

T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAYNAK DİKİŞLERİNİN TAHRİBATSIZ MUAYENELERİNE GENEL
BİR BAKIŞ VE RADYOGRAFİ METODUNUN ETÜDÜ

Yüksek Lisans Tezi

Yöneten : Doç. Dr. Erdoğan FIRATLI

Hazırlayan
Hakkı ARABACI
Mak. Müh.

Ocak 1986
ESKİŞEHİR

ÖNSÖZ

Makina imalâtında olduğu kadar, bayındırlık işlerinde de kaynağın baş vurulan başlıca imal yöntemleri arasında yer alması, bunun hata ve kusurlarının asgariye indirilmesi için yoğun çalışmaların her tarafta yürütülmesine neden olmuştur. Gerçekten köprüler, gemiler, uçaklar, uzay gemileri, kazanlar, basınçlı kaplar ve benzeri işlerde kaynağın, perçin tekniğini, teknikler tarihinin sayfeleri arasında görmüş olduğu bir gerçektir. Durum böyle olunca da, kaynaktan beklenen "malzemede süreklilik" şartının imkanlar arasında yerine getirilmesi gerekir.

Kaynak dikişinin şartname ve tekniğine uygun olup olmadığını çeşitli metodlarla denenerak karar verilir. Nitekim bir parçayı dikkatli şekilde çıplak gözle evire çevire muayene etmek, bugünün endüstrisinde de önemini hiçbir şekilde kaybetmemiş yaygın ve etkin bir muayene usulü olmasına rağmen, tahribatsız muayene metodları arasında sayılmaz. Bundan dolayı, tahribatsız muayeneyi sırf kelime çağrışımı ile akla gelen bu gibi basit tatbikatın ötesinde düşünmek gerekir.

Tahribatsız muayene alanında gelişme günümüzde daha da hızlanarak devam etmektedir. Mevcut metodlara yeni teknikler veya tamamiyle farklı fiziksel temellere dayanan yeni metodlar, araştırma laboratuvarlarının masaları üzerinde yakın günlerin endüstrisi için hazırlanmaktadır. Bu çalışmada kaynak dikişi hataları ile muayene metodları incelenmiş, tahribatsız kaynak dikişlerinin muayenelerinden radyografik muayene metodunun etüdüne ağırlık verilmiştir.

Bu çalışmayı veren değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Erdoğan FIRATLI'ya ve E.İ.B.M.K.lığı N.D.I. Atelyesinde yaptığım pratik çalışmalarda gerekli kolaylığı gösteren Y.Müh. Ütgm. Süleyman AY'a ve atelye personeline, tezin revizyonunda ana hatlarını belirleyen Prof. Salâhaddin ANIK ile tezi okuma ve düzeltmelerde değerli vakitlerini veren hocam Dr. Yaşar PANCAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Eskişehir, Ocak 1986

Hakkı Arabacı

PREFACE

The fact that welding is among the most favoured manufacturing processes used in machinery manufacture as well as construction has brought about extensive research to minimize commonly occurring faults and defects. It is a well know fact that welding has superseded riveting in the manufacture of bridges, ships, aeroplanes, spaceships, tanks and vacuum tanks etc. Therefore, the "continuity of material condition to be expected from welding should be maintained as far as possible.

Conformity of a welding place to specifications and technique can be checked employing various methods. Thus, although careful visual testing of a material has not lost its important as a widespread and effective method of examination, it is not considered among the non-destructive examination methods. Therefore, it is necessary to think about non-destructive examination beyond such simple practice that the name suggests.

The development of non-destructive examination methods has accelerated in today's world. Improved versions of know methods and discovery of new methods based on completely unique physical techniques have been realized in research laboratories for the benefit of tomorrow's industry. In this study, welding seam failures and inspection methods have been investigated, and special emphasis was given to radiographic inspection method, in non-destructive inspection methods of welding seams.

I am immensely indepted to Doç. Dr. Erdoğan Fıratlı for supervising my study, to Captain Engineer Süleyman Ay and his staff for helping during my pratical studies in the NDI workshop of EIBMK, to Prof. Salâhaddin Anık for determining the main points in revising my study and to Dr. Yaşar Pancar for helping by reading and regulating my study.

Eskişehir, January 1986

Hakkı Arabacı

ÖZET

Bu çalışmada kaynak dikişlerinin muayenesi konusu incelenirken, muayene metodları teker teker ele alınmıştır. Bu şekilde tüm metodlar açıklanmış ve uygulayıcı geniş bir fikir sahibi yapılmıştır.

İncelemede; ilk aşamada kaynak iç hatalarının malzeme mukavemetine etkileri ve genel kaynak muayeneleri araştırılmıştır. Muayene aşamaları, kaynaktan önce, kaynak yapılırken ve kaynak bittikten sonra olarak saptanmıştır. İkinci aşamada kaynak yapıldıktan sonra, kaynak dikişine zarar vermeden aletle yapılan tahribatsız muayenelerden penetrant, magnetik parçacıklarla muayene, eddy akımları ile muayene ve ultrasonik muayeneye yer verilmiştir. Ultrasonik metodda dalga çeşitleri piezoelektrik olay ve ultrasonik cihaz üzerinde araştırma yapılmıştır.

Son aşamada ise tahribatsız muayenelerden radyografik muayene metodu araştırılmıştır. Radyografik muayenenin etüdünde, X ve gamma ışınlarının üretilmeleri, cihazları ve farklılıkları araştırılmıştır. Radyografinin ilke ve kavramları araştırıldıktan sonra, radyoaktivite, film, ekran ve kalite araştırılmış, kaynak hatasının kabulü veya reddi kriterlerinden sonra raporların hazırlanması ile radyografik muayenenin etüdü noktalanmıştır.

Çalışma sonucunda, ultrasonik ve radyografik muayene karşılaştırılmıştır. Hangi hallerde ultrasonik ve radyografik muayenenin kullanılacağı ve hangi metodun seçimi yapılacağı takdim edilmiştir.

ABSTRACT

In this study, test methods for the examination of welding places have been investigated. All the methods have been explained in detail to make the reader familiar with each method.

At the first stage of the work, the effect of welding inside failures to material strength and general welding inspections are investigated. Inspection periods were selected as; before welding, during welding and after welding is completed. At the second stage, after welding is completed dye penetrant, magnetik particle inspection, eddy current inspection methods, which are methods that don't have any effects on welding seam were given. In ultrasonic method, wave types, piezoelectric effect and ultrasonic instrument has been investigated.

At the last stage, radiographic inspection method, which is a non-destructive inspection method, is investigated. In studying on radiographic method; production of x and gamma rays, instruments and the differences between x and gamma rays investigated. After the principles and definitions of radiography were investigated and radioactivity, film screen and quality have been considered followed by discussions on the criteria of acceptance and rejection of welding failures, studies on radiographic tests have been accomplished by the preparation of reports.

In conclusion, ultrasonic and radiographic test methods have been compared and guidance for choosing the most suitable method for each case has been given.

| | | |
|----------|--|----|
| II.1.3 | Penetrantın avantajı ve sınırları | 14 |
| II.2 | MAGNETİK PARÇACIKLARLA MUAYENE | 14 |
| II.2.1 | Magnetizma ve magnetikleştirme yöntemleri | 14 |
| II.2.1.1 | Magnetik alan içinde magnetikleştirme | 15 |
| II.2.1.2 | Elektrik akımında magnetikleştirme | 16 |
| II.2.2 | Muayene işlemleri | 16 |
| II.2.2.1 | Kuru metod | 16 |
| II.2.2.2 | Islak metod | 17 |
| II.2.3 | Kullanılan malzemeler | 17 |
| II.2.3.1 | Magnaflux test cihazı | 17 |
| II.2.3.2 | Magnetik toz | 17 |
| II.2.3.3 | Ultraviyole lamba | 18 |
| II.2.3.4 | Taşıyıcı sıvılar | 18 |
| II.2.3.5 | Magnetik alan endikatörü | 19 |
| II.2.4 | Ark ve aşırı ısınmayı önleyecek tedbirler | 19 |
| II.2.5 | Metodun avantajı ve sınırları | 19 |
| II.3 | EDDY AKIMLARI İLE MUAYENE | 20 |
| II.3.1 | Malzemelerin mıknatıslanma özelliği | 21 |
| II.3.2 | Frekans | 21 |
| II.3.3 | Süreksizlikler | 22 |
| II.3.4 | Prob ile test malzemesi mesafesi | 23 |
| II.3.5 | Eddy akımlarında problemler ve bobinler | 23 |
| II.3.5.1 | Prob ve bobin seçimi | 23 |
| II.3.5.2 | Test bobin şekilleri | 24 |
| II.3.6 | Bir süreksizliğin algılanması | 25 |
| II.3.7 | Uygulama alanı | 25 |
| II.4 | ULTRASONİK MUAYENE | 26 |
| II.4.1 | Ultrasonik test yönteminde algılanabilen hatalar | 26 |
| II.4.2 | Ultrasonik dalgalar | 26 |
| II.4.2.1 | Piezo-elektrik olayı | 27 |
| II.4.2.2 | Boyuna dalgalar | 27 |
| II.4.2.3 | Enine dalgalar | 28 |
| II.4.3 | Ultrasonik muayenede kullanılan cihazlar | 28 |
| II.4.3.1 | Ultrasonik test cihazı | 28 |
| II.4.3.2 | Problemler | 31 |
| II.4.3.3 | Kalibrasyon blokları | 32 |

| | | |
|----------|---|----|
| II.4.3.4 | Prob frekanslarının kullanıldığı alanlar | 33 |
| II.4.4 | Ultrasonik test cihazını kalibre etmek .. | 33 |
| II.4.4.1 | Normal problemlerle kalibrasyon .. | 33 |
| II.4.4.2 | SE problemleriyle kalibrasyon | 34 |
| II.4.4.3 | Açılı problemlerle kalibrasyon ... | 36 |
| II.4.5 | Kaynak dikişlerinin çeşitli pozisyonlarda taranması | 39 |
| II.4.5.1 | Alın kaynaklı birleştirmeler .. | 39 |
| II.4.5.2 | Köşe kaynaklı birleştirmeler .. | 41 |
| II.4.6 | Test cihazındaki hataları kayıt etme | 41 |
| II.4.7 | Test prosedürü (şartları) | 42 |
| II.4.8 | Ultrasonik bulguların değerlendirilmesi . | 42 |
| II.4.9 | Kabul/Red standartı | 44 |
| II.4.10 | Test raporu | 45 |

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

RADYOGRAFİK MUAYENE

| | | |
|---------|---|----|
| III.1 | ELEKTROMANYETİK IŞINLAR | 46 |
| III.1.1 | Elektromanyetik ışınım ailesinin bireyleri | 46 |
| III.1.2 | Dalga boyu-Enerji ilişkisi | 47 |
| III.2 | X- IŞINLARI VE ÜRETİLMELERİ | 48 |
| III.2.1 | X- ışınlarının keşfi | 48 |
| III.2.2 | X- ışını özellikleri | 48 |
| III.2.3 | X- ışını üretimi | 49 |
| III.2.4 | X- ışını cihazları | 49 |
| III.2.5 | X- ışını dalga boyunun değiştirilmesi ... | 54 |
| III.3 | GAMMA IŞINLARI VE ÜRETİLMELERİ | 54 |
| III.3.1 | Atom ve yapısı | 54 |
| III.3.2 | Atomun parçalanması | 55 |
| III.3.3 | Gamma ışınlarının keşfi | 56 |
| III.3.4 | Gamma ışını cihazları | 57 |
| III.3.5 | Radyoizotop kapsülleri | 61 |
| III.3.6 | Gamma radyografi cihazları ile çalışma .. | 61 |
| III.4 | X- VE GAMMA IŞINLARININ KARŞILAŞTIRILMASI | 62 |
| III.4.1 | Farklı yönleri | 62 |
| III.4.2 | Boşlukta yayılım | 63 |
| III.4.3 | Maddesel ortamlarda yayılım | 65 |

| | | |
|---------|---|----|
| III.4.4 | Soğurulma ve saçılma | 66 |
| III.4.5 | Kalıcı etkileri | 67 |
| III.4.6 | Eşdeğer enerji kavramı | 67 |
| III.5 | RADYOGRAFİNİN İLKELERİ VE KAVRAMLARI | 68 |
| III.5.1 | Görüntü meydana getirmek | 68 |
| III.5.2 | Radyografik görüntü | 69 |
| III.5.3 | Radyografiden görüntü alınmadığı haller | 70 |
| III.5.4 | Işın şiddeti birimi | 72 |
| III.5.5 | Işınlama | 73 |
| III.5.6 | Radyasyon kaynağı-film uzaklığı | 73 |
| | III.5.6.1 Radyasyon kaynağının | |
| | objeye uzaklığı | 73 |
| | III.5.6.2 Obje-film uzaklığı | 73 |
| III.5.7 | Yarıgölge veya belirsizlik | 74 |
| | III.5.7.1 Geometrik yarıgölge | 74 |
| | III.5.7.2 Kaçınılmaz yarıgölge | 75 |
| III.6 | RADYOAKTİVİTE,RADYOİZOTOPLAR VE RADYASYON | 77 |
| III.6.1 | Radyoaktivite şiddeti birimi | 77 |
| III.6.2 | Radyoizotoplarda yarıömür | 77 |
| III.6.3 | Gamma radyografisinde kullanılan | |
| | radyoizotoplar | 79 |
| III.6.4 | Gamma radyografisi için izotop seçimi | 80 |
| III.6.5 | Radyasyondan korunma ve zararlı doz | |
| | miktarları | 81 |
| III.7 | FİLM,EKRAN VE BANYO İŞLEMLERİ | 83 |
| III.7.1 | Radyografi filmi | 83 |
| III.7.2 | Filmin yapısı | 83 |
| III.7.3 | Filmlerin sınıflandırılması | 85 |
| III.7.4 | Filmlerin eşdeğerliliği | 87 |
| III.7.5 | Ekranlar | 89 |
| | III.7.5.1 Metal ekranlar | 89 |
| | III.7.5.2 Tuz ekranlar | 91 |
| III.7.6 | Banyo geliştirme (Developmen banyosu) . | 91 |
| III.8 | RADYOGRAFİK KALİTE VE I.Q.I. KALİTESİ | 92 |
| III.8.1 | Radyografik tekniğin kalitesi | 92 |
| | III.8.1.1 ISO-R 1106 Uluslararası | |
| | tekniğin kalitesi | 92 |
| | III.8.1.2 BS 2600 İngiliz standardı . | 92 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| III.8.1.3 | ASME Section V Amerikan Standardı | 93 |
| III.8.1.4 | DIN 54111 Alman standardı . | 93 |
| III.8.2 | Radyografik duyarlık | 93 |
| III.8.3 | I.Q.I. kalitesi | 95 |
| III.9 | REFERANS RADYOGRAFLAR VE OKUMA ŞARTLARI | 97 |
| III.9.1 | Referans radyograflar | 97 |
| III.9.1.1 | I.I.W. Referans radyograflar | 98 |
| III.9.1.2 | Referans radyografların kapsamı | 99 |
| III.9.2 | Radyograf okuma şartları | 99 |
| III.9.2.1 | Özel okuma cihazı | 99 |
| III.9.2.2 | Okuma odası aydınlığı | 101 |
| III.9.2.3 | Okuyan kişi | 102 |
| III.10 | KABUL/RED KRİTERLERİ | 103 |
| III.11 | RAPORLARIN HAZIRLANMASI | 103 |
| | SONUÇ VE ÖNERİLER | 105 |
| | EKLER | 108 |
| | KAYNAKÇA | 111 |

TABLOLAR LİSTESİ

| <u>Tablo No</u> | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| 1. İşitilebilir ses ve ötesi tablosu | 26 |
| 2. Projeksiyon uzaklığına göre kalibrede, hesaplanan değerlerin bir tabloda gösterilmesi | 38 |
| 3. Ultrasonik bulguların sabit değerlere göre değerlendirilmesi | 43 |
| 4. Malzeme kalınlıklarına göre hata uzunlukları | 43 |
| 5. X- ve gamma radyasyonun Al, Fe ve Pb için muhtelif enerjilerdeki zayıflama katsayıları | 66 |
| 6. Kaçınılmaz yarıgölgenin ışın enerjisi ile değişimi . | 76 |
| 7. Endüstriyel radyografide en çok kullanılan gamma ışını kaynakları | 80 |
| 8. Muhtelif filmler üzerinde Ag bromür miktarlarının yaklaşık değerleri | 84 |
| 9. Ticari filmlerin Alman sınıflaması | 86 |
| 10. Ticari filmlerin İngiliz sınıflaması | 86 |
| 11. Agfa-Gevart filmlerine üç ülkede verilen sınıf numaraları | 86 |
| 12. X- ışınlarına göre çekilecek çeşitli malzemelerin, ışın enerjilerinin ve film tiplerinin seçimi | 87 |
| 13. Gamma ışınlarına göre çekilecek çeşitli malzemelerin, kaynak ve film tipi seçimleri | 87 |
| 14. Ticari filmlerin hızlarına göre eşdeğerlik tablosu . | 88 |
| 15. Bazı fotografik yoğunluk değerleri ve ifade ettikleri ışık geçiş oranları | 95 |
| 16. Tel numarası, çapı ve I.Q.I. kademeleri | 96 |
| 17. I.I.W. referans radyograflarında kaynak hataları grupları ve simgeleri | 98 |
| 18. I.I.W. referans radyograflarında hataların kaynak için arzettiği tehlikeye göre sınıflandırılması ... | 99 |
| 19. Çeşitli yoğunluklardaki filmlerin okunması için gerekli minimum aydınlıklar | 100 |
| 20. Kabul/Red kriterlerini veren iş kolu düzeyinde standart ve şartname örnekleri | 103 |
| 21. Rapor formu | 104 |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| <u>Sekil No</u> | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| 1. Kaynak iç hataları | 3 |
| 2. Gözeneklerin alın birleştirme kaynağında çekme dayanımına etkileri | 4 |
| 3. Gözeneklere dik yüklerde gerilim yığılımları | 5 |
| 4. Kaynak hatalarına bağlı olarak sürekli titreşim dayanımının düşmesi | 5 |
| 5. Kaynak dikişinin geometrisi | 6 |
| 6. Kök hatalı dikişte sürekli titreşim dayanımının düşmesi | 7 |
| 7. Schumuckler frezesi ile kaynak dikişini açma | 9 |
| 8. İçi boş parçaların endoskop ile muayenesi | 10 |
| 9. Ultraviyole lamba | 11 |
| 10. Ultraviyolemetre | 11 |
| 11. Bir kaynak dikişine penetrant sıvısının tatbiki | 12 |
| 12. Penetrant, developer ve emulsifier kiti | 12 |
| 13. Bir kaynak dikişinden penetrantın temizlenmesi | 13 |
| 14. Temizlenmiş kaynak dikişine developer tatbiki | 13 |
| 15. Bir kapalı kabın bir yüzüne penetrant diğer yüzüne developerin tatbik edilmesi | 14 |
| 16. Magnetik parçacıklarla test cihazının aksesuarları ile birlikte görülmesi | 15 |
| 17. Demir tozlarının düz mıknatıs etrafında dizilişi ... | 15 |
| 18. Çentikli düz bir mıknatısta magnetikaki çizgileri .. | 15 |
| 19. Boyuna çatlağın düz bir mıknatısta algılanması | 15 |
| 20. Bir atnalı (U) mıknatısta magnetikaki çizgileri | 16 |
| 21. Bir U mıknatısla kaynak dikişindeki çatlakların algılanması | 16 |
| 22. İçi dolu bir malzemeye akım verildiğinde magnetik alanın durumu | 16 |
| 23. Magnetik cihazın akım verme uçları (produ) | 16 |
| 24. Magnetik parçacıkların basınçlı hava ile kaynak dikişine püskürtme cihazı | 17 |
| 25. Magnetik parçacıkların lastik bir cihazla kaynak dikişine tatbik edilmesi | 17 |
| 26. Sabit tip magnaflux cihazı | 17 |

| | |
|--|----|
| 27.Seyyar tip magnaflux cihazı | 17 |
| 28.Kuru tip magnetik parçacıkların kutularda muhafazası | 18 |
| 29.Magnetik parçacıkların bir kaynak dikişine tatbik edilmiş hali | 18 |
| 30.Magnetik parçacıkların fluoresant renklere boyanmış haliyle kaynak dikişine tatbik edilmesi | 18 |
| 31.Magnetik parçacıkların kaynak dikişinde ultraviole lamba ışığı altında incelenmesi | 18 |
| 32.Filtreli bir ultraviole lamba | 18 |
| 33.Ultraviole ışıkta kullanılan bir gözlük | 18 |
| 34.Magnetik alan endikatörü | 19 |
| 35.Magnetik alan endikatörü boyutları | 19 |
| 36.Prodda temas yüzeyleri | 19 |
| 37.Bakır iletkenli yastıklar | 19 |
| 38.Eddy akımlarının meydana getirilmesi | 20 |
| 39.Çentikli silindirik bir parçada eddy akımlarının durumu | 20 |
| 40.Non-magnetik ve magnetik malzemelerde magnetikaki grafiği | 21 |
| 41.Silindirik bir parçada eddy akımlarının durumu | 21 |
| 42.Eddy akımlarının derinlikle azalması | 21 |
| 43.Eddy akımları için hassas blok | 22 |
| 44.Aralık faktörü için yarı silindirik blok | 23 |
| 45.Aralık faktörü için köşe probu | 23 |
| 46.Aralık faktörü için özel prob | 23 |
| 47.Eddy akımları için yüzey problemleri | 24 |
| 48.Eddy akımları için iç bobin problemleri | 25 |
| 49.Eddy akımları için çevresel bobinler | 25 |
| 50.Eddy akımları ile dikişli siyah bir borunun testi .. | 25 |
| 51.Eddy akımları test cihazı ve problemleri | 25 |
| 52.Ultrasonik test cihazının şematik gösterilmesi | 28 |
| 53.Ultrasonik test cihazı | 28 |
| 54.Ultrasonik test cihazındaki ekolar | 29 |
| 55.Ultrasonik hata algılama cihazının blok diagramı ... | 29 |
| 56.Ultrasonik test cihazında zaman taksimat çizgileri . | 30 |
| 57.Ultrasonik test cihazının katod ışını tüpü | 30 |
| 58.Ultrasonik test cihazının probu | 31 |
| 59.Normal problemler | 31 |
| 60.S-E problemler | 32 |

| | |
|--|----|
| 61.Açılı prob lar | 32 |
| 62.Kalibrasyon blokları | 32 |
| 63.Normal problemlerle kalibrasyonda arka ve ön cidar ekoları | 34 |
| 64.Ekranda bir hata sinyalinin yakalanması | 34 |
| 65.S-E problemlerle kalibrasyonda merdiven bloku | 35 |
| 66.S-E problemlerle kalibrasyonda probun konumu | 35 |
| 67.Normal prob ile S-E probunun ses demetlerinin karşılaştırılması | 36 |
| 68.Ses demetinin malzeme içindeki durumu | 36 |
| 69.Ultrasonik ses demetinin geliş ve kırılma açısı | 36 |
| 70.Boyuna dalgaların malzeme içinde yok oluşları | 36 |
| 71.Ses demetinin kırılması | 37 |
| 72.Ses yoluna göre kalibrasyonda ekrandaki ekolar | 37 |
| 73.K ₂ kalibrasyon blokunda ses yolları | 38 |
| 74.Projeksiyon uzaklığına göre kalibrasyonda ses yolu . | 38 |
| 75.Kısaltılmış projeksiyon uzaklığına göre kalibrasyonda ses yolu | 39 |
| 76.Kaynak dikişinin problemlerle boyuna taranması | 39 |
| 77.Kaynak dikişinin problemlerle tam ve 1/2 adımla taranması | 40 |
| 78.Kaynak dikişinin problemlerle atlama ve yakalama metoduna göre taranması | 40 |
| 79.Silindirik parçalarda kaynak dikişinin problemlerle taranması | 40 |
| 80.Köşe kaynaklarının problemlerle taranması | 41 |
| 81.Boru bağlantı parçalarındaki kaynağın problemlerle taranması | 41 |
| 82.Test cihazındaki hataları kayıt etme | 41 |
| 83.Radyografi cihazı ile radyografi filmi çekme | 46 |
| 84.Bir malzemenin iç görüntüsünü radyoskopla ekranda, görüntülenmesi | 46 |
| 85.Elektromanyetik radyasyonların dalga boylarına göre sıralanması | 47 |
| 86.X- ışını üretiminin dayandığı temel olay | 49 |
| 87.1901 yıllarındaki x-ray tüpü | 49 |
| 88.1940 yıllarındaki x-ray cihazı | 49 |
| 89.Bir radyografi cihazının şematik görünüşü | 50 |
| 90.Bir radyografi cihazının kesiti | 51 |
| 91.Radyografi cihazındaki vakum tüpü | 51 |

| | |
|---|-----|
| 92.Radyografi cihazının aksesuarları ile birlikte görülüşü | 53 |
| 93.X- ışını spektrumunun mA ve kV ile değişimi | 54 |
| 94.Bir atom modeli | 55 |
| 95.Mekanik kumandalı Ir ¹⁹² gamma radyografi cihazı | 57 |
| 96.Işınması korunmalı gamma radyografi cihazı | 58 |
| 97.Gamma radyografi cihazının uzaktan kumanda edilmesi | 59 |
| 98.Gamma radyografi cihazının,kumanda panosu ve kılavuz borusu | 59 |
| 99.Meşale tipi Ir ¹⁹² gamma ışınlama cihazı | 60 |
| 100.Radyografik gamma kaynağı kapsülleri | 61 |
| 101.Gamma radyografisinde radyasyon ölçme cihazı | 62 |
| 102.Gamma ve X ışınları spektrumu | 64 |
| 103.Radyasyon şiddetinin uzaklığın karesi ters orantılı olarak azalması | 64 |
| 104.Saçılan radyasyonların şematik resmi | 66 |
| 105.Radyografinin prensip şeması | 69 |
| 106.Bir radyografi filminde kaynak dikişinin görünüşü .. | 70 |
| 107.Radyografinin görüntü vermeyeceği durumlar | 71 |
| 108.Radyografi filminin çekiminde doğru ve hatalı yönlendirmeler | 72 |
| 109.Geometrik yarıgölge | 74 |
| 110.Radyoaktivitenin ekspanansiyel zayıflaması | 78 |
| 111.Aynı kaynak dikişinin x- ışını ve gamma ışını cihazları ile film çekilerek görüntünün karşılaştırılması | 80 |
| 112.Cep dozimetre cihazı | 83 |
| 113.Radyografi filminin yapısı ve tabakaların tipik kalınlıkları | 84 |
| 114.Kurşun ekranın şiddetlendirme oranı enerji ile değişimi | 91 |
| 115.Banyo geliştirme kuveti | 91 |
| 116.Telli penetremetre | 97 |
| 117.Radyografi filminde telli penetremetrede tel görüntüleri | 97 |
| 118.Radyografi filmi okuma cihazı | 100 |
| 119.Radyografi filmi okuma odası aydınlatma cihazları .. | 102 |

GİRİŞ

İnsanoğlunun metalleri işlemeye başlamasıyla kaynak teknolojisi de en basit biçimiyle uygulanmaya başlanılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde, kaynak teknolojisinin beşbin yıldan daha uzun bir geçmişe sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Eski Mısır'da ve Mezopotamya'da süs eşyası ve vazolar kuyumcu kaynağının en güzel örneklerini teşkil etmektedir.

Yüzyılımızın başlarında Oksi-asetilen ve örtülü elektrodların geliştirilmesiyle kaynak konstrüksiyonlarına yeni ufuklar açılmıştı. 1920 yılında kaynakla imal edilen ilk gemi Fullager, Birkenhead'de Cammel Laird tarafından denize indirilmişti.² Bu yıllarda kaynak ile imal edilen gemiler, perçin ile imal edilen gemilere oranla %21'lik çelik tasarrufu sağlanmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin perçinle yapılan birleştirmelere nazaran işçilikten %25-30 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür. Perçinde esas malzeme mukavemetine erişilmemesine rağmen, kaynakta esas malzeme mukavemetinin %100'üne erişmektedir. Kaynakla birleştirmenin perçine oranla toplam maliyeti daha düşük olmaktadır. Yukarıda verilen sonuçlar doğrultusunda kaynakla birleştirme, perçin birleştirmenin yerini tamamiyle almıştır. Geriye 1889 Milletlerarası Paris sergisi için 2,5 milyon perçin kullanarak yapılan Eiffel kulesi kalmıştır.

Teknolojik ilerleme ve değişim, insanlığın temelini oluşturur. Teknolojik ve bilimsel gelişme, doğal olarak kaynak teknolojisinde de birçok yeniliklere zemin hazırlamıştır. Bugün yaygın olarak kullanılan MIG, TIG, CO₂ koruyucu gaz kaynağı, tozaltı kaynağı gibi yarı otomatik kaynak usulleri bugün için yüzden fazla kaynak usulleri arasında basit olanlarındandır. Günümüzde elektron ışınları, ultrases dalgaları ve laser ışınları kaynakta kullanılmaktadır. Sürtünme ve patlama enerjisinden yararlanılarak farklı metaller kaynatılabilmekte, denizaltılardan uydulara kadar her yerde kaynak teknolojisinin katkısını görmek mümkün olmaktadır.

¹Burhan Oğuz, Ark Kaynağı El Kitabı (İstanbul: Oerlikon Yayınları, 1975), s. 3.

²Selâhaddin Anık, Kaynak Tekniği (3. Baskı, İstanbul: İTÜ Yayınları, 1980), s. 16.

Teknolojinin bu konuda sahip olduğu yüksek bilgi birikimine rağmen, birçok hatanın yapılabileceği de gerçektir. Bir kaynak işleminin sonunda, kaynak dikişinde geçiş bölgesinde ve malzemede meydana gelebilecek hatalar bu kaynaklı bağlantının kalitesine etki ederek buna bağlı konstrüksiyonun kullanılmaz duruma gelmesine kadar uzanacaktır. Gemilerin bölünüp batması, nükleer santrallerde radyoaktif sızıntılar, köprülerin çökmesi, tankların, gaz depolarının ve buhar kazanlarının parçalanması, gaz boru hattının boydan boya çatlaması kaynak bilgi ve deney eksikliği ile uygulamadaki hataların meydana getirdiği acı sonuçlardır.

Hata ve kusurlar olduğu yerde bırakılmamış, bilimsel araştırmalara çok yönlü ve geniş bir şekilde analizleri yapılmıştır. Tekrar can ve mal kaybına sebebiyet vermemek ve iş güvenliğinin yok olmaması için, mutlaka kaynak dikişlerinin muayenelerinin zorunlu olduğu gösterilmiştir. Kaynak dikişlerine zarar vermeden hatalı olup olmadıklarını penetrant, magnetik parçacıklarla, eddy akımları ve ultrasonik yöntemle muayenelerinin yapılabileceği araştırılmıştır.

Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenelerinden, oldukça önemli olan ve güncelliğini yitirmeyen radyografi metodu üçüncü bölümde ayrıntılarıyla araştırılması yapılmıştır. Radyografi metodunu teşkil eden X ve gamma ışınları ile bunları üreten cihazlar ve çektiği filmler de araştırma kapsamına alınmıştır.

Tez araştırmasının sonucu olarak, konstrüksiyon parçalarının tahribatsız olarak yapılan muayenelerinde bir nevi kalite kontrollerinde hata ve kusurlu olanları yerine montajından önce, kabul edilmez hatalı olanları ayıklayıp ayırmaktır. Ayrıca ultrasonik ile radyografi metodunun karşılaştırılması yapılarak hangi hallerde biri diğere tercih edileceği gözler önüne serilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

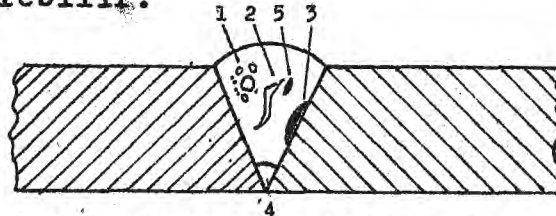
KAYNAK HATALARI VE GENEL KAYNAK MUAYENELERİ

I.1 KAYNAK HATALARI VE BUNLARIN MALZEME MUKAVEMETİ İLE İLİŞKİLERİ

Kaynak ile yapılan konstrüksiyonlarda kırılma; hatalı yapılan kaynak dikişi nedeniyle kendini gösterebileceği gibi, dizayn boyutlarının yetersiz kalması veya uygun olmayan tamirat ve dizaynda yer verilmeyen zorlamalar nedeniyle çok büyük hatalarda kendini gösterir.

Kaynak dikişinin konstrüksiyon hesaplarında boyutları yetersiz tutulursa, kaynak dikişi hatasız yapılsa dahi kırılma ve çatlamalara neden olur. Oysa biz kritik malzeme seçiminden olduğunu düşünürüz. Bunlar imalat veya ilk işletme yüklemeleri esnasında kendini gösteren kaynak hatalarıdır. Bu hatalara çoğu zaman malzeme uyumsuzluğunun neden olduğu kabul edilirse de, genelde hasarların nedenleri söz konusu edilen malzeme ile kaynak tekniğine uygun bir tarzda dizayn yapılmaması, imal edilmemesi ve kalite kontrolü yapılmamış bir malzeme kullanılması nedeniyledir.

Kaynak hataları, kaynak birleştirmenin kalitesine de etki ederek buna bağlı konstrüksiyonun kullanılmaz duruma gelmesine kadar uzanacaktır. Bir kaynak dikişinde şu iç hatalar görülebilir.



- 1-Gözenekler
- 2-Çatlaklar
- 3-Bağlantı hatası
- 4-Kök hatası
- 5-Curuf kalıntısı

Şekil 1. Kaynak iç hataları

Ahmet Ergenç, Böhler Kaynak Dünyası (Sayı 10, İstanbul:1985), s.11.

I.1.1 Gözenek Teşekkülü (Gaz Boşluğu)

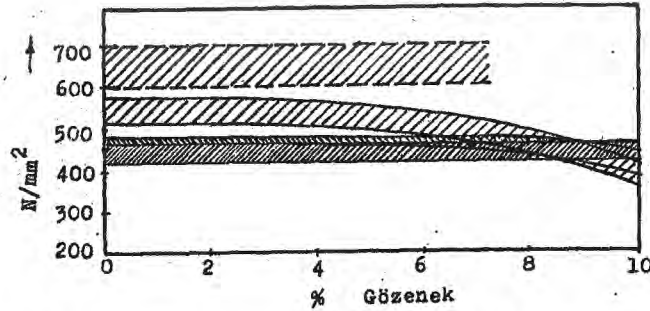
Kaynak dikişinde gözenek oluşmasını neden olabilecek pek çok faktör mevcuttur. Kaynak işlemi yapılırken kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan N_2 , CO ve H_2 gazlarının

¹Ahmet Ergenç, Böhler Kaynak Dünyası (Sayı 10, İstanbul:1985), s.11.

kaynak dikiş i içerisinde sıkışıp kalan veya bazen kaynak dikişinin üst yüzeyine kadar çıkabilen gaz boşluklarıdır. Kaynak ve curuf banyosunun yüzey gerilim oranlarına ve çok karmaşık olay olan vizkoziteye bağlı olarak da meydana gelebilirler. Gözenekler kaynak dikişinin içerisinde veya yüzeyinde tek tek veya gruplar halinde bulunurlar. Kaynak birleştirmelerinin statik dayanımına tek tek oluşan gözeneklerin etkisi azdır. Gruplar halinde oluşan gözenekler, dinamik mukavemet istenen kaynaklı birleştirmelerde tehlikeli olmaktadır.

³Gaz boşlukları oval, yuvarlak veya belirli aralıklarla farklı büyüklüklerde olabilirler. Gözenek ağızlarının keskin ağızlı olması ve dışa kadar uzanması kaynak konstrüksiyonlarında o bölgede çentik etkisi gösterip hacimsel gerilmelere yol açacağından bu gözenekler kaynak dikişinin mukavemet değerleri üzerine etki ederek tehlikeli ölçülere varabilir.

Kaynak dikişlerindeki gözenekler, değişik yüklemeler altında çalışan bir birim yüzeyinde kesit daralması oluşturmaktadır. Yapılan statik deney ölçümlerinde; %6'ya varan gözenekli bir birim yüzeyin çekme dayanımını düşürmediği izlenmiştir.

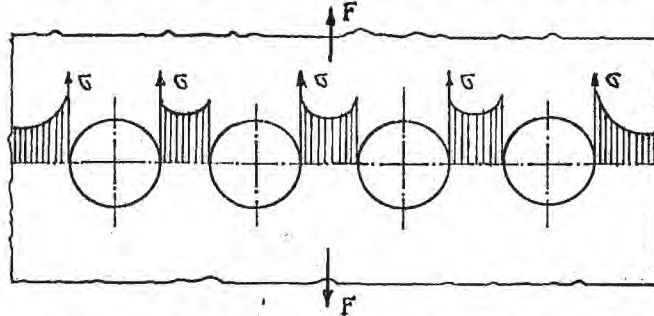


Şekil 2. Gözeneklerin alın birleştirme kaynağında çekme dayanımına etkileri
Ergenç, s.13.

Dinamik zorlamalar altında çalışan kaynaklı birleştirmelerde, eşit aralıklarla kaynak dikiş i boyunca sıralanmış gözenekler, dayanım değerlerini aşırı boyutlara varacak şekilde düşürdüğü görülmüştür. Kaynak dikişindeki her bir gözenek çentik etkisi yaparak gözenek kenarlarında gerilim sivrilikleri oluşturmaktadır. Şekil 3. Bu gerilim sivrilikleri kaynak konstrüksiyonunun dinamik dayanımını 10^5 zorlama-

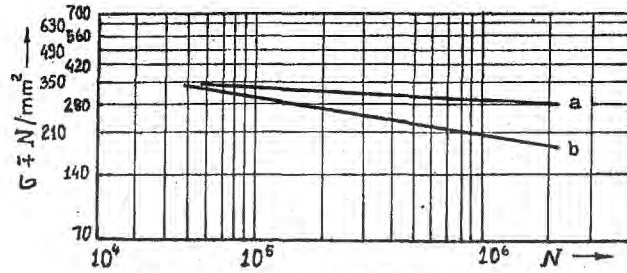
²Aynı, s.13.

da % 35, 10^6 zorlamada % 40 düşürmektedir. Şekil 4. Görüldüğü gibi kaynak dikişinin içinde bulunan görünmeyen gözenekler kaynak konstrüksiyonunun ne denli mukavemetinin düşmesine neden olmakta ve büyük bir tehlike arz etmektedir.



Şekil 3. Gözeneklere dik yüklerde gerilim yığılmaları

Ergenç, s.11.



a: hatasız dikiş, b: gözenekli dikiş

Şekil 4. Kaynak hatalarına bağlı olarak sürekli titreşim dayanımının düşmesi

Ergenç, s.11.

1.1.2 Kaynak dikişindeki çatlaklar

³Kaynak konstrüksiyonlarında meydana gelen kaynak hataları içerisinde önem derecesine göre ilk sırayı çatlaklar oluşturmaktadır. Kaynak dikişinin (kalıntı iç gerilmeler) mekanik, metalurjik (ayrışmalar) ve dikiş geometrisi (dikişin nüfuziyeti ile genişliği arasındaki oran ve yüzey görünümü) göz önüne alınarak dizaynı yapılmalıdır.

⁴Bir çatlağın fiziksel olarak yayılabilmesi için, belirli bir ölçüde bir enerjinin sarfedilmesi gerekir. Kırılma işlemi şu aşamalardan meydana gelir. Yavaş ilerleme, başlangıç, ilerleme ve durdurma safhalarıdır. Yapı elamanını yerleştirme sırasındaki en önemli sorunlardan biri, Hata ve kusurların hangisine izin verilebileceği yani hangi hatanın kritik olacağı ve kırılmanın başlangıç safhasıdır. Bu yüzden kırılmanın başlayabilmesi için gerekli olan şartlar ayrıntıları ile incelenmelidir. Bu aynı zamanda kırılma me-

³Aynı, s.11.

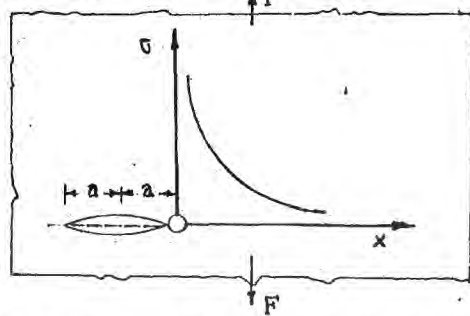
⁴Burhan Oğuz, Kaynak Bilgisi (Sayı 1, İstanbul: Oerlikon yayınları, 1984), s.19.

kaniğinin "gerilme şiddeti faktörü" ana kriteridir, şöyle formüle edilmiştir.

$$^5 \sqrt{\sigma_c \sqrt{a}} = \left(\frac{2 \lambda \gamma E}{\pi} \right)^{1/2} = \text{malzeme sabiti} \quad (1)$$

Kritik gerilme şiddeti faktörü " K_{1c} " olarak adlandırılmıştır. Burada "a" çatlak yarı boyu, "E" elastisite modülü, $\sqrt{\sigma_c}$ kritik gerilme, λ kalıcı şekil değiştirmeleri için harcanan birim yüzey enerjisidir. Kritik gerilme şiddeti faktörü malzeme özelliği olup, konstrüksiyoncuya akma gerilmesi, elastisite sabiti gibi parametreler sağlar ve şöyle ifade edilir.

$$^5 K_{1c} = \sqrt{\sigma_c \lambda \pi} = (2 \lambda \gamma E)^{1/2} \quad (2)$$



Sekil 5. Kaynak dikisinin geometrisi

Osman S. Yahşi, Mühendis ve Makina (Sayı 293, Ankara:MMO yayını, 1984), s.7.

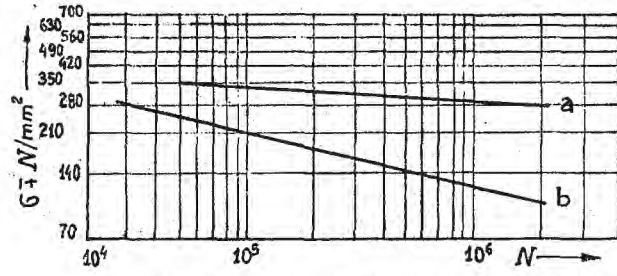
Yukarıdaki eğriden görülebileceği gibi çatlak boyu büyüdükçe malzemenin mukavemet gerilmesi düşmektedir. AISI 4340 çeliğinde $a=0.05$ inç iken $\sqrt{\sigma_c}=151$ ksi, $a=1$ olursa $\sqrt{\sigma_c}=34$ ksi olmaktadır. Buradan çıkan sonuç, çatlakların uzantısına dik zorlamalar yapılması halinde kötü sonuçlar ortaya çıkabilir. Kaynak hataları içerisinde kaynaklı konstrüksiyonun kısmi veya tamamını emniyetli kullanılmaz duruma getirecek olan çatlakların mutlaka giderilmesi gerekmektedir.

1.1.3 Bağlantı ve kök hatası, curuf kalıntısı

⁷ Bağlantı ve kök hataları ile curuf kalıntılarının her birleşme yüzeylerinde kesit daralması ve çentik tesirlerinden dolayı gerilim yığılmalarını taşıyan hatalar olarak tarif edilirler. Bilhassa bunlardan kök hataları dinamik zorlamalarda büyük önem taşımaktadır. Şekil 6'dan görülebileceği gibi, sürekli titreşim dayanımı hızlı bir şekilde zorlama büyüklüğüne bağlı olarak düşmektedir. 10^5 zorlamada %14, 10^6 zorlamada % 50 düşmektedir.

⁵Osman S. Yahşi, Mühendis ve Makina (Sayı 293, Ankara:MMO yayınları, 1984), s.7.

⁶Oğuz, Ün. ver., s.22. ⁷Ergenç, Ün. ver., s.13.



a:hatasız dikiş, b:kök hatalı dikiş

Şekil 6. Kök hatalı dikişte sürekli titreşim dayanımının düşmesi

Ergenç, s.13.

^aI.2 GENEL KAYNAK MUAYENELERİ

Kaynak dikişindeki hata ve kusurlar konstrüksiyon malzemesini eninde sonunda kullanılmaz hale getirir. Malzemelerin kopması sonucunda insan hayatını tehlikeye düşürecek veya büyük zararlara neden olacaktır. Yapı parçaları için muayene yapmak parçanın tamamı üzerinde gizli hataları ortaya çıkaracak % 100 emniyet sağlayacaktır. Kaynak dikişinin muayenesinin asıl amacı, hatalı kaynak yapılan malzemenin yerine takılmadan önce ayrılmasıdır. Kaynak dikişlerinde yapılabilecek muayene usullerini teker teker araştıralım.

I.2.1 Kaynaktan önce yapılan muayeneler

Kaynak işlemine başlamadan önce şu esaslar dahilinde muayene ve kontroller yapılır. Buna bir nevi ön kontrol da denilebilir. Kullanılacak karpit, oksijen, esas malzeme, kaynak çubukları, elektrodlar, üfleçler, asetilen cihazları, kaynak makinaları gibi cihazlar kontrol edildiği gibi işçilik kalitesi üzerinde, kaynak yerlerinin tekniğin gereklerine uyup uymaması üzerinde ve konstrüksiyon planları üzerinde muayene yapılmalıdır.

Kaynaktan önce yapılacak muayeneler önemli bir hazırlayıcı safha teşkil etmektedir. İyi anlaşıldığı ve tatbik edildiğinde, çoğu kez ileride yapılacak muayenelere bilhassa tahribatsız çok pahalı deneylere ihtiyaç bırakmayacaktır.

I.2.2 Kaynak esnasında yapılan muayeneler

Kaynak yapılırken yapılan muayenelerin asıl amacı mükemmel bir tatbikatı sağlayacak bakım kontrolleridir.

^aDaniel Seferian, Kaynak Tekniği (İstanbul:İTÜ yayınları, 1959), s.209.

Bu yüzden muayenin esaslarını karpit, oksijen, esas malzeme, kaynak çubukları ve elektrodların iyi kullanılması ve önceden tesbit edilen birleştirme usulünün tam anlamıyla tatbik edilmesini teşkil etmektedir.

Bazende, bu muayeneler sırasında kaynakçının mesleki değerinin veya kaynak makinasının çalışma şartlarının aynı seviyede kaldığını kontrol etmek için tahribatlı veya yarı tahribatlı muayeneler yapılmaktadır. Böylece yapılan kısmi muayeneler sayesinde işleme hatasını yakından göz altında bulundurmamak mümkün olacaktır. Yapılacak gözlemlerde, kaynakçının oldukça hızlı yapacağı kaynak dikişlerinde, kaynak bütün kalınlığa tesir etmeyecek ve nüfuziyet eksikliği meydana gelecektir. Buna karşın, yavaş yapılacak kaynak dikişlerinde geometrik, süreklilik ve homojenlik hataları meydana gelecektir.

I.2.3 Kaynak işleminden sonra yapılan muayeneler

Kaynak işlemi sona erdikten sonra konstrüksiyonun çeşidine ve usulüne göre yapılacak muayeneler ya tahribatlı veya yarı tahribatlı yada tahribatsız olacaktır.

I.2.3.1 Tahribatlı muayeneler

Üretimi yapılmış önemli seri imalatlardan alınan birkaç parça üzerinde gerçekleştirilir. Muayeneci tarafından ayrılan numuneler incelenir ve konstrüksiyonun şekline göre veya istenilen zorlama şekillerine göre muhtelif deneylere tabi tutulur. Bu deneyler, silindirik parçalarda hidrolik basma deneyi, ek yerlerinin mukavemetini belirlemek için mekanik deneyler ile ek yerinin makroskopik ve mikroskopik deneyleri olabilir. Kapalı kaplarda konstrüksiyon basıncının 1.5 katı tecrübe basıncına tabi tutulur. Bu çeşit deneyler önemli ölçüde sınırlandırılmış ve herşeyden önce konstrüksiyon parçasının maliyetine bağlıdır.

I.2.3.2 Yarı tahribatlı muayeneler

Kaynağın ek yerinin tahribine neden olmayacak şekilde ve araştırılan yerde yeniden devamlı bir kaynak dikişi teşkil edecek imkanlar ölçüsünde şüpheli bölgeden alınan numuneler üzerinde yapılan muayenelerdir. Kaynaktan numune

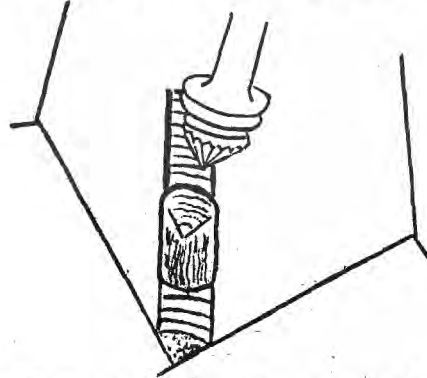
alınan yer tekrar kaynakla doldurulmaktadır.Yapılan araştırmalarda en çok şu muayene usulleri uygulanmaktadır.

i- Yoğunluk muayenesi

Kaynak yapılmış ek yerindeki malzemenin sıklığını tayin etmek için,yoğunluğunu ölçelerek yapılan muayenelerdir.Bu tür muayeneler oldukça önemlidir.Gaz boşluklarının veya curuf kalıntılarının bulunması konstrüksiyon parçasının yoğunluğunu azaltmaktadır.Bu yüzden malzemenin mukavemet ve süneklik gibi mekanik özelliklerini bariz bir şekilde düşürmektedir.

ii- Schmuckler usulü muayene

Özel olarak bu muayene için hazırlanmış bir freze bıçağı (schmuckler frezesi) ile kaynak dikişinin bir kısmı meydana çıkarılır.Şekil 7.Meydana çıkarılan yüzey önce parlatılır ve sonra kimyevi bir madde ile dağlanır.Bu muayene ile kaynak dikişindeki gaz boşlukları,cüruflar ve açık kaynaklarının tabanındaki nüfuziyet azlığını meydana çıkarır. Bu muayene usulü iskele ve bilhassa köprü konstrüksiyonlarında önemli bir yer teşkil etmektedir.



Şekil 7. Schmuckler frezesi ile dikiş açma

Daniel Seferian,Kaynak Tekniği (İstanbul:İTÜ yayını,1959),s.241.

I.2.3.3 Tahribatsız muayeneler

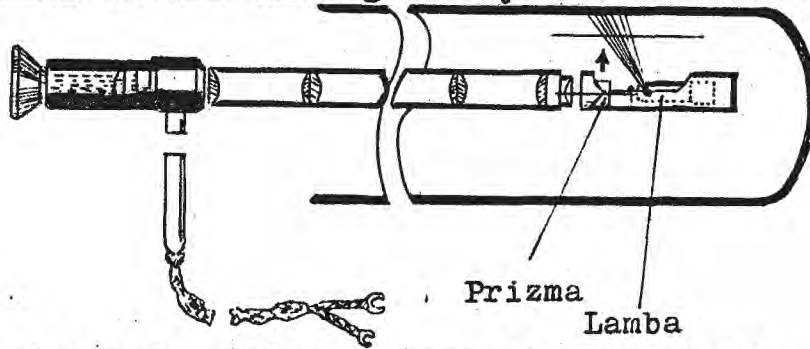
Konstrüksiyonlardaki kaynak dikişleri görünüşlerine göre belli kabullere dayanarak gözle yapılırsa veya toplam konstrüksiyon üzerinde kaynak dikişine zarar vermeden araçlarla yapılırsa bu muayenelere tahribatsız muayeneler denir.

i- Gözle yapılan muayeneler

Tecrübeli bir göz çoğu kez kaynak dikişinin görünüşünden,genişliğinden,kalınlık taşmasından dış hataları tes-

bit edebilir. Kaynak dikişini ters çevirerek nüfuziyet azlığını da algılayabilir.

Gözle görülemeyen veya erişilemeyen bölgeler optik aletler vasıtasıyla muayene yapılabilir. Endoskop denen bir optik aletle muayene edilecek yer aydınlatılmakta ve şekli okülerde yada fotoğraf üzerine düşürülebilmektedir. Fakat bu muayene usulünde, bir kaynak dikişini yeterince incelememiz mümkün olmamasına rağmen faydası da inkâr edilemez.



Şekil 8. İçiboş parçaların endoskopla muayenesi

Seferian, s. 243.

ii- Araçlarla yapılan muayeneler

Kaynak dikişine zarar vermeden dış görüşünü ancak gözle muayene yapabiliriz. Bunun haricindeki iç hataları araçlar yardımıyla muayenelerini yapabiliriz. Bu muayene usullerinde, gözle görülemeyen kaynak dikişindeki kılcal çatlakları algılayabildiğimiz gibi diğer bir araç vasıtasıyla gaz boşluğunu saptayabiliriz. Bu muayene usullerinden belli başlılarını bu bölümden sonraki bölümlerde araştırılması yapılacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM

ARAÇLARLA YAPILAN TAHRİBATSIZ MUAYENELERİN ARAŞTIRILMASI

²II.1 PENETRANT MUAYENE

Bu muayene metodunda, sıvıların parça yüzeyine nüfuziyetinden (giriciliğinden) yararlanılır. İlk uygulamaları sıcak yağ ve tebeşir tozu ile yapılmıştır. Daha sonraları gaz yağı ve tebeşir tozu veya talk pudrası ile parça yüzeylerine tatbik edilmiştir.

II.1.1 Muayene safhaları

Muayenesi yapılacak kaynak dikişinin üzerinde, sıvının rahat hareketini sağlamak için yüzeyin temizlenmesi sonrada kurutulması gereklidir. Temizlenen ve kurutulan yüzeye penetrant sıvısı tatbik edilir.

II.1.1.1 Parça yüzeyinde ön temizlik ve kurutma

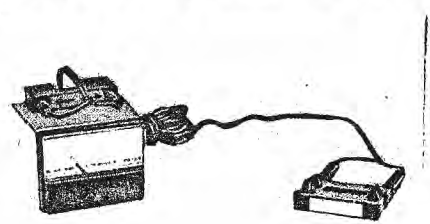
Konstrüksiyon yüzeyini kir, pas ve yağdan temizlemek gerekir. Temizleme kimyasal veya ultrasonik yöntemle şartlara göre yapılabilir.

II.1.1.2 Penetrant sıvının tatbiki

Penetrantlar, taşınabilir parçalar için püskürtme, sabit tesisler için akıtma ve küçük ebatta parçaların kitle muayeneleri için daldırma yoluyla parça yüzeylerine tatbik edilirler. Penetrantlar renklenmesine göre fluoresant olan ve olmayan diye ikiye ayrılırlar. Fluoresant penetrantlar için ultraviyole lamba ve dalga boyunu ayarlamak için ultraviyolemetre kullanılır. Şekil 9. ve 10. Ayrıca yıkanma şekli-



Şekil 9. Ultraviyole lamba



Şekil 10. Ultraviyolemetre

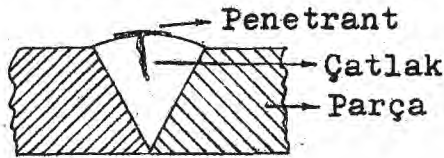
Nondestructive Catalog (Georgia:Ridge Inc.,1985),s.86. Ridge,s.84.

¹Penetrant Muayene (Ankara:SEGEM yayınları,1979),s.1.

ne göre;su ile yıkanabilen,sonradan su ile yıkanabilir hale getirilen ve solventle yıkanabilen penetrantlar diye üçe ayrılırlar.Bunlardan su ile yıkanan penetrantların haricindekiler yağlı penetrantlardır.

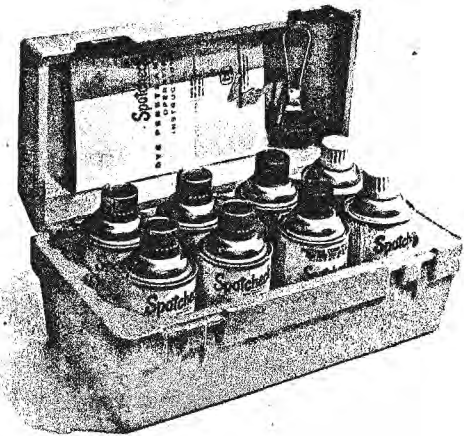
Penetrantlardan su ile yıkanabilenlerin giriciliği zayıf ve sadece kaba muayenelerde kullanılmasına rağmen su ile yıkanması büyük avantajdır.Su ile yıkanabilen penetrantlarda bir ara işlem mevcuttur.Bu ara işlem penetrasyon süresinden sonra penetrantın su ile yıkanabilir hale getirilmesi gereklidir.Bu işlem püskürtme,akıtma veya daldırma yoluyla emulsifier tatbik edilerek yapılır.Emulsifier penetrantla reaksiyona girerek penetrantı suda erir hale getirir ve bundan sonra su ile yıkanır.Yağlı penetrant kullanılarak yüksek giricilik ve su ile kolay yıkanabilirlik sağlanmış olur.Emulsifierlerin yağlı ve sulu olmak üzere iki çeşidi vardır.

²Emulsifikasyon süresi kimyevi maddelerin çeşidine göre birkaç saniyeden birkaç dakikaya kadar,penetrasyon süresi ise 5 dakikadan 1 saate kadar sürebilir.Şekil 11.bir kaynak dikişine penetrant uygulanmış durumda görülmektedir. Penetrantın developer üzerinde vereceği görüntünün kolaylıkla tetkiki için kontras veren kırmızı boya veya fluorensant boya kullanılır.Penetrant muayenede kullanılan malzemeler kendi bünyesinde bir bütünü teşkil ederler.İmalatçı firmaların bir serisinin penetrantı ile diğer bir firmanın developeri veya emulsifieri ile birlikte kullanılamazlar. Kit halindeki penetrantlar kullanılmalıdır.Şekil 12.



Şekil 11.

Macit Yaman,Fiziksel Metalurji
(Eskişehir:AÜFBE ders notu,1984)



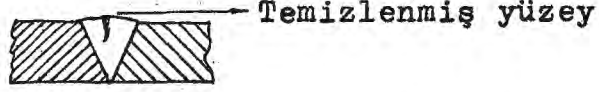
Şekil 12.

Ridge, s.84.

²Aynı, s.4.

II.1.1.3 Temizleme işlemi

Konstrüksiyon parçasının yüzeyine tatbik edilen penetrantın yüzey hatalarına nüfuz eden kısmının haricindeki kısımların yüzeyden temizlenmesi işlemidir.Şekil 13.



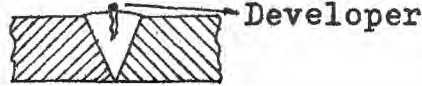
Şekil 13.

Yaman, 1984

Normal olarak su ile yıkanabilen penetrantların haricinde sonradan su ile yıkanabilir hale getirilen penetrantlarda emulsifikasyon işleminden sonra su ile yıkanabilirler.Yalnızca solventle yıkanabilen penetrantları su ile yıkamak mümkün değildir.Solventler alevlenebilen ve alevlenmeyen diye ikiye ayrılırlar.Alevlenebilen solventler sıcak ortam altında tehlikeli olup,zehirli değildirler.Alevlenmeyen solventler zehirli olup,ortam tam olarak havalandırılması gereklidir.

II.1.1.4 Developer işlemi

³Konstrüksiyon parçasının yüzey hatalarına nüfuz eden penetrantı emerek yüzeye çıkarır.Bu işlem için çok ince taneli ve gözenekli bir malzeme gereklidir.Şekil 14.'de developerin penetrantı emerek malzeme yüzeyine çıkarması görül-



Şekil 14.

Yaman, 1984

mektedir.Developerler kuru ve sıvı taşıyıcılı olmak üzere iki çeşidi vardır.Kuru developerler,çok ince taneli pudra şeklinde kuru olarak tatbik edilirler.Solunum sistemine geçmemesi için ortamın havalandırılması gereklidir.Su içinde erimiş durumdaki developeri karıştırmaya gerek yoktur.Özellikleri bakımından iyi değildir.Solventle tatbik edilen developerler pahalı olmasına rağmen kolay uçmasından dolayı avantajlıdır.Sulu developeri,kullanmadığımız düşey yüzey ve tavan muayenelerinde solvent tipi developer kullanmak zorunluğu vardır.

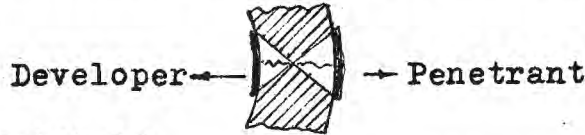
Bazı imalat durumlarında,developerin konstrüksiyon parçası üzerinden temizlenmesi bazen büyük önem taşır.Bu durumda örnek olarak her pasodan sonra muayenenin gerekli

³Aynı,s.5.

olduğu kaynak işlemini gösterebiliriz.

II.1.2 Penetrant muayene ile kaynak dikişinde algılanabilir hatalar

*Kaynak dikişi üzerinde kapalı veya açık durumda çatlaklar, yüzeye ulaşmış küresel hataları algılayabiliriz. Ayrıca sızdırmazlık özelliği gerektirecek tank ve benzeri ekipmanların kaynak çatlakları olup olmadığını kontrol etmek için, sızıntı muayenesi yapmak gerekir. Şekil 15.



Şekil 15.

Penetrant Muayene (Ankara:SEGEM yayını,1979),s.9.

Malzeme et kalınlığının belli bir derinliğine kadar inen çatlakların yanında cidarı bir yüzden diğer yüze geçen süreksizlikler de vardır ve asıl sızıntının kaynağını meydana getirirler. Bu muayenede penetrant bir yüzeye, developer diğer yüzeye tatbik edilir. Çatlak mevcut ise developer penetrantı diğer yüzeye emerek çıkarır.

II.1.3 Penetrantın avantajları ve sınırları

i- Avantajları

Ucuz olup, her türlü malzemeye uygulanabilir ve oldukça basit işlemi gerektirir.

ii- Sınırları

Kaba ve gözenekli yüzeylere uygulanmaz, toz metalurji parçalarına bilhassa hafif yoğunluklu parçalara da uygulanamaz. Yalnızca yüzeye açılan hatalar algılanabilir.

*II.2 MAGNETİK PARÇACIKLARLA MUAYENE

Bu metodla kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenelerini, magnetizma veya elektromagnetizmadan yararlanarak yapabiliriz. Miknatıslanabilme özelliğine haiz malzemelere bu metodu uygulayabiliriz. Şekil 16.'da magnetik parçacıklarla test cihazını aksesuarları ile birlikte görülmektedir.

II.2.1 Magnetizma ve magnetikleştirme yöntemleri

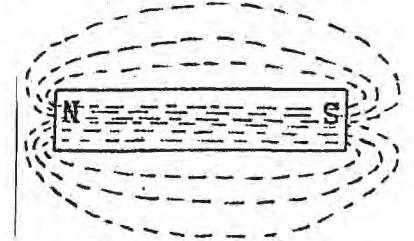
Bir miknatısın magnetik tesirleri kutuplarından gel-

⁴Aynı, s.9. ⁵Magnetik parçacıklarla Muayene (Ankara:SEGEM yayınları,1979),s.2.



Şekil 16.

Ridge, s.80.

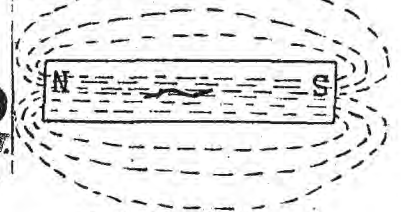


Şekil 17.



Şekil 18.

SEGEN, s.2.



Şekil 19.

SEGEN, s.2.

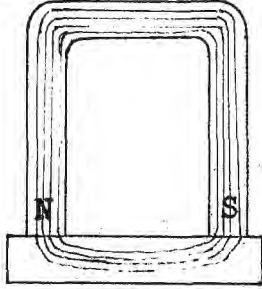
mektedir. N ve S kutupları mıknatısın içinde birer nokta teşkil etmektedir. Bir düz mıknatısın etrafına ince demir tozlarını serpiştirdiğimizde Şekil 17. 'de görülen durum meydana gelir. Görünmeyen magnetik akı çizgilerini görünür hale getirebiliriz. Aynı mıknatısa küçük bir çentik açarsak Şekil 18. 'de görüldüğü gibi süreksizlikler, magnetik akı sızıntısına neden olur. İnce demir tozları çentiğe dolarak magnetik akı çizgilerinin geçişi için bir köprü oluştururlar. Bu metodu hatanın algılanabilmesi onun magnetik akı çizgilerinde yapacağı rahatsızlıklara bağlıdır. Malzemede süreksizliğin yönü magnetik akı yönüne paralel ise görüntü sağlanamaz. Ancak süreksizlik magnetik akı çizgileri ile belirli bir açı yapıyorsa algılanabilir. Şekil 19. Magnetikleştirme iki şekilde olur, muayene edilecek parça bir magnetik alan içine konarak ve üzerinden elektrik akımı geçirilerek yapılır.

II.2.1.1 Magnetik alan içinde magnetikleştirme

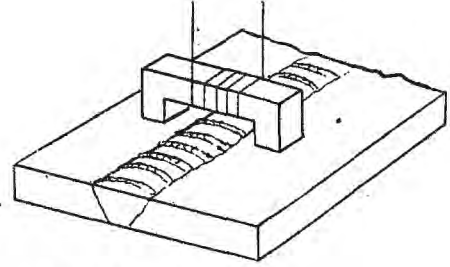
'Sabit bir atnalı şeklindeki mıknatısın kutuplarını deney parçasına koyarsak Şekil 20. 'deki durum meydana gelir. Muayene edilecek parçada süreksizlik yok ise magnetik parçacık birikmesi olmayacaktır.

⁶ Aynı, s. 3.

Elektromıknatısın kutuplarını bir kaynak dikişinin arasına koyarsak Şekil 21.'deki süreksizlikleri algılayabiliriz. Elektromıknatısın yönünü değiştirerek enine veya boyuna çatlakları algılayabiliriz.



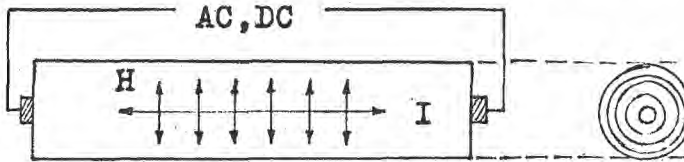
Şekil 20.
SEGEN, s. 3.



Şekil 21.
SEGEN, s. 4.

II.2.1.2 Elektrik akımında magnetikleştirme

Malzemenin içi dolu ise, akım yönüne dik bir magnetik alan meydana gelir. Şekil 22. Alternatif akımda yüzey veya yüzeye yakın hataların algılanmasında daha etkindir. Doğru akımda ise akım yoğunluğu kesite göre homojendir ve yüzeyden derinde bulunan hatalar, daha etkin algılanır. Muayene edilecek parçaya 400 ila 6000 amperlik akımlar uygulanır.



Şekil 22.
SEGEN, s. 6.



Şekil 23.
Ridge, s. 82.

Ayrıca muayene edilecek parçadan kısmi akım geçirerek magnetikleştirme işlemi de yapılır. Elektrik akımı iletken uçlar (prod) muayene edilecek parçanın belirli bir bölgesine temas ettirilerek kısmi bölge magnetikleştirilir. Şekil 23.'de prod görülmektedir.

II.2.2 Muayene işlemleri

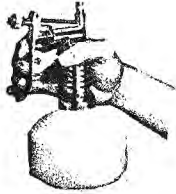
Magnetik parçacıklarla muayene işlemi kuru ve ıslak olmak üzere iki şekilde yapılır.

II.2.2.1 Kuru metod

Magnetik parçacıklar hava ile bir bulut halinde muayene edilecek parça üzerine tatbik edilir. Şekil 24. Hava akımı aniden çöker ve uygun olmayan bir ton oluşur. Bu

⁷Aynı, s. 6. ⁸Aynı, s. 8.

çökelmeyi engellemek için muayene parçası kuru metodla çalıştığı zaman, püskürtme yönüne göre tavan veya dikey pozisyonda olmalıdır. Kuru metodla + 316°C varan muayene parçası sıcaklığına kadar çalışılabilir. Bu metodla kaba üfleme mümkündür. Şekil 25. Nem etkisiyle parçacıklarda topaklaşma söz konusu olabilir. Bu nedenlerden dolayı sıcak çalışma şartları dışında kuru metod uygulamaları başarılı değildir,



Şekil 24.

Ridge, s.83.



Şekil 25.

Ridge, s.83.

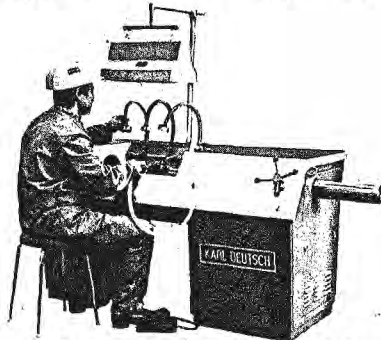
II.2.2.2 Islak metod

Magnetik parçacıklar bir sıvı tarafından taşınır ve bu metodla + 57°C'ye kadar sıcaklıklarda çalışılabilir. Yüksek sıcaklıklarda taşıyıcı sıvının buharlaşması söz konusu olabilir. Daha küçük süreksizlikler bu metodla algılanabilir.

II.2.3 Kullanılan malzemeler

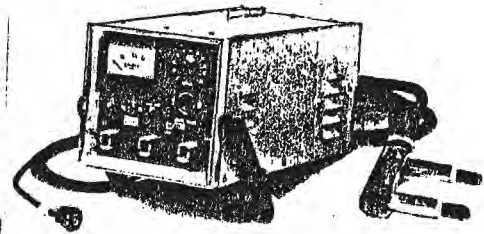
II.2.3.1 Magnaflux test cihazı

Sabit veya seyyar olan tipleri vardır. Şekil 26 ve 27. 6000 ampere kadar akım sağlayabilirler.



Şekil 26. Sabit tip

Instruments and Plants for Non-Destructive Testing of Materials
(Wuppertal: Karl Deutsch GmbH., 1985), s.4.



Şekil 27. Seyyar tip

Ridge, s.79.

II.2.3.2 Magnetik toz

Magnetik parçacıkların kalıcı magnetik özelliğe sahip olmaması gerekir. Bu özelliğinden dolayı tekrar tekrar kullanılırlar. Kuru metodda iri taneli parçacıklar kullanılır. Şekil 28. Islak metodda ise düzgün yüzeylerin muayeneleleri yapılır. Şekil 29. 'da bir kaynak muayenesi görülmektedir. Küçük bir çatlağın ağzında toplanan tozların meydana geti-



Şekil 28.

Ridge, s. 81.



Şekil 29.

Karl Deutsch, s. 3.

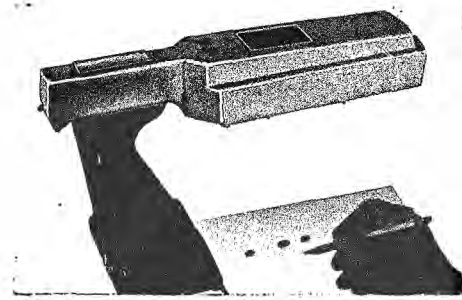
reçeği görüntünün kolay seçilebilmesi için renkli olmalıdır.

Şekil 30. Tozlar floresant renklere de boyanabilirler. Yalnız buna, çok düzgün yüzeylerde çok küçük süreksizliklerin algılanması söz konusu olduğu zaman ihtiyaç duyulur. Bunun içinde özel bir aydınlatma gereklidir. Şekil 31.



Şekil 30

Karl Deutsch, s. 1.

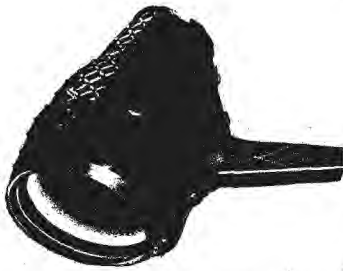


Şekil 31.

Ridge, s. 86.

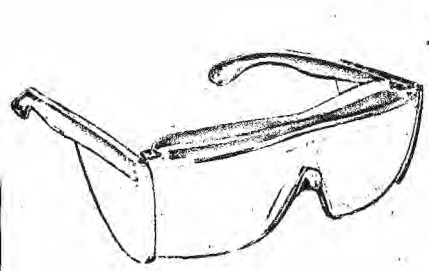
10 II.2.3.3 Ultraviyole lamba

Aslında civa buharlı bir ark lambasıdır, oldukça zengin bir ışık verir. Şekil 32. Bu lamba ile karanlıkta çalışmak gerektiğinden yalnızca ultraviyole ışıkları geçiren bir filtre ile kullanılarak ultraviyole süzülür. Bu filtreler gözlük şeklinde de olabilir. Şekil 33.



Şekil 32.

Ridge, s. 86.



Şekil 33.

Ridge, s. 86.

II.2.3.4 Taşıyıcı sıvılar

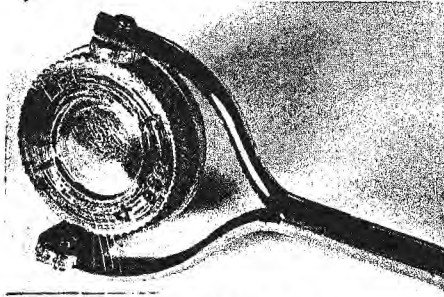
Magnetik parçacıklar ıslak metotla kullanıldığında gereklidir. Düşük viskoziteli parlama noktası yüksek petrol

¹⁰ Aynı, s. 12.

türevlerinden gaz yağı veya su kullanılır.

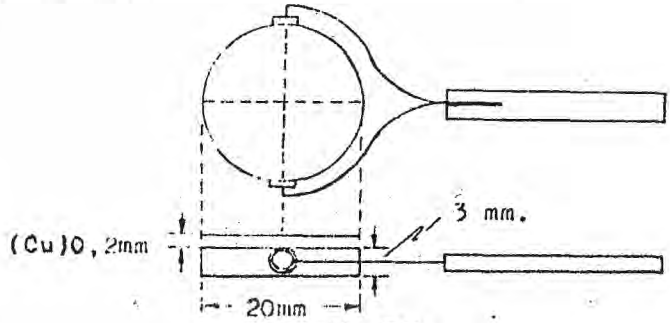
"II.2.3.5 Magnetik alan endikatörü

Magnetik parçacıklar için magnetik alanın yeterli olup olmadığını kontrol işleminde kullanılır. Endikatör, magnetik alan tatbik edilen parça üzerine konularak magnetik toz serpiştirilir. Şayet endikatörün yüzeyinde bakır plakalar altındaki yarıkların magnetik görüntüsünü elde edebiliyorsak, bu bizim için yeterli olan alan şiddetini uyguladığımızı gösterir. Şekil 34 ve 35.



Şekil 34.

Ridge, s.83.



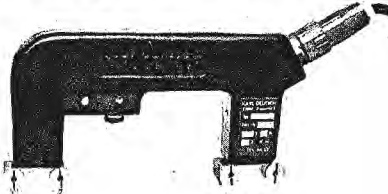
Şekil 35.

SEGEN, s.12.

¹²II.2.4 Ark ve aşırı ısınmayı önleyecek tedbirler

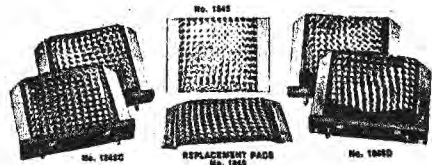
Yüksek amperaj, prod temas yüzeylerinde yerel ısınma meydana getirir. Şekil 36. Isınma bölgelerinin hızlı soğuması sonucunda bölgesel sertlik artar ve malzemede çatlaklar meydana gelir. Bu mahsurları önlemek için prod üzerindeki bir düğme veya ayak pedalı yardımıyla, prod muayene parçasıyla tam temasta iken elektrik akımı uygulanır.

Produn temas yüzeyleri yüksek iletkenlikteki yastıklarla örtülerek yerel direnç nisbeten azaltılmış olur. İletken yastıklar genellikle bakırdır. Şekil 37. 25 voltun altında ise paslanmaz çelik, kurşun veya alüminyum da olabilir.



Şekil 36.

Karl Deutsch, s.3.



Şekil 37.

Ridge, s.83.

II.2.5 Metodun avantajı ve sınırları

i-Avantajları: Ucuz, kaba yüzey temizliği yeterli,

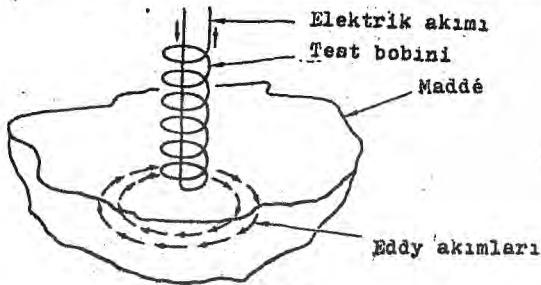
¹¹Aynı, s.12. ¹²Aynı, s.13.

yabancı maddelerle dolmuş çatlaklar da algılanabilir.

ii-Sınırları: Ancak ferro-magnetik malzemelere uygulanabilir. Ostenitik paslanmaz çeliklere, alüminyum, bakır, titanyum ve alaşımlarına uygulanmaz. Kontak (temas) yerlerinde ısınma ve ark meydana gelmesi, muayeneden sonra şartlara bağlı olarak demagnetizasyona ihtiyaç duyulması, boya ve diğer kaplamalar metodun duyarlılığını hızla azaltması belli başlılarıdır.

II.3 EDDY AKIMLARI İLE MUAYENE

Sabit bir magnetik alan içinden, hareket eden bir iletken geçerse, iletkende alternatif akım meydana gelir. Magnetik alana dik düzlemde, başka akımlar da oluşur. Bu akımlara girdap veya eddy akımları ismi verilir. Şekil 38.



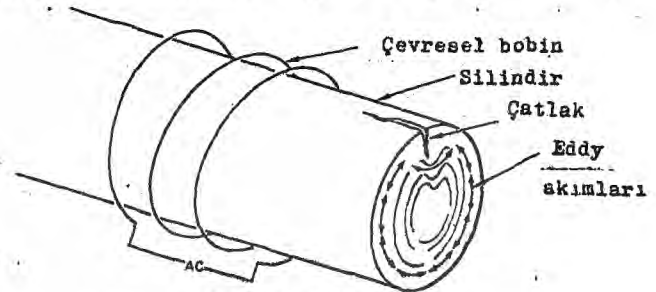
Şekil 38.

Non destructive testing (Eddy current, General Dynamics), s. 5-32.

Eddy akımlarının büyüklüğü birkaç faktöre bağlıdır.

Şayet eddy akımları değeri bu faktörlerden birisi tarafından değiştirilirse; bu değişim eddy akımlarının yarattığı magnetik alanda ve buradanda bobinle ilişkili toplam magnetik alanda da değişime neden olacaktır. Sonuç olarak bobindeki magnetik alanın değişimi nedeniyle akım büyüklüğünde bir değişiklik olacak ve bu değer ölçülebilecektir. Bir çatlakta eddy akımlarının durumu Şekil 39.'da görülmektedir.

¹⁸Malzeme içindeki eddy akımlarında ortaya çıkacak değişiklik ölçülebilir. Değişiklikleri hatalar ve süreksizlikler, iletkenlik değişimleri, malzeme üzerindeki iletken olmayan kaplama kalınlıkları meydana getirecektir. Eddy akımları testinde şu ana faktörlerle ilgilenilir; iletkenlik, malzemenin mıknatıslanma özelliği, frekans, prob-test malzeme mesafesi, süreksizlikler prob kullanımı-prob açısıdır. Bu saydıklarımızdan önemli olanlarını yani belli başlılarını araştıralım.



Şekil 39.

General Dynamics, s. 5-32.

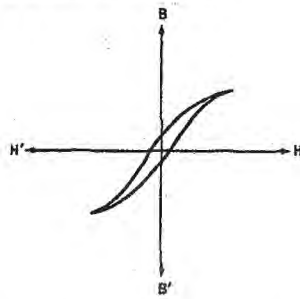
¹³Eddy akımları ile muayene (EIBM yayınları, 1983), s. 2.

II.3.1 Malzemenin mıknatıslanma özelliği

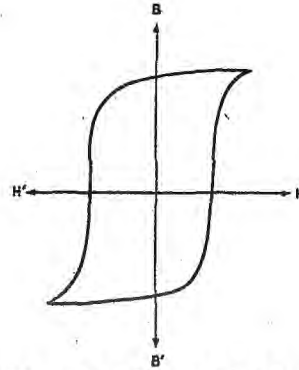
Bir magnetik malzemenin mıknatıslanabilme kolaylığı-
nın ölçüsüdür. Diğer bir deyimle magnetik akı çizgilerini
üzerine toplayabilme özelliğidir. B/H oranı ile tanımlanır.

$$\mu = B/H \quad (3)$$

Burada B magnetik akı yoğunluğu (Wb/m^2), H magnetik
alan kuvvetini (mıknatıslama kuvveti) (A/m) gösterir. Şekil
40. 'da magnetik ve magnetik olmayan malzemelerde magnetik
alan şiddetine karşılık akı yoğunluğunun değişimini grafik
olarak göstermektedir.



Non-magnetik malzeme



Magnetik malzeme

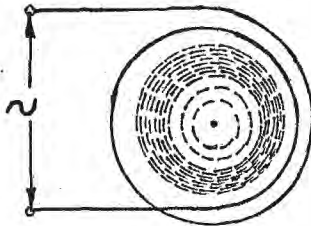
Şekil 40.

General Dynamics, s.5-21.

$\mu = 1$ olan malzemeler non-magnetik, μ birden az büyük
olan malzemeler magnetik, μ birden çok büyük olan malzeme-
ler ferromagnetik olarak adlandırılır.

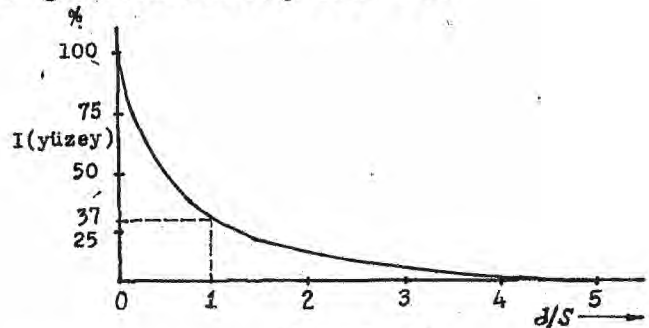
II.3.2 Frekans

Çalışma frekansının yükselmesine bağlı olarak, mey-
dana gelen girdap akımları, malzeme yüzeyine yakın derinlik-
lerde bir sıkışma eğilimi gösterirler. Şekil 41.



Şekil 41.

Girdap Akımları ile Muayene (Ankara: SEGEM yayını, 1979), s.11.



Şekil 42.

SEGEM, s.11.

Eddy akım alanı malzeme içine nüfuz ettikçe, alanın
kuvveti tedricen azalır. Bu azalma bobine bir belirti ver-
meyecek kadar küçük değere ulaşıncaya kadar devam eder. Bu

¹⁴Girdap akımları ile muayene (Ankara: SEGEM yayınları, 1979), s.8.

¹⁵Aynı, s.10.

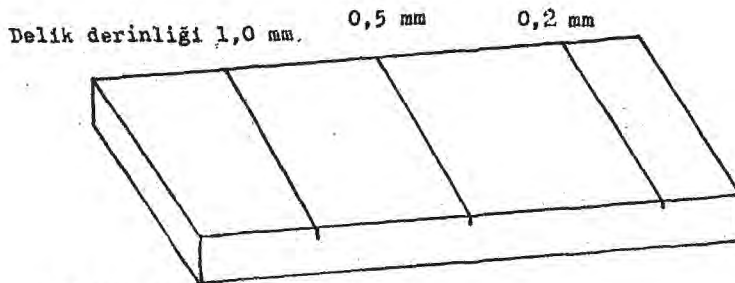
nokta eddy akımları kuvvetinin, yüzeydeki değerinin % 37'si değerine düştüğü nokta olarak bulunmuştur. Şekil 42. Muayene edilecek malzeme derinliğine göre frekans tesbiti için standard tarif edilmiştir.

$$S = 5 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \quad (4)$$

Burada S muayene edilecek derinlik (mm), ρ elektriksel direnç (ohm-cm), μ magnetik geçirgenlik, f ise uygulanan AC frekansı ifade eder. Formülde görüldüğü gibi nüfuziyet derinliği, iletkenlik, magnetik geçirgenlik ve bobin akım frekansına bağlıdır. Eddy akımları ile muayenede 100 Hz ile 6 MHz arasındaki frekanslar kullanılır. Frekans yükseldikçe metodun duyarlılığı artmakta, buna karşılık girdap akımlarının malzeme derinliklerine nüfuziyet azalmaktadır. Kural olarak ince ve magnetik olmayan malzemeler, yüksek frekanslarda, kalın ve magnetik malzemeler düşük frekanslarda muayene edilir.

II.3.3 Süreksizlikler

"Eddy akımları bir çatlaktan geçemez. Bu nedenle çatlakların etrafında dolaşırlar ve böylece eddy akım alanında bir değişme, göstergede bir ibre sapmasına sebep olur. Cihaz sabit bir hassasiyet ayarında, ibre sapma miktarı hatanın boyutuyla değişecektir. Fakat gerçek hata boyutu ibre sapma miktarıyla tesbit edilemez. Ancak cihazın hassasiyet ayarı bilinen bir hata için ayarlanırsa test malzemesindeki hata boyutunun tahmini yapılabilir. Bu amaçla boyutları bilinen hataları ihtiva eden bir hassas blok kullanılır. Şekil 43.'de tipik bir blok görülmektedir.



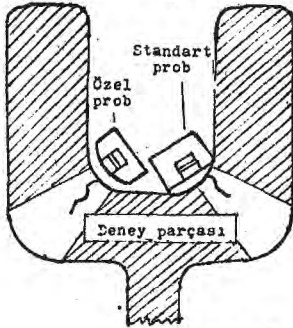
Şekil 43.

Eddy akımları ile muayene (Eskişehir: EİEM yayını), s.18.

¹⁶ Aynı, s.10. ¹⁷ EİEM, Ön. ver., s.18.

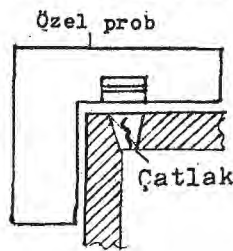
II.3.4 Prob ile test malzemesi mesafesi

Eddy akımları ile muayenede aralık faktörü son derecede önemlidir.Çok küçük bir aralık değişikliği çok farklı okumalara neden olur.Ayrıca aralık etkisi de önemli zorluklar arzeder.Değişik boyutlu yüzeylerin muayenesi için prob-la taranması çok güçtür ve özel problara ihtiyaç vardır.Bu robları Şekil 44.,45. ve 46.'da görmekteyiz.



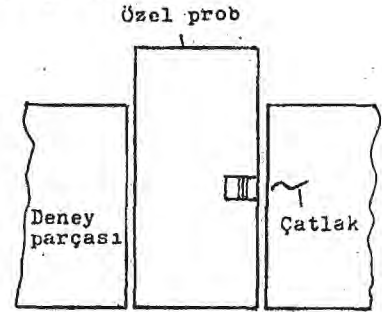
Şekil 44.

SEGEM, s.13.



Şekil 45.

SEGEM, s.13.



Şekil 46.

SEGEM, s.13.

Şekil 44.'deki standart prob-la sabit bir açı altında yüzeyin taranması mümkün olmayıp bu açı değişimleri süreksizliklerden daha büyük farklı okumalara neden olurlar.

II.3.5 Eddy akımlarında prob lar ve bobinler

Eddy akım bobin ve prob ları iletken bir parçaya de-ğişken bir magnetik alan tatbik etmek ve bu magnetik alana test de-ğişkenlerinin yaptığı etkileri tesbit etmek için di-zayn edilmiş bir yada daha çok bobinden meydana gelirler. Magnetik alan, bobinden geçen alternatif akım tarafından meydana getirilir. Test de-ğişkenleri bu alanın şiddet ve da-ğılımını de-ğiştirir. Bu de-ğişiklik uyarıcı bobin yada bobin-lerden geçen akımdaki de-ğişikliği gözlemek suretiyle izle-nebilir.

II.3.5.1 Prob ve bobin seçimi

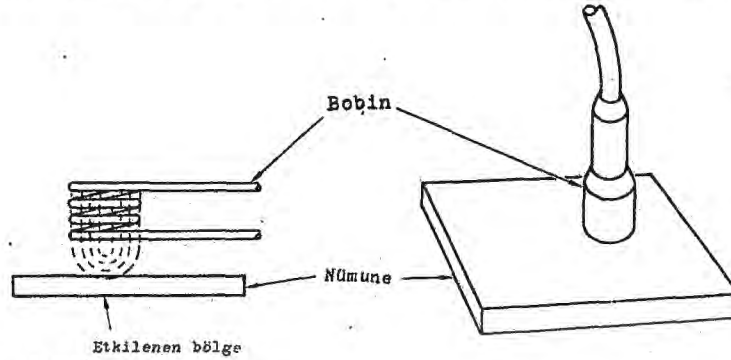
Eddy akım probu yada test bobini seçimindeki temel kabul kullanılma amacına bağlıdır. Küçük çaplı bir prob yada dar çevresel bobin, küçük hataların tesbitinde çok daha iyi bir teşhis ve ayırdetme sağlayacaktır. Büyük çaplı prob veya daha geniş çevresel bobin kütleli özellikler için daha iyi bir avantaj sağlayacaktır. Yüzey prob larının yapımında küçük çatlaklara daha büyük duyarlılığın teminine yarayacak olan

¹⁸SEGEM, Ön. ver., s.13. ¹⁹EIBM, Ön. ver., s.4.

magnetik akıyı küçük bir hacimde konsantre etme işlemini gerçekleştirmek için genellikle demir (ferrit) çekirdek kullanılır. Tüm uygulamalarda kontrol edilecek alana yerleştirilecek prob yada bobinin girebileceği kadar bir sahaya gerek vardır.

20 II.3.5.2 Test bobin şekilleri

Eddy akım prob ve bobinleri üç ana grupta toplanabilir. Bunlar yüzey problemleri, çevresel bobinler ve iç bobinlerdir.



Şekil 47.

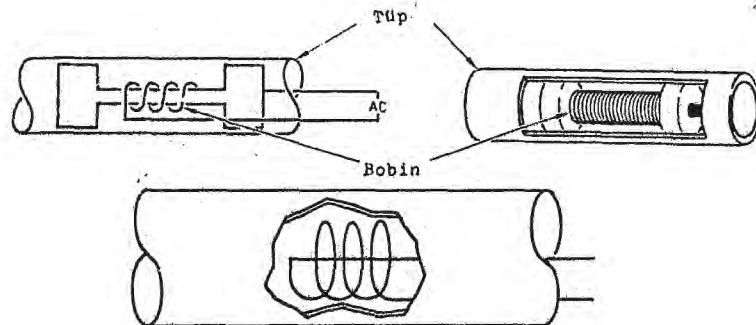
General Dynamics, s. 3-6.

i- Yüzey problemleri

Uygulamada eddy akımları testlerinde, çoğu yüzey problemleriyle yapılır. Proba test edilecek alanın büyüklüğü prob çapıyla kontrol edilir. Küçük hataların tesbiti gerekiyorsa 1/32" çap gibi küçük çaplı bobinler kullanılır. Şekil 47.

ii- İç bobinler

Tüpler, borular yada iç kısmına giriş temin edilebilen diğer parçaların testinde kullanılabilir. İç bobin, iyi bir test duyarlılığı temin için mümkün olduğu kadar parça boşluğunu doldurmalıdır. İç bobinlerin kullanılması bükülme durumları yada uniform olmayan çaplar nedeniyle sınırlıdır. Şekil 48.



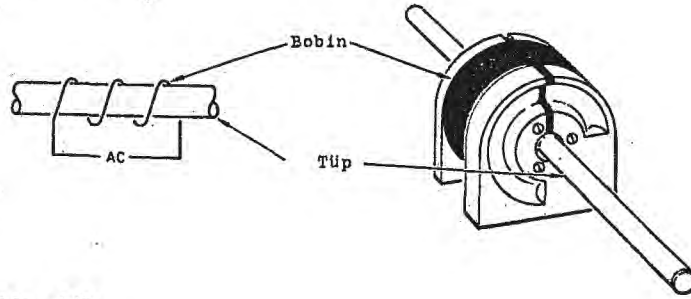
Şekil 48.

General Dynamics, s. 3-7.

20 Aynı, s. 5.

iii- Çevresel bobinler

Özellikle çubuk tüp, silindir gibi parçaların fabrikasyon testinde kullanılır. Çevresel ve iç bobinlerle test parçasının tüm çevresi bir defada test edilir. Fakat hataların yeri kesin olarak tesbit edilemez. Yüzey probu süreksizliklerin yerinin kesin tesbitinde daha iyi bir kabiliyete sahiptir. Şekil 49.

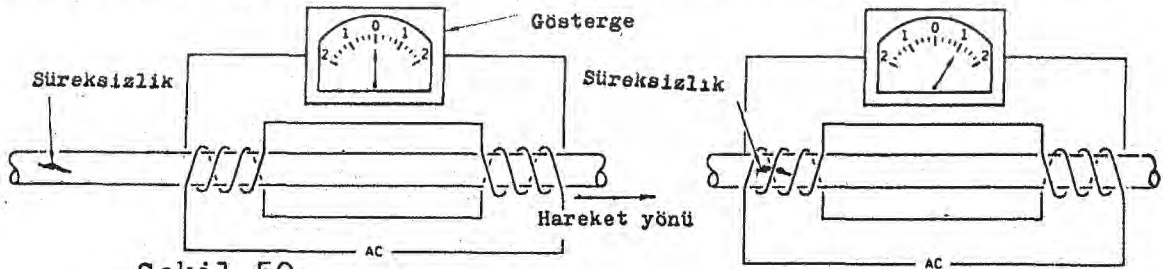


Şekil 49.

General Dynamics, s. 3-4.

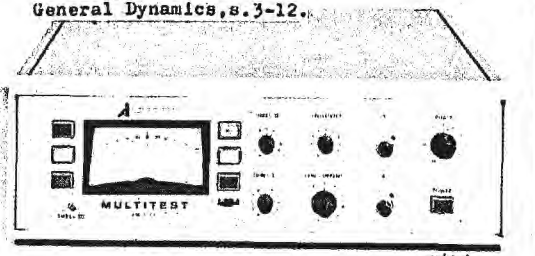
II.3.6 Bir süreksizliğin algılanması

Dikişli siyah bir borunun kaynak testini Şekil 50.'de görüyoruz. Süreksizlik olmadığına gösterge sıfırını göstermekte, süreksizlik bobinin altına geldiğinde ibre sıfırdan sapmakta ve bizi ikaz etmektedir. Şekil 51.'de ise bir test cihazı prob ve bobinleriyle birlikte görülmektedir.



Şekil 50.

General Dynamics, s. 3-12.



Şekil 51.

Ultrasonic, Eddy current, Radiography (Connecticut: Automation Ind., Inc., 1985), s. 11

II.3.7 Uygulama alanı

Seri üretim hatlarında boru ve silindirik parçaların yaklaşık 60m/dak hıza varan bir hızla test ederek hatalarına göre ayırır. Küçük iç bobin problemlerle küçük ayarlar dahi kontrol edilebilir.

II.4 ULTRASONİK MUAYENE

²¹Tahribatsız muayenelerden ultrasonik yöntem, ikinci dünya harbinin son yıllarından bu yana kullanılmaktadır. Harp yıllarında malzemeyi en iyi şekilde değerlendirmek çok önemliydi. Bu alandaki araştırmalar çok yoğunlaştırılmış, Alman Krautkraemer kardeşler ultrasoniğin fiziğini inceleyerek, endüstriye uygulanmasına öncülük etmişlerdir.

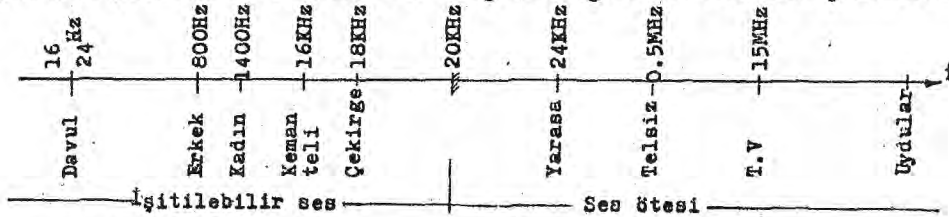
Ultrasoniğin endüstriye uygulanmasından bu yana prensiplerinde her hangi bir değişiklik olmamış, elektronik tekniğin gelişmesine paralel bir şekilde uygulama alanı genişlemiş ve basitleşmiştir. Bu gün için, metallere ve metal dışı malzemelerin kontrolünde başarı ile uygulanmakta en çabuk ve kesin sonuç alınabilmektedir. Kaynak dikişindeki süreksizlikler bir sinyal şeklinde algılanabilmektedir. İmalat sektöründe bilhassa seri üretimde üretim hızını etkilemeden kaliteli bir üretime imkan sağlamaktadır.

II.4.1 Ultrasonik test yönteminde algılanabilen hatalar

Kaynak dikişlerinin ultrasonikle muayenelerinde kaynak içerisindeki gaz boşlukları ve çatlaklar algılanır. Algılama işlemi ekolar veya elektriksel sinyallerin diğer değerlendirilmiş şekli olan sesle ikazdır.

II.4.2 Ultrasonik dalgalar

²²İnsan kulağı 20 Hz ile 20 KHz arasındaki titreşen ses frekanslarını işitebilir. 20 KHz üzerindeki frekansları insan kulağı algılayamaz ve bunlara ses ötesi frekanslar denir. Tablo 1. 'de değişik frekansları bir arada görmekteyiz. Ses ötesi dalgalar, taneciklerin birbiriyle etkileşecek kadar yakın olduğu bir ortam içinde, bir cismin titreşim hareketi yapması sonucunda meydana gelirler. Bu dalgalar sıvılarda, katılarda normal veya yüksek basınçlardaki gazlarda oluşurlar. Yalnız vakum ve seyrek gazlarda oluşmazlar.



Tablo 1.

Ultrasonik Muayene (Ankara:SEGEM IV Bölüm,1984),s.103.

²¹Etem Helvacı, Ultrasonik ile Tahribatsız malzeme muayenesi (İstanbul:Oerlikon yayınları,1984),s.1.

²²Ultrasonik Muayene (Ankara:SEGEM, IV. Bölüm,1984),s.103.

Ses ötesi üreteçlerin birçoğu magnetik yada elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirerek çalışırlar. Bu tür çeviricilere prob veya transdüktör adı verilir. Probların imal edilmeleri piezo-elektrik magnetik vurma ve elektrik vurma esaslarına göredir. Ultrasonik enerji şiddeti ile titreşen atomun veya molekülün genliği arasında şu bağıntı vardır.

$$^{23}I = \frac{1}{2} W \times w^2 \times A^2 \quad (5)$$

Burada I ultrasonik enerji şiddeti (W/m^2), A titreşim genliği (m), W ortamın akustik empedansı (Kg/m^2sn), w ise a- çısal frekans (Hz)'dir.

II.4.2.1 Piezo-elektrik olayı

²⁴Silisyum kristalleri, baryum titanat, kuvarst ve rochelle tuzu gibi bazı kristaller kendilerine bir darbe uygulandığında atomlar arası kuvvet dengesi bozularak titreşirler ve bir elektrik akımı oluştururlar. Bunun aksi olarak bir elektrik akımı uygulanırsa boyutları değişerek titreşmeye başlar ve ultrasonik dalga meydana getirirler. Aynı kristale ses dalgaları çarptığında titreşmeye başlar ve bir elektrik akımı doğar. Bu olaya piezo-elektrik olayı denir.

Piezo-elektrik kristal üzerine uygulanan voltaj başına, kalınlığındaki değişmeye piezo-elektrik modül adı verilir. Bu baryum titanat için;

$$^{24}d = \frac{\Delta x}{u} = 0.2 \times 10^{-9} \text{ m/volt'dur.} \quad (6)$$

Piezo-elektrik prob bir tip minyatür şahmerdandır. Yüksek frekansta ~ 0.2 mikron genliğinde darbeler üretir. Darbelerin frekansını, kristalin kalınlığı tayin eder. Kristalin üzerine uygulanan voltaj darbesi (puls) ile rezonans titreşimleri yapar. Kristalin kalınlığı rezonans titreşiminin yarı dalga boyuna eşittir. Ses hızı, frekans ve dalga boyu ile şu bağıntı vardır.

$$^{24}c = f \times \lambda \quad (7)$$

Burada c, kristal içindeki akustik hız (m/sn), f uygulanan frekans (Hz), λ dalga boyu (m)'dir.

II.4.2.2 Boyuna dalgalar

Katı ve sıvı cisim içerisinde meydana getirilen mekanik titreşimlerin yayılma yönü ile aynı olması halinde

²³Ultrasonik Muayene (Ankara: Segem, 1979), s. (2.01). ²⁴Aynı, s. (5.03).

dalga çeşidine boyuna veya doğrusal dalgalar denir. Bu dalgalara basınç dalgaları da denildiği olur. Şöyle formüle edilmiştir;

$${}^{25}c_b = ((E/\rho) \times (1-\nu) / (1+\nu) \times (1-2\nu))^{1/2} \quad (8)$$

Burada E elastiklik modülü, ν poisson oranı, ρ ise yoğunluk'tur.

II.4.2.3 Enine dalgalar

Sadece katı ortam içinde meydana getirilen mekanik titreşimlerin doğrultusu ile yayılma yönü birbirine dik olan dalgalara denilir. Boyuna dalgalara göre daha yavaştır- lar ve daha çabuk sönümlenirler. Ultrasonik ile kaynak diki- şı muayenesinde her iki tip dalga çeşidiyle de çalışılır. Boyuna dalgalar bir ortamdan başka bir ortama geçerken kırıl- larak, enine ve boyuna dalga demetlerine ayrılırlar. Şu şekil- de formüle edilmişlerdir;

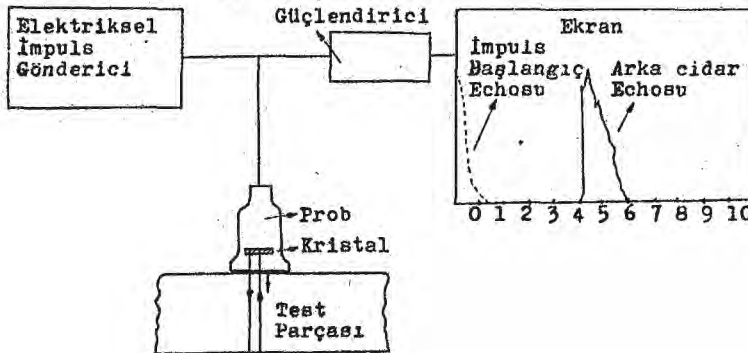
$${}^{25}c_e = ((E/\rho) \times (1/2(1+\nu)))^{1/2} \quad (9)$$

II.4.3 Ultrasonik muayenede kullanılan cihazlar

Kaynak dikişlerinin ultrasonikle yapılan muayenele- rinde kullanılan cihazların bütününi teşkil ederler. Ultra- sonik test cihazı ile problemleri kapsar. Ayrıca test kalibre blokları da mevcuttur.

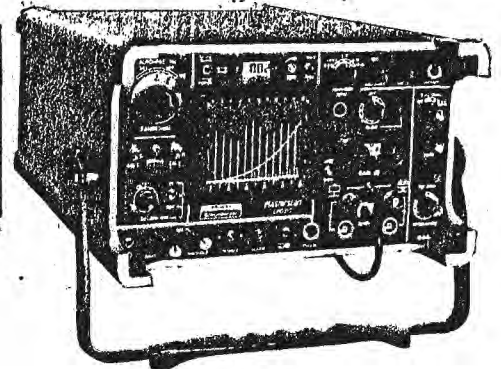
II.4.3.1 Ultrasonik test cihazı

Ultrasonik ses dalgalarının prob kristalinden gönde- rildiği andan itibaren malzeme içerisindeki gidiş ve dönüş zamanını elektronik olarak ölçen ve bunu elektronik olarak değerlendiren düzenektir. Şekil 52.'de şematik ve Şekil 53.' de cihaz görülmektedir.



Şekil 52.

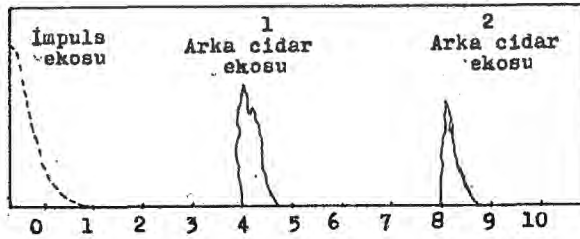
Etem Helvacı, Ultrasonik ile Tahribatsız Malzeme Muayenesi (İstanbul: Oerlikon yayını), s.4.



Şekil 53.

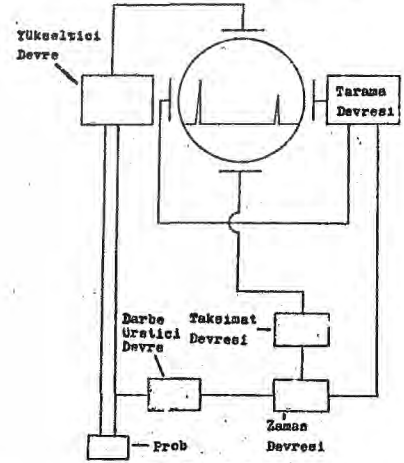
The Versatile Ultrasonic Flaw Dedector (Milton Keynes: Balteau Schlumberger, 1985), s.1.

²⁶Gönderici tarafından belli aralıklarla gönderilen elektriksel impulslar, prob kristali tarafından ses impulslarına dönüştürülür. Ses dalgaları kristalden hareket ettiği an, ekranın sol köşesindeki ışıklı nokta, malzeme içindeki ya da ortamdaki ses hızına bağlı olarak belli bir hızla ekranın sağ köşesine doğru hareket eder. Şekil 54. Malzeme tabanından yansıyan ses impulsları prob tarafından algılanana kadar bu hareket devam eder. Prob tarafından algılanan bu ses impulsları, kristalde elektriksel impulslara dönüştürülür ve elektronik olarak değerlendirilerek ışıklı nokta yukarıya çekilir. Ekran üzerinde eko adını verdiğimiz şekli görürüz. Buna İnci arka cidar ekosu denir. Arka cidardan yansıyan ses demetinin tamamı algılanamaz. Zira bir kısmı üst cidardan yansıyarak tekrar alt cidara doğru hareket eder ve ışıklı noktamız yatay eksen doğrultusunda yine harekete başlar. Bu şekilde ses demeti malzeme içerisinde sönmülene kadar alt ve üst cidar arasında gider gelir. Her hareket ettiği ses yolundan bizim bir eko almamızı mümkün kılar.



Şekil 54.

Helvacı, s.5.



Şekil 55.

Ultrasonik Muayene (Ankara: SEGEM yayını, 1979), s. (11.06).

Ses ötesi cihazı esas itibariyle bir osilaskoptan ibarettir. Tek ilavesi darbe üreticisi (pulser) devresidir. Şekil 55.²⁷Cihazı meydana getiren başlıca kısımlar şunlardır:

1-Darbe üreticisi:

Elektrik darbeleri üreterek bunları hem proba hem de yükseltici devreye gönderir. Darbeler kısa süreli elektrik boşalmalarıdır. Ekranda sol tarafta yayınlanan darbe sinyali olarak gözükür. Yansıtıcıdan yankılanıp geri dönen darbe prob tarafından algılanarak yükseltici devre üzerinden ve

²⁶Helvacı, ön.ver., s.5. ²⁷SEGEM 1979, ön.ver., s. (11.06).

burada oldukça şiddetlenmiş olarak katod tüpüne gider. Yankı, katod ışını tüpüne bir zaman gecikmesi ile geldiği için ekrandaki sinyali yayınlanan darbeye ait başlangıç sinyalinden bu zamana karşılık olan bir mesafede yer alır.

ii-Zaman devresi:

Bir çeşit elektronik saattir. Diğer devrelerin çalışmalarının zamanlamasını yapar.

iii-Yükseltici devre:

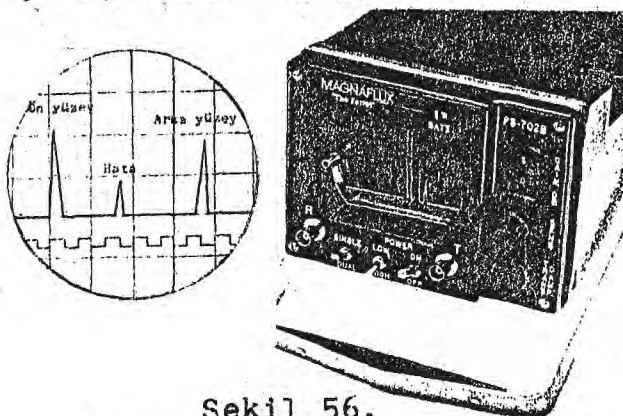
Gerek darbe üreticisinden gelen çıkış darbelerini, gerekse probdan gelen yankı darbelerini alır ve bunları katod ışını tüpünün düşey saptırma levhalarına gönderir. Ekranda yayınlanan darbeye ve dönen yankılara ait düşey sinyallerin oluşmasını sağlar. Bu devre tarafından yankı sinyalleri şiddetlenir ve istenilen formda modüle edilir. Şiddetlenme cihazın dışarısından kontrol edilerek azaltılır veya çoğaltılır.

iv-Tarama devresi:

Katod ışını tüpünün yatay saptırma levhalarını çalıştırır. Elektron demetinin soldan sağa belirli bir hızla ekranı taramasını ve böylece yatay zaman ekseninin görüntülenmesini sağlar. Yatay ekseni sağa sola kaydırarak muayene derinliği ve eşit kalınlıkta dilimlere bölünmüş halde ekran içine alınır. Böylece büyük bir kalınlık hiç küçültme yapmadan ve istenirse büyütme yapılarak ekranda görüntülenir.

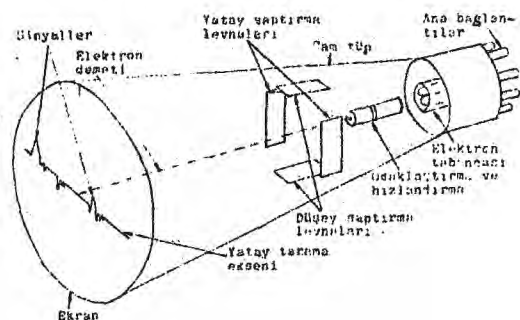
v-Zaman taksimat devresi:

Ekranda zaman ekseninin altında kırık çizgilerle ayrı bir eksen meydana getirir. Şekil 56. Taksimat ekseni adı verilen bu eksen zaman eksenini eşit aralıklarla bölmeye, böylece yatay eksen de yapılacak okumaları kolaylaştırmaya yarar.



Şekil 56.

Portable Ultrasound Instrument (Illions: Magnaflux Electronic Instrumentation, 1984), s.1.



Şekil 57.

SEGEM 1979, s. (11.07).

vi-Katod ışını tüpü:

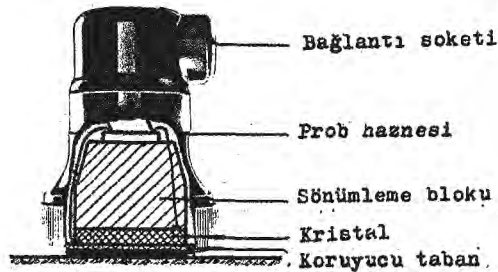
Esas itibariyle bir televizyon tüpünün benzeridir. Şekil 57. Bir ucunda elektron tabancası, karşısına gelen diğer ucunda ekran bulunur. Tüp yüksek derecede vakumlu ve ekran yüzeyi içten fosfor bileşenleri ile sıvanmıştır. Fosfor bileşenleri hızlandırılmış elektronların çarpması ile ekranda floresant görünür ışık haline gelir. Yani elektrik akımı katodda elektron demeti haline dönüşerek, elektron demetide floresant ekran üzerinde görünür ışığa çevrilir.

II.4.3.2 Problar

²⁸Problar malzeme içindeki hataları değerlendiremez. Görevi yalnızca malzeme içerisine ultrasonik dalgalar gönderir ve malzemeden geri dönen dalgaları algılar. Şekil 58.'de prob ve kısımları görülmektedir. Ultrasonik dalgalar hava ve gaz ortamında yayılmadığından, prob tabanı ile malzeme yüzeyi arasına yağ, su v.s. gibi kontak sıvısı sürülür. Değişik tipleri mevcuttur. Bunlar normal, SE ve açılı problardır.

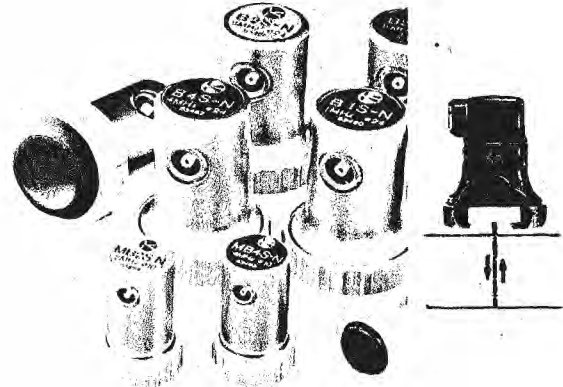
i-Normal problar:

Bu problar ürettikleri ses ötesi boyuna dalgaları prob yüzeyine dik doğrultuda test malzemesinin içine doğru gönderirler. Şekil 59.'da normal problar görülmektedir. Çalışma frekansı 0.5 MHz ile 15 MHz'e kadar geniş bir alandır. 5 m. ve daha fazla kalınlığa kadar ses demeti bu problarla gönderilir. Tabanları değişen bloklardır. Çok yakın hataları algılamaz, 10 mm'nin üzerindeki malzeme hatalarında çok elverişlidir.



Şekil 58.

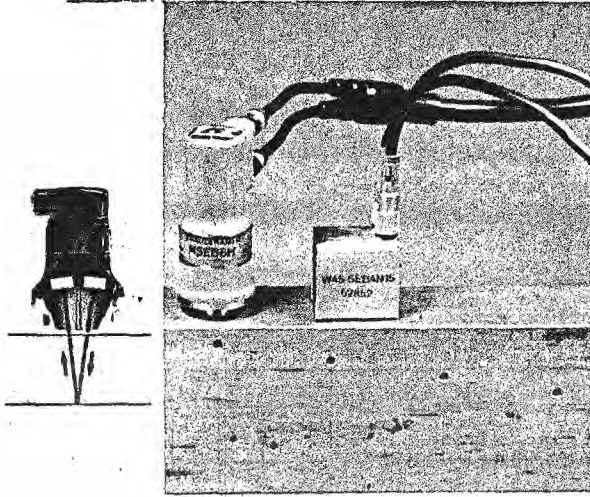
Nondestructive testing of material using ultrasonics
(Hürth:Krautkramer GmbH,1965),s.3.



Şekil 59.

Krautkramer,s.15.

ii-SE (Sende-Gönderici,Empfanger-Algılayıcı) Problar:
Çok hassas problar olup,bir alıcısı birde vericisi vardır.Bunlara çift kristalli problar da denilir.Tabanları sabit olup,boyuna dalga üretir ve boyuna dalgalarla çalışırlar.Şekil 60.Bir probda hem alıcı,hemde verici kristal bulunabilir.Yüzeze yakın hataların algılanmasında,çok elverişli bir probdur.

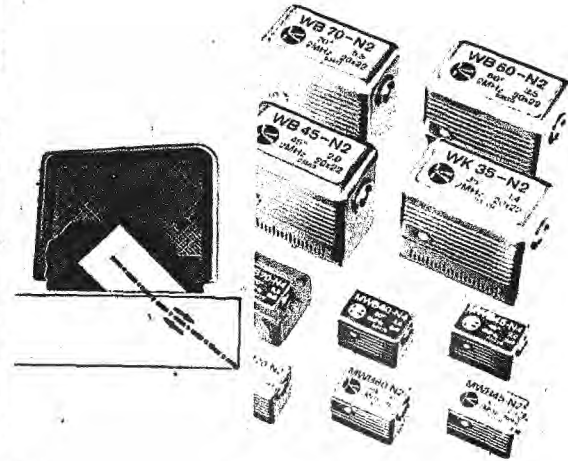


Şekil 60.

Krautkramer, s.22.

iii-Açılı problar:

Malzeme yüzeyine eğik bir geliş açısı altında ses demeti gönderirler.Kristal,prob haznesi içerisine,normalle belli bir açı altında yerleştirilmiştir.Bu problar boyuna dalga üretirler.Şekil 61.Kırılmadan dolayı boyuna dalgalar yüzeysel dalgalara çevrilirler,yani malzeme içine yayılmalar önlenir.Malzeme içine yalnızca enine dalgalar yayılır.Çok geniş bir kullanma sahaları vardır.Açılı problar 35° , 45° , 60° , 70° ve 80° olarak,standart ve sabit açılarda imal edilirler.



Şekil 61.

Krautkramer, s.16,17.

II.4.3.3 Kalibrasyon blokları

Ultrasonik test cihazını kalibre etmek için DIN 54120 ve 54122'de standartlaştırılmış K_1 ve K_2 bloklarıdır.Bunlar test edilecek malzeme ile aynı malzemeden imal edilmişlerdir.Şekil 62.'de K_1 ve K_2 blokları görülmektedir.



Şekil 62.

Ultrasonik Muayene (Ankara:SEGEY yayını,1984),s.162.

29 II.4.3.4 Prob frekanslarının kullanıldığı alanlar

0 - 0.5 MHz Demir döküm
 0.5- 1.0 MHz Çelik döküm
 2.0- 4.0 MHz Karbonlu hadde mamulu malzemeler
 5.0-10.0 MHz Uçak sanayi
 10 -15.0 MHz Özel maksatlar(reaktör inşaatı)'da kul-
 lanılır.

II.4.4 Ultrasonik test cihazını kalibre etmek

Ultrasonik cihazın 0 ile 10 skala taksimatı arasında range (ayar) düğmesi ve sıfırlama düğmesi yardımı ile belli bir malzemenin kalınlığını doğrusal olarak ayarlamaya ultrasonik sistemde kalibrasyon işlemi denir.

II.4.4.1 Normal problemlerle kalibrasyon

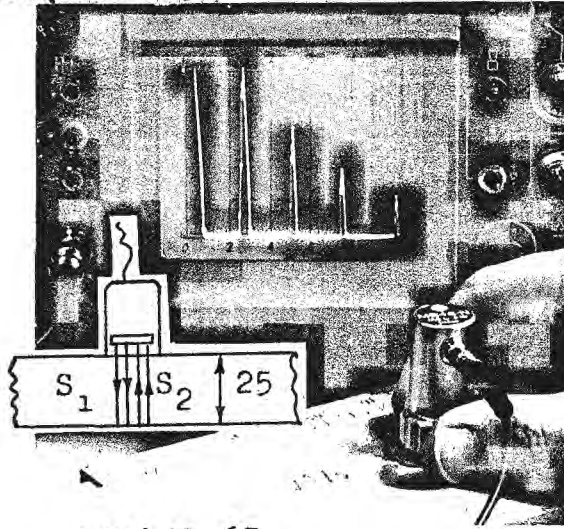
Ultrasonik cihazın ekran skalasındaki yatay eksen bir çeşit zaman skalasıdır.Üst cidar ekosu ile alt cidar ekosu arasındaki mesafe, ses impulslarının kristalden alt, cidara gidip geri gelmesi için geçen zaman, skala üzerindeki ölçülebilen değerdir.

$$*c=s/t \text{ (m/sn)} \quad (8)$$

Burada c ses hızı, s sesin katettiği mesafe (m), t ise zaman (sn)'dir. Ölçülen malzemenin ses hızı biliniyorsa skala üzerinde cidar kalınlığı ayarlanır. Normal problemlerle kalibre yapabilmek için önce bir kalibre bloku seçilir. Blokun özellikleri şöyle olmalıdır:

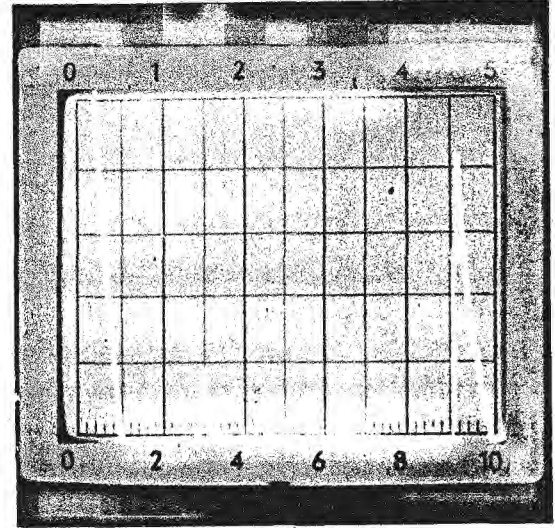
- Ölçüleri bilinmeli,
- Test edilecek malzeme ile aynı cinsten olmalı,
- Hatasız olmalı,
- Karşılıklı yüzeyler paralel ve düzgün olmalıdır. Bir örnek üzerinde test cihazını kalibre edecek olursak;
- Test alanı 0-100 mm
- Kalibre bloku (K_1) 25 mm.
- Test alanı cihazın ayar düğmesi ile kaba olarak seçilip 50 veya 100 mm kademesine getirilir.
- Sıfırlama düğmesi yardımı ile ekranın sol köşesine başlangıç ekosu getirilir.
- Prob cihaza irtibatlanır.

-Kalibre bloku üzerine yağ sürülerek kontaklanır.Ek-randaki başlangıç ekosu ve arka cidar ekoları görülecektir.Şekil 63.



Şekil 63.

Krautkramer, s.25.



Şekil 64.

Krautkramer, s.26.

Kalibre edilen test alanı içerisinde, kalibrasyon blo-kunun kalınlığını kaç defa görebiliyorsak o kadar ekoyu, echoların aralarını açıp daraltan kademesiz ayar düğmesi yardımı ile ekrana getiririz. İki adet kalibrasyon ekosu se-çilir. Burada önemli konu, ekoların (0+1) bölüntüsü ile (9+10) bölüntüsü arasında ve birbirinden uzak olmasına dikkat edil-melidir. Seçilen kalibrasyon ekoları skala üzerindeki pozis-yonlara şu şekilde getirilir.

-Birinci eko sıfırlama düğmesiyle 2.5 üzerine,

-İkinci eko 5, üçüncü eko 7.5 üzerine kademesiz a-yar düğmesi yardımıyla getirilir, bu işleme devam edilerek sonunda Şekil 63.'de olduğu gibi ekolar taksimatlar üzerine gelir. Böylece 0-100 mm alana kalibre edilmiş olur. Her hangi bir 100 mm'lik bir malzemeyi test edebiliriz. Şekil 64.'de test edilen bir malzeme, üst cidardan 28 mm derinlikte bir hata sinyali görülmektedir.

"II.4.4.2 SE problemleriyle kalibrasyon

İnce cidarlı bir malzemenin arka cidar ekosu, başlan-ğış ekosu içinde kaybolur. Bu yüzden ince cidarlı malzemeler ve yüzeye yakın hataların testi bu problemlerle yapılır. Kalib-rasyon işlemi için değişik uzaklıktan en az iki arka cidar ekosuna ihtiyaç vardır. Bu yüzden SE problemleriyle kalibrasyon

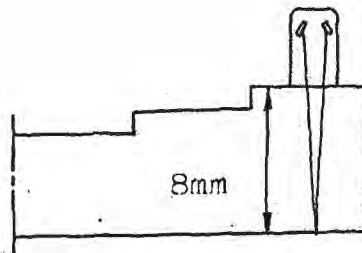
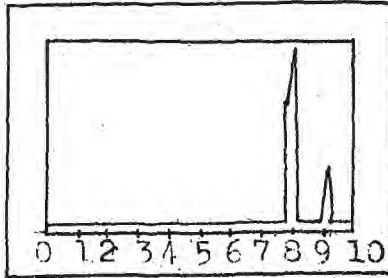
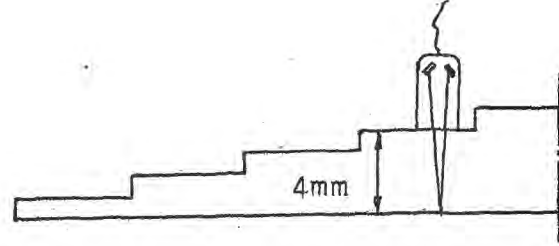
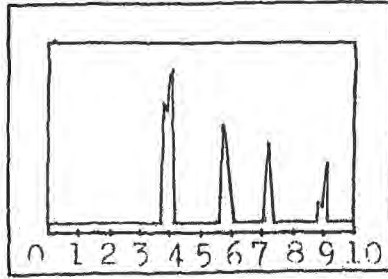
işleminde merdiven bloku kullanılır.Şekil 65.Merdiven blokun 1 mm ile 8 mm kalınlıkta 8 basamağı vardır.Eğer 0+10 mm test alanına kalibre işlemi için bu merdiven blokun 4+8 mm merdivenleri kullanılır.Cihazımızın alan düğmesini 10 mm test alanına getiririz.İmpuls ekosunu ekranın sol köşesinde gördükten sonra,4 mm merdivene sıvı sürülerek prob kontaklanır.Sıfırlama düğmesi yardımıyla arka cidar ekosunu 4 taksimatı üzerine getiririz.Şekil 66.Probumuzu 8 mm ayağına



Şekil 65.

Krautkrämer, s.27.

tesbit ederiz,ayar düğmesi ile 8 taksimatı üzerine getiririz Şekil 66.Bu kalibre işlemi her iki eko ilgili pozisyonlarda görülene kadar devam ederiz.Test cihazımız 4+8 mm alanda kalibre edilerek doğru bir şekilde ölçüm yapmağa hazır bir durumdadır.

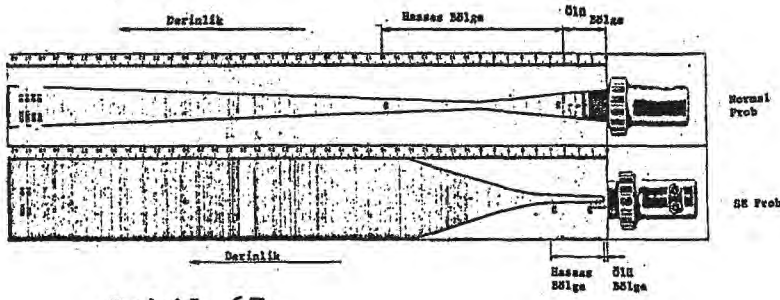


Şekil 66.

SEGEN 1984, s.118.

SE probunun gönderdiği ses demetinin yolunu incelersek bir V yolunun yaptığını gösterebiliriz.Şekil 67.Test cihazımızı belli kalınlık alanlarına kalibre ederek V yolundan dolayı meydana gelebilecek hataları önlemiş oluruz.Cihazımızı 4+8 mm arasına kalibre ederek ince cidarlı malzemelerin muayenelerini yapabiliriz.Malzeme incelidikçe V yolu genişlemekte,ses yolu uzamaktadır.Malzeme kalınlaştıkça V yolu açısı daralacak ve ses yolu kısılacaktır.Bu durumlar bi-

zi hataya götürür.

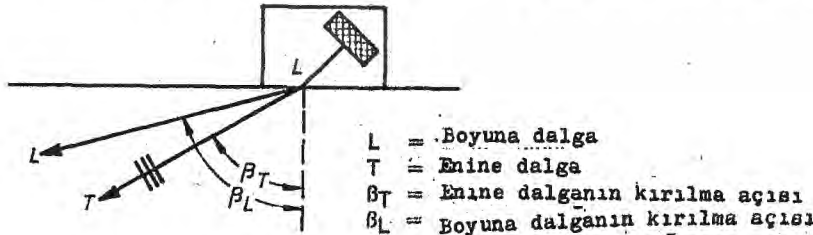


Şekil 67.

SEGEM 1984, s.119.

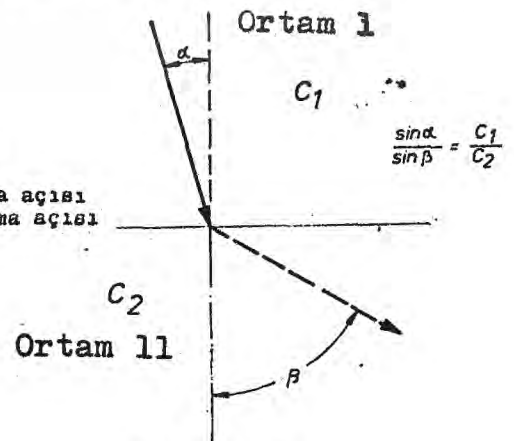
II.4.4.3 Açılı problemlerle kalibrasyon

Açılı problemler standart olarak belli açılarda imal edilirler. Malzeme içine belli bir açıda ses demeti gönderirler. Şekil 68. Ses demeti bir ortamdan diğer bir ortama geçerken sınır yüzeyinde kırılmaya uğrarlar. İki değişik ortamda ki ses dalga hızları da değişiktir. Ultrasonik ses demetine kırılma ve gönderme açısı denir. Kırılma açısı β büyüdükçe C_2 ortamdaki ses hızı, o derecede C_1 ortamdaki ses hızına oranla büyük olur. Şekil 69. Geliş açısı ne kadar büyük olursa kırılma açısı da o kadar büyük olacaktır. Enine dalgaların kırılma açısı boyuna dalgalardan daha az olduğundan, biz boyuna dalgaları malzeme içerisinde yok edebiliriz. Şekil 70.



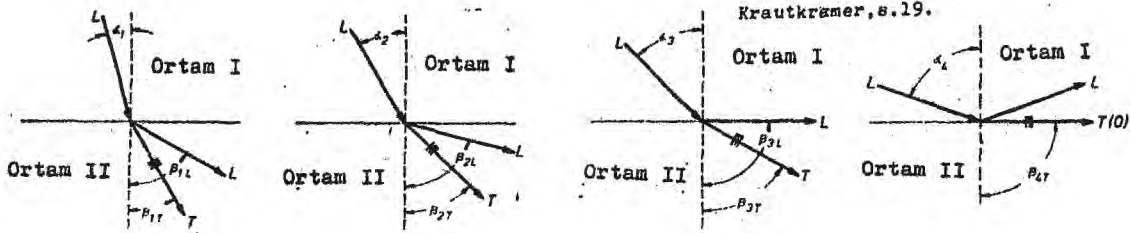
Şekil 68.

Krautkrämer, s.20.



Şekil 69.

Krautkrämer, s.19.

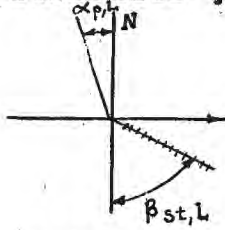


Şekil 70.

Etem Helvacı, Kaynak dikişlerinin ultrasonik yöntem ile tahribatsız olarak testi (İstanbul: Oerlikon yayını, Kaynak bilimi, 1984), s.44.

$$^{33}\text{Kırılma kanunu} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = \frac{C_1}{C_2} \quad (9)$$

Kırılma kanunu konumuza uygulayalım, ve Şekil 71.'e göre formüller şöyle olur;



$$^{33}\sin \alpha_{p,L} = \frac{C_{p,L}}{C_{st,L}} \quad (10)$$

$$^{33}\sin \alpha_{st,L} = \frac{C_{st,L}}{C_{p,L}} \quad (11)$$

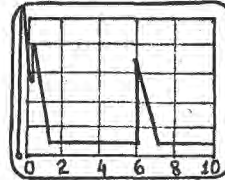
Şekil 71.

SEGEN 1984, s.122.

Geliş açısı ve malzeme içlerindeki enine ve boyuna dalgaların yayılma hızları verilerek, kırılma açıları yukarıdaki formüllerle bulunabilir. Açılı problemlerin ses yoluna, projeksiyon uzaklığına göre kalibrasyonu yapılır. Şimdi bunların araştırmalarını yapalım.

i-Ses yoluna göre kalibrasyon:

Açılı problemlerle malzeme içerisine ses dalgaları gönderildiğinde, ses demetini geriye yansıtmadığı sürece ekranda hiç bir eko almamız mümkün değildir. En az iki arka cidar ekosu alamazsak cihazı kalibre edemeyiz. Şekil 72.



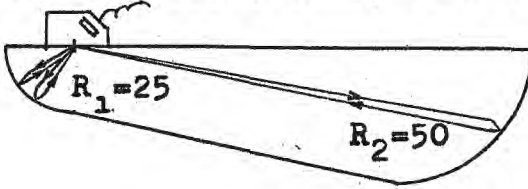
Şekil 72.

Krautkramer, s.30.

Kalibrasyon K_2 bloku ile yapılır. Bir daire merkezin-den gönderilen ses demeti daire çemberinin teğet noktasından dik olarak geldiği yönde geriye yansır. Bu şekilde açılı problemlerde daire arka cidar ekoları alırız. Ses yoluna göre kalibrasyonda ekranın yatay skalası üzerinde sesin katettiği yolun zaman cinsinden skala taksimatı biriminden ifadesini okuyoruz.

Cihazımızı 0-100 mm arasında kalibre edelim. İlk referans ekosu 25 mm.'lik radyusdan geri gelir. İkinci referans ekosu radyusu 25 mm yaydan 50 mm radyuslu yaya geri kalan ses demetinin gitmesi ve tekrar radyusu 25 mm olan yaya geri dönmesi ile elde edilir. Bu yansımalarından sonra ses kristalinden çıkış doğrultusu olan demeti proba algılamak üzere geri dönerler. Şekil 73. İkinci eko 100 mm. uzaklıktan elde edilir. Cihazımızı ses yoluna göre 0-100 mm

alana kalibre etmiş oluruz.



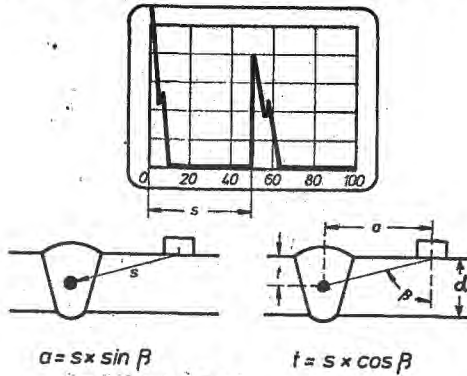
İlk referans ekosu $S_1 = 25$ mm
İkinci ref. ekosu $S_2 = 100$ mm
Üçüncü ref. ekosu $S_3 = 175$ mm

Şekil 73.

Helvacı, s.21.

ii-Projeksiyon uzaklığına göre kalibre

Test cihazı ekranının yatay ekseninde projeksiyon uzaklığının okunabilmesidir. Yine probumuzu K_2 blokuna irtibatlı olarak yatay eksenini projeksiyon uzaklığına göre kalibre edelim.³⁴ Ses yolu mesafesi bilindiğine göre, bu ses yollarından projeksiyon uzaklığı hesaplanır ve kalibre yoluna gidilir.



$\beta = 60^\circ$ $S_1 = 25$ mm.
 $d = 25$ mm. $S_2 = 100$ mm.
 $k = 10$ $S_3 = 175$ mm.

Şekil 74.

Krautkrämer, s.30.

Test alanımızı Şekil 74.'deki gibi 100 mm. olsun. Düzenleyeceğimiz tablo aşağıdaki gibi olur.

| Ses yolu(mm) K2 R25 | Projeksiyon uzaklığı(mm) | Kısaltılmış projeksiyon uzaklığı(mm) | Skala pozisyonu (Skt) |
|------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|
| S | $a = S \times \sin \beta$ | $a' = a - x$ | $T = \frac{a}{K} : \frac{a'}{k}$ |
| $S_1 = 25$ | $a_1 = 21,7$ | $a'_1 = 7,7$ | 2,17 |
| $S_2 = 100$ | $a_2 = 82,6$ | $a'_2 = 72,6$ | 7,26 |
| $S_3 = 175$ | $a_3 = 151,6$ | $a'_3 = 137,6$ | 13,6 |

Tablo 2.

SEGEM 1984, s.130.

$P = 2d \times \operatorname{tg} \beta = 2 \times 25 \times \operatorname{tg} 60^\circ = 86,60$ mm o halde test alanı 100 mm olmalı. $k = \frac{100}{10} = 10$ mm/Skf. İlk referans ekosunu $T_1 = 2,17$ skala taksimatı üzerine, ikinci referans ekosunu ise $T_2 = 7,26$ skt üzerine ayar ve sıfırlama düğmesi yardımıyla getirilerek, cihazımızı 0-100 mm test alanına projeksiyon uzaklığı olarak kalibrasyonu yapılmış olur. Yatay eksen kalibrasyon iş-

³⁴SEGEM 1984, Ön. ver., s.130.

leminden sonra, hassasiyet kalibresi referans alınan eşdeğer hata yansıtıcılarına göre yapılır. Cihazımızda 5,5 üzerinde bir hata ekosu alalım.

$a = 10 \times 5,5 = 55$ mm. (Prob ekseninden yatay olarak hataya olan uzaklık.)

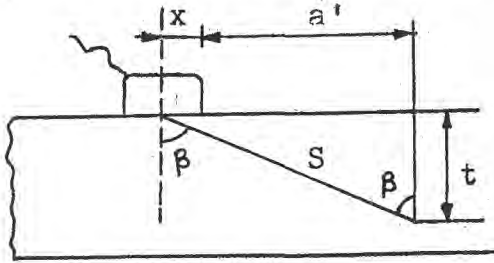
$t' = \frac{a}{\text{tg}} = \frac{55}{\text{tg}60} = 31,75$ mm. (Zahiri derinlik, çünkü malzeme kalınlığı 25 mm)

$t = 2 \times d - t' = 2 \times 25 - 31,75 = 18,25$ mm. hatanın gerçek derinliği.

iii-Kısaltılmış projeksiyon uzaklığına göre kalibre

Projeksiyon mesafesinden x uzaklığı çıkarılarak yapılan hesaplamaya kısaltılmış projeksiyon denir. Hatalar yatay eksende, prob alanından okunması bakımından büyük bir kolaylık sağlar.

$a' = a - x$ ile formüle edilir. Şekil 75.



a = projeksiyon uzaklığı

a' = Kısaltılmış projeksiyon uzaklığı

t = hatanın derinliği

s = Ses yolu

β = probun açısı

Şekil 75. $\cos \beta = \frac{t}{s}$

SEGEN 1984, s.121.

$t = s \cdot \cos \beta$

$a = s \cdot \sin \beta$

$a = t \cdot \text{tg} \beta$

$a' = a - x$

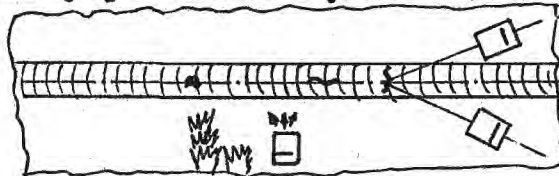
(12)

II.4.5 Kaynak dikişlerinin çeşitli pozisyonlarda taranması

³⁶II.4.5.1 Alın kaynaklı birleştirmeler

i-Kaynak dikişinin boyuna taranması

İki adet açılı prob ortak olarak bir test cihazına irtibatlandırılıp kalibre edilerek kaynak boyunca hareket ettirilmelidir. Hareketler kaynak dikişi boyunca zik zak şeklinde yapılmalıdır. Şekil 76.

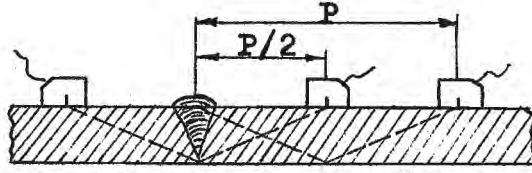


Şekil 76.

SEGEN 1984, s.152.

³⁵Aynı, s.131. ³⁶Aynı, s.152.

ii-Yarım ve tam adım uzaklığında ses yoluna göre taranması

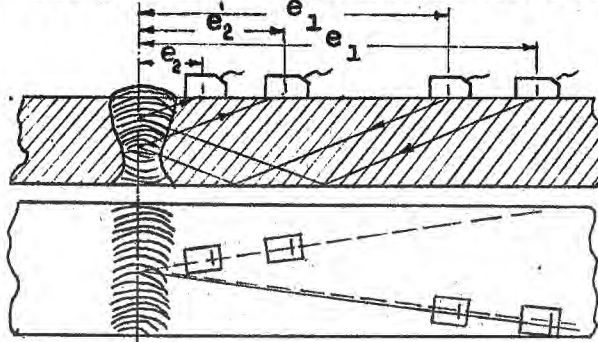


Şekil 77.

SEGEN 1984, s.152.

Geniş bir dalga ile 15mm'ye kadar ince plakalarda uzaktan dikişler tarandığı takdirde probun ileri geri hareket ettirilmesine gerek kalmaz. Çünkü dikişin tüm kesiti bu yöntemle taranmış olur. Şekil 77.

iii-Atlama ve yakalama metoduna göre tarama



$$e_1 + e_2 = e_1' + e_2' = 1 \text{ sabit}$$

Şekil 78.

SEGEN 1984, s.152.

Her pozisyonda en sürekli teması sağlayan akışkan sudur. Otomatik testlerde su daha çoğunlukta kullanılmaktadır. Bu metotta malzemenin kendisinde olan hatalar sebebiyle ses dalgası istenilin şekilde ilerleyemez ve kaynaktaki hataları algılayamaz. Bu yüzden kaynak üzerinde kontrole başlamadan önce kaynağın hangi tarafının uygun olduğu belirlenmelidir. Şekil 78.

iv-Flanş yüzeyinden çevresel boru kaynağının testi



Şekil 79.

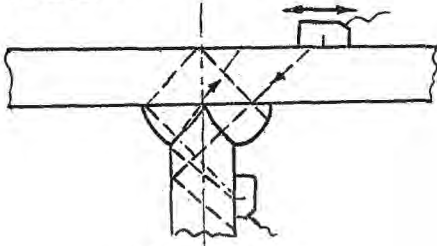
SEGEN 1984, s.151.

Dönen parçaların flanş veya boru bağlantı elemanlarının kaynağı normal problemlerle uygulanması çok az olmaktadır. Çünkü yüzeye yakın çatlakların belirlenmesi güç olmaktadır. İnce cidarlı malzemelerin kontrolünde dış yüzeylerden kaynaklanan karışıklıklar olabilir. Bunlar ses dalgalarının kesinti-

ye uğramasına neden olarak her iki yüzeye yakın hataların belirlenebilme hassasiyetini azaltır. Şekil 79.

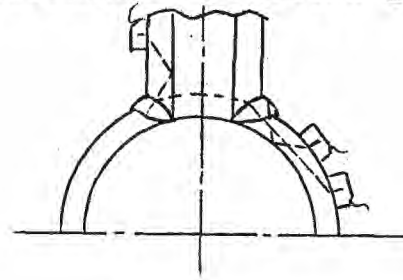
II.4.5.2 Köşe kaynaklı birleştirmeler

⁴⁰Köşe kaynakların tamamı ultrasonik test yöntemi ile kontrol edilemez. Bu yüzden kat dikişlerinin kaynağında olduğu gibi, kaynak mekanik gerilmelere dayanımı için dizayn edilmiş ise ve mutlaka testi isteniyorsa, muayene edilmelidir. Şekil 80.'de çift köşe kaynağının muayene şekli, Şekil 81.'de ise boru bağlantı kaynaklarının muayeneleri görülmektedir.



Şekil 80.

SEGEN 1984, s.172.

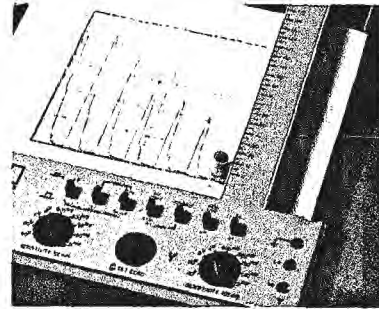
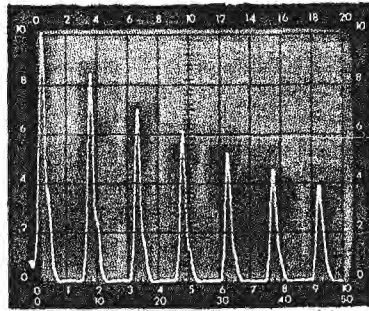


Şekil 81.

SEGEN 1984, s.174.

II.4.6 Test cihazındaki hataları kayıt etme

Test cihazında elle yapılan testlerde, sonuçların kayıt cihazı ile hataların gerçek yeri arasında bir orantı kurulabilir. Şekil 82.



Şekil 82.

Balteau, s.5.

Bu kayıt yönteminde de diğer yöntemlerde olduğu gibi bazı kayıpları göze almak gerekir. Seri üretimlerde, boydan boya boru kaynaklarında ve geniş çaplı borularda kaynak işleminden hemen sonra, test işlemi otomatik olarak yapılır. Hatanın yeri kaynak üzerinde tebeşirle işaretlenir.

⁴⁰Aynı, s.172.

41II.4.7 Test prosedürü (şartları)

i.-Aksi belirtilmedikçe kontrol plakanın her iki yüzeyinden ve çelik temin eden firmada tüm işlemler bittikten sonra ve nakliyeden önce yapılacaktır.

ii.-Test için 2,5MH.z'lik nominal test frekansı önerilir.Ancak malzemenin kalınlığı,kristal yapısı veya mikro yapısı daha alçak veya yüksek test frekansı gerektirebilir.

iii.-Test cihaz kalibrasyonu minimum %50,maksimum %75 arka cidar ekosu alınacak şekilde ayarlanarak yapılır.

iv.-Hata arama su,yağ,veya gres gibi bir kuplaj sıvısı kullanılarak ve 9¹¹(230mm)lik birbirine dik çizgiler üzerinde sürekli yapılır.

v.-Bu çizgiler plaka merkezi veya bir köşe esas alınarak çizilir.Plaka kenarlarına 5cm uzaklıktaki bir hatada ayrıca kontrol edilir.

vi.-Arka cidar ekosunun kontrol sırasında tamamiyle kaybolması halinde bu duruma rastlanan bölgeye bitişik kareler %100 kontrol edilir.Arka cidar ekosunun tamamiyle kaybolduğu bölgenin sınırları tesbit edilir.

42II.4.8 Ultrasonik bulguların değerlendirilmesi

i.-Değerlendirme

Şekil,etki ve hammadde göz önüne alınarak Tablo 3 'de ultrasonik devamsızlıkların değerlendirilmesi için sabit değerler(uzunlamasına olan devamsızlıklar):

| S ^x kalınlık veya boğaz dikişlerin de a ölçüsü | Her metre dikiş uzunluğunda hatası sayısı | kayıt uzunluğu (mm) | Kayıt eşliğinin eko yüksekliğini aşım olarak eko yüksekliği |
|---|---|---------------------|---|
| ≤6 | - | - | 0 |
| >6 ≤10 | 3 | 10 | ≤6 |
| >10 ≤20 | 10 3 1 | 10 20 10 | ≤6 ≤6 ≤12 ^{xx} |

| | | | |
|---------------|--------------|----------------|--|
| $>20 \leq 40$ | 10 3 1 | 10 25 10 | ≤ 6 ≤ 6 $\leq 12^{xx}$ |
| $>40 \leq 60$ | 10 3 1 | 10 30 10 | ≤ 6 ≤ 6 $\leq 12^{xx}$ |

SEGEN 1984,s.177. Tablo 3.

x Farklı malzeme kalınlıklarında küçük olan ölçü alınır.

xx Numune olarak kontrol gerekli ek kontroller olarak röntgen veya numune olarak dikişin açılması dikkate alınabilir.

-Değişik ebatlı kaynatılmış malzemeden ince olan alınır.
-Derinlik tesbiti cihazla tesbit edilir

| Malzeme kalınlığı "S"mm | Hata uzunluğu(mm) |
|----------------------------|--|
| ≤ 10 | 7 |
| $>10 \leq 75$ | 2/3 S |
| $>75 \leq 150$ | 50 üst yüzeyde 10mm 2/3 S derinlikte olmalı |
| >150 | 50 üst yüzeyden 10mm 100' den fazla derinlikte |

SEGEN 1984,s.178.

Tablo 4.

ii.-İtibari kalınlık 60mm üzerinde ise kontrol bölgesi 60mm kalınlıktaki parçalara bölünmelidir. Bu bölüntüler karşılıklı yüzeylerden başlanarak yapılır. Bu arada kesişmeler söz konusu olabilir. Her bölge 40 ile 60mm kalınlıktaki bir kaynak gibi değerlendirilir. Ancak 120mm'ye kadar olan kalınlıkta elverişli kayıt uzunluğu 40mm. 120mm üzerindeki kalınlıkta 50mm olmalıdır.

Test denemelerine dayanılarak elde edilen 50mm üzerindeki kabul edilebilir hata uzunluğu en üst yüzeyden en az 10mm içeride olmalıdır.

Aynı derinlikte hatalar birbirlerinden en az, en büyük hatanın uzunluğunun 2 katı uzaklıkta bulunmalıdır.

Kalınlık yönündeki hatalar arasındaki mesafe ise en az, büyük hata uzunluğu kadar olmalıdır.

iii.-Yukarıdaki kriterler dikkate alınarak test bulguları değerlendirildiğinde şüphe söz konusu ise tamir(rönt-

gen kontrolü veya numuneler şeklinde dikişin açılması) gibi bir kontrol denemesi gereklidir. Eğer röntgen kontrolü değilse veya hata göstermiyorsa veya test verileri eko göstergesinin sebebi açık olarak belli etmiyorsa tamir gereklidir.

iv.-Eğer Tablo 4'e göre müsaade edilebilen hata sıklık veya uzunluğu aşılmışsa eko yüksekliği 6dB'e kadar kayıt eşiğinde bulunan yansıma bölgeleri de değerlendirmeye tabi tutulur.

Çapraz hata kontrolünde ^xortaya çıkan ve daha önce tesbit edilmiş uzunlamasına bir hatadan meydana gelip gelmediği açık olarak ispat edilmeyen hatalara çapraz hatalar denir. Çapraz hatalar için her kontrol bölgesinde kayıt uzunluğu 10mm kadar ve eko yüksekliği kayıt eşiği üzerinde 6dB'ye varan kaynak dikişi mt'si başına en fazla 3 hataya müsaade edilebilir. Çapraz hata göstergeleri küme halinde ortaya çıkıyor ise bu hataların yalnızca bir kaç tanesi bile kayıt eşiğinin üzerinde olsa ve diğerleri bu eşiğin 6dB altındaki eko yüksekliğini geçmemiş olsalar bile tamir edilmelidir.

Eğer numuneler alma yolu ile dikiş açılarak bu hataların çatlaklardan meydana gelmediği ispat edildiği takdirde yukarıdaki değerlendirmeden uzaklaşmak doğru olur.

Üst yüzey çatlak kontrolü bulgularının değerlendirilmesi çatlak şeklindeki hatalar yüzeyde bırakılmamalı mutlaka tamir edilmelidir.

⁴³ II.4.9 Kabul/Red standardı

i.-Arka cidar ekosunun kaybolduğu bölge 3"(75mm) veya plaka kalınlığının yarısı (hangisi büyükse) çapında bir daire içine alınamıyorsa kabul edilmez.

ii.-Plakanın reddinden önce imalatçı ultrasonik yöntemle tesbit edilen hataların tamiri için metodlar önermekle serbesttir.

iii.-İmalatçı ve müşteri arasındaki anlaşmaya bağlı olarak daha hassas kabul red standartları uygulanabilir.

iv.-Müşterinin temsilcisi testi izleyebilir.

^xDikiş yönündeki hatalar uzunlamasına hatalardır. Çapraz hatalar ise dikiş yönüne çapraz hatalardır.

⁴³Aynı, s.187.

"II.4.10 Test raporu

İmalatçı,yapılan kontrolun raporunu hazırlayacak ve bir kopyasını müşteriye gönderilen kopya imzalanıncaya kadar saklayacaktır.Yalnız radyografik kontrollerin raporları,imalatçı tarafından 5 sene süre ile saklamak zorundadır.Rapor aşağıdaki bilgileri kapsayacaktır.

Tüm işlem ve cihazlar,testin ileriki bir tarihte tekrarlanmasını sağlayacak biçimde tanımlanacaktır.Rapor ilk,kalibrasyon verilerini,yeniden kontrollarda göze çarpan belirgin değişiklikleri kapsayacaktır.

Parça ekipman ve sipariş numaralarını testi yürüten operatörün kimliğini ve kontrol edilen kaynakları gösteren bir kroki veya çizim yapılacaktır.

Raporda tamir edilen kaynaklar ve tamir sonuçları belirtilecektir.Referans seviyesinin %50 sini geçen eko verip tamir ettirilmeyen kaynaklar not edilecektir.Bu not eko alınan bölge,eko seviyesi,ölçülen yüzeyden derinlik ve tür gibi bilgileri kapsayacaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

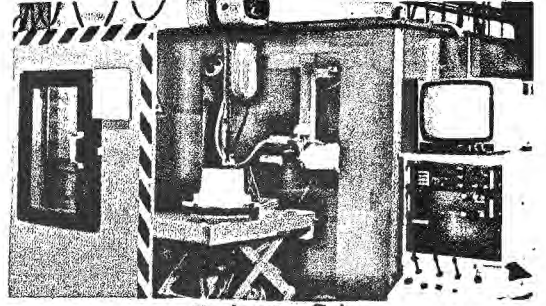
RADYOGRAFİK MUAYENE

¹Radyografi, malzemenin bir ucundan girip diğer ucundan çıkan ışınların özelliğinden yararlanılarak malzemenin iç görüntüsünün fotoğrafını alma tekniğidir. Girici (nüfus edebilen) ışınlar malzemeyi (objeyi) katedip geçerken, malzeme içinin görüntüsünü beraberinde taşırlar. Görüntü film üzerine kaydolunursa buna radyografi Şekil 83., floresant ekran üzerine alınırsa radyoskopi adı verilir. Şekil 84. Bu teknolojiden yararlanılarak kaynak dikişlerine zarar vermeden hata ve kusurlarını filme alarak, kaynak dikişleri hakkında bir fikir sahibi oluruz.



Şekil 83.

Constant Potantiel X-ray Systems (Hamburg: Philips GmbH, 1985), s.1.



Şekil 84.

Philips X-ray systems, s.1.

Radyografi filmi kalıcı bir kayıt olmasına karşın

fluoresant ekran anında seyredilebilen görüntü verir. Floresant ekran üzerindeki görüntüyü doğrudan seyredecek kişi zorunlu olarak ışın demetinin içine girer. Çalışan kişi, girici ışınların zararlı etkilerinden korunmak için fluoroskopik görüntü kapalı devre televizyon sistemi ile başka bir alana taşınarak görüntü orada seyredilebilir.

Endüstri uygulamalarının büyük çoğunluğu radyografi tekniği ile yapılır. Girici ışın olarak x- ve gamma ışınlarından yararlanılır.

III.1 ELEKTROMANYETİK İŞINLAR

III.1.1 Elektromanyetik ışınım ailesinin bireyleri

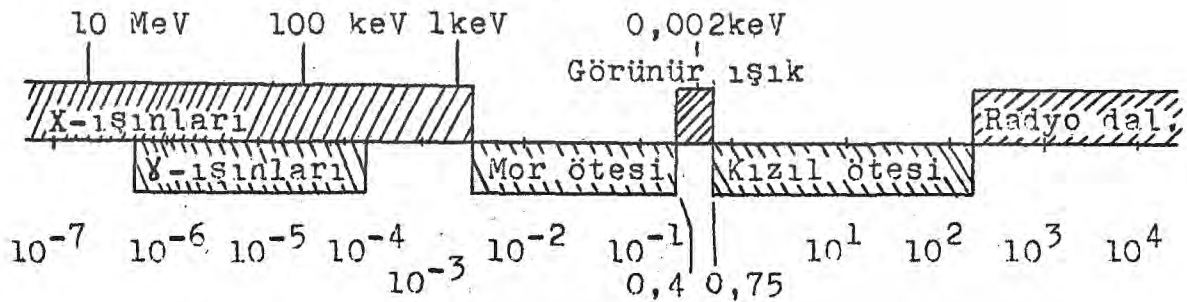
²İnsan gözü sadece 0,4 ile 0,75 mikron arasında kalan dalga boylarına duyarlıdır. Sadece bu dar aralıkta kalan ışınları algılayabildiğimiz için dalga boyları bu sınırlar

¹Nezih Özden, Endüstriyel Radyografi (Ankara: SEGEM yayın no 45, 1981), s.1.

²Aynı, s.11.

içine düşen ışınım "görünür ışık" adı verilmiştir. Dalga boyları bu aralığın hemen üstünde kalan kırmızı ötesi ışınları gözün görmemesine karşın deri algılayabilir; "ısı ışınım" adı verilen bu ışınım, bir elektrik sobası örneğinde olduğu gibi, aydınlatmadığı halde pekala ısıtılabilir. Elektromanyetik ışınımın diğer bireylerini insan kendi duyu organlarıyla algılayamaz. Fakat morötesi ışınlarının varlığı ciltte yaptığı renklenme, yanma, iltihaplanma ile sonradan anlaşılır. X- ve gamma ışınları da anında fark olunamazlar. Ciltte ve iç organlarda sebep oldukları tahribatla sonradan zaman geçtikten sonra anlaşılır.

X- ve gamma ışınlarının aslında görünür ışıktan farklı olmamalarına rağmen, ondan daha değişik davranmaları, örneğin cisimlerin içine nüfus edebilmeleri sadece ve yalnız daha yüksek enerjiye (veya kısa dalga boyuna) sahip olmalarındandır. Şekil 85.'den görüldüğü gibi x-ve gamma ışınları görünür ışıktan çok daha büyük enerjetiktirler. Bu da onları yüzeylerden yansıyıp geri dönmek yerine, maddenin derinliklerine giricilik (nüfuziyet) kazandırır.



Şekil 85.

Nezih Özden, Endüstriyel Radyografi (Ankara: SEGEM yayın no 45, 1981), s. 21.

III.1.2 Dalga boyu-Enerji ilişkisi

Elektromanyetik ışınım ailesinin yukarıda isimleri sayılan bireyleri, bu arada x- ve gamma ışınları, bazen dalga boyu uzunlukları ile bazen de enerjileri (foton denen paketçiklerin sahip olduğu enerji miktarı) ile anılırlar. Enerjileri aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda} \quad (13)$$

Burada h plank sabiti $6,625 \cdot 10^{-27}$ erg.sn, ışık hızı $c = 3 \cdot 10^8$ m/sn, λ dalga boyu ve f ise fotonların frekansıdır. E 'yi KeV olarak λ 'yı Å olarak ifade edersek;

$$E \lambda = 12,34 \text{ olarak ifade edebiliriz.} \quad (14)$$

³Alpin Kemal Dağsöz (İstanbul: İsi geçişi, Birsen Kitabevi yayını, 1973), s. 118.

⁴Industrial Radiography (Belgium: Agfa-Gevaert, 1981), s. 17.

Tekrar denkleme dönersek, elektromanyetik ışınım enerjisi artarken dalga boyunun kısılacacağı veya tersine olarak enerjisi azalırken dalga boyunun uzayacağı anlaşılır. Bu bağıntı gösteriyor ki x- veya gamma ışınlarının enerjisi veya dalga boyundan birisi bilinirse, diğeri bağıntıdan kolaylıkla hesaplanabilir. Kısa dalga boylu ışınlar yüksek enerjili sert ışınlar olup, uzun dalga boylu olanlar ise düşük enerjili yumuşak ışınlardır.

III.2 X- IŞINLARI VE ÜRETİLMELERİ

⁵III.2.1 X- ışınlarının keşfi

Würzburg üniversitesi profesörlerinden Dr. Wilhelm Conrad V. Röntgen, 8 Kasım 1895 günü bir raslantı sonucu x- ışınlarını keşfetmiştir. Çalıştığı Crooks tüpü çok zayıf ışınlar verdiği için odayı karartmıştı. Oda içinde bir ara baryum tuzu ile kaplanmış bir camın parıldadığını gördü. Tüp ile baryum tuzu birbirlerinden oldukça uzakta bulunuyordu. Araya kitap, tahta ve alüminyum levha koymasına rağmen parıldama bir türlü kesilmiyordu. Katod ışını tüpünden görünür katod ışınlarının haricinde gözle görülmeyen fakat baryum tuzunda ışın yapan ve araya konan her türlü engeli aşabilen bir başka ışın yayınlanmaktaydı. Röntgen buna önce "Bir yeni ışık" sonrada x- ışını adını verdi.

⁶III.2.2 X- ışını özellikleri

i- Işınların malzemedan geçme kabiliyeti, içinden geçtiği malzemenin atom ağırlığıyla ters orantılıdır. (Uranyum, Volfram, Kalay, Kurşun, Demir, Alüminyum, Magnezyum.) Hiç bir malzeme ışınları tamamen absorbe edemez. Işınlar azda olsa her malzemedan geçerler.

ii- X- ışınları ışık gibi mercek gibi diğer yansıtıcılarla demet haline getirilemezler, yansıtılamazlar ve kırılmazlar.

iii- Her malzemedan doğrusal yönde geçerler. Yalnız malzeme tarafından absorbe edilmediği, savrulmadığı, saçılmadığı sürece geçerlidir.

iv- Röntgen ışınları görünmez ışınlardır. Ancak fluorescent etkisi vardır.

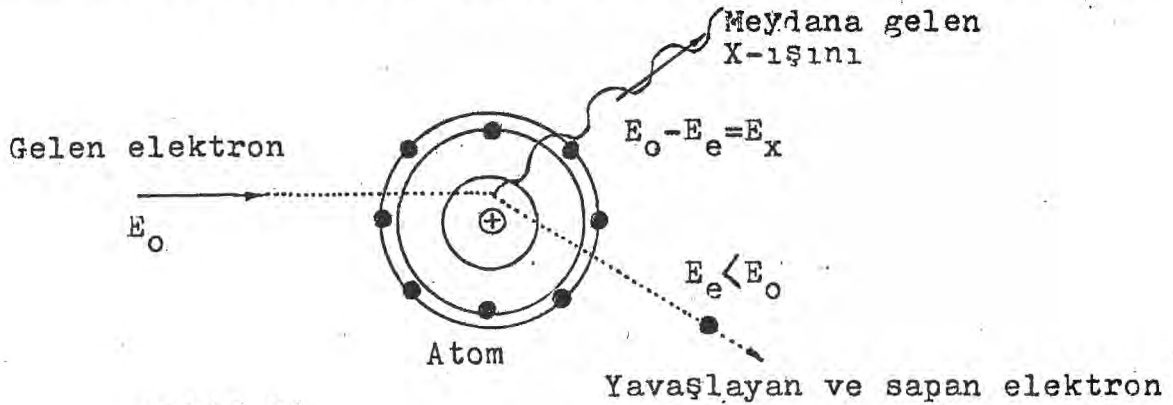
v- Röntgen ışınları çarptıkları her malzemedan elektron açığa çıkarırlar.

⁵Mehmet Yılmaz, Ziya Özüç, (Ankara SEGEM yayını, 1984), s. 3. ⁶Aynı, s. 10.

III.2.3 X- ışını üretimi

X- ışınları elektronların bir maddeye çarpmalarından hasil olur. Oldukça hızlandırılmış elektronlar çarptıkları maddenin içlerine dalarak madde atomlarının elektostatik çekim alanlarına kapılarak frenlenir ve yavaşlarlar. Frenleme ile kaybettikleri kinetik enerji x- ışını şeklinde açığa çıkar.

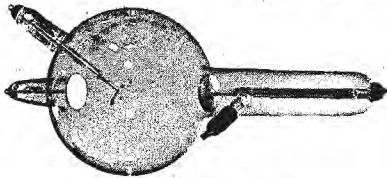
Şekil 86.'dan görüldüğü gibi, E_0 elektronun geliş enerjisi, E_e ise atomun çekim alanında yavaşladıktan sonraki enerjisidir. $E_x = E_0 - E_e$ enerji farkı, x- ışını olarak tanımlanır. Olayı şöyle küçük bir benzetme ile ifade edebiliriz. Bir meteorun dünyanın atmosferine girdiği zaman havanın sürtünmesi ile yavaşlaması ve bu esnada kızışarak ışık saçmasına benzetebiliriz. Bu çok sayıda atomun uzayında tekrarlanır.



Şekil 86.
Özden, s.21.

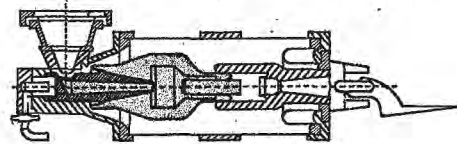
III.2.4 X- ışını cihazları

İlk x- ışını üretim cihazı olarak Profesör W. Röntgen Crooks tüpü kullanmıştır. Daha sonra C.H.F. Müller tarafından 1901 yılında hava soğutmalı x- ray tüpünün patentini almıştır. Şekil 87. İkinci kuşak x- ışını cihazı olarak Şekil 88.'de görüldüğü gibi 1940 yılında imal edilen cihazlar kullanılmıştır. Üçüncü kuşak olarak 100 kV'dan 420 kV'a kadar kullanma sahası olarak 1973 yılından bu yana metal seramik tüplü x- ışını cihazları kullanılmaktadır.



Şekil 87.

Industrial X-ray tubes (Hamburg: Philips GmbH, 1985), s.2.



Şekil 88.

Philips X-ray tubes, s.2.

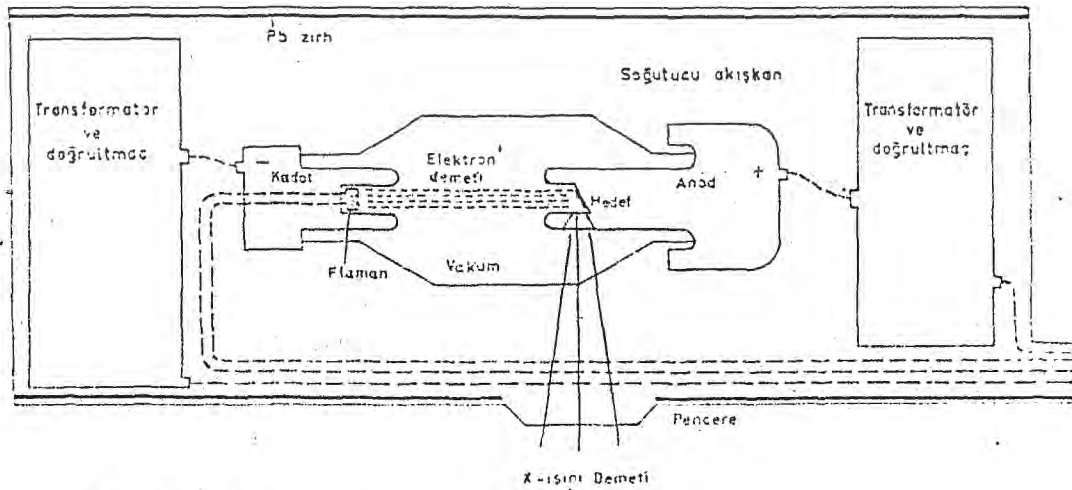
Şekil 89. bir radyografi cihazının şematik kesitine aittir.⁸Bir x- ışını cihazının tipik yapısı ve çalışması bu şekle ve Şekil 90.'daki kesit resme dayanarak kısımlarını kısaca özetleyebiliriz.

-Flaman

Elektronların üretildiği yerdir.İçinden geçen akımla ısınır ve termoelektronlar salar.

-Anod ve katod

Flamanda üretilen elektronları yönlendirip hız kazandırırılar.Flamanın etrafındaki elektronlar hareketsiz bir bulut şeklindedir.X- ışının üretilebilmesi için elektronların hızlandırılıp bir hedefe çarptırılmaları gerekir.Hızlandırma işlemi,katoda negatif anoda ise pozitif gerilim tatbik edilerek yapılır.Flamanda üretilen elektronlar katod tarafından itilirken anod tarafından çekilirler.Zıt işaretli iki alanın birbirine eklenen etkisi ile elektronlar çok büyük hız kazanırlar.Bu hız,kutuplar arası mesafe ile kutuplara uygulanan voltaja bağlıdır.Cihazı 150 kV'a ayarladığımızda,katoda -75kV anoda ise +75 kV uygulamış oluruz.



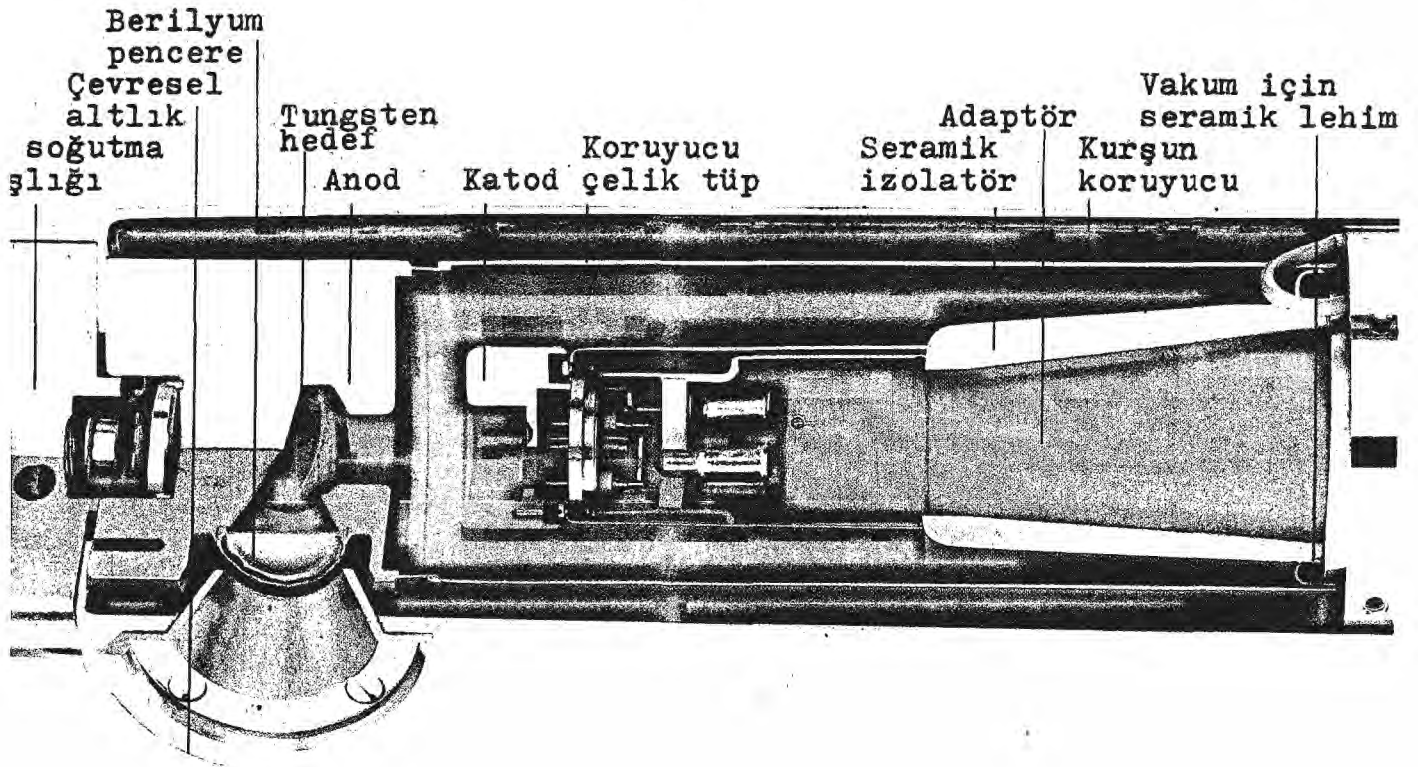
Şekil 89.

Radyografik Muayene (Ankara:SEGM yayını,1979),s.(3.01).

-Hedef

Hızlandırılmış elektron demetleri hedefe çarparak X- ışınları oluşturur,yani x- ışını kaynağıdır.Elektron enerjilerinin ancak 1/100 kısmı X- ışınlarına dönüşür.Enerjinin arta kalan büyük kısmı ısıya dönüşür.Bu yüzden hedef wolfram gibi ısıya dayanıklı bir metalden yapılır.Hedef mutlaka soğutulmalıdır.Aksi halde sıcaklık çok yükselerek,hedef de çok

⁸Radyografik Muayene (Ankara:SEGM yayını,1979),s.(3.01).



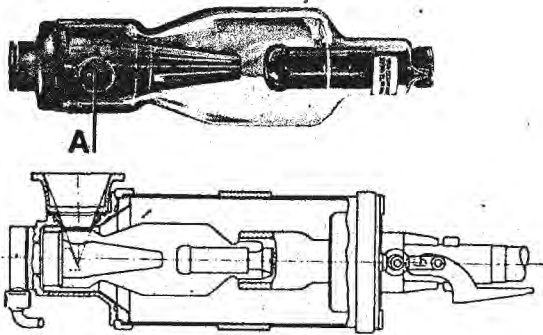
Şekil 90.

Philips X-ray systems, s.3.

katod gibi termoelektron üretmeye başlar ve cihazın verimini düşürür.

-Vakum tüpü

Anoddan katoda hızla giden elektronlar hava atomlarına çarparak enerji kaybederler. Hasıl olan kayıpları önlemek için birimlerin hepsi cam vakum tüp içine yerleştirilmiştir. Katod-anod arasında meydana getirilecek yüksek gerilim farkında vakum ortamında oluşturulur ve çevreye karşı da yalıtılmış olur.



Şekil 91.

Industrial Radiography (Belgium:Agfa-Gevart,1981),s.21.

-Isı radyatörü

Hedefe süratle çarpan elektronlar, hedefte ısı hasıl ederler. Bu ısıyı bertaraf ederek hedefin soğutulması sağlan-

malıdır.Ortam vakum olduğundan hedef konveksiyonla soğutulmaz.Hedef anod içine gömülerek ısının anoda iletilmesi sağlanır.Anod,mekanik ve elektriksel şartları yerine getirebilmesi için oldukça kalın bakır malzemedен yapılır.Vakum tüpünden dışarı uzatılan kalın bakır anod,kondüksiyon yoluyla ısıyı dışarı çıkarır.Bu uzantı tüp dışında bir radyatör şeklinde genişletilmiştir.Tüpün dışında sirküle olan gaz veya yağ akışkan,radyatörü soğutur.

-Elektrik transformatörü ve redresörü

Anod ve katoda uygulanan yüzlerce kilovolt yüksek gerilimler,şebeke geriliminin transformatörde yükseltilmesi ile elde edilir.Anoda pozitif,katoda negatif gerilim yüklemek için alternatif akımın doğru akıma çevrilmesi gerekir.Bunun içinde diyotlara ihtiyaç vardır.Transformatörler ağır cihazlar olduğundan cihazın içine alındığı takdirde onu oldukça ağırlaştırır.Cihazın dışında ayrı bir ünite olarak bir araya getirilirse,cihazla transformatör arasında yüzbinlerce volt nakleden tehlikeli elektrik kabloları uzanır.Uygulamada;ilki daha emniyetli olduğundan seyyar cihazlarda, ikincisi ise sabit cihazlarda kullanma alanı bulmuştur.

-Radyasyon zırhı

Radyografi cihazları tek bir pencereden ve yalnız istenen doğrultuda radyasyon vermeleri istenir.Halbuki hedeften çevreye her doğrultuda x- ışınları yayılır.İstenmeyen doğrultuda yayılan ışınların tutulması için cihazın iç yüzeyi kurşun levha ile kaplanmıştır.Böylece bu iş için bırakılmış pencereden x-ışını demeti çıkar.Pencere genellikle Berilyumdan yapılır.Cihazı çevreleyen kurşun zırh ağır olmasına rağmen sayılan etkenlerden dolayı kullanılması şart olmuştur.

-Soğutma aksamı

Isı radyatörünün anoddan çektiği büyük ısı,cihaz etrafında dolaşan akışkan tarafından cihazın bütün hacmine yaydırılır.Sirkülasyon,cihazın içine konan bir küçük pompa veya vantilatör ile sağlanır.Böylece radyatörden alınan ısı cihazın geniş yüzeyinin her noktasında dış ortama aktarılır.Soğutma sistemi normal atmosfer şartlarında yaklaşık yarı zaman kullanmaya yeterlidir.Her film çekiminden sonra,poz süresi kadar bir süre dinlenmeye terkedilmesine ve böyle bir

düzen içinde çalışmaya devam edilmesine "yarızaman çalışma-sı" denir.

Soğutucu akışkan gaz değilde yağ ise yarızaman çalışmanın üstüne çıkılabilir.Yağla çalışma bu avantajına rağmen cihaz yağla gazın ağırlık farkı kadar daha ağır olur.Gaz hafif olmasına karşın daha kolay sızma tehlikesi vardır.Yüksek sıcaklıklarda yağla veya gazla anlatılan tarzda soğutma yetersiz kalabilir.Bu takdirde cihazın içine yerleştirilecek serpantin borulardan su dolaştırmak suretiyle,ısının daha etkin şekilde dışarı alınması mümkün olabilir.

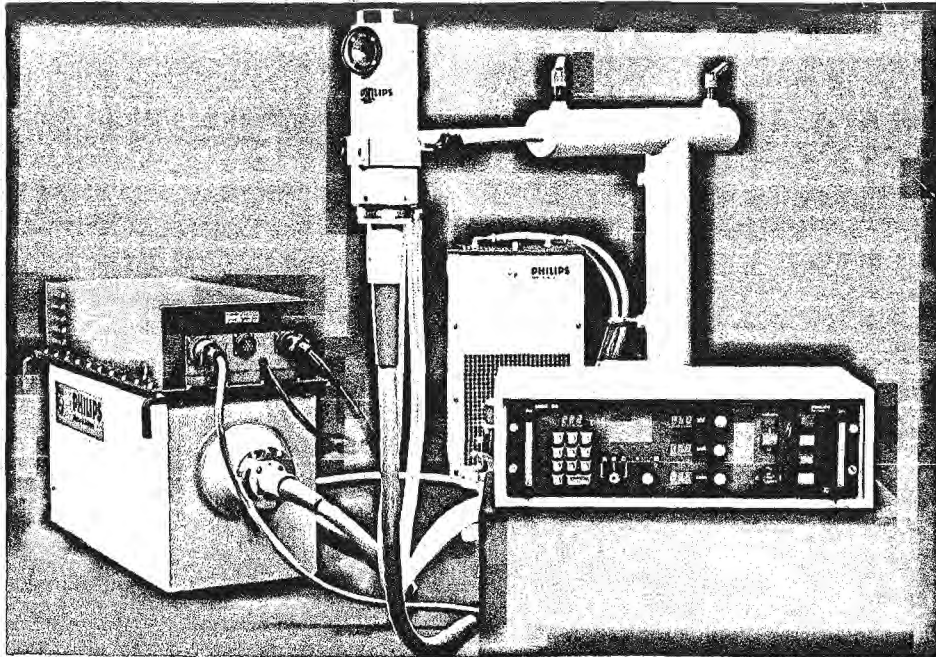
-Kontrol birimi ve Kumanda devreleri

Radyografi cihazı çalışırken,kullanıcıların zarar görmemesi için kontrol aksamı ile kumanda aksamı ayrı bir ünite halinde uzağa alınmıştır.Böylece radyografi cihazında birbirine uzun kablolarla irtibatlandırılmış en basit haliyle iki ünite hasil olur.Bunlar:

-X- ışını üretim ünitesi

-Kumanda ve kontrol ünitesi

Kumanda ve kontrol ünitesi cihaza verilebilecek bütün kumandaları kapsadığı gibi,radyasyon alarmı ve sıcaklık kontrol röleleri gibi kontrol devrelerini de kapsar.Şekil 92.'de x- ışını cihazı ve kontrol üniteleri görülmektedir.



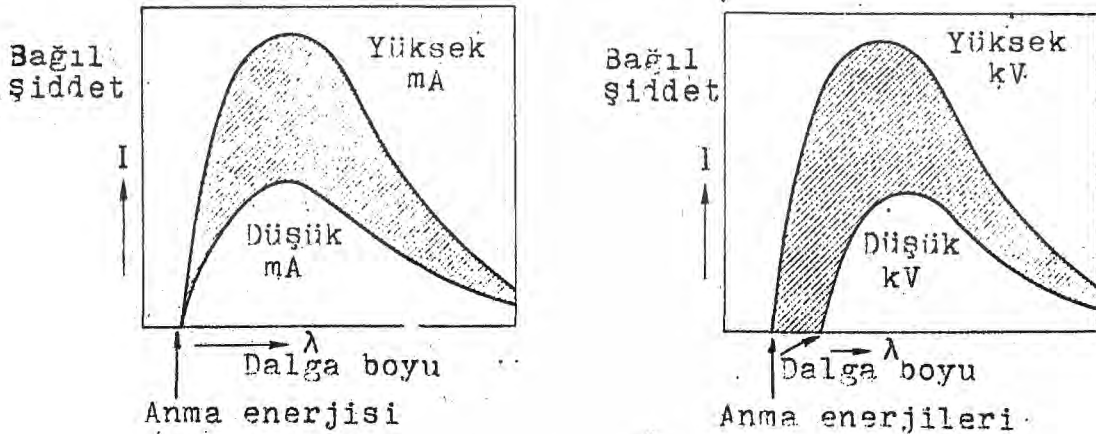
Şekil 92.

X-ray fluoroscopic inspection systems (Hamburg:Philips GmbH,1985),s.16.

III.2.5 X- ışını dalga boyunun değiştirilmesi

X- ışınları sonsuz sayıda dalga boyundan oluşan polikromatik bir ışıktır. Spektrum içinde her dalga boyu değişen bağıl şiddetlerde bulunurlar.

X-ışını cihazının flaman akımı (miliamper kumandası) ve hızlandırıcı alan gerilimi (kilovolt kumandası) değiştirilmek suretiyle üretilen x-ışınlarının spektrumu istenen yönde değiştirilebilir. Flaman akımı (miliamper) arttırıldıkça spektrum içinde her bir dalga boyuna ait bağıl şiddet arttırılır. Bir diğer deyimle x-ışınlarının spektral yapısı değiştirilmeden üretilen miktarı (şiddeti) çoğaltılır. Elektronu hızlandıran alanın gerilimi (kilovoltu) arttırıldığında ise x-ışını spektrumuna hem daha kısa dalga boyları (daha yüksek enerjiler) eklenir ve hem de her dalga boyuna ait bağıl şiddetler arttırılmış olur. Bir diğer deyimle x-ışınları şiddeti artarken, enerji yönünden de sertleşir. Şekil 93. her iki halde spektrum değişmelerini resmetmektedir.



Şekil 93.

Agfa-Gevart, s.17.

60 kV_{max} da $\lambda_{min} = \frac{12,34}{60} = 0,2 \text{ \AA}$ ve,
120kV_{max} da $\lambda = \frac{12,34}{120} = 0,1 \text{ \AA}$ olur. Maksimum spektrum dalga genişliği ise $\lambda_{max} = 2x\lambda_{min}$ olur.

III.3 GAMMA IŞINLARI VE ÜRETİLMELERİ

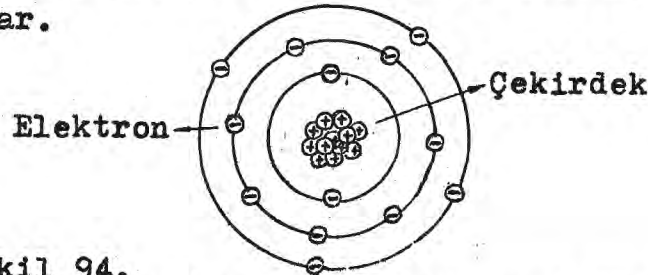
III.3.1 Atom ve yapısı

Atom modeli, Danimarkalı fizik alimi Niels Bohr tarafından 1913 yılında meydana getirilmiştir. Atom, bir çekirdek ve etrafındaki elektronlardan meydana gelir. Çekirdek, proton ve nötronlardan oluşur. Şekil 94. 'de bir atom modeli görülmektedir. Elektronlar 1/1836 nötron kitlesinde yüklü

⁹Agfa, Ön. ver., s.17.

¹⁰Fahrettin Çiçekdağ, Anorganik ve Genel Kimya (Eskişehir: ELMMA ders notu, 1973), s.22.

parçacıklardır."Elektronun yükü negatif olarak kabul edilir. Protonun da bir yük taşıdığını ve bu yükün elektronunkine eşit ve fakat aksi işaretli olduğunu biliyoruz.Elektronlardan her biri birim olarak $1,6 \times 10^{-19}$ amper-saniye (culomb) taşır.Elementlerdeki atom ağırlığı arttıkça elektron sayıları da artar.



Şekil 94.

Fahrettin Çiçekdağ, Anorganik ve Genel Kimya (Eskişehir:EDMA ders notu), s.22.

Atom numarası elektron veya proton sayısına eşittir. Atom ağırlığı ise proton ve nötron sayılarının toplamlarına eşittir."Bir elementin atom ağırlığında $6,02 \times 10^{23}$ adet atom bulunur.

¹³ III.3.2 Atomun parçalanması

Elementlerdeki nötron-proton sayı oranları çekirdek yük sayısı 20 olan kalsiyuma kadar birbirine denk (p:n=1:1) olarak seyreder.Bunlarda atom ağırlığı atom numarasının yaklaşık olarak bir mislidir.Kalsiyumdan başlayarak nötron sayısı proton sayısına oranla süratle artmaya başlar.Manganda 25 protona 30 nötron,arsenikte 33 protona 42 nötron ve nihayet uranyumda 92 proton,142 nötron (p:n=1:1,6) vardır.

Proton-nötron münasebetlerinde dayanıklılık sınırı 1/1,5'dur.Eğer bu sınır aşılsa,çekirdekteki denge bozulur.Nötron çekirdeği proton çekirdeği haline geçer.Bu suretle serbest kalan enerji negatif elektron e^- halinde kendine özgü olan süratle dışarıya verilir.



Bu reaksiyonda meydana gelen ısı (w) 17 MKcal.dir.Negatif elektron e^- nin kinetik enerjisi 0-17 MKcal.dir.Bu reaksiyonda ayrıca nötrino hasil olduğu için bunun kinetik enerjisi elektronun kinetik enerjisini 17 MCal'ye tamamlar. Bu gibi olayları biz tabii olan radyoaktif parçalanmalarda ve suni olan atom değişmelerinde görürüz.Bunun aksine olarak nötron sayısı proton sayısından küçük olursa nötron çekirdeği proton çekirdeğine dönüşür ve bu durumda elektron, (13) formülün tersine doğru yön alarak pozitif elektron e^+ halin-

¹¹Lawrence H.Van Vlack, Malzeme Bilimine Giriş (İstanbul:1972), s.19.

¹²Aynı, s.20. ¹³Çiçekdağ, Ön. ver., s.38. ¹⁴Aynı, s.39.

de serbest vaziyete geçer.



¹⁶Burada ise w'nin değeri 40 MKcal.dir.Böylece bir de-
ğişme ancak önceden verilecek enerji yardımı ile olur ve ta-
biattaki radyoaktif elementlerin kendi kendine parçalanma-
rı ile ilgili değildir.Ancak suni olan radyoaktif elementle-
rin parçalanmasıyla ilgilidir.

Radyoaktif maddelerden çıkan α, β, γ ışınları enerji bakımından çok zengindir.Bu enerji zenginliği de zaten yük-
sek olan süratlerinden bellidir.Bu enerjiyi ifade etmek i-
çin elektronvolt = e-volt tabiri kullanılır.

α parçacıkları 4-9 MeV

β parçacıkları 1 MeV

γ parçacıkları 1 MeV

Herhangi bir element α ışınlarını dışarıya doğru fırlatarak parçalanması yeni hasıl olan elementin, eski elemen-
te oranla kütle numarasından 4, atom numarasından da 2 eksil-
me olur.Dışarıya fırlatılan Helyum çekirdekleridir.Sonuç o-
larak da, periyodlar sisteminde yer değişikliği söz konusudur,
2 grup geriye gidilir.

Herhangi bir element β ışınlarını (elektronları) fırlatarak parçalanırsa çekirdekteki nötronlardan proton te-
şekkülü dolayısıyla proton sayısında artma olur.Yani yeni
teşekkül eden element, periyodlar sistemindeki yerini bir
grup sağa alır.Fakat kütle numarasında bir değişme olmaz.

Çekirdek parçalanması sonucunda meydana gelen ışının
özetini şöyle ifade edelim;

α ışınları: Bunlar helyum çekirdeklerinden ibarettir.
Hızları saniyede 20.000 kilometre kadardır.

β ışınları: Bunlar elektronlardır, hızları ışık hızına
yani saniyede 300.000 km.'ye yaklaşır.

γ ışınları: Çok kısa dalgalı röntgen ışınlarıdır. γ ı-
şınlarından faydalanılarak radyografi tekniğinde kullanıl-
mıştır.

¹⁷III.3.3 Gamma ışınlarının keşfi

Uranyum tuzlarının görünür ışıkla verdiği ışımaya (flu-
oresant) biliniyordu.Henri Becquerel (1852-1908) bu ışınla-
rın x- ışını özelliğine benzer özelliği olup olmadığını me-

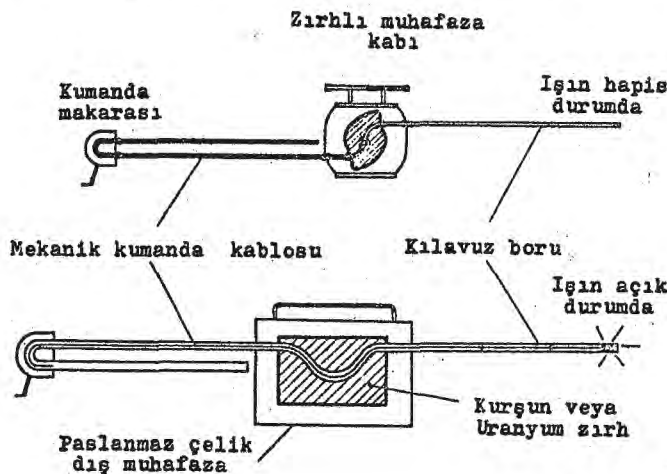
¹⁵Aynı, s.39. ¹⁶Aynı, s.41. ¹⁷Özden, Ün.ver., s.II.

rak etti.Acaba bu ışımının yaydığı parıltıda siyah kağıdı geçip fotoğraf plakasını etkileyecekmiydi ? Asistanı Mary Sklodowska (Madam Curie : 1867-1934) ile birlikte bir miktar uranyum tuzunu siyah bir kağıda sarılmış fotoğraf plakası üzerine koyup güneşe tuttular.Plaka banyo edildiğinde uranyum tuzunun bıraktığı siyah lekeyi sevinerek gördüler.Deneyi tekrar etmek istedikleri günlerde havanın bulutlu olması nedeniyle çalışamadılar.Hazırladıkları fotoğraf plakasını ve uranyum tuzunu çekmecelerine koyup başka işlere daldılar.Birkaç gün güneş görünmedi.Bunun üzerine hazırladıkları fotoğraf plakasını başka bir deneyde kullandılar. Plaka banyo edildiğinde uranyum tuzunun siyah lekesi gene plaka üzerindeydi.Demek ki uranyum tuzunun siyah kağıda sarılı fotoğraf plakasını etkilemesi için güneşe tutulmasına gerek yoktu.

Bu etkiyi yapan ışını uranyum tuzu kendiliğinden veriyordu.Böylece Şubat 1896'da maddenin Radyoaktivite denilen yepyeni bir özelliği keşfedildi.Birkaç yıl içinde radyoaktiviteden Alfa,Beta,ve Gamma diye anılan üç tür radyasyon yayınlandığı bulundu.Endüstriyel radyografi yönünden konumuzla ilgili olan bunlardan sadece gamma ışınlarıdır.

III.3.4 Gamma ışını cihazları

¹⁸Gamma radyografi cihazlarına iki tipik örneği Şekil 95.'de görmekteyiz.Görünüş itibariyle birisi küresel diğeri dörtköşedir.Görünüşü nasıl olursa olsun iç yapıları benzerdir.Şekildende anlaşılacağı gibi gamma ışını cihazları son



Şekil 95.

Özden, s. 37.

¹⁸Aynı, s. 37.

derece basit bir yapıya sahiptir.Cihazın en önemli kısımlarından biri zırhlı muhafaza kabıdır.Radyoizotop kullanılmadığı sürelerde bu kap içinde gizlenir.Radyoizotopun ışınması durdurulamadığından,kurşun veya uranyumdan zırh içine alınarak gamma ışınlarının çevreye zarar vermesi önlenir.Şekil 95.

Cihazın zırh kalınlığı ona yüklenebilecek en yüksek radyoaktivite miktarını belirler.Bu değer cihazın kapasitesi olarak üzerindeki etikete yazılır.Şekil 96.Gamma ışınlarına en iyi zırhlamayı en ağır elementler yapar.Kurşunun veya uranyumun tercih edilmesinin nedeni budur.Dolayısıyla cihazın ebatı küçük olmasına rağmen oldukça ağırdır.Zırhın dışına genellikle paslanmaz çelikten muhafaza kabı konur.Zırhı ve içindeki radyoizotopu dış tesirlerden korur ve cihaza güzel bir dış görünüş sağlar.



Şekil 96.

Tech/Ops, Gamma radiography equipment (Mass:Radiography Production Div.,1985),s.2.

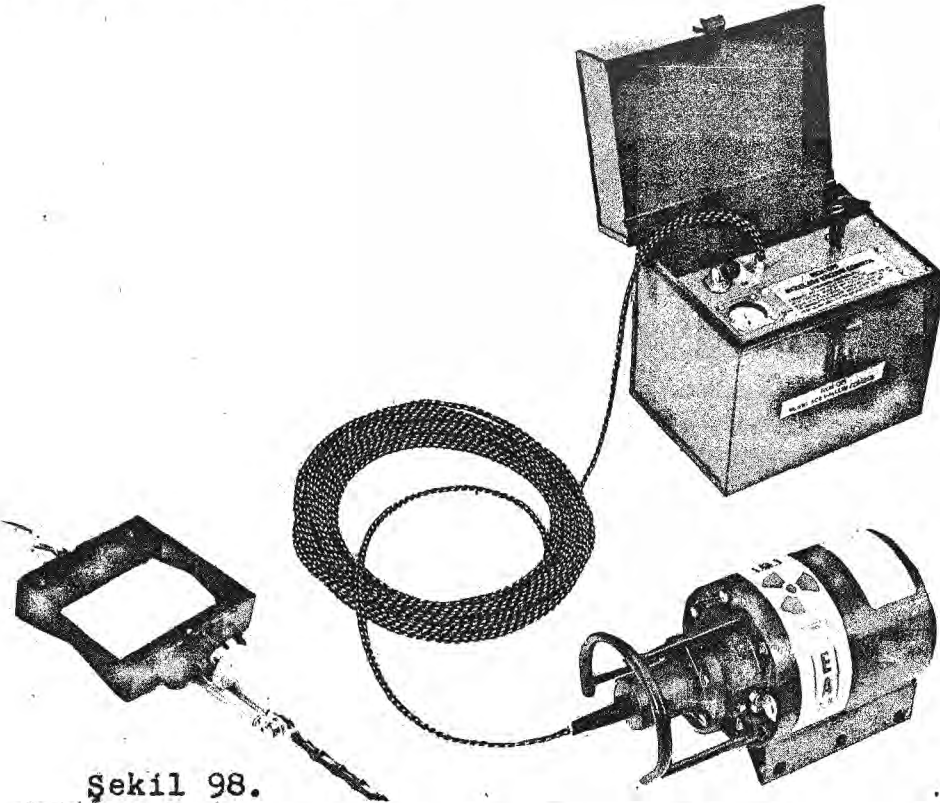
İşinlame yapıldığında radyoizotop muhafaza kabından dışarı çıkarılır.Radyoizotop zırhın dışarısında saldırdığı gamma ışınlarıyla yakın çevresi için tehlikeli olur.Bu yüzden onun hareketlerini uzaktan kumanda etmek zorunludur.Radyoizotop işinlame sona erdikten sonra tekrar içeriye alınması için bir çelik kablo ve makara sistemi yardımıyla uzaktan kumanda ile yapılır.Şekil 97.Bu basit bir mekaniki kumanda olup,muhafaza hortumu içinde hareket eden kumanda telinin ucu çalışmaya başlanacağı zaman radyoizotopa takılır.Kablonun diğer ucundaki makara yardımıyla tel ileri-geri hareket ettirilir.Kumanda kablosunun uzunluğu,cihaza yüklenebilecek en yüksek radyoaktiviteye göre hesaplanmıştır.Yani rastgele bir kablo uzunluğu kullanılmaz.



Şekil 97.

Automation Ind., Inc. Ultrasonic Eddy Current Radiography (Connecticut:1985), s.20.

Cihaz çalışacağı zaman muhafaza kabının radyoizotop deliğine bir klavuz hortum veya boru takılır. Muhafazasından dışarı çıkarılan radyoizotop bunun içinde hareket eder. Klavuz hortumu veya borusu muhafaza kabı ile radyografik ışınlama konumu arasında döşenen ve radyoizotop kaynağı bu hareketi anında dış tesirlerden koruyan özel ve geçici bir hat tır. Hattın sonu kapalı olup radyoizotop buraya dayanıncaya kadar sürülür. Radyografik ışınlama sona erdikten sonra cihaz toplanırken kumanda kablosu ve klavuz boru cihazdan sökülüp ayrılır. Şekil 98.



Şekil 98.

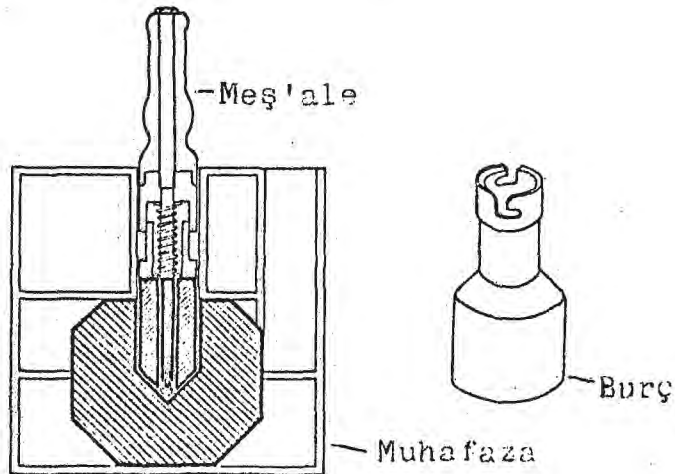
Tech/Opa., s.4.

Görüldüğü gibi gamma radyografi cihazının elektrige

ihtiyacı yoktur. Elektriğe bağımlı olmaması onun sanayide seyyar şartlar altında kullanılmasında büyük kolaylıklar sağlar. Elektronik devreler ve göstergeler gibi hassas parçaları olmayıp basit ve ucuz bir cihazdır. Bozulma ihtimali düşük ve bakıma ihtiyacı az olup, x- ışınları cihazlarına oranla hacimce küçük ve ağırlıkça hafiftir.

Iridyum -192 radyoizotopu 6 Ci aktivitenin altına düştüğünde artık uzaktan kumanda etmeye gerek kalmayabilir. Aktivitesi zayıflamış radyoizotop kaynakları için daha basit radyografi cihazları da mevcuttur. Küçük ve basit olan bu gamma cihazına "meşale tipi" adı verilmiştir. Şekil 99.

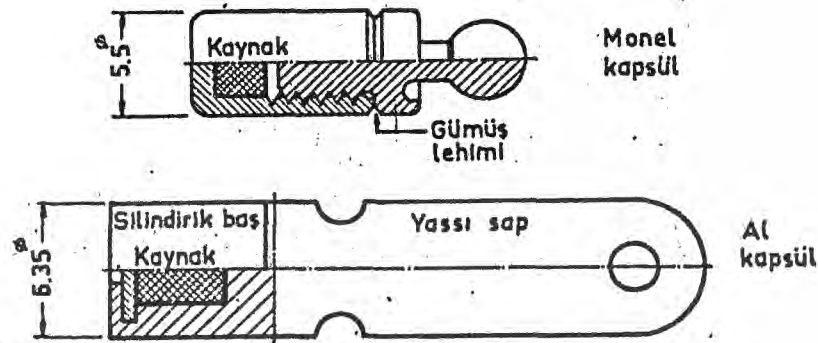
Radyoizotop meş'aleye benzer küçük bir kolun ucuna takılıdır. Kullanılmadığı sürelerde meş'ale ve ucundaki radyoizotop muhafaza kabının kurşun zırhı içindeki yuvasında tutulur. Işınlama yapılacağı zaman meş'ale sapından tutulup çıkarılır ve seri bir şekilde burçdaki yuvasına konur. Burçun dibi açık bir kurşun silindirdir. Önceden ışınlama sırasında radyoizotop ışın kaynağının bulunacağı konuma yerleştirilmiştir. Bunun açık olan alt yüzü kontrolü yapılacak kaynak dikişine bakar. Burç meş'aleyi ve ucundaki radyoizotop kaynağı ışınlama konumunda tutan bir mesnet vazifesini görür. Kurşundan yapılmış olması nedeniyle gamma ışınlarının etrafa dağılmamasını ve yalnız radyografisi çekilecek kaynak dikişinin ışınlamalarını sağlar. Bu sayede yanına yaklaşıp burcu sapından tutarak burçtan muhafaza kabına sokulmasına imkan verir.



Şekil 99.

¹⁹III.3.5 Radyoizotop kapsülleri

Gamma radyografisinde, kaynak olarak kullanılan radyoizotoplar genellikle 1-2 mm çapında ve uzunluğunda küçük silindirlerdir. Bu küçük parçaların uzaktan tutulmaları, kumanda edilmeleri taşıma ve aktarmalar sırasında kaybolmalarını sağlamak oldukça güçtür. Bu yüzden radyoizotop silindircik biraz daha büyükçe bir kapsül içine konarak piyasaya kapsüllenmiş olarak çıkarılır. Kapsül bir daha açılmayacak şekilde kapatılır. Radyoizotop kullanılmayacak derecede zayıfladığı zaman gene kapsülü ile birlikte atılır. Gamma radyografi kaynağına ait iki örnek Şekil 100.'de görülmektedir.



Şekil 100.

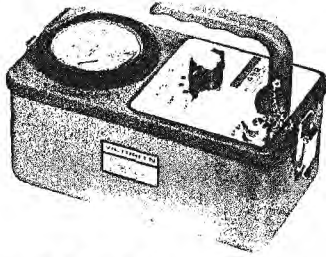
Özden, s. 40.

III.3.6 Gamma radyografi cihazları ile çalışma

X- ve gamma radyo grafi cihazları ile çalışmanın güvenlik yönünden uyulması gereken kuralları vardır. Işınlama sırasında ana demet içinde bulunmamak, radyasyon kaynağından mümkün olduğu kadar uzakta durmak ve bir çelik veya beton yapıyı siper almak sayılabilecek önlemlerden başlıcalarıdır.

Radyoizotop kaynakları ile film çekerken korunma önlemleri daha da önem kazanır. Gamma ışınları daha yüksek enerjili olmaları, dolayısıyla zararlı etkilerini daha uzaklara kadar yayar. Daha da önemlisi radyoizotop kaynağın gamma yayınının hiçbir zaman kesilmemesidir. Radyoizotop muhafazasından çıkartılıp tekrar yuvasına dönünceye kadar etrafa gamma ışınları yayar. Işınlama durumunda bir kurşun burç konması ve poz süresince radyoizotopun burç içinde tutulması etrafa saçılan radyasyonları azaltmak suretiyle hem çekilen radyografin kalitesi ve de çalışanların korunması yönünden faydalı olur. Radyoizotopun muhafaza kabı ile ışınlama burcu arasındaki yer değişikliğini seri bir şekilde yapmak gerekir.

Kumanda kablosu düz biçimde serilmeli ve korunma için bütün boyundan faydalanılmalıdır. Bütün bunlara rağmen kumanda noktasında radyasyon seviyesi oradan hemen uzaklaşmayı gerektirecek ölçüde yüksek olabilir. Gamma radyografisi ile çalışırken radyasyon ölçen bir cihaz bulundurmamak kesin zorunluktur. Böyle bir cihaz Şekil 101.'de görülmektedir.



Şekil 101.

Ridge Inc. Nondestructive Catalog (Georgia: Ridge Inc., 1985), s. 56.

III.4 X- VE GAMMA IŞINLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

²⁰III.4.1 Farklı yönleri

X- ve gamma ışınları yüksek enerjili ve kısa dalga yaymalarından dolayı aynı yapıya sahiptirler. Ancak bu iki ışına ayrı isimler verilmiş olduğuna göre bir takım farklı yönleri de bulunması gerekir. Gerçekten üç önemli farklılık mevcuttur. Bunlar:

-Kaynak (orijin farkı)

Gamma ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Radyoaktif çekirdekler kendiliklerinden ve sürekli bir biçimde gamma ışınları yayan ışıldaklardır.

X- ışınları ise atomun elektron uzayından kaynaklanır. Atomun elektron uzayına giren bir yabancı elektron pozitif elektrik yüklü çekirdeğin çekimine kapılarak frenlenir. Elektronun hızı azalırken x- ışınları salar. Yani flaman- da üretilip hızlandırılmış elektronlar hedefteki atomların iç kabuk elektronlarını koparır. Boşalan yerlere dış kabuk elektronları dolar, bu sırada bir ışın meydana gelir bu x- ışınıdır.

-Spektrum farkı

Spektrum bir ışınının dalga yapısıdır. Işınım tek bir dalga boyu ihtiva ediyorsa veya ancak birkaç dalga boyundan ibaret ise çizgisel spektruma sahiptir denir. Gamma ışınları bu özelliktedir. Zira her radyoizotop kendine has ve hiç değişmeyen bir veya birkaç dalga boyu üzerinden yayın yapar.

Radyoizotoplar birbirlerinden bu dalga boyları ile ayırde- dilirler. Endüstriyel radyografide en çok kullanılan iki radyoizotop olan Kobalt -60 ve Iridyum -192'nin gamma spektrum- ları Şekil 102.'de verilmiştir. Birincisi iki, diğeri ise bi- raz daha fazla dalga boyu yayar.

X- ışını ise sonsuz sayıda dalga boyu yayar. X- ışın- nının spektrumu Şekil 102.'de görülmektedir. Değişik ışın şiddetlerinde sonsuz sayıda dalga boyunun meydana getirdiği sürekli eğridir. Eğrinin yatay ekseni kestiği nokta bu spek- trum içinde bulunan en yüksek enerji, bir diğer deyimle en küçük dalga boyudur. Spektrum bu dalga boyundan başlayarak giderek büyüyen dalga boyu ihtiva eder. Eğrinin sağ tarafta yatay eksene paralel gitmesi spektrum içinde kuramsal ola- rak sonsuz uzunlukta dalga boylarının veya sifıra kadar i- nen varlığına işarettir.

X- ve gamma ışınlarında spektrum farkı radyografik yönden önemlidir. Sonsuz sayıda dalga boyu ihtiva eden x- ışınları daha iyi kontrast sağlar. Monokromatik karakterdeki gamma ışınları daha kötü kontrast verir. Bu yüzden radyogra- fi için ideal olan x- ışınlarıdır. Ancak zorunluluk hallerin- de gamma ışınları kullanılır.

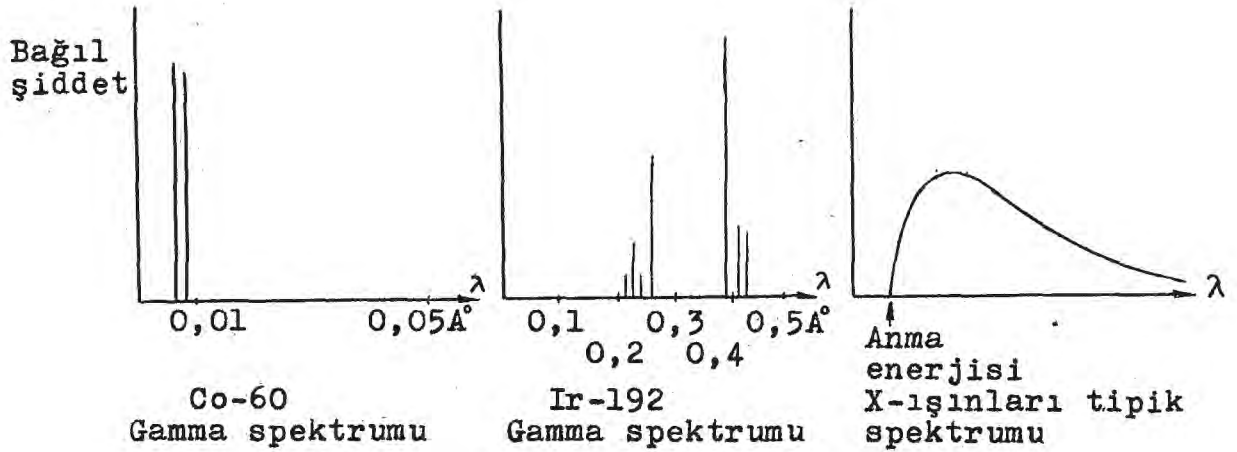
-Dalga boyu (veya enerji) farkı

Gamma ışınları x- ışınlarına göre daha yüksek ener- jili dolayısıyla daha girici (nüfus edici)'dir. Bu durum Şe- kil 85.'deki sıralanışla çelişir gibidir. Zira şekilde x- ışınlarının gamma ışınlarından çok daha küçük dalga boyları- na doğru indiği veya çok daha yüksek enerjilere kadar uza- yıp gittiği görülmektedir. Fizik olarak bu olay geçerlidir. Yalnız endüstriyel radyografi açısından ise uygulamada x- ışınları gamma ışınlarından daha yumuşak kalır.

²¹III.4.2 Boşlukta yayınım

X- ve gamma ışınları boşlukta, tıpkı görünür ışık gi- bi doğrusal izler boyunca yayınır. Yüksek enerjili x- ve gam- ma ışınları için, hava içinde yayınmada tıpkı boşlukta ya- yınım gibi düşünülebilir. Işın kaynağından yayınan ışın, a- çılarak (bir açı dahilinde genişleyip yayılarak) gittiğinden birim alandan geçen ışın miktarı kaynaktan uzaklaştıkça aza- lır.

²¹Aynı, s. 13.



Şekil 102.

Üzden, s. 14.

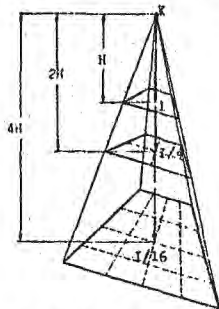
Radyografide bilinmesi gerekli olan objenin veya filmin bir noktasına düşen ışın miktarıdır. Yani bir kaynaktan çıkan toplam ışın miktarı o kadar önemli değildir. Bir noktaya düşen ışın şiddetine o noktadaki ışın şiddeti denir. Kaynaktan yayınan ışın şiddeti uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalır. Buna "ters kare kanunu" denir.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{H_2^2}{H_1^2} \quad (15)$$

Burada I_1 ve I_2 , kaynağa uzaklıkları H_1 ve H_2 olan iki noktada ışın şiddetleridir. Şekil 103.'deki çizimden bu olay daha iyi anlaşılacaktır. Tepe açısı sabit bir ışın demetinin H uzaklığında "aydınlattığı" alan I , $2H$ uzaklığında $I/4$ ve $4H$ uzaklığında $I/16$ olarak birim alandan geçen ışın da aynı oranlarda zayıflamaktadır. Radyografi için buradan iki sonuç çıkarılabilir.

i-Radyografide obje ve film ışın kaynağına yaklaştırıldıkça poz süresi karesel olarak kısalır.

ii-Çalışanların ışın kaynağından uzaklaşmasıyla maruz kalacakları zararlı radyasyon dozu karesel olarak azalır.



Şekil 103.

Üzden, s. 16.

22 Aynı, s. 15.

III.4.3 Maddesel ortamlarda yayınım

X- ve gamma ışınları maddesel ortamları kateder. Bu sayededir ki cisimlerin içinin görüntüsünü almada kullanırlar. X- ve gamma ışınlarına ve bu tezde konu edilmeyen beta ve alfa ışınlarına kısaca girici (penetrant) ışınlar adı verilir.

Görünür ışık, ısı radyasyon (kızılötesi) ve radyo dalgaları da aynı yapıya sahip oldukları halde enerjileri yetersiz kaldığı için katı ortamlara nüfuz edemezler. Fakat hava gibi gaz ortamlara ve nisbeten de sıvı ortamlara nüfuz edebilirler. Nitekim güneş, denizi belirli derinliğe kadar aydınlatır.

Işın maddesel ortamlarda da doğrusal izler boyunca yayınır. X- ve gamma ışınları ile bir cismin içinin görüntüsünü almak bu sayıda mümkün olmaktadır. Bir diğer deyimle görüntü taşıyan ışınlar objeyi doğrusal olarak geçebilenlerdir. Fakat ortamın atomlarıyla, daha doğrusu elektronlarıyla, daha doğrusu atomların elektronlarıyla, çarpışan fotonlar yollarından saparlar ve hatta enerjilerini kaybederek soğurulurlar (absorplanırlar). Her iki halde demetten bir ışın eksilmiş demektir. Malzeme kalınlığı arttıkça fotonların atomlarla çarpışma ihtimali hızla artar. Malzemenin yoğunluğu arttıkça (yani ağır elementlere doğru gidildikçe) içinden geçen ışın şiddeti daha hızlı zayıflar.

Işın şiddetinin maddeyi geçerken zayıflaması eksponansiyel bir olaydır:

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\mu d) \quad (16)$$

Burada I_0 ortama (objeye) giren ve I objeden çıkıp filme ulaşan ışın şiddetleridir. d objenin, ışınların geçiş yönünde, cm cinsinden kalınlığını gösterir. μ zayıflama katsayısıdır; birimi (cm^{-1}) olan zayıflama katsayısı bir taraftan ışının enerjisine, diğer taraftan malzemenin cinsine bağlıdır. Tablo. 5 .radyografi pratiğinde en çok rastlanan üç metalin (Al, Fe ve Pb) çeşitli enerjilerde zayıflama katsayılarını vermektedir.

Tablo. 5 . X- ve gamma radyasyonun alüminyum, demir ve kurşun için muhtelif enerjilerdeki zayıflama katsayıları

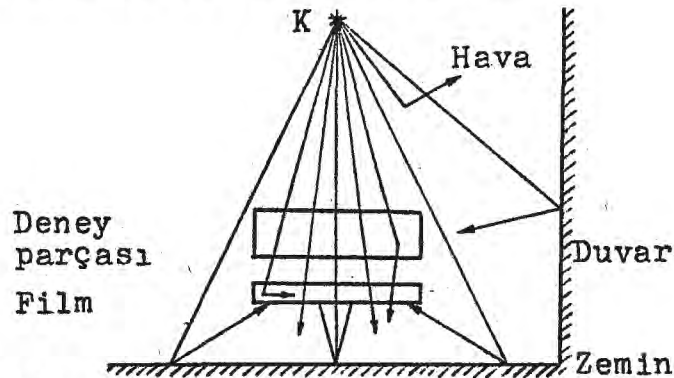
| Enerji keV | Zayıflama Katsayısı (cm^{-1}) | | |
|---------------|--|-------|-------|
| | Al | Fe | Pb |
| 10 | 72,4 | 1410 | - |
| 50 | 0,964 | 15,2 | 65,0 |
| 100 | 0,459 | 2,92 | 62,0 |
| 150 | 0,373 | 1,54 | 21,8 |
| 200 | 0,329 | 1,15 | 10,7 |
| 300 | 0,281 | 0,866 | 4,29 |
| 400 | 0,250 | 0,740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

Nezih Özden, Endüstriyel Radyografi (Ankara: SEGEM yayın no. 45, 1981), s. 17.

III.4.4 Soğurulma ve saçılma

X- ve gamma fotonlarının bir bölümü maddenin içinden hiç çarpışma yapmadan doğrusal çizgiler boyunca geçerek film üzerinde amaçlanan görüntüyü meydana getirirken, diğer bölümü maddenin atomlarına çarparak demetten ayrılırlar. Çarpışma sonucu foton enerjisinin bütününe kaybederse, başka bir deyimle enerjisinin tamamını çarpıştığı atoma verirse, foton yok olur, buna fotonun soğurulması denir. Atomla çarpışan foton enerjisini bütünüyle kaybetmez, fakat yolundan saparsa bu olaya da fotonun saçılması denir.

Radyografik çekim sırasında ışınların saçılması deney parçası içinde olabileceği gibi, demetin çarpıştığı çevredeki diğer cisimlerden, duvardan, zeminden ve az da olsa havadan saçılmalar da olabilir. Şekil 104.



Şekil 104.

Radyografik Muayene (Ankara: SEGEM yayını, 1979), s. (2.09).

Radyografik yönden saçılmanın iki zararlı etkisi vardır:

i.-Filmde sis yapar.İstenmeyen doğrultulardan filme ulaşan ışınlar filmde ilave kararma yaparlar.Bu,görüntüyü perdeleyen bir sistir.

ii.-Çalışanların aldığı ışın dozunu arttırır.Şayet saçılma olmasaydı ana demet dışında hiç radyasyon bulunmayacaktı.Saçılma olayı ışınların demet dışında rastgele doğrultularda dağılmasına neden olarak çevrede ışın dozunu arttırır.

²⁵III.4.5 Kalıcı etkileri

X- ve gamma ışınları canlı organizmada,bu arada insan bünyesinde kalıcı zararlı etkiler yaparlar.X- ve gamma ışınlarının cansız maddeler üzerinde kalıcı etkileri yoktur.Yani radyografisi alınan bir malzeme aktiflenmez.Poz süresince ışınlanan malzeme,cinsi ne olursa olsun,çekim bittikten sonra elle tutulabilir.

²⁵III.4.6 Eşdeğer enerji kavramı

Gamma ışınlarının enerjisi elektronvolt birimiyle ve onun üst katları olan kiloelektronvolt (keV) ve milyon elektronvolt (MeV) birimiyle ölçülür.Bu birimin alışılmış diğer enerji birimi şöyledir;

$$^{25}1 \text{ MeV} = 1,60 \times 10^{-13} \text{ joule} = 3,82 \times 10^{-17} \text{ Kcal} \quad (17)$$

Bu birimle ifade olunan enerjinin,radyasyon dalga boyu ile ters orantısı da eşitlik (14)'de verilmiştir.

Eşdeğer enerji tamamen pratik bir kavramdır,bir yakıştırmadır.Aslında birbirine benzer olan x-ışınları ile gamma ışınlarını enerji yönünden karşılaştırabilmek ihtiyacından doğmuştur.

X-ışını enerjisi radyografik uygulamada kilovolt (kV) ile anılır.Kilovolt aslında x-ışınlarının enerjisi değil,fakat onunla orantılı bir büyüklüktür;x-ışını tüpü içinde elektronları hızlandıran potansiyel alanın şiddetidir.X- ışınları enerjisini ölçmenin zorluğuna karşın,elektronları hızlandırıcı alanın şiddetini ölçmenin basitliği nedeniyle pratikte ışın kolayına kaçılmıştır.

Şekil 93.'den çeşitli kilovoltlarda x-ışını spektru-

²⁵Ayn1,s.19,35,10.

munun aldığı şekli biliyoruz.Şekilden de görüldüğü gibi spektrumun bir anma enerjisi birde bağıl şiddetin en büyük değere ulaştığı enerjisi vardır.Anma enerjisinde bağıl şiddet sıfırdır;yani spektrum içinde bu enerjide radyasyon aslında yoktur.Bağıl şiddetin en büyük olduğu enerji,anma enerjisinin altında (uzun dalga boylarında) başka bir değerdir.

Gamma ışınının eşdeğer enerjisi,söz konusu gamma spektrumu üzerinde bir x-ışını spektrumu "çakıştırmak" suretiyle bulunur.Öyleki gamma ve x-ışını bağıl şiddetlerinin en büyük olduğu yerler çakıştırılır.Böylece bulunan x-ışını spektrumunun anma enerjisi (daha doğrusu kilovoltu) o gamma ışınınının x-ışını eşdeğer enerjisidir.

III.5 RADYOGRAFİNİN İLKELERİ VE KAVRAMLARI

²⁶III.5.1 Görüntü meydana getirmek

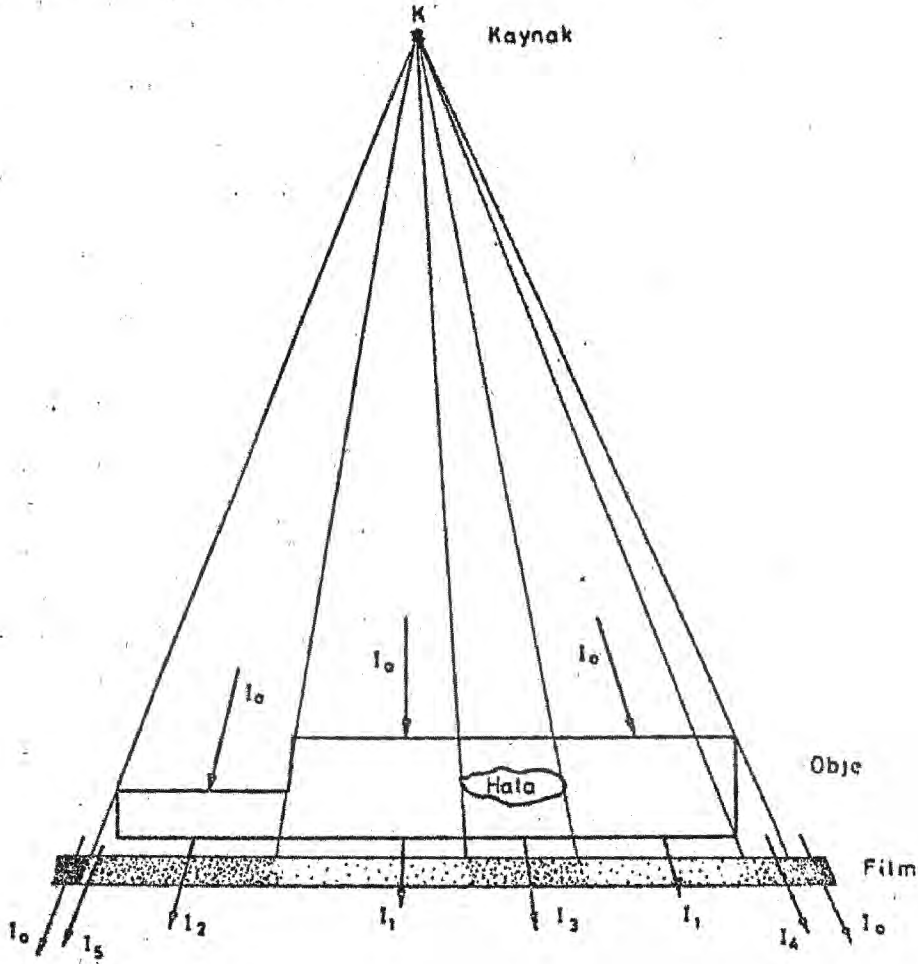
Şekil 105'de görüldüğü gibi radyografik görüntü almak için deney parçasının (objenin) ışın kaynağı bir tarafına, film,öbür tarafına yerleştirilir.Objeyi kateden ışınlar zayıflamış olarak filme ulaşırlar ve onu karartırlar.Film de belirli bir kararma sağlayabilmek için ışınlamanın poz süresi denen bir zaman sürecinde devam etmesi gerekir.

Deney parçası tek bir kalınlığa sahipse bunu geçerek filme ulaşan ışınlar her tarafa aynı ölçüde zayıflamış olurlar.Film her yerde uniform bir şekilde kararır.Anlamlı bir görüntü meydana getirmemiştir.

Deney parçası farklı kalınlıkta bölgelere sahipse buralardan geçen ışınlar değişik ölçülerde zayıflarlar.Deney parçası üzerinde aynı şiddette düşen ışınlar,onu katedip çıktıklarında geçtikleri kalınlıkla değişen şiddetlere sahip olarak filme ulaşırlar.Böylece film üzerinde,az ve çok kararan bölgeleriyle objenin içinin görüntüsü meydana gelir. Objenin ince kesimleri film üzerinde koyu,kalın kesimleri açık çıkar.

Obje içinde bir hata (fiziksel süreksizlik)ışınlar üzerinde kalınlık değişmesi gibi etkir.Malzeme içinde boşluk (örneğin gözenek,kanalcık,çatlak v.b.) ışınların geçtiği malzeme kesitini küçülttüğünden film üzerinde koyu lekeler olarak belirlenir.

Objenin içinde yoğunluk değişimi de ışınlar üzerinde benzer etkiyi yapar. Curuf kalıntısı gibi ana malzemeye oranla daha az yoğun hatalar, koyu lekeler, tungsten (volfram) kalıntısı gibi ana malzemeden daha yoğun hatalar ise açık lekeler halinde görüntü verirler.



Şekil 105.

Özden, s.3.

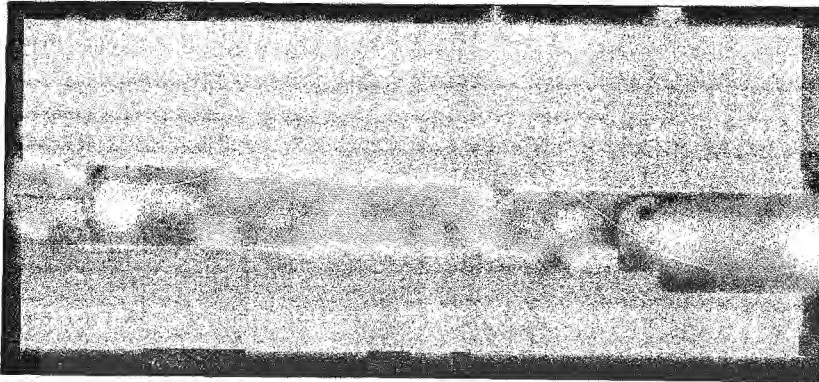
III.5.2 Radyografik görüntü

Radyografik görüntü, siyah-beyaz bir fotoğraftır. Daha doğru deyişle bir negatif film'dir, pozitif'e geçilmez, negatif film olarak ve öyle kullanılır. Renkli radyografi tekniği de geliştirilmiştir. Fakat pahalılığı nedeniyle tutmamıştır.

Radyografik görüntü üç boyutlu cisimlerin iki boyutlu fotoğrafıdır. Objenin filme paralel iki boyutlu görüntü üzerinden ölçülebilir. Filme dik olan üçüncü boyut (derinlik) fotoğrafik yoğunluk'dan daha basit deyişle karar ma dere-

cesinden tahmin olunur.Radyografik görüntüyü bir geometrik iz düşümden ayıran objenin derinliğinin birincisi üzerine fotoğrafik yoğunluk halinde kaydolunmasıdır.

Objenin iç yapısının ayrıntıları,daha açık deyimiyle malzeme hataları,görüntü üzerinde sebep oldukları fotoğrafik yoğunluk farkları sayesinde seçilirler.Fotoğrafik yoğunluk farkına kısaca kontrast denir.Görüntünün kontrastlığı yükseldikçe ayrıntılar daha kolay algılanırlar.Bir başka deyişle,kontrast yükseldikçe daha küçük ayrıntılar da algılanabilir.Şekil 106.



Şekil 106.

Agfa-Gevalt, s.130.²⁸

III.5.3 Radyografiden görüntü alınmadığı haller

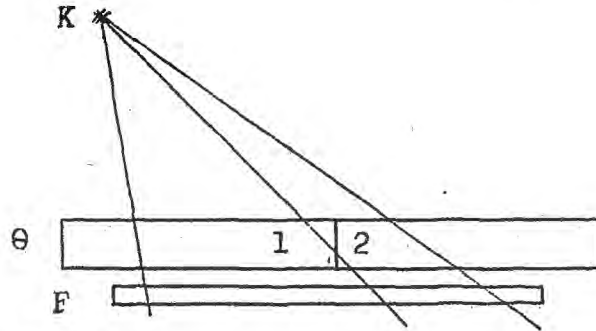
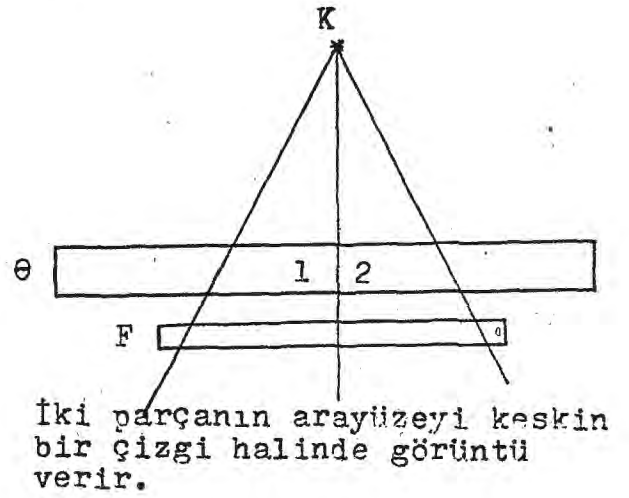
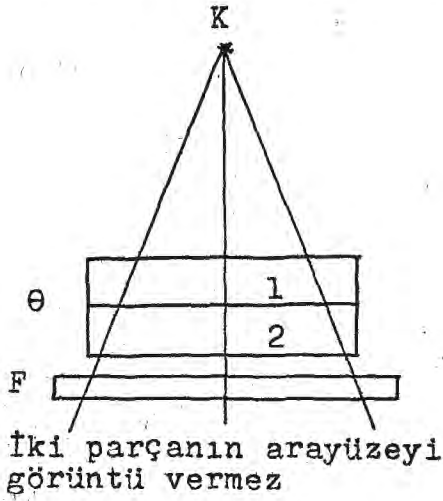
Radyografi yönsel bir muayene yöntemidir.Işınların geçiş doğrultusunda boyuta sahip olmayan hataları radyografide görüntü vermezler.Şekil 107'de radyografisinin görüntü vereceği ve vermeyeceği haller basit bir deney üzerinde gösterilmiştir.Eşit büyüklükte ve kalınlıkta iki blokun üç değişik geometride radyografisi alınmıştır.Bunlardan yalnız birinde görüntüden blokun iki parçalı olduğu anlaşılabilir.

Bloklar ara yüzeyi ışınlara dik gelecek şekilde üst üste konmuşsa,yüzeylerin birbirine tam intibak edecek şekilde düzgün olmaları kaydıyla,ara yüzey film üzerinde hiç görüntü vermez.Radyografya bakan objenin tek parçadan yapıldığı yanılgısına düşer.Aynı bloklar camdan yapılmış olsa ve üstten bakılsa göz de aynı hataya düşerdi.

Fakat bloklar ara yüzey ışınlara paralel olacak şekilde yan yana konulduğunda film üzerinde ara yüzey keskin

²⁸Yılmaz,Ün.ver.,s.25.

siyah bir çizgi olarak belirir. Radyograftan objenin iki parçadan yapıldığını teşhis etmek güç olmaz.



Şekil 107.

özden, s. 5.

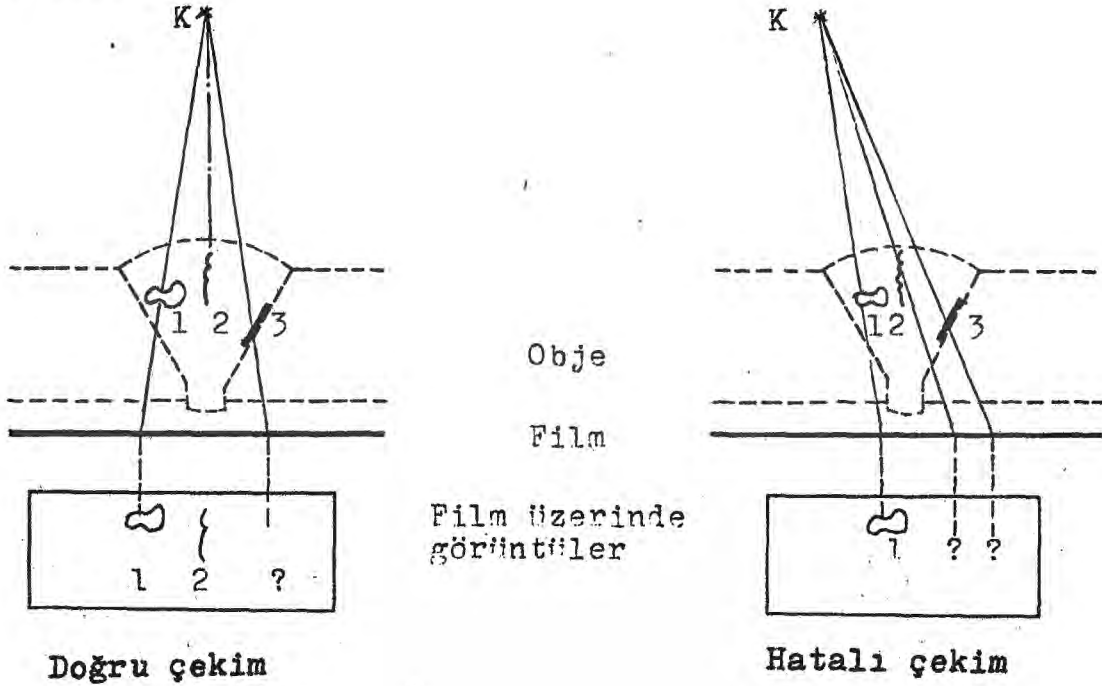
Bloklar yan yana konulduğu halde arayüzey eğik ışınlandığında film üzerinde görüntü giderek zayıflar ve belirli bir eğiklikten sonra büsbütün silinir. Radyografa bakan objenin tek parçadan yapılmış olduğu yanlışlığına tekrar düşebilir.

Benzer şekilde saçlar (levhalar) içinde katmer (laminasyon) hataları radyografide genellikle görüntü vermezler. Çünkü bu hata saçın yüzeylerine paralel uzanır ve haddeleme sırasında iyice ezildiği için ışınların geçiş doğrultusunda bir derinliğe (boyuta) sahip değildir.

Bir başka örnek kaynak radyografisinden verilebilir. Şekil 108'de kaynak içinde üç tipik hatanın radyografide görüntü verme ihtimalleri çizimle irdelenmektedir. Hacimsel hata (kaynakta boşluk ve curuf kalıntısı) ışınlama geometrisinden bağımsız olarak her zaman görüntü verebilir. Yüzeysel (iki boyutlu) hatalar (örneğin çatlak ve yan cidara

kaynama) ancak ışınlarla paralel düştüklerinde görüntü verirler, ışınlarla eğik olduklarında görüntü vermeleri ihtimali daha küçüktür. Çatlaklar genellikle yüzeylere dik olduklarından kaynak radyografilerinden ışınlamanın kaynak eksenine doğrultusundan yapılması bir genel kuraldır. Eğik ışınlamada en ciddi hatalar grubunu meydana getiren çatlakların radyografiden silinmesi ihtimali artar.

Sonuç olarak, radyografi hacimsel hataları atlamaz. Fakat iki boyutlu hataların yokluğunu kesin garanti edemez. Halbuki mühendislikte asıl tehlikeli olan ve öncelikle algılanması istenenler de bu sonuncu grup hatalardır. Çekim geometresine özen gösterilmezse radyografik muayene anlamını kaybeder.



Doğru çekim

Hatalı çekim

Şekil 108.

Özden, s.7.

III.5.4 Işın şiddeti birimi

Işın şiddeti birimine röntgen denir. Işın şiddetini I , ile röntgeni ise R ile simgeleyebiliriz. Röntgeni ise şöyle tanımlayabiliriz:

Normal şartlarda 1 cm^3 ($0,001293 \text{ gr}$) hava içinde 1 elektrostatik yük birimi kadar elektrik yükü meydana getiren ışın miktarı 1 Röntgen'dir. Genelde Röntgenin $1/1000$ olan miliröntgen (mR) kullanılır.

III.5.5 Işınlama

Radyasyon şiddeti I, birim alandan birim zamanda geçen radyasyon miktarıdır. Bunu t zamanı ile çarparsak, bu zaman aralığında o noktadan geçen radyasyon miktarını, bir diğer deyimle radyasyon dozunu buluruz. İşte biz buna kısaca ışınlama (exposure) diyoruz.

X- ve gamma ışınlarının I radyasyon şiddetleri kolay ölçülemez. Dolayısıyla pratikte I radyasyon şiddeti yerine onunla ilgili ve kolay ölçülebilen bir başka büyüklük kullanılır. X- ışınları halinde bu mA ile ölçülen flaman akımı, gamma ışınları halinde radyoizotop kaynağın "curie" birimiyle ölçülen aktivitesidir. Bu nedenle radyografi tekniğinde ışınlama aşağıdaki şekillerde tanımlanır ve ölçülür.

$$^{30} \text{X- ışını radyografisinde} : E = Ixt \quad (\text{mA dak}) \quad (18)$$

$$^{30} \text{Gamma radyografisinde} : E = Ixt \quad (\text{Ci dak}) \quad (19)$$

III.5.6 Radyasyon kaynağı-film uzaklığı

III.5.6.1 Radyasyon kaynağının

objeye uzaklığı

Bu mesafe ne kadar büyük olursa radyografik kalite o derece iyi olur. Çünkü filmde istenmeyen yarı gölge, ters orantılı olarak küçülür. Yine kaynağın objeden uzaklaşması film kapsamını artırır. Buna karşın ters kare kanunu gereği radyasyon kaynağı objeden uzaklaştırıldıkça poz süreleri karesel olarak hızla uzar.

Standartlar kaynak-obje uzaklığının belirli bir değerden daha küçük olmamasını şart koşmuşlardır. DIN 54 111'e göre kaynak-obje uzaklığının aşağıdaki formülle hesaplanan değerden daha küçük olmamasını öngörür.

$$\frac{^{30}H}{K} - 7,5x d^{2/3} \quad \text{A kategoriden radyografide} \quad (20)$$

$$\frac{^{30}H}{K} - 15x d^{2/3} \quad \text{B kategoriden radyografide} \quad (21)$$

Burada H kaynak-obje uzaklığı (mm), K kaynak büyüklüğü (mm), d objenin (malzemenin) kalınlığı, A kategorisi sıradan, B ise hassas radyografi tekniklerini simgeler.

III.5.6.2 Objeye-film uzaklığı

Mümkün olduğu derecede küçük olmalıdır. Hata daha iyisi film objeye sıkı temas halinde bulunmalıdır. Bunun aksini zorlayan bir husus yoktur. Olsa olsa objenin geometrisi bir

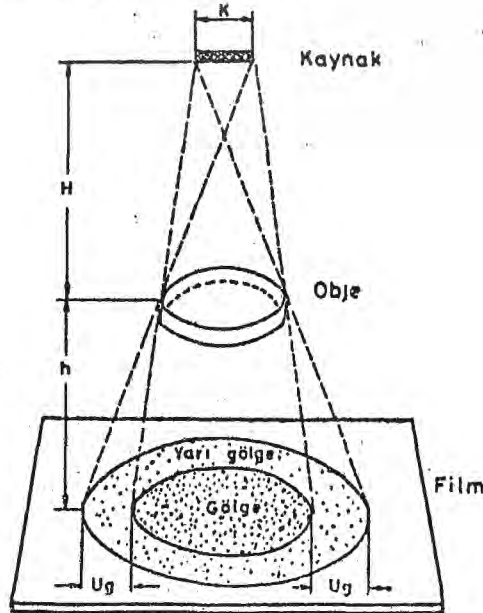
engel oluşturabilir. Böyle bir engel varsa, yani obje yüzeyinin filme olan h uzaklığı, d obje kalınlığından büyükse bu takdirde bir önceki formüllerde d yerine h konmalıdır.

III.5.7 Yarıgölge veya belirsizlik

Radyograf üzerinde görüntü sınırlarının belirsizliği, diğer bir deyimle keskin olmayışıdır. Tamgölge alanlarının yarıgölge alanları ile çevrelenmesidir. Radyografik tanımlı güçleştirilen bütünüyle zararlı bir oluşumdur. Mümkün olduğu kadar küçültülmesi istenir. İki farklı ve birbirinden bağımsız yarıgölge kavramı vardır.

III.5.7.1 Geometrik yarıgölge

Radyasyon kaynağının noktasal olmamasından belirli bir büyüklüğe sahip olmasından ileri gelir. Şekil 109.'da geometrik yarıgölgenin oluşumu görülmektedir. Şayet kaynak tam noktasal olabilseydi geometrik yarıgölge alanları oluşmayacaktı. Objede keskin bir kenarın radyografa bir şerit (yarıgölge şeridi) olarak kaydolunması görüntünün sınırlarını belirsizleştirilir. Pratikte radyasyon kaynağı daima belirli bir büyüklüğe sahip olacağından görüntüde yarıgölge alanlarının oluşması kaçınılmazdır.



Şekil 109.

SEGEM 1979, s. (16.09)

Geometrik yarıgölgenin büyüklüğü objenin radyasyon kaynağına ve filme olan bağıl uzaklıklarına, yani bu iki uzaklığın oranına da bağlıdır. Geometrik yarıgölge aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$${}^{32}U_g = Kx \frac{h}{H} \quad (22)$$

Burada U_g geometrik yarığölge, K kaynağın büyüklüğü, H kaynak-obje uzaklığı, h obje-film uzaklığıdır.

III.5.7.2 Kaçınılmaz yarığölge

Film üzerinde gerek kaçınılmaz yarığölge gerekse geometrik yarığölge görüntünün sınırlarını belirsizleştirdikleri için herikisi de zararlı oluşumlardır. Yarığölge görüntüde keskin bir çevrenin (kenarın) oluşmasını önler. Görüntünün nerede başlayıp, nerede bittiğini belirsizleştirir. Kaçınılmaz yarığölgenin büyüklüğü 4 faktöre bağlıdır. Bunlar:

i-Filmin taneselliği

Film üzerinde görüntü gerçekte duyarlı tabakayı oluşturan gümüş bromür kristalleri üzerine nokta, nokta kaydolunur. Dolayısıyla radyografik görüntü herbiri bir kristalin üzerine işlenmiş çok sayıda noktanın oluşturduğu bir "empresiyonist" tablodur. Kristaller küçükse görüntüyü oluşturan noktalarda birbirinden ayırdedilemeyecek kadar küçük ve sıktır. Kristaller büyüdükçe göz noktaları teker teker seçebilir duruma gelir. Fotoğrafçılıkta buna tanelenme (graininess) denir. Tanelenme aynı zamanda görüntünün kenarlarında keskinliğin kaybolmasına neden olur.

Bu nedenle görüntü kalitesi yönünden mümkün oldukça küçük taneli yavaş filmlere gidilmelidir. Ancak bu takdirde poz süreleri uzar. Endüstriyel röntgen filmlerinde en küçük taneli yavaş filmlerde tane büyüklüğü 0,25 mikron, en iri taneli filmlerde de 1,7 mikron dolayındadır.

ii-Ekranın cinsi ve taneselliği

Kurşun ekranda kaçınılmaz yarığölge daha küçük olur. Zira Pb ekrandan kopan ve x-ışınlarının film üzerindeki etkisini takviye eden elektronlar, fotonlara nazaran az girici olduklarından fotoğrafik emülsiyon içinde pek kısa yollar katedebilirler. Yani film üzerinde yaygın bir etki değil fakat toplu bir etki meydana getirirler. Bunun sonucu elektronların görüntüyü yayan etkileri az olur. Görüntü çevresinde keskinlik fazla bozulmaz. Kaçınılmaz yarığölge küçük kalır.

Fluoresant ekranlarda x-ışınlarınca uyarılan ve film üzerinde ilave etki yapan görünür ışık fotonlardır. Fotonlar elektronlara oranla daha giricidirler. Emülsiyon tabakası i-

³²Aynı, s. (16,05). ³³Üzden, Ün. ver., s. 74.

çinde daha uzun yollar katederler. Dolayısıyla filmde daha yaygın etki yaparlar. Bu durum, görüntüde bir genişleme, görüntü kenarlarında keskinliğin kaybolması demektir.

Tuz kristali boyutları itibarıyla büyürken ürettiği floresant artar. Floresantların çevreye saçılmasıyla genişler ve görüntünün tanelenmesi ve kaçınılmaz yarıgölgenin büyümesine neden olur. Bu görüntü kalitesinden kayıp demektir.

iii-Film ile ekran arasında sıklılığın kaçınılmaz yarıgölge üzerinde etkisi

Ekran ile film sıkı bir şekilde temasta değillerse, arada hava boşluğu varsa, ekranda meydana gelen elektronlar veya fotonlar havada emülsiyon içinde olduklarından daha fazla yol katederler ve filmi daha yaygın bölgede etkilerler. Bu etkileme görüntünün keskinliğini bozar. Tuz ekran olması halinde bu daha da artar.

Bu yüzden film ekranlar arasında sıkı bir şekilde sandviç edilmesi gerekir. Kurşun ekranlar plastik kasetlerle yani naylon torbalarla da kullanılabilir. Buna karşın floresant ekranlar, bu temasın sıklılığını garanti altına almak için metal kasetlerle kullanılmalıdır.

iv-Radyasyon enerjisinin KYG üzerine etkisi

X- ışını enerjisi yükseldikçe buna bağlı olarak ikinci bir radyasyonun elektron veya floresant fotonlarının da enerjileri artar. Enerjisi artan bu ikinci radyasyon duyarlı tabaka içinde daha uzun yollar katederek, daha yaygın etki yapabilir. Bu da görüntüde tanelenmenin ve kaçınılmaz yarıgölgenin büyümesine neden olur. Kaçınılmaz yarıgölgenin radyasyon enerjisine bağımlılığı hakkında Tablo 6.'da BS 2600 standartı verilmiştir.

| Radyasyon ve Enerjisi | Kaçınılmaz Yarıgölgenin Büyüklüğü (mm) |
|-----------------------|--|
| X- ışınları | |
| 100 kV | 0,05 |
| 200 kV | 0,09 |
| 300 kV | 0,12 |
| 400 kV | 0,15 |
| Gamma ışınları | |
| Ir-192 | 0,17 |
| Co- 60 | 0,35 |

Tablo 6.

III.6 RADYOAKTİVİTE, RADYOİZOTOPLAR VE RADYASYON

³⁴III.6.1 Radyoaktivite şiddeti birimi

Birim zamanda bozunan atomların sayısı radyoaktivite şiddeti birimidir. Radyoaktivite şiddeti birimine olayı keşfedenlere izafeten Madam Curie'nin ismi verilmiştir. Bir kürilik radyoaktivite saniyede 37 milyar atomun bozunması demektir.

$${}^{34}1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ bozunum/saniye} \quad (23)$$

Miliküri ve mikroküri bu birimin çok kullanılan as katlarıdır. Radyoaktif maddeler pratikte sırf bu özellikleri nedeniyle kullanılırlar. Onun için radyoaktif maddeler ne ağırlıkları ve nede hacimleri ile ölçülürler. Sahip oldukları küri şiddetleri ile anılırlar. Örnek 30 Ci'lik Iridyum 192 veya 5Ci'lik Kobalt 60 gibi.

Radyoaktivite şiddeti ile radyasyon şiddetini birbirine karıştırmamak gerekir, birimleri de farklıdır. Radyoaktivite şiddeti küri, radyasyon şiddeti röntgen ile ölçülür. Radyoaktivite birim zamanda bozunan atomların sayısını verir. Radyasyon şiddeti, bu olaydan kaynaklanan radyasyonun, herhangi bir noktada birim alana düşen miktarıdır. Radyoaktivite şiddeti ve radyasyon şiddeti birbiriyle aynı olmakla birlikte orantılı büyüklüklerdir.

³⁵III.6.2 Radyoizotoplarda yarıömür

Sessiz bir bekleme içinde olan bir tek kararsız atomun ne zaman radyoaktif bozunum yapacağı bilinmez. Bunu bilmemek pratikte bir anlam taşımaz. Sayıları kum taneciklerinden kalabalık olan bu bireylerin bizi ilgilendiren tarafı toplu davranışlarıdır. Çok sayıda radyoaktif atom istatistiksel olarak birim zamanda bozunan atom sayısının zaman içinde azalması, eksponansiyel bir olay olup matematiksel ifadesi şöyledir.

$$\frac{N}{N_0} = \frac{I}{I_0} = \exp(-0.693 \frac{t}{T}) \quad (24)$$

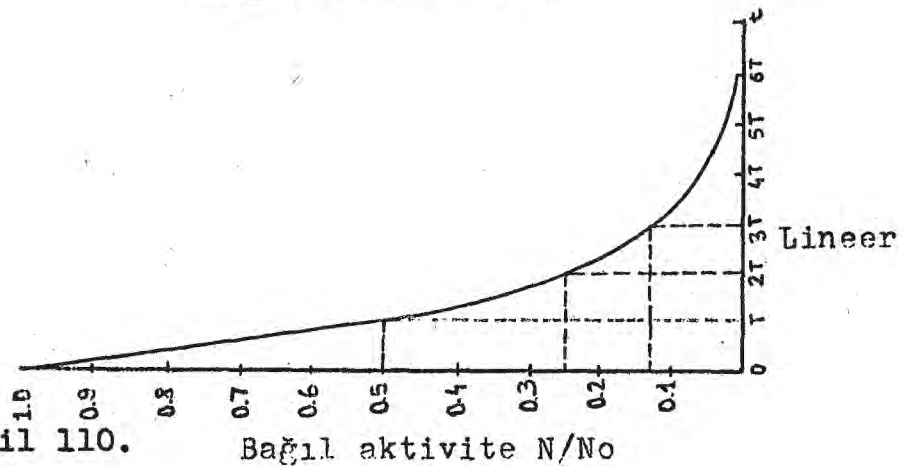
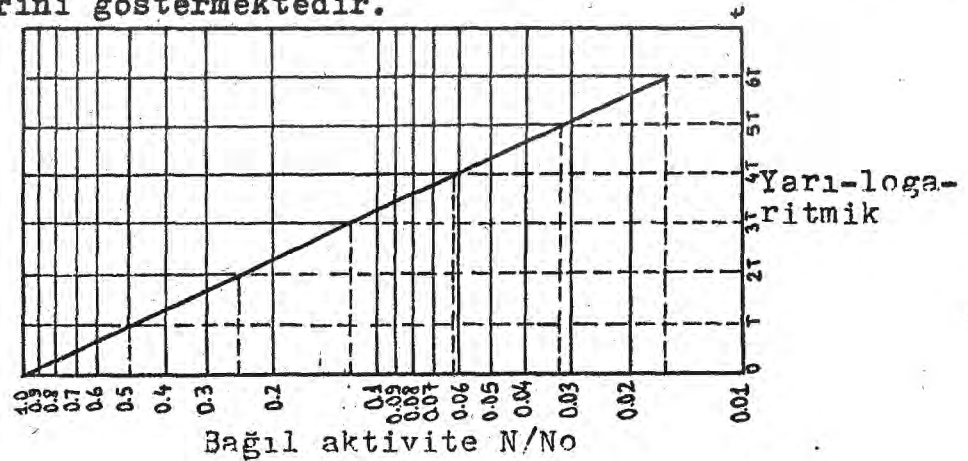
Formülde N_0 başlangıçta ve N ise bir t zamanı sonunda radyoaktif atomların sayısıdır. I_0 ve I ise aynı anlardaki radyasyon şiddetleridir. Söz konusu iki büyüklüğün birbiriyle orantılı olduğunu yukarıda söylemiştik. Bu nedenle N/N_0

³⁴Aynı, s. 28. ³⁵Aynı, s. 28, 29.

ve I/I_0 oranları birbirlerine eşit yazılabiliyor. Formülde T yarıömürü veya yarılanma ömrünü göstermektedir.

Şekil 110.da yukarıdaki eşitliğin lineer ve logaritmik koordinatlarda çizimidir. Lineer eksen takımında eğrinin düşey eksene (zaman eksenine) asimtotik gidişinden ve eksenini sonsuzda kesişinden anlaşılacağı gibi radyoaktivite fevkalade zayıflayarak da olsa, sonsuza kadar uzayıp gider. Bir diğer deyimle radyoaktivitenin ömrü kuramsal (teorik) olarak sonsuzdur. Sonsuz ömrün pratik anlamı yoktur. Pratik yünden yararlı, üstelik kuramla çelişmeyen bir kavram olarak "yarıömür" tanımlanmıştır. Yarıömür radyoaktivite şiddetinin başlangıç değerinin yarıya indiği süredir. Radyoaktivite şiddeti iki yarıömür ($2T$) sonra başlangıç değerinin dörtte birine, üç yarıömür ($3T$) sonra sekizde birine ve dört yarıömür ($4T$) sonra onaltıda birine iner. Verdiği ışın şiddeti bu oranlarda zayıflayan kaynağın pratik ömrü bitmiştir.

Şekil 110.da çizilen şekliyle yarıömür ne olursa olsun bütün radyoizotoplar için aynıdır. Çünkü yatay eksen birimsiz N/N_0 oranını, düşey eksen gene birimsiz olarak yarıömürün katlarını göstermektedir.



Şekil 110.

Şayet eksenler birimli büyüklükleri gösterirse,örneğin düşey eksen saniye,dakika veya yıl birimlerinden biriyle zamanı gösterirse o zaman her radyoizotop için ve yalnız onaözü eğri ortaya çıkar.Eğriden radyoizotop şiddetinin hangi tarihlerde kaçına ineceği okunur.Radyoaktif poz süresinin tayininde ışın kaynağı şiddetini bilmek gerekmektedir.

III.6.3 Gamma radyografisinde kullanılan radyoizotoplar

Gamma radyografisinde iki radyoizotop diğerlerinden en fazla kullanılanlardandır.Bunlar Iridyum 192 ile Kobalt 60'dır.Daha az yaygın olarak Sezyum 137'de aynı amaçla kullanılmaktadır.Bu radyoizotoplar nükleer reaktörlerde üretilen yapay malzemelerdir.Iridyum platine,kobalt demire yakın olan metallerdir.Bunlar suda erimez ve kolay ufalanıp dağılmazlar .Darbe ve yangın gibi kazalarda radyoaktivite bulaşıklığı ihtimali zayıftır.Sezyum normal olarak gazdır.Radyasyon güvenliği kuralları onun bu haliyle radyografi kaynağı olarak kullanılmasına izin vermez.Sonradan sezyumun seramik şeklinde katı hali geliştirilmiştir.Sezyum 137,katı haliyle Doğu bloku ülkelerinde radyografi kaynağı olarak kullanılmaktadır.Fakat Batı standartları sezyumun bu halini de yeter derecede güvenli bulmadığından bu ülkelerde kullanılması yine de sınırlı kalmıştır.

Iridyum 192 ve Kobalt 60'ı endüstriyel radyografide çok kullanışlı kılan gamma enerjileridir.Iridyum 192 gamma enerjisi 600 kV x-ışınlarına eşdeğerdir.Radyografi x-ışını cihazları en çok 400 kV'a kadar çıktıklarından,onların yetersiz kaldıkları malzeme kalınlıklarında Iridyum 192 gamma kaynağı devreye girer.Kobalt 60 gamma ışınları enerjisi ise 2000 kV x-ışınlarına eşdeğerdir.Iridyum kaynağının yetersiz kaldığı malzeme kalınlıklarınının radyografisinde Kobalt 60 kaynakla çekilir.Böylece söz konusu iki radyoizotop birbirinin alternatifi değil,fakat tamamlayıcıdır.Sezyum 137 izotopu ise 900 kV x-ışınlarına eşdeğer gamma radyasyonu ile bu iki izotopun arasına düşer.

Bir başka açıdan,radyoizotopun ömrü yönünden bakıldığı zaman Sezyum 137 birinci sırayı alır.Bu radyoizotop 30 yıl yarıömür ile adeta sönmeyen (zayıflamayan) bir kay-

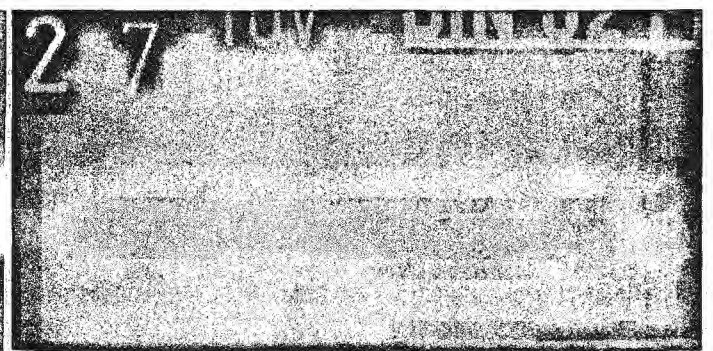
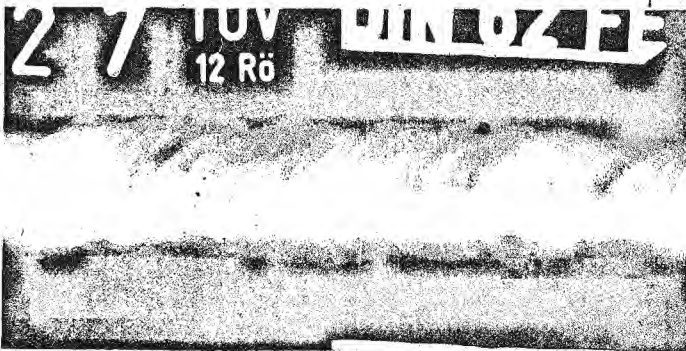
naktır.5. yılı aşkın yarıömrü ile Kobalt 60'da uzun yaşayan bir kaynaktır.Buna karşın Iridyum 192'nin sadece 2,5 aylık yarıömrü ikmal sorununu ön plana getirir.

| Radyoizotop | Yarıömrü | Gamma enerjisi keV | X-ışını eşdeğer enerjisi kV | Özgül radyasyon şiddeti Rhm/Ci | Kullanılabileceği çelik kalınlıkları mm | |
|-------------|----------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|----------|
| | | | | | Optimum | Maksimum |
| Ir - 192 | 74,4 gün | 200 - 600 | 100 | 0,43 | 40 - 100 | 20 - 100 |
| Co - 60 | 5,27 yıl | 1170 ve 1330 | 2000 | 1,3 | 20 - 100 | 10 - 100 |

Tablo 7.

Özden, s. 34.

Tabloda yer alan bir diğer özellik radyoizotopun ürettiği gamma ışını şiddetidir, bu Rhm/Ci birimi ile verilmiştir. Kural olarak bir radyoizotopun ürettiği ışınların şiddeti ondan bir metre uzakta ve bir saat zarfında röntgen değeri (Rhm) olarak ölçülür. Ölçülen değer radyoizotopun küri cinsinden aktivitesine bölünürse o radyoizotopa ait özgül radyasyon şiddeti bulunur. Kobalt 60'ın çok, diğer ikisinin ise ondan az gamma ışını ürettikleri görülmektedir. Aslında radyoizotoplar x-ışını cihazları yanında gayet zayıf kalan ışın kaynaklarıdır. Bu nedenle gamma radyografisinde poz süreleri genellikle uzun olmaktadır. Şekil 111.'de 7mm lik bir çelik kaynağında 200 kV'luk x-ışını cihazı ile Ir 192 gamma ışını cihazının çektiği filmler görülmektedir. Şekildende açıklıkla görüldüğü gibi gamma ışını ile çekilen film, x-ışını ile çekilen filmin yanında gayet görüntüsüz kalmaktadır.



X-ışını ile

Gamma ışını ile

Şekil 111.

Philips, X-ray systems, s. 2.

III.6.4 Gamma radyografisi için izotop seçimi

Yeryüzünde radyoizotop bolluğuna rağmen gamma radyografisi şartlarına uyanı azdır. Sadece 3-5 radyoizotop endüst-

riyel radyografide gamma kaynağı olarak kullanabilmektedir. Gamma radyografisi için uygun izotop seçimi aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

i-Makul yarıömür

Kısa yarıömürlü izotoplar sanayi için elverişli olmayıp bu yarıömür zamanı en az aylar mertebesinde olmalıdır.

ii-Kazalara karşı güvenlik

Endüstriyel radyografi dalında katı izotoplar kullanılmalıdır. Sıvı ve gaz halindeki izotopların bir kaza anında kontrolü zor olmaktadır.

iii-Uygun enerji şiddeti

Endüstriyel radyografide kullanılan en uygun radyasyon türü ve şiddeti gamma ışınlarında bulunmaktadır. Gamma ışınları makul kalınlıklar için de yeterli olmaktadır.

iv-Ticari ölçülere uygun fiyat

Radyoizotopun maliyeti normal ticari ölçüler içinde bulunmalı ve ekonomik olmalıdır.

³⁸III.6.5 Radyasyondan korunma ve zararlı doz miktarları

Radyasyonların canlı dokular üzerinde zararlı etkileri olduğu herkesçe bilinmesi gereken bir gerçektir. Ancak organizmanın bu zararı tamir için kendine özgü doğal yöntemleri vardır. Küçük radyasyon dozlarının meydana getirdiği mikroskopik ölçekteki tahribat, zaman içinde vücudun öz korunma sistemi tarafından tamir olunur. Böylece biyolojik hasarın birikimi ve bunun canlı tarafından hissedilir mertebeye gelmesi doğal olarak önlenmiş olur. Tehlike, büyük radyasyon dozlarının vücudun korunma sisteminin gücünü aşan ani hasarlar meydana getirmesi halindedir.

Yaşam direnci her bünyede farklı olduğuna göre radyasyon dozunun tehlike sınırını kesin tayin etmek imkansızdır. Bu bakımdan klinik belirtilerin gözlenebildiği radyasyon dozu seviyesinin çok altında emniyetle alınabilecek doz seviyeleri tesbit edilmiştir. İnsan vücudu bir dakikada yaklaşık 1 milyar hücre doğmakta bir o kadarı da ölmektedir. Bu miktarın ne kadarının radyasyondan öldüğünü tesbit etmek imkansızdır. Zaten tabii olarak insan vücudu yılda 100 miliröntgen ışını

doğadan almaktadır.100 miliröntgenin 1/3'ü uzaydan alınan kozmik radyasyondan,1/3'ü yer küreyi meydana getiren maddelerden,geriye kalan 1/3 ise yiyip içtiklerimiz olan süt,doğal kaynak sularından alınır.

Tabii radyasyonun soğurulması (doz) gerek radyasyonun cinsine ve gerekse ortamın cinsine bağlıdır.Örneğin 1 Röntgen şiddetinde elektromagnetik radyasyona maruz kalmış 1 gr hava 87,7 erg,1 gr. canlı doku (yumuşak doku) 98 erg enerji soğurur.Canlı doku tarafından soğurulan radyasyon miktarına biyolojik doz adı verilir.ve Rem (Röntgen equivelant man) ile ölçülür.1 Rem canlı dokuya 100 erg enerji aşıl原因an radyasyon dozudur.Elektromagnetik radyasyon ve beta radyasyonu için bu 1 Röntgenlik radyasyonun yaptığı etkidir.Diğer radyasyon türlerinde ise radyasyonun etkinliğine göre değişir.

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

Tehlikeli doz aniden bir defada alınmış ise belirtileri en geç takriben bir hafta içinde ortaya çıkar.600 Rem mutlak öldürücü doz olarak kabul olunur.Rahatsızlıklar birkaç saat içinde mide bulantısı ve kusma şeklinde belirir.400 Rem'de ölüm ihtimali % 50'dir.2 ila 6 hafta içinde ölüm mümkündür.Işınlanan fertlerin yarısı için ölüm kaçınılmazdır. 200 Rem ölüm ihtimalinin başlangıç dozudur.Hastanın genel sağlık bozukluğu yoksa sonunda radyasyon etkilerini atlatma ihtimali büyüktür.125 Rem vücutta kalıcı hasar (örneğin kan yapısında) ve ömürde kısalma yapar.50 Rem en küçük tehlikeli dozdur.Kanda hafif ve çabuk iyileşen değişimlere sebep olur.Radyasyon ile sürekli çalışanlarda yılda 5 Rem,Haftalık 100 mRem,günlük 20 mRem,ve saatte 2,4 mRem'i geçmemelidir. Radyasyon görevlilerinin aldıkları dozlar zorunlu olarak taktıkları şekil 112.'de görülen cep dozimetre cihazları va-

sıtasıyla sürekli kaydolunur.



Şekil 112.

Ridge, s. 58.

III.7 FİLM, EKTRAN VE BANYO İŞLEMLERİ

III.7.1 Radyografi filmi

Film üzerine kayıt alma tekniğine radyografi adı verilir. Filmde aranan husus kalıcı bir görüntü vermesidir. Günümüzde film haricinde radyografi kağıtları da kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar filme göre ucuz olmasına karşın, görüntü kalitesi kötüdür.

³⁹III.7.2 Filmin yapısı

Şekil 113.'de radyografik film kesiti görülmektedir. Film simetrik bir yapıya sahip olup, her iki yüzeyi de duyarlıdır. Normal filmlerde ise yalnız bir yüz duyarlıdır. Filmi meydana getiren tabakalar şu kısımlardan ibarettir:

i-Taşıyıcı tabaka

Yaklaşık 0,2 mm kalınlıkta poliester veya sellüloz triasetat malzemeden yapılmıştır. Oldukça sağlam bir yapıya sahip olup yırtılmaz, yanmaz, su çekmez, deforme olmaz, asitten, bazdan ve sıcaklıktan kesinlikle etkilenmez. Uzun saklama anında, banyo sırasında ve kurutulurken filmin düzgünlüğünü koruması ve buruşmaması, üzerindeki duyarlı tabakanın çatlamaması, pullanmaması ve dökülmemesi için taşıyıcı tabaka mutlaka sağlam yapıda olmalıdır.

İlk radyograflar cam üzerine çekilmiş, daha sonraları ise sellüloz triasetat kullanılmıştır. Sellüloz, istenen özellikleri kısmen karşılayabilmiştir. En son gelişme olarak poliester kullanılmaya başlanmıştır. Poliester taşıyıcı tabakada istenen özellikleri tamamen karşılamıştır.

ii-Duyarlı tabaka

Görüntüyü üzerinde toplayan tabakadır. Yaklaşık 10^{-2} mm kalınlığa sahip olup, 10^{-3} mm kalınlığında bir yapıştırıcı ile taşıyıcı tabakaya bağlanmıştır. 10^{-3} mm kalınlığında bir jelatin tabaka ile dışarıya karşı korunmuştur.

Duyarlı tabakayı başlıca iki madde oluşturur. Bunlardan ilki gümüş bromür (AgBr) diğer bir deyimle "silver halide" kristalleri, diğeri ise jelatin matris maddesidir. AgBr

³⁹Özden, Ö.n. ver., s. 57.

kristalleri ışığa duyarlı tanecikler olup, jelatin matrisler ise bunları bir arada tutan hamurdur.

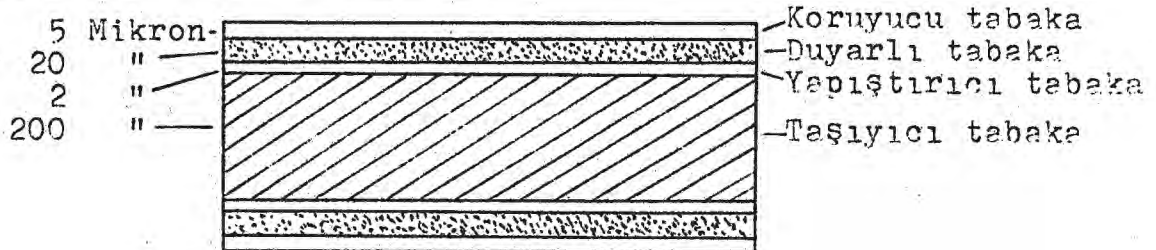
Gümüş bromür taneciklerinin büyüklüğü ve miktarı filmin fotoğrafik özelliklerini belirleyen faktörlerin başındadır. AgBr miktarı çoğaldıkça görüntüyü meydana getiren foto-kimyasal reaksiyonlar artar. Böylece belirli bir poz süresi zarfında daha fazla kararır, yani fotoğrafik yoğunluk sağlanır. AgBr miktarları arttıkça filmin hızı da artar. Muhtelif filmlerin m^2 başına düşen AgBr miktarları Tablo 8.'de görülmektedir.

| <u>Film cinsleri</u> | <u>AgBr gr/m²</u> |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| Endüstriyel radyografi filmi..... | 46 |
| Tıbbi radyografi filmi..... | 22 |
| Negatif fotoğraf filmi..... | 12 |
| Fotoğraf filmi..... | 4 |

Tablo 8.

özden, s. 58.

Tablo 8'den görülebileceği gibi normal fotoğraf filmlerine nazaran röntgen filmleri üzerinde tıbbi filmlerde 2, endüstriyel filmlerde 4 kat daha fazla gümüş bromür vardır. Radyografi filmlerinde duyarlı tabakanın kalınlığını azaltmak için bu miktar iki eşit parçaya bölünmüş ve filmin iki yüzüne tatbik edilmiştir.



Şekil 113.

Agfa-Gevarl, s. 83.

Filmin simetrik olarak yapılması ona büyük kararlılık sağlamıştır. Paralaks hatası, duyarlı tabakanın iki ince parçaya bölünmesiyle azaltılmıştır. Yüksek giricilik gücüne sahip x- ve gamma ışınları her iki yüzeye sürülmüş duyarlı tabakaları aynı oranda etkilerler. Bu yüzden radyografik filmlerde, duyarlı tabakanın filmin iki yarısında kalması, filmin duyarlılığını kesinlikle etkilemez.

AgBr tanelerinin büyüklüğü filmin fotoğrafik özellikleri üzerinde öneme haiz bir durumdur. Tane büyüklüğü endüstriyel filmlerde bir mikron civarındadır. İri taneli (coarse grain) filmler hızlı filmler olup çabuk kararırılar. Küçük taneli (fine grain) filmler ise yavaştır ve geç kararırılar. Büyük taneli yapı, film hızını arttırdığından faydalı olmasına rağmen tanımı zorlaştırdığı için zararlıdır. İri taneler, filmin görüntüsünde harelenme yapar.

⁴⁰III.7.3 Filmlerin sınıflandırılması

Endüstriyel radyografi filmleri, mühendislik standartlarında üç sınıfa ayrılırlar.

Sınıf

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

İngiliz, Amerikan ve Alman yaklaşımında bir farklılık bulunmaktadır. Bunların hepsi filmleri üç sınıfa veya gruba ayırmışlardır. Hernekadar Amerikan ASME standartlarında bir dördüncü sınıf var ise de, çok hızlı filmlere ait olan bu sınıfın kullanılması bazı şartlara bağlanmıştır.

Ticari filmlerin bu sınıflandırmalardan hangisine girdiği konusunda bir açıklık getirilememiştir. Bu da iki nedene bağlıdır. Birincisi çeşitli milli yaklaşımlarda sınıfların tayininde kesin bir anlaşmaya varılamamıştır. İkincisi ise dünya film piyasasına hakim büyük üretici firmalar, film yapısı ve hızı konusunda kendi aralarında bir standartlaşmaya gidememişlerdir. Bu yüzden çeşitli ticari filmlerin hangi sınıfa gireceği konusunda bir ülkenin görüşü ile diğer ülkenin görüşü arasındaki farklılık giderilememiştir.

Tablo 9.'da ticari filmlere ait Alman sınıflandırılması görülmektedir. Tablo 10.'da ise aynı konuda İngiliz sınıflandırılmasına yer verilmiştir. Aynı bir filmin iki ülkede ayrı sınıflara girebildiği tabloların incelenmesinden anlaşılabilir. Agfa-Geveart firmasına ait endüstriyel radyografi filmlerinin üç ülkede sınıfsal değerlendirilmesi Tablo 11.'de mukayeseli şekilde gösterilmiştir.

Filmleri sınıflamada Almanlar biraz daha ince davran-

⁴⁰Aynı, s. 77.

mışlardır.İngilizlerin ve Amerikalıların 1.sınıfa dahil ettikleri D4 filmini Almanlar 2.sınıfa dahil etmişlerdir.D7 filmini İngiltere ve Amerika 2.sınıf derken,Almanya 3.sınıf olarak kabul etmektedir.Amerika D10 filmini 3.sınıfa dahil ederken İngilizler ve Almanlar bunu sınıflandırmadan çıkarılmışlar ve üç kademeli değerlendirmede yer vermemişlerdir.

| Film sınıfı | Agfa geveart | Kodak(Amerikan) | Du Pont |
|-------------|--------------|-----------------|---------|
| G1 | D2 | R | 45 |
| G2 | D4,D5 | M,T | 55,65 |
| G3 | D7 | AA | 75,M2 |

Tablo 9.Ticari filmlerin Alman sınıflaması

Özden,s.78.

| Film sınıfı | Agfa geveart | Kodak(İngiliz) | Du Pont |
|-------------|--------------|----------------|---------|
| 1 | D2 | Industrex M | 45 |
| | D4 | Industrex T | 55 |
| 2 | | Industrex A | 65 |
| | D7 | Industrex C | 75 |
| 3 | - | Industrex D | - |

Tablo 10. Ticari filmlerin İngiliz(BS 2600) sınıfları

Özden,s.78.

| Agfa-Geveart Filmi | DIN Sınıfı | ASME Sınıfı | BS Sınıfı |
|--------------------|------------|-------------|-----------|
| D2 | 1 | 1 | 1 |
| D4 | 2 | 1 | 1 |
| D7 | 3 | 2 | 2 |
| D10 | - | 3 | - |

Tablo 11. Agfa-Geveart filmlerine üç ülkede verilen

Özden,s.78.

sınıf numaraları

Magnezyum,aluminyum ve çelik malzemelerin değişik et kalınlıklarında çekilecek filmlerde film tipleri seçimi,tablo 12.'de x-ışınları için,tablo 13.'de ise gamma ışınları için görülmektedir.

| Malzeme kalınlığı (inç) | | Enerji değeri ve film tipleri | | | | |
|----------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|------------|-------------|-------------------------------------|
| | | 50-80 kV | 80-120 kV | 120-150 kV | 150-250 kV | 250-400 kV |
| Magnezyum | 0 - 1/4 | D2-D4 | D2 | D2 | D2 | D2-D4 |
| | 1/4 - 1/2 | D4-D2 | D2-D4 | D2-D4 | D2 | |
| | 1/2 - 1 | D4-D5-D7 | D4-D5 | D4 | D2 | |
| | 1 - 2 | D7 | D4-D5 | D4 | D4 | |
| | 2 - 4 | | D7 | D4-D5-D7 | D4 | |
| 4 - 8 | | | D7 | D4 | | |
| Aluminyum | 0 - 1/4 | D2-D4 | D2-D4 | D4 | D2 | D5 |
| | 1/4 - 1/2 | D7-D5 | D4 | D2-D4 | D2 | |
| | 1/2 - 1 | D7 | D4-D5 | D4-D5 | D2 | |
| | 1 - 2 | D7 | D7-D5 | D7-D5-D4 | D4 | |
| | 2 - 4 | | D7 | D7 | D4-D5 | |
| 4 - 8 | | | | D7 | D7 | |
| Çelik | 0 - 1/4 | | D7 | D7-D5-D4 | D2-D4 | D4-D2 D7-D5-D4 D7-D5-D4 D7 |
| | 1/4 - 1/2 | | | D7-D5-D4 | D7-D5-D4-D2 | |
| | 1/2 - 1 | | | D7 | D7-D5-D4 | |
| | 1 - 2 | | | | D7-D4 | |
| | 2 - 4 | | | | | |

Tablo 12.

NTD products and systems (Morstel:Agfa-Gevart,1984),s.9.

| Malzeme kalınlığı (inç) | | Kaynak (1 küri) ve film tipleri | | |
|-------------------------|-----------|---------------------------------|------------|-------------|
| | | Iridyum-192 | Sezyum-137 | Kobalt-60 |
| Magnezyum | 1/2 - 1 | D2-D4 | | |
| | 1 - 2 | D4 | | |
| | 2 - 4 | D4-D5-D7 | | |
| | 4 ve üstü | D7 | | |
| Aluminyum | 1/2 - 1 | D2-D4 | | |
| | 1 - 2 | D4-D5 | | |
| | 2 - 4 | D7 | | |
| | 4 ve üstü | D7 | | |
| Çelik | 0 - 1/4 | D2-D4 | | |
| | 1/4 - 1/2 | D4-D5-D7-D2 | | |
| | 1/2 - 1 | D7-D5-D4 | D4-D2 | |
| | 1 - 2 | D7-D5-D4 | D4-D5-D7 | D4 |
| | 2 - 4 | D7 | D7 | D4-D5-D7 |
| 4 ve üstü | | D7 | D7 | D7-D5 D7 |

Tablo 13.

Agfa 1984,s.9.

41 III.7.4 Filmlerin eşdeğerliliği

Film üreticisi büyük firmaların film hızları ile ilgili aralarında belirli standartlaşmada birlik sağlayamamaları uygulayıcılar için rahatsızlık konusu olmuştur. Herhangi bir film için verilmiş veya hesaplanmış poz değerleri diğer firmaların filmleri için nasıldır? Örneğin Kodak C filminin poz süresi biliniyorsa, aynı şartlar altında Fuji 100 filmi kullanılırsa poz süresi nedir? Yani iki ayrı filmin hızlarının birbirine oranı ne olacaktır?

Değişik firma mamulü filmlerin hızlarına göre eşdeğer-

41 Aynı, s. 79.

lilikleri Tablo 14. 'de görülmektedir. Bu tabloda yer verilen Agfa D10 ile Kodak KK ve Dupont 506 ile Fuji 100 aynı hızda filmlerdir. Bunun gibi tabloya dahil edilen diğer filmlerin aralarındaki katsayılar kolaylıkla okunabilir.

Ticari filmlerden birine ait poz süresi biliniyorsa mevcut tablo yardımıyla diğer bir filme ait poz süresi kısa zamanda hesaplanabilir.

Örnek:

Kodak Industrex D filmi ile 6 dakika olan poz süresi Foma Indux M filmi ile;

$$6x \frac{1,8}{5,7} = 1,89 \text{ dakikadır.}$$

| Ticari filmler | D 10 | D 7 |
|------------------|------|-----|
| GEVEART D10 | 1 | 0,3 |
| D7 | 4 | 1 |
| D4 | 15 | 3,8 |
| D2 | 60 | 15 |
| KODAK (GB) | | |
| Kodirex | 0,8 | 0,2 |
| Industrex D | 1,8 | 0,5 |
| Industrex C | 4 | 1 |
| Industrex M | 16 | 4 |
| KODAK (USA) KK | 1 | 0,3 |
| AA | 4 | 1 |
| M | 16 | 4 |
| R | - | 16 |
| DUPONT (USA) 504 | 4 | 1 |
| 506 | 6 | 1,5 |
| 510 | 28 | 7 |
| ORWO (DDR) RF 63 | 1,3 | 0,3 |
| RF 5 | 2,6 | 0,7 |
| FOMA (CSSR) | | |
| Indux BG | 1,6 | 0,4 |
| M | 5,7 | 1,5 |
| FUJİ (JAP) 100 | 6 | 1,5 |
| 200 | 10 | 2,5 |

Tablo 14.

SEGEH 1979, s. (12.03).

⁴²III.7.5 Ekranlar

Radyografi filmleri bir ekran çifti ile sandviç yapılmış halde ışınlanırlar. Ekranın iki yararı olup birincisi görüntü getiren ışınların film üzerinde daha etkili olmalarını sağlamak ve böylece poz süresini kısaltmaktır. Çünkü incecik film üzerine düşen x- ve gamma ışınlarının sadece % 1'den az bölümü film tarafından tutulabilir. Geriye kalan bölümü hiç bir fotoğrafik etki bırakmadan filmi geçer giderler.

Ekranların radyasyon altında ışıldamasıyla film üzerinde ilave etki yaparlar. Endüstriyel radyografide kullanılan ekranların ikinci yararı ise, saçılarak doğrultu değiştirmiş ve rastgele yönlerden gelerek filmde sis meydana getiren radyasyonu bir ölçüde tutarak, onların görüntüyü perdemelerini azaltmaktır. Uygulamada iki tip ekran vardır.

⁴³III.7.5.1 Metal ekranlar

Endüstriyel radyografide genellikle metal ekranlar kullanılır. Metal ekran olarakda tamamiyle kurşun ekranın kullanıldığı söylenebilir. Ancak çok yüksek enerjili Kobalt 60 gamma ışınlarında, çelik veya bakır ekranlar tercih edilirler. Kurşun ekranın alaşımını % 94 kurşun ve % 6 antimuan meydana getirir.

X- ve gamma ışınları üzerine düştükleri maddeden elektronlar koparırlar. Fotonların yerlerinden söktüğü bu elektronlara fotoelektron adı verilir. Hedef malzemenin atom ağırlığı (daha doğrusu atom numarası) arttıkça fotoelektrik ihtimali artar. Çünkü elektron nüfusu ağır elementlerden fazladır. Ekranın, kararlı elementlerin en ağırı olan kurşundan yapılmasının nedeni budur. Kurşunun zar kadar ince levha halinde getirilebilmesi, yumuşak olması ve beraber kullanılacağı filme kolayca uyum sağlaması diğer seçiliş nedenleridir.

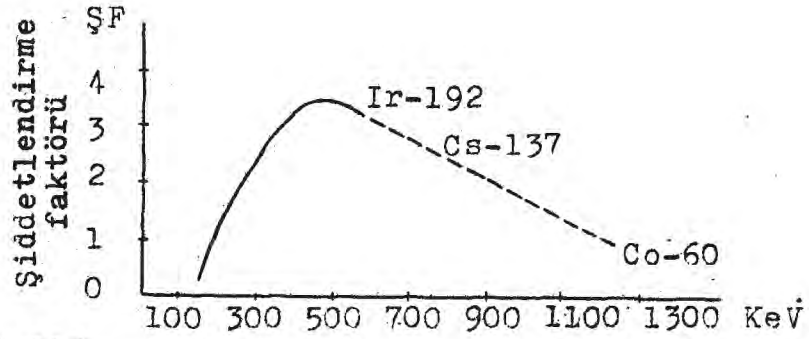
Film üzerine sürülmüş fotoğrafik emülsiyon fotonlara olduğu gibi elektronlara da duyarlıdır. Böylece x- ve gamma ışınlarının film üzerindeki doğrudan etkisine ekrandan gelen fotoelektronların etkisi de ilave olur. Gerçekten bu ikinci etki daha büyüktür. Böylece radyasyonun film üzerindeki etkisi 2-3 kat artar ve poz süresi aynı oranda kısalır.

Ekranın şiddetlendirme oranı aslında kullanılan ışınların enerjisi ile değişir. Bu değişim Şekil 114.'de görülmektedir. Endüstriyel radyografide en çok kullanılan x-ışını enerjisiyle, Iridyum 192 ve Sezyum 137 gamma enerjilerinde kurşun ekranın şiddetlendirme oranı en yüksek değere sahiptir. Kobalt 60 gamma enerjisinde ise bu oran % 1 dolayına düşer. Diğer bir deyimle şiddetlendirme etkisi kalmaz. Bu enerjilerde çelik ve bakır ekranların seçilmesi bu nedenledir. Ayrıca çelik ve bakır ekranların görüntü kalitesi kurşun ekrandan daha iyi olduğu için tercih edilirler. Kurşun ekranın şiddetlendirme oranı, düşük ışın enerjilerinde de azaldığı ve yok olduğu eğriden görülmektedir.

Metal ekranların ikinci görevi ise, saçılan dolayısıyla enerjileri zayıflayan ışınları yani etrafa saçılan ışınları tutmaktır. Etrafa saçılan ışınlar yön değiştirdikleri için görüntü taşımazlar. Dolayısıyla film üzerinde "sis" seviyesini yükselterek zararlı olurlar. Ön ekran, obje içinde saçılan ışınları, arka ekran ise arkadan saçılarak geriye dönenleri tutar. Şekil 104.

Görüntü taşıyan ışınların zayıflamaması için ön ekran zorunlu olarak ince tutulur. Arka ekran için böyle bir zorunluluk yoktur ve daha kalın yapılır. Bu yüzden arka ekranı daha da kalınlaştırmaya gerek yoktur. Çünkü ekran kalınlığının daha fazla artmasının onun şiddetlendirme faktörüne artık katkısı olmaz. Zira şiddetlendirme işlemi yapan elektronların kurşunun derinliklerinden çıkıp filme ulaşma ihtimalleri derinlere inildikçe hızla azalır. Arka ekranı bu sınırın ötesinde kalınlaştırmak zararlıdır. Ekran rijidleştikçe film ile ekran teması bozulur. Bu durum görüntünün keskinliğini dolayısıyla kalitesini düşürür.

Filmi arkadan saçılarak geri dönen ışıklardan korumanın bir diğer yoluda , boyutları yaklaşık film ölçüsünde kalınlığı 3-5 mm olan bir kurşun arkalama levhasını arkadan dayamaktır. Bu levha kasetin dışında kaldığı ve çıplak filme temas etmediği için görüntü şiddetlendirme etkisi söz konusu olamaz. Fakat arkadan geri dönen ışınları tamamen tutarak filmin sislenmesini önler.



Şekil 114.

Özden, s. 68.

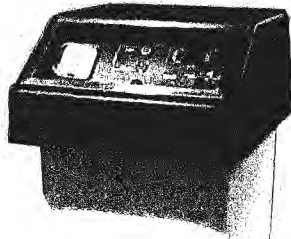
III.7.5.2 Tuz ekranlar

Tıbbi radyografide kullanılır. Bir karton taşıyıcının bir yüzüne sürülmüş özel tuzlardan ibarettir. Bunlar kalsiyum-tungsten tuzu, baryum-kurşun sulfat tuzu gibi kompoze tuzlardır.

44 III.7.6 Banyo geliştirme (Developmen banyosu)

Geliştirme film üzerinde bulunan ışın almış AgBr gümüş bromür (daha doğru bir deyimle silver halide) taneciklerinin metalik gümüş haline indirgenmesidir. Işın almamış, AgBr tanecikleri geliştirme eczalarından etkilenmez. Metalik gümüş siyah renktedir. Bu nedenle filmin ışınlanmış bölgele-ri banyodan sonra kararır.

Görüldüğü gibi geliştirme banyosu ışın almış ve almamış, bir diğer deyimle görüntü taşıyan ve taşımayan, AgBr taneciklerini birbirinden seçebilmekte, birine hiç dokunmazken öbürünü etkilemektedir. Şekil 115.'de bir banyo geliştirme kliveti görülmektedir.



Şekil 115.

Ridge, s. 99.

44 Aynı, s. 99.

III.8. RADYOGRAFİK KALİTE VE I.Q.I. KALİTESİ

⁴⁵III.8.1 Radyografik tekniğin kalitesi

Kalite bir bedel karşılığı elde olunan değerdir. Kalite üzerinde titizlik maliyeti arttırır. Bütün üretim çeşitleri için söylenen bu kural radyografi üretimi için de geçerlidir. Uygulanan radyografi tekniğinin kalitesini yükseltmek uzman personel kullanmayı, daha büyük cihaz ve malzeme yatırımı yapmayı, birim zamanda üretilebilecek en fazla radyograf sayısını sınırlamayı gerektirir. Bunların hepsi işi daha pahalı kılar.

Diğer taraftan karşılaşılan bütün objelerin en yüksek duyarlılıkla muayene olunmaları gerekmez. Yüksek kaliteli üretim yüksek duyarlılıkla, sıradan üretim daha düşük duyarlılıkla muayene olunabilir ve olunmalıdır. Muayenenin kalitesinin seçiminde kıstas, söz konusu objenin maliyeti ve arızalanması halinde, sebep olabileceği risklerin mertebesidir. Buna karar verecek makam ise öncelikle proje müellifi (designer) dir. Projeyi hazırlayan kişi o projedeki imalatın hangi yöntemlerle ve hangi kalitede (duyarlılıkta) kontrol edileceğini de seçmiş olmalıdır. Milli ve milletlerarası standartlarda radyografik muayene için çeşitli kalite sınıfları tanımlanmıştır. Proje müellifi hazırladığı projede hangi sınıftan radyografik muayene uygulanacağını da belirtmek durumundadır.

III.8.1.1 ISO-R 1106 Uluslararası tekniğin kalitesi

Radyografik muayene teknikleri aşağıdaki üç sınıfa ayrılmıştır.

Sınıf A: X-ışını muayenesi için genel teknik. Genellikle yumuşak ve düşük alaşımlı çeliklere uygulanır.

Sınıf B: Daha duyarlı x-ışını tekniği. Daha önemli ve zor hallerde veya Sınıf A tekniğin gözden kaçırma ihtimalinin bulunduğu hataların varlığı halinde kullanılır. Bu teknikte yalnız ince-taneli filmler ve kurşun ekranlar kullanılır. Dolayısıyla daha uzun poz süreleri gerektirir, bazen Sınıf A için gerekli cihazlardan daha yüksek voltajlı cihazlar gerekebilir.

⁴⁵Aynı, s. 121.

Sınıf C: Bu sınıf gamma ışınları ile muayene sınıfıdır. Şunun bilinmesi gerekir ki, en iyi gamma tekniği ile ulaşılabilecek hata algılama ihtimali daima Sınıf A'nın altında kalır. Dolayısıyla gamma ışınlarının kullanılmaları yalnızca X-ışınlarının kullanılmasının çeşitli nedenlerle (örneğin şekil, kalınlık ve yaklaşmanın) imkansız olduğu hallerde tek seçim olmalıdır. Raporda gamma ışını kullanıldığı belirtilmeli ve kaynağın bütün ayrıntıları verilmelidir.

III.8.1.2 BS 2600 İngiliz standardı

Radyografik muayene teknikleri 5 sınıfa ayrılmıştır. Bunlardan 3 adet X-ışını ve 2 adet gamma ışını teknikleridir. Teknik 1: X-ışını ve çok ince taneli film kullanılır. Teknik 2: X-ışını ve ince taneli film kullanılır. Teknik 3: X-ışını ve orta hızlı filmler kullanılır. Teknik 4: Gamma ışını ve çok ince taneli film kullanılır.

Teknik 5: Gamma ışını ve ince taneli film kullanılır.

III.8.1.3 ASME Sec.V Amerikan standardı

Radyografik muayenenin standart olarak 3 seviyesi vardır. Özel olarak belirtilmek koşuluyla bunlara ilave olarak 3 seviye daha tanımlanmıştır.

Muayene seviyesi üretimin öngörülen işletme şartlarına uygun olarak seçilmelidir. Şayet muayene seviyesi ayrıca belirtilmemiş ise en az %2 (yani 2-2T) duyarlık seviyesi sağlanmalıdır.

III.8.1.4 DIN 54111 Alman standardı

Muayene duyarlığını oluşturan koşullar iki gruba ayrılmıştır.

Bunlar:

Muayene kategorisi A: Genel amaçlı muayene teknikleridir.

Muayene kategorisi B: Daha yüksek duyarlıklı teknikler. Radyografik parametrelerin seçimi her iki kategoride farklıdır.

⁴⁶III.8.2 Radyografik duyarlık

Radyografik kalite ve radyografik duyarlık eş anlamda kullanılan sözcüklere dir. Bir radyografin küçük hataları göre-

⁴⁶Aynı, s.175.

bilme yeteneğidir. Kalitatif bir kavramdır.

Bir radyografin kalitesini meydana getiren iki temel faktör kontrast ve tanımdır.

Kontrast görüntüde komşu iki bölge arasında fotoğrafik yoğunluk farkının mutlak değeridir, kantitatif bir kavramdır. Yoğunlukları D_1 ve D_2 olan komşu iki bölge arasında-

$$C = D_1 - D_2 \quad (25)$$

ki kontrast'dır. Kontrastın sıfır olması komşu iki bölgede fotoğrafik yoğunlukların aynı olmasıdır. Kontrast büyüdükçe yoğunluk farkları daha belirginleşir, görüntünün algılanması kolaylaşır. Bununla beraber görüntünün algılanması yalnız yoğunluk farkına, yani kontrasta bağlı değildir. Bir bölgeden öbürüne yoğunluğun ani değişmesine veya tedrici değişmesine bağlıdır.

Tanım (definition) görüntüde komşu bölgelere ait fotoğrafik yoğunluk farkları arasındaki sınırın keskinliğidir. Kalitatif anlamda kullanılan bir sözcüktür. Yoğunluk farklarının keskin çizgilerle ayrılması görüntünün algılanmasını kolaylaştırır. Bu takdirde küçük yoğunluk farkları dahi algılanabilir, Halbuki bir yoğunluktan öbürüne tedricen geçiliyorsa, böyle bir görüntünün algılanması için daha büyük kontrast gerekir.

Yoğunluk, daha açık bir deyimle fotoğrafik yoğunluk, kararın miktarıdır. Sayısal (kantitatif) bir kavramdır. Filmin ışık geçirgenliği ile ölçülür:

$$D = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (26)$$

Burada, I_0 filmin üstüne düşen ve I , öbür yüze geçen ışık şiddetleridir. $I = I_0$ ise, yani film üzerine düşen bütün ışığı geçirirse, yoğunluğu $D=0$ 'dır. I_0/I oranı büyüdükçe D yoğunluğu artar. Yani film kararır. Tablo 15.'de muhtelif I_0/I oranlarına karşı olan yoğunluk değerleri verilmiştir. Endüstriyel radyografide $D=2$, tıbbi radyografide $D=1,2$ optimum film yoğunluklarıdır. Tabloya göre bu yoğunluklardaki filmler üzerlerine düşen ışığı birinci halde $1/100$, ikinci halde $1/6$ oranında geçirir.

Görüntünün kalitesi (duyarlık) radyografik değerlendirilmeyi etkileyen faktörlerin bir grubunu teşkil eder. Değerlendirme aslında soyut bir kavramdır. Dolayısıyla so-

| D | I_0/I |
|-----|---------|
| 0 | 1 |
| 1 | 10 |
| 1,2 | 15,8 |
| 1,5 | 31,6 |
| 1,8 | 63,1 |
| 2 | 100 |
| 2,5 | 316 |
| 3 | 1000 |

Tablo.15

Özden, s.176.

mut görüntü kalitesinden başka bazı soyut faktörler de radyografik değerlendirme üzerinde etkili olurlar.

⁴⁸III.8.3 I.Q.I. Kalitesi

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

Bir önceki bölümde tanımlanan radyografik kalite veya radyografik duyarlık somut, fakat kalitatif kavramdı. Bunun anlaşılması kolay fakat ifadesi güçtür. Bu nedenle bir kantitatif, rakamla ifade edilebilen, kalite kavramı tanımlamak gereği duyulmuştur. I.Q.I. kalitesi buradan doğmuştur.

Görüntü kalitesini saptamada kullanılan işaretlere önceleri penetremetre adı verilmiştir. Bu deyim halen de yaygın olarak kullanılır. Fakat sonradan ismi I.Q.I. olarak değiştirildi. Artık standartlarda ve resmi yazışmalarda bu isimle anılır.

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

Penetremetrelerin obje ile aynı malzemeden olması esastır. Çelik, Al ve Cu için penetremetreler yapılmıştır. Objelerin dışında bir malzemeden ise, penetremetrenin de aynı malzemeden yapılması gerekir.

Geometri yönünden, çeşitli ülkelerde kullanılan penetremeler arasında büyük fark vardır. Bunlardan en fazla kullanılan telli penetremeleri araştıralım.

⁴⁸Aynı, s.178.

-Telli penetremeler:

1962 yılında DIN 54109 ile standartlaştırılmış Alman penetremesidir. Ayrıca Uluslararası standartlar enstitüsü (ISO) tarafından da kabul edilerek uluslararası geçerlilik kazanmıştır.

Şekil 116'da telli bir penetremetre görülmektedir. 5 mm ara ile konmuş, farklı kalınlıkta, paralel 7 telden oluşur. Tel boyu uzun tiplerde 50mm., kısa tiplerde 25mm'dir. Hepsi bir plâstik veya lâstik kılıf içindedir. Penetremetre tellerden başka kurşun harflerle yazılmış aşağıdaki işaretleri ihtiva eder:

DIN 62 : İlgili DIN numarasının kısaltılmış şeklidir.

Fe : Penetremetre malzemesini gösterir.

10 ISO 16 :Uluslararası Standartlar Enstitüsü işareti ISO ile en kalın ve en ince tel numaralarıdır.

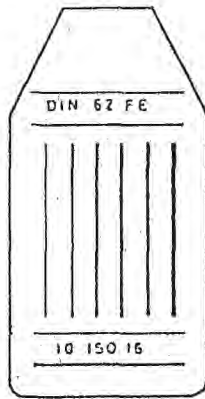
Telli penetremetreler üç kalınlık kademesine ayrılmıştır. Bir başka deyimle kalınlıkları 0,1-3,2 mm arasında değişen 16 tel üç gruba bölünerek herbiri 7 telden oluşan 3 penetremetre kademesi teşkil olunmuştur. Her penetremetre kademesinin ihtiva ettiği tel numaraları ve çapları Tablo 16.'da gösterilmiştir.

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

Tablo 16.

Agfa 1981, s.74.

Görüntü üzerinde, özellikle görüntünün ilgilenilen bölümünde, örneğin kaynak radyografisinde tam kaynak dikişi üzerinde, fark olunabilen en ince telin görüntüsü saptanır. Bu



Sekil 116.

Agfa 1981, s.73.

telin kalınlığı objenin o noktadaki kalınlığına oranlanır.

Yani:

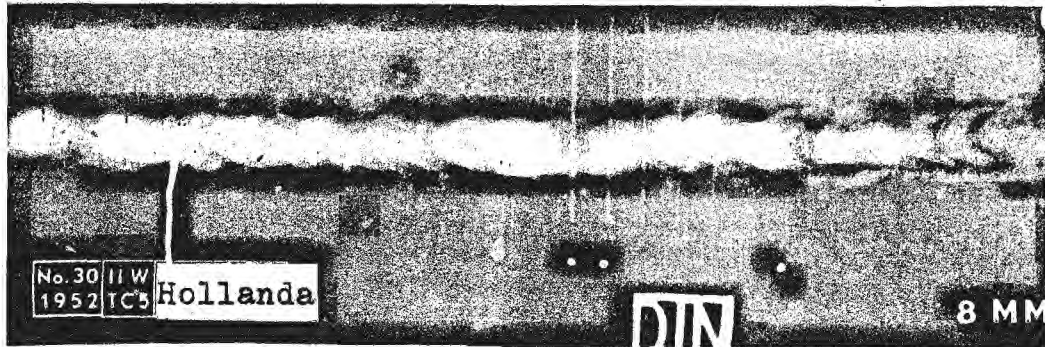
$$\text{I.Q.I. duyarlılığı}(\%) = 100 \times \frac{\text{Görülebilir en ince tel çapı}}{\text{Obj. kalınlığı}}$$

Örnek:

Sekil 117.'deki radyograf filminde 6 ile 12 numaralı tellerde, görüntüsü farkedilebilir en ince tel 10 numaralıdır. Malzemenin kalınlığı 8 mm olduğuna göre duyarlılığı:

$$\text{I.Q.I. duyarlılığı} = 100 \times \frac{0,40}{8} = \% 5 \text{ 'dir.}$$

Tablodan 10 numaralı telin çapı 0,40 mm olarak bulunmuştur.



Sekil 117.

Agfa 1981, s.136.

III.9 REFERANS RADYOGRAFLAR VE OKUMA ŞARTLARI

⁴⁹III.9.1 Referans radyograflar

Radyografların değerlendirilmesinde insan, yer ve zaman faktörlerinin sebep olabileceği değerlendirme farklarını azaltmak ve böylece üniversalliği sağlamak amacıyla referans radyograf takımları hazırlanmıştır. Yapılacak iş eldeki

⁴⁹SEGEN 1979, Ün. ver., s. (25.01).

bir radyografi referans radyograflarla mukayese ederek değerlendirilmektedir.

Çeşitli referans radyograf takımlarına rastlamak mümkündür. Fakat iki tanesi uluslararası alanda büyük geçerlilik kazanmıştır. Bunlar:

- i.- IIW Beynelminel Kaynak Estitüsü, referans radyograf takımıdır. Yalnız kaynak için hazırlanmıştır.
- ii.- ASTM Amerika Malzeme Muayenesi Cemiyeti, referans radyograf takımlarıdır. Hem kaynak ve hem döküm için hazırlanmıştır.

Her iki dökümanın hazırlanışına hakim olan temel düşünce aynıdır. Dolayısıyla burada sadece birincisi bir örnek olarak tanıtılmakla yetinilecektir.

III.9.1.1 I.I.W. Referans radyograflar

Çelik ve alüminyumun kaynakları için olmak üzere IIW iki referans radyograf takımı hazırlanmıştır. Her ikisinde de yalnızca ark kaynak metodu ele alınmıştır. Çelik için hazırlanmış takım 10-50 mm levha kalınlıklarını kapsayan 86 radyograf ihtiva eder.

IIW referans radyograflarında çeliğin ark kaynağında bulunabilecek hatalar 7 ana gruba ayrılmıştır. Bazı ana gruplar kendi içinde alt gruplara bölünmüştür. Hata; ana grupları alfabenin büyük harfleri ile, alt grupları da küçük harfleri ile simgelenmiştir. Tablo 17. bu grupları göstermektedir.

| Simge | İsim |
|-------|--|
| A | Gaz boşlukları Aa Gözenek Ab Kanalcık |
| B | Curuf kalıntısı Ba rastgele dağıtılmış curuf Bb Curuf hataları |
| C | Eksik kaynama |
| D | Yetersiz nüfuziyet |
| E | Çatlak Ea boyuna çatlak Eb enine çatlak |
| F | Yanma oluğu |
| K | Çekme (büzülme) boşluğu kreter kanalcığı |

Tablo 17.

Her sınıfa ayrı bir renk simgesi verilmiştir. Tablo 18.'de bu sınıflar görülmektedir. Yani IIW referans radyograflarında hataların kaynak dikişi için arzettiği tehlikeye göre sınıflandırılmıştır.

| Sınıf simgesi | Olabilecek hatalar |
|---------------|--|
| Siyah | Hatasız kaynak veya sadece çok az ve küçük boyutlarda Aa bulunması |
| Mavi | Çok az miktarda olmak şartıyla A,B ve f hatalarından birinin veya birkaçının bulunması |
| Yeşil | Az miktarda A,K,B,F,D hatalarından birinin veya birkaçının bulunması |
| Kahverengi | Belirgin miktarda A,K,B,F,D,C hatalarından birinin veya birkaçının bulunması |
| Kırmızı | Büyük miktarda A,K,B,F,D,C,E hatalarından birinin veya birkaçının bulunması |

Tablo 18.

SEGEN 1979, s. (25.02).

III.9.1.2 Referans radyografların kapsamı

Kaynak dikişlerinde kullanılan referans radyografların iki amacı vardır.

i-Hataları tanımlamak

ii-Hataları tehlikelere göre sınıflamak

Referans radyograflar bu sonuçlara ulaşmak için hazırlanmış birer mukayese kriteri olup kabul/red kriteri değildir.

III.9.2 Radyograf okuma şartları

⁵⁰III.9.2.1 Özel okuma cihazı

Radyograflar okuma işlemi için özel yapılmış cihazlarda okunmalıdır. Radyografı rastgele bir ışığa tutarak okumaya çalışmak sakıncalıdır. Çünkü böyle yapılırsa onun ihtiva ettiği bilgilerin bir kısmını gözden kaçırmak ve dolayısıyla radyografı eksik değerlendirmek mümkündür.

Şu konuyu akıldan çıkarmamak gerekir. En önemli sayılan ve hiç bir şekilde tolere edilmeyen lineer malzeme hataları ve benzerleri, radyografide gözden kolay kaçabilen düşük kontrastlı belli belirsiz çizgiler şeklinde görüntü verirler. Radyograf üzerinde derhel göze çarpan hacimsel (gö-

⁵⁰Üzden, Ün. ver., s.191.

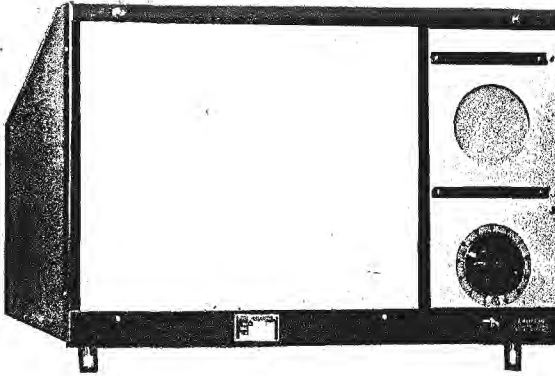
zenek) hatalardır. Curuf ve benzeri hatalar ise az tehlikeli olup ve bir dereceye kadar kabuledilebilir hatalardır.

Radyograf okuma cihazı basit bir ışıklı kutudur. Radyografin üzerine konduğu ekranından yüksek şiddette ışık verir. Işık şiddeti ekranın her yerinde aynıdır. Böylece fotografik yoğunluk farklarının algılanma imkanı filmin her yerinde aynıdır. Film yüzeyinin aydınlığı azaldıkça gözün küçük kontrastları ve detayları algılama kabiliyeti oldukça azalır. Bu nedenle radyografin aydınlığı $30+100 \text{ mum/m}^2$ derecesinde olmalıdır. Fakat hiçbir zaman 10 mum/m^2 aydınlığın altına inilmemelidir.

Radyograf yüzeyine bu minimum aydınlığı vermek için cihazın ekranında sağlanması gereken ışık şiddetleri Tablo 19.'da gösterilmiştir. Şekil 118.'de ise bir radyograf okuma cihazı görülmektedir.

| Fotografik yoğunluk D | Radyograf yüzeyinin minimum aydınlığı mum/m^2 | Ekranın minimum aydınlığı mum/m^2 |
|--------------------------|---|---|
| 1 | 10 | 100 |
| 2 | 10 | 1000 |
| 3 | 10 | 10000 |

Tablo 19.
Özden, s.192.



Şekil 118.
Ridge, s.47.

Dar bir hacim içinde çok yüksek ışık şiddetlerine çıkmak kolay değildir. Tıbbi radyografide kullanılan fluorensant tipli okuyucular, endüstriyel radyografinin daha koyu olan filmleri için yetersiz kalır. Endüstriyel radyografide soğutma vantilatörlü ve daha yüksek ışık veren okuma cihazları ile $D=2,5$ yoğunluklar okunabilir. Bunların daha ayrıntı-

tılı özel tipleri ile en son olarak D=3,5 ve 4 yoğunluktaki radyograflar okunabilir.

Endüstriyel radyografi filmlerinin, karakteristik eğriden görülebileceği gibi yoğunlukları arttıkça kontrastları da artar. Dolayısıyla radyografik duyarlık, bir diğer deyimle daha küçük hataları algılama imkanı artar. Radyografik duyarlık yönünden fotoğrafik yoğunluk ne kadar artarsa o kadar iyidir. Radyografide çok karartılmış film en makbul filmidir. Fotoğrafik yoğunluğu sınırlayan, radyografi okuma cihazının ışık kapasitesidir. Uygulamada D=4 yoğunluktan daha koyu radyografları aydınlatabilecek şiddette okuma cihazı mevcut değildir. Basit bir işleme durum tetkik edilirse;

$$D = \text{Log}_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

$$I_0 = 10000 \times I$$

$$I = 10 \text{ mum/m}^2$$

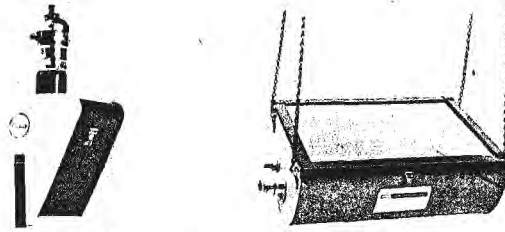
$$I_0 = 100000 \text{ mum/m}^2$$

$$D = 4 \text{ yoğunlukta bir radyografin yüzeyinde } 10 \text{ mum/m}^2$$

yeterli aydınlatmayı sağlayacak cihazın ekranında 100000 mum/m^2 gerekmektedir. Oldukça yüksek ışık (ve ısı) kaynağını küçük bir hacimde gerçekleştirmenin güçlüğü meydandadır. Okuma cihazının ekran aydınlığı fotometre cihazı ile ölçülebilir. Elde uygun bir fotometre yoksa, bir fotoğraf pozometresi ile de ölçü yapılabilir. Fotoğraf pozometresi 100 ASA film hızına ayarlanır ve duyarlı elemanı ekrana yaslanır. Pozometre f=10 iken poz süresi 1/100 saniye verirse, ekran aydınlığı 1000 mum/m^2 'dir.

⁵¹ III.9.2.2 Okuma odası aydınlığı

İnsan gözünün kontrast duyarlığı, yani görüntü üzerinde en küçük ayrıntıları seçebilme kabiliyeti, baktığı objenin aydınlığı çevre aydınlığının pek az üstünde olduğu zaman en büyüktür. Bundan dolayı okuma odasının aydınlığı, ekran üzerinde yerleştirilmiş radyografin yüzey aydınlığının %50-80'i mertebesinde olmalıdır. Yani hafifçe aydınlatılmış odanın mutlaka karartılması yararlı olmayıp, aydınlatma yaygın ve dolaylı olmalıdır. Doğrudan bir ışık kaynağı yansıtan bir yüzey, dışardan veya okuma cihazından sızan ışık demeti arzu edilmeyen durumlardır. Okuma odası aydınlatılmasında kullanılan iki adet cihaz Şekil 119.'da görülmektedir.



Şekil 119.

Products for Ind. Radiography (New York: Eastman Kodak Co., 1985), s. 23.

52 III.9.2.3 Okuyan kişi.

Radyografı okuyan kişinin gözü bozuk olmaması gerekir. Göz, şayet parlak güneşten gelmiş ise okuma odasının loşluğuna 10 dakikada, sun' i aydınlatılan bir hacimden gelmiş ise 30 saniyede uyum sağlar. Okumaya başlamadan önce gözün uyum süresi kadar beklemelidir. Ayrıca radyografların değiştirilmesi esnasında ani olarak ekranın doğrudan parlak aydınlığı ile kamaşan gözün tekrar uyumu 30 saniye kadardır.

Bir radyograf üzerinde $C=1,5$ kontrastan büyük fotografik yoğunluk farkları göz kamaşmasına neden olacağı için istenmeyen bir durumdur. Düşük yoğunluklu alanların parlaklığı daha donuk komşu alanlardaki görüşü engeller. Mevcut şartlar altında aşırı dikkat kesilerek ancak 20 dakika sürekli çalışılabilir. Bu sürenin sonunda radyografı okuyan kişi 10 dakika kadar dinlenmesi gerekir.

Radyografa bakan kişi 40 cm uzakta durmalıdır. Sürekli çalışmada bu mesafenin korunması amacı ile alnı dayayacak bir mesnet yapılır. Gözün optik eksenini hareket ettirmeden bir anda gözlenebilecek alan en çok 6 m^2 olmalıdır. Okuma hızı hiçbir zaman $1 \text{ cm/sn.}'yi$ geçmemelidir. Şayet kılcal çatlaklar gibi kısa, çok ince ve zayıf kontrast veren hatalar söz konusu ise okuma hızı daha yavaşlatılmalıdır.

Aynı radyograflar zaman zaman birbirinden habersiz değişik kişilere okutturularak sonuçları karşılaştırılmalıdır. Radyograf değerlendirme başlı başına bir uzmanlık işidir. Bu nedenle çok büyük muayene merkezlerinde operatörlerin çektikleri radyograflar belirli merkezlerde toplanarak uzman kişilerce değerlendirilir. Bu kişiler gün boyunca yüzlerce radyografı değerlendirmek durumundadırlar. Sürekli ve değişmeyen bir dikkatle çalışmalarına rağmen çok az hata yaparlar. Bu durum senelerin tecrübesi ile ispatlanmıştır. Bundan dolayıdır ki değerlendirmede insan faktörü minimuma indirilebilmektedir.

⁵³III.10 KABUL/RED KRİTERLERİ

Hatayı tanımlamak ve sınıflandırmakla gerçekte tahribatsız muayenenin işi bitmiştir. Bundan sonrası, yani bu hatalara rağmen malzemenin kabul veya red olunması çok yönlü bir iştir. Bir kabul/red kararı başlıca şu faktörlere dayanır:

- i.- Hatanın cinsi
- ii.- Hatanın büyüklüğü ve tekerrürü
- iii.- Dizayn şartları
- iv.- Malzeme
- v.- İmalat geçmişi
- vi.- İşletme şartları

Görüldüğü gibi tahribatsız muayene ile elde olunan sadece ilk ikisidir. Bütün bunları toptan göz önünde bulunduran ve dolayısıyla kabul/red kriterlerini veren dökümanları genellikle iş kolu düzeyinde hazırlanmış standartlar veya şartnamelerdir. Tablo 20 bu tür standart ve şartnamelerden sadece birkaçını ihtiva eder.

Tablo:20 Kabul/Red kriterlerini veren iş kolu düzeyindeki standart ve şartnamelerden bazı örnekler.

| Tanıma İşareti | Çıkaran kuruluş | Konu |
|----------------------------|--------------------------------------|---|
| ASME Sections I-XI | Amerika Makina Müh.Odası | Buhar kazanları ve basınçlı kaplar |
| ANSI B 31 | Amerika Milli Standartları Enstitüsü | Basınçlı boru devreleri |
| API 1104 API 620 ve 650 | Amerika Petrol Enstitüsü | Petrol boru hatları ve Petrol depolama tankları |
| Lloyd | Çeşitli ülkelerin Lloyd kuruluşları | Gemicilik |
| DIN 4100 | Alman Normu | Kaynaklı Çelik yapılar |

SEGEN 1979, s.(26.02).

⁵⁴III.11 RAPORLARIN HAZIRLANMASI

Radyografi üzerindeki görüntülerden hatalar teşhis ve tespit edildikten sonra bir raporun hazırlanması gerekir. Bu

⁵³SEGEN 1979, Ön.ver., s(26.01).

⁵⁴Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesi (İstanbul:Böhler yayınları), s.38.

rapor mümkün olduğu kadar kısa ve okuyana haklar hakkında tam bir fikir vermelidir. Ayrıca radyografiye müracaat etmesine gerek kalmıyacak şekilde açık olmalıdır. Tablo 21. sonuçları gözler önüne sermek için hazırlanmış bir formdur.

| Film no | Malzeme | Kalınlık | Film odak mesafesi |
|--|-----------------------------|---------------|--------------------|
| Gerilim(kV) veya ışınım kaynağının tipi | mA/dakika veya küri/saat | Film tipi | Ekran tipi |
| Filtre tipi | Hata cinsi | Sınıflandırma | Gözlemler |

Tablo 21.

Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesi (İstanbul:Böhler yayını),s.39.

Kaynak dikişlerinde hata tipleri Milletlerarası Kaynak Enstitüsü tarafından verilen sembollerden tekabül edene ve sınıflandırma ile yine hataların önem derecesine göre renklerle de belirtilebilir. Gözlemler sütunu ise, film hakkında ilave bilgiye, elde edilen hassasiyete, dikkatsizlik veya kaza sonucunda meydana gelen lekelerin belirtilmesine ayrılmıştır.

Rapora, üzerinde radyografilerin çekildiği noktaları işaretleyen ve bu noktalar tekabül eden film numaralarını taşıyan bir şema eklenmelidir. Kaynak dikişinin hatalı bölgeleri tamir edildikten sonra, tekrar bu bölgeden çekilen radyograflar, örneğin bir A harfiyle işaretlenmelidir. Bu kısımlar tekrar tamir edilecekse B ve C gibi harfler tamirden sonra tekrar çekilecek filmlerin işaretlenmesinde kullanılır. Bir tamirden sonra çekilen radyografi filmleri için, raporda belirtmek kaydıyla başka numaralar da kullanılabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tahribatsız muayene ayrı fiziksel temellere dayanan muhtelif metodlardan meydana gelmiş bir mühendislik disiplinidir. Metodlar arasında farklılık büyük olmakla beraber bir muayene metodunu meydana getiren temel unsurlar hepsinde vardır. Tahribatsız kaynak dikişlerinin muayenelerinden penetrant ve magnetik parçacıklarla muayene metodları sadece yüzeysel hataların, diğerleri ise yüzeysel hatalarla beraber derindeki hataların da bulunmasına elverişlidir. Akışkanlarla, basınç veya vakum altında, yapılan sızma muayenelerinde ise ancak malzemeyi bir yüzden öbürüne kateden hatalar açığa çıkarılabilir.

Akla şöyle bir soru gelebilir, neden bu kadar çok sayıda metoda ihtiyaç var? Hepsi ayrı fiziksel temellere dayanmadığı için birinin yapısı diğerinden çok farklıdır. Kullanılan cihazlar temelden farklıdır. Tahribatsız muayeneye "Aletler Ormanı" denildiği de işitilir. Bunların tamamını kapsamak önemli bir yatırım meselesi olduğu kadar çetin bir ihtisas işidir. Gerçekte her metod, diğerlerinin aciz kaldığı haller için geliştirilmiştir. Her birinin kapsamı ve sınırları vardır. Her metodun diğer hepsine üstün olduğu haller vardır. Bu sebepten tahribatsız muayene metodları birbirinin rakibi veya alternatifi olmaktan ziyade tamamlayıcıdır. Belirli bir endüstrinin muayene problemleri için bunlar arasında bir veya birkaç metod yeterli olabilir. Fakat özellikle tahribatsız muayene dalında ihtisaslaşan profesyonel laboratuvarlar bu alanda geliştirilmiş bulunan bütün metodlar arasında dengeyi korumak durumundadır.

Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesine bugünkü sağlam mevkiini sağlayan bir seri üstünlükleri vardır.

i-Tahribatsız muayene ile kaynak dikişinin bir benzeri değil bizzat kendisi muayene olunur. Dolayısıyla daha güvenilir sonuçlara varılır. Tahribatlı muayenelerdeki nümu-

ne alma problemi ve alınan nümûnenin bütün kütleyi ne derece temsil etmekte olduğu tereddüdü ortadan kalkar.

ii-Kaynak dikişinin farklı özelliklerine ve farklı bölgelerine hassas birçok tahribatsız muayene aynı anda veya peşpeşe uygulanabilir.Böylece servis performansı ile bağıntı kurulabilen ve istenen sayıda özellik kontrol edilir.

iii-Kaynak dikişi uzunluğu ne kadar uzun olursa olsun,istenirse tamamı muayene olunabilir.Buna karar vermek artık bir ekonomi meselesidir.Muayene giderleri ile kalite kararlılığının sağlayacağı faydaların veya muhtemel arıza ve kazaların meydana geleceği malî külfetlerin dengesi düşünülür.

iv-Tahribatsız muayene aynı bir kaynak dikişinde belirli zaman aralıklarla tekrar olunabilir.Böylece yorulma ve işletme hasarının gelişimi takip olunabilir.

v-Çok pahalı ve büyük tek parçalara,esasen,tahribatsız muayeneden başka uygulanabilecek bir muayene metodu düşünülemez.

vi-Tahribatsız muayene,muayene sanatını laboratuvar-dan atelyeye taşımıştır.Artık muayene için ayağına gitmektedir.Muayene için iş yerinde parça taşınması külfetinden kurtulunmuştur.Tahribatsız muayene iş akışını bozmadır.

vii-Tahribatsız otomatik muayene mümkündür.Pek çok uygulaması vardır.Çok yüksek hızlı muayene otomatları,imalat esnasında yeni parçalara olduğu kadar periyodik bakımlarda ve hatta işletme esnasında yeni parçalara da uygulanır.Bazı hallerde parçayı montajlı olduğu sisteme takılı olduğu yerden sökmeden ve bazen de işletmeyi hiç durdurmadan muayene yapmak mümkündür.

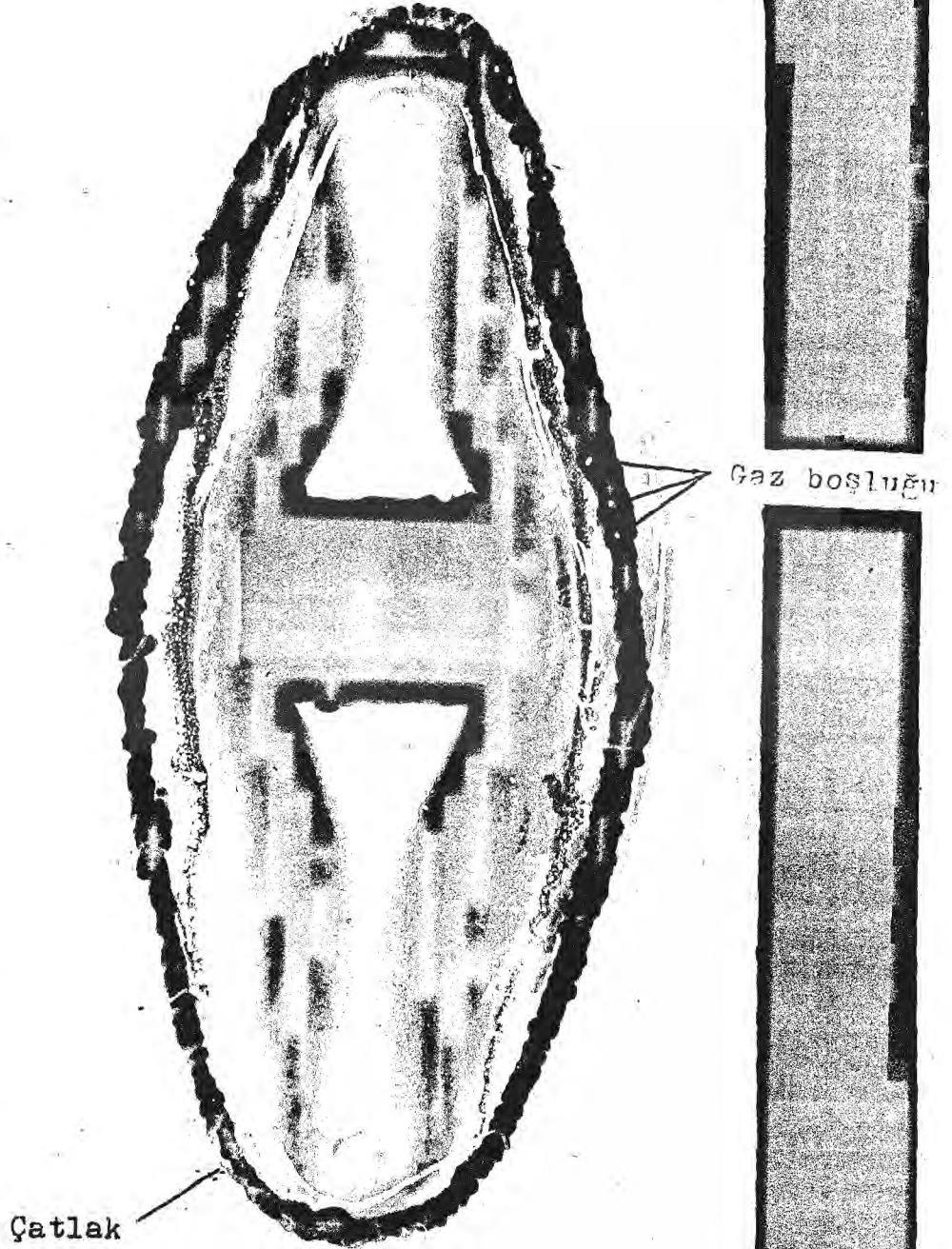
Muayeneci kullandığı metodun hangi ölçüde gerçekleri aksettirebildiğini iyi bilmesi gerekir.Şüpheli kalan hususları hatırdan çıkarmamalıdır.Muayeneci daima kendi kendisine şu soruyu sormalıdır:Hangi ölçüde gerçekleri bulup çıkarabiliyorum?Biz,radyografi ile ultrasonik muayeneleri karşılaştırarak seçimini muayeneyiciye bırakalım.

| Radyografi | Ultrasonik |
|--|--|
| -Yoğunluğu yüksek malzemelerde iyi sonuç vermez. | -Yumuşak ve gevşek dokulu malzemelerde iyi sonuç vermez. |
| -Maksimum 10+12 cm.malzemenin filmini çekebilir. | -Birkaç metreye kadar kalınlıklar incelenebilir. |
| -Kontrol edilecek parça üzerinde bir işlem yapılmaz.Cihazın parça ile teması yoktur. | -Cihazın kontrol edilecek parçaya uygulanacak bir kısmı (prob) vardır.Değme noktasının temiz ve düzgün olması gerekir. |
| -Filmin hazırlanması parçanın arka tarafına yerleştirilmesi,filmin çekilmesi ve banyo edilmesi en az 1/2 saat alır ve devamlı film sarfiyatı vardır. | -Cihaz parçaya uygulandığı anda sonuç verir. |
| -Malzemedeki hata aynen görülür. | -Malzemedeki hata bir işaret (sinyal) şeklinde görülür. |
| -Parçanın geometrik şekli önemli değildir. | -Eğri yüzeyli parçalarda kullanılabilmesi yüzey şekline tam uyabilen problemlerin bulunmasına bağlıdır. |
| -Cihazın kullanılması kolay öğrenilir.Yanıtıcı sonuç verme ihtimali yoktur.Filmi değerlendirmek kolaydır. | -Cihazın kullanılması özel bilgi ve ihtisas ister.Hesaba dayanan kontrol şekilleri de vardır.Kullanmanın tecrübesine göre belirli bir yanılma payı gözönüne alınmalıdır. |
| -Kontrol edilecek parçaların arkasına erişilmesi gerekir. | -Parçaya bir taraftan yaklaşmak gerekir. |
| -Seri halde çalışmak çok sayıda parça için kontrol zamanını kısaltmak mümkündür. | -Seri halde parçaların kontrolü yapılabilir. |
| -Vücut için radyasyon tehlikesi vardır.Cihaz çalışırken korunmak gerekir. | -Vücut için hiç bir tehlikesi yoktur. |

Bu açıklamalardan sonra artık metod seçiminde gözönünde bulundurulması gereken etkenleri sıralayabiliriz: Muayene ekonomisi, ulaşılacak istenen kalite standardı, Parçanın geometrisi, Parçanın malzemesi, Parça sayısı ve muayene oranı, Aranacak hatanın yeri, Cinsi, Hakim doğrultusu, ve Büyüklüğü gibi. Bu faktörlerin münakaşası uygulanacak muayene metodlarını belirler.

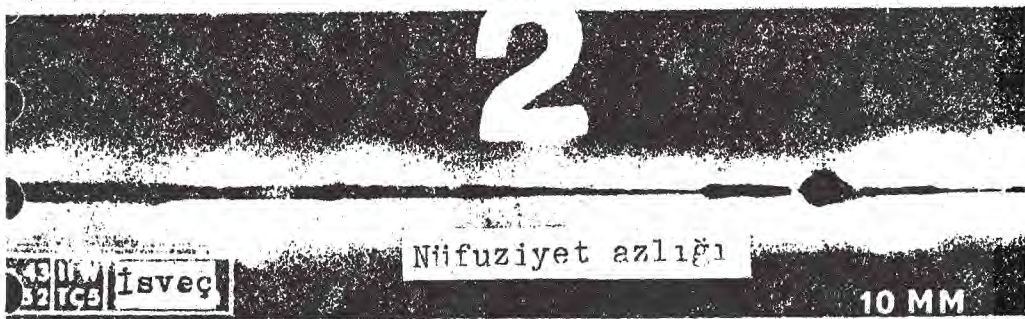
EKLER

Radyografi Filmleri

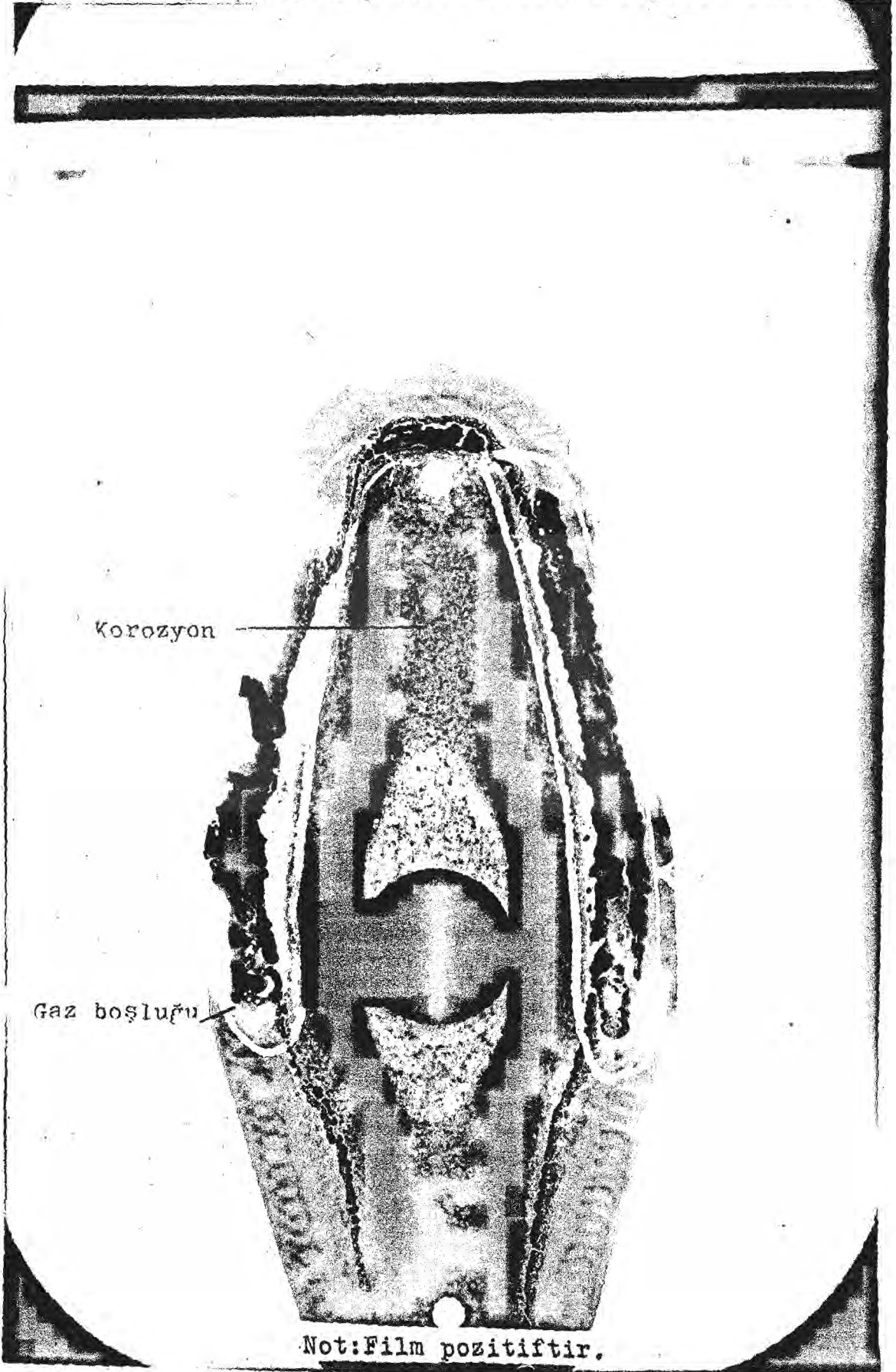


Bir gaz türbini patlama odasındaki kaynak dikişleri
Not: Film pozitiftir.

Çeşitli parçalarda kaynak dikişleri hataları



Bir gaz türoini patlama odasında kaynak hataları



KAYNAKÇA

- Agfa-Gevart. Industrial Radiography. Morstel, Belgium:1981
- Agfa-Gevart. NTD products and systems. Morstel, Belgium:1984
- Anık, Salâhaddin. Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesi. Böhler yayınları. İstanbul
- Anık, Salâhaddin. Kaynak Tekniği. C.I. 3ncü Baskı. İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 1160. İstanbul:1980
- Automation Industries, Inc. Ultrasonic, Eddy current, Radiography. Connecticut, U.S.A.:1985
- Balteau Schlumberger. The Versatile Ultrasonic Flaw Dedector. Milton Keynes, England:1985
- Çiçekdağ, Fahrettin. Anorganik ve Genel Kimya. Ders notları. Eskişehir:D.M.M.A. 1973.
- Dağsöz, Alpin Kemal. Isı Geçişi. Birsen Kitabevi yayınları. İstanbul:1973
- Eastman Kodak Co. Products for Industrial Radiography. New York, U.S.A.:1985
- E.İ.B.M.K. Eddy Akımları ile Muayene. EİBM yayınları. Esk.
- Ergenç, Ahmet. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Tasarım. Böhler Kaynak Dünyası . Sayı 10, İstanbul:1985
- General Dynamics. Non destructive Testing. Eddy Current Testing. Convair Division, Volum III. U.S.A.
- Helvacı, Etem. Ultrasonik ile Tahribatsız Malzeme Muayenesi. Oerlikon yayınları, İstanbul
- Helvacı, Etem. Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik yöntem ile Tahribatsız olarak testi. Oerlikon Kaynak Bilimi, Sal:İst.
- Karasar, Niyazi. Araştırmalarda Rapor Hazırlama Yöntemi 3ncü Baskı, Ankara:1981
- Karl Deutsch GmbH. Instruments and Plants for Non-Destructive Testing of Material. Wuppertal, W. Germany:1985
- Krautkrämer GmbH. Nondestructive testing of material using ultrasonics. Hürth, W. Germany:1985
- Magnaflux Electronic Instrumentation. Portable ultrasonic gauge. Illions, U.S.A.:1984
- Oğuz, Burhan. Kaynak Hataları (2). Oerlikon Kaynak Bilimi. Sayı 1 İstanbul:1984
- Oğuz, Burhan. Kaynak Tarihçesi. Ark Kaynağı El Kitabı. Oerlikon yayınları. İstanbul:1985
- Özden, Nezihi. Endüstriyel Radyografi. S.E.G.E.M. (Sanayi Geliştirme Merkezi). Yayın no:45, Ankara:1981
- Philips GmbH. The Dependables. Industrial X-ray tubes. Hamburg, W. Germany:1985

- Philips GmbH. Inside View. X-ray fluoroscopic inspection systems. Hamburg, W. Germany: 1985
- Philips GmbH. Safety First. Mobile X-ray systems. Hamburg, W. Germany: 1985
- Ridge Inc. Nondestructive Catalog. Georgia, U.S.A.: 1985
- S.E.G.E.M. Girdap akımları ile muayene. Ankara: 1979
- S.E.G.E.M. Magnetik parçacıklarla muayene. Ankara: 1979
- S.E.G.E.M. Penetrant muayene. Ankara: 1979
- S.E.G.E.M. Radyografik muayene. Ankara: 1979
- S.E.G.E.M. Ultrasonic muayene. Ankara: 1979
- S.E.G.E.M. Ultrasonic Muayene. Bölüm IV. Ankara: 1984
- Seferian, Daniel. Kaynak Tekniği-Metallurjisi-Muayenesi. Çevirenler. Prof. Dr. Muzaffer Sağışman. Doç. Y. Müh. Selâhaddin Anık. 2. Tabı. İ.T.Ü. Kütüphanesi. Sayı 422. İstanbul: 1959
- Tech/Ops. Gamma Radiography Equipment. Radiatron Products Division. Mass., U.S.A.: 1984
- Vlack, Lawrence H. Van. Malzeme Bilimine Giriş. Çeviri Recep A. Safoğlu İstanbul: Matbaa Teknisyeni Basımevi. 1972
- Weisbach, Wolfgang. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Çeviri: Prof. Selâhaddin Anık. 2nci Baskı, İstanbul: Birsen Kitabevi yayınları: 1979
- Yahşi, Osman Selçuk. Kırılma mekaniğinin tasarımdaki önemi. Mühendis ve Makina Dergisi. Sayı 293, Ankara: 1984
- Yaman, Macit. Fiziksel Metalurji. A.Ü.F.B.E. Y. Lisans Ders notları. Eskişehir: 1984
- Yılmaz, Mehmet ve Ziya Özü. Kaynak Dikişlerinin Endüstriyel Radyografi Yöntemi ile Muayenesi. Seminer notları. Ankara: S.E.G.E.M. yayınları 1984