

**T.C
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TAHRİBATSIZ MUAYENE METOTLARI VE DOĞALGAZ
BORU HATLARINDAKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARIN
RADYOGRAFİK ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Abdurrahman SALMA**

**Danışman
Doç. Dr. A. Osman KURBAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran-2011
KAYSERİ**

**T.C
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TAHRİBATSIZ MUAYENE METOTLARI VE DOĞALGAZ
BORU HATLARINDAKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARIN
RADYOGRAFİK ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Abdurrahman SALMA**

**Danışman
Doç. Dr. A. Osman KURBAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran-2011
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Abdurrahman SALMA

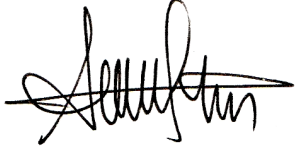


YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

TAHRİBATSIZ MUAYENE METOTLARI VE DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARIN RADYOGRAFİK ARAŞTIRILMASI adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

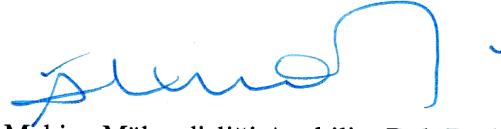
Tezi Hazırlayan

Abdurrahman SALMA



Danışman

Doç. Dr. A. Osman KURBAN



Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Doç. Dr. A. Osman KURBAN danışmanlığında **Abdurrahman SALMA** tarafından hazırlanan “**TAHRİBATSIZ MUAYENE METOTLARI VE DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARIN RADYOĞRAFİK ARAŞTIRILMASI** ” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine **Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

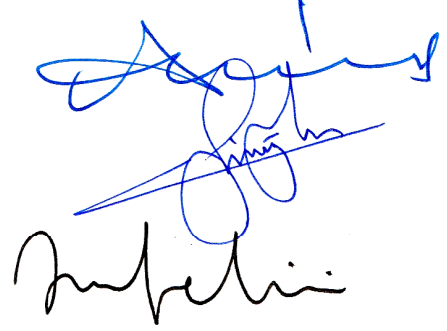
10 /06 /2011

JÜRİ:

Başkan: Doç. Dr. A. Osman KURBAN

Üye :Doç. Dr. Cem SİNANOGLU

Üye :Yrd. Doç. Dr. Recep EKİCİ



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/06/2011 tarih ve 2011/22-11 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

28 / 06 / 2011...




Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Tahribatsız Muayene Metotları ve Doğalgaz Boru Hatlarındaki Kaynaklı Bağlantıların Radyografik araştırılması ” konulu tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde maddi ve manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Doç. Dr. A.Osman KURBAN`a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığında görevli Hv. Muh. Alb. Mehmet MISIRLIOĞLU ile orada çalışan Mühendis Mehmet UZUN Bey ve mesai arkadaşlarına teşekkür ederim.

ISISAN A.Ş. teknik personellerine fedakârlığı ve ilgisinden dolayı çok teşekkür ederim.

Doğalgaz Çelik Boru hatlarının kaynaklarının yapılmasında yardımcı olan Doğanlar LTDŞTİ.’de Müh. Şükrü YÜCETAŞ ve ENKON firmasındaki teknik personele desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam boyunca bana verdiği manevi destek, göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı değerli eşim Altınay SALMA ile çocuklarım Halid Efe ve Mehmet Erene teşekkür ederim.

TAHRİBATSIZ MUAYENE METOTLARI VE DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ KAYNAKLI BAĞLANTILARIN RADYOGRAFİK İNCELENMESİ

Abdurrahman SALMA

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi Haziran–2011

DANIŞMAN: Doç. Dr. A. Osman KURBAN

ÖZET

Bu yüksek lisans tezi çalışmasında tahribatsız malzeme muayene yöntemleri olan beş yöntemi ayrı ayrı inceleyerek avantaj ve dezavantajları karşılaştırıldı. Ayrıca doğal gaz boru hattında kullanılan malzemeler, imalat, montaj ve kaynak yöntemleri incelendi. Kaynak edilmiş parçalara kaynak eksenini boyunca gama ışını yöntemi ile kaynak bölgesi tarandı ve kaynak hataları tespit edildi.

Teknik dışı yapılacak bir işlemin veya en küçük bir yanlış değerlendirmenin emniyet faktörüne yapacağı olumsuz etki bilinmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada, çelik doğalgaz borularının birleşme noktalarındaki kaynaklı bölgeler radyografik muayeneye tabii tutuldu. Bunun için gama ışını cihazı kullanılarak kaynak yapılmış boruların çok sayıda filmleri çekildi. İncelemeler sonucunda sık görülen değişik kaynak hataları tespit edilerek sebepleri araştırıldı. Yapılan radyografik incelemeler sonunda, en sık karşılaşılan hataların, gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek hataları ile cüruf kalıntılarından oluşan hatalar olduğu tespit edildi.

Anahtar Kelimeler : Radyografi, X ve Gama Işınları, Boru Hattı Kaynakları, Tahribatsız Muayene Metotları.

NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS AND RADIOGRAPHIC EXAMINATION OF WELDED JOINTS IN PIPELINES OF NATURAL GAS

Abdurrahman SALMA

Erciyes University,

Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, June 2011

Supervisor: Associate Prof. Dr. A. Osman KURBAN

ABSTRACT

In this study advantages and disadvantages of the five methods of non destructive material testing have been studied separately and compared. In addition, the materials used in natural gas pipeline, manufacturing, assembly and welding methods were examined. Gamma-ray method has been applied along the axis of the source components and welded region screened with the method and source errors were detected in the welded region.

It is known that a process, out of the technique or a small wrong evaluation has a negative effect on safety factor. The study, therefore, points of fusion welded steel natural gas pipes in the regions were subjected to radiographic examination. To do this, using a gamma-ray movies were a large number of welded pipes. Reviews are determined as a result of common causes of various welding defects were investigated. The most common mistakes made at the end of the radiographic examination, the gas cavity and pore errors arising from the remains of slag with the errors that were detected.

Keywords : Radiography, X and Gamma Ray, Pipeline Welding, Non-Destructive Testing Methods

İÇİNDEKİLER

Bilimsel Etiğe Uygunluk.....	ii
Yönergeye Uygunluk Sayfası	iii
Kabul Onay	iv
Teşekkür.....	v
Özet	vi
Abstract	vii
Kısaltmalar	xv
Tablo listesi	xviii
Şekil listesi	xix
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

TAHRİBATSIZ MUAYENE METOTLARI

1.TAHRİBATSIZ MUAYENE	3
1.1.Tahribatsız Muayene Nedir?	3
1.2.Tahribatsız Muayene Neden Önemlidir?	3
1.3. PENETRANT (SIVI GİRİNİM) KONTROLÜ	6
1.3.1. Muayenenin Fiziksel Prensibi	7
1.3.2. Penetrent Muayene İle Algılanabilir Hatalar.....	8
1.3.3. Muayene Kademeleri	9
1.3.4. Ön Temizlik ve Kurutma.....	9
1.3.5. Ara Temizlik (Yıkama).....	14
1.3.6. Developer (Geliştirici) Uygulaması.....	14

1.3.7. Kurutma İşlemi	14
1.3.8. Değerlendirme ve Son Temizlik.....	15
1.3.9. Penetrant Kontrolünün Avantajları ve Dezavantajları.....	15
1.3.9.1.Avantajları.....	16
1.3.9.2.Dezavantajları	16
1.4. MANYETİK PARÇACIK KONTROLÜ	16
1.4.1.Manyetik Parçacık Kontrolünün Prensibi	17
1.4.2. Manyetik Parçacık Kontrolünün Uygulanabileceği Malzemeler	17
1.4.3.. Manyetik Parçacık Kontrolünün Uygulanması	19
1.4.3.1. Manyetizasyon Teknikleri.....	19
1.4.3.2. Boyuna Manyetizasyon.....	19
1.4.3.3. Dairesel Miknatıslanma.....	19
1.4.4. Kontrol Aşaması.....	20
1.4.5. Demanyetizasyon (Miknatıslığını Giderme) İşlemi ve Son Temizlik	22
1.4.6. Manyetik Parçacık Kontrolünün Avantajları Ve Dezavantajları...	24
1.4.6.1. Avantajları.....	25
1.4.6.2. Dezavantajları	25
1.5. EDDY CURRENT (GİRDAP AKIMLARI) KONTROLÜ.....	25
1.5.1 Eddy Current (Girdap Akımları) Kontrolünün Prensibi	25
1.5.2. Eddy Current (Girdap Akımları) Kontrolünün	26
1.5.3. Eddy Current (Girdap Akımları) Test Sistemi ve Elemanları	27
1.5.4.Eddy Akımını Etkileyen Malzeme Özellikleri.....	27
1.5.4.1. Elektriksel İletkenlik.....	28
1.5.4.2. Manyetik Geçirgenlik (Permeabilite).....	28
1.5.4.3. Geometri.....	28
1.7.4.3.1. Malzeme Kalınlığı	28

1.5.4.3.2. Aralık Etkisi.....	28
1.5.4.3.3. Kenar ve Uç Etkisi	29
1.5.4.3.4. Dolgu Faktörü	29
1.5.5. Süreksizlikler	29
1.5.6. Nüfuziyet Derinliği.....	30
1.5.7. Test Şartlarını Etkileyen Faktörler	30
1.5.7.1. Test Frekansı	31
1.5.7.2. Manyetik Temas	31
1.5.7.3. Test Bobinin Akımı	32
1.5.7.4. Sıcaklık.....	32
1.5.8. Test Probunun Seçimi.....	32
1.5.9. Eddy Current Kontrolünün Avantajları ve Dezavantajları	33
1.5.9.1. Avantajları	33
1.5.9.2. Dezavantajları	33
1.6.ULTRASONİK KONTROLÜ	33
1.6.1. Tarihçe	34
1.6.2. Ultrasonik Kontrolü Çalışma Prensibi	34
1.6.3.Ultrasonik Kontrolün Uygulanabileceği Malzemeler	35
1.6.4. Ultrasonik Test Teknikleri	36
1.6.4.1. Puls-Echo(Darbe-Yankı) Yöntemi.....	36
1.6.4.1.1. Doğrudan Kontak Yoluyla Kontrol.....	36
1.6.4.1.2. Daldırma Yoluyla Kontrol:	37
1.6.4.1.3. Çift Prob Tekniği (Tandem veya Ardışık).....	38
1.6.4.1.4. LLT (Long – Long – Trans) Tekniği.....	39
1.6.4.2. Transmisyon Yöntemi.....	39
1.6.4.3. Rezonans Yöntemi.....	40

1.6.4.4. Kontaklama (Temas) Yöntemi.....	41
1.6.4.5. Otomatik Sistemlerde ve Üretim Alanında Test	42
1.6.5. Ultrasonik Kontrolün Tarama Şekline Göre Sınıflandırılması.....	42
1.6.5.1. A-Tarama (A-Ekranı A-Scan)	42
1.6.5.2.B-Tarama (B- Ekranı, B- Scan)	43
1.6.5.3.C- Tarama (C- Ekranı, C- Scan)	43
1.6.6. Ultrasonik Testinin Avantajları Ve Dezavantajları.....	43
1.6.6.1. Avantajları	43
1.6.6.2. Dezavantajları	44
1.7.RADYOGRAFİK KONTROL.....	44
1.7.1. Tarihçe	44
1.7.2. Radyografik Kaynakların Seçimi	44
1.7.2.1. X-Işınlari ile Kontrol	45
1.7.2.2. Gama Cihazları ile kontrol.....	47
1.7.2.3.Muhafaza Kabı veya Işınlama Kabı.....	51
1.7.3. Radyografi Görüntü Kalite Faktörleri.....	53
1.7.3.1. Geometrik faktör.....	53
1.7.3.2.Radyasyon kaynağı faktörü.....	54
1.7.3.3.Radyografik film	55
1.7.3.4.Pozlama süresi	56
1.7.4. Radyografik Işınlama ve Film Çekim Teknikleri	57
1.7.4.1. Radyografide kullanılan ışınlama hesapları	57
1.7.4.2. Tüp gerilimi ve radyasyon kaynağının seçimi	59
1.7.5.Radyasyon	60
1.7.5.1Radyasyon ve Radyasyon çeşitleri	60

2. BÖLÜM

DOĞALGAZ BORULARI VE KAYNAK YÖNTEMLERİ

2.1.DOĞALGAZ BORULARI.....	62
2.1.1.Hat Borularının İmal Usulleri.....	62
2.1.2.Kimyasal ve Mekanik Özellikleri.....	64
2.2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	66
2.2.1.HAT BORULARINDA UYGULANAN KAYNAK METODLARI..	66
2.2.2.Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı	69
2.2.3.Çelik boruların kaynağında kullanılan örtülü elektrotlar	69
2.2.4.Boru hatlarının örtülü elektrot ile kaynağında uygulanan teknikler	70
2.2.4.1.Elektrik ark kaynağı ile yukarıdan aşağı kaynak tekniği...	70
2.3.BORU HATLARININ KAYNAĞI.....	71
2.3.1. Kaynak İşlemine Hazırlık.....	71
2.3.2. Isıl işlem aşamaları.....	72
2.3.3. Çevre şartları.....	73
2.3.4. Boruların kaynaklanmasında kaynak ağzı hazırlığı	73
2.4. BORU KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK SIRASI.....	77
2.4.1.Kök pasosu	77
2.4.2. Sıcak pasosu.....	78
2.4.3.Dolgu pasosu.....	78
2.4.4.Kapak pasosu.....	79
2.4.5.Kaynak sonrası yapılan işlemler	79
2.5. KAYNAK YAPIMINDAKİ ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER VE BUNLARA	
KARŞI ALINACAK ÖNLEMLER.....	80

3. BÖLÜM

ÇEKİM TEKNİKLERİ VE KAYNAK HATALARI

3.1.ÇEKİM TEKNİKLERİ	82
3.1.1.Deneyde Kullanılan Film Çekim Geometrileri.....	82
3.1.1.1. (1^{1/2} " - 2" - 2^{1/2} ") Çaplı çelik borular için	
elips çekim pozisyonu	82
3.1.2.Tek cidar tekniği	83
3.1.3.Çift cidar tekniği	84
3.2. KAYNAKTA SÜREKSİZLİKLER.....	86
3.2.1.Kaynak Hatalarının Saptanmasında Uygulanan Muayene	
Yöntemleri.....	87
3.2.1.1.Süreksizliklerin sınıflandırılması	88

4. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI

4.1.DENEY SONUÇLARI.....	105
4.1.1. Kaynak dikiş hataları.....	105
4.2.RADYOGRAFİK MUAYENE TEST KAPSAMI.....	107
4.3.KAYNAKLAR RADYOGRAFİK KONTROL TALİMATI	108
4.4.RADYOLOJİK KONTROL RAPORU	109
4.5 Çekimi Yapılan Parçaların Radyografik Görüntülerinin Değerlendirilmesi .	110
4.5.1. I No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik	
görüntüsü	110
4.5.2. II No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve	
Radyografik	111
4.5.3. III No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve	

Radyografik	112
4.5.4. IV No’lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve	
Radyografik	113
4.5.5. V No’lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve	
Radyografik	114
4.5.6. VI No’lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve	
Radyografik	115
4.5.7. VII No’lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve	
Radyografik	116
4.5.8. VIII No’lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve	
Radyografik	117
4.5.9. IX No’lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve	
Radyografik	118
4.5.10. On No’lu numunelerin radyografik muayeneleri	120
4.5.11. On bir No’lu numunelerin radyografik muayeneleri	122

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE İRDELEME

SONUÇ VE İRDELEME	136
KAYNAKLAR	142
ÖZGEÇMİŞ	

KISALTMALAR

C	:Radyoizotopun aktivite değeri
D	:Filmin yoğunluğu
Do	:Kaynak malzeme uzaklığı
D1	:Birinci nokta ile kaynak arasındaki mesafe
D2	:İkinci nokta ile kaynak arasındaki mesafe
F	:Kaynak boyutu
FOD	:Işın ile malzeme arasındaki mesafe
FDD	:Işın ile alıcı arasındaki mesafe
I	:Filmi geçen ışık şiddeti
I₀	:Film üzerine gelen ışık şiddeti
I1	:Birinci durum için şiddet
I2	:İkinci durum için şiddet
M	:Büyültme
M1	:Birinci durum için tüp akımı
M2	:İkinci durum için tüp akımı
T	:Penetremetre kalınlığı
t	:Boru et kalınlığı
t_u	:Malzeme film uzaklığı
T_x	:Işınlama zamanı
U_g	:Geometrik yarıgölge
X	:Kaynak ışın mesafesi
Q	:Radyasyon miktarı
W	:Nüfuziyet kalınlığı

API	:Amerikan Petrol Enstitüsü
ASNT	:Amerikan Tahribatsız Muayene Kurumu
AI	:Süreksizliklerin toplamı
BT	:Yakıp-Delme
Bq	:Bekerel
C	:Çatlaklar
Ci	:Curie
Co	:Kobalt
CP	:Kapak pasodaki grup gözenek
EU	:Kapak paso
ESI	:Uzunlamasına cüruf kalıntıları
GTAW	:Gaz Tungsten Ark Kaynağı
HB	:Kökte uzun gözenek
IC	:Kökte içbükeylik
ICP	:Kaynaklar arası yetersiz Nüfuziyet
IF	:Yetersiz ergime (Yapışma noksanlığı)
IFD	:Soğuk yapışma ile oluşan yetersiz ergime
IQI	:Görüntü Kalite Göstergesi
IP	:Eksen kaçıklığı olmayan durumda yetersiz Nüfuziyet
IPD	:Eksen kaçıklığı olan durumda yetersiz Nüfuziyet
Ir	:Iridyum
ISI	:Tek cüruf kalıntıları
IU	:Kök pasodaki yanma oluğu
ISO	:Uluslararası Standartlar Enstitüsü
Kv	:Kilovolt
KeV	:Kilo elektron volt

mA	:Mili amper
MAG	:Metal Aktif Gaz
MeV	:Milyon elektron volt
MIG	:Metal Inert Gaz
Mv	:Mega volt
NDT	:Tahribatsız Muayene Testi
PF	:Aşağıdan yukarıya
PG	:Yukarıdan aşağıya
PC	:Yan kaynak
R	:Röntgen
Se	:Selenyum
SI	:Cüruf Kalıntısı
SAW	:Toz altı Ark Kaynağı
SMAW	:Örtülü Metal Ark Kaynağı
TS	:Türk Standartları
TSE	:Türk Standartları Enstitüsü

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. 1. Tahribatsız muayene deneylerinin makine mühendisliği endüstrisinde	6
Tablo 1. 2. Test sıcaklığına göre penetrasyon süreleri	13
Tablo 1. 3. 880 sigma serisi gama radyografi cihazında kullanılan kaynaklar ve özellikleri	48
Tablo 2. 1. Çelik sınıflarına göre boru imalat metotları	64
Tablo 2. 2. Dikişle ve dikişsiz boruların kimyasal birleşimi	65
Tablo 2. 3. API-5L'ye göre boruların mekanik özellikleri	66
Tablo 2. 4. Boru çapları ve et kalınlıklarına uygun elektrot çapları	77
Tablo 3. 1. Elips çekim pozisyonu ölçüleri	83
Tablo 4. 1. Kaynak hataları grupları ve simgeleri.	106
Tablo 4. 2. Radyolojik bulguların raporlanması	109
Tablo 4. 3. NDT yöntemlerin genel karşılaştırılması	135
Tablo 5. 1. Doğalgaz boru hattı yapılan şebekelerin durumu	137

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1. Islatan ve Islatmayan sıvıların katı yüzeyindeki davranışı	7
Şekil 1. 2. Islatan ve ıslatmayan sıvıların kılcal olaydaki konumu.....	8
Şekil 1. 3. İş akış diyagramı.....	9
Şekil 1. 4. Seri üretimde sıvı penetrent muayene.....	10
Şekil 1. 5. Penetrantın Sınıflandırılması	10
Şekil 1. 6. Sıvı penetrentle malzeme muayenesi kademeleri.....	12
Şekil 1. 7. Malzeme üzerindeki Penetrantın temizlenmesi ve developer(geliştirici) uygulaması	15
Şekil 1. 8. Malzemenin developer (geliştirici) uyguladıktan sonra kurutulması	15
Şekil 1. 9. Malzemenin beyaz ışık altında kontrol edilmesi	16
Şekil 1.10 Malzemelere akım verilmeden önce molekülün yapısı	17
Şekil 1.11. Malzemedan belirli bir akım geçirildikten sonra malzemedeki moleküllerin Yapısı	17
Şekil 1.12.Süreksizlik bulunan malzemelerde bir akı kaçağı oluşmaktadır.	18
Şekil 1.13. Manyetik parçacık kontrolünde demir tozlarının durumu	18
Şekil 1.14. Yoke cihazı	19
Şekil 1.15.Yoke cihazı ile manyetik alan oluşturulması.....	20
Şekil 1.16.Bobin ile manyetizasyon işlemi.....	20
Şekil 1.17.Dişliçark gibi delikli parçaların manyetizasyonu	21
Şekil 1.18. Bağlantılı bobin ile manyetizasyon	21
Şekil 1.19.Manyetizasyon meydana getiren prodlar ve manyetizasyon işlemi	22
Şekil 1.20.Flöresan sıvısı ve demir tozları.....	23
Şekil 1.21.Manyetik tanecik kontrolü ve malzeme üzerindeki çatlaklar	23

Şekil 1.22. Manyetik tanecik kontrolünde demir tozlarının çatlaklar üzerindeki görünüşleri	24
Şekil 1.23. Eddy current çalışma prensibi	26
Şekil 1.24.Eddy current kontrolü uygulamaları.....	26
Şekil 1.25. Eddy current test sistemi elemanları.....	27
Şekil 1.26. Eddy current test cihazı	27
Şekil 1.27.Test malzemesinin kenar ve uç kısımlarında oluşan eddy akımları azalmaktadır	29
Şekil 1.28. Dolgu faktörü.....	30
Şekil 1.29.Malzemeler üzerinde çatlak ve yabancı madde etkisi	30
Şekil 1.30.Eddy current akımlarının yoğunluğunun derinlikle değişimi.....	31
Şekil 1.31. Frekansın teste etkisi.....	32
Şekil 1.32. Çeşitli eddy current test problemleri.....	33
Şekil 1.33. Problemlerde ses dalgaları	34
Şekil 1.34. Ultrasonik kontrolde prob ile hata kontrolü.....	34
Şekil 1.35. Genlik, dalga boyu ve periyot.....	35
Şekil 1.36. Doğrudan kontak yoluyla kontrol.....	36
Şekil 1.37.Ultrasonik test cihazı ile parça kalınlığının ölçümü	37
Şekil 1.38.Daldırma yoluyla malzeme kontrolü	38
Şekil 1.39.Çift probta malzeme yüzeyinden yüzeyler hata kontrolü	38
Şekil 1.40.Çift probta karşılıklı hata kontrolü	38
Şekil 1.41. LLT tekniği.....	39
Şekil 1.42 Transmisyon yöntemi ile hata kontrolü	40
Şekil 1.43.Rezonans yönteminde çeşitli dalga boylarında frekanslar.....	40
Şekil 1.44.Kontak yönteminin uygulanması	41
Şekil 1.45.Üretim alanlarında test işlemi sistemi.....	42

Şekil 1.46. A-tarama	42
Şekil 1.47. B- tarama C- Tarama	43
Şekil 1.48. X-ışınları üretimi ve malzeme kontrolü.....	46
Şekil 1.49. Uzaktan kumanda edilen gama ışın tüpü ve elde taşınabilen gama ışın Tüpleri	47
Şekil 1.50. Döner tip kapalı gama radyografi kaynağı	48
Şekil 1.51. Bir gama radyografi cihazının tipik çalışması	51
Şekil 1.52 Projeksiyon tipi gama ışını cihazı ekipmanları.	51
Şekil 1.53.Radyografik görüntü ve yarı gölge oluşum geometrisi.....	54
Şekil 1.54. Filmin yapısı	54
Şekil 1.55. X ışını için poz grafiği	57
Şekil 1.56.a) Ters kare kanunu b) Radyasyon etkisi	58
Şekil 1.57.X ışınları cihazları için en büyük x ışını gerilimleri	59
Şekil 1.58.Radyasyon parametreleri	60
Şekil 1.59. Elektromanyetik dalga spektrumu.	61
Şekil 2. 1. Doğalgaz boru hattının görünüşü.....	66
Şekil 2. 2. İç ve dış ağız kaçıklığı[45].....	72
Şekil 2. 3. Ön ısıtmaya tabi tutulacak kaynak bölgesinin şematik gösterimi[45]	73
Şekil 2. 4. Kaynak ağızı şekli ve kaynak ağızı açma aparatı[55-59].....	74
Şekil 2. 5. 30 ⁰ lik standart kaynak ağızları (sağ) ile otomatik MAG kaynağı, kaynak ağızı mukayesesi[60].....	75
Şekil 2. 6. Boruların plazma kesme aparatı [55].....	76
Şekil 2. 7. Conta kaynaklarının merkezleme tertibatı[55]	76
Şekil 2. 8. Kök pasoda sarkma[45]	78
Şekil 2. 9. Sıcak paso [45].....	78
Şekil 2.10.Tamamlanmış kaynak kesiti.[45].....	79

Şekil 3. 1. Elips çekim pozisyonu	82
Şekil 3. 2. Film dışarıda, radyasyon kaynağı içerde tek cidar ışınlama.....	83
Şekil 3.3. Film içerde, radyasyon kaynağı dışarıda tek cidar ışınlama	83
Şekil 3. 4. Film dışarıda, radyasyon kaynağı parçanın merkezinde tek cidar Işınlama.	84
Şekil 3. 5. Film ve radyasyon kaynağı dışarıda çift cidar - tek görüntü ışınlama teknikleri.	85
Şekil 3. 6.Film ve radyasyon kaynağı dışarıda çift cidar – çift görüntü ışınlama	86
Şekil 3. 7. Ayarsızlığın şematik görünümü	88
Şekil 3. 8. Ayarsızlığın film görüntüsü[52].....	89
Şekil 3. 9. Yetersiz nüfuziyetin şematik görünümü.....	90
Şekil 3.10. Yetersiz nüfuziyetin film görüntüsü[52].....	90
Şekil 3.11.Yetersiz birleşmenin şematik görünümü	91
Şekil 3.12.Yetersiz birleşmenin film görüntüsü[52].....	91
Şekil 3.13.Çatlakların şematik görünümü	92
Şekil 3.14:Çatlakların film görüntüsü[52].....	92
Şekil 3.15. İç veya kök undercut 'ı şematik görünümü	93
Şekil 3.16.İç veya kök undercut 'ı film görüntüsü[52].....	93
Şekil 3.17. Dış veya tepe undercut şematik görünümü	94
Şekil 3.18.Dış veya tepe undercut film görüntüsü[52]	94
Şekil 3.19. Cüruf kalıntıları şematik görünümü.....	95
Şekil 3.20. Cüruf kalıntıları film görüntüsü[52]	95
Şekil 3.21.Oksit kalıntıları şematik görünümü.....	96
Şekil 3.22. Oksit kalıntıları film görüntüsü[52].....	96
Şekil 3.23. Tungsten kalıntılarının şematik görünümü.....	97
Şekil 3.24.Tungsten kalıntılarının film görüntüsü[52]	97

Şekil 3.25. Gözeneklerin şematik görünümü	98
Şekil 3.26. Film görüntüsü[52].....	98
Şekil 3.27. Çoklu gözeneklerin şematik görünümü	99
Şekil 3.28. Çoklu gözeneklerin film görüntüsü[52]	99
Şekil 3.29. İç içbükeylik veya geri çekilme şematik görünümü	100
Şekil 3.30. İç içbükeylik veya geri çekilme film görüntüsü[52].....	100
Şekil 3.31. Soğuk binmenin şematik görünümü	101
Şekil 3.32. Soğuk binmenin film görüntüsü[52]	101
Şekil 3.33. Yetersiz kaynak takviyesinin şematik görünümü	102
Şekil 3.34. Yetersiz kaynak takviyesinin film görüntüsü[52].....	102
Şekil 3.35.Aşırı kaynak takviyesi şematik görünümü	103
Şekil 3.36. Aşırı kaynak takviyesi film görüntüsü[52]	103
Şekil 3.37. Yanma şematik görünümü	104
Şekil 3.38. Yanma film görüntüsü[52]	104
Şekil 4. 1. I No'lu parçanın radyografik görüntüsü.	111
Şekil 4. 2. II No'lu parçanın radyografik görüntüsü.	112
Şekil 4. 3. III No'lu parçanın radyografik görüntüsü.	113
Şekil 4. 4.IV No'lu parçanın radyografik görüntüsü.	114
Şekil 4. 5. V No'lu parçanın radyografik görüntüsü.	115
Şekil 4. 6. VI No'lu parçanın radyografik görüntüsü.	116
Şekil 4. 7. VII No'lu parçanın radyografik görüntüsü.	117
Şekil 4. 8.VIII No'lu parçanın radyografik görüntüsü.....	118
Şekil 4. 9. Yanma oluşu radyografik görüntüsü.	119
Şekil 4.10.Kaynak içerisindeki gaz boşluğunun radyografik görüntüsü.	119
Şekil 4.11. Kaynak içerisindeki kalıntı cürufu parçanın radyografik görüntüsü.....	119
Şekil 4.12. Kaynak içerisindeki gaz boşluğunun radyografik görüntüsü.	120

Şekil 4.13. Fazla amperden dolayı meydana gelmiş yakıp delme radyografik film görüntüsü.....	121
Şekil 4.14: Kök pasonun aşağı doğru kısmi aşırı sarkması radyografik film görüntüsü.....	121
Şekil 4.15.Kök pasoda yanma oluşu radyografik film görüntüsü.....	121
Şekil 4.16.Kaynak bölgesinde hapsolan gazlardan kaynaklanan kurt deliği şeklinde uzamış gözeneklerin radyografik film görüntüsü.....	123
Şekil 5. 1. Ana doğalgaz hattı uydu görüntüsünden bir parça	137

GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte ürünlerin kalite ve güvenilirliği de büyük önem kazanmaktadır. Kalite ve güvenilirliğin sağlanması açısından tahribatsız muayene çok önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü uygun tahribatsız muayene metotlarından biri veya birkaçı ile ürüne herhangi bir zarar vermeden test etme olanağı vardır. Böylece son ürünün her hangi bir zarar görmesi, hataların kullanımdan önce tespit edilmesiyle önlenmiş olur. Gelişen teknoloji ile birlikte yeni tahribatsız muayene yöntemleri ve var olan yöntemlere ait yeni metotlar geliştirilmektedir. Şu an için sertifikalı eleman tarafından uygulanması öngörülen 5 farklı tahribatsız muayene yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler Türkçe, İngilizce ve uluslar arası literatürdeki kısaltmaları ile birlikte aşağıda sıralanmaktadır.

1. Ultrasonik Testi (Ultrasonic Testing) UT
2. Radyografi Testi (Radiographic Testing) RT
3. Sıvı Penetrant Testi (Penetrant Testing) PT
4. Manyetik Parçacık Testi (Magnetic Particle Testing) MT
5. Girdap Akımları Testi (Eddy Current Testing) ET

Üretimde kalite ve fiyatı belirleyen tüketicidir. Ancak imalatla başarı için mümkün olduğunca kaliteli ve ucuz üretim gereklidir. Kalite ve fiyatın oluşmasında muayene, özellikle tahribatsız muayene fevkalade önemli yer işgal etmektedir. Tahribatsız test yöntemlerinin başarılı olabilmesi için

1. Malzemenin cinsine ve aranan hata çeşidine göre en uygun test yönteminin seçilmesi.
2. Testi uygulayanın yeterli eğitim ve tecrübeye sahip olması.
3. Test yöntemlerinde muayene edilecek malzeme göz önüne alınarak, en uygun standardın kullanılması gerekir.

Bunlar yapılırken de prensip olarak kalite ve fiyat açısından tüketicinin taleplerini karşılayabilmek için ne gerekiyorsa tam tamına o yapılmalı, ne daha azı veya ne daha fazlası yapılmamalıdır. Bu prensip özellikle yöntem seçiminde göz önünde tutularak daha basit ve ucuz bir yöntemle test yeterli duyarlılıkla yapılabilirken, daha karmaşık ve daha pahalı test uygulanmamalıdır. Tahribatsız muayene yöntemlerinin, uzay, askeri ve sivil havacılık teknolojisi başta olmak üzere petrol rafinerilerinde, petrol platformlarında, petrol ve doğal gaz boru hatlarında, gemi ve demir-çelik sanayinde, her çeşit basınçlı kap kullanım tesislerinde, otomotiv, elektronik sanayinde, termik santrallerde ve daha birçok sanayi dalında uygulama alanları bulmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemlerinden bir veya birkaçında çalışmak isteyen kişilerin burada temel bilgileri bilmesi gerekmektedir. Çünkü hatanın kaynağını ve oluş nedenini bilen muayeneci, tespit ettiği bulguları çok daha iyi yorumlama yeteneğine sahip olur.

Tahribatsız muayene yöntemleri (NDT), muayene edilecek malzemenin hiçbir fiziksel değişime uğramadan kalite kontrolünün yapılmasıdır. Tahribatsız muayene teknikleri uygulamaları ile kaynak ön hazırlığı ve kalite kontrolü, endüstriyel tesis ve ekipmanların imalatı ve montajı aşamasında çok önemli bir yer tutar

Endüstriyel gelişim süreci içinde kalite, mamul garantisi, insan ve çevre güvenliği gibi kavramların da gelişmesi nedeni ile günümüzde tahribatsız muayeneye duyulan ihtiyaç endüstrimizin gelişmeye başladığı önceki konumuyla kıyaslanamayacak boyutlara ulaşmıştır. Gerek endüstriyel iş kollarında kullanılan malzeme veya imalatı tamamlanmış ürünlerin farklılığı ve gerekse, klasik kalite kontrol tekniklerinin kendi yetersizlikleri birden fazla NDT uygulamasının gelişmesine neden olmuştur.

Bu yöntemler çeşitli fiziksel prensiplere dayanmaktadır. Malzemelerin kullanıldığı parçaların, üretimi veya işletilmesinin herhangi bir aşamasında, tahribatsız muayene teknikleri ile bu ürünlerin sağlamlığını, güvenilir bir şekilde kullanımını ve kalitesini değerlendirmek mümkündür. Muayene edilen malzemeye veya aranan hatanın türüne göre kullanılacak yöntem belirlenebilir. Bu yöntemlerin her birinin diğerine göre üstün yönleri mevcuttur. Bazı durumlarda ise birbirlerinin tamamlayıcısı olup kombine olarak kullanılmaktadır.

NDT uygulamasında, endüstrimizin ihtiyaç duyduğu muayene teknikleri; radyografik muayene (x-ışını, gama ışını (Ir 192, Se 75)), ultrasonik muayene, manyetik parçacık muayene, sıvı penetrent muayene ve girdap akımları muayenesidir. Bu

çeşitlilik nedeniyle makine, gemi, uçak, otomotiv endüstrisi, termik santraller, nükleer reaktörler, silindirik - küresel tanklar ve petrol-doğalgaz boru hatları gibi endüstriyel tesislerde, NDT'nin nerede, nasıl ve niçin kullanılacağını seçimi ve uygulaması, bu alanda bir uzmanlık konusu oluşturmuştur. Endüstrimizin günümüzdeki gelişmişlik seviyesi içinde yetersiz kalan klasik kalite kontrol metotları ile istenen seviyede kalite kontrol sağlanamayacağı bir gerçektir. NDT konusunda teknik dışı yapılacak bir işlemin veya en küçük bir yanlış değerlendirmenin emniyet faktörüne yapacağı olumsuz etki nedeniyle ileride büyük kayıplara yol açacağını hiçbir zaman göz ardı etmeden, tahribatsız muayene tekniklerinin seçimi ve uygulaması yapılmalıdır.

Boru hattı kaynakları, tamamlanmış kaynağın ilgili kaynak prosedürüne uygun olarak üretilip üretilmediği ve ilgili standarda göre kabul edilip edilmeyeceğini tayin etmek için tahribatsız olarak muayene edilmektedir. Uygulamalarda kaynak dikişinin muayenesi için kullanılan en yaygın yöntem radyografik muayenedir.

Radyografide, nüfuz edici radyasyonla ısılanan malzemenin film üzerine negatif görüntüsü aktarılır. Bu görüntü, aslında radyasyonun malzemeden geçerken oluşturduğu zayıflama görüntüsüdür. Kaynak dikişlerindeki hatalardan farklı oranda radyasyon geçeceğinden, radyasyonun şiddet farkı ve film üzerindeki kararma farkı, kontrast olarak gözükür. Bu da, hataların tanınmasını ve yorumlanmasını sağlar. Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde beklenen hacimsel ve yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir.

Bu yöntemde muayene parçasının kalınlığı kullanılacak ışın kaynağının cinsine bağlı olarak belli değerleri aşamaz. Çeşitli ısınlama kaynakları için uygun malzeme kalınlık aralıkları uygulama standartlarında verilmiştir. Kalınlık sınırlaması dışında her türlü malzemeye uygulanabilir. Operatörün eğitimi ve tecrübesi çok önemlidir. Muayene parçasının her iki yüzeyine de ulaşılabilir olması gerekir. Muayene için kullanılacak donanım diğer metotlara kıyasla daha pahalıdır. En çok da radyasyon güvenliği konusunda dikkatli çalışma gerektirir. Radyografik muayene için çeşitli ısınlama kaynakları kullanılabilir. Bu kaynaklar x ışını tüpleri veya gama ışını üreten izotoplar dır. Endüstriyel radyografide kullanılan x ışını enerji aralığı genellikle 50 kV–350 kV arasındadır. ısınlama enerjisi ısınlanacak malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak değişmektedir.

Günümüzde bilgisayar destekli sistemlerdeki gelişmeler radyografi tekniğinde önemli gelişmelere neden olmuş ve dijital radyografiye geçilmiştir. Dijital radyografi bir malzemenin radyografik görüntüsünün doğrudan bilgisayar ortamına aktarılıp değerlendirildiği veya görüntüleme plakalarından bilgisayar ortamına aktarılarak görüntü işleme tekniklerinin uygulandığı bir radyografik muayene yöntemidir. Dijital radyografide anında görüntüleme işlemine radyoskopi denmektedir. Gelecekte en yaygın olarak kullanılacak tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir.

Muayenelerin sağlıklı ve güvenilir sonuçla verebilmesi için endüstriye radyografiyle ilgili bütün kurallar belirli bir sistem içerisinde standartlarla belirlenmiştir. Avrupa'da metalik kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesiyle ilgili standartların tümü 1997 senesinde EN 1435 adı altında toplanmış ve o tarihten itibaren de radyografi muayenesinin söz konusu olduğu durumlarda en yaygın kullanılan standart olmuştur. Bu standartlar malzeme cinsine veya ürün türüne göre hazırlanmaktadır. Muayene parçasının özelliklerine göre uygun standartlar belirlenerek muayene yapılmaktadır.

Bu araştırmada ise doğalgaz boru hatlarında yaygın olarak kullanılan radyografik muayene yöntemi üzerinde durulmuştur. Bunun için değişik çaplardaki doğalgaz borularının, farklı kaynak yöntemleriyle yapılan kaynak dikişlerinin, x ve gama ışını

(Ir-192, Se-75) cihazlarıyla, farklı çekim teknikleri (elips, tek cidar, çift cidar) ile görüntüleri alınarak hatalar tanıtılmış ve radyografik film üzerindeki görüntüleri incelenmiştir. Ayrıca bu araştırmalar neticesinde klasik x ve gama ışını ile yapılan uygulamaların dijital radyografi uygulamaları ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Dijital radyografik yöntem, klasik yöntemlerdeki kumanda edilen sistemlere göre daha hassas, hızlı ve güvenilir görüntü değerlendirme imkânları sağlamaktadır.

1. BÖLÜM

TAHRİBATSIZ MUAYENE METOTLARI

1.TAHRİBATSIZ MUAYENE

1.1.Tahribatsız Muayene Nedir?

Malzeme üzerindeki kusurları ve boyutları o malzemeye zarar vermeden kontrol edilmesidir. Tahribatsız muayene yöntemlerinin aksine, muayene uygulanan malzeme veya ürünlerin tekrar kullanılması olanaklarını ortadan kaldıran veya kısmen yok eden tekniklere tahribatlı muayene teknikleri adı verilir. Bu teknikler, çekme, basma, burulma, eğme, yorulma, sürünme ve korozyon gibi parçayı tahrip ettikten sonra sonuç veren tekniklerdir. Yani bu teknikler malzemelere hasar verilerek yapılır. Kullanılacak bütün malzeme ve parçaların tahribatlı olarak denenmesi düşünülemeyeceğine göre, bunların bütünü. temsil eden yalnız bir veya birkaç tanesi üzerinde yapılan muayenelerden elde edilen sonuçların, bütün geri kalanlar için de aynı olduğunu kabul etmek her zaman mümkün olmaz. Tahribatlı tekniklere dayandırılmış birçok muayene programında sonuçlarda önemli ölçülerde belirsizlik gözlenmiştir

1.2.Tahribatsız Muayene Neden Önemlidir?

Tahribatsız oluşu ve tahribatlı yöntemlere göre daha hızlı olması hemen hemen her alanda yaygın olarak kullanımlarını sağlamıştır. Tahribatsız muayene uygulamaları üretim anında sistemler durdurulmadan da yapılabilir ve çoğu uygulamalarda sonuçlar test esnasında alınmasından dolayı tercih nedeni olmuştur. Parçalar tahrip edilmediği için hurdaya ayrılma durumu yoktur. Aynı parçaya farklı testler uygulanabilir. Parça dağıtılmadan kontrol edilebilir. Test cihazları taşınabilir olup taşınamayan parçaların kontrolü yapılabilir.

Tablo1.1.Tahribatsız muayene deneylerinin makine mühendisliği endüstrisinde uygulama alanları.

UYGULAMA ALANI	İŞLEVİ	UYGULAMA ÖRNEKLERİ
ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME	Malzemelerin yapısal değerlendirmesi, üretilme montaj yöntemlerinin karşılaştırılması ve bulguların değerlendirilmesi.	Metallerin içyapılarının ve yorulma belirtilerinin incelenmesi, kaynak dikişlerinde çatlakların tespiti.
ÜRETİM YÖNTEMİ KONTROLÜ	Üretim yöntemi değişkenlerinin belirlenmesi ve kontrolünün sağlanması	Radyografik ve Ultrasonik yöntemle kalınlık ölçme ve imalat parametrelerinin tespiti.
KALİTE KONTROLÜ	Kusurlu parçaların ve anormalliklerin tespiti, üretim montaj kusurlarının yerlerinin ve yöntemlerinin değerlendirilmesi.	Zayıf yapışma, kaynaklarda çatlama metallerde homojen olmayan gözenekle ve malzeme hatalarının belirlenmesi.
SERVİS SÜRESİNCE DEĞERLENDİRME	Kullanım süresince aşınma ve anormalliklerin erken belirlenmesi.	Depolarda ve borularda korozyonun ve yerinin tespiti, çeşitli araçlarda erken uyarı sistemleri.

Günümüz teknolojisinde tahribatsız muayene amaçlar aynı olsa da NDT(Non-Destructive Testing), NDE(Non-Destructive Evaluation) ve NDI(Non-Destructive Inspection) gibi isimler almaktadır.

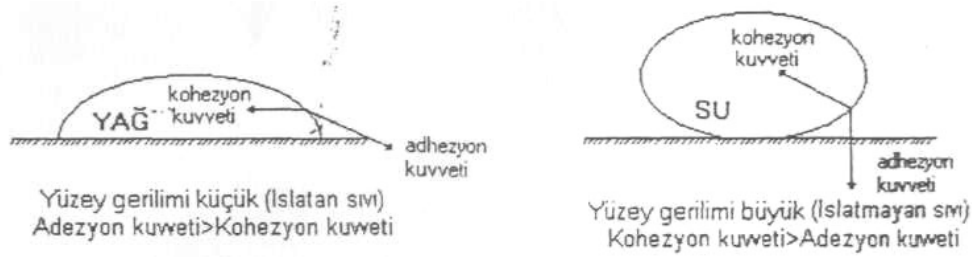
Tahribatsız muayene Parçaların boyutları ve geometrik şekilleri nasıl olursa olsun tahribatsız muayene ile kontrol edilebilmektedir.

1.3. PENETRANT (SIVI GİRİNİM) KONTROLÜ

Penetrant (sıvı girinim) kontrolü, özel sıvılar yardımıyla malzeme yüzeyindeki çok küçük kılcal çatlakları açığa çıkarmak için kullanılan tahribatsız test yöntemlerinden biridir. Bu muayene genellikle bitmiş veya kontrol edilecek sökülmüş uçak parçalarının kontrolünde kullanılmaktadır.

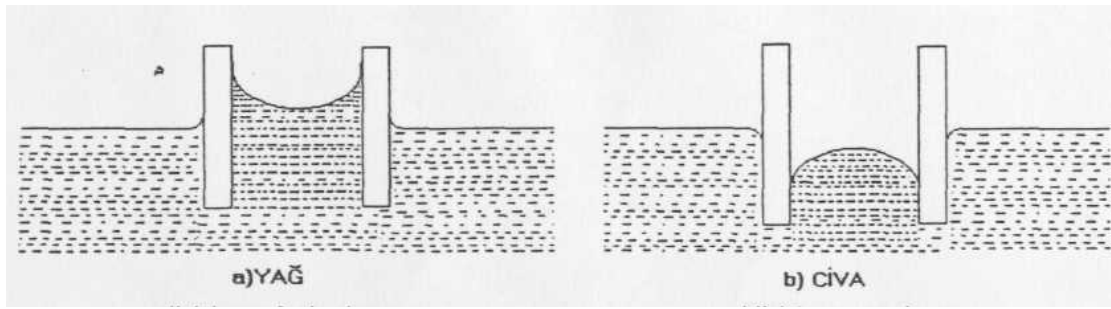
1.3.1. Muayenenin Fiziksel Prensibi

Katı bir yüzey üzerinde serbest bir halde bırakılan **sıvı** damlacığını oluşturan moleküller arasındaki çekme (kohezyon) kuvvetleri nedeniyle damla yüzeyinde yüzeyin şeklini veren bir yüzey gerilimi doğar. Yüzey gerilimi ne kadar yüksek olursa, sıvının bırakılan yüzeye yayılması, diğer bir deyişle sıvının bırakıldığı yüzeyi ıslatması da o derece az olur. Buna göre sıvılar ıslatan (ıslatması yüksek). Islatmayan (ıslatması düşük) olarak iki gruba ayrılabilir. Bir sıvının ıslatma eğilimi doğrudan doğruya, o sıvının viskozitesi (akışkanlığı) ile ilgili değildir. Islatma kohezyon ve adezyon kuvvetlerinin bir denge durumudur Şekil 1. 1.Eğer bir sıvıdaki kohezyon kuvveti, sıvı ile katı arasındaki adezyon kuvvetinden büyükse ıslatmayan, sıvıdaki kohezyon kuvveti sıvı katı arasındaki adezyon kuvvetinden küçükse ıslatan sıvı olur.



Şekil 1. 1. Islatan ve Islatmayan sıvıların katı yüzeyindeki davranışı

Kohezyon ve adezyon kuvvetlerinin doğal sonucu kılcal olaydır. Islatan ve ıslatmayan sıvılara kılcal bir boru daldırılırsa Şekil 2.1'deki olaylar meydana gelir.Şekil 1.2 (a)'daki sıvıda kohezyon kuvveti (sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvveti), adezyon kuvvetinden (sıvı molekülleri ile katı arasındaki çekim kuvveti) küçük olduğundan sıvı boru çeperlerinde ve kılcal boru içerisinde normal sıvı seviyesinden yukarı doğru yükselir. Bu olaya kılcal olay denir. Şekil 1. 2 (b)'de ise kohezyon kuvvetinin adezyon kuvvetinden büyük olmasından dolayı sıvı boru çeperlerinde ve boru içinde normal sıvı seviyesinden daha aşağıda bulunur. Sıvı penetrentle malzeme muayenesinde penetrent sıvısı olarak ıslatması fazla olan bir sıvı kullanılır. Islatması fazla olan sıvının, muayene edilecek malzemenin yüzeyine açılmış çatlak boşluk hataların içine kılcal olay dolayısıyla nüfuz etmesi kolay olur.



a) ıslatması fazla olan sıvı

b) ıslatması az olan sıvı

Şekil 1. 2. Islatan ve ıslatmayan sıvıların kılcal olaydaki konumu

Penetrent muayenesinin ana prensibi, malzeme yüzeyine açılmış çatlak, boşluk gibi hataların görüntüsünü kuvvetlendirmektir. Bunun için de penetrent denilen sıvının nüfuz etme ve yayılma özelliğinden yararlanılır. Böylece malzeme hataları daha kolayca görülebilir hale gelir. Bunun için de muayene edilecek malzemenin yüzeyi önce temizlenir ve kurutulur.

Daha sonra penetrent sıvısı tatbik edilerek hataların içine nüfuz etmesi sağlanır. Yeterli bir Nüfuziyet süresinden sonra penetrent sıvının fazlası (hatasız bölgelerdeki penetrent) yüzeyden uzaklaştırılır ve hemen ardından malzeme yüzeyine developer tatbik edilir.

Penetrent sıvı ile farklı renkle oluşan developer, hatalar içindeki penetrent sıvıyı tekrar yüzeye doğru emer ve emilen penetrentin renk farkından dolayı verdiği kontrast (yan yana bulunan iki nokta arasındaki renk farkı) hatanın görüntüsü olarak ortaya çıkar.

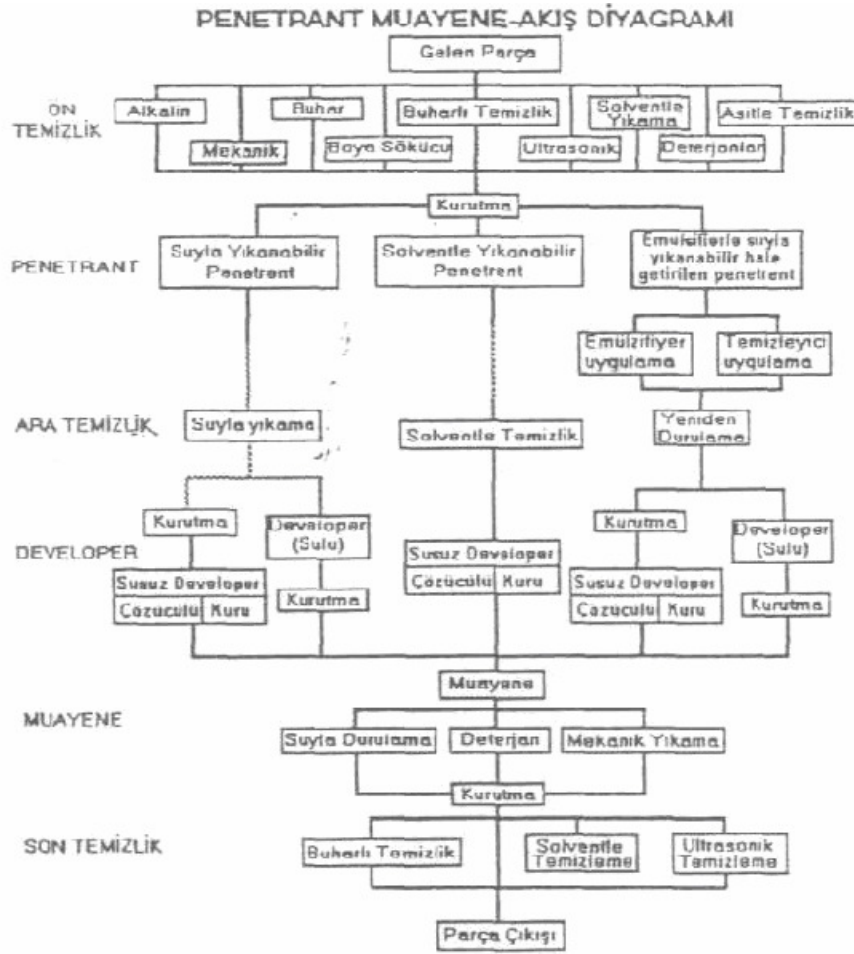
1.3.2. Penetrent Muayene İle Algılanabilir Hatalar

Sıvı penetrentle muayeneyle metal ve diğer gözeneksiz malzemelerden imal edilmiş parçaların **yüzeye** açılan hatalarını süratli ve güvenilir bir şekilde tespit etmek mümkündür. Bu yöntemin güvenilirliğinde birinci etken iyi bir ön temizlik olup, hatanın tespiti için test yüzeyindeki ve hatalar içindeki yabancı maddelerin bu temizlikle buralardan uzaklaştırılması gerekir. Yani hatanın tespiti için test yüzeyi ve hata içinde yabancı madde olmamalıdır. Yukarıda verilen şartlar altında sıvı penetrent yöntemi alüminyum, magnezyum, pirinç, bakır, titanyum, bronz, dökme demir, çelik, magnetik olmayan alaşımlar, sert kauçuklar, mumlu bez veya cam gibi gözeneksiz, sıvı emici olmayan maddeler üzerinde güvenle ve doğrulukla uygulanabilir. Toz metalürjisi ile üretilen parçalarda olduğu gibi gözenekli, sıvı emici parçalarda penetrent yöntemi

uygulanamaz. Eğer bu tip parçalarda uygulanırsa sonuçta tüm parça yüzeyinde hata görünümü ortaya çıkar.

1.3.3. Muayene Kademeleri

Sıvı penetrent ile malzeme muayenesi beş ana kademede gerçekleştirilir. Şekil 1. 3' de seri üretimde sıvı penetrent muayene kademeleri görülmektedir.

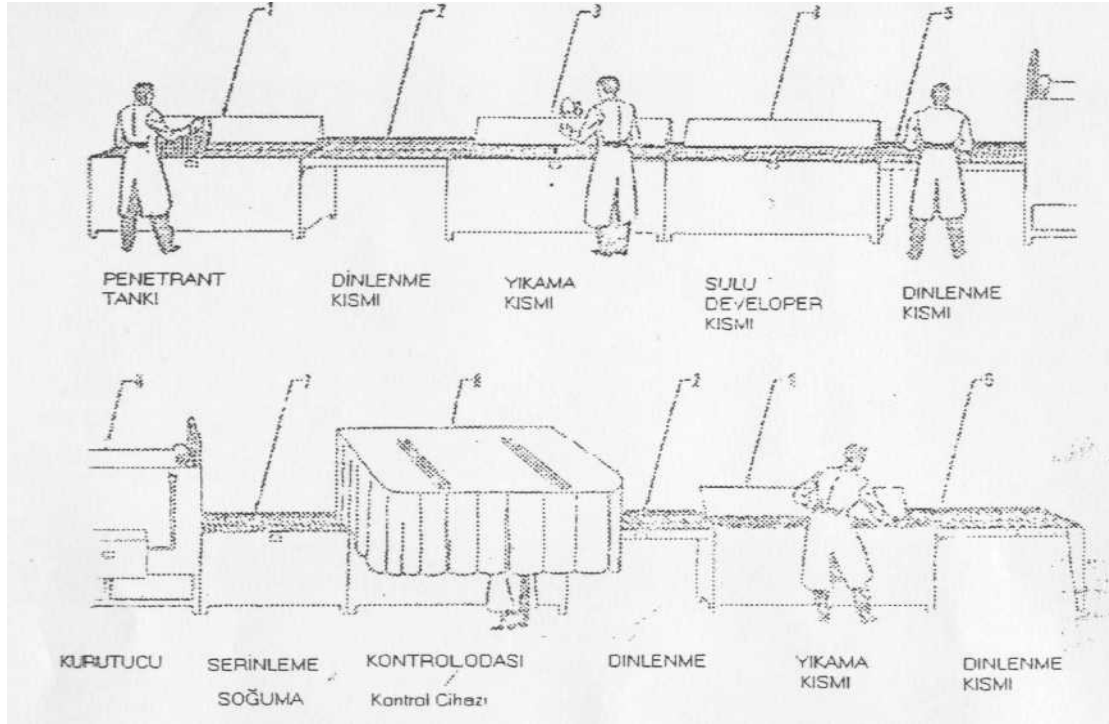


Şekil 1. 3. İş akış diyagramı

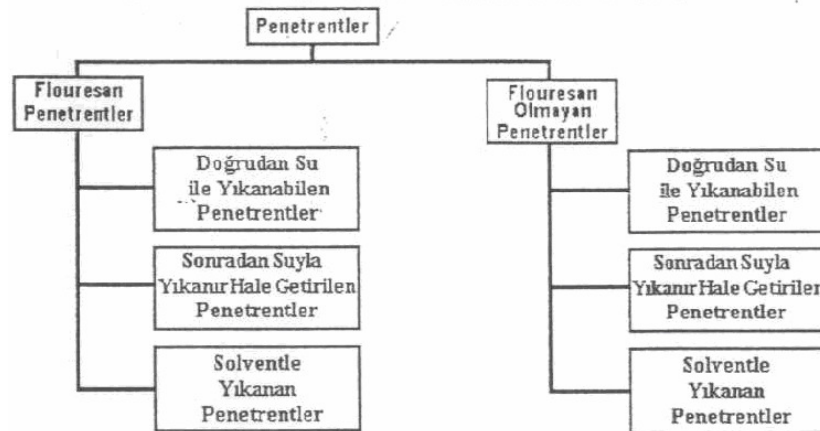
1.3.4. Ön Temizlik ve Kurutma

Muayene edilecek parçanın yüzeyinde penetrant sıvının hareket kabiliyetini artırarak, muayene edilecek tüm yüzeye kolayca (hızlı bir şekilde) ulaşır, hataların içine kolayca girmesini sağlayabilmek için yüzeydeki ve hataların içindeki kir, pas, talaş, boya ve yağ filmi gibi yabancı maddelerin buralardan uzaklaştırılması gerekir. Temizlik koşullara göre su, buhar, solvent (kimyasal çözücü) ve ultrasonik temizleme gibi usullerinden

herhangi biriyle yapılabilir. Ön temizlikten sonra malzeme yüzeyinde ve hataların içinde kalmış olan temizleme sıvısının, penetrentin işlevini engellememesi için kurutma işlemi ile buralardan uzaklaştırılması gerekir. Ancak temizlik yaparken kumlama, taşlama, çelik tel fırça ve zımpara ile temizleme gibi çatlakları tıkayabilecek bir metot kullanılmamalıdır.



Şekil 1. 4. Seri üretimde sıvı penetrent muayene



Şekil 1. 5. Penetrantın sınıflandırılması

Flouresan penetrentlerin nüfuz etme özellikleri daha yüksek olup, bunlarla daha hassas test yapılabilir. Ancak pahalıdırlar ve incelemede karanlık odayla siyah ışığa ihtiyaç vardır.

Yıkama şekline göre penetrentler üç çeşittir:

- Doğrudan su ile yıkanabilen penetrentler
- Sonradan su ile yıkanabilir hale getirilen penetrentler
- Solventle yıkanabilen penetrentler

Sonradan su ile yıkanabilen ve solvent ile yıkanabilen penetrentler yağlı penetrentlerdir. En düşük nüfuz etme kabiliyetine doğrudan su ile yıkanabilen penetrentler ve en yüksek nüfuz etme kabiliyetine solventle yıkanabilen penetrentler sahiptirler. Dolayısıyla testte en düşük hassasiyet doğrudan su ile yıkanabilen en yüksek hassasiyet de solventle yıkanabilen penetrentle sağlanır. Penetrentlerin zaman zaman kirlenme kontrolü yapılmalıdır. Flouresant Penetrantın suyla teması Penetrantın nüfuziyetini azaltır. Modern penetrent malzemelerinin su, yağ, gres ve bazı eriyiklerle temasında büyük tolerans vardır. Ancak su ile yıkanabilen Penetrantın su ile temas yüzdesi çok düşüktür (%1- 2). Kaliteli penetrentler %10- 20 oranına kadar toz, kir ve yabancı madde emebilir. Penetrentler banyoda serbest olarak dolaşan veya yüzen yabancı madde ile kirli ve köpüklü bir hale gelinceye kadar testte özel bir zarara neden olmazlar. Ancak normal olarak penetrente batırılacak olan parçalar yağ, gres ve toz gibi her türlü kirden tamamen arındırılmış olmalıdırlar.

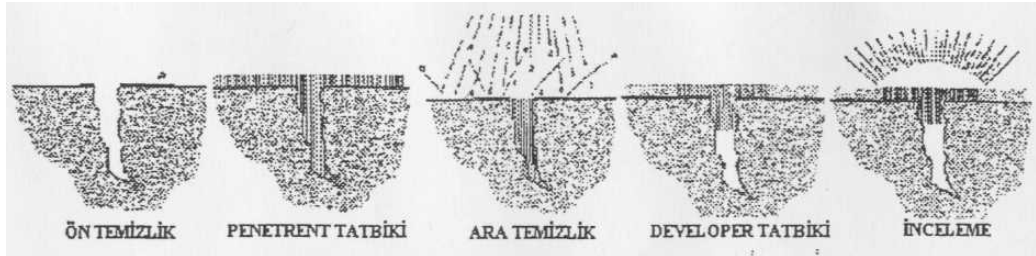
Penetrent sıvısı, Şekil 1.6'da görüldüğü gibi temizlenip kurutulmuş test edilecek bölgeyi tamamen kaplayacak şekilde tatbik edilmelidir. Bu işlem üç şekilde yapılabilir;

1. Püskürtme yoluyla: Bu yöntem taşınabilir parçalar için daha uygun olup. Aerosal kutularla (spray) veya küçük pompalarla penetrent sıvı test edilecek malzeme üzerine püskürtülür.

2. Akıtma veya sürme yoluyla: Bu yöntem sabit tesisler için daha uygun olup, penetrent test edilecek bölge üzerine doğrudan akıtılır (dökülür) veya bir fırça ile sürülür.

3. Daldırma yoluyla: Bu yöntem ise küçük ebatta parçaların kitle muayenesi için daha uygun olup, parçalar penetrent sıvı ile dolu olan bir kap içerisine daldırılır. Eğer birden

fazla parça test edilecekse parçalar telden yapılmış bir sepet içine konularak, sepetle penetrent sıvı içine daldırılır.



Şekil 1. 6. Sıvı penetrentle malzeme muayenesi kademeleri

Muayenede Penetrantın developer üzerinde vereceği görüntünün kolay izlenebilmesi için penetrente iyi kontrast veren boya (kırmızı) veya Flouresan boya (sarımsı yeşil) katılır.

Penetrent sıvının test edilecek yüzeye tatbik edilmesinden sonra penetrentin belirli bir nüfuz etme hızı olduğundan, penetrent sıvının yüzeye açılan hatalara nüfuz etmesini sağlayacak bir sürenin geçmesini sağlamak gerekir. Bu olay için gerekli bu süreye, penetrasyon süresi denir. Bu süre test malzemesi türüne, penetrent sıvının cins ve markasına, tespit edilecek malzeme hatasının cins ve büyüklüğüne, test edilecek parçanın imalat türüne, test edilecek yüzeyin pürüzlülüğüne, testin hassasiyetine, test edilecek parçanın sıcaklığına, test yüzeyi cinsine (yatay veya düşey) ve temizliğine, testte kullanılacak developerin cinsine ve markasına göre 5 dakika ile 1 saat arasında değişir.

Örneğin test yüzeyinin pürüzlülüğü fazla ise penetrentin hareket kabiliyeti düşer, penetrasyon süresi artar. Test yüzeyi düşey ise penetrent sıvının hızı fazla, çatlğa giren miktarı azdır. Test yüzeyi yatay ise penetrent sıvının hızı düşük, çatlğa giren miktarı fazla olur. Çatlak ne kadar dar ise çatlak içinde sıvı o kadar derine girer, ancak çatlak içine giren penetrent miktarı azalır ve hata tespitinde çatlak üzerindeki penetrentin az olması da zorluk çıkarır. Zira hata tespitinde hatadaki penetrent ne kadar fazla olursa hata bölgesindeki developer o kadar fazla renklenir (kontrast artar) ve hata tespiti kolaylaşır.

Ancak tüm bunlara rağmen penetrasyon süresinin algılamak istediğimiz hata türünü içeren bir deney parçası üzerinde, mevcut koşullar altında deneysel olarak

bulunmasında yarar vardır. Zira penetrasyon süresinin normalinden az olması halinde hataya giren penetrent sıvının yetersizliği ile hata tespiti zorlaştırırken, sürenin normalinden uzun oluşu da penetrentin hava ile temas süresini artırarak, suda erime kabiliyetini düşürür ve hatasız yerlerdeki penetrentin yıkanıp yüzeyden uzaklaştırılmasını zorlaştırarak hata tespitini zorlaştırır. Penetrentler test yüzeyine genelde çevre sıcaklığında (20- 30°) uygulanır. Ancak test edilecek parça, ön temizlik ve kurutma sırasında çeşitli nedenlerle ısınır ve penetrent sıvının ön temizlik ve kurutma sıcaklığında (parça soğumadan) test yüzeyine tatbikinde yarar vardır. Zira sıcak parçada penetrent sıvı hatalara daha kolay nüfuz eder.

Hatalara daha fazla penetrent girer, hata tespiti kolaylaşır ve penetrasyon süresi de düşer. Ancak parçanın çok sıcak olmasında da sulu penetrentlerde penetrentin çabuk kuruyup hareket kabiliyetinin düşmesi ve penetrent sıvısının test edilecek noktalara, hataların (çatlak) içine ulaşamaması, solventle penetrent kullanılması durumunda ise tutuşma tehlikesinin oluşması sonucunu doğurur. Bu nedenlerden dolayı her durumda 50°C'nin üzerindeki koşullarda penetrent sıvı testi yapılmamalıdır. Tablo1.2' de test sıcaklığına bağlı olarak penetrasyon süreleri görülmektedir.

Tablo 1. 2.Test sıcaklığına göre penetrasyon süreleri

Malzeme	Hata Çeşiti	Penetrasyon süresi (dakika)	
		16.....32°C	2.....16°C
Metaller	Isıl işlem çatlak	3-5	10-15
	Taşlama çatlak	7-10	15-20
	Yorulma çatlak	7-10	15-20
Plastikler	Çatlak	3-5	10-15
Seramikler	Çatlak	3-5	10-15
	Gözenek	3-5	10-15
	Kötü sert lehim	3-5	10-15
Keşici takımlar	Sert metal uçlarda çatlak	3-5	10-15
Sert metal uçlar	Millerde çatlak	3-5	10-15
	Büzülme çatlak	3-5	10-15
Pres döküm	Gözenek	3-5	10-15
Kokil döküm	Kaynamama	3-20	10-20
	Çatlak ve kılınma	7-20	15-20
Dövme parça		7-20	15-20
Hadde malzemesi		7-20	15-20
Kaynaklı alüminyum	Çatlak ve gözenek	3-5	10-15
Kaynak dolgusu	Çatlak ve gözenek	7-20	15-20

1.3.5. Ara Temizlik (Yıkama)

Bu temizlik yeterli bir penetrasyon süresinden sonra test edilecek yüzeye tatbik edilen penetrentin yüzeye açılan hatalara nüfuz eden kısmının haricindeki, yüzeyin hatasız bölgelerindeki kısmının yüzeyden uzaklaştırılması işlemidir Şekil 2.5 de Bu temizleme işlemi testte kullanılan penetrentin cinsine bağlı olarak üç şekilde yapılabilir.

Su ile yıkanabilir penetrentler, malzeme yüzeyinden doğrudan su ile uzaklaştırılır.

Sonradan su ile yıkanabilir hale getirilebilen penetrentler yağlı penetrentler olup, doğrudan su ile yıkanamazlar. Bunları su ile temizleyebilmek için önce yıkanacak yüzeye emülsifer tatbik edilir ve emülsifer penetrentle reaksiyona girerek onu suda erir hale getirir ve bundan sonra su ile temizlenir.

Sadece solventle (çözücü) temizlenebilen penetrentler ise yağlı penetrentlerdir ve bunları su ile yıkamak mümkün değildir. Solventle temizlenebilen penetrenti yüzeyden uzaklaştırmak için solvent tatbik etmeden önce malzeme yüzeyi lifsiz bir kumaşla silinmeli ve daha sonra lifsiz kumaş solventle ıslatılıp, yüzey silinerek yüzeyden penetrent uzaklaştırılmalıdır.

Aşırı derecede pürüzlü ve gözenekli yüzeylerde, penetrentin yıkanması bir sorun olacağından, buralarda su ile yıkanabilir penetrent tercih edilmelidir. Penetrent tatbikinden sonra pürüzlü yüzeylerin temizlenmesi (yıkama) çok önemlidir. Tam temizleme olmazsa developer tatbikinden sonra bu pürüzleri de hata (çatlak) şeklinde algılayabiliriz. Ayrıca aşırı temizleme de (yıkama) yüzey hatalarına nüfuz etmiş olan penetrentin hatadan uzaklaşmasına sebep olacağından, hataların algılanması için gerekli kontrastın elde edilmesini engeller ve hatalar algılanamaz veya hata büyüklüğü tahmin edilemez. Yüzeydeki penetrentin yıkanması pratikte düşük tazyikli soğuk çeşme suyu ile yapılabildiği gibi, penetrentin daha süratli ve daha kolay yıkanıp atılması için spreylemlerle sıcak su püskürtülebilir. Flouresan penetrentin yıkanmasından sonra hatasız yüzey bölgelerinde penetrent kalıp kalmadığı siyah ışıkla kontrol edilmelidir.

1.3.6 Developer (Geliştirici) Uygulaması

- Developer (geliştirici) fazla penetrent temizlendikten sonra malzeme üzerine sürülerek çatlaklar içindeki penetrentin dışarı çıkmasını sağlar.
- Developer (geliştirici) sıvısı aynı bir tuvalet kâğıdı gibi Penetrenti emmek suretiyle yüzeye doğru çeker.

- Developer (geliştirici) toz, suda çözünmüş(erimiş),suda süspansiyon ve susuz-ıslak olarak uygulayabiliriz.
- Kuru-toz ve susuz-ıslak developer (geliştirici) uygulamadan önce malzeme mutlaka kurutulmalıdır.
- Suda çözünmüş veya süspansiyon olanlar yıkamadan hemen sonra uygulanabilir.

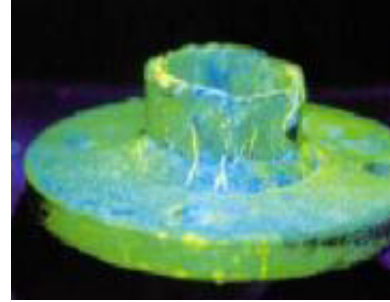


Şekil 1. 7. Malzeme üzerindeki Penetrantın temizlenmesi ve developer(geliştirici) uygulaması

1.3.7. Kurutma İşlemi

Developer (geliştirici) uyguladıktan sonra malzemenin kurutulma safhasıdır.

Oda sıcaklığında kuru hava veya kurutma fırınında kurutulmalıdır.



Şekil 1. 8. Malzemenin developer (geliştirici) uyguladıktan sonra kurutulması

1.3.8. Değerlendirme ve Son Temizlik

Fırından çıkartılan parçalar soğuyuncaya kadar beklenir.

Daha sonra karanlık kontrol kabinine alınır.

Kontrolü yapacak personelin karanlığa alışabilmesi için kontrolden önce odada 3 dakika beklemelidir.



Şekil 1. 9. Malzemenin beyaz ışık altında kontrol edilmesi

Siyah ışık şiddeti 38cm mesafeden 800 mikrowatt/cm² olmalıdır. Kontrol kabinindeki beyaz ışık şiddeti 20 lüx/m² olmalıdır.

Elde edilen çatlak belirtileri şartnamelere göre değerlendirilir.

Kontrol işlemimden sonra son temizlik ilk temizlik gibi bir temizliğe tabi tutularak kontrol işlemi tamamlanır.

SONUÇ: Sıvı penetrentle malzeme muayenesi diğer metotlara göre malzeme cinsi olarak her türlü malzemeye uygulanabilen, basit, tehlikesiz ve ucuz bir yöntemdir. Sadece yüzeye açılan gözle görülmeyen çatlak vb. hataların tespit edilebilmesi, kaba ve gözenekli yüzeylere uygulanamamasına rağmen pratikte geniş kullanım alanına sahiptir.

1.3.9. Penetrant Kontrolünün Avantajları ve Dezavantajları

1.3.9.1. Avantajları

- 1-Ucuz ve donanımı basittir.
- 2-Her türlü malzemeye uygulanabilir.
- 3-Uygulaması oldukça basittir, çabuk sonuç verir.
- 4-Değişik geometrik şekilli, küçük ve büyük yüzeyli parçalara uygulanabilir.
- 5-Çok küçük çatlakları bile ortaya çıkarır.

1.3.9.2. Dezavantajları

- 1- Sadece yüzeye açık süreksizlikler tespit edilebilir. İç hatalarda kullanılmaz.

2- Penetrenti uygulamadan önce yapılan ön temizlemenin çatlakları kapatan etkenleri ortadan kaldıracak şekilde uygun seçilmesi uzmanlık isteyen bir iştir. Bazı durumlarda kimyasal temizleme (etching) gerekir.

3- Pürüzlü ve gözenekli yüzeylerde kullanılmaz.

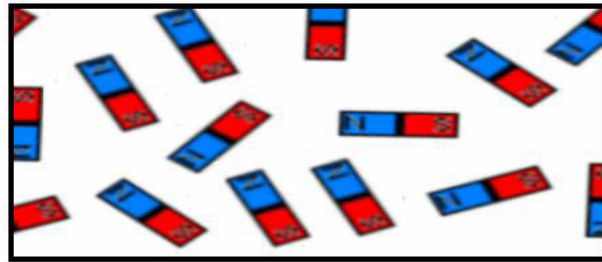
4-Çeşitli sebeplerle (dövme, taşlama. gibi) ağzı daralmış ve sıkışmış çatlakların değerlendirilmesi güçlük yaratır.

1.4. MANYETİK PARÇACIK KONTROLÜ

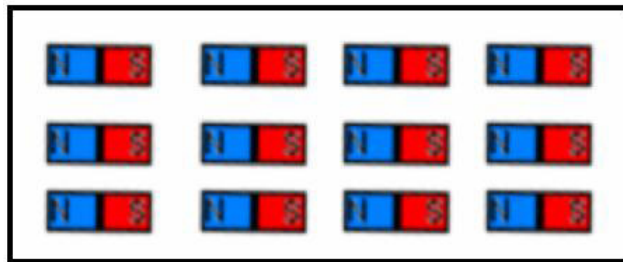
Manyetik Parçacık Kontrolü, mıknatıslanabilen malzemelerde, malzemenin yüzeyinde ve yüzeyine yakın yerlerdeki süreksizlikleri tespit etmeden kullanılan tahribatsız test metotlarından biridir.

1.4.1.Manyetik Parçacık Kontrolünün Prensibi

Manyetik parçacık testinin esasını kontrol edilecek olan malzemelerin mıknatıslanabilme özelliğine sahip olması teşkil eder. Kontrol edilecek olan malzemeye cihaz tarafından akım verilerek malzemenin mıknatıslanması sağlanır. Mıknatıslanması sonucunda rasgele dizilmiş moleküller, düzgün sıralı bir şekilde geçer ve bir mıknatıs görevi yapar.

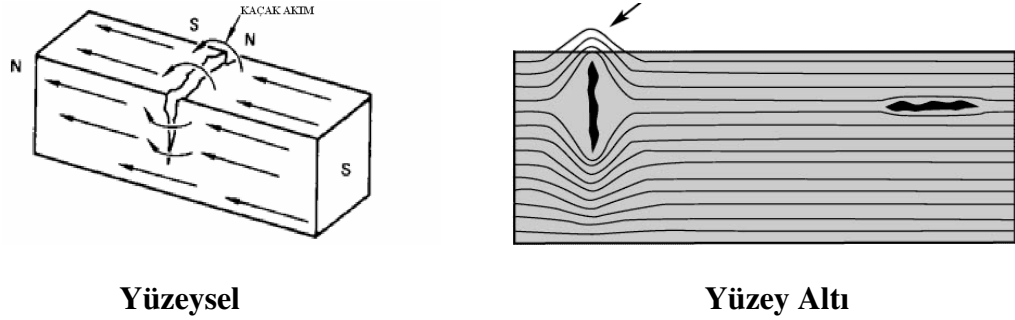


Şekil 1.10. Malzemelere akım verilmeden önce molekülün yapısı



Şekil 1.11. Malzemedeki belirli bir akım geçirildikten sonra malzemedeki moleküllerin yapısı

Moleküller bu şekilde dizildiğinde demir parçaları bir kuzey ve bir güney kutbuna sahip olacaktır. Her molekülün kuvvetlerinin toplamına eşit bir toplam kuvvet ortaya çıkar. mıknatısın etrafında kuvvet çizgilerinin belirli bir yönü vardır. Bunlar kuzeyden (North) çıkarlar güneyden (South) girer ve mıknatısın içinde güneyden (South) kuzeye doğru yollarına devam ederler. Manyetik kuvvet çizgileri devamlı ve daima kapalı bir çevrim oluşturur. Kuvvet çizgileri birbirini kesmez ve diğer kuvvet çizgileri ile çakışmaz. Bir mıknatısın etrafında kuvvet çizgilerinin etkilerinin görüldüğü alana manyetik alan denir. Yukarıdaki çizgilerin hepsi, mıknatısın etrafındaki manyetik alanı oluşturur. Manyetik alan mıknatısın uçlarında daha yoğundur. Malzemeye akım verilip malzemede manyetik bir alan oluşturduktan sonra eğer malzeme süreksizlikler var ise süreksizliklerde de N-S kutupları oluşur.

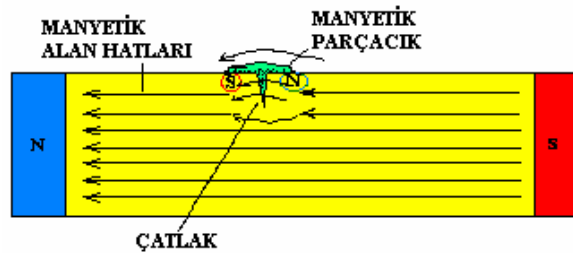


Şekil 1.12. Süreksizlik bulunan malzemelerde bir akı kaçağı oluşmaktadır.

Bu akı kaçakları malzeme yüzeyine uygulanan demir tozlarını süreksizlik üzere toplar.

Eğer süreksizlik yok ise demir tozları kuru olan malzeme yüzeyinde toplanmadan malzeme yüzeyini terk edecektir.

İkinci olarak demir tozları taşıyıcı bir sıvı içinde süspansiyon(karışım) halde bulunur ve bu sıvı içinde flöresan maddede bulunur. Bu sıvı mıknatıslandırılmış malzeme üzerine dökülerek veya sıkılarak, eğer var ise süreksizliklerin üzerinde demir tozlarının toplanmasına neden olur.



Şekil 1.13. Manyetik parçacık kontrolünde demir tozlarının durumu

1.4.2. Manyetik Parçacık Kontrolünün Uygulanabileceği Malzemeler

Manyetik parçacık kontrolünün prensibi, test parçası içinde manyetik alan meydana getirmeye dayanır. Bundan dolayı kontrol edilecek olan malzemelerin iyi mıknatıslanması gerekir. Ferromagnetik malzemeler en iyi mıknatıslanabilen malzemelerdir. Demir, çeliklerin birçoğu, nikel, kobalt ve bunların alaşımlarının çoğu ferromagnetik malzemelerdir. Manyetik olmayan malzemeler, bakır ve alaşımları, alüminyum ve alaşımları, magnezyum, titan ve bazı paslanmaz çelikler.

1.4.3. Manyetik Parçacık Kontrolünün Uygulanması

1.4.3.1. Manyetizasyon Teknikleri

Bu metotla muayene olunacak parçanın önce manyetikleştirilmesi ve muayene bitince de bu manyetikliğin kaldırılması gerekir. Test parçasının manyetizasyon için çeşitli teknikler vardır. Bu teknikler, test parçası içinde meydana gelen manyetizasyon göre boyuna ve dairesel olmak üzere iki grupta toplanır.

1.4.3.2. Boyuna Manyetizasyon

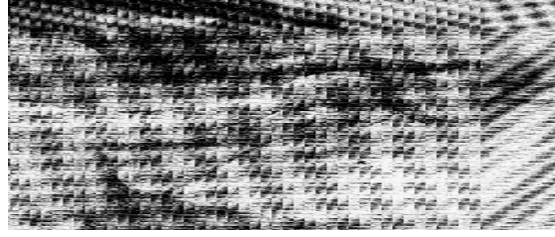
a- Kalıcı mıknatıslarla veya elektromıknatıslarla manyetizasyon

Bu yöntemde test yüzeyi ile temas “U” şeklindeki bir kelepçe (Yoke) ile sağlanır.



Şekil 1.14. Yoke cihazı

Temas yüzeyleri, parçanın bu kısımlarında mevcut manyetik alanın kuzey ve güney kutuplarını oluşturur. Yukarıdaki Şekil 1.12’de görüldüğü gibi manyetik akı çizgileri iki kutbu birleştiren doğruya paraleldir ve bu doğruya dik olan çatlakların algılanması maksimumdur.



Şekil 1.15.Yoke cihazı ile manyetik alan oluşturulması

b- Bobin ile manyetizasyon:

Test edilecek parça, enerji verilmiş bobinin iç yüzeyine yakın olacak şekilde yerleştirilir. Çünkü bobin etrafında dönen kuvvet çizgileri yönünden dolayı burada manyetik alan maksimumdur. Parça eksenine boyunca manyetize edilir ve bu yüzden en büyük hassasiyet bizzat eksene dik olan çatlaklar için geçerlidir. Bobin ile muayene edilebilecek en uzun parça uzunluğu 460 mm'dir.

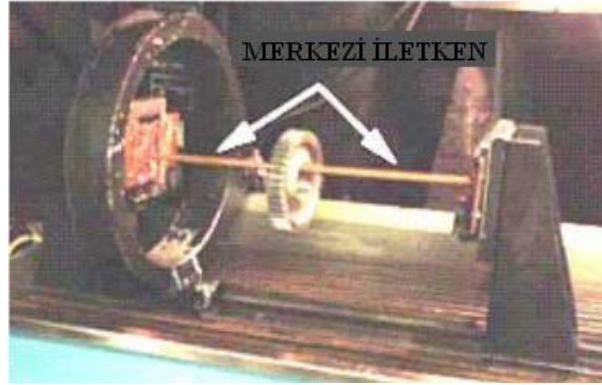


Şekil 1.16. Bobin ile manyetizasyon işlemi

1.4.3.3. Dairesel Mıknatıslanma

a-İç iletken ile manyetizasyon:

Bu manyetizasyon ortası delik parçalar için uygundur. Parça içine bir iletken yerleştirilir. Enerji verildiğinde etrafındaki boşlukta dairesel manyetik alan meydana gelir.



Şekil 1.17. Dişli çark gibi delikli parçaların manyetizasyonu

b- Bağlantılı bobinle manyetizasyon:

Bu tip manyetizasyon parçasının duvarı etrafına bir kablo sararak yapılır. Maksimum hassasiyet, test parçasının eksenine boyunca olan çatlaklar için elde edilir.



Şekil 1.18. Bağlantılı bobin ile manyetizasyon

c- Temas kafaları ile manyetizasyon:

Farklı kesitlere sahip parçalarda (örneğin, içi boş borular) manyetizasyon her bir kesitin gerçek çapına göre hesaplanmalıdır. Dairesel olmayan kesitlerde maksimum köşegen göz önüne alınır. Çapta çok fazla değişim var ise geniş kısmı test etmek için gereken akım dar kısım için çok fazla gelebilir ve arada ısı oluşur. Bu ısı asıl işlem görmüş parçaların mekanik özelliklerini etkileyebilir. Bu durumda, büyük kısımları manyetize ederken uçlara akım verilmemelidir. Bakır ayırıcılarla manyetizasyon yapılır.

d-Prodarda manyetizasyon:

Bu teknikte, bir güç kaynağına bağlı portatif elektrotlarla parçanın bu elektrotlar arasında kalan kısmından elektrik akımı bölgesel bir manyetizasyon meydana getirilir.

Manyetizasyon, malzemedan akım geçirilerek temas alanlarında meydana gelen zıt dairesel alanların birleşiminden ve iki prod arasında meydana gelen dairesel manyetizasyondan oluşur.



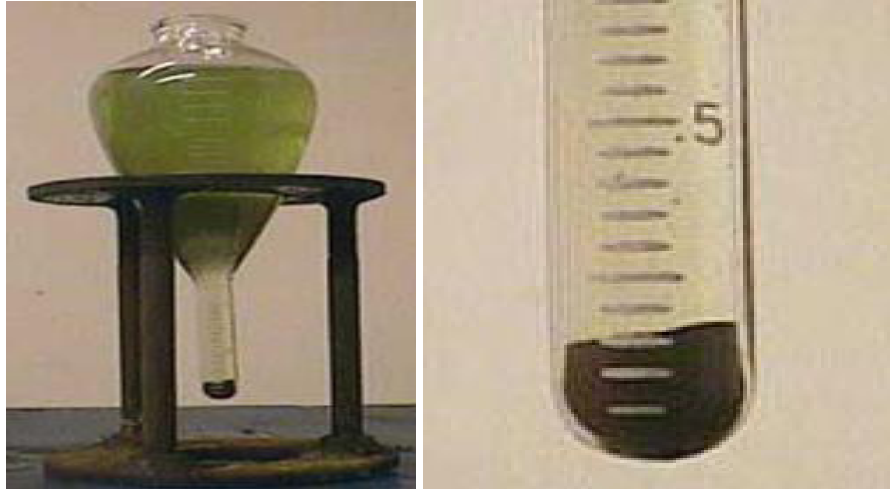
Şekil 1.19.Manyetizasyon meydana getiren prodlar ve manyetizasyon işlemi

Manyetizasyon, temas noktaları arasındaki merkezi doğruya maksimumdur ve bunlardan geçen çizgilere dik olacak şekilde şekil de yönlenir. Burada, maksimum hassasiyetin temas noktalarını birleştiren doğruya paralel olan çatlaklar için olacağı anlaşılır.

Manyetizasyon durumları, prodlar arasındaki uzaklığa ve manyetizasyon akımına bağlıdır. Prodlar arasındaki uzaklık 80-120mm arasında değişir. Daha büyük mesafeler kullanılmaz. Çünkü o zaman temas noktaları arasındaki merkezi doğrunun ortasında akı yoğunluğu aşırı derecede düşebilir ve bu da muayene hassasiyetini düşürecektir. 80mm' den düşük uzaklıklardan sakınmak gerekir. Aksi takdir de temas noktalarından dairesel yollar oluşur ve bunlar küçük belirtileri engelleyebilir. Manyetizasyon akım miktarı, prodlar arasındaki uzaklığa (Amp/mm) ve parça kalınlığına göre yapılır.

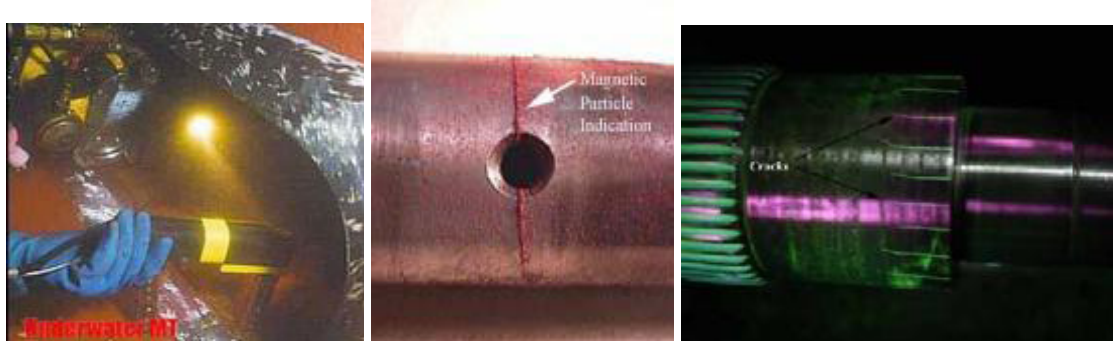
1.4.4. Kontrol Aşaması

Malzeme mıknatıslandıktan ve üzerine kuru demir tozu veya flöresan sıvısı ile birlikte süspansiyon halindeki demir tozları malzeme üzerine uygulandıktan sonra kontrol işlemine geçilir.



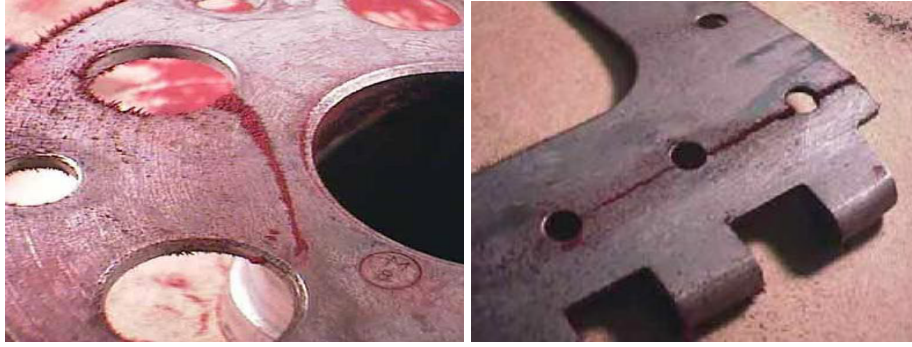
Şekil 1.20. Flöresan sıvısı ve demir tozları

Siyah ışık ile yapılan kontrol ortamdaki beyaz ışık şiddeti üretici firmanın verdiği değerlerde olmalıdır. Bu şartlar altında malzeme kontrol edildiğinde, çatlaklar var ise flouresan olmayan demir tozları beyaz ışık altında malzeme yüzeyine toplanmış olarak flouresanlı demir tozlarının da siyah ışık altında sarı-yeşil karışımı bir renkte belirti keskin bir belirti olarak görülecektir. Aşağıdaki resimlerde örnekler verilmiştir.



Şekil 1.21. Manyetik tanecik kontrolü ve malzeme üzerindeki çatlaklar

Elde edilen belirtiler standart veya şartnamelere göre değerlendirilir. Standart veya şartnamenin verdiği değer altında belirtiler (süreksizlik) kabul edilir. Bu değer üzerindeki süreksizlikler de hata olarak değerlendirilir.



Şekil 1.22. Manyetik tanecik kontrolünde demir tozlarının çatlaklar üzerindeki görünüşleri

1.4.5. Demanyetizasyon (Mıknatıslığını Giderme) İşlemi ve Son Temizlik

Ferromagnetik malzemeler, manyetik parçacık testinin odak noktasıdır ve bu malzemeler retentivite (mıknatıslığı tutma yöntemi) ile karakterize edilir. Bu yüzden test edilen parçada belli bir artık alan kalır ve bunun derecesi malzemenin kimyasal kompozisyonuna ve yapısına bağlıdır.

Bazı durumlarda, artık manyetik alan parçanın özel fonksiyonunu bozabilir veya daha sonraki fabrikasyon işlemlerinden güçlükler çıkabilir. Örneğin, demagnetizasyon aşağıdaki durumlarda gerekir. Parça daha sonra işlenirken talaşlar parçanın yüzeyine veya alete yapışabilir. Daha sonra elektrik ark kaynağı yapılırken kuvvetli artık alanlar ark alevini gitmesi gereken yerlerden başka yere saptırabilir. Hareketli yerlerde güçlükler çıkabilir. Örneğin, bilyeli yataklarda ve çark dişlilerinde metal parçalarını tutar. Tanecikleri tutarlar ve bu da daha sonra kaplama veya boya yapılacaksa bu işlemleri etkiler.

Demanyetizasyon işlemi yapıldıktan sonra malzemenin molekül yapısı eski şekline (düzensiz) geri döner. Eğer aynı malzemede hem boyuna hem de dairesel mıknatıslama yapılacak ise ince dairesel mıknatıslandırır (kafalar arasında) daha sonra boyuna mıknatıslandırılır (bobin içinde) .çünkü bobin içinde yapılan mıknatıslandırmada kullanılan değeri bobin sarım sayısından dolayı daha yüksek olacaktır. Demanyetizasyon işlemi bir anlamda malzemenin demir tozlarından kurtulması olduğu için temizlik anlamına da gelir. Bunun dışında malzemenin hazırlık kısmındaki ilk temizleme işlemi gibi bir işleme tabi tutmak gerekir. Aksi takdirde malzeme yüzeyinde kalabilecek demir tozları ileride parça serviste iken büyük hasarlara neden olabilir. Bunun için demanyetizasyon ve son temizliğin önemi de büyüktür.

1.4.6. Manyetik Parçacık Kontrolünün Avantajları Ve Dezavantajları

1.4.6.1. Avantajları

- 1-Ucuzdur.
- 2-Kaba yüzey temizliği yeterlidir.
- 3-Yabancı maddelerle dolmuş çatlaklarda algılanabilir.

1.4.6.2. Dezavantajları

- 1-Sadece ferromagnetik malzemelere uygulanabilir.
- 2-Alüminyum, bakır ve titanyum alaşımlarına uygulanamaz.
- 3-Temas noktalarında ısınma ve ark(erime) meydana gelir.
- 4-Bazen muayeneden sonra kontrol edilen parçanın tamamen magnetik özelliğinin kalkması istenebilir.
- 5-Malzeme üzerindeki boya veya kaplama malzemeleri testin hassasiyetini azaltabilir.

1.5. EDDY CURRENT (GİRDAP AKIMLARI) KONTROLÜ

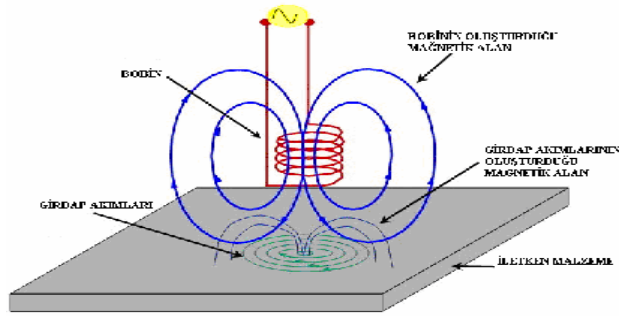
Yüzey yöntemlerinden olan Eddy Current (girdap akımları) yüzey ve yüzey altı hatalarında elektrik iletkenliğinin kullanıldığı uygun bir tahribatsız muayene yöntemidir.

İşlem Basamakları

- Uygun test parçasını seçiniz.
- Kontrolü yapılacak malzemenin yüzeyini temizleyiniz.
- Malzeme boyutlarına göre uygun test cihazını seçiniz.
- Test problemlerini bağlayınız.
- Test cihazını çalıştırınız.
- Problemleri test parçası üzerine bağlayarak ve malzeme yüzeyinde ve yüzeye yakın süreksizlikleri kontrol ediniz.

1.5.1 Eddy Current (Girdap Akımları) Kontrolünün Prensibi

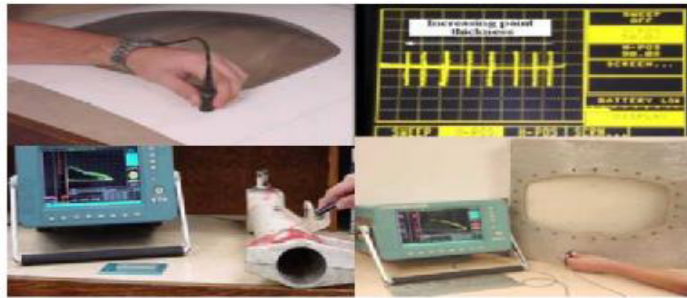
Eddy Current kontrolünün prensibi bir alternatif akımın bobini tarafından oluşturulan değişken manyetik alanın, malzeme yüzeyinde dairesel girdap akımlarını indüklemesine dayanır. İndüklenen bu girdap akımlarının olduğu bölgede bir süreksizlik var ise test malzemesi ve süreksizlik arasındaki elektrik direnci farkından dolayı akımlar farklı bir yörünge izleyeceklerdir. Bu farklılık bobin tarafından algılanır. Aşağıdaki şekilde bu olay görülmektedir.



Şekil 1.23. Eddy current çalışma prensibi

Hata testinden başka girdap akımları aşağıdaki amaçlar içinde uygulanır.

- Kaplama kalınlığı ölçümü,
- Elektrik iletkenliği ölçümü,
- Metallerin kimyasal biçimlerine göre sınıflandırılması.



Şekil1.24. Eddy current kontrolü uygulamaları

1.5.2. Eddy Current (Girdap Akımları) Kontrolünün

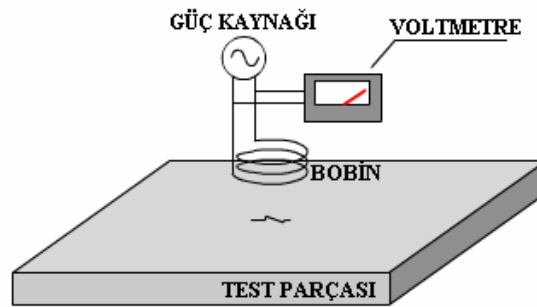
Uygulanabileceği Malzemeler

Bu yöntem elektrik iletkenliğine sahip bütün metal ve alaşımlarına uygulanabilir.

Ancak ferromagnetik olmayan malzemelerde daha etkindir.

1.5.3. Eddy Current (Girdap Akımları) Test Sistemi ve Elemanları

Bir Eddy Current kontrol sistemi esas olarak bir alternatif akım üreticisi, verici ve alıcı olarak çalışan tespit bobini ve sonuçların gösterildiği sinyal göstergesi elemanlarından oluşur. Aşağıdaki şekilde test sistemi şekil 1.25 ile ifade edilmiştir.



Şekil 1.25. Eddy current test sistemi elemanları

Burada göz önünde bulundurulması gerekli en önemli husus, test malzemenin manyetik veya manyetik olmayan bir malzeme olabileceği, fakat mutlak elektrik iletkenliğine sahip olması gerekir.



Şekil 1.26. Eddy current test cihazı

1.5.4 Eddy Akımını Etkileyen Malzeme Özellikleri

1.5.4.1. Elektriksel İletkenlik

İletkenlik; malzemelerde elektronların akış kabiliyetinin bir ölçüsüdür. İletkenlik arttıkça verilen bir sürede malzemedan geçen elektron sayısı artar. Her malzemenin kendine haz bir iletkenlik değeri vardır.

İletkenlik üzerine etkisi olan değişkenler şunlardır:

- a. Kimyasal birleşim
- b. Isıl işlem
- c. Soğuk işlem
- d. Sıcaklık

Gümüş, altın yüksek iletkenliğe, karbon düşük iletkenliğe sahiptir. Eddy akımları bir iletken malzemeye uygulanan alternatif magnetik alan tarafından oluşturulan elektron akışıdır.

Dolayısı ile malzemenin iletkenliği arttıkça oluşacak girdap (eddy) akımları da artacaktır. İletkenlik ölçüleri güç olduğundan daha basit ve kullanışlı % olarak IACS (International Annealed Copper Standart – Uluslararası Sertleştirilmiş Bakır Standartları) değeri birim olarak seçilmiştir. Birimin esası elektrolitik saflıktaki (%99,999 bakır içeren) bakırın iletkenliğinin %100 IACS olarak kabul edilmesine dayanır. Diğer metallerin iletkenlikleri buna göre kıyaslanarak ölçülür.

1.5.4.2. Manyetik Geçirgenlik (Permeabilite)

Malzemenin mıknatıslanabilme kabiliyetinin ölçüsüne **manyetik geçirgenlik** denir.

Başka bir deyişle **permeabilite** bir malzemenin manyetik akı geçişine izin verme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. B/H oranı ile tanımlanır. B manyetik akı yoğunluğu, H manyetik alan kuvvetini gösterir.

1.5.4.3. Geometri

1.5.4.3.1. Malzeme Kalınlığı

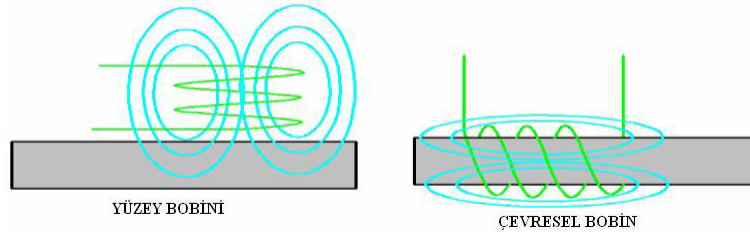
Girdap akımları kalın malzemelere nüfuz edemez ancak yüzeye yakın yerlere nüfuz edebilir.

1.5.4.3.2. Aralık Etkisi

İçinden akım geçen bir yüzey probu iletken malzemeden belirli bir uzaklıkta havada tutulduğunda bobin empedansı belirli bir değerdedir. Probu malzemeye yaklaştırdığımızda bu değer değişecektir. Çünkü prob malzemeye yaklaştıkça bobin alanının şiddeti malzeme üzerinde kendini daha fazla hissettirecek, empedans değeri sürekli bir değişim gösterecektir.

Bu değişim malzemeden gelecek olan birçok belirtiyi engelleyecektir.

1.5.4.3.3. Kenar ve Uç Etkisi

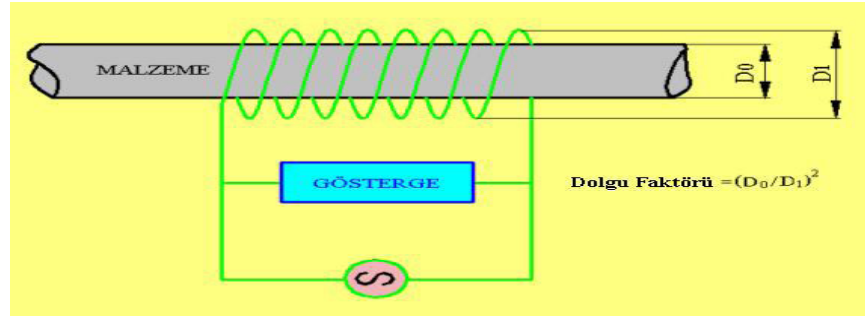


Şekil 1.27. Test malzemesinin kenar ve uç kısımlarında oluşan eddy current akımları azalmaktadır

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi eddy akımları, probu malzemenin kenarına yaklaştığında veya sona ulaştığında bozulurlar. Bu bozulma sonucunda yanlış sonuçlar ortaya çıkar. Bu etki yüzeysel malzemelerde kenar etkisi olarak adlandırılır. Kenar etkisi genellikle test bobini civarına manyetik zırhların sarılması ile ve bobinin çapının küçülmesi ile azalabileceği uç etkisi de bobin uzunluğunun kısaltılması ile azaltılabilir.

1.5.4.3.4. Dolgu Faktörü

Çevresel veya iç probalar ile kontrol edilecek yüzey arasındaki boşluğun ölçüsüne **dolgu faktörü** denir. Çevresel veya iç probalar için aralık etkisi değerine dolgu faktörü deyimi kullanılır. Dolgu faktörü çevresel probalarla silindirin çapına ve bobinin iç çapına bağlıdır. Dolgu faktörü şu eşitlikle tanımlanır.



Şekil 1.28.Dolgu faktörü

1.5.5. Süreksizlikler

İletken bir malzemedeki süreksizlikler girdap akımlarının akışını etkiler.

Süreksizlikler; üretim esnasında malzeme üzerindeki yabancı maddeler (cüruf), gözenekler, gaz boşluğu, kullanım esnasında meydana gelen çatlaklardan kaynaklanabilir. Girdap akımları süreksizliklerin etrafından dolaşırlar. Böylece alanda bir değişime sebep olarak göstergede bir ibre sapması verir.



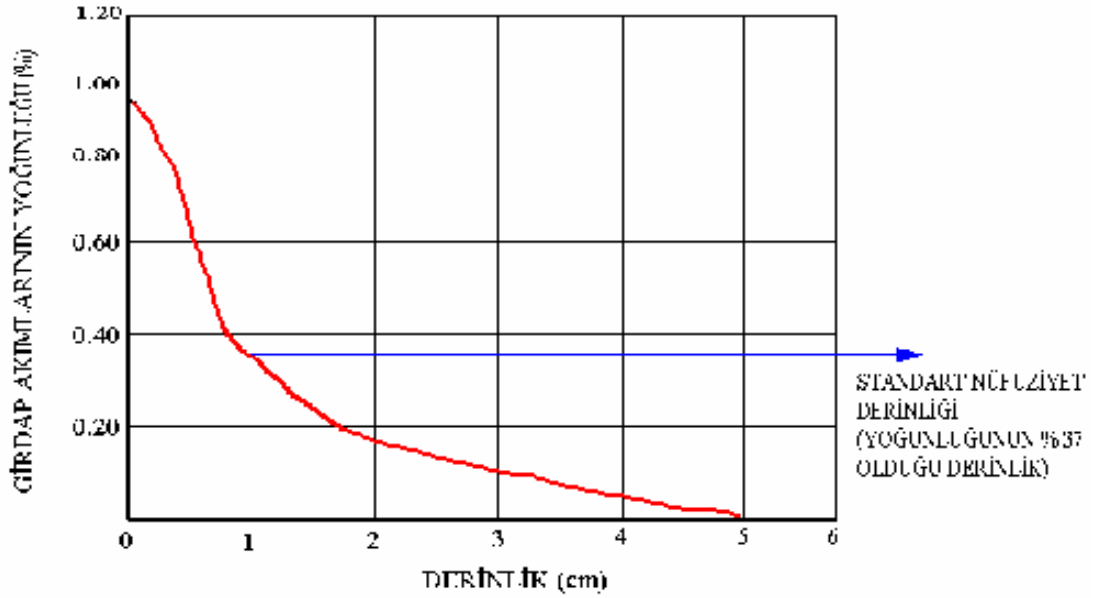
Şekil 1.29.Malzemeler üzerinde çatlak ve yabancı madde etkisi

1.5.6. Nüfuziyet Derinliği

Eddy current kontrolü yapılan test malzemesi içinde her yere eşit olarak yayılamaz.

Akım yoğunluğu yüzeyde ve yüzeyden az aşağıda en fazladır. Eddy current akımlarının nüfuziyet derinliğine ve yüzeydeki şiddetine test değişiklerinin etkisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Aşağıdaki grafikte eddy current akımlarının yoğunluğunun derinlikle değişimi görülmektedir. Yüzeyden aşağılara inildikçe akım yoğunluğu azalacaktır. Yüzeyden çok aşağıda ise akım sıfıra yaklaşır. Nüfuziyet derinliği frekansın artması ile azalacağından test frekansının uygun seçimi girdap akımı testinde büyük önem taşır.



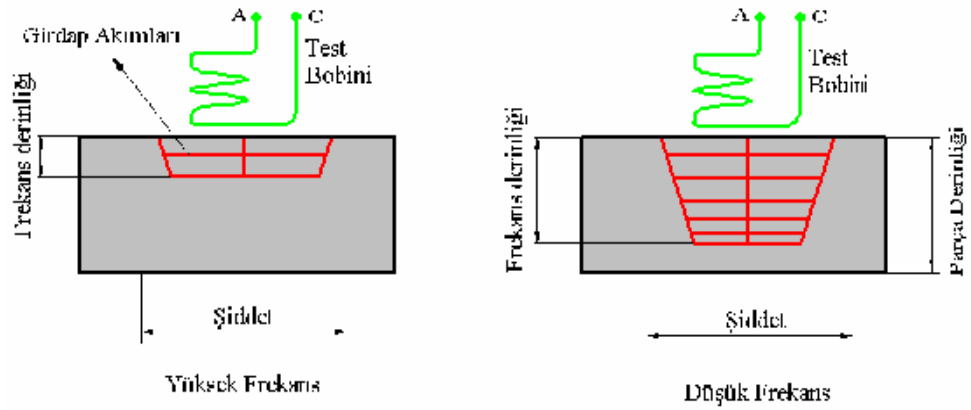
Şekil 1.30. Eddy current akımlarının yoğunluğunun derinlikle değişimi

1.5.7. Test Şartlarını Etkileyen Faktörler

1.5.7.1. Test Frekansı

Diğer değişkenler sabit tutulduğunda, frekans yükseldikçe nüfuziyet derinliği azalır.

Eddy akımları yüzeye toplanır. Buna **Deri Etkisi(Skin Effect)** denir. Frekansın seçiminde nüfuziyet derinliği, tarama hızı gibi faktörler de dikkate alınmalıdır. Şekil incelendiğinde frekansın yükselmesi ve dalma derinliğinin azalması görülmektedir.



Şekil 1.31. Frekansın teste etkisi

1.5.7.2. Manyetik Temas

Test parçası ile test bobini ile oluşturulan değişken manyetik alanın ilişkisine **manyetik temas** adı verilir. Bobinin manyetik alanının kuvveti parçadan uzaklaştıkça düşer. Bu nedenle test parçasındaki girdap akımlarının şiddeti, bobin ile temas parçası arasındaki uzaklığa göre değişir. Manyetik bağlantının seviyesi test bobinin boyutuna ve şekline, parçanın yüzey durumuna ve şekline, test parçası üzerindeki yüzey kaplamasının mevcudiyetine bağlıdır.

1.5.7.3. Test Bobinin Akımı

Tüm diğer değişkenler sabit tutularak test bobininin akımı arttırıldığında parçaya tatbik edilen manyetik alan kuvveti artacaktır.

1.5.7.4. Sıcaklık

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

Curie noktası: Ferromagnetik malzemelerin magnetikliğini kaybettiği (nonmagnetik) ve dış kaynaklarla mıknatıslanamayacak duruma gelmesidir.

1.5.8. Test Probonun Seçimi

Eddy current akımlarının probunun seçimindeki faktör kullanımdaki amaca bağlıdır.

Küçük çaplı prob küçük hataların tespitinde çok daha iyi bir ayırt etme kabiliyeti sağlanacaktır. Daha büyük çaplı prob kütsel özellikler için daha iyi bir netice verecektir. Genel olarak kullanılan ve prob boyutunun seçiminde yardımcı olan bir ifade ise **bobin çapı, aranan hata boyutunun iki katından daha büyük olmalıdır**. Hata tipine göre hangi tip prob seçiminin yapılacağı aşağıdaki tabloda görülebilir.



Şekil 1.32. Çeşitli eddy current test prodları

1.5.9. Eddy Current Kontrolünün Avantajları ve Dezavantajları

1.5.9.1. Avantajları

- 1-Test şartları test yerine göre isteğe bağlı olarak uyarlanabilir.
- 2-Malzemenin durumunu hemen gösterir, belirtinin gelişmesi için zamana ihtiyaç yoktur.
- 3-Cihazlar çoğunlukla kendinden şarjlı veya pilli olduğundan portatiftir.
- 4-Test cihazı ile malzeme arasındaki magnetik alan bağlantısının malzemeye zarar vermez.

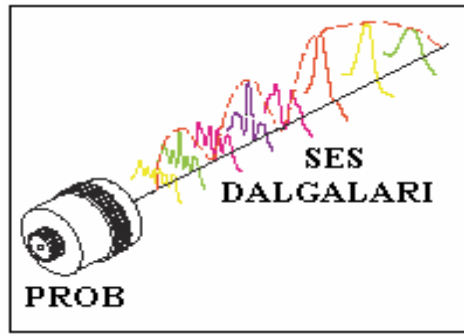
1.5.9.2. Dezavantajları

- 1- Test metodunun doğruluğu malzemenin etrafındaki değişkenlerin önlenmesi ve teknisyenin becerisine bağlıdır.

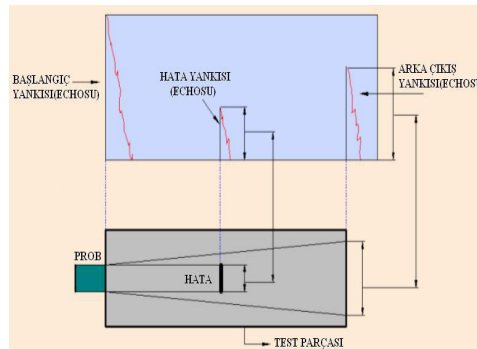
- 2- Sadece iletken malzemelere uygulanır.
- 3- Ölçüm derinliği 1 1/4 inç ile sınırlandırılmıştır.
- 4- Ferromagnetik metallerin testi bazen zordur.

1.6.ULTRASONİK KONTROLÜ

Hacimsel yöntemlerden biri olan ultrasonik kontrolünün test prensibi, prob tarafından üretilen yüksek frekanstaki ses dalgalarının test malzemesi ortamında yayılması ve bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması esasına dayanır.



Şekil 1.33. Problarda ses dalgaları



Şekil 1.34. Ultrasonik kontrolde prob ile hata kontrolü

1.6.1. Tarihçe

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

1.6.2. Ultrasonik Kontrolü Çalışma Prensipli

Prob tarafından algılanan dalgalar elektrik sinyallerine dönüştürülür ve katot ışınları tüpü ekranında malzeme içyapısının habercisi olan yankılar halinde görülür. Ekran

Üzerinde gözlenen yankıların konumları ve genlikleri hatanın bulunduğu yer ve boyutları hakkında bilgi verir. Aşağıdaki şekilde bunu açık ve net olarak görebiliriz.

Ultrasonik yöntemle bütün hatalar hassasiyet sınırları dâhilinde test edilebilir. Hatalar ultrasonik demete dik doğrultuda olduklarında en iyi şekilde algılanır. Ultrasonik kontrolünde kullanılan bazı ifadeleri bilmek bize kolaylık sağlar. Bunlar:

Frekans(f): Bir parçacığın saniyedeki titreşim sayısı olup, birimi (Hz)'dir.

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

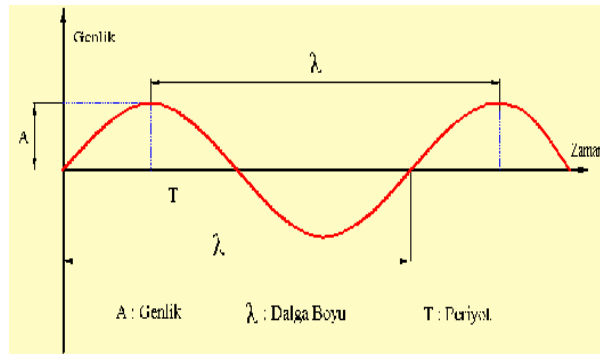
Periyot(T): Bir titreşimin tamamlanması için geçen süre olup frekansın tersine eşittir.

$$T = 1 / f \text{ (sn)}$$

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

$$C = \lambda \times f \text{ (m/sn)}$$

Frekansları birbirine yakın olan dalgaların oluşturduğu grubun yayılma hızına ise, grup hızı denir. Dispersiyon, yani ses hızının frekansa bağıllığı söz konusu değil ise, faz hızı grup hızına eşittir. Genlik, dalga boyu ve periyot arasındaki ilişkinin şekil ile ifadesi, aşağıda şekil 2.26'de gösterilmiştir.



Şekil 1.35.Genlik, dalga boyu ve periyot

1.6.3.Ultrasonik Kontrolün Uygulanabileceği Malzemeler

Ultrasonik kontrolünde tabi tutulacak malzemelerin düzeyinin düzgün olması, içyapısında aşırı porotize(gözeneklilik) ve taneselliğinin olması ultrasonik kontrolüne kolaylık sağlar. Fakat ultrasonik kontrolünün bazı istisnalar hariç bütün malzemelere uygulayabiliriz. Ultrasonik kontrolü yapılacağı malzemenin yapısına ve şekline göre frekans ve probler seçilmelidir. Bu seçim kontrolün sıhhatli yapılabilmesi için çok önemlidir.

1.6.4. Ultrasonik Test Teknikleri

Ultrasonik testinde uygulanan teknikler üç parametre göz önüne alınarak sınıflandırılabilir. Bunlar; ölçülmek istenen fiziksel büyüklük (genlik, faz, zaman), ses üretim şekli (sürekli, darbe) ve süreksizliklerin etki şekli (yansıtıcı, gölgeleyici, ses üretici) olarak yapılabilir. Test tekniği bu parametreler göz önüne alınarak seçilir.

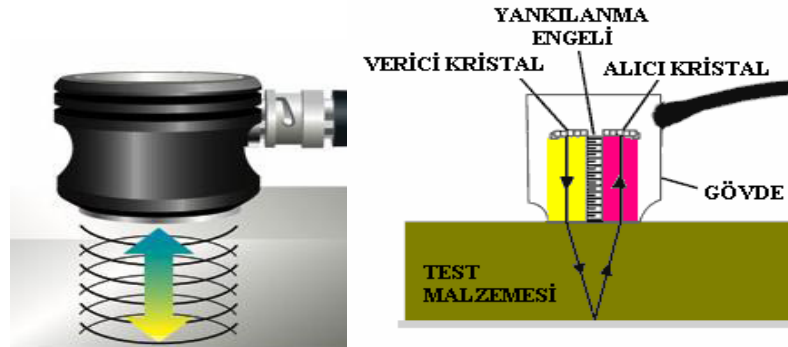
1.6.4.1. Puls-Echo(Darbe-Yankı) Yöntemi

Puls-echo yöntemi, prob tarafından yayılan ses dalgalarının malzeme içindeki bir süreksizliğe çarpıp, geri yansıyarak tekrar proba ulaşması esasına dayanır.

Bu yöntemde ölçülen büyüklükler ses basıncı genliği ve puls'un girdap dönüşü süresi(time of flight) olup, süreksizlik bir yansıtıcı(reflektör) olarak etki eder.

1.6.4.1.1. Doğrudan Kontak Yoluyla Kontrol

Probun test malzemesi yüzeyine, bir ara sıvısı vasıtası ile doğrudan temas ettirildiği test şeklidir. Tek kristalli prob kullanıldığında, prob hem alıcı hem de verici olarak çalışır. Çift kristalli problarda ise alıcı ve verici ayrıdır.



Şekil 1.36. Doğrudan kontak yoluyla kontrol

Algılanan hata echo' sunun genliği aşağıdaki etkenlere bağlıdır:

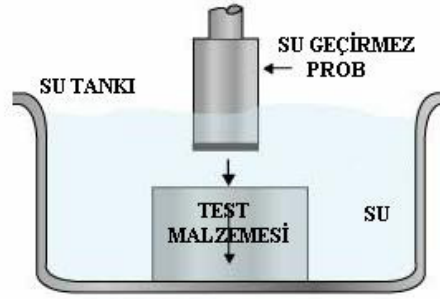
1. Üretilen sesin enerjisi
2. Verici kristalin yön karakteristiđi
3. Hatanın boyutu
4. Hatanın yüzey yapısı
5. Hatanın yeri
6. Alıcı kristalin yön karakteristiği (çift kristalli ise)
7. Yansıma ve kontak kayıpları
8. Absorbsiyon ve saçılmadan dolayı zayıflama
9. Hatanın önünde bulunabilecek hataların ses dalgalarını gölgelemesi.



Şekil 1.37.Ultrasonik test cihazı ile parça kalınlığının ölçümü

1.6.4.1.2. Daldırma Yoluyla Kontrol:

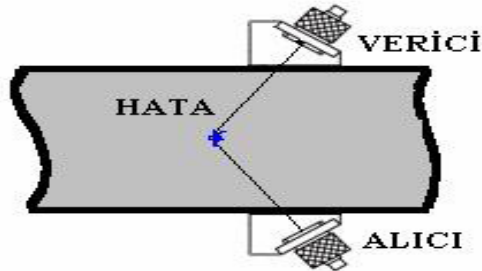
Daldırma tekniğinde prob ve test parçası bir su tankının içersine daldırılır. Bu amaç için özel su sızdırmaz problar kullanılır. Daldırma yoluyla kontrol aşağıdaki şekilde gösterilmiştir



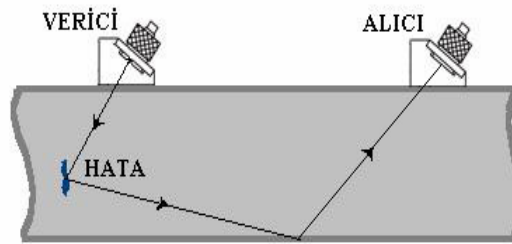
Şekil 1.38.Daldırma yoluyla malzeme kontrolü

1.6.4.1.3. Çift Prob Tekniği (Tandem veya Ardışık)

İki prob kullanılan tandem tekniğinde, problardan birisi tarafından gönderilen ultrasonik dalgalar önce hatada ve sonra arka yüzeyden yansıdıktan sonra alıcı proba ulaşır.



Şekil 1.39. Çift proba malzeme yüzeyinden yüzeyler hata kontrolü

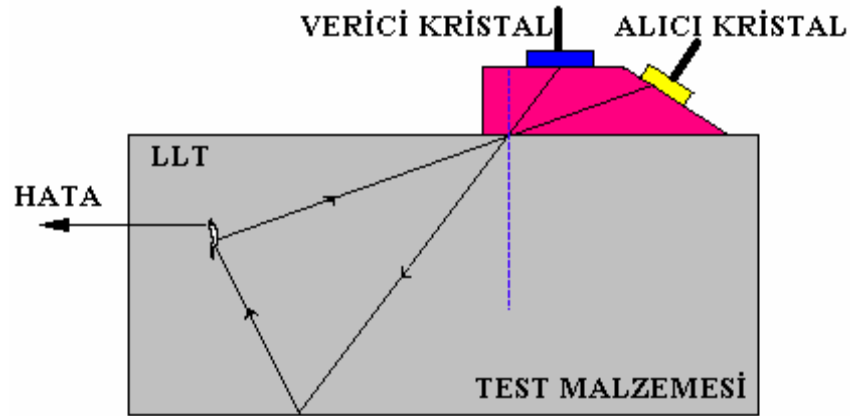


Şekil 1.40.Çift proba karşılıklı hata kontrolü

Problar birbirine özel bir düzeneyle bağlanmış olup, aralarındaki mesafe ses açılarına bağlıdır. Çift prob tekniği problemler malzemenin karşılıklı yüzeylerine yerleştirilmek suretiyle de uygulanabilir. Burada hata yansıtıcı olarak etki eder. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.

1.6.4.1.4. LLT (Long – Long – Trans) Tekniği

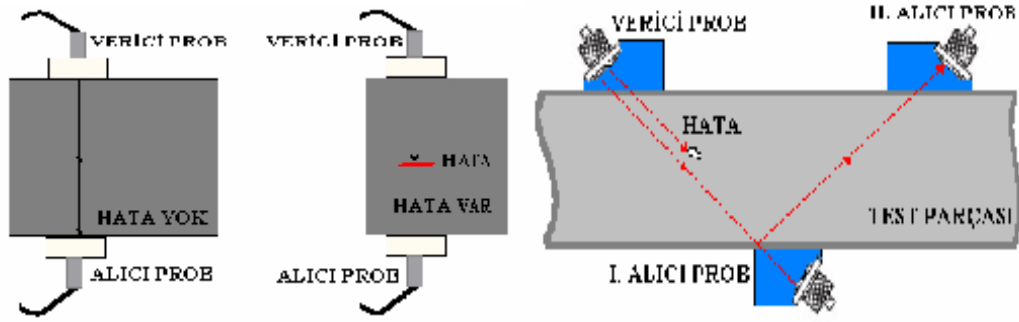
LLT (Long – Long – Trans) tekniği aynı taban bloğu üzerine farklı açılarda yerleştirilmiş iki kristalli özel problemlerle yapılır. Verici probtan gönderilen boyuna dalgalar (Long) malzeme içerisinde yüzey dik doğrultuda bulunan hatalara çarparlar. Hata yüzeyinde dalga dönüşümü meydana gelir. Yani boyuna dalgalarla dönüşür. Alıcı kristal sadece enine dalgaları (Trans) algılar. Hata yansıtıcı olarak etki eder. LLT tekniği malzemelerin dış yüzeyinin testi için daha uygundur. Tandem tekniklerinden daha üstündür. Aşağıdaki şekilde LLT tekniği gösterilmiştir.



Şekil 1.41. LLT tekniği

1.6.4.2. Transmisyon Yöntemi

Transmisyon tekniğinde birisi verici diğeri alıcı olan iki prob kullanılır. Problemlerden birisi tarafından gönderilen ses dalgalarının algılayıcı proba ulaşmadan önce bir süreksizlik tarafından gölgelenmesi esasına dayanır. Aşağıdaki şekilde transmisyon tekniği gösterilmektedir.



Şekil 1.42. Transmisyon yöntemi ile hata kontrolü

1.6.4.3. Rezonans Yöntemi

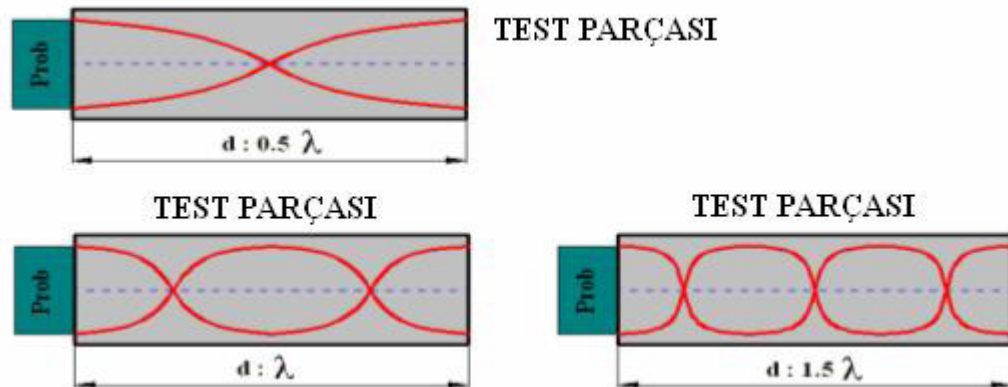
Dışarıdan uygulanan tek bir darbenin etkisi ile serbest titreşen bir yapı rezonans frekansı ile titreşir ve titreşim sıfıra ininceye kadar frekans aynı kalır. Test parçası içinde rezonansın oluşması için, ön ve arka yüzeylerinden gelen yansımaların büyük kayıplar olamaması, yansımadan sonra dalgaların yine geldikleri doğrultuda geri dönmeleri, başka yönlerde saparak kaybolmamaları gerekir.

Yani test parçası paralel yüzü ve yüzeyleri pürüzsüz olmalıdır. Test parçasının boyu yarım dalga boyuna veya bunun tam katlarına eşitse rezonans meydana gelir. Rezonans tekniği şekil ve formül ile ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$d = N \times \lambda / 2$$

$$d = N \times c / 2 \times f \quad N = 1, 2, 3, 4 \dots$$

$$d = \text{Parça boyu} \quad N = \text{Katsayı}$$



Şekil 1.43. Rezonans yönteminde çeşitli dalga boylarında frekanslar

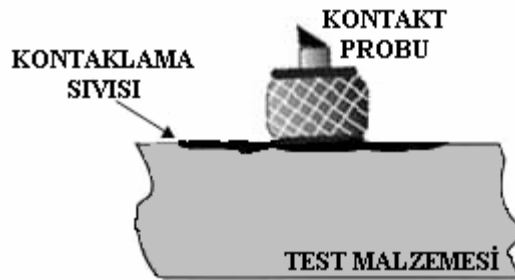
Rezonans yönteminin en verimli uygulaması kalınlık ölçümüdür. Rezonans yöntemi katlama kalınlığının ölçümünde ve kaplama tabakasının ana malzemeye yapışma hatalarının tespitinde de uygulanır. Fakat mikron (1/1000mm) mertebesinde hassas değildir. Malzeme hatası testinde uygulanması oldukça zordur ve fazla yaygınlaşmamıştır.

1.6.4.4. Kontaklama (Temas) Yöntemi

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

- Yüzey pürüzlülüğü (1/10 dalga boyundan küçük olmalı)
- Yüzey temizliğinin yetersizliği
- Yüzeydeki oksit veya boya tabakaları
- Yüzey eğriliği
- Kontak maddesinin cinsi ve homojenliği

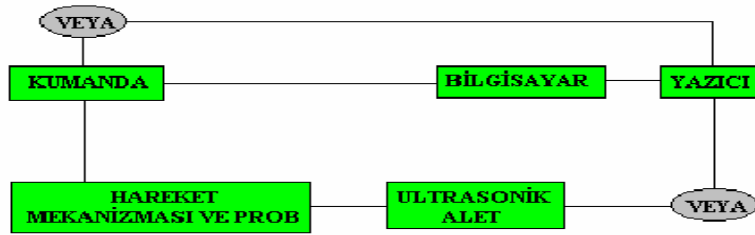
Su ve yağ en çok kullanılan kontak sıvıdır. Ayrıca, gliserin, gres, vazelin ve balda kontak amacıyla kullanılır. Parlak yüzeylerde düşük viskoziteli yağlar, pürüzlü yüzeyler de ise koyu yağlar kullanılır. Kontaklama işlemi, doğrudan kontaklama tekniğinde çok ince bir sıvı film tabakası sayesinde yapılır.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



Şekil 1.44. Kontak yönteminin uygulanması

1.6.4.5. Otomatik Sistemlerde ve Üretim Alanında Test

Test işlemlini hızlandırmak ve anında değerlendirme yapabilmek amacıyla otomatik sistemler geliştirilmiştir. Otomatik sistemler genel olarak, probu hareket ettiren bir mekanizma ve kumandası, ultrasonik alet, bilgisayar ve yazıcıdan meydana gelir. Otomatik bir ultrasonik sisteminin blok diyagramı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.45. Üretim Alanlarında Test İşlemi Sistemi

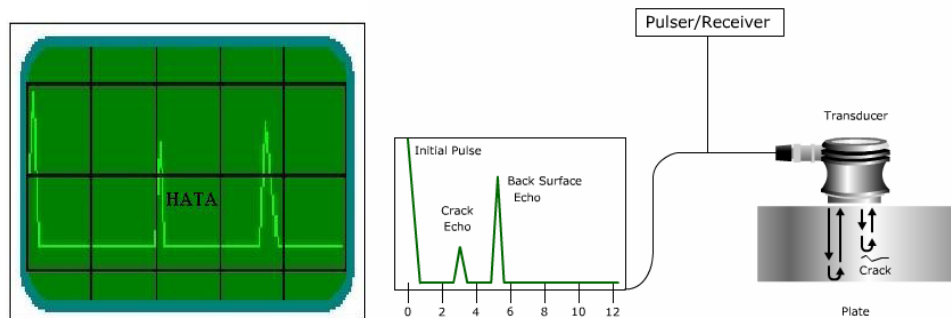
Otomatik sistemler, üretim bantlarında test operatörüne gerek kalmaksızın malzemelerin testlerinde kullanılır. Test yüzeyi çok büyük olan malzemeler, insanın giremediği kaplar veya konumlar, nükleer santral bileşenleri otomatik sistemlerin kullanıldığı örneklerden bazılarıdır.

1.6.5. Ultrasonik Kontrolün Tarama Şekline Göre Sınıflandırılması

Bir ultrasonik cihazı ile hatanın yeri ve genliği farklı şekillerde gösterilebilir. A,B ve C tarama yöntemleridir.

1.6.5.1. A-Tarama (A-Ekranı A-Scan)

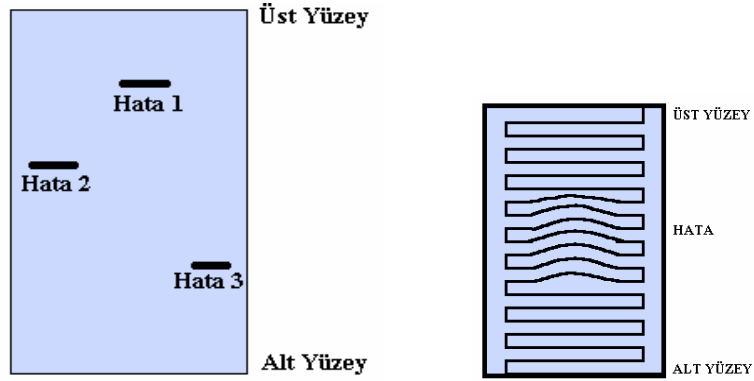
A- Ekran alışagelmış bir teknik olup, endüstriyel ultrasonik cihazlar A-Ekrana göre dizayn edilmiştir. Bu teknikte ekranın yatay skalası malzeme kalınlığı cinsinden zamanı, düşey skalası da genliğini gösterir. Aşağıdaki şekildeki gibi,



Şekil 1.46. A-tarama

1.6.5.2.B-Tarama (B- Ekranı, B- Scan)

B-Tarama tekniğinde, sadece genliği belli bir frekans yüksekliği aşan hatalar kaydedilir. Hata yankılarının zamanı (Time of flighth) test parçasının x ve y koordinatına göre çizilir. Bu işlem için yazıcı kullanılır. Aşağıdaki şekildeki gibi,



Şekil 1.47.

B- tarama

C- Tarama

1.6.5.3.C- Tarama (C- Ekranı, C- Scan)

C- Ekran tekniğinde test parçasının yüzeyi X-Y düzlemi olarak tanınır. Başlangıç yankısı ile arka yüzey yankısı arasında istenen bölgede bir pencere ve bir eşik açılır. Prob malzemenin X-Y düzleminde belli adım aralıklarında hareket ettirilir. Belli bir frekans yüksekliği aşan hata gerginlikleri kaydedilir. Bu işlem için yazıcı kullanılır.

1.6.6. Ultrasonik Testinin Avantajları Ve Dezavantajları

1.6.6.1. Avantajları

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

1.6.6.2. Dezavantajları

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

1.7.RADYOGRAFİK KONTROL

Hacimsel yöntemlerden olan radyografik kontrolün prensibi de yine iki esas fonksiyonla tanımlanır. Bunlar nüfuz edici ve algılayıcıdır. Burada nüfuz edici eleman X ve gama ışınları, algılayıcı elemanda filmlerdir.

Radyografik kontrol endüstriyel alanda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, uçak parçaları, vs.) herhangi bir hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Bu işlemler, özel olarak imal edilmiş X ışını üreten veya gama ışını yayan radyoizotop içeren cihazlarla yapılmaktadır. X ışını ile yapılan çalışmalar X ışını grafi, gama ışınları ile yapılan çalışmalar ise gama grafi olarak, her ikisi birden **radyografi** olarak adlandırılır.

1.7.1. Tarihçe

Tahribatsız muayenelerin en eskilerinden biri olan radyografi kontrolün tarihçesi 1895 yılında X-ışınlarının Wilhelm Conrad Roentgen tarafından keşfedilmesine kadar dayanır. Başlangıçta X-ışınları genellikle tıbbi radyografide kullanılmıştır. Radyografiyi 1930 yılında ilk defa Amerikan Donanması kaynak dikişlerinin kontrolünde bir endüstriyel tahribatsız muayene metodu olarak tanımıştır. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra gamma ışınlarının ve yaklaşık olarak 1960'lı yıllardan sonra da nötronların kullanılmaya başlanması ile endüstriyel radyografinin sınırları çok genişlemiştir.

1.7.2. Radyografik Kaynakların Seçimi

Birçok radyografik kaynağı olmasına rağmen pratikte radyografi için uygun kaynak çok azdır. Kaynak seçimine, kaynak boyutu, radyografi cihazının taşınabilirliği, büyüklüğü, radyografi yapılacak cismin taşınabilirliği ve kaynak enerjisi etki eder. Radyografik kontrolde kullanılan X ve Gama ışınlarının üretimi dışındaki bütün özellikleri aynıdır. X ve Gama ışınları elektro magnetik radyasyondur. X ve Gama ışınları elektro magnetik

yayılan ışınların bir kısmını kaplar. Elektro magnetik radyasyonlar dalga ve tanecik yapısına sahiptir. X ve Gama ışınları kısa dalga boyludur. Dalga boyu buların enerjilerini ve dolayısı ile giricilik güçlerini tayin eder. Dalga boyu ile giricilik arasında ters orantı vardır. Dalga boyu arttıkça, giricilik gücü azalır ve dalga boyu küçüldükçe giricilik artar.

Genel olarak X ve Gama Işınları;

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

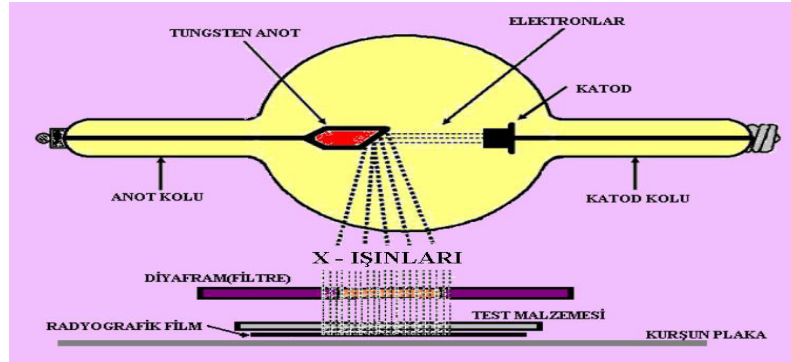
X ve Gama ışınları arasındaki tek fark yukarıda bahsedildiği gibi oluşum (üretilme) yerleridir. X-Işınları bir jeneratör (elektrik kaynağı) vasıtasıyla X-Işını tüplerinde oluşur, gama ışınları ise radyo aktif bozunum sırasında meydana gelir.

1.7.2.1. X-Işınları ile Kontrol

X-ışınları X-ışını tüpünde üretimi elektronların yüksek hızda bombardımanı sonucu oluşur ve üretilen X-Işınları endüstriyel radyografide kullanılabilir. Şekil 2.39'de X-ışınlarının X-ışın tüplerinde meydana geldiği kısımlar görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi odaklama kabı(Tungsten Anot),telden(Katot) çıkan elektronları aşağı doğru yönlendirir. Buradaki çarpışma ile yüksek ısı ve X-ışınları meydana gelir. Yüksek ısı yağ veya su gibi soğutmalı sistemler ile soğutulur. Oluşan X-ışınları diyaframdan geçerek test malzemesi üzerine gönderilir. Işınlr radyografik film üzerine yansır ve test malzemesi hakkında bilgi verir. Film üzerinden geçen X-ışınları kurşun plaka tarafından emilir.

X-ışını üretiminde en önemli iki kontrol şunlardır:

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



Şekil 1.48. X-ışınları üretimi ve malzeme kontrolü

X-ışınının enerjisi, bizim açımızdan X-ışınının bir malzeme içinde giriciliğini gösterir. Hedeye gelen elektronların hızı arttırılırsa hedeye çarpma kuvvetleri artacak ve bu şekilde daha kısa boylu yani girici X-ışınları elde edilecektir.

X-ışınlarının enerjisi (giricilik gücü) X – ışın tüplerine uygulanan voltajla doğrudan ilişkilidir. Voltaj artarsa dalga boyu küçülür ve giricilik(enerjisi) artar. X-ışınlarının şiddeti ise, belli bir zaman aralığında, birim alandan geçen veya birim alana çarpan ışınların sayısıdır.

X-ışınlarının endüstriyel alanda çok geniş bir uygulama alanı vardır. Bu uygulamalar cihaz kapasitesine, uygulanan malzemelere vb. faktörlere bağlı olarak değişir.

X-ışınlarının farklı tiplerdeki radyasyon enerjilerini tanımlayabilmek için elektro volt (eV) adı verilen birim kullanılır. Bir voltluk potansiyel farkı ile hızlandırılmış bir elektronun enerjisine bir elektron-volt denir. Böylelikle, 1000 volt, 1000 eV'a kadar olan enerji yayan X-ışınları üretecektir. 10 000 volt, 10 000 eV'a kadar olan enerji yayan X ışınları yaratacaktır. Elektron-voltların katları aşağıdaki gibidir.

- 1000 eV = 1 kiloelektron-volt (1 keV),
- 10000 eV = 10 kiloelektron-volt (10 keV),
- 1000000 eV = 1megaelektron-volt (1 MeV),

1.7.2.2. Gama Cihazları ile kontrol

Bir gama ışını cihazı, radyoaktif kaynak, kaynak tutucu, muhafaza kabı ve kumanda mekanizmasından oluşur. Radyoaktif kaynak sağlam sızdırmaz ve radyoaktif hale gelmeyen malzemeden yapılmış bir kapsül içerisine yerleştirilmiştir.

Gamma ışını cihazları mekanik kumandalı olduklarından x ışını cihazlarına oranla daha basit bir donanıma sahiptir. Donanımın görevi, cihaz kapalı durumda iken radyoaktif kaynağını mümkün olduğunca iyi zırlamak, çekim sırasında ise uygun ışınlama düzeyini sağlamaktır. Bu cihazlarla konik, radyal veya küresel ışınlama sağlanabilir. Gama ışını cihazları, zırh malzemesi olarak kullanılan kurşun yerine tungsten ve özellikle zenginleştirilmiş uranyum kullanılması ile bugün oldukça hafifletilmişlerdir.



Şekil 1.49. Uzaktan kumanda edilen gama ışın tüpü ve elde taşınabilen gama ışın tüpleri

Aşağıdaki tabloda ise bazı elementlerin radyoizotoplarının X-ışını eşdeğer enerjileri verilmiştir

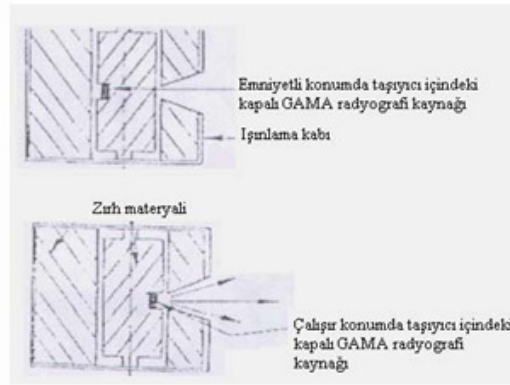
Tablo 1. 3. 880 sigma serisi gama radyografi cihazında kullanılan kaynaklar ve Özellikleri.

İzotoplar	Se-75	Ir-192	Co-60
Model No	A424 - 25W	A424 - 9	A424 - 19
Gama enerji aralığı	66 - 401 Kev	206 - 612 Kev	1,17 - 1,33 Mev
Yarılanma süresi	120 gün	74 gün	5,27 yıl
Çelik Çalışma kalınlığı	3 - 29 mm	12 - 63 mm	50 - 150 mm
Maksimum enerji kapasitesi	150 Ci, 5,55 TBq	130 Ci, 4,81 TBq	25 mCi, 925 MBq

İzotop cihazları çok tehlikeli olduklarından, kullanılmadıkları durumlarda dikkatli olunmalı ve radyasyon sızmasını önleyecek kaplarda saklanmalıdır. Kaplar herkesin ulaşamayacağı kilitli yerlerde muhafaza edilmelidir.

İzotoplar uzaktan kumanda ile çekim noktasına iletilirler. Bu uzaktan kumanda ile çekim noktasına ileti iki şekilde olur.

1. İzotop, radyasyon sızmasını önleyen ışınlama kabının merkezinden yüzeyine iletilir.



Şekil 1.50. Döner tip kapalı gama radyografi kaynağı

RADYOİZOTOP	X-IŞINI EŞDEĞER ENERJİSİ(keV)
Kobalt- 60	2000- 3000
Radyum- 226	1000- 2000
Sezyum- 137	600- 1500
İridyum- 192	150- 800
Talyum- 170	30- 150

X-ışınlarına göre daha küçük dalga boyu dolayısı ile daha derine nüfuz etme özelliğine sahip bu ışınlar, Radyum (Ra) ve Kobalt- 60 (Co-60) gibi radyo aktif elementlerden elde edilir. X-ışınlarında olduğu gibi test edilecek malzemenin filmi çekilir. Radyasyondan dolayı gerekli önlemler alınmalıdır. Sabit bir mekâna ve elektriğe ihtiyaç yoktur. Portatif ve taşınabilir olduğundan çevrede gerekli önlemler alınmak kaydıyla dış ortamlarda da rahatlıkla kullanılır.

Gama ışını yayınımları 'Radyoaktivite' terimi ile açıklanabilir. Radyoaktif bir maddede enerjinin ışıınım enerjisi olarak açığa çıktığı, sürekli bir bozunma olayı meydana gelir. Bu ışın, bazen doğal olmakla birlikte (uranyumda olduğu gibi), genelde atom çekirdeğinde yapay olarak oluşturulmuş fazla yükten ileri gelmektedir. Bu, bir nükleer reaktörde olduğu gibi, çekirdeği nötron bombardımanına tutarakta yapılabilir. Bu aşırı yük durumu, çekirdeği kararsız hale getirir, çekirdeğin başlangıç denge konumuna dönmesi uzun zaman alır. İşte bu kararsız durumdan kararlıya geçiş sürecine 'BOZUNMA' denir. Bu tip aşırı yüklü ve kararsız çekirdek ise 'Radyoizotop' olarak bilinir. Bir radyoizotop kimyasal sembolüyle birlikte atom kütle numarasının verilmesiyle ifade edilir (kütle numarası çekirdekteki proton ve nötron sayılarının toplamıdır). Örneğin, Co- 60 ya da Ir- 192 gibi. Çekirdekler değişik kütlelere ve böylece çok değişik ışıınım özelliklerine sahip olabilirler.

Gama Işını Radyografi Cihazlarının Yapısı:

Gama ışını cihazları mekanik kumandalı olduklarından, x-ışını cihazları ile kıyaslandığında daha basit bir yapıya sahiptirler. Cihazın görevi, cihaz kapalı durumdayken radyoaktif kaynağı mümkün olduğunca iyi zırhlamak ve çekim sırasında ise uygun ışınlama özelliklerini

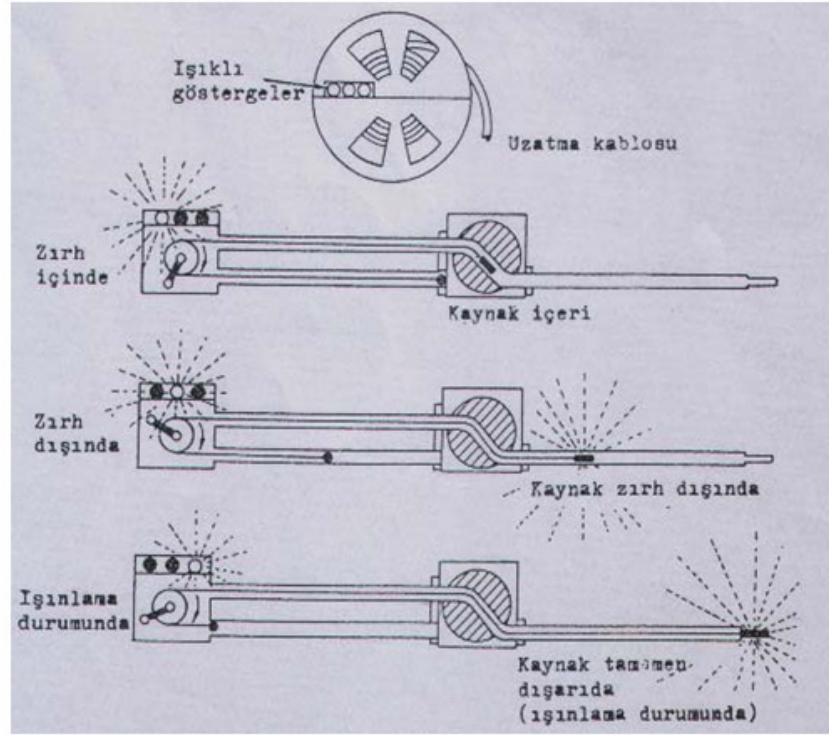
2. İzotop, muhafaza kabının merkezinden daha uzaktaki pozlama noktasına iletilir.

Gönderme (uzaktan kumanda) borusu

Muhafaza kabının önüne takılan ve izotopu pozlama noktasına yönlendiren esnek veya sert bir borudur. Radyoizotopu süren çelik yay ve yayın etrafındaki kablonun sarılacağı makara, radyoizotopu ileri geri sürmeye yarayan kol ve dişli gruplardan meydana gelmiştir. Bu şekilde kaynağın 20- 25m uzaktan kontrolü mümkün olmaktadır. (Şekil 1.52)

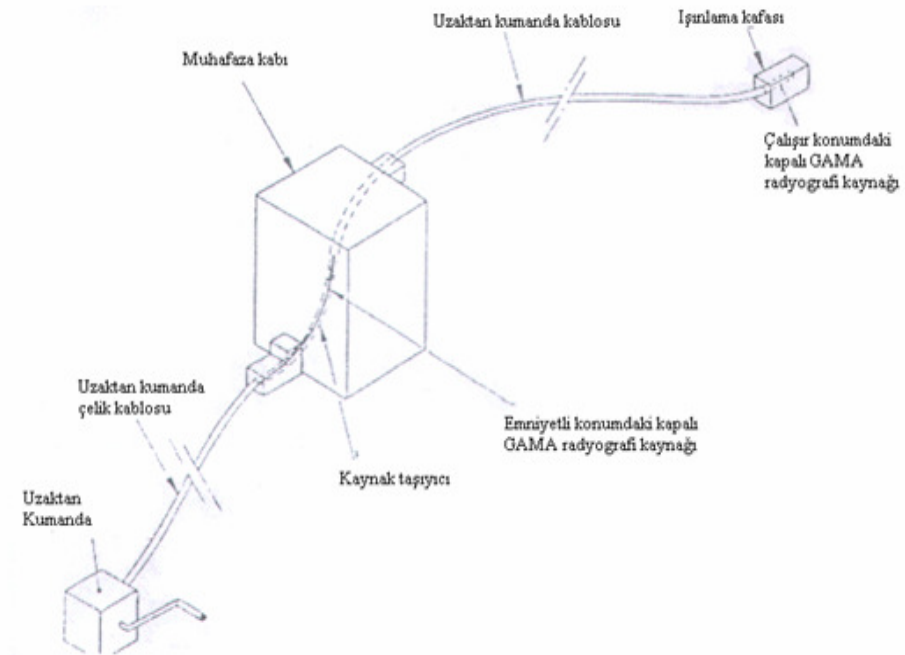
Gama ışınlarının avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi verilebilir.

1. Maliyeti kilovolt bazında x ışını cihazından daha ucuzdur.
2. Daha kolay taşınabilir.
3. Elektriğe ihtiyaç olmadığından arazide çalışmak daha kolaydır.
4. Hem panoramik hem de doğrusal çekime uygundur.
5. Işın yaklaşık 1" lik bir aralıktan bile geçebilir.
6. Cihazın kullanımı kolaydır.
7. Boyutları küçük olduğundan kısa kaynak-filim mesafesi gereken yerlerde kullanıma uygundur.
8. Bazı radyoizotopların çok yüksek nüfuziyet kabiliyetlerinin olması kalın parçaların kontrolünde avantaj sağlar.
9. Sağlık ve emniyet yönünden radyasyonun yayılması durdurulamaz. Yani x ışınları tüplerinde olduğu gibi cihazın kapatılması diye bir şey yoktur. Sadece radyasyon kaynağı emniyetli bir yere konumlandırılarak çalışanların ve diğer canlıların zarar görmesi önlenabilir.
10. X ışını ile üretilen radyogramlar kadar yüksek kontrast elde edilemez.
11. Nüfuziyet özelliği, izotopun tipi ile ilgilidir ve ayarlanamaz.



Şekil 1.51. Bir gama radyografi cihazının tipik çalışması

1.7.2.3. Muhafaza Kabı veya Işınlama Kabı



Şekil 1.52. Projeksiyon tipi gama ışını cihazı ekipmanları.

Radyoaktif kaynak sağlam, sızdırmaz ve aktif hale gelmeyen malzemeden imal edilmiş bir kapsül içine yerleştirilmiştir. Radyoaktif kaynak silindirik veya küre şeklinde olabilir. Silindir şeklinde olması halinde boyu ve çapı belirtilir.

Kapsül, içine radyoaktif madde koymadan önce teste tabi tutulur. Kapsülün üzerine kaynak tutucuya vidalanmasını, lehimlenmesini ya da pim ile tutturulmasını sağlayacak bir parça vardır. Kaynağın üretildiği reaktöre bağlı olarak, çeşitli kapsül tipleri vardır. Kapsül ve kaynak tutucunun birbirine kolaylıkla bağlanabilmesi gerektiğinden, radyoaktif kaynağında kaynak tutucuya uygun olup olmadığı mutlaka araştırılmalıdır. Kaynak tutucu, radyoaktif kaynak ile muhafaza kabı arasındaki bağlantıyı sağlar. Muhafaza kapları için değişik tasarımlar söz konusu olmaktadır. Muhafaza kabı gerçekte radyoaktif kaynaktan çevreye olabilecek doz hızını azaltacak ya da kaynak ile doğrudan temasını engelleyecek bir zırh niteliğindedir. Muhafaza kapları, hareket edebilir olup olmadıklarına ve çalıştırma mekanizmalarına göre çeşitlilik gösterirler. Hacim, ağırlık ve tasarıma bağlı olan hareket edebilirlik muhafaza kabının sınıfını, çalıştırma mekanizması ise kategorisini belirler. Gama radyografisinde iki sınıf ve iki kategori mevcuttur:

1. P(portatif/taşınır) sınıf muhafaza kapları bir kişi tarafından elde taşınabilir.
2. M(mobile/hareketli)sınıf muhafaza kaplarının ise hareket etmesini sağlayan teknik donanımlara gereksinimleri vardır.

Birinci kategori cihazlarda, kaynak çalışır durumda iken muhafaza kabından dışarıya çıkarılmaz. Pozlama, kaynağın önündeki zırhı açarak ya da muhafaza kabının içindeki radyoaktif kaynağı zırhla beraber döndürerek hareket başlatılır.

İkinci kategori muhafaza kaplarında radyoaktif kaynak, çelik kablo ve makara sisteminden ibaret bir uzaktan kumanda yardımıyla ve bir boru veya kılavuz hortum kullanılarak ışınlama konumuna getirilir. İkinci kategoriye giren muhafaza kapları hem P sınıfı hem de M sınıfı ile birleştirilerek (P2-M2) kullanılabildiklerinden, birinci kategori cihazlara nazaran daha yaygın kullanılmaktadırlar.

Işın Enerjisinin Ve Şiddetinin Seçimi

X-ışınları enerjisi kilovolt (Kv) birimi ile anılır. Kv aslında x ışını cihazı içinde elektronları hızlandıran elektrik alanının gerilimidir. Bu değer x ışınlarının enerjisi ile orantılı bir değerdir.

Radyografi pratiğinde ışın şiddeti yerine kaynak şiddeti kullanılmaktadır. X-ışınlarının kaynağı flaman akımıdır ve miliamper (mA) birimi ile cihaza takılı ampermetreden doğrudan okunur.

Işın şiddeti (I) ile zamanın (t) çarpımına radyografide ‘ışınlama’ denir. Bu tanıma göre ışınlama bir noktaya birim zaman süresince düşen ışın dozudur. $E = I \times t$ mA/dak (E = ışınma)

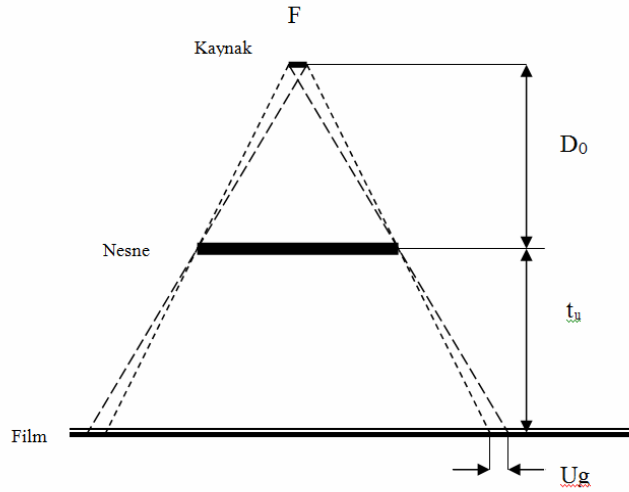
1.7.3. Radyografi Görüntü Kalite Faktörleri

Radyografinin kalitesine etki eden başlıca beş faktör söz konusudur. Bunlar geometrik faktör, radyasyon kaynağı faktörü, film faktörü, ekran faktörü ve poz (ışınlama) süresidir.

1.7.3.1. Geometrik faktör

Bir radyasyon kaynağı nokta kadar sonsuz küçük olamayacağından, radyografik görüntü hiçbir zaman tam net olmayacaktır. Net olmayan bu kenarlara, radyografide yarı gölge denir.

Geometrik etkenlerle oluşan yarı gölgenin kontrol edilmesi ve daha net bir film elde edebilmek için, radyasyon kaynağının boyutu küçültülmeli, kaynak – film uzaklığı mümkün olduğu kadar büyük tutulmalı, malzeme filmin üzerine yerleştirilmeli ve radyasyonun filme dik gelmesi sağlanarak önlenabilir



Şekil 1.53.Radyografik görüntü ve yarı gölge oluşum geometrisi

$$U_g = F \cdot (t_u / D_0)$$

U_g : Geometrik yarıgölge (mm), F: Kaynak boyutu,

D_0 : Kaynak malzeme uzaklığı, t_u : Malzeme film uzaklığıdır.

1.7.3.2.Radyasyon kaynağı faktörü

Radyografiye etki eden radyasyon kaynağı faktörleri kaynağın boyutu, şiddeti ve enerjisidir. Radyografide kullanılan radyasyonun x ışını tüpünden veya radyoizotoptan gelmesi, esas itibarıyla radyografik görüntüde herhangi bir değişime neden olmaz.

Tüp gerilimi (kV) değiştirilerek x ışınlarının enerjisi değiştirilebilir. Buna karşın, oluşturulan x ışınlarının miktarı, akımı (mA) değiştirerek ayarlanabilir. Bu bağlamda, radyasyonun enerjisi kalite faktörü, şiddeti kantite faktörü olarak ifade edilebilmektedir. Böylelikle, x ışınlarını kalite ve kantite faktörleri x ışını cihazı kumanda kısmından kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

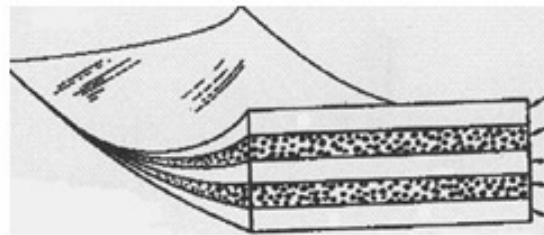
Gama ışınlarının enerjisi veya kalite faktörü, radyoizotop kaynağın enerjisi (MeV) ile ifade edilmektedir. Buna karşın kantite faktörü ise, radyoizotopun aktivitesi (Ci) ile ilgilidir. Gama ışınlarının enerjisi değiştirilmek istendiğinde kaynağın değiştirilmesi, kantite faktörü değiştirilmek istendiğinde ise radyoizotopun aktivitesinin değiştirilmesi gerekmektedir.

1.7.3.3.Radyografik film

Radyografiye etki eden film faktörleri arasında filmin hızı ve emülsiyonunda bulunan AgBr kristallerinin boyutlarıdır. Kristal boyutları filmin kontrast ve tanımına etki eder. Diğer faktörler sabit kaldığında filmin hızı, kristallerin boyutlarıyla ters orantılıdır. Bilinen radyasyon poz süresinde filmin hızının bilinmesi ile film yoğunluğu tayin edilir. Hızlı film daha az poz süresi ister. Fakat uygulamalarda hızlı filmler tercih edilmez. Çünkü bu tür filmlerde tanımlama tam sağlanamaz. Yavaş ve orta hızlı filmler tercih edilir.

Şekil 1.54’de radyografik filmin hangi tabakalardan oluştuğu şematik olarak gösterilmektedir. Film tabanı olarak saydam asetat veya polyster kullanılır. Filmlerin iki tarafı da elektromanyetik radyasyona ve ışığa duyarlı emülsiyonla kaplanmıştır. Filmin iki tarafının da emülsiyon tabakası ile kaplı olması poz süresini kısaltır ve daha ekonomik sürede film çekmemize olanak sağlar. Bu duyarlı emülsiyon tabakası genellikle gümüş halojenür kristalleri içeren sodyumbromid den meydana gelir. Filmin en dış tabakası ise emülsiyon tabakasını, çizilme ve hasarlara karşı koruyan jelâtin tabakasıdır.

Film üzerindeki gizli görüntü AgBr kristallerinin elektromanyetik radyasyon tarafından iyonize edilmesi sonucu oluşur. Ancak bu görüntü geliştirilmeden görünür hale gelmez. Filmin banyosu esnasında, AgBr tanecikleri siyah metalik gümüş taneciklerine indirgenerek gizli görüntü görünür hale gelir.



Koruyucu tabaka
Emülsiyon
Asetat taşıyıcı
Emülsiyon
Koruyucu tabaka

Şekil 1.54. Filmin yapısı

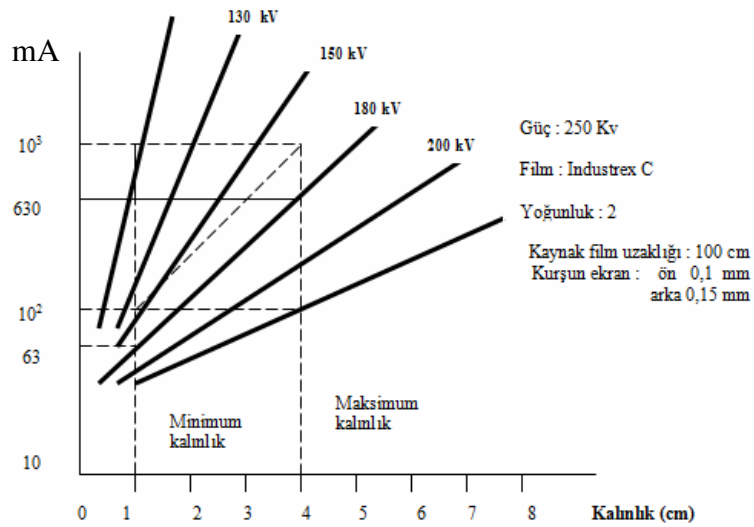
1.7.3.4.Pozlama süresi

Radyografi üzerinde istenen film yoğunluğunun elde edilmesi için radyografi çekilen malzemenin belli bir süre radyasyona maruz bırakılması gerekir ve bu süre poz süresi (ışınlama süresi) olarak adlandırılır. Poz süresi, radyografi kalitesine etki eden diğer dört faktör bulunduktan sonra hesaplanan önemli bir faktördür.

Herhangi bir malzemedan yapılmış belli bir kalınlıktaki muayene parçasının pozlama süresini hesaplamak için poz çizelgeleri kullanılır. Bu çizelgeler farklı film türleri, gama ve x ışını cihazları, film – odak mesafesi (FFD), belli bir yoğunluk (D) ve belli banyo koşulları için hazırlanmışlardır. Poz çizelgelerinden, belirli malzeme cinsi (Örneğin çelik), banyo koşulları, film cinsi, odak-film uzaklığı ve film yoğunluğu elde etmek için, farklı malzeme kalınlıklarına göre gerekli ışınlama süreleri hesaplanabilir. Işınlama tabloları genellikle x ışını cihazı üreticileri tarafından deneysel olarak oluşturulup yayınlanmaktadır. X ışınları için poz tablosunun hazırlanmasında aşağıdaki parametrelerin sabit tutulması gerekir.

- X ışını tüpü,
- Film tipi ve yoğunluğu,
- Developman ve malzeme,
- Güçlendirici ekran ve kaynak film mesafesi.

Geliştirilecek poz tablosu için radyografi alınacak malzemenin cinsinden basamaklı görüntü kalite göstergesine ihtiyaç vardır. Bunların kalınlığı x ışını tüpünün menzilinde olması gerekir. Her bir basamağın yoğunluğu yoğunlukölçer ile ölçülür ve ilgili basamak kalınlığına göre grafiklenir. Her farklı kV için bir poz süresi ortaya çıkar.



Şekil 1.55. X ışını için poz grafiği

1.7.4. Radyografik Işınlama ve Film Çekim Teknikleri

1.7.4.1. Radyografide kullanılan ışınlama hesapları

Kaynaktan belirli mesafedeki radyasyon miktarı, ışınlama zamanı ile radyasyon şiddetinin çarpımına eşittir.

$$Q = I \times T_X$$

Q= radyasyon miktarı (röntgen), I= röntgen / s, T_x= zaman (saniye)

Işınlama şiddeti doğrudan doğruya tüpten geçen akımla ve radyoaktif maddenin aktivitesi ile ilgilidir. Akım artarsa, şiddet akımla doğru orantılı olarak artacaktır.

$$M1 / M2 = I1 / I2$$

M1 = birinci durum için tüp akımı (Ma) M2 = ikinci durum için tüp akımı (Ma)

I1 = birinci durum için şiddet (R/s) I2 = ikinci durum için şiddet (R/s)

Şiddetle akım arasındaki ilişki matematiksel olarak gösterilmektedir. Akım, şiddetle orantılıdır.

$$Q = M \times T_X$$

E = M x T_X Işınlama birimi miliamper.s'dir. Işınlama kaynağı olarak radyoizotop kullanıldığında tüp akımı yerine radyoizotopun aktivite değeri M = C alınır.

Radyasyon şiddeti, mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişir. Bu durum matematiksel olarak ters kare kanunu olarak adlandırılır ve eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilir.

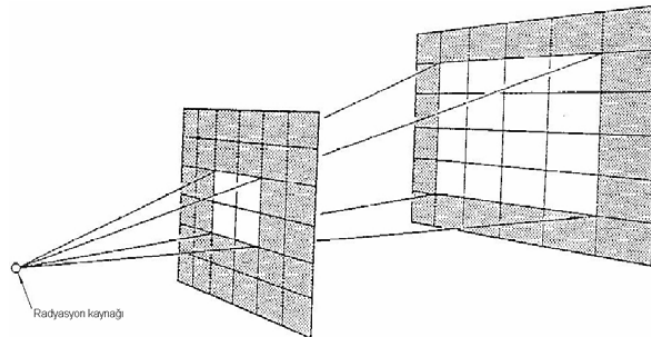
$$I_1 / I_2 = D_2 / D_1$$

I_1 = D1 noktasındaki radyasyon şiddeti, I_2 = D2 noktasındaki radyasyon şiddeti,

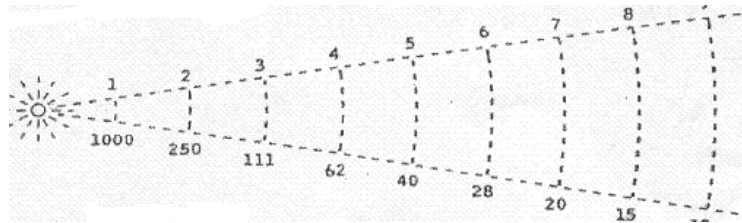
D_1 = Birinci nokta ile kaynak arasındaki mesafe,

D_2 = İkinci nokta ile kaynak arasındaki mesafedir.

Bu kanun, mesafeyi iki katına çıkardığımızda, alacağımız radyasyon dozunun $\frac{1}{4}$ 'e düşeceğini belirtir. Şekil 1.56 a'da diyagramda uzaktaki kare grubu birinci kare grubunun radyasyon kaynağından uzaklığının iki katı mesafede olduğu görülmektedir. Şekil 1.56 b'de ise mesafenin radyasyon emniyeti açısından ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Radyasyon kaynağına yaklaşıldıkça da aynı kanun geçerlidir.



a) Radyasyon şiddeti



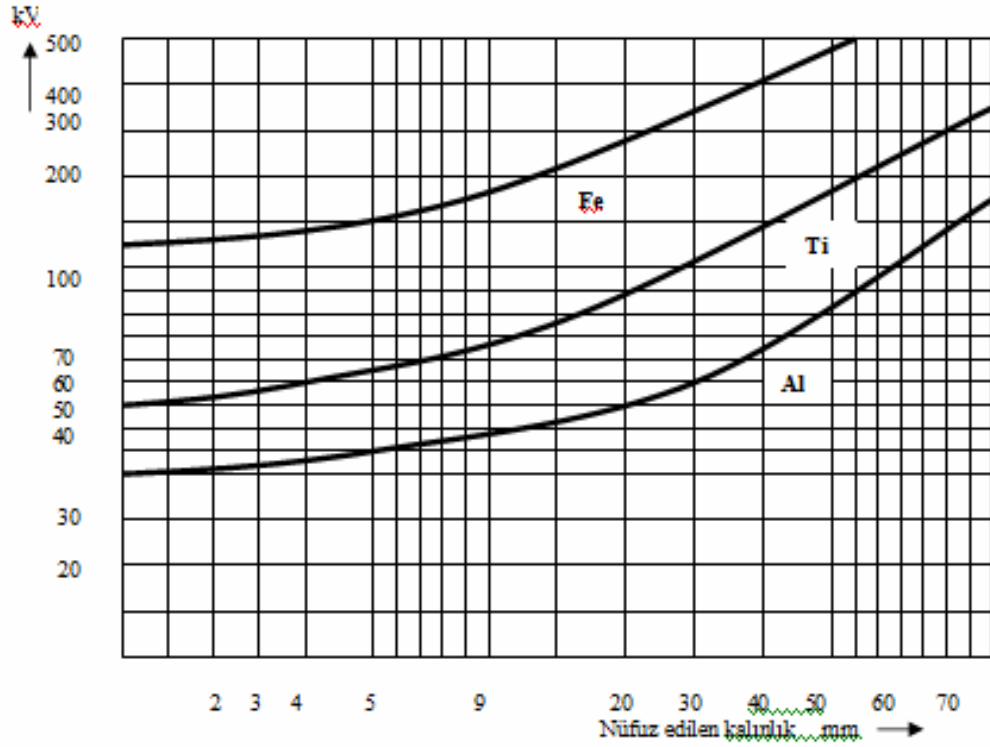
b) Radyasyon etkisi

Şekil 1.56. a) Ters kare kanunu b) Radyasyon etkisi

1.7.4.2. Tüp gerilimi ve radyasyon kaynağının seçimi

X ve gama ışının seçimi muayene edilecek malzemenin kalınlığına, cinsine, kullanılacak ışınlama düzenine ve gerekli olan muayene sınıfına göre yapılır. Radyografik teknikler hatayı algılayabilme hassasiyetine göre muayene sınıfı A ve B olmak üzere iki gruba ayrılır. Genel amaçlı muayeneler için A sınıfı, yüksek hassasiyet gerektiren durumlar için B sınıfı muayene metotları kullanılır.

Hata tespit hassasiyetini iyi bir durumda muhafaza etmek için x ışınları tüp gerilimi mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır. Tüp geriliminin en büyük değerleri şekil 1.57’de verilmiştir.



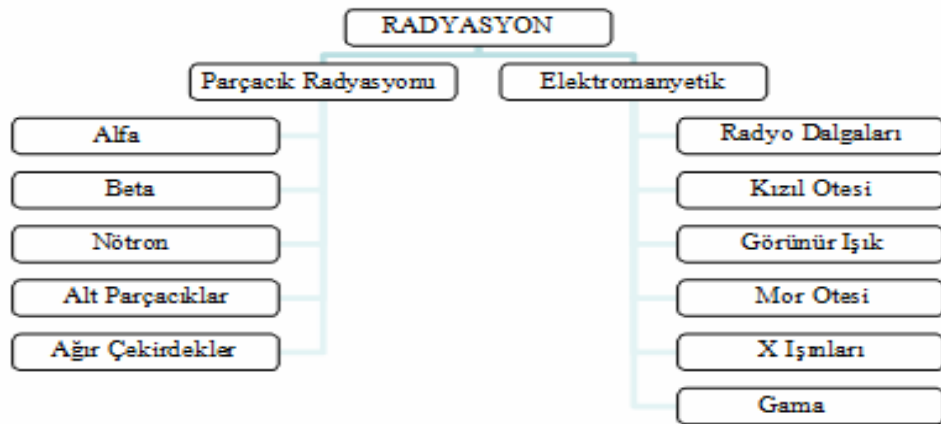
Şekil 1.57.X ışınları cihazları için en büyük x ışını gerilimleri

1.7.5.Radyasyon

1.7.5.1Radyasyon ve Radyasyon çeşitleri

Radyasyon, iç dönüşüm geçiren veya dalga tabiatına uyan atomlar tarafından yayımlanan, boşluğa ve madde içerisine enerji transferi olarak tanımlanır. Yayımlayan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir. Radyasyon ile ilgili dört ana parametre kullanılır.

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)
- Aktivitesi



Şekil 1.58.Radyasyon parametreleri

Yüksek enerjili radyasyon iyonize radyasyon olarak da tanımlanır ve atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. Bunlar: Alfa, Beta, Gama ve X-Işımları'dır.

Düşük enerjili ya da iyonize olmayan radyasyon ise etkileştiği materyal içindeki atomları yeteri kadar enerjisi olmadığı için iyonize edemez ve sadece uyarmakla yetinir.

Mikrodalgalar, görünür ışık, radyo dalgaları, kızılötesi ve morötesi ışık iyonize

2. BÖLÜM

DOĞALGAZ BORULARI VE KAYNAK YÖNTEMLERİ

2.1.DOĞALGAZ BORULARI

Doğalgaz boru hatları toplama hattı, iletim hattı ve dağıtım hattı olmak üzere üç grupta toplanır. Gaz toplama boru hattı, kuyudan çıkarılan gazı gaz işleme tesislerine veya daha büyük toplama tesislerine taşır. Gaz iletim boru hattı, kuyulardan çıkarılmış ve işlenmiş temiz, kuru doğalgaz bu hat vasıtasıyla dağıtım bölgelerine, fabrika ve bireysel kullanıcılara taşır. Gaz boru hatlarında gazın hareket ettirilmesi kompresörlerle yapılır ve yüksek basınçlarda çalıştırılırlar.

Boru hattı yapımında kullanılan çelik boruları kazık ve muhafaza olarak kullanılan veya petrol ve gaz kuyularının açılmasında kullanılan çelik borulardan ayırt etmek için hat borusu olarak adlandırılırlar. Hat boruları diğer borulardan farklıdır. Korozyonun azaltılması için hat borularına genellikle iç ve dış yüzeyden kaplama uygulanır. Hat boruları çok farklı çaplarda ve boyutlarda imal edilebilir. Ayrıca farklı bileşime ve mekanik özelliklere sahip çeliklerden birçok farklı yöntem kullanılarak imal edilebilirler.

2.1.1.Hat Borularının İmal Usulleri

Günümüzde üretilen hat borularının imalatında kullanılan ana standart API SPEC 5L'dir. Bu standart dikişsiz ve boyuna dikişli çelik boruları kapsamaktadır. API SPEC 5L; A, B ve X kalite gruplarını ihtiva etmektedir.

Tüm API hat boruları Psi olarak verilen minimum akma mukavemetleri ile gösterilir. Akma mukavemeti çelik muayene numunesinde belirli bir miktar kalıcı deformasyon oluşturan çekme gerilmeleri olarak tanımlanır. A kalite sınıfı 30.000

Psi'lik minimum akma mukavemetine, B kalite sınıfı 35.000 Psi'lik minimum akma

mukavemetine sahiptir. API standardına göre X42, X46, X52, X60, X65 gibi semboller Psi olarak minimum akma dayanımlarını gösterir. Örneğin: X46 gösteriminden; akma dayanımı 46.000 Psi olan malzeme anlaşılır. API standardına göre üretilen hat borusu çelikleri elektrik ark ocaklarında ve bazik oksijen konvektörlerinde üretilmektedir.

Hat boruları, imalatında uygulanan yöntemle göre dikişli ve dikişsiz olmak üzere iki şekilde üretilir. Dikişsiz borular tek tiptir. Dikişli borular kaynak dikişinin şekline göre boyuna dikişli, spiral dikişli boru olmak üzere iki tipe ayrılır. Boyuna dikişli borular, uygulanan kaynak dikişi metoduna göre, elektrik kaynak dikişli boru, toz altı kaynak dikişli boru (SAW), gaz metal ark kaynak dikişli boru, gaz metal ark kaynağı ve toz altı ark kaynağının birlikte uygulanması ile üretilen dikişli boru, aln kaynaklı dikişli boru, çift kaynak dikişli boru olmak üzere altı gruba ayrılır. Spiral dikişli borular uygulanan kaynak dikişi metoduna göre, toz altı kaynak dikişli boru olmak üzere yalnızca tek bir türdür. Bunlara ilave olarak, borular imalatında soğuk genişletme işlemi uygulanıp uygulanmadığına göre, genişletilmiş genişletilmemiş olmak üzere iki gruba ayrılır.

Dikişsiz boru şekillendirilebilen çeliklerden kaynak yapılmadan imal edilen borudur. Dikişsiz boru çeliğin sıcak işlenmesi ile imal edilir. Gerekirse, istenilen şekil, boyut ve özellikleri elde etmek için sıcak işlenmiş boruya, daha sonra soğuk veya sıcak haddeme uygulanabilir. Elektrik kaynak dikişli boru, elektrik direnç veya elektrik indüksiyon kaynağı ile dışarıdan herhangi bir metal ilave edilmeksizin imal edilen boyuna dikişli borudur. Sınıfı X 52'den daha yüksek kaliteli çelikten imal edilen, elektrik direnç ve indüksiyon kaynaklı boruların kaynak dikişleri, kaynak işleminden sonra en az 538 C° sıcaklıkta ısıtılmalı tutulmalıdır. Sınıfı X 52 ve daha düşük kaliteli çelikten imal edilmiş boruların kaynak dikişi benzer şekilde ısıtılmalı tutulmalı veya kaynak bölgesinde martenzit fazı kalmayacak şekilde ısıtılmalı uygulanmalıdır.

Toz altı kaynaklı borular, otomatik toz altı ark kaynağı tezgâhı ile imal edilen boyuna dikişli borudur. Spiral kaynaklı boru üreten makinelerde ana prensip, rulo sac halinde gelen haddelenmiş yassı çelik form verilerek spiral hareket yapması sağlanarak boru üretilir. Kaynak, içte ve dışta en az bir paso olmalıdır. Gaz metal ark kaynak dikişli boru, sürekli gaz metal ark kaynağı ile imal edilen boyuna dikişli borudur. Kaynak,

içte ve dışta en az birer sıradan ibaret olmalıdır. Gaz metal ark kaynağı ve toz altı ark kaynağının beraber kullanılmasıyla üretilen boru, bu iki yöntemin ard arda kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu metot da önce gaz metal ark kaynağı sonra toz altı ark kaynağı uygulanır. Çift kaynak dikişli boru, toz altı ark kaynak işlemi veya gaz metal ark yöntemi yahut da bu iki yöntemin birlikte uygulanmasıyla imal edilen borudur. Spiral kaynak dikişli boru toz altı ark kaynağı yöntemiyle imal edilen helis (spiral) dikişli borudur. Alın kaynaklı boru dikiş kenarlarının kaynak sıcaklığına kadar ocakta ısıtılmasından sonra, kaynağı yapmak için mekanik basınç uygulanmasıyla imal edilen boyuna dikişli borudur. Tablo 2. 1’ de çelik sınıflarına göre imalat metotları verilmiştir.

Tablo 2. 1. Çelik sınıflarına göre boru imalat metotları

Kullanılan kaynak tekniklerine göre boru imalat metodu	Çelik Sınıfı (Standart gösterim)		
	A-25	A ve B	X42 – X80
Dikişsiz	x	x	x
Dikişli			
Boyuna dikişli			
Alın kaynaklı	x		
Ortülü elektrodlu ark kaynaklı	x	x	x
Toz altı ark kaynaklı		x	x
Gaz metal ark kaynaklı		x	x
Gaz metal ark ve toz altı ark kaynaklı			x
Çift dikişli*		x	x
Spiral dikişli**			
Spiral toz altı ark kaynaklı		x	x
(*) Çift dikişli borular 914,4 mm ve daha büyük dış çaplar ile sınırlanmıştır. (**)Spiral dikişli borular 114,3 mm ve daha büyük dış çaplar ile sınırlanmışlardır.			

2.1.2.Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Boru hattı tesislerinde en çok kullanılan boruların kimyasal ve mekanik özellikleri standartlarda belirlenmiştir. API 5L’ye göre boru tesislerinde en çok kullanılan boruların kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri tablo 2. 2. ve tablo 2. 3 de verilmiştir.

Tablo2.2.Dikişle ve dikişsiz boruların kimyasal birleşimi

Boru imalat şekli	Çelik sınıfı	%C	% Mn		% P		% S
		max	min	max	min	max	max
Dikişsiz Boru							
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A 25 - I	0,21	0,3	0,6	-	0,03	0,06
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A 25 - II	0,21	0,3	0,6	0,045	0,08	0,06
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A	0,22	-	0,9	-	0,03	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	B	0,27	-	1,15	-	0,03	0,05
Geniştirilmemiş	X 42	0,29	-	1,25	-	0,03	0,05
Geniştirilmemiş	X 40, X 52	0,31	-	1,35	-	0,03	0,05
Soğuk genişletilmiş	X 42, X 46, X 50	0,27	-	1,25	-	0,03	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 56, X 60	0,26	-	1,35	-	0,03	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 65, X 70, X 80	İmalatçı ile müşteri arasındaki anlaşmaya göre					
Dikişli Boru							
Yalnız elektrik veya alın kaynaklı	A 25 - I	0,21	0,3	0,6	-	0,045	0,06
Yalnız elektrik veya alın kaynaklı	A 25 - II	0,21	0,3	0,6	0,045	0,080	0,06
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A	0,21	-	0,9	-	0,04	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	B	0,26	-	1,15	-	0,04	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 42	0,28	-	1,25	-	0,04	0,05
Geniştirilmemiş	X 46, X 52	0,3	-	1,35	-	0,04	0,05
Soğuk genişletilmiş	X 46, X 52	0,28	-	1,25	-	0,04	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 56, X 60	0,26	-	1,35	-	0,04	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 65	0,26	-	1,40	-	0,04	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 70	0,23	-	1,60	-	0,04	0,05
Geniştirilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 80	0,18	-	1,80	-	0,03	0,018

Tablo 2. 3. API-5L'ye göre boruların mekanik özellikleri

Çelik Sınıfı	Minimum akma mukavemeti		Minimum çekme mukavemeti	
	Psi	MPa	Psi	MPa
A 25	25000	172	45000	310
A	30000	207	48000	331
B	35000	241	60000	413
X 42	42000	289	60000	413
X 46	46000	317	63000	434
X 52	52000	358	66000	455
X 56	56000	386	71000	489
X 60	60000	413	75000	517
X 65	65000	448	77000	530
X 70	70000	482	82000	565
X 80	80000	551	90000	620

2.2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.2.1.HAT BORULARINDA UYGULANAN KAYNAK METODLARI

Uzun mesafeli boru hatlarının oluşturulmasında çelik boruların kaynağı, günümüzde güncel ve önemli bir uygulamadır. Su, doğalgaz ve ham petrol nakil hatlarının artan önemi, bu hatlarda kullanılan çelik boruların kaynağı için yeni teknikler ve ilave malzemeler geliştirilmesine aynı zamanda işlemlerin daha hızlı ve daha güvenilir olması için çalışılmasına neden olmaktadır.



Şekil 2. 1. Doğalgaz boru hattının görünüşü.

Çelik boruların kaynağı, pek çok disiplinin bir arada düşünülmesi ve uygulanması gereken bir konudur. Öncelikle boruların üretiminde başlar ve boruların uç uca çevresel kaynağındaki tekniklerle devam eder. Boruların kaynağında çalışacak kaynakçıların ve yapılan kaynak işlemlerinin kalifikasyonu, kaynakların yapılması ve dikişlerin tahribatsız muayenesi ile son bulur.

Boru hatları kaynaklarında en çok kullanılan iki yöntem gaz metal ark kaynak (GMAW) ve örtülü elektrotla ark kaynak (SMAW) yöntemidir. Toz altı ark kaynak (SAW) ve gaz tungsten ark kaynak (GTAW) teknikleri arazi uygulamalarında çeşitli başarısızlıklar gösterir. Oksi-asetilen kaynak tekniği ise büyük çaplı borularda yetersiz ergitme sebebiyle kullanılamaz. Ayrıca toz altı ark kaynak ve gaz tungsten ark kaynak teknikleri, servis dışı kalmış olan boruların atölyede yapılan ön onarım işlemlerinde kullanılabilir.

Kullanılan bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

A) ÖRTÜLÜ ELEKTRODLA ELEKTRİK ARK KAYNAĞI YÖNTEMİ:

— Avantajlar

- 1) Ekipman maliyeti düşük ve temini kolaydır.
- 2) Kaynak ağzı hataları kolaylıkla düzeltilir.
- 3) Kaynakçı temini kolaydır.
- 4) Otomatik olmadığından ayar deneme çalışması problemleri yoktur.
- 5) Bakım ve onarım sorunları en az seviyededir.

— Dezavantajlar

- 1) Yavaş bir yöntemdir.
- 2) Hata ihtimali fazladır.
- 3) Kaynakçıya çok bağlıdır (hız-kalite).

B) OTOMATİK MAG KAYNAK YÖNTEMİ:

— Avantajlar

- 1) Hızlı bir yöntemdir.
- 2) Hata ihtimali azdır.

3) Operatöre çok bağılı değildir.

4) Cüruf temizlemesi yoktur.

— Dezavantajlar

1) Kaynakçı eğitimi gerektirir.

2) Yatırım maliyeti fazladır.

3) Özel bakım ve onarım personeli ve yedek parça gerektirir.

4) Deneme çalışmaları ve ayar gerektirir.

5) Kaynak ağzı hatalarını tolere edemez.

6) T - birleştirmelerde ve özel yerlerde (dik tepe vb) kullanılamaz.

C) TOZ ALTI KAYNAK YÖNTEMİ:

— Avantajlar

1) Hızlıdır.

2) Hata ihtimali azdır.

3) Operatöre çok bağılı değildir.

— Dezavantajlar

1) Sadece düz pozisyonda kaynak yapabilir.

2) Operatör eğitimi gereklidir.

3) Yatırım maliyeti yüksektir.

4) Özel yetiştirilmiş bakım ve onarım personeli gerektirir.

5) Deneme çalışmaları ve ayar gerektirir.

Toz altı kaynak yöntemi spiral veya düz kaynak dikişli büyük çaplı ve kalın cidarlı boruların imalatında kullanılan bir yöntemdir. Kaynak pozisyon sınırlaması nedeniyle boru hattı inşaatlarındaki simetrik kaynak ağzlarında uygulanamaz. Bu yöntem ile ana hat kaynağı denemeleri de vardır, ancak yukarıda belirtilen nedenlerle tercih edilmemektedir.

2.2.2.Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı

Örtülü elektrot ile ark kaynağı uygulaması bir ergitme kaynak yöntemidir ve bu yöntemde ark örtülü elektrot ile iş parçası arasında yanar. Bu şekilde örtülü elektrodun teli, örtüsü ve iş parçası ergiyerek kaynak metalini oluşturur. Bu esnada açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan cürufta kaynak dikişini örterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar.

Bu yöntem 1,2 mm'den kalın demir veya demir dışı malzemelerin tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilmektedir. Ayrıca, elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımı ile kaynak metalini alaşımlandırarak istenen özelliklerde kaynak bağlantısı elde edilebilmektedir.

2.2.3.Çelik boruların kaynağında kullanılan örtülü elektrotlar

Örtülü elektrotlar arkın oluşturulmasında, sürekliliğini sağlamada ve gerekse kaynak metalinin sağlanmasında kullanılan bir kaynak sarf malzemesidir. Ark kararlılığı, nüfuziyet derinliği, dolgu oranı ve pozisyonda kullanılabilme yeteneği elektrot örtüsünün kimyasal bileşiminden büyük ölçüde etkilenir.

Günümüz teknolojisinde birleştirme kaynağında kullanılan örtülü elektrotlar, genel olarak örtülerinin karakteristiğine göre beş ayrı türe ayrılırlar.

- Rutil örtülü elektrotlar
- Asit karakterli örtülü elektrotlar
- Bazik karakterli örtülü elektrotlar
- Oksit karakterli örtülü elektrotlar
- Selülozik karakterli örtülü elektrotlar

Röntgen kalitesinde kaynak istenildiğinde bazik ve selülozik elektrot olmak üzere iki alternatif vardır. Selülozik elektrotlar genellikle daha hızlı ve daha derin nüfuziyet sağladığı için tercih edilir. İnce cüruf yukarıdan aşağıya düşen pozisyonda kaynak sağlar. Ancak yüksek kaliteli malzemelerde hidrojen difüzyonunun yol açacağı çatlakları önlemek üzere düşük hidrojen bazik elektrot kullanılır.

2.2.4.Boru hatlarının örtülü elektrot ile kaynağında uygulanan teknikler

Boru hatlarında borular yere paralel olarak döşenir. Bu uygulamada boru daima sabittir. Kaynakçı borunun çevresini dolanarak kaynak yapar. Doğal olarak yere paralel deyimini ile borunun tamamen yatay pozisyonda döşendiği şeklinde bir yanlış anlama olmamalıdır. Boru hatlarının örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı kullanarak döşenmelerinde genel olarak aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı olmak üzere iki farklı teknik uygulanır. Yukarıdan aşağı teknik genel olarak alaşımsız çeliklerden yapılmış ve et kalınlığı 12,5 mm'den (1/2 inç) daha ince borulara ancak selülozik elektrotlar kullanılarak uygulanabilir.

Alaşımlı çeliklerden yapılmış kalın cidarlı borularda ise bazik elektrotlar kullanarak uygulanan aşağıdan yukarı kaynak tekniği tercih edilir. Bazı hallerde ise iki yöntemin karışımı da uygulanmaktadır.

Kaynaklar sertifikalı kaynakçılar tarafından yapılmalıdır. Kaynaklar küçük çaplı (4"–12" dahil) borularda tek kaynakçı tarafından yapılır. Büyük çaplı (16"–30") boruların kaynaklanması sırasında oluşabilecek gerilme ve genleşmeler homojen olarak kaynak ağzına dağıtılmalıdır. Bu sebeple iki kaynakçı aynı anda karşılıklı pozisyonlarda çalışmalıdır. Kaynakçı ekibinde, iki kaynakçı, bir borucu, iki kaynakçı yardımcısı, bir veya iki amper ayarı yapan kişi bulunmalıdır. 8" ve daha büyük çaplı orijinal kaynak ağızlı boruların montajında tüm çevrede 1,6mm ağız açıklığı ve 1,6 mm kaynak ağzı yüksekliği olduğundan kök paso yukarıdan aşağı (PG) pozisyonunda yapılabilir.

Lokal tamirlerin kaynaklarında çevrede farklı boşluklar olması nedeniyle kök paso aşağıdan yukarı (PF) pozisyonunda yapılmalıdır. Diğer pasolar yukarıdan aşağı yöntemiyle yapılmalıdır. Burada dikkat edilecek husus her pasonun başlangıç yeri bir önceki pasonun bitiş yerinden 5 cm uzak olmalıdır.

2.2.4.1.Elektrik ark kaynağı ile yukarıdan aşağı kaynak tekniği

Yukarıdan aşağıya kaynak uygulaması aşağıdan yukarı doğru yapılan alışılmış uygulamadan büyük farklılık gösterir. Sıvı haldeki kaynak banyosu kaynak sırasında yukarıdan aşağıya doğru kaynak arkının hareketi yönünde akma eğilimindedir. Doğal olarak banyo üzerindeki cürufta aynı doğrultuda akma eğiliminde olmasına karşın bu kolaylıkla kaynakçı tarafından önlenabilmektedir. Buna dikkat edilmez ise, kaynak dikişinde, bağlantının mukavemetini azaltan cüruf kalıntılarına rastlanır. Sağlıklı

bir kaynak dikişı elde edebilmek için bu tür bir uygulamada, kaynak arkı daima aşağıya doğru akan sıvı kaynak metalinin önünde tutulmalıdır. Bu ise yüksek akım şiddeti ve yüksek bir kaynak hızı ile elde edilebilir.

Kaynak akım şiddeti düşük seçildiğinde yüksek olan kaynak hızı nedeniyle esas metal ergimez ve nüfuziyet azalır. Bu pozisyonda uygun bir çalışma tekniği sonucunda aşağıdan yukarı kaynak pozisyonu ile karşılaştırıldığında oldukça ince görülen fakat sağlıklı kaynak dikişleri elde edilir. İşlem süresi daha kısadır ve elektrot tasarrufu sağlar.

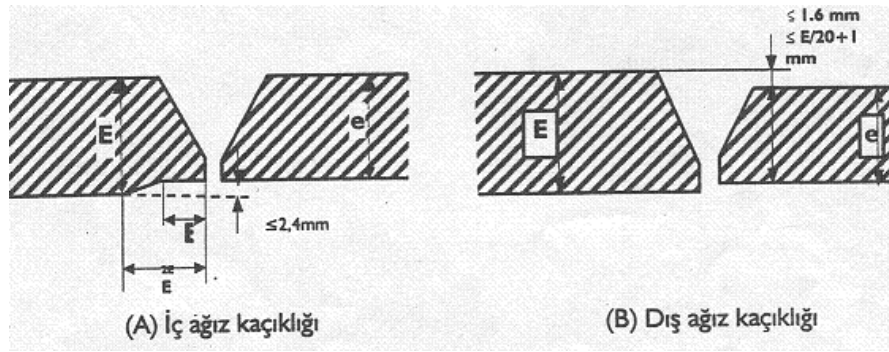
Yukarıdan aşağıya kaynakta selülozik elektrotlar öncelikle kullanılır. Ancak bazı özel bazik elektrotlar da kullanılmaktadır. Minimum akma dayanımı 415 N/mm^2 veya daha büyük olan borulara yumuşak kaynak metali oluşturan bir elektrot kullanmak en uygun çözüm olarak tespit edilmiştir.

Verilen bir akı için selülozik elektrotla elde edilen nüfuziyet derinliği diğer elektrolara nazaran % 70 fazladır. Cürufu ince ve çabuk kalkar. Bunlardan dolayı selülozik elektrotlar boru hattı kaynağının en önemli özelliği olan yukarıdan aşağıya kaynak yapma pozisyonuna uygundur.

2.3.BORU HATLARININ KAYNAĞI

2.3.1. Kaynak İşlemine Hazırlık

Borular toz, yağ ve paslardan arındırılmalıdır. Kaynak işleminden önce borunun iç ve dış bölgeleri temizlenmelidir. Boru iç çapı en az iki bölgeden ölçülmeli ve ovalite olup olmadığı tespit edilmelidir. İki boru arasındaki dış yüzeydeki kaçıklık, maksimum 1,6 mm'yi geçmemelidir. Eğer ağız kaçıklığı 1,6 mm'yi geçerse kaynağa izin verilmemelidir. Saha mühendisinin onayı ile 1,6 mm'den daha büyük lokal kaçıklık bronz kaplı çekiçe dövülerek düzeltilmelidir. İki boru arasındaki iç ağız kaçıklığı 2,4 mm'den daha büyük olmamalıdır. Boru ve bağlantı malzemelerinin kaynak ağzı fabrikada açılmış şekilde sahaya gelmektedir. Kaynaktan önce tüm çevrede kaynak ağzı yüksekliği 1,6 mm, olup olmadığı incelenmelidir. Gerekirse taşlanıp eşitlenmelidir.[45-60]



Şekil 2. 2. İç ve dış ağız kaçıklığı[45]

2.3.2. Isıl işlem aşamaları

Gerek tamirat işleminde gerekse ilk montaj anında kaynak sırasında ana metalin soğuk çatlamasına engel olmak için, kaynak bölgesini ön ısıtmaya tabi tutmak yararlıdır.

Ön ısıtma soğuma hızını yavaşlatmak için yapılır. Özellikle $Ceş d > 0,45$ olan, alaşımlı ve kalın malzemelerde önemlidir. Hızlı soğuma;

- Metallürjik yapıyı daha sert yapar.
- Hidrojenin ve diğer gazların kaçmasına zaman vermez. Kaim parçalarda ise deformasyon imkânı az olduğundan soğurken çekme nedeniyle çatlaklara yol açma tehlikesi vardır. Dolayısıyla ön ısıtmaya, kimyasal bileşim ve kalınlığa bakılarak karar verilir. Genel bir kural olarak $Ceş d > 0,45$ ise 150- 200 °C; $Ceş d > 0,60$ ise 200- 400 °C sıcaklık aralığında ön ısıtma uygulanır.

Kaynağın ısıl işlemi aşağıdaki işlemlerin tümünü içeren bir genel deyimdir.

- Parçanın kaynak öncesi ısıtılması
- Pasolar arasının sıcak tutulması
- Gerilme giderme

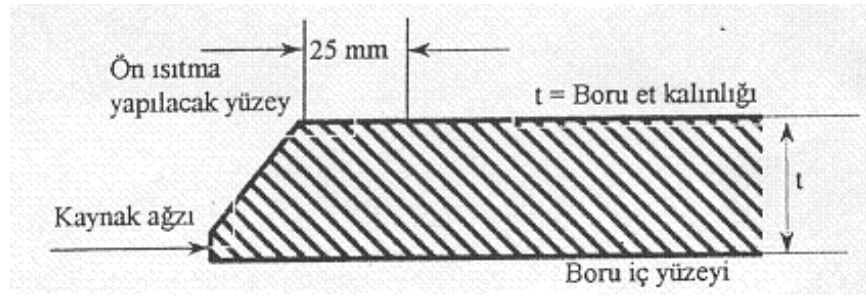
Gerilme giderme; kaynak sırasında oluşan iç gerilmeleri minimize etmeyi amaçlar. Ancak bu arada kopma mukavemetinde bir miktar düşme söz konusudur. Bu nedenle mukavemet iç gerilme durumu optimize edilmelidir. Boru hatların da gerilme giderme olayı çok pahalı bir olaydır. Bu nedenle dizaynda dikkat edilir ve gerilme giderme

tavlama için gerekli kılacak gerilmelere yol açmamaya çalışılır.

Bir kaynak işleminde bütün bu ısıtma aşamalarının uygulanması gerekmez. Şartlar bu aşamalardan bazılarının veya tümünün uygulanmasını gerektirebilir veya aksine hiçbirinin uygulanmasını gerektirmeyebilir.

2.3.3. Çevre şartları

Çevre sıcaklığı 5°C 'nin altında ise borunun veya bağlantı elemanlarının kaynak yapılacak uçlarında uygun bir ısıtıcı ile kaynak ağzından en az 25 mm uzaklığa kadar olan bölgeler ön ısıtma yapılmalıdır. (Şekil 2.2).[60]



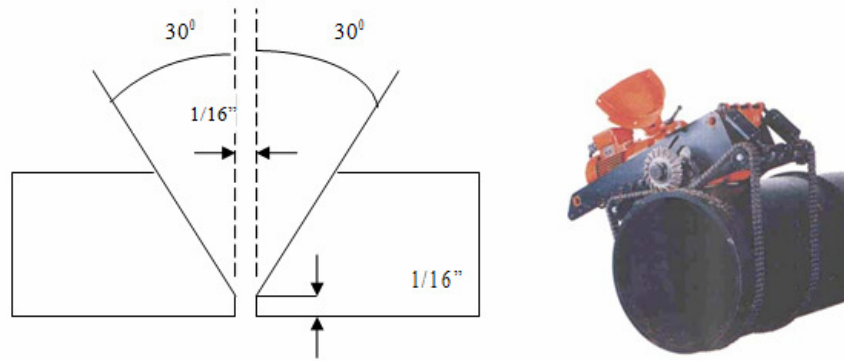
Şekil 2. 3. Ön ısıtmaya tabi tutulacak kaynak bölgesinin şematik gösterimi[45]

Ön ısıtma sıcaklığı boru et kalınlığı 0,275 inç'ten (7mm) az ise 95°C olmalıdır. Boru et kalınlığı 0,275 inç'ten (7mm) büyük ise 150°C olmalıdır. Çevre sıcaklığı $+5^{\circ}\text{C}$ 'nin üstünde olmasına rağmen yağmurlu günlerde sabah saatlerinde rutubetin alınması için boru $20-30^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmalıdır. Hava koşulları uygun olana kadar veya hava koşullarının üstesinden gelmeyi mümkün kılacak önlemler alınana kadar kaynak yapılmasına izin verilmemelidir.

2.3.4. Boruların kaynaklanmasında kaynak ağzı hazırlığı

Boru hatlarında hatasız ve kaliteli bir kaynaklı birleştirme elde etmenin ön koşulu kaynak ağzının gereken şekilde hazırlanmasıdır. Boruların birbirini ağızlayabilmesi için çevre geometrilerinin birbirleriyle uyum sağlaması gereklidir. Zira spiral kaynaklı borularda üretim yönteminden kaynaklanan bir ovallik vardır. Boyuna kaynaklı

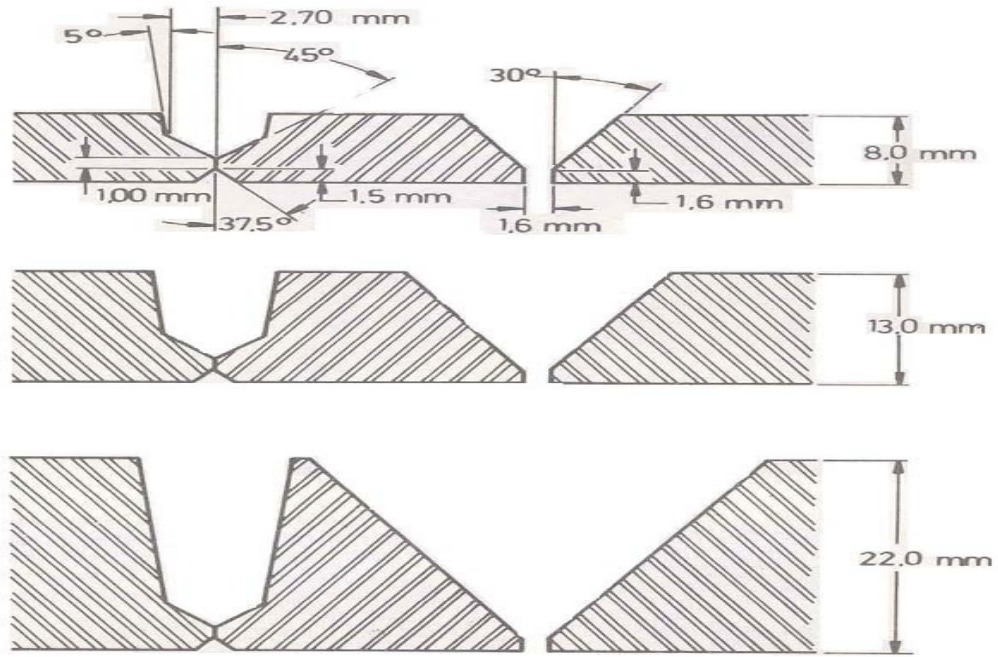
borularda ise kaynak dikişinin bulunduğu kısımda bir düzlük görülür. Boru hatlarının döşenmesinde kaynak öncesi boruların birbirlerini ağızlayıp ve puntaların yapılabilmesi için özel tutturma tertibatları kullanılır. Kaynak ağzı açılmış borular bu tutturma ve merkezleme tertibatı içinde birbirlerini ağızlar iken kaynak ağzının kök aralığı da standardın öngördüğü ölçüde olmalı ve bu aralık bütün çevre boyunca korunmalıdır.



Şekil 2.4. Kaynak ağzı şekli ve kaynak ağzı açma aparatı[55-59]

Kök nüfuziyeti açısından kök yüksekliği ve aralığı çok önemlidir. Yükseklik az olursa içeriye akma yapar, çok olursa nüfuziyet sağlanamaz. Açı dar olursa yanlarda ergime eksikliği, cüruf sıkışması olabilir. Kök aralığı çok olursa yanlarda yanma çentiği ve akma meydana gelir, az olursa nüfuziyet sağlanamaz. Boru kaynaklarında, kaynak ağzı tercihen mekanik olarak açılmalıdır. Kaynakçı, duruma göre ark boyu, hız ve elektrot yönlendirmesi ile nüfuziyeti ayarlayabilmelidir.

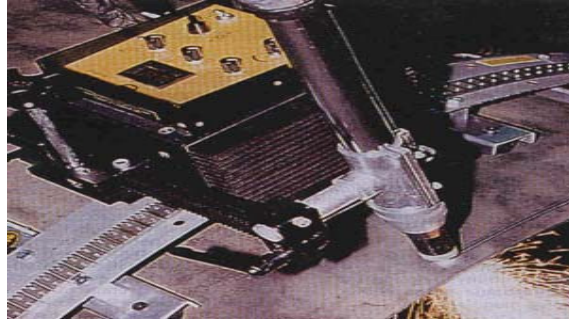
Özellikle boru hattı kaynağı için geliştirilen küçük çaplı tel kullanılan MAG (Metal-Aktif-Gaz) kaynağıdır. Fabrikadan 30°'lik V kaynak ağzı açılarak sevk edilen borular, bu tip kaynak için uygun değildir. Kaynak ağzında olabilecek küçük kaçıklıklar el kaynağında sorun çıkarmayabilir, fakat otomatik MAG kaynağında çok ciddi sorunlar yaratabilir. Bu yüzden kaynaktan önce makinenin özel tornası ile özel kaynak ağzı açılır (Şekil3.4). Kaynatılacak olan borular otomatik MAG kaynak makinesinin kendi iç kelepçesiyle ağız ağza getirildiğinde arada hiçbir aralık bırakılmaz. Dolayısıyla gerekli kaynak metali miktarı, el kaynağına göre daha az olur



Şekil 2. 5. 30⁰ lik standart kaynak ağızları (sağ) ile otomatik MAG kaynağı, kaynak ağızı mukayesesi[60]

Otomatik MAG kaynağında kök paso içerden çekilir, bu suretle kök pasoda olabilecek yanma çentikleri en aza indirilir. Diğer bir avantaj da, kök paso bitmeden, dışarıdan sıcak paso kaynağına başlanabilir. Bu suretle kaynak işlemi hızlandığı gibi iç kelepçe sökölmeden daha mukavemetli bir kaynak elde edilir.

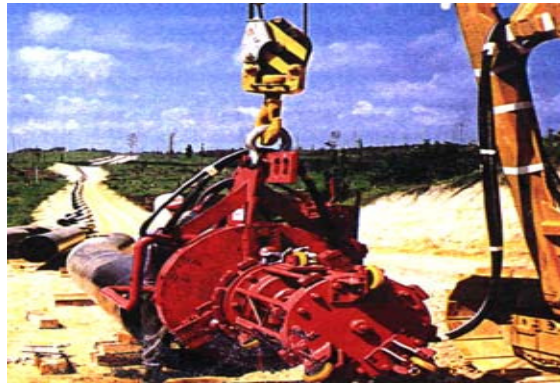
Uygulamada boru hatlarının kaynağında mekanik olarak talaş kaldırarak hazırlanmış kaynak ağızları tercih edilir. Borular döşenecekleri hatta kaynak ağızları boru imalatçısı tarafından hazırlanmış olarak getirilir. Nakliye sırasında da boru ucunun her hangi bir yere çarparak zedelenmemesine özen gösterilir.



Şekil 2. 6. Boruların plazma kesme aparatı [55]

Borular birbirlerine kaynak öncesi puntalanmalıdır. Bu puntalama işlemi boruları ağızlayıp merkezleyen tertibat yardımı ile yapılmalıdır ve kök alın aralığı parça kalınlığına ve uygulanan kaynak yöntemine göre 1/16 ile 1/8 inç. (1,6 ila 3,2 mm.) arasında seçilmeli ve bu değer tüm çevre boyunca sabit tutulmalıdır. Boru çapının

350 mm' yi aştığı hallerde merkezleme tertibatı içten takılan hidrolik tahrikli türden olmalıdır. Zira boru hatlarında kök alın aralığı 1,6 mm olarak sınırlanmıştır. Kalın çaplı borularda bu koşul ancak içten takılan ve hidrolik tahrikli merkezleme tertibatları ile sağlanabilmektedir.



Şekil 2. 7. Conta kaynaklarının merkezleme tertibatı[55]

2.4. BORU KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK SIRASI

Boru kaynağında uygulanan paso sıraları, malzeme et kalınlığı 3 ile 4mm arasında ise işlem üç pasoda kök, sıcak ve kapak şeklinde, et kalınlığı 4 mm'yi geçen borularda kaynak işlemi en az; kök, sıcak, dolgu, kapak olarak 4 paso halinde yapılmalıdır.

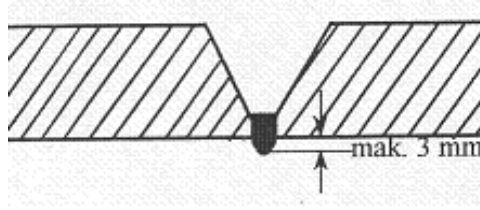
2.4.1.Kök pasosu

Kök pasoda nüfuziyet ve süreklilik çok önemlidir. Boru et kalınlığına uygun çapta elektrot seçilir. Çapı 4"ten 12" e kadar olan borularda 2,5 mm'lik elektrot kullanılır. Tablo 2. 4. de boru çapı ve et kalınlığına bağlı olarak kullanılan elektrot çapları verilmiştir.

Tablo 2. 4. Boru çapları ve et kalınlıklarına uygun elektrot çapları.

Boru çapı, inç	Boru cidar Kalınlığı mm	Kök	Sıcak	Dolgu 1	Dolgu 2	Kapak
4	4,37	2,5	2,5	3,25	-	3,25
6	4,37	2,5	2,5	3,25	-	3,25
8	4,78	2,5	3,25	3,25	-	4
12	5,56	2,5-3,25	3,25	3,25	-	4
16	6,35	3,25	3,25	4	-	4
20	7,14	3,25	3,25	4	-	4
24	7,92	3,25	3,25	4		4-5
28	9,52	3,25	3,25	4	4	5

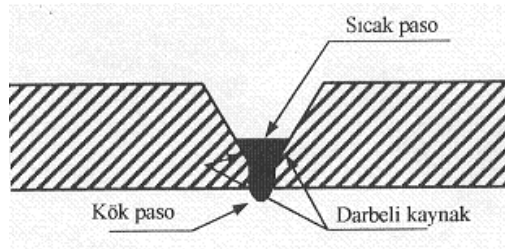
Kaynak ağzı, fabrikasyon olarak hazırlanmış boru-boru kaynağında kök paso yukarıdan aşağıya (4 ve 6" hariç) doğru yapılması durumunda elektroda kesinlikle salınım hareketi verilmemelidir. Elektrodun arkı tamamen borunun iç tarafında oluşmalıdır. Kök paso tamamlandıktan sonra cüruf tüm kaynak boyunca metal parlaklığı görülüne kadar titizlikle temizlenmelidir. Kök paso cürufunun giriciliği fazladır. Bu yüzden temizlik sırasında kaynak metali ile ana metalin birleşme noktalarına dikkat edilmeli, taş kaçırmadan ve pasoyu fazla inceltmeden cüruflar temizlenmelidir. Kök pasoda elektrot eksi kutuplanabilir. Boru bağlantısı kök pasonun bitmesinden sonra yapılacak paso tamamlana kadar kesinlikle hareket ettirilmemelidir. Çapı 12 " den büyük olan borularda kök kaynağı yapılırken kelepçe takılı durumda olmalıdır. Kök pasoda müsaade edilebilecek sarkma en fazla 3 mm olmalıdır. (Şekil 2. 8)[45, 52,55]



Şekil 2. 8. Kök pasoda sarkma[45]

2.4.2. Sıcak pasosu

Sıcak pasoda doğru akım elektrot (+) kutupta kullanılır. Paso yukarıdan aşağı yöntemiyle yapılır. Kök pasonun taşla en kısa sürede temizlenmesinden sonraki 5 dakika içinde sıcak pasonun atılması gerekir. Aksi takdirde soğumanın etkisiyle kılcal çatlaklar meydana gelebilir (Şekil 2. 9) .



Şekil 2. 9. Sıcak paso [45]

Sıcak paso yüksek amperle çekilir ve özellikle kenar kısımlarda (ana metal ile kök pasonun birleşme bölgeleri) darbeli uygulanır. Böylece yüksek amperle çalışıldığında kök paso tamamen temizlenmiş ve aynı zamanda temperlenmiş olur. Bu durumda kök pasonun delinme riskine karşı dikkatli olunmalıdır. Sıcak paso düşük amperle çekildiği zaman kök ve ana metal arasında sıralı cüruf hataları kalabilir.

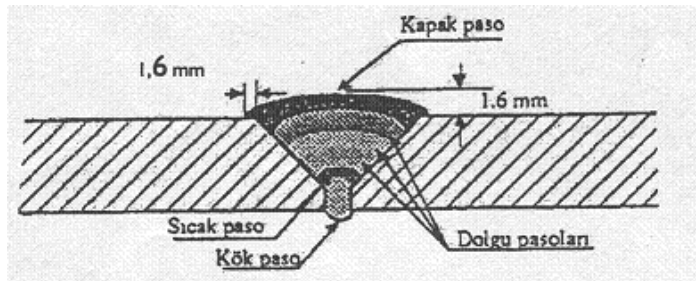
2.4.3. Dolgu pasosu

Dolgu pasosu et kalınlığına bağlı olarak birden fazla olabilir. Farklı pasoların başlangıç noktaları bir önceki pasonun bitiş noktasında en az 5cm uzaktan başlamalıdır. Dolgu pasoları, elektrot çapına uygun amper ve dolgu için gerekli el hareketi ile yapılmalıdır. Her paso tamamlandıktan sonra cüruf kalmayacak şekilde tel fırça veya uygun aletlerle temizlenmelidir. Dolgu pasoları tamamlandıktan sonra kaynak metali

boru yüzeyi ile aynı seviyede olmalıdır. Düşük olan bölgelerde kısa ek pasolar takviye yapılmalı ve boru yüzeyiyle aynı hizaya getirilmelidir.

2.4.4.Kapak pasosu

Kapak pasosunun düzgün olması için elektroda çok düzgün bir salınım verilmesi gerekir. Kapak yüksekliği ve kenar bindirmeleri 1,6mm civarında olmalıdır. Tamamlanmış kaynak yüzeyi, orijinal kaynak ağzı genişliğinden 2–3 mm daha büyük olmalıdır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10.Tamamlanmış kaynak kesiti.[45]

2.4.5.Kaynak sonrası yapılan işlemler

Sıcak, dolgu ve kapak pasoları atıldıktan sonra cüruflar tel fırça ile titizlikle temizlenmelidir. Kaynak sırasında oluşan sıçrattılar boruya hasar vermeden bir keski ile temizlenmelidir. Taşlamalar sırasında kaynak ağız bölgesi dışında taş kaçırmalarına müsaade edilmemelidir.

Sıcak, dolgu ve kapak pasoda ortaya çıkan hataların tamirinde dikkat edilmesi gereken konular aşağıda belirtilmektedir;

Hatanın bulunduğu yer taşlanarak yok edilir, taşlama derinliği ve genişliği hata içeren kaynak pasosunun tümünü kapsayacak boyutta olmalı ve boyu da 100 mm' den az olmalıdır. Tamir yapılacak bölgeye ön tav uygulanır. Ön tav ile kaynak edilen borular tamir edilecek ise tamir ön tav sıcaklığı, birincil ön tav sıcaklığının altında olmalıdır.

Tamir işleminde esas metalin özellikleriyle uyum gösteren rutil veya selülozik örtülü

elektrotlar kullanılabilir. Rutil elektrot kullanılması halinde, elektrot çapı 3,25mm seçilmeli ve aşağıdan pozisyonda bir kaynak tekniği uygulanmalıdır.

2.5. KAYNAK YAPIMINDAKİ ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER VE BUNLARA KARŞI ALINACAK ÖNLEMLER

Kaynaklı birleştirmelerde sorunlardan biri; çekme ve çarpımadır. Kaynak ısıdan etkilenen bölge olarak bilinen alan kaynak metali ve ITAB kaynak ısısıyla önce genleşmeye daha sonrada büzülmeye çalışacaktır. Kaynağın ısınma kısmında metal genleşmesi ve soğuması sırasında büzülme gerçekleşecektir. Bu olaylar kaynağın ısınan kısımlarında meydana gelir. İş parçalarının ısınmayan kısımları ısınan bölgenin şekil değiştirmelerini engellemeye çalışır. Bu engellemeler kaynak bölgesinde gerilmeler oluşturur oluşan gerilmenin şiddetine bağlı olarak kaynak bölgesinde elastik şekil değişimi, plastik şekil değişimi ve hatta lokal kırılmalar (çatlamalar) meydana gelir. Bu olay bir bakıma kaçınılmaz bir fizik kuralıdır.

Genel olarak kaynaklı birleştirmelerde karşılaşılan biçim değiştirmeler;

- Enine çekme,
- Boyuna çekme,
- Açısal çarpılma,
- Kalınlık çekmesi olarak görülür.

Kaynak yapımında parçalarda meydana gelen biçim değişikliklerine karşı alınacak önlemler, parçanın tasarlanması ve kaynağın yapılması, olarak iki ana grup içerisinde ele alınır. Parçanın tasarlanması sırasında alınacak önlemler:

- 1) Kaynak tekniğine uygun bir tasarım yapılmaktadır.
- 2) Özellikle ince saclarda, mümkün olan hallerde, iç köşe dikişleri aralıklı bir biçimde düzenlenmelidir.
- 3) Mümkün olduğunca alın birleştirmeleri tercih edilmelidir.
- 4) Kaynak dikişleri birbirine çok yakın olmamalıdır.
- 5) İş parçasının yapısı, kaynak esnasında kendini çekebilmelidir.

Kaynağın yapımı sırasında alınacak önlemler;

- 1) Uygun bir kaynak sırası takip edilmelidir.
- 2) Elektrot çapı ve akım ayarı parça kalınlığına uygun olarak belirlenmelidir.
- 3) Kaynak ağızları kalın dikişler ile doldurulmalıdır.
- 4) Kısa dikişler çekilmelidir.
- 5) Puntalama yapılmalıdır.
- 6) Yanma oluklarına engel olunmalıdır.

ÇEKİM TEKNİKLERİ VE KAYNAK HATALARI

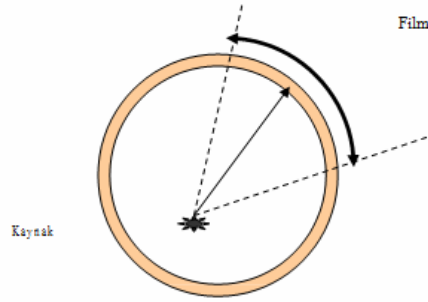
Şekil 3. 1. Elips çekim pozisyonu

Tablo 3. 1. Elips çekim pozisyonu ölçüleri

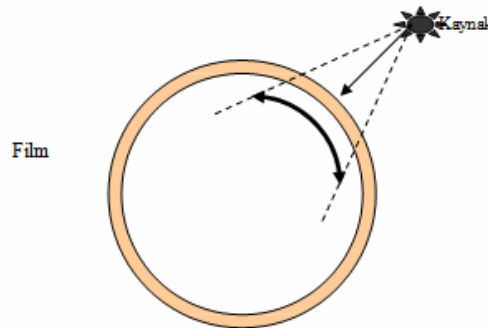
Boru çapı (inç)	B (cm)	H (cm)	X (cm)
1 $\frac{1}{2}$ "	19	48	51
2"	18	56	58
2 $\frac{1}{2}$ "	17	64	66

3.1.2.Tek cidar tekniği

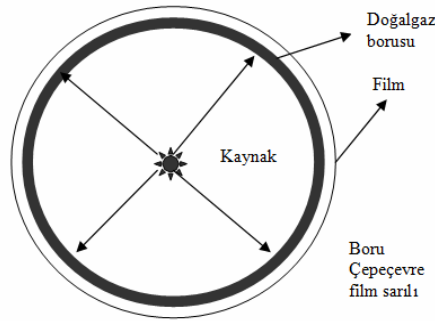
Tek-cidar tekniğinde; radyasyon sadece kabul için radyografide görünmesi istenen sadece bir cidardan geçer. Şekil 3. 2, Şekil 3. 3, Şekil 3. 4' de boru dış çapı $> 3^{1/2}$ inç (89mm) olan malzemelerde bu çekim teknikleri uygulanabilir.



Şekil 3. 2. Film dışarıda, radyasyon kaynağı içerde tek cidar ışınlama



Şekil 3.3. Film içerde, radyasyon kaynağı dışarıda tek cidar ışınlama



Şekil 3. 4. Film dışarıda, radyasyon kaynağı parçanın merkezinde tek cidar ışınlama.

3.1.3.Çift cidar tekniği

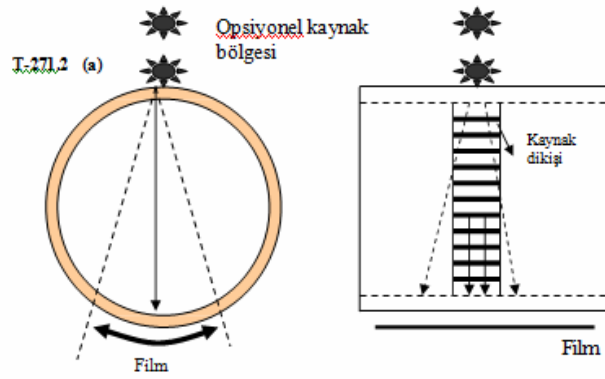
Tek cidar tekniğini kullanmak pratik değilse aşağıdaki çift cidar tekniklerinden biri uygulanacaktır;

a) Tek-cidar görüntüsü: Malzemelerdeki kaynaklar için radyasyonun her iki cidardan geçtiği sadece film tarafındaki cidarda bulunan kaynağın (veya malzemenin) radyografi üzerinde kabul için izlenebildiği bir teknik kullanılabilir. Çevresel kaynakların tamamını kapsamayı istenildiğinde en az 120° Aralıkla üç ışınlama yapılacaktır (Şekil 3. 5). Boru dış çapı $> 3^{1/2}$ inç (89mm) olan malzemelerde bu çekim teknikleri uygulanabilir.

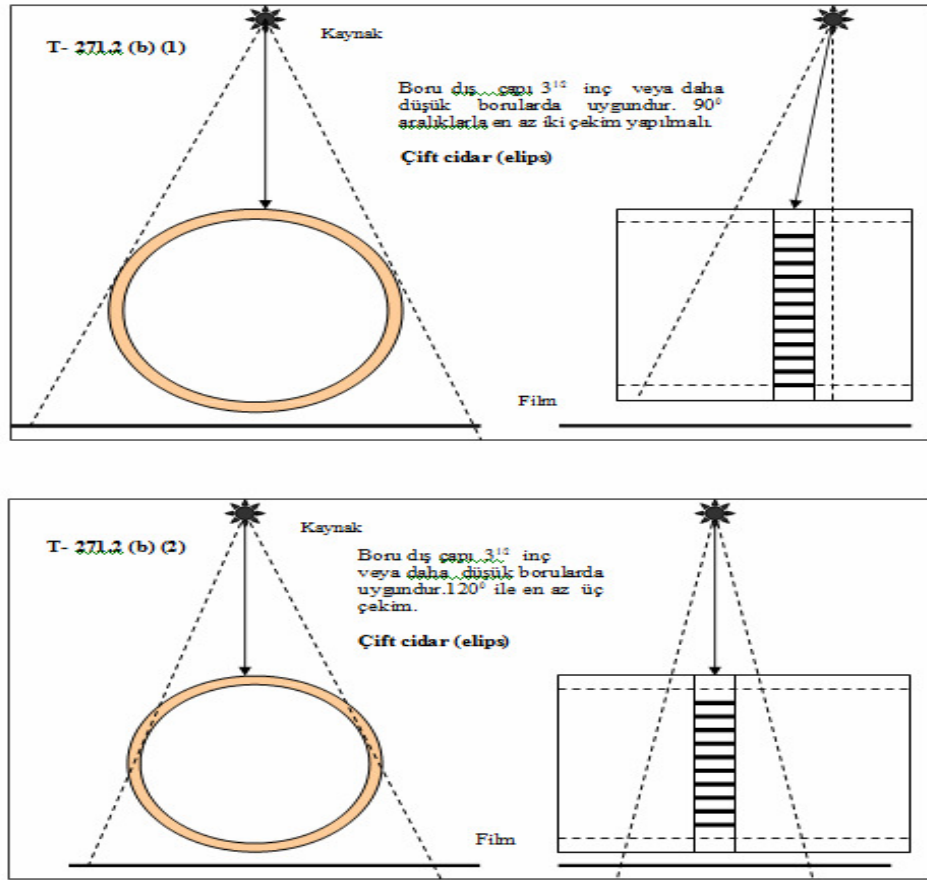
b) Çift - cidar görüntüsü: Nominal dış çapı $3^{1/2}$ inç (89 mm) veya daha az olan malzemelerde ve parçalardaki kaynaklarda radyasyonun her iki cidardan geçtiği ve her iki cidardaki kaynağın aynı radyografi üzerinde kabul için izlenebildiği bir teknik kullanılabilir. (Şekil 3. 6) Çift-cidar görüntü için sadece kaynak tarafı penetremetre kullanılacaktır. İstenilen geometrik düzgünlük değerinin aşılmadığından emin olmak için dikkat edilmelidir. Eğer geometrik düzgünlük şartı sağlanamaz ise tek- cidar görüntüsü uygulanmalıdır.

1) Kaynaklar için: Değerlendirme yapılacak bölgede bindirme olmaması için radyasyon ışını, kaynak düzleminden (film ve kaynak tarafı görüntülerini ayırmak için yeterli olacak bir açıda) kaçırılabilir. Kaynağın tamamının kontrolü istenildiğinde her bir birleştirme için birbirinden 90° farklı en az iki ışınlama yapılacaktır.

2) Alternatif olarak: Kaynak, her iki cidarın (kaynak tarafı ve film tarafı) görüntüsü üst üste gelecek şekilde radyasyon ışını pozisyonlandırılarak radyografi alınabilir. Kaynağın tamamının kontrolü istenildiğinde; her bir dikiş için birbirine 60° veya 120° aralıkla yapılmış en az üç ışınlama yapılacaktır.



Şekil 3. 5. Film ve radyasyon kaynağı dışarıda çift cidar - tek görüntü ışınlama



Şekil 3. 6. Film ve radyasyon kaynağı dışarıda çift cidar – çift görüntü ışınlama teknikleri.

3.2. KAYNAKTA SÜREKSİZLİKLER

Kaynakla birleştirilen iş parçasının malzemesinde veya birleştirme bölgesinde mekanik, metalürjik veya fiziksel özelliklerin homojenliğini bozan sebepler süreksizlik olarak tanımlanmaktadır. Her süreksizlik bir kaynak hatası olarak kabul edilmez. Kaynaktaki bir süreksizlik kaynaklı birleştirmenin kullanım amacı uygunluğuna engel teşkil ederse kaynak hatası olarak tanımlanır. Ergime ile birleştirme yapılan kaynak işlemlerinde meydana gelen süreksizlikler;

AWS' nin (Amerikan Kaynak Cemiyeti) yaptığı sınıflandırma aşağıdaki şekildedir.

- Kaynak yöntemi ve kaynak uygulamasına bağlı oluşmalar.
- Metalürjik mikro yapıdan dolayı oluşmalar.
- Tasarıma bağlı olarak oluşan süreksizlikler.

DIN (Alman Standardı) normunda süreksizlikler; dış kusurlar ve iç kusurlar diye iki

grup altında incelenir.

Uluslararası Kaynak Enstitüsü (İnternational İnstitute of Welding, IWW) süreksizlikleri çatlaklar, boşluklar, kalıntılar, yetersiz ergime ile yetersiz nüfuziyet, dış yüzey hataları ve çeşitli hatalar diye altı ana grup içerisinde tanımlamaktadır. Her gruba üç haneli sayı verilmiş ve her hata bir rakam ile tanımlanmıştır. ISO standardı da IWW standardını kullanmaktadır. Bu standartlarda her ana süreksizlik için üç haneli bir referans numarası verilmiştir. Örneğin 100 sayısı çatlakları ifade etmektedir. Bu süreksizlikler grubunun içindeki her alt terim için dört haneli bir referans numarası kullanılmıştır.

3.2.1.Kaynak Hatalarının Saptanmasında Uygulanan Muayene Yöntemleri

Kaynak bağlantıları kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirebilmeleri için hata içermemeli ve önceden saptanmış mekanik özellikleri sağlamalıdır. Bu bölümün başında da belirtildiği gibi, hataların büyükçe bir kısmı bağlantının içinde bulunduğundan bunların varlığı ancak özel muayene yöntemleri ile belirlenebilmektedir.

Kaynak bağlantılarının değerlendirilmesinde uygulanan muayene yöntemleri esas olarak tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri olmak üzere iki ana grupta toplanır. Birinci gruba giren yöntemler genellikle deney parçası ve çok seyrek olarak da iş parçasına uygulanır ve parça tahrip olduğundan da kullanılmaz duruma gelir.

Kaynak bağlantısının ve kaynak metalinin çekme, akma mukavemetleri, % uzamasının belirlenmesinde başvuru çekiş deneyi bu yöntemlerin en tipik örneğidir. Ayrıca, kaynak bölgesinin (ITAB ve kaynak metali) tokluğunun saptanmasında uygulanan çentik-vurma deneyi, sertliğin belirlenmesinde uygulanan çeşitli sertlik deneyleri, kaynak bölgesinin çatlamadan şekil değiştirme özelliğinin saptanması için uygulanan eğme ve katlama deneyi de bu gruba giren muayenelerdir. Bu muayenelerin karakteristik özelliği deney sonucu bir değer sayısının elde edilmesidir. Bu değer sayıları, özellikle tasarımcıya kaynaklı yapıların projelendirilmesinde vazgeçilmez bir kılavuzdur. Bu gruba giren fakat deney sonucunda özgül değer sayıları vermeyen genellikle atölyelerde işlem öncesi yapılan çok sayıda teknolojik muayeneler de vardır. Bunlar arasında bir parça üzerine çekilmiş dikişin keski ile kaldırılması, dikişin kırılarak kırık yüzeyin muayenesi bu tür deneyler grubuna girmektedir.

3.2.1.1.Süreksizliklerin sınıflandırılması

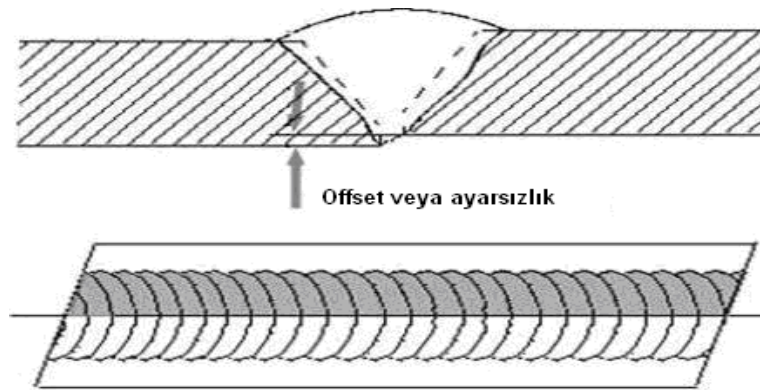
Tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak doğalgaz boru hattındaki dikişlerde meydana gelmesi olası hatalar ve süreksizlikler tespit edilmeye çalışılmıştır. Kaynak süreksizlikleri;

- 1.Mekanik: Ayarsızlık veya kayma
- 2.Yetersizlik: LP, LF
- 3.Metalürjik: Gözeneklilik, Çatlaklar
- 4.Hacimsel: Cüruf, gözenek

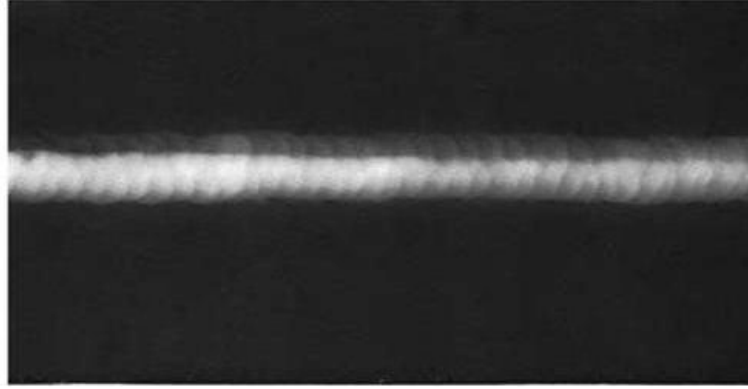
Süreksizlikler: Süreksizlikler bir malzemenin tipik yapısının kesintiye uğradığı yerlerdir. Bu yerler, ana metalde, kaynak malzemesinde veya "ısıdan etkilenen" bölgelerde olabilir.

Hatalar: Bir muayenenin yürütülmesinde ve kontrol edilmesinde kullanılan standartların veya şartnamelerin koşullarını karşılamayan süreksizlikler, hata olarak adlandırılır.

Ofset veya Ayarsızlık: Birbirine kaynaklanan iki parçanın uygun şekilde hizalanmadığı durumlara verilen adlardır. Radyografik görüntüsü, iki parçanın yoğunlukları arasında belirgin bir farktır. Bu yoğunluk farkı, malzeme kalınlığındaki farklılıktan dolayı meydana gelmektedir. Koyu düz çizgi kaynak metalinin kök bölgesiyle birleşmediği yeri göstermektedir. Ofset hataları Şekil 3. 7-8'da gösterilmiştir.[61]

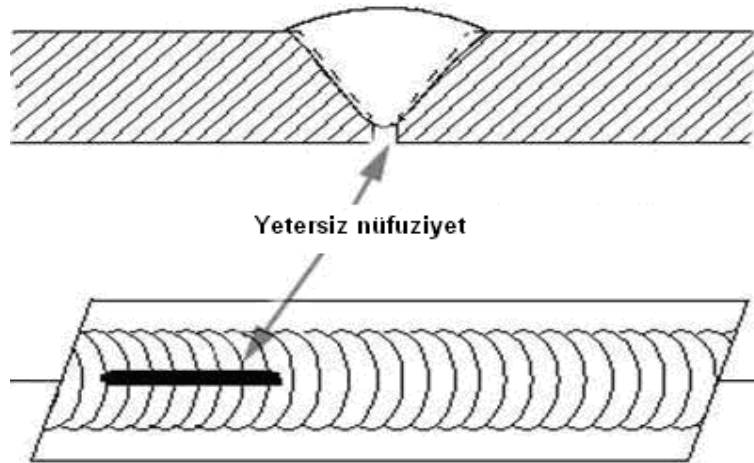


Şekil 3. 7. Ayarsızlığın şematik görünümü

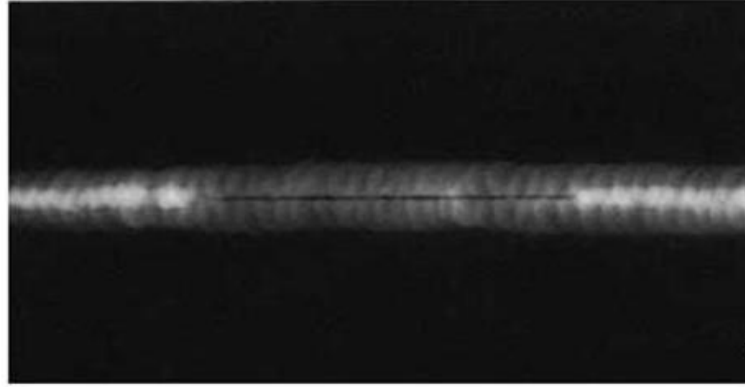


Şekil 3. 8.Ayarsızlığın film görüntüsü[52]

Yetersiz Nüfuziyet (IP) veya Nüfuziyet Eksikliği (LOP): Kaynak metali ek yerine yeterli miktarda girmediği zaman meydana gelir. En çok itiraz edilen kaynak süreksizliklerinden biridir. Nüfuziyet eksikliği, gerilme arttıran doğal bir unsurdur ve bir çatlak oluşmasına yol açabilir. Bir radyografideki görünümü, kaynağın ortasında kök yüzünü takip eden iyi tanımlanmış, düz kenarlı koyu bir bölgedir. Yetersiz nüfuziyet ile ilgili hatalar Şekil 3. 9-10'da gösterilmiştir.[61]

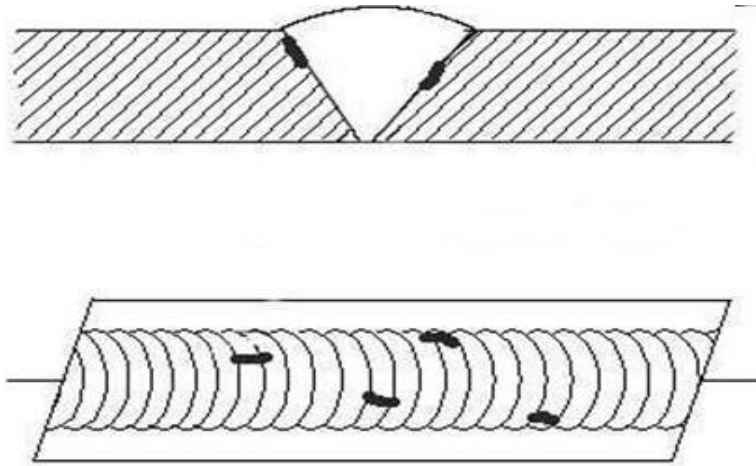


Şekil 3. 9.Yetersiz nüfuziyetin şematik görünümü

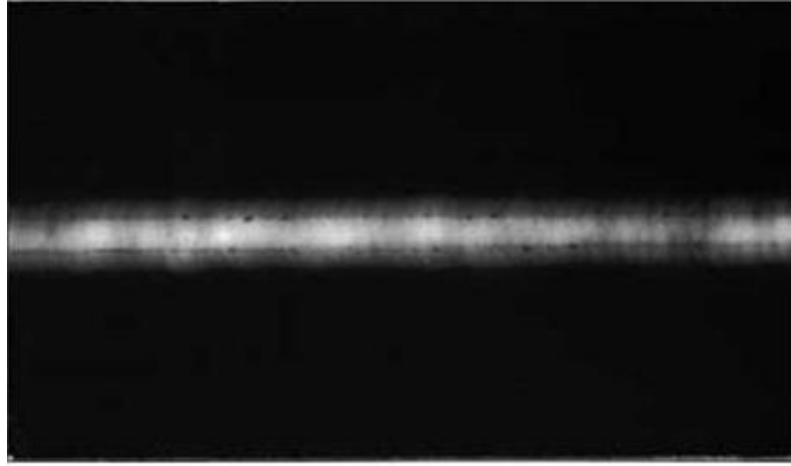


Şekil 3.10.Yetersiz nüfuziyetin film görüntüsü[52]

Yetersiz Birleşme: Kaynak dolgu metalinin ana metalle uygun şekilde birleşmediği durumdur. Radyografideki görünümü genellikle, kaynak hazırlama veya ek yeri bölgesi boyunca, kaynak dikişi yönünde koyu bir çizgi veya çizgiler şeklinde görünür. Yetersiz birleşme ile ilgili hatalar Şekil 3.11-12’de görülmektedir[61]

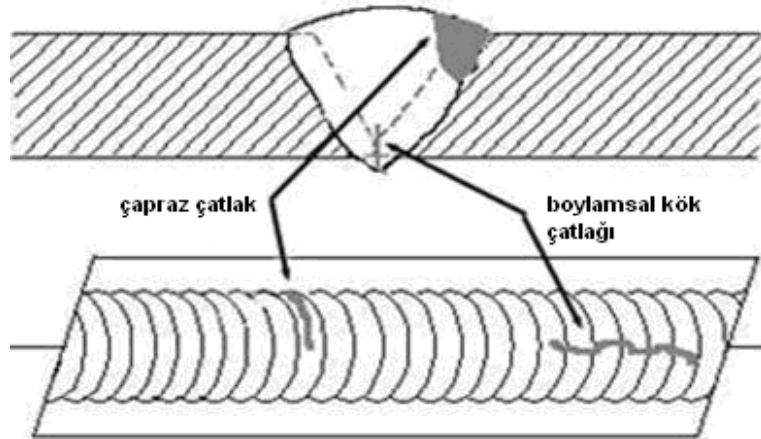


Şekil 3.11.Yetersiz birleşmenin şematik görünümü

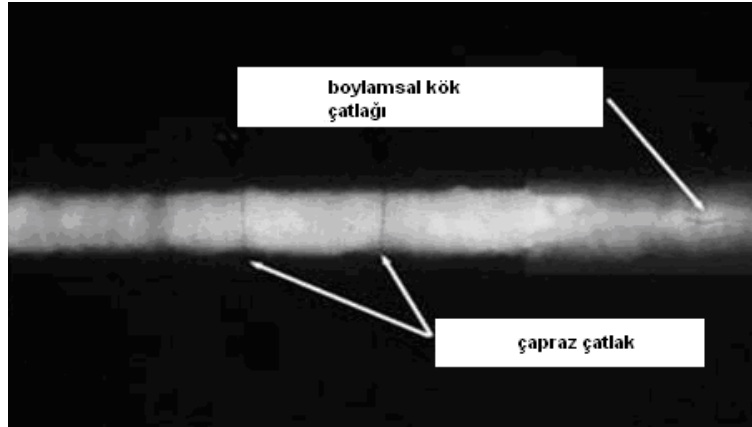


Şekil 3.12. Yetersiz birleşmenin film görüntüsü[52]

Çatlaklar: Bir radyografide sadece x-ışınına paralel yönde kalınlıkta bir değişiklik meydana getiriyorlarsa çatlaklar tespit edilebilirler. Çatlaklar, çentikli veya genellikle çok soluk düzensiz çizgiler şeklinde görünür. Çatlaklar bazen yabancı maddeler veya gözeneklilik üzerinde “kuyruklar” şeklinde de görünebilir. Çeşitli çatlak tipleri ile ilgili gözlemler Şekil 3.13-14’te görülmektedir.[61]

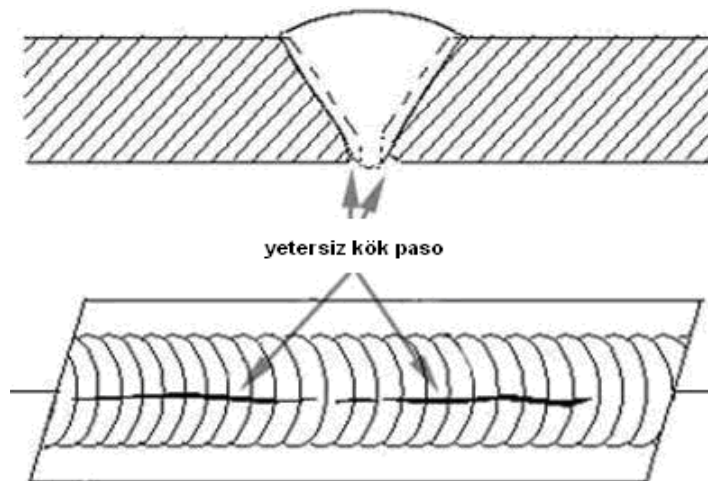


Şekil 3.13.Çatlakların şematik görünümü

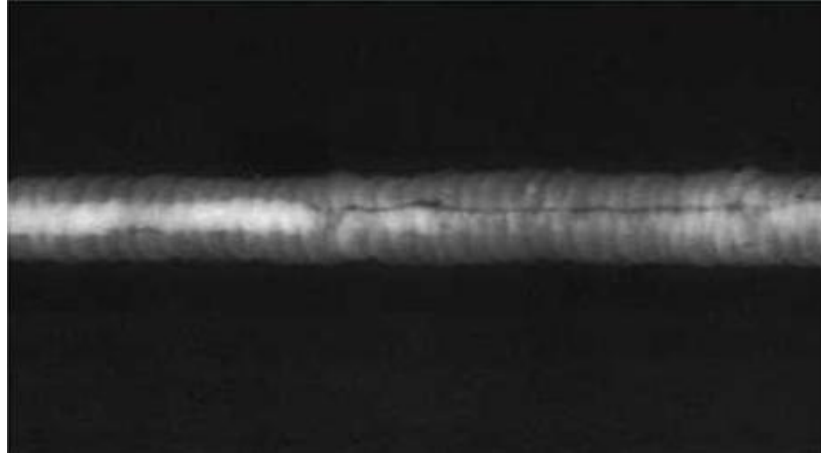


Şekil 3.14.Çatlakların film görüntüsü[52]

İç veya Kök Undercut: Kaynağın kök bölgesinin bitişiğinde ana metalin zayıflamasıdır. Radyografik görüntüde, kaynak ekseninden kaymış koyu düzensiz bir çizgi olarak görünür. Undercut, LOP gibi düz kenarlı bir çizgi değildir, çünkü bir taban kenarını takip etmemektedir. Çeşitli kök kusurları. Şekil 3.13-14’de verilmektedir.

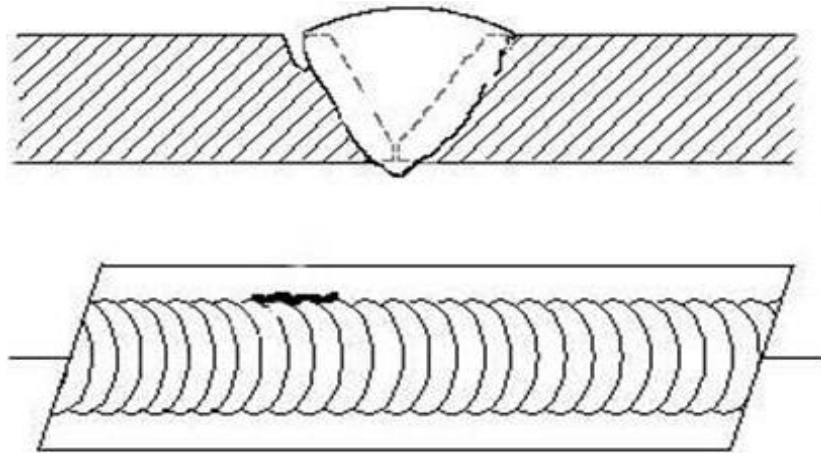


Şekil 3.15. İç veya kök undercut ’ı şematik görünümü

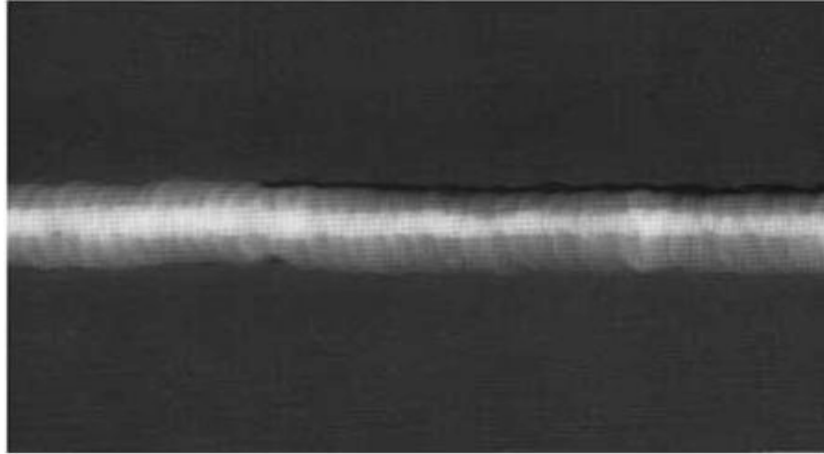


Şekil 3.16 İç veya kök undercut 'ı film görüntüsü[52]

Dış veya Tepe Undercut: Kaynağın üst kısmının bitişiğinde ana metalin zayıflamasıdır. Radyografide, kaynak bölgesinin dış kenarı boyunca koyu, düzensiz bir çizgi olarak görünür. Şekil 3.17-18'de kaynak bölgesi çevresinde gözlemlenen hatalar verilmiştir.

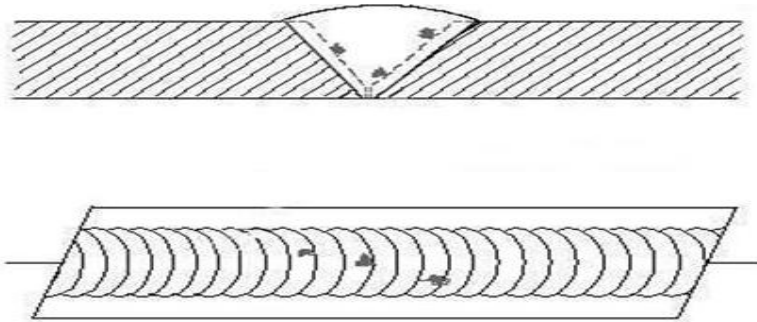


Şekil 3.17. Dış veya tepe undercut şematik görünümü

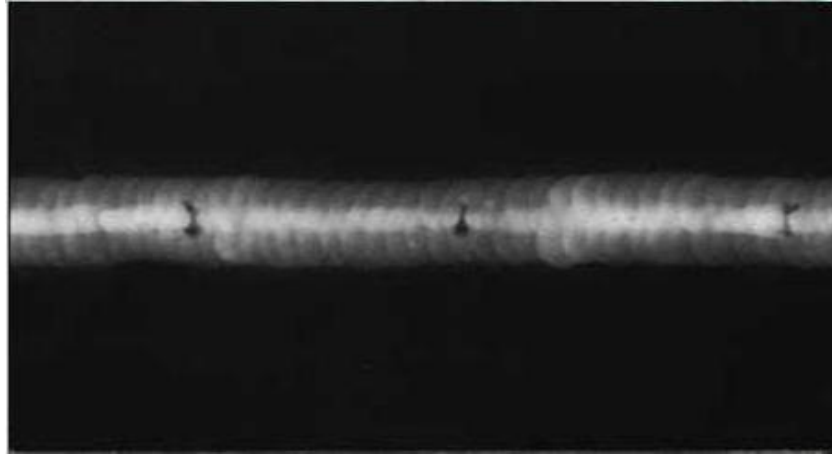


Şekil 3.18. Dış veya tepe undercut film görüntüsü[52]

Cüruf Kalıntıları: Kaynak metalinin içinde veya kaynak metali ile ana metal arasında hapsolmuş metal olmayan katı malzemelerdir. Radyografide, kaynak içinde veya kaynak ek yeri bölgesi boyunca koyu, çentikli, asimetrik şekiller olarak görünürler. Bunlar Şekil 3.19-20’te gösterilmektedir.

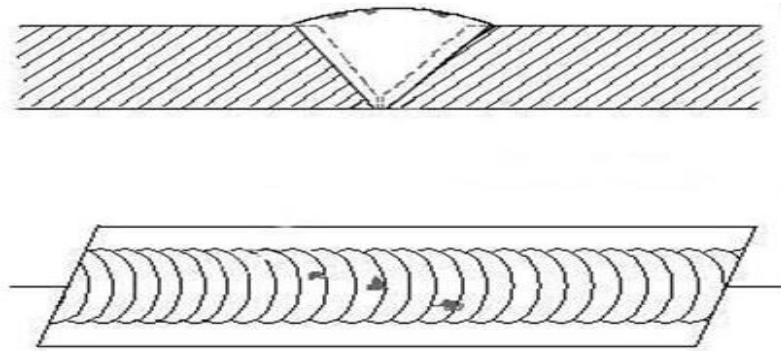


Şekil 3.19. Cüruf kalıntıları şematik görünümü

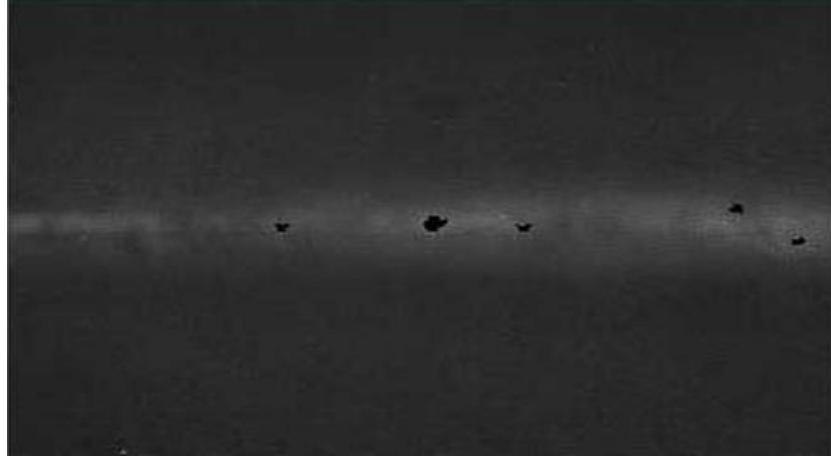


Şekil 3.20.Cüruf kalıntıları film görüntüsü[52]

Oksit Kalıntıları: Genellikle kaynaklanan malzemenin yüzeyinde (özellikle alüminyum) görünebilir. Oksit kalıntıları, civar malzemelerden daha az yoğundur, dolayısıyla radyografide koyu, düzensiz şekilli süreksizlikler olarak görünürler. Bunlarla ilgili bazı görüntüler Şekil 3.21-22’de gösterilmektedir.

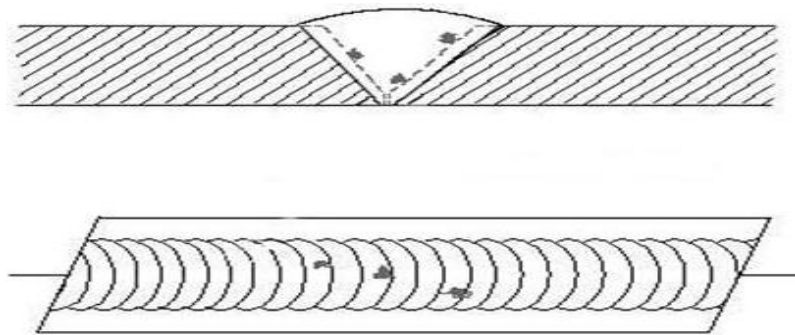


Şekil 3.21.Oksit kalıntıları şematik görünümü



Şekil 3.22. Oksit kalıntıları film görüntüsü[52]

Tungsten Kalıntıları: Tungsten, tungsten soy gaz (TIG) kaynağında elektrotta kullanılan kırılğan ve yoğun bir malzemedir. Uygun olmayan kaynak prosedürleri kullanıldığı zaman, tungsten kaynağın içinde hapsola-bilir. Radyografik olarak, tungsten alüminyum veya çelikten daha yoğun olduğu için, radyografide belirgin sınır çizgileri olan daha açık bir bölge olarak görünür. Çeşitli tungsten kalıntıları şekil 3.23-24’de gösterilmektedir.

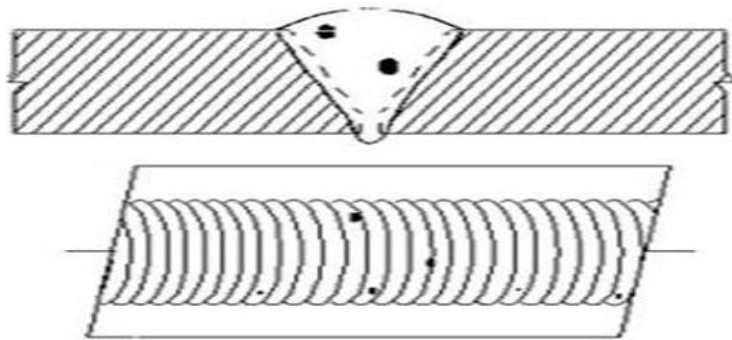


Şekil 3.23. Tungsten kalıntılarının şematik görünümü

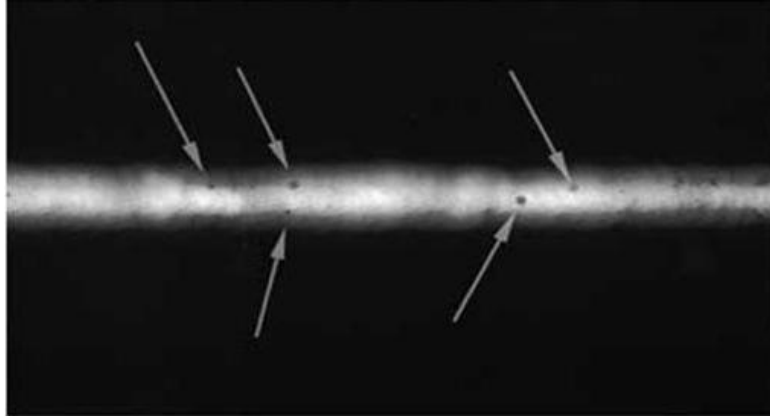


Şekil 3.24.Tungsten kalıntılarının film görüntüsü[52]

Gözeneklilik: Katılaşmakta olan metal içinde gazın hapsolmasının sonucudur. Gözeneklilik, bir radyografide çeşitli şekiller alabilir, fakat genellikle tek olarak, kümeler veya sıralar şeklinde görünen koyu, yuvarlak veya düzensiz noktalar olarak görünür. Bazen gözeneklilik uzun olabilir ve bir kuyruğu varmış gibi görünebilir. Bu metal sıvı haldeyken gazın kaçmaya çalışmasının sonucudur ve kurt deliği tipinde gözeneklilik olarak adlandırılır. Tüm gözeneklilikler, malzeme içinde bir boşluktur ve radyografik yoğunlukları civar bölgelerden fazladır.(Şekil 3.25- 26)

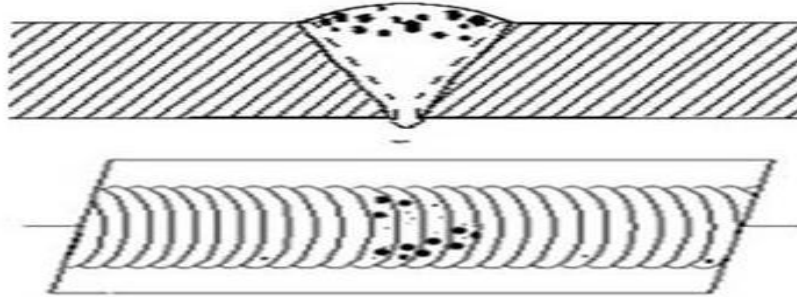


Şekil 3.25. Gözeneklerin şematik görünümü

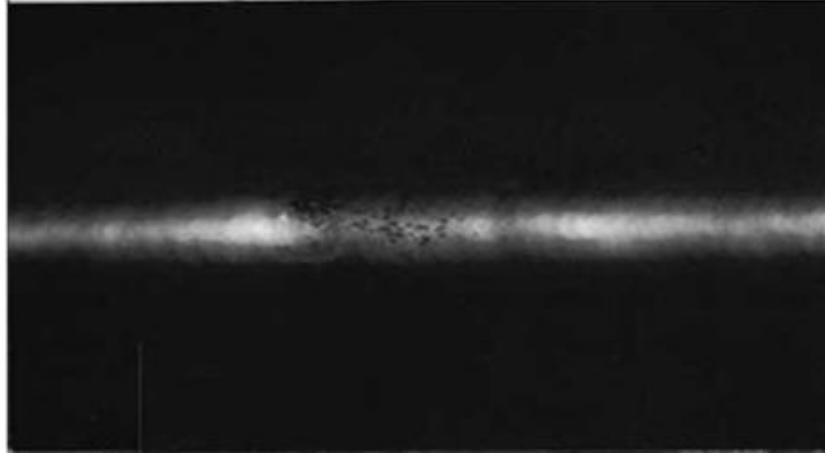


Şekil 3.26. Film görüntüsü[52]

Gözeneklilik Kümesi: Flux kaplı elektrotlar rutubet aldığı zaman meydana gelir. Isıtıldığı zaman, nem gazlara dönüşür ve kaynak işlemi sırasında kaynak içinde hapsolur. Gözeneklilik kümesi, radyografide normal gözeneklilik gibi görünür fakat göstergeler birbirine yakın gruplar şeklinde toplanmıştır. Şekil 3.27-28'da kaynak bölgesi içinde rastlanılan çoklu gözeneklere ait görüntüler verilmiştir.

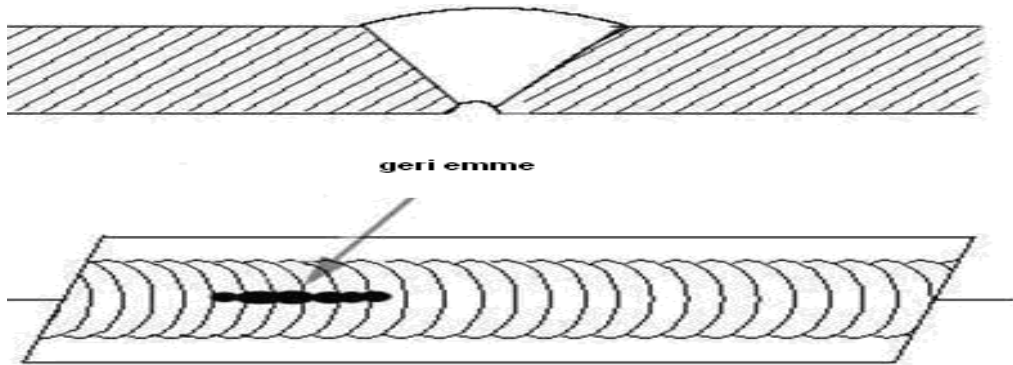


Şekil 3.27.Çoklu gözeneklerin şematik görünümü

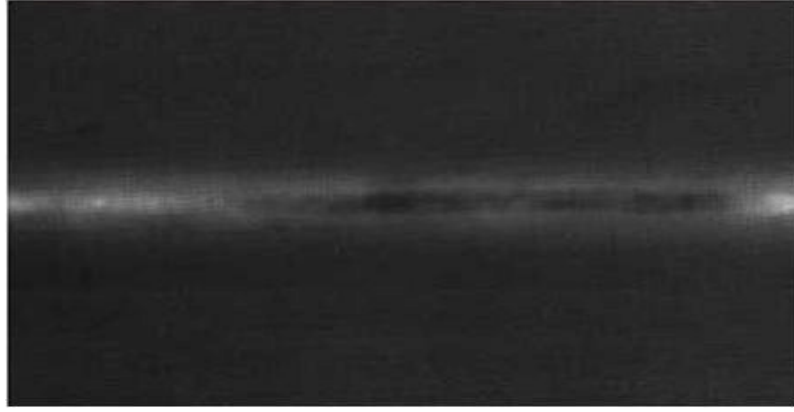


Şekil 3.28. Çoklu gözeneklerin film görüntüsü[52]

İç İçbükeylik veya Geri Çekilme: Kaynak metalinin soğuma sırasında büzüldüğü ve kök bölgesinde içeri doğru çekildiği durumdur. Bir radyografideki görüntüsü nüfuziyet eksikliğine benzer, fakat çizginin düzensiz kenarları vardır ve genellikle kaynak görüntüsünün ortasında oldukça geniştir. Şekil 3.29-30'da kaynak kök bölgesi içinde rastlanılan geri çekilmelere ait görüntüler verilmiştir.

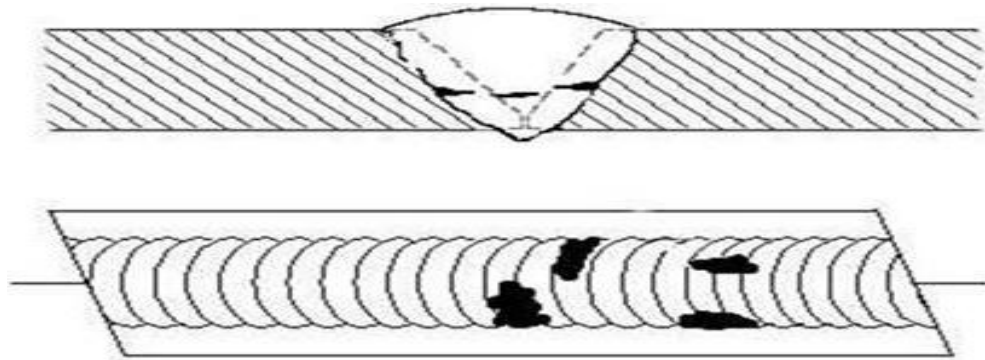


Şekil 3.29. İç içbükeylik veya geri çekilme şematik görünümü

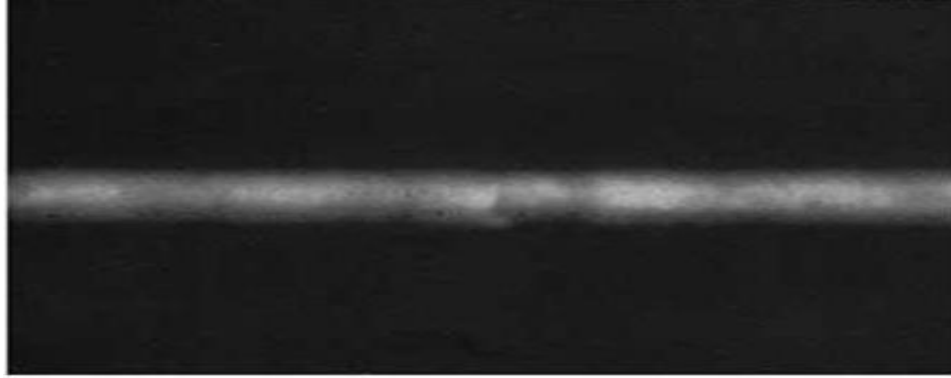


Şekil 3.30.İç içbükeylik veya geri çekilme film görüntüsü[52]

Soğuk Binme: Kaynak dolgu metalinin ana metalle veya bir önceki pasodaki kaynak malzemesiyle (pasolar arası soğuk binme) uygun şekilde birleşmediği durumdur. Ark, ana metali yeteri kadar eritememiş ve hafifçe erimiş kaynak banyosunun birleşmeden ana metale doğru akmasına yol açmıştır. Şekil 3.31-32’de kaynak bölgesi içinde rastlanılan çoklu gözeneklere ait görüntüler verilmiştir.

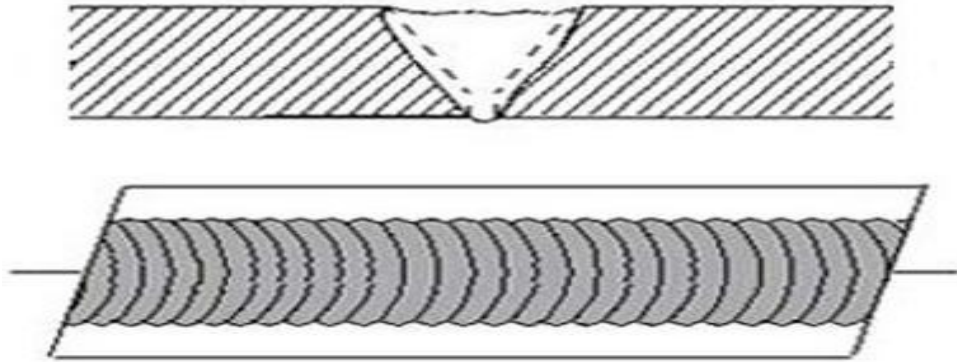


Şekil 3.31. Soğuk binmenin şematik görünümü

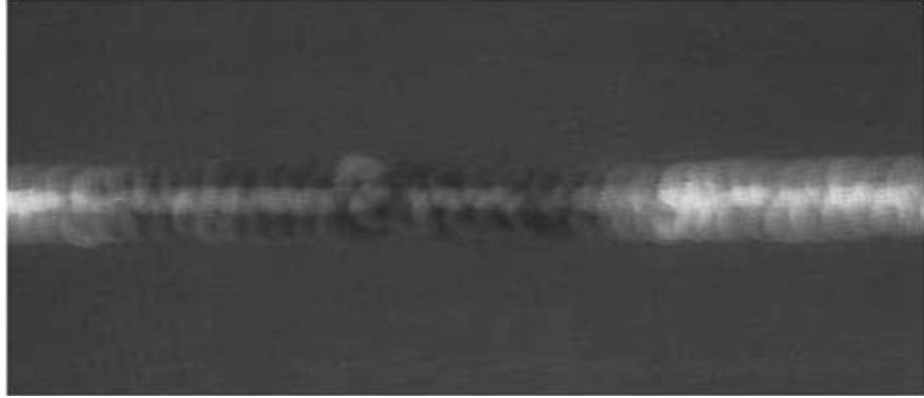


Şekil 3.32. Soğuk binmenin film görüntüsü[52]

Yetersiz Kaynak Takviyesi: Kaynak metalinin kalınlığının ana metal kalınlığından daha az olduğu bölgedir. Radyografide kaynak takviyesinin yeterli olup olmadığının belirlenmesi çok kolaydır, çünkü şüphe edilen yetersizliğin bulunduğu bölgenin yoğunluğu civardaki ana metale göre daha fazla (koyu) olacaktır. (Şekil 3.33–34)

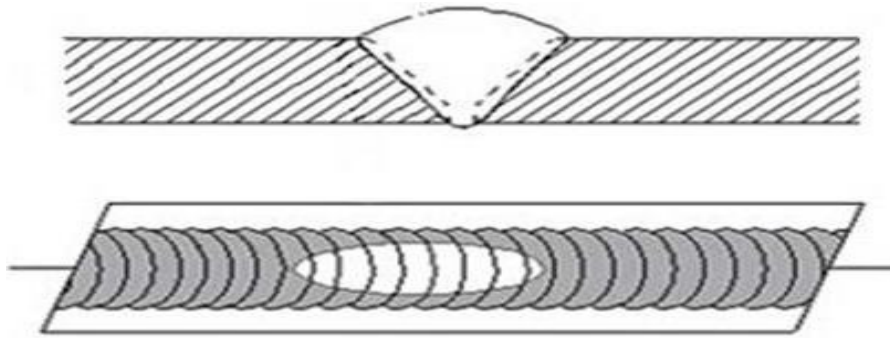


Şekil 3.33. Yetersiz kaynak takviyesinin şematik görünümü

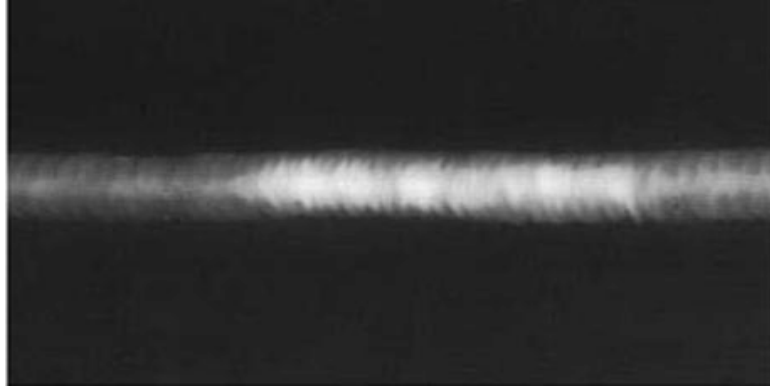


Şekil 3.34.Yetersiz kaynak takviyesinin film görüntüsü[52]

Aşırı Kaynak Takviyesi: Eklenen kaynak metalinin mühendislik çizimlerinde ve kodlarda öngörülenden daha fazla olduğu yerlerdir. Bir radyografideki görüntü, kaynakta yerel daha açık bir bölgedir. Kaynak takviyesinin muayeneyle ilgili kodda öngörülen miktardan fazla olup olmadığı görsel muayeneyle kolayca belirlenebilir. (Şekil 3.35–36)

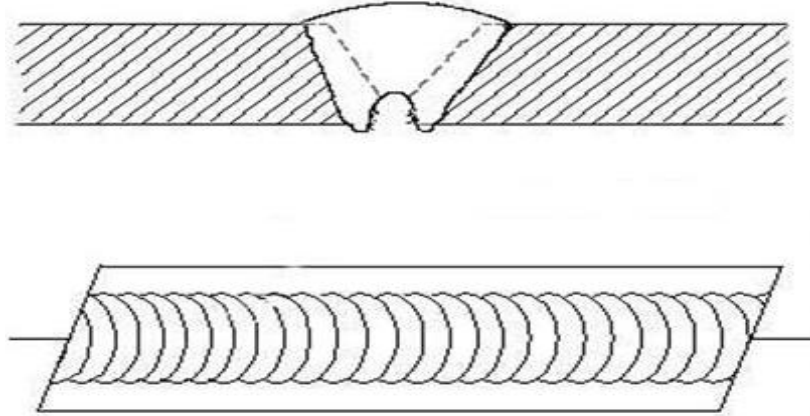


Şekil 3.35.Aşırı kaynak takviyesi şematik görünümü

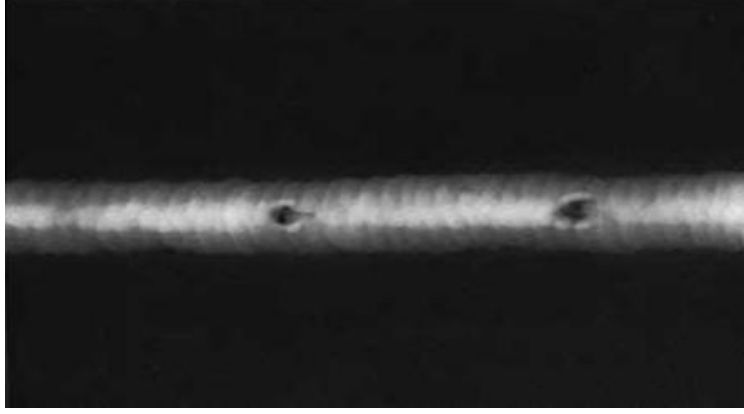


Şekil 3.36. Aşırı kaynak takviyesi film görüntüsü[52]

Yanma (saçaklanma): Çok yüksek ısı neticesinde kaynak bölgesine aşırı miktarda kaynak metali girdiği zaman meydana gelir. Metal parçaları kaynaktan sarkarak, kaynağın arkasında kalın küre biçiminde bir şekil meydana getirir. Radyografide, yanmalar açık küresel bölgeler tarafından çevrilmiş koyu noktalar olarak görünür. Bunlara genellikle MIG/MAG kaynaklarında rastlanır. Şekil 3.37-38’de yanma olukları gösterilmektedir.



Şekil 3.37. Yanma şematik görünümü



Şekil 3.38.Yanma film görüntüsü[52]

4. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI

4.1.YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, çelik boruların radyografik çekimlerinden elde edilen görüntülerde, sadece kaynak hatası olan kısımlar ele alınmıştır. Radyogramların değerlendirilmesi amacıyla, çekilen radyografik filmlerin siyah –beyaz görüntüleri, ışık kasasından dijital fotoğraf makinesi ile alınarak jpg Formatında bilgisayara kaydedilerek düzenlenmiştir.

Radyografik incelemesi yapıla çelik boruların kalınlığı değişmekte olup, farklı kalınlıktaki çelik boru üzerinde çalışılmıştır. Bu tez çalışması kapsamındaki yapılan çalışmalarda, boru içerisinde çekim yapmak mümkün olmadığı için,ışınlama, standartlara uygun bir şekilde Çift cidar tekniğinin kullanılması tercih edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında film banyolama işlemi otomatik film banyolama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Böylece klasik banyolama sırasında oluşabilecek hatalarında önüne geçilmiştir.

4.1.1. Kaynak dikiş hataları

Bu Yüksek Lisans tezi kapsamında incelenen, Kayseri Gaz doğal gaz çelik boru hattı Projesinde kullanılan radyografik muayenesinde, farklı kaynak hatalarının bulunduğu tespit edilmiştir. Çelik borulardaki söz konusu bu hata grupları sınıflandırıldığında, kaynak hataları gaz boşluğundan kaynaklanan gözenekler ve cüruf kalıntıları olduğu tespit edilmiştir.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmalarda tespit edilen hatalar standartlara göre değerlendirildiğinde, Çizelge 4. 1’de arz edilen, gaz boşlukları olarak Aa gözenek hatası ve cüruf kalıntısı olarak, Bb grubu hatalar olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. 1. Kaynak hataları grupları ve simgeleri.

Simge	İsim
A	Gaz boşlukları Aa Gözenek Ab Kanalcık
B	Cüruf Kalıntısı Ba Raştgele dağılmış Cüruf Bb Cüruf Hataları
C	Eksik Kaynama
D	Yetersiz Nüfuziyet (nüfuziyetsizlik)
E	Çatlak Ea Boyuna çatlak Eb Enine Çatlak
F	Yanma oluşu (Yanık)
K	Çekme (büzülme) başlığı Krater Kanalıcı

4.2.RADYOGRAFİK MUAYENE TEST KAPSAMI:

Bu prosedür ekte belirtilen şekilde çekim koşullarına uygun olarak 40"-24"-12"-10"-8"-6"-4" boru kaynaklarının %100 olarak film çekim yöntemlerini, çekim geometrisini, çekim koşullarını, banyo işlemlerini, değerlendirme ve raporlama hizmetlerini kapsar.

TEST TEKNİĞİ:

Test standardı : API STANDARD 1104/SECTION 5.0

Göz ile muayene : Film çekimine hazır kaynağın film öncesi gözle kontrol edilmesi.(örneğin: Pin-Hole,Arc-Bum gibi)

Işın cihazı ve donanım :GAMA (Ir 192) ekipmanı kullanılacaktır.

Kurşun ekran :Filmleri kuvvetlendirmek için 0.02 mm kurşun ekran kullanılacaktır.

Film :Endüstriyel Film kullanılacaktır.

Muayene edilecek bölge :%100 kaynak dikişi+IEB(haz bölgesi)dir.

Çekim koşulları :

Çekim geometrisi :Uygun çekim geometrileri kullanılacaktır.

Film markalama :Kullanılan Tüm kurşun harflerin yüksekliği 12,7 mm olacaktır.

Kodlama :Her film üzerinde Kaynak Markası olacaktır.(Km 10 W 28)

Tarih: Her kaynak filmine çekim tarihi yazılacaktır.

Kaynak numarası : Her kaynak filmine kaynak numarası yazılacaktır. Örnek (11 W 22)

Şerit metre :Tüm kaynak filmlerinde cut-out kaynakları ve Tamir kaynaklarında

Rakam aralığı 5 cm olan kurşunlu şerit her kaynak için kullanılacak Başlangıç yeri kaynağın üst noktası olup, yönü saat yönünde, istikamet akış yönünde olacaktır. Kurşunlu mezronun kaynağı ve haz bölgesini engellememesine dikkat edilecek.

Tamir kaynakları : Tamir sonrası kaynak filmlerinde (R) kullanılacaktır.(Ör 14 W 23 R)

Cut-out kaynaklar : Cut-Out sonrası kaynaklarda kesilen kaynağın ilk numarası ne ise sonuna (C/O) ilave edilerek yazılacaktır.(Ör. 15 W 37 C/O gibi)

4.3.KAYNAKLAR RADYOGRAFİK KONTROL TALİMATI

AMAÇ : ERKO İNŞ. TİC. LŞTİ Kayseri doğalgaz boru hattı projesi dahilinde yapılacak 2"-40" kaynakların GAMA - Işınları ile RADYOGRAFİK Kontrollerinin yapılmasıdır.

RADYOGRAFİK MUAYENE TEST KAPSAMI:

Bu Talimat ekte belirtilen şekilde çekim koşullarına uygun olarak çeşitli çaplardaki boru kaynaklarının %100 olarak film çekim yöntemlerini, çekim geometrisini, çekim koşullarını, banyo işlemlerini, değerlendirme ve raporlama hizmetlerini kapsar.

UYGULAMA ALANI	:	2"-40" Anahat,Tamir,Tie-in Kaynakları.
TEST STANDARDI	:	API STANDARD 11047 SECTION 5. 0
BORU ÇAPI	:	2"-40"
MLZ. KALINLIĞI	:	Muhtelif
RAD. KAYNAĞI	:	Ir- 192
ODAK BOYUTU	:	2x2.5 mm
ÇEKİM TEKNİĞİ	:	Çift cidar Tek poz yöntemi, elips tez poz yöntemi
İŞİNLAMA SAYISI	:	120' Açıyla 3 pozlama 90' açıyla 2 pozlama
RAD.KAYNAĞI - FİLM MESAFESİ	:	Boru çapına bağlı olarak değişmektedir
FİLM MARKA VE TİPİ	:	100 mm KODAK MX 125 Rulo Film
POZ SÜRESİ (aktiviteye göre)	:	Her gün kaynağın Aktivitesine göre Poz cetvelinden hesaplanacaktır.
GEOMETRİK DÜZGÜNSÜZLÜK	:	$U_g = F \times d / D$

4.4.RADYOLOJİK KONTROL RAPORU

Tablo 4. 2.Radyolojik bulguların raporlanması

 Enkon End.Kon.Kay.San.Tic.Ltd.Şti. Kuzey Sahil Yolu Lodos Sok.No 9 Güzelyalı-Pendik/İstanbul Tel : +902164941232 Fax: 4939981 Web: www.enkon.com.tr		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT RADYOGRAFIK KONTROL RAPORU		Report No : Rapor No : 2		
Client / Müşteri : DOĞANLAR DOĞAL GAZ		Project No : / Proje No : Project Name : / Proje Adı : BOYTEKS				
Examination Standard / Test standardı : API. 1104		Date / Tarih : 14.01.2009				
Evaluation standard / Değerlendirme Standardı : API. 1104		Tube kV / Tüp kV : Tube mA / Tüp Ma :				
Film Type / Film tipi : AGFA D5		Drawing No / Çizim No :				
Activity / Aktivite : 22 Cl		Material / Malzeme : STAINLESS STEEL				
Radiographic Equipment / Radyograf Ekipmanı : Gamma-Ray ☒ X-Ray ☐		Material Thickness / Malzeme Kalınlığı : 3.5 mm				
Exposure time / Poz Süresi : 10sn		Welder No / Kaynakçı No :				
Radiation Source size / Radyasyon Kaynak Boyutu : 3 X 2,5		Welding Process / Kaynak Metodu : SMAW				
Type of Screen - Thickness / Ekran Tipi - Kalınlık : Pb 0,025 mm		Penetrometer Type / Penetrometre Tipi : EN 10-16				
Source to Film Distance / Rad. Kaynağının Filme Mesafesi : 3"		Team Equipment / Ekip Ekipman : Sentinel				
Radiation Source / Radyasyon Kaynağı : Ir-192 ☒ Se-75 ☐ Co-60 ☐		Radiograph process / Film Çekim Yöntemi : Çift Cidar ☐ Eliptik ☒ panoramik ☐				
Total Film Number / Toplam Film Adedi : 10X48 Film : 10x24 Film : 10x16 Film : 10x12 Film :						
No	Weld No / Kaynak No	Diameter / Çap	Defect Type / Hata Tipi	Defect Area / Hata Bölgesi	Initial Evaluation / Değerlendirme	Final Evaluation / Kesin Değerlendirme
1	W 1	3"	IC KÖK	9-10	A Kab. R Red. C/O	A Kab. R Red. C/O
2	W 2	3"			OK	OK
3	W 3	3"			OK	OK
4	W 4	3"	C/O			C/O
5	W 5	3"			OK	OK
6	W 6	3"			OK	OK
7	W 7	3"			OK	OK
8	W 8	3"			OK	OK
9	W 9	3"			OK	OK
10	W 10	3"			OK	OK
11	W 11	3"	IF KÖK	20-25		R
12	W 12	3"			OK	OK
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
IP : Yetersiz nüfuziyet IPD : Hİ-Lodan kaynaklanan yetersiz nüfuziyet IF : Yapışma noksanlığı IFD : Soğuk yapışma noksanlığı C : Çatlak SI : CURUF IC : İç Korüavite		IU : Yanma çentiği (kök) EU : Yanma çentiği (kapak) HB : Kökte uzun gözenek BT : Yanma deliği (kök) EP : Penetrasyon fazlalığı GP : Gözenek H : Yabancı Metal		A : Kabut R : Tamir FA : Film Hatası RS : Tekrar Çekim EX : Ekstra Film C/O : Kes		
OPERATOR / OPERATÖR MEHMET HOPLAMAZ		CONTROLLED BY / KONTROL EDEN		APPROVED BY / ONAYLAYAN AVNİ UZUNER EN 473 TUV.RT.II.01/BG/Z-P/0434		

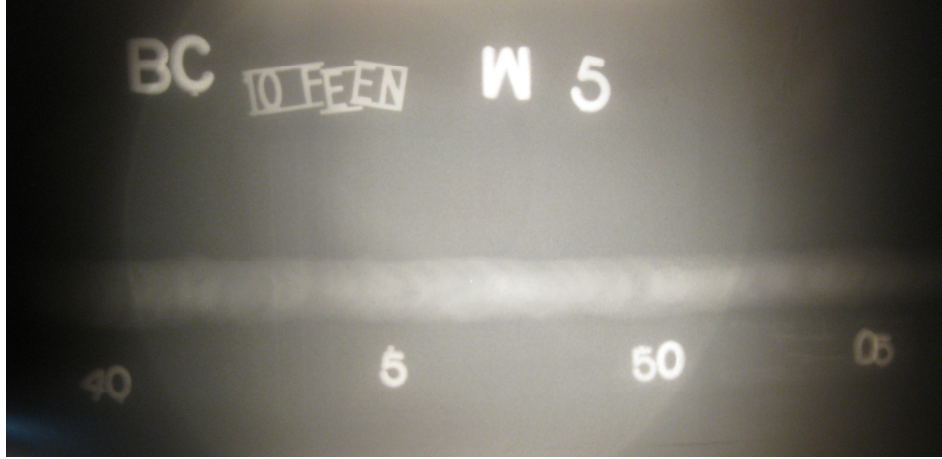
4.5 Çekimi Yapılan Parçaların Radyografik Görüntülerinin Değerlendirilmesi

Bu Yüksek Lisans tezi kapsamında, Kayseri Doğal Gaz Hattı Projesi kapsamında, sahada yapılan radyografik çekimlerde tespit edilen ve standartlara göre gruplandırılan hatalara, anında müdahale edilerek, hatalı noktanın sağ ve sol kısımlarından 10 mm açılmış ve kaynak yeniden yapılmıştır. Tekrar tekrar aynı nokta üzerinde kaynak yapmanın kaynak bölgesinde malzemeye zarar vermesini engellemek için ikinci kez kaynak yaparken çok dikkat edilmiş ve tekrar hata çıkmasının önüne geçilmiştir. Aynı noktadan yeniden yapılan radyografik çekimlerde, onarılan kaynaktaki hatanın giderildiği tespit edilerek, proje kapsamındaki çalışmalara devam edilmiştir.

4.5.1. I No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik görüntüsü

I No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler: Gama ışın kaynağı (ır-192), kaynak aktivitesi (80 ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Agfa D5), film ebadı (10 x boru çevresi cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2100mm), malzeme et kalınlığı (14 mm), poz süresi (25 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (EN 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817), penetremetre tipi (6 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435), izotop çapı (3,9 mm), yarı gölge (0,03mm) olarak uygulanmıştır.

I No'lu Parçanın Radyografik görüntüsüne ilişkin olarak, Şekil 4,1'de arz edilen radyografideki görüntüde, kaynak dikişi, standart gereksinimleri karşılamaktadır. Söz konusu şekilde görüldüğü gibi, elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.

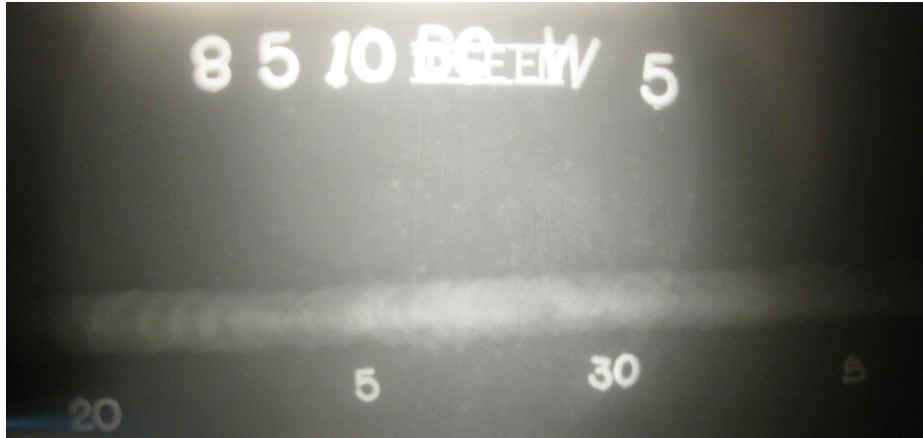


Şekil 4. 1. I No'lu parçanın radyografik görüntüsü.

4.5.2. II No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

II No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), kaynak aktivitesi (80 ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Agfa D5), film ebadı (10 x boru çevresi cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2100 mm), malzeme et kalınlığı (14mm), poz süresi (25 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (en 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817), penetremetre tipi (6 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435), izotop çapı (3,9 mm), yarı gölge (0,03mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 4.2'deki radyografik görüntüye ilişkin incelenen alın kaynağında için, söz konusu dikişte, herhangi bir kusura rastlanmamıştır.

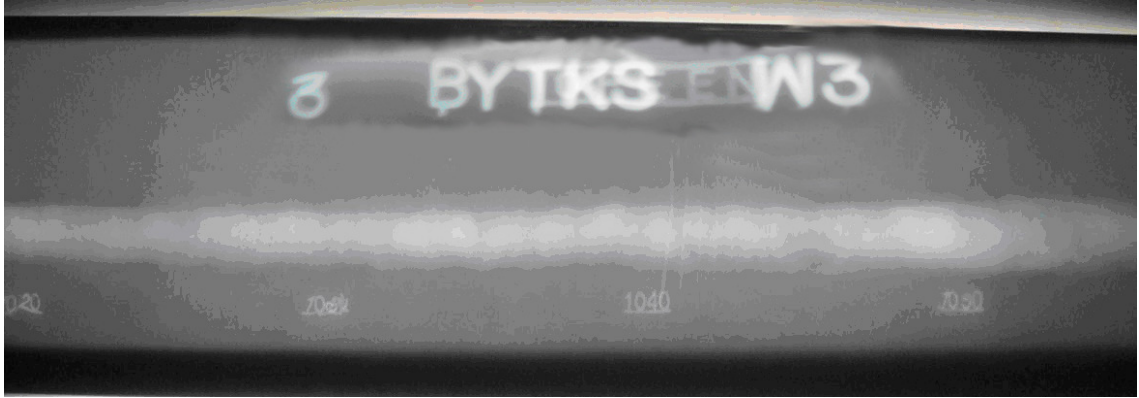


Şekil 4. 2. II No'lu parçanın radyografik görüntüsü.

4.5.3. III No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

III No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), kaynak aktivitesi (40 Ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Agfa D5), film ebadı (10 x 48 cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2000mm), malzeme et kalınlığı (12 mm), poz süresi (44 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (en 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817, API 1104), penetremetre tipi (6 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435, API 1104), izotop çapı (3,9 mm), yarı gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 4. 3'de arz edilen radyografik görüntüye göre kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.



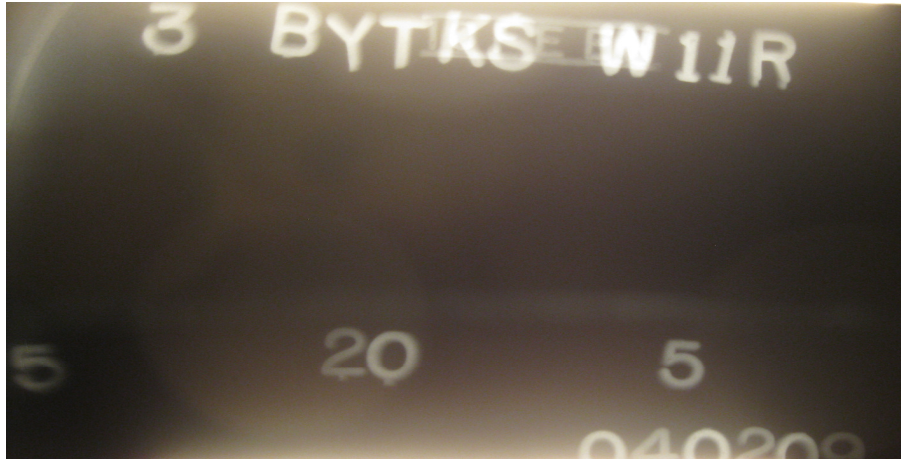
Şekil 4. 3. III No'lu parçanın radyografik görüntüsü.

4.5.4. IV No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik

Görüntüsü

IV No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler; Gama ışın kaynağı (ır-192), kaynak aktivitesi (40 Ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Agfa D5), film ebadı (10 x 48 cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2000 mm), malzeme et kalınlığı (12 mm), poz süresi (44 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (en 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817), penetremetre tipi (6 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435), izotop çapı (3,9mm), yarı gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 4. 4'de arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.

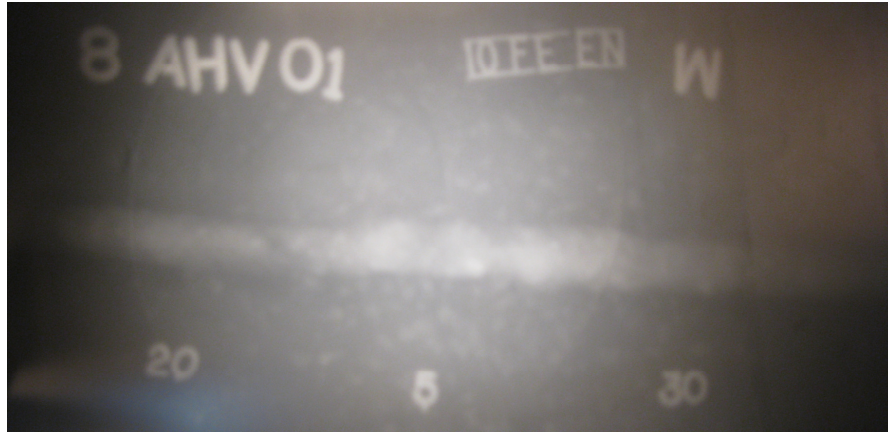


Şekil 4. 4.IV No'lu parçanın radyografik görüntüsü.

4.5.5. V No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

V No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), kaynak aktivitesi (40 Ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Agfa D5), film ebadı (10 x 48 cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2000 mm), malzeme et kalınlığı (12 mm), poz süresi (44 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (en 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817), penetremetre tipi (10 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435), izotop çapı (3,9 mm), yarı gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 4. 5'de arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.



Şekil 4. 5.V No'lu parçanın radyografik görüntüsü.

4.5.6. VI No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

VI No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), kaynak aktivitesi (40 Ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Agfa D5), film ebadı (10 x 48 cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2000 mm), malzeme et kalınlığı (12 mm), poz süresi (44 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (en 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817), penetremetre tipi (6 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435), izotop çapı (3,9 mm), yarı gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 4. 6'da arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.



Şekil 4. 6. VI No'lu parçanın radyografik görüntüsü.

4.5.7. VII No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik

Görüntüsü

VII No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler: Gama ışın kaynağı (Ir-192), kaynak aktivitesi (50 Ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Agfa D5), film ebadı (10 x 48 cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2000 mm), malzeme et kalınlığı (12 mm), poz süresi (40 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (en 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817, API 1104), penetremetre tipi (6 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435, API 1104), izotop çapı (3,9mm), yarı gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 4. 7'de arz edilen radyografik görüntüye göre, filmin tam orta noktasında gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek topluluğunun olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu bu kaynak hatasını TSE standartlarına (TSE 5127) göre, Aa gözenek hatası olarak sınıflandırmak mümkündür. Daha sonra hatalı noktanın sağ ve sol kısımlarından 10 mm açılmış, kaynak yeniden yapılarak problem çözümlenmiştir.



Şekil 4. 7. VII No'lu parçanın radyografik görüntüsü.

4.5.8. VIII No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik

Görüntüsü

VIII No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), kaynak aktivitesi (40 Ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Agfa D5), film ebadı (10 x 48 cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2000 mm), malzeme et kalınlığı (12 mm), poz süresi (44 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (EN 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817), penetremetre tipi (6 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435), izotop çapı (3,9 mm), yarı gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 4. 8'de arz edile radyografik görüntüye göre, kaynak içerisinde kalıntı cürufu tespit edilmiştir. Söz konusu kayna hatasını TSE standartlarına (TSE 5127) göre, Bb grubu olan ve cüruf kalıntısından kaynaklanan hata olarak sınıflandırmak mümkündür. Daha sonra hatalı noktanın sağ ve sol kısımlarından 10 mm açılmış ve kaynak yeniden yapılarak problem çözülmüştür.



Şekil 4. 8.VIII No'lu parçanın radyografik görüntüsü.

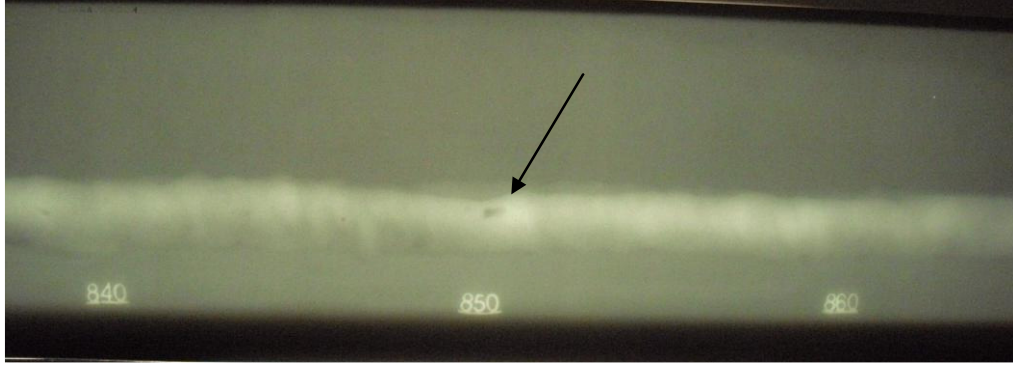
4.5.9. IX No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik

Görüntüsü

Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile şekil 4. 9- 4. 10- 4. 11ve şekil 4. 12'deki radyografik görüntüler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. IX No'lu parçada kullanılan teçhizat ve malzemeler: Gama ışın kaynağı (Ir-192), kaynak aktivitesi (80 Ci), çelik kalitesi (St 52,3), kaynak yöntemi (gazaltı (GMAW)), kaynak birleştirmesi (alın kaynağı), film sınıfı (Kodak AA400), film ebadı (10 x boru çevresi cm), film ekranı tipi (kurşun), densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), rad. emniyet teçhizatı (dozimetre), film banyo teçhizatı (Kodak), film çekim tekniği (çift cidar – tek çekim), kaynak-malzeme mesafesi (2000 mm), malzeme et kalınlığı (12 mm), poz süresi (13 dakika), film yoğunluğu (2,4), NDT-kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi test standardı (EN 1435), film değerlendirme standardı (TS EN 5817), penetremetre tipi (6 FEEN), penetremetre sayısı (1 adet), markalama (kurşun harf ve rakamlar), kullanılan standartlar (TS EN 5817, EN 1435), izotop çapı (3,9 mm), yarı gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

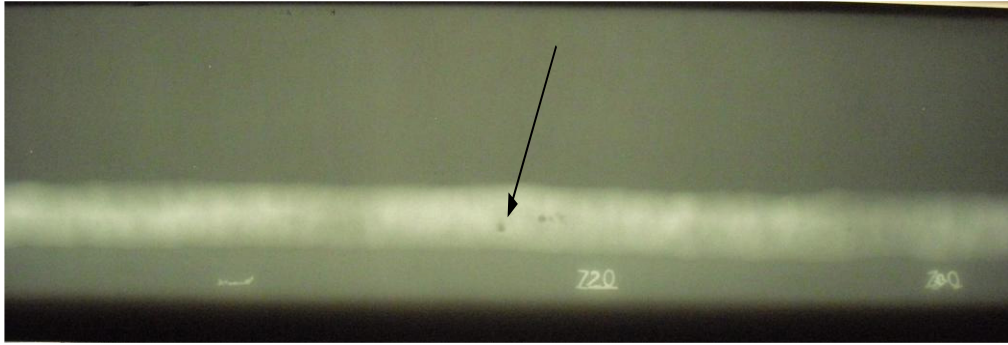
Dokuz No'lu Numunelerin Radyografik Görüntüleri

Şekil 4. 9'da arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada yanma oluşu olduğu tespit edilmiştir.



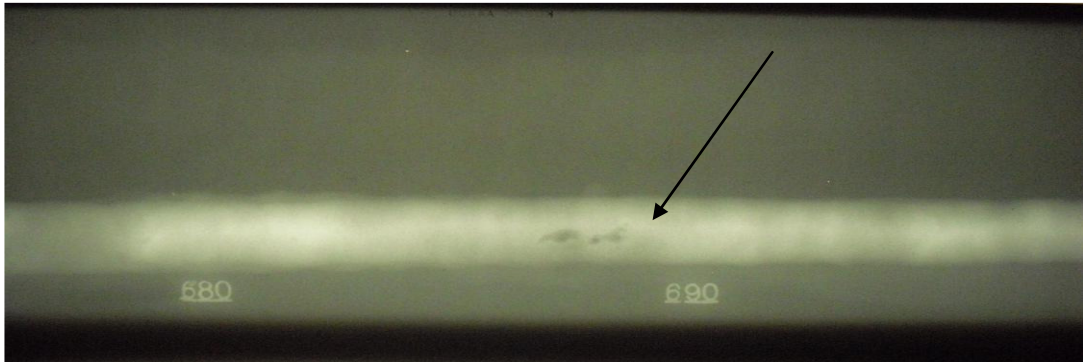
Şekil 4. 9. yanma oluğu radyografik görüntüsü.

Şekil 4.10’de arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek olduğu tespit edilmiştir.



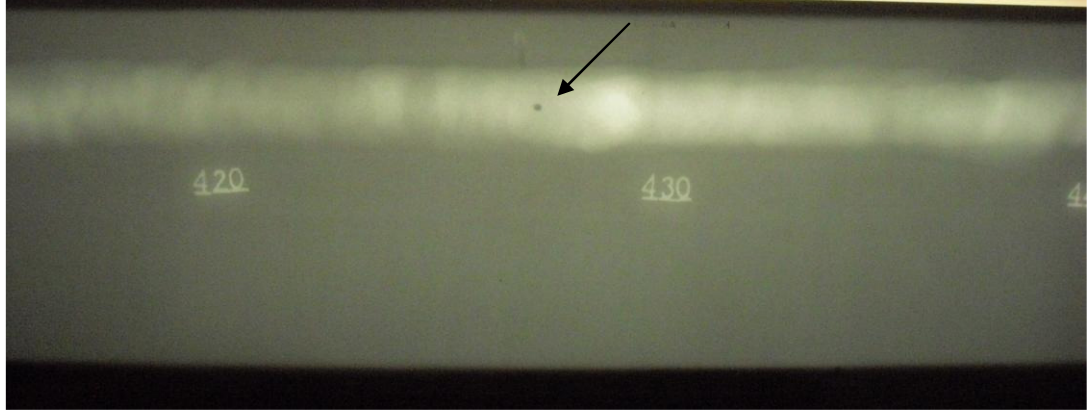
Şekil 4.10.Kaynak içerisindeki gaz boşluğunun radyografik görüntüsü.

Şekil 4.11’de arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak içerisinde kalıntı cürufu tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Kaynak içerisindeki kalıntı cürufu parçanın radyografik görüntüsü.

Şekil 4.12’de arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek olduğu tespit edilmiştir



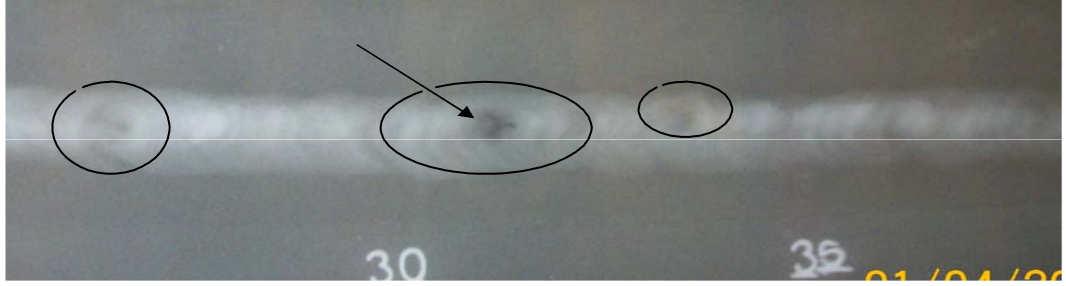
Şekil 4.12. Kaynak içerisindeki gaz boşluğunun radyografik görüntüsü.

Söz konusu bu kaynak hataları TSE standartlarına sınıflandırmak mümkündür. Daha sonra hatalı noktaların sağ ve sol kısımlarından 10mm açılmış ve kaynak yeniden yapılarak problem çözülmüştür.

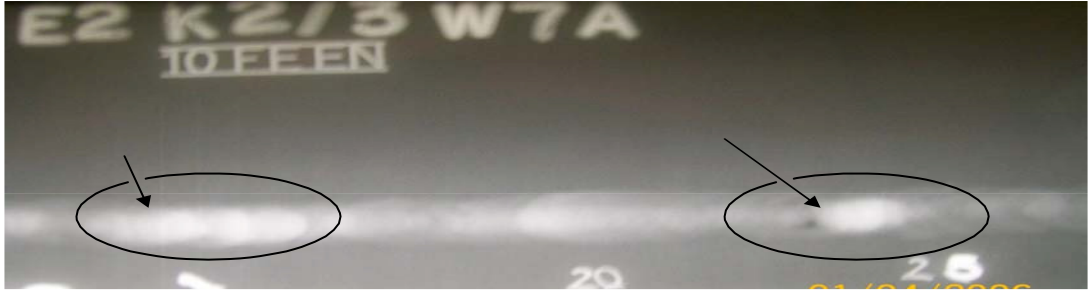
4.5.10.On Nolu Numunelerin Radyografik Muayeneleri

Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile Şekil 4.13–4.14–4.15’deki radyografik görüntüler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Kullanılan teçhizat ve malzemeler: Gama ışını (Se–75), şiddeti (40 Ci), boyutu 2x2 mm (2,8 mm efektif), film sınıfı (D5 -orta hızlı) film ebadı (10x24 cm), film miktarı (üç adet 120⁰ çevrilerek), film bindirme (2 cm) kurşun ekran (0,2mm, arka 0,2mm), densitometre x-rey değerlendirme teçhizatı (0 ile 4,0) yoğunluk okuyacak şekilde rad. emniyet teçhizatı, (radyakmetre), dozimetre, markalama kurşun harf ve rakamlar, film markalama film banyo teçhizatı (Kodak M35 otomatik banyo), görüntü (çift cidar – tek görüntü) ,mesafe 6" (168.3mm) malzeme et kalınlığı (5,20 mm), poz süresi (4 dakika + 40 s), film yoğunluğu (2,0 ile 3,5) arası olacaktır. görüntü kalite belirleyiciden 462 tablosuna göre, FEEN 10–16, okunması gereken tel no 16 no lu tel yerleştirilmesi, film tarafı penetremetre sayısı bir adet, hassasiyet $(0,1 / 5,2 \times 100 = \% 1,9)$, test sınıfı (EN 1435, sınıf “B”) kullanılan standartlar (API 1104, Asme Section Article 2, EN – 1435).

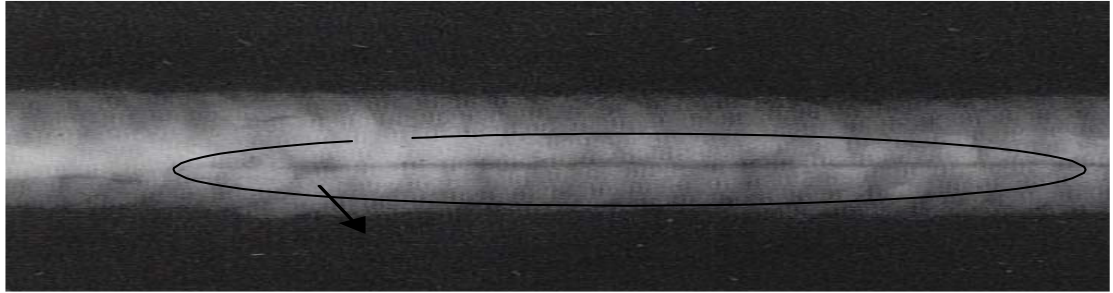
On No'lu Numunelerin Radyografik Görüntüleri



Şekil 4.13. Fazla amperden dolayı meydana gelmiş yakıp delme radyografik film görüntüsü



Şekil 4.14. Kök pasonun aşağı doğru kısmi aşırı sarkması radyografik film görüntüsü.



Şekil 4.15.Kök pasoda yanma oluşu radyografik film görüntüsü

On nolu numunelerin radyografik film çekimleri, çift cidar - tek görüntü yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Boru, ışın ve film her bir kaynak için 0- 20, 20- 40, 40- 0 aralıklarında, boruyu 1200 çevirerek üç pozlama yapılmıştır. Işın - film mesafesi olarak, borunun çapı alınmıştır. Kullanılan cihazın enerjisi, mesafe ve malzemenin et kalınlığı dikkate alınarak poz süresi hesap cetvelinden bulunmuş ve filmler elde edilmiştir.

Şekil 4.13’de olduğu gibi kök pasonun bir kısmının fazla nüfuziyet dolayısıyla ergimiş kaynak metalinin boru içine doğru patlaması şeklinde, sıcak geçiş sırasında fazla amperden dolayı meydana gelmiş yakıp delme radyografik film görüntüsü görülmektedir. Görülen hata yoğunluğu ana malzemeden daha yoğun olduğundan API 1104’e göre kabul sınırlarının dışındadır. Bu bölgeler taşlanarak tamir edilmelidir.

Şekil 4.14’de olduğu gibi kök pasoda bölgesel olarak görülen, aşırı nüfuziyet nedeniyle oluşan, kökün aşırı derecede aşağıya doğru sarkması şeklinde oluşan bir hata gözlenmektedir.

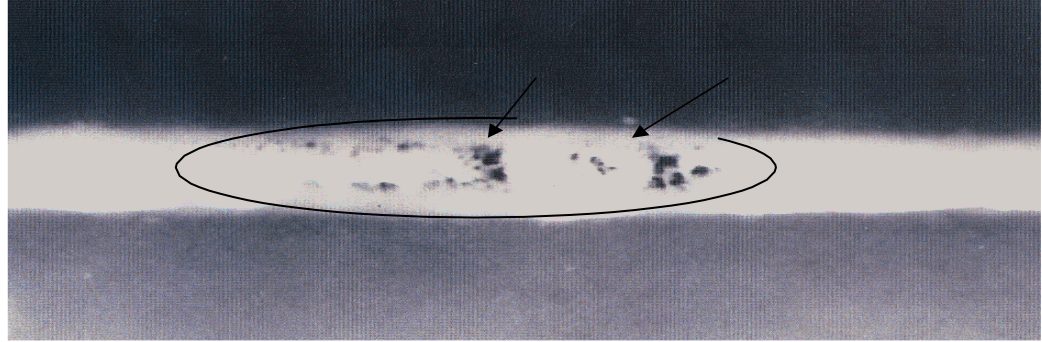
Şekil 4.15’de ise görüldüğü gibi kaynağın kök bölgesinin kenarı boyunca ana malzemede çentikler ve oyuklar şeklinde oluşan hatadır. Filmde kaynak görüntüsü genişliğinin merkezine yakın ve kök paso görüntüsünün kenarı boyunca ince ve koyu bir çizgi olarak görünmektedir. Eksen kaçıklığının fazla olması, kök aralığının geniş tutulması ve yüksek kaynak akımlarından dolayı meydana gelmektedir.

4.5.11. Onbir No’lu Numunelerin Radyografik Muayeneleri

Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile Şekil 4.16’deki radyografik görüntü elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

Kullanılan teçhizat ve malzemeler: Cihaz (gama ışını (Se-75)),şiddeti(50 Ci), boyutu,2x2 mm (2,8 mm efektif), film sınıfı,(D5 - orta hızlı), film ebadı(10x16 cm),film miktarı(üç adet, 120⁰ çevrilerek),film bindirme(2cm), kurşun ekran(ön:0,2 mm, arka 0,2 mm), densitometre (x-rey),değerlendirme teçhizatı(0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde) ,rad. emniyet teçhizatı(radyakmetre), dozimetre markalama(kurşun harf ve rakamlar), film banyo teçhizatı(Kodak m35 otomatik banyo), görüntü(çift cidar-tek görüntü), mesafe(4" (114,3 mm)), malzeme et kalınlığı(6,00 mm), poz süresi(2 dakika + 10 s), film yoğunluğu(2,0 ile 3,5) arası olacaktır. Görüntü kalite belirleyici(EN 462 tablosuna göre), FEEN 10–16,okunan tel no(15 No’ lu tel) penetre yerleştirilmek, film tarafı penetremetre sayısı (bir adet) ,hassasiyet(0,125 / 6 x 100 = % 2), test sınıfı(EN 1435 sınıf) ,kullanılan standartlar (API 1104, Asme Section Article 2, EN – 1435)

Onbir No'lu Numunenin Radyografik Görüntüsü



Şekil 4.16.Kaynak bölgesinde hapsolan gazlardan kaynaklanan kurt deliği şeklinde uzamış gözeneklerin radyografik film görüntüsü.

Onbir notu numunenin radyografik film çekimleri, çift cidar - tek görüntü yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Boru, ışın ve film her bir kaynak için 0–15, 15–25, 25–0 Aralıklarında, boruyu 120° çevirerek üç pozluma yapılmıştır. Işın - film mesafesi olarak, borunun çapı alınmıştır. Kullanılan cihazın enerjisi, mesafe ve malzemenin et kalınlığı dikkate alınarak poz süresi hesap cetvelinden bulunmuş ve filmler elde edilmiştir.

Resim 4.16'de görüldüğü gibi gazın ergimiş kaynak metalinin yüzeyine çıkmasına fırsat vermeden kaynak metalinin katılaşması ile kaynak bölgesi içinde kalan gaz boşluklarının meydana getirdiği, dikiş yüzeyinde kurt deliği gibi uzamış şekilde oluşan hata türü görünmektedir. Kaynak dolgusundaki gecikmiş deoksidasyon, elektrom örtüsündeki çok düşük veya çok yüksek nem oranı en önemli nedenleridir. Bu tür hatalar, aşırı dolgudan kaçınılarak, elektromlar belli bir nem oranına haiz depolarda muhafaza edilerek, elektromlar kullanılmadan önce elektrot kurutma fırınında 300–350 °C'de iki saat süreyle kurutularak önlenabilir. Aksi takdirde dikişin taşıyıcı kesitini azaltacağından mukavemeti düşürür ve gerilmeler oluşturarak borunun yorulma dayanımını azaltacaktır. API 1104'e göre kabul edilemez hata türündendir. Bu nedenle bu bölge taşlanarak tamir edilmelidir

Tablo 4. 3. NDI yöntemlerinin karşılaştırılması

YÖNTEM	OPTİK YÖNTEMLER	RADYOGRAFI	ULTRASONİK	MAGNETİK PARÇACIK	SIVI PENETRANT	GİRDAP AKIMLARI
UYGULAMA ŞARTLARI	Karmaşık yapıların iç kısımlarını incelemeye kullanılır. Malzemeye tek taraftan giriş yeterli olabilir.	Malzemenin her iki tarafına da ulaşmak gerekir.	Malzemeye tek veya iki taraftan, bazı durumlarda da uçlardan ulaşmak gerekir.	Temiz ve oldukça düzgün yüzey gerektirir. Malzeme yüzeyinin tamamına ulaşılabilir.	Penetrantın ulaşabildiği yüzeyler test edilebilir. Yüzey temiz olmalıdır.	Yüzey (genellikle) gayet düzgün ve temiz olmalıdır.
EKİPMAN MASRAFI	B/D	A	B	D	D	B/C
TEST MASRAFI	D	B/C	B/C	C/D	C/D	C/D
DİĞERLERİ	Pratik yetenek yeterli olup, fazla bilgi gerektirmez.	Yüksek masrafına rağmen, geniş bölgeler bir defada test edilebilir. Yorumlama için bilgi ve yetenek gerektirir. Radyasyon tehlikesine karşı önlem alınması gerekir.	Nokta nokta taramak gerektirir, dolayısıyla büyük malzemelerde masraflıdır. Yetenekli personel gerektirir	Sadece magnetik malzemelerde kullanılır; örneğin, çelik. Fazla yetenek gerektirmez. Yüzey ve yüzeye yakın hatalar tespit edilebilir.	Bütün malzemeler için biraz beceri gerektirir. Sadece yüzeye açık hatalar tespit edilebilir. Girişi tıkanmış hatalar algılanmayabilir.	Yüzey ve yüzeye yakın hatalar tespit edilebilir. Kalınlık, kaplama kalınlığı ölçümü ve malzeme sınıflandırması yapılabilir. Genellikle yüksek yetenek ve akademik bilgi gerektirir.

Semboller, A: En yüksek masraf D: En düşük masraf

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması kapsamında, radyografik çekimi yapılan çelik borular, Kayserinin 2004 yılından itibaren doğal gaz ihtiyacını karşılamak üzere KAYGAZ çelik doğalgaz hattı projesi'nde kullanılan çelik borulardır. Bu projeyle, Kayseri İli sınırları içerisinde yer alan yaklaşık 210km lik bir isale hattı ile Kayseri ye getirilmesi planlanmıştır. Bu dev isale hattında, çelik boruların radyografik çekimlerinde standartlara göre temel kriterler dikkate alınarak, hatalı kaynak dikişlerini tespit ederek, daha sonra ortaya çıkabilecek hataların önüne geçilmiştir. Bu proje güzergâhında yer alan, çapları 2"ile40"arasında değişen, çok sayıda döşenmiş, dev çelik boruların kaynak noktalarındaki mevcut hataların tespiti yapılmıştır. Tahribatsız test yöntemlerinden biri olarak, gama ışınlarının kullanıldığı gama radyografi yöntemi (gama grafi) ile sahada anında hatanın giderilmesi sağlanmıştır. Böylece, çalışılan radyografi yöntemi ile zaman kaybını en aza indirerek, sahada uygun değerlerde çalışma düzeninin sağlanması mümkün olmuştur. Bu amaçla yapılan radyografik çekimlerde, Ir- 192 radyoizotopu kullanılmış ve güzergâh boyunca muhtelif yerlerde döşenmiş olan çelik boruların kaynak dikişlerinde standartlara uygun nitelikte hata tespiti yapılmıştır. Bu bağlamda, ilerdeki zamanlarda doğalgaz taşınışında oluşabilecek sorunların giderilmesi ve sürekliliğinin sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 5. 1. Ana doğalgaz hattı uydu görüntüsünden bir parça

Tablo 5. 1. Doğalgaz boru hattı yapımının yıllara göre durumu

İMALATI YAPILAN ŞEBEKE DURUMU									
GÜNCELLEME TARİHİ : 31.12.2010									
ST HAT DURUMU									
(metre)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	TOPLAM
ST-2"	4	777	14	148	165	0	16		1,124
ST-3"	685	0	0	0	8	1	13		706
ST-4"	19,668	3,287	5,991	4,146	4,281	1,152	677		39,203
ST-6"	15,002	5,787	4,476	1,011	12,406	2,430	246		41,358
ST-8"	6,603	0	0	1,115	7,482	1	795		15,995
ST-10"	10,694	3,636	0	0	0	0	0		14,330
ST-12"	15,726	12,993	5,568	11,909	22,138	1	4,614		72,948
ST-14"	4,413	0	0	0	0	0	0		4,413
ST-16"	1,058	7,149	0	1,154	0	0	0		9,361
ST-20"	6,298	0	0	2,873	0	0	0		9,171
ST-24"	0	0	0	9	0	0	0		9
TOPLAM	80,150	33,630	16,050	22,365	46,479	3,585	6,360		208,619

Kaynak hatalarının tespitine ilişkin yapılan radyografik çekimlerde, pozlama süreleri ve yoğunluk gereksinimleri karşılanarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Banyolama hatalarını ortadan kaldırmak amacıyla, radyografik çekimlerin ardından, film Banyolama işlemi otomatik film Banyolama cihazlarında gerçekleştirilmiştir. Panaromik çekimlerde çift cidar tekniği uygulanarak standartlarda belirtilen geometrik görüntü kalite kıstaslarını (hassasiyet, yoğunluk, geometrik keskinsizlik) sağlayacak şekilde radyografik muayene tekniği uygulanmıştır. Böylece, Kayseri Gaz Projesi'nde kullanılan çelik boruların geçtiği sahada, radyografik yöntem ile kaynak dikişlerindeki hatalar hassas bir şekilde tespit edilebilmiştir. Radyografi tekniğine bağlı olarak, kaynak dikişlerinin, malzeme penetrasyonu da değişmekte, dolayısıyla, pozlama süresi optimizasyonunun sağlanması için, bu tez çalışması kapsamında, çift cidar tekniğinin kullanımı uygun olmuştur.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, Kayseri Gaz mühendislik Projesi kapsamındaki güzergâh boyunca kullanılmış olan çelik borularda, radyografik hata tipleri incelenmiştir. Genel olarak açık sahadaki gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmelerine ilişkin yapılan radyografik çekimlerde, cüruf hatası ve gözenek hatasının oluşabileceği düşünülmüştür. NDT -Kaynaklı Birleştirmeleri Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435)'ına göre yapılan radyografik muayenelerde ve Film Değerlendirme standardı (TSEN 5817) doğrultusunda, en sık karşılaşılan hata tiplerinin, gaz boşluğundan kaynaklanan ve Aa grubu gözenek hatası olarak tanımlanan gözenek hataları ile Bb grubu cüruf kalıntısı olarak tanımlı cüruf kalıntılarından oluşan hatalar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Ea ve Eb çatlakları azda olsa tespit edilmiştir.

Kaynak metalinde meydana gelen çatlakların önlenmesi için, şu tedbirler alınmalıdır:

- Kaynak işlemi sırasında, dikiş kendini kolayca çekebilmelidir.
- Parçalar birbirlerine iyi şekilde uydurulmalı ve uygun kaynak sırası takip edilmelidir,
- Kök pasosunda meydana gelen çatlaklar ortadan kaldırılmadan, sonraki pasolar yapılmamalıdır.
- Enine çatlakların önlenmesi için, sünekliği yüksek elektrotlar kullanılmalıdır.

Kaynak metalinde meydana gelen boşlukların Önlenmesinde şu tedbirler alınmalıdır.

- Esas metal ve ilâve metalin, kükürt miktarının fazla olmaması
- Elektrot örtüsünün rutubetli olmaması
- Düşük akım şiddeti ile kaynak yapılmaması
- Kaynak ağızlarının kirli olmaması

Kaynak dikişinde bulunan gözenekler; dikiş kesitini azaltmanın yanında, gerilme yığılmalarına ve çentik teşekkülüne sebep olurlar. Bu nedenle bağlantının mukavemetini azaltırlar. Gaz meydana gelmesi veya meydana geldiği takdirde dikişi kolayca terk etmesi temin edilmelidir.

Elektrik ark kaynağında; elektrot örtüsü veya kaynak tozundan teşekkül eden cüruf parçacıkları, devamlı veya kesikli hatlar şeklinde kaynak metali içerisinde kalabilir. Çok pasolu kaynakta; pasolar arasındaki cürufların tam olarak temizlenmemesi, kalıntılara sebep olur. Cüruf kalıntıları, mukavemeti düşürür ve çatlakların oluşumuna sebep olur. Kalıntıların önlenmesi için; erimiş banyo hareketlerinin kontrolü, pasolar arasında cürufların iyi temizlenmesi gerekir.

Yüksek basınçlarda ürün taşıyan doğalgaz boru hatlarının kalite, mamul garantisi, insan ve çevre güvenliği açısından son derece güvenilir olmalıdır. Bunu başarabilmenin yolu, tamamlanmış kaynağın ilgili kaynak prosedürüne uygun olarak üretilip üretilmediği ve ilgili standarda göre kabul edilip edilmeyeceğini tayin etmek için tahribatsız olarak muayene edilmektedir. Kaynak dikişi kontrollerinde hata tespitine ilişkin olarak yapılan araştırmada, standartlarda belirtilen hata tiplerinin ayrıntılı bir şekilde radyografik muayene ile tespit edilebildiği görülmüş ve neticede aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

Radyografi ile hataların kalıcı olarak film üzerinde görünmesiyle normal koşullarda hataların hemen doğrulanabildiği görülür ve filmler uzun süreli olarak bekletilebilmektedir.

Boru kaynaklarının radyografisinde, hatalar daha çok kökte oluşmaktadır. Bu nedenle film, eğer mümkünse, mutlaka kaynak kökünün bulunduğu tarafa yerleştirilmelidir. Hatanın olması muhtemel yere film yerleştirilerek çekim yapıp tamamlanmalıdır.

Radyografi uygulaması açısından radyasyon kaynağı önemlidir. Bunun için X ve gama ışınları kullanılır. Ama her ikisiyle de alınan sonuçlar, standartlarda istenen şartları sağlayabilmektedir. Bu bakımdan radyasyon kaynağının X veya gama ışını olması kaynak dikişi muayenesi açısından önemli bir ayrıcalık oluşturmaz. Fakat X ışını radyografisiyle elde edilen radyografilerin normal şartlarda kontrastının daha iyi olduğu gözlenmektedir. Çünkü X-ışını ile çalışırken parça kalınlığı ve yoğunluğuna bağlı olarak ayarlamaların her defasında duruma uygun olarak yapılabilir.

Gama radyografi yöntemi elektrikten bağımsız olarak yapıldığından, kaynağın taşınma kolaylığı nedeniyle X ışını tüpüne göre avantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle, boru hatlarının kaynak dikiş kontrollerinde gama cihazları tercih edilmektedir.

Borularının kaynağında, kaynakçı ve kontrolör boru içersinde yabancı malzemelerin kalmamasına ve boru yüzeyinde derin çiziklerin olup olmadığına çok dikkat etmelidir. Aksi takdirde yanlış değerlendirmelere yol açar, bu da malzemenin gereksiz yere deforme edilmesine neden olur.

Kaynak esnasında dikişlerin ve pasoların uygun bir sıra dâhilinde çekilmesi, kaynağa tesir eden faktörlerdendir. Bu nedenle asgari bir sertlik elde edilerek çatlama riski büyük çapta önlenmiş oluyor.

Boruların kök paso kaynağı uygun elektrot, elektrot çapı ve amper ayarı ile yapıldıktan sonra borunun hareket ettirilmemesi çok önemlidir. Çünkü bu sırada meydana gelen bir oynama kaynağın çatlamasına sebep olacağı görülmüştür. Kök paso kaynağı yapıldıktan sonra mekanik taşlarla taşlanarak cüruf kalıntılarından arındırılmalı ve kaynak diğer sıra kaynakların yapılmasına hazır hale getirilmelidir.

Çelik boruların kaynakları ve radyografik çekimleri zor şartlar altında yapılmaktadır. Bu nedenle filmin banyo işlemlerinde ve değerlendirmelerinde azami dikkat gösterilmelidir. Standartlar içinde her hataya tamir verilmemelidir. Kabul edilebilir hatalar eğer tamir edilirse, hem zaman hem ekonomik hem de kullanılan malzemenin gereksiz yere deforme edileceği bir gerçektir, tamir edildiği takdirde görülen küçük bir hata daha da büyüyebilir ve neticede boru en baştan kaynak yapılması gerekebilir. Hataya tamir kararı verildi ise ikinci bir kez emniyet açısından bu noktaya tamir verilmemelidir. Çünkü ısıdan dolayı malzeme deforme edilmiştir. Boru belli mesafeden kesilerek kaynak tekrar yapılmalıdır.

Film çekimine başlamadan önce insanlara ve çevreye zarar vermemek için geniş bir alan emniyet altına alınmalıdır. Ayrıca, kaza sonucu radyasyona maruz kalan kişi ya da kişiler varsa bu durum onlara iletilmelidir.

Dijital radyografi muayene yöntemi ile yapılan uygulamalar kısa sürede kolay, istenen hassasiyette hata belirlemede en uygun yöntemdir. Bu durum olası bir sistematik hata durumunda, üretime hızlı bir geri bildirim sağlayarak önlemlerin zamanında alınmasını sağlamaktadır. Ayrıca görüntü kayıtlarının bilgisayar ortamında arşivlenebilmesi büyük kolaylık oluşturmaktadır. İlk aşamada yatırım maliyetinin yüksek olması dezavantaj gibi görünse de uzun vadede ekonomik ve etkili bir tahribatsız muayene yöntemidir.

Doğalgaz boru hatlarının kaynaklarının güvenilirliği açısından istenen API standartlarında belirtilen tüm koşullara uymak gerekmektedir. Muayene ve kontrol elemanlarının konu ile ilgili eğitim almış olması ve belgeli olmaları aranmalıdır. Kaynakçı eğitim testleri mutlaka yapılmalı ve uzun süre kaynak işlemine ara veren kaynakçılar mutlaka tekrar eğitimden geçirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Aksu, M., Kurtcebe, T., Bingöldağ, M., “Radyografi için radyasyon fiziği”,TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 1990
2. Akyüz, S. , Gümrükçüoğlu, M., ‘Tahribatsız muayene yöntemleriyle süreksizliklerin tespiti ve değerlendirilmesi’, *Mühendis ve Makine* , (476): (1999).
3. Akgün, A., F., Baş, N.,Yıldırım, A., “Tahribatsız muayene: Radyografik donanım”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, (1990).
4. Bilge, A. N., Tuğrul B., “ Endüstriyel radyografinin esasları ”, İTÜ, *Nükleer Enerji Enstitüsü*, 19-21, 85-88-89 (1990).
5. Bulubay, Ü., “Co ile çelik parçaların radyografisi için oluşturulan tek ve çift ön ekranların ağırlıklı ortalama yöntemi ile değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü*, 15-16, 19 (1995).
6. Bilge, A. N., “ Nükleer tekniklerin endüstriye uygulanması ”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 118-119-126 (1985).
7. Hellier, C. “Handbook of Nondestructive Evaluation” *Mc Graw Hill Professional Publishing*, USA, 21 (2001).
8. Röntgensan, “ NDT, Welding engineering, natural gas systems and consultant services”, *Röntgensan*, Bursa, 2-3 (2004).
9. Tuğrul, A.B., Baydoğan, N., “Otomotiv parçalarının radyografik incelenmesi”, *III. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu*, İstanbul, 126-127 (2008).
10. İnternet: Ortadoğu Teknik Üniversitesi “ Tahribatsız Muayene Birimi ” <http://www.wtndt.metu.edu.tr/ndt/tr/node/8> (2009).
11. Ekinci, Ş., Bingöldağ, M., Aksu, M., “ Dijital radyografi ”, *II. Uluslar arası Tahribatsız Muayene Sempozyumu*, İstanbul, 34 (2003).
12. Güneş, E.E., “Metal kaynaklı birleştirmelerin endüstriyel radyografik muayene prosedürünün bilgisayar programı haline getirilmesi ”, Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makine Müh. Bölümü*, Ankara, 6-7 (2004).
13. İnternet: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu “Endüstriyel Radyografi” http://www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi_brosur/brosurler/endustriyel_rad/endustriyel_rad.html (2009-04-10).

14. Staton, J., Radiographic muayeneing classroom training book, ISBN 1-57117-120-7", *Published by the American Society for Nondestructive Muayeneing, Inc., America*, 3, 11, 22-23, 30-31-36 (2005) .
15. Tepe, E., " Endüstriyel radyografide radyasyon güvenliği ", *Müh. Ve Makine*, 49 (582) : 19-20 (2008).
16. Yaşar, S., Köksal E. M., Yüce, Ö., "Radyasyondan Korunma Kurs Notları", TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 14 ,(2002).
17. Manuel for the Syllabi Contained in IAEA – TECDOC - 628, *İndüstriyel Radiography*, "Training guidelines in nondestructive muayeneing technig", *International Atomic Energy Agency*, Vienna, 102-103, 275, 292-293 (1992).
18. General Dynamics, "Programmed instruction handbook", *Nondestructive muayeneing, Radiographic equipment*, Vol III, *Convair Division Second Edition PI-4-6*, 3-6 (1983).
19. Seifert, R., " Seifert Eresco Program", *Röntgenwork*, Ahrensburg, 3-5-14 (2000).
20. İnternet:Sentinel NDT, <http://sentinel.thomasnet.com/product/pipeline-crawler-systems/ction-pipeline-crawler-systems-10-60-x-ray-crawl-3?&bc=100|1020> (2009).
21. Gözbebek, F., Hızarcı, S., "Gama Radyografi", *TAEK*, 9-10 (1990).
22. General Dynamics, "Nondestructive muayeneing - radiography muayeneing", *Classroom training handbook*, *Convair Division CT-6-6 Second Edition*, 2-8, 2-19, 3-20, 3-21 (1983).
23. Raj, B., Venkataraman, B., "Practical radiography", *Alpha Science International Ltd.*, Pangbourne, U.K. , 57-58, 63-65, 93-95 (2004).
24. İnternet: Enkon NDT , " Non Destructive Inspection Equipments " http://www.enkon.com.tr/NDT_CATALOGUE_ENKON.pdf (01.04.2009).
25. *International Atomic Energy Agency*, "Radiation protection and safety in industrial radiography", *IAEA*, Safety Reports Series No:13, Vienna, 24 – 25 (1999).
26. General Dynamics, " Programmed instruction handbook ", *Nondestructive muayeneing, making a radiograph*, Volume IV, *Convair Division Second Edition PI-4-6*, 2-4, 2-14, 3-1 (1983).
27. Şahin, N., "X ışını radyografi tekniğine ilişkin görüntü kalite değerlendirmesi", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü*, 14 (2003).

28. Becker, G. L., Radiographic NDT, *Du Pont NDT Systems*, E.I. du Pont de Nemeours & Co.,Inc. 264-265, 434-435, 475-479 (1990).
29. Aksu, M., Akgün, A.F.,“Tahribatsız muayene: Radyografi film çekimi”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi* , İstanbul, 2-5,28-32 (1991).
30. Yılmaz, G., “Radyografik hata tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü*, 30-41 (1999).
31. Aksu, M., Akgün, A.F., “ Radyografi tekniği seviye 1”, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi* , İstanbul, 10-11, 25 (1992).
32. *API 1104*, “Welding of Pipelines and Related Facilities”, 19. Edition Part 11.1., Sept., 32-33 (1999).
33. General Dynamics, “Programmed Instruction Handbook”, Nondestructive Muayeneing, Radiograph Voloun II- Radiation Safety, *Convair Division Second Edition*, PI-4-6, 6-17, 6-19, 6-21 (1983) .
34. TS 5127, Pr EN 1435 / Nisan 1996, “Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi, ICS 19.100/25.160.40”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara,11-13,17 (1996).
35. *ASME* Section V, “Radiographic Examination”, Article 2., T-270 (1996).
36. Akgün, A., F., Baş, N., Yıldırım, A., “ Tahribatsız muayene: Radyografi için karanlık oda ve banyo işlemleri”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul 1-2, 9-12-18 (1990).
37. Mahmutyazıcıoğlu, N. “Dijital radyografi – radyoskopi”, *III. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu*, İstanbul, 274-275 (2008).
38. Ekinci, Ş., Bingöldağ, M., Aksu, M., Doğruöz, M., “ Kaynak dikişi hatalarının dijital radyografik yöntemle değerlendirmesi” TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi*, İstanbul, 2-3 (2003).
39. Aygün, H., “ Döküm hatalarının radyografik ve radyoskopik muayene yöntemleri ile belirlenmesi” *I. Uluslar arası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, 189 (1999).
40. Yi Sun, Peng Bai, Hong-yu Sun, Ping Zhou, “Real-time automatic detection of weld defects in steel pipe”, *NDT&E International* , 38 : 522–528 (2005).
41. Akın, Ü., Nurlu, M., “Spiral kaynaklı çelik hat borularının kaynak dikişlerinin radyoskopik muayene yöntemi ile muayenesi ” *III. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi*, İstanbul, 138-139, 140-141 (2008).

42. Yıldız, M., “Doğalgaz boru hatlarının kaynağı ve tahribatsız muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-10 (2000).
43. Gürsel, A., “Petrol Borularının kaynaklarında kullanılan radyografik ve ultrasonik metodlarının karşılaştırılması ”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , Ankara, 3-4 (1999).
44. Özaltun, H., “ Boru hatlarında hasar oluşumu ve hasarların çeşitli kaynak teknikleri kullanılarak tamir edilme usulleri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 154-160 (1999).
45. İgdaş, “İstanbul Doğalgaz Dağıtım Projesi Yapım İşleri”, *Teknik şartnamesi*, İstanbul, 21-30, 33-34 (2003).
46. Oğuz, B., “Boru hattı kaynağı”, *Oerlikon yayını*, İstanbul, 2-6 -10 (1989).
47. Eryürek, İ. B., “Gazaltı MİG-MAG kaynağı” 1.baskı, *As Kaynak Yayınları*, İstanbul, 1-10 (1998).
48. Kaluç, E., Tülbentçi, K., “Boru hatlarında otomatik Mig / Mag kaynak yönteminin kullanımı”, *Mühendis ve Makine*, 43 (513) : 11-15 (2002).
49. Tülbenççi, K., “MIG-MAG ergiyen elektrod ile ark kaynağı”, *GEV*, 27-28, 35-36, 155-157, 159 (1990).
50. Kennedy, I. J., “Oil and Gas Pipeline Fundamentals, Second Edition”, *Pen Well Publishing Company*, Oklahomo, 1999-200 (1993).
51. Akgün, A.F., Baş, N., Yıldırım, A.,”Tahribatsız muayene: Malzeme süreksizlikleri”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi* , İstanbul, 8-9, 38-39 (1991).
52. İnternet : Ortadoğu Teknik Üniversitesi “ Tahribatsız Muayene Birimi ” <http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations/RadiographInterp.htm> (2009).
53. Oflaz, İ., “Tahribatsız muayene yöntemleri ile çelik boru kaynak hatalarının incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 80-94 (2001).
54. Güloğlu, H., “Tozaltı kaynaklı spiral boru imalinde kaynak parametrelerinin boru kalitesine etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , İstanbul, 1-5, 11-12 , (1997).
55. Candan, İ., “Çelik boruların MİG-MAG kaynağında kaynak pozisyonunun nüfuziyet mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 32, 41-43 (2004).

56. İnternet:Taksan NDT,“Boru hattı görünümüleri”
<http://www.google.com.tr/search?hl=tr&q=boru+hatt%C4%B1+resimleri&met>
(04.04.09).
57. Walton C., “Bohler pipeline welding with safe result&lower costs”,
Pipeline&Gas, 11:70-76 (1995).
58. Karakaş, E., “Quality and automation in welding of tubes orbital welding
systems”, *International Pipeline*, 18:222-228 (1998).
59. İnternet: Meriç, C., “Doğalgaz Boru Hatlarının Kaynakla Birleştirilmesi”
http://209.85.129.132/search?q=cache:Fv8wrsqBnrwJ:www.1nsaat.com/uploads/TrbBlogs/docs_2/24463_1199261794_367.doc+borullar%C4%B1n+kaynakla+birle%C5%9Ftirilmesi&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr (2009).
60. İnternet: Madazalıoğlu, A., “Boru hattı inşaatında kaynağın yeri ve önemi”
http://www.oerlikon.com.tr/pls/oerlikon/Tec_Pkg.download?filename=F26722/4_BORU_HATTI_PIPE-LINE_INŞAATINDA_KAYNAĞIN_YERİ_VE_ÖNEMİ.pdf (2009).
61. Anık, S., Tülbençci, K.,Kaluç, E., “Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı”
Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 22-23, 86-88 (1991).
62. Olgun, S., “Doğal gaz ve petrol taşıyan boruların kaynağında kaynak
hatalarının tesbiti ve alınması gereken tedbirler”, Yüksek Lisans Tezi,
Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-8, 9-17 (1998).
63. Mix, P.E., “Introduction To Nondestructive Muayeneing: A Training Guide”,
Second Edition,*Wiley- Interescience*, New Jersy, 398-399 (2005).
64. API 1104, “Standard for welding pipelines and related facilities, 19. Edition”,
American Petroleum Enstitu, 1-15 (1999).
65. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tahribatsız Muayene Yöntemleri ders
notları. Yrd. Doç. Dr. Durmuş Odabaşı

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Abdurrahman SALMA
 Uyruğu : Türkiye (T.C)
 Doğum Yeri : Sarız/KAYSERİ
 Doğum Tarihi : 20.02.1973
 Medeni Durumu : Evli
 Adres : Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji ABD
 E-Mail : asalma@erciyes.edu.tr
 Tel : 0 533 637 07 19

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	----
Lisans	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü	2000
Önlisans	Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Radyoloji	1994
Lise	Sarız Lisesi	1991

YABANCI DİL

İngilizce