

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI *Yumurtacı*  
Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN *A. Karaslan*  
Prof. Nurullah GÜLTEKİN *Gültekin*

**KAYNAK DİKİŞLERİ İÇİN MUAYENE PLANLARININ  
ÇIKARILMASINDAKİ ESASLAR**

Makine Mühendisi H. Tuğrul TURGUT

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez Danışmanı : Prof. Nurullah GÜLTEKİN

**İSTANBUL, 2005**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Kaynaklı Birleştirmeler ve Tahribatsız Muayene Yöntemleri.....	3
2.2 Uygulanacak Tahribatsız Muayene Yöntemine ve Muayeneyi Yapacak Personele Karar Vermek .....	6
2.3 Hata Tespiti ve Değerlendirilmesi .....	6
2.3.1 Hacimsel veya Düzlemsel Hatalar .....	7
2.3.2 Hatanın Konumu, Şekli ve Boyutu .....	7
2.3.3 EN Standartları'nda Tahribatsız Muayene .....	8
3. GÖZ İLE MUAYENE YÖNTEMİ .....	11
3.1 Gözle Muayene Türleri ve Uygun Ekipman Seçimi.....	14
3.2 Gözle Muayene Yönteminde Tespit Edilebilen Hatalar .....	15
3.3 Avrupa (EN 970) ve Amerikan (ASME Section V) Standartlarında Gözle Muayene .....	16
4. RADYOGRAFİ .....	20
4.1 Radyografinin Tanımı ve Temel Nitelikleri .....	20
4.2 Radyografik Tekniklerin Sınıflandırılması.....	20
4.3 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Görüntü Alınamayan Haller....	23
4.4 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Kullanılan X Işınlının Karakteristik Özellikleri ve X-Işını Üretim Cihazları .....	24
4.5 Kaynak Dikişlerinin Muayenesinde Kullanılan Gama Işınlının Karakteristik Özellikleri, Işın Üretim Cihazının Yapısı ve Işın Kaynakları (İzotoplar) .....	29
4.6 Kaynak Dikişlerinin Muayenesinde Kullanılan X ve Gamma Işın Radyografisinin Karşılaştırılması .....	34
4.7 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Kullanılan Filmler.....	36
4.7.1 Radyografik Filmlerin Yapısı .....	36
4.7.2 Filmlerin Saklanması .....	37
4.7.3 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Kullanılan Film Ekranları .....	38

4.7.4	TS 5127 EN 1435, ASME ve ASNT Standartlarına Göre Kaynak Dikişlerinin Muayenesinde Kullanılan Ekran Kalınlıkları.....	39
4.7.5	Kaynak Dikişlerinin Muayenesinde Kullanılan Filmlerin Sınıflandırılması ve Eşdeğerliği.....	41
4.7.6	Kaynak Dikişlerinin Radyografik Kontrolünde Uygun Film Seçimi.....	42
4.8	Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Işın Kaynağı ile Cisim Uzaklığının Tespiti (EN 1435).....	45
4.9	Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Poz Sürelerinin Belirlenmesi..	47
4.9.1	Poz diyagramları .....	47
4.9.2	Radyografik Muayenesi Yapılacak Malzemenin Değişimi .....	48
4.10	Kaynak Dikişlerinin Radyografik Kalitesi ve I.Q.I. Kalitesi .....	49
4.10.1	Telli Penetremetreler .....	50
4.10.2	Delikli Penetremetreler .....	51
4.10.3	Basamaklı Penetremetreler.....	53
4.11	Kaynak Dikişlerinin Radyografisinde Donanımların Yerleştirilmesi .....	55
4.11.1	Kaynak Dikişlerinde Uygulanan Işınlama Doğrultusu .....	55
4.11.1.1	Radyasyon Kaynağının Cismin Dışına ve Filmin Cismin İçine Yerleştirildiği Pozlama Teknikleri .....	56
4.11.1.2	Radyasyon Kaynağının Merkezi Olarak Cismin İçine ve Filmin Cismin Dışına Yerleştirildiği Pozlama Teknikleri .....	57
4.11.1.3	Radyasyon Kaynağının Merkezden Kaçık Olarak Cismin İçine ve Filmin Cismin Dışına Yerleştirildiği Pozlama Teknikleri.....	58
4.11.1.4	Eliptik Teknik.....	59
4.11.1.5	Dikey Teknik.....	59
4.11.1.6	Radyasyon Kaynağının Cismin Dışına ve Filmin Diğer Tarafa Yerleştirildiği Pozlama Teknikleri .....	59
4.11.1.7	Farklı Malzeme Kalınlıkları İçin Pozlama Tekniği (Radyasyon Kaynağı).....	61
4.11.2	Penetremetrelerin Yerleştirilmesi.....	62
4.11.3	Kaynak Dikişi Radyografisinde Filmlerin Yerleştirilmesi.....	62
4.11.4	Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Donanımların Yerleştirilmesi .	65
4.12	Basıncılı Kaplarda Radyografik Film Yüzdelerinin Tespiti.....	67
4.12.1	Basıncılı Kapların Kaynak İşlemi .....	67
4.12.2	Kaynaklı Bağlantı Kategorisi (ASME) .....	68
4.12.3	Basıncılı Kaplarda Radyografik Kontrol Tekniği (ASME Standardı) .....	69
4.12.4	%100 Radyografik Kontrol (ASME Section VIII, Division I) .....	70
4.12.5	ASME Kod'una Göre Kaynaklı Bağlantıların Radyografik Kontrol Esasları (ASME VIII Division I Part UW-51).....	71
4.12.6	ASME Kod'una Göre Kaynak Dikişlerinin Spot Kontrolü (UW-52) .....	72
4.13	Kaynak Dikişi Radyograflarının Muayenesi.....	75
4.13.1	Radyografik Muayenede Kullanılan Cihazlar.....	75
4.13.2	Kaynak Dikişlerinde Görülen Başlıca Hatalar ve Bu Hataların Radyograflardaki Görünüşleri.....	78
4.14	Kaynak Dikişleri için Radyografik Muayene Raporunun Hazırlanması (TS 5127 EN 1435) .....	85
4.15	Radyasyondan Korunma .....	86
4.15.1	Biyolojik Doz ve Birimi .....	86
4.15.2	Radyasyonun Biyolojik Etkileri .....	86
4.15.3	Güvenli Dozlar .....	87
4.15.4	Kişisel Radyasyon Dozlarının Ölçülmesi .....	88
4.15.5	Radyasyon Alanlarının Ölçülmesi .....	89

	Sayfa
4.16	Radyografik Muayene Yönteminin Üstünlükleri ve Eksiklikleri ..... 91
5.	ULTRASONİK MUAYENE YÖNTEMİ..... 92
5.1	Ultrasonik Muayenenin Tanımı ve Temel Nitelikleri ..... 92
5.2	Ultrasonik Muayene ile Kaynak Dikişinde Algılanabilen Hatalar..... 92
5.3	Alın Kaynaklarında Ultrasonik Kontrol ..... 93
5.4	Kaynak Dikişi Kalınlığı ve Kaynak Tipine Göre Ses Dalgası Gönderme Açısı ve Muayene Teknikleri ..... 96
5.5	Kaynak Dikişindeki Hatanın Yerini Belirleme Yöntemleri ..... 103
5.6	Prob-Hata Uzaklığının Tayini ..... 104
5.7	Kaynak Dikişi Hatasının Yapısı, Şekli ve Büyüklüğü ..... 105
5.8	Köşe Kaynaklarında Ultrasonik Kontrol..... 105
5.9	Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik Muayenesinde Kabul-Red Kriterleri..... 108
5.10	Ultrasonik Muayene Personeli ..... 108
5.11	Ultrasonik ile Radyografik Muayene Yöntemlerinin Karşılaştırılması ..... 109
5.12	Ultrasonik Muayene Yönteminin Üstünlükleri ..... 109
5.13	Ultrasonik Muayene Yönteminin Eksiklikleri ..... 110
6.	PENETRANT SIVI İLE MUAYENE..... 111
6.1	Penetrant Sıvı ile Muayene İşleminin Tanımı ..... 111
6.2	Penetrant Sıvı ile Muayenenin İşleminin Üstünlükleri ve Eksiklikleri..... 115
7.	MANYETİK PARÇACIK MUAYENESİ..... 116
7.1	Manyetik Alan Yönleri ve Muayene Alanı ..... 118
7.2	Manyetik Parçacık Muayenesinin Üstünlükleri ve Eksiklikleri..... 121
7.3	Manyetik Parçacık Muayenesinin Özeti ..... 122
8.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR ..... 123
8.1	Deneysel Çalışma I : 4” Çapındaki Spool..... 125
8.2	Deneysel Çalışma II : 3” Çapındaki Spool..... 132
8.3	Deneysel Çalışma III : 8” Çapındaki Spool ..... 137
8.4	Deneysel Çalışma IV : 24” Çapındaki Spool ..... 142
8.5	Deneysel Çalışma V: 33 mm Et Kalınlığında ve 32 m <sup>3</sup> Hacimli H <sub>2</sub> -HC Tankının Muayene Planlarının Çıkarılması..... 147
SONUÇ	..... 168
KAYNAKLAR	..... 171
ÖZGEÇMİŞ	..... 174



## SİMGE LİSTESİ

b	Cisim – film mesafesi
d	Radyasyon kaynağının boyutu
f	Radyasyon kaynağı – cisim mesafesi
F	Film
k	Kaynak faktörü
L	Grup içerisindeki en uzun hatanın boyu
S	Radyasyon Kaynağı
t	Malzeme kalınlığı
w	Nüfuziyet kalınlığı
$\mu$	Zayıflama Katsayısı
$\alpha$	Süreksizliğin ve manyetik alanın yönleri arasındaki açı
$\alpha_{en\ az}$	Süreksizliğin tespiti için asgari açı



## KISALTMA LİSTESİ

ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASNT	American Society for Nondestructive Testing
AWS	American Welding Society
FFD	Işın kaynağı – Film Mesafesi (Focus-Film Distance)
IIW	International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
IQI	Image Quality Indicator
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MT	Manyetik Parçacık Muayenesi (Magnetic Test)
PT	Penetrant Sıvı ile Muayene (Penetrant Test)
RT	Radyografik Muayene (Radiographic Test)
UT	Ultrasonik Muayene (Ultrasonic Test)
VT	Gözle Muayene (Visual Test)



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Çeşitli dış hatalar ..... 4
Şekil 2.2	Çeşitli iç hatalar ..... 5
Şekil 3.1	Çeşitli kaynak masterları (gage) ..... 12
Şekil 3.2	Görünmeyen bölgelerin muayenesinde kullanılan boroskoplar ..... 13
Şekil 3.3	Direkt yardımsız gözle muayene ..... 14
Şekil 3.4	Direkt yardımcı gözle muayene ..... 14
Şekil 3.5	Uzaktan gözle muayene ..... 14
Şekil 3.7	Gözle muayene için gerekli bakış açısı ..... 17
Şekil 4.1	Radyoskopik muayene ..... 21
Şekil 4.2	Radyografinin prensip şeması ..... 22
Şekil 4.3	Geometrik yarı gölge ..... 23
Şekil 4.4	Çekimlerde doğru ve hatalı yönlendirmeler ..... 24
Şekil 4.5	X ışınları spektrumu ..... 25
Şekil 4.6	X ve gama ışını cihazları ..... 26
Şekil 4.7	X-ışını cihazı ..... 28
Şekil 4.8	X-ışınları radyografisinde gerilim-parça kalınlığı ilişkisi ..... 28
Şekil 4.9	Mekanik kumandalı tipten iki Ir 192 radyografi cihazı ..... 33
Şekil 4.10	Çeşitli gama radyografi cihazları ..... 33
Şekil 4.11	Radyografi filminin yapısı ve tabakaların kalınlıkları ..... 37
Şekil 4.12	Agfa Structurix D tipi filmler için görüntü kalitesi–film hızı arasındaki ilişki ..... 42
Şekil 4.13	En kısa radyasyon kaynağı-cisim mesafesinin, $f_{en\ az}$ , cisim-film mesafesi ve radyasyon kaynağının boyutuna bağlı olarak tayini için nomogram ..... 46
Şekil 4.14	Poz cetveli ..... 47
Şekil 4.15	Telli penetremetre ..... 50
Şekil 4.16	Delikli ASTM penetremetresi ..... 52
Şekil 4.17	Basamaklı penetremetre ..... 53
Şekil 4.18	Işınlama doğrultuları ..... 55
Şekil 4.19a	Düzlem cidarlar ve kavisli cisimler için tek duvar radyografisi ..... 56
Şekil 4.19b	Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (içine kaynak) ..... 56
Şekil 4.19c	Kavisli cisimlerin tek cidar nüfuziyeti için muayene düzenlemesi (üzerine kaynak) ..... 56
Şekil 4.20a	Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi ..... 57
Şekil 4.20b	Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (içine kaynak) ..... 57
Şekil 4.20c	Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (üzerine kaynak) ..... 57
Şekil 4.21a	Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi ..... 58
Şekil 4.21b	Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (içine kaynak) ..... 58
Şekil 4.21c	Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (üzerine kaynak) ..... 58
Şekil 4.22	Her iki cidarın değerlendirilebilmesi için kavisli cisimlerin çift duvar radyografisi ve çift görüntü için muayene düzenlemesi (radyasyon kaynağı ve film, cismin dışında) ..... 59
Şekil 4.23	Her iki cidarın değerlendirilebilmesi için kavisli cisimlerin çift duvar radyografisi ve çift görüntü için muayene düzenlemesi (radyasyon kaynağı ve film, cismin dışında) ..... 59

Şekil 4.24a	I.Q.I.'ın film tarafına yerleştirildiği ve filme bitişik cidarın değerlendirilmesi için kavisli cisimlerin çift duvar radyografisi ve tek görüntü için muayene düzenlemesi .....	59
Şekil 4.24b	Çift duvar radyografisi ve tek görüntü için muayene düzenlemesi .....	60
Şekil 4.24c	Boyuna kaynak dikişlerinin çift duvar radyografisi ve tek görüntü için muayene düzenlemesi .....	60
Şekil 4.24d	Filme bitişik cidarın değerlendirilmesi için kavisli cisimlerin çift duvar radyografisi ve tek görüntü için muayene düzenlemesi .....	60
Şekil 4.24e	İç köşe kaynak dikişlerinin radyografisi için muayene düzenlemesi .....	61
Şekil 4.24f	İç köşe kaynak dikişlerinin radyografisi için muayene düzenlemesi .....	61
Şekil 4.25	Çoklu film tekniği.....	61
Şekil 4.26	Film, penetremetre ve konum işaretlerin yerleştirilmesi .....	63
Şekil 4.27	Kaynak dikişi radyografilerinde filmlerin işaretlenmesi.....	65
Şekil 4.28	Manyetik tespit ekipmanı .....	65
Şekil 4.29	X-ışını cihazının aksesuarları .....	66
Şekil 4.30	X-ışını cihazının vinç ile istenilen bölgeye yerleştirilmesi .....	67
Şekil 4.31	Kaynaklı bağlantı kategorileri .....	69
Şekil 4.32	Radyograf okuma cihazları.....	75
Şekil 4.33	Dijital densitometreler .....	76
Şekil 4.34	Yanma oluşu .....	80
Şekil 4.36	Konkav dikiş.....	80
Şekil 4.35	Kökte oluşmuş yanma oluşu .....	80
Şekil 4.37	Konkav kök .....	80
Şekil 4.38	Aşırı kök sarkması .....	81
Şekil 4.40	Ağız kaçıklığı, sapma .....	81
Şekil 4.39	Ağız kaçıklığı ve kökte eksik kaynama.....	81
Şekil 4.41	Kökte içe doğru krater şeklinde yanma .....	81
Şekil 4.42	Kök pasosu hizasında gözenek .....	82
Şekil 4.44	Saçılmış gözenekler .....	82
Şekil 4.43	Gözenek birikimi .....	82
Şekil 4.45	Uzamış cüruf hattı .....	82
Şekil 4.46	Pasolar arası cüruf kalıntısı .....	83
Şekil 4.48	Boyuna çatlak .....	83
Şekil 4.47	Çaprazlama çatlak .....	83
Şekil 4.49	Kökte boyuna çatlak .....	83
Şekil 4.50	Yetersiz nüfuziyet.....	84
Şekil 4.52	Pasolar arası soğuk birleşme hatası .....	84
Şekil 4.51	Yan duvarda birleşme hatası .....	84
Şekil 4.53	Tungsten kalıntısı .....	84
Şekil 4.54	Cep dozimetreleri .....	89
Şekil 4.55	Cep dozimetresi şarj aleti .....	89
Şekil 4.56	Radyasyon alanlarının ölçülmesinde kullanılan ekipmanlar .....	90
Şekil 4.57	Bölgesel radyasyona karşı ışıklı ve sesli uyarı cihazı .....	90
Şekil 5.1	Ultrasonik muayene yönteminin prensibi.....	93
Şekil 5.2	Alın kaynaklarının ultrasonik yöntemle muayenesi .....	93
Şekil 5.3	Kaynak dikişlerinin açılı problemlerle muayenesi .....	94
Şekil 5.4	Ultrasonik muayenede prob hareketleri.....	95
Şekil 5.5	Karıştırıcı ekoların elde edilmesi.....	96
Şekil 5.6	Tipik darbe-yankı metodu ile ultrasonik muayene ekipmanı .....	97
Şekil 5.7	Teknik 1, alın kaynaklarının açılı problemlerle incelenmesi .....	99

Şekil 5.8	Teknik 2, taşlanmış alın kaynaklarının enine (çapraz) çatlak ihtimaline karşı incelenmesi .....	99
Şekil 5.9	Teknik 3, alın kaynaklarının çapraz çatlak ihtimaline karşı incelenmesi.....	99
Şekil 5.10	Teknik 4, kalın kaynakların iki proba incelenmesi .....	99
Şekil 5.11	Teknik 5, T-kaynaklarının incelenmesi .....	100
Şekil 5.12	Teknik 6, T-kaynaklarının erime bölgelerinin incelenmesi .....	100
Şekil 5.13	Teknik 7, T-kaynaklarının süreksizliklere karşı incelenmesi.....	100
Şekil 5.14	Alternatif Teknik 7, T-kaynaklarının süreksizliklere karşı incelenmesi .....	100
Şekil 5.15	Teknik 8, çift V köşe kaynaklarının muayenesi .....	101
Şekil 5.16	Teknik 9, çift V köşe kaynaklarının erime bölgelerinin muayenesi.....	101
Şekil 5.17	Teknik 10 ve 11, tam nüfuziyetli çift dolgulu köşe kaynaklarının muayenesi	101
Şekil 5.18	Teknik 12, taşlanmış çevresel kaynakların muayenesi ( $\emptyset < 500$ mm).....	102
Şekil 5.19	Teknik 13, taşlanmamış çevresel kaynakların muayenesi ( $\emptyset < 500$ mm).....	102
Şekil 5.20	Teknik 14, taşlanmış boyuna kaynakların muayenesi ( $\emptyset < 500$ mm).....	102
Şekil 5.21	Teknik 15, taşlanmamış boyuna kaynakların muayenesi ( $\emptyset < 500$ mm).....	103
Şekil 5.22	Kaynak dikişlerinde hatanın yerinin belirlenmesi .....	104
Şekil 5.23	Hata-prob uzaklığını gösteren skala .....	104
Şekil 5.24	Hata-prob uzaklığının hesaplanması .....	105
Şekil 5.25	Köşe kaynaklarının ultrasonik muayenesi.....	106
Şekil 5.26	Köşe kaynağının ultrasonik muayenesine ait başka bir örnek.....	107
Şekil 5.27	Boru kaynaklarında köşe dikişleri .....	107
Şekil 6.1	Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – ön temizleme .....	112
Şekil 6.2	Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – penetrantın uygulanması ..	112
Şekil 6.3	Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – ara temizleme ve kurutma	113
Şekil 6.4	Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – geliştirici uygulanması ....	113
Şekil 6.5	Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – değerlendirme .....	114
Şekil 6.6	Penetrant sıvı ile muayene işleminde hataların görünür hale gelmesi .....	114
Şekil 7.1	Manyetik parçacık muayenesinin esasları .....	116
Şekil 7.2	Manyetik parçacık ile yüzeye açık çatlakların muayenesi .....	117
Şekil 7.3	Manyetik parçacık muayene cihazı ve ekipmanları .....	118
Şekil 7.4	Tespit edilebilen süreksizliklerin yönleri .....	119
Şekil 7.5	Boyundurlukla ve prodlarla mıknatıslama için etkin muayene alanı örneği 1	120
Şekil 7.6	Boyundurlukla ve prodlarla mıknatıslama için etkin muayene alanı örneği 2	120
Şekil 7.7	Etkin muayene alanlarının üst üste binmesi .....	120
Şekil 8.1	Deneysel çalışma I - teknik resim ve malzeme listesi .....	125
Şekil 8.2	Deneysel çalışma I – radyasyon kaynağının konumu .....	127
Şekil 8.3	Rulo halinde paketlenmiş filmler .....	128
Şekil 8.4	Rulo filmlerin boru üzerine sarılması.....	128
Şekil 8.5	Agfa Structurix D4 filmi – poz diyagramı (FFD:1m) .....	129
Şekil 8.6	Deneysel çalışma II - teknik resim ve malzeme listesi.....	132
Şekil 8.8	Deneysel çalışma III - teknik resim ve malzeme listesi .....	137
Şekil 8.9	Deneysel çalışma III – radyasyon kaynağının konumu.....	139
Şekil 8.10	Ir-192 için poz diyagramı .....	140
Şekil 8.11	Deneysel çalışma IV - teknik resim ve malzeme listesi .....	142
Şekil 8.12	Deneysel çalışma IV – radyasyon kaynağının konumu .....	144
Şekil 8.13	Deneysel çalışma V – tank boyutları.....	148
Şekil 8.14	Deneysel çalışma V – tank üzerindeki kaynaklar.....	149
Şekil 8.15	Deneysel çalışma V – Agfa D7 filmi için X ışını poz diyagramı (FFD: 700mm, Yoğunluk:2).....	153
Şekil 8.16	Deneysel çalışma V - L1-L2 kaynakları için radyasyon kaynağının konumu	154

Şekil 8.17	Deneysel çalışma V – panoramik çekimde cihaz (S) ve filmin konumu (F)..	156
Şekil 8.18	3 ve 10 numaralı kaynaklar için pozlama tekniği.....	158
Şekil 8.19	Deneysel çalışma V – 6,7 ve 8 numaralı kaynakların radyografik muayenesinde ışın kaynağı ve filmin konumu.....	162





## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Muayene edilecek parçanın boyutlarına göre uygulanacak metotların karşılaştırılması.....	8
Çizelge 2.2	Bazı tahribatsız muayene metodlarına ait önemli karakteristikler .....	8
Çizelge 2.3	Kaynak muayene tekniklerinin karşılaştırılması .....	10
Çizelge 4.1	Çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımlar için tüp gerilimi 1 MeV ve üzerinde olan X ışını teçhizatı ve gama ışın kaynakları için nüfuz edilen kalınlık aralığı .....	29
Çizelge 4.2	X ve gamma ışınlarının Al, Fe ve Pb için çeşitli enerjilerdeki absorpsiyon (zayıflama) katsayıları .....	31
Çizelge 4.3	Radyoaktif kaynakların karakteristikleri .....	32
Çizelge 4.4	TS 5127 EN 1435 standardına göre çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımların radyografisi için metal ekranlar ve film sistem sınıfları.....	40
Çizelge 4.5	Standartlarda yer alan film sistem sınıflarının karşılaştırılması .....	41
Çizelge 4.6	Ülkemizde en çok kullanılan Agfa Geveart filmlerinin numaraları .....	43
Çizelge 4.7	Filmlerin standart boyutları .....	44
Çizelge 4.8	Radyografik denge faktörleri.....	49
Çizelge 4.9	EN 462 standardına göre I.Q.I. (telli penetremetre) kademeleri .....	51
Çizelge 4.10	Delikli penetremetre kademeleri .....	52
Çizelge 4.11	İngiliz BS 3971 standartlarına göre öngörülen radyografik duyarlıklar .....	54
Çizelge 4.12	Ark ve gaz kaynaklı bağlantılar için izin verilebilen maksimum kaynak verim katsayıları ve uygulama sınırları .....	70
Çizelge 4.13	Dikişsiz başlıkların hesabında kullanılan kaynak verim katsayısı, E.....	70
Çizelge 4.14	Karbon çeliği ve düşük alaşımlı çeliklerin alın kaynaklarında tam radyografik kontrol gerektiren en küçük kalınlıklar .....	71
Çizelge 4.15	Radyografların optik yoğunluğu.....	77
Çizelge 4.16	Kaynak dikişi hata grubu ve şekli .....	78
Çizelge 4.17	IIW referans radyograflarında hataların kaynak için arz ettiği tehlikeye göre sınıflandırılması .....	79
Çizelge 5.1	Akustik ortam için gerekli viskoziteler .....	96
Çizelge 5.2	Kaynaklı konstrüksiyonlar için tavsiye edilen prosedürler .....	98
Çizelge 5.3	ASME Section VIII'e göre ultrasonik muayenede kabul-red kriterleri .....	108
Çizelge 8.1	Müşteri şartnamesi.....	124
Çizelge 8.2	Deneysel çalışma I – özet veri tablosu .....	131
Çizelge 8.3	Deneysel çalışma II – özet veri tablosu.....	136
Çizelge 8.4	Deneysel çalışma III – özet veri tablosu.....	141
Çizelge 8.3	Deneysel çalışma IV – özet veri tablosu .....	146
Çizelge 8.5	Deneysel çalışma V - kaynak türleri .....	150
Çizelge 8.6	Deneysel çalışma V - müşteri talebi .....	151

## ÖNSÖZ

Bu çalışmayı hazırlamamda bana yardımcı olan tez danışmanım Sayın Prof. Nurullah GÜLTEKİN'e, değerli yönlendirme ve yardımları sebebiyle ÇİMTAŞ Çelik'ten Kaynak Grup Müdürü Kaynak-Makine Mühendisi Ercan KAPLAN'a; deneysel çalışmalarım boyunca her türlü yardımı gösteren Kalite Kontrol Şefi Makine Mühendisi Hamdi ARAS'a ve tüm kalite kontrol bölümü çalışanlarına, Kaynak-Makine Mühendisi Emre GANİOĞLU'na; ÇİMTAŞ Boru İmalatları ve Tic. Ltd. Şti.'nden Kalite Kontrol Şefi Metalurji Yüksek Mühendisi Erdiñ CANIGÜR'e, Kalite Kontrol-Makine Mühendisi Kürşat DURMUŞ'a ve tüm kalite kontrol bölümü çalışanlarına; ayrıca TEKFEN İmalat ve Mühendislik A.Ş.'nden Kalite Güvence Müdürü Süleyman HALICIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.



## ÖZET

Kaynaklı imalatlar günümüzde, basınçlı kaplar, kazan, vinç, köprü, boru hatları ile otomotiv ve savunma sanayi gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak işlemleri hem üretim maliyetini, hem de ürünün kalitesini ve performansını önemli ölçüde etkilediğinden, imalatın her aşamasında uygun yöntemlerle muayene edilmelidir. Ürünlerde sürekli ve yüksek kalite sağlanmak hedeflendiğinden, tahribatsız muayene yöntemlerinin kalite kontrol stratejilerindeki önemi her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada kaynak dikişlerinin muayenesinde kullanılan radyografik, ultrasonik, manyetik parçacık, penetrant sıvı ve gözle muayene yöntemleri temel prensipler çerçevesinde ele alınmış, bu yöntemler içerisinde sanayide % 80-90 oranında kullanılmakta olan radyografik muayene metodu ağırlıklı olarak incelenmiştir. Bu metodun kaynak dikişi muayenesinde ağırlıklı olarak kullanılmasının nedeni; hata tespitinin kesinliği ve belgelenmesi ile ultrasonik, manyetik parçacık ve penetrant sıvı muayene metodlarına karşı üstünlüğüdür.

Diğer bir yöntem olan ultrasonik muayene metodu ise konstrüksiyonun radyografik muayeneye izin vermediği hallerde, çatlak tespitinde, hata derinliğinin belirlenmesinde ve maliyetinin düşüklüğü nedeniyle kullanılır.

Penetrant Sıvı, Gözle Muayene ve Manyetik Parçacık muayene metodlarına ise kaynak dikişinin yüzey hatalarının (manyetik de yüzey ve yüzeye yakın) tespiti ve doğrulanması amacıyla kullanıldıklarından kısaca değinilmiştir.

Tahribatsız muayeneler için kullanılan muayene planları belirli bir sıra takip eder. Planda önce kaynak dikişlerinin % kontrol miktarlarının oluşturulması; muayene metodunun seçimi; muayene metodu radyografi ise kullanılacak radyasyon kaynağının, ışınlama doğrultusu ve mesafesinin belirlenmesi, film ve penetremetre seçimi ile filmlerin kabul muayenesi ve filmde görülen kaynak dikişi hatalarının tespiti; eğer ultrasonik yöntem kullanılacak ise prob açısı ve muayene tekniğinin seçimi ve diğer parametrelerin belirlenmesi ayrı ayrı incelenmiştir. Bu konuda farklı çaplardaki boru kaynakları ve bir basınçlı kap üzerindeki kaynak dikişi birleştirmelerine uygulanacak tüm tahribatsız muayene yöntemlerine ait örnek planlar verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Tahribatsız muayene, kaynak muayenesi, muayene planı, radyografi, ultrasonik muayene.

## **ABSTRACT**

The welded productions nowadays are utilised in many industries automotive, defence industries, pressurised containers, boilers, bridge, crane, pipeline and the like. Since welding does affect the cost, quality and the performance of the product considerably it must be inspected at every stage of production by suitable methods. Continued and high levels of quality being the target the importance of non destructive inspection methods are gaining grounds everyday in the quality control strategies.

In this study the methods used in welding seam inspection radiographic , ultrasonic, magnetic particle, penetrant liquid, and visual inspection are considered as to their basic principles among these methods the radiographic one that is utilised in industry up to 80-90% is studied in depth. The reason this method is used so heavily is the certainty of detection, ability to document are the reasons making it superior against the ultrasonic, magnetic particle and penetrant liquid methods.

Another method is the ultrasonic inspection method and it is used where the construction does not allow for radiographic inspection, for crack detection, determination of the depth of defect and for being less costly.

Penetrant liquid, visual inspection, magnetic particle methods are being mentioned shortly because they are used for seam welding surface defects (surface and close to surface with the magnetic) detection and confirmation.

The inspection plans for the non destructive methods follow a sequence. Plan firstly contains the formation of levels for the % inspection of seam welds, selection of the method of inspection, if the method chosen is the radiography then the radiation source distance, direction, the choice of film and penetrometer, acceptance inspection for films, detection of seam weld defects on the film; if the ultrasonic method is employed then the choice of probe angle, the inspection method and the determination of other parameters are evaluated individually. On these matter demonstrative plans for all the non destructive testing methods to be applied on different diameter pipe seams and seam welding on a pressurised container are given.

**Keywords:** Nondestructive testing, welding inspection, inspection plan, radiography, ultrasonic inspection.

## 1. GİRİŞ

Kaynaklı imalat, bir ülkede sanayinin gelişme seviyesinin bir göstergesi olup; mühendislik hizmetlerinin yoğun olduğu alanlarda çok kapsamlı olarak uygulanmaktadır. Kullanım alanı, basınçlı kaplar, kazanlar, tarım aletleri, vinç, köprüler ve boru hatlarından otomotiv ve savunma sanayine kadar çeşitlilik göstermektedir.

Bu derece yaygın kullanım ise beraberinde bu imal usulünün bir kurala bağlanması gerektiğini ortaya çıkarmış ve ilk olarak yüzyılın başlarında A.B.D.'de öncelikle askeri gemi yapım endüstrisinde ve sonra diğer ilgili endüstrilerde ASME standardı ortaya çıkmıştır. Bu standartla artık kaynaklı konstrüksiyonlar bir kurallar zincirine bağlı olarak imal ve kontrol edilmeye başlamıştır. Standartların bir merci tarafından kontrol edilmesi fikri ise yine ilk olarak A.B.D.'de Lloyd'ların ortaya çıkmasını sağlamış ve bu olgu diğer gelişmiş ülkelerde kendi standartlarını uygulayacak olan Lloyd'ların oluşturulmasına neden olmuştur.

Ülkemizde ise gerek kalite seviyesi gittikçe yükselen iç pazarımız, gerekse de dış satımı hedefleyen firmalarımız için Avrupa Birliği (AB) içindeki yeniden yapılanma çalışmaları bu konuda önemli bir örnek oluşturmaktadır. AB, Avrupa Tek Pazarı'nın oluşturulması için üye ülkelerde geçerli olan kuralların birbirleriyle uyumlu hale getirilmesine, basitleştirilmesine ve standartlar haline getirilmesine çalışmaktadır. Devam eden bu süreçte, Avrupa Standartları üye ülkelerdeki ulusal standartlarının yerine yürürlüğe girmektedir. Türkiye — AB ilişkilerinin daha da artacağı göz önüne alındığında, kaynak tekniği ve tahribatsız muayene alanlarındaki yeni AB düzenlemelerine ve standartlara uyum sağlanması gerektiği açıktır.

Bu sebeple, malların serbest dolaşımını kısıtlayan teknik engelleri azaltmak amacıyla standartların ve teknik düzenlemelerin uyumlu hale getirilmeleri için ülkemizde de çalışmalar tüm hızıyla sürdürülmektedir.

Kaynaklı birleştirmeler imalatın maliyetini, ürünlerin kalitesini ve servisteki performansını önemli ölçüde etkilediğinden kaynaklı ürünlerin imalatın her aşamasında uygun yöntemlerle muayenesi gerekmektedir. Üretim ve imalat teknolojilerindeki gelişmeler, ürünlerde yüksek kalite ve bunun devamlılığını sağlamak amacıyla yönelmiştir. Buna bağlı olarak, tahribatsız muayene yöntemlerinin kalite kontrol stratejilerinin geliştirilmesindeki önemi artmıştır. Son yıllarda, artan uluslararası ticari ilişkilerin de etkisiyle, tahribatsız muayene yöntemlerinin kalite kontrol çemberlerinin önemli bir parçası olduğu ülkemizde fark edilmeye başlanmış; bu alanda yetişmiş, vasıflandırılmış ve uluslararası tanınırlığı olacak şekilde sertifikalandırılmış eleman ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu talebe bağlı olarak, ülkemizde de Ortadoğu Teknik niversitesi'nde EN 473'e göre eğitim ve vasıflandırma sınavları yapan ve uluslararası geçerliliği olan sertifikalar veren Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma/Uygulama Merkezi kurulmuştur.

Üretim ve kullanım sırasında sorunsuz bir kaynaklı imalatın yapılabilmesi için tasarımdan başlayarak malzeme seçimi, imalat yöntemi ile tahribatlı ve tahribatsız testleri de içeren kontrol ve denetim mekanizmaları kurulmalıdır. EN ISO 9000 ve EN 29000, bu mekanizmaların oluşturulması için temel koşulları vermektedir.





## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Kaynaklı Birleştirmeler ve Tahribatsız Muayene Yöntemleri

Kaynak işlemi sırasında, kaynak dikişinde ve ısıdan etkilenen bölgede hataların oluşmaması veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması istenmektedir. Aksi takdirde, malzemenin servis koşullarında dayanımı olumsuz olarak etkilenecek ve beklenmeyen hasarlara neden olabilecektir. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan hataları tespit edebilmek için, istenilen kaynak kalitesine, malzemeye, kaynak dikişinin kalınlığına, kaynak yöntemine, kullanım yerine ve beklenen hatanın tipi ve konumuna bağlı olarak en uygun tahribatsız muayene yöntemi seçilmelidir.

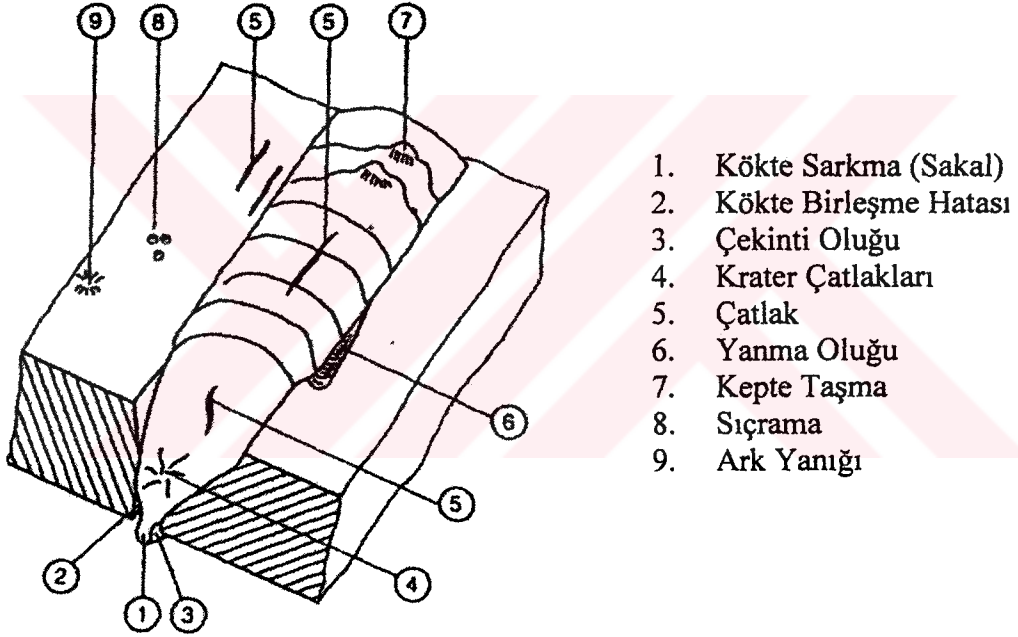
Tahribatsız değerlendirme, bu alanda gösterilen faaliyetlerin bütünü kapsayan bir kavramdır. Bu faaliyetlere verilen değişik isimlerden en yaygın olanları, Tahribatsız Muayene (NDT - Nondestructive Testing), Tahribatsız Kontrol (NDI – Nondestructive Inspection) ve Tahribatsız İncelemedir (NDE – Nondestructive Examination). Bu faaliyet esas olarak bir malzemenin (nesnenin) yüzeyinde ya da içinde gözlem ya da ölçüm yoluyla muayene, kontrol ve inceleme yaparak, gözlenen nesnenin bazı karakteristik özelliklerinin ya da süreksizlik, boşluk, düzensizlik vb. içerip içermediğinin tespit edilmesini kapsar. Burada önemli olan ve kullanılan tekniğe “Tahribatsız” sıfatını kazandıran husus, gözlenen nesnenin hiçbir şekilde tahribat görmemesi, daha sonraki kullanımı engelleyecek bir değişikliğe, bozulmaya veya fonksiyon kaybına uğramamasıdır.

Terim olarak süreksizlik, düzensizlik ya da boşluk test edilen malzemede incelenmesi ve sorgulanması gereken bir durum olarak birbiri yerine kullanılabilirse de, spesifikasyonlar, standartlar ya da kodlar bu terimlere farklı tanımlar getirebilir. Tahribatsız Muayene bir malzeme ile ilgili bir özelliğin, süreksizliğin ya da boşluğun bulunması, yerinin ve boyutlarının tespiti yoluyla bu faaliyeti yapan kişiye, o malzemenin, süreksizliğin ya da boşluğun kabul edilebilir olup olmadığına karar verebilmesini sağlamalıdır. Bu şekilde bir değerlendirme sonunda ise reddedilmesi gereken süreksizlik ya da boşluğa “Hata” denir. (Akyüz ve Gümrukçüoğlu, 1999)

Kaynak dikişlerinde rastlanabilecek hatalar: gaz boşluğu, cüruf (kalıntı), yan duvarda kaynama eksikliği, yetersiz nüfuziyet, çatlak, yanma oluşu, taşma, düzensiz kaynak yüzeyi ve kökte sarkma (sakal) olarak özetlenebilir (Şekil 1) (Gür ve Doyum, 1996) (Kaynak Hataları ile ilgili detaylı bilgiye ileriki bölümlerde değinilecektir). Bu çalışmada yukarıda sözü edilen hataların tespit edilmesi için “Süreksizliklerin Tespiti ve Değerlendirilmesi” alanında,

ülkemizde en yaygın olarak kullanılan aşağıdaki beş ana Tahribatsız Muayene yöntemi, temel fiziksel prensipler çerçevesinde ele alınacaktır. Üzerinde durulacak yöntemler sırasıyla şunlardır:

- Göz ile Muayene (VT)
- Radyografik Muayene (RT)
- Ultrasonik Muayene (UT)
- Penetrant Sıvı Muayenesi (PT)
- Manyetik Parçacık Muayenesi (MT) (Akyüz ve Gümrükçüoğlu, 1999).

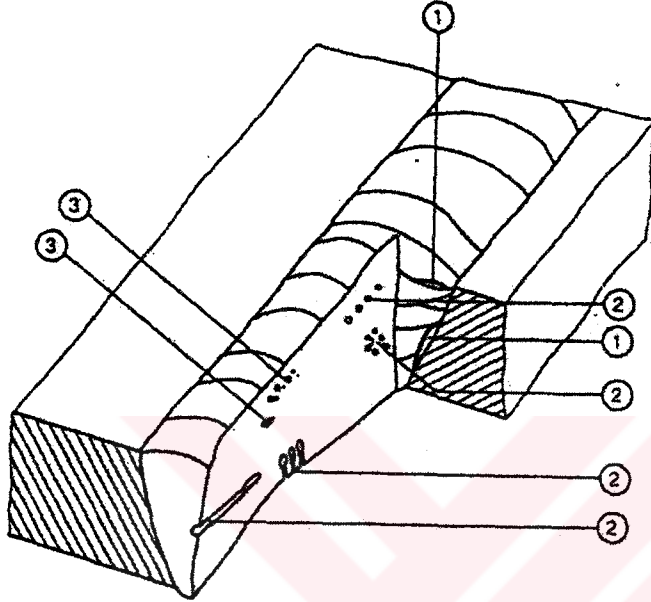


Şekil 2.1 Çeşitli dış hatalar (Gür ve Doyum, 1996)

Gözle muayene ile kaynak yüzeyi kalitesinin uygunluğu kontrol edilir. Kaynak fazlalığı, yanma olukları, eksenel kaçıklık, dikişin konumu, yüzeydeki ark izleri ve oyuklar bu muayenenin kapsamına girmektedir.

Endüstriyel radyografi ile muayene, bir radyasyon kaynağından çıkan ışınların muayene edilecek malzeme içinden geçirilerek bir film üzerine düşürülmesi ile gerçekleştirilir. Film banyo edildiğinde, incelenen bölgedeki herhangi bir hata film üzerinde bir kontrast farkı olarak görülmektedir. Bu yöntem, genellikle incelenen bölge içindeki gözenek ve kalıntılar gibi hacimsel hatalar ile çatlakların tespit edilmesinde uygulanmaktadır.

Ultrasonik muayene ile incelenen bölge içindeki hataların varlığı ve konumu yüksek bir hassasiyetle tespit edilebilmektedir. Bu yöntemde, problar vasıtasıyla malzeme içerisine ultrasonik dalgalar (1-12 MHz) uygun açıda ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ) gönderilmektedir. Demet halinde yayılan dalgalar herhangi bir hataya çarptıklarında hatanın boyutuna ve konumlanmasına bağlı olarak değişen şiddette geri yansımakta ve prob tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülerek cihaz ekranına iletilmektedir.



1. Birleşme Hatası
2. Gözenekler/Gaz Kanalı
3. Cüruflar/Yabancı Metal Kalıntıları

Şekil 2.2 Çeşitli iç hatalar (Anık, 2000)

Manyetik parçacıkla muayene yöntemi, yüzeyde veya yüzeye çok yakın (1-2 mm) olan malzeme süreksizliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Uygulama alanı, mıknatıslanabilen (ferro manyetik) malzemelerle sınırlıdır. Muayene sırasında incelenecek bölge çeşitli tekniklerle mıknatıslanarak yüzeye demir parçacıkları (renkli veya flüoresan) bir taşıyıcı sıvı vasıtasıyla veya kuru toz olarak uygulanır. Malzeme süreksizlikleri, manyetik alan çizgilerine göre konumlarına bağlı olarak değişen şiddette kaçak manyetik akıya neden olmaktadır. Manyetik tozlar bu bölgede toplanarak, süreksizliğin gözle veya büyüteç yardımıyla görülebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Süreksizliğin tespiti için en uygun konum, süreksizliğin manyetik alan çizgilerine dik olduğu durumdur.

Sıvı penetrantla muayene yöntemi ise, malzemenin cinsine bağlı olmaksızın, yüzeyde veya yüzeye açık olan çatlak, gözenek vb. malzeme süreksizliklerinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Muayene bölgesi, mekanik ve/veya kimyasal olarak temizlendikten sonra kurutulur ve penetrant (kırmızı renkli veya flüoresan) yüzeye uygulanır. Penetrantın yüzeye açık olan süreksizliklere nüfuz edebilmesi için belirli bir süre beklenir. Yüzeydeki penetrant, uygun bir sıvı ile temizlenerek kurutulur ve geliştirici yüzeye uygulanır. Geliştirici,

süreksizlikler içindeki penetrantı emerek yüzeye yayar ve beyaz rengi sayesinde kontrast sağlayarak hatayı gözle veya büyüteçle görülebilir hale getirir.

## **2.2 Uygulanacak Tahribatsız Muayene Yöntemine ve Muayeneyi Yapacak Personele Karar Vermek**

Uygulanacak tahribatsız muayene yöntemine ve muayene sınıfına karar verirken, kaynak yöntemi; malzeme kompozisyonu ve işlem durumu; kaynaklı bağlantının tipi, boyutları ve adedi; kaynaklanan yapının durumu; değerlendirme grupları; olması beklenen hataların tipi ve yönlenmesi dikkate alınmalıdır (Gür ve Doyum, 1996). Yukarıda yazılanlara ek olarak muayene edilecek parça üzerindeki gerilme dağılımları da göz önünde tutulmalıdır (Rihar, 1999). Bununla beraber, yöntemin getireceği ek maliyet, gerekli cihaz ve yardımcı gereçlerin bulunabilirliği ve hata tespit duyarlılığı da önemli faktörler arasındadır.

Tahribatsız muayene yönteminin seçiminde ve uygulanmasında çeşitli seviyelerdeki tahribatsız muayene uzmanlarına ihtiyaç vardır. Seviye 1 sertifikalı uzman, daha üst seviyedeki uzmanların gözetimi ve denetimi altında, yazılı talimatlar doğrultusunda cihaz ve yardımcı donanımları kurar; kalibrasyonları yapar; muayeneleri yaparak sonuçları rapora kaydeder. Seviye 2 sertifikalı uzman, standartlar ve teknik kurallar ışığında muayene için uygulama tekniğini belirler; vasıflandırıldığı yöntemle ilgili uygulamaların sınırlarını tanımlar; standart ve kuralları yorumlayarak çalışma şartlarına uygun muayene talimatlarını hazırlar; muayene sonuçlarını yorumlayarak rapor haline getirir. Seviye 3 sertifikalı uzman ise tüm tahribatsız muayene yöntemleri hakkında bilgi sahibidir; standartlar ve teknik kurallara göre vasıflandırıldığı yöntemlerde çalışmalarını yönetir, daha alt seviyedeki muayene personeliyle yönlendirir ve denetler; muayene donanımı ve personelle ilgili tüm sorumluluğu üstlenir; uygulanacak muayene yöntemini ve uygulama tekniğini belirleyerek muayene prosedürlerini hazırlar; muayene sonuçlarını yorumlar ve değerlendirir; malzeme-imalat-ürün teknolojisi hakkındaki bilgisini kullanarak yeni red/kabul kriterleri oluşturabilir (Gür ve Doyum, 1996).

## **2.3 Hata Tespiti ve Değerlendirilmesi**

Tahribatsız muayene metodunun seçiminden önce, muayene edilecek malzeme ve kaynağın türü, reddedilecek hataların türleri, boyutları, parça içerisindeki yönlenmeleri ve konumları açıkça belirtilmelidir. Reddedilmeye sebep olacak hataların tipi, boyutu, yönlenmesi ve konumu, eğer mümkünse, gerilim analizleri ve/veya kırılma mekaniği hesaplamalarıyla belirlenmelidir. Eğer nihai hesaplamalar ekonomik sebeplerden ötürü yapılamıyorsa kaynağın

reddedilmesine sebep olacak tip, boyut ve yönlenmedeki hatalar uygun bir güvenlik faktörüyle hesaplanmalıdır.

Reddedilmesi gereken hataların tipleri, boyutları, yönlenmesi ve konumu genellikle bir kod (code) (ASME Pressure Vessel Code, AWS Structural Welding Code, vb.) veya standart tarafından (EN 1291, EN 1712, EN 1289, vb.) belirtilmiştir. Eğer bu standart veya kodlardan biri üzerinde çalışılmakta olan parçaya uygulanırsa ihtiyaç duyulan bilgi bu dokümanda olacaktır.

Çeşitli kaynak proseslerinden geçen kaynaklı parçalar bu proseslere özgü karakteristik süreksizlikleri içerebilirler. Bu yüzden bu tip karakteristikleri içeren her proses ayrı ayrı incelenmelidir.

### **2.3.1 Hacimsel veya Düzlemsel Hatalar**

Reddedilecek hatanın boyut ve yönlenmesi tespit edildikten sonra hangi tip hataların reddedileceğine karar vermek gerekir. Genelde, iki tip hata vardır; hacimsel ve düzlemsel. Hacimsel hatalar üç boyutlu veya bir hacme sahip hatalar olarak tanımlanabilir. Düzlemsel hataların ise bir boyutu son derece ince fakat diğer iki boyutu çok daha geniştir. İleriki sayfalarda yer alan radyografi bölümü içerisinde kaynak esnasında oluşabilecek hatalar ve görüntüleri Şekil 4.34'den Şekil 4.53'e kadar gösterilmiştir.

### **2.3.2 Hatanın Konumu, Şekli ve Boyutu**

Hataların hacimsel ve düzlemsel olarak sınıflandırılmasına ek olarak, nesne içerisindeki konumları da dikkate alınmalıdır. Hatalar, yüzey hataları ve yüzeye kesişmeyen iç hatalar olarak da sınıflandırılabilir.

Tahribatsız muayene metodunun seçimini etkileyen iki önemli faktör de muayene edilecek parçanın şekli ve boyutudur. Çizelge 2.1 de malzeme boyutu (kalınlığı) ve şekline göre uygulanacak muayene teknikleri kıyaslanmaktadır.

Tahribatsız muayene seçimini etkileyebilecek malzeme karakteristikleri yüksek oranda muayene metoduna özgü özelliklerinin göz önünde tutulmasına bağlıdır. Çizelge 2.2'de bu çalışmada üzerine değinilecek bazı tahribatsız muayene metotları için kritik öneme sahip karakteristik özelliklere değinilmektedir.

Çizelge 2.3'de ise bu çalışmada incelenecek tüm tahribatsız muayene yöntemleri karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Spesifik muayene metodu yukarıda bahsedilen tüm faktörlerin incelenmesi sonucu seçilebilir. Her tahribatsız muayene metodunun kendine özgü spesifik bir özelliğinin olmasından dolayı genellikle birbirlerini tamamlayıcı özellikleri olan birkaç muayene metodunun seçilmesi istenilir. Örneğin, ultrasonik ve radyografik metotlar hem hacimsel (porozite gibi) hem de düzlemsel (çatlak gibi) hataların tespit edilmesini sağlamak için birlikte kullanılabilirler (Davis vd., 1992).

Çizelge 2.1 Muayene edilecek parçanın boyutlarına göre uygulanacak metotların karşılaştırılması (David vd., 1992)

<b>Yüzey Hataları (Boyut Sınırı Yok)</b>
Göz ile Muayene
Penetrant Sıvı ile Muayene
<b>Yüzeysel Derinlik veya İnce Malzeme (<math>\leq 1</math> mm )</b>
Manyetik Parçacık
<b>Orta Kalınlıktaki Malzeme (<math>\leq 250</math> mm )</b>
X-ışını Radyografisi
<b>Kalın Malzeme (<math>\leq 10</math> m )</b>
Ultrasonik

\* Kalın malzemelerin muayenesine uygun tüm metotlar ile ince malzemeler de muayene edilebilir

Çizelge 2.2 Bazı tahribatsız muayene metodlarına ait önemli karakteristikler (David vd., 1992)

Metot	Karakteristik Özellik
Penetrant Sıvı Muayenesi	Hata yüzey ile kesişmek zorundadır.
Manyetik Parçacık Muayenesi	Malzeme ferro-manyetik olmak zorundadır.

### 2.3.3 EN Standartları'nda Tahribatsız Muayene

Gözle muayenede, değerlendirme grupları ve izin verilebilirlik sınırları EN 25817 veya EN 30042, muayene tekniği ve muayene sınıfları ise EN 970 ile uyumlu olmalıdır.

Endüstriyel radyografi için değerlendirme grupları EN 25817 veya EN 30042, muayene tekniği ve muayene sınıfları EN 1435, izin verilebilirlik sınırları ise EN 12517 ile uyumlu olmalıdır.



Ultrasonik muayenede, değerlendirme grupları EN 25817 veya EN 30042, muayene tekniği ve muayene sınıfları EN 1714, izin verilebilirlik sınırları ise EN 1712 ile uyumlu olmalıdır. Tespit edilen hataların karakterizasyonu EN 1713 ile uyumlu olmalıdır. Değerlendirme sınıfı D için EN 1714 ve 1712 kullanılamamaktadır; bu sınıf için ultrasonik muayene önerilmemekle birlikte taraflar arasındaki anlaşmaya bağlı olarak C sınıfı şartları göz önüne alınarak uygulama yapılabilecektir.

Penetrantla muayenede, değerlendirme grupları EN 25817 veya EN 30042 ile, muayene tekniği ve muayene sınıfları EN 571-1, izin verilebilirlik sınırları ise EN 1289 ile uyumlu olmalıdır.

Manyetik parçacıkla muayenede, değerlendirme grupları EN 25817, muayene tekniği ve muayene sınıfları EN 1290, izin verilebilirlik sınırları ise EN 1289 ile uyumlu olmalıdır (Gür, 1999).



Çizelge 2.3 Kaynak muayene tekniklerinin karşılaştırılması (Cary, 1989)

Muayene Tekniği	Ekipmanlar	Tanımlanabilen Hatalar	Avantajları	Dezavantajları	Ek Bilgiler
Gözle Muayene VT	Büyüteç, El Feneri, Kaynak Mastarı, Cetvel	Çatlaklar, cüruf kalıntıları, gözenekler ve yanma olukları, kaynak boyutları, vb.	Muayene işlemi kolay, ucuz ve imalatın her aşamasında uygulanabilir	Sadece yüzey hataları muayene edilebilir, muayene personelinin kişisel teşhisine bağlıdır	Dünya genelinde en çok kullanılan metottur
Penetrant Sıvı Muayenesi PT	Flouresan veya gözle görülebilir penetrant sıvılar, flouresan sıvılar için ultraviyole ışık	Sadece yüzeye açık hatalar bulunabilir	Çok küçük yüzey hatalarını ortaya çıkarır, uygulama ve değerlendirmesi kolay, ucuz, manyetik ve manyetik olmayan malzemelerde de kullanılabilir	Muayene için her adımda yeterli süre gereklidir, kalıcı bir kayıt bırakmaz	Kritik kaynakların kök pasosundan sonra uygulanabilir, eğer malzeme uygunsuz şekilde temizlenmişse bazı hatalar sapabilir
Manyetik Parçacık Muayenesi MT	Kuru, sıvı ya da flouresan özelliğe sahip demir tozları, güç ünitesi, flouresan tipler için ultraviyole ışık	Yüzey ve yüzeye yakın hatalar, çatlaklar, porozite, cüruf, vb.	Çıplak gözle görülemeyen hatalar bulunabilir, köşe kaynaklarının muayenesine uygun, muayene edilecek malzemede boyut sınırı yoktur	Sadece manyetik malzemelerde uygulanabilir, yüzey pürüzlülüğü muayeneyi olumsuz yönde etkileyebilir, kalıcı kayıt bırakmaz	Manyetik alana paralel hataların tespit edilebilmesi için muayene işlemi birbirine dik iki istikametten yapılmalıdır
Radyografik Muayene RT	Radyasyon Kaynağı, film banyo ekipmanı, film muayene cihazı, penetremetre	Muayene yönüne bağlı olarak birçok iç süreksizlik ve hatalar	Sürekli bir kayıt sağlar, yüzey ve iç hatalarını gösterir, her tür malzemeye uygulanabilir	Genel olarak köşe kaynaklarının muayenesi için uygun değildir, pozlama ve film banyo süreleri kritik öneme sahiptir, radyografi prosesi yavaş ve pahalıdır	İç Hatalar için kullanılan en popüler metottur. Bazı kod, standart veya spesifikasyonları gerektirir
Ultrasonik Muayene UT	Ultrasonik muayene cihazı ve probalar, referans blokları	Diğer metotlarla tanımlanabilen tüm iç hatalara ilave olarak olağanüstü küçük hatalar da bulunabilir	Çok hassas, her tür malzemede kullanılabilir, genellikle karmaşık şekilli kaynakların muayenesinde kullanılır	Muayeneyi yapacak personelin hataları değerlendirme yeteneğinin çok gelişmiş olması gerekmektedir	Bazı kod, standart ve spesifikasyonları gerektirir.

### 3. GÖZ İLE MUAYENE YÖNTEMİ

Göz ile muayene, yüzey kalitesinin uygunluğunu tespit etmek için uygulanır. Çıplak gözle veya optik aletlerin yardımıyla yapılır. En yaygın olarak kullanılan, son derece etkili, hızlı ve en ucuz muayene metodudur. Sadece yüzeye açık hataların tespit edilmesinde kullanılır.

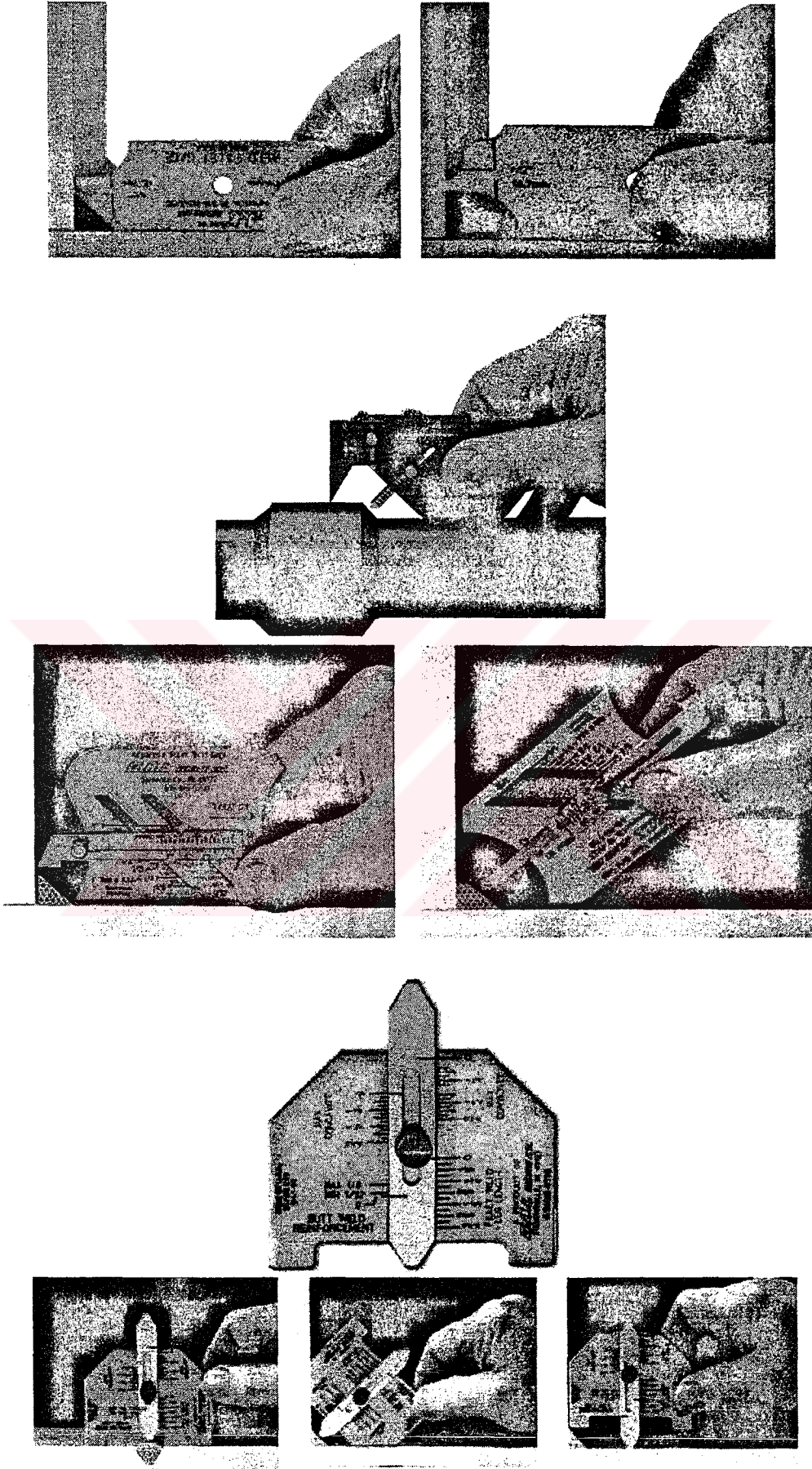
Birçok kaynak kodu ve standardı her kaynakta minimum derecede de olsa gözle muayeneye ihtiyaç duymaktadır. Gözle muayene, imalatın her safhasında (kaynak öncesinde, kaynak esnasında ve kaynak sonrasında) yapılabilir (Davis vd., 1992). Göz ile muayene metodu, prosedüre uygunluğu sağlayan ve imalatın erken safhalarında hataların tespit edilmesine yarayan etkili bir kalite kontrol yöntemidir. Hatalı birçok kaynak göz ile muayene sayesinde reddedilmektedir.

Eğer bir kaynak göz ile muayene sonucu reddedilmişse, diğer tahribatsız muayene yöntemlerinin uygulanmasına ve dolayısıyla da yeni giderlerin oluşturulmasına gerek yoktur. İşte bu sebepten ötürü birçok standart gözle muayene metodunun diğer metotlardan önce kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Hatta ANSI/AWS D1.1 Structural Welding Code-Steel kod'unda "Tahribatsız muayeneye uygulanacak kaynaklar, gözle muayene tarafından kabul edilebilir olarak değerlendirilmiş olmalıdırlar" ifadesine yer verilmiştir.

Kaynak şişkinliği, yanma olukları ve kaynakla birleştirilen parçaların aksenal kaçıklığı, geçici bağlantıların uygun şekilde sökülmesi; kaynak dikiş konumu ve yüzeydeki oyuk ve ark izlerinin kontrolü görsel muayene şeklinde yapılır.

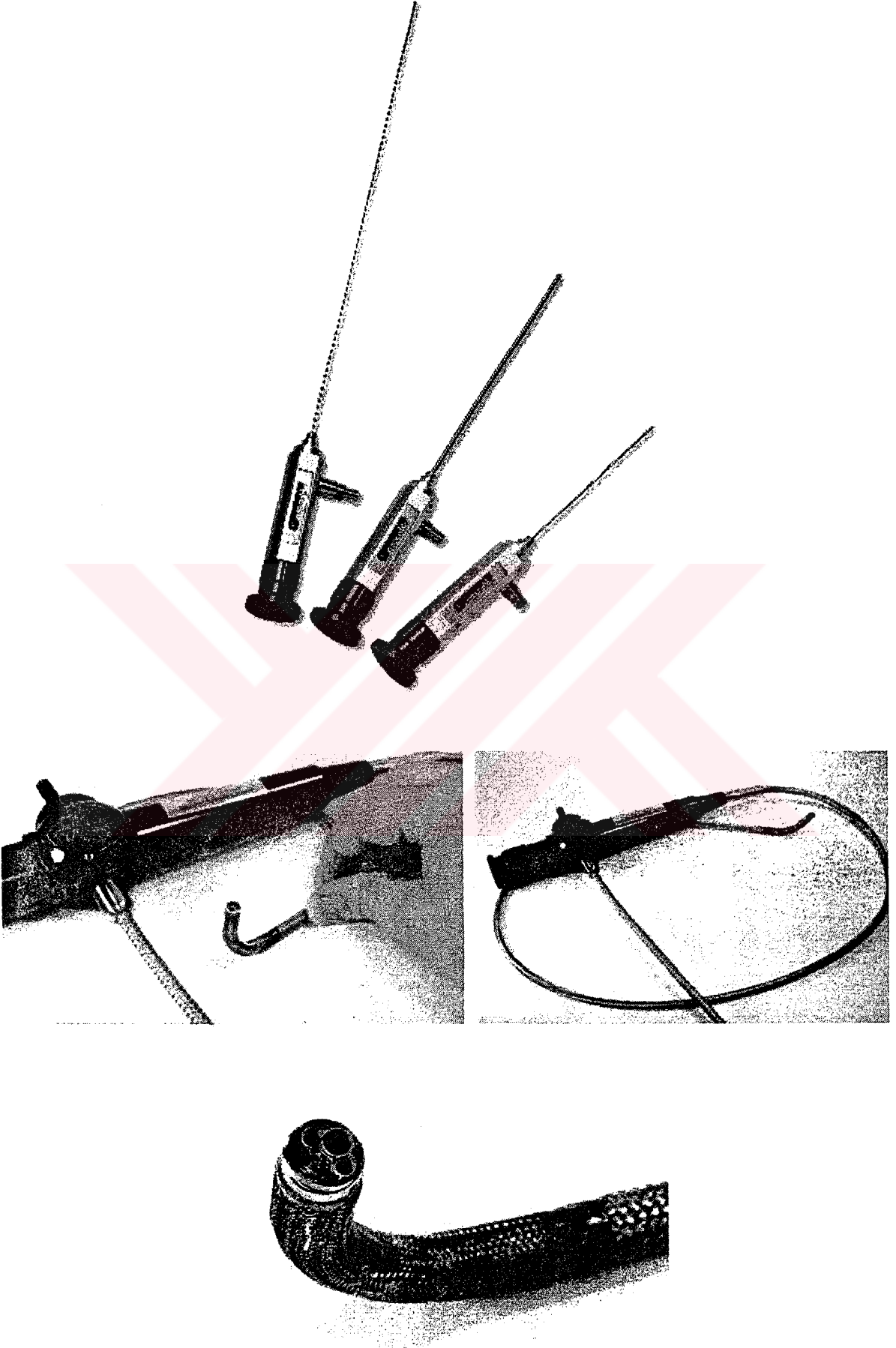
Gözle muayene için birkaç küçük ekipmana ihtiyacımız vardır. İyi bir görme gücü ve yeterli ışıktan başka, küçük bir cetvel, kaynak boyutu için mastar (weld size gauge) (Şekil 3.1), büyüteç ve düzlemsellik, hizalama ve dikliğin kontrolü için düz bir kenar ile kare şeklinde bir parçaya ihtiyaç vardır. Tecrübeli bir göz, kaynak dikişinin görünüşünden, genişliğinden veya kaynak taşmasından reddedilecek hatalarının tespitini yapabilir.

Görülemeyen veya erişilemeyen bölgeler için endoskop ya da boroskop (Şekil 3.2) adı verilen bir optik aletten faydalanılır. Bu alet sayesinde muayene edilecek yer aydınlatılmakta ve şekli ölçülerle veya bir fotoğraf ekranında kontrol edilmektedir (Cary, 1989; Stinchcomb, 1989; Hayes, 1997; Anık, 2000).



Şekil 3.1 Çeşitli kaynak masterları (gage) ([www.tedndt.com](http://www.tedndt.com))



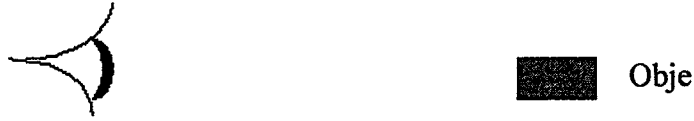


Şekil 3.2 Görünmeyen bölgelerin muayenesinde kullanılan boroskoplar (www.tedndt.com)

### 3.1 Gözle Muayene Türleri ve Uygun Ekipman Seçimi

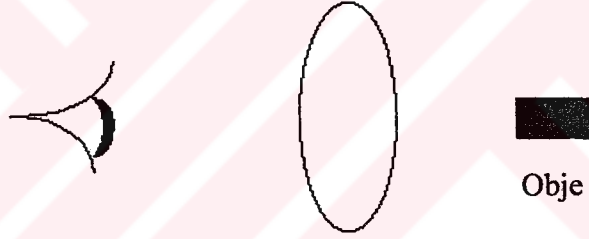
Gözle muayene temelde direkt ve uzaktan muayene olmak üzere iki farklı bölüme ayrılır. Fakat direkt gözle muayene de yardımcı ve yardımcı olmayan olmak üzere iki farklı bölüme ayrılmaktadır. Kullanılan ekipmanlar da bu ayrıma uygun olarak sınıflandırılmıştır. Bu bölümleri açıklayacak olursak:

1. Direkt Yardımsız Gözle Muayene: Herhangi bir görsel yardımcı cihaz olmaksızın (ışık kaynağı hariç) sadece gözle yapılan muayene metodudur. Gözle parça arasında hiçbir kesilme yoktur.



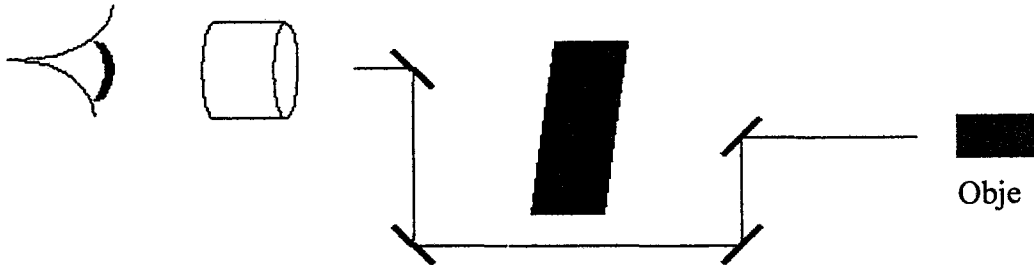
Şekil 3.3 Direkt yardımsız gözle muayene (Roy vd., 2000)

2. Direkt Yardımlı Gözle Muayene: Görüntünün doğasında hiçbir değişiklik yoktur. Görüntü bir ayna, mercek ya da endoskop vasıtasıyla büyütülür.



Şekil 3.4 Direkt yardımcı gözle muayene (Roy vd., 2000)

3. Uzaktan Gözle Muayene: Direkt olarak gözle ulaşmanın imkânsız olduğu durumlarda görsel yardımcı cihazlar vasıtasıyla yapılan gözle muayene tekniğidir. Görüntünün doğasında değişiklik vardır. Örneğin optik görüntü kamera vasıtası ile elektronik görüntüye dönüştürülür.



Şekil 3.5 Uzaktan gözle muayene (Roy vd., 2000)

Gözle muayene için en uygun ekipmanın seçilmesinde birkaç noktaya dikkat edilmelidir:



- Gözle muayenenin direkt mi yoksa uzaktan mı yapılacağına karar verilmelidir.
- Ekipman, kullanılacağı ortama uyarlanmalıdır. Örneğin, ekipmanın su altında, yüksek sıcaklık olan bir bölgede veya korozif bir ortamda kullanılması planlanıyor olabilir.
- Ekipman için aşağıdaki şartlar da dikkate alınmalıdır:
  - Uygulanan test tipi
  - Test bölgesin geometrisi
  - ve tüm ölçüleri
- Ekipmanın teknik özelliklerine karar vermek için aşağıdaki sorulara cevap vermek gerekir:
  - Hangi tip ışıklandırma, aydınlatma var?
  - Gerekli çözünürlük ne kadar?
  - Ölçü tamlığı ne kadardır? m veya  $\mu\text{m}$ ?
  - Ne tip bir hedef var?
  - Resim renkli mi yoksa siyah-beyaz mı?
  - Hangi tip görüntü kaydedici kullanılacak? Program istenilen çözünürlüğü sağlayabilecek mi?

Tüm bu seçimler ileride kullanılacak ekipmanın doğru bir şekilde ayarlanmasını sağlayacaktır (Roy vd., 2000; ASME<sup>4</sup>, 1998).

### 3.2 Gözle Muayene Yönteminde Tespit Edilebilen Hatalar

Gözle muayene, uygulanması en basit muayene yöntemi olmasına rağmen, hatasız ve düzenli bir muayenenin yapılabilmesi için belirli bir prosedür uygulanmalıdır.

Gözle muayene yöntemiyle kontrol edilebilecek özellikler:

- Kaynaklı Parçaların Boyutsal Tamlığı
- Kaynağın Boyut ve Dış Hatlarının Uygunluğu
- Kaynak görünümünün yüzey pürüzlülüğü, kaynak sıçramaları ve temizliğinin göz önünde tutulması ile kabul edilebilirliği

- Kraterler, yanma olukları, kabarcıklar, üst üste binmeler (overlap) ve çatlaklar, vb gibi yüzey hatalarıdır (Davis vd., 1992).

İmalat esnasında kaynak dikişine uygulanan gözle muayenede yüzeydeki çatlaklar, cüruf kalıntıları, gözenekler ve yanma olukları tanımlanabilir.

İmalatın erken safhalarındaki gözle muayene hatalı pasoların üzerinin kapanmasını engeller. Bu nedenden ötürü basit kaynak işlemlerinde, her işlemin başlangıcında ve iş süreci boyunca periyodik olarak muayene yapılması uygun olacaktır. Birden fazla pasolu kaynak işlemlerinde, her pasodan sonra gözle muayene yapılması gerekir. Çok pasolu bir kaynak işleminde kök pasosu kaynak dikişinin sağlamlığı açısından son derece kritik bir öneme sahiptir. Çabuk katılaşmasından ötürü çatlaklara karşı son derece hassastır ve gaz ile cüruf içerebilir. Sonraki pasolarda kaynak damlasının şeklinden ötürü ortaya çıkan durumlar veya bağlantı konfigürasyonundaki değişiklikler, ilerleyen zamanlarda çatlaklara, yanma oluklarına ve cüruf birikmelerine neden olabilir. Gözle muayene ile bu tip hatalar kaynak sürecinden önce belirlenebilirse tamir giderleri minimuma indirilebilir.

Kaynak sonrası, gözle muayene ile ileriki muayene prosedürleri ne olursa olsun çeşitli yüzey hataları, çatlaklar, gözeneklilik, krater boşlukları, boyutsal değişiklikler ve kaynak boyutu karakteristikleri tespit edilip değerlendirilebilir.

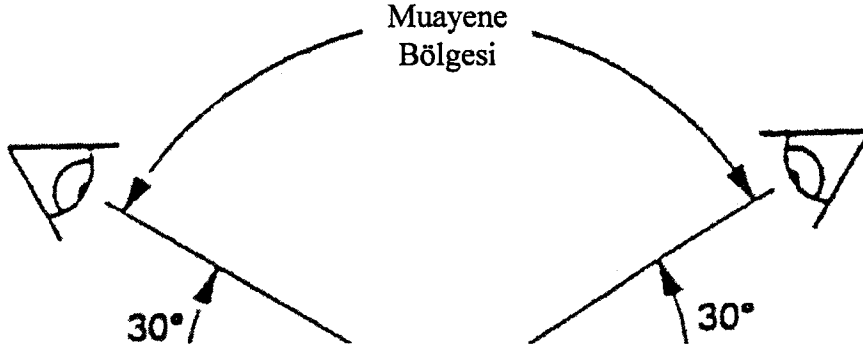
Yüzey hataları kontrol edilmeden önce, kaynaktaki cüruf lar temizlenmelidir. Muayeneden önce yüzey çekiçle temizlenmemelidir, çünkü çekiç darbeleri yüzeydeki bazı çatlakları görünmez hale getirebilir. Örneğin AWS D1.1 Structural Welding Code'da kaynağın kök veya yüzeyindeki tabaka ile ana malzemedeki kaynaklı bölgelerin kenarlarında çekiç kullanılmasına izin verilmez (Hayes, 1997).

Gözle muayene çok önemli bir metot olmasına rağmen, yüzey altı hataların tespit edilebilmesinde uygulanamaz. Fakat gene de kaynak kalitesi yüzey hatalarından elde edilen bilgilere uygun olarak değerlendirilmelidir (Davis vd., 1992).

### **3.3 Avrupa (EN 970) ve Amerikan (ASME Section V) Standartlarında Gözle Muayene**

Ergitme esaslı kaynak yöntemlerinin gözle muayenesi hakkında detaylı bilgilerin bulunabileceği EN 970 standardında gözle muayene için malzeme yüzeyinde minimum 350 lux'lük bir aydınlatmanın olması gerektiği belirtilmiştir (500 lux tavsiye edilir). ASME Section V'de ise minimum ışık seviyesinin 500 lux olması gerektiği belirtilmiştir (ASME Section V Article 9, 1998).

Direkt muayene işlemi için ise göz ile muayene edilecek yüzey arasındaki her iki standartta da 600 mm'lik bir mesafe ve 30° den az olmayan bir görüş açısının yeterli olacağı belirtilmiştir (Şekil 3.7). ASME Section V'de Görüş açısının geliştirilmesi için ayna ve büyüteçlerin kullanılabileceğine değinilmiştir.



Şekil 3.7 Gözle muayene için gerekli bakış açısı (EN<sup>3</sup>, 1997)

Uzaktan muayene işleminde kullanılacak boroskoplar, fiber optikler veya kameralara ait özellikler ek talepler olarak dikkate alınıp bir uygulama standardı veya taraflar arasındaki sözleşme ile açıkça tanımlanmalıdır. Uzaktan muayene işleminde kullanılacak tüm sistemlerdeki görüntü kalitesinin en az direkt muayenede ile elde edilen kalite kadar iyi olması istenir.

Eğer hatalar ile muayene edilen yüzey arasında iyi bir kontrast gerekli ise ilave bir ışık kaynağı kullanılmalıdır.

### **Personel**

Avrupa Standartlarına uygun olarak muayene yapacak personel:

- Konu ile ilgili standartları, kuralları ve şartnameleri bilen;
- Uygulanmış kaynak prosedürü hakkında bilgi sahibi;
- EN 473 (Tahribatsız Muayene Personelinin Vasıflandırılması ve Belgelendirilmesi) Standardında belirtilen özelliklere uygun olarak, her 12 ayda bir kontrol edilen, iyi bir görme gücüne sahip olmalıdır (EN<sup>3</sup>, 1997).

ASME Section V'de ise muayene işlemini yapacak personelin SNT-TC-1A (Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing) ya da eşdeğer bir standarda göre kalifiye edilmesi gerektiği ve ayrıca her yıl yeniden kalifiye edildiği Jaeger testindeki J-1 harflerini okuyacak duyarlılıkta yakın görüşe sahip olması istenir (ASME<sup>2</sup>, 1998).

### ***Değerlendirme***

Tüm gözle muayene sonuçları, uygun ürün standartlarındaki kabul kriterlerinin şartlarına uygun olarak değerlendirilmelidir (Rolls, 2000).

ASME Section V'de gözle muayene işleminin planlanması ve gerekli muayene işlemlerinin yerine getirildiğinin onaylanması için bir kontrol listesi oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. Bu kontrol listesi, gerekli minimum muayene işleminin yapıldığını kanıtlar, ancak bu liste imalatçının proses süresince yaptığı maksimum muayene miktarını içermez (ASME<sup>5</sup>, 1998).

### ***Muayene Kayıtları***

EN 970 Standardında Gözle muayene işleminin kaydını tutmak her zaman gerekli değildir. Ancak, istenildiği durumlarda, gözle muayene edilen tüm parçaları ve muayenenin her aşamasındaki sonuçlarını gösteren bir kayıt bulundurulmalıdır. Raporda bulunması gerekenler:

- a) Parçanın imalatçısı;
- b) Muayene edilen parçanın adı, eğer a şikkından farklı ise;
- c) Muayene edilen parçanın tanımı;
- d) Malzemesi;
- e) Bağlantı türü;
- f) Malzeme kalınlığı;
- g) Kaynak prosesi;
- h) Kabul kriterleri;
- i) Kabul kriterlerini geçen hatalar ve konumları;
- j) Parçanın çizimlerine bağlı olarak muayene edilen bölgesi;
- k) Kullanılan muayene ekipmanı;
- l) Kabul kriterlerine bağlı olarak muayene sonucu;
- m) Muayeneyi yapan personelin adı ve muayene tarihi

Muayene edilmiş bir kaynağın kalıcı kaydının istenmesi durumunda, açıkça tanımlanan tüm hatalarla beraber fotoğraflar, taslak çizimler ya da her ikisi birden hazırlanmalıdır (EN<sup>3</sup> 970, 1997).

ASME Section V'de ise referans kod'un gerektirdiği durumlarda yazılı bir rapor verilmelidir.

Bu raporda:

- a) Test tarihi, uygulanan muayene prosedürü ve sonuçları imalatçı tarafından onaylanmalıdır. İleriki muayeneler için aydınlatıcılar, aletler, ekipmanlar, vb rapor içerisinde tanımlanmalıdır. Son olarak da gözle muayene için prosedür numarası verilmelidir.
- b) İmalatçı isterse her ürün için ayrı bir sertifika ya da işin bölge ve/veya tipine göre ayrı ayrı bölünmüş birkaç sertifika oluşturabilir. Uzmanlaşmış gözle muayene personelinin kullanılmasının pratik olarak imkânsız olduğu durumlarda, bilgili imalat işçisi de muayene işlemini uygulayabilir ve raporları imzalayabilir.
- c) Gözle muayene prosesinin değerlendirmesine yardımcı olmak amacıyla ölçüler vb. bilgilerin kaydedilmiş olmasına rağmen, her görünüş veya boyutsal kontrolün belgelendirilmesine gerek yoktur. Belgelendirme sadece kod'da açıkça belirtilen tüm inceleme ve ölçüsel kontrolleri içermelidir.

Kayıtlar, referans kod'da ilgili bölümün gerektirdiği şekilde saklanmalıdır (ASME<sup>5</sup>, 1998).

### ***Ekipman***

Taslak olarak bulunan pr EN 13927 Standardı, bu tarih itibarı ile görüntüleme ve gözle muayene ekipmanının seçim ve standardizasyonu için gerekli bilgileri içeren tek standarttır (Armitt ve Henning, 2000).

## 4. RADYOGRAFI

Kaynak dikişlerinin radyografik muayene planları Kalite Kontrol Şefi tarafından (mühendis unvanlı) tespit edilir. Uygulama ve değerlendirme ise imalatın yapıldığı standardın işaret etmiş olduğu tahribatsız muayene (NDT) personelinin sertifikalandırılması bilgilerini kapsayan standardın gereksinimlerine göre sertifikalandırılmış personeller tarafından yapılır. Uygulama ve değerlendirilme işlemi imalatın yapıldığı firma içerisinde bu yetki belgelerine sahip personeller ya da imalatın yapıldığı standart bürosu tarafından yetkilendirilmiş muayene firmalarının sertifikalı personeli tarafından bir kontrol planı çizilerek yapılır. Muayenenin bir plan dahilinde ve sağlıklı olarak yapılabilmesi radyografinin her safhasının iyi bilinmesi ve iyi yetişmiş personelle yapılmasına bağlıdır.

### 4.1 Radyografinin Tanımı ve Temel Nitelikleri

Radyografi, girici (nüfuz edebilen) ışınlarla fotoğraf alma tekniğidir. Girici ışınlar, malzemeyi kat edip geçerken, malzeme (kaynak dikişi) için görüntüsünü beraberlerinde taşırlar. Görüntü, film üzerine kaydolursa buna "Radyografi", flüoresan ekran üzerine alınırsa "Radyoskopi" adı verilir. Film kalıcı bir kayıttır, bu yüzden kaynak dikişlerinin muayenesinde daha çok tercih edilir. Flüoresan ekran üzerindeki görüntü ise anlık olduğundan pek tercih edilmez. Flüoresan ekran üzerindeki görüntüyü doğrudan seyredecek kişi zorunlu olarak ışın demetinin içine girer. Çalışanı (operatörü) girici ışınların zararlı etkilerinden korumak için fluoroskopik görüntü kapalı devre televizyon sistemi ile bir başka odaya taşınarak orada seyredilir (Şekil 4.1).

Radyografik muayene, hataların kalıcı olarak film üzerinde görülmesi ve normal koşullarda kolayca açıklanabilmesi nedeniyle yavaş ve pahalı bir yöntem olmasına rağmen özellikle gözenek, kalıntı, çatlak ve boşlukların saptanmasında çok yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Endüstriyel uygulamaların büyük çoğunluğu radyografi tekniğine dayanır. Radyoskopi ancak özel durumlarda kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada yalnızca radyografi tekniğine değinilmiştir (Özden, 1981a; Anık, 2000).

### 4.2 Radyografik Tekniklerin Sınıflandırılması

Radyografik teknikler TS 5127 EN 1435 Standardı'na göre iki sınıfa ayrılır. Bunlar:

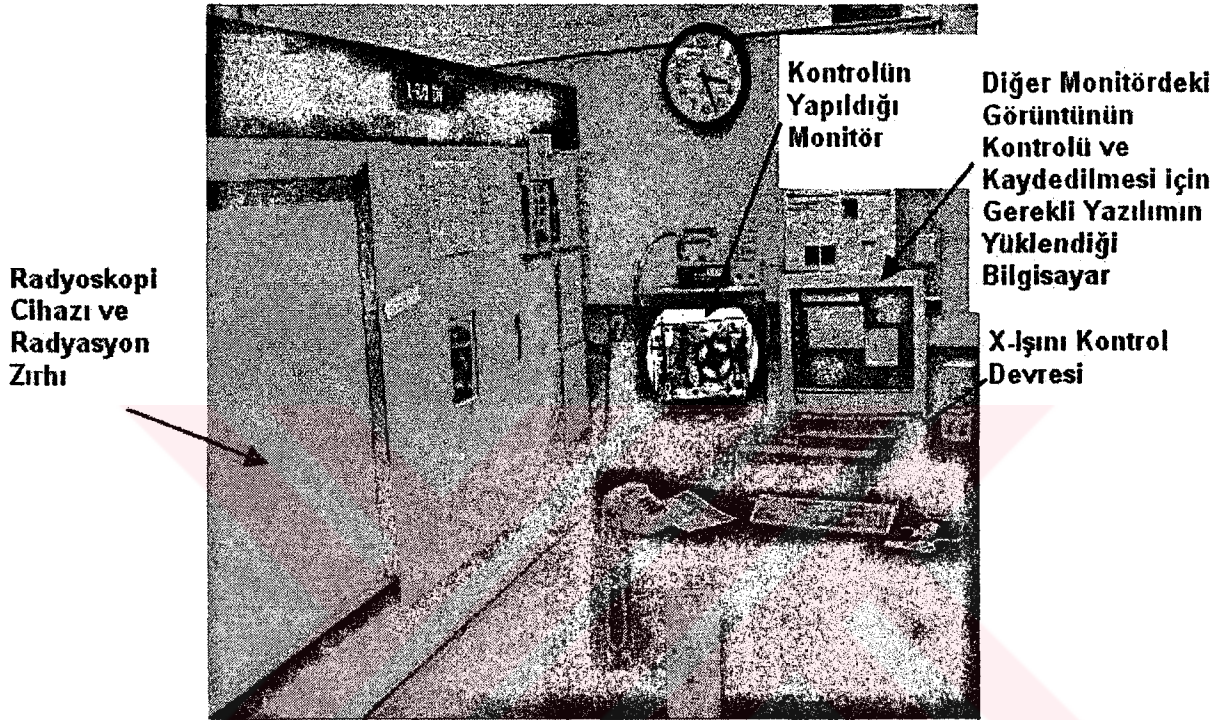
- Sınıf A: Temel Teknikler
- Sınıf B: Geliştirilmiş Teknikler



Sınıf B teknikler, sınıf A tekniklerin hassasiyetinin yetersiz olduğu durumlarda kullanılmalıdır.

Sınıf B'ye kıyasla daha iyi teknikleri kullanmak mümkündür ve bu konuda sözleşme tarafları arasında uygun muayene parametrelerinin tamamı belirlenerek bir anlaşmaya varılabilir.

Radyografik tekniğin seçimi ilgili taraflar arasındaki anlaşmayla yapılmalıdır (EN<sup>2</sup>, 2002).



Şekil 4.1 Radyoskopik muayene (www.tedndt.com)

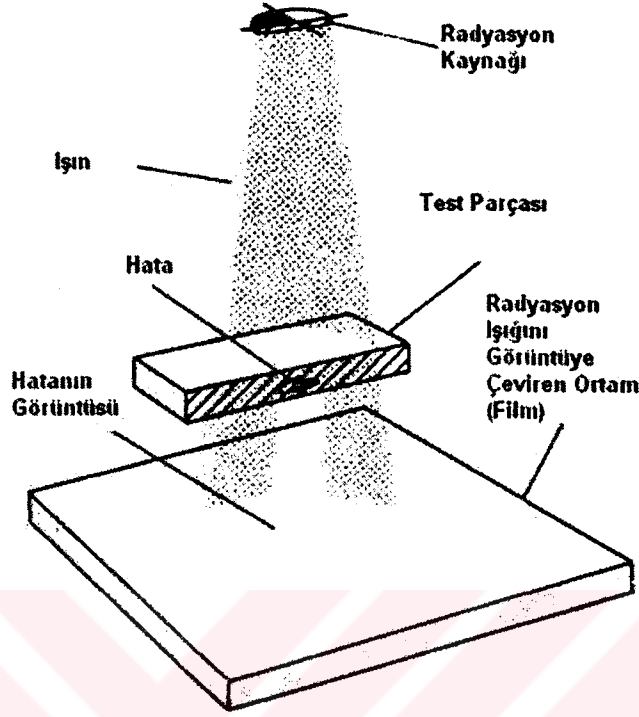
### ***Radyografik Görüntü Oluşturmak***

Şekil.4.2'de görüldüğü gibi radyografik görüntüyü almak için deney parçası ışın kaynağı ile film arasında gelecek şekilde yerleştirilir. Malzemeyi boydan boya geçen ışınlar zayıflamış olarak filme ulaşır ve onu karartır. Filmde belirli bir kararma sağlayabilmek için ışınlamanın poz süresi denen bir zaman süresince devam etmesi gerekir.

Deney parçası tek bir kalınlığa sahip ise bunu geçerek filme ulaşan ışınlar her tarafta aynı ölçüde zayıflamış olurlar. Film her yerde üniform bir şekilde kararır ve anlamlı bir görüntü oluşmaz.

Deney parçası farklı kalınlıktaki bölgelere sahipse, bunlardan geçen ışınlar değişik ölçülerde zayıflarlar. Deney parçası üzerine aynı şiddette düşen ışınlar onu kat edip çıktıklarında geçtikleri kalınlıkla değişen farklı şiddetlere sahip olarak filme ulaşırlar. Böylece film

üzerinde az ve çok kararlı bölgeleriyle malzemenin içinin görüntüsü oluşur. Malzemenin ince kesimleri film üzerinde koyu, kalın kesimleri ise açık görünür.



Şekil 4.2 Radyografinin prensip şeması (Davis vd., 1992)

Kaynak dikişi içindeki bir hata (fiziksel süreksizlik) ışınlar üzerinde kalınlık değişmesi gibi etki yaratır. Kaynak içinde olabilecek boşluklar (örneğin gözenek, kanalcık, çatlak v.b.) ışınların geçtiği malzeme kesitini küçülteceğinden, film üzerinde koyu lekeler olarak açığa çıkarlar.

Kaynağın içindeki yoğunluk değişimi de ışınlar üzerinde benzer etki yapar. Cüruf kalıntısı gibi ana malzemeye oranla daha az yoğun hatalar koyu lekeler halinde, tungsten (volfram) kalıntısı gibi ana malzemeden daha yoğun hatalar ise açık lekeler halinde görüntü verirler. Kaynak hataları ve bu hataların radyograflardaki görünüşleri hakkında detaylı bilgi bölüm 4.13.2'de verilmiştir.

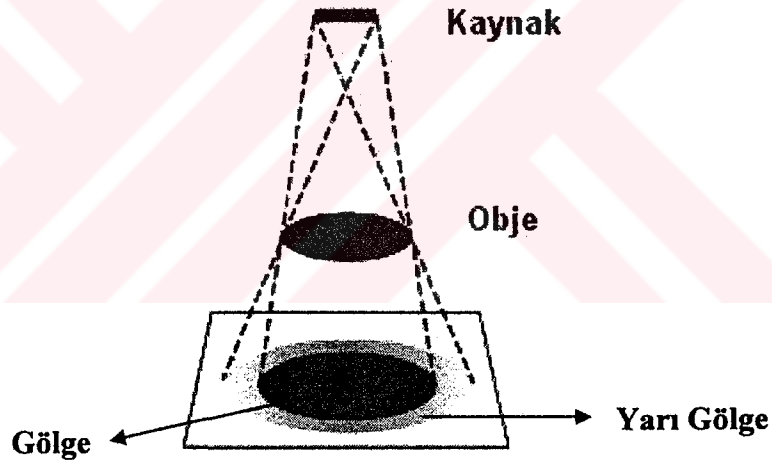
### ***Radyografik Görüntü***

Radyografik görüntü üç boyutlu cisimlerin iki boyutlu fotoğrafıdır. Kaynak dikişinin filme paralel iki boyutu görüntü üzerinden ölçülebilir. Filme dik olan üçüncü boyut (derinlik) fotoğrafik yoğunluktan daha basit deyimle kararlı derecesinden tahmin edilir. Radyografik görüntüyü bir geometrik izdüşümden ayıran nokta objenin derinliğinin filmin üzerine fotoğrafik yoğunluk halinde kaydolmasıdır.

Radyografik görüntü bir siyah-beyaz fotoğraftır. Daha doğru deyişle bir negatif filmidir; pozitive geçilmez, negatif film olarak kalır ve öyle kullanılır. Renkli radyografi tekniği de geliştirilmiş, fakat pahalılığı nedeniyle pek fazla kullanım alanı bulamamıştır.

Kaynak dikişinin iç yapısının ayrıntıları (malzeme hataları), görüntü üzerinde sebep oldukları fotoğrafik yoğunluk farkları sayesinde belirlenirler. Fotoğrafik yoğunluk farkına kısaca kontrast (zıtlık) denir. Görüntünün kontrastlığı yükseldikçe ayrıntılar daha kolay algılanırlar. Bir başka deyişle kontrast yükseldikçe daha küçük ayrıntılar da algılanabilir.

Radyografik tanım veya görüntünün algılanabilirliği kontrasttan başka görüntü çevresinin (sınırının) keskinliğine bağlıdır. Radyografik veya fotoğrafik görüntünün ayrıntıları hiçbir zaman kalemle çizilmişçesine keskin olamaz. Fakat bu ideal duruma yaklaştıkça görüntü değer kazanır. Görüntünün keskinliğini bozan “yarıgölge” dir. Yarıgölge Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, görüntünün çevresinde yoğunluğun tedrici değiştiği sınır şerididir. Bu şeridin dar olması görüntünün kalitesini artırır.



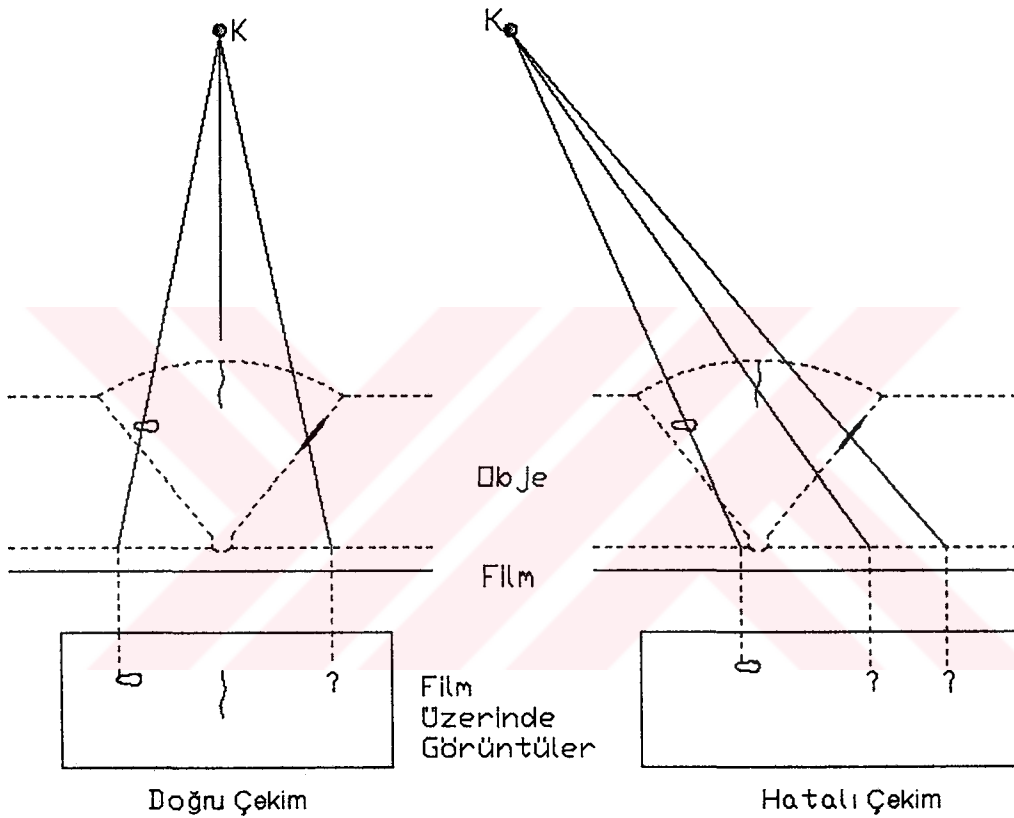
Şekil 4.3 Geometrik yarı gölge (www.kodak.com)

#### 4.3 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Görüntü Alınamayan Haller

Radyografi yönsel bir muayene yöntemidir. Işınlara geçiş doğrultusunda boyuta sahip olmayan hataları radyografi görüntü olarak vermez. Şekil 4.4’de görüleceği gibi kaynak içinde üç tipik hatanın radyografide görüntü verme olasılıkları çizimle irdelenmektedir. Hacimsel hata (örneğin boşluk ve cüruf kalıntısı) ışınlama geometrisinden bağımsız olarak daima görüntü verebilir. Yüzeysel (iki boyutlu) hatalar (örneğin çatlak ve yan cidarlarda kaynamama) ancak ışınlarla paralel düştüklerinde görüntü verirler; ışınlarla eğik düştüklerinde görüntü vermemeleri büyük ihtimalle olasıdır.

Çatlaklar genellikle yüzeye dik olduklarından kaynak radyografilerinde ışınlanmanın kaynak eksenine doğrultusunda yapılması gerekir. Eğik ışınlamada en ciddi hatalar grubunu oluşturan çatlakların radyograftan silinmesi olasılığı artar.

Sonuç olarak radyografi hacimsel hataları atlamaz; fakat iki boyutlu hataların yokluğunu kesin garanti edemez. Halbuki mühendislikte asıl tehlikeli olan ve öncelikle algılanması istenen iki boyutlu hatalardır. Çekim geometrisine özen gösterilmezse radyografik muayene anlamını yitirir (Özden, 1981a).



Şekil 4.4 Çekimlerde doğru ve hatalı yönlendirmeler (Anık vd., 2000)

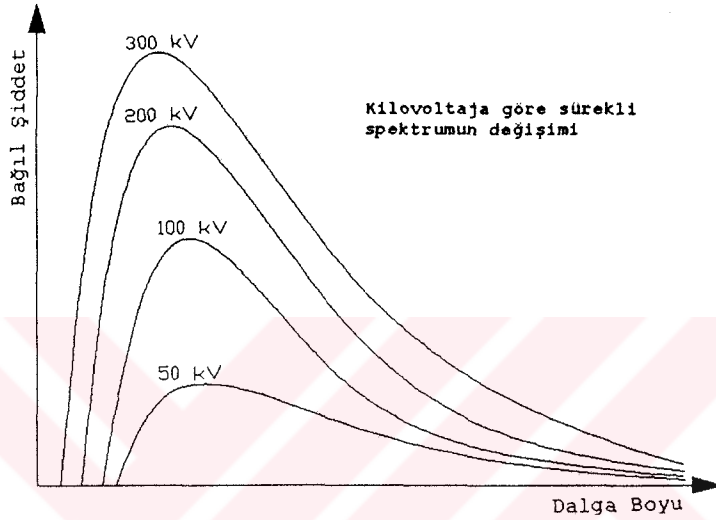
#### 4.4 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Kullanılan X Işınlarnın Karakteristik Özellikleri ve X-Işını Üretim Cihazları

Kaynak dikişlerinin muayenesinde kullanılan x ışınları, görünen ışınlar, ultraviyole ışınlar veya hertz dalgaları gibi elektromanyetik dalgalardır; yalnız bunların dalga boyları daha kısadır.

Kaynak dikişlerinin radyografisinde kullanılan x ışınlarının dalga boyları genellikle  $1 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ Angstrom: } 1.10^{-8} \text{ cm}$ ) ile  $0.001 \text{ \AA}$  arasında değişir. Gama ışınlarının dalga boyları ise bunlardan çok daha küçüktür.

X ışınları, yüksek bir potansiyel tarafından hızlandırılmış elektron akımının uygun bir şekilde yerleştirilmiş metal bir plak üzerinde sert bir şekilde durdurulması sonucu elde edilir. Bu potansiyel farkı, elektronlar tarafından erişilen kinetik enerjiyi ve dolayısıyla X ışınlarının dalga boylarını etkiler. Böylece potansiyel farkı ayar ederek X ışınlarının dalga boyu istenilen şekilde değiştirilebilir.

Kısa dalga boylu ışınlar yüksek enerjili ve sert, uzun dalga boylu ışınlar da düşük enerjili yumuşak ışınlardır (Şekil 4.5) (Anık, 2000).



Şekil 4.5 X ışınları spektrumu (Özden, 1981a)

### ***X Işını Üretim Cihazı***

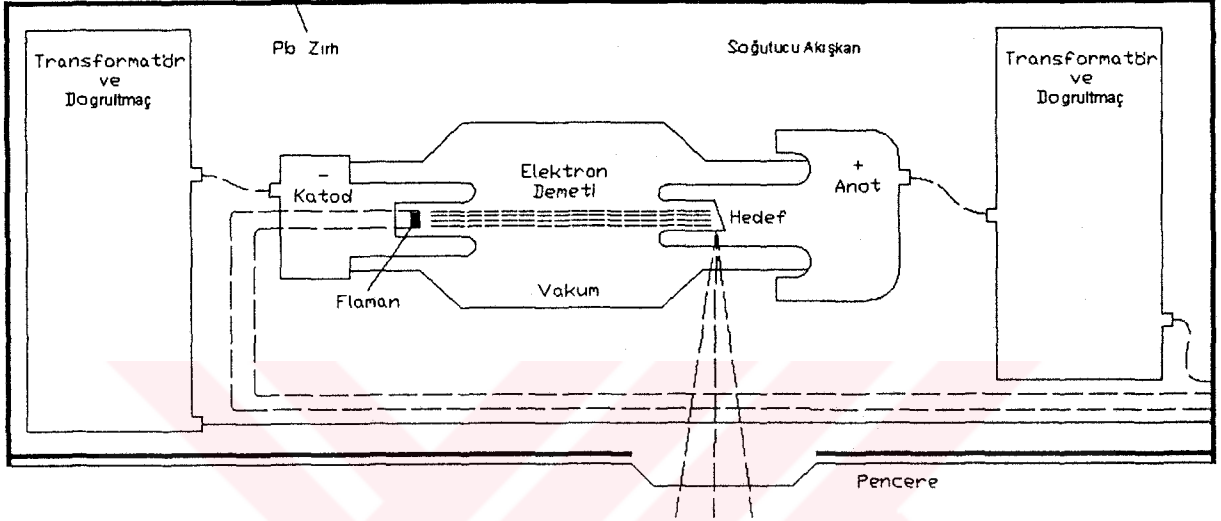
Şekil 4.6'de bir x ışını radyografi cihazının şematik kesti gösterilmektedir. Bir x ışını cihazının tipik yapısı ve çalışması bu şekle dayanarak kısaca özetlenebilir.

- i. Flaman: Elektron kaynağıdır. Üzerinden geçen akımla ısınır ve termo elektronlar verir.
- ii. Katot ve anot: Elektronları yönlendir ve hızlandırır. Flamanın saldıdığı elektronlar onun etrafında hareketsiz bir bulut oluşturur. X ışınları üretimi için elektronların hızlandırılıp hedefe çarpmaları gerekir. Bunun için katoda negatif, anoda pozitif gerilim yüklenir. Böylece flamandan doğan elektronlar katot tarafından itilirken anot tarafından çekilirler. Zıt işaretli iki alanın birbirine eklene etkisi ile elektronlar büyük hız kazanırlar. Elektronların hızı kutuplara uygulanan voltaja ve kutuplar arası uzaklığa bağlıdır.
- iii. Hedef: X-ışınları kaynağıdır. Hızlandırılmış elektronlar demeti hedefe çarparak, burada X-ışınları oluşturur. X ışınlarına dönüşen elektron enerjisinin ancak %1'den

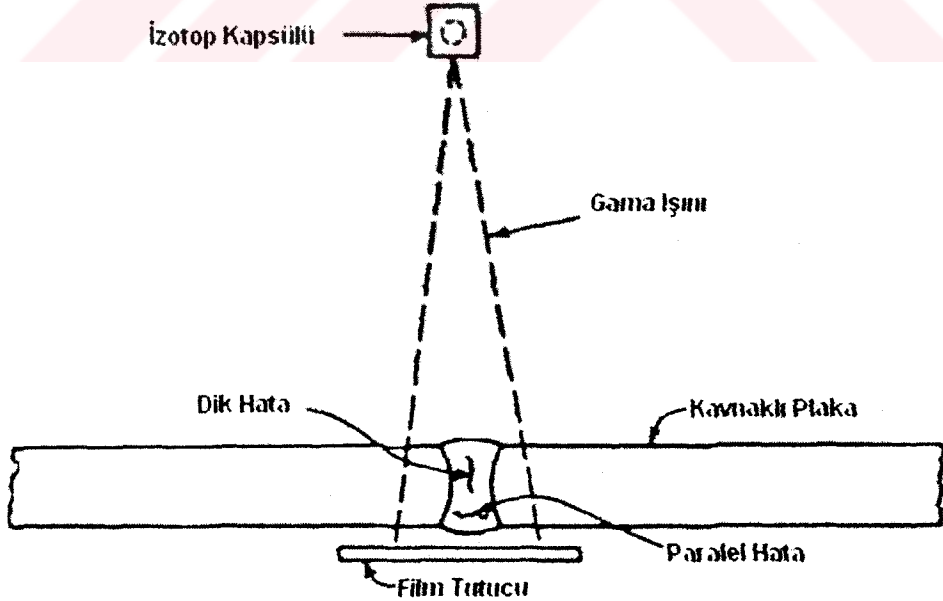


küçük bölümüdür. Elektron enerjisinin kalan çok büyük bölümü ısıya dönüşür. Bu nedenle hedef, volfram gibi ısıya dayanıklı metalden yapılır.

- iv. Vakum Tüpü: Anottan katoda doğru hızla giden elektronların hava atomlarına çarparak enerji kaybetmemeleri için buraya kadar sayılan birimlerin hepsi bir cam vakum tüpü içine alınmıştır. Vakum katot-anot arasında yaratılan çok yüksek gerilim farkının yalıtılması için de zorunludur.



(a) X-ışını Cihazı (Özden, 1981)



(b) Gama ışını cihazı (Chuse ve Carson, 1993)

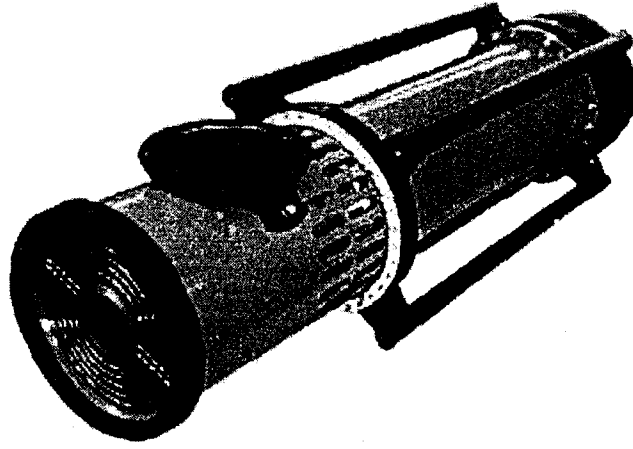
Şekil 4.6 X ve gama ışını cihazları



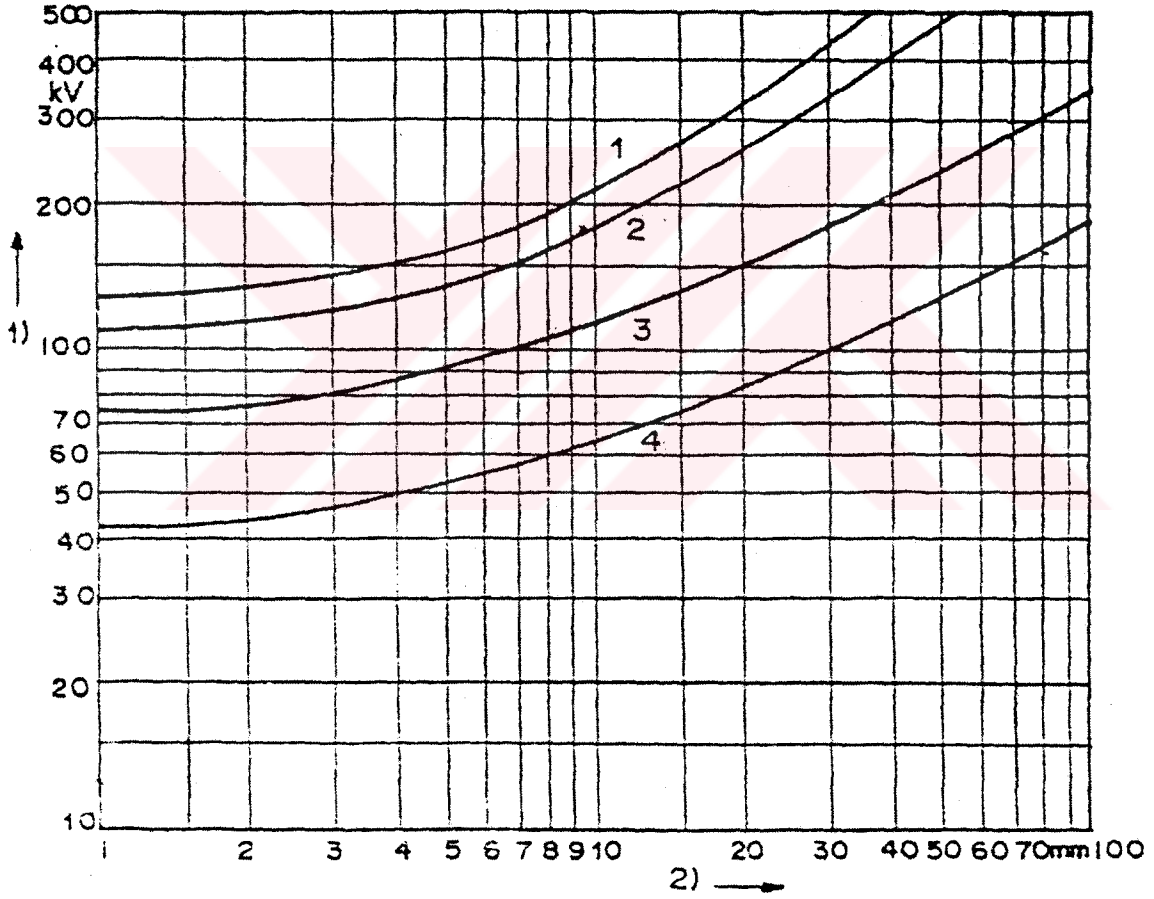
- v. Isı Radyatörü: Elektronlarla ısınan hedefin soğutulması gerekir. Ortam vakum olduğuna göre hedefin konveksiyonla soğuması mümkün olamaz. Hedef, anot içine gömülerek ısınıp ona aktarması sağlanır. Anot elektriksel ve mekanik şartların gerektiğinden çok daha kalın ve bakır malzemeden yapılmıştır. Anodun uzantısı tüp dışında bir radyatör şeklinde genişletilmiştir.
- vi. Elektrik transformatörü ve doğrultmacı: Katot ve anoda uygulan yüzlerce kilovolt mertebesindeki yüksek gerilimler, şebeke voltajının transformatörlerde yükseltilmesiyle sağlanır. Ayrıca, katoda negatif, anoda pozitif gerilim yüklemek için alternatif şebeke akımının doğru akım haline getirilmesi lazımdır. Buda doğrultmaç yardımıyla yapılır.
- vii. Radyasyon Zırhı: X-ışını cihazının tek bir pencereden ve yalnız istenen doğrultuda radyasyon vermesi gerekir. İstenmeyen doğrultuda ışınların tutulması için cihazın iç yüzeyi kurşun levha ile zırhlanmıştır.
- viii. Soğutma Donanımı: Radyatörün anottan çektiği büyük ısı cihazı dolduran akışkan tarafından cihazın bütün hacmine yayılır. Bunu sağlamak için cihazın içine konmuş küçük bir pompa veya vantilatör ile içerde akışkan dolaşımı zorlanır. Böylece radyatörden alınan ısı cihazın geniş yüzeyinin her noktasından havaya aktarılır.
- ix. Kontrol Birimi: Çalışanların zarar görmemesi bakımından X-ışını cihazının kontrol ve kumandası ayrı bir birim halinde uzağa alınmıştır. Basite indirgenmiş radyografi cihazında birbirine uzun kablolarla veya uzaktan kumanda sistemi ile bağlanmış iki birim vardır. Bunlar;
- X ışını üretim birimi
  - Kumanda ve kontrol birimi

Kumanda ve kontrol birimi cihaza verilebilecek bütün kumandaları ihtiva ettiği gibi, radyasyon alarmı ve sıcaklık kontrol röleleri gibi kontrol devrelerini de ihtiva eder (Şekil 4.6a ve 4.7) (Özden, 1981a).

TS 5127 EN 1435 Standardı'na göre uygulanacak gerilim değeri doğrudan muayene edilecek kaynak dikişinin kalınlığına göre hazırlanmış çizelgelerden seçilir. İyi bir hata tespit hassasiyeti için, x-ışını tüp gerilimi mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır. TS 5127 EN 1435 Standardı'na göre tüp geriliminin kalınlığa karşılık gelen en büyük değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir (EN<sup>2</sup>, 2002).



Şekil 4.7 X-ışını cihazı (www.tedndt.com)



- 1) Bakır / Nikel ve alaşımları
- 2) Çelik
- 3) Titanyum ve alaşımları
- 4) Alüminyum ve alaşımları

- 1) X-ışını Gerilimi
- 2) Nüfuz edilen kalınlık, w

Şekil 4.8 X-ışınları radyografisinde gerilim-parça kalınlığı ilişkisi (EN<sup>2</sup>, 2002)

Çizelge 4.1 Çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımlar için tüp gerilimi 1 MeV ve üzerinde olan X-ışını teçhizatı ve gama ışın kaynakları için nüfuz edilen kalınlık aralığı (EN<sup>2</sup>, 2002)

Radyasyon Kalınlığı	Nüfuz edilen kalınlık, w mm	
	Muayene Sınıfı A	Muayene Sınıfı B
Tm 170	$w \leq 5$	$w \leq 5$
Yb 169 <sup>1)</sup>	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$
Se 75 <sup>2)</sup>	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
Ir 192	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$
Co 60	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$
1 MeV'den 4 MeV'a kadar enerjiye sahip X-ışını teçhizatı	$30 \leq w \leq 200$	$50 \leq w \leq 180$
4 MeV'den 12 MeV'a kadar enerjiye sahip X-ışını teçhizatı	$w \geq 50$	$w \geq 80$
12 MeV'un üzerinde enerjiye sahip X-ışını teçhizatı	$w \geq 80$	$w \geq 100$
<sup>1)</sup> Alüminyum ve Titanyum için, nüfuz edilen malzeme kalınlığı Sınıf A için $10 \text{ mm} < w < 70 \text{ mm}$ , Sınıf B için $25 \text{ mm} < w < 55 \text{ mm}$ 'dir.		
<sup>2)</sup> Alüminyum ve Titanyum için, nüfuz edilen malzeme kalınlığı Sınıf A için $35 \text{ mm} \leq w \leq 120 \text{ mm}$ 'dir.		

#### 4.5 Kaynak Dikişlerinin Muayenesinde Kullanılan Gama Işınlarının Karakteristik Özellikleri, Işın Üretim Cihazının Yapısı ve Işın Kaynakları (İzotoplar)

Gamma ışınları kısa dalga boylu ışınlar olup, kendiliğinden ışınım yayan tabii veya suni radyoaktif elementlerden elde edilebilir. Birkaç yıl öncesine kadar sadece tabii kaynaklar mevcuttu ve bunların kullanılması ise maliyeti arttırmaktaydı. Gelişen nükleer endüstrinin suni radyoaktif elementleri daha düşük fiyatlardan piyasaya sunması, bu suni elementlerin endüstriyel alana girmelerini sağlamıştır.

Radyoaktif maddelerin yaydığı ışınım enerjisi sabit değildir, zamanla eksponansiyel olarak azalır. Bazı maddelerin ışınım enerjisi oldukça yavaş bir şekilde azalır, aktivitelerinin yarıya inmesi için yıllar gereklidir; bazıları ise, bunun tersine çok şiddetli olarak aktivitelerini kaybeder ve birkaç gün sonra emisyonları kayda değmez bir mertebeye kadar iner. Herhangi bir radyoaktif maddenin aktivitesinin yarısını kaybetmesi için gerekli zaman o maddenin bir karakteristiğidir. Bu husus bilhassa radyoaktif malzemenin satın alınışı ve film çekme sırasında verilecek pozun hesaplanmasında büyük önem arz eder. Bu sabiteye radyoaktif malzemenin yarı ömrü veya periyodu denir.

Gamma ışınlarının dalga boyu ve penetrasyon kabiliyeti ışını yayan maddenin cinsine bağlı olarak değişir. Gamma ışınlarının dalga boyları X ışınlarının dalga boylarından daha küçüktür. Bu husus gamma ışınlarının uygulama alanını tayin eder.

### ***Radyoaktivite***

Radyoaktivite atomun çekirdeği içinde geçen bir olaydır. Çekirdek içinde gereğinden fazla enerji bulunmamasını yarattığı kararsızlıktır. Atom çekirdeği fazla enerjisini alfa, beta ve gama ışınları halinde atmak suretiyle kararlılığına ulaşır. Radyoaktivite saldığı bu ışınlar sayesinde izlenir.

Radyoaktif atomlar “ışıldayan” atomlardır. Yalnız bu ışınlara göz duyarlı değildir. Radyasyon adı verilen bu ışınları yalnız elektronik algılayıcılar görür.

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır; yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Zayıflayan bir tempo ile tükeninceye kadar sürer gider.

### ***Endüstriyel radyografide kullanılan radyoaktif kaynaklar ve ışınım şiddetleri***

Gamma ışınlarının enerjisi elektron volt (eV) ve onun üst katları olan keV ve MeV birimleriyle ölçülür.

Endüstriyel radyografide gamma ışınlarını kullanışlı yapan X ışınlarından daha yüksek enerjileri olmasıdır. X-ışınlarının yetersiz kaldığı kalınlıklarda gamma ışınları kullanılır. Işın enerjisinin yüksek olması nüfuziyet gücünü attırdığı için poz süresini kısaltır. Ancak, yüksek enerjiyle çalışmak kontrastı azaltır, yarı gölgeyi büyültür ve buda radyografin kalitesinin düşmesine neden olur.

Gamma ışınları enerjilerinden dolayı ekstra girici güce sahiptirler, bu yüzden radyoizotopların özellikle kalınlığı fazla (30-70 mm) ve yüksek yoğunluktaki malzemelerin radyografilerinde başarıyla kullanılmalarını sağlar.

Radyografide kullanılan radyoizotoplar çok küçük kaplar içinde bulunurlar, böylece nokta kaynak durumunda olurlar. Nokta kaynak ise kaynak dikişi muayenesinde her zaman aranan bir özelliktir.

X ve gamma ışınlarının ışınım şiddeti, yani ışın demetinin eksenine dik  $1 \text{ cm}^2$ 'lik yüzeyden geçen enerji miktarı ile karakterize edilir ve bu değer *röntgen/saniye* ile ölçülür (1 Röntgen (r),  $0^\circ\text{C}$ 'de ve 1 atmosfer basıncında  $1 \text{ cm}^3$  kuru havadan geçerken, bir elektrostatik ünite kadar iyonizasyon meydana getiren x ve gamma ışını enerjisidir).

Bazı sınırlar dâhilinde, anti katot tarafından durdurulan elektron miktarı değiştiğinde, x ışınları demetinin şiddeti, aynı hızlandırma gerilimi için değişir. Buna karşılık, gamma ışınları halinde ışınım şiddeti (diğer bütün şartlar sabit kaldığında) kaynağın bir karakteristiği olduğu için ayar edilemez.

X ve gamma ışınları, görünen ışığı geçirmeyen şeffaf olmayan maddeleri de geçebilir. Bununla beraber, çıkan ışın demeti, giren demete nazaran daha zayıf şiddete sahiptir. Diğer bütün faktörlerin aynı kaldığı (mesela dalga boyu) hallerde, şiddetin azalması, kat edilen malzemenin cinsinin ve kalınlığının bir fonksiyonudur (Çizelge 4.2) (Özden, 1981a; Anık, 2000).

Çizelge 4.2 X ve gamma ışınlarının Al, Fe ve Pb için çeşitli enerjilerdeki absorpsiyon (zayıflama) katsayıları (Özden, 1981a)

Enerji (keV)	$\mu$ katsayısı ( $\text{cm}^{-1}$ )		
	Al	Fe	Pb
10	72,4	1410	-
50	0,964	15,2	65,0
100	0,459	2,92	62,0
150	0,373	1,54	21,8
200	0,329	1,15	10,7
300	0,281	0,866	4,29
400	0,250	0,740	2,49
500	0,228	0,662	1,72
600	0,210	0,605	1,36
800	0,184	0,527	0,983
1000	0,166	0,471	0,798
1500	0,135	0,383	0,591

Endüstriyel radyografide kullanılan radyoaktif kaynaklar ise şunlardır: Kobalt 60, İridyum 192, Sezyum 137, Tantal 182, Talyum 170 ve Radyum.

Bu radyoaktif kaynaklardan ülkemizde en çok kullanılanları ise İridyum 192 ve Kobalt 60'tır.

- İridyum 192 : Kaynak dikişi muayenesinde en çok kullanılan radyoizotoptur. 1 curie iridyum 192 yaklaşık 0,5 röntgen/saat/metre doz verir. Fazla kalın olmayan parçalar için daha iyi bir kontrast sağlaması sebebiyle tercih edilir. Aynı zamanda personel için de daha az bir tehlike arz eder. 74 gün gibi kısa bir ömre sahip olması sebebiyle sık sık yenilenmesi mahsuru ortaya çıkar, buna rağmen özgül aktivitesi daha büyük olduğundan küçük boyutlarda kullanılabilir ve ince kalınlıklarda daha iyi sonuç verir. 20-100 mm çelik malzemelerin radyografisinde kullanılır.

- Kobalt 60 : Bu radyoizotopun gamma ışınları enerjisi 2000 kV'luk X ışınları enerjisine eşittir. İridyum 192 radyoizotopunun yetersiz kaldığı malzeme kalınlıklarında yani kalın parçalar için Co 60 kullanılır. Bu izotopun yarı ömrü 5.3 yıl olup 40–200 mm arasındaki parçaların kaynak dikişi muayenesinde kullanılması uygundur.

Radyum, radon ve tantalda da benzer neticeler elde edilebilir. Yalnız radyum ile radonun fiyatlarının pahalı ve yine radon ve tantalın yarı ömürlerinin kısa oluşu bunların uygulama alanını kısıtlamaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Radyoaktif kaynakların karakteristikleri (Anık, 2000)

Kaynak	Işınım şiddeti enerjisi (MeV)	1 m. mesafedeki ışınım şiddeti (mr/h/mC)	kV olarak tekabül eden gerilim (X ışını eşdeğer enerjisi) (kV)	Yarı ömür veya periyot	Kullanma sahası (mm olarak çelik)
Kobalt 60	1,17–1,43	1,37	1250–2000	5,3 Yıl	40–200
İridyum 192	0,13–0,615	0,48	590–600	74 Gün	20–100
Tantal 182	1,13–1,22	0,605	1200	120 Gün	50–150
Radyum C Radon	0,60 1,12–1,76	0,84	1200	1590 Yıl 3,8 Gün	50–150
Sezyum	0,667	0,35	670	37 Yıl	15–75
Talyum 170	0,084	0,007	84	129 Gün	-

### **Gamma Radyografi Cihazları**

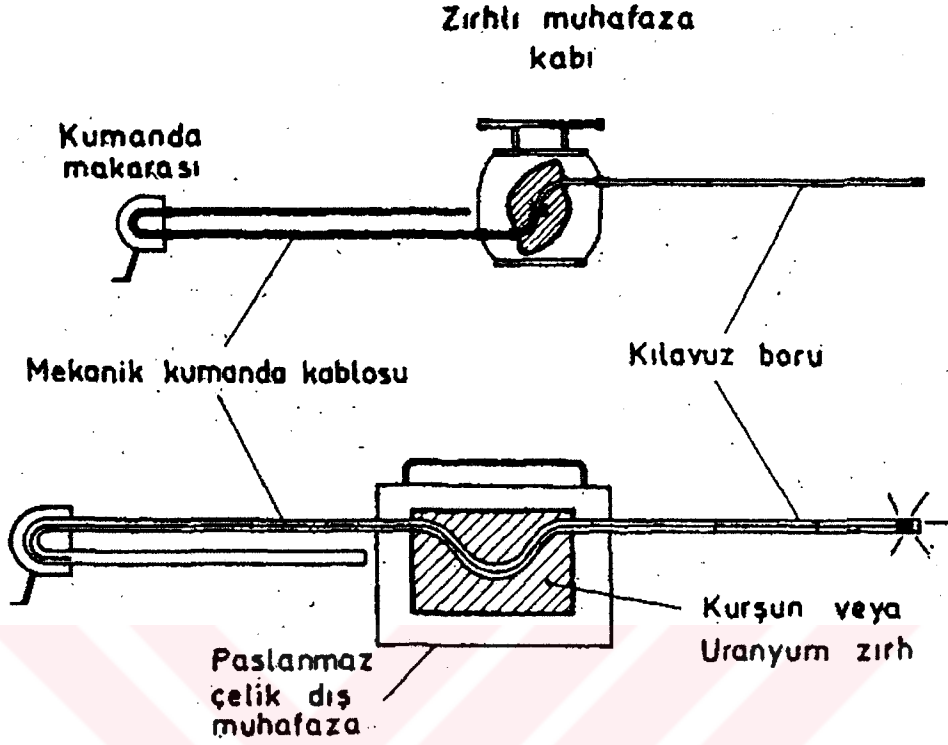
Şekil 4.9 da gamma radyografi cihazlarına ait iki tipik örnek verilmiştir. Dış görünüş itibariyle birisi küresel, öbürü dört köşedir. Dış görünüşü nasıl olursa olsun içyapıları benzerdir. Gamma radyografi cihazları şekilden de anlaşılacağı gibi son derece sade bir yapıya sahiptir.

Cihazın en önemli bölümü zırlı muhafaza kabıdır. Radyoizotop kullanılmadığı zamanlarda bu kap içerisinde saklanır. Radyoizotopun ışıması durdurulamadığı için, kurşun veya uranyumdan zırh içine alınarak, gamma ışınlarının etrafa zarar vermesi önlenir.

Zırhın kalınlığı, cihaza yüklenebilecek en yüksek radyoaktivite miktarını tayin eder ve bu değer cihazın kapasitesi olarak üzerindeki etikete yazılır. Gamma ışınlarına en iyi zırhlamayı

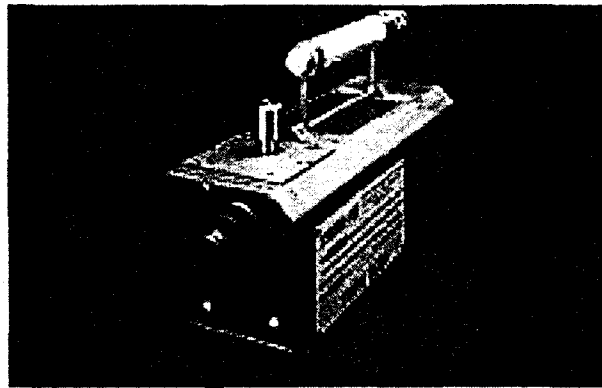
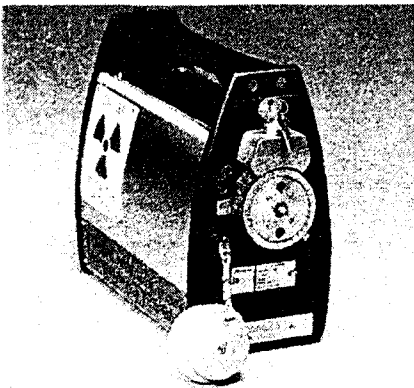


en ağır elementler yapar. Kurşunun veya uranyumun seçilmesinin nedeni budur. Dolayısıyla cihaz küçük boyutlarına rağmen gayet ağırdır.



Şekil 4.9 Mekanik kumandalı tipten iki Ir 192 radyografi cihazı (Özden, 1981a)

Işınlama yapılacağı zaman radyoizotop muhafaza kabından dışarı çıkarılır. Radyoizotop zırhın dışına çıktığı zaman saldırdığı gamma ışınlarıyla yakın çevresi için tehlikeli olur. Dolayısıyla radyoizotopun hareketlerini uzaktan kumanda etmek zorunludur. Radyoizotopun ışın kaynağı çalışacağı zaman muhafazasından dışarıya çıkarılması ve çalışmanın (ışınlamanın) sonunda tekrar içeriye alınması bir çelik kablo ve makara sistemi yardımıyla uzaktan yapılır.



Şekil 4.10 Çeşitli gama radyografi cihazları (www.rslndt.com)

Muhafaza kabının radyoizotop deliğine, çalışacağı zaman bir kılavuz hortum veya boru takılır. Muhafazasından dışarı çıkartılan radyoizotop bunun içinde hareket eder. Kılavuz hortumu veya borusu muhafaza kabı ile radyografik ışınlama konumu arasında döşenen ve radyoizotop kaynağını bu seyahati esnasında dış etkilerde koruyan özel ve geçici hattır. Hattın sonu kapalıdır ve radyoizotop buraya gelip dayanıncaya kadar sürülür.

Görüldüğü gibi gamma radyografi cihazının elektriğe ihtiyacı yoktur. Elektrikten bağımsız oluşu onun sanayide seyyar şartlar altında kullanılmasında büyük kolaylık sağlar. Elektronik devreler ve göstergeler gibi narin parçaları yoktur. Sade ve ucuz bir cihazdır. Bozulma olasılığı düşük ve bakım gereksinimi son derece azdır. X-ışını cihazlarına kıyasla hacimce küçük ve ağırlıkça hafiftir.

#### **4.6 Kaynak Dikişlerinin Muayenesinde Kullanılan X ve Gamma Işın Radyografisinin Karşılaştırılması**

Bu karşılaştırma kaynak dikişi muayene planlarının çıkarılmasında ilgili kişiye oldukça pratik bilgiler verir. İki ışın arasındaki farkların bilinmesi her birinin en uygun yerde kullanılması açısından yararlıdır.

**1. Işın Kaynakları (Besleme):** X-ışınlarının elektrik akımına ihtiyaçları vardır, bu enerji olmadan radyografik çekim yapamazlar bu ise sistemin ücra yerlerde çalışmasını engeller. Örneğin açık arazide yapılan boru hattının kaynak dikişi radyografik kontrolünde bu husus her zaman bir dezavantaj olarak görülür. Ayrıca elektrik kesildiği anda filmin poz süresinin kısa kesilmesi, aşırı voltaj düşmelerine karşı cihazın bozulması x radyografi cihazının diğer dezavantajlarıdır.

Gamma radyografisinde ışınım kendiliğinden meydana geldiğinden ayrıca bir enerji kaynağına ihtiyaç göstermez. Bu özelliğinden dolayı açık arazideki kaynak dikişleri kontrolünde (ör: boru hatlarının kaynak dikişi kontrolünde) tercih edilen radyografik yöntemdir. Bütün bu nedenlerden ötürü ilgili kalite kontrol şefinin bu avantaj ve dezavantajları göz önüne alması ve kullanacağı yere göre radyasyon kaynağı seçmesi gerekir.

**2. Boyutlar:** X-ışını radyografi cihazının boyutları gama ışın radyografi cihazlarına nazaran daha büyüktür. Bu ise cihazın yerleştirilmesinde bir problem olarak ortaya çıkar. Örneğin bir basınçlı kabın çevre dikişi (LPG tankı) kontrol edilirken kap çapının müsaade ettiği miktarda istenen, ışın kaynağının basınçlı kabın içersinde filmin dışarıda olmasıdır. Eğer ışın kaynağı basınçlı kabın içersine girmeyecek kadar büyük olursa, başka tekniklere başvurulmaya çalışılır bu ise idealden sapma manasına gelir. Gamma ışın radyografisinde ise cihazın küçük

olması ideal bir çekimi gerçekleştirmeyi sağlar. Ayrıca gamma ışın cihazının bile giremeyeceği yerlere uzaktan kumanda aletiyle radyoizotopun girmesi mümkündür.

**3. Nakliye:** X ışınlı radyografi cihazı nakliyede fazla problem çıkarmaz. İstenilen yere elle veya araçla fazla sarsmamak koşuluyla götürülebilir. Aynı şekilde gama radyografi cihazı da muhafazasının ağırlığına rağmen nakliyede sorun çıkarmaz.

**4. Işınuma Karşı Korunma:** X ışınlı radyografi, cihazında korunma önlemleri sadece cihaz çalışma durumundayken alınır, bunun dışında bir önlem almaya gerek yoktur. Bu nedenle kaynak dikişlerinin radyografik kontrolünde operatöre daha uygun çalışma ortamı sağlar. Gama radyografi cihazında ise ışınım devamlı olarak olduğundan her an dikkat etmek gerekir. Bu cihazın çalışma dışında saklandığı yerler kurşundan bir dolap şeklinde olmalı ve buraya girişte radyasyon kontrol araçları konmalıdır. Gama radyografi cihazlarının bu dezavantajları maliyetin artmasına ve tehlike unsurunun büyümesine neden olmaktadır.

Her iki radyografi cihazı kullanıldığında operatör cep dozimetresi ile kendini kontrol etmeli ve tehlike anında cihazdan uzaklaşmalıdır.

**5. Işınlarda Dalga Boyu:** X radyografi cihazında ışınların dalga boyu cihazın geriliminin bir fonksiyonudur. Yani enerjinin artırılmasıyla dalga boyu kısaltılır ve daha girişken ışınlar elde edilir veya bunun tam tersi yapılır. Gama radyografi cihazında ise kullanılan radyoaktif elementin cinsine bağlıdır. Ancak bu değer x radyografi cihazının verebileceği dalga boyundan daha küçüktür. Bu sebeple daha yoğun ve kalın parçalara nüfuziyetin daha iyi olduğunu gösterir. Ancak ince kaynak dikişlerinde (0–20 mm.) bu avantaj kullanılamaz, bunun yerine düşük gerilimlerde x radyografi cihazıyla çalışmak daha avantajlıdır.

Kaynak dikişi muayenesinde ince (0–20 mm.) birleştirilmelerde x radyografi cihazını, kalın birleştirilmelerde ise (>20 mm.) gama radyografisinin kullanılması kesin olmamakla birlikte yakın bir yaklaşımdır.

**6. Işınım:** X radyografi cihazının normal tüplerinde ışınım zayıf açılı bir koni şeklindedir, oyuk anotlu tüplerde ise ışınım daha geniş bir sahaya dağıldığından kaynakların bir defada çekilebilecek rulo filmlerinde çok uygundur. Normal tüplü x radyografi cihazı ise daha çok kaynak dikişlerinin spot çekiminde daha faydalıdır.

Gama ışın radyografi cihazı ise ışınlarını bütün doğrultularda aynı şiddette yayar. Bu nedenle çevre kaynak dikişlerinin kontrolünde aynı oyuk anotlu tüplü x radyografi cihazı gibi tercih edilir.

**7. Işınım Şiddeti ve Poz Süresi:** X radyografi cihazı şiddetli bir ışınım ve kısa süreli poz müddetine uygundur. Bu işlem zaman bakımından tasarrufu gösterir. Zamandan tasarruf ise maliyeti azalttığından ve tehlikeyi asgariye indirdiğinden radyografik muayenede aranan özelliktir.

Gama radyografisinde ise ışınım şiddeti düşük ve uzun bir poz süresi istediğinden zamanın harcanmasına ve radyasyon tehlikesinin artmasına neden olmaktadır. Bu dezavantajından ötürü zorunlu hallerin dışında kaynak dikişlerinin muayenesinde kullanılması istenilmez.

**8. Radyografinin Kalitesi:** X-ışını radyografisinde gerilimin uygun seçilmesi ile iyi bir kontrast elde etmek mümkündür. Çünkü gerilim operatörün kontrolü altındadır. Böylece daha kaliteli kaynak dikişi filmlerinin alınması mümkün olur, bu ise ikinci bir çekim (reddedilmiş) olasılığını ortadan kaldıracığından çekim maliyetini düşürücü yönde etki eder.

Gama radyografisinde sabit bir gerilim eşdeğeri olduğundan daha zayıf bir kontrast elde edilir ve bunu bertaraf edebilmek için maliyeti arttırıcı bazı önlemlerin alınması yoluna gidilir (hızlı film, kuvvetlendirici ekran, vb).

#### **4.7 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Kullanılan Filmler**

Film görüntüyü kaydeden bir araçtır. Radyografi ise görüntünün film üzerine kayıt tekniğine verilen isimdir. Radyografi çekimleri için özel filmler kullanılır. Bu filmlerin her iki yüzünde de çekim yapılabilir. Bir başka deyişle, filmin her iki yüzü de hassastır.

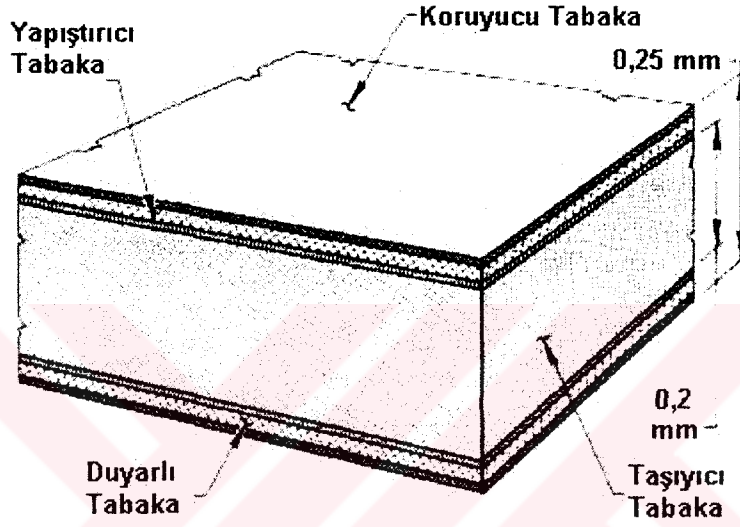
##### **4.7.1 Radyografik Filmlerin Yapısı**

Şekil 4.11'de radyografik filmin büyütülmüş kesiti verilmiştir. Radyografik film simetrik bir yapıya sahiptir ve her iki yüzü de duyarlıdır. Oysa normal fotoğraf filminin yalnız bir yüzü duyarlıdır. Filmi oluşturan tabakalar ise:

- a) Taşıyıcı Tabaka: Takriben 0.2 mm kalınlıkta polyester veya selüloz triasetat malzemedен yapılmıştır. Son derece sağlamdır; yırtılmaz, yanmaz, su çekmez, deforme olmaz, asitten, bazdan ve sıcaktan etkilenmez. Kaynak dikişi radyografisinde, uzun saklama esnasında (standartlarca belirtilen 5 yıl), banyo sırasında ve kuruturken filmin düzgünlüğünü koruması ve buruşmaması üzerindeki duyarlı tabakanın çatlamaması, pullanmaması ve dökülmemesi için taşıyıcı yukardan anılan özellikleri taşımak zorundadır.

- b) Duyarlı tabaka: Görüntüyü tutan tabakadır. 0,01 mm mertebesinde kalınlığa sahiptir. 0.001 mm kalınlığında bir yapıştırıcı ile taşıyıcı tabakaya bağlanmıştır. Yine 0.001 mm mertebesinde bir jelâtin tabaka ile dıştan korunmuştur.

Duyarlı tabakanın yapısında başlıca iki madde vardır. Bunlardan birincisi gümüş bromür (AgBr) veya daha doğru deyimiyile “silver halide” kristalleridir. İkincisi ise jelâtin matristir. Birinciler ışığa duyarlı taneciklerdir, ikincisi bunları bir arada tutan hamurdur.



Şekil 4.11 Radyografi filminin yapısı ve tabakaların kalınlıkları (Davis vd., 1992)

AgBr taneciklerinin miktarı ve büyüklüğü filmin fotoğrafik özelliklerini tayin eden faktörlerin başında gelir. Gümüş Bromür (AgBr) miktarı arttıkça görüntüyü oluşturan fotokimyasal reaksiyonlar artar. Dolayısıyla belirli bir poz süresi zarfında daha fazla kararma diğer deyimle fotoğrafik yoğunluk sağlanır. AgBr miktarı arttıkça filmin hızı da artar. Tane büyüklüğü, kaynak dikişlerinin muayenesinde kullanılan endüstriyel filmlerde 1 mikron dolayındadır. İri taneli (coarse grain) filmler hızlı filmlerdir ve çabuk kararır. Küçük taneli (fine grain) filmler ise yavaş filmler olup geç kararır. Büyük taneli yapı film hızını arttırdığı için faydalı, fakat tanımı zorlaştırdığı için zararlıdır. İri taneler filmin görüntüsünde harenme yaparlar.

#### 4.7.2 Filmlerin Saklanması

Işık, ısı ve rutubet kullanılmamış filmi etkileyerek onun bozulmasına neden olur. İdeal olan filmin taze olması, uzun süre saklanmamasıdır. Film kullanma süresi bir senedir, bu sürede kullanılmayan filmler mutlaka atılmalıdır.

Filmler darbelere dayanıklı sert mukavva kutu içinde ayrıca ışık ve rutubet sızdırmayan jelâtin torba içine konulmuştur. Dolayısıyla film kutusu açılmadığı sürece içine ışık ve rutubet sızması doğaldır. Fakat sıcaklık filmi ambalajının üzerinden de etkiler ve bozar.

Isı, her türlü kimyasal reaksiyonu hızlandıran bir etken olarak filmin bozulmasını da çabuklaştırır. Filmler mümkün olduğu kadar serin bir yerde saklanmalıdır. Onun için yaz aylarında filmlerin normal buzdolaplarında saklanması uygundur. Buzdolabından çıkarılan filmlerin de hemen kullanılması uygun değildir. Film buzdolabından çıkarıldıktan sonra ortam sıcaklığına kadar filmi açmadan beklemek gerekir.

Saklama kurallarına riayet edilmeyen veya imalatçısının öngördüğü süreden daha uzun süre saklanan film bozulur. Filmin bozulması banyosundan sonra, sis şeklinde kendini gösterir (Özden, 1981a).

#### 4.7.3 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Kullanılan Film Ekranları

Kaynak dikişlerinin muayenesinde iki tip ekran kullanılır. Bunlar metal (genellikle kurşun) ve tuz ekranlardır. Tuz ekranlar daha ziyade tıbbi radyografide kullanılır. Bir kartonun bir yüzüne sürülen özel tuzlardan oluşur. Bu ekranlar, radyasyon altında ışıdığından flüoresans ekran olarak da adlandırılır. Tuz ekranların önemli bir mahsuru da filmlerdeki yarı gölgenin büyük olmasıdır. Diğer bir dezavantajı da, zayıf ışınları tutamadığından dolayı filmdeki sis seviyesi de yüksektir. Bu sebeplerden ötürü tuz ekranların endüstriyel radyografide kullanılması birçok şartnamede yasaklanmıştır (Anık, 2000).

Kurşun ekranların kalınlığı ise 0,02-0,15 mm sınırları arasında değişir. Kullanılan radyografik filmler bir ekran çifti ile sandviç yapılmış halde ışınlanırlar. Ekranın iki yarısı vardır, bunlardan film önüne konulan ekranın

- a) Görüntü getiren ışınların film üzerinde daha etili olmasını sağlamak,
- b) Poz süresini kısaltma görevleri vardır.

Zira incecik film üzerine düşen X veya gamma ışınlarının sadece % 1'den daha az bölümü film tarafından tutulabilir. Kalan çok büyük bölümü hiçbir fotoğrafik etki bırakmadan filmi geçer gider. Ekranlar, radyasyon altında ışıdayarak film üzerine ilave etki yapar.

Film arkasına konan ekran ise saçılmış halde bulunan radyasyon ışınlarının filmi etkilemesini önlemektir. Burada bahsedilen ekranların hepsi metalsel olup, kaynak dikişlerinin



muayenesinde kullanılır. En genel metalsel ekran malzemesi kurşun (Pb) ekranlar olup çok yüksek enerjili ışınlarda mesela Co 60 kaynaklı gamalarda çelik ve bakır ekranlar tercih edilir.

Ön ekran bizzat görüntü taşıyan ışınları da zayıflatacağı için zorunlu olarak ince tutulur. Arka ekran için sorun yoktur, dolayısıyla kalın yapılabilir. Ancak arka ekranı da bir dereceden sonra kalınlaştırmak gereksiz ve hatalıdır (Özden, 1981a).

Eğer arka ekranın yeterli derecede koruma sağladığından emin olunmak isteniyorsa, sembolik bir B harfi kaset veya film tutucunun arkasına yerleştirilmeli ve çekim işlemi bu şekilde yapılmalıdır. Değerlendirilen radyograflarda B harfinin görünmemesi, arka ekranın yansıyan ışınlarla karşı yeterli koruma sağlaması anlamına gelmektedir (ASTM<sup>1</sup>, 2004).

#### **4.7.4 TS 5127 EN 1435, ASME ve ASNT Standartlarına Göre Kaynak Dikişlerinin Muayenesinde Kullanılan Ekran Kalınlıkları**

ASME Standardında Kod tarafından sınırlama olan durumlar hariç yoğunlaştırıcı ekranların kullanılabilmesine değinilmiş ve seçim kriterleri operatöre bırakılarak ayrıntıya girilmemiştir (ASME<sup>3</sup>, 1998).

Amerikan ASTM E 94 (Standard Guide for Radiographic Examination) ve ASTM E 1032 (Standart Test Method for Radiographic Examination of Weldments) Standartlarında ise radyografik filmin keskinliğinin bozulmasını önlemek için pozlama süresince ekran ile filmin birbirine temas halinde olmaları istenmektedir. ASTM E 94 Standardında özellikle düşük voltajda ince veya düşük alaşımlı malzemelerin radyografisinin aşırı derecede filtrelenmesini önlemek için ön ekran kalınlığının seçimine özen gösterilmesine değinilmektedir. Genel olarak 6.35 mm (1/4 inch) ve daha ince çelik malzemelerde 125 kV'un altında 0.005 inch kalınlığındaki kurşun ön ve arka ekranların kullanılmasının herhangi bir avantaj getirmediğine dikkat çekilmiştir. Pozlama enerjisi arttırıldığında ekran kalınlıklarının da arttırılması gerekir. Bu durumda arka ekranın kalınlığı yansıyan ışınların önlenmesi açısından önemlidir. Radyoaktif kaynaklar kullanarak çekilen radyografi işleminde Ir-192 için minimum 0.005 inch (0.005 mm) ve Co-60 için ise 0.01 inch (0.025 mm) lik kurşun ön ekran kullanılması gerekmektedir (ASTM<sup>1</sup>, 2004).

ASTM E 1032 Standardında da kullanılan film ile ekran boyutların aynı olmasının gerektiği belirtilmiştir. ASTM E 1032'ye göre pozlama şiddetinin 200 kV ile 1 MeV arasında olduğu durumlarda ön veya arka ekran kalınlığının minimum 0.005 inch olmalıdır. 200 kV'un altındaki değerler için ise kurşun ekranlar eğer radyografik kaliteyi arttırıyorlarsa kullanılmalıdırlar.

Çizelge 4.4 TS 5127 EN 1435 standardına göre çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımların radyografisi için metal ekranlar ve film sistem sınıfları

Radyasyon Kaynağı	Nüfuziyet kalınlığı, w	Film sistem sınıfı <sup>1)</sup>		Metal Ekranların Tip ve Kalınlığı	
		Sınıf A	Sınıf B	Sınıf	Sınıf B
x ışını gerilimi ≤100 kV		C5	C3	Ekranlı veya 0,03 mm'ye kadar kurşun ön ve arka ekranlar	
x ışını gerilimi >100 kV ila 150 kV				0,15 mm'ye kadar kurşun ön ve arka ekranlar	
x ışını gerilimi >150 kV ila 250 kV			C4	0,02 ilâ 0,15 mm kurşun ön ve arka ekranlar	
Yb 169 Tm 170	w < 5 mm	C5	C3	Ekranlı veya 0,03 mm'ye kadar kurşun ön ve arka ekranlar	
	w ≥ 50 mm		C4	0,02 ilâ 0,15 mm kurşun ön ve arka ekranlar	
x ışını gerilimi > 250 kV ilâ 500 kV	w ≤ 50 mm	C5	C4	0,02 ilâ 0,2 mm kurşun ön ve arka ekranlar	
	w > 50 mm		C5	0,1 ilâ 0,2 mm kurşun ön ekranlar <sup>2)</sup> 0,02 ilâ 0,2 mm kurşun arka ekranlar	
Se 75		C5	C4	0,1 ilâ 0,2 mm kurşun ön ve arka ekranlar	
Ir 192		C5	C4	0,02 ilâ 0,2 mm kurşun ön ekranlar	0,1 ilâ 0,2 mm kurşun ön ekranlar <sup>2)</sup>
				0,02 ilâ 0,2 mm kurşun arka ekranlar	
Co 60	w ≤ 100 mm	C5	C4	0,25 ilâ 0,7 mm çelik veya bakır ön ve arka ekranlar <sup>3)</sup>	
	w > 100 mm		C5		
1 MeV'dan 4 MeV'a kadar enerjiye sahip x ışını teçhizatı	w ≤ 100 mm	C5	C3	0,25 ilâ 0,7 mm çelik veya bakır ön ve arka ekranlar <sup>3)</sup>	
	w > 100 mm		C5		
4 MeV'dan 12 MeV'a kadar enerjiye sahip x ışını teçhizatı	w ≤ 100 mm	C4	C4	1 mm'ye kadar bakır, çelik veya tantal ön ekran <sup>4)</sup>	
	100 mm < w ≤ 300 mm	C5	C4		
	w > 300 mm		C5	1 mm'ye kadar bakır veya çelik, 0,5 mm'ye kadar tantal arka ekran <sup>4)</sup>	
12 MeV'un üzerinde enerjiye sahip x ışını teçhizatı	w ≤ 100 mm	C4	-	1 mm'ye kadar tantal ön ekran <sup>5)</sup>	
	100 mm < w ≤ 300 mm	C5	C4	Arka ekran yok	
	w > 300 mm		C5	1 mm'ye kadar tantal ön ekran <sup>5)</sup> 0,5 mm'e kadar tantal arka ekran	

1) Daha iyi film sistem sınıfları da kullanılabilir.  
2) 0,03 mm'ye kadar ön ekranlı hazır paketlenmiş filmler, parça ve film arasına ilâve olarak 0,1 mm kurşun ekran yerleştirilmişse kullanılabilir.  
3) Sınıf A'da 0,5 mm ilâ 2,0 mm kurşun ekranlar da kullanılabilir.  
4) Taraflar arasında yapılan anlaşmayla Sınıf A'da 0,5 mm ilâ 1 mm kurşun ekranlar kullanılabilir.  
5) Anlaşmayla tungsten ekranlar kullanılabilir.

Son olarak da 1 Mev'un üzerindeki şiddette pozlamalarda da ekran kalınlığının artırılması gerektiğine değinilmiştir (ASTM<sup>3</sup>, 2001).

EN 1435 standardında ise daha detaylı bir tablo Çizelge 4.4'de yer verilmiştir.

#### 4.7.5 Kaynak Dikişlerinin Muayenesinde Kullanılan Filmlerin Sınıflandırılması ve Eşdeğerliği

Endüstriyel radyografide kullanılan filmler üç temel sınıfa ayrılmıştır. Bunlar:

1. İnce taneli yavaş filmler
2. Orta taneli orta hızlı filmler
3. İri taneli hızlı filmler

Avrupa, Amerikan, Türk, vb. standartların yaklaşımlarında da bir fark yoktur. Yani tüm standartlarda filmler başlangıçta üç temel sınıf veya gruba ayrılmışlardır. Fakat zaman içerisinde ara sınıflara olan ihtiyacın artması ile film sistem sınıfları bugün birçok sınıfa ayrılmıştır.

Ticari filmlerin bu sınıflardan hangisine girdiği konusunda ise halen bir karışıklık hüküm sürmektedir. Bu nedenle çeşitli ticari filmlerin aşağıdaki sınıflardan hangisine gireceği hususunda bir standarttan diğerine farklar vardır.

Çizelge 4.5 de ticari radyografik filmlere ait ISO, EN ve ASME standartlarındaki sınıflandırmalar karşılaştırılmıştır.

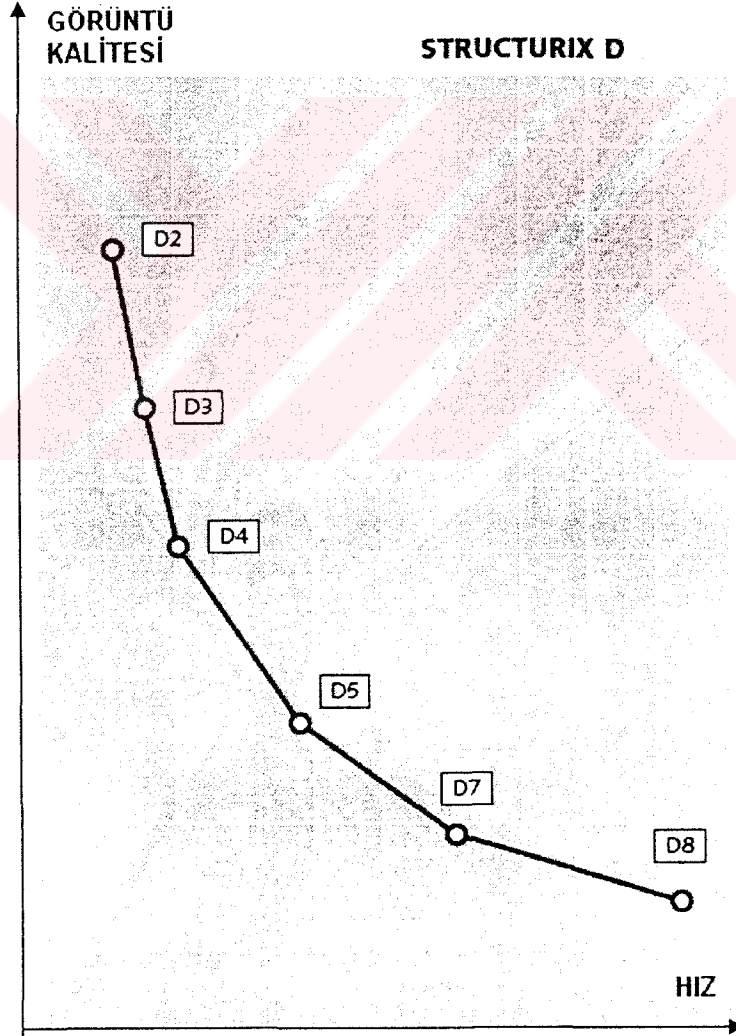
Çizelge 4.5 Standartlarda yer alan film sistem sınıflarının karşılaştırılması (Ewert vd., 2000)

Film Sistem Sınıflandırması		
Dünya Çapında	Avrupa	Amerika
ISO 11699-1	EN 584-1	ASTM E 1815
T1	C1	I
	C2	
T2	C3	II
	C4	
T3	C5	III
T4	C6	W-A
		W-B
		W-C

#### 4.7.6 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Kontrolünde Uygun Film Seçimi

Kaynak dikişlerinin radyografik kontrolünde başarının en önemli şartlarından biriside uygun film seçimidir.

Hızlı film kısa poz süresi ile çalışmaya, birim zamanda daha çok kaynak dikişinin radyografinin çekilmesine, zayıf ışın kaynakları kullanmaya ve daha kalın kaynak dikişlerinin radyografisini almaya imkân verir. Bir başka açıdan ise küçük x-ışını üretim cihazlarının ve artık zayıflamış olan radyoizotopların (gama ışını yayan) kapasiteleri hızlı filmler kullanmak suretiyle arttırılır. Küçümsenmeyecek bu nedenlerle kaynak dikişi radyograflarının alınmasında hızlı filmi kullanma eğilimi mevcuttur. Tabii buna karşın hızlı film üzerine alınan görüntünün, taneselliğinden dolayı kalitesi yavaş filmlere nazaran daha kötü olduğundan bazen red edilmeye kadar giden sonuçlara neden olmaktadır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Agfa Structurix D tipi filmler için görüntü kalitesi – film hızı arasındaki ilişki (www.agfa.com)

Kaynak dikişlerinin muayenesini düzenleyen standartlar mümkün olabilecek en yavaş film ile çalışmayı isterler, onun için kaynak dikişi kalınlığına ve ışın enerjisine bağlı olarak kullanılabilir film hızını üstten sınırlamışlardır. Ancak bir başka açıdan artan poz süreleri, işlemin zamanını da arttırdığından ek bir mali yükte kaliteli bir radyografik görüntüyle birlikte gelmektedir. Özellikle çok film çekilmesi gereken basınçlı kapların kaynak dikişlerinde bu süre daha da önem kazanmakta ve maliyeti arttırmaktadır. Aynı zamanda kaynak dikişinin poz süresi boyunca sabit tutulması ve radyasyondan korunma amacıyla, etrafının uzun süre boşaltılması diğer bir sorun olarak karsımıza çıkmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı basınçlı kabın kaynak dikişleri kontrolü birazda standardın dışına çıkarak, hızlı filmlerin kullanılmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.6 Ülkemizde en çok kullanılan Agfa Geveart filmlerinin üç ülkedeki numaraları (Anık vd., 2000)

<b>Agfa Geveart</b>	<b>DIN (Almanya)</b>	<b>ASME (Amerika)</b>	<b>BS (İngiliz)</b>
D2	1	1	1
D4	2	1	1
D7	3	2	2
D10	-	3	-

Çizelge 4.4 TS 5127 EN 1435 Standardı'nın verdiği film seçim çizelgesidir. ASME Standardı'nda var olan benzer bir tablo ise geçtiğimiz yıllarda yapılan yeni düzenlemelerle kaldırılmış, bu konudaki seçim kriterleri muayeneyi yapacak personel bırakılmıştır.

Endüstriyel radyografide ve kaynak dikişlerinin muayenesinde kullanılan radyografik filmlerin standart boyutları Çizelge 4.7 de verildiği gibidir (Anık, 2000).

Çizelge 4.7'de görülen 6 cm genişliğindeki kaynak filmleri ancak ince cidarlardaki dar kaynak dikişlerinde kullanılır. Filmin eksenden biraz kaçık yerleştirilmesi halinde kaynak dikişinin iki tarafındaki ITAB yani "Isıl Tesiri Altındaki Bölge" adı verilen kritik kesimlerin film dışı kalmaları tehlikesi vardır. Bu yüzden kaynak radyografisinde en az 10 cm genişliğinde filmlerin kullanılması daha uygun olacaktır.

Rulo filmlerde ise silindirik veya küresel gövdelerdeki kaynak dikişlerinin görüntüsü merkeze yerleştirilen bir ışın kaynağı ile tek bir çekimde alınabilir. Bütün alın dikişinin radyografisinin kısa bir sürede alınması ve filmin istenilen uzunlukta kesilebilmesi çok büyük kolaylık sağlar.

Parça parça filmlerin obje üzerine yerleştirilmesi ve tespiti, tek bir filmin sarılmasından ve tespitinden çok daha uzun zaman alır. Film zarfı toz ve su girmeyecek şekilde kapatılmış olduğundan rulo film boru hatlarının kaynak dikişlerinin radyograflarının çamurlu hendekler içinde alınmasında veya benzeri şantiye koşullarında büyük kolaylık sağlar.

Çizelge 4.7 Filmlerin standart boyutları

Film Türü	Boyutlar (cm*cm)
Genel Amaçlı Filmler	13 * 18
	18 * 24
	24 * 30
	15 * 40
	30 * 40
Kaynak Filmleri	6 * 24
	6 * 48
	10 * 24
	10 * 48
	10 * 72
Rulo Filmler	6 * 61
	6 * 167,5
	7 * 61
	7 * 167,5
	10 * 61
	10 * 167,5
	10 * 90

Filmlerin başlıca üç ambalaj çeşidi vardır. Bunlar:

- Çıplak (non-interleaved),
- Kâğıda sarılmış (interleaved),
- Zarflanmış (envelope packed)

Açık arazide yapılan boru hatlarının alın çevre dikişlerinde kullanılacak olan film tercihen zarflanmış şekilde olanıdır. Atölyede yapılacak kaynak dikişi muayeneleri için kâğıda sarılmış olan filmlerden yararlanmak uygundur.



#### 4.8 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Işın Kaynağı ile Cisim Uzaklığının Tespiti (EN 1435)

Kaynak dikişleri radyografik muayene ile kontrol edilirken, çekilen filmin gerekli görüntü kalitesinde olması, geometrik yarı gölgenin olanaklar ölçüsünde küçük kalması ve yeni bir film çekimine neden olmaması için ışın kaynağı ile muayene edilecek kaynak dikişi arasındaki mesafenin iyi belirlenmesi gerekir. (Özden, 1981a)

TS 5127 EN 1435 Standardına göre minimum radyasyon kaynağı-kaynak dikişi uzaklığının değeri (f mesafesi), uygulanabildiği yerlerde, bu mesafenin radyasyon kaynağının boyutuna (d) oranı (f/d) aşağıdaki eşitliklerde verilen değerlerin altında olmayacak şekilde seçilmelidir:

$$\frac{f}{d} \geq 7,5.b^{\frac{2}{3}} \quad (4.1)$$

Sınıf A için (Hafif alaşımli çelikleri kapsar).

$$\frac{f}{d} \geq 15.b^{\frac{2}{3}} \quad (4.2)$$

Sınıf B için (Çok hassas X ışınları ile muayene).

Burada,  $f_{\min}$  : En kısa radyasyon kaynağı-cisim mesafesi,  
d : Radyasyon kaynak boyutu ve  
b : Cisim-film mesafesidir (mm).

Kaynak dikişlerinin hassas radyografisinde (B kategorisi), sıradan radyografiye (A kategorisi) nazaran en az iki kat daha büyük radyasyon kaynağı-kaynak dikiş yüzeyi mesafesi ile çalışılması gerektiği yukarıdaki iki bağıntının katsayılarının karşılaştırılmasıyla anlaşılır.

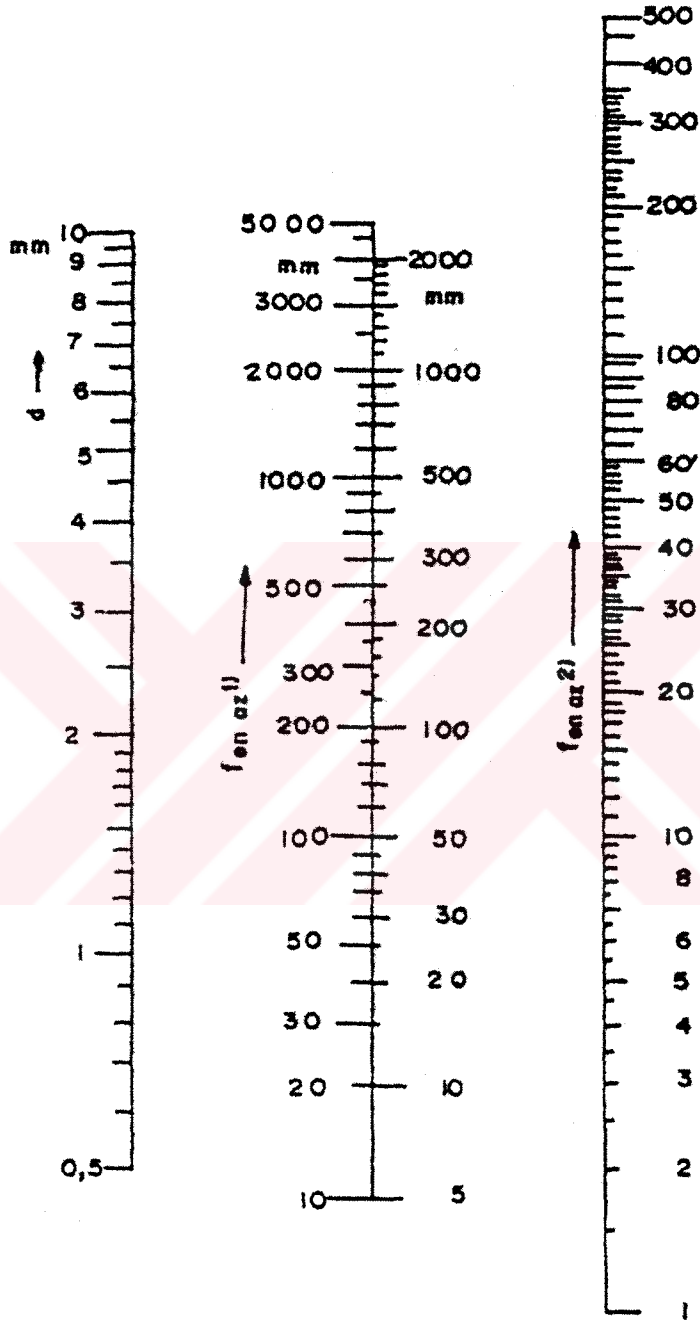
Bu eşitlikteki, b mesafesi < 1,2 t olduğunda (1) ve (2) eşitliklerindeki ve Şekil 4.14'deki b boyutu, anma kalınlığı t ile yer değiştirmelidir.

Pratik kullanımlar için standart bu formülleri Şekil 4.14'de nomogram olarak vermiştir. Çeşitli değerlere göre bu diyagramdan hiç hesap yapmadan " $f_{\min}$ " mesafesinin bulunması sağlanır.

Nomogram (1) ve (2) no'lu eşitlikleri esas alır.

Sınıf A'da yüzeye paralel kusurlar tespit edilmek zorunda olduğunda, en kısa mesafe ( $f_{\min}$ ) geometrik gölgeyi yarı yarıya azaltmak için Sınıf B'deki gibi olmalıdır.

Çatlağa duyarlı malzemelerin kritik teknik uygulamalarında, Sınıf B'den daha hassas radyografik teknikler kullanılmalıdır (EN<sup>2</sup>, 2002).



1: Sınıf B

2: Sınıf A

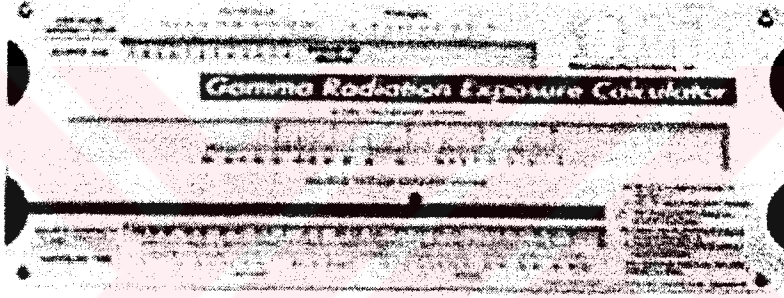
Şekil 4.13 En kısa radyasyon kaynağı-cisim mesafesinin,  $f_{en\ az}$ , cisim-film mesafesi ve radyasyon kaynağının boyutuna bağlı olarak tayini için nomogram (EN<sup>2</sup>, 2002)

#### 4.9 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Poz Sürelerinin Belirlenmesi

Değişen kaynak dikişi kalınlıklarına göre poz sürelerini, pratik uygulamalarla kısa sürede hesaplayabilmek, hem film çekim işleminin çabuk bitmesine hem de belirli bir zaman diliminde daha çok iş yapılabilmesi sağlamasından dolayı maliyetin azalmasına neden olur. Bu nedenle poz sürelerini hesaplamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar:

1. Poz Diyagramları (Şekil 8.5)
2. Nomogramlar
3. Sürgülü veya döner poz cetvelleri (Şekil 4.14)

Bu çalışmada kesin sonuç verdikleri ve ucuz oldukları için diğerlerine oranla endüstride daha yaygın olarak kullanılan poz diyagramları incelenecektir.



Şekil 4.14 Poz cetveli (www.tedndt.com)

##### 4.9.1 Poz diyagramları

Poz diyagramları filmin aldığı radyasyon dozu üzerine etkili olan bütün değişkenleri içeren çok parametrelili eğri aileleridir. Bu değişkenler ise:

1. Radyasyon enerjisi
  - a. X-ışınları halinde "kV"
  - b. Gama ışınları halinde radyoaktif izotopun cinsi
2. Radyasyon Şiddeti
  - a. X-ışınları halinde "mA"
  - b. Gama ışınları halinde "Curie"
3. Poz süresi
4. Kaynak – film uzaklığı
5. Film cinsi
6. Ekran cinsi
7. Banyo koşulları

8. Filtrasyon (şayet uygulanıyorsa)
9. X-ışını cihazı
10. Objenin yapıldığı malzeme

Poz diyagramlarında, bu kalabalık faktörlerden ilk dördü serbest değişkenler, bunların dışında kalan diğerleri (madde 5'den 10'a kadar) sabit parametreler olarak bulunurlar. Yani 4 değişkenli poz diyagramı 6 parametrenin sabit kalması koşuluyla geçerlidir. Bu sabit parametrelerden birinin değişmesi halinde poz diyagramının yeniden çizilmesi gerekir.

Poz diyagramlarında yatay eksen lineer olarak obje kalınlığını, düşey eksen logaritmik olarak "mA dakika" (veya Curie saat) birimiyle ışınlamayı gösterir. Bundan sonrasında x-ışını ve gamma ışını poz diyagramlarında bir farklılık vardır. X-ışını diyagramlarında kV değeri parametre alınmıştır. Değişen kV değerleri için bir eğri (anılan koordinat takımında bir doğru) ailesi çizilmiştir. Gama ışınlarında enerji değişmediğine göre bir değişken azalmaktadır. Radyoizotoplara ait poz diyagramında bu nedenle parametre olarak kaynak-film uzaklığı alınmış ve uzaklığın değişik değerleri için bir eğri (anılan koordinat takımına doğru) ailesi çizilmiştir. Bu diyagramın çiziminde sabit kabul edilen parametreler de (malzeme, film ve diğerleri) diyagram üzerine işlenmiştir (Şekil 8.5).

İleriki sayfalarda yer alan deneysel çalışmalar bölümünde (8. Bölüm) ise poz diyagramlarının kullanılması ve ilgili faktörlerin değişimi durumunda yapılması gereken işlemler ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

#### 4.9.2 Radyografik Muayenesi Yapılacak Malzemenin Değişimi

Malzeme değişimi olduğu zaman Çizelge 4.8'de verilen düzeltme faktörleriyle poz süresinin çarpımı gerekmektedir.

##### *Örnek 1*

Alüminyumdan imal edilmiş bir kabın 100 keV x-ışını ile kaynak dikişi radyografisi alınırken, çelik için hazırlanmış poz süresi çizelgesi kullanılıyorsa, süre Çizelge 4.8 de yazan 0.08 katsayısı ile çarpılır.

Çizelge 4.8 Radyografik denge faktörleri (ASTM<sup>1</sup>, 2004)

Metal	Enerji Seviyesi									
	100 kV	150 kV	220 kV	250 kV	400 kV	1 MV	2 MV	4 ila 25 MV	Ir-192	Co-60
Magnezyum	0.05	0.05	0.08	-	-	-	-	-	-	-
Alüminyum	0.08	0.12	0.18	-	-	-	-	-	0.35	0.35
Alüminyum alaşımı	0.10	0.14	0.18	-	-	-	-	-	0.35	0.35
Titanyum	-	0.54	0.54	-	0.71	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Demir/tüm çelikler	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Bakır	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1
Çinko	-	1.4	1.3	-	1.3	-	-	1.2	1.1	1.0
Pirinç	-	1.4	1.3	-	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0
Zirkonyum	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0
Kurşun	14.0	14.0	12.0	-	-	5.0	2.5	2.7	4.0	2.3
Uranyum	-	-	20.0	16.0	12.0	4.0	-	3.9	12.6	3.4

#### 4.10 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Kalitesi ve I.Q.I. Kalitesi

Radyografik kalite ve radyografik duyarlılık eş anlamda kullanılan sözcüklerdir. Bir radyografin küçük hataları görebilme yeteneğidir. Kalitatif bir kavramdır. Bu büyüklüğün doğrudan doğruya ölçülmesi mümkün değildir.

I.Q.I. İngilizce Image Quality Indicator sözcüklerinin baş harfleridir. Görüntü Kalitesi İşareti anlamına gelir.

Görüntü kalitesini saptamada kullanılan işaretlere önceleri penetremetre adı verilmiştir. Bu deyim halen de yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat sonradan ismi I.Q.I. olarak değiştirildi. Günümüzde standartlarda ve yazışmalarda bu isimle anılmaktadır.

I.Q.I. (penetremetre) geometrisi, malzemesi ve boyutları standartlarla saptanmış işaretlerdir. Bir I.Q.I. işareti farklı kalınlıklar ihtiva eder. Bu işaret kaynak dikişi üzerine konur ve her ikisinin görüntüsü film üzerine birlikte alınır. I.Q.I. işaretinin film üzerinde seçilebilen en ince kalınlığı ile kaynak dikişi kalınlığının oranından görüntünün kalitesi veya diğer bir deyimle radyografik metodun duyarlılığı hakkında sayısal bilgi edinilir.

$$\text{I.Q.I. Duyarlılığı (\%)} = 100 \cdot \frac{\text{Görülebilir En İnce Tel Çapı}}{\text{Obje Kalınlığı}} \quad (4.3)$$

Penetremetrelerin muayene edilecek obje ile aynı malzemeden olması esastır. Çelik, Al ve Cu için penetremetreler yapılmıştır. Objeler bunların dışında bir malzeme ise, penetremetrenin de aynı malzemeden yapılması gerekir.

Geometrileri yönünden, çeşitli ülkelerde kullanılan penetremetreler arasında büyük fark vardır. Kaynak dikişlerinin radyografik kontrolünde kullanılan penetremetreler üç tiptir:

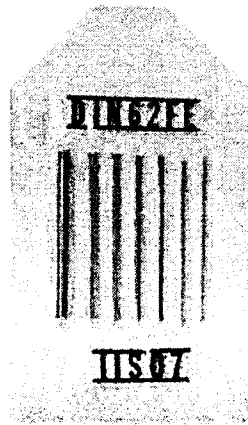
#### 4.10.1 Telli Penetremetreler

Alman penetremetresi olup, DIN 54109 ile 1962 yılında standartlaştırılmıştır. Ayrıca Uluslararası Standartlar Enstitüsü (ISO) tarafından kabul edilerek uluslararası geçerlilik kazanmıştır. Şekil 4.15’de bir telli penetremetre görülmekte olup, penetremetre 5 mm aralıkla konmuş, farklı kalınlıkta ve birbirine paralel 7 telden oluşmaktadır. Tel boyu uzun tiplerde 50 mm kısa tiplerde 25 mm olmaktadır. Hepsisi plastik veya lastik kılıf içerisinde. Penetremetreler tellerden başka kurşun harflerle yazılmış aşağıdaki işaretleri ihtiva eder:

DIN 62 İlgili DIN numarasının kısaltılmış şeklidir,

FE Penetremetre malzemesini gösterir,

11 S 07 En kalın ve en ince tel numaralarıdır. (S: Işın Kaynağı tarafında)



Şekil 4.15 Telli penetremetre (www.trikontech.com)

Kaynak dikişlerinin radyografik muayenesinde kullanılan telli tip penetremetreler kalınlıkları 0,05–3,2 mm. arasında değişen 19 tel dört gruba bölünerek her biri 7 telden oluşan dört



penetremetre kademesi teşkil olunmuştur. Her penetremetre kademesinin ihtiva ettiği tel numaraları ve çapları Çizelge 4.9'da görüldüğü gibidir (EN<sup>5</sup>, 1994).

Çizelge 4.9 EN 462 standardına göre I.Q.I. (telli penetremetre) kademeleri

I.Q.I. Kademeleri	Tel Numaraları ve Çapları (mm)						
	1	2	3	4	5	6	7
1/7	3,2	2,5	2,0	1,6	1,25	1,0	0,80
6/12	6	7	8	9	10	11	12
	1,0	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25
10/16	10	11	12	13	14	15	16
	0,40	0,32	0,25	0,20	0,16	0,125	0,100
13/19	13	14	15	16	17	18	19
	0,20	0,16	0,125	0,100	0,080	0,063	0,050

Görüntü üzerinde, yani radyografide tam kaynak dikişi üzerinde fark olunabilecek en ince telin görüntüsü saptanır. Bu telin kalınlığı kaynak dikişinin o noktadaki kalınlığına oranlanır.

### Örnek 2

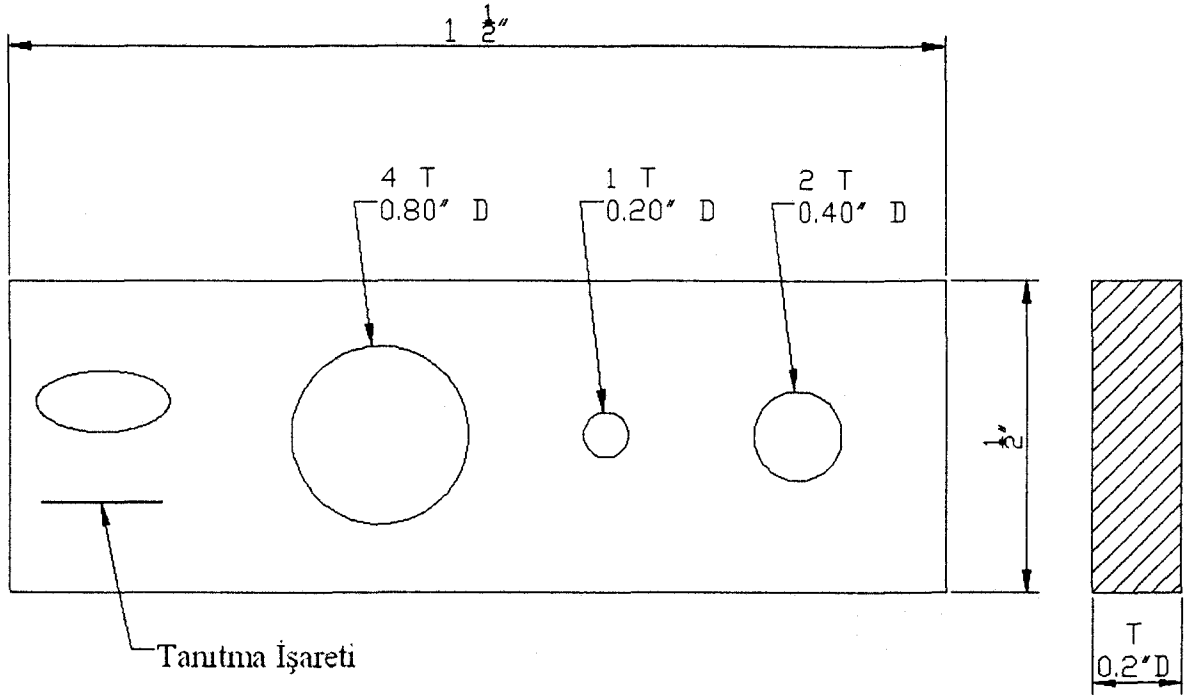
Görüntüde fark edilebilen en ince tel numarası 14 olsun. Çizelge 4.9'dan bu telin çapının 0,16 mm olduğu bulunur. Objenin kalınlığı da 8 mm ise:

$$\text{I.Q.I. Duyarlığı} = 100 \cdot \frac{0,16}{8} = \%2$$

Yani yukarıdaki örnekte radyografik duyarlılık % 2'dir.

### 4.10.2 Delikli Penetremetreler

Amerikan ASTM penetremetreleridir. Şekil 4.16'da böyle bir penetremetre görülmektedir. Penetremetre  $\frac{1}{2} * 1\frac{1}{2}$ " (12.7x38 mm) boyutlarında ve üzerinde üç delik ihtiva eden küçük bir şerittir. Penetremetrenin kalınlığına T denilirse deliklerin çapları duruş sırasına göre 4T, T ve 2T'dir. Penetremetre üzerine tanıtmaya işareti (Şekil 4.16'daki 1.0 işareti) kurşunla yazılmıştır. Bu aynı zamanda penetremetrenin "inch" olarak kullanılması önerilen kaynak dikiş kalınlığını gösterir. Penetremetrenin kendi kalınlığı T, kullanılması önerilen kaynak dikiş kalınlığının % 2'sidir.



Şekil 4.16 Delikli ASTM penetremetresi (Anık, 2000)

Kaynak dikişlerinin radyografik muayenesinde kullanılan delikli penetremetrenin T kalınlığı 0.05" den başlayarak belirli kademelerle yukarıya doğru yükselir. Delikli penetremetrenin kullanılmasındaki amaç radyografik duyarlığın hesaplanması değil, daha ziyade öngörülen bir duyarlık seviyesinin altına inilmediğinin kontrolüdür.

Amerikan standartlarındaki radyografi kalite kademeleri ve bunlara karşılık olan radyografik duyarlılıklar Çizelge 4.10'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.10 Delikli penetremetre kademeleri (Özden, 1981a)

Radyografik Duyarlık (%)	Radyografik Kalite Kademesi	Penetremetre Kalınlığının Parça Kalınlığına Oranı (%)	Görüntüde Fark Edilebilen En Küçük Delik
0,7	1-1T	1	1T
1,0	1-2T	1	2T
1,4	2-1T	2	1T
2,0	2-2T	2	2T
2,8	2-4T	2	4T
4,0	4-2T	4	2T

### 4.10.3 Basamaklı Penetremetreler

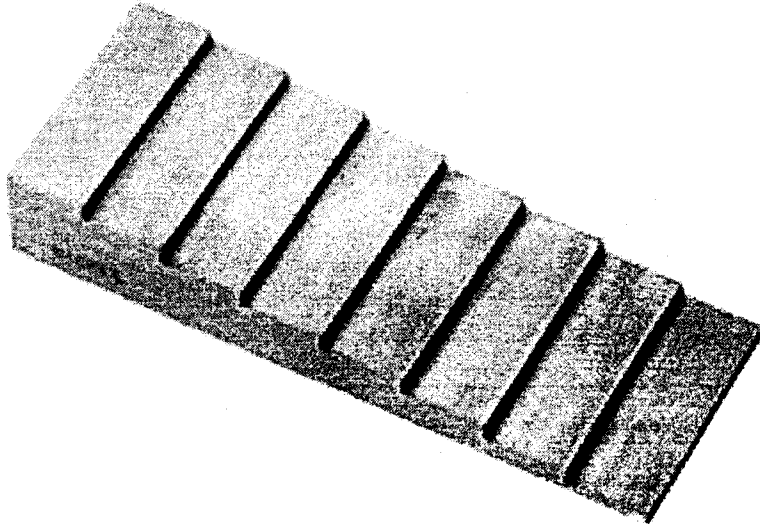
Muhtelif kalınlık basamaklarında oluşan penetremetredir, bunlar

- a) Amerikan ASME penetremetresi
- b) İngiliz penetremetresi (iki tiptir: BWRA ve BS)
- c) Fransız AFNOR penetremetresi

Hepsi aynı temel prensibe dayanır. Basamaklıdır, basamaklarında delikler ihtiva ederler. Aralarında ancak ayrıntılarda fark vardır. Şekil 4.17 de basamaklı penetremetrelere ait örnek gösterilmektedir.

$$\text{Basamaklı Penetremetrelerde Duyarlık (\%)} = 100 \cdot \frac{\text{Fark Edilebilen En İnce Basamak Kalınlığı}}{\text{Kaynak Dikiş Kalınlığı}} \quad (4.4)$$

Radyografik duyarlık genel bir kavram değildir. Bu iş için seçilmiş ve ismine penetremetre denen aracın tipine bağlıdır. Penetremetrenin tipi değişince radyografik duyarlığı da değişir. Bununla ilgili olarak İngiliz standardına göre çeşitli kalınlıklardaki basınçlı kap malzemesinde (çelik) öngörülen radyografik duyarlık iki tip penetremetre için çizelge halinde verilmiştir (Çizelge 4.11). Aynı radyografik kalitenin telli penetremetreyle ve basamaklı penetremetreyle saptanan I.Q.I. kalitesinin % değerleri birbirinden farklıdır. Buradan anlaşılıyor ki I.Q.I. kalitesini verirken penetremetrenin cinsinin belirtilmesi zorunludur.



Şekil 4.17 Basamaklı penetremetre (www.tedndt.com)

Kaynak dikişleri hataları çeşitlidir. Bu nedenle I.Q.I yaklaşımını belli başlı kaynak hataları yönünden ele alırsak:

- Çatlak:** Kaynak dikişlerinde oluşabilecek çatlak ve benzeri lineer hataları algılama duyarlılığına en yakın I.Q.I. duyarlılığı telli penetremetreler verir.
- Porozite:** Küçük porozite ve gaz boşlukları gibi küresel hataları algılama duyarlılığına en yakın I.Q.I. duyarlılığını delikli (düz veya basamaklı) penetremetreler verir.
- Kanalcıklar:** Kaynak dikişlerindeki küçük çaplı ve silindirik kesitli kanal tipi hataları algılama duyarlılığına en yakın I.Q.I duyarlılığını telli penetremetreler verir.
- Büyük Hacimli Hatalar:** Dikişler içinde büyük hacimli boşluklar, buldukları kesitte o nispette bir malzeme kaybını temsil ederler. Görüntüde en belirgin işaretleri, verdikleri kontrasttır. Görüntünün keskinliği tanım için ikinci derecede önemlidir. Bu tür hataları algılama duyarlılığına en yakın I.Q.I duyarlılığını basamaklı penetremetreler verir.

Çizelge 4.11 İngiliz BS 3971 standartlarına göre öngörülen radyografik duyarlılıklar

Öngörülen I.Q.I. kalitesi		
Parça Kalınlığı (mm)	Telli Penetremetre	Basamaklı Penetremetre
3	2,4	5,1
6	1,6	3,6
12,5	1,4	3,0
25	1,2	2,5
40	1,1	2,1
50	1,0	1,8
75	0,9	1,6
100	0,9	1,4
150	0,7	1,3

Kaynak dikişlerindeki hata algılama duyarlılığına yaklaşımda her tip penetremetrenin üstün tarafları vardır. Bununla birlikte radyografik kaliteyi temsil etmek konusunda bir tip penetremetreyi diğerlerine tercih etmek mümkün değildir. Ancak, mevcutlar arasında telli

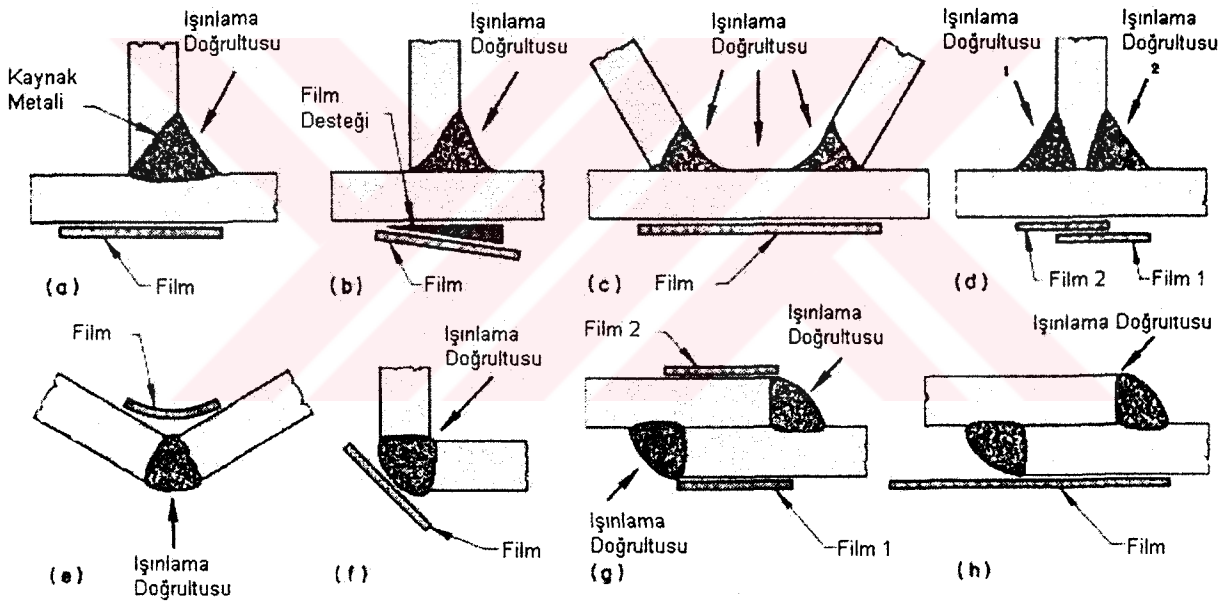
penetremetreler en tehlikeli kaynak dikiş hatalarını (lineer hataları) algılama duyarlılığına daha uygun düşen bir yaklaşımdır (Özden, 1981a).

#### 4.11 Kaynak Dikişlerinin Radyografisinde Donanımların Yerleştirilmesi

##### 4.11.1 Kaynak Dikişlerinde Uygulanan Işınlama Doğrultusu

Radyografik kontrolün daha iyi netice verdiği alın kaynaklarında genellikle muayene edilen kaynak dikişine dik olarak inen bir ışın demeti ile filmi çekilir. Radyografinin kalitesi ve dolayısıyla hataların tespiti alın kaynağında köşe kaynağına nazaran daha iyidir.

Köşe kaynağında özellikle ışınlama doğrultusuna çok dikkat etmek gerekir. Işınlama doğrultusu mümkün olduğunca tam kaynak dikişi üzerine gelecek şekilde ayarlanmalıdır. Şekil 4.18’de bununla ilgili örnekler gösterilmektedir (Davis vd., 1992).



Şekil 4.18 Işınlama doğrultuları (Davis vd., 1992)

Kaynak dikişlerinde uygulanan ışınlama tekniği iki şekilde olmaktadır. Bunlar:

1. Tek Duvar Radyografisi
2. Çift Duvar Radyografisi

Bu iki tekniğin çeşitli uygulamaları standartlar tarafından belirlenmiş olup, aşağıda TS 5127 EN 1435 Standardı’ndaki teknikler süregelen şekillerde açıklanmıştır (Şekil 4.19-4.25).

Şekillerin üzerinde yer alan işaretler için gerekli açıklamalar aşağıdadır:

S: Radyasyon Kaynağı

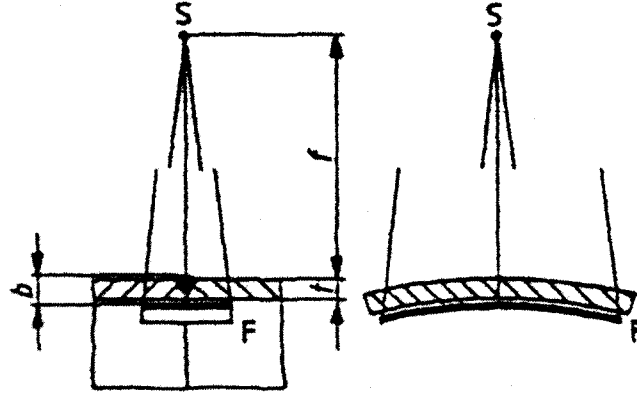
F: Film

t: Anma Kalınlığı

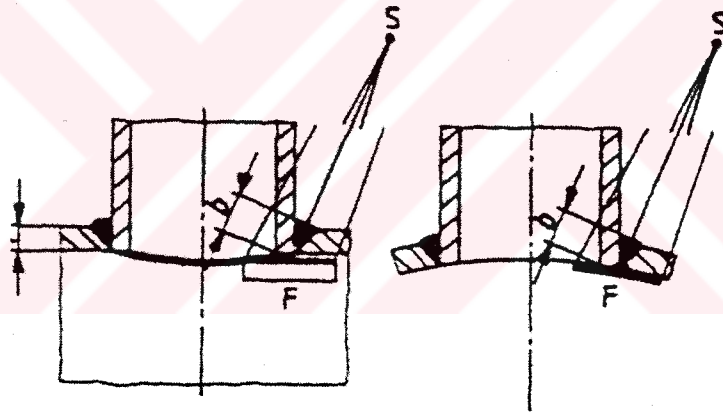
b: Cisim-Film Mesafesi

f: Radyasyon Kaynağı-Cisim Mesafesi

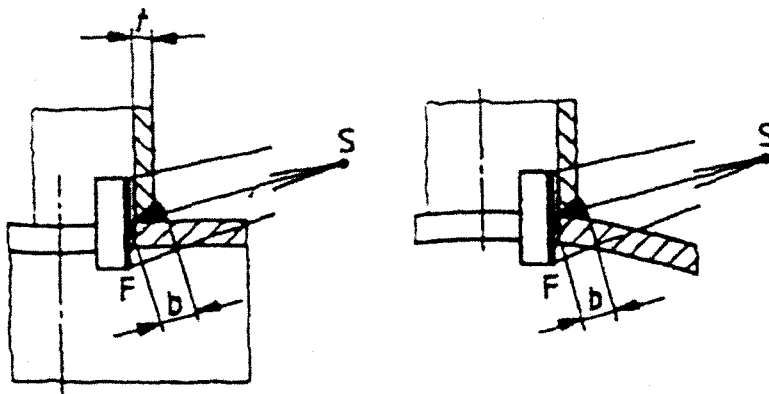
#### 4.11.1.1 Radyasyon Kaynağının Cismin Dışına ve Filmin Cismin İçine Yerleştirildiği Pozlama Teknikleri



Şekil 4.19a Düzlem cidarlar ve kavisli cisimler için tek duvar radyografisi (EN<sup>2</sup>, 2002)



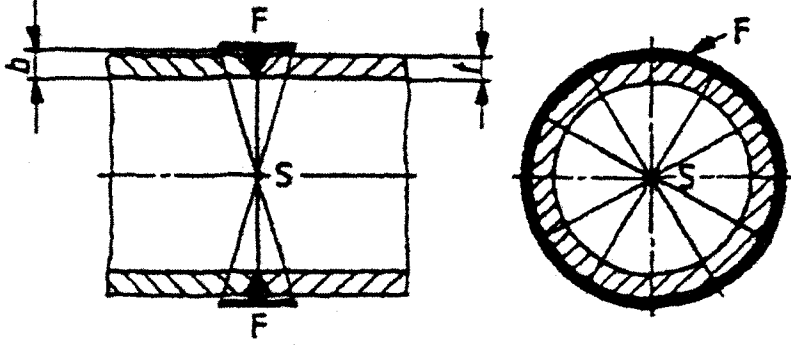
Şekil 4.19b Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (içine kaynak) (EN<sup>2</sup>, 2002)



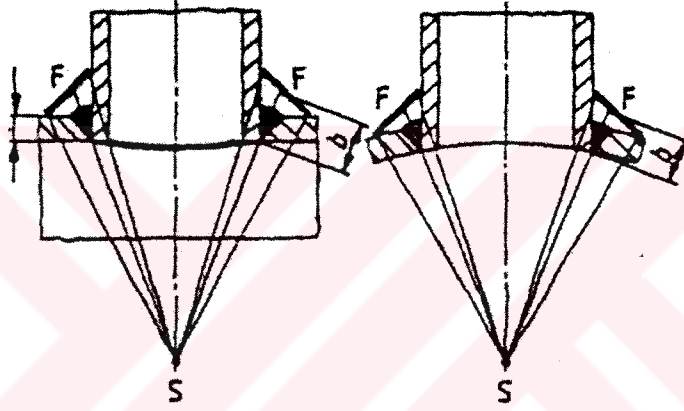
Şekil 4.19c Kavisli cisimlerin tek cidar nüfuziyeti için muayene düzenlemesi (üzerine kaynak) (EN<sup>2</sup>, 2002)



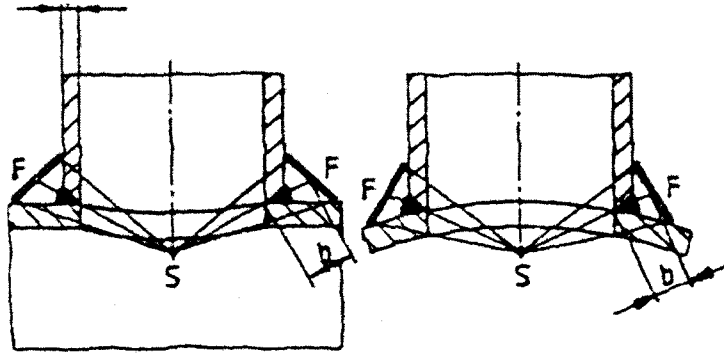
#### 4.11.1.2 Radyasyon Kaynağının Merkezi Olarak Cismin İçine ve Filmin Cismin Dışına Yerleştirildiği Pozlama Teknikleri



Şekil 4.20a Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (EN<sup>2</sup>, 2002)

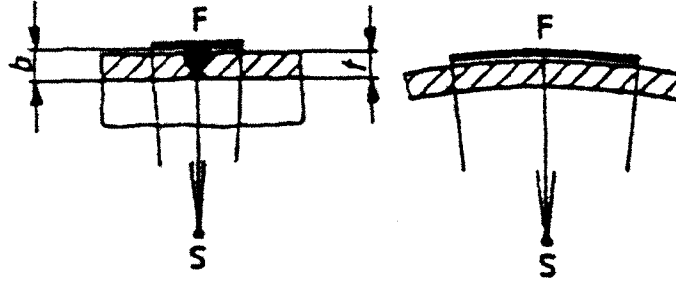


Şekil 4.20b Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (içine kaynak) (EN<sup>2</sup>, 2002)

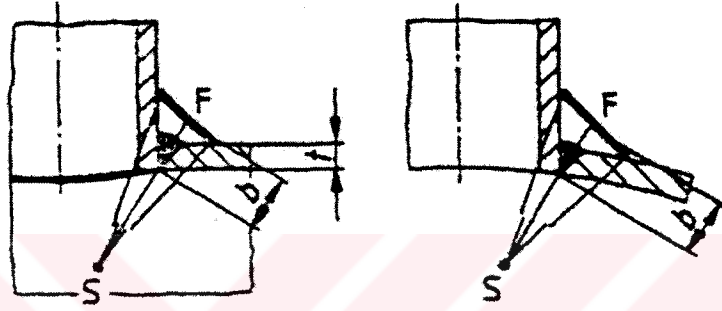


Şekil 4.20c Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (üzerine kaynak) (EN<sup>2</sup>, 2002)

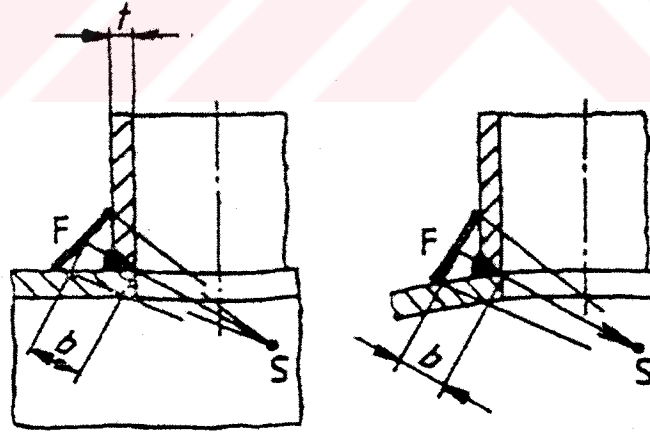
#### 4.11.1.3 Radyasyon Kaynağının Merkezden Kaçık Olarak Cismin İçine ve Filmin Cismin Dışına Yerleştirildiği Pozlama Teknikleri



Şekil 4.21a Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (EN<sup>2</sup>, 2002)

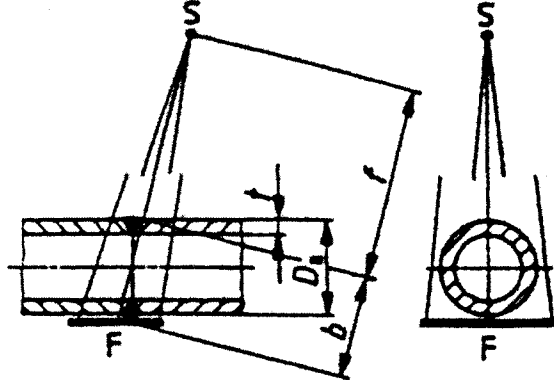


Şekil 4.21b Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (içine kaynak) (EN<sup>2</sup>, 2002)



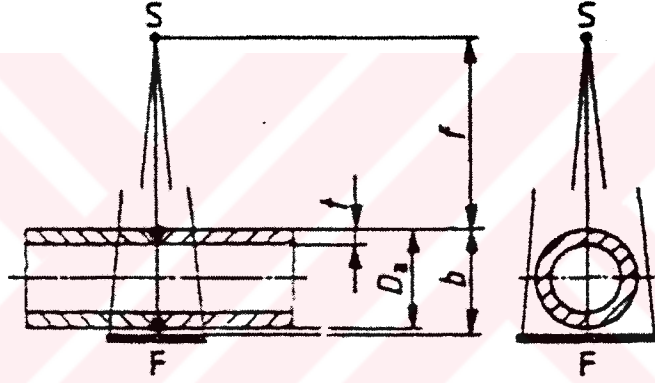
Şekil 4.21c Kavisli cisimlerin tek duvar radyografisi için muayene düzenlemesi (üzerine kaynak) (EN<sup>2</sup>, 2002)

#### 4.11.1.4 Eliptik Teknik



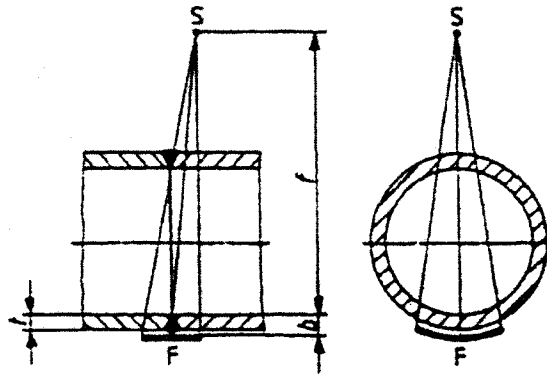
Şekil 4.22 Her iki cidarın değerlendirilebilmesi için kavisli cisimlerin çift duvar radyografisi ve çift görüntü için muayene düzenlemesi (radyasyon kaynağı ve film, cismin dışında) (EN<sup>2</sup>, 2002)

#### 4.11.1.5 Dikey Teknik

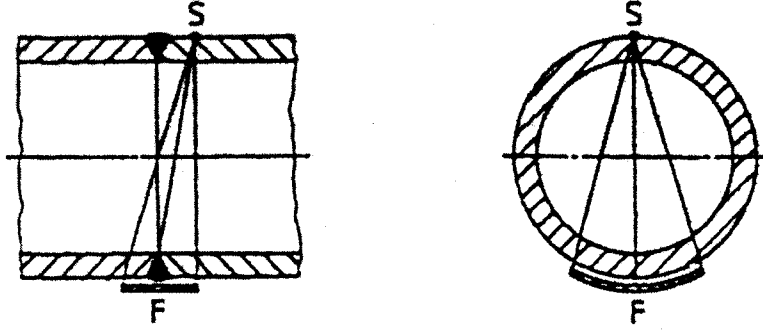


Şekil 4.23 Her iki cidarın değerlendirilebilmesi için kavisli cisimlerin çift duvar radyografisi ve çift görüntü için muayene düzenlemesi (radyasyon kaynağı ve film, cismin dışında) (EN<sup>2</sup>, 2002)

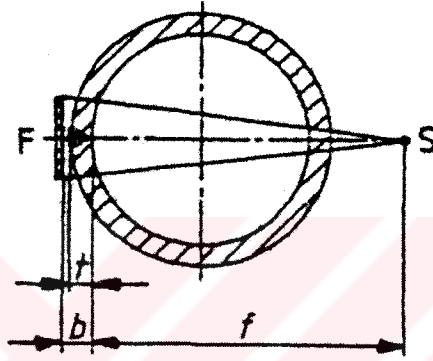
#### 4.11.1.6 Radyasyon Kaynağının Cismin Dışına ve Filmin Diğer Tarafa Yerleştirildiği Pozlama Teknikleri



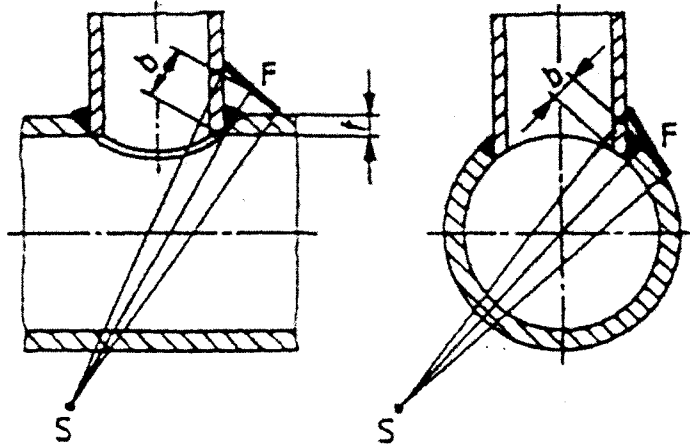
Şekil 4.24a I.Q.I.'ın film tarafına yerleştirildiği ve filme bitişik cidarın değerlendirilmesi için kavisli cisimlerin çift duvar radyografisi ve tek görüntü için muayene düzenlemesi (EN<sup>2</sup>, 2002)



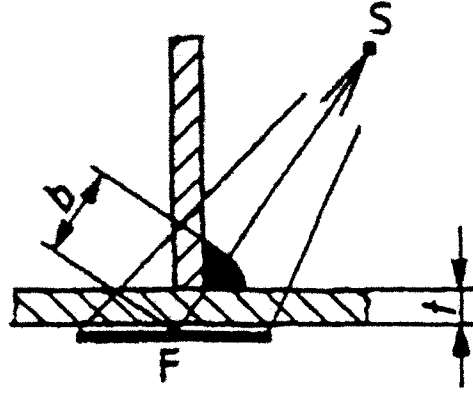
Şekil 4.24b Çift duvar radyografisi ve tek görüntü için muayene düzenlemesi (EN<sup>2</sup>, 2002)



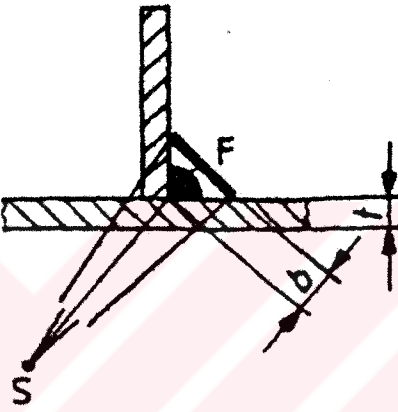
Şekil 4.24c Boyuna kaynak dikişlerinin çift duvar radyografisi ve tek görüntü için muayene düzenlemesi (EN<sup>2</sup>, 2002)



Şekil 4.24d Filme bitişik cidarın değerlendirilmesi için kavisli cisimlerin çift duvar radyografisi ve tek görüntü için muayene düzenlemesi (EN<sup>2</sup>, 2002)

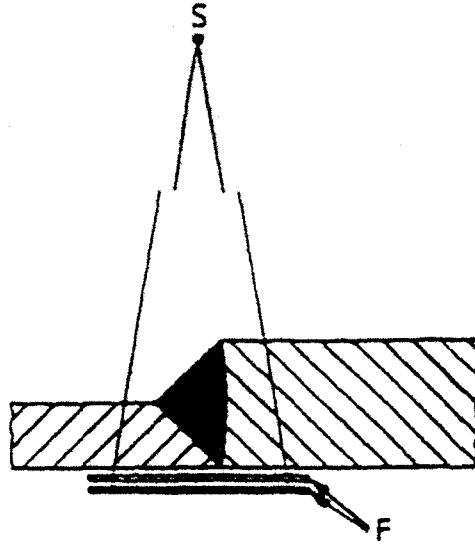


Şekil 4.24e İç köşe kaynak dikişlerinin radyografisi için muayene düzenlemesi (EN<sup>2</sup>, 2002)



Şekil 4.24f İç köşe kaynak dikişlerinin radyografisi için muayene düzenlemesi (EN<sup>2</sup>, 2002)

#### 4.11.1.7 Farklı Malzeme Kalınlıkları İçin Pozlama Tekniği (Radyasyon Kaynağı)



Şekil 4.25 Çoklu film tekniği (EN<sup>2</sup>, 2002)

#### 4.11.2 Penetremetrelerin Yerleştirilmesi

Penetremetreler radyografisi alınacak dikişin mümkünse hemen üstüne yerleştirilmelidir. Bu yerleştirme de bant ya da mıknatısla olacaktır. Kaynak dikişi muayenesinde telli penetremetre kullanılıyorsa mutlaka tam kaynak dikişi üzerine yerleştirilmelidir.

Kaynak dikişi radyografisinde penetremetreler her zaman kaynak dikişi üzerine yerleştirilemeyebilir. Bu tip durumlarda penetremetre altına plaka halinde parçalar (shim) konularak radyasyon kaynağı kaynak dikişi üzerinden geçecek dirence getirilir. Diğer bir ifadeyle kaynak dikişinin ışın geçirgenliğine eşit bir değer elde edebilecek bir plaka konulur. Bu plaka çoğu zaman kaynak dikişi malzemesiyle aynı malzeme olmakla beraber ona benzer de olabilir.

Eğer penetremetre, kaynak dikişi üzerine yerleştirilemiyorsa, radyografisi alınacak kaynak dikişi kalınlığı kadar bir parçanın üzerine konularak çekim yapılması gereklidir (Şekil 4.26 c, d, f, g).

#### 4.11.3 Kaynak Dikişi Radyografisinde Filmlerin Yerleştirilmesi

Kaynak dikişlerinin radyografisinde seçilmiş olan tekniğin bir fonksiyonu olarak, her radyografide muayene edilecek maksimum kaynak dikişi uzunluğunu tespit etmek mümkündür.

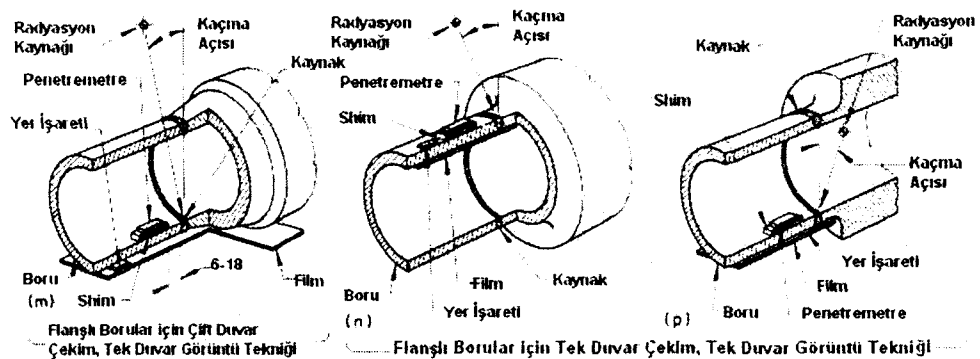
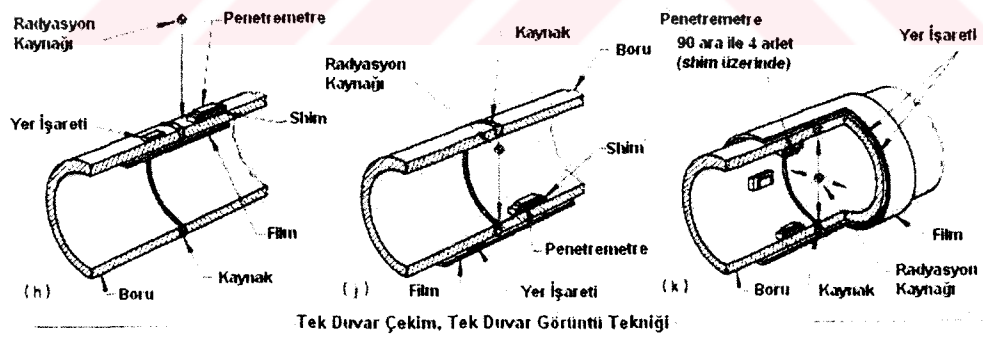
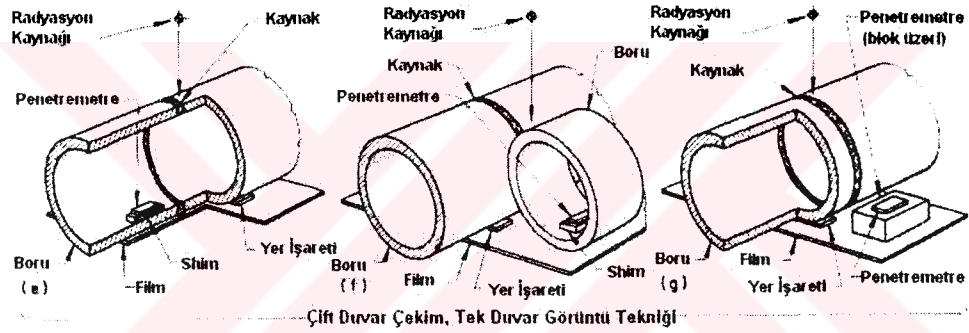
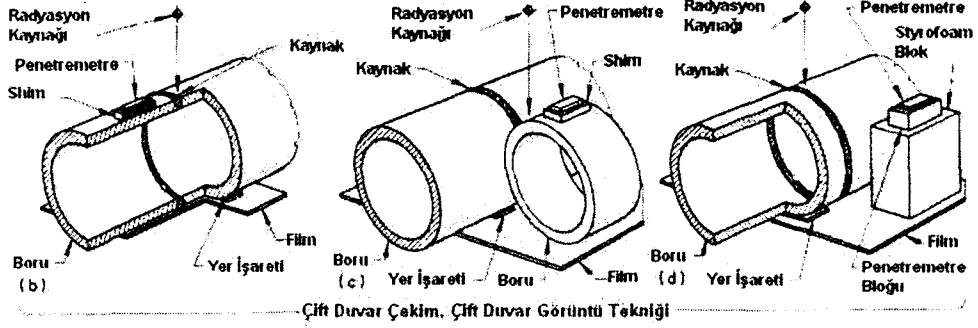
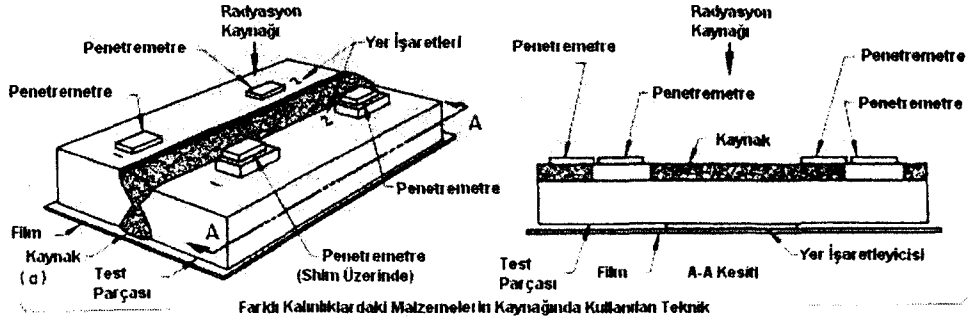
Uzun bir kaynak dikişi, standartların gereği olarak %100 muayene edilecekse, her biri radyografide alınabilecek maksimum uzunluktan 50 mm kadar kısa, eşit parçalara bölünür. Bu şekilde radyografların her iki ucunda 25 mm bırakılarak birbirini takip eden filmlerde bir çakışma temin edilir.

Penetremetre, film tespit edildikten ve radyasyon kaynağı ile donatımı yerleştirildikten sonra, kaynak dikişi üzerine bir seri numara (genellikle radyasyon kaynağına bakan yüze doğru) nakledilir.

Nakledilmiş numaralar üzerine kurşundan rakamlar yerleştirilir ve bu sayede film üzerinde muayene edilen bölgelerin yeri tespit edilmiş olur. Bu işlemin hassasiyeti radyografik muayene neticesinde gerekebilecek olan tamiratın yerinin tespiti bakımından önemlidir.

Üzerinde çok az miktarda kaynak dikişinin bulunduğu parçalarda diğer başka işaretlerinde film üzerine tespiti edilmesi gereklidir. Örneğin her dikiş ayrı bir harfle gösterilir (A: Alın Kaynağı, K: Köşe Kaynağı, vb).





Şekil 4.26 Film, penetremetre ve konum işaretlerin yerleştirilmesi (Davis vd., 1992)

Bu hususta salt kaideler bulmak imkânsızdır. Çünkü bunlar pratikte rastlanan çeşitli hallere uygun olmayabilir. Kaynak dikişlerine konan ve her film üzerinde kullanılmış olan rakam, harf veya sembollerin kaynağın sonradan tanınmasını ve dikişin parça üzerindeki konumunu hassas olarak belirtecek tarzda olmaları bu konuda en genel kriterdir. Bunun için hazırlanabilecek bir örnek Şekil 4.27'de verilmiştir.

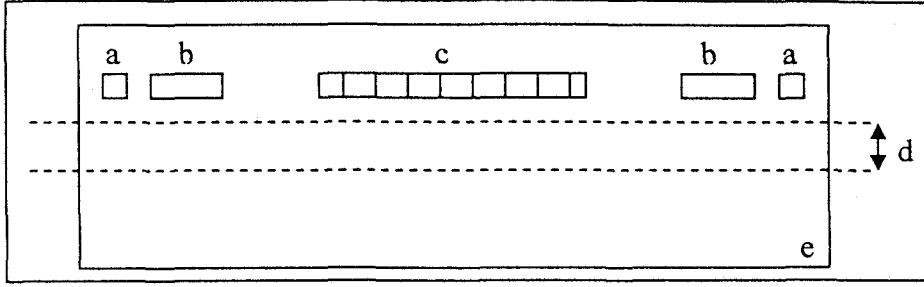
Karışık şekilli parçaların radyografik muayenesinde bir şemanın (plan şeması) yapılması ve üzerinde radyografi alınmış yerlerin işaretlenmesi tavsiye olunur.

Film üzerine konan konum işaretleri (location marker) her zaman uygun bir konumda kap üzerine yerleştirilemezler. Bu durumda bu işaretler hemen penetremetrenin yanına yerleştirilebilirler (Şekil 4.26 h,j,n).

Radyografi çekerken özellikle filmin kaynak dikişi merkezlemesine itina gösterilmelidir. Bu nedenle çok küçük genişlikteki film kullanmaktan kaçınılmalıdır. Çünkü radyografinin merkezleme hatasından ötürü yeniden film çekilmesinin maliyetinin yanında, film maliyeti çok az kalmaktadır. Bununla birlikte filmin kaynak dikişi yanında esas metali de içine alması, kaynak dikişinden dolayı burada oluşabilecek hataları da tespit ettiğinden oldukça yararlıdır.

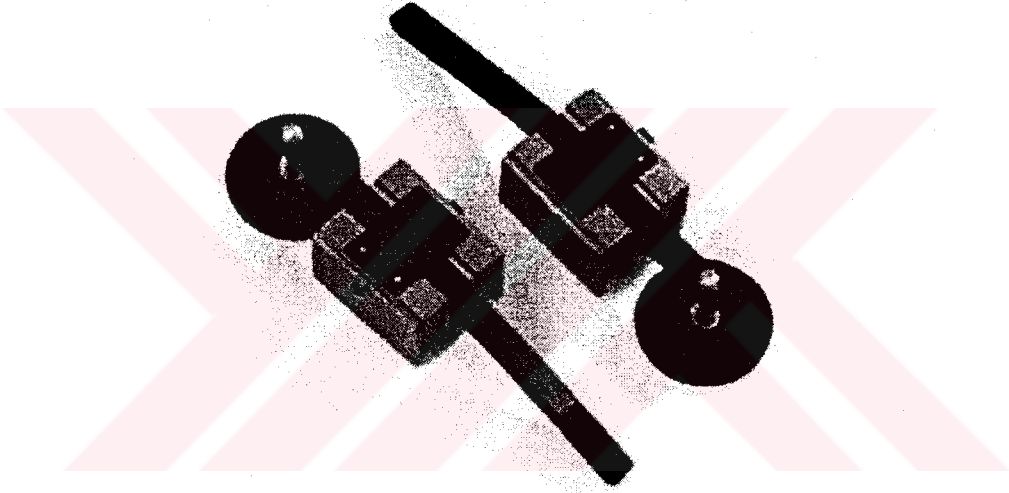
Filmi ihtiva eden kaset görüntünün tanımlanmasından hiçbir şey kaybetmemesi için mümkün olduğu kadar dikişe yakın olarak yerleştirilmelidir. Bu bakımdan kaynak dikişi muayenelerinde rijit kasetler yerine eğriliklere ve kaynağın şekil varyantlarına daha iyi uyabilen yumuşak, bükülebilen, kasetler tercih edilmelidir. Kasetleri yerleştirildikleri yerde tutabilmek için malzemenin cinsine ve şekline tabi olarak çeşitli tespit donatımları geliştirilmiştir. Bunlar özellikle basınçlı kap vb. küresel yapıların muayenesinde daha çok kullanılan basınç yayları ve mıknatıslardır. Özellikle mıknatıslı olanlar ya kendiliğinden mıknatıslıdır ya da elektro mıknatıslıdır. Yerleştirme kolaylığı, sürati ve bağlantı tellerinin mevcut olmayışı ve akımın ani olarak kesilmesi nedeniyle meydana gelebilecek zararlar göz önünde bulundurularak birinci tipin, yani kendiliğinden mıknatıslı tipin tercih edilmesi tavsiye edilir.

Kasetler poz verme süresi boyunca kesinlikle yerlerinden kıpırdatılmamalıdır. En ufak bir hareket dahi filmin kabul edilmemesine sebep olabilir. Bu bakımdan kasetlerin yerleştirilmesi ve tespit edilmesi özellikle poz süresinin uzun olduğu gama ışını ile çalışmalarda oldukça önemli bir konudur.



- a: Filmin Sıra Numarası      b: Penetremetre  
 c: Konum İşaretleri        d: Kaynak Dikişi  
 e: Film

Şekil 4.27 Kaynak dikişi radyografilerinde filmlerin işaretlenmesi



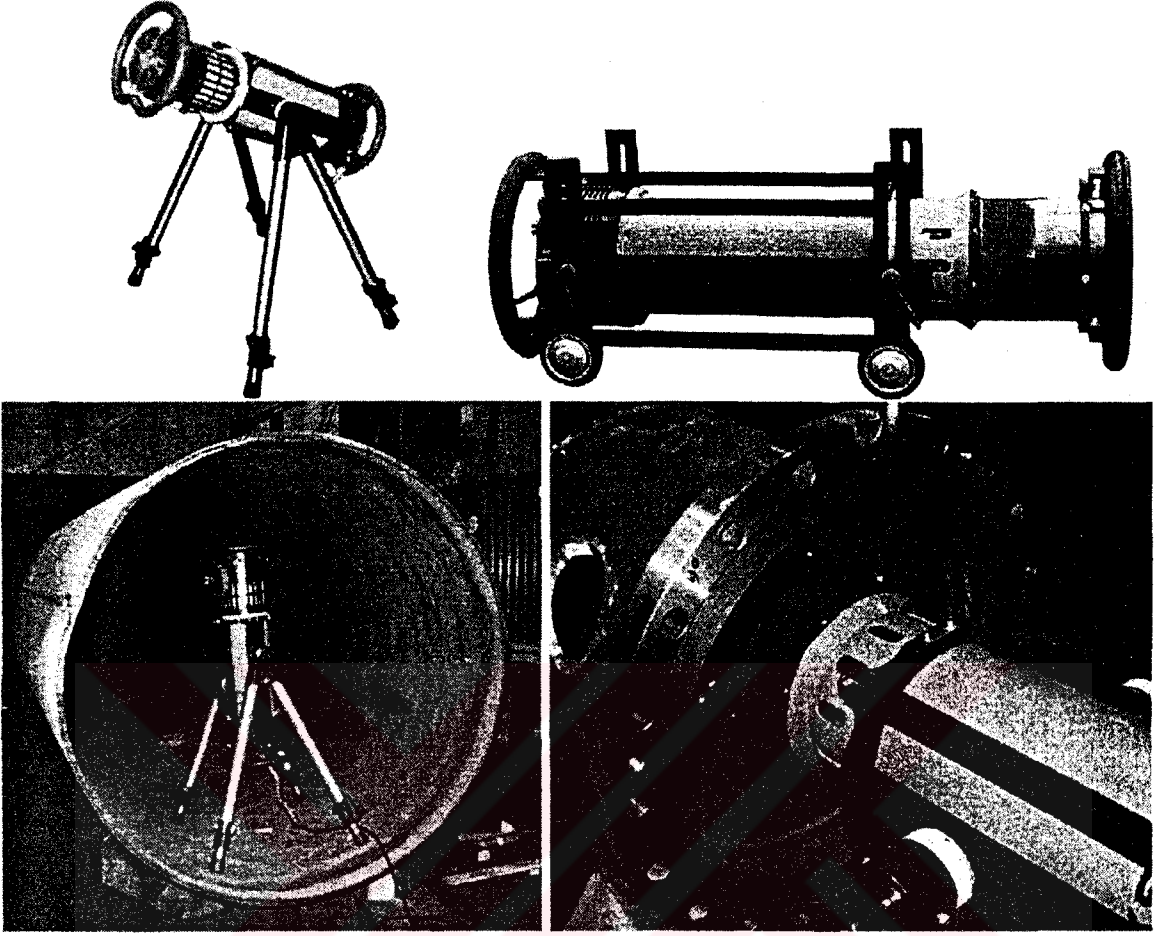
Şekil 4.28 Manyetik tespit ekipmanı (www.tedndt.com)

#### 4.11.4 Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesinde Donanımların Yerleştirilmesi

Kaynak dikişlerinin radyografik kontrolünde en iyi neticeyi veren alın kaynakları genellikle muayene edilen bölgeye dik olarak inen bir ışın demeti ile muayene edilir. Muayene sırasında ışın demetinin bu şartı gerçekleştirecek şekilde donanımların yerleştirilmesine azami itina gösterilmelidir. Bu da radyasyon kaynağının veya kaynak dikişinin pozisyonunun uygun hale getirilmesiyle sağlanır.

Radyasyon kaynağının kaynak dikişine veya kaynak dikişinin radyasyon kaynağına göre yerleştirilmesini hızlandırmak için genel bir kaide vermeye imkân yoktur. Bütün ışınım üreteçleri özel sehpa ile birlikte verilir, bunlar imal eden firmaya göre değişen sınırlar dâhilinde belirli istikametlere hareket edebilme kabiliyetine sahip aletler olup, x-ışını cihazı

aksesuarlarına ait örnekler Şekil 4.29'da görülmektedir.



Şekil 4.29 X-ışını cihazının aksesuarları (www.geinspection.com)

Basıncı kabın çevre dikişlerinde ise, radyografi cihazını adam deliğinden içeri sokarak ve içeride çevirerek tek tek bütün kaynak dikişlerinin muayene imkânı sağlanabilir (çap müsait ise). Böyle bir halde 360° lik ışınım yapan bir x radyografi cihazı veya gama ışın radyografi cihazı kullanılarak ve filmleri bütün çevreye yerleştirilerek bir defada bütün radyografileri çekmek mümkündür.

Şayet basınçlı kap yerinden sökülemezse, sabit bir cihazın altında ekseni doğrultusunda bir öteleme ve ekseni etrafında bir döndürme işlemi ile hem çevresel hem de boyuna dikişlerin muayenesi yapılabilir. Büyük basınçlı kapların kaynak dikişleri muayenesinde (buhar kolektörü, LPG dolum tesisleri, kimya ve petrokimya depoları vb.) maliyeti oldukça pahalı olan iskele sistemi yerine bir vinç vasıtasıyla arzu edilen yere ışın üretici yerleştirilebilir (Şekil 4.30). Bu gibi hallerde ışın üreticisine hesaplanmış olan radyasyon kaynağı-kaynak dikiş yüzeyi, mesafesine eşit uzunlukta 4 ayak takılır ve vinç vasıtasıyla muayene edilmesi gereken noktaya kadar kaldırılır, bu sırada ayaklar parça ile temas ettirilir. Radyasyon kaynağının

yerleştirilmesi ve ışınım konisi ekseninin kaynak dikişine dik vaziyette yerleştirilmesi bu şekilde kolaylıkla saklanmış olur. Burada kullanılan radyasyon kaynağı cinsi ne olursa olsun, kaynağın poz verme süresince parçaya nazaran konumunu değiştirmemesi için tespit ve yerleştirme donanımı yeteri derecede sağlam ve sıhhatli olmalıdır.



Şekil 4.30 X-ışını cihazının vinç ile istenilen bölgeye yerleştirilmesi (www.geinspection.com)

## 4.12 Basınçlı Kaplarda Radyografik Film Yüzdelerinin Tespiti

### 4.12.1 Basınçlı Kapların Kaynak İşlemi

Kaynaklı bağlantı yapılması için çeşitli yöntemler vardır. Seçenekler arasından kaynak türü ve yöntemleri saptanırken aşağıdaki noktalar göz önüne alınmalıdır.

1. Kaynak ortamı
2. Zorunlu koşullar
3. Kaynak ekonomisi

**1. Kaynak ortamı:** Genellikle kaynak yerine ulaşabilirlik kaynak türünü belirler. Küçük çaplı (450–600 mm'den küçük) kaplarda içten elle kaynak uygulanamaz. Kaynak altı halka kullanılırsa halka yerinde kalmalıdır. Daha büyük çaplı kaplarda adam giriş deliği (manhole) bulunmuyorsa, son kaynak yalnız dıştan yapılabilir. Kaynak türü ekipman yapımcısı tarafından belirlenir.

**2. Zorunlu koşullar:** Basınçlı kapların yapımında kullanılacak kaynak yöntemleri



aşağıdakilerle sınırlandırılmıştır.

- a) Ark ve gaz kaynak işlemleri: Korunmalı metal ark, daldırma ark, gaz-metal ark, gaz-tungsten ark, plazma ark, atomik hidrojen metal ark, oksî-hidrojen, oksî-asetilen, elektro cüruf ve elektron ışın kaynak yöntemleri ile sınırlandırılmıştır.
- b) Basınçlı kaynak işleri: Yakma, indüksiyon, direnç, basınçlı termik ve basınçlı gaz kaynak yöntemleri ile sınırlandırılmıştır.
- c) Ark-saplama ve direnç-saplama kaynakları: ASME Kod'da belirtilen bazı koşulların yerine getirilmesi durumunda basınç taşımayan bağlantılarda kullanılabilir.
- d) Elektro cüruf kaynağı: Sadece SA-240-TP304, TP304L, TP316 ve TP316L; SA-182-F304L, F316 ve F316L; SA-351-CF3, CF3A, CF3M, CF8, CF8A ve CF8M türü östenit paslanmaz çelikler ve ferrit çeliklerin alın kaynaklarında (tam radyografi veya ultrasonik kontrol yapılmak koşuluyla ) kullanılabilir.

**3. Kaynak ekonomisi:** Önceki iki etken serbest seçime izin verirse, kararı etkileyen yalnız ekonomi olur. Kaynak ekonomisi ile ilgili bazı noktalar aşağıda belirtilmiştir:

V tipi kaynak ağzının açılması (oksijen ile kesme yapılabilir) her zaman J ve U türü kaynak ağzılarının açılmasından daha ekonomiktir.

X kaynak ağzında, V kaynak ağzı için gerekli kaynak dolgu metalinin yarısı kadar dolgu metali gerekir.

Düşük kalitede kaynak, kap için daha kalın levha kullanılmasını gerektirir. Kuvvetli kaynak yapılarak daha ince levha kullanılması veya tersine durum için ekonomik yönden karar verilebilmesi kabın boyutuna, kaynak ekipmanına vb. bağlıdır. Bu durum her defasında ayrı ayrı incelenmelidir (Uztuğ, 1992).

#### 4.12.2 Kaynaklı Bağlantı Kategorisi (ASME)

ASME Standardı kaynak bağlantı bölgelerinde yapılan birleştirme tiplerini belirtmek için bazı kategoriler belirlemiştir. Bu kategoriler kaynağın tipini değil, yerleşimini belirtir. Standart bunları malzemeye, malzeme kalınlığına ve kullanma yerine göre seçer. Bu kategoriye göre 4 tip vardır. Bunlar A, B, C ve D kategorileridir (Şekil 4.31).

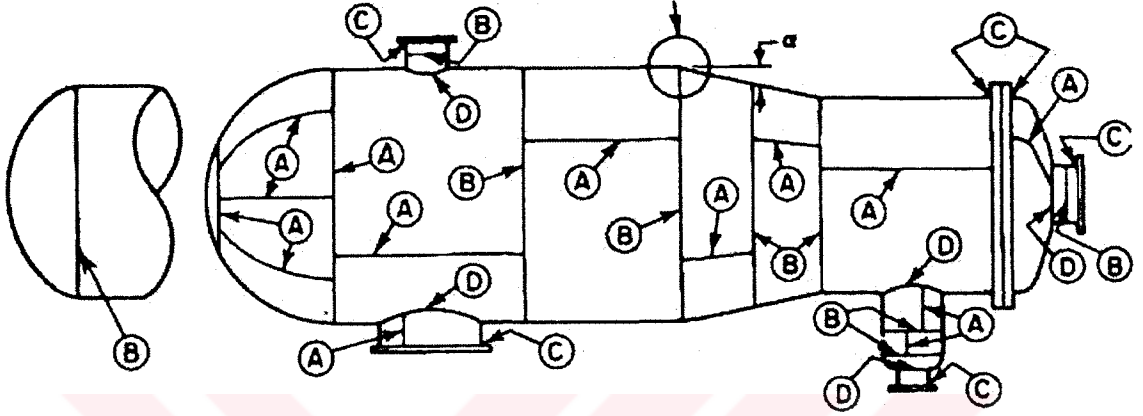
**A Kategorisi:** Basınçla kabın ana kabuk bağlantısındaki boyuna alın kaynakları, redüksiyon birleştirmeleri, başlık birleştirmeleri ve nozul-parça birleştirmeleri bu gruba girer.



**B Kategorisi:** Basıncı kap çevresindeki ana kabuk çevresel dikiş birleştirmeleri, nozul birleştirmeleri, redüksiyonlarda çevre dikişleri yarı küresel başlık birleştirmelerinin bazıları bu gruba girer.

**C Kategorisi:** Genel flanş birleştirmeleri bu gruba girer.

**D Kategorisi:** Ana kabuk-parça ve nozul-parça birleştirmeleri bu gruba girer (ASME<sup>6</sup>, 1998).



Şekil 4.31 Kaynaklı bağlantı kategorileri (ASME<sup>6</sup>, 1998)

#### 4.12.3 Basıncı Kaplarda Radyografik Kontrol Tekniği (ASME Standardı)

ASME Section VIII Kod'u basınçlı kaplarda uygulanan kaynaklı bağlantı türlerini altı grupta toplamış ve her tür için kaynak verim katsayısı ile kullanma sınırlarını göstermiştir (Çizelge 4.12).

ASME VIII Kod'unun Division I Part UW bölümünde bu kaynak türlerinin hangi oranda kontrol edileceği kurallara bağlanmıştır. Bu kurallar bahsi geçen kod'un UW-11, UW-51, UW-52 numaralı maddelerinde açıklanmıştır (ASME<sup>6</sup>, 1998).

Not 1: Alın kaynağı ile birleştirilecek bütün kenarlardaki kaynak ağızları tam olarak erime ve geçiş sağlayacak şekilde olmalıdır.

Not 2: Kaynaklar ark ve gaz kaynağı ile yapılmışsa Çizelge 4.13'de verilen Kaynak Verim Katsayıları ilgili bağıntılarda kullanılır.

Not 3: Kap yerel (spot) olarak radyografik kontrolden geçecekse alın kaynağı ile bağlanacak dikişsiz gövde ve başlıkların çevresel gerilime göre tasarımında malzeme için belirtilen izin verilen en büyük gerilim değerinin 0.85 katı alınır.

Çizelge 4.12 Ark ve gaz kaynaklı bağlantılar için izin verilebilen maksimum kaynak verim katsayıları ve uygulama sınırları (ASME<sup>6</sup>, 1998)

Kaynak Türü	Kaynak Kategorisi	Kaynak Verim Katsayısı			Uygulama Sınırlamaları
		(a) Tam (Full) Kontrol	(b) Yerel (Spot) Kontrol	(c) Kontrol Yok	
1	A, B, C & D	1.00	0.85	0.70	Herhangi bir sınırlama yoktur.
2a	A, B, C & D	0.90	0.80	0.65	Herhangi bir sınırlama yoktur.
2b	A, B & C	0.90	0.80	0.65	Yalnız çevresel kaynaklarda uygulanabilir.
3	A, B & C	-	-	0.60	Yalnız çevresel bağlantılar içindir. Kalınlık 16 mm'yi, dış çap 600 mm'yi geçemez
4a	A	-	-	0.55	Kalınlığı 10 mm'yi geçmeyen boyuna bağlantılarda uygulanabilir.
4b	B & C	-	-	0.55	Kalınlığı 16 mm'yi geçmeyen çevresel bağlantılarda uygulanabilir.
5a	B & C	-	-	0.50	13 mm kalınlığı geçmeyen gövdeler ile 600 mm dış çapı geçmeyen başlıklar arasındaki çevresel bağlantılar.
5b	C	-	-	0.50	16 mm'den daha kalın olmayan gövdeler ile tapa kaynak merkeziyle levha kenarı arasındaki uzaklık tapa delik çapının 1.5 katından az olmayan çevresel bağlantılar. Yarıküresel başlıkların gövde ile bağlantıları dışarıda tutulmuştur.
6a	A & B	-	-	0.45	16 mm kalınlığı geçmeyen gövde ile başlıkların bağlantısında gövde içinden köşe kaynağı yapılır.
6b	A & B	-	-	0.45	Her iki taraftan basınç altındaki başlıkların 600 mm iç çaptan büyük ve 6 mm'den kalın olmayan gövdeler ile bağlantısında sadece başlık flanşına dıştan köşe kaynağı yapılır.

Çizelge 4.13 Dikişsiz başlıkların hesabında kullanılan kaynak verim katsayısı, E (Uztuğ, 1992)

BAŞLIK TÜRÜ	KAYNAK TÜRÜ Çizelge 4.12'ye bakınız	KAYNAK VERİM KATSAYISI		
		Tam (Full) Kontrol	Yerel (Spot) Kontrol	Kontrol Yok
Yarıküresel	No:1	1.00	0.85	0.80
	No:2	0.90	0.80	0.80
Diğerleri	Herhangi Tür	1.00	0.85	0.80

#### 4.12.4 %100 Radyografik Kontrol (ASME Section VIII, Division I)

ASME Section VIII Division I Part UW'ye göre imal edilen basınçlı kaplarda %100 radyografik kontrol uygulanması gereken durumlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Zehirli Madde (gaz ve sıvı) depolanacak kaplardaki bütün alın kaynaklı bağlantılar.
2. Alın kaynağı yapılmış levhaların kaynak bağlantı kalınlığı 1½"(38 mm)'yi aşanlar.

3. Ateş ile temasta olmayan fakat tasarım basıncı 345 KPa'ı (50 psi ya da 3,45 Kg/cm<sup>2</sup>) geçen buhar kazanlarındaki basınçlı kaplarda yapılan alın kaynaklı bağlantılar.
4. Çizelge 4.14'de malzeme türlerine göre verilen en küçük kalınlıkları geçen kalınlıklardaki kaynaklı bağlantılar.
5. Nozul ve ana kabuk çevre dikişleri eğer (1), (2), (3), (4) maddelerini içine alıyorsa tam radyografik kontrol yapılmalıdır.
6. Tam (full) radyografik kontrolden geçmesi istenilen boru bağlantı ağzı vb. gibi bağlantılar
7. Elektro gaz veya tek pasolu elektro cüruf kaynağı ile birleştirilen tüm kaynaklı bağlantılar.

Çizelge 4.14 Karbon çeliği ve düşük alaşımlı çeliklerin alın kaynaklarında tam radyografik kontrol gerektiren en küçük kalınlıklar (Uztuğ, 1992)

MALZEME TÜRÜ		EN KÜÇÜK KALINLIK, mm
ASTM	Alaşım	(Bu değeri geçen kalınlıklarda tam radyografik kontrol zorunludur.)
P1-Gr1,2,3	C-Si, C-Mn-Si	32
P3-Gr1,2,3	C-%0,5Mo, Mn-%0,5Mo, %0,5Cr-%0,5Mo	19
P4-Gr1,2	%1-1,25Cr-%0,5Cr-%0,5Mo	16
P5-Gr1,2	%3-9Cr, %0,5-1Mo	0
P9A-Gr1	%2-2,25Ni	16
P9B-Gr1	%3,5Ni	16
P10A-Gr1	%1Mn-%0,1V	1
P10B-Gr2	%1Cr-V	16
P10C-Gr3	C-Mn-Si	16
P10F-Gr6	%0,5Ni-%0,5Cr-%0,25Mo-V	19

#### 4.12.5 ASME Kod'una Göre Kaynaklı Bağlantıların Radyografik Kontrol Esasları (ASME VIII Division I Part UW-51)

Aşağıda bahsedilen durumlar hariç, röntgeni çekilecek bütün kaynak dikişleri, ASME Kod'un Section V Article 2 bölümüne göre kontrol edilecektir.

1. İmalatçı, ASME Section V Article 2'nin T-291 ve T-292 paragraflarında anlatıldığı gibi, çekilen radyograflar ve tutulan kayıtların tam bir setini inspector tarafından imalatçı bilgi raporu imzalanana kadar tutmak zorundadır.
2. İmalatçı, radyografları çeken ve değerlendiren operatörlerin, işverenin yazılı şartlarına uygun olarak kalifiye edilmiş olduğunu sertifikalandırmak zorundadır. Bunun için SNT-TC-1A standardı bir rehber olarak kullanılabilir.
3. ASME Section V Article 2'nin T-285 paragrafında belirtilen geometrik keskinlik sınırlamaları sadece bir kılavuz olarak kullanılabilir. Radyografların kabul edilmesi, penetremetrede tavsiye edilen görüntünün ve açıkça belirtilen delik ya da telli penetremetrede belirtilen telin görülüp görülmemesine bağlıdır.
4. Kaynak dikişi radyograflarında görülen aşağıda belirtilen tür düzgünsüzlükler kabul edilmeyecek ve ASME Section VIII Division I Part UW-38'e göre tamir edilecek ve aynı kodun UW-51'inci maddesine göre yeniden film çekilecektir.
  - a) Herhangi bir tipte çatlak, nüfuziyetsizlik ve yan cidara kaynamama hataları;
  - b) Aşağıda belirtilen boyutlardan büyük, uzamış cüruf kalıntısı:
    - i.  $\frac{1}{4}$  inch =  $\frac{3}{4}$  inch'in üzerindeki kaynak kalınlığı (t) için
    - ii.  $(1/3).t$  = Kaynak kalınlığı  $\frac{3}{4}$  inch'den  $2\frac{1}{4}$  inch'e kadar
    - iii.  $\frac{3}{4}$  inch =  $2\frac{1}{4}$  inch'in üzerindeki kaynak kalınlığı için

t: Kaynak Kalınlığı

- c) 12t'lik bir mesafe içinde toplam boyu t'yi geçen cüruf hataları [cüruf hattı içindeki ayrı cüruflar arası mesafe 6L'den fazla ise kaynak kabul edilir (L:cüruf grubundaki en uzun boylu cürufun boyudur)]
- d) ASME Section VIII Division I Ek 4'de verilen kabul standartlarını aşan porozite.

#### 4.12.6 ASME Kod'una Göre Kaynak Dikişlerinin Spot Kontrolü (UW-52)

Kaynaklı bir bağlantının spot radyografi ile kontrolü, etkili bir muayene aracıdır. Aynı zamanda spot radyografi kuralları, kalite kontrolünün önemli bir yardımcısı olarak tanınmalıdır. Spot radyograflar, kaynakçı ve operatörün, bir kaynak ünitesini tamamlar tamamlamaz derhal çekilen bir spot röntgen ile bu işin kaynak tekniğine uygun olarak yapılıp

yapılmadığını ortaya çıkarır. Eğer iş yetersiz bulunursa diğer ünitelere geçmeden önce düzeltici adımlar atılır ve kaynak kalitesi geliştirilebilir.

Bu kurallar içerisinde spot radyografi bir imalat ürününün bütünüyle, önceden belirtilen bir kalite seviyesinde olduğunu garanti etmez. Şurası açıktır ki spot radyografi kuralları içinde kontrol edilen bir kap, daha ileri kontrolde açığa çıkarılabilecek hatalar taşıyor olabilir. Eğer radyografik olarak bulunamamış, kabul edilemez derecede olan bu tür hataların giderilmesi gerekiyorsa, % 100 radyografi muayenesi gerekir.

a) Sadece dış basınç şartlarında çalışan kaplar veya kap parçaları hariç, kaynak dikişleri %100 kontrol edilmeyen ve bu kod'un diğer paragraflarında spot kontrol yapılması istenen, alın kaynaklı kaplar veya kap parçaları aşağıda belirtilen bölgesel spot kontrolünden geçecektir.

b) **Spot radyografik kontrolün minimum sınırı:**

1. Her bir kabın ilk 15,2 m (50 ft) uzunluğu için 1 adet, takip eden 15,2 m'ler veya kesitleri içinde birer adet spot çekilecektir. Yalnız toplam kaynak uzunluğu 15,2 m'yi bulmayan bu kod'un kuralları içinde imal edilen ve birbirinin aynı kaplar imal ediliyorsa, her 15,2 m kaynak uzunluğu tek bir spot radyografiyle temsil edilebilir.
2. İstek üzerine her bir kaynakçı veya kaynak operatörünün kaynağını kontrol etmek üzere, ilave spot'lar gerekebilir. Bir kaynak dikişindeki pasolar veya çift taraflı bir alın kaynağı, iki veya daha fazla kaynakçı tarafından yapılıyorsa, tek bir spot her iki kaynakçının kaynaklarını temsil eder.
3. Her spot kontrol, kontrol edilecek miktarda kaynak dikişi tamamlandığında ve pratik olarak mümkün olabilecek en kısa zamanda yapılacaktır. Spot radyografinin çekileceği nokta, kontrolcü tarafından tespit edilir, yalnız iş süreci içerisinde kontrolcü haberdar edilip de gelmeyeceği anlaşıldığında veya taraflar mutabık kaldıklarında, imalatçı kendi inisiyatifini kullanarak spot radyograf yerlerini tespit edebilir.

c) **Spot Radyografik Kontrol Standartları**

Spot radyograflarda kontrol ASME Section VIII Division I Part UW-51'de açıklanan tekniğe uygun olacaktır. Spot radyografin boyu, minimum 150 mm (6 inch) olacaktır. Kabın kontrolcü tarafından kabulünden sonra, spot radyograflar saklanabilir veya imha edilebilir. Spot radyografi ile kontrol edilen kaynak dikişlerinin kabul edilebilirliği, aşağıdaki standartlara göre sınıdır.

1. Herhangi bir tür çatlak ve yan cidara kaynamama veya kök pasoda nüfuziyetsizlik bölgesi taşıyan radyograflara ait kaynaklar reddedilir.
2. t kaynatılan levhanın kalınlığı olmak üzere, cüruf kalıntısı veya boşluk taşıyan radyograflara ait kaynaktaki süreksizlik  $2.t/3$  boyundan uzunsa reddedilir. Farklı kalınlıktaki iki malzemenin kaynağı yapılıyorsa burada t ince malzemenin kalınlığıdır. Eğer yukarıdaki sınır içerisinde kalan birkaç düzgünsüzlük bir hat oluşturuyorsa ve  $6t$  boyunda bir kaynak dikişi içinde kalan düzgünsüzlüklerin toplamı t'yi geçmiyorsa (radyograf  $6t$ 'den küçükse kabul edilebilir toplam hata boyu da aynı oranda küçülür) veya L grup içerisindeki en uzun hatanın boyu olmak üzere en uzun hatalar arası mesafe de en az  $3L$  geliyorsa; kaynak kabul edilir. Kabul edilebilir en büyük hata büyüklüğü 19 mm ( $3/4$  inch) dir. 6 mm ( $1/4$  inch) den küçük bir hata her levha kalınlığında kabul edilir.
3. Yuvarlak hatalar, kaynakların kabul edilebilirliğinde full (%100) radyografiyi gerektirecek bir kabul-red kriteri değildir.

**d) Değerlendirme ve Yeniden Kontrol**

1. Yukarıdaki (b)(1) veya (b)(2) maddelerine göre çekilmiş bir spot radyograf (c)(1) ve (c)(2)'ye göre kabul edilebilirse, bu radyografin temsil ettiği tüm kaynak dikişi de kabul edilebilirdir.
2. (b)(1) veya (b)(2)'ye göre çekilmiş bir radyografin değerlendirme sonucu, (c) (1) veya (c)(2)'de belirtilen minimum hata sınırından büyük hatalar taşıdığı anlaşılırsa, bu kaynak ünitesinden ilk çekilen radyograftan uzak iki yeni spot radyograf çekilir. Bu ilave spot noktalarının yeri (b)(3)'de belirtildiği gibi kontrolcü veya imalatçı tarafından belirlenir.
  - (a) Eğer kontrol edilen iki ilave spot (c)(1) ve (c)(2)'ye göre kabul edilebilir sınırlar içerisindeyse, bu üç radyografin temsil ettiği kaynak dikişi kabul edilir. Üç radyograftan birincide ortaya çıkan hata tamir edilir ve tamir edilmiş bölge UW-52'nin gereksinimlerine uyacak şekilde radyografik muayeneden geçirilir.
  - (b) Çekilen iki ilave spottan, her ikisi veya birisi (c)(1) ve/veya (c)(2) belirtilen kalite seviyesinde çıkmıyorsa, bu spotların temsil ettiği tüm kaynak dikişi red edilir. İmalatçının arzusuna bağlı olarak, kaynak dikişi tamamıyla sökülüp yeniden kaynatılır veya full radyografisi çekilerek hatalar tamir edilir.



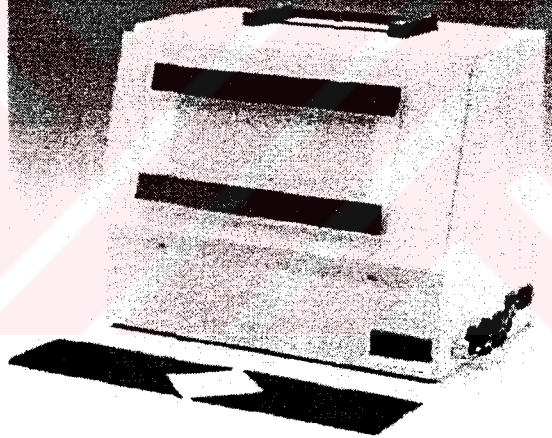
- (c) Tamirat kaynağı, kontrolcü tarafından muayene edilebilecek kalitede ve prosedüre uygun olan bir teknikle yapılır. Yeniden kaynatılan veya tamir edilen dikişlerin bir noktadan spot röntgeni çekilir ve UW-52'de belirtilen diğer şartlar yerine getirilir (ASME<sup>6</sup>, 1998).

Radyografik kontrolde uygulanacak kurallar Türk ve Avrupa Standartları tarafından da işlenmiştir. Örnek verecek olursak TS 3101'de sabit kazanların hangi bölgelerinden radyografik kontrol yapılacağı ve bunların %'leri hakkında bilgi verilmiştir.

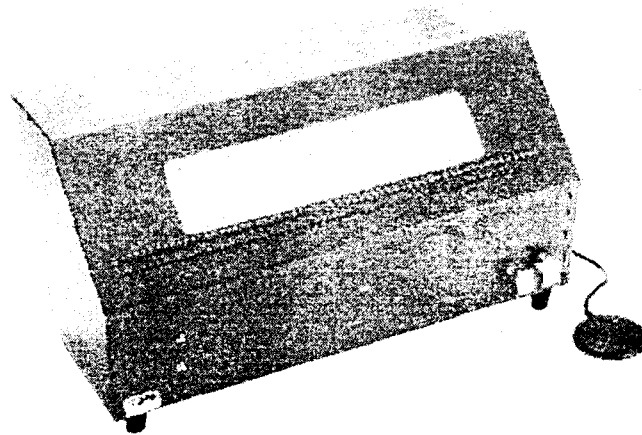
#### 4.13 Kaynak Dikişi Radyograflarının Muayenesi

##### 4.13.1 Radyografik Muayenede Kullanılan Cihazlar

Radyograflar, arkadan aydınlatılmış ve yüksek şiddetteki ışığı üniform olarak yayan bir ekran üzerinde muayene edilmelidir (Şekil 4.32). Işık şiddeti ekranın her noktasında aynıdır. Böylece fotografik yoğunluk farklarının algılanma olasılığı filmin her yerinde aynıdır.



(a) Yüksek yoğunluktaki (4D) radyografları okuma cihazı



(b) 10\*40 ve 10\*48 cm Boyutlarındaki yüksek yoğunluktaki radyografları okuma cihazı

Endüstriyel radyografi filmlerinin karakteristik eğrilerinden görülebilir ki, yoğunluk arttıkça kontrast yükselir. Dolayısıyla radyografik duyarlık, bir diğer ifadeyle daha küçük hataları algılama olasılığı artar. Radyografik duyarlık yönünden fotoğrafik yoğunluk ne kadar artarsa o kadar iyidir. Çok karartılmış film en makbuldür. Fotoğrafik yoğunluğu sınırlayan ise radyografi okuma cihazının ışık kapasitesidir. Pratikte  $D=4$  yoğunluktan daha koyu radyografları aydınlatabilecek şiddette okuma cihazı yoktur.

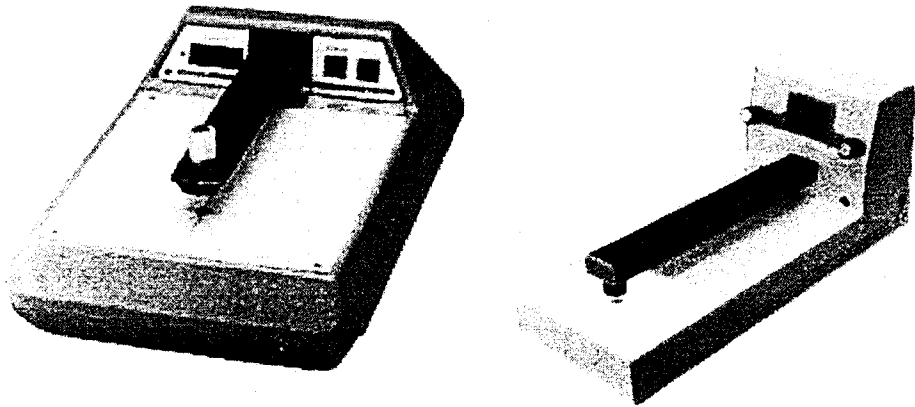
Ekranın aydınlatılmış olan kısmı filmin kenarından sızan ışıkları, film parlatmasına mani olmak için iyice maskelenmelidir. Burada ışıklı ekranın aydınlatma şiddeti ayarı iyi yapılmalıdır. Işıkla ekranın ısınarak filmleri bozmaması için hava veya diğer herhangi bir sistemle soğutulması gerekir.

Kaynak dikişinin filmi muayene edilmeye başlamadan evvel, kontrolü yapacak olan şahıs gözlerinin loş ortama alışması için uygun bir müddet yani gözün uyum süresi kadar beklemelidir. Bu süre şahıs parlak güneşten gelmiş ise 10 dakika, suni olarak aydınlatılan bir hacimden gelmiş ise 30 saniyedir.

Ayrıca, muayene işlemi için mevcut şartlar altında aşırı dikkatin ancak 20 dakika sürdürülebileceği ve bu süre sonunda 10 dakika dinlenmenin gerektiği saptanmıştır.

Radyografa 40 cm uzaktan bakılmalıdır. Sürekli çalışmada bu mesafenin korunması amacı ile alını dayayacak mesnet yapılır.

Kaynak dikişi filmi üzerinde yapılan bir başka işlemde onun kontrastının standart değerler içinde olup olmadığını kontrol etmektedir. Bu iş için ya cetvel veya dijital densitometreler (Şekil 4.33) kullanılır.



Şekil 4.33 Dijital densitometreler (www.trikontech.com)

TS 5127 EN 1435 Standardı'na göre pozlama şartları, muayene edilen alandaki radyografin en düşük optik yoğunluğu Çizelge 4.15'de verilen değerlere eşit veya büyük olacak şekilde olmalıdır.

Çizelge 4.15 Radyografların optik yoğunluğu (EN<sup>2</sup>, 2002)

Sınıf	Optik Yoğunluk <sup>1)</sup>	Sis Yoğunluğu
A	$\geq 2,0$ <sup>2)</sup>	$\leq 0,3$
B	$\geq 2,3$ <sup>3)</sup>	$\leq 0,3$

1)  $\pm 0,1$  mm'lik bir ölçme toleransına müsaade edilir.  
2) Sözleşmeye taraf olanlar arasında yapılan özel anlaşmayla 1,5'a düşürülebilir.  
3) Taraflar arasında yapılan özel anlaşmayla 2,0'ye düşürülebilir.

Değerlendirilecek radyografin yukarıda bahsedilen şartları yerine getirebilecek kalitede olduğu tespit edildikten sonra görüntünün değerlendirilmesine geçilir.

Radyograf değerlendirme bir uzmanlık işidir. Radyografiyi kontrol eden sertifikalı personel, film üzerinde mevcut herhangi bir lekenin menşeyini belirtebilmesi için iyi bir kaynak tekniğine, kaynak hataları bilgisine ve radyografi tekniğine ihtiyacı vardır. Bu nedenle büyük muayene kuruluşlarında operatörlerin çektikleri radyograflar belirli merkezlerde toplanır ve uzman personel tarafından değerlendirilirler. Bu personel gün boyunca yüzlerce radyografi değerlendirmek durumundadır. Sürekli ve değişmeyen bir dikkatle çalıştıklarını ve çok az hata yaptıklarını senelerin tecrübesi ile kanıtlamışlardır. Bu sayededir ki, değerlendirmede insan faktörü minimuma indirilebilmektedir.

Uluslar arası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) veya ASTM'nin hazırlamış olduğu referans radyograflar koleksiyonu radyografların değerlendirilmesi hususunda önemli bir kılavuz olmasına rağmen, pratikte rastlanan hatalar daima referans olarak verilen radyografiler üzerindeki gibi açık ve seçik değildir. Kaynak dikişi kontrolünde bu referanslara çok nadir olarak başvurulur. Genelde bu işe yeni başlayan kişilere yardımcı olması bakımından daha çok faydalıdır (Özden, 1981a).

#### 4.13.2 Kaynak Dikişlerinde Görülen Başlıca Hatalar ve Bu Hataların Radyograflardaki Görünüşleri

Kaynak dikişlerinin radyografik filmlerinde bulunabilecek hataların adı, şekli ve görüntüsü Çizelge 4.16'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Bulunabilecek bu hatalara göre kaynak dikişinin arz ettiği tehlikede 5 renk ile belirtilir. Burada siyah dışındaki renklerin hiçbiri kabul görmez, ancak bu hatalarda ASME 8 kabul normlarına da uyumlu olmak zorundadır. Sonraki renkler mavi, yeşil, kahverengi, kırmızı'ya doğru hata sayıları fazlalaşır (Anık, 2000).

Çizelge 4.16 Kaynak dikişi hata grubu ve şekli (Anık, 2000)

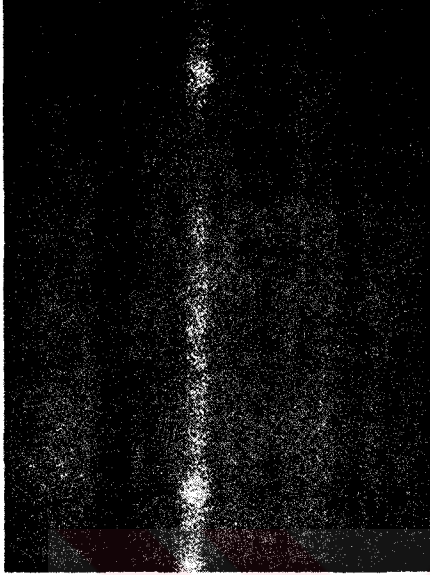
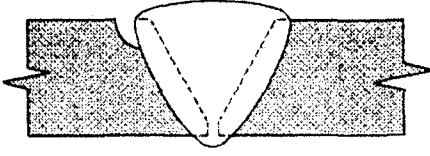
Hatanın Adı	Tanım	Radyografik Görüntü
A <i>Gaz Kalıntıları</i>	Gaz Kalıntılarının Sebep Olduğu Hatalar	Keskin siyah çevresi yuvarlak gölgeler
Aa Küresel Gözenek (Porozite)	Gaz Kalıntılarının Sebep Olduğu Gözenekler	Keskin siyah yuvarlak veya hatanın değişimine bağlı olarak uzun gölgeler
Ab Gaz Kanalcıkları	Gaz Kalıntılarının Sebep Olduğu Kanallar	
B <i>Cüruf Kalıntıları</i>	Kaynak esnasında katılaştan metal içinde hapsolmuş cüruf veya yabancı maddeler.	Koyu gölgeler veya gelişigüzel şekiller
Ba Rasgele Dağılmış Cüruf Kalıntıları	İçinde cüruf veya bir yabancı madde, ihtiva eden uzun oyuklar	Kaynak dikiş kenarına paralel kesintili koyu çizgiler
Bb Sıralı Cüruf Kalıntıları		
Bc Kaynak Dikiş Tekniği Hataları	Kaynak dikişi sırasındaki tekniğin hatalarında oluşan cüruf	Paralel, iki sıra halinde dizilmiş bozuk kenarlı koyu lekeler
Bd Malzemenin Kötü Kesilme Hatası	Şekli uygun olmayan bir keski kullanma neticesinde meydana gelmiş cüruf kalıntıları	Kaynak dikişinin dışında dış kenarı keskin iç kenarı düzgün olmayan iki paralel koyu çizgi
C <i>Birleşme Eksikliği</i>	Esas metal ve kaynak melali arasında birleşme eksikliğinin sebep olduğu iki boyutlu hata	Keskin kenarlı ince koyu çizgi
D <i>Nüfuziyet Azlığı</i>	Dikişin kökündeki erime azlığı	Kaynak dikişinin orta kısmında kesintili veya sürekli koyu çizgi
E <i>Çatlaklar</i>		
Ea Boyuna Çatlaklar	Metal içindeki kırılmaların sebep olduğu süreksizlik	Doğrusal veya doğrusal olmayan ince koyu çizgiler
Eb Enin Çatlaklar		
F <i>Yanma Oluşu</i>	Kaynak dikişi boyunca malzeme yüzünde oluşan kanal veya yiv	Kaynak dikişi boyunca geniş ve yayılan koyu çizgi

Çizelge 4.17 IIW referans radyograflarında hataların kaynak için arz ettiği tehlikeye göre sınıflandırılması (Özden, 1981a)

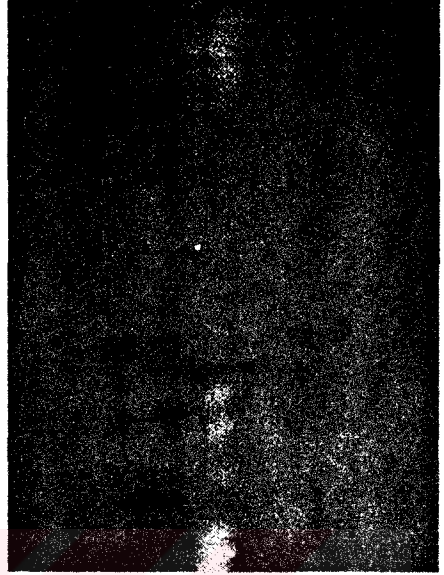
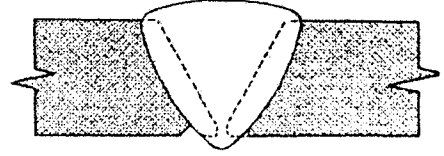
Sınıf Simgesi	Kısa Tanımı	Hata İçeriği
Siyah	Homojen kaynak dikişi	Homojen kaynak dikişi veya dağınık çok küçük birkaç gaz kabarcığı ihtiva eden sağlam kaynak dikişleri (Aa, Ab gibi)
Mavi	Çok hafif süreksizlik hataları bulunan kaynak dikişi	Çok az miktarda olmak kaydıyla, A, B ve F hatalarından birinin veya birkaçının bulunması
Yeşil	Küçük süreksizlik hataları bulunan kaynak dikişi	Az miktarda A, K, B, F, D hatalarından birinin veya birkaçının bulunması
Kahverengi	Belirli süreksizlik hataları bulunan kaynak dikişi	Az miktarda A, K, B, F, D, C hatalarından birinin veya birkaçının bulunması
Kırmızı	Büyük süreksizlik hataları bulunan kaynak dikişi	Az miktarda A, K, B, F, D, C, E hatalarından birinin veya birkaçının bulunması

Aşağıdaki şekillerde kaynak dikişlerinde görülen başlıca hataların şematik olarak gösterilişi ve radyograflardaki görüntüsü bulunmaktadır. Bu radyografları değerlendirmek şüphesiz çok iyi bir kaynak bilgisine ve endüstriyel radyografi konusunda önemli bir deneyime sahip olmayı gerektirir. Ayrıca, değerlendirmeyi yapacak personel imalatın yapıldığı ve değerlendirileceği standardın gereksinimi olan sertifika belgesi ile yetkilendirilmiş olmalıdır. Aşağıdaki kaynak hatalarının radyograflardaki görüntüsünün verilmesindeki amaç bu çalışmada şu ana kadar değinilenlerin pratik uygulamasının görülebilmesidir. Şekil 4.34 ile 4.41 arasında gösterilen hatalar yüzey hatalarıdır. Şekil 4.42 ile 4.53 arasındaki hatalar ise yüzey altı (iç) hatalardır (Davis vd., 1992).

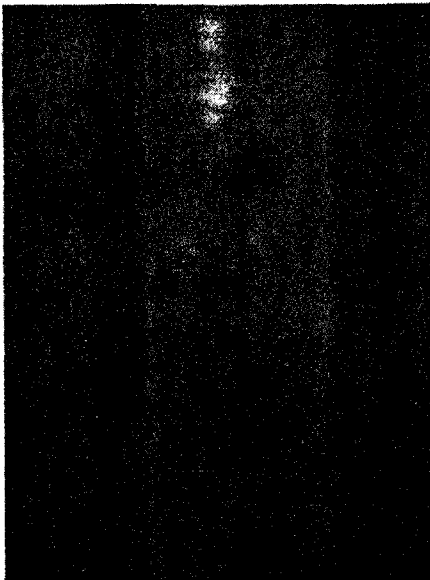
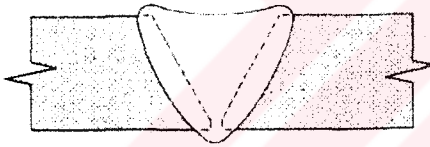




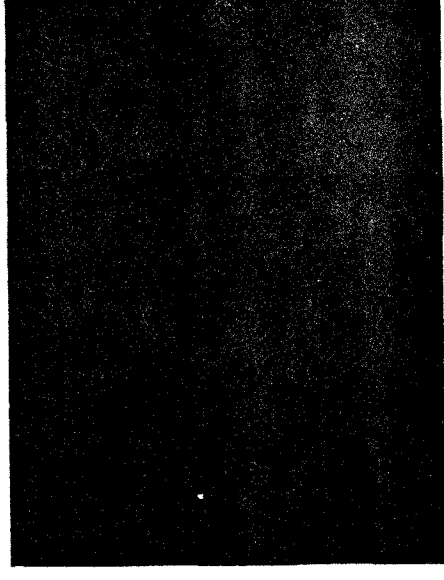
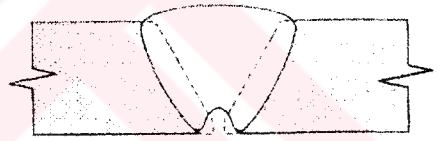
Şekil 4.34 Yanma oluğu



Şekil 4.35 Kökte oluşmuş yanma oluğu

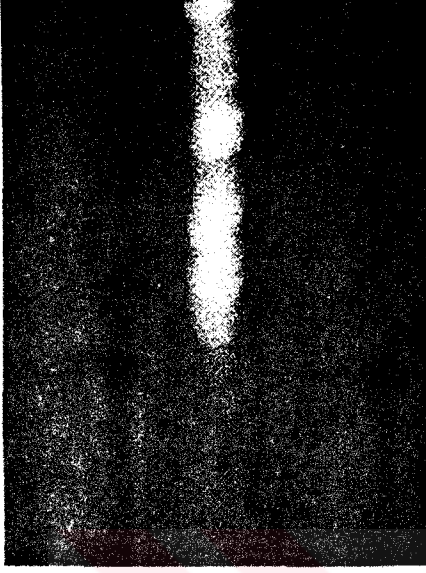
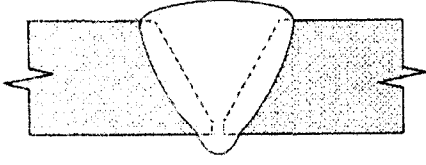


Şekil 4.36 Konkav dikiş

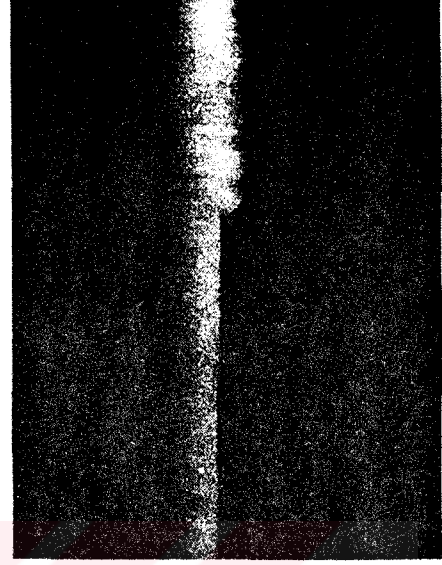
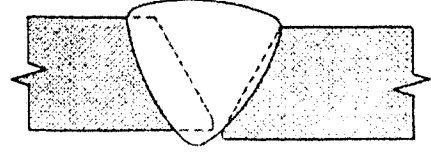


Şekil 4.37 Konkav kök

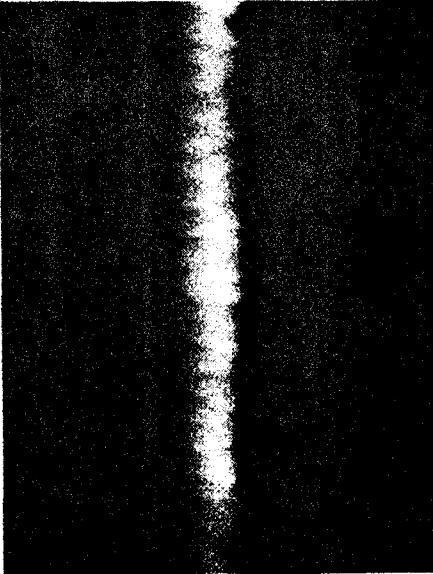
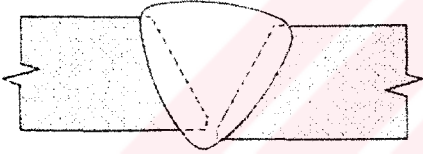




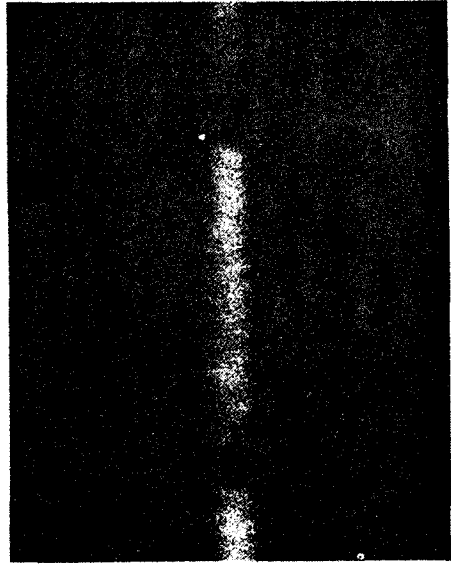
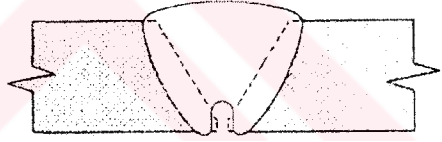
Şekil 4.38 Aşırı kök sarkması



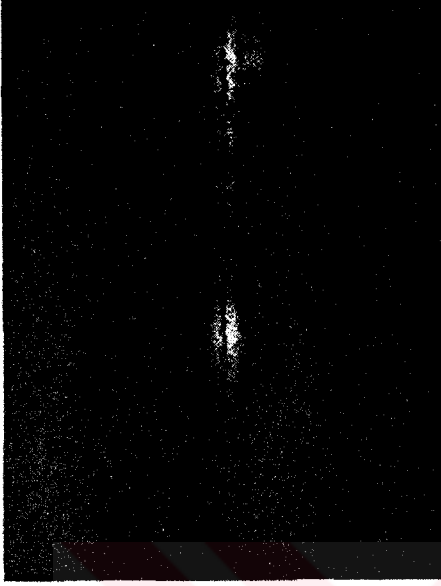
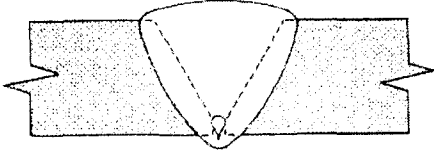
Şekil 4.39 Ağız kaçıklığı ve kökte eksik kaynama



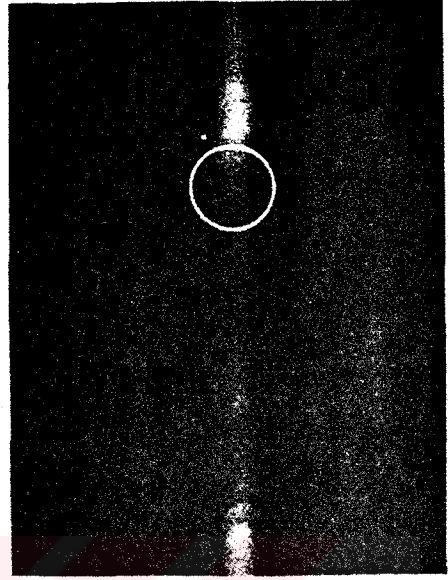
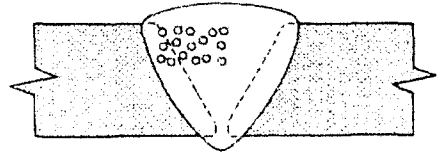
Şekil 4.40 Ağız kaçıklığı, sapma



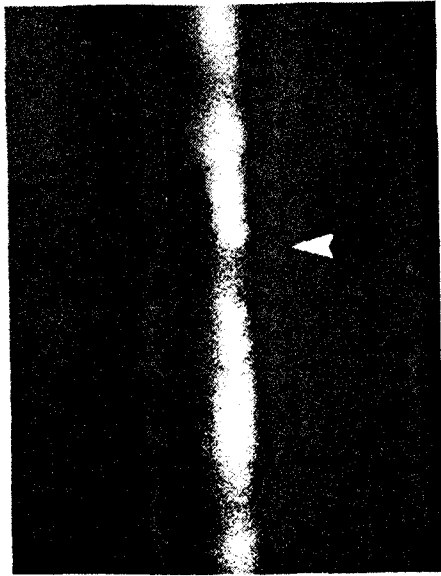
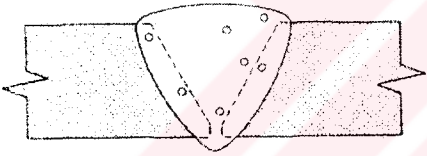
Şekil 4.41 Kükte içe doğru krater şeklinde yanma



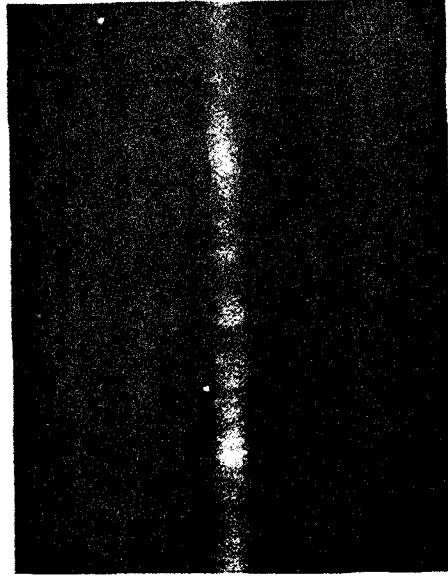
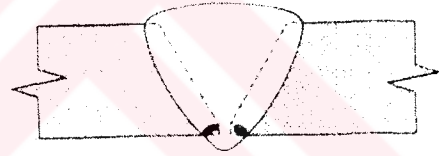
Şekil 4.42 Kök pasosu hizasında gözenek



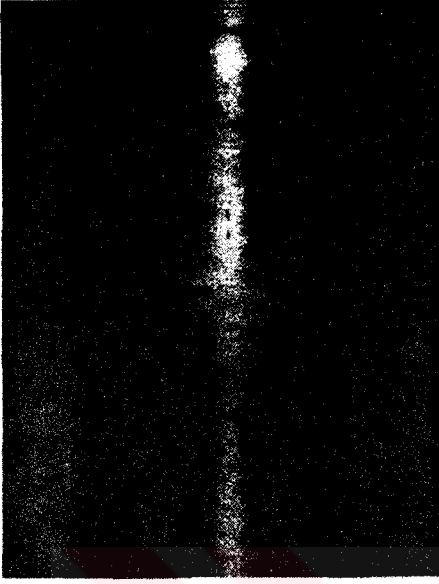
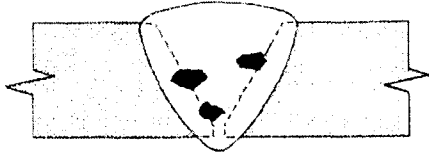
Şekil 4.43 Gözenek birikimi



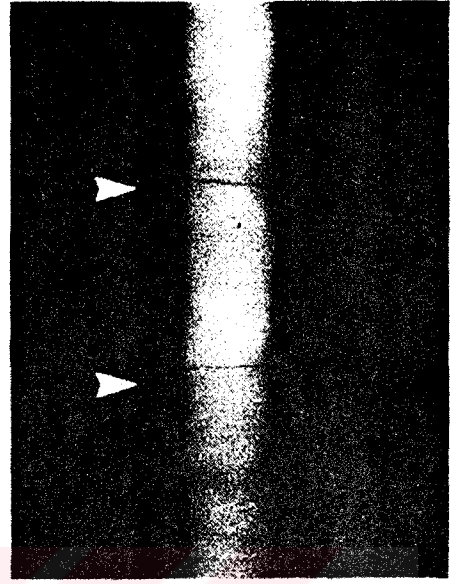
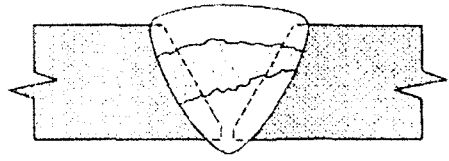
Şekil 4.44 Saçılmış gözenekler



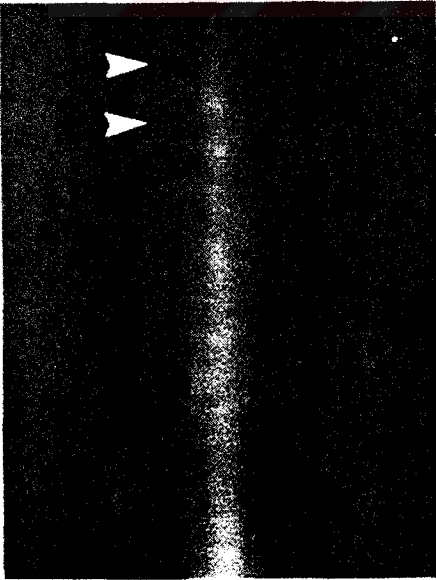
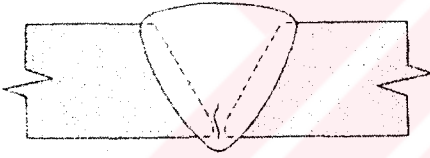
Şekil 4.45 Uzamış cüruf hattı



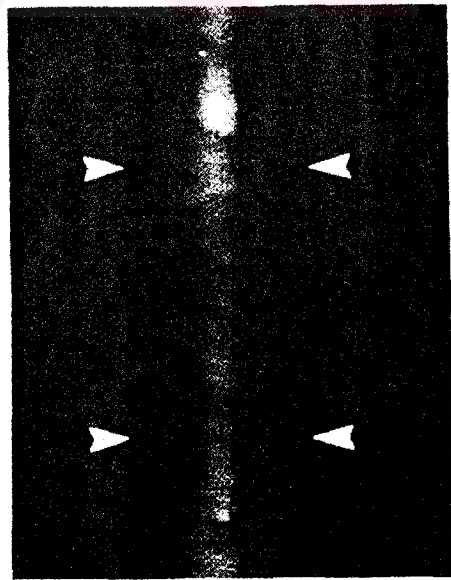
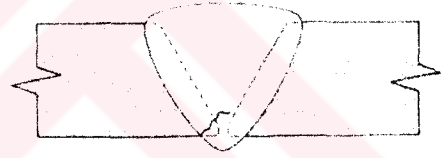
Şekil 4.46 Pasolar arası cüruf kalıntısı



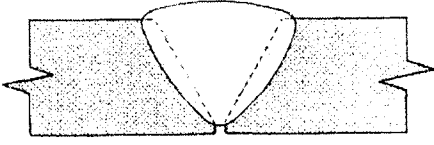
Şekil 4.47 Çaprazlama çatlak



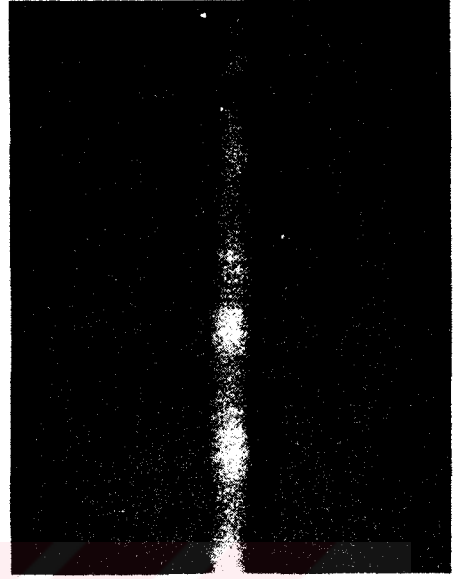
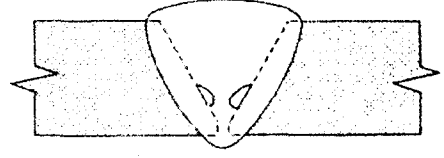
Şekil 4.48 Boyuna çatlak



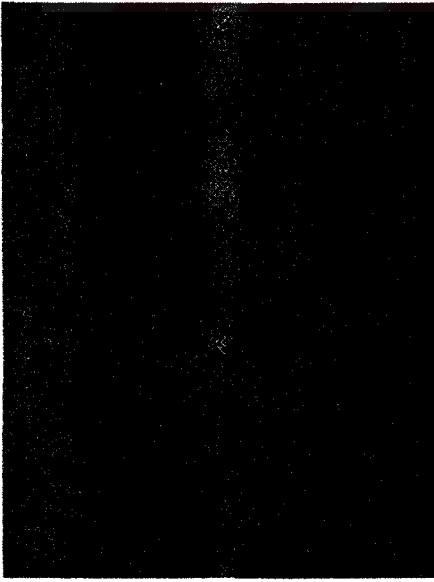
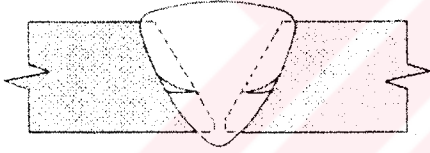
Şekil 4.49 Kökte boyuna çatlak



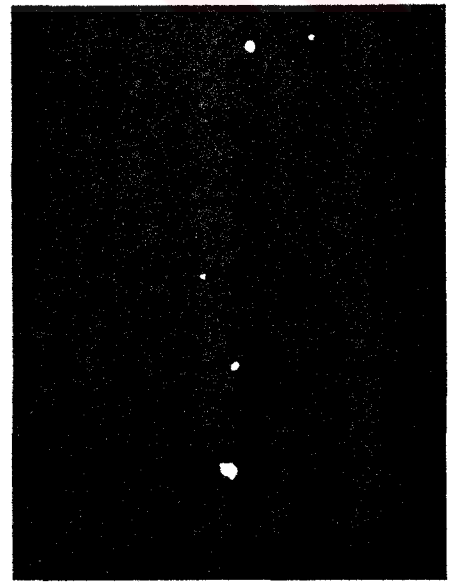
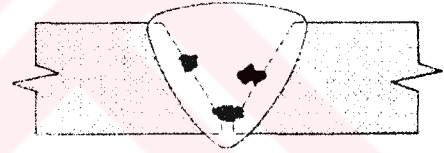
Şekil 4.50 Yetersiz nüfuziyet



Şekil 4.51 Yan duvarda birleşme hatası



Şekil 4.52 Pasolar arası soğuk birleşme hatası



Şekil 4.53 Tungsten kalıntısı

#### 4.14 Kaynak Dikişleri için Radyografik Muayene Raporunun Hazırlanması (TS 5127 EN 1435)

Kaynak dikiş radyografları üzerindeki görüntülerden hatalar teşhis edildikten sonra bir rapor hazırlanması gerekir. Her bir pozlama veya pozlama grubu için muayene raporu, mümkün olduğu kadar kısa fakat okuyana, hatalar hakkında tam bir fikir vererek yeniden radyografiye başvurulmasına gerek bırakmayacak kadar açık olmalıdır. Muayene raporu en az aşağıdaki bilgileri ihtiva etmelidir:

- a) Muayene kuruluşunun adı,
- b) Cisim,
- c) Malzeme,
- d) Isıl işlem,
- e) Kaynak dikişinin geometrisi,
- f) Malzeme kalınlığı,
- g) Kaynak işlemi,
- h) Kabul şartları dâhil, muayene özellikleri,
- i) Radyografi tekniği ve sınıfı, bu standarda göre gerekli IQI hassasiyeti,
- j) Kullanılan işaretleme sistemi,
- k) Film konum plânı,
- l) Radyasyon kaynağı, odak noktasının tip ve boyutu ile kullanılan teçhizatın tanıtımı,
- m) Film, ekranlar ve filtreler,
- n) Kullanılan tüp gerilimi ve akımı veya kaynağın aktivitesi,
- o) Poz süresi ve kaynak film mesafesi,
- p) Banyo işlem tekniği: elle/otomatik,
- q) Görüntü kalite göstergelerinin tipi ve konumu,
- r) Film yoğunluğu, IQI okuma verileri dâhil olmak üzere muayene sonuçları,
- s) Özel anlaşmayla bu standarttan herhangi bir sapmanın olup olmadığı,

- t) Sorumlu kişinin/kişilerin adı ve belge durumu,
- u) Pozlama ve muayene rapor tarihi/tarihleri.

#### 4.15 Radyasyondan Korunma

İnsan vücudunun x veya gama ışınlarının tesirine maruz kalması sonucunda, fizyolojik bozukluklar meydana geldiğinden, uygun bir ışınımından korunma donanımının kullanılması gerekir. Bu donanımların en önemli gayesi, radyasyon kaynaklarını kullanan veya kaynakların ışınım sahası içinde bulunanları her türlü direkt ve endirekt ışınımları absorbe ederek korumaktır.

##### 4.15.1 Biyolojik Doz ve Birimi

Radyasyon içinden geçtiği maddesel ortam tarafından soğurular ve bu yüzden ortamın enerjisi yükselir. Radyasyonun ortam tarafından soğurulan miktarına “doz” denir ve ortamın enerjisindeki yükselme ile ölçülür. Radyasyonun soğurulması gerek radyasyonun cinsine ve gerekse ortamın cinsine bağlıdır. Örneğin 1 röntgen şiddetinde elektromagnetik radyasyona maruz kalmış 1 gr hava 87.7 erg, 1 gr canlı doku (yumuşak doku) ise 93 erg enerji soğurur. Canlı doku tarafından soğurulan radyasyon miktarına biyolojik doz adı verilir ve “Rem” (Roentgen Equivalent Man) ile ölçülür. 1 Rem, canlı dokuya 100 erg enerji aşıl原因 radyasyon dozudur. 1 MiliRem (mRem), çok kullanılan bir birimdir ve Rem'in binde biridir.

##### 4.15.2 Radyasyonun Biyolojik Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyon canlı hücrede değişimlere sebep olur. Bu değişimler genellikle hücrenin normal fonksiyonunu bozan yönde olduğundan sağlık için zararlıdır. Hücredeki etkilerin başlangıcı, hücre içinde meydana gelen iyonlaşmadır. İyonlar protein moleküllerinin parçalanması, hidrojen peroksit teşekkülü, enzimlerin deaktivasyonu ve benzeri kimyasal değişimleri başlatır. Bu değişimlerin hücre faaliyetleri üzerinde ilk gözlenebilen sonucu hücre bölünmesinin yavaşlaması ve hatta durmasıdır.

Radyasyonun etkisi bütün organlar üzerinde aynı değildir. Genel bir kaide olarak hayatıyeti (üremesi) fazla hücreler radyasyondan daha çok etkilenir. Kobalt veya radyum kaynaklarından alınan gamma radyasyonunun kanser tedavisinde kullanılması da aynı prensibe dayanır. Tümörler civardaki sağlıklı dokulara oranla hızlı bir üreme içindedirler, o bölgeye radyasyon tutulduğunda sağlıklı hücreler zarar görür. Tedavi bölgesinde cildin renk değiştirmesi, saç dökülmesi, kansızlık sağlam dokulara verilen zararın belirtileridir. Fakat bu arada tümör hücreleri daha çabuk tahrip olur.



Yüksek radyasyon dozlarının canlılarda meydana getirebileceği zararlar aşağıda incelenmiştir. Yüksek radyasyon dozuna maruz kalmış bireyde görülebilecek rahatsızlıklar şunlardır:

- i. Kan ve kan yapan organlarda tahribat (anemi, lösemi)
- ii. Kısırlık
- iii. Gözde Katarak
- iv. Ciltte Yaralar
- v. Kanser ve sarkom gibi kötü tümörler
- vi. Doğal ömrün kısalması
- vii. Ölüm

Tehlikeli doz aniden ve bir defada alınmış ise belirtileri en geç bir hafta içinde ortaya çıkar. Şayet seneler boyu alınan dozlar tehlikeli miktarlara varan birikimler yapmış ise bunun belirtilerinin ortaya çıkması yine uzun seneler gecikebilir. Gecikmiş etkilerin kanser ve sarkom şeklinde belirmesi olasılığı büyüktür.

Bu nedenlerden dolayı sürekli olarak x ve gama ışınlarına maruz şahıslar, ışınımın vücutlarında meydana getirdiği etkilerin tespiti bakımından periyodik tıbbi muayeneye ve kan sayımına tabi tutulmalıdırlar.

#### 4.15.3 Güvenli Dozlar

Bir yıl içersinde güvenle alınabilecek toplam dozun üst sınırı radyasyon görevlileri için 5 Rem/yıl ve diğer insanlar için 0.5 Rem/yıl'dır. Günümüz biliminin ışığında bu sınırları aşmayan radyasyon dozlarının vücudun öz korunma gücünün güvenli derecede altında kaldığına ve dolayısıyla sağlık için sakıncalı olmadığına inanılmaktadır. Yukarıdaki bilgilere göre:

$$\text{Haftalık güvenli doz} \quad 5000/50 = 100 \text{ mRem}$$

$$\text{Günlük güvenli doz} \quad 100/5 = 20 \text{ mRem}$$

$$\text{Saatlik güvenli doz} \quad 20/8 = 2.5 \text{ mRem}$$

Buna göre bir radyasyon operatörü 2,5 mRem elektromanyetik radyasyon seviyesinde günde 8 saat haftada 5 gün ve yılda 50 hafta hesabıyla hayat boyu sürekli çalışabilir.

Yıllık toplam doz sürekli çalışmanın birikimi olabileceği gibi herhangi bir nedenle (tamir, bakım, kaza vb.) sadece birkaç seferde de alınabilir. Ancak ani radyasyon şoklarına karşılık başka bir sınırdan getirilmiştir. 3 ay zarfında alınan dozun 3 Rem'i geçmemesi şartı konulmuştur. Şayet birisi bu miktarı bir defada almış ise 3 ay süre içinde radyasyon ile temasa geçmemesi gerekir.

Işınım şiddeti, radyasyon kaynağı ile aradaki mesafenin karesi ile ters orantılıdır. Burada basit korunma usullerinden bir tanesinin radyasyon kaynağında uygun bir uzaklıkta bulunmak olduğu ortaya çıkmaktadır. Işınlama maruz kalmış şahsın almış olduğu doz miktarı şahsın o sahada kaldığı sürenin oradaki doz ile çarpılması sonucu elde edilir.

#### 4.15.4 Kişisel Radyasyon Dozlarının Ölçülmesi

Kişisel radyasyon dozlarının ölçülmesi, personelin çalışma süresince üzerinde taşıdıkları radyasyon algılayan aygıtlar vasıtasıyla yapılır. Bunlar genellikle basit yapılı, küçük cihazlardır. Başlıcaları şunlardır.

- i. Film dozimetreleri
- ii. Cep dozimetreleri (Şekil 4.54)
- iii. Cep iyonizasyon odaları

Film dozimetresi bir muhafaza içinde filmi ve filtrelerini kapsar. Film bu iş için özel yapılmış bir röntgen filmi, filtreler kurşundan veya kadmiyumdan ince plakalardır. Cepte taşımak veya yakaya takmak üzere hazırlanmıştır. Belirli sürelerde film çıkarılır, standart şartlar altında banyo edilir, okunan fotoğrafik yoğunluktan filmde biriken radyasyon dozu hesap edilir. Film dozimetresinin önemi alınan kişisel radyasyon dozu hakkında güvenilir bir kayıt olmasıdır. Dolayısıyla yalnız bir kişiye ait olmalıdır. Film dozimetresinin temini ve filmi okuma işleri, bir koruyucu sağlık hizmeti olarak, Türkiye'de Atom Enerjisi Komisyonu tarafından ücretsiz olarak sürdürülür.

Cep dozimetresi ve cep iyonizasyon odası dış görünüş itibariyle birbirine benzer. Her ikisi de dolma kalem büyüklüğünde ve görünüşündedirler. Fakat aralarında gerek kullanım yönünden ve gerekse yapısal yönden fark vardır.

- i. Cep iyonizasyon odasını doğrudan okumak mümkündür. Yani çalışma sırasında operatör her an ve her yerde aldığı dozu bununla kontrol edebilir. Hâlbuki cep dozimetresi ancak özel şarj aleti yardımıyla okunur (Şekil 4.55).

- ii. Cep iyonizasyon odası narindir, küçük bir sarsıntı ile (masanın üzerine sertçe konması, onu takan kişinin birkaç basamak yukardan başlamasına neden olur) göstergesi oynar. "Dolayısıyla fabrika ve şantiye şartlarında güvenilir bir alet değildir.
- iii. Cep iyonizasyon odası elektroskop prensibi ile cep dozimetresi kondenser prensibi ile çalışır. Her ikisi de özel aleti ile önceden şarj edilir. Tam şarjda iken gösterge sıfırdadır.

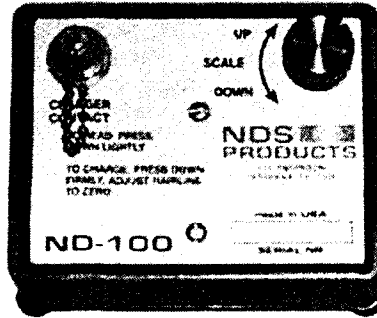


(a) Klasik dozimetre



(b) Dijital dozimetre

Şekil 4.54 Cep dozimetreleri (www.tedndt.com)

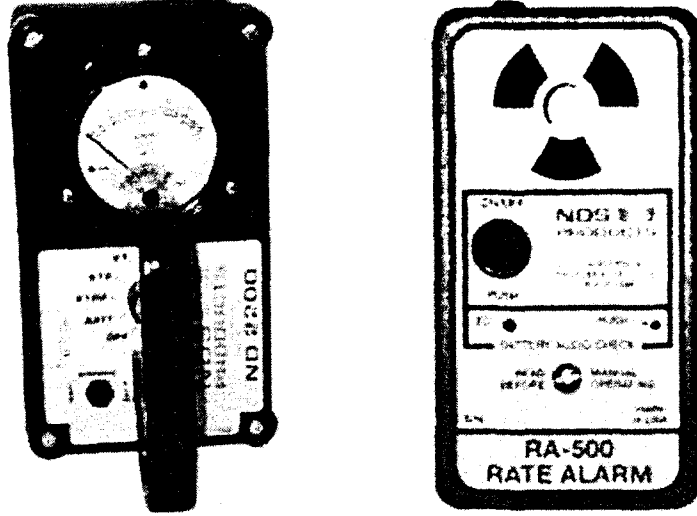


Şekil 4.55 Cep dozimetresi şarj aleti (www.tedndt.com)

#### 4.15.5 Radyasyon Alanlarının Ölçülmesi

Radyasyon alanlarının ölçülmesine yarayan cihazlara surveymeter (Şekil 4.56a) veya ratemeter (Şekil 4.56b) isimleri verilir. Bunlar elle taşınabilir şekilde düzenlenmiş, pille çalışan esasta birer gazlı detektördürler. Başlıca iki tipi vardır; bunlar iyonizasyon odası ve Geiger-Müller sayaçlarıdır. İyonizasyon odaları radyasyon şiddetlerini  $\pm$  %15 kesinlikle ölçebilirler. Düşük radyasyon şiddetlerinde ulaşabildikleri kesinlik daha kötüdür. Geiger-

Müller sayacında durum tam tersinedir. Yüksek gaz amplifikasyonu nedeniyle düşük radyasyon şiddetlerine büyük duyarlık gösterirler.  $\pm$  %15 ölçme kesinliğine bunlar da sahiptirler. Ancak yüksek radyasyon alanlarında verebilecekleri kesinlik daha kötüdür.



(a) Surveymeter

(b) Ratemeter

Şekil 4.56 Radyasyon alanlarının ölçülmesinde kullanılan ekipmanlar (www.tedndt.com)

Genellikle düşük radyasyon şiddetlerinin söz konusu olduğu kaynak dikişi gibi radyografik uygulamalarda genelde Geiger-Müller tipi Ratemeter'lar tercih olunur.

Radyasyon alanlarının ölçülmesinde kullanılan ratemetrelerden büyük kullanım alanı bulanı ikazlı ratemetreler olup, bunlar doz tehlikeli seviyeye ulaştığında sinyal veya ışık ikazı ile haber verirler. Bu cihazların bir faydası da tesadüfen radyasyon alanına giren kişileri de uyarması ve bir ölçüm yapmadan tehlikeli dozun derhal bildirilmesidir (Özden, 1981a).



Şekil 4.57 Bölgesel radyasyona karşı ışıklı ve sesli uyarı cihazı (www.tedndt.com)

#### 4.16 Radyografik Muayene Yönteminin Üstünlükleri ve Eksiklikleri

##### *Üstünlükleri*

- Hemen hemen tüm katı malzemelere uygulanabilir. Fakat en düşük ve en yüksek yoğunluklu malzeme bazen güçlük çıkarabilir.
- Elde kalıcı bir kayıt bırakır.
- Hatanın büyüklüğü ve derinliğini (farklı pozlama teknikleri kullanarak) saptama olanağı vardır.
- Hatanın yapısı hakkında bilgi sağlanabilir.
- Parçayı sökmeden muayene olanağı vardır.

##### *Eksiklikleri*

- Deney süresi uzun ve otomasyona uygun değildir.
- Radyasyon kaynağının ve pozlama açılarının seçilmesi için uzman personel gereklidir.
- Parça kalınlığının % 1'inden az olan kalınlık değişmelerine duyarsızdır.
- Absorbsiyon karakteristikleri ana malzemeye yakın kalıntılar için duyarlılık yetersizdir.
- Pozlama doğrultusundaki çok ince çatlakların saptanması olanaksızdır.
- Işınım demeti yolu üzerindeki her şeyin görüntüleri üst üste biner.
- Sonuçların yorumlanması uzman personel gerektirir.
- Işınlardan sağlığa zararlı oluşu güvenlik tedbirlerinin sıkı tutulmasını ve korunmayı gerektirir.
- Genel olarak köşe kaynaklarının muayenesi için uygun değildir (Hayes, 1997; Uztuğ, 1984).

## 5. ULTRASONİK MUAYENE YÖNTEMİ

### 5.1 Ultrasonik Muayenenin Tanımı ve Temel Nitelikleri

Günümüzde kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem de ultrasonik muayene yöntemidir. Ultrason, işitilmeyen ses demektir. Dalga boyu itibariyle kulağımızın duyarlığı dışında kalan seslere de ultrason ismi verilmektedir. İnsan kulağı 16 Hz ile 20000 Hz (20 KHz) arasındaki frekanslara duyarlıdır. Kulak bu sınırların dışında kalan frekansları algılayamaz. İşte bu yüzden 20 KHz frekansın üstündeki seslere ultrason (ses ötesi) adı verilmiştir. Ultrason aynen ses gibi bir titreşim hareketidir.

Ultrasonik muayene yöntemi, özellikle radyografik muayenenin yapılamayacağı et kalınlığının fazla olduğu veya net bir bilgi edinilemeyecek durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin avantajı, kaynak dikişlerindeki hatanın yüksek hassasiyetle ve konumunun tam olarak tespit edilebilmesidir. Ayrıca radyografik muayene yöntemiyle koordinatları hassas bir şekilde tespit edilemeyen dikiş yüzeyine dik hatalar, ultrasonik muayene yöntemiyle bir kaç mm hassasiyetle tespit edilebilmektedir. Ancak bu başarının sırrı birinci derecede çok iyi yetişmiş operatöre bağlıdır.

Ultrasonik dalgalar, malzeme içerisine prob adı verilen transducer tarafından uygun bir akustik ortam (genellikle yağ veya su) (Çizelge 5.1) içerisinden geçerek malzemeye iletilir. Benzer bir prob veya genellikle aynı prob, yansıyan ultrasonik dalgalar için bir alıcı gibi davranır.

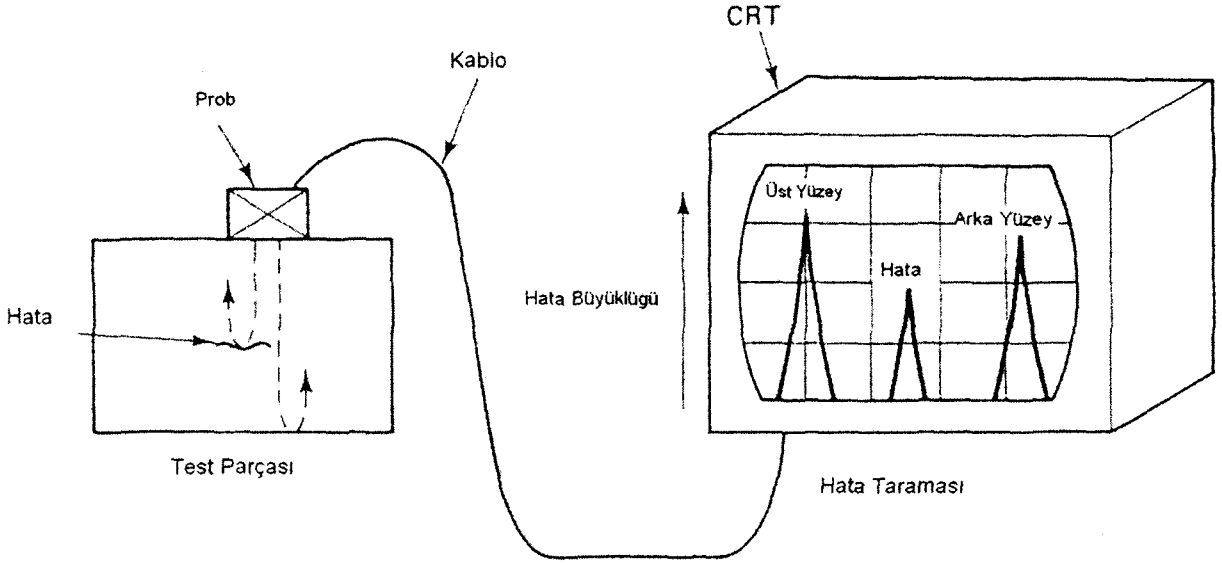
Malzeme içindeki süreksizlikler ( hatalar ) ultrasonik enerjiyi yolundan saptıran engellerdir. Bunlara çarpan ultrasonik dalgalar yansıyıp geri döner ve bu şekilde ekran üzerinde uygulanan ve yansıyan titreşimleri gösteren iki dalga (pik) arasında üçüncü bir dalga da görülür. Bu şekilde parça içinde bir süreksizliğin varlığı görülmüş olur (Şekil 5.1).

İki dalga (darbe-pik) arasında görülen bu yansıma dalgasının analizi ile gidiş-dönüş süresinden hatanın yüzeyden uzaklığı ve yankının şiddetinden hatanın büyüklüğü belirlenebilir (Özden, 1981b; Commision V, 1982).

### 5.2 Ultrasonik Muayene ile Kaynak Dikişinde Algılanabilen Hatalar

Ultrasonik muayene ile kaynak dikişlerinde olabilecek çeşitli şekil ve yönlerde cüruf kalıntıları, gözenekler ve gözenek kanalları, birleşme hataları, nüfuziyetsizlik, boylamasına ve enlemesine çatlaklar ve gaz kanalları tespit edilebilir.



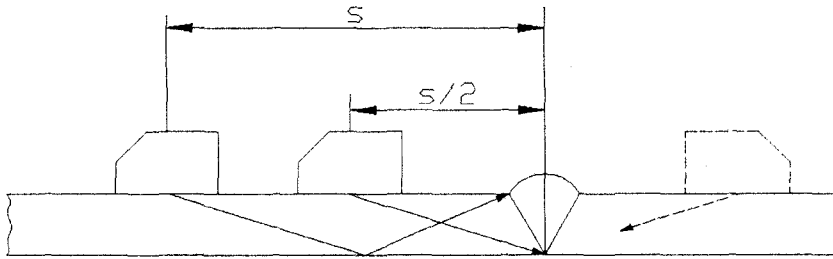


Şekil 5.1 Ultrasonik muayene yönteminin prensibi (Stinchcomb, 1989)

Ultrasonik muayene için çıkarılan muayene planları alın ve köşe kaynaklarında olmak üzere ikiye ayrılır.

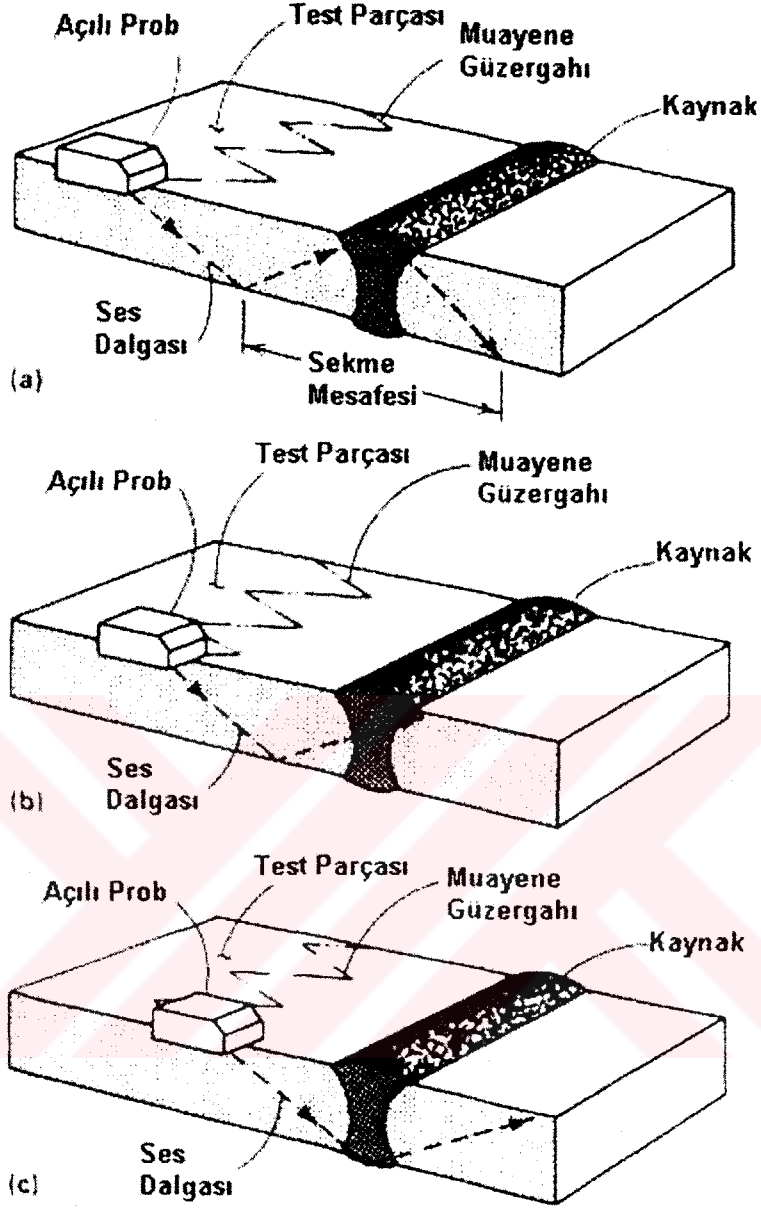
### 5.3 Alın Kaynaklarında Ultrasonik Kontrol

Özellikle boruların ve plakaların alın kaynaklarında, plakanın iki yüzeyinden yansırarak devam eden zig-zag dalgaların kullanıldığı "Pulse-Eko" yöntemi esas olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 5.3). Geniş bir dalga, yüksekliği az olan bir dikişi, bir geçişte tarayacaktır. Daha kalın saçlarda kesitin tamamını tarayabilmek için probu kaynak dikişine dik olarak hareket ettirmek gerekmektedir. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi probu  $s/2$  uzaklığından  $s$  uzaklığına hareket ettirmek dikişin tamamını tarayabilmek için gereklidir.



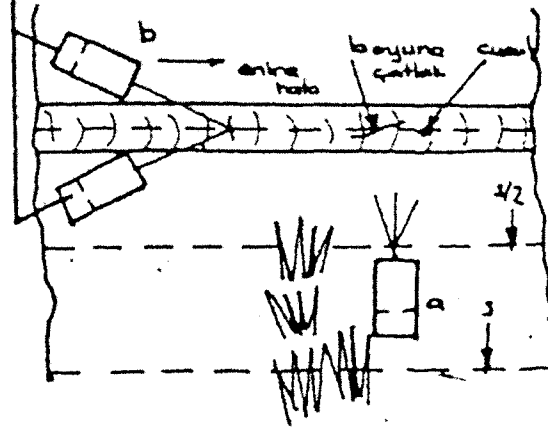
Şekil 5.2 Alın kaynaklarının ultrasonik yöntemle muayenesi (Mançuhan ve Gülşan, 1983)

15 mm'ye kadar ince kaynak dikişlerinde daha geniş bir dalga ile daha uzaktan dikişler tarandığı takdirde probun ileri-geri hareketine gerek kalmaz. Bu yöntem otomatik olarak yapılan kaynakların sürekli kontrolünde kullanılır.



Şekil 5.3 Kaynak dikişlerinin açılı problemlerle muayenesi (Davis vd., 1992)

Şekil 5.4'a'da gösterildiği gibi  $s/2$ 'den  $s$ 'e yapılan ileri-geri hareketler kaynak dikişi boyunca zig-zag hareketler şeklinde yapıldığı takdirde az eğimli hatalar bile belirlenebilir. Eğer kaynak dikişinde dik (enine) çatlaklardan şüphe ediliyorsa Şekil 5.4b'de gösterilen yöntem uygulanmalıdır. Bu yöntemde iki adet açılı prob ortak bir tutucuya bağlanıp kaynak boyunca hareket ettirilmektedir. Kaynak yöntemi veya istenilen kaynak çeşidinin sonucu olarak dik (enine) çatlaklar dikişin belirli bir bölgesinde oluşuyor ise prob eksenleri belirli bir derinlikte birleşecek şekilde ayarlanabilir. Dikişin tüm kesitinin taranması için problemlerin değişik konumlarda tekrar tekrar yerleştirilmesi gerekecektir, bu ise oldukça zahmetli bir işlemdir. İnce saclarda dikişin tüm kesitinin daha uzaktan bir kerede taranması uygundur.



Şekil 5.4 Ultrasonik muayenede prob hareketleri (Mançuhan ve Gülşan, 1983)

Hata ekoları en güvenilir olarak, prob hareket ettirilirken ekranda elde edilebildikleri takdirde bulunabilirler. Eğer prob hareketsiz ise prob ile yüzey arasında değme azlığı ya da dalga gönderme açısının istenmeyen bir derecede olması istenen sonucu vermeyebilir. Hareket halinde iken hata ekosunun ekrana geldiği konumda probun hareketi, hatanın yerini ve derinliğini belirleyen maksimum eko alınca kadar yavaşlatılır. Gözle izleme sistemine alarm sistemi de ilave edilebilir. Alarm sistemi, eko yüksekliği istenmeyen değere geldiğinde zil çalarak veya lamba yanarak alarm verir.

Eğer kaynak dikişlerinde geniş ve düz çatlak yüzeyler veya plakanın yüzeyine dik bağlantı hataları varsa tek proba yapılan testler yeteri kadar güvenilir olmaz. Yansıyan dalga gelen ses dalgasının yönünden ayrıldığı için ancak ikinci bir proba tespit edilebilir. Bu prob sesi gönderen probdan belirli bir uzaklığa yerleştirilmelidir. Bu uzaklık plakanın kalınlığına ve aranılan hataların derinliğine bağlıdır. Bu yöntem ikili (tandam) yöntem adı verilir ve daha çok kalın cidarlı tankların (özellikle nükleer santrallerin) kaynak testinde uygulanır. Bu yöntemin el ile ekonomik olarak uygulanabilmesi için her iki probun birbirine uygun bir elemanla bağlanması ve ayarlamının bu elemana göre yapılması, problemlerin dikişe göre uygun açılarla yerleştirilmesi bakımından önemlidir.

Paslanmış veya boyanmış kaynak dikişlerinin kontrol edilebilmesi için, kontrol edilecek yüzeyin taşlanması ya da kumlanması gerekmektedir. Yeni kaynatılmış ya da az paslanmış plakalarda oluşmuş ince pas ve kaynak sıçramaları spatula vb. bir aletle kaldırılabilir. Proba yüzeyin tam birleşmesini sağlamak için yatay yüzeylerde su, dik ve tavan dikiş kontrollerinde yağ kullanılabilir. Bugüne kadar en iyi ve her pozisyonda sürekli birleşmeyi sağlayan akan su olmuştur. Daha çabuk test yapılabilmesi ve yüzeyin su ile kaplanması zamanlarının en aza indirilmesi bu yöntemin değerini arttırmaktadır.

Ultrasonik muayenede kullanılacak yağ yüzey pürüzlüğüne göre değişecektir, bu değişiklik ASTM E 164 Standardı'nda şu şekilde önerilmiştir:

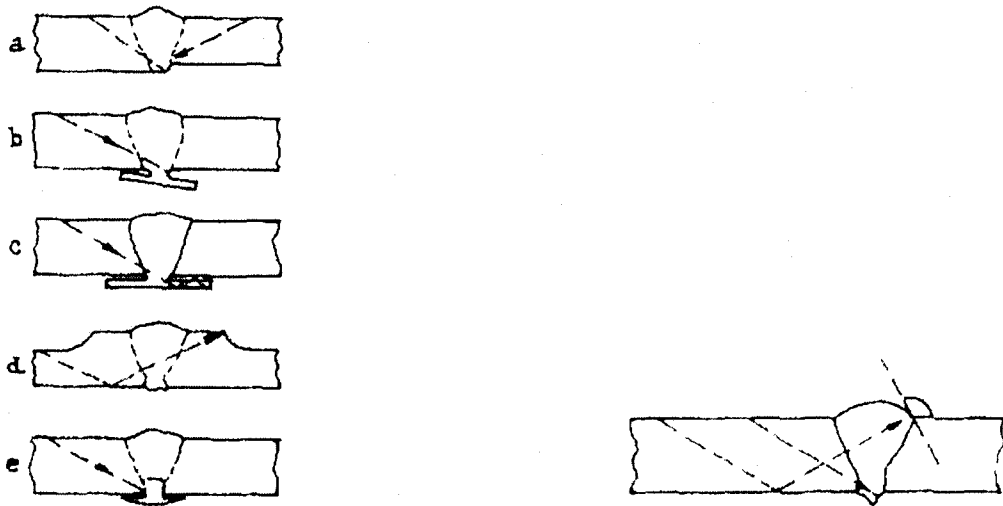
Çizelge 5.1 Akustik ortam için gerekli viskoziteler (ASTM<sup>2</sup>, 2003)

Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$	Kullanılacak Yağ
0.1-2.5	SAE 10 Motor Yağı
1-5	SAE 20 Motor Yağı
2-15	Gliserin
2.5-20	SAE 30 Motor Yağı
6-17	SAE 40 Motor Yağı
>17	Gres Yağı

#### 5.4 Kaynak Dikişi Kalınlığı ve Kaynak Tipine Göre Ses Dalgası Gönderme Açısı ve Muayene Teknikleri

Kaynak dikişinin sırt şekli yansıyan dalgaları bozduğu için özellikle gönderme açısı çok küçük seçilmiş ise kaynak muayenesini etkiler (Şekil 5.5b). Kaynak dikiş kalınlıkları ve kaynak tipine göre tavsiye edilen prob açıları ve muayene teknikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Muayene teknikleri ile ilgili şematik resimler ise Şekil 5.7 – 5.21'de verilmiştir.

Eğer dikişin birleşim yeri ve kökü gibi incelenmesi güç bölgeler gözle incelenebilirse veya hatanın varlığından şüphe edilen yerler aşağıda anlatılan yöntemlerle incelenebilirse, dikişte oluşan karıştırıcı dalgalar kabul edilebilir düzeye indirilecektir.



(a) Kaynak altlığı kullanıldığında (b) Dikiş sırtının dikliği ve kökteki akmalar sebebiyle

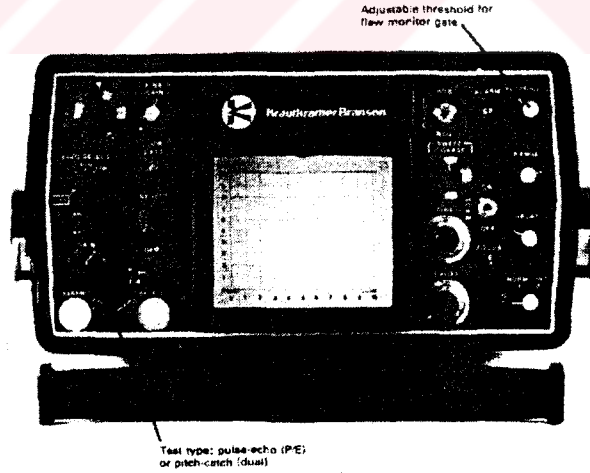
Şekil 5.5 Karıştırıcı ekoların elde edilmesi (Mançuhan ve Gülşan, 1983)

Bir V dikişinin kökünden gelen eko sadece bir taraftan elde edilirse, ya plakalar aynı düzlemde kaynatılmamıştır ya da plakalar aynı kalınlıkta değildir (Şekil 5.5.a.a). İnce plaka tarafından test yapıldığı takdirde kökten gelen karıştırıcı ekolar kaybolur.

Şekil 5.5a'nın b,c,e şıklarında görüldüğü gibi kaynak altlığı kullanıldığı durumlarda, karıştırıcı ekolar elde edilebilir. Bu durum sadece kaynak dikişinin yapısının ve şeklinin tam olarak bilindiği durumlar için geçerlidir.

Ultrasonik muayene işleminde 1–12 MHz arasındaki frekanslar kullanılabilir. Fakat genellikle test frekansı 2–2,5 MHz olarak seçilir. Daha hassas inceleme yapmak istenildiğinde daha küçük problemlerle 4–6 MHz test frekansı da kullanılır. Bu problar küçük temas yüzeyine rağmen 100 mm uzaklığa kadar dar bir dalga gönderilebilir. Bu problar dikişe daha yakın yerleştirilebildiği için birçok hata daha güvenilir ve kesin olarak doğrusal ses dalgaları ile belirlenebilir. Çapları 100 mm'den az, cidar kalınlığı 5 mm ve daha fazla olan boruların kaynak dikiş birleştirmelerinde başarıyla kullanılır. 4–6 MHz'lik bu problar daha çok boydan boya veya spiral olarak kaynatılmış geniş çaplı boruların otomatik kontrolünde kullanılır.

3 mm kalınlığında kaynaklı malzemelerin ne eko, ne de ses taşıma yöntemi ile testi olanaksızdır (Mançuhan ve Gülşan, 1983).



Şekil 5.6 Tipik darbe-yankı metodu ile ultrasonik muayene ekipmanı (Davis vd., 1992)

Çizelge 5.2 Kaynaklı konstrüksiyonlar için tavsiye edilen prosedürler (ASTM<sup>2</sup>, 2003)

Kaynak Tipi	Kaynak Kalınlığı									
	½ inch' den az		½ – 1½ inch		1 ½ – 2 ½ inch		2 ½ – 5 inch		5 – 8 inch	
	13 mm'den az		13mm–38 mm		38 mm–56 mm		56 mm–13 mm		13 mm–200 mm	
	Öncelikli	Üst ¼	Öncelikli	Üst ¼	Öncelikli	Üst ¼	Öncelikli	Üst ¼	Öncelikli	Üst ¼
<b>Alın Kaynağı:</b>										
Önerilen Açık Derece	70	70	70, 60	45, 60	70, 60, 45	45, 60	60, 45	45, 60	60, 45	45
Önerilen Teknik <sup>A</sup>	1,(2,3)	1	1,(2,3)	1	1,(2,3)	1	1,(2,3),4	1	1,(2,3),4	1
<b>T Kaynağı:</b>										
Yüzey A <sup>B</sup> :										
Önerilen Açık Derece	70		70, 60		70, 60, 45		60, 45		45	
Önerilen Teknik	5		5		5		5, 4		5, 4	
Yüzey B <sup>B</sup> :										
Önerilen Açık Derece	70		70, 60		70, 60, 45		60, 45		45	
Önerilen Teknik	5		5		5		5, 4		5, 4	
Yüzey C <sup>B</sup> :										
Önerilen Açık Derece	Düz, 70		Düz (70, 45)		Düz, 45		Düz, 45		Düz, 45	
Önerilen Teknik	6, 7		6, 7		6, 7		6, 7		6, 7	
<b>Köşe Kaynağı:</b>										
Yüzey A <sup>C</sup> :										
Önerilen Açık Derece	70		70, 60		70, 60, 45		60, 45		45	
Önerilen Teknik	8		8		8		8		8	
Yüzey B <sup>C</sup> :										
Önerilen Açık Derece	70		70, 60		70, 60, 45		60, 45		45	
Önerilen Teknik	8		8		8		8		8	
Yüzey C <sup>C</sup> :										
Önerilen Açık Derece	Düz		Düz		Düz		Düz		Düz	
Önerilen Teknik	9		9		9		9		9	
<b>Çift Dolgulu Köşe Kaynağı:</b>										
Yüzey A <sup>D</sup> :										
Önerilen Açık Derece	45		45		45		45		45	
Önerilen Teknik	10, 11		10, 11		10, 11		10, 11		10, 11	
Yüzey B <sup>D</sup> :										
Önerilen Açık Derece	45		45		45		45		45	
Önerilen Teknik	10, 11		10, 11		10, 11		10, 11		10, 11	

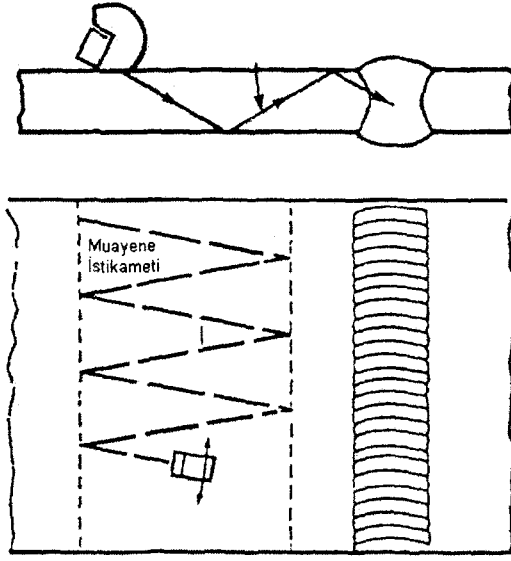
A Yukarıda bahsedilen tekniklerin örnekleri için Şekil 5.7 ila 5.17'ye bakınız.

B T Kaynaklarındaki A, B ve C yüzeyleri için Şekil 5.11'e bakınız.

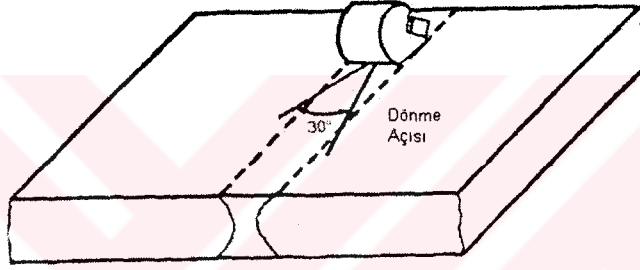
C Köşe Kaynaklarındaki A, B ve C yüzeyleri için Şekil 5.15'e bakınız.

D Çift Dolgulu Köşe Kaynaklarındaki A ve B yüzeyleri için Şekil 5.15'e bakınız.

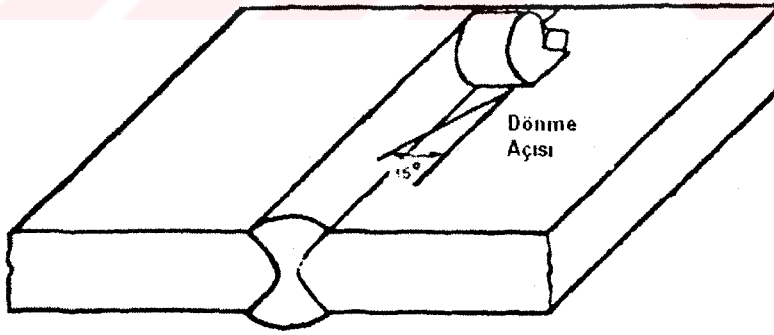




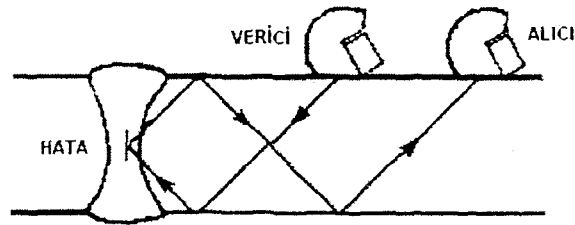
Şekil 5.7 Teknik 1, alın kaynaklarının açılı problemlarla incelenmesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



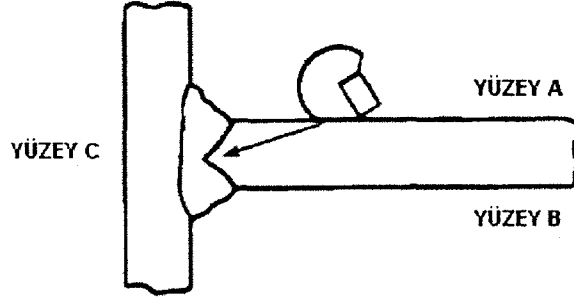
Şekil 5.8 Teknik 2, taşlanmış alın kaynaklarının enine (çapraz) çatlak ihtimaline karşı incelenmesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



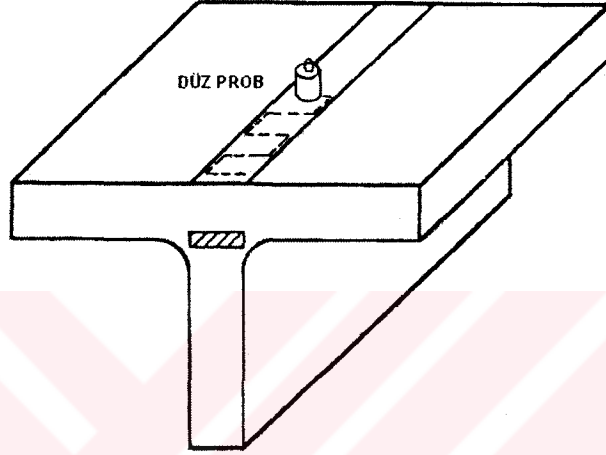
Şekil 5.9 Teknik 3, alın kaynaklarının çapraz çatlak ihtimaline karşı incelenmesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



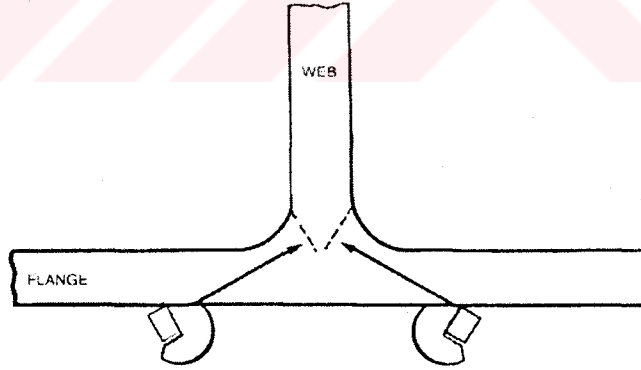
Şekil 5.10 Teknik 4, kalın kaynakların iki proba incelenmesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



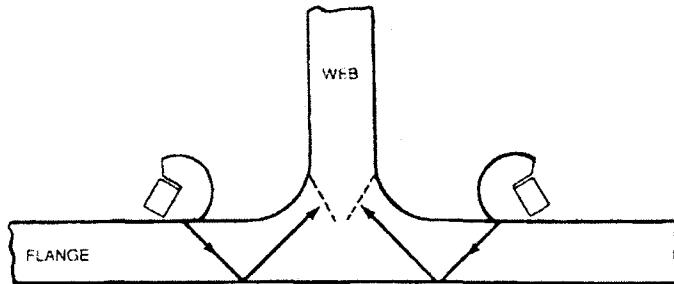
Şekil 5.11 Teknik 5, T-kaynaklarının incelenmesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



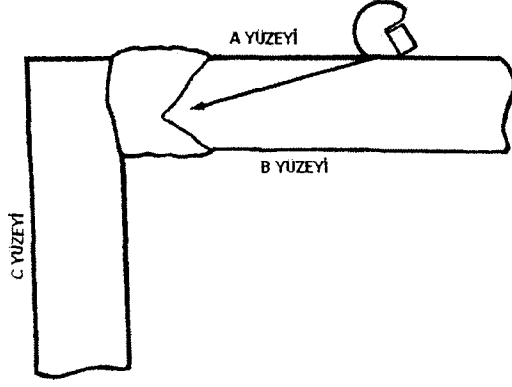
Şekil 5.12 Teknik 6, T-kaynaklarının erime bölgelerinin incelenmesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



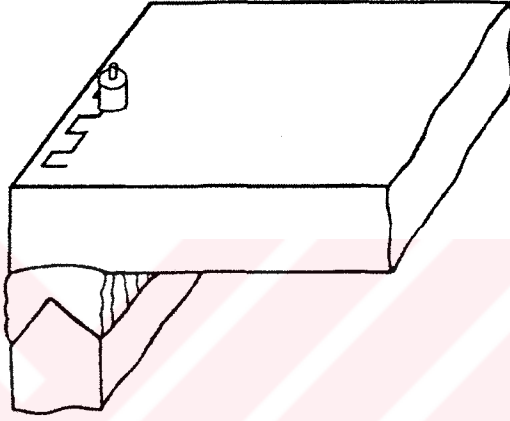
Şekil 5.13 Teknik 7, T-kaynaklarının süreksizliklere karşı incelenmesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



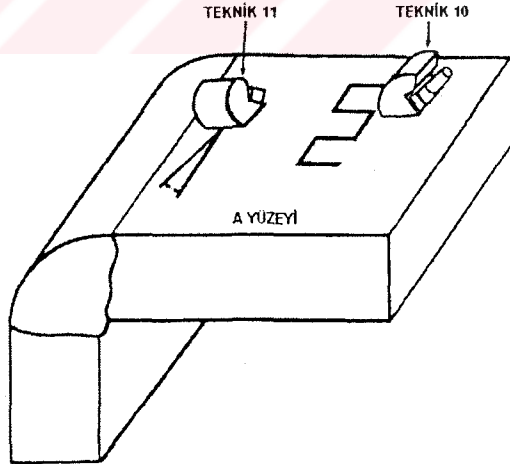
Şekil 5.14 Alternatif Teknik 7, T-kaynaklarının süreksizliklere karşı incelenmesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



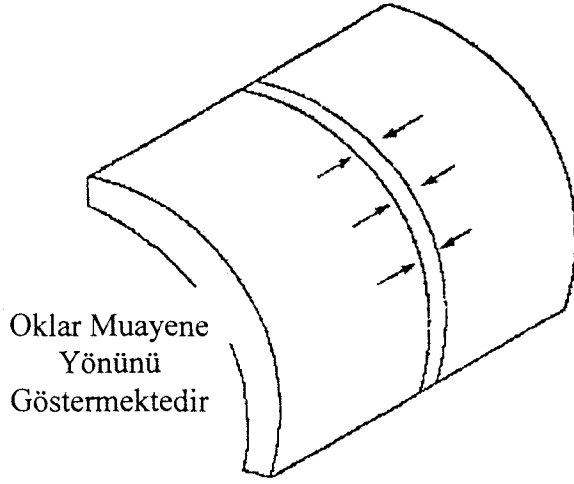
Şekil 5.15 Teknik 8, çift V köşe kaynaklarının muayenesi (ASTM E<sup>2</sup>, 2003)



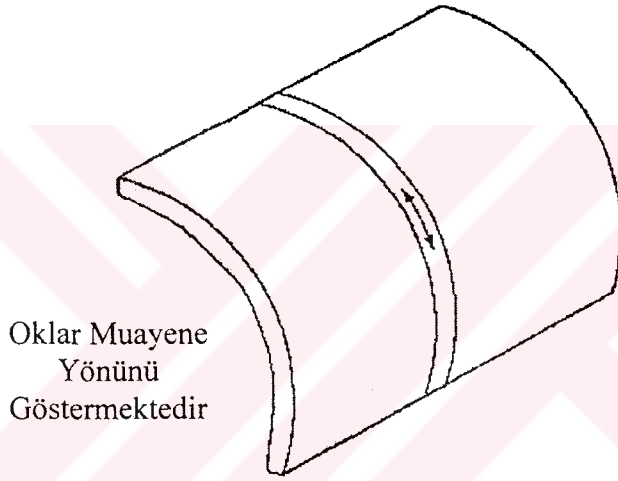
Şekil 5.16 Teknik 9, çift V köşe kaynaklarının erime bölgelerinin muayenesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



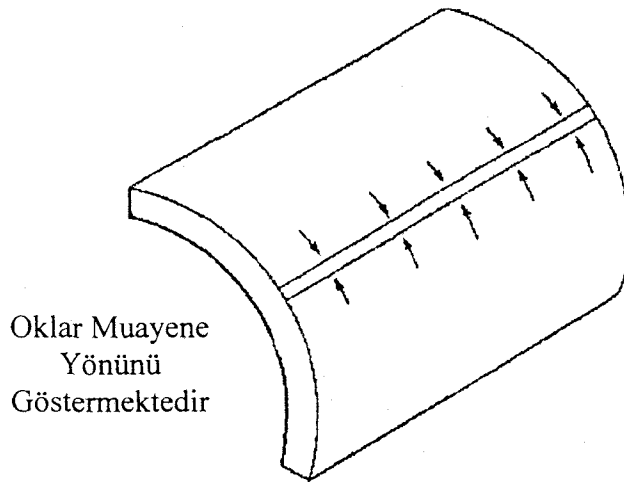
Şekil 5.17 Teknik 10 ve 11, tam nüfuziyetli çift dolgulu köşe kaynaklarının muayenesi (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



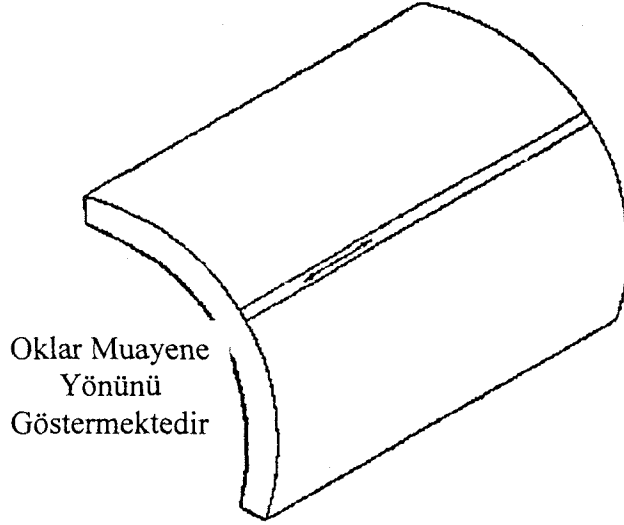
Şekil 5.18 Teknik 12, taşlanmış çevresel kaynakların muayenesi ( $\text{Ø} < 500 \text{ mm}$ ) (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



Şekil 5.19 Teknik 13, taşlanmamış çevresel kaynakların muayenesi ( $\text{Ø} < 500 \text{ mm}$ ) (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



Şekil 5.20 Teknik 14, taşlanmış boyuna kaynakların muayenesi ( $\text{Ø} < 500 \text{ mm}$ ) (ASTM<sup>2</sup>, 2003)



Şekil 5.21 Teknik 15, taşlanmamış boyuna kaynakların muayenesi ( $\varnothing < 500$  mm) (ASTM<sup>2</sup>, 2003)

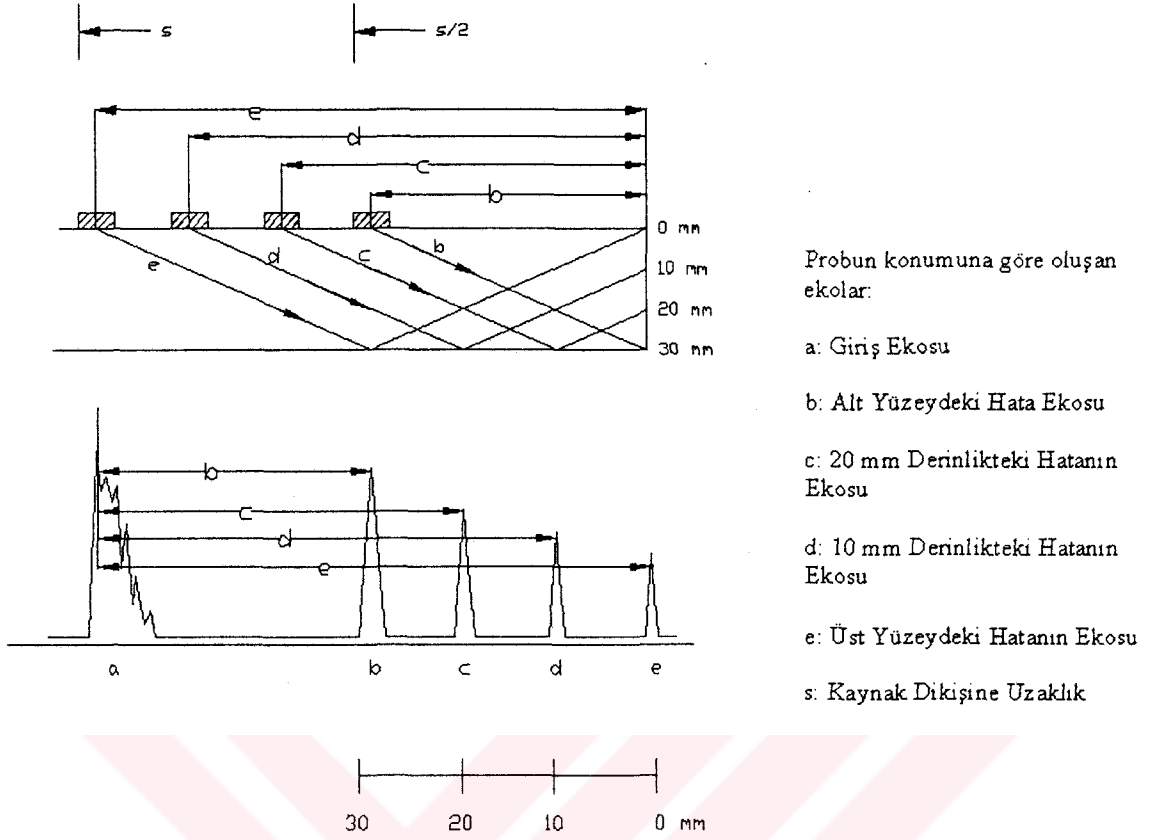
### 5.5 Kaynak Dikişindeki Hatanın Yerini Belirleme Yöntemleri

Kaynak dikişlerindeki hataların yüzeyden derinliğinin ve probdan yatay uzaklığının belirlenmesi, sadece kaynak hataları ile kaynak dışındaki plakada bulunan hata ekolarının ayırımını yapmak değil aynı zamanda hatanın yapısı, kaynak içindeki yerini ve önemini belirleyebilmek için istenir. Hatanın kaynak için önemli olup olmadığına karar verebilmek uzun bir çalışma ve yoğun bir tecrübe gerektirir.

Her şeyden önce belirli bir derinlik, belirli bir ses dalga yoluna karşılıktır. Belirli bir malzeme kalınlığı için ve belirli bir geliş açısı için uygun olan hata derinlik ayar skalası ekrana sağdan sola olacak şekilde ilave edilir. Bunlar sadece hatanın derinliği istendiğinde yeterlidir. Kalibrasyon için ekolar, test plakasının üst ve alt yüzeyinden başlayarak kalınlık skalasının sonuna doğru görüntüyü büyütürken veya kaydırarak hareket ettirilirlir.

Muayene işlemi, probun  $s/2$  ile  $s$  aralığında yani kontrol aralığında hareket ettirilmesiyle yapılacaktır. Alınan hata ekolarının probun ufak hareketleri ile maksimum olması sağlanacak, ayrıca gönderilen dalga demetinin kaynak dikişi eksenine dik olmasına dikkat edilecektir. Şekil 5.22'de dikkat çeken ilk nokta, her hata derinliğine karşı tek bir dalga uzunluğunun olduğudur.

Buradan yola çıkarak kaynak dikişlerinin ultrasonik muayenesinde bir derinlik skalası hazırlanması gereği ortaya çıkar. Hazırlanan derinlik skalası parça kalınlığına ve dalga açısına bağlıdır.

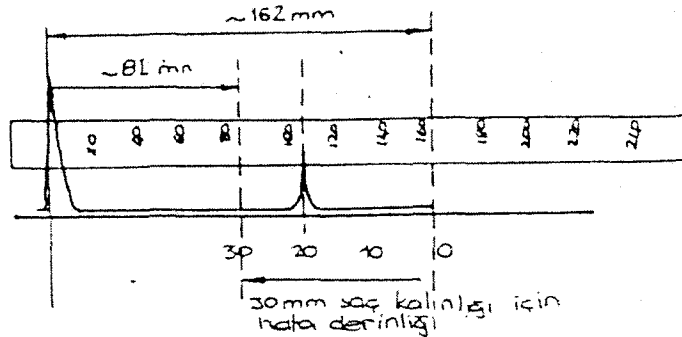


Şekil 5.22 Kaynak dikişlerinde hatanın yerinin belirlenmesi (Mançuhan ve Gülşan, 1983)

### 5.6 Prob-Hata Uzaklığının Tayini

Bu uzaklık sadece dalga açısına bağlıdır. Burada derinlik skalasından faydalanarak hata-prob uzaklığını gösteren yeni bir skala hazırlanır (Şekil 5.23).

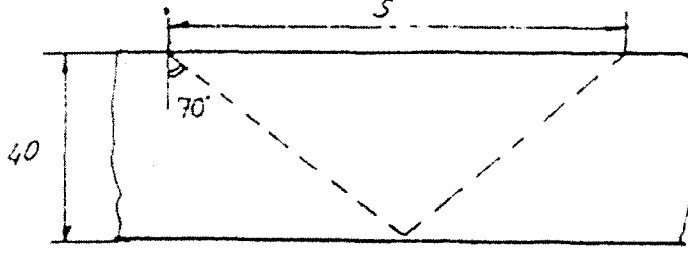
Yukarıdaki parçada  $70^\circ$  lik probta muayenede 30 mm derinlikteki hata için hata prob uzaklığı 81 mm'dir. Sıfır mm'deki derinlikte hata için hata-prob uzaklığı 162 mm'dir. Farklı sac kalınlıkları bu değerlerin doğrulanmasını sağlar. Aşağıdaki örnek incelendiğinde hatanın 20 mm derinlik ve probdan 110 mm uzakta olduğu görülür.



Şekil 5.23 Hata-prob uzaklığını gösteren skala (Mançuhan ve Gülşan, 1983)



Benzer şekilde  $70^\circ$  lik dalga açısı ve maksimum 40mm saç kalınlığı için kullanılacak bir cetvel hazırlamak istersek de Şekil 5.24 ve temel trigonometrik bağıntılardan faydalanabiliriz.



Şekil 5.24 Hata-prob uzaklığının hesaplanması (Mançuhan ve Gülşan, 1983)

40 mm kalınlığındaki parça için karşılaşılabilecek en büyük hata-prob uzaklığı 220 mm olur.

Probun yanına eklenen bu cetvel biraz geliştirilerek, ekrana bir takım skala ekleme zorunda kalmadan, hata-prob uzaklığı ve hata derinliği okunabilir.

### 5.7 Kaynak Dikişi Hatasının Yapısı, Şekli ve Büyüklüğü

Ses dalgalarının kesitine göre çok küçük olmayan hatalara rastlanan durumlarda, eğer prob kaynak boyunca ileri-geri götürülüyorsa, eko kümeleri hatanın şekli hakkında bilgi vermektedir. Küçük delik ve ince çizgi halindeki hatalar basit, belirli tepe noktası olan çan eğrileri şeklinde görülür. Ses dalgası yönünde olmayan yüzeysel hata zarfları geniş tabanlı dağ şekline benzer görüntü verir.

Eğer gönderilen ses dalgası birden fazla hatayı içine alıyorsa karmaşık görüntüler elde edilir. Dikkatli bir yerleştirme birçok hatanın belirlenmesine yardımcı olur.

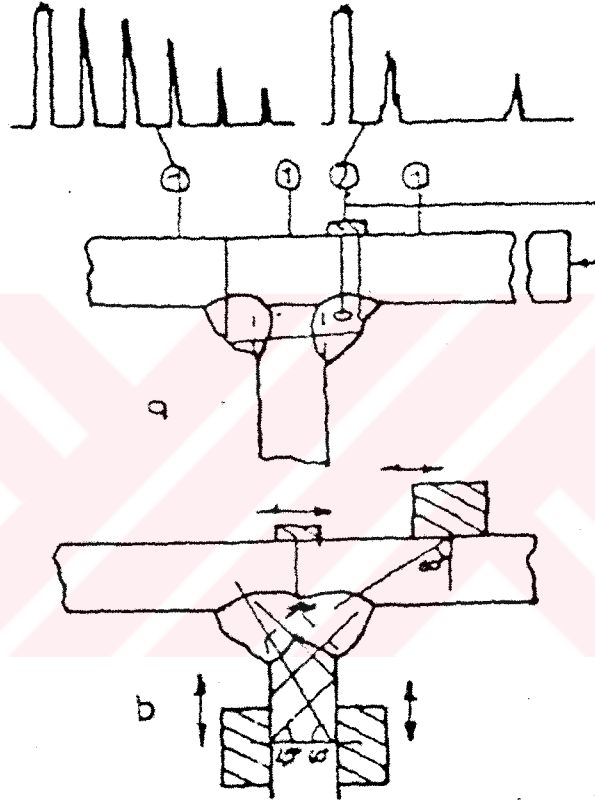
Hatanın büyüklüğünün belirlenmesi muayene edilecek kazan vb parçanın kaynak dikişlerinin testine göre ayarlanmasına, operatörün tecrübesine ve kullandığı cihaza alışkanlığına bağlıdır. Birçok standart ve şartnameler referans yansıtıcı olarak yüzeye paralel delikleri tanımlamışlardır. Yatay delikler teorik olarak dikiş içindeki cüruf çizgilerine benzer eko verirler. Bunlar aynı zamanda değişik ses gönderme açıları için eşit yansıtma yüzeyleridir. Değişik kalınlıklarda dikişlerin kontrolünü yapabilmek için bu deliklere sahip fazla sayıda test malzemesine gerek vardır. Çelik malzemeler problemlerin gönderdiği seslerin bir kısmını yutmaktadır. Bu miktar 4 MHz için 60 dB/m ve 2 MHz için de 8 dB/m olarak hesaplanmıştır.

### 5.8 Köşe Kaynaklarında Ultrasonik Kontrol

Köşe kaynakların tamamını ultrasonik test yöntemi ile kontrol etmek olanaksızdır. Şekil 5.25

çift köşe kaynağı için güzel bir örnektir. Şekil 5.25a da tam işlemenin olmadığı mekanik bir projedir. Aradaki boşluğun çentik etkisi sebebi ile bağlantının yüksek gerilimleri alması güçtür. Şekil 5.25b'deki K tipi kaynak ağzı açılmış kaynak dikişinin testi Şekil 5.25a'dan daha kolaydır.

Böyle kaynakların testi, prob flanş üzerinde kaynak bölgesinde zig-zag gezdirilerek yapılır. Eğer kaynak dikişi flanşın kenarına paralel gidiyorsa probun kenardan uzaklığını sabit tutacak bir sistem kullanılarak test sonuçları daha iyi bir duruma getirilebilir.



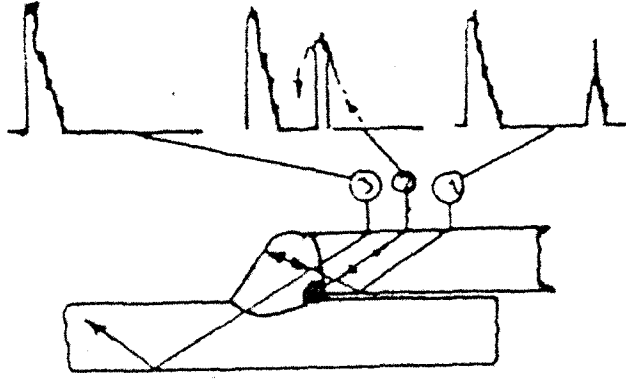
a) Tamamen kaynamamış dikiş    b) Tamamen kaynamış dikiş

Şekil 5.25 Köşe kaynaklarının ultrasonik muayenesi (Mançuhan ve Gülşan, 1983)

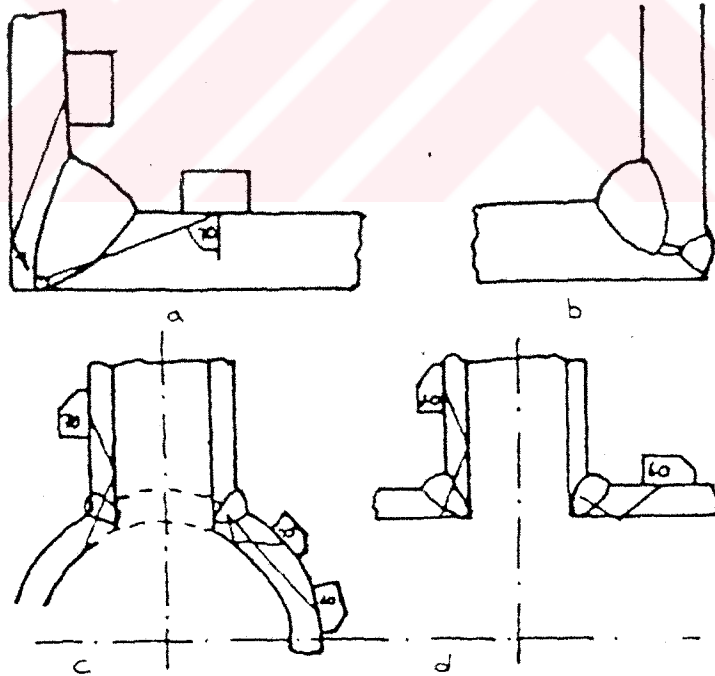
Hatanın olmadığı K-dikişlerinin genişliği yönünde eko elde edilemez. Fakat birleşim hataları ve eksendeki nüfuziyet azlığı gibi en kritik hatalar belirlenebilmektedir. Uygulamada testler 10 mm.'ye kadar ince saclarda yapılabilmektedir. TR propları (verici-alıcı) kullanılırsa daha ince saclarda bile testler yapılabilmektedir. Kaynak dikişindeki çatlak ve cüruf birikimleri gibi hataların belirlenebilmesi için açılı testler daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu amaçla kalınlığı 30 mm'den daha az olan malzemelerin testinde 4-5 Mhz lik 45°-60° lik küçük problar kullanılmaktadır.

Bazı tedbirler alınarak bu yöntem sürekli olmayan kaynakların kontrolünde de kullanılabilir.

Diğer bir köşe kaynağı olan ve 10 mm den daha kalın saclarda da uygulanabilen test yöntemi Şekil 5.26'da gösterilmiştir. Bu şartlarda  $60^\circ$  ve daha küçük açılı problemlerle oldukça başarılı neticeler elde edilmektedir. Kaynak dikişi üst kısmından eko, probun (1) konumundan elde edilebilir. Prob dikişe doğru yaklaştırdıkça nüfuziyet azlığı daha kısa süreli ekolar verir. Böylece kaynak üst kısmından gelen eko ile hatadan gelen eko birbirinden ayrılmaktadır. Hatasız noktalarda ses dalgası alt plakaya geçer ve kaybolur.



Şekil 5.26 Köşe kaynağının ultrasonik muayenesine ait başka bir örnek (Mançuhan ve Gülşan, 1983)



Şekil 5.27 Boru kaynaklarında köşe dikişleri (Mançuhan ve Gülşan, 1983)

Borulu bağlantıların testleri daha çok kaynak dikişinin şekline bağlı olarak yapılır (Şekil 5.27).

Şekil 5.27a'da görülen borunun düz plakaya kaynatıldığı durumlarda kaynak dikişi her yerde

aynı kesite sahiptir ve açılı ses dalgaları ile testi yapılabilir.

Kenardan alınan eko referans eko olarak kullanılır. Genellikle bağlantı yüzeyleri arasında nüfuziyet azlığı vardır (Şekil 5.27b).

Şekil 5.27c'de çapları birbirinden fazla farklı olmayan iki borunun testi gösterilmektedir. Bir kesitte dikişe dört noktadan ses gönderilebilmektedir. Bu noktalar arasında zigzag yol eğrilir ve tam adım uzaklığı her noktada değişir. Burada hata belirlenmesi olanaksızdır. Eğer test ilave edilen boru üzerinden yapılırsa, hem kaynak dikişinin çevre çemberi üzerindeki şekli ve konumu değişir; fakat hiç olmazsa gönderme açısı aynı kalır. Buna göre son yöntem daha uygundur (Mançuhan ve Gülşan, 1983).

### 5.9 Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik Muayenesinde Kabul-Red Kriterleri

ASME Section VIII Standardı'na göre buhar kazanlarının ultrasonik muayenesinde tespit edilebilen süreksizliklerin değerlendirilmesi ile ilgili olarak aşağıdaki tablo esas alınmaktadır.

Çizelge 5.3 ASME Section VIII'e göre ultrasonik muayenede kabul-red kriterleri

Malzeme Kalınlığı t (mm)	Süreksizliğin Boyu mm
0-19	6
19-57	t/3
57 mm'den büyük	19

Bu tabloda referans seviyesinden daha yüksek yankı veren ve uzunlukları yukarıdaki sınırları aşan lineer tip süreksizlikler reddedilir.

Algılanan süreksizlikler çatlak, yan cidara kaynamama ve yetersiz nüfuziyet hatalarından birisi olarak yorumlanıyorsa uzunluğuna bakılmaksızın reddedilir (ASME<sup>1</sup>, 1998).

### 5.10 Ultrasonik Muayene Personeli

Kaynakların ultrasonik muayenesi ile ilgili ülkemizde kullanılan TS EN 1714 Standardı'na göre muayene işlemini gerçekleştirecek personelin EN 473 veya eşdeğer bir Standard'ın gereksinimlerine uygun olarak sertifikalandırılmış olmasını gerekmektedir (EN<sup>4</sup>, 1997). Eğer muayene işlemi ASME Standardı'na uygun olarak yapılacaksa personelin ASNT SNT-TC-1A Standardı'nın gereksinimlerine uygun olarak vasıflandırılmış olması gerekmektedir.

### 5.11 Ultrasonik ile Radyografik Muayene Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kaynak dikişleri kontrolünde kullanılan her iki muayene yönteminin bir karşılaştırması yapıldığında, kaynak dikişleri için en tehlikeli hata tiplerinden biri olan çatlakların röntgen ışınlarıyla net olarak tespit edilemeyecekleri, dolayısıyla ultrasonik teste gerek duyulacağı görülecektir. Ayrıca kalınlığı 60 mm'yi aşan kaynaklarda, test giderlerine bakılmaksızın ultrasonik test yöntemi tercih edilmelidir. Bununla birlikte porozite, eksik ergime, nüfuziyetsizlik gibi hataların tespitinde radyografi vazgeçilmez bir, muayene metodudur.

Ultrasonikle kaynak dikişleri testinin ekonomik yönü, sürekli kaynak dikişlerinin hata yer ve derinliğinin tespit edilerek kontrolü özellikle kalın ve toz altı kaynaklı basınçlı kaplarda kaçınılmazdır.

Çünkü kaynak tekniğinde çok sık rastlanan ve çok tehlikeli olan gerilme çatlakları, röntgen ışınlarıyla veya hidrostatik testte gözden kaçabilir. Bu nedenle hassas bölgelerin ultrasonik testi gerekebilir.

Ultrasonik yöntem, yüksek kontrol emniyeti, ucuzluğu, pratikliği ve özellikle insan sağlığına zararlı olmaması nedeniyle kaynak dikişlerinin muayenesinde kullanılma yüzdesi her geçen gün artmaktadır.

Şantiyelerde ve montaj sahalarında kalın ve basınç altında kalacak dikişlerin testinde test süresi, dikişin ulaşabilirliğine, yapısına ve önemine göre değişir. Kontrol hızı 5~30 dk/m olabilir.

Ultrasonik yöntem günümüzde çok ince birleştirme dikişlerine uygulanabildiği gibi, kaynaklarda varlığı tespit edilmiş olan hataların işletme şartlarında sürekli kontrolünü de mümkün kılar.

### 5.12 Ultrasonik Muayene Yönteminin Üstünlükleri

Ultrasonik muayene yönteminin diğer tahribatsız muayene yöntemlerine nazaran üstünlükleri şunlardır:

- Çok kalın kesitlerde dahi ses dalgalarının iyi girici karakteristiği nedeniyle iç süreksizliklerin belirlenmesine olanak sağlar.
- Küçük hatalar oldukça hassas bir şekilde belirlenebilir.
- Muayene, parçanın herhangi bir tarafından yapılabilir.

- Portatif donanımlar ile büyük parçalar yerinde muayene edilebilir.
- Çalışma esnasında gerek personele, gerekse diğer donanımlara tehlike yaratmaz.

### 5.13 Ultrasonik Muayene Yönteminin Eksiklikleri

Bu avantajlarına karşın bu yöntemin de bazı sınırlamaları vardır. Bunlar:

- Muayene için çok iyi yetişmiş, tecrübeli personele gerek vardır.
- Yüzeyi çok pürüzlü, düzgün olmayan biçimli kaynak bağlantılarının muayenesinde zorluk vardır. Örneğin; iç köşe dikişleri
- Bu yöntemde yüzey hataları görülemeyebilir.
- İş parçası ile prob arasına ultrasonik titreşimleri iletebilmek için su veya yağ gibi bir tabakaya gerek vardır.
- Kullanılacak aletleri kalibre edebilmek ve hata büyüklüğünü değerlendirebilmek için referans standartlarına gerek vardır.



## 6. PENETRANT SIVI İLE MUAYENE

### 6.1 Penetrant Sıvı ile Muayene İşleminin Tanımı

Tahribatsız kontrol yöntemlerinden biri olan penetrant sıvı muayenesi yüzeye açık olan çatlak vb. süresizliklerin belirlenmesi için gözeneksiz malzemelerde kullanılan ekonomik ve basit bir yöntemdir. Penetrant yönteminde kullanılan muayene sistemi; penetrant, ara temizleyici ve geliştiriciden oluşmaktadır (www.nde.lanl.gov). Muayene sistemleri;

- Penetrantın tipine (flüoresan veya boya penetrant)
- Ara temizleyicinin cinsine (su, çözücü, emülsiyon yapıcı)
- Geliştiricinin cinsine göre sınıflandırılmıştır.

Sıvı penetrant muayenesinin prensibi, kuvvetli kontrast etkisine sahip penetrant sıvısının uygun geliştirici tabakası üzerinde çok küçük hataları seçilebilir bir hale getirmesidir.

Muayene ya da penetrant sistemi EN-571 Standartları'nda aşağıdaki gibi tasnif edilmiştir.

#### *Penetrantlar*

- Tip I Flouresan Boyalı
- Tip II Görünebilir Boyalı

#### *Ara Temizleme*

- Metot A Su ile Temizlenebilen
- Metot B Lipolifik Emülsiyon Yapıcı (Su ile Bulamaç olan)
- Metot C Solvent ile Temizlenebilen
- Metod D Hipolifik Emülsiyon Yapıcı

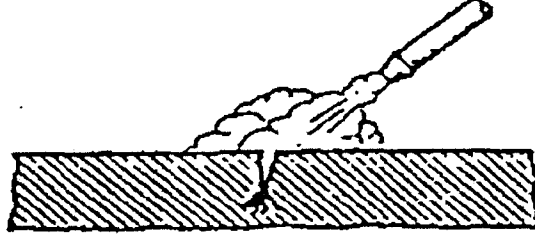
#### *Geliştiriciler*

- Form A Kuru Geliştirici
- Form B Suda Çözünebilir (Çözelti)
- Form C Suyu Süspansiyon Haline Getirilebilir (Katı Asıltı)
- Form D Çözücü Esaslı Geliştirici (Susuz-Yaş)

- Form E Özel Uygulamalar için Su veya Çözücü Esaslı (EN<sup>6</sup>, 2002)

Muayene işlemi genel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur:

— Ön Temizleme ve Kurutma:

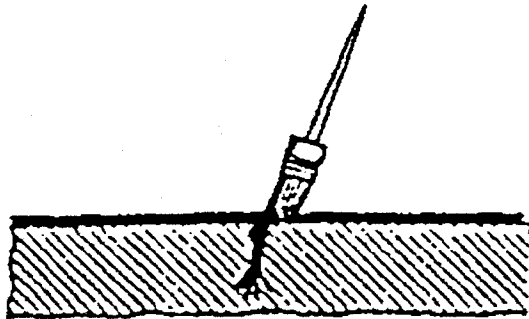


Şekil 6.1 Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – ön temizleme

Test yapılacak bölgedeki kir, yağ, pas ve su gibi kalıntılar ile malzemenin üzerini kapatan kalıntılar mekanik ve/veya kimyasal tekniklerle iyice temizlenir ve ardından bezle silinerek ve/veya sıcak hava üflenerek kurutulur.

— Penetrantın Uygulanması:

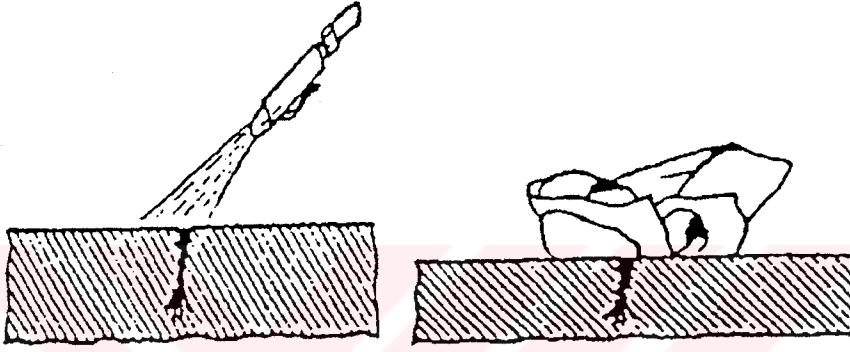
Temizlik işleminin ardından girici özelliği yüksek, genellikle kırmızı renkli penetrant maddesi uygun bir şekilde parçaya spreyle püskürtülerek, fırça ile sürülerek, dökülerek ya da parça penetranta batırılarak veya daldırılarak uygulanır. Penetrant daha sonra kullanılacak geliştirici ile kuvvetli bir kontrast vermelidir. Bu kuvvetli bir renk kontrastı (boya penetrantlar: kırmızı/beyaz), yüksek bir parlaklık farkı (flouresan penetrant) veya bunların kombinasyonlarıyla sağlanabilir. Penetrant uygulandıktan sonra, yüzeye açılan muhtemel süreksizliklere nüfuz edebilmesi için gerekli olan bekleme süresine nüfuziyet süresi denir. Bu süre sıcaklık ve kullanılan penetrantın cinsine, test edilen malzemeye ve beklenen hataların türüne ve büyüklüğüne bağlı olarak 5–60 dakika arasındadır.



Şekil 6.2 Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – penetrantın uygulanması

— Ara Temizleme ve Kurutma:

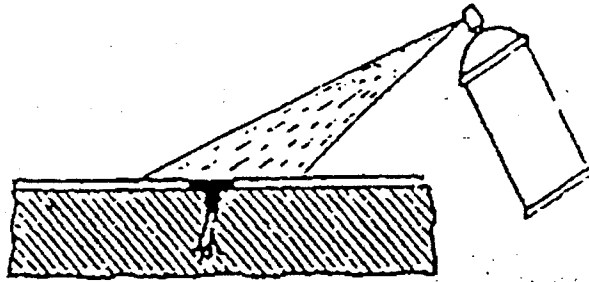
Boyanın yüzeydeki devamsızlıklar içine nüfuz edebilmesi için bir süre beklendikten sonra fazla boya uygun bir çözücüyle temizlenir ve ardından genellikle bez parçaları ile yüzey kurutulur. Temizleme işleminde genel olarak su, sıvı/gaz haldeki çözücüler, emulgatörler kullanılır. Eğer penetrant olarak post emulsifier (sonradan su ile çözülebilir) kullanılmışsa, ara yıkamada, emulgatör penetrantı su ile yıkanabilir hale getiren çözücü kullanılmalıdır. Ara yıkama uygun bir şekilde yapılmazsa, hataların içindeki penetrantta yıkanır ve hata saptanamaz. Doğru bir uygulamada penetrant hatalı bölgede kalır.



Şekil 6.3 Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – ara temizleme ve kurutma

— Geliştirici Uygulanması:

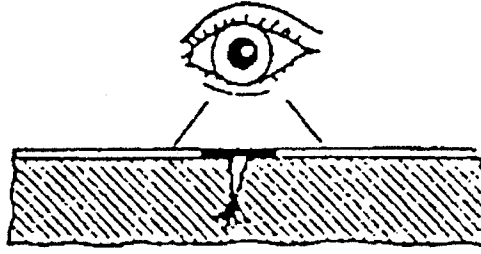
Daha sonra emici özelliği olan genellikle beyaz renkli geliştirici boya (developer) uygulanır. Geliştiricinin uygulanması fazla penetrantın giderilmesinden sonra mümkün olan en kısa sürede yapılmalıdır. İnce bir tabaka halinde, kuvvetli bir emiciliğe ve penetrantla kuvvetli bir kontrasta sahip geliştirici kullanılır. Bunlar genellikle kuru ya da çözücü sıvı içinde çözelti halindeki tozlardır (tebeşir tozu gibi). Yüzeye geliştiricinin uygulanması ile başlayan ve süreksizliklerdeki penetrantın yüzeye çıkması için gerekli zamana da geliştirme süresi denir. Geliştirme süresi en az nüfuziyet süresi kadar (ortalama 10-30 dakika) olmalıdır.



Şekil 6.4 Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – geliştirici uygulanması

— Değerlendirme:

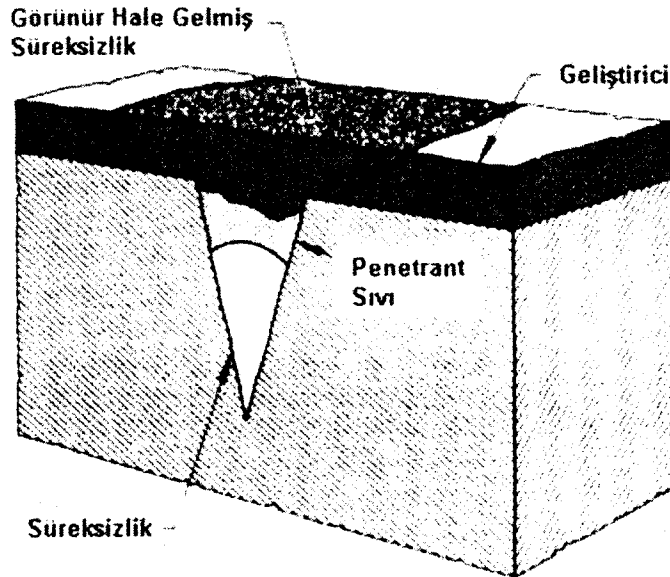
Genellikle geliştiricinin uygulanmasından hemen sonra veya geliştirici kurur kurumaz ilk muayenenin yapılması tavsiye edilir. Büyüteç veya kontrast gözlükleri gibi gözle muayene için yardımcı aletler kullanılabilir. Süresizlik içerisinde kalan penetrant geliştirici tarafında emilir ve tam anlamıyla muayene edilebilecek duruma gelir. Herhangi bir hatanın varlığı durumunda kırmızı boya yüzeye çıkacağından hatanın bu şekilde tespit edilmesi mümkün olur (EN<sup>6</sup>, 2002).



Şekil 6.5 Penetrant sıvı ile muayene işleminin aşamaları – değerlendirme

Penetrant (girici) boyaların flouresan özellikli olan tipleri de mevcuttur. Bu durumda test karanlık bir ortamda ve ultraviyole ışınlar altında yapılır.

Girici boya yöntemi yüzeydeki çatlakların, ergitme azlığının, yanma oluklarının ve gözeneklerinin teşhis edilmesi için her türlü malzeme üzerine uygulanabilir. Bununla birlikte bu kontrol yöntemi yerine östenitik ve demir dışı metallerde uygulanamayan manyetik parçacık yöntemi ferritik çelikler için daha ucuz ve pratik olduğundan tercih edilebilir.



Şekil 6.6 Penetrant sıvı ile muayene işleminde hataların görünür hale gelmesi (Davis vd., 1992)

Kaynakların sıvı penetrant muayenesi ile ilgili ülkemizde kullanılan TS EN 571-1 Standardı'na göre muayene işlemini gerçekleştirecek personelin EN 473 Standardı'na uygun seviyede vasıflandırılmış olmasını gerekmektedir. Eğer muayene işlemi ASME Standardı'na uygun olarak yapılacaksa personelin ASNT SNT-TC-1A veya eşdeğer bir standardın gereksinimlerine uygun olarak vasıflandırılmış olması gerekmektedir.

## 6.2 Penetrant Sıvı ile Muayenen İşleminin Üstünlükleri ve Eksiklikleri

### *Üstünlükleri*

- Uygulaması kolay ve gerektirdiği teçhizat basittir.
- Her türden malzemeye uygulanabilir.
- Parçanın geometrisi, kimyasal bileşimi, hataların uzantısı ve içyapı herhangi bir sınırlılık oluşturmaz.
- Yönsel bir yöntem değildir. Tek deneyde her yöndeki hatalar incelenebilir.
- Çabuk sonuç verir.
- Ucuzdur

### *Eksiklikleri*

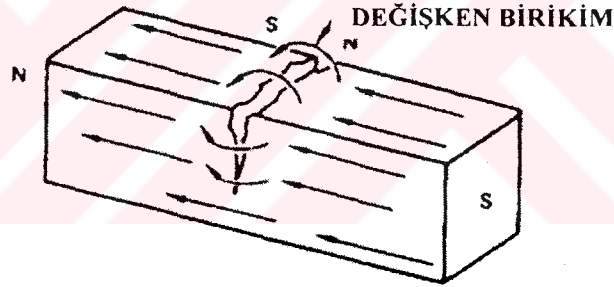
- Sadece yüzeye açılan süreksizliklerin incelenmesine olanak verir.
- Fazla pürüzlü ve gözenekli yüzeyler için uygun bir yöntem değildir.
- Çatlakları örten etkenleri kaldıran ön temizleme güçtür.
- Taşlama, dövme veya iç gerilme nedeni ile ağızları kapanmış çatlakların incelenmesi güçtür.
- Elastik kaplama tabakası altındaki ana malzeme çatlaklarını incelemek için kaplama tabakasının kaldırılması gerekir (Akyüz ve Gümrükçüoğlu, 1999; Özden, 1979; Anık, 2000).

## 7. MANYETİK PARÇACIK MUAYENESİ

Manyetik parçacık testi, manyetik (mıknatıslanabilir) malzemelerden yapılmış parçaların yüzeyinde veya yüzeye yakın bir yerde bulunan çatlak, boşluk, katmer, damar veya metalsel olmayan yabancı madde topluluklarının belirlenmesinde uygulanan bir tahribatsız muayene yöntemidir.

Bir doğal mıknatısın ya da üzerinden akım geçen bir iletkenin çevresinde manyetik alan oluşur. Manyetik akı ise manyetik alandaki toplam kuvvet çizgileri sayısının bir ölçüsüdür.

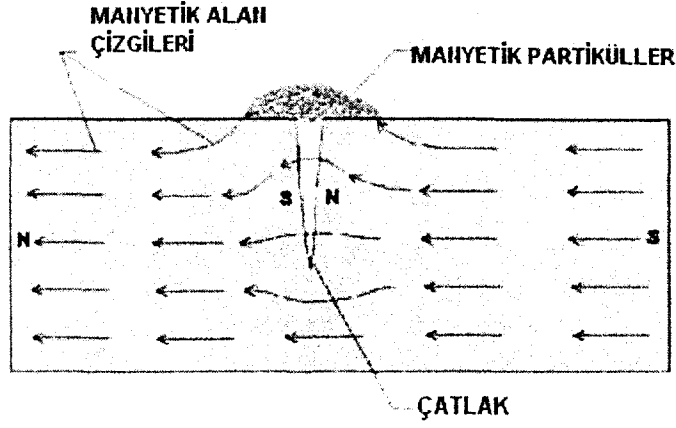
Bu yöntem mıknatıslanmış parça içinde, manyetik akı çizgilerinin hata yönünde distorsiyona uğrama esasına dayanır. Muayene edilecek parça önce özel bir düzenek yardımı ile mıknatıslandırılır ve sonra yüzeyine ince toz halinde manyetik malzeme püskürtülür veya içinde emulsifiye edilmiş demir tozu bulunan yağ parça üzerine akıtılır; manyetik akının kuvvet çizgileri boyunca demir tozları sıralanır; eğer malzemede bir hata varsa manyetik tozlar hatanın bulunduğu yerde kümelenir.



Şekil 7.1 Manyetik parçacık muayenesinin esasları (www.ndt-ed.org)

Hata parça yüzeyine açıksa manyetik tozların kümelenmesi şiddetlidir; hata yüzeye açık olmadığı zaman, yüzeyin altındaki hatalarda kümelenme zayıftır; hata daha derine indikçe kümelenme görülemez hale gelir (Anık, 2000).

Eğer hata yeterince büyükse ve yüzeyde veya yüzeye yakında bulunuyorsa, alan çizgileri zorlanır, malzemedен dışarıya çıkar ve havanın manyetik direncinin yüksek olmasına rağmen, Şekil 7.2’de görüldüğü gibi havaya yayılırlar. Bu bölgede mıknatıslanabilir malzemeler varsa, hatalı bölgenin etrafında manyetik akışı kolaylaştırabilmek için toplanırlar. Manyetik parçacık muayenesinde, bir sıvı içerisinde asılı halindeki demir tozunun muayene bölgesine uygulanmasıyla tam anlamıyla bu etkiden yararlanılır.



Şekil 7.2 Manyetik parçacık ile yüzeye açık çatlakların muayenesi (www.ndt-ed.org)

Aynı süreksizliğin yüzeyin altında olması durumunda, yüzeyde oluşan kaçak alan çok daha zayıf olacaktır. Bu nedenle, manyetik parçacık yönteminde bir süreksizliğin tespit edilebilmesi için yüzeye ulaşmış olması gerekmez. Ancak en fazla hangi derinlikteki bir hatanın saptanabileceği, bu hatanın uzunluğuna, mıknatıslanma yöntemine ve manyetik alan şiddetine bağlıdır. Taşlanmış ve parlatılmış yüzey altındaki hatalar rahatlıkla tespit edilebilir.

Manyetik parçacık muayenesinde mıknatıslanma amacıyla iki temel akım söz konusudur. Bunlar doğru akım (DC) ve alternatif akımdır (AC). Parçada oluşan alanın yönü, şiddeti ve dağılımı büyük oranda mıknatıslayıcı akımın tipine bağlı olduğundan, manyetik parçacık muayenesinde kullanılan farklı akım tiplerinin mıknatıslama özelliklerinin anlaşılması önem kazanmaktadır.

Mıknatıslama için kullanılan elektrik akım türü, malzemede meydana gelen manyetik alan profilini, dolayısıyla da test sonuçlarının etkiler.

Kısaca belirtmek gerekirse, doğru akım (DC) ile oluşturulan manyetik alan kuvvet çizgileri tüm malzeme kesitinde homojen bir dağılım gösterir. Bu nedenle, yüzey altındaki hataların bulunmasında kullanılır. Buna karşılık alternatif akım (AC) ile oluşturulan manyetik alanın kuvvet çizgileri yalnızca yüzeyde oluşur, nüfuziyeti düşüktür. Bu sebeple, yüzeydeki hatalar için AC kullanan cihazlar tercih edilir (Belli bir güçteki mıknatıslanma için AC cihazları daha hafiftir).

Bunun yanı sıra her iki akım türünün avantajlarını optimize eden yarı dalga ya da tam dalga doğrultulmuş AC akımı kullanan cihazlar da yaygın olarak kullanılmaktadır (Akyüz ve Gümrükçüoğlu, 1999).





Şekil 7.3 Manyetik parçacık muayene cihazı ve ekipmanları (www.ndt-ed.org)

Genellikle bu koyu gri tozun metalik yüzeyde seçilememesinden dolayı, muayene edilecek yüzey, kontrast oluşturmak için ince bir beyaz boya ile kaplanır. Eğer alan çizgileri konsantrasyonu flüorür ışıl boya ile renklendirilmiş demir tozlarıyla görülebilir hale getirilmişse, parça yüzeyinin boyanması gereksizdir. Yalnız değerlendirme için ultraviyole ışın lambası kullanılması ve gün ışığının engellenmesi gerekmektedir.

Kaynakların manyetik parçacık muayenesi ile ilgili ülkemizde kullanılan TS EN 1290 Standardı'na göre muayene işlemini gerçekleştirecek personelin EN 473 Standardı'na uygun seviyede veya eşdeğeri bir standarda göre ilgili endüstri sektöründe uygun seviyede vasıflandırılmış olmasını gerekmektedir. Eğer muayene işlemi ASME Standardı'na uygun olarak yapılacaksa personelin ASNT SNT-TC-1A Standardı'nın gereksinimlerine uygun olarak vasıflandırılmış olması gerekmektedir.

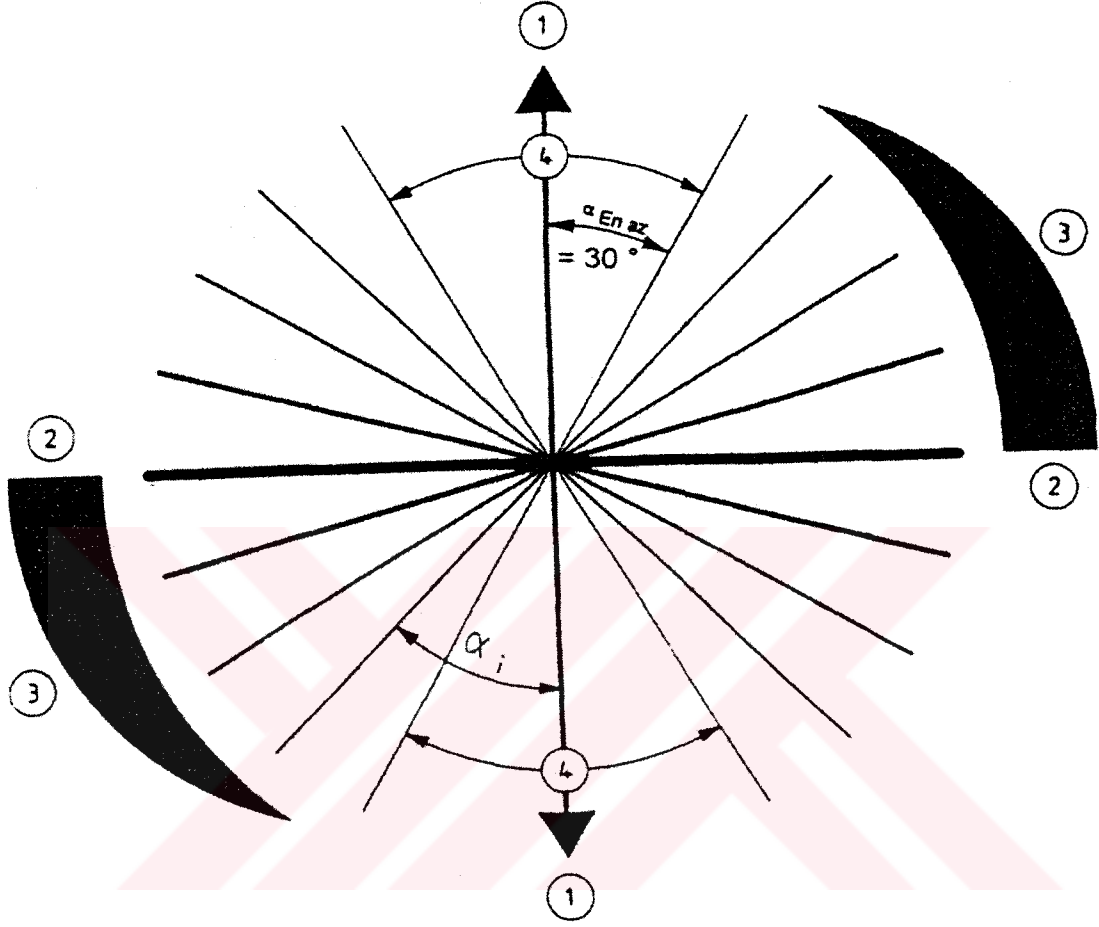
### 7.1 Manyetik Alan Yönleri ve Muayene Alanı

Bir süreksizliğin tespit edilebilirliği, süreksizliğin ana ekseninin manyetik alanın yönüyle yaptığı açıya bağlıdır. Bu husus, Şekil 7.4'de bir yöndeki mıknatıslama için açıklanmıştır.

Bütün yönlenmedeki süreksizliklerin tespitini garanti etmek için kaynaklar, azami sapma  $30^\circ$  olmak kaydıyla, birbirlerine yaklaşık dik olacak şekilde mıknatıslanmalıdır. Bu durum, bir veya daha fazla mıknatıslama metotlarının kullanılmasıyla sağlanır.

Muayenede boyunduruklar veya prodlar kullanılıyorsa, her kutbun ve temas noktasının

etrafında, aşırı yüksek manyetik alan şiddeti nedeniyle, kendisini manyetik parçacıkların aşırı yığılmasıyla gösteren, muayenesi imkansız olan bölgeler oluşur (EN<sup>1</sup>, 2003).

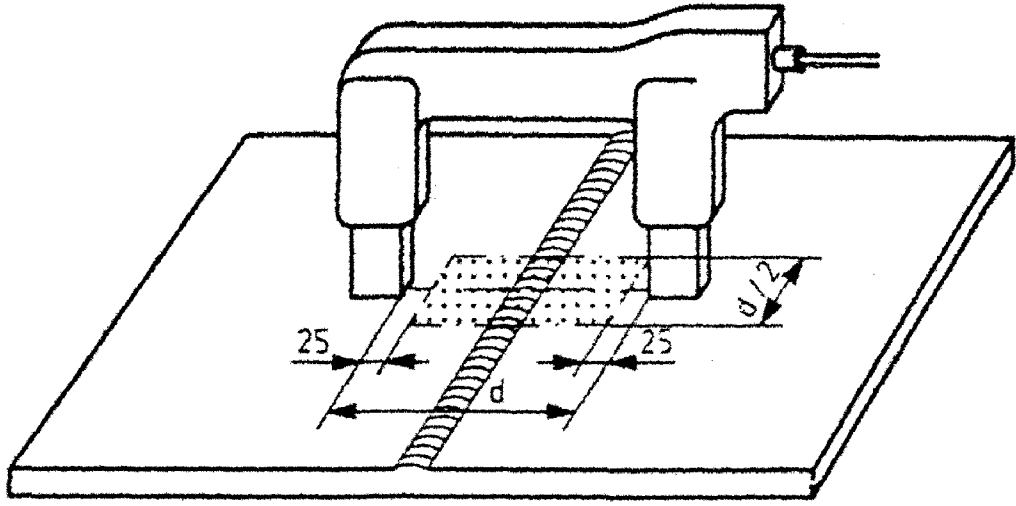


- 1 Manyetik Alan Yönü
- 2 Optimum Hassasiyet
- 3 Azalan Hassasiyet
- 4 Yetersiz Hassasiyet

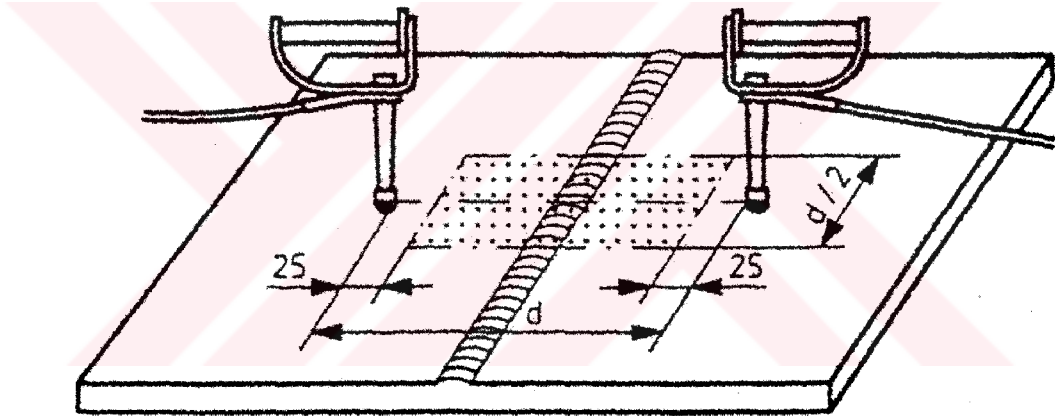
- $\alpha$  Süreksizliğin ve manyetik alanın yönleri arasındaki açı
- $\alpha_{en\ az}$  Süreksizliğin tespiti için asgari açı
- $\alpha_i$  Süreksizliğin yönlenmesine bir örnek

Şekil 7.4 Tespit edilebilir süreksizliklerin yönleri (EN<sup>1</sup>, 2003)

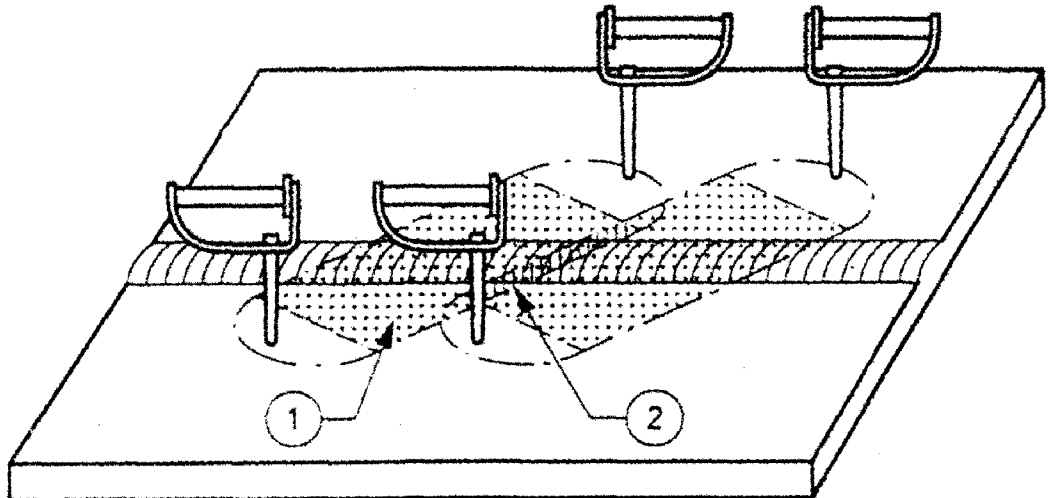
Şekil 7.5, 7.6 ve 7.7'de gösterildiği gibi, muayene alanlarının yeterince üst üste binmesini sağlamaya dikkat edilmelidir (d: malzeme içinde manyetik akının akış mesafesidir) (EN<sup>1</sup>, 2003).



Şekil 7.5 Boyundurlukla ve prodlarla mıknatıslama için etkin muayene alanı örneği 1 (EN<sup>1</sup>, 2003)



Şekil 7.6 Boyundurlukla ve prodlarla mıknatıslama için etkin muayene alanı örneği 2 (EN<sup>1</sup>, 2003)



Şekil 7.7 Etkin muayene alanlarının üst üste binmesi (EN<sup>1</sup>, 2003)

## 7.2 Manyetik Parçacık Muayenesinin Üstünlükleri ve Eksiklikleri

Bu yöntem özellikle yüzey çatlaklarının varlıklarının ve yerlerinin belirlenmesinde çok iyi sonuçlar verir. Yuvarlak küresel hatalar manyetik akıyı şiddetli distorsiyona uğratmadıklarından tozların kümelenmesine neden olmazlar.

Parça tüm veya bölgesel olarak manyetikleştirilir. Çatlağın manyetik akının çizgilerine paralel olması halinde çatlağı görmek mümkün değildir. Bu neden ile parça hiç değilse birbirlerine dik iki doğrultuda muayene edilmelidir.

Bu yöntemde alternatif veya doğru akım kullanılabilirdiği gibi, sürekli mıknatıslar da kullanılabilir, yalnız sürekli mıknatıs kullanılması durumunda sadece yüzey çatlakları belirlenebilir.

### *Üstünlükleri*

- Parçanın yüzeyinde ve yüzeyin hemen altındaki süreksizliklerin manyetik resmini doğrudan oluşturur.
- Duyarlılığını aynı düzeyde tutmak gereken bir elektrik devre ve kalibre edilmesi gereken bir elektronik okuma devresi yoktur.
- Muayeneden evvel çatlakların içindeki kirlerin ince bir temizliği gerekmez.
- Süreksizliklerin dışında metelsel olmayan kalıntı ve segregasyonların incelenmesi olanağı vardır.
- Uzman teknisyenler çatlak derinliğini uygun tozlar kullanarak iyi bir yaklaşıklıkla saptayabilir.
- Ucuzdur

### *Eksiklikleri*

- Yüzeğe yakın olmayan iç hataların incelenmesinde kullanılamaz.
- Ferro-manyetik olmayan malzemelere uygulanamaz (Ör: Östenitik Paslanmaz Çelikler, Alüminyum ve Alaşımları, Bakır ve Alaşımları, Titanyum ve Alaşımları).
- Deneyden önce veya sonra bir demanyetizasyon gerekli olabilir.
- Deneyden sonra aşındırıcı karakterde olan manyetik tozların temizlenmesi gerekir.

- Bitirilmiş parçaların yüzeylerinde yerel ısınma ve yanma izlerinden sakınmak gerekir.
- En iyi sonuç için çeşitli doğrultularda farklı manyetikleştirmeler yapmak gerekir.
- Karışık şekilli parçalarda manyetikleşmemiş bölgeler kalabilir.
- Boya ve diğer kaplamalar metodun duyarlılığını hızla azaltır (Özden, 1981b; Tekiz, 1984).

### 7.3 Manyetik Parçacık Muayenesinin Özeti

- Sadece ferromanyetik malzemeler muayene edilebilir.
- Manyetik alan çizgileri hata boyu eksenine dik olmalıdır.
- Uygun bir mıknatıslama metodu seçilmelidir.
- Hataların düzlemsel olarak genişletilmesiyle, küçük hataların belirlenmesi mümkündür.
- İnce kaplanmış yüzeylerin muayenesi mümkündür.
- Muayene yüzeyi niteliği açısından gereklilikler, özellikle flüoresan metodunda, karşılaştırılabilir ölçüde azdır.

Manyetik parçacık ve penetrant sıvılarla muayene, basınçlı kaplarda diğer iki yöntemle sağlıklı olarak tespit edilemeyen yüzey ve yüzeye yakın hataların tespitinde kullanılırlar. Bu yöntemler radyografi ve ultrasonik yöntemin bir tamamlayıcısı şeklindedirler, tek başlarına uygulanmazlar.

## 8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Günümüz sanayisinde hemen hemen tüm imalatlarda müşteri, malzemelerin imal edileceği standardın gereksinimlerine ek olarak kendi şartnamesini de belirtir. Bu uygulama, müşteriye ek bir maddi yük getirmekle beraber imalatın kontrolünü ve dolayısıyla da güvenilirliğini arttırmaktadır. Çünkü hiçbir imalat %100 kontrol edilmediği sürece hatasız olma garantisini veremez.

Müşteri tarafından bildirilen şartnamede yazılı talepler, ürünlerin imal edilmesi istenilen standardın gereksinimlerinin altında olamaz.

İleriki sayfalarda yer alan 8.1, 8.2, 8.3 ve 8.4 no'lu deneysel çalışmalarda ASME B31.3 Standardı'nın tahribatsız muayene gereksinimlerine ek olarak müşteri tarafından talep edilen şartlar aşağıda tablo halinde belirtilmiştir (Çizelge 8.1).

8.5 numaralı deneyde ise çok daha kapsamlı bir müşteri şartnamesi bulunmaktadır (Çizelge 8.6).

Bu çalışmadaki ilk 4 deneyde çap ölçüleri inch ("") ile ifade edilen farklı çaplardaki boru kaynakları incelenmiştir. Çapların metrik değil de inch olmasındaki sebep boruların yurtdışından ithal edilerek ülkemize gelmesi ve burada kaynaklanıp montaj için tekrar yurtdışına gönderilmesidir. Borular kullanılacakları ülkelerde inch ile ölçülendirilmişlerdir.

5. deneyde ise üzerinde birçok kaynak tekniği kullanılmış gövdede 33 mm, keplerde 42 mm et kalınlığına sahip ve kaynak faktörünün  $k=1$  alındığı bir basınçlı tankın muayene planlarının çıkartılması incelenmiştir. Kaynak faktörünün ( $k$ ) 1 olarak seçilmesi ve imalatın yapıldığı ASME Section VIII Division I Standardı'nın gereksinimleri sebebiyle kaynak dikişlerinin kalitesi ve muayenesi son derece kritik bir öneme sahiptir. Çünkü bahsi geçen standart  $k=1$  olması durumunda basınca tabi kaynakların % 100 muayenesini gerektirmektedir.

İlk 4 deneyde farklı çap ve geometrideki boru kaynaklarının seçilmesindeki sebep ise radyografik muayene edilecek kaynak dikişlerinin konumları ve boyutları ile radyografik muayenede kullanılacak radyasyon kaynağı seçimindeki hassas noktaların incelenmesidir.

X-ışını cihazının radyografisi alınacak parça içerisine girebilecek durumda olmasına rağmen malzemenin et kalınlığının fazla olması sebebiyle yarı gölge büyüklüğü istenen değer üzerinde olabilir. Bu durumda x-ışını yerine gama ışını cihazı ile radyografi çekilmesi ya da x-ışını cihazı ile daha uzak mesafeden radyografi çekilmesi gibi birçok önemli noktaya son derece detaylı bir şekilde değinilmiştir. Tüm bu seçimlerin yanında ekonomik kriterlerin de



etkisi dikkate alınarak hangi radyasyon kaynağı ile hangi konumdan ve ne kadar mesafeden çekim yapılacağı üzerinde dikkatle durulmuştur.

8.1, 8.2, 8.3 ve 8.4 no'lu deneysel çalışmaların imalat ve kontrol standardı olan ASME B31.3 Standardı'nın "Normal Fluid Service" adını verdiği akışkan türlerini taşıyan borulardaki çevresel kaynaklarda; her kaynakçının en az bir kaynağının muayene edilmesi şartıyla % 5 rasgele (random) radyografi veya ultrasonik muayene ve % 5 rasgele (random) gözle muayene uygulanması ile bu standardın muayene gereksinimleri yerine getirilmektedir. Müşterinin özel talepleri ile de muayene oranı ve dolayısıyla da güvenilirlik artırılmaktadır.

Çizelge 8.1 Müşteri şartnamesi

**MÜŞTERİ ŞARTNAMESİ**

Malzeme Grubu	Muayene Metodu	Alın Kaynakları	Branch Kaynakları	Attachment Kaynakları	Soket Kaynakları
900#	Gözle Muayene	100%	100%	100%	100%
	Radyografi	100%	-	-	-
	Yüzey Çatlak Muayenesi	100%	100%	100%	100%
150# 600#	Gözle Muayene	100%	100%	100%	100%
	Radyografi	20%	-	-	-
	Yüzey Çatlak Muayenesi	20%	20%	20%	20%

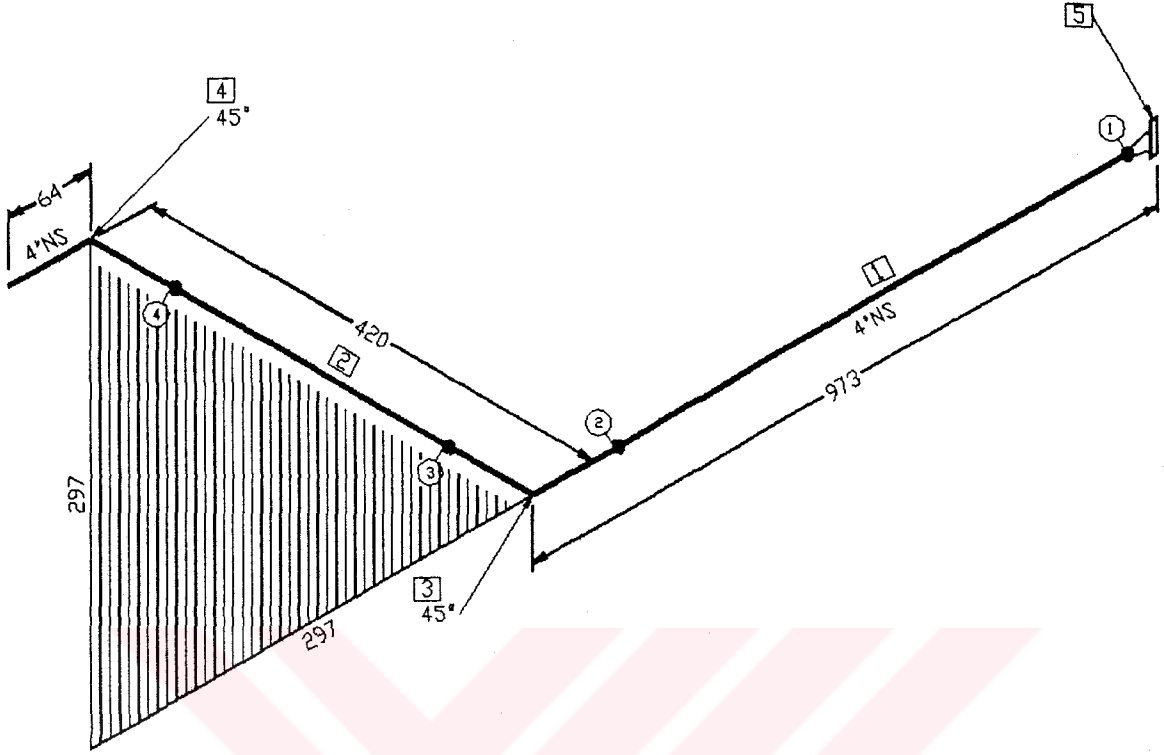
**Not:**Yüzey Çatlak Muayenesi Karbon Çeliği ve AISI 4130 için Manyetik Parçacık metodu ile yapılacaktır. Diğer malzeme türleri için ise Penetrant Sıvı ile muayene yapılacaktır.

8.1, 8.2, 8.3 ve 8.4 numaralı deneysel çalışmalarda görülen parçalara spool adı verilmektedir.

**Spool:** İmal edilecek projeye ait izometrik resimler iş hazırlama bölümü tarafından nakliyyeye uygun boyutlarda parçalara bölünmekte ve bu parçalara spool adı verilmektedir.



### 8.1 Deneysel Çalışma I : 4" Çapındaki Spool



No	Çapı	Açıklaması	Et Kalınlığı	Uzunluk / Adet	Malzemesi
1	4"	Boru	6,02 mm	829 mm	Karbon Çeliği – SA 333 Gr 6
2	4"	Boru	6,02 mm	289 mm	Karbon Çeliği – SA 333 Gr 6
3	4"	Dirsek 45°	6,02 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 420 WPL 6
4	4"	Dirsek 45°	6,02 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 420 WPL 6
5	4"	Boyunlu Flanş	6,02 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 350 LF 2

Bu spool'un **MALZEME GRUBU 150#** 'dir.

No	Açıklama	Kaynak Türü ve Açıklaması		
①	1 Numaralı Kaynak	Gazaltı (Argon)	TIG/WIG	GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)
②	2 Numaralı Kaynak	Gazaltı (Argon)	TIG/WIG	GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)
③	3 Numaralı Kaynak	Gazaltı (Argon)	TIG/WIG	GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)
④	4 Numaralı Kaynak	Gazaltı (Argon)	TIG/WIG	GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)

Şekil 8.1 Deneysel çalışma I - teknik resim ve malzeme listesi

Bu çalışmada inceleyeceğimiz 4" çapındaki spool'un dizayn basıncı ve sıcaklığı 2 Bar 65 °C, çalışma basıncı ve sıcaklığı 0,1 Bar 5 °C, test basıncı ise 3 Bar'dır. Boru içerisinden geçen akışkan ise sudur. Spool üzerinde yer alan kaynak türleri hakkında detaylı bilgi Şekil 8.1'de verilmiştir. Kullanılan elektrodlar ise ESAB 12.64'dür. Bu elektrod AWS ER 70S-6 standardında F6 numaralı 2.4 mm çapındadır. Tüm kaynak ağızları V tipi ve kaynak dikişi genişliği kök bölgesinde 3 mm'dir. Ayrıca, tüm kaynak işlemleri ASME Section IX'a göre kalifiye edilmiş kaynakçılar tarafından yine aynı standardın gereksinimlerine göre hazırlanmış WPS'lere uygun olarak yapılmaktadır.

Bu malzeme grubu için (150#) müşteri tarafından istenenler tüm kaynaklarda % 100 gözle muayene ve % 20 yüzey çatlak muayenesi, sadece alın kaynaklarında % 20 oranında radyografidir. Bu talepler doğrultusunda tüm imalatta Kalite Kontrol Bölümü tarafından yapılan rasgele bir seçim neticesinde 1 numaralı alın kaynağı %20'lik kısma girdiğinden radyografi ile muayene edilmesine karar verilmiştir. Ayrıca tüm kaynaklarda gözle muayene uygulaması yapılacaktır. Kalite Kontrol Bölümü tarafından yapılan seçim neticesinde %20'lik kısma giren yüzey çatlak (manyetik parçacık) muayenesi bu spool'da yapılmayacaktır.

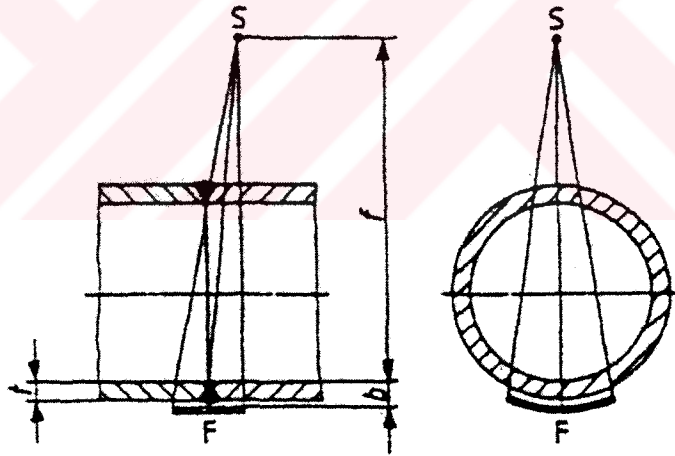
Yüzdelik seçim kriterlerini etkileyen birçok faktör vardır. Fakat Kalite Kontrol Bölümü (QC) tarafından en çok önem verilen kaynakçı bazındaki kontroldür. Bunun anlamı ise belirlenen %'lik kontrol değeri içersine her kaynakçının eşit sayıdaki kaynağının dahil edilmesidir. Bu sayede tüm kaynakçılar eşit miktarda kontrol edilmiş olur ve hatalı bir durum söz konusu ise kontrolü ve dolayısıyla hatanın giderilmesi çok daha basit olur.

Uygulanacak tahribatsız muayene işlemlerinin sırası ile ilgili olarak standartlarda herhangi bir kısıtlama yoktur. Dolayısıyla imalatın akışına göre minimum maliyet ve zaman kriterleri göz önüne alınmaktadır. Bu sebeple spool üzerindeki tüm kaynak işlemleri yapıldıktan sonra parçaya öncelikle gözle muayene yapılmakta, ardından radyografisi çekilmektedir. Bu sıralamanın sebebi ise öncelikle spool'un radyografiye uygun olup olmadığına karar verilmesi ve ardından çekilen radyografi ile kaynağın iç hatalar barındırmadığından emin olmaktır.

İmalatı biten parçaya ilk olarak SNT-TC-1A veya eşdeğer bir standardın gereksinimlerine göre sertifikalandırılmış personel tarafından gözle muayene ve boyut kontrolü yapılır. Buradaki amaç teknik resim ile imalatın birebir eşleştiğinin kontrol edilmesidir. Radyografi işleminden önce kaynaklı kısımların alt ve üst yüzeyinde gözle görülebilir hataların olup olmadığına çeşitli ekipmanlar vasıtası ile bakılır. Direkt göz temasının olmadığı durumlarda, ayna, kamera, kaynak kumpası, el feneri, gözle muayene avadanlıkları vb. yardımcı donanımlar kullanılır. Gözle muayene işleminden geçen parçalar radyografi testine gönderilir.

Radyografi işleminde 3 ½" den büyük çaptaki borular için ASME Section V Article 2 tarafından Çift duvar çekim, tek duvar değerlendirme yapılacağı belirtilmiştir. Radyografi işleminde fabrika ortamında olduğumuz için X-ışını cihazı kullanılacaktır. Kullanılacak X-ışını cihazı ISOVOLT HS-200 marka 35° açılı maksimum 200 kV'luk bir cihazdır. Ayrıca kullanılacak X-ışını cihazı bu çaptaki bir borunun içerisine girememesi de çekim geometrisini sınırlayıcı bir etkidir. Bu sebeple mecburen parça dışından ışınlama yapılacaktır.

X-ışını cihazı filmden 700 mm yukarıda ve kaynağın merkez ekseninden kaynak dikişi görüntülerinin üst üste binmemesi yani üst görüntünün filme gelmemesi için 100 mm sağa veya sola (yaklaşık olarak boru çapı kadar veya 10-15 derece) kaçaktır. Burada dikkat edilmemesi gereken yarı gölge miktarına göre çekim geometrisinin izin verdiği minimum uzaklıktan büyük bir değerin seçildiğidir. Yarı gölgeyi ufak tutmak için film-cihaz arası mesafe büyük olmalıdır. Fakat bu mesafe büyüdükçe pozlama süresi artmakta ve dolayısıyla da maliyet artmaktadır. Bizim çekimimizde ASME Section V'e göre yapılan yarı gölge hesabına göre radyasyon kaynağı-cisim mesafesi 425 mm'den büyük olmak zorundadır. Boru dış çapı da ilave edildiğinde kaynak-film mesafesi minimum 540 mm olmalıdır.

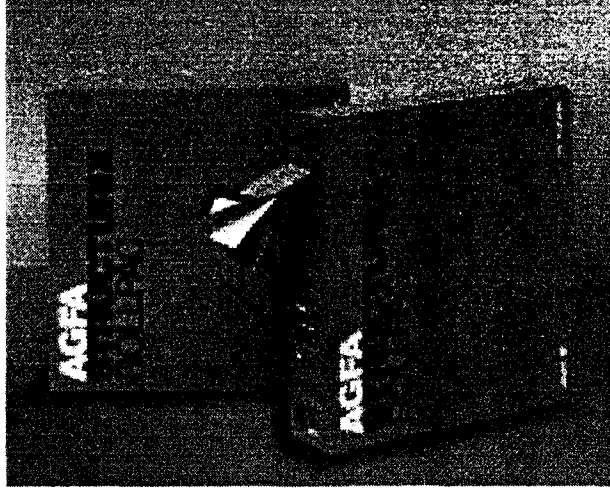


Şekil 8.2 Deneysel çalışma I – radyasyon kaynağının konumu

ASME Section V Article 2 T-272'de istenilen radyografik hassasiyeti sağlayan herhangi bir X-ışını gerilimin kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu sebeple tecrübeli NDT personeli tarafından, çekim süresini minimum tutmak amacıyla 200 kV'luk bir enerji seçilmiştir.

Kullanılan filmler ise Agfa D4 Lead Pack Roll'dür. Lead Pack Roll isimli filmler her iki tarafı 27 mikron kalınlığındaki kurşun plaka ile sandviç halinde paketlenmiş 100 mm genişliğinde 100 m uzunluğunda rulolar halinde gelmekte ve karanlık odada istenen boyutlarda kesilip ışık almayacak şekilde izole edildikten sonra kullanılmaktadır. Filmlerin kendiliğinden kurşunlu

olarak gelmesi sebebiyle ekstradan kurşun ekran gereksinimi yoktur. Filmler ASTM 1815–96 / EN 584–1 C3 Standardı'nda ve Class I sınıfındadırlar.



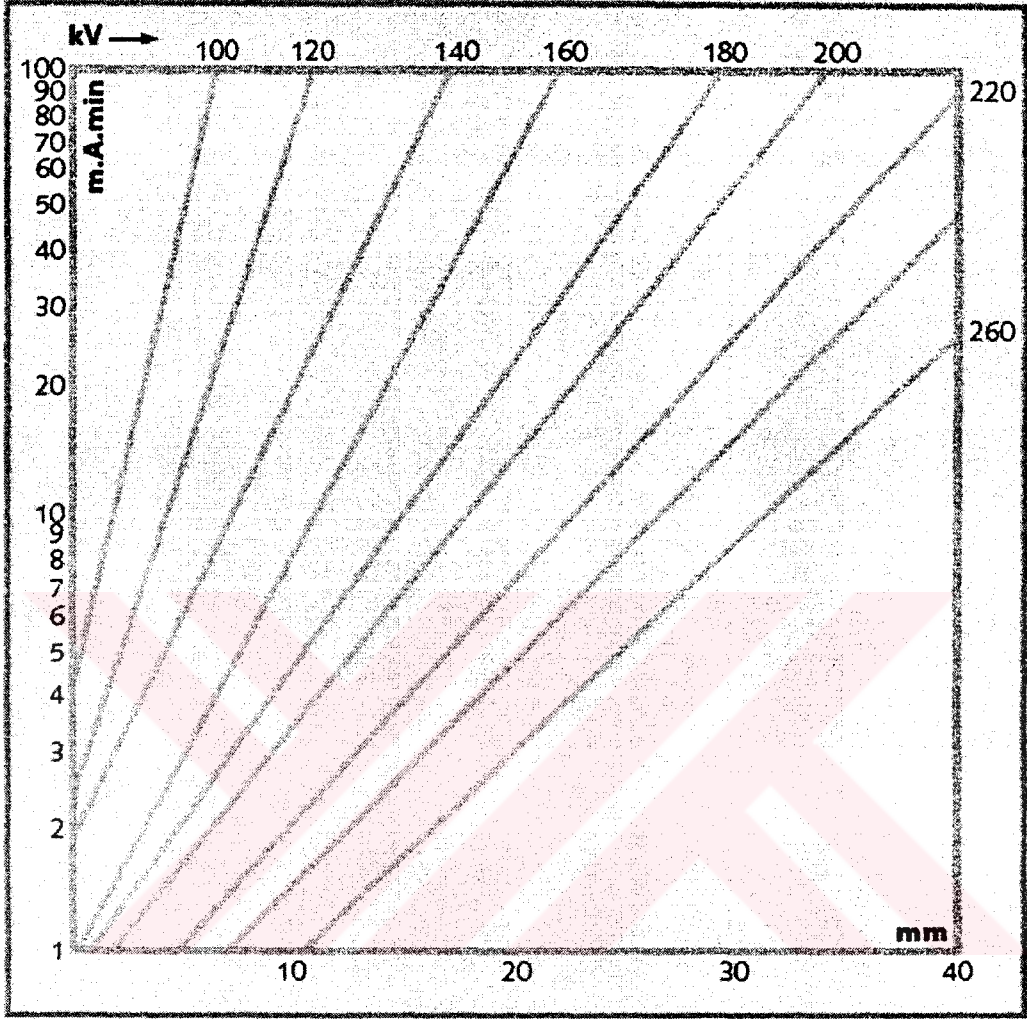
Şekil 8.3 Rulo halinde paketlenmiş filmler (www.agfa.com)



Şekil 8.4 Rulo filmlerin boru üzerine sarılması (www.agfa.com)

Poz süresi X-ışını cihaz gerilimi ve kullanılan film tipine bağlı olarak Agfa Structurix D4 film kataloğundan bulunan değer üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak bulunur. Burada çift

duvar radyografisinde poz süreleri hesaplanırken ışın her iki cidardan da geçtiği için kalınlık  $2t$  alınmalıdır. Film değerlendirmesinde ise  $t$  alınmalıdır.



Şekil 8.5 Agfa Structurix D4 filmi – poz diyagramı (FFD:1m)

Dolayısıyla poz süresinin hesaplanmasında kalınlık 12,04 mm alınacaktır. Poz diyagramındaki (Şekil 8.5)  $2t = 12,04$  mm ile 200 kV çakıştırılır ve 5 mAdak bulunur. Bizim cihazımız 5mA olduğu için süre  $5\text{mAdak} / 5\text{mA} = 1$  dak bulunur. Fakat elimizdeki poz diyagramı 1 m mesafeye göre hazırlanmıştır. Oysa bizim mesafemiz 700 mm dir. Bu yüzden ters kareler metodu uygulanır ve bulunan değer ile çarpılır. Buradan poz süresi

$$\frac{(0,7)^2}{(1)^2} \cdot 1 \text{ dak} \cong 0,5 \cdot 1 = 0,5 \text{ dak} = 30 \text{ saniye} \text{ bulunur (Yoğunluk 2).}$$

Bu hesaplamalara göre kabul yoğunluğu 2'dir. Çünkü kullandığımız poz diyagramı yoğunluk 2'ye göre hesaplanmıştır. ASME'ye göre de kabul yoğunluğu x-ışınında 1,8–4 ve gama ışınında ise 2–4 arasında olmalıdır. Fakat kaynak takviyesi adı verilen kaynak üzerindeki



kabarıklık (kep) sebebiyle malzeme o bölgede kalınlaştığı için x-ışını zayıflayacak ve yoğunluk istenen değerden aşağı düşecektir. X-ışını kullandığımız için yoğunluğun 1,8'in altına düşmesi ile ASME'ye göre film reddedileceğinden ve tekrar çekim yapılacağından dolayı biz hesaplamalarımızda yoğunluğu 3 olarak seçmeliyiz. Bunun için de süreyi arttırmalıyız. Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süre film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan katsayı ile çarpılmalıdır. Bu katsayı yaklaşık olarak 1,5'dur. Yeni sürenin hesaplanması için yapmamız gereken yoğunluk 2 için bulunan süre ile 1,5 katsayısının çarpılmasıdır. Buradan gerekli süre

$1,5 * 30 = 45$  saniye olarak bulunur (Yoğunluk=3).

X-ışını cihazı boru içerisine yerleştirilemediğinden dolayı seçilen pozlama tekniğine uygun olarak 10\*20 cm boyutundaki film parçanın dışına sarılı olarak bulunmaktadır. Filmler arasında her iki uçtan minimum 25 mm'lik boşluklar olacaktır.

ASME'nin pozlama sayısının seçimi için tanımlanmış katı kuralları yoktur fakat tüm filmler için değerlendirilecek alanı bütünüyle karşılamış yoğunluk ve hassasiyet gereklerini belirten kanıtları ister. X-ışını kaynakları için minimum 1.8'lik ve gama ışını kaynakları için minimum 2.0'lık yoğunluk her bir filmde elde edilmelidir (Henning, 1990).

ASME Section V Article 2 Nonmandatory Appendix'e göre çift duvar çekim, tek duvar değerlendirmede 120 derece ara ile minimum 3 poz olmak şartı ile yeterli miktarda film çekilecektir ifadesine yer verilmiştir. Fakat burada yarı gölgenin belirli bir değerden büyük olmaması gerekmektedir. Bu sebeple imalatçı tarafından ASME Section V'te yer alan formüllere uygun olarak imalat öncesi farklı et kalınlığına sahip değişik çaplardaki borulara ait yarı gölge hesaplamaları yapılmış ve sonuçları tablo haline getirilmiştir. Bu tablo üzerinde yer alan bilgilere dayanarak bu tip çekimdeki (bkz. Şekil 8.2) yarı gölgenin 0,03 mm ve görüntü alanının 52 mm olduğu bilinmektedir. Radyografisi çekilecek kaynak dikişine ait borunun çevresi ise  $\pi * D = \pi * 114,3 = 358,9$  cm'dir. Bu değeri de görüntü alanına böldüğümüzde  $358,9 / 52 = 6,9 \approx 7$  poz çekileceği bulunmaktadır. Çekimler esnasında değişik açılar sebebiyle parça ya da x-ışını cihazından hangisi uygunsa o çevrilir.

Radyografisi çekilecek parça üzerinde öncelikle kurşun rakamlar ile yer işaretlemesi (markalama) yapılır ve sabitlenir. Ayrıca boru üzerinde de başlangıç noktası ve ilerleme yönü işaretlenir. Yer işaretleri parça üzerindeki tüm radyografi işlemi bitene kadar sabit kalır. Bunun sebebi ise tamir olması gereken hatalı bölgeye kolaylıkla ulaşabilmektir. Yer işaretlerinin üzerinde hazırlanmış ayrı bir şablon içerisine konan film ve diğer bilgileri içeren

tüm markalama işaretleri her çekimin ardından yeni ışınlama doğrultusuna göre yerleştirilmektedir.

Tahribatsız muayene işlemlerindeki uygulama ve teknikler ASME Section V'e göre, Seçim ve Değerlendirmeler ise imalatın yapıldığı standart olan ASME B31.3'e göre yapılmaktadır.

Radyografik duyarlığın kontrolü için çekim esnasında film tarafına 1 adet ASTM Standardı'nda Set 1A tipi telli penetremetre kullanılacaktır. Değerlendirme işleminde ASME Section V'e göre ASTM Standardı'nda film tarafındaki Set 1A tipi penetremetrelerde 6,02 mm malzeme kalınlığına göre görülebilen en ince tel çapı 0,16 mm olmalıdır. Burada önemli bir husus ise 6 mm kalınlığa kadar malzemeler için kaynak takviyesinin 1,5 mm ve 6 mm'den kalın malzemeler için ise 3 mm alınarak görülebilir en ince penetremetre teli çapının bulunduğu tablodaki malzeme kalınlığına bu değer dikkate alınarak bakılmalıdır.

Çekilen filmlerin kabul yoğunluğu ASME'ye göre x-ışını için 1.8-4.0 arasında olmalıdır.

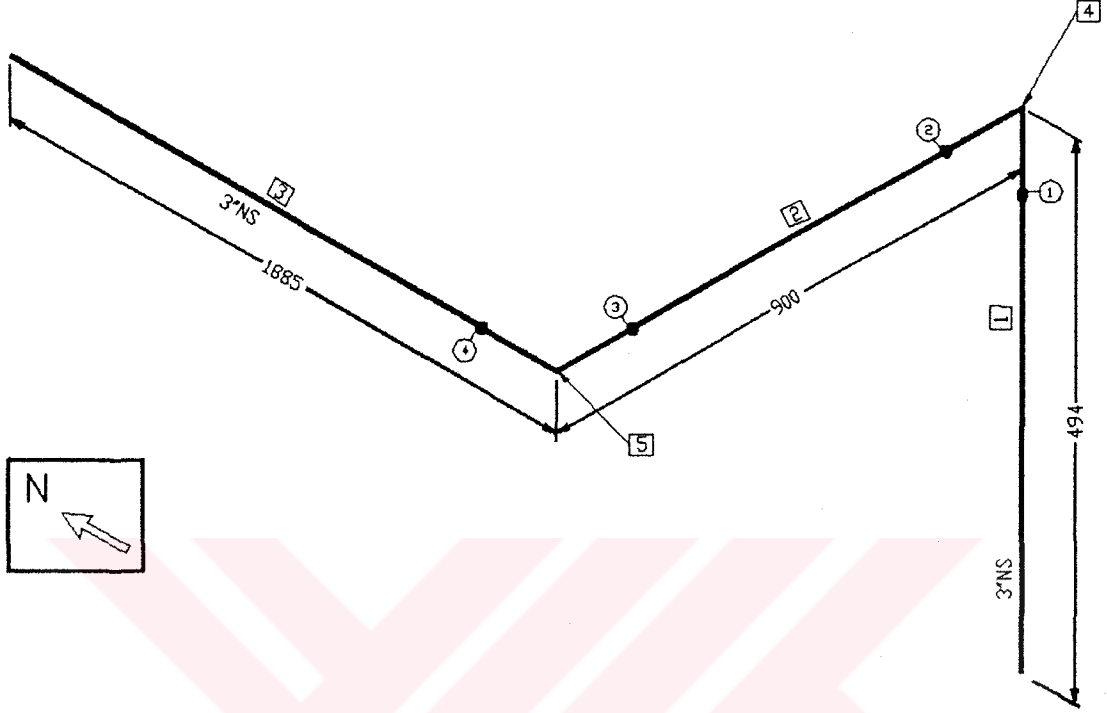
Radyografların değerlendirilmesi ise SNT-TC-1A veya eşdeğer bir standardın gereksinimlerine göre en az Level 2 seviyesinde sertifikalandırılmış personel tarafından yapılmaktadır.

Çizelge 8.2 Deneysel çalışma I – özet veri tablosu

<b>Kullanılan Radyasyon Kaynağı</b>	X-ışını 200 kV
<b>Parça Kalınlığı, Çapı ve Malzemesi</b>	6,02 mm - 4" Çapında - Karbon Çeliği
<b>Pozlama Tekniği</b>	Çift duvar çekim, tek duvar değerlendirme
<b>Radyasyon kaynağının konumu</b>	Parça dışında filmden 700 mm yukarıda, kaynak ekseninden ortalama 100 mm dışarıda
<b>Kontrol edilen kaynaklar, muayene usulleri ve yüzdeleri</b>	Tüm kaynaklara %100 gözle muayene, sadece 1 numaralı kaynağa radyografik muayene yapılacaktır.
<b>Radyasyon Kaynağı - Film Mesafesi</b>	700 mm
<b>Poz Süresi</b>	45 saniye
<b>Film ve Ekran Tipi</b>	Agfa D4 Lead Pack - Her iki tarafı 27 mikron kalınlığında kurşunla kaplı rulo halinde film
<b>Film Adedi ve Boyutları</b>	7 adet 10*20 cm boyutunda
<b>Penetremetre Tipi ve Standardı</b>	ASTM Standardı'nda film tarafında Set 1A tipi telli penetremetre
<b>Film Kabul Yoğunluğu</b>	1.8-4.0



## 8.2 Deneysel Çalışma II : 3" Çapındaki Spool



No	Çapı	Açıklaması	Et Kalınlığı	Uzunluk / Adet	Malzemesi
1	3"	Boru	11,13 mm	377 mm	Karbon Çeliği – SA 333 Gr 6
2	3"	Boru	11,13 mm	667 mm	Karbon Çeliği – SA 333 Gr 6
3	3"	Boru	11,13 mm	1769 mm	Karbon Çeliği – SA 333 Gr 6
4	3"	Dirsek 90° LR	11,13 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 420 WPL 6
5	3"	Dirsek 90° LR	11,13 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 420 WPL 6

Bu spool'un **MALZEME GRUBU 900#** 'dür.

No	Açıklama	Kaynak Türü ve Açıklaması	
①	1 Numaralı Kaynak	Gazaltı	Kök Paso GTAW (TIG/WIG), Diğer Pasolar FCAW
②	2 Numaralı Kaynak	Gazaltı	Kök Paso GTAW (TIG/WIG), Diğer Pasolar FCAW
③	3 Numaralı Kaynak	Gazaltı	Kök Paso GTAW (TIG/WIG), Diğer Pasolar FCAW
④	4 Numaralı Kaynak	Gazaltı	Kök Paso GTAW (TIG/WIG), Diğer Pasolar FCAW

Şekil 8.6 Deneysel çalışma II - teknik resim ve malzeme listesi

Bu çalışmada incelenecek 3" çapındaki spool'un dizayn basıncı ve sıcaklığı 100 Bar 85 °C, çalışma basıncı ve sıcaklığı 56 Bar 20 °C, test basıncı ise 150 Bar'dır. Boru içerisinden geçen akışkan ise sudur. Spool üzerinde yer alan kaynak türleri hakkında detaylı bilgi Şekil 8.6'da verilmiştir. Kullanılan elektrodlar ise kök pasolarda ESAB 12.64'dür. Bu elektrod AWS ER 70S-6 standardında F6 numaralı 2.4 mm çapındadır. Diğer pasolarda kullanılan elektrod ise Megafil 710 M'dir. Bu elektrod AWS E71T-1 Standardı'nda F6 numaralı ve 1.2 mm çapındadır. Tüm kaynak ağızları V tipi ve kaynak dikişi genişliği kök bölgesinde 3 mm'dir. Ayrıca, tüm kaynak işlemleri ASME Section IX'a göre kalifiye edilmiş kaynakçılar tarafından yine aynı standardın gereksinimlerine göre hazırlanmış WPS'lere uygun olarak yapılmaktadır.

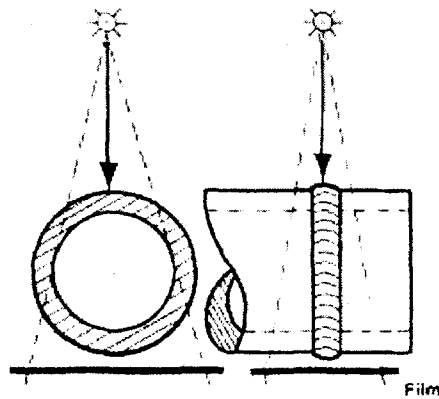
Bu malzeme grubu için (900#) müşteri tarafından istenenler tüm kaynaklarda % 100 gözle muayene ve % 100 yüzey çatlak muayenesi ve de sadece alın kaynaklarında % 100 oranında radyografidir. Bu spool üzerinde yer alan kaynakların tamamı alın kaynağı olduğu için tüm kaynaklar radyografik, manyetik ve gözle muayene işleminden geçecektir.

Uygulanacak tahribatsız muayene işlemlerinin sırası ile ilgili olarak standartlarda herhangi bir kısıtlama yoktur. Dolayısıyla imalatın akışına göre minimum maliyet ve zaman kriterleri göz önüne alınmaktadır. Bu sebeple spool üzerindeki tüm kaynak işlemleri yapıldıktan sonra parçanın öncelikle gözle muayenesi yapılmakta, ardından radyografisi çekilmekte ve en son olarak da manyetik parçacık muayenesi yapılmaktadır. Bu sıralamanın sebebi ise öncelikle spool'un radyografiye uygun olup olmadığının karar verilmesi ve ardından çekilen radyografi ile kaynağın iç hatalar barındırmadığından emin olmaktır. Çünkü manyetik parçacık muayenesi ile bulunabilecek yüzey ve yüzeye yakın hatalar taşlanarak giderilebilir. Bu sebeple iki kere manyetik parçacık muayenesi yapmamak ve dolayısıyla maliyeti arttırmamak için öncelikle radyografi çekilmesi tercih edilir.

İmalatı biten parçaya ilk olarak SNT-TC-1A veya eşdeğer bir standardın gereksinimlerine göre sertifikalandırılmış personel tarafından boyut kontrolü ve gözle muayene yapılır. Buradaki amaç teknik resim ile imalatın birebir eşleştiğinin kontrol edilmesidir. Radyografi işleminden önce kaynaklı kısımların alt ve üst yüzeyinde gözle görülebilir hataların olup olmadığına çeşitli ekipmanlar vasıtası ile bakılır. Direkt göz temasının olmadığı durumlarda, ayna, kamera, kaynak kumpası, el feneri, gözle muayene avadanlıkları vb. yardımcı donanımlar kullanılır. Gözle muayene işleminden geçen parçalar radyografi testine gönderilir. Radyografi işleminden çıkan parçalara da manyetik parçacık muayenesi yapılarak yüzey hataları barındırmadığından emin olunur, varsa tamire gönderilir veya reddedilir.

ASME'ye göre 3 ½" den küçük çaptaki boruların radyografisinde "Super Imposed" adı verilen teknik uygulanır. Bu teknikte kaynağın üzerinden kaynağa dik olarak ışınlama yapılarak çift duvar çekim, tek duvar değerlendirme yapılması gerektiği belirtilmiştir. Radyografi işleminde fabrika ortamında olduğumuz için X-ışını cihazı kullanılacaktır. Kullanılacak X-ışını cihazı ISOVOLT HS-200 marka 35° açılı maksimum 200 kV'luk bir cihazdır. Ayrıca kullanılacak X-ışını cihazı bu çaptaki bir borunun içerisine girememesi de çekim geometrisini sınırlayıcı bir etkidir. Bu sebeple mecburen parça dışından ışınlama yapılacaktır. Ayrıca gama cihazı ile yapılacak ışınlamada radyoaktif elementin koruyucu zırh içerisinden çıkartılıp ışınlama yapılacak bölgeye nakledilmesi ve ışınlamanın ardından tekrar geri getirilmesi için gerekli süre X-ışını cihazı ile kıyaslandığında bir hayli fazladır. Bu sebeple çoklu çekim yapılacak küçük çaplı borularda X-ışını cihazı ile çok daha seri bir şekilde çekim yapılabilir. Fakat burada da X-ışını cihazının geometrisi sebebiyle bazı kaynak dikişlerinde uygun pozlama yapılamayabilir. Gama ışın cihazı daha küçük geometriye sahip olması sebebiyle bu tip durumlarda tercih edilir.

X-ışını cihazı filmden 350 mm yukarıda ve kaynağa dik olarak ışınlama yapacaktır. Burada dikkat edilmemesi gereken yarı gölge miktarına göre çekim geometrisinin izin verdiği minimum uzaklıktan büyük bir değerin seçildiğidir. Yarı gölgeyi ufak tutmak için film-cihaz arası mesafe büyük olmalıdır. Fakat bu mesafe büyüdükçe pozlama süresi artmakta ve dolayısıyla da maliyet artmaktadır. Bizim çekimimizde ASME Section V'e göre yapılan yarı gölge hesabına göre radyasyon kaynağı-film mesafesi 315 mm'den büyük olmak zorundadır.



Şekil 8.7 Deneysel çalışma II – radyasyon kaynağının konumu

ASME Section V Article 2 T-272'de istenilen radyografik hassasiyeti sağlayan herhangi bir X-ışını gerilimin kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu sebeple tecrübeli NDT personeli tarafından, çekim süresini minimum tutmak amacıyla 200 kV'luk bir enerji seçilmiştir.

Kullanılan filmler ise Agfa D4 Lead Pack'dir. Bir önceki deneyde bu tip filmler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. X-ışını cihazı boru içerisine yerleştirilemediğinden dolayı seçilen pozlama tekniğine uygun olarak 10\*20 cm boyutundaki film parçanın dışına sarılacaktır. Filmler arasında her iki uçtan minimum 25 mm'lik bilmeler olacaktır.

Poz süresi X-ışını cihazı ve kullanılan film tipine bağlı olarak Agfa Structurix D4 film kataloğundan bulunan değer üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak bulunur. Burada çift duvar radyografisinde poz süreleri hesaplanırken ışın her iki cidardan da geçtiği için kalınlık 2t alınmalıdır. Film değerlendirmesinde ise t alınmalıdır.

Dolayısıyla poz süresinin hesaplanmasında kalınlık 22,26 mm alınacaktır. Poz diyagramındaki (Şekil 8.5)  $2t = 22,26$  mm ile 200 kV karşılaştırılır ve 20 mAdak bulunur. Bizim cihazımız 5mA olduğu için süre  $20\text{mAdak} / 5\text{mA} = 4$  dak bulunur. Fakat elimizdeki poz diyagramı 1 m mesafeye göre hazırlanmıştır. Oysa bizim mesafemiz 350 mm dir. Bu yüzden ters kareler metodu uygulanır ve bulunan değer ile çarpılır. Buradan poz süresi  $\frac{(0,35)^2}{(1)^2} \cdot 4 \text{ dak} = 0,1225 \cdot 4 \cong 0,5 \text{ dak} = 30 \text{ saniye}$  bulunur (Yoğunluk 2).

Bu hesaplamalara göre kabul yoğunluğu 2'dir. Çünkü kullandığımız poz diyagramı yoğunluk 2'ye göre hesaplanmıştır. X-ışını kullandığımız için yoğunluğun 1,8'in altına düşmesi ile ASME'ye göre film reddedileceğinden ve tekrar çekim yapılacağından dolayı çekimi riske atmamak için hesaplamalarımızda yoğunluğu 3 olarak seçmeliyiz. Bunun için de süreyi arttırmalıyız. Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süre film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan 1,5 katsayı ile çarpılmalıdır. Buradan gerekli süre:

$$1,5 * 30 = 45 \text{ saniye olarak bulunur (Yoğunluk=3)}.$$

ASME Section V Article 2 Nonmandatory Appendix'e göre çift duvar çekim, tek duvar değerlendirmede 120 derece ara ile minimum 3 poz olmak şartı ile yeterli miktarda film çekilecektir diyor. Fakat burada yarı gölgenin belirli bir değerden büyük olmaması gerekmektedir. Bu sebeple imalatçı tarafından ASME Section V'te yer alan formüllere uygun olarak imalat öncesi farklı et kalınlığına sahip değişik çaplardaki borulara ait yarı gölge hesaplamaları yapılmış ve sonuçları tablo haline getirilmiştir. Bu tablo üzerinde yer alan bilgilere dayanarak bu tip çekimdeki (bkz. Şekil 8.7) yarı gölgenin 0,06 mm ve görüntü alanının 41 mm olduğu bilinmektedir. Radyografisi çekilecek kaynak dikişine ait borunun çevresi ise  $\pi * D = \pi * 88,9 = 279,15$  cm'dir. Bu değeri de görüntü alanına böldüğümüzde  $279,15 / 41 =$

6,8  $\approx$  7 poz çekileceği bulunmaktadır. Çekimler esnasında değişik açılar sebebiyle parça ya da x-ışını cihazından hangisi uygunsa o çevrilir.

Markalama işlemi ile ilgili detaylı bilgi bir önceki deneyde verilmiştir. Bu deneyde de aynı şekilde yapılacaktır.

Tahribatsız muayene işlemlerindeki uygulama ve teknikler ASME Section V'e göre, Seçim ve Değerlendirmeler ise imalatın yapıldığı standart olan ASME B31.3'e göre yapılmaktadır.

Radyografik duyarlığın kontrolü için çekim esnasında film tarafında 1 adet ASTM Standardı'nda Set 1B telli penetremetre kullanılacaktır. Değerlendirme işleminde ASME Section V'e göre ASTM Standardında film tarafındaki Set 1B tipi penetremetrelerde 11,13 mm malzeme kalınlığına göre görülebilen en ince tel çapı 0,33 mm olmalıdır.

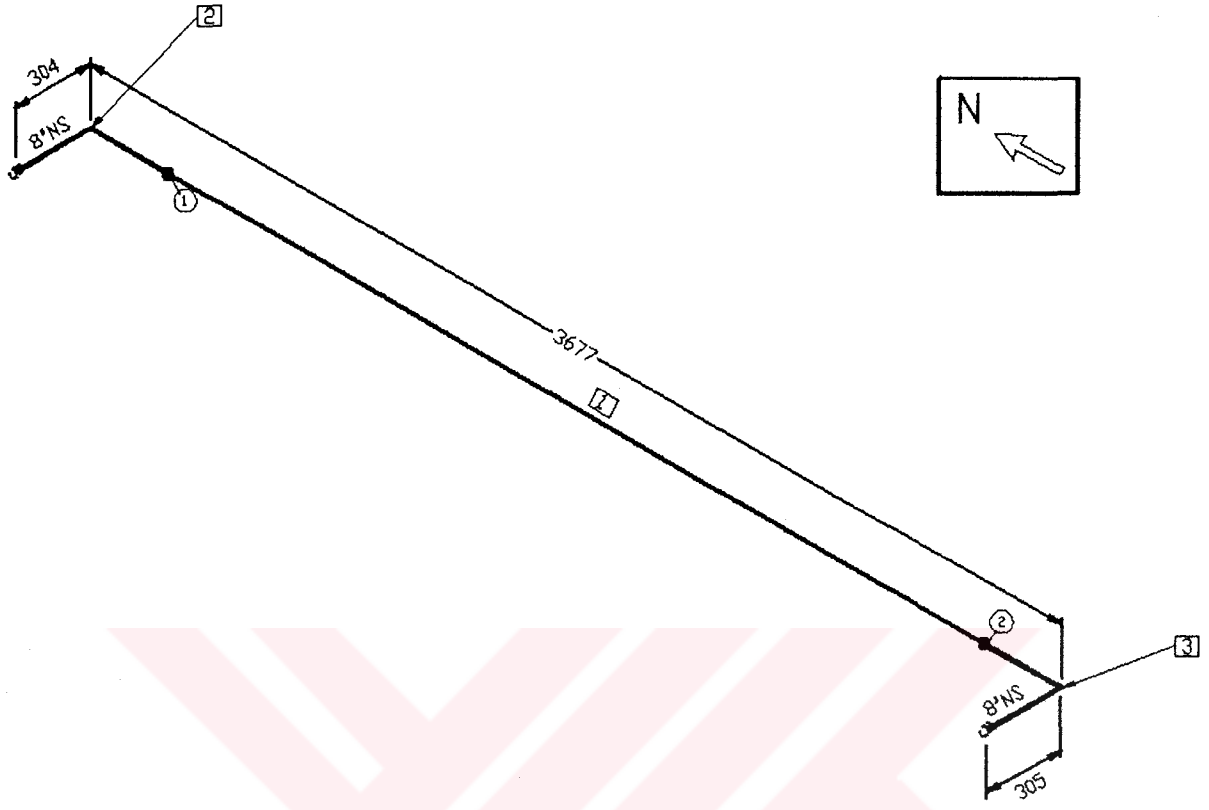
Radyografların değerlendirilmesi ise SNT-TC-1A'ya göre en az Level 2 seviyesinde sertifikalandırılmış personel tarafından yapılmaktadır.

Manyetik parçacık muayene işleminde ise önce yüzeyde hareket eden parçaları görebilmek için arka yüzeyi beyazlatmak amacıyla bir solüsyon püskürtülmekte ve kısa bir süre kuruması için beklenmektedir. Ardından, manyetik parçacıklar içeren solüsyonu uygulanmakta ve aynı anda cihazla 42 Volt gerilim uygulanarak manyetik alan oluşturulup manyetik parçacıkların yönelme ve birikimleri dikkate alınarak yüzey ve yüzeye yakın hatalar incelenmektedir. Manyetik parçacık muayenesinde bir önceki deneyde kullanılan cihaz kullanılmaktadır.

Çizelge 8.3 Deneysel çalışma II – özet veri tablosu

<b>Kullanılan Radyasyon Kaynağı</b>	X-ışını 200 kV
<b>Parça Kalınlığı, Çapı ve Malzemesi</b>	11,13 mm - 3" Çapında - Karbon Çeliği
<b>Pozlama Tekniği</b>	Çift duvar çekim, tek duvar değerlendirme
<b>Radyasyon kaynağının konumu</b>	Parça dışında filmden 350 mm yukarıda
<b>Kontrol edilen kaynaklar, muayene usulleri ve yüzdeleri</b>	Tüm kaynaklara %100 gözle muayene, %100 manyetik parçacık testi ve %100 radyografik muayene yapılacaktır.
<b>Radyasyon Kaynağı - Film Mesafesi</b>	350 mm
<b>Poz Süresi</b>	45 saniye
<b>Film ve Ekran Tipi</b>	Agfa D4 Lead Pack - Her iki tarafı 27 mikron kalınlığında kurşunla kaplı rulo halinde film
<b>Film Adedi ve Boyutları</b>	7 adet 10*20 cm boyutunda
<b>Penetremetre Tipi ve Standardı</b>	ASTM Standardı'nda film tarafında Set 1B tipi telli penetremetre
<b>Film Kabul Yoğunluğu</b>	1.8-4.0

### 8.3 Deneysel Çalışma III : 8" Çapındaki Spool



No	Çapı	Açıklaması	Et Kalınlığı	Uzunluk / Adet	Malzemesi
1	8"	Boru	12,70 mm	3064 mm	Karbon Çeliği – SA 333 Gr 6
2	8"	Dirsek 90° LR	12,70 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 420 WPL 6
3	8"	Dirsek 90° LR	12,70 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 420 WPL 6

Bu spool'un **MALZEME GRUBU 600#** 'dür.

No	Açıklama	Kaynak Türü ve Açıklaması	
①	1 Numaralı Kaynak	Gazaltı	Kök Paso GTAW (TIG/WIG), Diğer Pasolar FCAW
②	2 Numaralı Kaynak	Gazaltı+Ark	Kök Paso GTAW (TIG), Diğer Pasolar SMAW (MIG/MAG)

Şekil 8.8 Deneysel çalışma III - teknik resim ve malzeme listesi



Bu çalışmada incelenecek 8" çapındaki spool'un dizayn basıncı ve sıcaklığı 60 Bar 70 °C, çalışma basıncı ve sıcaklığı 1 Bar 38 °C, test basıncı ise 90 Bar'dır. Boru içerisinden geçen akışkan ise sudur. Spool üzerinde yer alan kaynak türleri hakkında detaylı bilgi Şekil 8.8'de verilmiştir. Kullanılan elektrodlar ise kök pasolarında ESAB OK 12.64'dür. Bu elektrod AWS ER 70S-6 standardında F6 numaralı 2.4 mm çapındadır. 1 numaralı kaynakta üst pasolar otomasyon olarak atılmaktadır ve bu pasolarında kullanılan elektrod ise Megafil 710 M'dir. 2 numaralı kaynakta ise üst pasolar elle ark usulü olarak yapılmakta ve kullanılan elektrod Oerlikon/Tenaciton marka AWS E 7018-1 H4 Standardı'nda F4 numaralı ve 2.5-3.5 mm çapındadır. Tüm kaynak ağızları V tipi ve kaynak dikişi genişliği kök bölgesinde 3 mm'dir. Ayrıca, tüm kaynak işlemleri ASME Section IX'a göre kalifiye edilmiş kaynakçılar tarafından yine aynı standardın gereksinimlerine göre hazırlanmış WPS'lere uygun olarak yapılmaktadır.

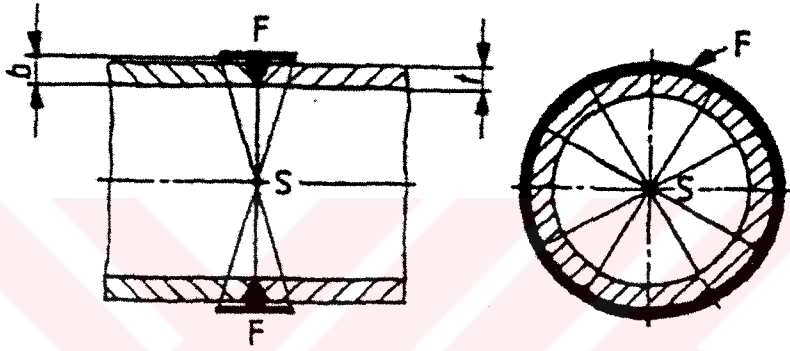
Bu malzeme grubu için (600#) müşteri tarafından istenenler tüm kaynaklarda % 100 gözle muayene ve % 20 yüzey çatlak muayenesi ve de sadece alın kaynaklarında % 20 oranında radyografidir. Kalite Kontrol Bölümü tarafından yapılan seçim neticesinde 1 numaralı alın kaynağının radyografisinin çekilmesi ve manyetik parçacık muayenesinin yapılması uygun görülmüştür.

Uygulanacak tahribatsız muayene işlemlerinin sırası ile ilgili olarak standartlarda herhangi bir kısıtlama yoktur. Dolayısıyla imalatın akışına göre minimum maliyet ve zaman kriterleri göz önüne alınmaktadır. Bu sebeple spool üzerindeki tüm kaynak işlemleri yapıldıktan sonra parçanın öncelikle gözle muayenesi yapılmakta, ardından radyografisi çekilmekte ve en son olarak da manyetik parçacık muayenesi yapılmaktadır. Bu sıralamanın sebebi ise öncelikle spool'un radyografiye uygun olup olmadığının karar verilmesi ve ardından çekilen radyografi ile kaynağın iç hatalar barındırmadığından emin olmaktır. Çünkü manyetik parçacık muayenesi ile bulunabilecek yüzey ve yüzeye yakın hatalar taşlanarak giderilebilir. Bu sebeple iki kere manyetik parçacık muayenesi yapmamak ve dolayısıyla maliyeti arttırmamak için öncelikle radyografi çekilmesi tercih edilir.

İmalatı biten parçaya ilk olarak SNT-TC-1A Standardı'nın gereksinimlerine göre sertifikalandırılmış personel tarafından boyut kontrolü ve gözle muayene yapılır. Boyut kontrolündeki amaç teknik resimde yazan ölçüler ile imalatın birebir eşleştiğinin kontrol edilmesidir. Ardından, radyografi işleminden önce, kaynaklı kısımların alt ve üst yüzeyinde gözle görülebilir hataların olup olmadığına çeşitli ekipmanlar vasıtası ile bakılır. Direkt göz temasının olmadığı durumlarda, ayna, kamera, kaynak kumpası, el feneri, gözle muayene avadanlıkları vb. yardımcı donanımlar kullanılır. Gözle muayene işleminden geçen parçalar

radyografi testine gönderilir. Radyografi işleminden çıkan parçalara da manyetik parçacık muayenesi yapılarak yüzey hataları barındırmadığından emin olunur, varsa tamire gönderilir veya reddedilir.

Radyasyon kaynağı olarak gama cihazını seçersek, cihaz bu çaptaki bir borunun içerisine yerleştirilebileceği için tek seferde tüm kaynak dikişlerinin radyografisi çekilebilir. Dolayısıyla radyografi için gereken zaman kısalmış ve maliyet azalır. Cihaz boru içersinde merkezlendikten sonra kaynağa dik ışınlama yapılır. Bu deneyde kullanılacak ışın kaynağımız yani izotop Ir-192'dir ve 60 Curie değerindedir. Gama ışını cihazı merkezlendiği an film ile arasındaki mesafe boru yarıçapı olan 110 mm olacaktır.



Şekil 8.9 Deneysel çalışma III – radyasyon kaynağının konumu

Kullanılan filmler ise Agfa D4 Lead Pack'dir. 8.1 numaralı deneyde bu tip filmler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Poz süresi, izotop cinsi ve kullanılan film tipine bağlı olarak Agfa Structurix D4 film kataloğundan bulunan değer üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak bulunur.

Poz süresinin hesaplanmasında kalınlık 12,7 mm alınacaktır. Poz diyagramındaki (Şekil 8.10)  $t = 12,7$  mm ile D4 filmi karşılaştırılır ve 6 Curie\*saat bulunur. Bizim izotopumuz 60 Ci olduğu için süre  $6 \text{ Ci.saat} / 60 \text{ Ci} = 0,1 \text{ saat} = 6 \text{ dakika} = 360 \text{ saniye}$  bulunur. Fakat elimizdeki poz diyagramı 1 m mesafeye göre hazırlanmıştır. Oysa bizim mesafemiz 110 mm dir. Bu yüzden ters kareler metodu uygulanır ve bulunan değer ile çarpılır. Buradan poz süresi

$$\frac{(0,11)^2}{(1)^2} \cdot 360 \text{ saniye} = 0,121 \cdot 360 = 43,56 \cong 44 \text{ saniye} \text{ bulunur (Yoğunluk}=2).$$

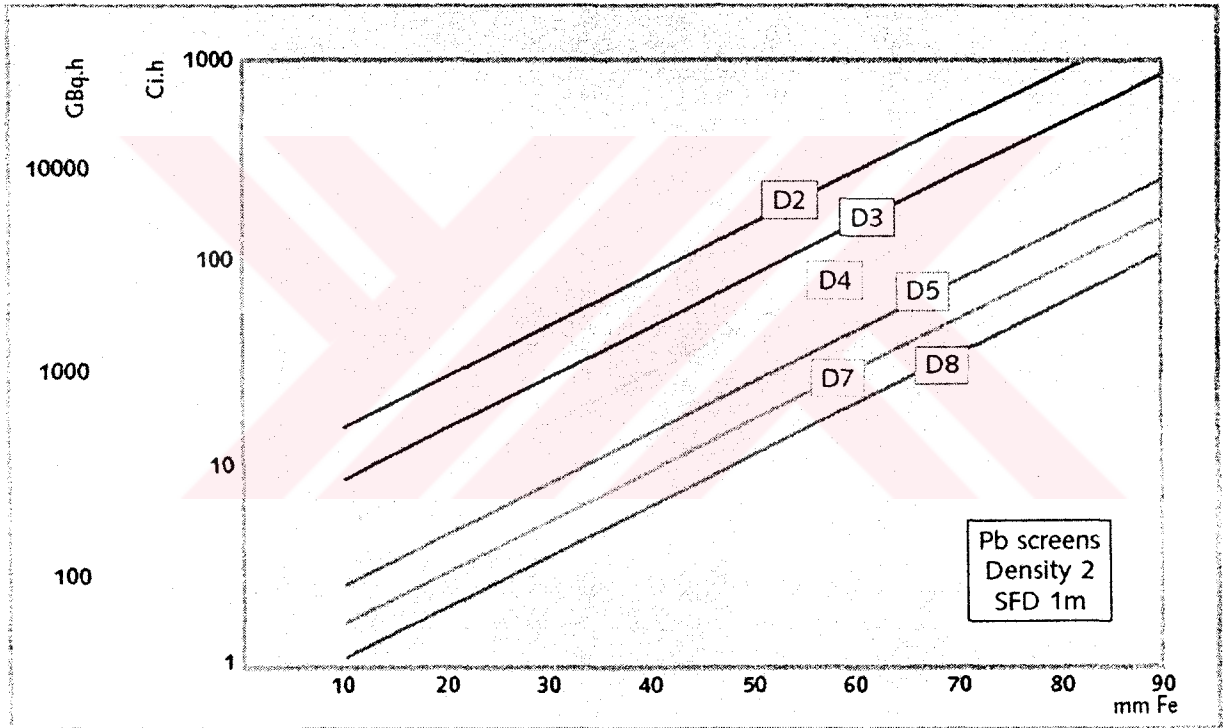
Bu hesaplamalara göre kabul yoğunluğu 2'dir. Çünkü kullandığımız poz diyagramı yoğunluk 2'ye göre hesaplanmıştır. X-ışını kullandığımız için yoğunluğun 2.0'ın altına düşmesi ile ASME'ye göre film reddedileceğinden ve tekrar çekim yapılacağından dolayı çekimi riske

atmamak için hesaplamalarımızda yoğunluğu 3 olarak seçmeliyiz. Bunun için de süreyi arttırmalıyız. Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süre film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan 1,5 katsayı ile çarpılmalıdır. Buradan gerekli süre:

$$1,5 * 44 = 66 \text{ saniye olarak bulunur (Yoğunluk=3).}$$

Yarı gölgenin ise 0,06 mm olduğu bilinmektedir.

Gama ışını cihazı boru içerisine yerleştirilebildiği için seçilen pozlama tekniğine uygun olarak boru çevresini tamamen saracak büyüklükteki 10\*70 cm boyutlarındaki film borunun dışına sarılacaktır. Filmin uçlarındaki arta kalan kısımlarında her iki uçtan binmeler olacaktır.



Şekil 8.10 Ir-192 için poz diyagramı

Markalama işlemi ile ilgili detaylı bilgi 8.1 numaralı deneyde verilmiştir. Bu deneyde de aynı şekilde markalama yapılacaktır.

Tahratsız muayene işlemlerindeki uygulama ve teknikler ASME Section V'e göre, Seçim ve Değerlendirmeler ise imalatın yapıldığı standart olan ASME B31.3'e göre yapılmaktadır.

Radyografik duyarlılığın kontrolü için çekim esnasında film tarafında 1 adet ASTM Standardı'nda Set 1B tipi telli penetremetre kullanılacaktır. Değerlendirme işleminde ASME

Section V'e göre ASTM Standardında film tarafındaki Set 1B tipi penetrelerde 12,7 mm malzeme kalınlığına göre görülebilen en ince tel çapı 0,33 mm olmalıdır.

Çekilen filmlerin kabul yoğunluğu ASME'ye göre 2.0-4.0 arasında olmalıdır.

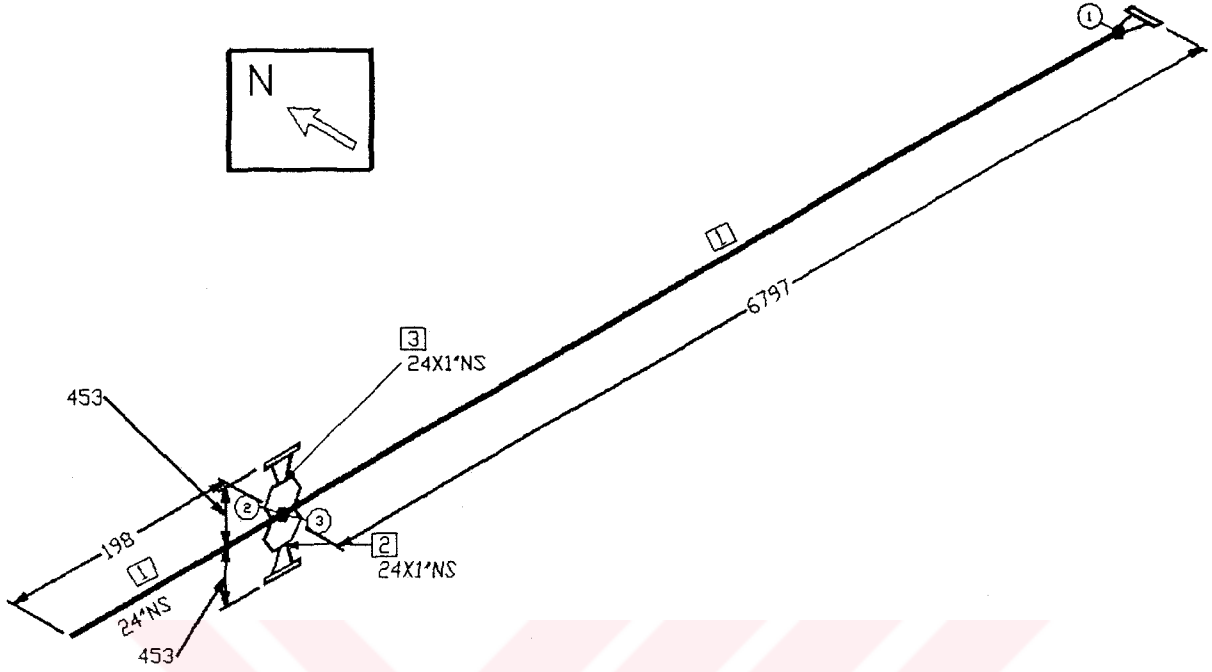
Radyografların değerlendirilmesi ise SNT-TC-1A'ya göre en az Level 2 seviyesinde sertifikalandırılmış personel tarafından yapılmaktadır.

Manyetik parçacık muayene işleminde ise önce yüzeyde hareket eden parçaları görebilmek için arka yüzeyi beyazlatmak amacıyla bir solüsyon püskürtülmekte ve kısa bir süre kuruması için beklenmektedir. Ardından, manyetik parçacıklar içeren solüsyonu uygulanmakta ve aynı anda cihazla 42 Volt gerilim uygulanarak manyetik alan oluşturulup manyetik parçacıkların yönelme ve birikimleri dikkate alınarak yüzey ve yüzeye yakın hatalar incelenmektedir. Kullanılan cihazın minimum kaldırma kapasitesi DC'de=18,1 kg ve AC'de=4,5 kg'dır. Bu kapasite oluşan manyetik alanı kalibre etmek için kullanılır.

Çizelge 8.4 Deneysel çalışma III – özet veri tablosu

<b>Kullanılan Radyasyon Kaynağı</b>	Ir-192 / 60 Curie
<b>Parça Kalınlığı, Çapı ve Malzemesi</b>	12,70 mm - 8" Çapında - Karbon Çeliği
<b>Pozlama Tekniği</b>	Çift duvar çekim, tek duvar değerlendirme
<b>Radyasyon kaynağının konumu</b>	Boru içinde merkezlenmiş olarak bulunmaktadır.
<b>Kontrol edilen kaynaklar, muayene usulleri ve yüzdeleri</b>	Tüm kaynaklara %100 gözle muayene, %20 manyetik parçacık testi ve %20 radyografik muayene yapılacaktır.
<b>Radyasyon Kaynağı - Film Mesafesi</b>	110 mm
<b>Poz Süresi</b>	66 saniye
<b>Film ve Ekran Tipi</b>	Agfa D4 Lead Pack - Her iki tarafı 27 mikron kalınlığında kurşunla kaplı rulo halinde film
<b>Film Adedi ve Boyutları</b>	1 adet 10*70 cm boyutunda
<b>Penetre Tipi ve Standardı</b>	ASTM Standardında film tarafında Set 1B tipi telli penetre
<b>Film Kabul Yoğunluğu</b>	2.0-4.0

#### 8.4 Deneysel Çalışma IV : 24" Çapındaki Spool



No	Çapı	Açıklaması	Et Kalınlığı	Uzunluk / Adet	Malzemesi
1	24"	Boru	46,02 mm	6995 mm	Karbon Çeliği – SA 333 Gr 6
2	24"x1"	Nozul	9,09 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 350
3	24"x1"	Nozul	9,09 mm	1 Adet	Karbon Çeliği – SA 350

Bu spool'un **MALZEME GRUBU 900#** 'dür.

No	Açıklama	Kaynak Türü ve Açıklaması	
1	1 Numaralı Kaynak	Gazaltı+Tozaltı	Kök Paso GTAW (TIG), Diğer Pasolar SAW (Tozaltı)
2	2 Numaralı Kaynak	Gazaltı	GTAW (TIG/WIG)
3	3 Numaralı Kaynak	Gazaltı	GTAW (TIG/WIG)

Şekil 8.11 Deneysel çalışma IV - teknik resim ve malzeme listesi

Bu çalışmada incelenecek 24" çapındaki spool'un içerisinde geçecek akışkan sudur. Spool üzerinde yer alan kaynak türleri hakkında detaylı bilgi Şekil 8.11'de verilmiştir. 1 numaralı kaynağın kök pasoları tozaltı kaynak yöntemi ile otomasyon olarak yapılmaktadır. Kök pasolarda kullanılan elektrot ESAB 12.32'dir. Bu elektrod AWS EH 12K standardında F6 numaralı ve 3.0-4.0 mm çapındadır. Kullanılan toz ise ESAB OK 10.62'dir. Gazaltı kaynak yöntemi ile yapılan üst pasolarda kullanılan elektrot ise Bohler EMK-6'dır. Bu elektrod AWS E70S-6 Standardı'nda F6 numaralı ve 2.4 mm çapındadır. 2 ve 3 numaralı kaynaklar ise gazaltı kaynak yöntemi ile yapılmaktadır. Tüm pasolarda kullanılan elektrot ESAB 12.64'dür. Bu elektrod AWS ER 70S-6 standardında F6 numaralı ve 2.4 mm çapındadır. Tüm kaynak ağzları V tipi ve kaynak dikişi genişliği kök bölgesinde 3 mm'dir. Ayrıca, tüm kaynak işlemleri ASME Section IX'a göre kalifiye edilmiş kaynakçılar tarafından yine aynı standardın gereksinimlerine göre hazırlanmış WPS'lere uygun olarak yapılmaktadır.

Bu malzeme grubu için (900#) müşteri tarafından istenenler tüm kaynaklarda % 100 gözle muayene ve % 100 yüzey çatlak muayenesi ve de sadece alın kaynaklarında % 100 oranında radyografidir. Bu spool üzerinde sadece 1 numaralı kaynak alın kaynağı olduğu için radyografik muayeneden geçecektir. Bununla birlikte, tüm kaynaklar manyetik ve gözle muayene işleminden geçecektir.

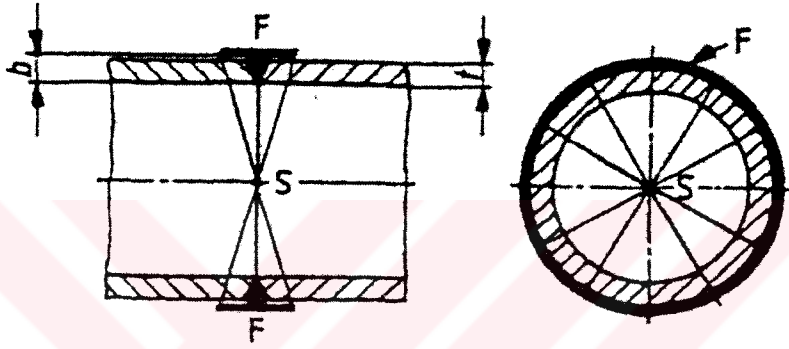
Uygulanacak tahribatsız muayene işlemlerinin sırası ile ilgili olarak standartlarda herhangi bir kısıtlama yoktur. Dolayısıyla imalatın akışına göre minimum maliyet ve zaman kriterleri göz önüne alınmaktadır. Bu sebeple spool üzerindeki tüm kaynak işlemleri yapıldıktan sonra parçanın öncelikle gözle muayenesi yapılmakta, ardından radyografisi çekilmekte ve en son olarak da manyetik parçacık muayenesi yapılmaktadır. Bu sıralamanın sebebi ise öncelikle spool'un radyografiye uygun olup olmadığının karar verilmesi ve ardından çekilen radyografi ile kaynağın iç hatalar barındırmadığından emin olmaktır. Çünkü manyetik parçacık muayenesi ile bulunabilecek yüzey ve yüzeye yakın hatalar taşlanarak giderilebilir. Bu sebeple iki kere manyetik parçacık muayenesi yapmamak ve dolayısıyla maliyeti arttırmamak için öncelikle radyografi çekilmesi tercih edilir.

İmalatı biten parçaya ilk olarak SNT-TC-1A veya eşdeğer bir standardın gereksinimlerine göre sertifikalandırılmış personel tarafından boyut kontrolü ve gözle muayene yapılır. Buradaki amaç teknik resim ile imalatın birebir eşleştiğinin kontrol edilmesidir. Radyografi işleminden önce kaynaklı kısımların alt ve üst yüzeyinde gözle görülebilir hataların olup olmadığına çeşitli ekipmanlar vasıtası ile bakılır. Direkt göz temasının olmadığı durumlarda, ayna, kamera, kaynak kumpası, el feneri, gözle muayene avadanlıkları vb. yardımcı



donanımlar kullanılır. Gözle muayene işleminden geçen parçalar radyografi testine gönderilir. Radyografi işleminden çıkan parçalara da manyetik parçacık muayenesi yapılarak yüzey hataları barındırmadığından emin olunur, varsa tamire gönderilir veya reddedilir.

Bu spool'un 24" çapında olması sebebiyle ışın kaynağı boru içerisine girebilmektedir. Bu sayede panoramik olarak yani ışın kaynağı boru içerisinde merkezlenerek tek pozlamada tüm kaynak dikişinin radyografisi çekilebilir. Radyografi işleminde gama ışın cihazı kullanılacaktır. Cihaz boru içerisinde merkezlendikten sonra kaynağa dik ışınlama yapılır. Bu deneyde kullanılacak ışın kaynağımız yani izotop Ir-192'dir ve 70 Curie değerindedir. Gama ışını cihazı merkezlendiği an film ile arasındaki mesafe boru yarıçapı olan 305 mm olacaktır.



Şekil 8.12 Deneysel çalışma IV – radyasyon kaynağının konumu

Kullanılan filmler ise Agfa D4 Lead Pack'dir. 8.1 numaralı deneyde bu tip filmler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Gama ışını cihazı boru içerisine yerleştirilebildiği için seçilen pozlama tekniğine uygun olarak boru çevresini tamamen saracak büyüklükteki 10\*620 cm boyutlarındaki film borunun dışına sarılacaktır. Filmin uçlarındaki artı kalan kısımlarında her iki uçtan bilmeler olacaktır.

Poz süresi kullanılan izotop ve film tipine bağlı olarak Agfa Structurix D4 film kataloğundan bulunan değer üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak bulunur. Bu çalışmada tek duvar çekim, tek duvar değerlendirme yapılacaktır.

Poz süresinin hesaplanmasında kalınlık 46,02 mm alınacaktır. Poz diyagramındaki (Şekil 8.10)  $t = 46,02$  mm ile D4 filmi karşılaştırılır ve 35 Curie\*saat bulunur. Bizim izotopumuz 70 Ci olduğu için süre  $35 \text{ Ci.saat} / 70 \text{ Ci} = 0,5 \text{ saat} = 30 \text{ dakika}$  bulunur. Fakat elimizdeki poz diyagramı 1 m mesafeye göre hazırlanmıştır. Oysa bizim mesafemiz 305 mm dir. Bu yüzden ters kareler metodu uygulanır ve bulunan değer ile çarpılır. Buradan poz süresi

$$\frac{(0,305)^2}{(1)^2} \cdot 30 \text{ dakika} = 0,093 \cdot 30 = 2,79 \cong 2,8 \text{ dakika} = 168 \text{ saniye} \text{ bulunur (Yoğunluk=2).}$$

Bu hesaplamalara göre kabul yoğunluğu 2'dir. Çünkü kullandığımız poz diyagramı yoğunluk 2'ye göre hesaplanmıştır. X-ışını kullandığımız için yoğunluğun 2.0'ın altına düşmesi ile ASME'ye göre film reddedileceğinden ve tekrar çekim yapılacağından dolayı çekimi riske atmamak için hesaplamalarımızda yoğunluğu 3 olarak seçmeliyiz. Bunun için de süreyi arttırmalıyız. Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süre film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan 1,5 katsayı ile çarpılmalıdır. Buradan gerekli süre:

$$1,5 * 168 = 252 \text{ saniye} = 4 \text{ dakika } 12 \text{ saniye} \text{ olarak bulunur (Yoğunluk=3)}.$$

Yarı gölgenin ise 0,31 mm olduğu bilinmektedir. Markalama işlemi ile ilgili detaylı bilgi bir önceki deneyde verilmiştir. Bu deneyde de önceki deneylerle aynı şekilde yapılacaktır.

Tahribatsız muayene işlemlerindeki uygulama ve teknikler ASME Section V'e göre, Seçim ve Değerlendirmeler ise imalatın yapıldığı standart olan ASME B31.3'e göre yapılmaktadır. Radyografların değerlendirilmesi ise SNT-TC-1A'ya göre en az Level 2 seviyesinde sertifikalandırılmış personel tarafından yapılmaktadır. Çekilen filmlerin kabul yoğunluğu ASME'ye göre 2.0-4.0 arasında olmalıdır.

Radyografik duyarlılığın kontrolü için çekim esnasında film tarafına 120 açı ile 3 adet ASTM Standardı'nda Set 1B tipi telli penetremetre kullanılacaktır. Değerlendirme işleminde ASME Section V'e göre ASTM Standardında film tarafındaki Set 1B tipi penetremetrelerde 46,02 mm malzeme kalınlığına göre görülebilen en ince tel çapı 0,64 mm olmalıdır.

Manyetik parçacık muayene işleminde ise önce yüzeyde hareket eden parçaları görebilmek için arka yüzeyi beyazlatmak amacıyla bir solüsyon püskürtülmekte ve kısa bir süre kuruması için beklenmektedir. Ardından, manyetik parçacıklar içeren solüsyonu uygulanmakta ve aynı anda cihazla 42 Volt gerilim uygulanarak manyetik alan oluşturulup manyetik parçacıkların yönelme ve birikimleri dikkate alınarak yüzey ve yüzeye yakın hatalar incelenmektedir. Kullanılan cihazın minimum kaldırma kapasitesi DC'de=18,1 kg ve AC'de=4,5 kg'dır. Bu kapasite oluşan manyetik alanı kalibre etmek için kullanılır.

Çizelge 8.3 Deneysel çalışma IV – özet veri tablosu

<b>Kullanılan Radyasyon Kaynağı</b>	Ir-192 / 70 Curie
<b>Parça Kalınlığı, Çapı ve Malzemesi</b>	46,02 mm - 24" Çapında - Karbon Çeliği
<b>Pozlama Tekniği</b>	Panoramik Teknik. Tek duvar çekim, tek duvar değerlendirme yapılacaktır.
<b>Radyasyon kaynağının konumu</b>	Boru içinde merkezlenmiş olarak bulunmaktadır.
<b>Kontrol edilen kaynaklar, muayene usulleri ve yüzdeleri</b>	Tüm kaynaklara %100 gözle muayene, %100 manyetik parçacık testi sadece alın kaynaklarında %100 radyografik muayene yapılacaktır.
<b>Radyasyon Kaynağı - Film Mesafesi</b>	305 mm
<b>Poz Süresi</b>	4 dakika 12 saniye
<b>Film ve Ekran Tipi</b>	Agfa D4 Lead Pack - Her iki tarafı 27 mikron kalınlığında kurşunla kaplı rulo halinde film
<b>Film Adedi ve Boyutları</b>	1 adet 10*620 cm boyutunda
<b>Penetremetre Tipi ve Standardı</b>	ASTM Standardı'nda film tarafında Set 1B tipi telli penetremetre
<b>Film Kabul Yoğunluğu</b>	2.0-4.0

## 8.5 Deneysel Çalışma V: 33 mm Et Kalınlığında ve 32 m<sup>3</sup> Hacimli H<sub>2</sub>-HC Tankının Muayene Planlarının Çıkarılması

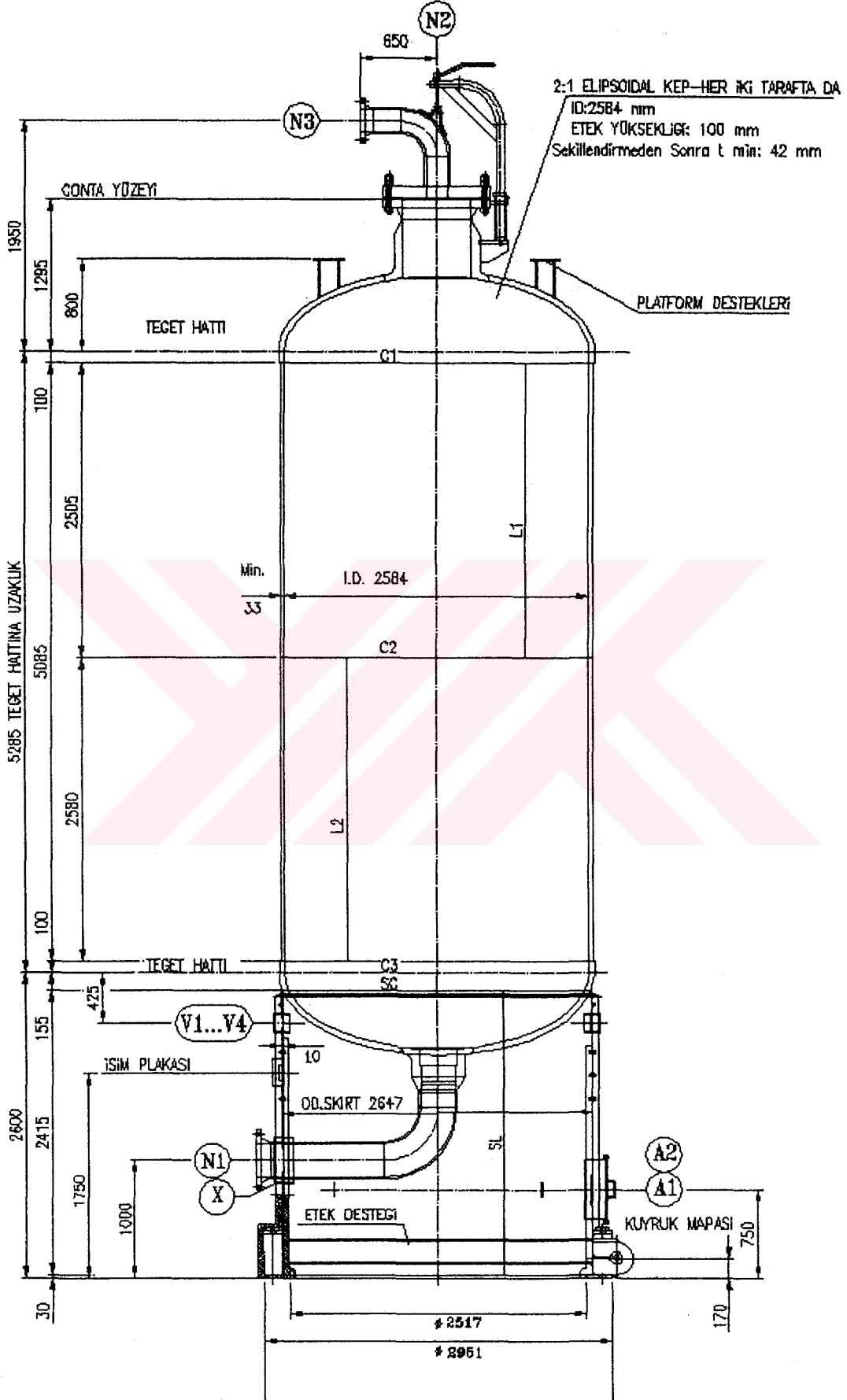
Bu çalışmada incelenecek 33 mm et kalınlığındaki 32 m<sup>3</sup> hacimli H<sub>2</sub>-HC Tankı'nın teknik özellikleri aşağıdadır:

- Malzeme:
  - a) Gövde, Kep ve Etekler ASTM SA-516 Gr 70N,
  - b) Flanş ve Döküm Parçalar (Forgings) ASTM SA-350 LF2,
  - c) Borular ASTM SA-333 Gr 6,
  - d) Boru Fittings'leri ASTM SA-420 Gr WPL6
  - e) Kaldırma Flanşları ASTM SA-350 LF2
- Malzeme Kalınlığı: Gövde 33 mm, Kepler 42 mm'dir.
- Dizayn Basıncı: 3,04 Mpa (30,4 Bar)
- Dizayn Sıcaklığı : -28/90 °C
- Çalışma Basıncı: 0,04/2,23 MPa (0,4/22,3 Bar)
- Çalışma Sıcaklığı : 43 °C
- Test Basıncı: 4,1 MPa (41 Bar)
- Akışkanın Cinsi: H<sub>2</sub>-HC Gazı
- Kaynak Faktörü: 1

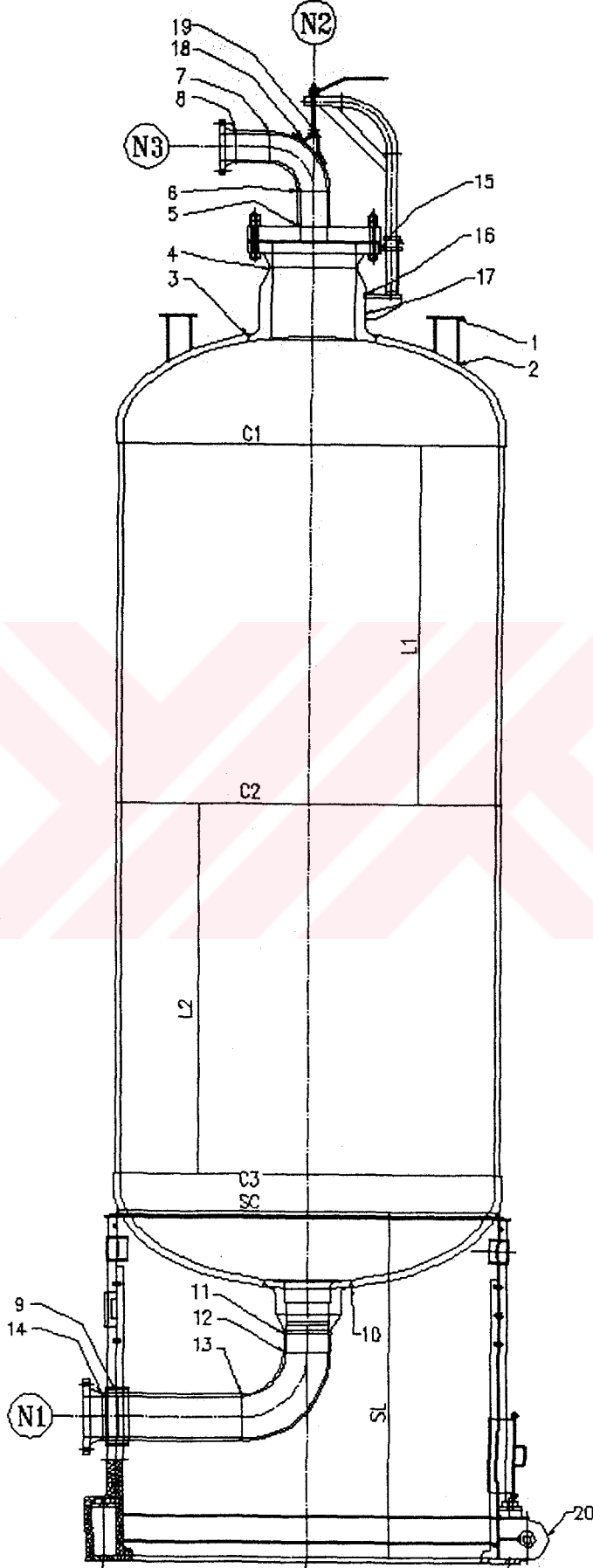
Tank üzerinde yer alan kaynak türleri hakkında detaylı bilgi Çizelge 8.5'de verilmiştir. Tozaltı (SAW) kaynaklarında kullanılan elektrod AWS Standardı'ndaki EH 12K F6-A1 numaralı ESAB OK 12.32, toz ise ESAB OK 10.62'dir. Gazaltı (FCAW) kaynaklarında ise AWS Standardı'ndaki E71T-1 F6 A1 numaralı Megafil 713 R elektrodu ve TIG kaynaklarında (GTAW) ise AWS Standardı'ndaki ER-70S-6 F6 A1 numaralı ESAB OK 12.64 tipi elektrod kullanılmıştır. Ergiyen elektrodla gazaltı kaynaklarında (SMAW) ise AWS Standardı'ndaki E 7018-1 H4 F4 A1 numaralı Oerlikon/Tenacito elektrodu kullanılmıştır.

Tüm kaynak dikişi genişlikleri kök bölgesinde 3±1 mm'dir. Ayrıca, tüm kaynak işlemleri ASME Section IX'a göre kalifiye edilmiş kaynakçılar tarafından yine aynı standardın gereksinimlerine göre hazırlanmış WPS'lere uygun olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan filmlerin tamamı her iki tarafı 27 mikron kalınlığında kurşun ile kaplı olarak 100'er metrelik rulo halinde gelmekte ve karanlık odada istenen boyutlarda kesildikten sonra kullanılmaktadır. Kaynaklı boru ve nozul çapları deney içerisinde ayrıca belirtilmiştir.



Şekil 8.13 Deneysel çalışma V – tank boyutları



Şekil 8.14 Deneysel çalışma V – tank üzerindeki kaynaklar



Çizelge 8.5 Deneysel çalışma V - kaynak türleri

Kaynak No	Kök Paso		Üst Pasolar	
C1	Gazaltı	FCAW	Tozaltı	SAW
C2	Gazaltı	FCAW	Tozaltı	SAW
C3	Gazaltı	FCAW	Tozaltı	SAW
SC	Gazaltı	FCAW	Tozaltı	SAW
L1	Gazaltı	FCAW	Tozaltı	SAW
L2	Gazaltı	FCAW	Tozaltı	SAW
SL	Tozaltı	SAW	Tozaltı	SAW
1	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Ergiyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı (MIG/MAG)	SMAW
2	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Ergiyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı (MIG/MAG)	SMAW
3	Gazaltı	FCAW	Tozaltı	SAW
4	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Tozaltı	SAW
5	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Gazaltı	FCAW
6	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Gazaltı	FCAW
7	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Gazaltı	FCAW
8	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Gazaltı	FCAW
9	Gazaltı	FCAW	Gazaltı	FCAW
10	Gazaltı	FCAW	Tozaltı	SAW
11	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Ergiyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı (MIG/MAG)	SMAW
12	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Ergiyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı (MIG/MAG)	SMAW
13	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Ergiyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı (MIG/MAG)	SMAW
14	Gazaltı (TIG/WIG)	GTAW	Gazaltı	FCAW
15	Gazaltı	FCAW	Gazaltı	FCAW
16	Gazaltı	FCAW	Gazaltı	FCAW
17	Gazaltı	FCAW	Gazaltı	FCAW
18	Gazaltı	FCAW	Gazaltı	FCAW
19	Gazaltı	FCAW	Gazaltı	FCAW
20	Gazaltı	FCAW	Gazaltı	FCAW

Çizelge 8.6 Deneysel çalışma V - müşteri talebi

Kaynak No	Muayene Metodu					Muayene Oranı (%)					Açıklama				
	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
C1	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
C2	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
C3	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
SC	PT	PT	-	-	-	100	100	-	-	-	Kaynak Sonrası	HYD**	-	-	-
L1	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
L2	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	PT	PT	-	-	-	100	100	-	-	-	Kaynak Sonrası	HYD**	-	-	-
3	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
4	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
5	PT	UT	MT	UT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
6	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
7	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
8	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
9	PT	PT	-	-	-	100	100	-	-	-	Kaynak Sonrası	HYD**	-	-	-
10	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
11	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
12	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
13	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
14	PT	RT	MT	RT	MT	100	100	100	100	100	Kaynak Öncesi	Kaynak Sonrası	Kaynak Sonrası	I.I.*	HYD**
15	PT	PT	-	-	-	100	100	-	-	-	Kaynak Sonrası	I.I.*	-	-	-
16	PT	PT	-	-	-	100	100	-	-	-	Kaynak Sonrası	I.I.*	-	-	-
17	PT	PT	-	-	-	100	100	-	-	-	Kaynak Sonrası	I.I.*	-	-	-
18	PT	PT	-	-	-	100	100	-	-	-	Kaynak Sonrası	I.I.*	-	-	-
19	PT	-	-	-	-	100	-	-	-	-	Kaynak Sonrası	-	-	-	-
20	PT	-	-	-	-	100	-	-	-	-	Kaynak Sonrası	-	-	-	-

\* ) I.I. : Isıl İşlem Sonrası

\*\* ) HYD : Hidrostatik Test Sonrası

PT : Penetrant Sıvı ile Muayene  
 RT : Radyografik Muayene  
 MT : Manyetik Parçacık Muayenesi  
 UT : Ultrasonik Muayene

### **33 mm Et Kalınlığında ve 32 m<sup>3</sup> Hacimli H<sub>2</sub>-HC Tankının Muayenesi**

Tank üzerinde yer alan parçaların imalat ve muayene işlemi fabrikanın birçok bölgesinde eş zamanlı olarak yürütülmektedir. Dolayısıyla hangi muayene yönteminin nereye ve ne zaman uygulanacağı hakkında detaylı bilgileri içeren bir muayene kontrol formu (inspection check sheet) imalat öncesi kalite kontrol bölümü tarafından oluşturulup müşteriye gönderilir ve onay alınır. Onaylanan form üzerindeki veriler muayene işleminde esas olarak alınır.

Bir kaynağın birden fazla yöntemle muayene edilmesi gerekebilir. Bu tip durumlarda kullanılacak yöntemlerinin sırası ile ilgili olarak standartlarda herhangi bir kısıtlama yoktur. Dolayısıyla imalatın akışına göre minimum maliyet ve zaman kriterleri göz önüne alınmaktadır.

#### **L1 – L2 Kaynakları**

Bu çalışmada imal edilecek H<sub>2</sub>-HC tankının imalat işleminde gövdeyi oluşturacak sac halinde gelen malzemelere ilk olarak ön imalatta oksijen kaynağı ile X tipi kaynak ağızları açılır. Kaynak ağızlarının açılmasının ardından silindire verilip istenen çapta bükülen sacların her iki ucu, birbirlerine dıştan puntalanarak sabitlenir ve kaynak edilecek hattın her iki ucuna ileride kesilerek sökülecek kulak adı verilen parçalar ilave edilir. Amaç tozaltı kaynağının başlangıç ve bitiminde oluşabilecek hataların tank gövdesinin dışında yer alan kulak adı verilen bu bölgelerde oluşmasını sağlamak, dolayısıyla da gövde üzerindeki kaynağın üniform yapıda olmasını sağlamaktır.

İstenen çapta bükülen sacların dıştan puntalanması ve kulak adı verilen parçaların ilave edilmesinin ardından X tipi L1 kaynak ağızı müşteri talebi doğrultusunda kaynak öncesi içeriden penetrant sıvı ile muayene edilmektedir. Penetrant sıvı muayenesinin ardından L1 kaynak ağızına gövde içerisinden tozaltı kaynağı yapılır. Daha sonra dış taraftan kaynağın kök pasosunda biriken cüruf tabakasının giderilmesi amacıyla karbonlama işlemi yapılır.

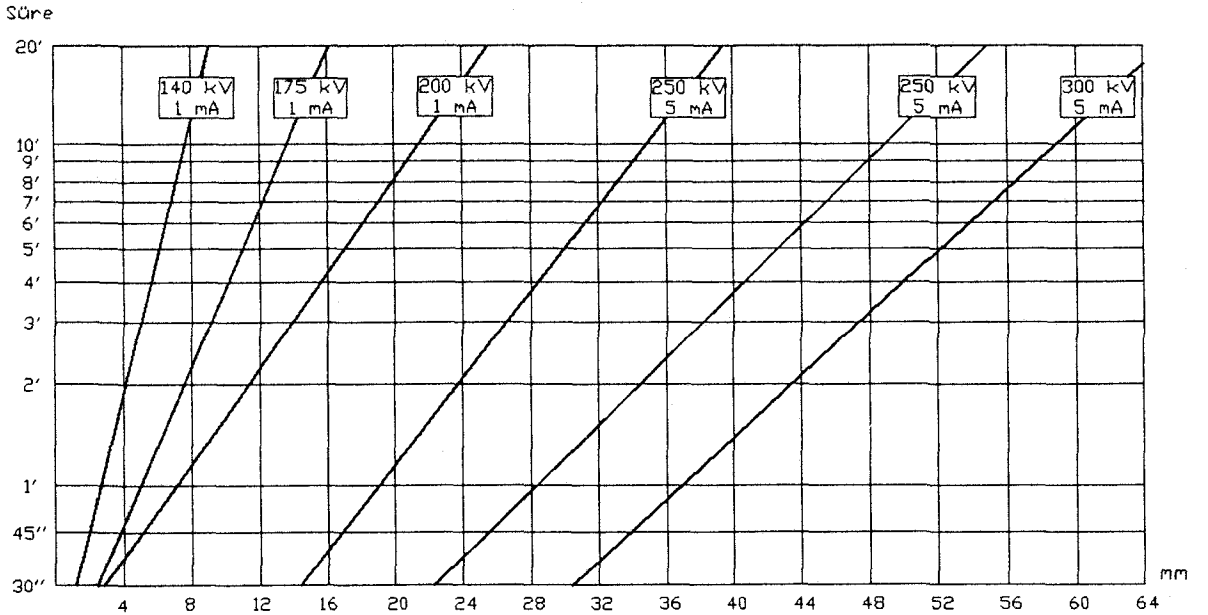
Karbonlama işlemi, “arc air” adıyla da bilinmektedir. Bu metotta, bakır kaplı karbon-grafit elektrod ile malzeme arasında bir ark oluşturulur. Bu malzemeyi eritir. Basınçlı hava jeti sayesinde (3–10 bar) akışkan malzeme erime bölgesinden püskürtülür.

Karbonlama işleminin ardından karbonlanan yüzey taşlanır ve kaynağın kök bölgesi ile dış kaynak ağızı kaynak öncesi penetrant sıvı ile muayene edilir ve ardından L1 kaynak ağızına dış taraftan tozaltı usulü ile kaynak yapılır.

Kaynak işlemi bittikten sonra kulak adı verilen parçalar kesilir ve gövde düzeltmek için tekrar silindire verilir. Silindirden geçirilen gövdenin üzerinde bulunan L1 kaynağının radyografisi çekilir. L1 kaynağının radyografik muayene işlemi için 300 kV maksimum gerilime sahip 5 mA'lık x-ışını cihazı kullanılacaktır. Fakat cihazın ömrünün kısalması için uygulanacak maksimum gerilim bu değerin altında seçilecektir. Bu çalışmadaki L1 ve L2 kaynakları için 270 kV'luk gerilim uygulanacaktır. X-ışını, yayılan ışının gama ışınına göre daha uniform olması ve sahada yapılan çekimlerde oluşabilecek bir aksilikte daha kolay kontrol altına alınabilmesi sebebiyle tercih edilir.

X-ışını cihazı yapılan yarı gölge hesabına göre belirli mesafeden daha yakına yaklaşamaz. Aksi takdirde yarı gölge standartlar tarafından belirtilen maksimum değerin üzerine çıkar ve film üzerindeki değerlendirilemeyen ölü bölgeler artması sebebiyle film reddedilir. Film-ışın kaynağı mesafesi belirlenirken dikkate alınması gereken bir diğer husus da çekilen radyografin değerlendirilmesi esnasında filmin kenarları ile ortası arasındaki yoğunluk farkının maksimum -%15, +%30 olması gerektiğidir. Bu değer sağlanamazsa ya film kısaltılır ya da ışın kaynağı daha uzak mesafeye çekilir.

Bu bilgiler ve minimum film-kaynak mesafesi dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda 800 mm mesafeden, ışın kaynağı gövde içerisinde ve film dışarıda olmak üzere 7 poz çekilmesine karar verilmiştir. 10\*48 cm boyutlarındaki Agfa D5 filmleri kullanılacaktır. Filmler arasında minimum 2,5 cm'lik bilmeler olacaktır.



Şekil 8.15 Deneysel çalışma V – Agfa D7 filmi için X ışını poz diyagramı (FFD: 700mm, Yoğunluk:2)

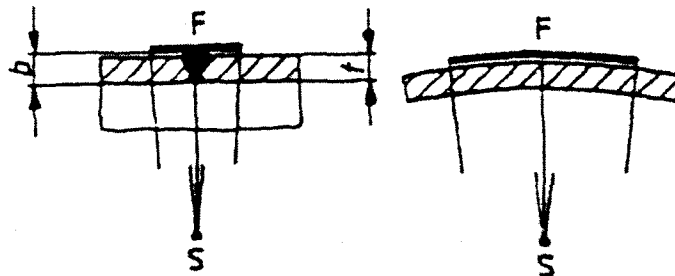
Poz süresinin hesaplanmasında ise cihaza ait Agfa D7 (Kodak AA400) filmine göre hesaplanmış poz diyagramı (Şekil 8.15) kullanılacak ve daha sonra mevcut parametreler için gerekli hesaplamalar yapılacaktır. L1 ve L2 kaynakları için bu tablodaki 33 mm kalınlık değeri ile 270 kV'luk gerilim karşılaştırılır ve süre 1 dakika 20 saniye (1' 20'' = 80 saniye) bulunur. Bu hesaplamalara göre kabul yoğunluğu 2'dir. ASME'ye göre de kabul yoğunluğu x-ışınında 1,8-4 ve gama ışınında ise 2-4 arasında olmalıdır. Fakat kaynak takviyesi adı verilen kaynak üzerindeki kabarıklık (kep) sebebiyle malzeme o bölgede kalınlaştığı için x-ışını zayıflayacak ve yoğunluk istenen değerden aşağı düşecektir. X-ışını kullandığımız için yoğunluğun 1,8'in altına düşmesi ile ASME'ye göre film reddedileceğinden ve tekrar çekim yapılacağından dolayı biz hesaplamalarımızda yoğunluğu 3 olarak seçmeliyiz. Bunun için de süreyi arttırmalıyız. Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süre film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan katsayı ile çarpılmalıdır. Bu katsayı yaklaşık olarak 1,5'dur. Yeni sürenin hesaplanması için yapmamız gereken yoğunluk 2 için bulunan süre ile 1,5 katsayısının çarpılmasıdır. Buradan gerekli süre

$1,5 * 80 = 120 \text{ saniye}$  olarak bulunur (Yoğunluk=3).

Elimizdeki poz diyagramı Agfa D7-AA400 filmine göredir. Oysa biz Agfa D5 (Kodak T200) filmi kullandık. Bulunan süreyi D5 filmine uyarlamak için film dönüşüm tablosundaki 2,39'lük dönüşüm faktörü ile çarpacağız. Çıkan zaman  $120 * 2,39 = 286 \text{ sn} = 4 \text{ dakika } 46 \text{ sn}$ 'dir. Film-cihaz mesafesi ise 800 mm olduğundan ve elimizdeki tablo 700 mm olduğundan ters kareler metodu uygulanarak gerekli poz süresi

$$\frac{(0,8)^2}{(0,7)^2} * 286 \text{ saniye} = 1,3 * 286 = 372 = 6 \text{ dakika } 12 \text{ saniye} \text{ bulunur.}$$

Radyografik duyarlığın kontrolü için film tarafına her film için 1 adet ASTM Standardı'nda Set 1B tipi telli penetremetre konulacaktır. Film tarafına yerleştirilen penetremetrelerde radyograf üzerinde penetremetre konumunun anlaşılabilmesi için kurşun bir F harfi ilave edilmektedir.



Şekil 8.16 Deneysel çalışma V - L1 ve L2 kaynakları için radyasyon kaynağının konumu

Yukarıda bahsedilen uygulamaların tamamı aynı şekilde L2 kaynağına da uygulanacaktır. L1 ve L2 kaynaklarının radyografik muayenelerinin yapılmasının ardından kaynak sonrası yapılması istenen manyetik parçacık muayenesi tank üzerindeki tüm kaynak işlemleri bittikten sonra ve tank ısıtma işlemi gönderilmeden önce yapılacaktır. Buradaki amaç tank üzerindeki kaynaklara yapılması gereken tüm manyetik parçacık muayene işlemlerinin bir kerede yapılması ve dolayısıyla zaman ve işçilikten tasarruf edilmesidir.

Tankın ısıtma işlemi gönderilmesinin ardından L1 ve L2 kaynaklarına aynı değerler ve ekipmanlar kullanılarak tekrar radyografik muayene yapılacaktır. ASME'ye göre çekilmesi gereken radyograf için ısıtma işlemi önce ya da sonrası diye bir husus belirtilmemiştir. Bu sebeple ısıtma işlemi öncesi yapılan radyografik muayene ASME standartlarının gereksinimini yerine getirmektedir.

Isıtma işlemi ve muayenelerin ardından tank hidrostatik teste gönderilir ve hidrostatik test sonrası müşteri tarafından belirtilen tüm kaynaklara ki bunlara L1 ve L2 kaynakları da dâhildir, manyetik parçacık muayenesi yapılır.

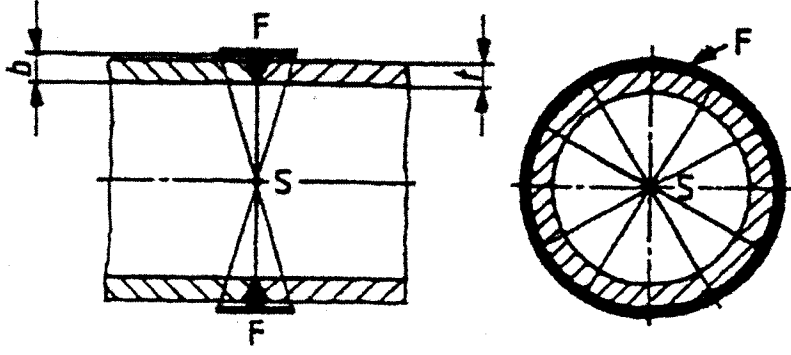
### ***C1 – C2 – C3 Kaynakları***

#### **a) C2 Kaynağı:**

Kaynak işlemi tamamlanan ve radyografik muayenesi yapılan L1 ve L2 kaynaklarının üzerinde bulunduğu gövde parçalarının her iki tarafında bulunan X tipi kaynak ağzına sahip C1-C2-C3 çevre kaynaklarının iç kaynak ağzlarına gövde içerisinden penetrant sıvı muayenesi yapılır. Ardından çatım işlemi yapılır. Çatım işleminde, üzerinde L1 ve L2 kaynaklarının bulunduğu her iki gövde parçası C2 çevre kaynağının yapılabilmesi için hizalanır. Hizalama işlemini takiben gövde içerisinden tozaltı kaynağı yapılır. Tozaltı kaynağı bittikten sonra dış taraftan karbonlama işlemi yapılır ve karbonlanan yüzey taşlanır. Daha sonra penetrant sıvı muayenesi yapılarak kaynak kökü ve dış kaynak ağzı muayene edilir. Ardından dıştan tozaltı kaynağı yapılır ve imalatçı kalite kontrol bölümüne radyografi işlemi için talebini yapar.

C1, C2 ve C3 çevresel kaynak dikişlerinin çekim kolaylığı açısından tek seferde radyografilerinin çekilebilmesi için, gerekli olan çevre x-ray cihazı fabrikada olmadığından dolayı gama ışını ve Ir-192 izotopu (77 Ci) kullanılacaktır. Gama ışın cihazı C2 çevre kaynağının merkezine yerleştirilir. Bu yüzden film-ışın kaynağı (odak) mesafesi gövdenin yarıçapı olan 1325 mm olacaktır.





Şekil 8.17 Deneysel çalışma V – panoramik çekimde cihaz (S) ve filmin konumu (F)

Gama ışını ile çekim yapılacağından dolayı x-ışını ile aynı hassasiyeti yakalamak amacıyla Agfa D4 filmi kullanılacaktır. Önceki deneylerde bu tip filmler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Film boyutu ise C2 kaynak dikişinin çevre uzunluğuna göre hesaplanıp artan kısımlar birbiri üzerine bindirilerek gövdeye dıştan sarılacaktır. Film boyutu 10\*870 cm olacaktır.

Poz süresinin hesaplanmasında ise Şekil 8.10'daki Ir-192 izotopu için hazırlanmış poz diyagramı kullanılacaktır. Tabloda 33 mm malzeme kalınlığı ile Agfa D4 (Kodak MX125) filmi karşılaştırılır ve 19 Ci.saat (Curie\*saat) bulunur. Elimizdeki Ir-192 izotopu 77 Ci'lik olduğu için bulunan sonuca bölünecek ve buradan gerekli poz süresi 1 m mesafe ve yoğunluk 2'ye göre hesaplanmış olacaktır.

Poz süresi  $\frac{19}{77} \cong 0,25 \text{ saat} = 15 \text{ dakika}$  (FFD=1 m, Yoğunluk=2) bulunur.

Bizim mesafemiz 1,325 metre olduğu için ters kareler metodu uygulanarak bulunan süre üzerinde gerekli düzenlemeler yapılacaktır. Buradan;

$$\frac{(1,325)^2}{(1)^2} * 15 \text{ dakika} = 1,755 * 15 \cong 26,5 \text{ dakika} \text{ bulunur (Yoğunluk=2).}$$

Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süreyi film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan değer ile çarpmalıyız. Bu katsayı yaklaşık olarak 1,5'dur. Yeni sürenin hesaplanması için yapmamız gereken yoğunluk 2 için bulunan süre ile 1,5 katsayısının çarpılmasıdır. Buradan gerekli süre

$$1,5 * 26,5 \cong 40 \text{ dakika} \text{ olarak bulunur (Yoğunluk=3).}$$

Radyografik duyarlığın kontrolü için çekim esnasında film tarafına 120° açı ile yerleştirilmiş 3 adet ASTM Standardı'nda Set 1B telli penetremetre yerleştirilecektir.

C2 dikişine kaynak sonrası yapılması istenen manyetik parçacık muayenesi de L1 ve L2 kaynaklarında olduğu gibi tüm kaynakların bitiminin ardından yapılan temizlik neticesinde tank ısıtılma işlemi hazır hale gelecek ve ısıtılma işlemi öncesi tank üzerindeki tüm kaynaklara tek seferde manyetik parçacık muayenesi yapılacaktır. Manyetik parçacık muayenesi yapılan tank, ardından ısıtılma işlemi gönderilecek ve ısıtılma işlemi sonrası da C2 kaynağı tekrar radyografik muayeneye tabi tutulacaktır. Son olarak da tank hidrostatik teste gönderilecek ve hidrostatik test sonrası C2 kaynağına manyetik parçacık muayenesi uygulanacaktır.

b) C1 ve C3 kaynakları:

C1 ve C3 kaynakları da C2 kaynağı gibi kaynak öncesi penetrant sıvı ile ve kaynak sonrası da radyografik ve manyetik parçacık muayene yöntemleri ile muayene edilecektir. Isıtılma işleminin ardından tekrar aynı değerlerle radyografik muayeneden geçirilecek ve hidrostatik test sonrası da manyetik parçacık muayenesinden geçirilecektir. Radyografik muayene için gerekli teçhizat ve konumu ile poz süreleri C2 kaynağında bulunan değerlerle aynıdır. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken, C1 ve C3 kaynakları yapılmadan önce bombelerin üzerindeki N1 ve N2 numaralı nozullar kaynatılmaktadır. Bu işlem için bombelerin ortasına gerekli markalama (işaretleme) yapıp işaretlenen yerlerden oksijen kaynağı ile kesilir ve ardından X tipi kaynak ağzı açılıp taşlanır. Taşlama işlemi bittikten sonra hem bombenin, hem de nozulun kaynak ağzı penetrant sıvı ile muayene edilir.

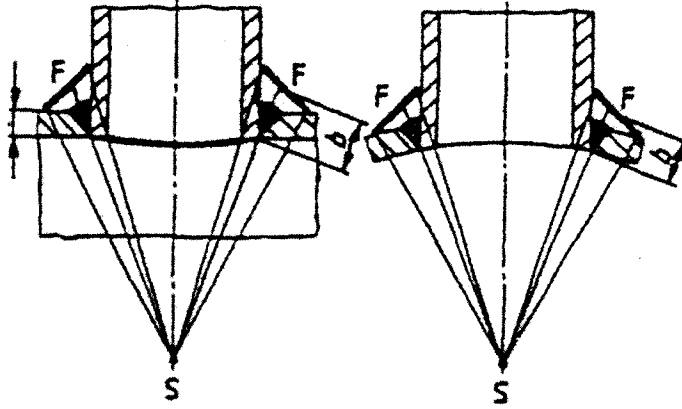
Penetrant sıvı muayenesinin ardından bombe ve nozulun çatım işlemine geçilir ve bombe ile nozul hizalanıp puntalanır. Ardından nozulla bombe dıştan tozaltı kaynağı ile kaynatılır ve ters çevrilerek kök bölgesi içerden karbonlama işlemine tabi tutulur. Karbonlama işlemi bittikten sonra karbonlanan yüzey taşlanıp müşteri talebi sebebiyle kaynak öncesi penetrant sıvı ile muayene edilir. Muayene işlemi neticesinde yüzeyde kabul kriterlerine uymayan hata varsa tamir edilir ve bir sonraki adım olan içerden tozaltı kaynağı ile kaynatma işlemine geçilir. Kaynatma işlemi bittikten sonra radyografik yöntemle muayene edilir.

### ***1 ve 2 Numaralı Kaynaklar***

1 numaralı kaynağın basınç altında olmaması sebebiyle muayene edilmesine gerek yoktur. 2 numaralı kaynak ise imalat bitiminde ve hidrostatik test sonrası penetrant sıvı ile muayene edilecektir.

### ***3 ve 10 Numaralı Kaynaklar***

3 ve 10 numaralı kaynakların radyografik muayenesi çekim kolaylığı açısından panoramik olarak yapılacak (Şekil 8.18) fakat gama ışını cihazı, Şekil 8.17'den farklı olarak her iki kaynağın merkezinden 110 cm gövde içerisine doğru çekilmiş olarak yerleştirilecektir. Çevresel ışınlama yapılacağından gama ışını ve Ir-192 izotopu (70 Ci) kullanılacaktır. Film-ışın kaynağı (odak) mesafesi 115 cm olacaktır.



Şekil 8.18 3 ve 10 numaralı kaynaklar için pozlama tekniği

Çekim yapılacak kaynak dikişlerinin genişliği sebebiyle 15 cm enindeki Agfa D3 (Fuji Ix-50) filmi kullanılacaktır. Çekim yapılan kaynak dikişinin yapısı itibarı ile rulo halindeki filmler kaynak dikişi etrafına sarılamayacağından dolayı kullanılamaz. Bu sebeple 15\*40 cm boyutlarındaki filmler birbiri üzerine bindirilmek suretiyle kaynak üzerine yerleştirilir. Bu filmlerden 3 numaralı kaynakta 10 adet, 10 numaralı kaynakta ise 5 adet kullanılacaktır.

Çekim yapılan 3 ve 10 numaralı kaynak dikişlerinin bulunduğu kep malzemesinin kalınlığı 42 mm'dir. Dolayısıyla poz süresinin hesaplanmasında Şekil 8.10'daki Ir-192 izotopu için hazırlanmış poz diyagramındaki 42 mm malzeme kalınlığı ile D3 filmi karşılaştırılacaktır. Buradan gerekli değer 50 Ci.saat (Curie\*saat) bulunur.

Elimizdeki Ir-192 izotopu 70 Ci'lik olduğu için bulunan sonuca bölünecek ve buradan gerekli poz süresi film-odak mesafesi 1 m ve yoğunluk 2'ye göre hesaplanmış olacaktır.

$$\text{Poz süresi} \frac{50}{70} \cong 0,72 \text{ saat} = 43 \text{ dakika} \text{ bulunur (FFD=1 m, Yoğunluk=2).}$$

Bizim mesafemiz 42 mm'lik malzeme kalınlığı da göz önüne alındığında 1,15 metre olduğu için ters kareler metodu uygulanarak bulunan süre üzerinde gerekli düzenlemeler yapılacaktır. Buradan;

$$\frac{(1,15)^2}{(1)^2} * 43 \text{ dakika} = 1,3225 * 43 \cong 57 \text{ dakika} \text{ bulunur (Yoğunluk=2).}$$

Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süreyi film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan değer ile çarpmalıyız. Bu katsayı yaklaşık olarak 1,5'dur. Yeni sürenin hesaplanması için yapmamız gereken yoğunluk 2 için bulunan süre ile 1,5 katsayısının çarpılmasıdır. Buradan gerekli süre

$$1,5 * 57 \cong 85 \text{ dakika} = 1 \text{ saat } 25 \text{ dakika} \text{ olarak bulunur (Yoğunluk=3).}$$

Çekim işlemi tek seferde gerçekleştiğinden dolayı radyografik duyarlılığın kontrolü için film tarafına 120° açı ile yerleştirilmiş 3 adet ASTM Standardı'nda Set 1B telli penetremetre yerleştirilecektir.

3 ve 10 numaralara kaynak sonrası yapılması istenen manyetik parçacık muayenesi imalatın bitiminin ardından yapılan temizlikten sonra ısıtım işlem öncesi tüm kaynaklara tek seferde yapılacaktır.

Manyetik parçacık muayenesi yapılan tank, ardından ısıtım işlemi gönderilecek ve ısıtım işlem sonrası da 3 ve 10 numaralı kaynaklar tekrar radyografik muayeneye tabi tutulacaktır.

Son olarak da tank hidrostatik teste gönderilecek ve hidrostatik test sonrası 3 ve 10 numaralı kaynaklara manyetik parçacık muayenesi uygulanacaktır.

#### **4 Numaralı Kaynak**

4 numaralı kaynakta da müşteri talebi sebebiyle kaynak öncesinde kaynak ağızlarına penetrant sıvı ile muayene yapılır. Muayene bitiminde çatım işlemine geçilir ve koruyucu gaz olarak argon gazının seçildiği TIG kaynağı ile kök paso kaynatılır. Kök pasodan sonra tekrar penetrant sıvı ile muayene yapılır. Penetrant sıvı ile yapılan muayenenin ardından tozaltı kaynağı ile üst pasolar atılır. Kaynak işleminin bitiminden sonra radyografik muayeneye geçilir.

4 numaralı kaynak dikişinin merkezine gama ışın cihazı merkezlenir ve panoramik olarak tek seferde tüm kaynak dikişinin radyografisi çekilir (Şekil 8.17). Çevresel ışınlama yapılacağından radyografi işleminde Ir-192 izotopu (70 Ci) kullanılacaktır. Film-ışın kaynağı (odak) mesafesi yarıçapa eşittir. Buradan mesafe 305 mm bulunur.

Çekimlerde Agfa D4 (Kodak MX-125) filmi kullanılacaktır. Gama cihazı içeride, film dışarıda sarılı olarak bulunmaktadır. Film boyutu ise 10\*210 cm'dir.

Radyografik muayenesi yapılacak 4 numaralı kaynak dikişinin kalınlığı 17,5 mm'dir. Dolayısıyla poz süresinin hesaplanmasında Şekil 8.10'daki Ir-192 izotopu için hazırlanmış poz diyagramındaki 17,5 mm malzeme kalınlığı ile D4 filmi karşılaştırılacaktır. Buradan gerekli değer 8 Ci.sa (Curie\*saat) bulunur.

Elimizdeki Ir-192 izotopu 70 Ci'lik olduğu için bulunan sonuca bölünecek ve buradan gerekli poz süresi 1 m mesafe ve yoğunluk 2'ye göre hesaplanmış olacaktır.

Poz süresi  $\frac{8}{70} \cong 0,11 \text{ saat} \cong 7 \text{ dakika}$  bulunur (FFD=1 m, Yoğunluk=2).

Bizim mesafemiz 0,305 metre olduğu için ters kareler metodu uygulanarak bulunan süre üzerinde gerekli düzenlemeler yapılacaktır. Buradan;

$$\frac{(0,305)^2}{(1)^2} * 7 \text{ dakika} = 0,093 * 7 \cong 0,65 \text{ dakika} = 39 \text{ saniye} \text{ bulunur (Yoğunluk=2).}$$

Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süreyi film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan değer ile çarpmalıyız. Bu katsayı yaklaşık olarak 1,5'dur. Yeni sürenin hesaplanması için yapmamız gereken yoğunluk 2 için bulunan süre ile 1,5 katsayısının çarpılmasıdır. Buradan gerekli süre

$$1,5 * 39 \cong 59 \text{ saniye} \text{ olarak bulunur (Yoğunluk=3).}$$

Radyografi işlemi tek seferde gerçekleştiğinden dolayı radyografik duyarlılığın kontrolü için ışın kaynağı (odak) tarafına 120° açı ile yerleştirilmiş 3 adet ASTM Standardı'nda Set 1B telli penetremetre yerleştirilecektir.

4 numaralı kaynakta müşteri tarafından kaynak sonrası yapılması istenen manyetik parçacık muayenesi imalatın bitiminin ardından kaynaklara yapılan temizlikten sonra ısıl işlem öncesi tüm kaynaklara tek seferde yapılacaktır.

Manyetik parçacık muayenesi yapılan tank, ardından ısıl işleme gönderilecek ve ısıl işlem sonrası da 4 numaralı tekrar radyografik muayeneye tabi tutulacaktır.

Son olarak da tank hidrostatik teste gönderilecek ve hidrostatik test sonrası 4 numaralı kaynak manyetik parçacık yöntemi ile muayene edilecektir.

### **5 Numaralı Kaynak**

5 numaralı kaynakta da müşteri talebi sebebiyle kaynak öncesinde kaynak ağızlarına penetrant sıvı ile muayene yapılır. Muayene bitiminde koruyucu gaz olarak argon gazının seçildiği TIG kaynağı ile kök paso kaynatılır. Kök pasodan sonra tekrar penetrant sıvı ile muayene yapılır. Penetrant sıvı ile yapılan muayenenin ardından gazaltı kaynağı ile üst pasolar atılır ve kaynak ultrasonik yöntem ile muayene edilir.

Ultrasonik yöntemle muayenede kaynağın tüm hacmini kontrol edecek şekilde tecrübeli NDT personeli tarafından standartlara uygun prob açıları seçilmektedir. 5 numaralı kaynak ise iki farklı proba muayene edilecektir. Bunlardan birincisi 4 MHz'lik dik prob kullanarak (MB4F) flanşın altından yapılan muayenedir. Diğeri ise flanşa kaynatılan 8" lik boru üzerinden 60° veya 70° lik ve 4 MHz'lik (MWB) prob kullanılarak yapılan muayenedir. Bu muayenede kullanılan problemler hem alıcı hem de verici olarak görev yapmaktadır.

Prob ile malzeme arasında kullanılacak akışkan ise muayene edilecek bölgenin konumu sebebiyle malzeme üzerinden akmayan bir malzeme olmalıdır. Bu sebeple akışkan olarak metil selüloz kullanılmaktadır.

Kaynakların ultrasonik muayenesinde hataların büyüklük ve kabul değerlendirmesinde Ø3 mm yandan delikli kalibrasyon bloğuna göre çizilmiş olan DAC (Distance Amplitude Curve) eğrisi kullanılır.

5 numaralı kaynakta müşteri tarafından kaynak sonrası yapılması istenen manyetik parçacık muayenesi imalatın bitiminin ardından kaynaklara yapılan temizlikten sonra ısıtma işlemi öncesi tüm kaynaklara tek seferde yapılacaktır.

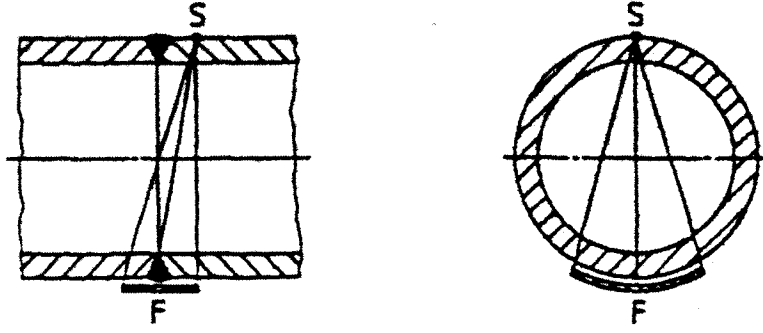
Manyetik parçacık muayenesi yapılan tank, ardından ısıtma işlemine gönderilecek ve ısıtma işlemi sonrası da 5 numaralı kaynak tekrar ultrasonik muayeneye tabi tutulacaktır.

Son olarak da tank hidrostatik teste gönderilecek ve hidrostatik test sonrası 5 numaralı kaynak manyetik parçacık yöntemi ile muayene edilecektir.

### **6 – 7 – 8 Numaralı Kaynaklar**

6-7-8 numaralı kaynakların da müşteri talebi sebebiyle kaynak öncesinde kaynak ağızları penetrant sıvı ile muayene edilir. Muayene bitiminde kök paso TIG kaynağı ile kaynatılır. Kök pasodan sonra tekrar penetrant sıvı ile muayene yapılır. Penetrant sıvı ile yapılan muayenenin ardından gazaltı kaynağı ile üst pasolar kaynatılır. Kaynak işleminin bitiminden sonra radyografik muayeneye geçilir.





Şekil 8.19 Deneysel çalışma V – 6,7 ve 8 numaralı kaynakların radyografik muayenesinde ışın kaynağı ve filmin konumu

Her üç kaynak için yapılan yarı gölge hesabına göre film-ışın kaynağı mesafesi minimum 11 cm olmalıdır. Oysa yarıçap 11 cm'den küçüktür. Dolayısıyla 6, 7 ve 8 numaralı kaynak dikişlerine panoramik yöntemle yani ışın kaynağı boru içersiden merkezlenmek sureti ile çekim yapılamaz. Bu yüzden kontak çekim (çift cidar çekim, tek duvar değerlendirme) tekniği uygulanacaktır (Şekil 8.19).

Kontak çekim yapılması sebebiyle 5 adet çekim yapılacaktır. Değerlendirilecek görüntü alanı 137 mm'dir. Radyasyon kaynağı olarak Ir-192 izotopu (70 Ci) kullanılacaktır. Film-ışın kaynağı (odak) mesafesi 22 cm'dir.

Çekimlerde Agfa D4 (Kodak MX-125) filmi kullanılacaktır. Gama cihazı ve film dışarıda bulunmaktadır. Film boyutu ise 10\*24 cm'dir.

Radyografik muayenesi yapılacak 6, 7 ve 8 numaralı kaynak dikişlerinin kalınlıkları 18,26 mm'dir. Fakat poz süresinin hesaplanmasında ışın çift duvar geçeceği için kalınlık  $2t=36,52$  mm alınacaktır. Dolayısıyla poz süresinin hesaplanmasında Şekil 8.10'daki Ir-192 izotopu için hazırlanmış poz diyagramındaki 36,52 mm malzeme kalınlığı ile D4 filmi karşıtılacaktır. Buradan gerekli değer 22 Ci.saat (Curie\*saat) bulunur.

Elimizdeki Ir-192 izotopu 70 Ci'lik olduğu için bulunan sonuca bölünecek ve buradan gerekli poz süresi 1 m mesafe ve yoğunluk 2'ye göre hesaplanmış olacaktır.

Poz süresi  $\frac{22}{70} \cong 0,31$  saat  $\cong 19$  dakika bulunur. (FFD=1 m, Yoğunluk=2)

Bizim mesafemiz 0,22 metre olduğu için ters kareler metodu uygulanarak bulunan süre üzerinde gerekli düzenlemeler yapılacaktır. Buradan;

$$\frac{(0,22)^2}{(1)^2} * 19 \text{ dakika} = 0,0484 * 19 \cong 0,92 \text{ dakika} = 55 \text{ saniye} \text{ bulunur (Yoğunluk=2)}.$$

Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süreyi film kataloğunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan değer ile çarpmalıyız. Bu katsayı yaklaşık olarak 1,5'dur. Yeni sürenin hesaplanması için yapmamız gereken yoğunluk 2 için bulunan süre ile 1,5 katsayısının çarpılmasıdır. Buradan gerekli süre

$$1,5 * 55 \cong 83 \text{ saniye} \text{ olarak bulunur (Yoğunluk=3)}.$$

Radyografi duyarlılığın kontrolü için film tarafına 1 adet ASTM Standardı'nda Set 1B telli penetremetre kullanılması yeterli olacaktır. Ayrıca tüm radyografik muayenelerde filmin arka tarafına kurşundan bir B harfi konarak, filmin arkasından gelen saçılma miktarı kontrol edilmiş olur. Eğer B harfi film üzerinde görünüyorsa saçılma çok fazladır ve film reddedilir.

6, 7 ve 8 numaralı kaynaklarda müşteri tarafından kaynak sonrası yapılması istenen manyetik parçacık muayenesi imalatın bitiminin ardından kaynaklara yapılan temizlikten sonra ısıtma işlem öncesi tüm kaynaklara tek seferde yapılacaktır.

Manyetik parçacık muayenesi yapılan tank, ardından ısıtma işlemine gönderilecek ve ısıtma işlemi sonrası da 6 7 ve 8 numaralı kaynaklar tekrar radyografik muayeneye tabi tutulacaktır.

Son olarak da tank hidrostatik teste gönderilecek ve hidrostatik test sonrası 6, 7 ve 8 numaralı kaynaklar manyetik parçacık yöntemi ile muayene edilecektir.

### **9 Numaralı Kaynak**

9 numaralı kaynak etek kaynağı olduğu için kaynak sonrası ve hidrostatik test sonrası penetrant sıvı muayenesinden geçirilecektir.

### **11 – 12 – 13 – 14 Numaralı Kaynaklar**

11 numaralı kaynakla beraber N1 nozulu tanka bağlanacağı için öncelikle 12-13-14 numaralı kaynaklar yapıp muayene edilecek, ardından 11 numaralı kaynak yapılacaktır. 11, 12, 13 ve 14 numaralı kaynakların müşteri talebi sebebiyle kaynak öncesinde kaynak ağızlarına penetrant sıvı muayenesi yapılır. Muayene bitiminde kök pası TIG kaynağı ile kaynatılır. Kök pasodan sonra tekrar penetrant sıvı ile muayene edilir. Penetrant sıvı ile yapılan muayenenin ardından üst pasolar 12, 13 ve 14 numaralı kaynaklarda tozaltı kaynağı ile 11 numaralı kaynakta ise gazaltı kaynağı ile kaynatılır. Kaynak işleminin bitiminden sonra radyografik muayeneye geçilir.

Her dört kaynak için de radyografi cihazı boru içerisinde merkezlenerek panoramik yöntemle tek seferde tüm kaynak dikişinin radyografisi çekilir (Şekil 8.17). Radyasyon kaynağı olarak Ir-192 izotopu (17 Ci) kullanılacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken gama ışını ile radyografi işleminde daha iyi bir radyograf görüntüsü elde edebilmek amacıyla çok kısa poz sürelerinden kaçınılmasıdır. Bu sebeple elimizdeki düşük aktiviteli Ir-192 izotopu kullanılmıştır. Film-ışın kaynağı (odak) mesafesi yarıçapa eşittir, buradan mesafenin 16,5 cm olduğu bulunur.

Çekimlerde Agfa D4 (Kodak MX-125) filmi kullanılacaktır. Gama cihazı içeride, film ise boru çevresine dış taraftan sarılı olarak bulunacaktır. Film boyutu ise 10\*115 cm'dir.

Radyografik muayenesi yapılacak 11, 12, 13 ve 14 numaralı kaynak dikişlerinin kalınlıkları 17,48 mm'dir. Dolayısıyla poz süresinin hesaplanmasında Şekil 8.10'daki Ir-192 izotopu için hazırlanmış poz diyagramındaki 17,48 mm malzeme kalınlığı ile D4 filmi karşılaştırılacaktır. Buradan gerekli değer 8 Ci.saat (Curie\*saat) bulunur.

Elimizdeki Ir-192 izotopu 17 Ci'lik olduğu için bulunan sonuca bölünecek ve buradan gerekli poz süresi 1 m mesafe ve yoğunluk 2'ye göre hesaplanmış olacaktır.

Poz süresi  $\frac{8}{17} \cong 0,47 \text{ saat} \cong 28 \text{ dakika}$  bulunur (FFD=1 m, Yoğunluk=2).

Bizim mesafemiz 0,165 metre olduğu için ters kareler metodu uygulanarak bulunan süre üzerinde gerekli düzenlemeler yapılacaktır. Buradan;

$$\frac{(0,165)^2}{(1)^2} * 28 \text{ dakika} = 0,027 * 28 \cong 0,756 \text{ dakika} = 45 \text{ saniye} \text{ bulunur (Yoğunluk=2)}.$$

Yoğunluğun 3 olması için ise bulduğumuz süreyi film katalogunda bulunan logaritmik tablo üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak çıkan değer ile çarpmalıyız. Bu katsayı yaklaşık olarak 1,5'dur. Yeni sürenin hesaplanması için yapmamız gereken yoğunluk 2 için bulunan süre ile 1,5 katsayısının çarpılmasıdır. Buradan gerekli süre

$$1,5 * 45 \cong 68 \text{ saniye} \text{ olarak bulunur (Yoğunluk=3)}.$$

Radyografi duyarlılığın kontrolü için 11, 12, 14 numaralı kaynaklarda cihaz tarafına, 13 numaralı kaynaktaki ise film tarafına 120° açı ile yerleştirilmiş 3 adet ASTM Standardı'nda Set 1B telli penetremetre yerleştirilecektir. Ayrıca tüm radyografik muayenelerde filmin arka

tarafına kurşundan bir B harfi konarak, filmin arkasından gelen saçılma miktarı kontrol edilmiş olur. Eğer B harfi film üzerinde görünüyorsa saçılma çok fazladır ve film reddedilir.

11, 12, 13 ve 14 numaralı kaynaklarda müşteri tarafından kaynak sonrası yapılması istenen manyetik parçacık muayenesi imalatın bitiminin ardından yapılan temizlikten sonra ısıtılma işlemi öncesi tüm kaynaklara tek seferde yapılacaktır.

Manyetik parçacık muayenesi yapılan tank, ardından ısıtılma işlemine gönderilecek ve ısıtılma işlemi sonrası da 11, 12, 13 ve 14 numaralı kaynaklar tekrar radyografik muayeneye tabi tutulacaktır.

Son olarak da tank hidrostatik teste gönderilecek ve hidrostatik test sonrası 11, 12, 13 ve 14 numaralı kaynaklar manyetik parçacık yöntemi ile muayene edilecektir.

#### ***15 – 16 – 17 – 18 – 19 Numaralı Kaynaklar***

15,16,17,18 ve 19 numaralı kaynaklar gazaltı kaynağı ile kaynatıldıktan sonra penetrant sıvı ile muayene edilecektir. Tank ısıtılma işleminden geldikten sonra da müşteri talebiyle 15, 16, 17 ve 18 numaralı kaynaklar tekrar aynı yöntem ile muayene edilecektir.

#### ***20 Numaralı Parça Üzerindeki Kaynaklar***

Bu parça üzerindeki tüm kaynaklar gazaltı kaynağı ile yapılacaktır. İmalat tamamlandıktan sonra tüm kaynaklar penetrant sıvı ile muayene edilecektir.

#### ***SL Kaynağı***

Bu kaynağın basınç altında olmaması sebebiyle muayene edilmesine gerek yoktur.

#### ***SC Kaynağı***

Etek kaynağı olarak isimlendirilen bu kaynak; dıştan tozaltı usulü ile içten ise gazaltı usulü ile kaynatılmaktadır. Kaynak sonrası ve hidrostatik test sonrası içeriden ve dışarıdan penetrant sıvı ile muayene edilecektir.

#### ***Diğer Kaynaklar***

Tank üzerindeki gösterilmeyen diğer kaynakların basınç altında olmaması sebebiyle muayene edilmesine gerek yoktur.

## Özet

Bu çalışmada incelenen tüm kaynak işlemlerinde, imalatı biten parça ilk olarak SNT-TC-1A veya eşdeğer bir standardın gereksinimlerine göre sertifikalandırılmış personel tarafından gözle muayene edilir. Gözle muayeneden sonra Kalite Kontrol Mühendisi tarafından boyut kontrolü yapılır. Buradaki amaç teknik resim ile imalatın birebir eşleştiğinin kontrol edilmesidir. Diğer muayene yöntemlerinin uygulanmasından önce kaynaklı kısımların alt ve üst yüzeyinde gözle görülebilir hataların olup olmadığına çeşitli ekipmanlar vasıtası ile bakılır. Direkt göz temasının olmadığı durumlarda, ayna, kamera, kaynak kumpası, el feneri, gözle muayene avadanlıkları vb. yardımcı donanımlar kullanılır. Gözle muayene işleminden geçen parçalar müşteri tarafından talep edilen yöntemle muayene edilir.

İmalat sonrası birden fazla yöntemle muayene edilmesi istenen kaynaklarda öncelikle müşterinin talep ettiği radyografi veya ultrasonik muayene yapılmakta, tank üzerindeki tüm kaynakların radyografik veya ultrasonik muayenesinin bitmesinin ardından manyetik parçacık muayenesi yapılmaktadır. Bunun sebebi ise öncelikle tank üzerindeki kaynakların iç hatalar barındırmadığından emin olmaktır. Çünkü manyetik parçacık muayenesi ile bulunabilecek yüzey ve yüzeye yakın hatalar taşlanarak giderilebilir. Bu sebeple iki kere manyetik parçacık muayenesi yapmamak ve dolayısıyla da maliyeti arttırmamak için öncelikle radyografi veya ultrasonik yöntemin uygulanması tercih edilir. Tüm kaynak dikişlerine tek seferde uygulanan manyetik parçacık muayenesi hızı artırıp süreyi kısaltmakta ve dolayısıyla da maliyeti azaltmaktadır.

Bu çalışmadaki tüm penetrant sıvı ile muayene işlemlerinde kullanılan teknik Tip II Method C'dir. Bu konu ile ayrıntılı bilgi Penetrant Sıvı ile Muayene konusunun işlendiği 6. Bölüm'de verilmiştir.

Bu çalışmadaki tüm muayene işlemlerinde uygulama ve teknikler ASME Section V'e göre, Seçim ve Değerlendirmeler ise imalatın yapıldığı standart olan ASME Section VIII Divison I'e göre yapılmaktadır.

Radyografik muayenelerde uygulanacak markalama işlemi ile ilgili detaylı bilgi önceki deneylerde verilmiştir. Aynı koşullar bu çalışmada da sağlanacaktır.

Kullanılan filmlerin tamamı her iki tarafı 27 mikron kalınlığında kurşun ile kaplı olarak rulo halinde gelmekte ve karanlık odada istenen boyutlarda kesilerek kullanılmaktadır. Filmlerin kabul yoğunluğu ASME Standardı'na göre X-ışınında 1,8-4 ve gama ışınında ise 2-4 arasındadır.

Radyografların değerlendirilmesi ve ultrasonik yöntemle muayene işlemi ise SNT-TC-1A'ya göre en az Level 2 seviyesinde sertifikalandırılmış personel tarafından yapılmaktadır.

Manyetik parçacık muayene işlemi ise tank içerisinde ve tank dışarisında farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Tank dışarisında ve aydınlık ortamda "Wet Visible" adıyla bilinen yöntem uygulanır. Bu yöntemde önce yüzeyde hareket eden parçaları görebilmek ve arka yüzeyi beyazlatmak amacıyla bir solüsyon püskürtülmekte ve kısa bir süre kuruması için beklenmektedir. Ardından, demir tozları içeren solüsyon uygulanmakta ve aynı anda cihazla 42 Volt gerilim uygulanarak manyetik alan oluşturulup manyetik parçacıkların yönelme ve birikimleri dikkate alınarak yüzey ve yüzeye yakın hatalar incelenmektedir. Kullanılan cihazın kaldırma kapasitesi minimum DC'de=18,1 kg ve AC'de=4,5 kg'dır. Bu değerler standartlara göre cihazın oluşturduğu manyetik alanı kalibre etmek üzere gerekli minimum değerlerdir.

Tank içerisinde ve karanlık ortamda ise flüoresan manyetik metot kullanılmaktadır. Bu metodun diğer manyetik parçacık muayene yöntemlerinden farkı, arka yüzeyi beyazlatmak için herhangi bir solüsyon kullanılmaması ve muayene işleminin karanlık bir ortamda ve mor ışık altında direk malzeme yüzeyine sürülen solüsyon vasıtası ile yapılmasıdır. Buradaki flüoresan özelliğe sahip demir tozları sadece mor ışık altında görülebilmektedir.



## SONUÇ

Kaynaklı birleştirmeler imalatın maliyetini, ürünün kalitesini ve kullanım sırasındaki performansını önemli ölçüde etkilediği için, kaynak dikişinde ve ısıdan etkilenen bölgede hataların oluşmaması veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması istenir. Bu nedenle, imalatın her aşamasında uygun yöntemlerle muayene edilir.

Uygulanacak tahribatsız muayene planının başarısı bu planı hazırlayan Kalite Kontrol (QC) Şefinin, kaynak yöntemi; malzeme kompozisyonu ve işlem durumu; kaynaklı bağlantının tipi, boyutları ve geometrisi; olası hata tipleri ve konumları ve bu hataların tespit edilebilmesi için kullanılacak muayene ekipmanları hakkında yeterli teknik bilgi ve tecrübeye sahip olmasına bağlıdır. Test sınıfı ve kapsamının seçiminde ise daha ziyade parçanın kullanım yeri ve kritik olup olmamasına dikkat edilmelidir.

Dolayısıyla tahribatsız muayenelerin maliyeti, uygulanacak yöntemle olduğu kadar seçilen muayene sınıfı ve kapsamına da bağlıdır.

Son yıllarda, artan uluslararası ticari ilişkilerin de etkisiyle, tahribatsız muayene yöntemlerinin kalite kontrol zincirinin önemli bir halkası olduğu ülkemizde de fark edilmeye başlanmış; bu alanda yetişmiş, vasıflandırılmış ve uluslararası tanınırlığı olacak şekilde sertifikalandırılmış eleman ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için ülkemizde de tahribatsız muayene alanında çeşitli kuruluşlarca sürdürülen eğitim ve sertifikalandırma faaliyetlerini eşdeğer hale getirerek organize eden ve yurt dışında tanınırlığı olan ulusal bir oluşum başlamış ve akredite olmuş tahribatsız muayene laboratuvarları kurulmuştur.

Bugünkü uygulamaları ile Tahribatsız Muayene, bir yandan üretim sürecinin gerekli noktalarında yapılan fiziksel kontrolleri kapsarken, öte yandan da faaliyetin yönetimi ile ilgili olarak tüm uygulama prosedürlerinin ve raporlarının hazırlanıp sunulabilmesini, bu dokümanların mevcut kalite sistemine ve dayandığı norm, standart, code veya spesifikasyonlardaki gelişmelere bağlı olarak sürekli güncelleştirilmesini ve bunu denetleyen sistemin, mekanizmanın varlığını gerektirmektedir. Bu yaklaşım ile bir yandan ürünün güvenilirliğinin temeli hazırlanırken, öte yandan da güvenilir bir ürünün can veya mal kaybına yol açabilecek tehlikelerinin minimuma indirilmiş olması sebebiyle şirket açısından düşük sigorta primleri ödenmesinin koşulları oluşturulmaktadır.

Yukarıdaki bahsedilen bilgilerden de yola çıkarak, uluslararası pazarda rekabet etmek isteyen tüm firmalarda istenilen kalitede bir kaynaklı imalat için tasarım aşamasından başlayarak

malzeme seçimi ve imalat aşamaları ile tahribatlı ve tahribatsız testleri de içeren kontrol ve denetim sistemleri oluşturulmasının gerekliliği günümüzde vazgeçilmez bir ön şart haline gelmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda radyografik muayene planlarının çıkarılması hakkında şu öneriler verilebilir:

- Radyografi ile muayene işleminde ışın kaynağının kaynak dikişinin konstrüksiyonuna ve ortam şartlarına uygun olarak seçilmesi
- Radyografik çekimlerde yarı gölge boyutu için yapılan hesaplamalarda bulunan değer kurtarıyorsa ve radyografi cihazı yerleşimi herhangi bir sorun oluşturmayacak ise çevresel (360° 'lik alanda) ışın yayabilen cihazların seçilmesi ile tek seferde tüm kaynak dikişlerinin muayene edilebilmesi
- Zaman-Maliyet ilişkisinin özellikle poz süresinin tayininde standartların elverdiği sınırlar içersinde en küçük değerlerde tutulması
- Kaynak dikişlerinin spot radyografik kontrolü yapılacaksa en fazla gerilmeye maruz kalan en kritik bölgelerinin seçilmesi (çevre alın kaynağı ile boyuna kaynak dikişinin kesiştiği noktalar, kaynak dikişi bitim noktaları vb.)
- Radyasyona karşı korunma tedbirlerinin, hem kişisel hem de ilgili alan için alınması, personelin gerekli sağlık kontrollerinin aksatılmaması.

Ultrasonik muayene yöntemi için ise:

- Özellikle radyografik muayenenin anlamlı olmadığı et kalınlığının fazla olduğu malzemelerde,
- Radyografik muayene yöntemiyle koordinatları hassas bir şekilde tespit edilemeyen dikiş yüzeyine dik hata ve çatlakların tespitinde
- Radyografi yöntemi ile net bir bilgi edinilemeyecek durumlarda
- Kaynak dikişi hata derinliği mesafesinin bulunmasında kullanılmalıdır.
- Düşey konumlarda ya da akışkanın malzeme üzerinde durmasını engelleyecek diğer pozisyonlarda muayene işlemi yapılması gerekiyorsa prob ile iş parçası arasındaki teması sağlamak amacıyla malzeme yüzeyine tutunabilen akıcılığı daha az olan akışkanlar seçilmelidir.

Penetrant sıvı ile muayene yöntemi için ise:

- Fazla pürüzlü ve gözenekli yüzeylerde bu yöntem kullanılmamalıdır.
- Muayene edilecek bölgenin uygun bir şekilde temizlenmesine dikkat edilmelidir.
- Yüzey temizleme işlemi esnasında çekiç kullanılmamalı ve dolayısıyla muayene edilecek yüzeye zarar verilmemelidir.

Manyetik parçacık muayene yöntemi için ise:

- Ferro-manyetik olmayan malzemelerde (östenitik paslanmaz çelik, alüminyum, titanyum, vb.) kullanılmamalıdır.
- En iyi sonuç için çeşitli doğrultularda farklı manyetikleştirmeler yapılmalıdır.
- Kaynaklı yüzeye boya ya da kaplama işlemi yapılmadan önce muayene işlemi yapılmalıdır.

Penetrant sıvı ve manyetik parçacık muayenesi diğer iki yöntemle sağlıklı olarak tespit edilemeyen yüzey ve yüzeye yakın hataların tespitinde kullanılırlar. Bu yöntemler radyografik muayene ve ultrasonik muayene metodunun tamamlayıcısı şeklindedirler ve tek başlarına uygulanmazlar.

**KAYNAKLAR**

- Akyüz, S. ve Gümrükçüoğlu, M., (1999), "Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Süreksizliklerin Tesbiti ve Değerlendirilmesi", Mühendis ve Makine Dergisi, 40(476): 40-49.
- Anık, S., Anık, E. S. ve Vural, M., (2000), 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Armitt, T. ve Henning, D., (2000), "The Requirement for Training of Visual Test Personnel", 15 th World Conference on Nondestructive Testing, 15-21 Ekim 2000, Roma/İtalya.
- Cary, H. B., (1989), Modern Welding Technology, Tera Technical College, New Jersey.
- Chuse, R. ve Carson, B. E., (1993), Pressure Vessels The ASME Code Simplified, McGraw-Hill Inc, New York.
- Commission V of The International Institute of Welding, (1982), Handbook on The Ultrasonic Examination of Welds, The Welding Institute, Abington Hall.
- Davis, J. R., Mills, K. M., Lampman, S. R., Zorc, T. B., vd., (1992), ASM Handbook Volume 17 Nondestructive Evaluation and Quality Control, ASM International, Ohio.
- Ewert, U., Purschke, M. ve Willems, P., (2000), "Good Workmanship in DIR and European Standardisation", Berlin
- Gür, C. H. ve Doyum, A. B., (1996), "Kaynaklı Birleşmelerin Tahribatsız Yöntemlerle Muayenesi", Uluslararası Kaynak Teknolojisi '96 Sempozyumu, 15-16 Mayıs 1996, İstanbul.
- Gür, C. H., (1999), "Kaynak Dikişlerinin Tahribatsız Yöntemlerle Muayenesinde Avrupa Standartları", Metalurji Dergisi, 23(123): 5.
- Hayes, C., (1997), "The ABC's of Nondestructive Weld Examination", AWS Welding Journal, 46:2-4.
- Henning, D., (1990), "Amerikan ve Avrupa Tahribatsız Muayene Prosedürleri Arasındaki Farklar (Çev., B. Gülbahar)", Mühendis ve Makine Dergisi, 31(368): 36.
- Mançuhan, C. ve Gülşan, M., (1983), "Kaynakların Ultrasonik Testi", Mühendis ve Makine Dergisi, 24(288): 11-16.
- Özden, N., (1979), Penetrant Muayene Magnetik Parçacıklarla Muayene Girdap Akımları ile Muayene Enfrared Muayene, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özden, N., (1981a), Endüstriyel Radyografi, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özden, N., (1981b), Sesötesi ile Muayene, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Ankara.

Rihar, G., (1999), "Selection of an NDT Method and The Extend of Testing", The 4th International Conference of Slovenian Society for Nondestructive Testing, 24-25 Nisan 1997, Ljubljana/Slovakya.

Rolls, M. C. H., (2000), "The European Standart for Visual Testing – General Principles Paper", 15 th World Conference on Nondestructive Testing, 15-21 Ekim 2000, Roma/İtalya.

Roy, A., Roy M. ve Armitt, T. (2000), "Introduction to the Different Equipment Used in Visual Testing", 15 th World Conference on Nondestructive Testing, 15-21 Ekim 2000, Roma/İtalya.

Stinchcomb, C., (1989), Welding Technology Today, Tera Technical College, New Jersey.

Tekiz, Y., (1984), Tahribatsız Deneyler, İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

UZTUĞ, H. E., (1992), Basınçlı Kaplar El Kitabı, Maya Matbaacılık Yayıncılık, Ankara.

## STANDARTLARIN KODLANMASI

ASME<sup>1</sup> ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section V Appendix 12 Part UT, Ultrasonic Examination of Welds, American Society of Mechanical Engineers, 1998.

ASME<sup>2</sup> ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section V Article 1, General Requirements, American Society of Mechanical Engineers, 1998.

ASME<sup>3</sup> ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section V Article 2, Radiographic Examination, American Society of Mechanical Engineers, 1998.

ASME<sup>4</sup> ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section V Article 9, Mandatory Appendix, American Society of Mechanical Engineers, 1998.

ASME<sup>5</sup> ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section V Article 9, Visual Examination, American Society of Mechanical Engineers, 1998.

ASME<sup>6</sup> ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section VIII Division I Part UW, Requirement for Pressure Vessels Fabricated by Welding, American Society of Mechanical Engineers, 1998.

ASTM<sup>1</sup> Standart Guide for Radiographic Examination, ASTM E 94, American Society for Testing and Materials, 2004.

ASTM<sup>2</sup> Standart Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments, ASTM E 164, American Society for Testing and Materials, 2003.

ASTM<sup>3</sup> Standart Test Method for Radiographic Examination of Weldments, ASTM E 1032, American Society for Testing and Materials, 2001.

EN<sup>1</sup> Kaynak Dikişlerinin Tahribatsız Muayenesi – Kaynakların Manyetik Parçacıkla Muayenesi, TS EN 1290, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.

EN<sup>2</sup> Kaynak Dikişlerinin Tahribatsız Muayenesi – Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi, TS 5127 EN 1435, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

EN<sup>3</sup> Non Destructive Examination of Fusion Welds – Visual Examination, DIN EN 970, European Committee for Standardization, 1997.

EN<sup>4</sup> Non Destructive Examination of Welds – Ultrasonic Examination of Welded Joints, EN 1714, European Committee for Standardization, 1997.

EN<sup>5</sup> Non-Destructive Testing – Image Quality Of Radiographs – Part 1: Image Quality Indicators (Wire Type) – Determination of Image Quality Value, EN 462-1, European Committee for Standardization, 1994.

EN<sup>6</sup> Tahribatsız Muayene – Penetrant Muayenesi – Bölüm 1: Genel Kurallar, TS EN 571-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

## INTERNET KAYNAKLARI

- [1] [www.agfa.com](http://www.agfa.com)
- [2] [www.geinspection.com](http://www.geinspection.com)
- [3] [www.kodak.com](http://www.kodak.com)
- [4] [www.metalurji.org.tr](http://www.metalurji.org.tr)
- [5] [www.mmo.org.tr](http://www.mmo.org.tr)
- [6] [www.nde.lanl.gov](http://www.nde.lanl.gov)
- [7] [www.ndt.com.au](http://www.ndt.com.au)
- [8] [www.ndt.net](http://www.ndt.net)
- [9] [www.ndt-ed.org](http://www.ndt-ed.org)
- [10] [www.ndtproducts.ca](http://www.ndtproducts.ca)
- [11] [www.rslndt.com](http://www.rslndt.com)
- [12] [www.tedndt.com](http://www.tedndt.com)
- [13] [www.trikontech.com](http://www.trikontech.com)



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	02.07.1978	
Doğum yeri	Bursa	
Lise	1991-1995	Işıklar Askeri Lisesi
Lisans	1995-1996	Kara Harp Okulu
Lisans	1998-2002	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

**Çalıştığı kurumlar**

2002-2003	MetMak Mühendislik Ltd. Şti.
2003-2005	Gen-iz Genel İzolasyon Malz. San. ve Tic. Ltd. Şti.