



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ
VE
UYGULAMA ALANLARI

CEM SEÇİM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY

OCAK – 2011

**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

CEM SEÇİM

YÜKSEKLİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Gürel ÇAM danışmanlığında hazırlanan bu tez 31 / 01 / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Gürel ÇAM
Başkan

Yrd.Doç.Dr.Selçuk MİSTİKOĞLU
Üye

Prof.Dr.Semir ÖVER
Üye

Bu tez Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Necat AĞCA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirislerin, çizelge, sekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	I
ABSTRACT	II
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
2.1. Dünya’da Tahribatsız Muayenenin Gelişimi	2
2.2. Türkiye’de Tahribatsız Muayenenin Gelişimi	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	4
3.1 Materyal	4
3.1.1. Tahribatsız Muayenenin Önemi ve Yöntemleri	4
3.2 Yöntem	5
3.2.1. Gözle Muayene (VT)	5
3.2.2. Penetrant Muayenesi (PT)	6
3.2.2.1 Muayenenin Yapılışı	6
3.2.2.1.1. Ön Temizlik	6
3.2.2.1.2. Penetrasyon Aşaması	7
3.2.2.1.3. Ara Temizlik	7
3.2.2.1.4. Geliştirme	7
3.2.2.1.5. Değerlendirme	8
3.2.2.2. Flor Işıl Penetrant ile Muayene Prensibi	8
3.2.3. Manyetik Parçacık Testi (MT)	9
3.2.3.1. Mıknatıslama	11
3.2.3.2. Boyundurukla Mıknatıslama	11
3.2.3.3. İçinden Akım Geçen Kablo ile Mıknatıslama	11
3.2.3.4. Parça İçinden Akım Geçirerek Mıknatıslama	12
3.2.4. Radyografik Muayene (RT)	13
3.2.4.1. Işınım Kaynakları	14
3.2.4.1.1. Avantajları	14

3.2.4.1.2. Dezavantajları	14
3.2.4.2. X – Işınım Tüpleri	14
3.2.4.3. Hızlandırma Gerilimi (Kv) Işınım Kalitesi	14
3.2.4.4. Tüp Akımı (Işınım Miktarı)	15
3.2.4.5. Odak	15
3.2.4.6. Çıkış Penceresi	15
3.2.4.7. Muayene Düzenlemeleri	16
3.2.4.8. Görüntü Kalite Belirteçleri	16
3.2.4.9. Markalama	17
3.2.4.10. Filmler ve Banyo İşlemleri	17
3.2.4.11. Radyoskopi	18
3.2.4.12. Mikro Odaklı Tüpler	19
3.2.5. Ultrasonik Muayene (UT)	20
3.2.5.1. Ultrasonik Muayenenin Prensibi	20
3.2.5.2. Ultrasonik Muayene ile Kalınlık Ölçümü	21
3.2.5.3. Katmer (Laminasyon) Muayenesi	22
3.2.5.4. Kaynak Dikişi Muayenesi	22
3.2.5.5. Tespit Edilebilen Süreksizlikler	24
3.2.6. Girdap Akımları Muayenesi (ET)	25
3.2.6.1. Kaynak Dikişi Muayenesi	26
3.2.7. Sızdırmazlık Testi (LT)	27
3.2.7.1. Sızdırmazlık Test Tipleri	28
3.2.8. Replika Testi (Rep T)	28
3.2.9. Tahribatsız Sertlik Muayenesi (HT)	29
3.2.10. Tahribatsız Muayene Teknolojisinde Son Gelişmeler	29
3.2.10.1. Akustik Emisyon	30
3.2.10.1.1. AE Oluşumu ve Algılanması	31
3.2.10.1.2. Diğer Test Yöntemleri ile Kıyaslama	32
3.2.10.2. Phased Array	33
3.2.10.2.1. Phased Array'in Avantajları	33
3.2.10.2.2. Özel Uygulama Alanları	34
3.2.10.2.3. Tipik Uygulamaları	34
3.2.10.3. TOFD (Time of Flight Diffraction)	35

3.2.10.3.1 TOFD Avantajları	35
3.2.10.3.2 Tipik Uygulamalar.....	36
3.2.11. Tahribatsız Muayene Personelinin Kalifikasyonu ve Sertifikalandırılması.....	37
3.2.11.1. Avrupa Uygulamaları	38
3.2.11.1.1. EN 473	39
3.2.11.2. Amerika Birleşik Devletleri Uygulamaları	41
3.11.2.1. SNT-TC-1A Uygulaması	41
3.2.12. Tahribatsız Muayene ile İlgili Önemli Standartlar	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	45
4.1. Tahribatsız Muayene Yöntemlerinde Ekonomiklik	45
4.1.1. Yüzey Kusurlarının Belirlenmesi için Metotlar	45
4.1.2. İç Kusurlarının Belirlenmesi için Metotlar	46
4.2. Tahribatsız Muayene Yöntemlerinin Maliyet Bilançoları	48
4.3. Tahribatsız Muayene Yöntemlerinde ki Eğitim Maliyeti Bilançoları	48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	51
TEŞEKKÜR	53
ÖZGEÇMİŞ	54

ÖZET**TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ VE UYGULAMA ALANLARI**

Kaynak çalışmalarında kalite teminin garantilenmesi için bir veya gerektiğinde daha çok tahribatsız muayene metodunun kullanılması şarttır. Kaynak gözetim sorumlusu için en önemli metot gerektirdiği hazırlık bakımından Gözle muayenedir. Dış süreksizliklerinin erken zamanda tespit edilmesi hızlı geri dönüş sağlar ve hata nedenlerinin çabuk giderilmesini temin eder. Her şeyden önce çok düşük dış süreksizliklerin tespit edilebilirliğinin artırılması için Penetrant muayenesi ve Manyetik parçacıkla muayene kullanılabilir. Penetrant muayenesinin aksine manyetik parçacıkla muayene için süreksizliğin yüzeye açılması gerekmez, ayrıca ince kaplamalara da izin verilebilir. Manyetik parçacıkla muayene sadece ferromanyetik malzemelere uygulanabilir.

İç süreksizlikler Radyografik muayene ile malzeme kalınlığı 40 mm' yi geçmediği sürece çok iyi görüntülenebilir. Radyografik muayene alın kaynakları için çok uygun olmakla birlikte bindirme kaynakları için o kadar iyi değildir. Özellikle kalın levhalarda ki T birleştirmeleri kural olarak radyografik muayeneye uygun değildir. İyonlaştırıcı ışımla çalışılırken ilgili kurallara uymak şarttır.

Ultrasonik muayene iç kısmında ki süreksizliklerin (tercihen düzlemsel) tespiti için bir başka metottur. Uygulama kalınlığı 8 mm den başlar ve çok büyük kalınlıklara da uygulanabilir. Radyografik muayenenin aksine ultrasonik muayene ile hatanın görüntüsü elde edilmez, saptanan belirtiler daha sonra değerlendirilir. Ancak bu belirtilerden hatanın derinliği anlaşılabilir. Bu nedenle ultrasonik muayene katmer ve teras çatlakları gibi düzlemsel süreksizliklerin tespiti için uygundur.

Girdap akımları ile kaynak dikişlerinin muayenesi sadece sınırlı bir seviyede yapılabilir, çünkü kaynak yüzeyinin pürüzlülüğü sinyal değerlendirmesinin güçleştirecek gürültülü sinyalleri yaratır ve hacimsel bir muayene yapmak mümkün değildir.

2011, 54 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Tahribatsız muayene, süreksizlikler, gözle muayene, kaynak dikişi, teras çatlakları, ferromanyetik

ABSTRACT**NON-DESTRUCTIVE TESTS AND APPLICATIONS AREA**

Using one or, if necessary, more non-destructive test methods is essential for ensuring quality in welded structures. The most important method for the welding supervisor is visual inspection in terms of required preparations. Identifying external discontinuities at an early time provides a fast return and assures fast resolving of the reasons of the errors. Penetrant testing and inspection with magnetic particle testing can be firstly used for increasing identification of extremely low external discontinuities. Contrary to the penetrant testing, the discontinuity does not have to spread out to the surface as the case in the inspection with magnetic particle testing, and also thin coatings can be allowed. Inspection with magnetic particle testing can only be applied to ferromagnetic materials.

Internal discontinuities can be monitored with radiographic testing unless the material thickness exceeds 40 mm. Radiographic inspection is very convenient for butt-welding but not so good for lap-welding. Especially T joints in the thick plates are not convenient for radiographic inspection in principle. It is essential to obey the relevant rules while working with ionizing radiation.

Ultrasonic Testing is another method for identifying the discontinuities (preferable planar) in the internal part. Application thickness starts from 8 mm, and can be applied to very large thicknesses. Contrary to radiographic inspection, the error's image is not obtained with ultrasonic inspection, the detected indications are evaluated afterwards. Depth of the error can only be identified with these indications. ultrasonic testing is therefore convenient for identifying planar discontinuities like layer and terrace cracks..

Eddy current testing and welding seams can only be conducted at a limited level because roughness of the welding surface creates loud signals making the signal evaluation difficult, and it is not possible to inspect volumetrically.

2011, 54 Pages

Key Words: Non-destructive test , discontinuities, visual test, welding seams, terrace cracks, ferromagnetic

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASNT	Amerikan Tahribatsız Muayene Cemiyeti
AC	Alternating current
AE	Akustik emisyon
BAM	Alman Federal Malzeme Araştırma ve Test Enstitüsü
DB	Desibel
DSY	Disk şeklinde yansıtıcılar
DC	Direct current
DGZfP	Alman Tahribatsız Muayene Cemiyeti
EA	Avrupa Akreditasyon Birliği
EFNDT	Avrupa Tahribatsız Muayene Federasyonu
EN	European Norms
ET	Girdap akımları muayenesi
HT	Tahribatsız sertlik testi
HRB	Rockwell sertlik testi
HRC	Rockwell C sertlik testi
HB	Brinnell sertlik testi
HV	Vickers sertlik testi
ISO	International Organization for Standardization
IEC	The International Electrotechnical Commission
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme Başkanlığı
LT	Sızdırmazlık testi
MT	Manyetik parçacık muayenesi
NDT	Non-Destructive Test
NEE	Nükleer Enerji Enstitüsü
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
PT	Penetrant muayenesi
POD	Possible of Detection

RT	Radyografik muayene
Rep T	Replika testi
SEGEM	Sigortacılık Eğitim Merkezi
TM	Tahribatsız Muayene
TM-PSM	Tahribatsız Muayene-Personel Sertifikalandırma Merkezi
TMMOB	Türk mühendis ve mimar odaları birliği
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TOFD	Time of Flight Diffraction
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜRKAK	Türk Akreditasyon Kurumu
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UT	Ultrasonik muayene
UV	Ultraviyole
UGETAM	İstanbul Uygulamalı Gaz Ve Enerji Teknolojileri Araştırma Mühendislik Sanayi Ticaret A.Ş
VT	Gözle muayene
YAD	Yandan açılmış delikler

ÇİZELGELER DİZİNİ**Sayfa**

Tablo 1.1.	Tahribatsız muayene deneylerinin makine mühendisliği endüstrisinde uygulama alanları.....	1
Tablo 3.4.1.	Radyografi de tespit edilebilen süreksizliklerin filmdeki görüntü şekilleri.....	19
Tablo 3.10.6.	TOFD muayene teknik özellik tablosu	36
Tablo 3.11.1.	EN 473 e göre tahribatsız muayene yöntemlerinde en az eğitim süresi.....	39
Tablo 3.11.2.	EN 473' e göre belgelendirme için gereken en az tecrübe süresi.	40
Tablo 3.11.3.	SNT-TC-1A ya göre seviye 1 ve 2 için en az eğitim ve tecrübe süresi	42
Tablo 4.1.	Yüzey kusurlarının belirlenmesi için metotlar	46
Tablo 4.2.	İç kusurlarının belirlenmesi için metotları	46
Tablo 4.3.	Belirli sıcaklık ve basınç altında çalışan malzemelerin tahribatsız muayene yöntemlerinin seçimi	47
Tablo 4.4.	Tahribatsız Muayene yöntemlerinin uygulama maliyetleri açısından kıyaslanması	48
Tablo 4.5.	Seviye 1 Tahribatsız muayene personeli eğitim ücretleri	49
Tablo 4.6.	Seviye 2 Tahribatsız muayene personeli eğitim ücretleri	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.2.1. NDT uygulamalarından önce gözle muayenenin yapılması	5
Şekil 3.2.2. Ön Temizlik	6
Şekil 3.2.3. Penetrasyon	7
Şekil 3.2.4. Ara Temizlik	7
Şekil 3.2.5. Geliştirme	7
Şekil 3.2.6. Değerlendirme	8
Şekil 3.2.7. Florışıl penetrantla muayene yapılan malzemenin incelenmesi	8
Şekil 3.3.1. Manyetik alan çizgileri	9
Şekil 3.3.2. Manyetik parçacık yönteminin şematik görünümü	10
Şekil 3.3.3. Metalik malzemelerin manyetik davranışı	11
Şekil 3.3.4. Manyetik parçacık yöntemleri	12
Şekil 3.4.1. Radyografik muayenenin çalışma prensibi	15
Şekil 3.4.2. Radyografide görüntü kalite belirtecinin görünümü	17
Şekil 3.4.3. Film banyo düzeneğinden görünümü	18
Şekil 3.4.4. Radyoskopi yönteminin şematik görünümü	18
Şekil 3.5.1. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi	20
Şekil 3.5.2. Ultrasonik kalınlık ölçüm cihazı	21
Şekil 3.5.3. Açılı bir probun temel yapısı	22
Şekil 3.5.4. İncelenen parça üzerindeki prob konumuna göre yansıma şekilleri.	23
Şekil 3.5.5. Ultrasonik muayenede kullanılan çeşitli kalibrasyon blokları	24
Şekil 3.6.1. Girdap akımlarında etkileşim	25
Şekil 3.6.2. Girdap akımları ile muayene	26
Şekil 3.6.3. Bir girdap akımla muayene cihazının görünümü	27
Şekil 3.9.1. Tahribatsız sertlik ölçüm cihazı	29
Şekil 3.10.1. AE oluşumu ve algılanması	31
Şekil 3.10.2. Akustik Emisyonun yapılışından görünüm	32
Şekil 3.10.3. Phased Array ultrasonik muayene yöntemiyle Malzeme Muayenesi.....	33
Şekil 3.10.4. Ultrasonik muayene ile Phased Array arasında ki tarama farkı ...	34
Şekil 3.10.5. TOFD muayene yönteminin uygulanışı	35

1. GİRİŞ

Tahribatsız malzeme muayene, kalite kontrolün en önemli bir bölümü olup, üretimin tamamlayıcı son kısmıdır. Tahribatsız muayene, incelenen malzemelere herhangi bir zarar vermeden muayene edilerek, dinamik ve statik yapıları hakkında bilgi edinilen muayene yöntemlerinin tümüne verilen addır. Tahribatsız muayene yöntemi ile malzemeler imalat esnasında veya belli bir süre kullandıktan sonra örneğin, korozyon veya aşınma gibi nedenlerden dolayı oluşan çatlak, içyapı da meydana gelen boşluk, kesit azalması vb. hataların tespiti gerçekleştirilir. Bu işlemlerde, malzemelerden herhangi bir numune alma ihtiyacı yoktur. Testler doğrudan iş parçası üzerinde yapılır ve böylece parçaların % 100 muayenesi gerçekleştirilebilir. Tahribatsız muayene deneylerinin makine mühendisliği endüstrisinde uygulama alanları Tablo 1.1.'de sunulmuştur (Şahintürk, N. 2010).

Tablo 1.1. Tahribatsız muayene deneylerinin makine mühendisliği endüstrisinde uygulama alanları (Şahintürk, N. 2010 **Tahribatsız muayene yöntemlerinin önemi**, İstanbul).

Uygulama Alanı	İşlevi	Uygulama Örnekleri
Araştırma ve Geliştirme	Malzemelerin yapısal değerlendirilmesi, üretim ve montaj yöntemlerinin karşılaştırılması ve bulguların değerlendirilmesi.	Metallerin iç yapılarının ve yorulma belirtilerinin incelenmesi, kaynak dikişlerinde çatlakların tespiti.
Üretim Yöntemi Kontrolü	Üretim yöntemi değişkenlerinin belirlenmesi ve kontrolünün sağlanması.	Radyografik ve ultrasonik yöntemle kalınlık ölçme ve imalat parametrelerinin tespiti.
Kalite Kontrolü	Kusurlu parçaların ve anormalliklerin tespiti, Üretim montaj kusurlarının, yerlerinin ve yönteminin değerlendirilmesi.	Zayıf yapışma, kaynaklarda çatlama, metallerde homojen olmayan gözenekler ve malzeme hatalarının belirlenmesi.
Servis Süresince Değerlendirme	Kullanım süresince aşınma ve anormalliklerin erken belirlenmesi.	Depolarda ve borularda korozyonun ve yerinin tespiti, Çeşitli araçlarda erken uyarı sistemleri.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Dünya’da Tahribatsız Muayenenin Gelişimi

Tahribatsız muayenelerin en eskilerinden biri olan radyografi metodunun tarihçesi 1895 senesinde x-ışınlarının Wilhelm Conrad Roentgen tarafından keşfedilmesine kadar dayanır. Başlangıçta x-ışınları genellikle tıbbi radyografide kullanılmıştır. Radyografi’yi 1930 yılında ilk defa Amerikan donanması kaynak dikişlerinin kontrolünde bir endüstriyel tahribatsız muayene metodu olarak tanımıştır. İkinci dünya harbinden sonra gamma ışınlarının ve takriben 1960 senelerinden sonra da nötronların kullanılmaya başlanması ile endüstriyel radyografinin sınırları çok genişlemiştir.

Ultrasonik dalgaların malzeme içi hataların tespitinde kullanılması ilk defa 1931 yılında bir alman patenti ile başlamıştır. İlk ticari cihazlar 1940 senelerinde endüstriye yayılmaya başlamıştır. Elektroniğin gelişimi bu tekniğin pratik bir muayene metodu olarak gelişmesine büyük katkısı olmuştur. Şimdi ise tahribatsız muayenenin temel metotlarından biri haline gelmiştir.

Girdap akımları metodunun temelleri Michael Faraday’ın 1831 öne sürdüğü elektromanyetik kuramına dayanır ama temel prensip 1879’lar da Huhges’e dayanmaktadır. Bunun bir tahribatsız muayene metodu olarak geliştirilmesi için ilk teşebbüsler ise 2. dünya savaşı öncesi senelerde nükleer ve uçak sanayisinin gelişmesiyle yapılmıştır. Endüstriyel muayene metodu olarak tanınıp yerleşmesi takriben 1950 senesinden sonradır.

Manyetizma, maddelerin bazı maddeleri kendine çekebilme özelliğidir. Bu özelliği bir mineral üstünde ilk fark eden eski yunanlılar olmuştur. 1920’nin başlarında William Hoke metaller üzerindeki çatlakların renkli manyetik parçacıklarla tespit olunabileceğini keşfetmiştir.

Penetrant muayenesi ise baştan beri sayıla gelen metotların en eskisidir. Dökümlerde ve kaynaklarda görülmeyen çatlakların yağ veya sulandırılmış kireç ile islatılarak gözle görünür hale getirilmesi geçen asırdan beri bilinen ve uygulanan bir muayene metodudur. Metot bir takım gelişmelerle bugüne kadar gelmiştir (Anonim, 2011 Tahribatsız muayenenin dünyadaki gelişimi <http://www.xyeze.com/>).

2.2. Türkiye’de Tahribatsız Muayenenin Gelişimi

Türkiye’de tahribatsız muayene alanında eğitim faaliyetleri, 1960’lı ve 1970’li yıllarda ağırlıklı olarak kaynak dikişlerinin muayenesi konusunda Sigortacılık Eğitim Merkezi (SEGEM), Oerlikon gibi kurum ve kuruluşlarda seminerler şeklinde başlatılmıştır. Bu faaliyetler, kuruluşların varlıkları, ilgi alanları ve kuruluşlardaki uzmanların kişisel çabalarıyla sınırlı kalmıştır. Ülkemizde, tahribatsız muayene alanında uzun soluklu ve düzenli eğitim faaliyetleri 1980’lerin ikinci yarısından itibaren görülmektedir. Bu alandaki boşluğu gören TMMOB-Metalürji Mühendisleri Odası Şubat 1987’de, Tahribatsız Muayene Komisyonu’nu kurulmuştur. Aynı yıl çeşitli kuruluşlara gönderilen anket formlarıyla bu alandaki eğitim ve cihaz durumu tespiti yapılmış ve eğitim faaliyetleri başlatılmıştır. 1988’de Alman ve Türk hükümetleri arasındaki proje anlaşmasına bağlı olarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) de bir Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma Merkezi kurulması ve sistemli olarak personel eğitim ve sertifikalandırma çalışmalarına başlanmıştır.

Bu tarihten itibaren Tahribatsız Muayene Komisyonu ve ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Merkezi, Alman Tahribatsız Muayene Cemiyeti (DGZfP) ve Alman Federal Malzeme Araştırma ve Test Enstitüsü (BAM) ile işbirliği halinde tahribatsız muayene eğitim, vasıflandırma sınavları ve sertifikalandırma faaliyetlerini sistematik ve uzun dönemli bir program çerçevesinde başlatılmıştır. Aynı yıl, bu faaliyetlerden ayrı olarak, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu’nda (TAEK) ve iki yıl sonra da İTÜ-Nükleer Enerji Enstitüsü’nde (NEE) tahribatsız muayene eğitimleri başlatılmıştır. 1990 – 1995 yılları arasında Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme Başkanlığı (KOSGEB) teknisyenler için çeşitli eğitim seminerleri gerçekleştirilmiştir.

Tahribatsız Muayene Komisyonu, ülke sanayinin ihtiyacı olan uluslararası standartlarda eğitilmiş, vasıflandırılmış ve sertifikalandırılmış elemanları yetiştirmeyi ve Türk Tahribatsız Muayene Cemiyeti’nin kurulmasını hedef alarak, 1992 yılında yeniden yapılandırılmıştır ve eğitim, vasıflandırma-sertifikalandırma, teknik kurallar ve endüstri ile ilişkiler çalışma grupları kurulmuştur. Temmuz 1993’den itibaren komisyonun eğitim, vasıflandırma ve sertifikalandırma sistemi EN 473’e uygun hale getirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1. Tahribatsız Muayenenin Önemi ve Yöntemleri

Tahribatsız test yöntemleri mamul malzemeler üzerinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Tahribatsız oluşu ve tahribatlı yöntemlere göre daha hızlı olması bu test yöntemlerinin hemen hemen her sahada yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.

Tahribatsız Test Metotları iki ana temel üzerinde oturmaktadır. Bu iki temelden bir nüfuziyet diğeri ise algılama fonksiyonudur. Algılama fonksiyonu nüfuz ediciden aldığı bilgileri test operatörünün algılayacağı belirtiler haline getirmek, nüfuziyet fonksiyonu ise nüfuz edici elemanın test malzemesi içine giriciliği ve fiziksel süreksizliği algılama elemanına aktarmaktır. Radyografide algılayıcı radyografi filmi, nüfuz edici ise radyasyondur. Radyografi filmine kimyasal işlem uygulanmasından sonra belirtiler test operatörünün incelemesi için gözle algılanır belirtiler oluşturmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemleri yaklaşık dokuz ana daldan oluşmaktadır (Gür, H. 2004).

1. Radyografik muayene RT
2. Ultrasonik muayene UT
3. Manyetik parçacık muayenesi MT
4. Sıvı penetrant muayenesi PT
5. Girdap akımları muayenesi ET
6. Gözle muayene VT
7. Sızdırmazlık testi LT
8. Replika testi Rep T
9. Tahribatsız sertlik testi HT

3.2 Yöntem

3.2.1. Gözle Muayene (VT)

Gözle muayene, kaynak yüzeyinin dikkatlice incelenmesidir ve kaynak dikişi muayenesinde en önemli yeri tutar. Bu metot mümkün olan durumlarda kaynağın her iki tarafında da uygulanmalıdır. Bu metodun uygulanışı esas olarak kaynak gözetmeninin işi olup, bir kaynağın kalitesi hakkında ilk izlenimi verir. Kural olarak, kaynak tamamlandıktan sonra yapılmalıdır (Şekil 3.1.). Her ne kadar iç hatalar görülmese de gözle muayene sonuçlarına göre bir kaynağın kabul edilmemesi söz konusu olabilir. Kaynak yüzeyinin iyi olması da her zaman kaynak kalitesinin yüksek olduğu anlamına gelmez. Yine de dış hatta belirtilerinin erken tespiti, imalat prosesinde hızlı bir geri beslemesi bilgisi sağlar. İmalat sırasında bilinen veya bilinmeyen kusurlar gözden kaçır ve parça galvanizleme, boyama, montaj vb. işlemlerine tabi tutulup teslim edilirse önemli bir tamir masrafı ortaya çıkabilir. Tamir gerektiren bir kaynağın üzerinde yanma olukları, kaynak sıçramaları ve ark yanıkları gibi kusurlar da gözleniyorsa böyle bir imalat yapan yer hakkında olumlu izlenimler beklenemez. Çelik malzemeler için genellikle EN ISO 5817, alüminyum için EN 30042 kullanılabilir. Kabul kriterleri, kaynak yapılan yerlerdeki gözle muayene uzmanlarca uygulanmalıdır.



Şekil 3.2.1. NDT uygulamalarından önce gözle muayenenin yapılması (Anonim, 2008 **Dizayn Kalite Mühendislik arşivleri**, İstanbul)

Gözle muayenede en önemli husus iyi aydınlatmadır. Bir atölyedeki ışık şartları yeterli olmaz ise örneğin bir el feneri ile ilave aydınlatma gerekir. EN 970 standardı en az 350 lüks (lx) (lx : aydınlık şiddeti birimi) aydınlatma şiddeti talep eder ancak aydınlatma şiddetinin 500 – 1000 lx arasında olması tavsiye edilmektedir. Özellikle küçük kaynak hacimlerinde görmeyi iyileştirmek için bir büyüteç (EN 970'e göre 5 X) veya bir stereo mikroskop kullanılmalıdır. Ulaşılamayan bölgeler için ayna veya endoskop kullanımı önerilir. Gözle muayene kapsamında kaynağın geometrik ölçüleri, konumlandırma, kaynak dikişi kalınlığı uygun yardımcı donanımla kontrol edilmelidir. Gözle muayenede, yüzey mutlaka kuru, yağsız, metalik parlaklıkta ve mükemmel bir şekilde ulaşılabilir ve muayene yüzeyine en az 30° bakma açısı ile incelenmelidir. Kayıt için fotoğraflama, video kaydı veya replika alma tekniği kullanılabilir (Anonim, 2008 Dizayn Kalite Mühendislik Hizmetleri, İstanbul).

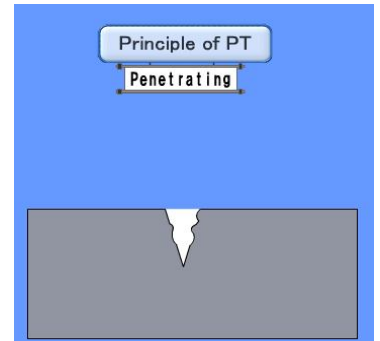
3.2.2. Penetrant Muayenesi (PT)

Penetrant Muayenesi yüzeye açık süreksizliklerinin tespiti için diğer tahribatsız muayene metotlarına kıyasla ucuz ve basit bir yöntemdir. Penetrant muayenesinin prensibi, penetrant maddesinin kullanılan geliştirici üzerinde oluşturduğu güçlü kontrast etkisi ile çok küçük hataların büyümüş ve kolay ayırt edilebilir görüntüler oluşturmasına dayanır. Ancak belirtinin büyüklüğü ile şekli hatanın gerçek büyüklüğü ve şekli ile orantılı olmak durumunda değildir (Sweeny, M. 2000 **Penetrant Testing and applications**, Ireland).

3.2.2.1. Muayenenin Yapılışı

3.2.2.1.1. Ön Temizlik

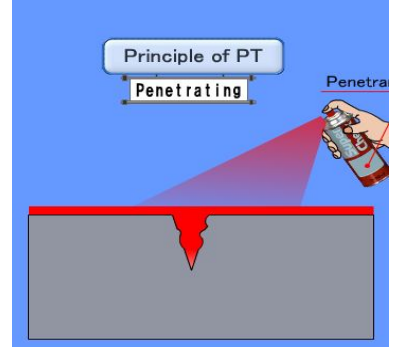
Kir, yağ, çapak ve su temizlenir. Olası hata oluşma zamanına göre yüzeyde ki kaplama vb. temizlenmeli ve ön temizlik metodunun etkinliği referans bloklarla ispatlanmalıdır (Şekil 3.2.1.).



Şekil 3.2.2. Ön Temizlik

3.2.2.1.2. Penetrasyon Aşaması

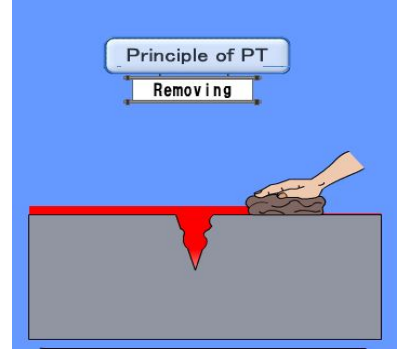
Yüzeyi iyi ıslatan bir penetrant sıvısı istenen şekilde (fırça, daldırma, püskürtme, vb.) muayene yüzeyine uygulanır. Penetrant malzemesi kullanılacak geliştirici ile güçlü bir görsel kontrast oluşturmalıdır (Şekil 3.2.2.). Bu güçlü bir renk kontrastı ile (kırmızı / beyaz) veya parlaklık kontrastı ile (flor ışıl penetrant) ile veya bunların birleşimi ile sağlanabilir. Penetrasyon süresi 5- 60 dakikadır.



Şekil 3.2.3. Penetrasyon

3.2.2.1.3. Ara Temizlik

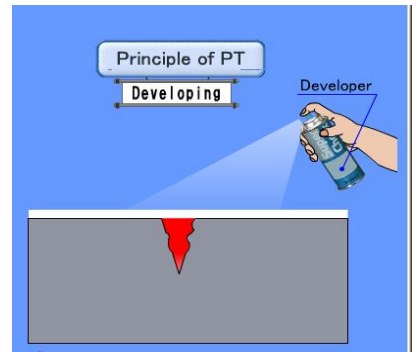
Muayene yüzeyinde ki penetrantın fazlası belirtilen ara temizlik maddesi ile temizlenir (Şekil 3.2.3.). Genellikle ara temizleyici olarak pürüzlü kaynak yüzeylerin de su, düzgün yüzeylerde ise çözücü ile nemlendirilmiş havsız kâğıt-bez kullanılır. Çözücünün yüzeye doğrudan püskürtülmesine izin verilmez. Daha sonra yüzey silinerek, hava üfleyerek veya dikkatlice ısıtarak (maks 50° C) kurutulur.



Şekil 3.2.4. Ara Temizlik

3.2.2.1.4. Geliştirme

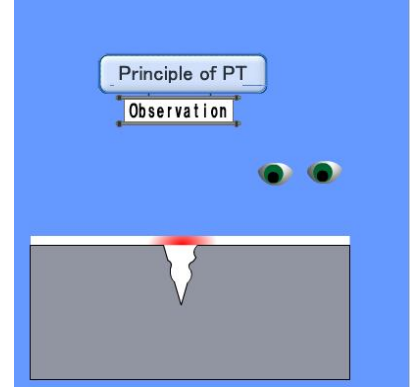
Emici özellikte ve penetrantla görsel kontrast oluşturan bir madde ince bir film tabakası halinde yüzeye kaplanır. Bu madde genellikle bir sıvı içinde süspansiyon (asılı) halinde sprey kutularla uygulanır. Penetrantın süreksizlikler içinde kalan kısmı yüzeydeki geliştirici tarafından emilerek yüzeye çıkar süreksizlikten daha büyük boyutlarda bir belirti oluşturur (Şekil 3.2.4.).



Şekil 3.2.5. Geliştirme

3.2.2.1.5. Değerlendirme

Geliştirme süresi sonunda muayene yüzeyi incelenir (Şekil 3.2.5.). EN 571-1'e göre en düşük aydınlatma şiddeti 500 lx olmalıdır. Değerlendirme ilgili kurallara göre yapılır. Değerlendirmede süreksizliğin şekli ve büyüklüğü değil belirtinin geliştirme süresi sonundaki büyüklüğü esas alınır.



Şekil 3.2.6. Değerlendirme

3.2.2.2. Flor Işıl Penetrant ile Muayene Prensipleri

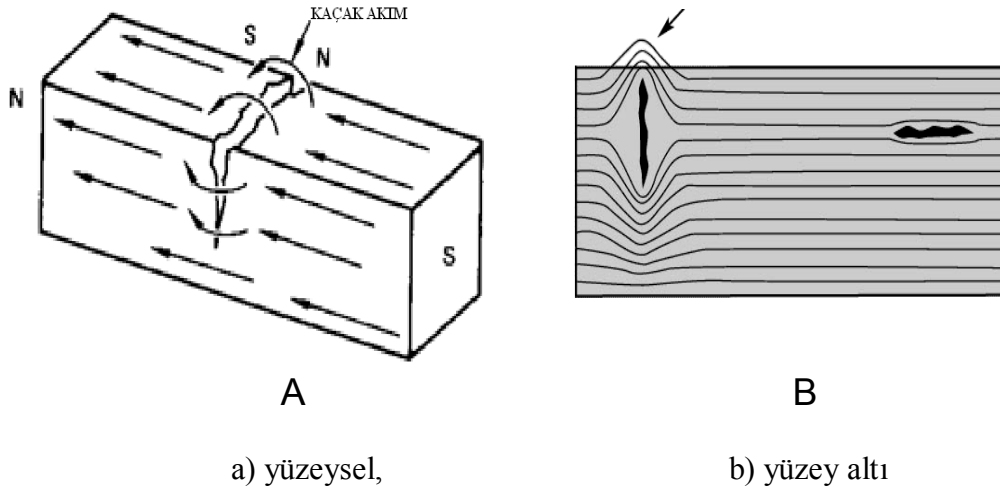
Gözle görülemeyen ultraviyole (UV) ışınının, ışık spektrumu içinde gözle görülebilir hale çevrilmesiyle ilave bir kontrast sağlanır. Bunun sonucunda flor ışına yapan yerler çevreye göre daha aydınlık olarak parırlar ve gerçekte olduğundan daha büyük görünür (Şekil 3.2.6.). Penetrant muayenesi sonucunun başarılı olması pek çok etkene bağlıdır. Bu nedenle penetrant muayenesi yüksek duyarlılık olsa bile muayene sistemlerinin (ön temizleyici + penetrant + ara temizleyici + geliştirici) ve bunların kullanım şekillerinin kurallara uygun olarak ve düzenli bir şekilde kontrolü şarttır. Böylece seçilen bir penetrant sisteminin özel şartlar altında kullanımının (soğuk hava, sıcak hava, kirlenme) uygunluğu anlaşılabilir (Anonim, 2000).



Şekil 3.2.7. Flor ışıl penetrantla muayene yapılan malzemenin incelenmesi (Anonim, 2000 Flor ışıl penetrant <http://www.yilbak.com/>)

3.2.3. Manyetik Parçacık Testi (MT)

Manyetik parçacık metodu ferromanyetik malzemelerde yüzey ve yüzeye yakın bölgelerdeki süreksizliklerin tespitinde kullanılır. Manyetik parçacık testi prensip olarak, malzeme sürekliliğindeki bir değişimle sapan manyetik alan çizgilerinin esasına dayanır (Şekil 3.3.1.). Uygunsuzluk bir manyetik alan sızıntısı oluşturur. Manyetik parçacık muayenesi iki manyetizasyon metodundan oluşmaktadır. Birincisi çift prob kullanan direkt manyetizasyon metodu, diğeri ise yoke ve bobin kullanan endirekt manyetizasyon metodudur. Direkt manyetizasyon metodunda normalde doğru akım (DC) veya alternatif akım (AC) kullanılmaktadır.

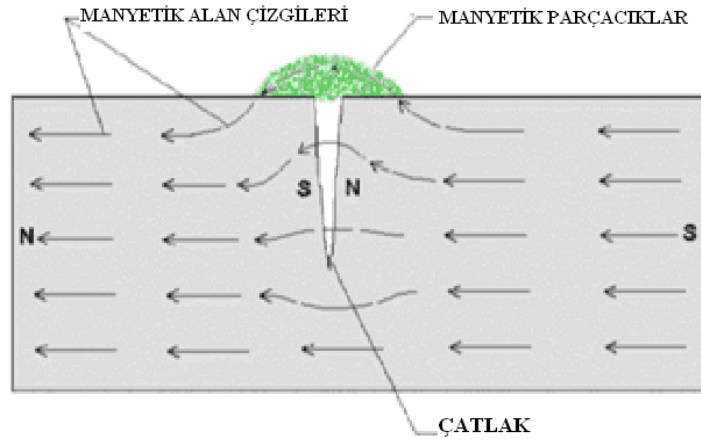


Şekil 3.3.1. Manyetik alan çizgileri (Anonim, 2003 **Manyetik alan çizgi ve karakteristikleri**, Ankara)

Yüzeye yakın yerlerde bulunan süreksizliklerin tespiti, manyetizasyon metodu, akımın tipi, manyetik akının yoğunluğu ve yönü, muayenesi yapılacak parçanın veya kaynağın malzeme özelliklerine bağlıdır. Kaynak boyunca manyetik alan hazır hale geldiği zaman, muayenesi yapılacak yüzeye demir tozları serpilir ve manyetik parçacık muayenesi uygulanır. Fazla tozların temizlenmesinden sonra, süreksizliğin sızıntı bölgesinde hapsolmuş demir tozu parçacıkları tespit edilebilir düzensizliğin yerini, boyutunu ve şeklini ortaya çıkarır.

Bu belirtiler genellikle ortamdaki demir tozları manyetik kuvvet hatlarının alttaki kaynak yüzeyine uyumuna karşılık olarak keskin görünümlü çizgilerle ayırt

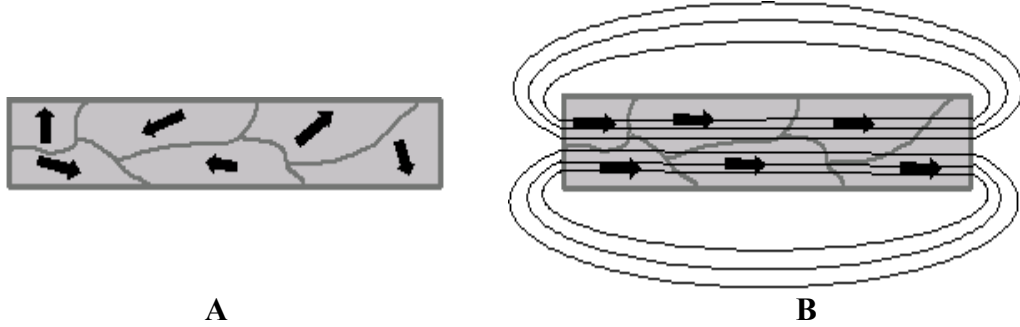
edilebilirler. Manyetikleştirme işlemi, parçadan elektrik akımı veya doğrudan manyetik akı geçilerek gerçekleştirilir. Ferromanyetik malzemeler bu manyetik akıya hiç bir direnç göstermezler aksine bu manyetik akının geçmesine katkıda bulunurlar Şekil 3.3.2.'den de görüleceği gibi eğer manyetik alan içerisinde hata varsa, hatadaki boşluk alan çizgilerini engelleyecek ve saptıracaktır. Bu durum hata üzerinde yoğun bir kaçak akım oluşturur ve kaçak akımın büyüklüğü hatanın boyutu ile doğru orantılıdır. Bünyesinde hata bulunan bir malzeme yüzeyine manyetik alan uygulanmış durumunda, yüzeye ferromanyetik tozlar serpilirse bu tozlar hataların bulunduğu bölgelerde oluşan kaçak akımlar tarafından çekilerek bu süreksizlikler üzerinde toplanarak kaçak akımın geçişi için köprü oluştururlar. Böylece, mevcut süreksizliklerin yerleri tespit edilmiş olunur. Manyetik parçacık yönteminin şematik uygulamasını göstermektedir (Şekil 3.3.2.).



Şekil 3.3.2. Manyetik parçacık yönteminin şematik görünümü (Anonim, 2000)

Bu yöntem ferromanyetik olmayan malzemelere uygulanamaz. Ayrıca Süreksizlik uygulanan manyetik alan yönüne uygun açıda konumlanmamış durumda ise belirlenemez. Büyük parçalar için çok yüksek mıknatıslama akımları gerekebilir. Muayene yüzeyinin çok pürüzlü olması sonucu olumsuz etkiler. Muayene yüzeyinde boya veya kaplama varsa bunun kalınlığı muayene sonucunu doğrudan etkiler. Manyetik tozlar kuru ise un görünümünde toz şeklindedir. Tozlar, kullandıkları yere göre yaş ve kuru olarak iki tiptedir. Ayrıca, bu tozlar kullanılacakları zemin ile kontrast oluşturacak renkte veya floresans içerikli olarak seçilirler. Bu yöntemle parça üzerinden geçirilen akım yönüne paralel veya oluşan manyetik alana dik olan

en az 10 μm derinliğinde, en az 1 μm genişliğinde ve 0,2 mm boyundaki yüzeysel ve yüzeyin en fazla 40 μm altındaki hatalar belirlenebilir (Sıkıcı, M. 1999).



a) Manyetik olmayan malzeme,

b) Manyetik malzeme

Şekil 3.3.3. Metalik malzemelerin manyetik davranışı (Anonim, 2000)

3.2.3.1 Mıknatıslama

Muayene parçasının mıknatıslanması için üç temel prensip söz konusudur.

3.2.3.1.1. Boyundurukla Mıknatıslama

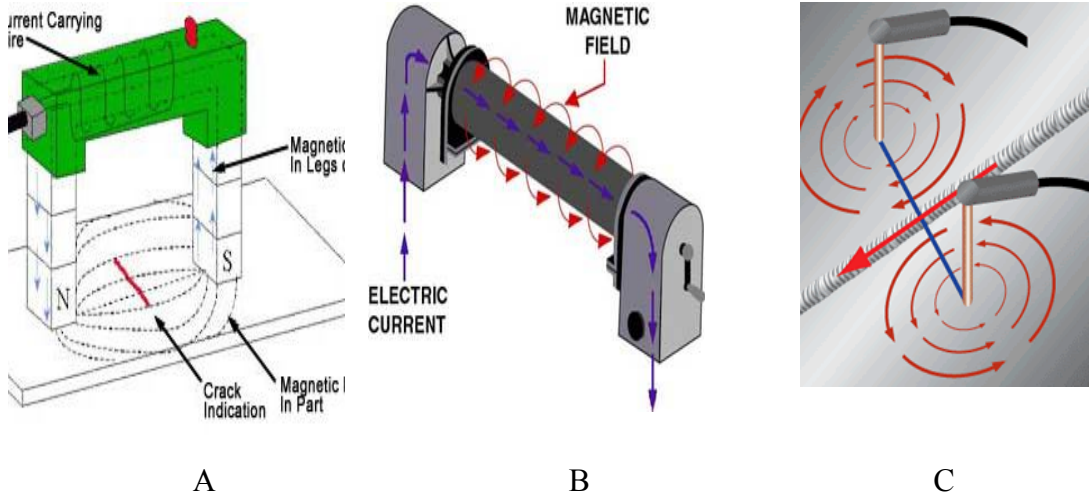
Kaynaklı birleştirmelerin muayenesi için boyundurukla mıknatıslama en kullanışlı tekniktir. Elektromıknatısın kutupları muayene yüzeyine manyetik alan devresi tamamlanacak şekilde yerleştirilir ve böylece manyetik akının dış yüzeyden akması sağlanır (Şekil 3.3.4.a.). Doğrultuları, alan çizgilerine dik olan süreksizlikler en iyi şekilde görüntülenebilir.

3.2.3.1.2 İçinden Akım Geçen Kablo ile Mıknatıslama

Muayene parçası sabit bir sarım içine sarıma değmesi gerekmeksizin konur veya izoleli bir iletken kablo ile etrafı sarılır. İletkenden geçen elektrik akımı iletkenin etrafında halka şeklinde bir manyetik alan yaratır (Şekil 3.3.4.b.). Bu da muayene parçası içinde aynı yönde bir manyetik akı oluşturur. Bu düzenlemede ki muayene parçası, elektromıknatıs içinde ki demir çekirdek ile aynı durumdadır. Bu durumda doğrultuları akım yönüne paralel olan hatalar görüntülenir.

3.2.3.1.3 Parça İçinden Akım Geçirerek Mıknatıslama

Muayene parçasından manyetik alan veya akı geçirmek yerine elektrik akımı geçirilebilir. Parçadan geçen elektrik akımı yönüne dik yönde, yani temas noktaları olan kutupları birleştiren çizgiye dik yönde bir manyetik alan oluşur. Bu durumda doğrultuları akım yönüne paralel olan hatalar görüntülenir. Bu tekniğin uygulanışında özellikle temas uçlarının yüzeye teması sırasında özellikle yüzeye konurken ve kaldırılırken ark yanıkları oluşmamasına dikkat edilmelidir. Uygulanan manyetik akı yönü hataların tespit edilebilirliğini önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle manyetik alan yönü beklenen hata yönlerine daima dik olacak şekilde ayarlanmalıdır. Hatalar için belirli bir yön beklentisi yoksa kaynak eksenine ile 45° yapacak şekilde dönüşümlü olarak mıknatıslama yapılmalıdır (Şekil 3.3.4.c.).



a) Elektro bobin ile manyetikleştirme, b) Enine manyetikleştirme, c) Hareketli elektrot kullanımı

Şekil 3.3.4. Manyetik parçacık yöntemleri (Anonim, 2003 **Manyetik Alan çizgi ve karakteristikleri**, Ankara)

3.2.4. Radyografik Muayene (RT)

Kaynak kalitesinin temini çalışmalarında radyografik muayenenin özel bir yeri vardır. Bunun nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Kalıntılar ve iz düşüm resimleri elde edilir. Böylece süreksizliklerin uzunluk ve genişlik gibi ölçülebilir boyutları izin verilebilen hata büyüklükleri ile ilgili kurallara göre karşılaştırılabilir.
- Bütün muayene sonuçlarının dokümantasyonu için son derece uygun bir metottur. Pek çok yapının muayenesi sırasında (köprüler, boru hatları vb.) çekilen filmlerle malzemenin kullanım ömrü boyunca izlenmesi mümkündür.
- Değerlendirme süreci muayene sürecinden bağımsızdır, yani müşterinin muayene sırasında bulunması gerekmez. Uzman tartışmasında avantajlı bir durumdur.
- Muayenenin doğruluğu ve güvenilirliği çekilen radyograflardan anlaşılabilir.

Kontrol edilebilen bir kaynaktan çıkan belli ışınım şiddeti ve miktardaki ışınım (X- veya gama ışınımı) muayene parçasına nüfuz eder, malzemenin içinde farklı oranlarda zayıflamaya uğrar ve bu şekilde elde edilen bilgiler muayene bölgesinin arkasına yerleştirilmiş görüntüleme ortamına aktarılır. X- veya Gama ışınları doğrusal ilerledikleri için görüntüleme ortamında (ör. film, ekran, video kamera) bütün süreksizliklerin (kalıntılar, çentikler vb.) gölge resmi oluşur. Boşluk türü süreksizlikler (gözenekler, çatlaklar, cüruf kalıntılar vb.) buldukları kısımda malzeme kalınlığında azalmaya neden olurlar, bu da bu bölgelerde ışınımın zayıflamasının daha az olmasını sağlar. Işınım şiddeti fotoğrafçılıkta ışık şiddetine karşılık gelir çevrelerine göre daha yüksektir, bu da film üzerinde bu kısımlara karşılık gelen yerlerin daha fazla kararmasına neden olur. Böylece hatanın doğrudan izdüşümü elde edilmiş olur (Gür ve Doyum, 2002).

3.2.4.1. Işınım Kaynakları

Radyoaktif izotoplar, örneğin Ir 192, Co 60, Se 75, sürekli olarak bozunumuna uğrarlar böylece zamanla aktiviteleri azalır örneğin Ir 192'nin yarı ömrü 74 gündür. Bu nedenle izotoplar her zaman tehlike kaynağıdır ve kullanımları ile taşınmaları sırasında özel bir özen ve dikkat gösterilmelidir.

3.2.4.1.1. Avantajları

- Küçüktürler.
- Elektrik ve su bağlantısı gerektirmez.
- Ulaşılması zor noktalara bile yerleştirilebilir.
- X-ışınlarına göre nüfuziyet kapasiteleri daha yüksektir.
- Boru hatlarında borular boşaltılmaksızın muayene yapma imkanı sağlar.

3.2.4.1.2 Dezavantajları

- Yüksek ışınlama enerjisi nedeniyle kontrastı düşüktür. Bu nedenle EN 1435 standardına göre Ir 192 sadece ≥ 20 mm kalınlıklarda kullanılabilir.
- Aktivite sürekli azalır.
- Işınlama enerjisi ayarlanamaz.
- Güvenlik için yüksek önlemler alınması gerekir.

3.2.4.2. X – Işınım Tüpleri

Işınım hızlandırılmış elektronların bir tungsten anoda çarpıtılmasıyla oluşur. İyonlaştırıcı ışınım X ışını tüplerinde üretilmesi aşağıdaki parametrelere bağlıdır.

3.2.4.3. Hızlandırma gerilimi (Kv) ışınım kalitesi

Gerilim, üretilen ışınımın nüfuziyet kapasitesini belirler. Enerjinin ayarlanabilir olması sayesinde yeterli kontrastın sağlanmasını garantilenir. EN 1435 standardına göre “ maksimum sınır enerjisi “ kavramı ile uygun ışınlama enerjisi belirlenir.

3.2.4.4. Tüp Akımı (Işınım miktarı)

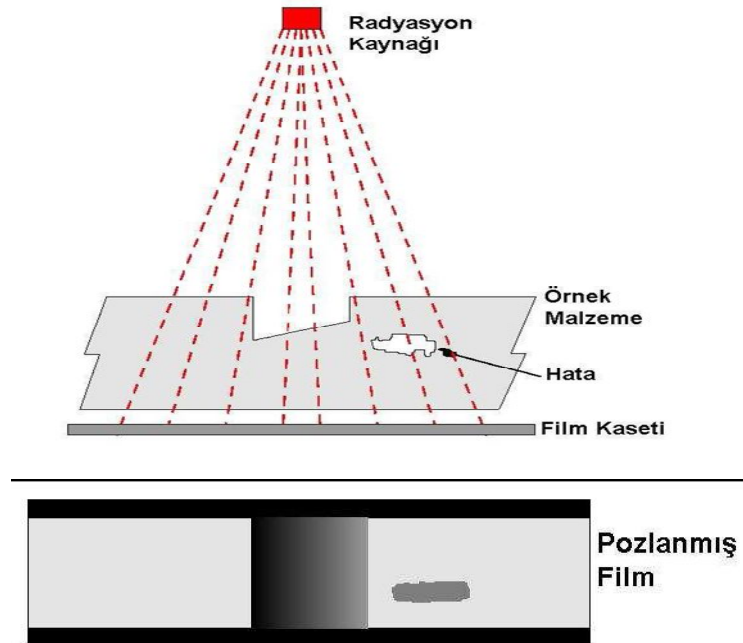
Bu parametre doğrudan üretilen ışınımın miktarını belirler ve filmin kararması için gerekli ışınlama yani pozlama süresinin hesabında kullanılır. Tüp akımının üst sınır kapasitesi, anottaki odağın ısınma ve buna bağlı olarak soğutulması ile belirlenir.

3.2.4.5. Odak

Burada radyoaktif ışınımın enerji dönüşümü söz konusudur. Odak büyüklüğünün görüntü kalitesi üzerinde belirleyici etkisi vardır ve ışınım kaynağı ile muayene parçası arasındaki minimum mesafenin bulunmasında kullanılır. Bu nedenle olabildiğince küçük odak boyutu istenir.

3.2.4.6. Çıkış Penceresi

Çıkış penceresi vakumlanmış X-ışını tüpünde üretilen ışınımın dışarı çıktığı penceredir. İyonlaştırıcı malzeme içinde zayıflatılır ancak diğer taraftan iyi bir kontrast elde edebilmek için ışınımın belli bir kalitede olması gerekir.



Şekil 3.4.1. Radyografik muayenenin çalışma prensibi (Doyum, B. 2002 **Radyografinin temelleri**, Ankara)

3.2.4.7. Muayene Düzenlemeleri

Hepsi için ortak noktası her iki taraftan da ulaşılabilir olması zorunluluğu olan pek çok çekim düzenlemesi vardır. Gereken durumlarda bunun için ön görülmüş şekiller vardır. Muayene parçasının bir tarafında en azından 500-1000 mm uzunluğunda bir mesafe, diğer tarafında ise sadece 75 mm genişliğinde bir film yerleştirilebilecek ve sabitlenecek kadar mesafe olmalıdır. Kaynak dikişlerinin muayene edilebilirliği daha doğrusu muayene masrafı çoğunlukla ulaşılabilirliğe ve muayene zamanının doğru seçilmesi muayene şartlarını ve buna bağlı masrafları önemli ölçüde belirler.

Kavisli kaynaklarda ışınlamanın esas olarak iç taraftan yapılması ön görülür, bu demektir ki ışınım kaynağının iç kavis tarafına yerleştirilmesi durumunda muayene daha iyi sonuç verir. Merkezi ışınlama yapmak mümkün değilse kaynağın tamamının muayenesi için farklı bakış açıları kullanılabilir. Boru çapı 100 mm'den az ise boru kaynağının üst ve alt kısımları aynı anda değerlendirilebilir. Işınımın eksenini alt ve üst kaynak dikişleri yan yana aynı film üzerinde görüntülenecek şekilde bir açıyla yönlendirilir. Çok küçük çaplı borularda bu görüntü için ışınlama açısının çok fazla olması gerekebilir bu durumda görüntüde çarpılma nedeniyle bozulma fazla olur. Bu tür borular dik ışınlanabilir. Tamir gerektiren belirtiler olması durumunda belirtinin yerinin tam olarak belirlenmesi bu boyutlu bir boruda çok önemli olmadığından bütün kaynak değiştirilir.

Köşe kaynaklarının muayenesinde, muayene bölgesindeki kalınlık değişimi çok fazla olduğundan radyografik muayene çok uygun değildir. Bu durum özellikle kalın levhaların kaynatıldığı çelik konstrüksiyonlar için söz konusudur. Küçük hatalar tespit edilemez. Ergime hatalarının tespiti buradaki ışınlama doğrultularında zaten mümkün değildir. Benzer problem T-bağlantıları için de vardır (Anonim, 2004).

3.2.4.8. Görüntü Kalite Belirteçleri

Bütün diğer tahribatsız muayene metotlarının aksine muayene sonucundan (radyografi filmi) muayenenin uygunluğunu anlamak mümkündür. Bunun için mümkün olan durumlarda ışınım kaynağı tarafına kaynak dikişi üzerinde, mümkün

olamayan durumlarda da film tarafına konabilir. Görüntü kalite belirteçleri konur ve filmde görüntülenir (Şekil 3.4.2.). Görüntü kalite belirteci bir plastik folyo içine yerleştirilmiş farklı kalınlıklarda tellerden oluşur. Ayrıca tel malzemesi, muayene parçasının malzemesiyle aynı olmak zorundadır çünkü filmde ki yoğunluk farkı kalınlık farkından kaynaklanmaktadır. Böylece bir filmde görülebilen tel numarası da ışınlanan kalınlığa göre belirlenir. Filmde yüksek bir tel numarası görülüyorsa filmin o kadar kaliteli olduğunu gösterir (Anonim, 2001).



Şekil 3.4.2. Radyografide görüntü kalite belirtecinin görünümü (Anonim, 2001).

3.2.4.9 Markalama

Daha sonra belli bölgelere ait belli testlerinin sınıflanabilmesi için soğurma özelliği yüksek malzemelerden imal edilmiş rakamlar ve harfler muayene parçası üzerine filmde görülebilecek şekilde yerleştirilir. Markalama sırasında kullanılan harflerin/markaların birbirlerinden çok farklı köşelere konması, daha sonradan filmin kesilerek farklı markalı filmler gibi ayrılması için uygundur.

3.2.4.10 Filmler ve Banyo İşlemleri

Radyografide kullanılan filmler daima ilgili muayene standartları veya talimatlarında önerilen film sistem sınıfına uygun olmalıdır. Bu filmlerin hangi film sistem sınıfına ait olduğu film üretici tarafından belirtilir. Film banyo işlemleri elde veya otomatik makinelerde yapılabilir (Şekil 3.4.3.). Görüntü kalitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ayrıca, banyo edilmiş filmlerin saklanabilirliğini de etkiler.



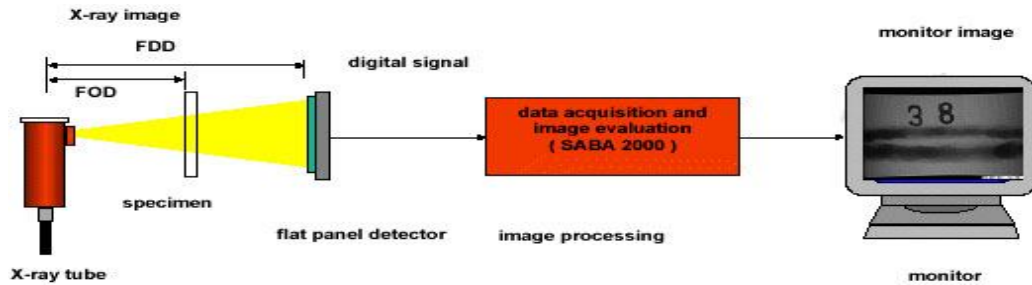
Şekil 3.4.3. Film banyo düzeneğinden görünüm. (Anonim 2010, **ODTÜ KTTMM Radyografi Eğitim Merkezi**, Ankara)

3.2.4.11. Radyoskopi

Bu tekniklerde kullanılan cihazlarda görüntüleme ortamı olarak çoğunlukla özel bir video kamerası kullanılır (Şekil 3.4.4.). Bu nedenle ekrandaki görüntünün değerlendirilmesi ‘real time’ olarak anında yapılabilir ve muayene sırasında hareket ettirilebilir. Böylece fazla masraf yapılmaksızın farklı yönlerde muayene mümkün olur. Bu çalışmalarda görüntünün elektronik olarak iyileştirilmesi de mümkündür.

Dokümantasyon gereken durumlarda;

- İlgili bölgenin filmi çekilebilir
- Ekrandaki görüntü basılabilir.
- Video görüntüsü elde edilebilir.



Şekil 3.4.4. Radyoskopi yönteminin şematik görünümü (Anonim, 2010 **ODTÜ KTTMM Radyografi Eğitim Merkezi Arşivi**, Ankara)

3.2.4.12 Mikro odaklı tüpler

Bilindiği gibi radyografik muayenede muayene parçasının iç görüntüsünün iz düşümü, bir görüntüleme ortamına aktarılır. Normal bir ışınım kaynağı (X-ışını tüpü) yerine noktasal bir ışınım kaynağı kullanılırsa optik olarak gerekli düzenlemeler yapıldığında görüntüleme ortamında görüntünün 60 kata kadar bir büyütülmesi sağlanabilir. Bu cihazların yapısı ve kullanımı aşağı yukarı radyoskopi cihazlarına benzer ancak mekanik olarak daha yüksek hassasiyet gerektirir. Ayırma kapasitesinin yüksek oluşu değerlendirmeyi de kolaylaştırır, bununla birlikte çoğu kalite standardında tanımlanmış izin verilebilir hata büyüklüğü 0,1 mm den daha büyüktür, böylece ‘ışınım kaynaklarında aranan şartlar’ sağlanmak ve minimum pozlama mesafesine uymak şartları ile uygulanan normal röntgen metotları ile de görüntülenebilir (Tablo 3.4.1.) (Anonim, 2010).

Tablo 3.4.1. Radyografi de tespit edilebilen süreksizliklerin filmdeki görüntü şekilleri (Anonim, 2010 **ODTU KTM Kaynak Mühendisliği Ders Notları**, Ankara)

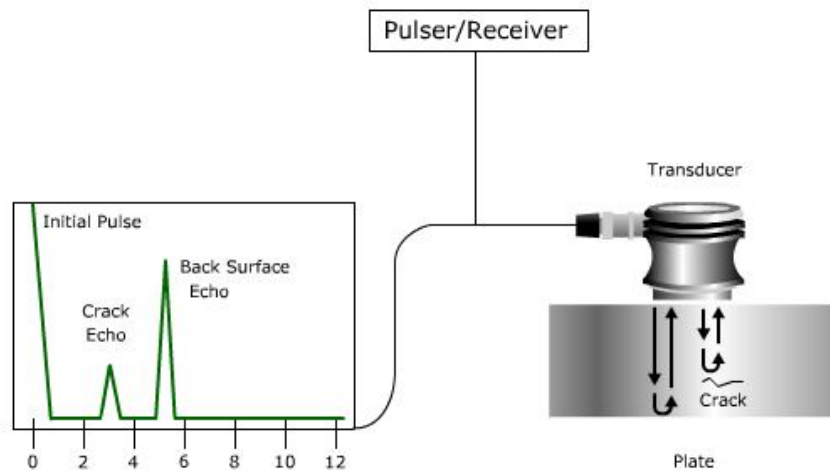
Hata Tipi	Filmdeki Görüntüsü
Çatlaklar	Koyu çizgiler
Gözenekler	Etraflarına göre daha koyu
Katı kalıntılar	Etraflarına göre daha koyu
Tungsten kalıntıları	Açık renkli noktalar
Yetersiz ergime	Koyu çizgiler
Yetersiz nüfuziyet	Koyu çizgiler, keskin kenarlar
Yanma olukları, çentikler	Koyu dar bantlar
Bitirme krateri	Koyu yuvarlak leke
Aşırı kapak dolgusu / Kökte Sarkma	Açık renkli bölgeler, damla halinde ki Sarkmaların keskin sınırları vardır
Yetersiz kapak dolgusu	Koyu renkli bölgeler, esas metalden daha koyu ise kritik
Kaynak sıçramaları	Açık renkli noktalar

3.2.5. Ultrasonik Muayene (UT)

Ultrasonik muayene, özellikle kalınlığı 20 mm üzerindeki parçalarda ve birleştirme formu HV / DHV dikişlerin kaynağında bulunan iç hataların tespitinde ve radyografik muayenenin uygulanmadığı veya uygulanmasının anlamlı olmadığı durumlarda kullanılır. Ayrıca, levhalardaki ve tamamlanmış konstrüksiyonlardaki süreksizliklerinin, konumları nedeniyle başka türlü tespiti mümkün olmadığı durumlarda (katmer, teras çatlakları vb.) uygulanır. Pratik uygulamada kaynakların muayenesinde Darbe / Yankı tekniği kullanılır (Anonim, 2010).

3.2.5.1. Ultrasonik Muayenenin Prensibi

Ultrasonik dalgalar ($f = 0,14 - 10$ Mhz) probta kısa darbeler şekilde ters piezoelektrik etki ile üretilir ve malzemeye girişi sağlanır. Ses dalgaları malzemede bir arka duvar ile karşılaşınca yansır. Yankı o anda pasif durumdaki proba ulaştığında tekrar elektrik sinyaline dönüşür ve ultrasonik muayene cihazına iletilir (Şekil 3.5.1.). Sinyalin şiddetine göre uçuş zamanı ekseninde bir belirti oluşturur. Aşağıdaki resimde arka duvar yankısı ekranın sağında görülmektedir. Bu yankının başlangıç darbesine ekranda ki sol sinyal mesafe et kalınlığına karşılık gelmektedir. Ekranda arka duvardan beklenen yankı konumundan önce, yani bu yankının solunda kalan bir yankı görülmesi durumunda malzeme içinde bir süreksizlik olduğu anlaşılır.



Şekil 3.5.1. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi (Anonim, 2010
Destructive Testing and Applications www.ndt-ed.org/AboutNDT/aboutndt.htm)

Görülen yankının şiddeti esas olarak yansıyan sesin ne kadarının proba geldiğine bağlıdır. Küçük yansıtıcılar ve sesin güçlü bir şekilde saçılmasına neden olan süreksizlikler (gözenekler) bu nedenle zor tespit edilir. Basit geometrili parçalarda sesin düz gönderildiği durumlarda arka duvar yankısındaki zayıflama ile ve ilave bir hasta yankısı olmaksızın hata tespiti mümkündür. Arka duvar yankı yüksekliği belli bir değerin (% ekran yüksekliği) altına düştüğünde bir hatanın varlığından söz edilebilir (Zafer, K. 2001).

3.2.5.2. Ultrasonik Muayene ile Kalınlık Ölçümü

Daha önce açıklandığı gibi yankı sinyalinin ekrandaki konumu ses mesafesine karşılık gelir. Bu sayede cihazın uygun bir mesafeye kalibre edilmesiyle ekrandan kalınlığın (başlangıç darbesi ile arka duvar arasındaki mesafe) doğrudan olması mümkün olur. Ekran görüntüsünde gösterildiği gibi başlangıç darbesinin büyük bir genişliği vardır ve bu nedenle muayene yüzeyinin hemen altındaki bölgeyi içine alır, bu bölgedeki yankılar görülemezler. Bu nedenle muayene yüzeyinin hemen altındaki bölgeyi içine alır, bu bölgedeki yankılar görülemezler. Bu nedenle çok ince malzemelerin muayenesinde TR-Probu adı verilen özel problemler kullanılır (Şekil 3.5.2.). Bu problemlerde birbirinden tamamen bağımsız iki sistem aynı gövde içine monte edilmiştir. Bir prob sadece gönderici olarak çalışır, diğer prob ise sadece gelen sinyalleri karşılar. Bunun için problemlerin birbirlerine göre küçük bir açı ile (çatı açısı) yerleştirilmesi önerilir. Alıcı sistem sadece gelen sinyalleri aldığı, gönderici de alıcıdan tamamen ayrı olduğu için ekranda bir başlangıç darbesi görülmez. Piyasada sadece kalınlık ölçümü yapan özel cihazlar vardır (Anonim, 2000).



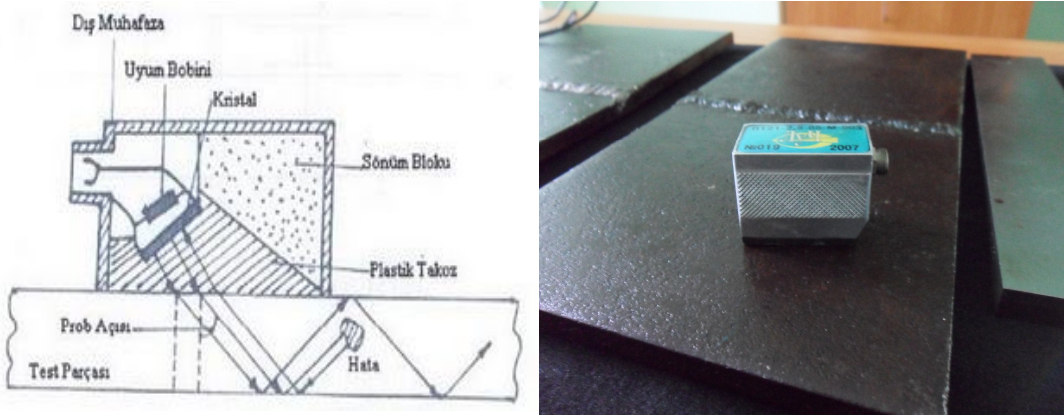
Şekil 3.5.2. Ultrasonik kalınlık ölçüm cihazı (Anonim, 2000)

3.2.5.3 Katmer (Laminasyon) Muayenesi

Katmer muayenesi için sistematik olarak kalınlık ölçümü taraması yapılır. Kalınlık değerinin daha düşük ölçüldüğü ve bu sonucun yan yana pek çok ölçüm noktalarında tekrarlandığı durumda, ekranda görüntülenen derinlikte büyük düzlemsel bir süreksizlik (katmer veya teras çatlağı) olduğu anlaşılır. Bu süreksizliğin sınırları probun muayene yüzeyinde gezdirilmesi ile belirlenir. Katmer muayenesi için örneğin EN 10160 kullanılabilir. İstenen kalite sınıfları konusunda taraftar arasında anlaşma sağlanmalıdır (Uğur, S. 2005).

3.2.5.4. Kaynak Dikişi Muayenesi

Kural olarak düzgün olmayan kaynak dikişi yüzeylerinin normal proba muayenesi yapılmaz. Bu nedenle kaynak dikişlerinin muayenesi çoğunlukla açılı problarla yapılır (Şekil 3.5.3.).



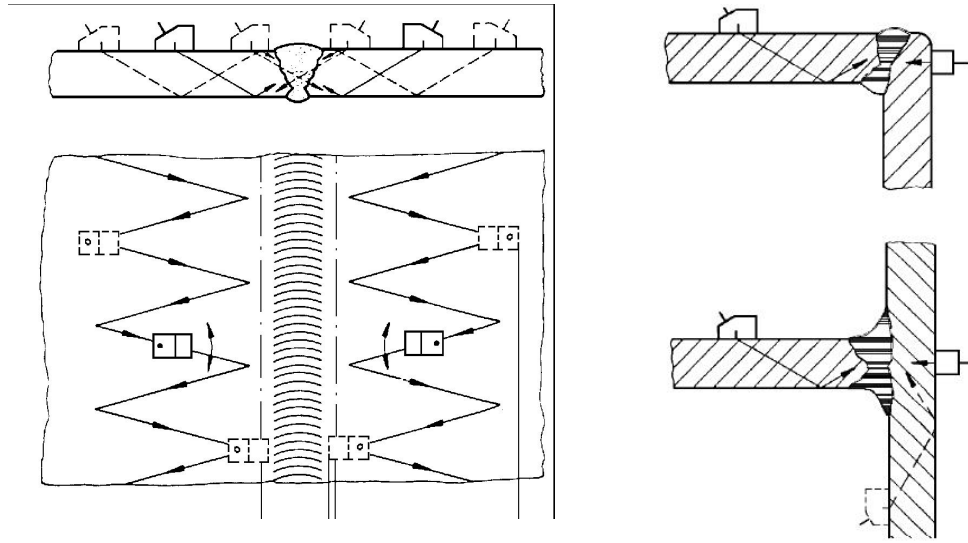
Şekil 3.5.3. Açılı bir probun temel yapısı (Anonim, 2010 **Promprylad ltd. şti ultrasonik muayene eğitim merkezi**, Kiev)

Açılı bir probun şematik yapısı, kristal dönüştürücü bir takoz üzerine eğik olarak yapıştırılmıştır, böylece ses demeti kaynağın yanından malzeme içine eğik olarak girer ve bu sayede bütün süreksizliklere doğrudan veya indirekt ulaşılabilir. Probu kaynak eksenine dik olarak kaydırılması ile kaynak boyuna dik yönde tamamen test edilebilir. Ses hızlarının farklı malzemelerde farklı nedeniyle çelik malzemelerde maksimum giriş açısı 70° alüminyum malzemelerde ise 65° dir.

Alın kaynaklarının yanında

- Bindirme kaynakları
- Tam nüfuziyetli T – birleştirmeleri
- Boru kaynaklarının ultrasonik muayenesinde ise et kalınlıkları 8 mm den fazla olmak şartı ile muayene edilebilir.

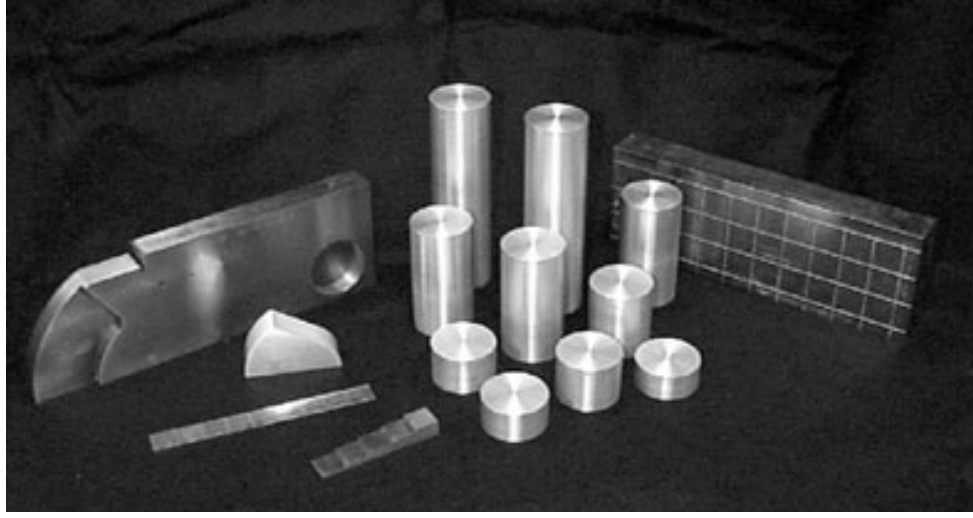
Köşe kaynaklarının ultrasonik muayenesi ise çok zordur. Bir hatanın tespit edilebilirliği gelen ses dalganın ne kadarını proba geri gönderdiğine bağlı olduğundan farklı geliş açıları (ör. 45° ve 70°) ile ilave taramalar yapılmalıdır (Şekil 3.5.4.). Böylece kötü konumlanmış yansıtıcıların tespit edilememe problemi aşılır. Yan cidarda kaynamama hatalarının tespiti için geliş açısı 90° olan bir prob tercih edilebilir.



Şekil 3.5.4. İncelenen parça üzerindeki prob konumuna göre yansıma şekilleri (Mutlu, M. 2004 **Ultrasonik muayenede prob açıları**, Bursa)

Ultrasonik muayene ile hatanın doğrudan bir görüntüsü elde edilmez, bunun için muayene sonuçları işlenmelidir. Bu nedenle çoğunlukla içinde tanımlanmış hatalar bulunan referans bloklar kullanılması gerekir (Şekil 3.5.5.). Pratik uygulamada ekranda görülen belirti büyüklüğü ile gerçek hata büyüklüğü arasında DGS çizelgesi veya karşılaştırma eğrisi ile bir ilişki oluşturulur. Muayene parçasındaki hatalardan alınan yankılarla karşılaştırma yapabilmek için yandan

açılmış delikler (YAD), çentikler ve düz tabanlı delikler veya diğer adıyla disk şeklinde yansıtıcılar (DSY) referans olarak kullanılabilir. Ultrasonik muayene ile yankı yüksekliği değerlendirmesinin yanı sıra yansıtıcının nispeten doğru konumlandırmasını yapmak ta mümkündür. Bilindiği gibi ekrandan yansıtıcının ses mesafesi belirlenmektedir. Kullanılan probun açısı da bilindiğinde yansıtıcının derinliği ve probtan yatay yönde ne kadar uzakta olduğu da hesaplanabilir. Bugün kullanılan sayısal ultrasonik muayene cihazları bu işlemleri otomatik olarak yapmaktadır (Doyum, B. 2002).



Şekil 3.5.5. Ultrasonik muayenede kullanılan çeşitli kalibrasyon blokları (Kızıltunç, C. 2003 **Ultraonik muayenedeki kalibrasyon blokları**, İstanbul)

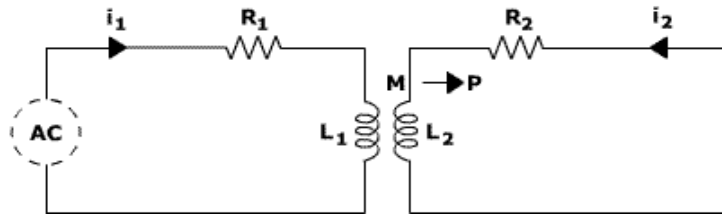
3.2.5.5. Tespit edilebilen süreksizlikler

Hataların tespit edilebilirlikleri esas olarak bunların şekillerine ve konumlarına bağlıdır. Genel ses dalgasının çok fazla saçılmasına neden olan türdeki süreksizliklerden sadece düşük enerjili bir yansıma proba ulaşılabilir. Bu nedenle ekranda görüntünün belirtisi gerçekteki hata büyüklüğüne göre çok küçük bir belirti olabilir. Yüzeyi çok pürüzlü olan bütün küresel kalıntılar da bu şekilde belirtilere yol açar. Şartlar uygun olduğunda aşağıda ki hatalar tespit edilebilir (Anonim, 2002).

- Çatlaklar
- Büyük gözenekler, gözenek gurupları
- Ergime hataları
- Yetersiz nüfuziyet
- Çentikler
- Esas metaldeki katmer vb
- Teras çatlakları

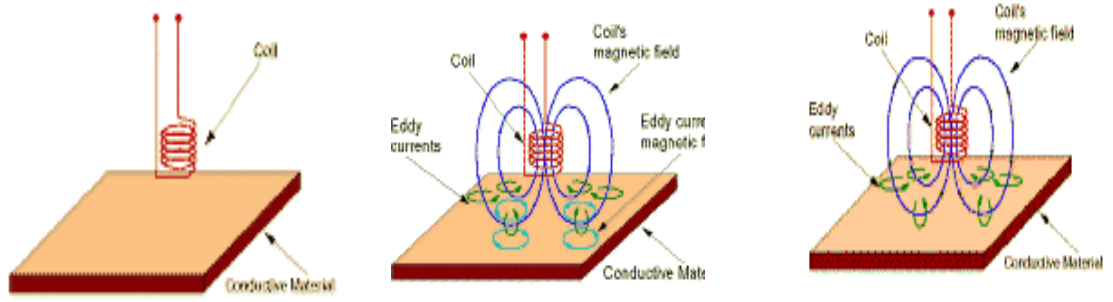
3.2.6. Girdap akımları muayenesi (ET)

ET, küçük elektrik dalgalarının bir malzemeye indüklenmesi ve malzeme homojensizliğinin bu akımların akışında herhangi bir değişikliğin üzerindeki bir probun içindeki bobin (coil) tarafından cihazdaki elektronik işlem ve prezentasyonla tespit edildiği elektromanyetik bir tahribatsız muayene metodu olarak tanımlanabilir. Bu yöntemin kaynaklardaki süreksizliklerin yüzey ve bazı durumlarda yüzeye yakın iç bünyesindeki muayenesi birçok uygulamadan sadece birisidir. Girdap akımları teknikleri ayrıca malzemenin iletkenliği, tane boyutu, sertliği, kalınlığı ve farklı bileşimdeki malzemelerin mikro yapıları, manyetik geçirgenliği, ısıl işlem ve kaplamaların kalınlığını etkilemeden farklı malzemelerin muayenesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Girdap akımları muayenelerinde, alternatif akım kaynağa yakın bir yerde prob içindeki bobin den geçirilir. Bobinde değişen akım malzemede alternatif bir manyetik alan oluşturur (Şekil 3.6.1). Kaynaktaki değişen manyetik alan malzemede elektrik alan veya “girdap akımları” oluşturur. Prob içindeki test bobini veya bazı durumlarda ayrı hızlandırıcı bir bobin elektronik şekilde alan etkileşmesi içindeki değişimleri belirlemek için kullanılır. Kaynaktaki süreksizlikler girdap akımlarının manyetik alanını ve yönünü değiştirmekte olup bu sayede test sinyali ile süreksizliğin tespiti mümkün olmaktadır. Girdap akımları testi esas olarak ince cidarlı alın kaynaklı bağlantılı borularda kullanılır. Girdap akımları dairesel yönde ilerledikleri için, boyuna süreksizlikler girdap akımları akışındaki en belirgin değişime neden olurlar.



Şekil 3.6.1. Girdap akımlarında etkileşim (Anonim, 2009).

Bu şekilde a- bir alternatif akım bobini ve iş parçasını, b- uyarılan bobinde oluşan değişken manyetik alanın malzeme yüzeyinde dairesel girdap akımlarının oluşturulmasını, c- bobinde oluşan manyetik alan ile etkileşime girerek bu manyetik alana zıt yönde ikinci bir manyetik alan oluşumunu göstermektedir. Test parçasında girdap akımlarının oluştuğu bölgede bir süreksizlik var ise, test malzemesi ve süreksizlik arasındaki elektrik direnci farkından dolayı akımlar farklı bir yörünge izlemek durumunda kalacaktır (Şekil 3.6.2.). Bu farklılık bobin (prob) tarafından algılanarak süreksizlik değerlendirilir (Yaykın, E. 2009).



a) Bobin, b) Bobinde manyetik alan oluşumu, c) Manyetik alan parça etkileşimi

Şekil 3.6.2. Girdap akımları ile muayene (Anonymous, 2008)

3.2.6.1. Kaynak Dikişi Muayenesi

Her ne kadar gürültü sinyalleri ile farklı fazları nedeni ile hasta sinyallerini ayırt etmek mümkün olsa da düzenlenmiş kaynak yüzeyleri kural olarak değerlendirilebilir hata belirtisi elde etmeyi engeller. Düzenlenmiş, işlenmiş kaynak yüzeylerinde ergime noksanlıkları, çatlaklar, yetersiz nüfuziyet vb. hata tespit edilebilir. Yüzeyden aşağıda kalan hacimsel hatalar için çok büyük problemler kullanılması gerekir, ancak bunların hassasiyetleri de küçük değişimleri tespit edemeyecek kadar küçük olur (Şekil 3.6.3.). Üstelik bulunan bir hatanın sınıflandırılması mümkün olmadığından bu hatanın kabul / ret kriterinin uygulanması için üzerinde ayrıca çalışılması gerekir.

Kaynak dikişinin güvenilir bir şekilde genel bir muayenesi için üzerinde anlaşılmalı bir çalışma şekli yoktur. Sadece otomatik olarak kaynatılan spiral

kaynaklı ve boyuna kaynaklı borularda kullanılabilir. Geniş ölçüde düzgün muayene yüzeylerinde gürültü sinyalleri belirti tespit hassasiyetini çok azaltmaz.



A

B

Şekil 3.6.3. Bir girdap akımla muayene cihazının görünümü: a) cihaz, b) çeşitli problemler (Metin, M. 2007 **Dekra girdap akımla muayene eğitimi ders notları**, İstanbul)

3.2.7. Sızdırmazlık Testi (LT)

Kaynak bağlantılarındaki sızdırmazlık testleri, eğer süreksizlikler kaynak boyunca yayılıp uzadığı ve de sıvı veya gaz kaybıyla sonuçlanan bir durum olursa bunu belirlemek için kullanılırlar. Bu testler kaynakların basınçla ve gözle muayenesi gibi basit işlemlerden elektronik ekipmanların kullanımıyla sızıntıların bulunmasını sağlayan sofistike ve karmaşık metotlara kadar uzanır. En basit sızdırmazlık muayenelerinden biri bir kabın veya boru sisteminin iç basıncını atmosferik basıncın üzerine yükseltmek ve kaynakların sızıntı kanıtı için muayene edilmesidir. Su, yağ, hava veya yanıcı olmayan gazlar basınçlama işlemi için kullanılabilir. Sızdırmazlık testi uygulanmadan önce tüm kaynaklar ve yüzeyler bitmiş ve hazır halde olmalıdır.

Doğal olarak su en çok kullanılan maddedir. Hazır olarak bulunabilir ve düşük maliyete sahiptir. Nispeten çok küçük sızıntıların bulguları doldurma ve muayene öncesi suyun kabın dışını ıslatmasına bağlı olarak gözden kaçırılır. Muayene ortamına küçük miktarlarda suda çözünebilir flüoresans boyaların eklenmesiyle ve ultraviyole ışıkla kabın dış yüzeylerinin muayenesi genellikle metodun hassaslığını arttırmak için kullanılır. Suyu kullanan sıvı sızdırmazlık testi

genellikle basınçlı kapların standart hidrostatik basınç testi değildir. Basınçlı kapların dizayn kodlarında hidrostatik basınç testinden sonra yapılması istenir ve basınç işletme basıncının 1,5 katı kadardır. Hava veya asal gazlar kullanıldığı zaman, sızıntılar kabarcık olarak kabın dışında sabun filmin üzerinde oluşurlar veya basınçlı kabın kaçan hava veya gazdaki kabarcıkları tespit etmek amacıyla bir sıvı havuza daldırılması sonucu bulunurlar. Bu sırada da tüm kaynak dikişleri ve bağlantı noktaları kontrol edilir (Anonim, 2002).

3.2.7.1. Sızdırmazlık Test Tipleri

- Basınç altında olan sıvı ile yapılan testler.
- Basınç altında olan hava veya gaz ile yapılan testler.
- Vakum kutuları ile olan sızdırmazlık testleri.
- Ultrasonik metot ile olan sızdırmazlık testleri.

3.2.8. Replika Testi (Rep T)

Replika tekniği, basınçlı ekipmanların sürünmeye maruz kalmış yüksek sıcaklıklı bölgelerinin (gerilme yığılmasının ve sıcaklığın fazla olduğu yerler) muayenesinde uygulanır. Temel dokümanlar replikanın tahribatsız olduğu kanısındadır ve replika tekniğinin uygulanmasındaki pratik deneyimlere uygulanmış dokümanter çalışmalara dayanmaktadır. Replika muayenesi sürünmeye maruz kalmış ekipmanların kalan ömürlerini değerlendiren nitelikli iyi bir tahribatsız muayene metodudur. Prensip, replika tekniği mobil taşlama ve parlatma cihazlarıyla bir yüzeyin mikro yapı kesiti olarak hazırlanmasından ibarettir. Daha sonra yapılan yüzey dağlama işlemi metalografik yapıda taneleri, sınırları, karbürleri, aşınmaları ve oluşumlar arasındaki mikro yapısal farklılıkları belirginleştirir. Detaylı bir laboratuvar analizi ve muayene için bir dökümanter hazırlamak, hazırlanan yüzeyden mikroyapısal bir çıktı yani replika almakla mümkündür (Anonim, 2003).

3.2.9. Tahribatsız Sertlik Muayenesi (HT)

Kaynak birleştirmesinde sertlik ana metalin ve kaynak dolgu metalinin bileşiminden etkilenir. Kaynak prosesinin metalürjik etkileri; metalin soğuk işlenmesi, ısıl işlem, dolgu metali ve diğer birçok faktörleri içerir. Deneyimler sertlik artış limitlerini; ana metalin, ısıdan etkilenmiş bölgelerin ve kaynak metalinin genellikle de alaşımlı çeliklerin sertliklerinin değerleriyle sınırlamıştır. Eğer çok sertleşmiş ise, işletme şartları için yeterli uzamaya sahip olmayacaklar, korozyon dirençleri zayıflayabilecek veya diğer bir faktör olarak sertleşme sınırlaması getirilebilecektir. Tahribatsız sertlik testi cihazı ileri teknoloji ürünü bir cihazdır. Bu cihaz kolay ve hızlı kullanılacak alanlardaki sertlik testi için bir seçenek olarak geliştirilmiştir. Sertlik testi cihazı iki farklı fiziksel metodu birleştirmektedir, bunlar tek bir birleşik operasyonel kavramda olan statik ve dinamik geri tepmedir. Çeşitli yöndeki ölçümler test sonucunun doğruluğunu etkilememektedir. Dinamik test cihazları kanıtlanmış geleneğini saha test çalışmalarındaki kolaylığı ile sürdürmektedir. Sadece tesir/çarpma impact cihazının kullanılması ve sertlik değerinin okunması yeterlidir. Cihaz, her yerde ve her yönde; yatay veya tepe/üst pozisyonlarda her hangi bir kısıtlama olmaksızın ve test bölgesinde iz yapmadan ölçüm yapabilir.

Sertlik ölçümleri uluslararası sertlik ölçüm birimlerine uygun olarak Rockwell B (HRB), Rockwell C (HRC), Brinell (HB) ve Vickers (HV) cinsinden sertlik ölçümleri yapılabilmektedir (Şekil 12.1.). Mevcut portatif sertlik ölçüm cihazları ile ve malzemenin her türlü geometrik şekline uygun aparatlar ile sertlik ölçümleri uygulanmaktadır (Anonim, 2009).



Şekil 3.9.1. Tahribatsız sertlik ölçüm cihazı (Anonim, 2004).

3.2.10 Tahribatsız Muayene Teknolojisinde Son Gelişmeler

3.2.10.1. Akustik Emisyon (AE)

Akustik Emisyon (AE), gerilme altındaki malzemelerde bir ya da daha çok yerel kaynağın hızla enerji salarak geçici elastik dalgalar ürettiği olaylar ve bu şekilde oluşan geçici elastik dalgalar olarak tanımlanır. Bütün katı malzemeler belli bir elastikliğe sahiptir; dış kuvvetler altında genişirler veya sıkıştırılırlar, kuvvet ortadan kalktığında ise bir yay gibi geri gelirler. Kuvvet ve dolayısıyla elastik deformasyon ne kadar fazla ise elastik enerji o kadar fazla olacaktır. Eğer elastik limit aşılsa kırılma veya çatlama olur. Bu, gevrek malzemelerde hemen, diğer malzemelerde belli bir plastik deformasyon sonrası meydana gelir. Eğer elastik olarak genişmiş malzeme boşluk, inklüzyon vb. bir hata varsa çatlamlar yüksek derecede streslenen bu noktalarda oluşarak hızlı bir dislokasyonla malzeme enerjisini atarak gevşer. İşte elastik enerjinin hızla serbest bırakılmasına Akustik emisyon olayı denir. Akustik bir elastik dalga üretir, malzeme yayılan bu dalga uygun sensörlerle tespit edilebilir ve analiz edilebilir.

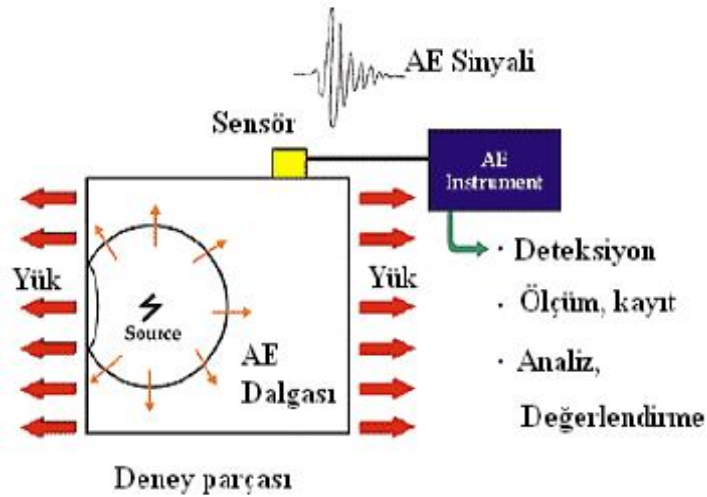
Gerilme altındaki malzemelerden açığa çıkan akustik emisyon'un fark edilmesi, aslında yeni bir gözlem değildir. Maden ocaklarındaki destek ve payandaların çıkardığı gıcırtilardan, yakın felaketlerin ilk habercisi olarak yüzyıllar boyunca yararlanılmıştır. Kalay bükülürse ikizlenme meydana gelir ve bu sırada yayınlanan çatlama sesi "kalay çığılığı" olarak bilinir.

Bir parça kâğıdın yırtılmasında, tahta veya cam kırılmasında ses açığa çıkar. Bütün bu örneklerde sesler, kulak tarafından duyulabilecek genliktedir ve frekansları da işitilebilir ses spektrumu içindedir. Modern akustik emisyon araştırma çalışmaları, daha ziyade malzemelerden ultrasonik, kulağın işitemeyeceği mertebedeki, frekanslarda yayılan seslerle ilgilidir. Kabaca frekans aralığı 100 KHz ile 40 MHz olup, çoğu çalışmalar belli bir frekans bandı, örneğin metallerde 100 KHz - 1.2 MHz bandı aralığında yürütülür. Bu tür ultrasonik sinyallerin genliği genellikle çok düşük olduğundan 100 desibel (dB) mertebesinde kazançlar gereklidir (Anonim, 2009).

3.2.10.1.1. AE Oluşumu ve Algılanması

Belirli bir yük altındaki malzemelerde temel AE kaynakları, çatlak başlangıçları, ikizleme, dislokasyon hareketi, kristal düzlemlerinin kayması, martensitik faz dönüşümleri gibi yerel dinamik hareketleri kapsar. Ayrıca oksit tabakasının çatlaması gibi çeşitli yüzey etkileri de aktif AE kaynaklarını oluşturabilmektedir (Şekil 3.10.1.). Dolayısı ile AE muayene yöntemi ile metal ve seramiklerde çatlak başlangıcı, yorulma çatlakları ilerlemesi, gerilmeli korozyon çatlaklarının saptanması, faz dönüşümleri ve dislokasyon hareketleri gibi çeşitli olaylar incelenebilir. AE oluşumu ve algılanması Şekil 3.10.1.'de şematik olarak gösterilmiştir.

Uygulanan gerilim sonucu kaynaktaki ani hareket bir gerilim dalgası oluşturur. Yapıdaki yayılan dalgalar yüzeye yerleştirilen hassas bir piezoelektrik güç çeviriciyi uyarır. Malzemeye uygulanan gerilim artarsa bu yayımlardan çok fazla miktarlarda üretilecektir. Yüzeye ulaşan zayıf titreşimlerin bir veya daha fazla algılayıcı vasıtasıyla alınıp yükseltilecek değerlendirilmesi, AE muayene yöntemi olarak adlandırılır.



Şekil 3.10.1. AE oluşumu ve algılanması (Anonymous, 2009)

Bazı hallerde, basit olarak sadece ses yayınımlarını algılayabilen bir AE sistemi yeterli olmakla birlikte, yayınımları karakterize etmeye ve onları, orijinleri ile ilişkilendirmeye girildiğinde daha karmaşık AE sinyal değerlendirmeleri gerekmektedir.

3.2.10.1.2. Diğer Test Yöntemleri ile Kıyaslama

Akustik emisyon yöntemi, diğer tahribatsız muayene yöntemlerinden esas itibarıyla iki açıdan farklılık gösterir: Birincisi; sinyal kaynağı malzemenin kendi içindedir, harici kaynak değildir. Geleneksel tahribatsız muayene yöntemlerinde belirli bir enerji türü malzemeye dışarıdan verilerek, bu enerjinin malzeme tarafından nasıl zayıflatıldığı gözlenmektedir. İncelenen malzeme her zaman pasif durumdadır. Hâlbuki akustik emisyon yönteminde malzemenin pasif durumu ortadan kaldırılmakta, asıl enerji malzemeye yük uygulayarak verilmekte ve bu şekilde aktif duruma geçirilen akustik emisyon kaynakları ikincil bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. İkinci fark ise; diğer metotlar mevcut geometrik süreksizliklerin varlığını ve şeklini belirlerken, akustik emisyon yöntemi süreksizliğin hareketini algılar.

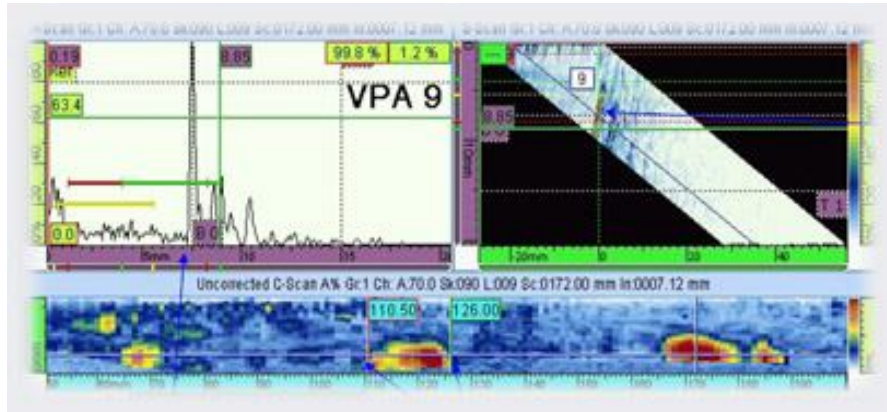
Elektronik ve bilgisayar alanında son yıllarda kaydedilen ilerlemeler, kalite, güvenlik ve verimliliğin artırılmasında vazgeçilmez bir araç olarak kullanılan tahribatsız muayene teknolojilerinde de büyük gelişmelere neden olmaktadır. Akustik emisyon ise bu gelişmelerden en büyük payı alan bir yöntem olmuştur. Türk sanayisinde fazla tanınmayan ancak oldukça geniş bir uygulama alanı bulunan tahribatsız muayene yöntemidir. Bu kontrolde yapıya ulaşım açısından sadece algılayıcıların yerleştirilmesi yeterli olmaktadır (Şekil 3.10.2.). Yerüstü ve yeraltı depolama tanklarında sızıntı tespitinde ve korozyon seviyesinin belirlenmesinde AE çok elverişli bir araç olacaktır (Süha, T. 2010).



Şekil 3.10.2. Akustik Emisyonun yapılışından görünüm (Haris, D. ve Dunegan, H.L. “Acoustic Emission Testing of Wire Rope” Mater Evval 15 pp 79-82, England)

3.2.10.2. Phased Array

Hali hazırda dünyanın en gelişmiş ultrasonik muayene yöntemi olan Phased Array teknolojisiyle ses dalgaları elektronik olarak kontrol edilebilmekte ve A,B,C,D ve S tarama görüntüleri ile kaynaklı veya kaynaklı olmayan yapıları 3 boyutlu muayene edilebilmekte ve görüntüleri raporlama yapılabilmektedir (Şekil 3.10.3.). Ayrıca, Phased Array ultrasonik muayene teknolojisinde de gelinmiş en son nokta olan dinamik derinlik odaklanması ile kesit boyunca maksimum çözünürlük elde edilebilmektedir (Anonim, 2008).



Şekil 3.10.3. Phased Array ultrasonik muayene yöntemiyle malzeme muayenesi (Anonim, 2008 **Dizayn Kalite Mühendislik arşivi**, İstanbul)

3.2.10.2.1 Phased Array'in Avantajları

- Ultrasonik muayenede hali hazırda mevcut taramaların tümünün kullanımı (A, B, C, D ve S tarama) ve ses demeti yönünde ve tarama yönünde mesafe kaydı işlenmiş veri ile üç boyutlu değerlendirme olanağı (B, C, D ve S tarama üzerinden)
- Konvansiyonel ultrasonik muayenedeki operatöre bağımlılığın azalması, yüksek ve kesin hata bulma yeteneği
- Yüksek hızlı tek eksenli tarama.
- İki eksenli tarama olanağı (Raster Scan)
- Kolay hata boyutlandırma ve geniş raporlama özelliği.
- Tek bir prob ile çok açılı ses dalgası ($30^\circ - 70^\circ$ arası tüm açılar) uygulanabilmesi.
- Esnek tarama sistemi.

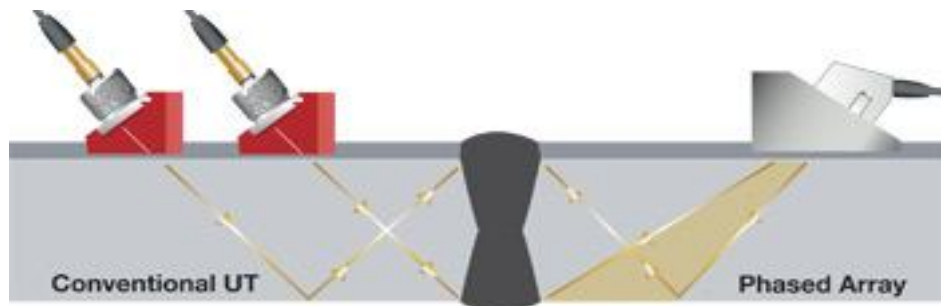
- Mükemmel ve kesin taranabilirlik
- Farklı tarama görüntüleriyle mükemmel raporlama (kesitsel taramalar ile üç boyutlu raporlama)
- Bütün muayenenin mesafe kaydı işlenmiş halde saklanması ve muayeneden sonra analiz edebilme olanağı ve geri dönüşümlü parçaya ihtiyaç duymadan eski bir muayene tekrar canlandırılabilir sabit analiz verileri.

3.2.10.2.2 Özel uygulama alanları

1. Basınçlı kapların muayenesi
2. T-kaynak muayenesi
3. Boru millerinin muayenesi
4. Türbin kanatlarında korozyon çatlakları
5. Uçak iniş takımlarının muayenesi
6. Komplike geometrili parçaların muayenesi
7. Korozyon haritalandırma .
8. Şaft ve aksların muayenesi
9. Nozul kaynaklarının muayenesi
10. Havacılıkta kompozit malzemelerin muayenesi
11. Petrol ve doğalgaz boru hatlarında kaynakların on line/of line olarak hızlı ve güvenilir bir şekilde muayenesi

3.2.10.2.3 Tipik Uygulamaları

Bütün normal ultrasonik muayene uygulamaları en son görüntüleme tarama yöntemleri ile (A,B,C,D ve S tarama) (Şekil 3.10.4.).



Şekil 3.10.4. Ultrasonik muayene ile Phased Array arasında ki tarama farkı (Anonim 2009)

3.2.10.3 TOFD (Time of Flight Diffraction)

Ultrasonik muayene teknolojisinde difraksiye boyuna ses dalgaları vasıtasıyla en yüksek hassasiyette hata boyutlandırma ve hata tespiti yapabilen bir ultrasonik muayene yöntemidir TOFD (Time of Flight Diffraction) (Şekil 3.10.5.).



Şekil 3.10.5. TOFD muayene yönteminin uygulaması (Anonim, 2010)

3.2.10.3.1 TOFD Avantajları

- Yüksek kesinlikte ve hassaslıkta uygulama (“Possible of Detection (POD)“ Tespit etme olasılığı)
- Çatlak gibi veya diğer şartlarda en yüksek hassaslık
- Diğer yöntemlere göre tespit hızının daha fazla olması
- Bütün kaynağın taranması sonucunda TOFD görüntüsünde bütün kaynağın analiz edebilme ve kayıt altına alabilme olanağı.
- Bütün kaynak boyunca verinin önümüzde olması ve hali hazırdaki en hassas boyutlandırma yeteneği nedeniyle hızlı raporlama / hızlı ve kesin karar verebilme.
- Sabit olarak parametrelerin kayıt edilmesi yani 40 mm film sonucunu TOFD ‘da 40 mm kaynak sonucu ile aynı şekilde önümüzde görebiliriz.
- Taramadan sonra muayene, analiz ve ölçümlendirmede en hassas şekilde düzlemsel hatalar “çatlak vb.” boyutlandırması ve konumların tespiti.

3.2.10.3.2 Tipik Uygulamalar

- Serviste ve yapıdaki kritik bölgelerin uygulandığı bölgelerde.
- Basınçlı sistemlerin muayenesi, basınçlı tank, boru hattı, borulama uygulamalarında.
- Depolama birimleri, tanklar, küreler.
- Servisten kaynaklanan hatalar ve yapısal hasarlar (yorulma çatlakları, korozyon, erozyon vb.)
- Stres/kimyasal bazlı mikro çatlaklar
- Korozyon /erozyon profili özellikle kaynak kök erozyonu
- Kalın duvarlı parçalar (yaklaşık 300 mm).
- Pullanma /laminasyon /ara yüzey kusurları.

Tablo 3.10.6. TOFD muayene teknik özellik tablosu (Anonim, 2010
<http://www.epsilon-ndt.com/> İstanbul)

Genel Özellikler	
EN 12668-1	Tamamen uyumlu ve sertifikalı
IP Koruma	IP 66
Ultrasonik Kanallar:	- 1 Kanal Konvansiyonel Ultrasonik - 1 Kanal EMAT Ultrasonik
Menü Dil:	Türkçe , İngilizce, Fransızca, İtalyanca, Almanca, Çince, Rusça...
Ultrasonik Giriş:	Lemo01
Bilgisayar Bağlantısı:	USB Bağlantısı, Ethernet
Tarayıcı Bağlantısı:	1 eksenli encoder, A, B – pulses, start, TTL 5 V
Boyut:	224 mm x 188 mm x 37 mm
Ağırlık (Batarya Dahil Toplam):	1.28 kg
Ekran Boyutu:	130 mm x 99 mm
Ekran Çözünürlüğü:	1024 x 768 pixel TFT Renkli Ekran
Görüntü Yenileme Hızı:	Minimum 60 Hz
Görüntü Örnekleme Hızı:	200 Mhz, 12 Bit
Dahili Hafıza:	4 GB - 5.000.000 Adet A-Tarama - 16 km. kadar B-Tarama
Tarama Görüntülemesi:	A-Tarama ve B Tarama
B-Tarama Gösterimleri:	- Kesitsel B-Arama (256 Renk Palet) - Kalınlık B-Tarama (Excel Formatına Kalınlık okumalarını aktarma özelliği)
Uluslararası Yazılımlar:	- DAC - JISDAC - API 5EU - AWS D1.1, - SPOTWELDING
Otomatik Kalibrasyon:	Otomatik prob kalibrasyonu, ses hızı, geçikme zamanı,,,etc.
Ölçüm Birimleri:	Metric, Inc veya Microsaniye

3.2.11. Tahribatsız Muayene Personelinin Kalifikasyonu ve Sertifikalandırılması

Kaliteli, güvenilir ve rekabet edebilir maliyette üretim/imalat için ürünlerin ve üretimde kullanılan donanım ve tesislerin muayenesi söz konusudur. Bu çerçevede tahribatsız muayenenin önemi artmakta, tahribatsız muayene birimlerine önemli görevler ve sorumluluklar düşmektedir. Tahribatsız muayene personeli, ilgili tahribatsız muayene metodu için uluslararası tanınırlılığı olan bir sistem çerçevesinde eğitilip belgelendirilmelidir. Ülkemizde yaygın olarak iki eğitim/belgelendirme sistemi uygulamaktadır:

1. Avrupa sistemi: Temel standart EN 473
2. Amerikan Tahribatsız Muayene Cemiyeti (ASNT)

Ülkemizde tahribatsız muayene alanında eğitim, vasıflandırma ve sertifikalandırma yapan çeşitli kuruluşlar mevcuttur. ODTÜ, TSE ve UGETAM EN 473 standardına göre belgelendirme yapmaktadır ve sistemlerinin EN ISO/IEC 17024'e uygunluğu uluslararası tanınırlığı olan TÜRKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) tarafından akredite edilerek tescil edilmiştir.

ODTÜ, Basınçlı Ekipmanlar Direktifi Ek-I Madde 3.1.3.'e göre yetkili olan TÜV-Austria ve Avusturya Tahribatsız Muayene Cemiyeti ile protokol imzalayarak EN 473'e göre verdiği belgelerinin bu kuruluşlarca onaylanarak basınçlı kaplar direktifi kapsamına girmesini sağlamıştır. TSE, Avrupa Birliği tarafından Basınçlı Ekipmanlar Direktifi Ek-I Madde 3.1.3 ve 3.1.2 için onaylanmıştır; ayrıca TÜV-Nord Hamburg Personel Belgelendirme Merkezi ile sözleşmesi vardır.

TAEK ve TEKKON da yapılan eğitimler sonrasında, basınçlı ekipmanlar Direktifi Ek-I Madde 3.1.3.'e göre tahribatsız muayene personeli onay yetkisine sahip TÜV-Nord aracılığı ile belgelendirme yapılmaktadır. Benzer şekilde, EN 473 ve Basınçlı Ekipmanlar Direktifi Ek-I Madde 3.1.3 için yetkili SECTORCert, NONNDT firmasındaki eğitimler sonrasında belgelendirme yapmaktadır. Bu kriterlerin dışında faaliyet gösteren TÜBİTAK-MAM' da tahribatsız muayene eğitimleri verilmektedir.

Bunlara ilave olarak, birçok firma elemanlarını ASNT SNT-TC-1A'ya göre belgelendirme yolunu seçmektedir. Ancak bu sistemin amacına uygun olarak uygulanmasında ülkemizde sorunlar vardır. ASNT uygulamalarının daha bilinçli

gerçekleştirilmesine ve bir düzene girmesine katkıda bulunmak amacıyla ülkemizdeki ASNT üyelerinin katılımıyla 2007’de başlatılan çalışmalar sonucunda, ASNT-Türkiye Birimi (ASNT-TURK), 2008 sonunda ASNT tarafından resmen onaylanarak faaliyete geçmiştir (Gür, H. 2010).

3.2.11.1. Avrupa Uygulamaları

Avrupa’da EN 473’ e göre personel belgelendiren kuruluşların ISO/IEC 17024 şartlarını yerine getirdikleri kendi ülkelerinin ulusal Akreditasyon Kuruluşları tarafından akredite edilerek gerçekleştirilir. TÜRKAK, Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) nın tam üyesidir ve ülkemizde personel belgelendirme kuruluşlarına verdiği akreditasyon belgelerinin uluslararası tanınırlığını sağlayan çok taraflı tanıma anlaşmasını 2008’de imzalanmıştır. EA-01/08 (Mart 2010, rev.35) dokümanına göre, AB üyesi ve aday ülkeler arasında Romanya, Slovenya, Slovakya ve İrlanda akreditasyon kurumlarının personel belgelendirme kuruluşlarına verdiği akreditasyonların uluslararası tanınırlığı yoktur.

Avrupa Tahribatsız Muayene Federasyonu (EFNDT), farklı ülkelerden alınan personel belgelerinin eşdeğerliğinin incelenerek karşılıklı tanınması için sistem kurma çalışmalarını sürdürmektedir. Bu sistemin ön koşulu, tahribatsız muayene personel belgelendirmesi yapan kuruluşun TÜRKAK gibi uluslararası tanınırlığı olan bir kuruluştan akredite olmasıdır.

Diğer taraftan, Avrupa Birliğinde 2004’te yürürlüğe giren CE işareti teknik mevzuatı çerçevesinde, 97/23/EC Basınçlı Ekipmanlar Yönetmeliği ile ilgili sektörlerde tahribatsız muayene işini ve gözetimini yapan ve onaylayan personelin EN 473 ve bu direktif kapsamında vasıflandırılıp belgelendirilmesi ve tanınırlığı olan bir kuruluş tarafından onaylanması gerekmektedir (Gür, H. 2010).

3.2.11.1.1. EN 473

EN 473, tahribatsız muayene personelinin çeşitli sektörlerde ve yöntemlerde 3 seviyede eğitim, vasıflandırma ve belgelendirme esaslarını belirler (Tablo 3.11.1.). Merkezi sistem ile belgelendirme yapılan bu sistemde belgelendirme işini yapan kuruluşlar, eğitim ile vasıflandırma/belgelendirme faaliyetini ayırmalıdır.

Seviye 1, uzman, seviye 2 veya seviye 3 belgeli personelin gözetiminde ve yazılı talimatlara göre teçhizatı kurar; muayeneyi yapar; sonuçları kaydeder, sınıflandırır ve rapor hazırlar. Kullanılacak muayene metodu ve tekniğinin seçiminden, sonuçların değerlendirilmesinden sorumlu değildir.

Seviye 2, uzman, kullanılacak muayene metodu için uygun tekniği seçer; muayene metodunun uygulanmasındaki sınırlamaları tanımlar; standart ve şartnameleri inceleyip muayene talimatını hazırlar; teçhizatı kurup ayarlarını doğrular; muayeneyi yapar veya yönetir; sonuçları standart, kod ve şartnamelere göre yorumlayıp değerlendirir; muayene raporunu düzenler/onaylar.

Seviye 3, uzman, muayene tesisinin veya sınav merkezinin ve personelinin sorumluluğunu taşır; muayene talimatlarını/prosedürlerini hazırlar ve onaylar; standard, şartname ve kodları yorumlar; özel muayene metodu, prosedürü ve muayene talimatlarını belirler; seviye 1-2 için belirlenen işleri yönetir. Adayların belge alabilmesi için ilgili yöntem ve seviyede belirtilen süre kadar eğitim alması, vasıflandırma sınavını başarması, tecrübe süresini ve görme şartlarını sağlaması gereklidir.

Tablo 3.11.1. EN 473 e göre tahribatsız muayene yöntemlerinde en az eğitim süresi (Anonim, 2010)

Tahribatsız Muayene Metodu		Seviye 1 (saat)	Seviye 2 (saat)
AE (Akustik Emisyon)		64	64
ET (Girdap Akımları)		40	40
LT (Sızdırmazlık Testi)	A-Temel Bilgi	8	8
	B- Basınç Metodu	16	24
	C- İzleyici Gaz Metodu	16	32
MT (Manyetik Parçacık)		16	24
PT (Sıvı Penetrant)		16	24
RT (Radyografi)		72	80
UT (Ultrasonik)		64	80
VT (Gözle Muayene)		16	24

Tahribatsız muayene belgesi veren kuruluş, ISO/IEC 17024'deki şartları sağlayarak akredite olmalıdır. Sınavlar, belgelendirme kuruluşu tarafından doğrudan veya yetkili vasıflandırma kuruluşları aracılığıyla oluşturulan, onaylanan ve izlenen sınav merkezlerinde yapılmalıdır. Sınav yapan kişi, eğitim verdiği veya kendisiyle aynı şirkette çalışan bir adayın sınavında, tek başına görev alamaz.

Belgelendirme için adayın, ilgili vasıflandırma sınavını başarıyla tamamlaması ve eğitim, ilgili tecrübeyi ve belirtilen görme şartlarını yerine getirmesi gereklidir. Bütün şartları yerine getiren adaya, bir belge ve/veya cüzdan tipi kart verilir. Geçerlilik süresi, en fazla beş yıldır. İlk geçerlilik süresinin tamamlanmasından sonra ve sonraki her on yılda belge, belirli şartların yerine getirilmesi koşuluyla, beş yıllık bir süre için, belgelendirme kuruluşunca yenilenebilir. Endüstriyel tecrübe, vasıflandırma sınavındaki başarıdan önce veya sonra kazanılabilir. Sınav sonrasında deneyimin kazanılması durumunda, sınav sonuçlarının geçerliliği bir yıldır. Yazılı kanıtlar, işveren tarafından onaylanmalı ve belgelendirme kuruluşu veya yetkili vasıflandırma kuruluşlarına sunulmalıdır. Belgelendirme öncesi kazanılması gereken en az tecrübe süreleri (Tablo 3.11.2.)'de verilmektedir. Aday, yetkili biri tarafından belirlenmiş yeterli derecede görme şartlarına sahip olduğunu gösteren kanıtları da sunmalıdır. Görme yeterliliğinin kontrolü en az yılda bir kez yapılmalıdır (Gür, H. 2010).

Tablo 3.11.2 EN 473' e göre belgelendirme için gereken en az tecrübe süresi (Anonim, 2010)

Tahribatsız Muayene Metodu		Seviye 1 (ay)	Seviye 2 (ay)
AE (Akustik Emisyon)		3	9
ET (Girdap Akımları)		3	9
LT (Sızdırmazlık Testi)	A-Temel Bilgi	3	9
	B- Basınç Metodu	3	9
	C- İzleyici Gaz Metodu	3	9
MT (Manyetik Parçacık)		1	3
PT (Sıvı Penetrant)		1	3
RT (Radyografi)		3	9
UT (Ultrasonik)		3	9
VT (Gözle Muayene)		1	3

3.2.11.2 Amerika Birleşik Devletleri Uygulamaları

Amerikan Tahribatsız Muayene Cemiyeti (ASNT)'nin işverenlerin kullanımı için hazırladığı “SNT-TC- 1A Uygulama Tavsiyesi” nin yanı sıra ASNT'nin kendi yönettiği programları (ASNT ve ACCP) mevcuttur. ASNT veya ASNT'nin yetkilendirdiği bir kuruluşun düzenlediği sınavlar, işverenlerin düzenlediği sınavlardan farklıdır. ASNT tarafından sınava tabi olup belgelendirilenler ASNT belgeli (*ASNT Seviye 3*) olarak adlandırılırlar. ASNT Merkezi Belgelendirme Programına göre belgelendirilenler ise “ACCP Seviye 3” veya “ACCP Profesyonel Seviye 3” olarak anılırlar.

3.2.11.2.1. SNT-TC-1A Uygulaması

ASNT'nin 12 tahribatsız muayene metodunda (Gözle muayene, Ultrasonik, Radyografi, Sıvı Penetrant, Manyetik Parçacık, Manyetik Kaçak Akı, Akustik Emisyon, Elektromanyetik, Lazer Metotları, Sızdırmazlık, Nötron Radyografisi, Termografi/Infrared Titreşim Analizleri) işveren tarafından yapılacak vasıflandırma/belgelendirme için uygulama tavsiyelerini içeren dokümandır. İlk olarak 1982'de yayımlanan bu dokümanın 2006 revizyonu kullanımdadır. ASNT tarafından yetkilendirilmeyen bir kuruluş veya sözleşmeli bir uzman veya işveren tarafından yapılan sınav sonucunda belge alanlar SNT-TC-1A'ya göre belgelendirilmiştir. Bu tip belge ASNT belgesi olmayıp, sadece o kuruluşta geçerli bir belgedir ve Seviye 1, Seviye 2 veya Seviye 3 olarak adlandırılır.

SNT-TC-1A'ya göre üç temel vasıflandırma seviyesi vardır. İşveren özel görev ve sorumluluklar için gerektiğinde bu vasıflandırma seviyelerini alt bölümlere ayırabilir. Eğitim, vasıflandırma ve sertifikalandırma işlemleri devam ederken aday, belgeli bir personelle birlikte çalışmalıdır; tek başına herhangi bir muayene, sınıflandırma, raporlama ve yorumlama yapamaz.

Seviye 1 belgeli personel, Seviye 2 veya 3 personelin yazılı talimatı, yönetimi ve denetimi doğrultusunda belirli bir muayeneyi gerçekleştirebilecek bilgi ve tecrübeye sahip olmalıdır. Muayene cihazını kullanabilmeli, kalibrasyon yapabilmeli ve sonuçları değerlendirebilmelidir.

Seviye 2 belgeli personel, standart, kod ve/veya şartnamelere göre, muayeneyi organize edebilecek, muayeneyi gerçekleştirebilecek ve sonuçları rapor edebilecek bilgi ve tecrübeye sahip olmalıdır. Vasıflandırıldığı metotla ilgili kapsam ve sınırlamaları bilir. Aday ve Seviye 1 personele rehberlik ve işbaşı eğitimlerini yapma sorumluluğunu taşır.

Seviye 3 belgeli personel, kuruluşun tahribatsız muayene ile ilgili tüm işlerini (standart, kod ve şartnameleri malzeme, imalat yöntemi, üretim teknolojisi çerçevesinde yorumlayarak uygulanacak muayene yöntem ve tekniğini, kabul/red kriterlerini belirlemek; muayene prosedürlerini, eğitim talimat ve prosedürlerini hazırlayıp onaylamak) yönetebilecek bilgi ve tecrübeye sahip olmalıdır. Diğer tahribatsız muayene metotları hakkında

SNT-TC-1A uygulamalarında işverenin özel gereksinimlerini karşılamak üzere hazırlanmış yazılı prosedür esas alınır. Bu prosedür, muayene edilecek parçaların kod, standart, spesifikasyon ve prosedürlere göre kabul edilebilirliğinin tayininde her belgelendirme seviyesi için sorumlulukları açıklamalı; eğitim, tecrübe ve sınav şartlarını tanımlamalı ve işveren tarafından görevlendirilen Seviye 3 uzman tarafından kontrol edilerek onaylanmalıdır.

Personel, belgelendirileceği metoda, seviyeye, muayene edilecek ürünlere ve ANSI/ASNT CP-105' e uygun olarak düzenlenen teorik ve pratik eğitimi almalıdır.

Tablo 3.11.3. SNT-TC-1A ya göre seviye 1 ve 2 için en az eğitim ve tecrübe süresi (Anonim, 2008)

Metot	Seviye	Lise ve Eşdeğer Okul Mezunu	2 Yıllık Yüksek okul veya Üniversite Mezunu	Tecrübe (Saat)	Toplam Tecrübe (Saat)
VT (Gözle Muayene)	1	8	4	70	130
	2	16	8	140	270
RT (Radyografi)	1	40	30	210	400
	2	40	35	630	1200
UT (Ultrasonik)	1	40	30	210	400
	2	40	40	630	1200
MT (Manyetik Parçacık)	1	12	8	70	130
	2	8	4	210	400
PT (Sıvı Penetrant)	1	4	4	70	130
	2	8	4	140	270
ET (Girdap Akımları)	1	40	24	210	400
	2	40	40	630	1200

Eğitimler sonunda SNT-TC-1A'ya göre yapılan vasıflandırma sınavı 3 kısımdan oluşur. Bunlar:

1. Genel Bilgi: Yöntem hakkında genel bilgileri içeren sorular,
2. Spesifik Bilgi: Yöntem hakkında özel bilgileri içeren sorular,
3. Pratik: En az 1 adet uygulama sorusu aday, gerekli cihazları çalıştırabildiğini, muayeneyi yapabildiğini, sonuçları yorumlayabildiğini ve değerlendirme yapabildiğini kanıtlamalıdır. Pratik sınav, işverenin prosedüründe tanımlanmalı ve en az 10 farklı hususta gözetim yapılarak yürütülmelidir.

Adayın görme kabiliyetinin yeterli olduğu, bir sağlık kurumu veya belgelendirme yetkilisi tarafından tespit edilmelidir. Yakın görme kabiliyeti her yıl kontrol edilmelidir. Renkleri ve kontrastı ayırt edebilecek seviyede renk körlüğü kontrolü ilk belgelendirmede yapılmalı ve 3 yılda bir tekrarlanmalıdır. Eğitim/sınav dış hizmet olarak alınsa dahi, işveren bu hizmetin yazılı prosedürüne göre gerçekleşmesinden ve belgelendirmeden sorumludur. Personelin tüm öğrenim, eğitim ve tecrübe bilgileri kayıtlı olmalıdır. Personelin teknik performansının değerlendirilmesi, çalışmadaki kesinti, belge geçerlilik süresi, yeniden belgelendirme ve belge iptal işlemlerinde işverenin yazılı prosedürü esas alınır.

SNT-TC-1A işverene sadece personelinin vasıflandırılması/belgelendirilmesi için şirket içi prosedürün hazırlanıp uygulanması koşulunu getirmektedir. Personele göz muayenesi yapılması ve genel kayıt tutulması dışında zorlayıcı hüküm yoktur. SNT-TC-1A kolay uygulanabilirliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yoruma dayalı bir doküman olduğundan işverenler arasındaki vasıflandırma ve belgelendirme uygulamaları birbirinden farklı olabilmektedir. SNT-TC-1A belgesi, personelin işyerinde geçerlidir ve işyeri değişikliği durumunda yeni işyerinde tekrar sınava girilmelidir. EN 473'e göre eğitim, bir metodun tüm uygulamalarını (kaynak, döküm, dövme, hadde, çok sektörlü vb.) kapsayarak genel yaklaşım gösterir. SNT-TC-1A'ya göre bir şirket ihtiyacına göre talimatlarını hazırlar. Örneğin, döküm sektörü, alüminyum döküm sektörü ve hatta alüminyum döküm sektöründe belirli kritik parçaların muayenesi konusunda eğitim ve belgelendirme yapılabilir (Anonim, 2000).

3.2.12. Tahribatsız Muayene ile İlgili Önemli Standartlar

- EN 473** Tahribatsız malzeme muayene personelinin vasıflandırılması ve belgelendirilmesi-Genel Kurallar
- EN 25817** Çeliklerde ark kaynaklı birleştirmeler- Kusurlar için kalite seviyeleri kılavuzu
- EN 5817** Kaynak-Çelik, nikel, titanyum ve alaşımlarında ergitme kaynaklı birleştirmeler. Kusurlar için kalite seviyeleri
- EN 462** Radyografların görüntü kalitesi: Tanımlar, görüntü kalite belirteçleri, Görüntü Kalite Numarasının belirlenmesi
- EN 1435** Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi
- EN 12517** Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi-Kabul seviyeleri
- EN 583-1** Ultrasonik muayene-Bölüm 1 Geçiş tekniği
- EN 1330-4** Ultrasonik muayenede kullanılan terimler
- EN 1712** Kaynaklı birleştirmelerin ultrasonik muayenesi- Kabul seviyeleri
- EN 1713** Ultrasonik Muayene – Kaynaklardaki belirtilerin karakterizasyonu
- EN 1714** Kaynaklı Birleştirmelerin Ultrasonik muayenesi
- EN 1779** Sızdırmazlık deneyi- Metot ve teknik seçim için kriterler
- EN 13184** Sızdırmazlık muayenesi- Basınç değiştirme metodu
- EN 13185** Sızdırmazlık Muayenesi- İzleyici gaz metodu
- EN 1290** Kaynakların Manyetik Parçacıkla muayenesi
- EN 1291** Kaynakların Manyetik Parçacıkla muayenesi kabul seviyeleri
- EN 9934-1** Manyetik Parçacık Muayenesi- Genel ilkeler
- EN 571-1** Penetrant Muayenesi Bölüm-1 Genel Kurallar
- EN 12706** Terminoloji- Penetrant muayenesinde kullanılan terimler
- EN 1289** Kaynakların Penetrant Muayenesi- Kabul seviyeleri
- EN 3452-2** Penetrant Muayene- Penetrant muayenenin deneyi
- EN 3452-3** Penetrant Muayene- Penetrant muayene blokları
- EN 1711** Karmaşık düzlem analizi ile kaynakların Girdap Akım muayenesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Tahribatsız Muayene Yöntemlerinde Ekonomiklik

Tahribatsız muayene yöntemleri, uygulama bakımından oldukça kritik bölgelerde ki hatanın tespiti için kullanıldığından dolayı hata tespit olasılığı, seçilen muayene yönteminin en üst düzeyde olması gerekmektedir. Bu tespiti en hızlı ve en doğru bir şekilde saptamak için teknolojik bakımdan muayene ekipmanlarının oldukça ileri seviyede olması gerekmektedir. Teknolojideki yeni buluşların ve ilerlemelerin artmasıyla beraber hata tespit etme olasılığı da lineer bir şekilde artmıştır. Fakat bununla beraber işletmenin iç maliyetleri de aynı şekilde artış göstermiştir. Bu yüzden bu maliyetler, istenilen kaliteyi yakalamak adına işverenleri en ekonomik ve en doğru yöntemi seçmeye zorlamıştır. Örneğin, yüzeye açık kusurlarının tespitinde penetrant muayenesi yerine Phased Array yöntemi seçildiğinde, bu seçimin işletme ve uygulanış açısından pek de ekonomik olmayan sonuçlar doğurabileceğini görmekteyiz. Bu maliyetleri en aza indirmek için tahribatsız malzeme muayenesi yönteminin belirlenmesi için aşağıdaki parametreler göz önüne alınmalıdır (Seçim, C. 2011).

- Kaynak prosesi
- Esas metal, kaynak metali ve işlem durumu
- Kaynaklı birleştirmelerin türü ve kaynak metodu
- Muayene parçasının geometrisi
- Değerlendirme grupları
- Beklenen kusurların türü ve konumu
- Hata tespitinde istenilen hassaslık

4.1.1 Yüzey Kusurlarının Belirlenmesi için Metotlar

EN 12062, akma dayancı 280 N/mm^2 den fazla olmayan ferritik çelikler hariç bütün malzemeler için gözle muayenenin bir veya daha fazla muayene metodunun uygulanması ile tamamlanmasını önerir. Ferritik çeliklerde bu metot 'manyetik parçacıkla muayene olmalıdır (Tablo 4.1.).

Tablo 4.1. Yüzey kusurlarının belirlenmesi için metotlar

Malzeme	Muayene Metodu
Ferritik Çelik	VT
	MT
	PT
	ET
Östenitik çelik, Nikel, Alüminyum, Bakır, Titanyum	VT
	PT
	ET

4.1.2. İç Kusurlarının Belirlenmesi için Metotlar

İç kusurların muayenesinde esas olarak aşağıdaki parametreler göz önüne alınır (Tablo 4.2.).

- Esas metal malzemesi
- Birleştirme metodu
- Malzeme kalınlığı.

Tablo 4.2. İç kusurlarının belirlenmesi için metotlar

Malzeme ve birleştirme formu	Kalınlık (mm)		
	$t \leq 8$	$8 \leq t \leq 40$	40
Ferritik alın kaynakları	RT veya (UT)	RT veya UT	(RT) veya UT
Ferritik T birleştirmeler	(RT) veya (UT)	(RT) veya UT	(RT) veya UT
Östenitik alın kaynakları	RT	RT veya (UT)	(RT) veya UT
Östenitik T birleştirmeleri	(RT) veya (UT)	(RT) veya (UT)	(RT) veya (UT)
Alüminyum alın kaynakları	RT	(RT) veya UT	(RT) veya UT
() Bu metodun uygulanmasının sadece sınırlı olduğunu gösterir			

Tablo 4.3. Belirli sıcaklık ve basınç altında çalışan malzemelerin tahribatsız muayene yöntemlerinin seçimi (Yağmur, A. 2011)

Servis	Bağlantı	Kriter	Kontrol
T > 400° C	Alın kaynağı	Çap > 2"	100% RT & UT
		Çap=2" ya da daha küçükse	100% MT & PT
	Branş kaynağı	Çap > 4"	100% RT & UT
		Çap=4" ya da daha küçükse	100% MT & PT
	Soket, köşe ve sızdırmazlık	Bütün Çaplar	100% MT & PT

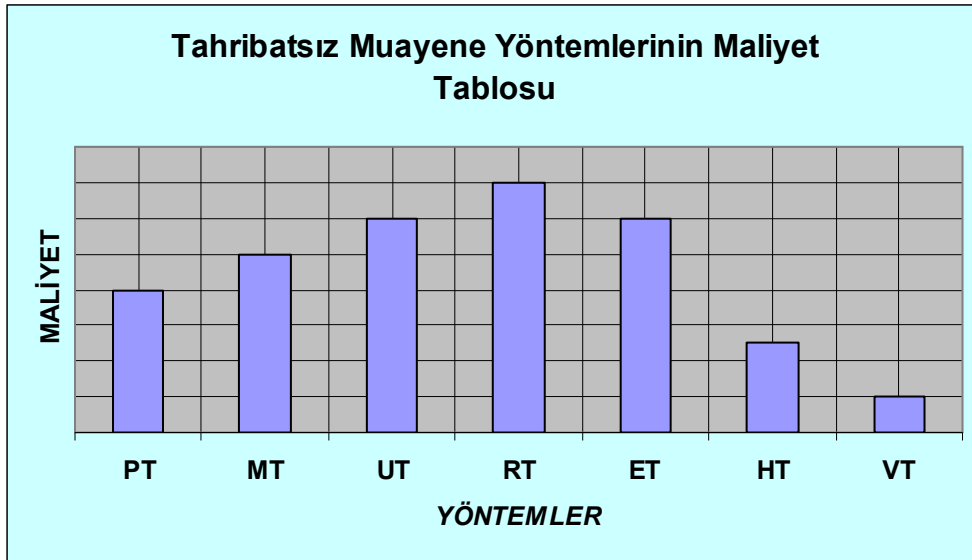
175 ° C < T ≤ 400° C P > 71 Bar	Alın kaynağı	Çap > 2" ve Kalınlık > 19mm	100% RT & UT
		Diğer Çaplar ve Kalınlık < 19 mm	100% VT
	Branş kaynağı	Çap > 4" ve Kalınlık > 19mm	100% RT & UT
		Çap < 4" ve Kalınlık > 19mm	100% MT & PT
		Kalınlık < 19mm	100% VT
Soket, köşe ve sızdırmazlık	Bütün Çaplar	100% VT	

Diğer	Alın kaynağı	Bütün Çaplar	100% VT
	Branş kaynağı	Bütün Çaplar	100% VT
	Soket, köşe ve sızdırmazlık	Bütün Çaplar	100% VT

4.3 Tahribatsız Muayene Yöntemlerinin Maliyet Bilançoları

Tahribatsız malzeme muayene yöntemlerinin seçiminde kuruluş ve uygulama maliyetlerinin oldukça büyük bir rolü vardır. Kuruluş maliyeti ne kadar yüksekse uygulama maliyetleri de o kadar yükselmektedir. Ayrıca Tahribatsız muayene yöntemleri uygulama yerlerine göre zor bir tetkik yöntemi de olabilmektedir. Aşağıdaki grafikte tahribatsız muayene yöntemlerinin uygulama maliyetleri açısından genel bir kıyaslaması verilmektedir.

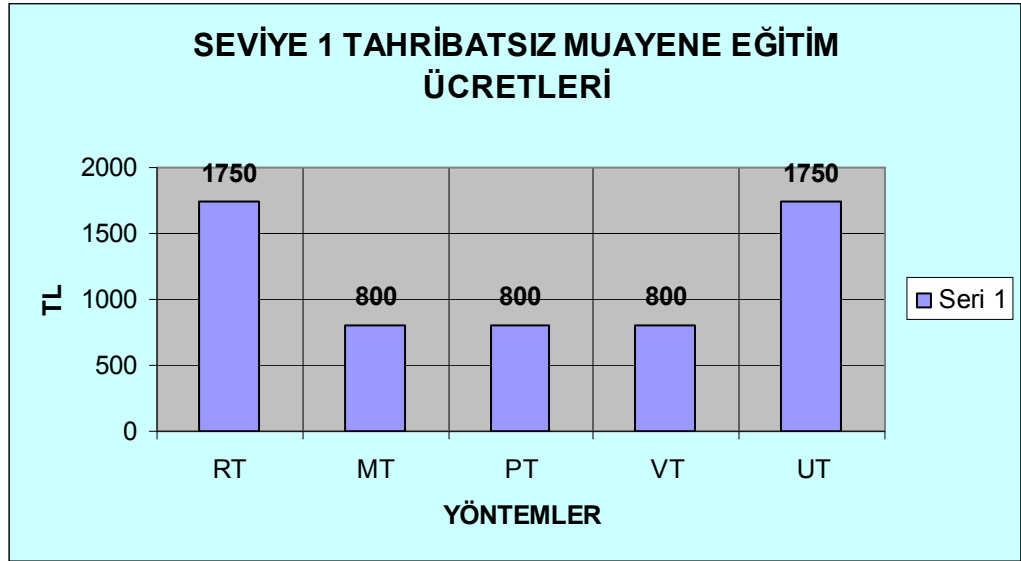
Tablo 4.4. Tahribatsız Muayene yöntemlerinin uygulama maliyetleri açısından kıyaslanması (Seçim, C. 2011)



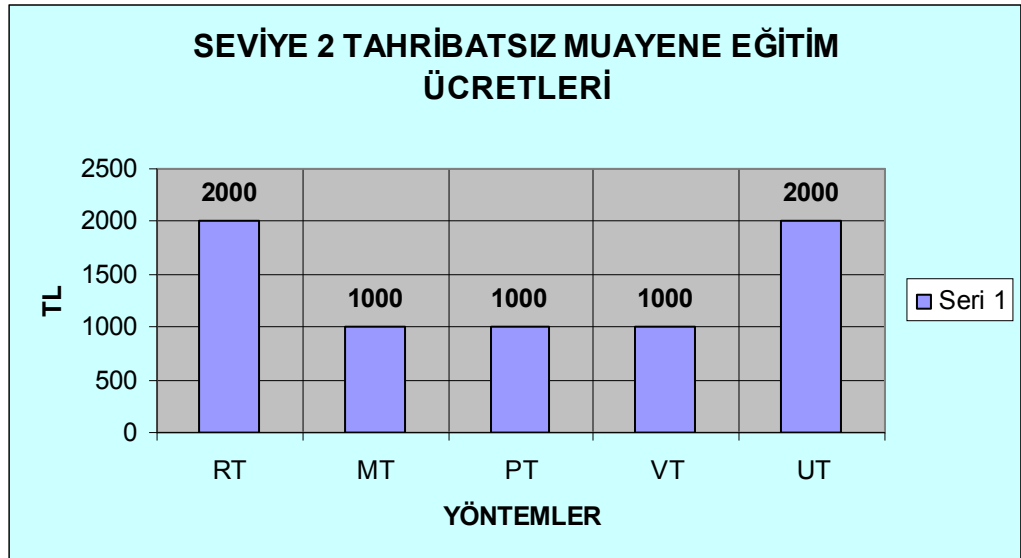
4.4 Tahribatsız Muayene Yöntemlerinde ki Eğitim Maliyeti Bilançoları

Tahribatsız Muayene uygulamalarının spesifik oluşu, tahribatsız muayene personelinin iyi bir eğitim ve kalifikasyonlardan geçme zorunluluğunu mecbur kılmıştır. Tahribatsız muayene personelinin eğitiminde öncelikli şartlar arasında tecrübe ve eğitim maliyetleri yatmaktadır. Çünkü, herhangi bir NDT metodunun uygulanmasından önce ilgili personelin gerekli eğitimi aldığını işverene ispatlamak zorundadır. Aşağıdaki grafikte Seviye 1 ve Seviye 2 personelinin eğitim maliyetleri ele alınmıştır (Seçim, C. 2011).

Tablo 4.5. Seviye 1 Tahribatsız muayene personeli eğitim ücretleri (Anonim, 2011
Gedik eğitim vakfı tahribatsız muayene eğitim takvimi ve ücretleri, İstanbul)



Tablo 4.6. Seviye 2 Tahribatsız muayene personeli eğitim ücretleri (Anonim, 2011
Gedik eğitim vakfı tahribatsız muayene eğitim takvimi ve ücretleri, İstanbul)



SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülke sanayisinin dünya piyasaları ile rekabet gücünün artırılabilmesi için kaliteli ürün politikasının yaygınlaşması şarttır. Kalitenin kontrolünde ise en önemli gereçlerden birisi ‘Tahribatsız Muayene’dir. Tahribatsız muayene olarak sınıflandırılan malzeme testinin amacı, malzeme içindeki süreksizlikleri ve bunların boyutlarını söz konusu malzemeye zarar vermeden tespit etmektir. Tespit edilen süreksizliklerin uygulanan standart ve kodlara göre değerlendirilmesinden sonra malzemenin sağlamlığına ve güvenilir bir şekilde kullanılmasına karar verilir. Malzemede tespit edilen süreksizliklerin tipleri ve boyutları standartların izin verdiği kriterleri aşarsa hata olarak kabul edilir ve malzemenin tamiri veya reddi seçeneklerinden biri uygulanır.

Tahribatsız muayene metotları çeşitli fiziksel prensipler temelindedir ve farklı koşullar altında uygulanırlar. Aranılan süreksizlik tipi ve test edilen malzemenin karakterizasyonuna göre test metodu seçilmektedir. Her teknik tek başına diğerine göre üstün yönleriyle kullanılabilceği gibi başka yöntemlerle de birbirini tamamlayıcı olarak uygulanabilir.

Bu çerçevede, uluslararası standartlara uygun bir ulusal ‘‘Tahribatsız Muayene Eğitim ve Sertifikalandırma Sistemi’’ oluşturulmalı, ‘‘Tahribatsız Muayene Eğitim Yeri ve Sınav Yeri Kriterleri’’ belirlenerek verilen eğitimler standart bir düzeye getirilmeli ve bir mesleki denetim mekanizması oluşturulmalıdır. Tahribatsız muayene hizmeti veren laboratuvarlar, yetkili kuruluşlarca uluslararası standartlara göre test laboratuvarı olarak akredite edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2011 Tahribatsız muayenenin dünyadaki gelişimi <http://www.xyeze.com/>
- Anonim, 1998 **Türkiye’de Tahribatsız Muayenenin Gelişimi**, Ankara.
- Anonim, 2008 **Dizayn Kalite Mühendislik arşivleri**, İstanbul.
- Anonim, 2008 **Dizayn Kalite Mühendislik Hizmetleri**, İstanbul.
- Anonim, 2000 **Flor ışıl penetrant ile penetrant muayenesi**, İstanbul.
- Anonim, 2000 Flor ışıl penetrant <http://www.yilbak.com/>
- Anonim, 2003 **Manyetik alan çizgi ve karakteristikleri**, Ankara.
- Anonim, 2000 **Manyetik parçacık yönteminin şematik görünümü**, İstanbul.
- Anonim, 2004 **Muayene Düzenlemeleri**, İzmir.
- Anonim, 2001 **Radyografide görüntü kalite belirtecinin görünümü**, İstanbul.
- Anonim, 2010 **ODTÜ KTTMM Radyografi Eğitim Merkezi**, Ankara.
- Anonim, 2010 **Farklı Işınlama Teknikleri – Mikro odaklı tüpler**, Ankara.
- Anonim, 2010 **ODTÜ KTTMM Radyografi Eğitim Merkezi Arşivi**, Ankara.
- Anonim, 2010 **ODTU KTM Kaynak Mühendisliği Ders Notları**, Ankara.
- Anonim, 2010 Destructive Testing and Applications www.ndt-ed.org/AboutNDT/aboutndt.htm
- Anonim, 2000 **Ultrasonik Muayene ile Kalınlık Ölçümü**, Ankara.
- Anonim, 2010 **Promprylad ultrasonik muayene eğitim merkezi**, Kiev.
- Anonim, 2002 **Ultrasonik muayenede tespit edilebilen süreksizlikler**, Bursa.
- Anonim, 2002 **Sızdırmazlık testi ve uygulamaları**, İzmir.
- Anonim, 2003 **Replika Testi muayenesi**, Ankara.
- Anonim, 2009 **Tahribatsız Sertlik Muayenesi**, Antalya.
- Anonim, 2004 **Tahribatsız sertlik ölçüm cihazı**, Ankara.
- Anonim, 2009 **Akustik Emisyon**, İstanbul.
- Anonim, 2008 **Phased Array ultrasonik muayene yöntemleri**, Pendik.
- Anonim, 2008 **Dizayn Kalite Mühendislik arşivi**, İstanbul.
- Anonim, 2009 **Ultrasonik muayene ile Phased Array arasında ki fark**, İstanbul.
- Anonim, 2010 **TOFD muayene yönteminin uygulanışı**, Ankara.
- Anonim, 2010 TOFD muayene teknik özellik tablosu <http://www.epsilon-ndt.com/> İstanbul.
- Anonim, 2010 **EN 473’ e göre belgelendirme için gereken en az tecrübe süresi**, Ankara.
- Anonim, 2010 **SNT-TC-1A ya göre seviye 1 ve 2 için en az eğitim ve tecrübe süresi**, Ankara.
- Anonim, 2000 . **SNT-TC-1A Uygulaması**, Ankara.
- Anonim, 2011 **Gedik eğitim vakfı tahribatsız muayene eğitim takvimi ve ücretleri**, İstanbul.
- Anonymous, 2008 **Testing of Eddy current testing**, Germany.
- Doyum, B. 2002 **Radyografinin temelleri**, Ankara.
- Doyum, B. 2002 **Kaynak Dikişi Muayenesi**, Ankara.
- Gür, H. 2004 **Tahribatsız Muayenenin Önemi ve Yöntemleri**, Ankara.
- Gür, H. 2010 **Tahribatsız Muayene Personelinin Kalifikasyonu ve Sertifikalandırılması**, Ankara.
- Gür, H. ve Doym, B. 2002 **Radyografik Muayene yöntemleri**, Ankara.
- Haris, D. ve Dunegan H.L **Acoustic Emission Testing of Wire Rope” Mater Evval 15 pp 79-82**, England.
- Kızıltunç, C. 2003 **Ultraonik muayenedeki kalibrasyon blokları**, İstanbul.
- Metin, M. 2007 **Dekra girdap akımla muayene eğitimi ders notları**, İstanbul.

- Mutlu, M. 2004 **Ultrasonik muayenede prob açları**, Bursa.
- Uğur, S. 2005 **Katmer Muayenesi**, İstanbul.
- Seçim, C. 2011 **Tahribatsız Muayene yöntemlerinin uygulama maliyetleri açısından kıyaslanması**, Antalya.
- Seçim, C. 2011 **Tahribatsız Muayene Yöntemlerinde Ekonomiklik**, Antalya
- Sıkıcı, M. 1999 **Manyetik Parçacık Testi**, Ankara.
- Süha, T. 2010 **Akustik emisyonun diğer Test Yöntemleri ile Kıyaslama**, Ankara.
- Sweeny, M. 2000 **Penetrant Testing and applications**, Ireland.
- Şahintürk, N. 2010 **Tahribatsız muayene yöntemlerinin önemi**, İstanbul.
- Şahintürk, N. 2010 **Tahribatsız muayene deneylerinin makine mühendisliği endüstrisinde uygulama alanları**, İstanbul.
- Yaykın, E. 2009 **Girdap akımları muayenesi**, Ankara.
- Yağmur, A. 2011 **Belirli sıcaklık ve basınç altında çalışan malzemelerin tahribatsız muayene yöntemlerinin seçimi**, İzmir.
- Zafer, K. 2001 **Ultrasonik Muayenenin Prensibi**, Ankara.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yol gösteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Gürel ÇAM' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında kaynak edinme konusunda yardımlarını esirgemeyen Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Tahribatsız Muayene Merkezi Başkanı Prof. Dr. C. Hakan GÜR' e, OKO Association Pazarlama Müdürü Dmitriy NAZARENKO ve Tanya PETRENKO' ya teşekkürlerimi belirtirim.

Ayrıca manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Erzurum'da doğdum. Babam'ın memur oluşu sebebiyle ilk, orta ve lise öğrenimimi çeşitli illerde tamamladım. 2004 yılında kazandığım Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği eğitimini 2008 yılında tamamlayarak mezun oldum. 2009 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandım ve aynı yıl içerisinde ENERJİSA Bandırma Kombine Doğalgaz Çevrim Santralinin Buhar Türbini kısım şefi olarak çalışmaya başladım. 2010 yılında projenin bitmesiyle beraber Orta Doğu Teknik Üniversitesi Uluslararası Kaynak Mühendisliği (IWE) eğitimi'ne başvurarak aynı yıl içerisinde ilgili bölümden mezun oldum. 2011 yılı itibariyle AKSA Enerji Ali Metin Kazancı Kombine Doğalgaz Çevrim Santralinde Kalite kontrol şefi ve borulama mühendisi olarak çalışmaya başlamış olup halen ilgili görevde çalışmaya devam etmekteyim.