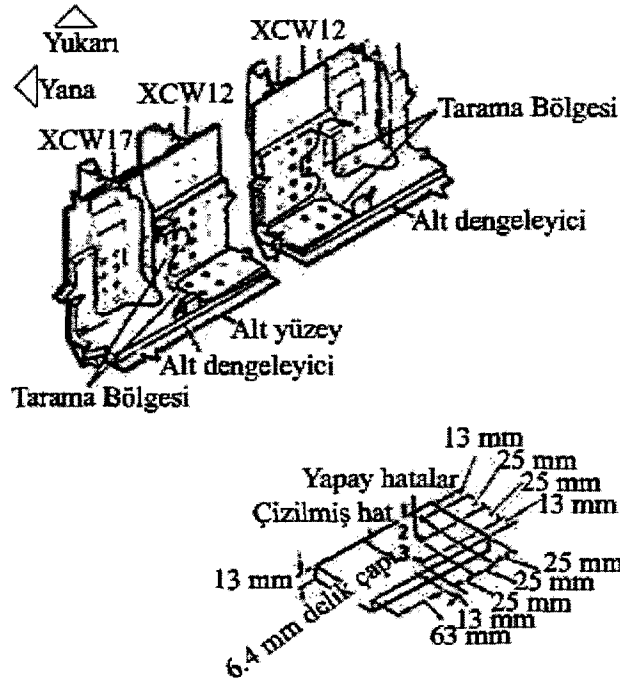
10.5 Çatlak Yapılar için Test

Uçak yapılarındaki tipik ultrasonik test uygulaması Şekil 10.8’de gösterilmiştir. Şekil 10.8’de çeşitli bağlantı parçalarıyla , iniş takımı piston silindirin kontrolü için gerekli bilgiler verilmiştir. Çizelge 10.1’de R_0 , D_1 , θ_1 ve θ_3 değerleri tanımlanmaktadır. D_0 ve D_i yönleri referans standartların hazırlanması için verilmiştir.

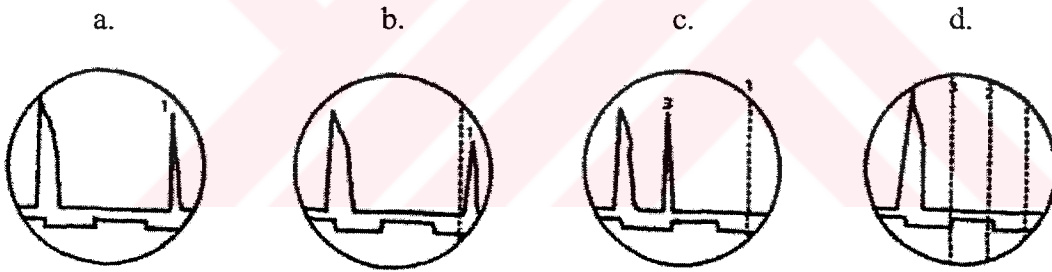
Çizelge 10.1 Test değerleri

Konum	R_0 (mm)	D_1 (mm)	θ_1 (derece)	θ_3 (derece)
1	33	41	21	24
2	38	46	21	24

Şekil 10.9 ve Şekil 10.10’da ise uçak kanadı ana kirişini kontrol için yatay dalgalar gönderilmiştir. Ayrıca, prob konumu referans standart yönleri ve ekrandan bazı görüntüler gösterilmiştir. Referans standartlar, testi yapılacak parça karakteristiklerine göre dizayn edilirler. Döner dalga test metodu yardımıyla ; uçak kanadı ana kirişi yatay ve dikey ayalarındaki yorulma çatlakları tespit edilebilir. Uçaktaki böyle bir bölge konumu nedeniyle yüksek gerilimli bir bölgedir ve genellikle birbirine komşu 2 dış perçin arasında çatlak oluşumları gözlemlenir. Bu çatlaklar uçak boyu boyunca oluştukları bölgelerden arka kısımları doğru ilerleme gösterirler ve bu yüzden döner dalda testi değeri çatlak yönüne normal olur. Uçak konstrüksiyonu dizaynı nedeniyle bazen bu çatlaklar ara bölgede kalmış olsa da , ultrasonik test ile çoğu zaman başarılı sonuçlar almak mümkün olmaktadır.



Şekil 10.9 Kanat ön dengeleyicisinin ultrasonik testi, bileşim diyagramı ve 7075 ya da 2024 alüminyum referans standartı görülmektedir.
(NTH, s,644)

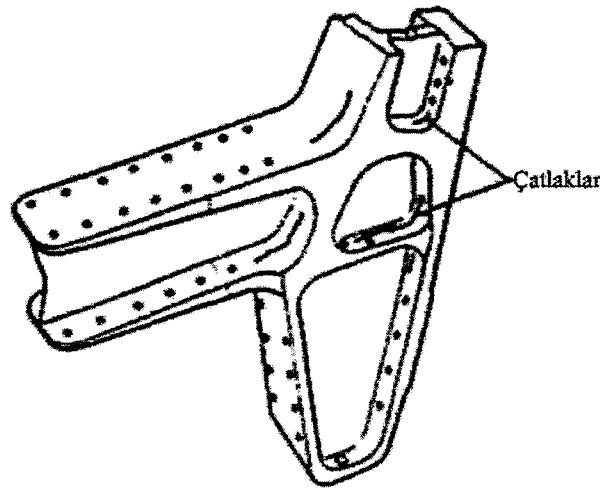


Şekil 10.10 Kanat merkezi ön dengeleyici bağlantısının, ultrasonik test osiloskop patenleri görülmektedir.

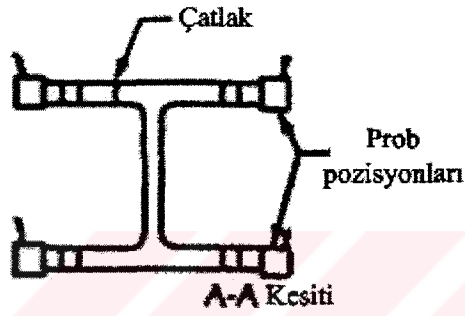
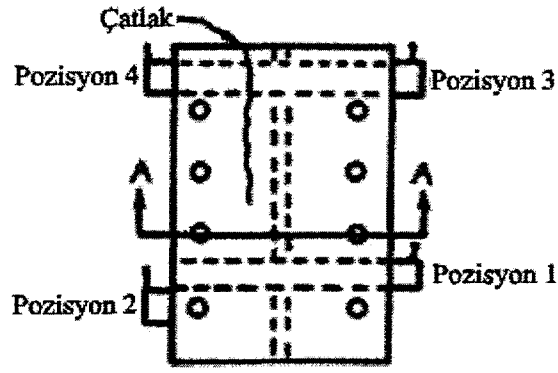
- Delik merkezinden yansıma görülmektedir (1).
- Delik köşesinden çatlak uzanımı görülmektedir (1).
- Delik köşesinden çatlak uzanımı görülmektedir (3).
- Hiçbir çatlak oluşumu gözlenmemektedir, 1,2,3 numaraları delik pozisyonlarını temsil etmektedir.

Alüminyum alaşımlarından 7075 ve 7079 gerilmeli korozyona karşı aşırı duyarlı olmaktadır. Bu özellikle; “T6” diye nitelendirilen ısıtılma işlem ve yaşlandırma işlemlerine tabi tutulmuş, özellikle kısa, boydan boya yönlenme gösteren tane yapılarında görülmektedir.

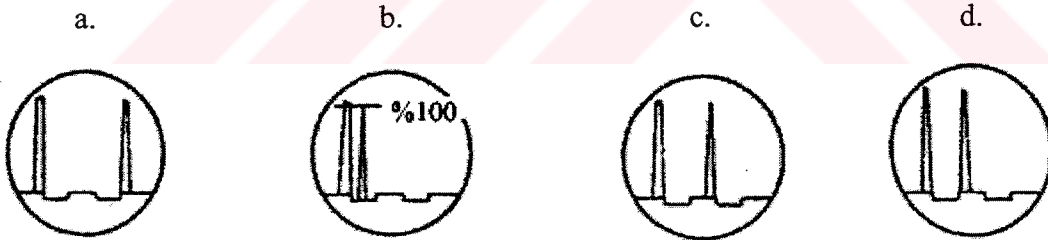
Alaşımların bu olumsuz özelliğine rağmen, endüstride birçok temel uygulamada kullanım alanı bulmaktadırlar. Çünkü yüksek bir gerilim direnci göstermektedirler. Gerilmeli korozyonda parçadaki çatlaklar, korozyon ürünleri etkisine maruz kalıp oluşmakta ve ilerlemektedirler. Bu tür korozyonların önceden tespiti ya da tahmini oluşum süreçleri belirsiz olabildiğinden önemleri daha da artmaktadır. Çatlağı etkileyen faktörler ve ortam içerisindeki korozyon ürünlerinin niteliğini saptamak için bu periyodu gözlemlemek gerekmektedir. Çatlak oluşum zamanı değişkenliği, üzerinde önemle durulması gereken bir sorundur. Çünkü tekrarlanabilir testlerde süreyi ayarlamak oldukça güç olmaktadır. Bazı durumlarda bileşimlerde görülebilecek çatlaklar, montajdan önce, yüksek artık gerilme sonucu oluşabilmektedir. Benzer çatlaklar 7075 – T₆ kanat üstü bağlantı elemanlarında meydana gelmektedir. Şekil 10.11 'de bu durum gösterilmektedir. Bu parçaların testi ise ancak kabin koltukları ve iç yan panelin sökülmesiyle mümkündür. Bir alternatif olarak göz ile yapılan kontroller ise zor olabilmekte, küçük çatlaklar gözden kaçabilmektedir. Böyle bir durumda gözle muayene yerine Şekil 10.12 ve Şekil 10.13 'de görülen boyuna dalgalarla yapılacak bir ultrasonik test önerilebilir. Bu örnekte prob parçanın köşelerine konumlandırılmıştır; böylelikle ultrasonik huzme çatlakla normal yaparak en yüksek yansıma sağlanabilmektedir. Şekil 10.14 'da 7075-T6 alüminyum bir malzemenin çatlak yönleri ve ultrasonik test alanları gösterilmektedir. Operatör muayene sonuçlarını rapor etmeli ve gerekli önlemler acilen alınmalıdır. Bu tür çatlaklar, panelde ya da yatay dengeleyicide görülmektedir. Bahsedilen parçaların ultrasonik testi ile, çatlaklar saptanabilmekte ve boyları belirlenebilmektedir. Eğer çatlaklar uçağın bir süre daha güvenli bir şekilde uçuşmasına izin verebilecek önemsizlikteyse, belirli limitler dahilinde bu kabul edilebilir. Aksi durumda ise parça bakıma alınmalı, gerekiyorsa yerine yenisi montaj edilmelidir.



Şekil 10.11 7075-T6 alüminyum malzemesindeki gerilmeli korozyon çatlağı

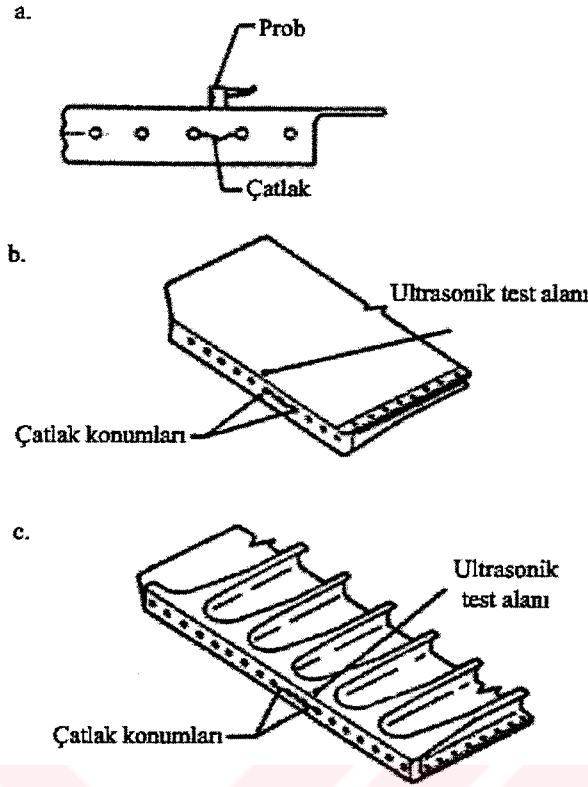


Şekil 10.12 Pencere bölgesi, gerilmeli korozyon çatlığının ultrasonik testi
(NTH, s,646)



Şekil 10.13 Gerilmeli korozyon çatlığı ultrasonik paternleri görülmektedir.

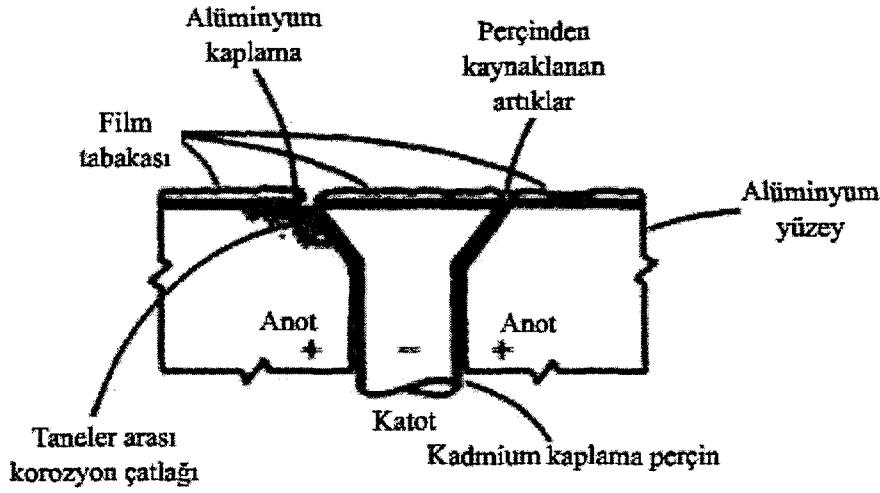
- a. Çatlak yoktur, sadece arka duvar yankısı görülmektedir(konum 1).
- b. Perçin deliği yankısı görülmektedir (konum 2).
- c. Çatlak yankısı görülmektedir (konum 3).
- d. Yakın çatlak yankısı görülmektedir (konum4).



Şekil 10.14 7075-T6 alüminyum malzemenin çatlak yönleri ve ultrasonik test alanları
(NTH, s,647)

10.6 Alüminyum kanat kaplamalarındaki galvanik korozyon

Çelik ve alüminyum gibi galvanik olarak benzer olmayan 2 metalin galvanik tabakalaşma korozyonuna neden olduğu bilinse de, bazen uçak dizaynlarında bu iki metal kaçınılmaz olarak birbirleriyle birleştirilmeyi gerektirmektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda, temastaki yüzeyler elektriksel olarak organik bir boya ile yada yüzeylerden bir diğeri ile galvanik olarak uygun bir metal ile kaplanacak şekilde dizaynlara gidilmelidir. Örneğin, bir çok farklı uçakta kadmiyum ile kaplanmış çelik cıvatalar kullanılmaktadır. Kadmiyum kaplama, çelik cıvatayı yalnız korozyondan korumakla kalmaz ayrıca alüminyumla benzer galvanik bir yüzey oluşturacağından muhtemel bir tabakalaşma korozyonunu da engeller. Bununla birlikte yapılan periyodik kontrollerde kadmiyumlu yüzeyin tükendiği yada cıvata başı ile alüminyum yüzey arasındaki nemli ortamın varlığı gözden kaçarsa; oyuklanma ve taneler arası korozyon da meydana gelebilir. Bu durum Şekil 10.6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 10.15 Alüminyum kaplamada içinde oluşmuş korozyonun galvanik kalıntıları

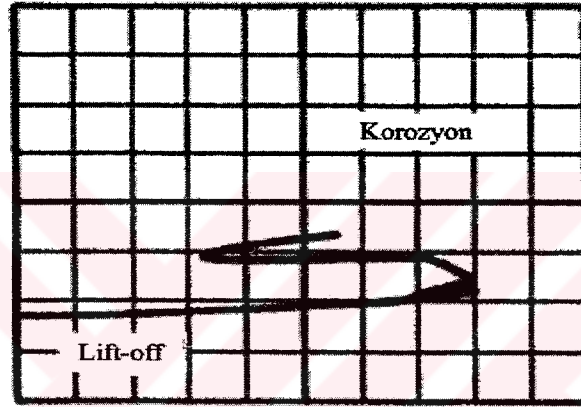
Taneler arası korozyonu tabaka ve kaplamalarda alüminyum tane sınırları boyunca malzeme yüzeyine paralel yönlenmelerde haddelme işlemi nedeniyle oluşur. Taneler arası korozyon, tabakalaşma korozyonunun daha şiddetli bir şeklidir ve yüzeye paralel alüminyum katmanları arasında beyaz korozyon ürünlerini oluşturmaktadır. Perçinlerin bulunduğu bölgelerde korozyon, perçin deliğinden dışarı doğru gelişim gösterir. Bu gelişim tüm bir delik etrafında yada kısmi olarak gerçekleşebilir. Bu bölgelerdeki korozyon tesbiti için ultrasonik yöntemin yanı sıra girdap akımları yöntemi de sıkça kullanılmaktadır.

Uçak servise girdikten sonra yapılacak kalite kontrol teknikleri ve yapının bakımı (uçak gövde ve kanatlarının mikroyapı kontrolü), yüksek seviyede bir güvenliği sağlamak için temel esastır. Tecrübeler göstermiştir ki, ticari uçaklardaki yapısal bütünlük, periyodik olarak ilgili standartlarca belirlenen operasyonlarla kontrol edildiğinde ve bakım programları sertifikalı operatörlerce uygulandığında etkin bir güvenlik sağlanmaktadır. Buna rağmen, uçağın uzun bir servis ömründen sonra, yorulma çatlakları ve korozyonlu yorulma, korozyonun yol açtığı çeşitli hasarlar beklenmelidir. Çeşitli çatlak biçimleri ve korozyonun yol açtığı hasarlardan alınan raporlarla geçen yıllar içerisinde tahribatsız muayene yöntemleri gelişmiş, dolayısıyla uçakların yapısal bütünlükleri daha güvenceli bir şekilde kontrol altına alınmıştır.

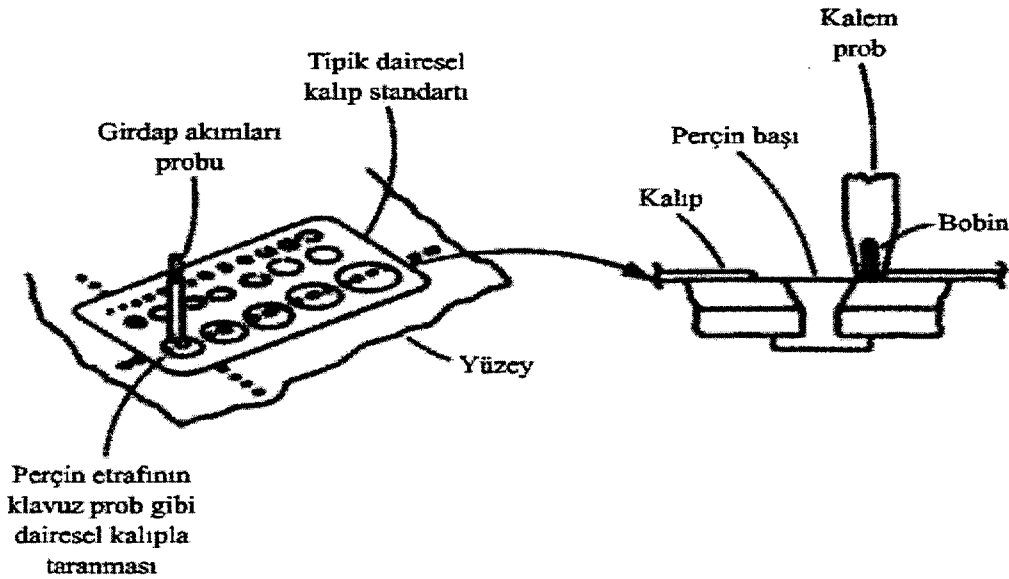
Hasar toleransları ve devamlılık gösteren güvenilir tahribatsız muayene yöntemleri göstermiştir ki, dar yorulma, çatlakları ve korozyonun yol açtığı hasarlarda, girdap akımları yöntemi diğer yöntemlere göre birçok üstünlük sağlamaktadır. Bu yüzden, tahribatsız muayene mühendisleri birçok girdap akımı tekniği geliştirmişlerdir. Yüksek frekanslı girdap akımları testinde, uçak üzerindeki aşınmış bölgeden bir örnek kullanılarak cihaz kalibre edilir.

Tabakalaşma korozyon tipinden alınan bir sinyal Şekil 10.17’de de gösterilmiştir. Şekil 10.18 ‘de de yüksek frekans kalem nokta probu ve dairesel şablon gösterilmiştir. Bu sistemle çok küçük korozyon alanları belirlenebilmektedir. Bu dairesel şablon her bir bağlayıcının üzerine merkezlenir ve 360° de proba tarama yapılır. Korozyondan alınacak sinyaller “CRT” üzerinde ve elektronik olarak silinene kadar görülür. Bu metot oldukça yavaş olmasına rağmen, bağlayıcı etrafındaki çok küçük korozyon alanları net olarak saptanabilir.

Yöntemdeki faz-analiz sonuçları, operatörün kolayca osiloskoptan empedans sinyallerini almasını sağlar. Eğer test parçası çatlak ya da korozyon içeriyorsa, hatayı algılayan prob bunu hemen osibloskoba bildirir ve ekranda yada çıktıda bu hata açıkça belli olur. Cihaz 100 Hz ile 6 MHz arasında çalışır ve operatör verilen malzemeye göre en uygun frekansı seçer.



Şekil 10.16 Tabakalaşma bölgesinden alınan sinyal



Şekil 10.17 Yüksek frekans kalem nokta probu ve dairesel şablon

(ASTM, Ref. 13, s,191)

11. GİRDAP AKIMLARI YÖNTEMİNİN UÇAKLARDAKİ KRİTİK BÖLGELERE UYGULANMASI

11.1 Uçaklarda Bindirme Birleştirmeli Bölgelerdeki Ara Yüzey Korozyon Oluşumlarının Çift Frekanslı Girdap Akımları Tekniği ile Muayenesi

Ticari uçaklarda bindirme birleştirmeli bölgelerden beklenen muhtemel korozyon oluşumları için ilk kontrol göz muayenesi ile yapılır. Tek frekans girdap akımları tekniği yüzey ile alt katmanlar arasındaki korozyonu tanımlamak için kullanılır. Üst yüzey korozyonlarını tespit etmede önemli bir problemle karşılaşılmasına karşın alt yüzeylerdeki korozyonu tanımlamada güçlüklerle karşılaşmaktadır. Çünkü korozyonun üstündeki yüzey, sanki farklı bir süreksizlikmiş gibi davranmaktadır. Bu yüzden birleştirmeli bölgeyi açmadan net bir tanımlama yapmak mümkün olmamaktadır. Ancak çift frekans yöntemi ile bu sorun ortadan kalkmaktadır (Thompson,1993).

Uçak endüstrisinde korozyon çok kritik bir problemdir. Çünkü uçakların ilgili bölgelerde yorulma mukavemetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yüzden ticari uçaklarda belirli hasar toleransları göz önüne alınarak dizayn yapılmaktadır. Periyodik kontrollerle muhtemel yorulma bölgeleri tespit edilerek önceden müdahale çok önemlidir.

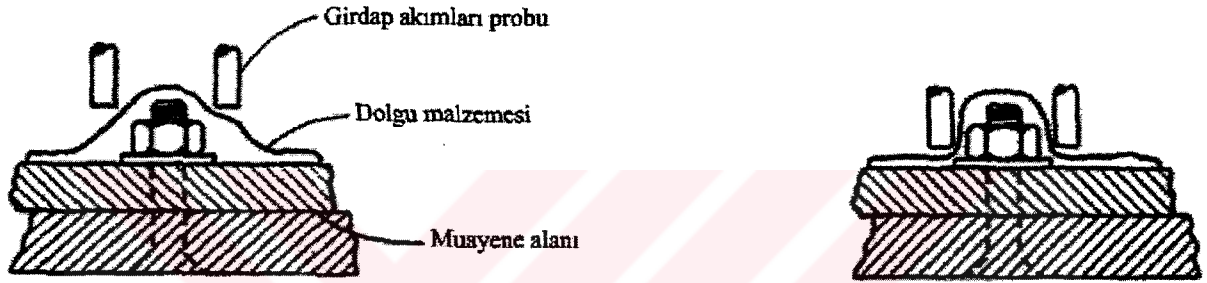
Uçaklarda; perçin, kaynak ve lehim gibi bağlantı noktaları herhangi bir arızaya karşı etkili bir güvenlik önlemi olmasına karşın, korozyona hassasiyet gösterirler. Öte yandan bindirme birleştirmeli kısımlarda özellikli alanlardır. Çünkü gövdedeki basınç dengesi bozulabilmektedir. Uçak gövdesindeki bu tür kısımların ilk korozyon ürünleri yakın göz muayenesi ile saptanabilmektedir. Uçaklarda spesifik korozyon belirtilerine örnek olarak, bağlayıcılara komşu bölgelerdeki tümsekler, çatlaklar, hasar görmüş perçinler ya da küçük korozyon ürün kalıntıları verilebilir. Gözle yapılan kontrollerden sonra bu alanlara girdap akımları testi uygulanarak sonuçlardan emin olunmalıdır.

Birleştirmeli bölgelerdeki korozyonu 2 kategoriye ayırmak mümkündür. İlki üst yapıda çıplak gözle bile görülebilecek korozyondur. İkincisi ise daha ciddi olup, ara katmanlar arasında oluşur. Kontroller bu katmanlar göz önüne alınarak tek ya da çift frekanslı olarak uygulanmalıdır. Ticari uçak servis bültenlerine göre her bir katmanda karşılaşılabilecek korozyon ürünleri %10 oranı ile standartlaştırılmıştır. Bu orana gelindiğinde gerekli önlemler acilen alınmalıdır. Aşağıda verilecek 5 örnek, girdap akımları yönteminin uçak endüstrisi üzerindeki çok yönlü uygulamalarını göstermektedir.

11.2 Perçinlere Uygulanan Sızdırmazlık Elemanlarının Yüzey Çatlaklarını Maskaemesi Problemi

Sızdırmazlık elemanları iç kanat yüzeyindeki bağlayıcılar etrafında sıkça kullanılırlar. Sızdırmazlık elemanları yakıt sızıntısını engellemek için uygulanır ayrıca kanadı ve bağlayıcıyı korozyondan korur.

Ancak sızdırmazlık elemanları kullanımındaki olumsuz bir durum, yüzeyi örterek kanattaki muhtemel yorulma çatlağı oluşumlarının gözle muayenesini engellemesidir. Sızdırmazlık elemanları uygulanan bölgenin girdap akımlarıyla muayenesini sağlamak için, bağlayıcı etrafındaki sızdırmazlık elemanları gereken oranlarda giderilir. Prob yüzeyden 1,3 mm iç bölgeye kadar tarama yapabilir. Yeni geliştirilen benzer metotla muayene derinliği 2,54 mm'ye kadar ulaşabilmiştir. Bu durum Şekil 11.1'de gösterilmiştir.



Şekil 11.1 Dolgu malzemesi ile kaplanmış perçinin girdap akımları ile testi
(ASTM, Ref. 13, s,191)

Ekipmanlar, empedans-düzlem gibi çok amaçlı girdap akım cihazlarında oluşur. Bazı durumlarda ekipmanlar kanat iç yüzeyini kontrol için oldukça büyük, yer kaplayan bir biçimde olabilmektedir. Bu durum söz konusu olduğunda, bir operatör proba elle muayene yaparken, diğeri de prob-ekran bağlantısını sağlayarak kontrol yapmaktadır. Prob operatörü muayene sırasında referans standartlar içindeki eksikleri periyodik olarak taramalı, böylelikle cihaz operatör için gerekli yorumu sağlayabilmelidir. İki operatörde uyum içerisinde olmalıdır. Bu, hataların tanımlanması ve korozyondan tam korunması için şarttır.

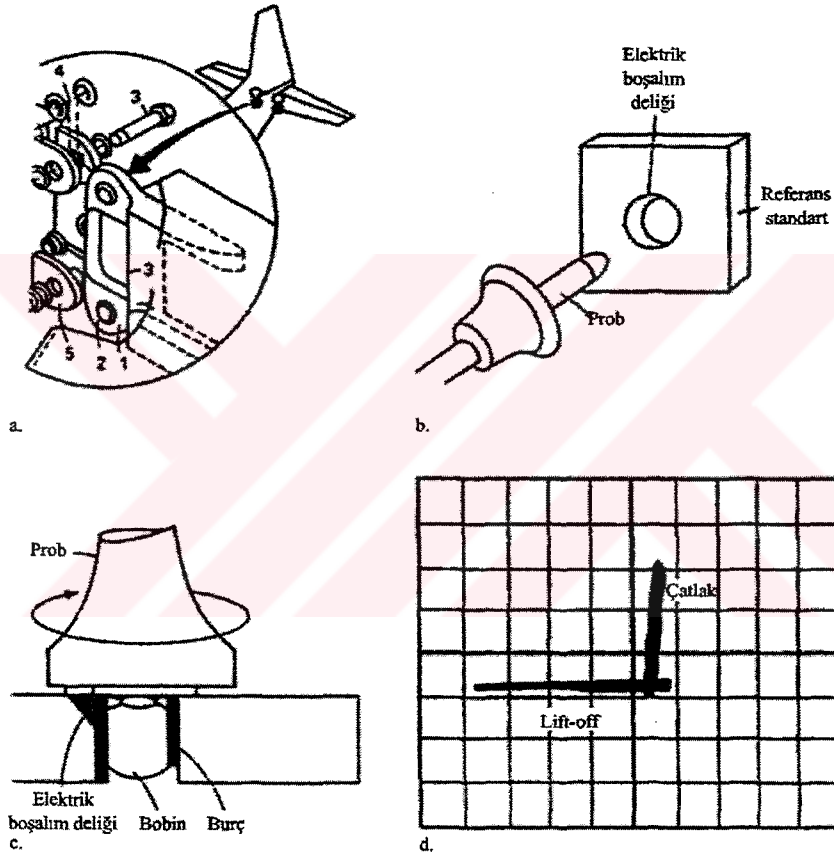
11.3 Clevis / Luq Bağlantısı İçinde Kullanılan Manyetik Olmayan Burçlardaki Çatlak Oluşumları:

Uçak parçaları arasındaki bağlantı noktaları, çatlaklar ve korozyon için en kritik bölgelerdir. Ayrıca kontrol ve korunum oldukça zordur. Clevis / Luq bağlantısı uçağın piston kısmındadır ve çatlak muayenesi için bu bağlantıyı söküp kaldırmak oldukça zor ve pahalıdır. Şekil 11.2'de de tipik bağlantı noktaları görülmektedir.

Referans standartlar, uygun kalınlıktaki malzemelerden yapılmıştır. Şekil-a 'da kuyruk kısmı ve üstündeki bağlantı noktaları, b'de referans standart ve prob, c'de muayene sırasındaki döner probun konumu d'de ise çatlak varlığı durumundan bundan alınacak sinyal ekranda gösterilmiştir.

Kalibrasyondan sonra cıvata deliğine oturtulan prob, kontrol yapar. Prob yaklaşık 1,59 mm içeriye uzanır ve 360° dönerek muayene eder.

Burçlar bakır alaşımından olup, kalınlığı 1,5 mm kadardır ve iletkenliği %25 ile 30 IACS büyüklüğünde 1 ile 2 kHz frekansında kolayca penetre olabilmektedir.



Şekil 11.2 Bağlantı elemanları altındaki çatlakların girdap akımları testi
(ASTM, Ref. 13, s,192)

11.4 Birleşme Noktalarındaki Yorulma Çatlaklarının Tanımlanması

Yüzey ve yüzey altı yorulma çatlakları uçakta genellikle, bağlantı noktaları gibi yüksek konsantrasyonda gerilim içeren bölgelerde görülmektedir. 100-300 kHz gibi yüksek bir frekans aralığında, küçük çaplı probalar ile çatlak muayenesi yapmak mümkündür. Referans standartlar, çeşitli malzemelerden oluşturulur ve küçük elektrik yük boşaltım makinesi çentiği dış yüzey köşesi ile bağlayıcı arasına ayarlanarak konumlandırılır.

Yüksek frekans probu referans standardı üzerindeki şablon etrafında tarama yapar. Dairesel şablon prob için bir kılavuz görevini görür.

Alt yüzey çatlakları meydana çıkarıldığında, düşük frekans girdap akımları tekniği kullanılabilir. Karşılaşılan genel durum, nüfuz edilebilen kalın yapılarda, düşük frekans kullanılır. Bununla birlikte düşük frekanslarda, belirlenebilir hatalar büyük hale gelir.

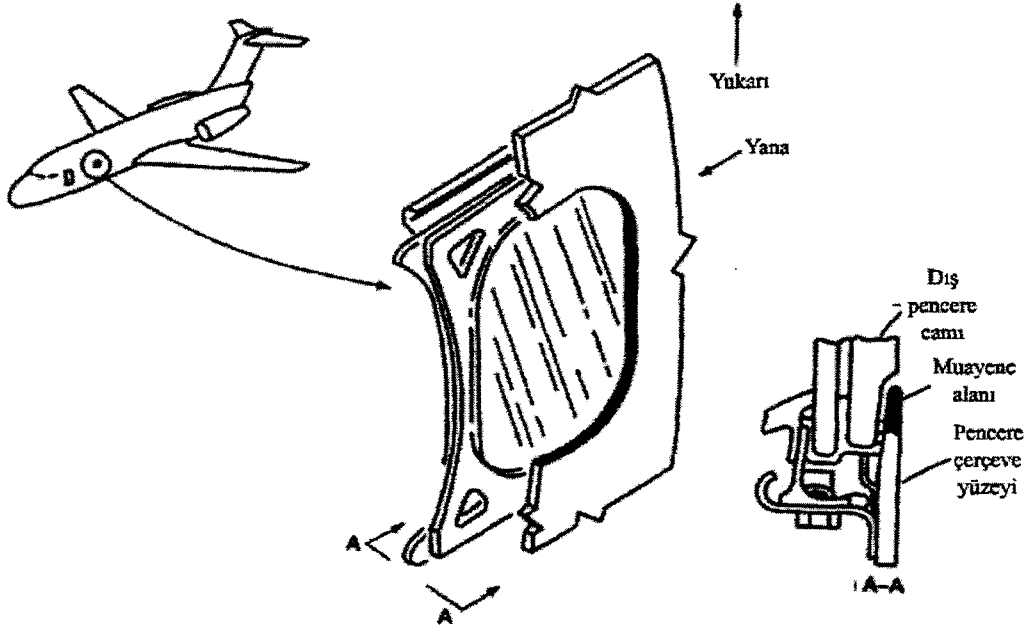
11.5 Uçak Penceresi Panelindeki Yüzey Altı Gizli Korozyonu

Uçakların çeşitli alt yüzey alanlarında korozyon meydana gelebilir. Bu tarz korozyonların muayenesi uzun bakımlarla ortaya çıkarılabilir. Son zamanlarda alt yüzey korozyon oluşumları tespitine yönelik tahribatsız muayene yöntemlerinde önemli gelişimler görülmüştür. Kontrol düşük frekansta (<10 kHz) olmakta ve pencere paneli muayene edilebilmektedir. Bu muayene uçağın her iki tarafındaki her bir pencereye uygulanabilmektedir. Operasyon frekansı 1-2,5 kHz arasındadır, derinlik 6,4 ile 9,5 mm arasında değişmektedir. Şekil 11.3 'de bu durum gösterilmektedir.

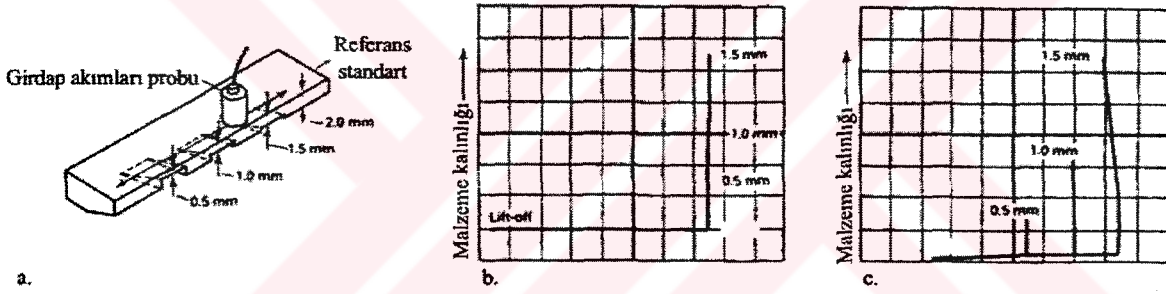
Referans standartlarla, değişik derecedeki korozyon kalınlıkları için kalibrasyon, Şekil-a da görülmektedir.

CRT ekranında cevaplar görülmektedir. Referans standart üzerindeki prob adım adım farklı kalınlıktaki noktaları taradığında, değişim CRT üzerinde izlenebilmektedir (Şekil 11.4). Şekil 11.5'de ise frekansa bağlı olarak, saptanabilir ara yüzey çatlak genişlikleri verilmiştir.

Kalibrasyon işleminden sonra, alt yüzey çatlak ve korozyonlarını tespit için kontrol yapılır. Operatör ekranda gördüğü değişimleri not eder, çatlak boyutlarını belirler. Korozyonlu bölgelerde ise malzeme kaybı geriye kalan bölgeye göre saptanır.



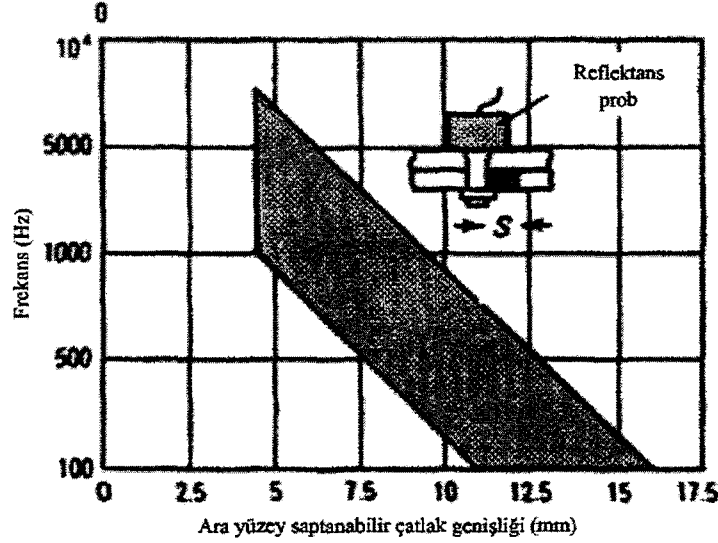
Şekil 11.3 Uçak pencere panelindeki arayüzey korozyonu alanı



Şekil 11.4 Uçak pencere panelindeki arayüzey korozyonunun saptanması için uygulanan kalibrasyon prosedürü

(ASTM, Ref. 13, s,193)

- 0.5-2 mm korozyon kalınlığı değişiminde, değişen açılarda referans standart uygulaması
- 2.25 kHz'de malzeme kalınlığının CRT ekranında gösterimi
- Değişen malzeme kalınlıklarında genlik kararlılığının CRT ekranında gösterimi



Şekil 11.5 Frekansa bağlı olarak, saptanabilir ara yüzey çatlak genişlikleri
(ASTM, Ref. 13, s,194)

11.6 Dikey Dengeleyici Uçak Ana Kirişi Çatlak ve Korozyonunun Girdap Akımları Tekniği P-3C Prosesi ile Belirlenmesi

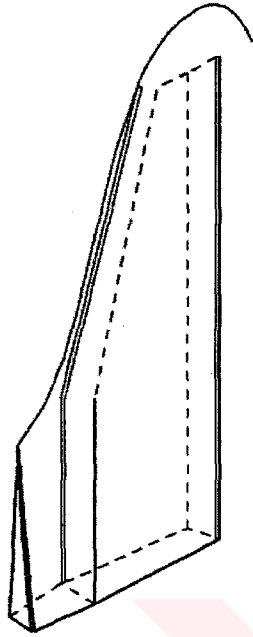
P-3C bölgesi kritik çatlak ve korozyon alanlarının tahribatsız muayenesi Amerikan Deniz Kuvvetlerince üzerinde önemle durulan bir konudur. Teknikler; uçaklarda malzeme şartlarının iyileştirilmesi ve oluşabilecek olumsuzlukların erken tespitini gerektirecek nitelikte geliştirilmektedir. Son tahribatsız muayene sistemlerini araştırmak, P-3C kontrol prosesinin ilerlemesini sağlayarak, test doğruluklarını arttırıp, verim oranını yükseltmek üzere ordunun istekleri doğrultusunda (RSC)' nin uygulanacak NDT üzerine çalışmaları vardır.

Çatlak ve korozyonların hızlı, ekonomik ve güvenilirlikle tespiti için NDT personelinin, gelişmiş metotlara ihtiyacı vardır. Perçinli bölgelerdeki, perçin deliklerinden yayılacak çatlakları ve korozyon biçimlerini, uçaklardaki yapısal bütünlüğü sağlayacak biçimde tanımlamak için test yöntemleri ve cihazlar geliştirilmektedir. Radyografik yöntem, bu tarz kontroller için önemli sonuçlar verse de, ekonomik şartlar nedeniyle tercih edilmemekte ve bu durum diğer tekniklerin zorunlu gelişimini sağlamaktadır.

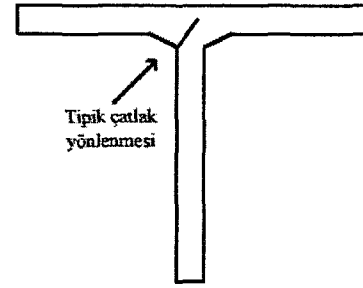
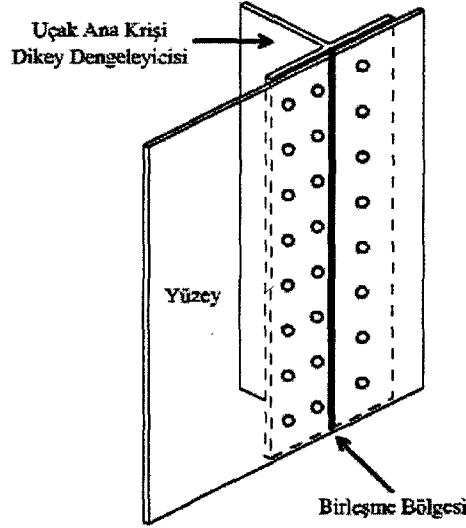
Radyografi malzeme katmanları arasındaki korozyonu tespit etmede etkiliyken, belirtilen nedenlerden dolayı kullanım tercihi değildir. Ultrasonik yöntem ise sadece ilk katmanda muayeneyi mümkün kılar. Gözle muayene ise ancak ilerleyen korozyon oluşumlarında etkilidir ve çoğu zaman bakım, parçanın komple değiştirilmesini gerektirir. Bu nedenle, ince katmanlı yapılar için ikincil katman korozyonu, girdap akımları tekniği ile RSC tarafından bir NDT tekniği olarak standartlaştırılmıştır.

Test için bu prosedür çok az bir yüzey hazırlığına izin verir. Bu tekniğin uygulandığı parçalar Şekil 11.6'da verilmiştir (Steven ve James, 2001).

a.



b.



Şekil 11.6 Dikey dengeleyici ana kirişindeki test alanları

(Steven ve James, 2001, s,167)

a. Dikey dengeleyici görünümü

b. Dikey dengeleyicideki tipik çatlak oluşumu

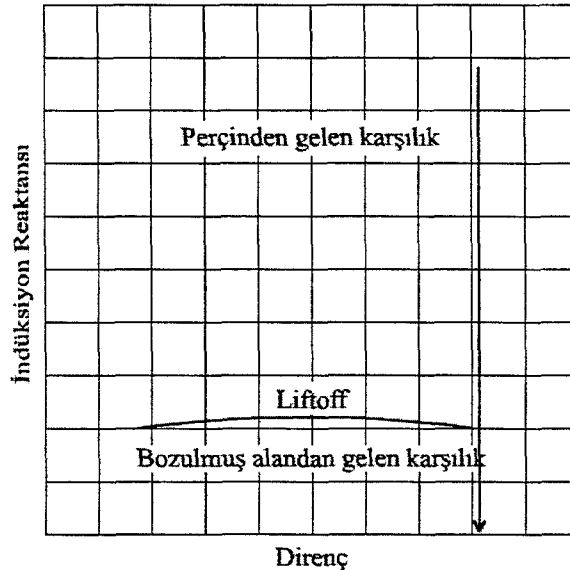
Dikey dengeleyici malzemesinin özelliği gereği, giriciliğin düşük olması X-ışınları ile muayenesini güç kılmaktadır. Ayrıca dikey dengeleyicinin boyuna ve çapraz doğrultularda değişen kalınlığı, düşük frekans girdap akımları yöntemlerini de zorlaştırmaktadır. Bu yüzden öncelikle düşük ve yüksek frekans tekniği yüzey çatlakları için uygulanırken, sonraları nokta problarla kazanılan başarıyla sistem terk edilmiştir. Gözle muayene yöntemi, (SRP) üzerinde NDT ile aynı zamanda denenmiştir ve böylece nokta prob kullanılarak yapılan düşük frekans girdap akım tekniğinin, birincil ve ikincil katmanlardaki çatlak ve korozyon tespitinde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Referans standartlar; cihazların, probun ve test bölgesinin kalibrasyonu için geliştirilmiştir. Yapı ve altyapılar değişir kalınlıkta, köşe mesafeleri ve bağlayıcı boşluklar içerir. Bu referans standartlar, bu alanlarla en iyi geometrik uyumu ve benzerliği gösterecek şekilde olursa, kontrollerde o denli kolay ve net olmaktadır. Bu geometrik varyasyonlar, alışlagelmiş girdap akımları metotlarını zorlaştırmaktadır. Birçok kalibrasyon test bölgesinin karmaşık yapısıyla uyumlu olmayı gerektirir.

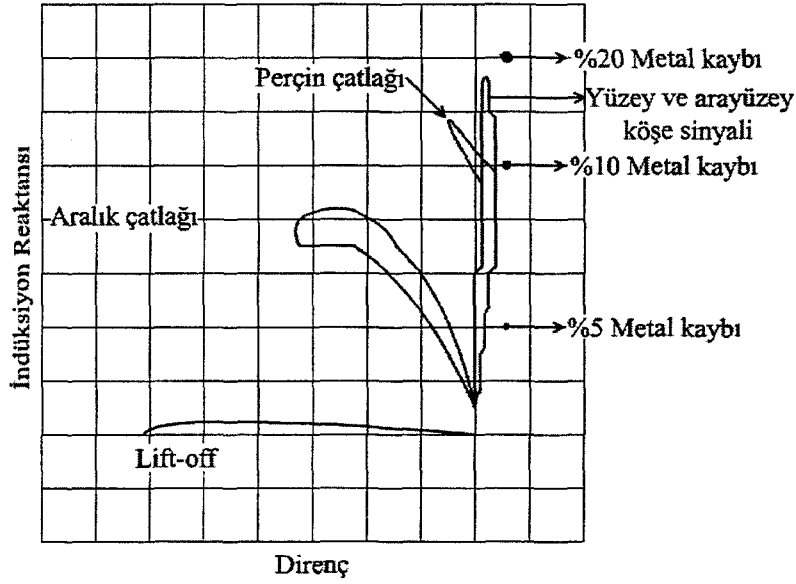
RSC 'ye göre en uygun yöntem belirlendikten sonra kanat ana kirşindeki çatlakların denetlenmesinde P-3C özel prosedürü kullanılır (Cihazlar bu üç benzer alan için hazırlanmıştır). Bu prosedürün birçok alanında, girdap akımları cihazı ve nokta problemleri ara yüzey korozyonlarını belirlemede büyük bir başarı kazanmıştır.

Problar süreksizliklere uygun olarak seçilmişlerdir ve yüzeyin değişen her bir kalınlığı için uygulanmıştır. Alüminyum birleştirme elemanlarından yayılan çatlakları muayene ederken, prob perçin başına direk olarak merkezlenmektedir. Perçin boyutunun, referans standartlarından farklı olduğu durumlarda, değişen her bir perçine uyumlu standartlar geliştirilmiştir. Prob muayene yüzeyinden çekildiğinde, empedans noktası yatay yönün solunda sapmaktadır. Çatlak görüntüsü ekranda, empedans noktasının dikey yönünden yukarısına doğru hareket etmektedir. Bu durum Şekil 11.7' de gösterilmiştir.

Eğer prob çatlak içeren bir perçin deliği üzerinde ise belki empedans noktası, çatlak içermeyen bir noktaya geldiğinde aşağıya doğru kayacaktır. Şekil 11.8'de, kanat ara kirişinin yüzeyi ve yüzey altındaki köşe yansımalarından ayrıca perçinlerden yayılan çatlakların ve malzeme kaybının belirtileri görülmektedir. Problemlerin geometrisi standart yüzey problemleri formundadır. Perçin, prob uzantısı gibi davranır ve yüksek konsantrasyonlarda etrafında yoğunluk oluşturur. Perçin etrafında girdap akımları oluşur ve çatlakların neden olduğu manyetik alandaki değişimler ekrana yansır. Dikey dengeleyicideki tüm perçinler alüminyum malzemedendir ve bu proba perçin arasında çok iyi bir ortam yaratır. Çatlakların pozisyonlarının belirlenemediği durumlarda belirtilerin genliği referans standartlardaki çatlaklarla karşılaştırılırsa, kabaca bir saptama yapmak mümkündür.



Şekil 11.7 Prob, yüzey üzerinde malzeme kayıpları ya da çatlaklar üzerine konumlandırılmıştır.



Şekil 11.8 Yüzey belirtilerindeki farklılık ve lift-off gösterimi

(Steven ve James, 2001, s,167)

Yüzey derinliği denklemleri test frekanslarının seçimi için kullanılır ve böylece lift-off noktası ile süreksizlikten gelen sinyaller belirgin biçimde birbirinden ayrılır. Test frekansı, muayene edilmiş malzemenin iletkenliğinden hesaplanır. Bu denklem aşağıda verilmiştir

$$D = 50 \sqrt{\rho / \mu f} \quad (11.6)$$

D: Geçirgenlik derinliği(mm)

ρ : Direnç (Ω -cm)

f: Frekans (Hertz)

μ : Ferromanyetik olmayan malzemeler için 1 Hertz alınacaktır.

İstenilen geçirim derinliği, dikey dengeleyicinin ara yüzeyinde en yüksek akım yoğunluğunu elde edilecek şekilde seçilir. Bu derinlik çatlak oluşumlarından kuşku duyulan derinliktir. Girdap akımları penetrasyon derinliği aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

Dikey dengeleyicide : 1,85-2,45 mm kalınlık için 53° lik açı 1,8 KHz, 70° lik açı ise 3,8 KHz de oluşur. Çizelge 11.1’de girdap akımları testi cihazı ayarları gösterilmektedir.

$$\beta = x / \delta (57^\circ) \quad (11.7)$$

β : Faz açısı

x : 2,3 mm’ de istenilen penetrasyon derinliği

δ : Standart Penetrasyon derinliği

Çizelge 11.1 Girdap akımları test cihazı ayarı

	Perçin çatlakları	Malzeme kayıpları	Birleştirme bölgesi çatlakları
Frekans	3.2 kHz	3.2 kHz	1.8 kHz
Yatay kazanç	58 dB	58 dB	60 dB
Dikey kazanç	75 dB	75 dB	86 dB
Faz açısı	358 ⁰	358 ⁰	337 ⁰
Prob hareketi hızı	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Filtre: düşük	60	60	21
Filtre: yüksek	0	0	0
Yatay pozisyon	%70	%70	%70
Düşey pozisyon	%30	%30	%30

Test Ekranı

Malzemede anormal bir durumla karşılaşıldığında, ekranda dikey doğrultuda yukarı doğru bir sapma oluşur. Yüzey köşeleri, ara yüzey köşe ya da perçinleri Şekil 11.8' de gösterildiği gibi yarıltıcı sapmalar gösterilebilir. Eğer prob perçin üzerine iyi merkezlenmemişse, null noktası, lift-off la aynı yönde hareket eder .Herbir dikey dengeleyici için 3 test alanı vardır. Nokta problemleri ayrı ayrı konumlandırılmıştır.

Referans standartlar test edilen parça ile benzer geometri ve alaşımda olmalıdır. Girdap akımları tekniğinin doğrulanması ve her bir spesifik uygulama için kalibrasyon yapılması gerekmektedir. 3 referans standart, parça ile benzer çatlaklı korozyon oluşumlarını içerir. Bu standartlar, perçinlerden gelen sinyal karşılıkları ile ekran analizi arasındaki ilişkiyi geçerli hale koymaktadır. Ekran analizleri arasındaki ilişkiyi geçerli hale sokmaktadır. Bu ilişkinin anlaşılmasıyla, muayene edilen alan bir referans standart gibi kullanılabilir. Hatalı belirtiler çatlak kontrolünde perçinlerin muayenesi sırasında gözlenebilir. Bunlar, yüzey ve ara yüzey köşeleri, yapıdaki kalınlık değişimleri ve perçin alaşımı ya da geometrisidir. Sadece alüminyum malzemeden perçinler bu yöntemle test edilebilir. Birbirine komşu perçinler muayene edilirken hata sinyali komşu olandan da şüphelenilip kontrol yapılmalıdır.

Eğer grafikte aşağıya dikey bir hareket gözleniyorsa çatlak ya da diğer süreksizlikler, null en kalından en inceye doğru kayarken dikey yönde yukarı hareket, en inceden kalına kayarken ise dikey yönde aşağıya doğru hareket gözlemlenir. Eğer perçinin ferromanyetik özellik göstermeye başlamasından şüpheleniliyorsa mıknatıs malzemenin tipine tanımlamak için kullanılabilir.

NDT teknikleri, 1960'lı yılların başında SRP tekniği ile P-3C uçaklarda büyük başarı kazanmış ve böylece yeni dizaynların yolunu açmıştır. Bugün birçok testte ikincil katman yapılar için SRP tekniği kullanılmaktadır. Bu alanda da çoğu teknik dramatik olaylar sonucu gelişim göstermiştir ve bu değişimler müşteri ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılamak için ve tam güvenilirlik için zorunlu olmuştur. Eskiden kalite kontrollerde bir süreksizlik gözle görülebilecek büyüklüğe erişene kadar beklenirken, artık oluşumlar çok küçükken anında müdahale edilebilmektedir. Gelişen teknolojiler; kalite kontrol yöntemlerine tam bir kesinlik, zaman tasarrufu ayrıca yüksek verim kazandırmıştır; ve uçaklardaki yapısal bütünlüğü sağlamak üzere gelişmeye devam edeceklerdir.

11.7 Girdap Akımları ve Ultrasonik Yöntem Tarama Sistemleri

Ultrasonik ve girdap akımları C-tarama sistemleri, tahribatsız muayeneler kapsamında son otuz yıldan beri araştırılmaktadır. Son on yıl içinde taşınabilir mekanik tarayıcı dizaynları, büyük bir gelişim göstermiş ve uçak endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. C-tarama sistem muayeneleri çok önemlidir. Çünkü bu yöntemler sayesinde gizli süreksizliklere zamanında müdahale edilebilmektedir. Ticari olarak piyasada mevcut olan C-tarama sistemleri 8 temel dizaynda tanımlanmıştır ve onbir farklı şirket tarafından bu sistem incelenmiştir. (FAA) tarafından bu ekipmanlar, uygulama sahaları ile birlikte sergilenmektedir ve AANC Merkezi'nce de uygulamalar için onay verilmektedir. Uygulamalarda; sistemlerin yetenekleri, dizaynlarının limitleri, taşınabilirlikleri, performansları, kullanılabilirlikleri ve bilgisayar sistemler tanıtılmaktadır.

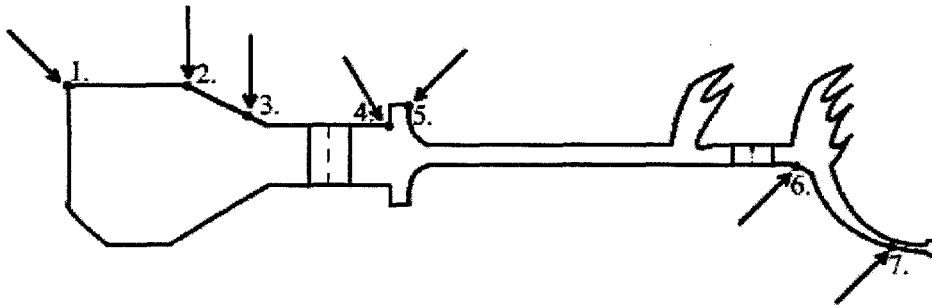
C – tarama sistemleri nükleer ve petrokimyasal endüstride çatlakları, korozyonu ve iyi kaynamamış ya da yapışmamış bölgelerde başarı ile uygulanmaktadır. Benzer bir sistem uçak endüstrisinde de bir çok uygulama alanı bulmakta, süreksizlik oluşumları daha hemen başından saptanabilmektedir. Bu hasarlar; alüminyum kaplamaları, bindirme bölgeleri ve uçaklarda yeni kullanıma giren gelişmiş kompozit malzemelerdeki değişimler olarak belirtilebilir.

Uçaklardaki ana bölgelerin temel kontrolleri, gizli hasarları ortaya çıkararak servis ömrünü artırmakta ve güvenlikte çok önemli bir nokta oluşturmaktadır. Bu erken teşhisin diğer bir yararı da, hataların parçaları komple değiştirmeksizin basit işlemler ile giderilebileceği ve böylece ekonomik faydaların sağlanmasıdır. Tarama muayeneleri ile oluşturulan dokümanlara uyularak, C-tarama sistemi uçaklara uygulanmaktadır. Bu dokümanlar, yöntem kapsamalarını ve sistem hakkında bazı limitleri içermektedir.

1994’de yayımlanan (FAA basımı) bir dokümanla (Gieshe, 1994) belirli bir kontrolün operatör tarafından nasıl uygulanacağı, amaca göre hangi sistemin seçileceği, kullanılabilirliği ve uçak muayene uygulamalarında tarama sistem performansının nasıl artırılabilceği belirtilmektedir.Çeşitli taşınabilir tarama sistem dizaynları, literatürde geçen muayeneler göz önüne alınarak yapılmakta ve kullanıcı isteklerine göre belirlenmektedir. Bu dizaynlar; el ile tarama, yarı otomatik tarama ve tam otomatik taramaları içermektedir. Tüm tarama sistemleri optik şifreler ile kodlanır ve mekanizmadaki hareketli kısımlar alıcıların pozisyonunu belirler (John,1995)

11.8 Girdap Akımları Cihazı Kalibrasyonu

Uçak endüstrisinde malzemelerin referans standartlar ile muayenesinin yapılp net test sonuçlarına ulaşılması gibi, belirli periyodik aralıklarla girdap akımları cihazının kendisi de kalibrasyon işlemine tabi tutulur. Kalibrasyon işlemi için Şekil 11.9’de görülen referans parça ile bu işlem yapılır. Parçada görülen 7 yapay deliğin konumları, uzunlukları, genişlikleri ve derinlikleri bellidir. Dolayısıyla bu hatalardan alınacak test değerleri standartlaştırılmıştır. Yapılan kalibrasyonda, hatalardan alınan sinyaller belirtilen standartlarda, öngörülen limit aralığında ise, cihaz da herhangi bir problem olmadığı anlaşılır. Eğer değerler arasında bir uyumsuzluk görülürse, o zaman acilen cihazın bakımı gerekmekte ve test edilen tüm parçalar yanlış değerlendirmeye tabi tutulmuş olacağından, kontroller bakımından sonra tekrar yapılmalıdır. Operatör böyle hassas bir konuda, çok dikkatli olmalıdır ve her bir parça için testten önce referans standartlarla kontrol yapılp, hata payları mümkün en az düzeye indirilmelidir.



Şekil 11.9 Üzerinde yapay oluşturulmuş süreksizlikler bulunan referans parça

12. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ultrasonik ve girdap akımları tekniklerinin teorik ve pratik açıdan araştırılmasının sonucunda; uçak endüstrisindeki kapsamı, önemleri ve uygulama alanları belirlenmiştir. Ultrasonik yöntem, prensipleri gereği daha çok yarı- mamullere uygulanmaktadır. Çünkü prosesler ilerleyip, parça bitime yaklaştıkça karmaşık bir hal almakta ve bu nedenle ultrasonik ses dalgalarının her bir köşe, delik ve süreksizlikte yansıması ekran kontrolünü imkansız hale getirmektedir. Dövülmüş bir parça ilk önce ultrasonik teste tabi tutulur. Parça için kabul kararı alındıktan sonra, Cnc tezgahlarında işlenir ve diğer tahribatsız test yöntemlerinde kontrol prosesleri devam eder. Ultrasonik testin bir diğer tekniği olan darbe-yankı (temas) yöntemi ile özellikle uçakların dış yapısına kontrol yapılabilir. Ana gövde, kanatlar ve iniş takımları bu teknikle muayene edilebilmekte ve net sonuçlarına ulaşılmaktadır. Montaj aşaması ve öncesindeki parçalar ise daldırma tekniği ile seri bir şekilde test edilebilmektedir. Özellikle savaş uçaklarının konstrüksiyonları ve donanımları gereği, parçalarının büyük bir çoğunluğu karmaşık bir geometridedir. Hem üretim kademelerinde hem de bakım onarım periyotlarında bu tarz parçaların hata kontrolünde girdap akımları tekniği büyük bir başarı sağlamıştır ve yöntem gelişen teknolojinin teorik ve pratik sonuçlarıyla önemini günden güne arttırmaktadır.

Uçakların kullanım şartları ve maruz kaldıkları ortamların olumsuz etkileri nedeni ile oluşabilecek süreksizlikler, çift frekans ve yeni bir teknoloji olan 4 frekans tekniği ile büyük bir hız ve doğrulukta saptanabilmektedir. Geliştirilmiş özel problarla çoğu zaman kontrolü yapılacak alanı sökmeye gerek kalmadan işlem tamamlanabilmektedir. Parçaların işlenmesi aşamasında ise son derece kompleks kısımlar, bilgisayar destekli girdap akımları cihazları ile en ufak ayrıntısına kadar kontrol edilebilmektedir. Bu uygulamaya bir örnek olarak; F-16 uçağı motor parçalarının testi verilebilir. Dairesel formdaki değişen açılarda yüzlerce delik içeren bu parçaların kontrolü tam bir güvenilirlikle yapılabilir.

Uçaklarda çok kritik bir problem olan korozyon hasarlarının kontrolü için ise her iki teknikten de yararlanılabilmektedir. Korozyonlu kısımlar cihaz ekranında ayırt edilebilir bir şekilde gözükmemekte ve erken müdahale yapılabilir.

Eskişehir TUSAŞ uçak fabrikasında 9 aylık bir çalışmanın sonucu olarak, ülkemizde tahribatsız muayenelere verilmesi gereken önem üzerinde durulmuştur. Günümüz gelişmiş teknolojisinde bile, hala uçakların düşmesi ile trajik olayların yaşanmasında, kalite kontrol proses hatalarının etkisi görülmüştür.

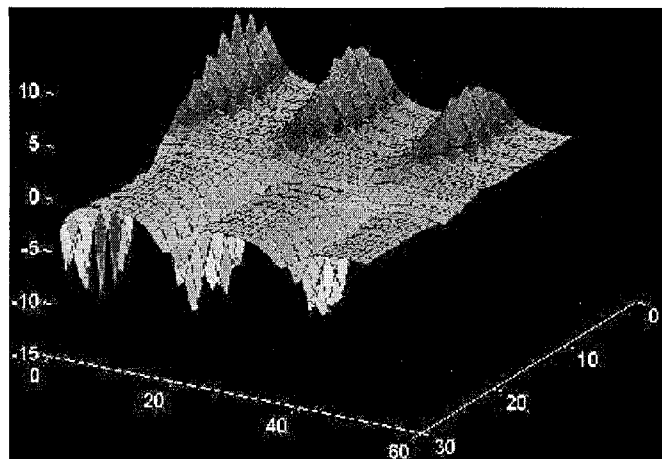
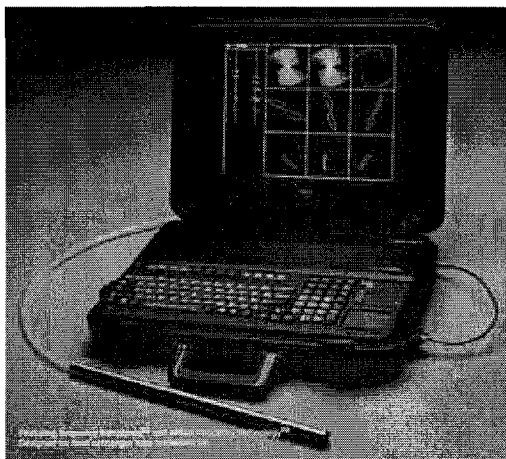
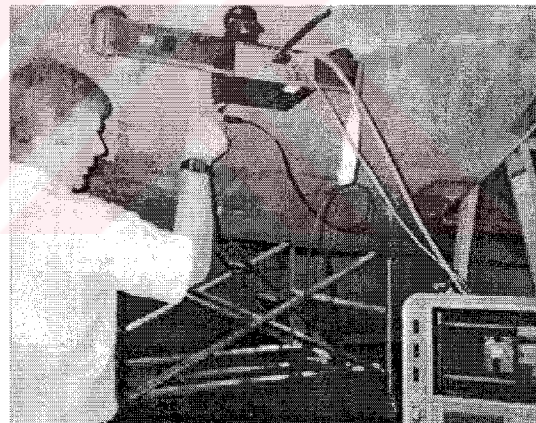
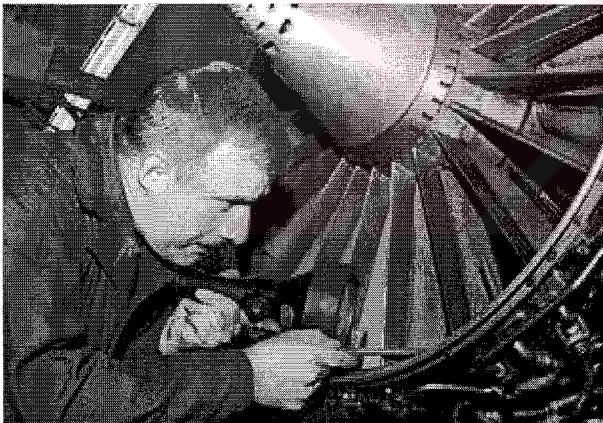
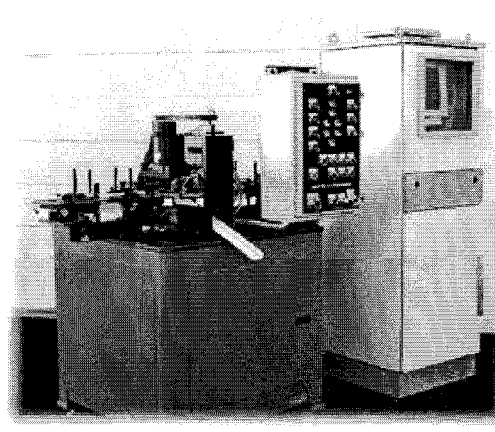
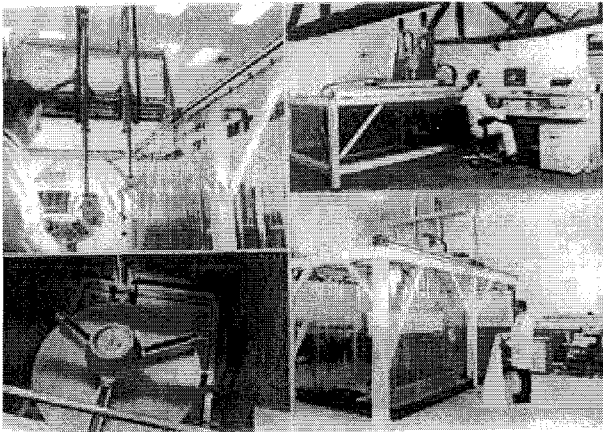
Yetkili kurumların, ÷lkemizde tahribatsız muayene yöntemlerini endüstrinin ilgili her alanına taşınması ve ar-ge çalışmaları ile tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Proseslerin gerektirdiği uygulamalar ile ulusal gelirden gözle görülür bir kazanç sağlanacak ve uçuş güvenilirliği en üst seviyeye çıkartılacaktır.

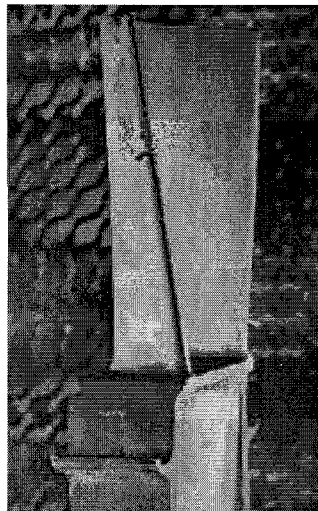
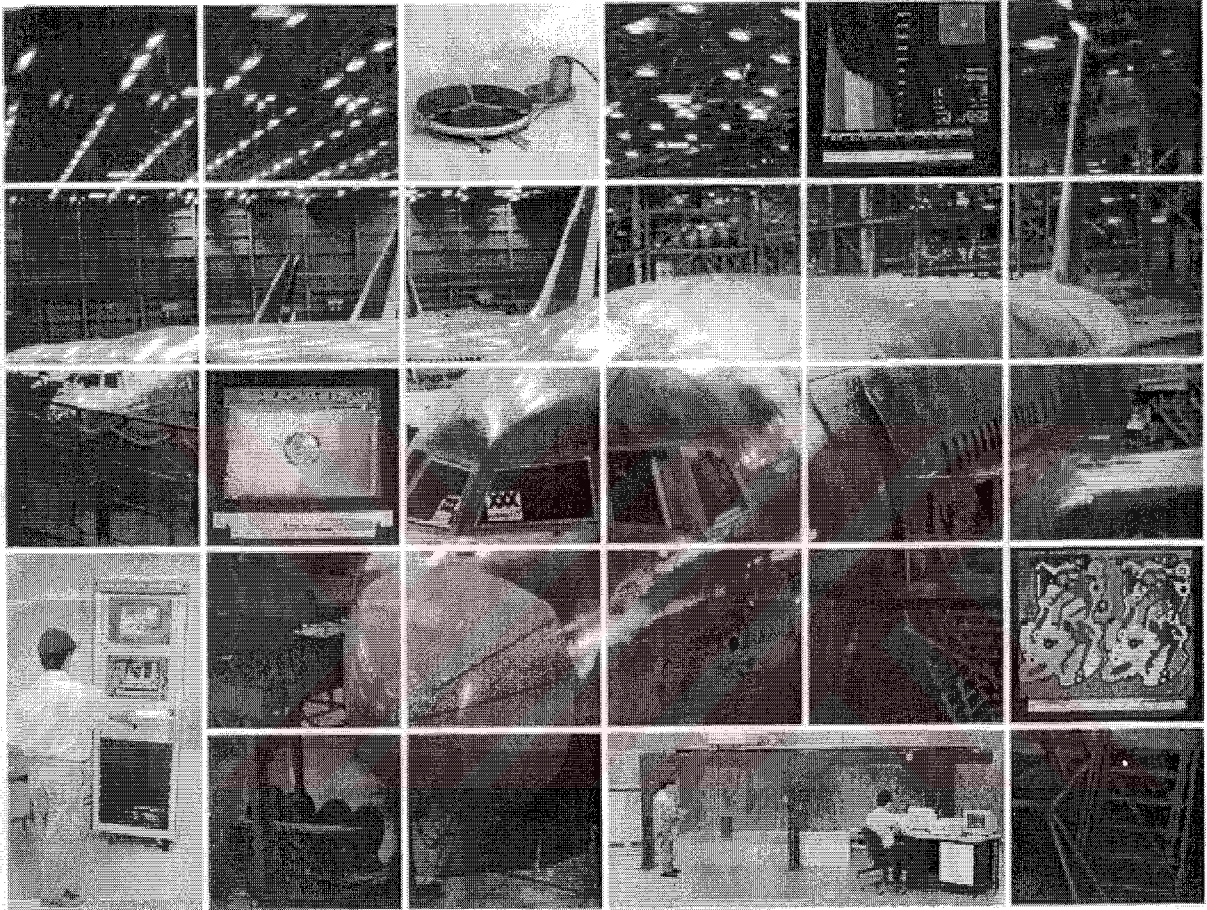
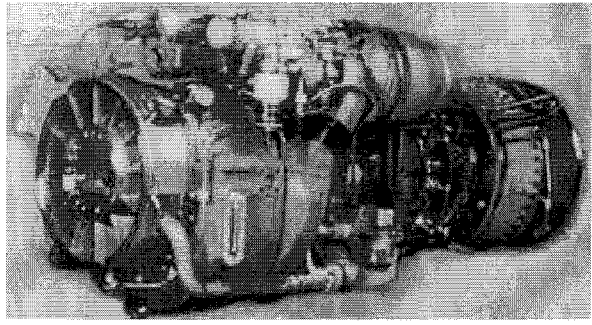
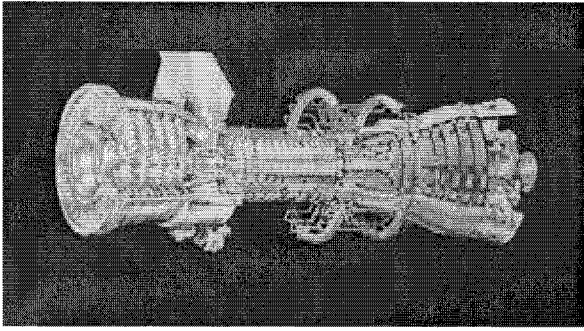


KAYNAKLAR

- Almanya Tahribatsız Muayeneler Cemiyeti Yayını, Almanya, (1992), 3-48.
- ASTM, (1986), Quality Control, 164-190.
- Atamer, S., Kişisel Notlar ve Gözlemler, TUSAŞ, Eskişehir, Mayıs 2000 – Ocak 2001
- John, G., (1995), “Aviation Focused Eddy Current and Ultrasonic Scanner Assessment”, Materials Evaluation, (July), 820-826.
- Nondestructive Testing Handbook, Kısım 1, 2-6, 435-444, Kısım 2, 222-224, Kısım 2 445-452, Kısım 8, 249-257, Kısım 2, 635-648.
- Nondestructive Testing Study Guide, 176-226.
- Savunma ve Havacılık Dergisi, Sayı 5-99, 51.
- Shaffer, R., (1994), “Eddy Current Testing Today and Tomorrow”, (January), 52-1, 28-31.
- Steven, R., James F., (2001), “Eddy Current Testing to Detect Cracks and Corrosion in the P-3C Orion Vertical Stabilizer Spar Caps”, Materials Evaluation, (February), 166-169.
- Thompson, J., (1993), “Supersurface Corrosion Detection in Aircraft Lap Splices Using a Dual Frequency Eddy Current Inspection Technique”, Materials Evaluation, (December), 51-12, 1398-1401.
- Topuz, A., (1993), “Tahribatsız Muayene Yöntemleri”, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 1-3, İstanbul.
- Yıldız, S., (1987), Girdap Akımları Tekniği ve Fiziksel Prensipleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).

EKLER





RESİMLER

1. Daldırma tankı
 2. Girdap akımları cihazı
 3. İniş takımlar ultrasonik muayenesi
 4. Gövde muayenesi
 5. Kuyruk muayenesi
 6. Tribün ultrasonik muayenesi
 7. Tribün ultrasonik muayenesi
 8. C – tarama testi
 9. Laptop girdap akımları testi
 10. C – tarama ekran görüntüsü
 11. F-16 uçak motoru
 12. T700 / CT7 helikopter motoru
 13. Ticari uçakların tahribatsız muayenesi
 14. Tribün kanadı
- 

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	02.04.1974
Doğum yeri	Eskişehir
Lise	1988 – 1991 Eskişehir Atatürk Lisesi
Lisans	1992 – 1997 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Metalürji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999 – 2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı

Tez çalışmalarının hazırlandığı kurum

2000 (Mayıs)– 2001(Ocak) TUSAŞ

