

TAHRİBATSIZ MUAYENE USULLERİ VE
UÇAK BAKIM-ONARIMINDA UYGULANMASININ İNCELENMESİ

Müge Armatlı

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Hidayet Buğdaycı

Haziran-1988

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
MÜHÜR

ÖZET

Dinamik yükler ile insan ve doğa unsurundan kaynaklanan hasarlar nedeniyle, uçağın yapısal bütünlüğünün korunmasını takip açısından, uçak yapısının, hasar toleransı ve güvenlik faktörlerine uygun tahribatsız muayene usulleri ile kontrol edilmesi zorunludur. Kendisinden yüksek güvenlik istenen ve yüksek ekonomik değere sahip olan uçaklarda meydana gelebilecek tüm hataların, dizayn aşamasında bilimsel usullerle tesbit edilmiş hasar toleranslarını aşmadan, teşhis edilmesi ve bu limitlerin dışına çıkmamasının sağlanması gerekir. Bu amaçla, günümüzde "Tahribatsız Muayene" denen ve yapıya ilave zararlar vermeden, muayene imkanı sağlayan usuller geliştirilmiştir.

Tezde ilk bölümlerde, tahribatsız muayeneler hakkında genel bilgiler verilmiş ve daha sonra belli başlı muayene metodları ayrı ayrı ele alınarak ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise tahribatsız muayenelerin uçak bakım ve onarımındaki yeri ve önemi açıklanmıştır. Sözü edilen usullerden biri yada birkaçı uçak yapı ve parçaları için uygun olabilmektedir. Muayene işlemi için gerekli usulü seçebilmek için uçağın yapısı, kullanılan malzeme, muhtemel hatanın yeri, tipi, büyüklüğü, yönü, kontrol noktasına ulaşım imkanı, istenen hassasiyet ve işin maliyeti gibi bilgilerin bilinmesi gerekir. Bu nedenle muayene usulleri, fiziksel prensipleri, gerekli malzeme ve teçhizat, usullerin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

Sonuç kısmında ise, uçak yapısının çeşitli kısımları ve malzemeleri için yapının tanındığı ve muhtemel hataların kabulü ile optimum usullerin seçimine gidilmiştir.

SUMMARY

Because of the possible damages caused by dynamic loads, environmental factors and human being itself, aircraft structure should be inspected going through some methods according to damage tolerances of aircraft structure and safety requirement, to be able to keep tracking aircraft structural integrity. All possible failures on aircraft structure which high confidence is expected and has high economical value should be detected before exceeding damage limitations that has been established during design stage so that it will be possible to block damage growth. To be able to serve this aim, some methods called "Non-Destructive Inspection" has been developed and can be performed without damaging the structure.

The general information, about NDI has been given in the leading chapters and then the basic NDI principles has been examined in details individually, in the thesis. In the fourth chapter, the importance of NDI in repair and maintenance of aircraft has been mentioned. Preferably some of the NDI methods in the whole can be suitable to the particular aircraft structure, involved materials, location type, extension and direction of possible failure, access to the location, desired precision and cost of the job must be evaluated to be able to select convenient method. For this reason the subject has been explained in regarding following items. Methods of testing, principles of methods, required material, required devices, operation principles of devices, available precision from devices, preparation requirements to tests, advantages or disadvantages of various methods, accomplishment samples of various methods, accomplishment samples of various methods.

In the last chapter, with the acceptance of existence of knowledge about aircraft structural sections and materials and the probable deviation from the correct results, the selection of optimum methods has been attempted to make.

TEŐEKKÜR

Günümüz teknolojisinde, özellikle havacılıkta büyük öneme sahip olan bu konuda bana çalışma olanağı sağlayan danışman hocam Doç.Dr.Hidayet Buğdaycı'ya (Makina-Uçak Yüksek Mühendisi), E.İ.B.M.K. Tahribatsız Kontrol Atelyesi personeline, şekil ve çizelgelerin oluşturulmasında yardımcı olan Birol Kayrak'a (Makina Mühendisi) teşekkürlerimi borç bilirim.

Müge Armatlı

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
MÜHÜR

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | iv |
| SUMMARY | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | x |
| SİMGELER DİZİNİ | xi |
| | |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 2.TAHRİBATSIZ MUAYENELER HAKKINDA GENEL BİLGİLER | 2 |
| 2.1.Tahribatsız Muayenelerin Tanımı ve Kullanım Amaçları | 2 |
| 2.2.Malzemelerde Karşılaşılan Hatalar | 4 |
| 2.2.1.Süreksizliklerin oluşumu ve meydana getirdikleri hasarlar | 4 |
| 2.2.2.Korozyon | 8 |
| 2.3.Tahribatsız Muayeneler ile Tahribatlı Muayenelerin Karşılaştırılması | 9 |
| 2.3.1.Tahribatsız muayenelerin tahribatlı muayenelere göre avantajları | 9 |
| 2.3.2.Tahribatsız muayenelerin tahribatlı muayenelere göre dezavantajları | 10 |
| 2.4.Malzemelerin Tahribatsız Muayeneye Hazırlanması | 11 |
| 2.4.1.Tahribatsız muayenelerde temizleme metodunun seçimi | 11 |
| 2.4.2.Tahribatsız muayenelerde başlıca yüzey temizleme usulleri | 12 |
| | |
| 3.TAHRİBATSIZ MUAYENE ÇEŞİTLERİ | 14 |
| 3.1.Çıplak Gözle Muayene | 18 |
| 3.2.Optik Aletler ile Muayene | 18 |
| 3.3.Radyografik Muayene | 19 |
| 3.3.1.Radyografinin tanımı | 19 |
| 3.3.2.Radyografisi alınacak parçanın hazırlanmasının önemi | 19 |
| 3.3.3.Radyografide kasetleme ve kasetlerin yerleştirilmesinin önemi | 20 |

ATA DENEY ENERJİ VE
MÜHÜR

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 3.3.4. Radyografide donanımların yerleştirilmesinin önemi | 20 |
| 3.3.5. Radyografik görüntünün oluşması | 22 |
| 3.3.6. Radyografinin görüntü vermediği durumlar | 23 |
| 3.3.7. Radyografi çekiminde düzenlemenin önemi | 23 |
| 3.3.8. Saçılma ve film yarı gölgesinin oluşumu | 26 |
| 3.3.9. Radyografik filmler ve özellikleri | 27 |
| 3.3.10. Ekran çeşitleri ve özellikleri | 28 |
| 3.3.11. Karakteristik eğri | 29 |
| 3.3.12. Film banyoları | 29 |
| 3.3.13. Radyografik kalite | 33 |
| 3.3.14. Tahribatsız muayenede radyografi metodunun avantajları ve dezavantajları | 35 |
| 3.4. Fluoroskopik Muayene | 35 |
| 3.4.1. Tahribatsız muayenede fluoroskopik muayene usulünün avantajları ve dezavantajları | 36 |
| 3.5. Ultrasonik Muayene | 37 |
| 3.5.1. Ultrasesin tanımı | 37 |
| 3.5.2. Akustik empedans | 37 |
| 3.5.3. Ultrasonik muayenenin tanımı ve amaçları | 37 |
| 3.5.4. Ultrasonik dalga çeşitleri | 39 |
| 3.5.5. Ultrasonik dalgaların ara yüzeylerde davranışı | 40 |
| 3.5.6. Ultrasonik test sistemleri | 44 |
| 3.5.7. Ultrasonik test metodları | 47 |
| 3.5.8. Ultrasonik muayenede dalga yayılımına test parçasının etkisi | 49 |
| 3.5.9. Ultrasonik enerjinin üretimi | 51 |
| 3.5.10. Ultrasonik cihazın tanımı ve işleyişi .. | 51 |
| 3.5.11. Problar | 52 |
| 3.5.12. Transduserler | 56 |
| 3.5.13. Akustik emisyon | 57 |
| 3.5.14. Tahribatsız muayenede ultrasonik muayene metodunun avantajları ve dezavantajları | 58 |
| 3.6. Girdap Akımları ile Muayene | 59 |
| 3.6.1. Girdap akımlarının tanımı ve özellikleri | 59 |
| 3.6.2. Girdap akımları ile muayenenin esasları | 60 |
| 3.6.3. Girdap akımlarıyla muayenede etkili başlıca faktörler | 61 |
| 3.6.4. Muayene bobinleri | 67 |
| 3.6.5. Tahribatsız muayenede girdap akımları usulünün avantajları ve dezavantajları | 72 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 3.7.Penetran Sıvı ile Muayene | 73 |
| 3.7.1.Penetran sıvı ile muayenenin tanımı ve uygulanması | 73 |
| 3.7.2.Penetran sıvı ile muayene tekniğinin esasları | 76 |
| 3.7.3.Sıvı penetranların sınıflandırılması özellikleri | 77 |
| 3.7.4.Developerler | 79 |
| 3.7.5.Tahribatsız muayenede sıvı penetran usulünün avantajları ve dezavantajları | 83 |
| 3.8.Magnetik Parçacık Metodu ile Muayene | 84 |
| 3.8.1.Magnetik parçacık metodunun tanımı | 84 |
| 3.8.2.Magnefluks usulü | 84 |
| 3.8.3.Magnaglo usulü ile muayene | 89 |
| 3.8.4.Tahribatsız muayenede magnetik parçacık metodunun avantajları ve dezavantajları | 89 |
| 4.UÇAK BAKIM-ONARIMINDA UYGULANABİLEN BAŞLICA TAHRİBATSIZ MUAYENE USULLERİ | 90 |
| 4.1.Uçak Bakım-Onarımı ve Tahribatsız Kontrol Gereği | 90 |
| 4.2.Uçak Elemanları ve Tahribatsız Muayenesi | 96 |
| 4.2.1.Radyografik muayene usulünün uygulanması | 102 |
| 4.2.2.Ultrasonik muayene usulünün uygulanması | 102 |
| 4.2.3.Girdap akımları muayene usulünün uygulanması | 102 |
| 4.2.4.Penetran sıvı muayene usulünün uygulanması | 103 |
| 4.2.5.Magnetik parçacıkla muayene usulünün uygulanması | 103 |
| 4.3.Uçaklarda Petek Yapıların Tahribatsız Muayenesi | 111 |
| 4.3.1.Uçaklarda petek yapılara ultrasonik muayene usulünün uygulanması | 111 |
| 4.3.2.Uçaklarda petek yapılara radyografik muayene usulünün uygulanması | 118 |
| 4.3.3.Girdap akımları ile muayene usulünün uygulanması | 118 |
| 4.3.4.Uçaklarda petek yapılara akustik emisyon muayene usulünün uygulanması | 118 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 4.4.Uçaklarda Kompozit Malzemelerin Tahribatsız Muayenesi | 118 |
| 5.SONUÇLAR ÖNERİLER | 121 |
| 5.1.Genel Değerlendirme | 121 |
| 5.2.Radyografik Muayene | 122 |
| 5.3.Ultrasonik Muayene | 123 |
| 5.4.Girdap Akımlarıyla Muayene | 124 |
| 5.5.Penetran Sıvı ile Muayene | 125 |
| 5.6.Magnetik Parçacıklar ile Muayene | 126 |
| EK AÇIKLAMALAR-A | 127 |
| X ve IŞINLARININ ÖZELLİKLERİ VE ELDE EDİLİŞLERİ | 127 |
| A.1.X ve γ Işınlarnının Özellikleri | 127 |
| A.2.X-Işını Üretimi | 128 |
| A.3. γ -Işını Üretimi | 131 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ | 132 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1. Optimum kalite diyagramı | 3 |
| 2.2. Parçanın servis ömrüne etki eden etkenler | 6 |
| 2.3. Parçada servis süresince oluşan değişmeler | 7 |
| 3.1. Yüzeyde bulunan hataların tesbiti için kul- lanılan usuller | 15 |
| 3.2. Parça yüzeyine uzak kısımlardaki hataların belirlenmesinde kullanılan usuller | 16 |
| 3.3. İç yapı hatalarının belirlenmesinde kulla- nılan usuller | 17 |
| 3.4. Radyografinin prensip şeması | 21 |
| 3.5. Radyografinin görüntü vermeyeceği durumlar | 24 |
| 3.6. Çekim işleminde doğru ve hatalı yönlendir- meler | 24 |
| 3.7. Geometrik yarı gölge | 26 |
| 3.8. Radyografi filminin yapısı ve tabakaları- nın kalınlıkları | 28 |
| 3.9. Kurşun ekranın şiddetlendirme oranının enerji ile değişimi | 30 |
| 3.10. Radyografi filmlerine ait karakteristik eğriler | 30 |
| 3.11. Radyografik değerlendirmeyi etkileyen faktörler | 34 |
| 3.12. Fluoroskopik muayene cihazı | 36 |
| 3.13. Ultrasonik dalga çeşitleri..... | 41 |
| 3.14. Ultrasonik ışının ara yüzeylerde yansı- ması ve kırılması | 42 |
| 3.15. Darbe-yankı sistemi | 44 |
| 3.16. Direkt iletim sistemi | 45 |
| 3.17. Rezonans sistemi | 46 |
| 3.18. Rezonans sisteminde sürekli sabit dal- ganın oluşumu | 47 |
| 3.19. Daldırma metodu | 48 |
| 3.20. CRT görüntüleri | 50 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 3.21. Ultrasonik cihazın blok diyagramı | 53 |
| 3.22. Çeşitli prob tipleri | 55 |
| 3.23. İletken malzemede girdap akımları | 60 |
| 3.24. Girdap akımlarıyla parça muayenesi | 61 |
| 3.25. Düşük ve yüksek iletkenliğe sahip malzeme- melerde girdap akım alanları | 63 |
| 3.26. Malzemelerin magnetik geçirgenliğinin girdap akım şiddeti üzerine etkisi | 64 |
| 3.27. Frekansın girdap akımlarının nüfuziyet derinliğine etkisi | 66 |
| 3.28. Girdap akımı bobin tipleri | 69 |
| 3.29. Çevresel bobinler | 70 |
| 3.30. Girdap akımları ile muayenenin prensip şemaları | 71 |
| 3.31. Penetran sıvı ile muayene metodunun uygulanma prensipleri | 74 |
| 3.32. Temas açısına bağlı olarak yüzeydeki ıslanma durumu | 76 |
| 3.33. Temas açısına bağlı olarak bir kapiler tüp içindeki sıvının yükselmesi yada alçalması | 77 |
| 3.34. Yağlı emülsilerin etkilenme mekanizması | 80 |
| 3.35. Sulu emülsifierin etkileme mekanizması | 80 |
| 3.36. Developer mekanizması | 82 |
| 3.37. Çevresel magnetizasyon | 85 |
| 3.38. Boylamasına magnetizasyon | 86 |
| 3.39. Çatlak nedeniyle kaçak alanın oluşması | 86 |
| 4.1. Bir uçakta ek yükler sonucu oluşan yorulma çatlakları | 92 |
| 4.2. Kanat iç kısmında oluşan yorulma çatlağı .. | 93 |
| 4.3. Sürüklenme payandasındaki yorulma çatla- ğına maruz kalan bölge | 94 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 4.4. Gerilme-uçuş saat diyagramı | 95 |
| 4.5. Kanatta bulunan kritik bölgeler | 97 |
| 4.6. Güç grubunda bulunan kritik bölgeler | 98 |
| 4.7. Kuyruk grubunda bulunan kritik bölgeler .. | 99 |
| 4.8. Gövdede bulunan kritik bölgeler | 100 |
| 4.9. İniş takımlarında bulunan kritik bölgeler | 101 |
| 4.10. Petek yapı | 112 |
| 4.11. Bir uçak üzerindeki petek yapıllı kısımlar | 113 |
| 4.12. Bir ultrasonik cihazı ile petek yapının kontrolü | 115 |
| 4.13. Radyografik usul ile tesbit edilmiş petek hücrelerindeki su | 116 |
| 4.14. Radyografik usul ile petek yapının ezil- mesinin tesbiti | 117 |
| A.1. X-ışınları tüpü | 130 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 3.1. Bazı fotografik yoğunluk değerleri ve ifade ettikleri ışık geçiş oranları | 33 |
| 3.2. Bazı malzemelerin akustik empedansları ve yoğunlukları | 39 |
| 3.3. Bazı malzemelerde akustik hızlar | 41 |
| 3.4. Kimi malzemelerin iletkenlik, magnetik geçirgenlik ve nüfuziyet derinliği değerleri | 67 |
| 3.5. Kimi hata çeşitleri için gerekli penetran nüfuziyet süreleri | 75 |
| 4.1. Uçak bakım-onarımında radyografik muayenenin uygulanma sahaları | 104 |
| 4.2. Uçak bakım-onarımında ultrasonik muayenenin uygulanma sahaları | 106 |
| 4.3. Uçak bakım-onarımında girdap akımlarıyla muayenenin uygulanma sahaları | 107 |
| 4.4. Uçak bakım-onarımında penetran sıvı usulü ile muayenenin uygulanma sahaları | 108 |
| 4.5. Uçak bakım-onarımında magnetik parçacıklarla muayenenin uygulanma sahaları | 110 |
| 4.6. Petek yapılarda oluşan çeşitli hataların tesbiti için kullanılan tahribatsız muayene usulleri | 112 |
| 4.7. Kompozit malzemelerdeki hata çeşitleri için önerilen tahribatsız muayeneler | 120 |
| A.1. Çeşitli enerji değerleri ve metaller için zayıflama katsayıları | 128 |
| A.2. X ve γ Işınlalarının karakteristik özellikleri | 129 |
| A.3. Endüstriyel radyografide kullanılan bazı boşluk kaynakları ve özellikleri | 132 |

SİMGELER DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|----------------|---|
| A | Titreşim genliği, m |
| c | Ses hızı, m/sn |
| c _B | Boyuna dalga'nın yayınma hızı, m/sn |
| c _E | Enine dalga'nın yayınma hızı, m/sn |
| c _Y | Yüzey dalgasının yayınma hızı, m/sn |
| d | Malzeme kalınlığı, mm |
| D _p | Nüfuziyet derinliği, mm |
| E | Elektromagnetik ışınım enerjisi, keV |
| E _R | Radyasyon dozu, rem |
| f | Bobin frekansı, Hz |
| H _p | Primer alternatif akım alanı, Wb/cm ² |
| H _s | Sekonder alternatif akım alanı, Wb/cm ² |
| I | Işınımın bir d kalınlığı-nı katettikten sonraki şiddeti, rem/sn |
| I ₀ | Işınımın başlangıç şiddeti, rem/sn |
| I _R | Filme ulaşan radyasyon şiddeti, rem/sn |
| I _U | Ultrasonik enerji şiddeti, W/sn |
| M | Muayene parçasının magnetik geçirgenliği, Wb/cm ³ |
| R | Muayene parçasının iletkenliği, Ω.m.10 ² |
| t | Poz süresi, sn |
| W | Ortamın akustik empedansı, kg/m ² .sn |

SİMGELELER DİZİNİ (devam)

| <u>Simge</u> | <u>Açıklama</u> |
|--------------|---|
| ω | Açısal frekans, Hz |
| ρ | Özgül kütle, kg/m^3 |
| λ | Elektromagnetik ışınının dalga boyu, Å° |
| μ | Zayıflama katsayısı, cm^{-1} |
| ν | Poisson oranı |

1.GİRİŞ

Malzeme muayenesi genel olarak malzemenin garanti edilmiş özelliklerine ait değerleri (numunenin alındığı parçanın ve kalitesinin kontrolü), malzemenin işlenme özelliklerinin (teknolojik muayene), iç yapının ve kimyasal bileşenlerin, ham durumdaki parçalarla mamul parçaların iç hatalarının kontrolü gibi hususları kapsar. Böylece herhangi bir parçanın hazırlanması sırasında geçirdiği işlem kademelerinde hatalı imalat yapılması, uygun olmayan malzeme kullanımı engellenmiş olur. Malzeme muayenesinin diğer bir amacında kopma, şekil değişimine uğrama yada makina parçalarının zamanından erken aşınması halinde, hasar nedenlerini açığa çıkarmaktır.

Malzeme muayenesi, tahribatlı ve tahribatsız muayeneler olmak üzere iki grupta toplanır.

Tahribatlı muayene usullerinde, özel olarak üretilmiş bir numune parçası üzerinde muayene işlemi gerçekleştirilir ve numune sonuçta tahrip olduğu için bir daha kullanılamaz. Ayrıca numunenin tahrip edilmesiyle elde edilen bilgiler homojen malzemedeki oluşan parçanın tümünün ortalama değerleri hakkında bir fikir verebilmelidir. Sertlik ölçme deneyi, çekme deneyi, basma deneyi, eğme ve burkulma deneyleri başlıca tahribatlı muayene usullerini oluşturur.

Tahribatsız muayeneler, belirli bir kullanım amacı için gerekli özelliklere zarar verecek ölçüde hasar yapmadan malzemelerinin muayenesine imkan veren usuller olarak tanımlanır. Servisteki bir parçanın, hizmetine devam edebilmesi için tahribatsız usullerle muayenesi gerekir. Tahribatsız muayene usullerinin servis süresince en sık kullanıldığı alanlardan biri ise uçak bakım ve onarımıdır. Havacılıkta kontrol ve bakım doğrudan insanın can güvenliği ile ilgili olduğundan, kazaya neden olacak teknik arıza ihtimalinin, düşünülecek en alt sınıra indirilmesi şarttır. Bu ölçüde yüksek bir emniyet, ancak ciddi ve uygun tahribatsız muayene usullerinin uygulanması ile sağlanabilir.

2.TAHRİBATSIZ MUAYENELER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1.Tahribatsız Muayenelerin Tanımı ve Kullanım Amaçları

Tahribatsız muayene, herhangi bir malzemenin bileşimi, geometrisi, imalat ve yapı hataları hakkında bilgi edinmek amacıyla onu fiziksel ve fonksiyonel özelliklerine zarar verecek herhangi bir hasara uğratmadan yapılan deneyler olup, imal usullerinde kalite kontrolünde yarar. (Wolfgang, 1977)

Tahribatsız muayenelerin başlıca uygulama yerleri ve amaçları şu şekilde gruplandırılabilir:

1.Tamamlanmış imalatın kontrolünde, mamulün ilgili mühendislik standartlarına ve teknik şartnamelere uygunluğunu kontrol etmek, böylece güvenilirliğini artırmak.

2.Tamir, bakım, onarım faaliyetlerinde.

a.Yeni hataları daha başlangıç döneminde belirlemek.

b.Önceden bilinen kusurlardaki gelişmeyi izlemek.

3.Araştırma faaliyetlerinde.

a.Yeni bir mamul geliştirmek.

b.Yeni bir imalat metodu geliştirmek.

4.Emniyet faktörünü yükseltmek amacıyla.

Emniyet faktörü, bir yapının önceden belirlenmiş olan hasar toleransları ve güvenlik payları olarak tanımlanabilir. Emniyet faktörünün yükseltilmesinin sağlanması, insan hayatının korunup, milli servet kaybının önlenmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Bir otomobil aksının, uçak motorunun arıza yapması ender görülen durumlardır. Bunun nedeni kullandığımız araç, gereç, makina ve diğer endüstri ürünlerinin yüksek bir emniyet faktörüne sahip olarak imal edilmeleridir. Bu yüksek emniyet faktörünün sağlanıp sağlanmadığı ancak tahribatsız muayenelerin uygulanması ile tatbik edilebilir.

5.Ekonomik amaçlar.

a.Müşteriyi memnun etme: Özellikle pazar rekabeti nedeniyle, kusursuz veya en az kusurlu bir ürün elde etmede, tahribatsız muayene usullerinden yararlanılabilir.

b.Mamul geliştirilmesi: Tahribatsız muayenelerle kusurlar saptanarak mamulün mükemmelleştirilmesi sağlanabilir.

c.Red ve iade oranlarının azaltılmasında uygun bir kontroldür.

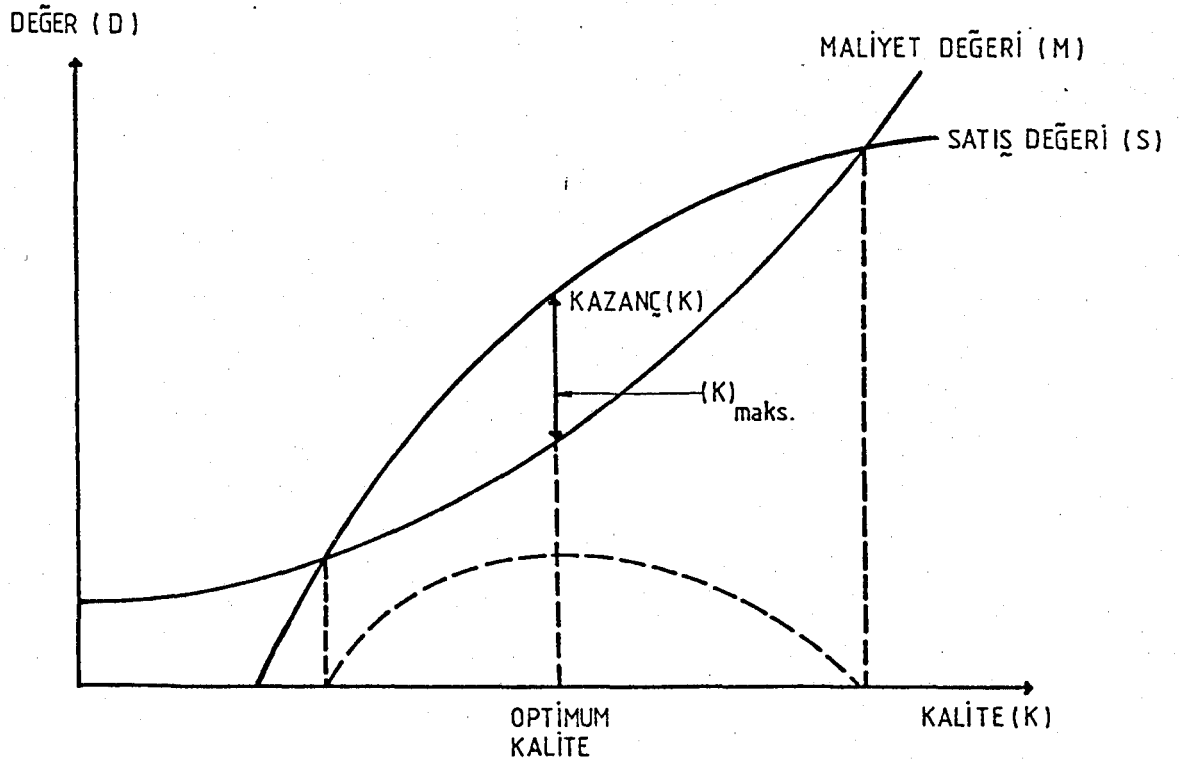
d.Üretim giderlerinin azaltılması: Üretimin erken aşamalarında hatalar belirlenerek, işçilikten ve zamandan kazanç sağlanabilir.

e.Düzenli bir optimum kalite sağlanması: Optimum kalite şekil 2.1.'de verilen diyagramdan yararlanılarak saptanır.

Şekil 2.1.'de kalite olarak üründen beklenen özellikler yatay ekseninde, değer ise düşey ekseninde gösterilmektedir. Satış değeri ile maliyet değeri arasındaki fark, satıştan elde edilen kazanç (K) olmaktadır. Kazancın maksimum olduğu kalite değerine "Optimum Kalite" denir. (Tekiz, 1984)

$$K(k,d)=S(k,d)-M(k,d)$$

Ürünün kalitesi belirlendikten sonra kaliteyi oluşturan özelliklerin kontrolü ve sürdürülmesi gerekli ve yeterli tahribatsız muayene usullerinin uygulanması ile mümkün olur.



Şekil 2.1. Optimum kalite diyagramı

2.2.Malzemelerde Karşılaşılan Hatalar

Malzemelerde karşılaşılan başlıca hatalar kısaca malzemenin yapısında oluşabilen heterojenlikler ve süreksizlikler olarak tanımlanabilir. Bunlar;

1.Makro hatalar: Yaklaşık boyutları 10^0 cm mertebesinde olan hatalardır. Boşluklar, çatlaklar, kaba kalıntılar, blok segregasyonu ve makro gerilmeler, makro hatalara örnek olarak verilebilirler.

2.Mikro hatalar: Yaklaşık boyutları 10^{-2} cm mertebesinde olan hatalardır. Tane yapısı hataları, ince kalıntılar, taneler arası korozyon, mikro çatlaklar ve mikro gerilmeler mikro hatalara örnek olarak verilebilirler.

3.Mikro altı hatalar: Yaklaşık boyutları 10^{-4} cm mertebesinde olan hatalardır. Yaşlanma sertleşmesi, tavlama ve temperlemeden oluşan bazı yapı değişimleri, mikro altı gerilmeleri bu hata türüne örnek olarak verilebilirler.

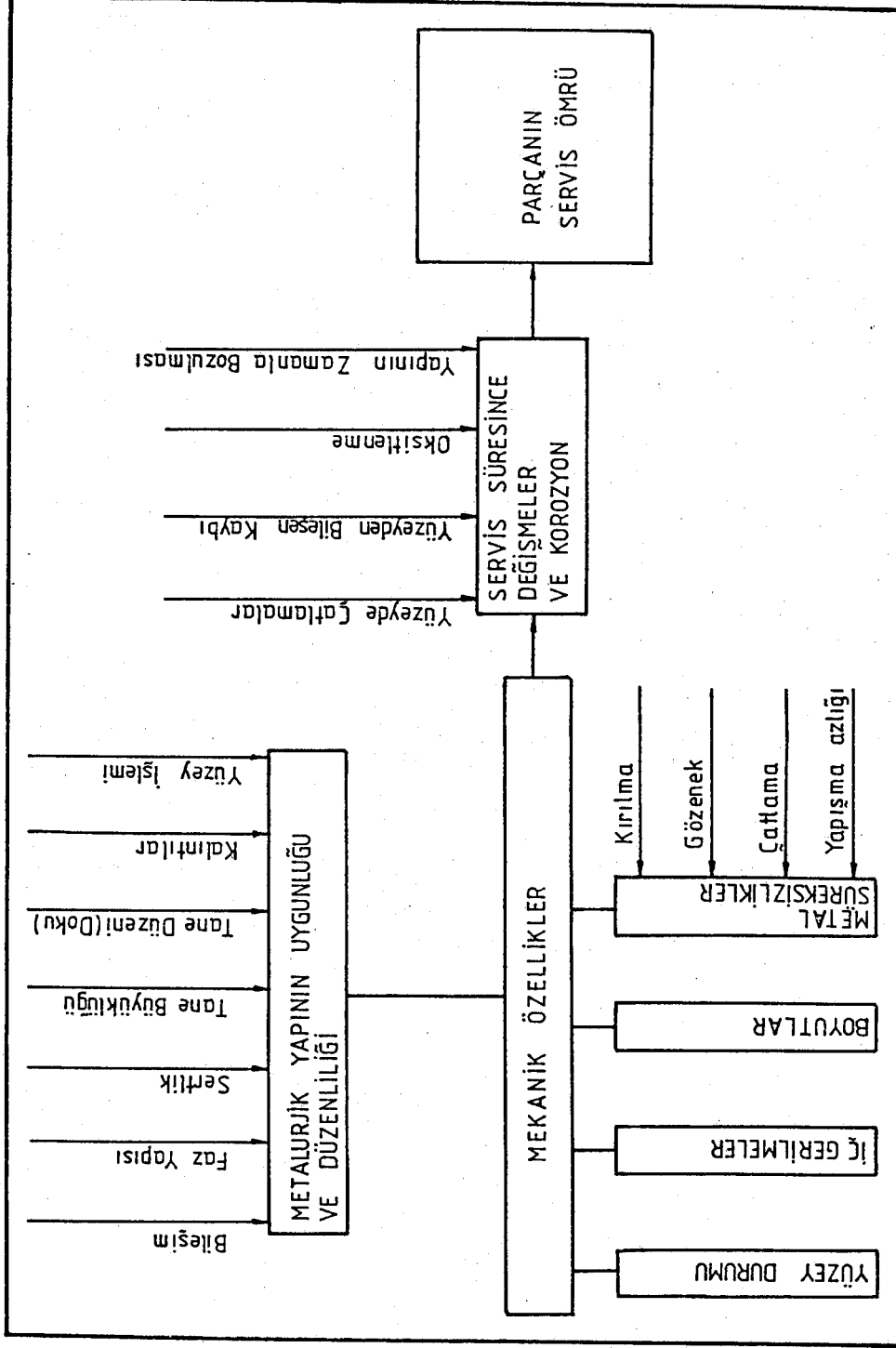
4.Kafes hataları: Yaklaşık boyutları 10^{-6} cm mertebesinde olan hatalardır. Yeraılan atomları, arayer atomları, dislokasyonlar ve atom boşluğu kafes hatalarına örnek olarak verilebilirler.

Yukarıdaki maddelerde sözü edilen hataların parçanın servis ömrüne olan etkileri önemli bir husustur. Bu sebeple şekil 2.2. ve şekil 2.3.'de parçanın servis ömrüne etkiyen etkenler ve servis sürecince oluşan değişimler verilmektedir.

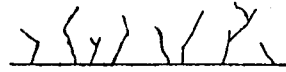
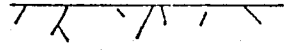
2.2.1.Süreksizliklerin oluşumu ve meydana getirdikleri hasarlar

Çalışma gerilmeleri esnasında oluşan çatlaklar, çalışma süreksizlikleri olarak adlandırılır. Bunlar, sürekli gerilim sonucu oluşan yorulma çatlakları ve bir yada daha az sayıda yüksek gerilim tatbiki sonucu oluşan statik çatlaklardır.

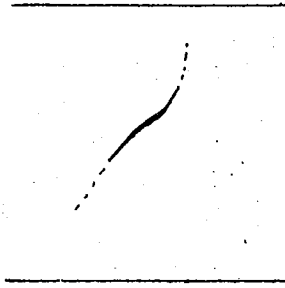
Yorulma çatlakları, gerilimin yoğun olduğu alanlarda veya yakınlarında olur. Bunlar yağ delikleri, kanallar ve dışlardır. Bu kısımlar genellikle uygulanan gerilimlere kolayca dayanacak şekilde dizayn edilmiştir.



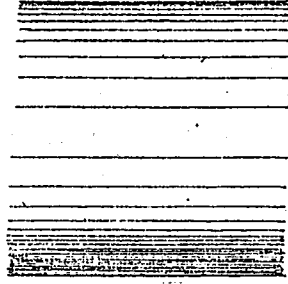
Sekil 2.2. Parçanın servis ömrüne etki eden etkenler (Tekiz, 1984)



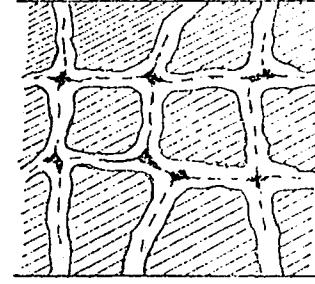
Yüzey çatlama
Yorulma odakları



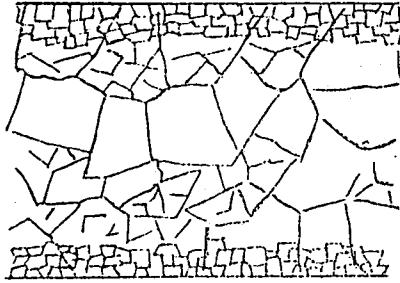
Çatlak büyümesi



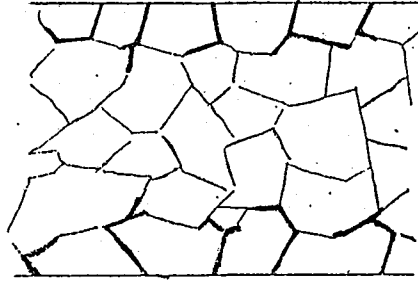
Bileşen kaybı



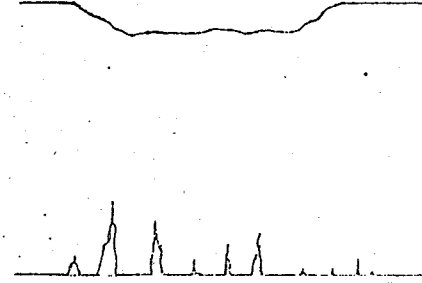
Yapının değişmesi



Yeniden billurlaşma
Tane büyümesi



Taneler arası etki



Korozyon
Pitting

Şekil 2.3.Parçada servis sürecinde oluşan değişmeler (Tekiz, 1984)

Keskin kenarlı yağ delikleri ve yetersiz işlenmiş köşeler gibi hatalı dizayn, gerilim yoğunlaşmasına neden olur. Gerilimin biriktiği alanlarda herhangi bir süreksizlik varsa, yorulma çatlaklarının oluşması ihtimali çok artar. Yorulma çatlakları büyüyebilir. Çok küçük mikroskobik çatlaklar şeklinde başlayıp tekrarlanan gerilmelerle yayılırlar. Bu yayılma, küçük bir yük ile parça kırılacak hale gelecek şekilde kesip daralana dek sürer. Yorulma çatlaklarının büyüme hızı gerilimin durumuna göre değişir. Örneğin, piston pimlerinde çatlağın ilerlemesi yavaştır. Gerilimin sürekli uygulandığı durumlarda, özellikle kırılğan malzemelerde çatlağın ilerlemesi çok ani olmaktadır.

Çatlak parçalar kırılmanın ciddi bir nedenidir. Kontrol sırasında bunların tesbiti çok önemlidir. Uçuş sırasında bir uçakta yada çalışan bir motorda dönen, karşılıklı çalışan parçalar ve uçağın yapısındaki titreşimler tekrar eden gerilme tatbiki oluşturur. Bu gerilmeler yorulma çatlaklarına, hassas parçalarda kolayca kırılmalara sebep olabilir. Bir parçada beliren süreksizlik, yorulma kırılmasının merkezini oluşturacağından önemli bir tehlike kaynağıdır. Yorulma çatlağı mutlaka parça yeniden işlenerek giderilmelidir, aksi halde parçanın atılmasına neden olur.

Yüzeyde bulunan süreksizlikler, yüzey altı süreksizliklerinden daha önemlidir. Yüzey altı süreksizlikleri ise yüzeye yaklaştıkça daha önemli olurlar. Uzun süreksizlikler, genellikle daha önemlidir. Ancak, yüksek gerilme altında mikroskopta görülemeyecek kadar küçük süreksizlikler bile yorulma kırılmasına bir başlangıç oluşturabilir.

Çevrimsel gerilmeler altındaki bir parçada bulunan süreksizlikler arasına gerilime maruz kalan süreksizliklerden daha tehlikelidir.

2.2.2.Korozyon

Günlük hayatta kullandığımız metallerin çoğu tabiattaki doğal hallerine dönüşmek isterler. Örneğin, demir nemli ortamda doğal şekli olan demiroksit'e dönüşecektir. Korozyon bir çok metalin doğal hallerine dönüşme eğiliminde olmalarının bir sonucudur. Ancak bir metal kimyasal bir maddeyle direkt reaksiyona sokularakta korozyona uğratılabilir. Korozyon genelde atmosferik etkiler nedeniyle yüzeyde başladığı için gözle görülebilir. Uçağın pek çok kısmına serbest ve rahat girmek sınırlı olduğundan korozyon tesbiti için tahribatsız kontrol gereklidir.

Hava araçlarında (uçaklarda) korozyon tehlikesi çok önemli olup, rastlanılan başlıca korozyon türleri şunlardır;

a.Karınçalanma korozyonu: Alüminyum ve magnezyumdan imal edilmiş parça ve kısımlarda en çok rastlanan bir korozyon çeşidi olup, yüzeyde küçük delikler ve oyuklar şeklinde görülür.

b.Tane sınırlarındaki korozyon: Metalin yapısını oluşturan küçük tanelerin sınırları ile merkezindeki bileşimi farklı olması halinde, metal yüzeyine bir elektrolit temas ettiğinde, tane sınırlarında oluşan hızlı bir bölgesel korozyon olup, büyük bir kütle şeklinde görülür.

c.Ėksflerasyon korozyon: Yüzeyde başlayıp yüzeyin altında tane sınırları boyunca ilerleyen bir korozyon türü olup, ekstrüzyonla imal edilmiş kısımlarda daha sık görülür ve bu tür korozyona uğrayan parça yada kısım pul pul dökülerek aşınır.

d.Galvanik korozyon: Esasta değişik metallerin temasta olduğu yerlerde görülen, ancak bir elektrolit varsa metallere arasındaki elektriki potansiyel farkının elektrokimyasal bir pil oluşturması sonucu meydana gelen korozyon olup, uçak gövde yapılarında çok sık rastlanır. Örneğin, metal yapıları bir uçak kanadında bulunan birbirleriyle perçinlenmiş alüminyum ve magnezyum levhalar bu tür korozyona çok sık uğrarlar.

e.Konsantrasyon pili korozyonu: Bir metalin iki yada daha fazla yüzeyinin aynı solüsyonun değişik konstrasyonları ile temasta olması halinde görülen bir korozyon türüdür.

f.Gerilim korozyonu: Bir metal kritik gerilim aralığı içinde bir gerilmeye maruz kaldığında, gerilmenin odaklandığı yerde görülen korozyon tipidir. Genelde yüzeyde başlar, uçaklarda kanat kaplaması ile iç kısmındaki metallerin temas eden yüzeyleri arasında sıkça görülür. Bunların veya çatlakların iç kısmındaki bu tür korozyonun gözle tespiti, söküm yapılmaksızın imkansız denecek kadar zordur.

g.Yorulma korozyonu: Periyodik gerilme ve korozyonun birlikte etki etmesiyle oluşan özel bir gerilme korozyonudur. Eğer parça korozif bir atmosfer içindeyse ve periyodik gerilmelere maruz ise, yüzeyden başlayan ve süratle iç kısımlara yayılan bir korozyon söz konusudur. Yorulma korozyonunun yarattığı hasar, tek tek tekrarlı gerilmelerin ve korozyonun yaptığı hasarın toplamından daha fazladır.

2.3.Tahribatsız Muayeneler ile Tahribatlı Muayenelerin Karşılaştırılması

Tahribatlı muayenelerde, deney numunesi bir daha kullanılamayacak biçimde tahrip olur. Çekme, basma, burulma, eğilme, yorulma ve sürünme deneyleri bu tip deneyler olup, denenen parçalar bir daha kullanılamazlar. Tahribatsız muayenelerde böyle bir durum genelde söz konusu değildir. Ancak her iki muayene tipinde birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri vardır.

2.3.1.Tahribatsız muayenelerin tahribatlı muayenelere göre avantajları

1.Tahribatsız muayenelerde denenen parça tahrip olmadığından hurdaya ayrılmaz.

2.Tahribatsız muayenelerde, bir tek parçaya bir kaç deney metodu ardarda uygulanabilir. Tahribatlı deneylerde ise genellikle farklı tipten deneyler farklı numuneler gerektirdiğinden böyle bir uygulama yapılamaz.

3.Tahribatsız muayenelerde tesisin çalışması durdurulmadan deney tatbik edilebilir. Özel olarak bir numune hazırlama işi yoktur. Tahribatlı deneylerde ise numune hazırlama bir çok özel işlem gerektirir.

4.Tahribatsız muayeneler, alıcıya ve üreticiye imal edilmiş ürünün kullanılmasından önce muayene edilmesi imkânını verir. Tahribatlı muayenelerde ise numunenin, orjinal parçanın aynı olduğu kabulü geçerlidir yani örnekleme söz konusudur.

5.Tahribatsız muayene cihazları genellikle portatif cihazlardır. Tahribatlı muayene cihazları daha ziyade sabittirler.

6.Tahribatsız muayeneler daha hızlı yapılabildiğinden, daha az zamanda daha çok parça muayene edilebilir. Tahribatlı muayenelerde numune hazırlama dahil toplam muayene süresi uzundur.

7.Tahribatsız muayenelerde işçilik giderleri tahribatlı muayenelere oranla daha azdır.

2.3.2.Tahribatsız muayenelerin tahribatlı muayenelere göre dezavantajları

1.Tahribatsız muayenelerde muayene sonuçlarının değerlendirilmesi tecrübeli ve kalifiye bir eleman gerektirirken, tahribatlı muayenelerde genelde çok iyi yetişmiş bir elemandan yararlanmak gerekmez.

2.Tahribatsız muayenelerde esas olarak malzemeye göre muayene usulü belirlenir. Bu durum deneme imkânı açısından malzemenin cinsine göre bir sınırlılık oluşturabilir. Tahribatlı muayenelerde malzeme türünün muayene usulü üzerinde bir etkisi yoktur.

3.Tahribatsız muayenelerde ölçümler esasta kıyaslamalı veya kalitatif değerlerdir. Tahribatlı deneylerde ise parçanın tahrip olması sonucu güvenilir sonuçlar elde edilir.

4.Tahribatsız muayenelerde test edilecek parçanın geometrik özellikleri kimi durumlarda muayene işleminin uygulanmasına imkan vermeyebilir. Tahribatlı muayenelerde ise parça geometrisinin bir önemi yoktur, numune belirli normlardan birine uygun olarak hazırlanır.

5.Tahribatsız muayenelerde farklı sonuçlar elde edilmesi halinde gözlemciler arasında bir uyumsuzluk oluşabilir. Tahribatlı muayenelerde ise sonuçların yorumu için gözlemcileri çok az serbestlik bırakılmıştır.

2.4.Malzemelerin Tahribatsız Muayeneye Hazırlanması

Tahribatsız muayenede, malzemenin muayeneye hazırlanması önemli bir husustur. Eğer uygun bir temizleme metodu kullanılmamışsa hata gizlenmiş olabilir. Bu durumda, kirletici malzemelerin çeşitlerini ve bunları parçayı hasara uğratmadan temizlemeyi iyi bilmek gerekir.

Metalleri temizlerken karşılaşılan kirler organik ve inorganik olarak sınıflandırılır. Organik maddeler yağ, gres, boya ve bunun gibidir.

2.4.1.Tahribatsız muayenelerde temizleme metodunun seçimi

Tahribatsız muayenelerde temizleme metodunun seçimi çok önemlidir zira, bir tek temizleme metodu seçerek bununla tüm parçaları temizlemek mümkün değildir. Çünkü bazı parçaları temizleyen madde başka parçaları temizleyebilir veya alaşımlara etki edebilir. Örneğin, sertleştirilmiş bir çelik parçasını temizlemede emniyetle kullanılabilen bir temizleyici, daha yumuşak malzeme ile imal edilmiş aynı formdaki bir parçada hasar yaratabilir.

Temizleme metodunu seçebilmek için şu hususlara dikkat edilmelidir:

- 1.Parçanın bileşimi bilinmelidir.
- 2.Giderilmesi gereken kirin türü tesbit edilmelidir.
- 3.Malzemeye zarar verebilecek temizleme usulleri belirlenmelidir.

4. Muayene işleminin gerçekleştirilebilmesi için ne derecede bir temizlik gerektiği bilinmelidir.

5. Hangi temizleyici maddelerin ve teçhizatın kullanılması imkanı olduğu tesbit edilmelidir.

6. Personel için herhangi bir tehlikenin sözkonusu olup olmadığı belirlenmelidir.

2.4.2. Tahribatsız muayenelerde başlıca yüzey temizleme usulleri

2.4.2.1. Mekanik temizleme

Mekanik temizleme yöntemleri kimyasal yöntemlerle temizleme yapılamıyorsa kullanılabilir. Ancak mekanik yöntemlerin metal kaybına ve küçük çatlakların belirsizleşmesine sebep olabileceği unutulmamalıdır. Başlıca mekanik temizleme usulleri ise şunlardır:

a. Elle fırçalama ve kumlama: Bu yöntemler ince korozyon, oksit ve boya tabakalarını gidermede kullanılırlar. Ancak, yeterince dikkat gösterilmezse kusurların üstü kapanabilir ve eğer parça kritik boyutta ise gerekli parlatma için fazla metal kaldırabilir.

b. Kumaşla parlatma: Bu yöntem yüzeyi önceden temizlenmiş parçaların parlatılmasında kullanılır. Parlatma disklerinde kir birikintileri olmamalıdır, aksi halde çatlaklar kirle dolabilir.

c. Üfleme ile temizleme: Yüzeye kum veya metal parçacıkları üflenerek uygulanan bir yöntemdir. Ancak, bu yöntem çatlakları çekişleme ve üzerini kapatma eğilimi gösterir.

2.4.2.2. Kimyasal temizleme

Tahribatsız muayeneden önce en ideal temizleme yöntemi-
dir. Çünkü kirler çatlakların arasını doldurmadan giderilebilir. Ençok kullanılan kimyasal temizleme usulleri şunlardır:

a.Çözündürücü ile temizleme: İşlem, çözündürücü ve emülsiyon etkisi göstererek kirleri gideren temizleyici sıvılar ile gerçekleştirilir. Temizleme işleminde kullanılan başlıca maddeler keroson, petrol ve trikloretilendir.

b.Buharla temizleme: Bu yöntem, organik maddeleri temizlemede kullanılır. Temizlenecek parçanın yüzeyi, temizleme sıvısının buharına maruz bırakılır. Yoğunlaşan buhar, parça üzerinde çözündürme ve yıkama etkisi yapar.

c.Alkali ile temizleme: Bu yöntemde bazik kimyasal maddelerden oluşmuş bir alkali solüsyonu ile temizleme yapılır. İşlem için 96-99°C'lik bir sıcaklık önerilir. Alkali tankına batırılan parçanın orada kalma süresi ise kirin cinsine ve yoğunluğuna göre değişir. Bu temizleme yöntemi ile çinko, alüminyum, magnezyum, pirinç alaşımları ve kimyasal olarak alkali solüsyonundan etkilenebilecek bir metal veya alaşım temizlenebilir.

d.Asitle temizleme: Parçadaki inorganik kirleri temizlemek için kullanılan bir yöntemdir. Pas, lehim ve kaynak curufu gibi kirleri temizler. Asitle temizleme solüsyonları zehirli ve korozyif olduğundan suya batırarak, temizleme işlemi sıkı kontrol altında yapılmalıdır.

2.4.2.3.Ultrasonik temizleme

Ultrasonik temizlemede, sıvı temizleyici içinden geçen yüksek frekanslı ses dalgalarından yararlanılır. Yüksek frekanslı elektrik enerjisi üreten jeneratör, dalgalı kaviteasyonlara neden olur. Bu kaviteasyonlar büyür ve metalle kir arasında bir kazıma etkisi göstererek kiri parçadan ayırır. Ultrasonik temizleme metallere, plastiklere, seramiklere ve camdan yabancı maddeleri ayırmak için kullanılır. Köşelerdeki, küçük deliklerdeki ve yarıklardaki yabancı maddeleri temizlemede en etkili usuldür.

3.TAHRİBATSIZ MUAYENE ÇEŞİTLERİ

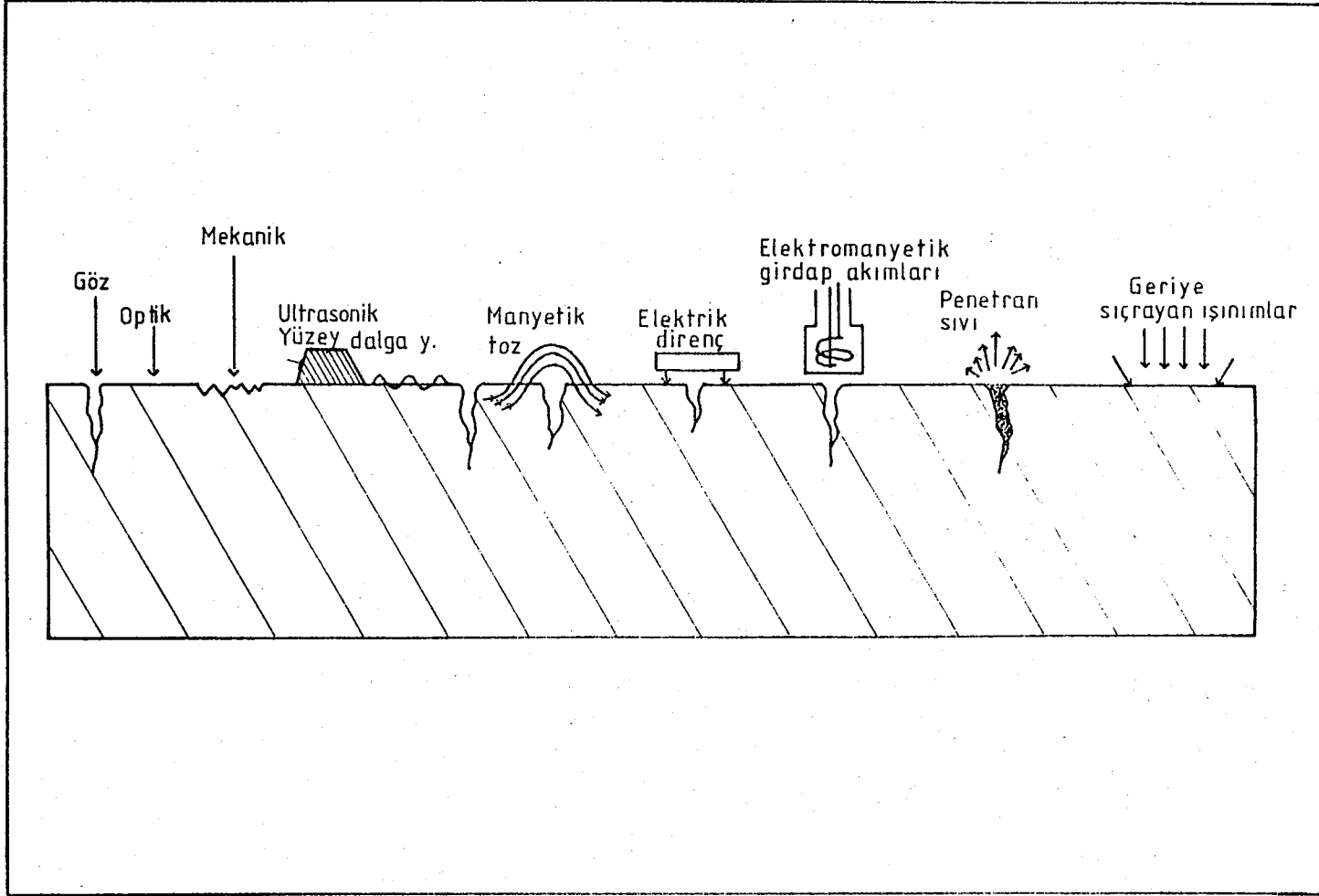
İkinci bölümde tahribatsız muayeneler hakkında genel bilgiler verilerek, tahribatlı muayenelerle tahribatsız muayenelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bölümde ise belli başlı tahribatsız muayene usulleri ayrı ayrı ele alınarak, her bir usulün özellikleri, uygulanışı, avantajları ve dezavantajları incelenecektir.

Günümüzde sanayiide en yaygın olarak kullanılan başlıca tahribatsız muayene çeşitleri şunlardır:

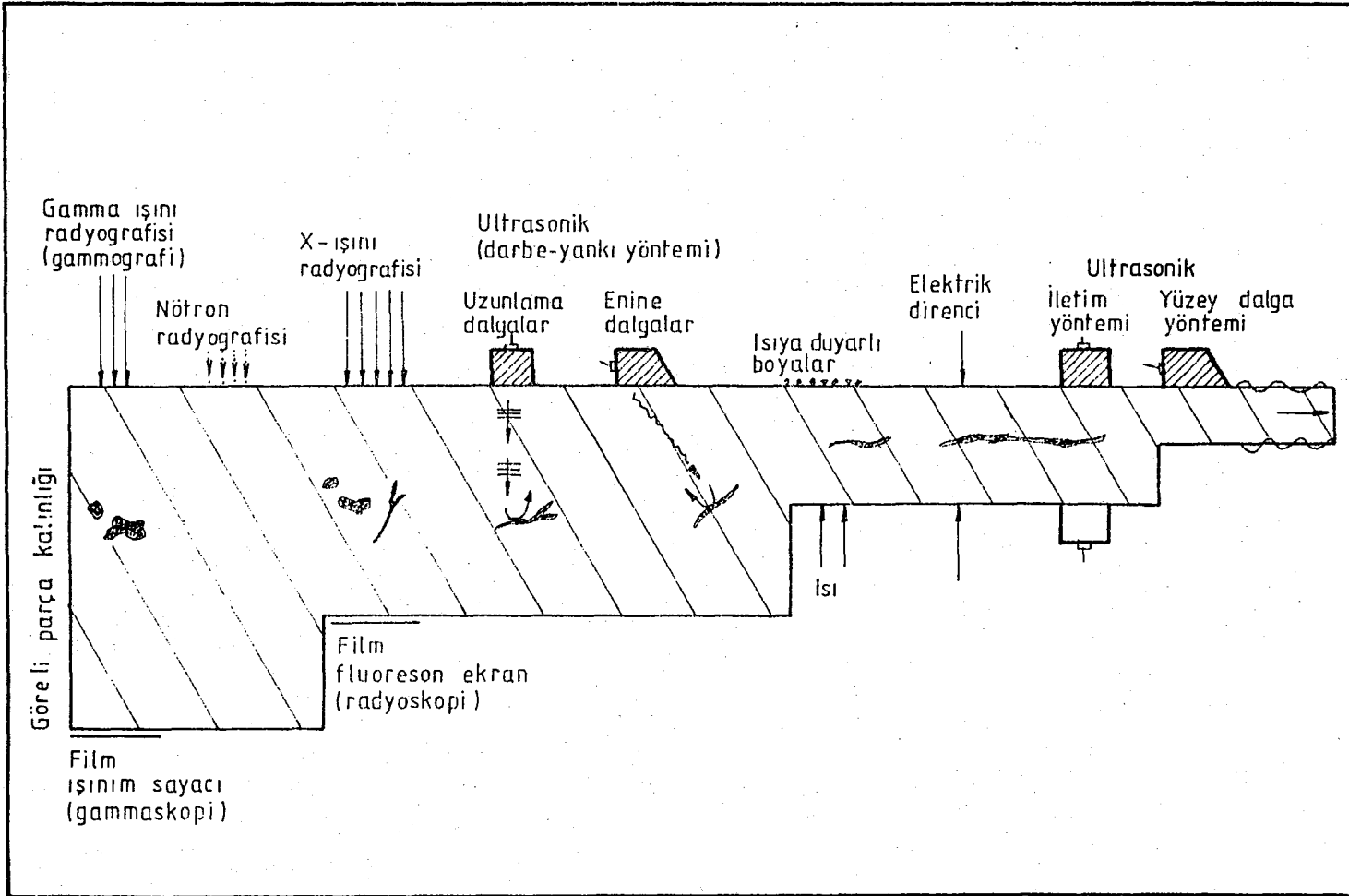
- 1.Çıplak gözle muayene
- 2.Optik aletler ile muayene
- 3.Radyografik muayene
 - a.X-ışını ile muayene
 - b.Ş-ışını ile muayene
- 4.Fluoroskopik muayene
- 5.Ultrasonik muayene
- 6.Girdap akımlarıyla muayene
- 7.Penetran sıvı emdirme usulüyle muayene
- 8.Magnetik parçacıklarla muayene

Yüzeyde bulunan hataların tesbiti için kullanılan muayene usulleri şekil 3.1.'de verilmektedir. Yüzeydeki hataları belirlemenin en kolay yolu çıplak gözle muayenedir. Gözün yetersiz kaldığı durumlarda yalnızca yüzeydeki hataları belirleyebilen optik ve mekanik kimi usuller kullanılabilir. Bunun yanı sıra yüzeye açık ve yüzeye çok yakın hataları belirlemede penetran sıvı deneyi, magnetik toz, girdap akımı, ultrasonik gibi usuller kullanılmaktadır.

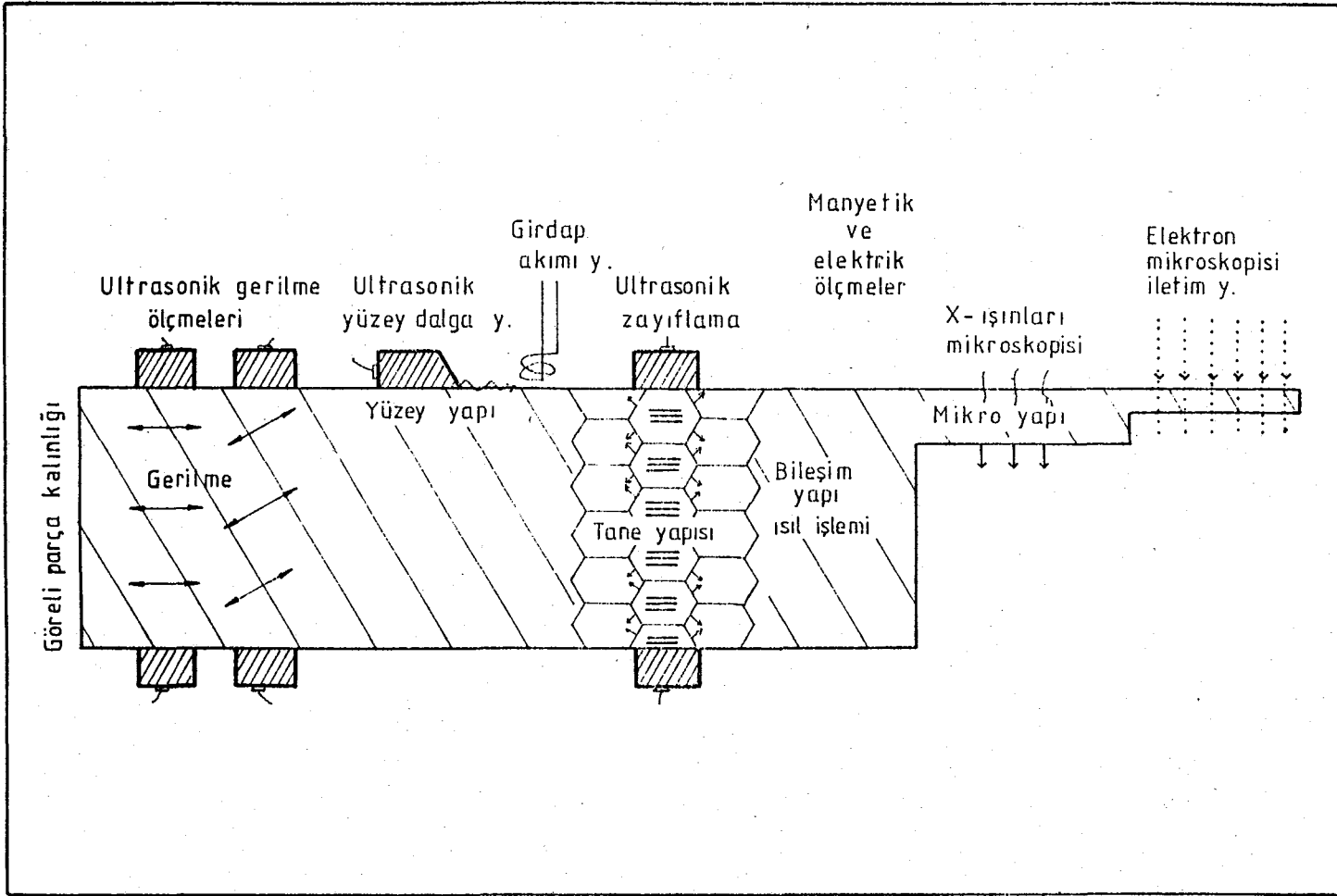
Şekil 3.2.'de parça yüzeyine uzak kısımlardaki hataların belirlenmesinde kullanılan yöntemler toplu olarak görülmektedir. Büyük malzeme kalınlıklarında çok yüksek enerjili gamma ışınlarının kullanıldığı gammagrafi deneyi uygulanabilmektedir. Daha düşük parça kalınlıklarında ise X-ışını radyografisi, ultrasonik deneyler kullanılmalıdır. Yapısal homojenliği bozan iç yapı hatalarının belirlenmesinde kullanılan usuller ise şekil 3.3.'de verilmektedir.



Şekil 3.1.Yüzeyde bulunan hataların tesbiti için kullanılan usuller (Tekiz, 1984)



Şekil 3.2. Parça yüzeyine uzak kısımlardaki hataların belirlenmesinde kullanılan usuller (Tekiz, 1984)



Şekil 3.3.İç yapı hatalarının belirlenmesinde kullanılan usuller
(Tekiz, 1984)

İlerideki bölümlerde özellikle uçak bakım onarımında yaygın olarak kullanılan radyografik muayene, ultrasonik muayene, girdap akımlarıyla muayene, penetran sıvı ile muayene ve magnetik tozla muayene usulleri incelenecektir.

3.1.Çıplak Gözle Muayene

Belirli bir parçanın veya genel yapının hatasını bulmak yada bir harici hasarın derecesini saptamak için kullanılır. Örneğin, korozyon genelde yüzeyde başladığı için bunun kontrolünde gözle muayene en etkili ve uygun yöntemdir.

Gözle muayenenin en önemli sınırlaması, muayene edilecek yapıya ulaşabilmektir. Uçaklarda flap, yakıt tankları, kanat bağlantıları gibi çok sayıda bölgede kontrol edilecek elemanlara ulaşabilmek için özel giriş kapakları vardır. Ulaşma imkanının olmadığı ve uzun süre çalışma gerektiren yerlerde diğer tahribatsız muayene yöntemleri tercih edilebilir. Ayrıca bazı yapıların gözle muayenesi için oldukça iyi temizlenmesi gerekir. Çünkü bir yerin göz muayenesinde ulaşılabilir olması, kaplamaların, kalkmış boyaaların ve yüzeydeki pisliklerin temizlenerek alanın makro düzeyde açığa çıkması gerekmektedir. (Durmaz, 1987)

Yapısal bağlantı noktaları, bağlantı parçalarının bağlandığı kısımlar yapısal kritik bölgeler olduğundan, deformasyon, çatlak, gevşek veya bozulmuş bağlama elemanlarının kontrolü yapılmalıdır. Herhangi bir hasarın bulunması bu bölgeye yakın tüm yapının kontrolünü gerektirir.

3.2.Optik Aletler ile Muayene

Optik aletler ile muayene, çıplak gözle erişilemeyen ve görülemeyen hataların tesbiti için uygulanır. Optik aletlerle muayene için, kontrol bölgesinde gelişebilecek hata tiplerinin ve muhtemel büyüklüklerinin bilinmesi gerekir. Ayrıca uygun bir ışık kaynağı ile baroskop gibi yardımcı aletler kullanılabilir. İyi bir muayene işlemi için iyi bir temizlik, iyi ışık ve uygun bir optik alet temel hususlardır.

Optik mikroskop, baroskop ve endoskop optik aletlere örnek olarak verilebilir. Baroskop derin delikler, silindirik yapılar, uçak motorları ve benzer ulaşılamayan yerler için kullanılan gömme ışıklı bir araçtır. Küçük çatlakların bulunmasında uygun olmamakla beraber, ulaşılması zor olan kısımlardaki hasarları bulmak için kullanılır. Endoskop baroskopun daha gelişmişidir. Oyuklar, borular, silindirik yapıların iç çeperleri, montajların iç kısımları gibi ulaşımı zor yerlerin muayenesine imkan verir. (Durmaz, 1987)

3.3.Radyografik Muayene

3.3.1.Radyografinin tanımı

Radyografi, malzemenin içine nüfuz edebilen X-ışınları yada γ (gamma) ışınları gibi elektromagnetik ışınlar kullanılarak malzemedeki süreksizliklerin film üzerine kaydedilmesi temeline dayanan bir tahribatsız muayene usulüdür.

Radyografik muayenede büyük bir öneme haiz olan X ve γ ışınlarının özellikleri ve elde edilişleri "Ek Açıklamalar A" da verilmiştir. Radyografi, malzemelerin kalınlık ve yoğunluk değişimine duyarlıdır. Görüntünün film üzerine kaydedilmesi ile kalıcı bir kayıt elde edilir.

3.3.2.Radyografisi alınacak parçanın hazırlanmasının önemi

Radyografik muayeneden önce radyografisi alınacak parçanın yada alanın gözden geçirilmesi gerekmektedir. Örneğin, uçakta kaynakla tamir edilmiş bir kısımda, kaynak dikişinin üstü tırtıllı, düzgün olmayan bir görünümdeyse bunu taşlamak gerekir. Çünkü yüzeydeki pürüzler radyografide görüleceğinden kaynak dikişindeki kimi iç hataların seçilememesine neden olabilir. Film kasetlerinin seçimi ve uygun bir tekniğin uygulanabilmesinde büyük önem taşır. Ayrıca göz kontrolü sonucunda radyolog kaynak dikişinin durumu hakkında bilgi sahibi olur.

3.3.3.Radyografide kasetleme ve kasetlerin yerleştirilmesinin önemi

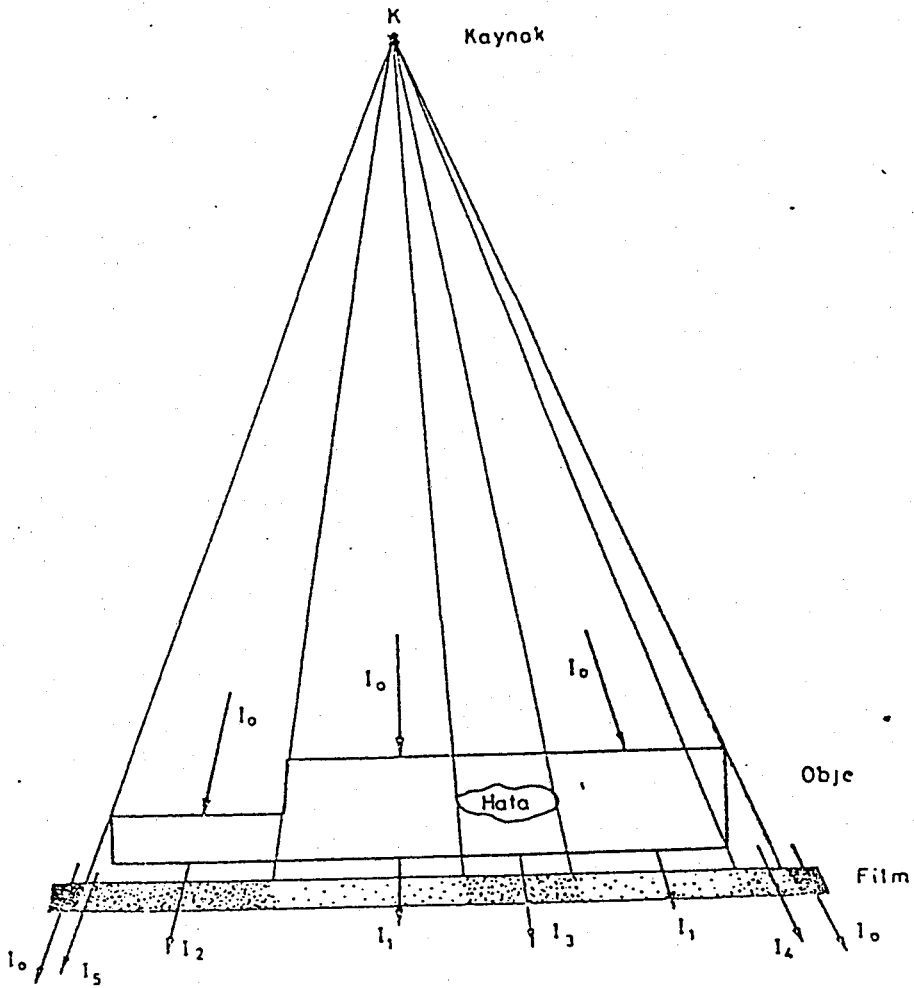
Film, cisimle temas eder bir durumda ışının alan yüzeyin arkasına, ışının alan bölgeyi kaplayacak biçimde yerleştirilmelidir. Film, ışığı geçirmeyen kasetler içine konulmalıdır. Filmi içinde bulunduran kaset, görüntünün tanımlanmasında hiç bir şey kaybetmemesi için mümkün olduğu kadar kontrol edilecek alana yerleştirilmelidir. Bu bakımdan genellikle bükülemeyen kasetler yerine eğriliklere ve şekil değişimlerine daha iyi uyan bükülebilir kasetler tercih edilir. Yayılan ışının oluşturduğu sise karşı filmi korumak amacıyla 2 mm kalınlığında bir kurşun levha filmin hemen arkasına yerleştirilmelidir. Kurşun tarafından yayınlanan sekonder ışının etkisine engel olmak için, kurşun ve film arasına 1 mm kalınlığında bir kalay levha veya daha iyi sonuç veren 1 mm'lik kalay ve 1 mm'lik bakır levha birlikte yerleştirilmelidir.

Kasetleri yerleştirildikleri yerlerde tutabilmek için, malzemenin cinsine ve şekline bağlı olarak çeşitli tesbit donanımları kullanılabilir. Örneğin, mıknatısiyet özelliği gösteren parçalarda, mıknatıslar kullanılabilir. Kasetlerin parça üzerine, çekim sırasında oynamayacak biçimde yerleştirilmesi gerekir. En küçük bir kımıldamanın bile filmin kabul edilmesine neden olabileceğinden, kasetler poz verme sürecinde yerlerinden oynamamalıdır. (Makina Mühendisleri Odası, 1981)

3.3.4.Radyografide donanımların yerleştirilmesinin önemi

Radyografik muayenede, en iyi sonuç genellikle muayene edilen bölgeye dik olarak inen bir ışın demeti ile elde edilir. Muayene sırasında ışın demetinin bu şartı sağlayabilmesi için, cihazların yerleştirilmesine çok dikkat edilmelidir. Radyografik kontrole tabi tutulan cisim taşınması, ağırlığı, şekli yada büyüklüğü yönünden bir güçlük oluşturmuyorsa, çalışma rejimi daha yüksek olan sabit konumlu bir X-ışınları tüpüyle kontrol edilmelidir.

Şekil 3.4.a.'da şematik olarak gösterilen radyografik çekim işleminde radyasyon kaynağı, bir X-ışını tüpü veya kobalt-60 gibi radyoizotop içeren bir kapsüldür. Işınlardan bir bölümü parçayı katedip geçer, bir bölümü parça tarafından emilir, bir bölümü de yine parça tarafından her yöne dağıtılır. Kaset içindeki filme ulaşan radyasyon miktarı, muayene edilecek malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir.



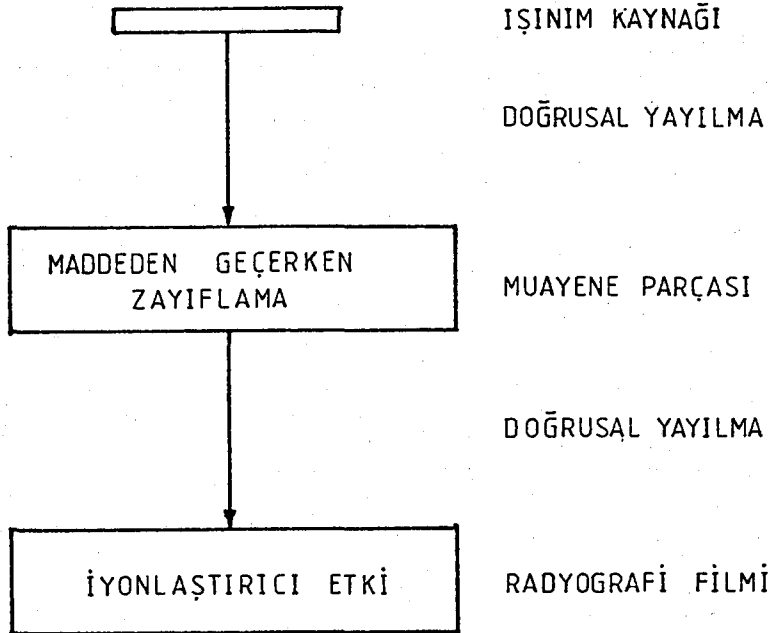
Şekil 3.4.a. Radyografinin prensip şeması (Arabacı, 1985)

Taşınmaması mümkün olmayan büyük parçaların kontrolunda ışın kaynağının, parçanın bulunduğu yere taşınması gerekli olduğundan bu gibi hallerde taşınması kolay portatif X-ray cihazları kullanılır.

Daha önce sözü edildiği gibi kasetlerin yerleştirilmesinde dikkat edilen hususlara, cihazların yerleştirilmesi sırasında da dikkat edilmelidir. Kullanılan ışın kaynağının, poz verme süresince parçaya göre konumunu değiştirmemesi için tesbit ve yerleştirme donanımı sağlam ve sıhhatli olmalıdır.

3.3.5. Radyografik görüntünün oluşturulması

Radyografik görüntünün oluşabilmesi için radyasyon kaynağı, muayene edilecek parça ve film içeren kasetten ibaret bir düzenek gereklidir.



Şekil 3.4.b. Radyografinin prensip şeması

Görüntünün oluşturulabilmesi için, filmin yeter miktarda radyasyon dozu (E) almış olması gerekir. Radyasyon dozu, iki faktörün çarpımından oluşmuştur. (Makina Mühendisleri Odası 1981)

$$E_R = I_R \cdot t$$

(3.2)

3.3.6.Radyografinin görüntü vermediği durumlar

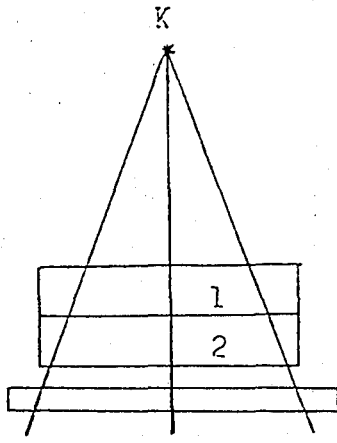
Radyografik muayenede çekim geometrisine özen göstermek gerekmektedir. Üç boyutlu hatalar görüntüde kesin olarak belirlir. Ancak mühendislikte büyük bir önem taşıyan ve mutlak surette algılanması gereken iki boyutlu hataların belirlenmesi kesin olarak garanti edilemez.

Radyografide ışınların geçiş doğrultusunda boyuta sahip olmayan hatalar, görüntü vermezler. Şekil 3.5.'de basit bir deneyle radyografinin görüntü vereceği ve vermeyeceği durumlar gösterilmekte olup, burada eşit boyutlara sahip iki blokun üç farklı geometride görüntüsü alınmaktadır. Bloklar ara yüzeyi ışınlar dik gelecek şekilde üst üste konmuşsa, ara yüzey film üzerinde hiç görüntü vermez. Radyografiye bakan, objenin tek parçadan yapıldığı yanılgısına düşebilir. Blokların ara yüzeyi ışınlara paralel olacak biçimde yan yana konduğunda film üzerinde ara yüzey keskin siyah çizgi olarak belirlir. Bloklar yan yana bulunduğu halde ara yüzey eğik ışınlandığında, film üzerinde görüntü giderek zayıflar ve belirli bir eğiklikten sonra büsbütün silinir.

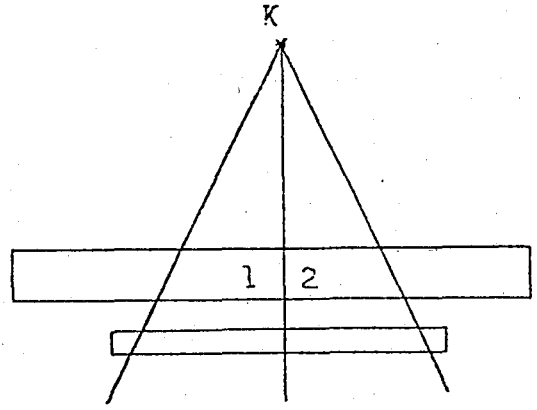
Şekil 3.6.'da kaynak radyografisinden bir örnek verilmektedir. Kaynakta boşluk ve curuf kalıntısı her zaman görüntü verebilir. Çatlak, yan cidara kaynama gibi iki boyutlu hatalar, ancak ışınlara paralel konumda oldukları zaman görüntü verirler.

3.3.7.Radyografi çekiminde düzenlemenin önemi

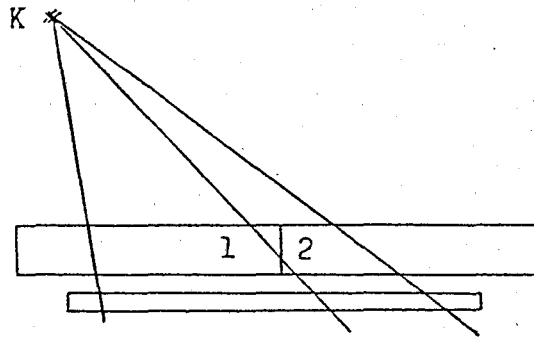
Dalga boyu çok kısa olan elektromagnetik dalgaların görünen ışık gibi, ayna yada mercek donanımlarıyla yansıtılmaları, kırılmaları olanaksızdır. X yada γ ışınlarıyla fotoğraf elde etmek için en basit yöntem, kontrol edilecek parçayı ışın kaynağı ve fotoğraf filmi arasına, parçanın ışınlara göre iz düşümü film üzerine düşecek biçimde yerleştirilmesidir. Radyografik görüntü kontrol edilen parçanın çeşitli noktalarının iz düşümü ile meydana gelmektedir.



İki parçanın ara yüzeyi görüntü vermez.

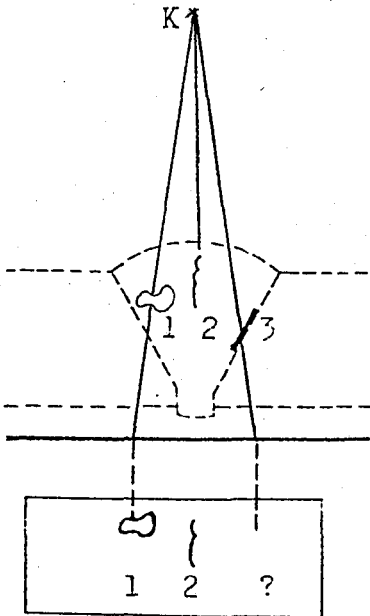


İki parçanın ara yüzeyi keskin bir çizgi halinde görüntü verir.



Işınların eğikliği arttıkça ara yüzeyin görüntüsü giderek zayıflar ve tamamen silinir.

Şekil 3.5. Radyografinin görüntü vermeyeceği durumlar (Arabacı, 1985)

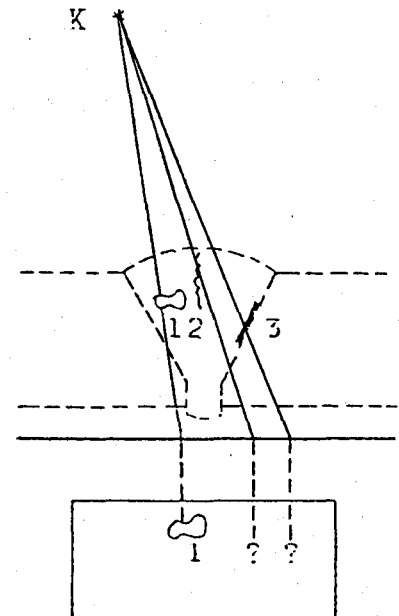


Doğru çekim

Objeye

Film

Film üzerinde görüntüler



Hatalı çekim

Şekil 3.6. Çekim işleminde doğru ve hatalı yönlendirmeler (Arabacı, 1985)

Bu görüntüde parçanın çeşitli bölgelerinin kalınlık değişimlerini ve yapılarını görmek mümkündür. Ancak pratikte kullanılan donanımlarda ışın kaynağı bir nokta değil, bir yüzeydir ve kontrol edilen cisimden belirli bir uzaklıktadır. Bu nedenle, bir şua demetiyle radyografi yapılırken kimi geometrik esasları dikkate almak gereklidir.

Pratikte ışınların bir noktadan değilde bir yüzeyden gelmesi, şekil 3.7.'de görüleceği gibi bir yarı gölge olayına neden olmaktadır. Bir noktanın şekli bir yüzey haline geçmekte ve anlamını yitirmektedir. İşte bu şekilde cismin şeklinin, film üzerindeki görüntüsüyle aynı olmaması, yani görüntünün farklı olmasına "Distorsiyon" denir.

Gerçek cisme nazaran görüntünün boyutlarının büyümesi;

a. Işın kaynağının en uç noktaları arasındaki mesafeye (d),

b. Işın kaynağı ile cisim arasındaki mesafeye (F),

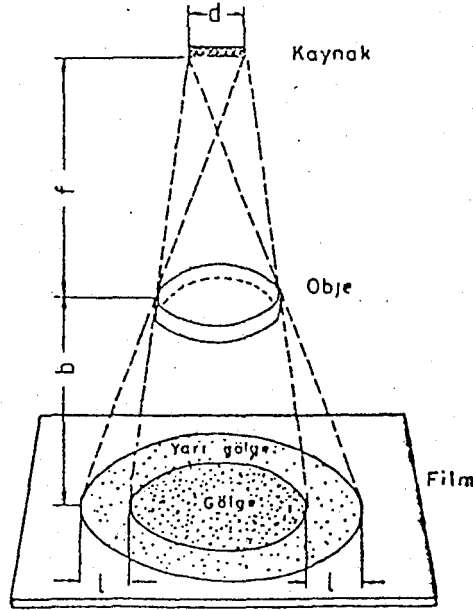
c. Cisim ile film arasındaki mesafeye (b) bağlıdır.

Bu hususlardan kolaylıkla, ışın kaynağının boyutları küçüldükçe yarı gölgenin küçülmesi ve cismin görüntüsünün gerçeğe yaklaşmakta olduğu anlaşılır. Ancak kaynak boyutunun küçültülmesi, yüksek şiddette kaynak sistemi ile çelişir. Bu nedenle, kaynak boyutu ile kaynak şiddeti arasında bir optimum değer sağlanmalıdır. Cisim ile ışın kaynağı arasındaki mesafeyi büyüterek ve aynı zamanda film ile cisim arasındaki mesafeyi küçülterek görüntü kalitesini artırmak mümkündür. Filmin objeyle sıkı temas halinde bulunması iyi bir radyografinin temel şartlarından biridir. Ancak kaynak cisme yaklaştıkça filme ulaşan radyasyon şiddeti hızla (karesel olarak) düşer, poz süresi uzar.

Yarı gölge genişliği (1) 3.2 bağıntısı ile hesaplanabilir. (Makina Mühendisleri Odası, 1981)

$$l = \frac{b \cdot d}{F - b} \text{ cm} \quad (3.2)$$

b ve d değerleri bilindiğinden bu formülden yararlanılarak l yarı gölge değerinin daha önce belirlenmiş sınırlar içinde kalmasını sağlayan F değeri yani film ile ışın kaynağı arasındaki mesafe hesaplanabilir.



Şekil 3.7.Geometrik yarı gölge

3.3.8.Saçılma ve film yarı gölgesinin oluşumu

Kaynak-cisim-film üçlüsünün geometrik düzenine bağlı olarak geometrik yarı gölge oluşabildiği gibi birde film yarı gölgesi sözkonusudur. Film yarı gölgesi oluşumunun üç nedeni vardır.

- Görüntüyü getiren ışınların film ve onu çevreleyen ekran içinde saçılmaları,
- Ekranların fluoresansı,
- Filmin tane büyüklüğü.

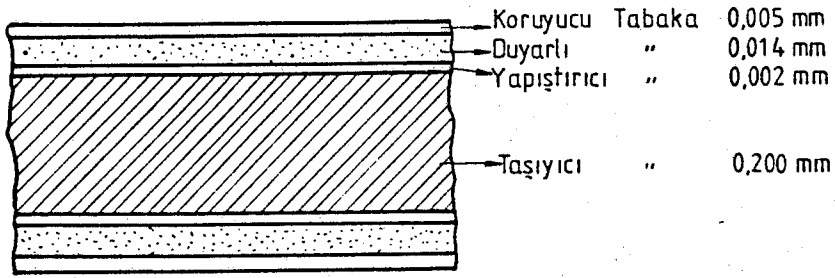
Saçılma, ışınların geçtikleri ortamın atomlarına çarparak yollarından sapmaları olup, bu durum radyografide istenmeyen bir olaydır. Saçılan ışınlar, doğrusal yol izlemeyip zig-zaglar çizerler ve görüntüyü taşıyamazlar ve filmde yarattıkları "Sis" ile , görüntüyü perdelerler.

Saçılma, çeşitli ortamlarda oluşabilir. Hava içinde saçılma, kullanılan ışınım enerjilerinde ihmal olunacak derecede azdır. Çalışma ortamı içinde bulunan diğer cisimler, birer saçılma kaynağı olabilmektedir. Ekranın kendisinde, aşırı kalın ise saçıcı olabilmektedir. Ancak hiç ekran bulunmaması durumunda iyi değildir, zira ekran varlığının film üzerinde sis oluşmasını azaltıcı bir etkisi vardır. Kalın parçaların radyografisinde, deney parçası içindedeki saçılma olayı söz konusu olabilmektedir. Saçılma olayı ayrıca, ışınların enerjisi ile de yakından ilgilidir. Yüksek enerjili ışınlar daha az saçılırlar. Bu nedenle, gamma ışınları daha yüksek enerjiye sahip olduklarından, kalın cisimlerin radyografisinde X-ışınlarından daha iyi sonuçlar verirler.

3.3.9. Radyografik filmler ve özellikleri

Genel radyografi için kullanılan filmlerin ana yapısı saydam selüloz asetatın bir levhadır. Taşıyıcı tabakayı oluşturan bu levha yaklaşık 0.2 mm kalınlığında olup, çok saydam bir tabakadır. Deforme olmaz, yanmaz, asitten ve bazdan etkilenmez. Bu filmlerde taşıyıcı tabakanın iki yanına 10^{-3} mm kalınlık mertebesinde bir yapıştırıcı ile görüntüyü tutan duyarlı tabaka (10^{-2} mm) yapıştırılmıştır. Duyarlı tabaka, gümüş-bromürden imal edilmiştir. Film duyarlı tanecikleri bir arada tutan 10^{-3} mm mertebesinde jelatin bir tabaka ile dıştan korunmuştur (Şekil 3.8.).

Filmin gümüş-bromür arttıkça, belirli bir poz süresi için daha fazla kararın sağlanır. Gümüş-bromür tanelerinin büyüklüğünde önemli bir etkidir. İri taneli filmler çabuk kararlılıkları için film hızının artması bir avantaj olmakla birlikte, tanımı zorlaştırdığı için zararlıdır.



Şekil 3.8. Radyografi filminin yapısı ve tabakalarının kalınlıkları (Ersümer ve Aydınbeyli, 1977)

3.3.10. Ekran çeşitleri ve özellikleri

Ekran kullanmanın amacı, film üzerine gelen radyasyon miktarını arttırarak poz süresini kısaltmaktır. Ekran kullanılmadığında film tarafından ışınların %1'den az bir bölümü tutulabilmektedir, ışınların büyük bir bölümü hiç bir fotoğrafik etki bırakmadan filmi geçip giderler.

Başlıca iki tip ekran vardır.

a. Kurşun ekran: Saf kurşun ekran 0.1 mm kalınlıkta filmin ön yüzüne, 0.15 mm kalınlıkta arka yüzüne yerleştirilir. Endüstriyel radyografide kullanılan kurşunun yumuşak olması, filme kolayca intibak edebilmesi bir seçiliş nedenidir. Ekran malzemesinin kurşun seçilmesinin bir başka nedeni ise ışınlar geçtikleri malzemedan elektronlar koparırlar, bu elektronlara fotoelektron adı verilir, malzemenin atom numarası arttıkça foto-elektrik olasılığı artar. Radyasyonun film üzerine doğrudan etkisine, ekrandan gelen foto-elektronların etkiside eklenir. Bu sayede radyasyonun film üzerine etkisi iki üç kat artar. Kurşun ekranın şiddetlendirme oranının enerji ile değişimi, şekil 3.9.'da verilmektedir.

b. Tuz ekran: Daha çok tıbbi radyografide kullanılır. Karton bir taşıyıcının bir yüzüne sürülmüş özel tuzlardan oluşmuştur. Bunlar kalsiyum-tungsten tuzu, baryum-kurşun-sülfat tuzu gibi kompoze tuzlardır. Bu tuzların özelliği, radyasyonun altında görünür ışık vererek ışımalarıdır. Bu nedenle bu ekranlara "fluoresan ekranlar" adı verilir.

Tuz ekranlar, kurşun ekranlara göre daha yüksek şiddetlendirme oranına sahiptirler. Ancak tuz ekranların önemli bir sakıncası, film yeri gölgesinin büyük oluşudur.

3.3.11.Karakteristik eğri

Karakteristik eğri, belirli bir radyasyon dozundan filmin ne ölçüde etkilendiğini gösterir. "E" radyasyon dozu ile "D" radyografik yoğunluk arasındaki ilişki yine karakteristik eğriden belirlenir.

Şekil 3.10.'da değişik filmlerin karakteristik eğrileri gösterilmektedir. Orijine yakın grup tıbbi filmlere, uzak grup endüstriyel filmlere aittir. Bu iki tip filmin özelliklerinin birbirinden farklı olduğu, eğrilerin farklı oluşu ile kanıtlanmaktadır. Endüstriyel film-kurşun ekran ikilisinin büyük radyasyon dozlarından etkilendiği, ancak tıbbi film-tuz ekran ikilisi için çok daha küçük radyasyon dozları gerektiği görülmektedir.

3.3.12.Film banyoları

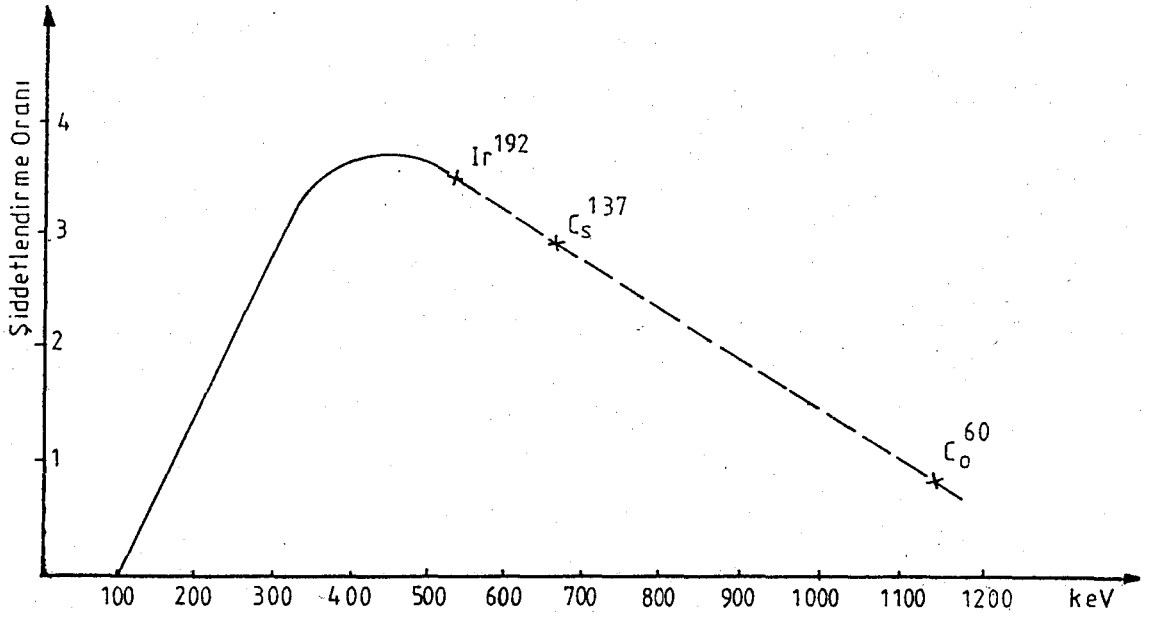
Radyografik ışınlarla ekspozite edilmiş bir film üzerinde bulunan gizli görüntünün ortaya çıkması ve bu görüntünün uzun zaman kalitesini koruması için filmin iki ayrı banyo işleminden geçirilmesi gerekir. Bunlar:

- 1.Banyo: (Developer, ara banyo, durulama banyosu)
- 2.Banyo: (Yıkama banyosu, son durulama banyosu, kurutma)

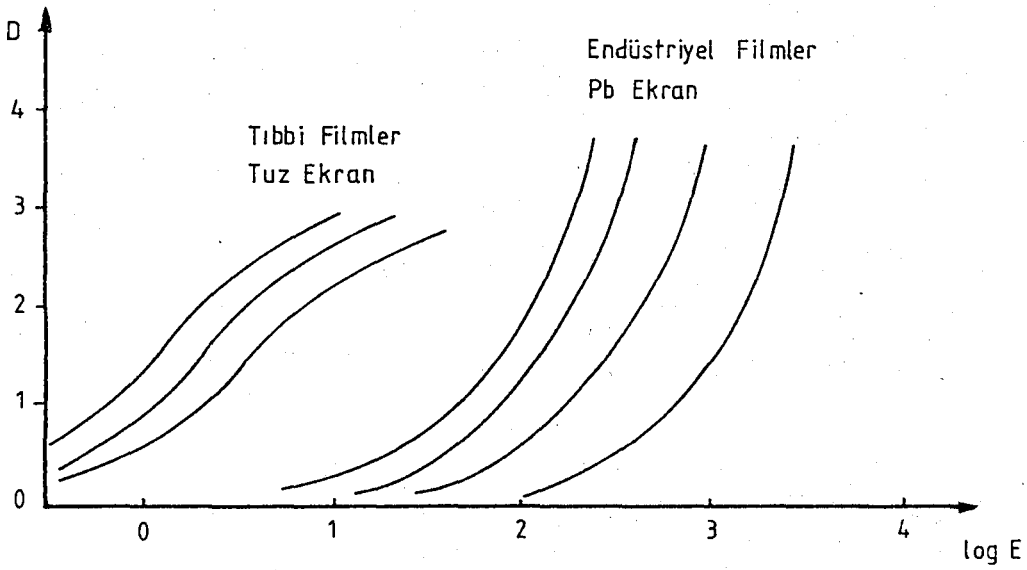
3.3.12.1.Developer

Developerin üç görevi vardır:

- 1.Emülsiyonun poz alan kısımlarını karartmak. Developer bromürü gümüşten uzaklaştırır ve jelatin içinde siyah metalik gümüş ayrılır. Böylece bu bölgelerde olan bu olaydan çok sayıda kristal etkilendir ve bu kristallerin çoğu banyo solüsyonu tarafından metalik gümüşe indirgenir.



Şekil 3.9. Kurşun ekranın şiddetlendirme oranının enerji ile değişimi (Makina Mühendisleri Odası, 1981)



Şekil 3.10. Radyografi filmlerine ait karakteristik eğriler (Makina Mühendisleri Odası, 1981)

2.Kısmen ekspozite olmuş film bölgelerinde gri renkli kısımları oluşturur. Bu grilikler bromürün kısmen alınmasının bir sonucudur.

3.Developerin gerçekten önemli bir görevi, filmin ışın almaya başlamasına etkisidir. Developer ışın alan film bölgelerindeki bromürü emülsiyonundan ayırmakta, ancak ışın almamış kısımlara ise etki etmemektedir.

Yukarıda üç madde ile belirlenen görevleri yapabilmesi için developer, aşağıdaki dört sınıf kimyasal maddeyi içerir.

1.İndirgeyiciler: Gümüş halojenini metalik gümüşe indirgerler.

2.Hızlandırıcılar: Hızlandırıcı indirgeyiciyi destekler. Hızlandırıcı olarak sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum karbonat, potasyum karbonat, boraks gibi alkali solüsyonu kullanılır.

3.Koruyucular: Oksitlenmeye engel olmak için solüsyonun içine eklenen hafif asidik kimyasal maddelere koruyucu adı verilir. Banyoların uzun süre saklanmasına olanak sağlayan koruyucu reaktifin başlıca iki görevi vardır.

1.Solüsyonun hazırlanmasından kullanılmasına kadar geçen süre içinde, solüsyonun bozulmasına engel olmak.

2.Solüsyonun kullanılması sırasında,bozulmasına engel olmak.

Her iki görevde çok iyi bir biçimde yerine getiren kimyasal maddeler. oksijene olan aşırı ilgilerinden dolayı sodyum sülfid ve sodyum bisülfittir.

4.Düzenleyiciler: Bütün geliştirici reaktifler, belirli bir süre içinde film emisyonunun ekspozite olmamış kısımlarında, gümüş biriktirme eğilimine sahiptirler. Bu eğilimi geciktirmek amacıyla banyo solüsyonuna eklenen kimyasal maddelere düzenleyici denir. Bu maddeler, potasyum bromür, potasyum iyodür ve sodyum klorürdür.

3.3.12.2. Ara banyo-durulama banyosu

Bu banyo film üzerindeki developer kalıntılarını gidermek için kullanılır. Genellikle %2 asetik asit içeren bir solüsyondur. Asetik ortam film üzerindeki developer kalıntılarını tuzlaştırarak aktivitelerini yok eder ve dolayısıyla film lekelenmesini önler. Aynı zamanda hafif asidik olan tesbit banyosunda developerden gelecek tehlikelerden korur ve böylece kullanma süresini uzatır.

3.3.12.3. Tesbit banyosu

İlk banyodan sonra emülsiyon ekspozite olmamış alanların ve işlem görmüş bromür tanelerini içerir. İşlem görmemiş alanlardaki gümüşün görüntüsünün sürekli kalıcı olması için emülsiyondan alınması gerekir. Bunu sağlamak içinde tesbit solüsyonu kullanılır. Genel olarak tesbit banyolarından aşağıdaki üç görev beklenir.

1. Developmanı durdurmak.
2. Banyo içinde yumuşamış olan jelatini sertleştirmek.
3. Ekspozite olmamış gümüş halojenin taneciklerini emülsiyondan temizleyerek görüntüyü kalıcı ve uzun ömürlü yapmak.

3.3.12.4. Yıkama

Tesbit işleminden sonra film yüzeyinde kalan kimyasal bileşimleri ortadan kaldırmak, yüzeyden uzaklaştırmak için yapılır. Bu bileşikler temizlenmezse zamanla yavaş yavaş ayrışarak filmin bozulmasına neden olurlar. Bu bakımdan artıkların temizlenmesi için uygun bir yıkama yapılmalıdır.

3.3.12.5. Kurutma

Banyo işlemi sırasındaki en son kademe kurutmadır. Bu işlem film yüzeyindeki suyun yavaşça buharlaştırılmasıdır. İşlem dikkatle temiz bir ortamda yapılmalıdır. Nemli filmler tozlardan korunmalıdır.

3.3.13.Radyografik kalite

Radyografik kalite kalitatif bir kavramdır ve radyografinin küçük hataları yeteneğidir. Bir radyografinin kalitesini oluşturan iki temel faktör kontrast ve tanımdır.

Kontrast görüntüde komşu iki bölge arasında fotografik yoğunluk farkının mutlak değeridir. Yoğunlukları D_1 ve D_2 olan komşu iki bölge arasındaki kontrast şöyle ifade edilebilir.

$$C = \left| D_1 - D_2 \right| \quad (3.3)$$

Kontrastın sıfır olması iki bölgede fotografik yoğunlukların aynı olmasıdır. Kontrast büyüdükçe yoğunluk farkları daha belirginleşir, görüntünün algılanması kolaylaşır.

Tanım, görüntüde komşu bölgelere ait fotografik yoğunluk farkları sınırın keskinliğidir. Yoğunluk farklarının keskin çizgilerle ayrılması görüntünün algılanmasını kolaylaştırır.

Fotografik yoğunluk kararına miktardır. Filmin ışık geçirgenliği ile ölçülür.

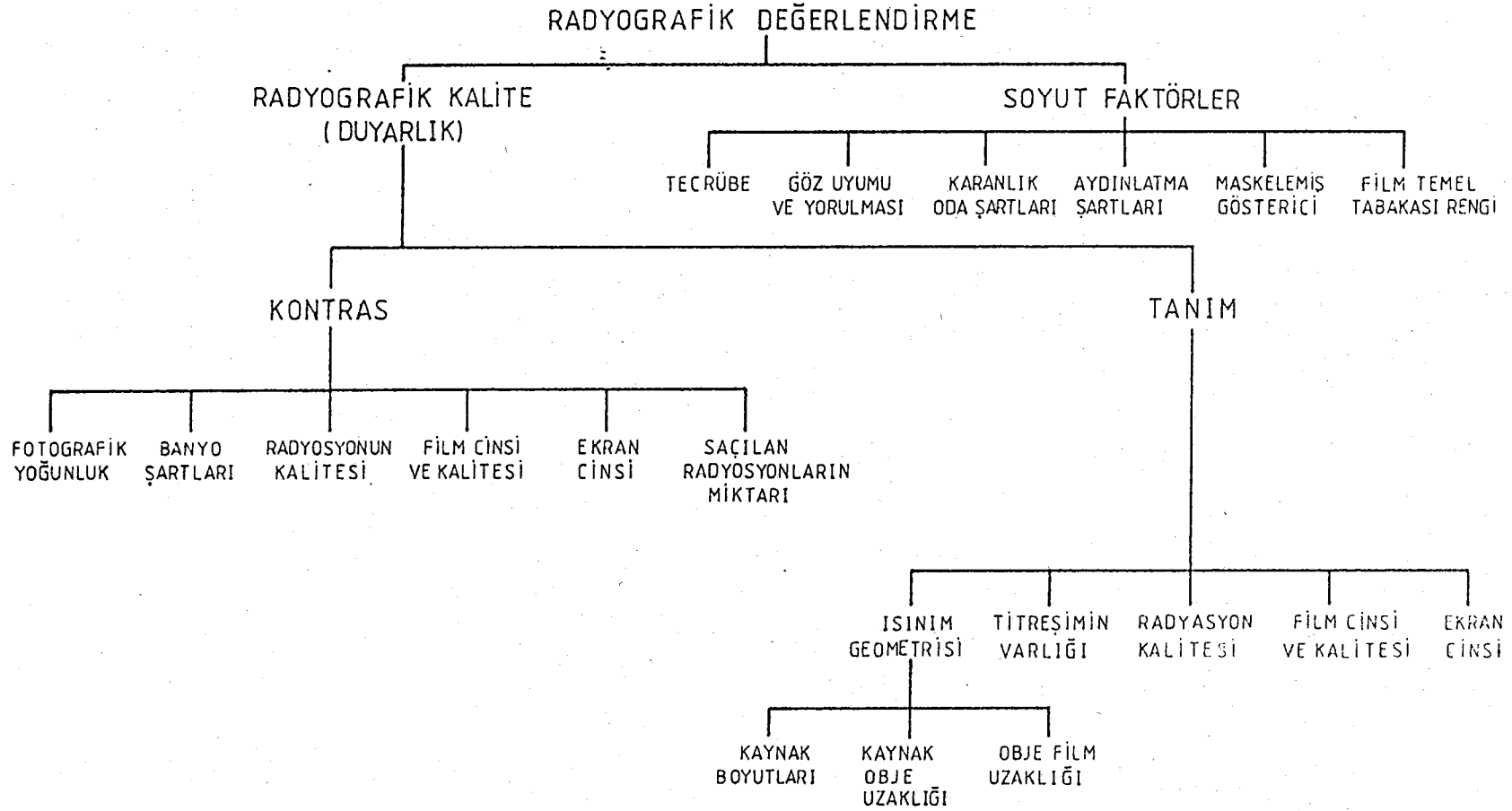
$$D = \log \frac{I_0}{I} \quad (3.4)$$

Endüstriyel radyografide D değeri 2, tıbbi radyografide D değeri 1,2 optimum film yoğunlukları olarak tavsiye edilir.

Çizelge 3.1.Bazı fotografik yoğunluk değerleri ve ifade ettikleri ışık geçiş oranları.

| <u>D</u> | <u>I_0/I</u> |
|----------|---------------------------|
| 0 | 1 |
| 1 | 10 |
| 1.2 | 15.8 |
| 1.5 | 31.6 |
| 1.8 | 63.1 |
| 2 | 100 |
| 2.5 | 316 |
| 3 | 1000 |

Radyografinin kalitesini oluşturan belli başlı faktörler topluca şekil 3.11.'de verilmektedir.



Şekil 3.11. Radyografik değerlendirmeyi etkileyen faktörler
(Makina Mühendisleri Odası, 1981)

3.3.14. Tahribatsız muayenede radyografi metodunun avantajları ve dezavantajları

a. Avantajları:

1. Kalıcı radyograf kayıt elde edilir.
2. Hemen hemen tüm katı maddelere uygulanabilir, çok yüksek ve çok düşük yoğunluklu malzemeler bazen güçlük çıkarır.
3. Parçaları sökmeden muayene olanağı vardır.
4. Hatanın büyüklüğü, derinliği ve yapısı hakkında bilgi sağlanabilir.

b. Dezavantajları:

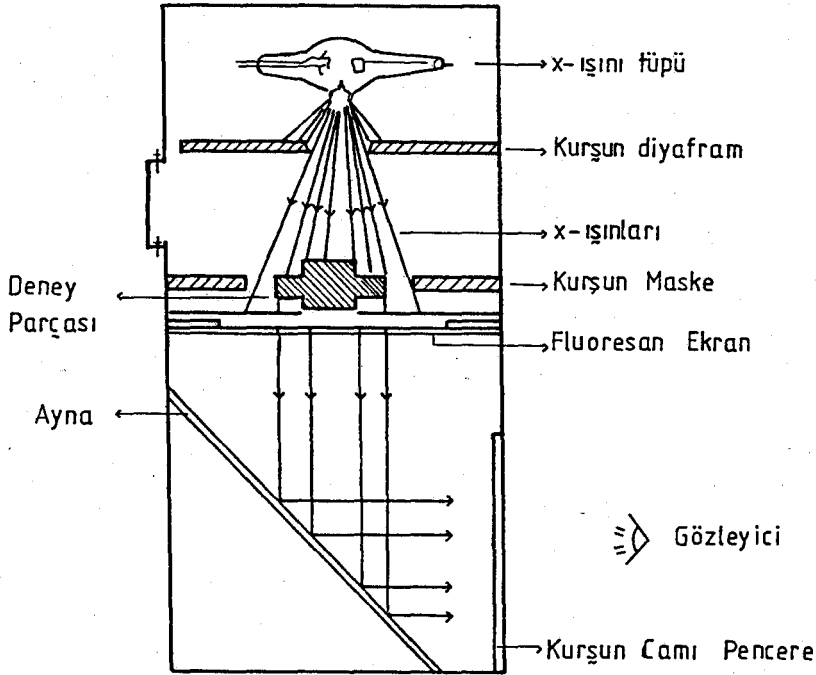
1. Yöntem, parça kalınlığının %1'den az kalınlık değişimlerine hassas değildir.
2. Absorbsiyon karakteristikleri ana malzemeye yakın kalıntılar için duyarlılık yetersizdir.
3. Muayenenin planlanması ve sonuçların yorumlanması uzman personel gerektirir.
4. Çok ince ve ekseni ışının demeti doğrultusuna paralel olan çatlaklar bu yöntem ile belirlenemez.
5. Işınlardan sağlığa zararlı oluşu korunmayı gerektirir. Bu da metodun uygulanmasını güçleştirir.

3.4. Fluoroskopik Muayene

Bu usulde, cisim içinden geçen ışınlar bir röntgen filmi yerine bir fluoroskopik ekran üzerine düşürülür ve gözleyici direkt olarak gölge resmini görür. Bu usulle zamandan büyük ölçüde tasarruf sağlanır, filmin ışıklandırılması, kurutulması için zaman kaybedilmemiş olur. Ancak radyografik muayeneye göre masraflar daha fazladır. Hafif metallerin çok ince kalınlıklarında alınan görüntüler, oda ışığında görülebilecek parlaklıkta olup 25 mm çelik kalınlıklarına kadar iyi hassasiyet elde edilir.

Şekil 3.12.'de bir fluoroskopik muayene cihazı gösterilmektedir. Fluoroskopi cihazları, ışın geçirmeyen ve 160.000 volta dek çalışan cihazlardır.

Bu cihazlar genellikle hafif alaşımlarda, plastiklerde, döküm parçalarda kalıntıların ve boşlukların bulunup bulunmadığının kontrol edilmesinde kullanılır. Ekranda görülebilmesi için kusurların malzeme kalınlığının % 5-15'i kadar olması gerekir.



Şekil 3.12. Fluoroskopik muayene cihazı
(Ersümer ve Aydınbeyli, 1977)

3.4.1. Tahribatsız muayenede fluoroskopik muayene usulünün avantajları ve dezavantajları

a. Avantajları:

1. Parçanın iç görüntüsünün muayene anında görülebilmesi.
2. İlk tesis masrafı amorti edildikten sonra, parça başına muayene masrafı genellikle radyografi yönteminden azdır.
3. Film banyo işlemleri ve masrafları yoktur.
4. Muayene zamanı çok kısadır.
5. Fotoğraf ve film alma tertibatları ilavesi mümkündür.

b. Dezavantajları:

1. Tesisat ağır ve genellikle taşınmaz durumdadır.

2. Az ışııkta çalışmaya gereksinim vardır.

3. Küçük süreksizliklerin bulunmasında duyarlılık radyografiden daha düşüktür.

4. İlk tesis masrafı genellikle yüksektir.

3.5. Ultrasonik Muayene

3.5.1. Ultrasesin tanımı

Dalga boyu itibariyle insan kulağının duyarlığı üstünde kalan frekanstaki seslere ultrases adı verilir. İnsan kulağı 16 Hz ile 20 kHz arasındaki frekanslara duyarlıdır, ultrases ise 20 kHz frekansın üstündeki seslerdir. Ultrases, atomların yada moleküllerin denge konumları etrafındaki titreşimleridir. Bu nedenle ultrason bir mekanik enerjidir. Titreřen atomun ultrasonik enerji şiddeti ile genliği arasında aşağıdaki bağıntı vardır. (Oerlikon, 1979)

$$I_U = \frac{1}{2} \cdot W \cdot w^2 \cdot A^2 \quad (3.5)$$

3.5.2. Akustik empedans

Akustik empedans, ortamların ses yayınına gösterdiği direnç olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$W = \rho \cdot c \quad (3.6)$$

Tahribatsız muayene açısından önemli olan malzemelerin akustik empedansları izelge 3.2.'de verilmektedir.

3.5.3. Ultrasonik muayenenin tanımı ve amaçları

Malzeme içinde yayınan ultrasonik dalgalar, onun yapısal değişikliklerinden ve süreksizliklerinden etkilenir. Bu etkiler değerlendirilerek malzeme derinliklerinin yapısal durumu saptanır.

Ultrasonik muayenenin amaçları üç grupta toplanabilir.

3.5.3.1. Boyut ölçme ile ilgili uygulamalar

Ultrasonik dalgalar malzeme içinde sabit bir hızla yayıldıklarından, bu hız önceden bilinirse gidiş dönüş zamanı ölçülerek malzeme içinde katettiği yol ve dolayısıyla malzemenin ilgili boyutu bulunabilir. Örneğin:

-Kalınlık ölçmede 3 mm'den kalın levhalarda uygulanabilir.

-Ultrasonik mikrometre olarak 3 mm'den küçük kalınlıklar rezonans metodu ile ölçülebilir. Bu usulle mikron mertebesinde ölçme olanağı vardır.

-Ultrasonik termometre olarak metal çubuğun sıcaklıkla boyut değiştirmesi, rezonans metodu ile hassas bir şekilde ölçülebilir. Cihaz sıcaklıklara göre kalibre edildiğinden doğrudan sıcaklık değeri okunur.

3.5.3.2. Özelliklerin ölçülmesini amaçlayan uygulamalar

Ultras ses bir mekanik enerji olduğuna göre onun ortamın elastik özellikleri ile bağıntılı olması doğaldır. Gerçekten malzemenin elastik özellikleri ses hızını etkiler. Ses hızındaki değişme ölçülerek, ortamın elastik özelliklerindeki değişmeler belirlenebilir. Ses hızındaki ve ultrasonik enerjinin zayıflamasındaki değişimleri algılamaya dayanan pek çok ilginç uygulama vardır. Örneğin:

-Elastik kayıpların tayininde uygulanabilir.

-Metalurjik yapıdaki değişimlerin algılanmasında tane büyüklüğü mertebesi, yönelme derecesi, mikroskobik hataların yoğunluğu, ayrılmış fazlar, kalıntılar, soğuk işlem derecesi, sıcak işlem derecesi tayinleri, ultrasonik enerjinin saçılmasında ve soğurulmasındaki farklılıkların algılanması esasına dayanmaktadır.

-Gerilim tayini, birbirine dik doğrultularda polarize olmuş enine dalgaların hızları arasındaki farkın ölçülmesi esasına dayanır.

3.5.3.3. Süreksizliklerin belirlenmesini amaçlayan uygulamalar

Malzeme içindeki hatalara çarpan ultrasonik dalgalar, yansıyıp geri dönerler. Gidiş dönüş süresinden hatanın yeri ve yankının şiddetinden hatanın büyüklüğü belirlenebilir.

Örneğin:

- Malzemelerdeki makroskobik hataların algılanmasında,
- Tabakalar arası yapışma ve kaynama kontrolünde, kaplama tabakalarının ana metale kaynaması, sandviç yapılarda tabakalar arası yapışma durumunun tesbitinde,
- Uzaktan kumanda aletlerinde uygulanabilir.

Çizelge 3.2. Bazı malzemelerin akustik empedansları ve özgül kütleleri

| | W 10 ⁶ kg / m ² sn | ρ 10 ³ kg / m ³ |
|----------------------|---|--|
| Demir (Çelik) | 46,5 | 7,85 |
| Dökme demir | 25 - 40 | 7,2 |
| Bakır | 42 | 8,9 |
| Pirinç | 33 | 8,5 |
| Alüminyum | 17 | 2,7 |
| Porselen | 2,4 | 13 - 14 |
| Perspex (plexiglass) | 3,2 | 1,13 |
| Naylon , Perlon | 1,8 - 2,7 | 1,0 - 1,2 |
| Lastik (vulkanize) | 2,5 - 3,7 | 1,1 - 1,6 |
| Lastik (yumuşak) | 1,9 - 3,1 | 1,3 - 2,1 |
| Su (20°C) | 1,5 | 1,0 |
| Motor yağı | 1,1 - 1,7 | 0,82 - 1,02 |

3.5.4. Ultrasonik dalga çeşitleri

Titreşim ve yayılım doğrultularına göre ultrasonik dalgalar şekil 3.13.'de gösterildiği gibi başlıca üç çeşittir.

1. Boyuna dalga: Basınç dalgasında denilen bu dalgaların titreşim ve yayılım doğrultuları aynıdır. Normal problemlerle muayenede kullanılırlar. Yayınma hızı diğer ultrasonik dalgalardan daha yüksek olan bu dalgalar, her tür maddesel ortamda yayınabilir.

2.Enine dalga: Titreşim ve yayının doğrultuları birbirine diktir. Buna aynı zamanda kayma dalgası adıda verilir. Açısal problemlerle muayenede kullanılır. Yalnız katı ortamlarda yayınabilir, yayınma hızı boyuna dalğanın yarısı kadardır.

3.Yüzey dalgası: Titreşim hareketi yayının doğrultusuna dik bir elipstir. Malzeme derinliğine nüfuz etmeyip yalnız yüzeyde yayındıkları için bu isim verilmiştir. Hızı enine dalgalardan biraz daha küçüktür. Örneğin, c_y yüzey dalgasının, c_E enine dalğanın yayınma hızı olmak üzere çelikte; $c_y=0.92.c_E$ alüminyumda; $c_y= 0.93.c_E$ dir. (Oerlikon, 1979)

Ultrasonik dalgaların bir ortamdaki yayılma hızı ortamın elastik özelliklerin ve yoğunluğun bir fonksiyonudur. Boyuna, enine ve yüzey dalgasının yayınma hızları sırasıyla;

$$c_B = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (3.7)$$

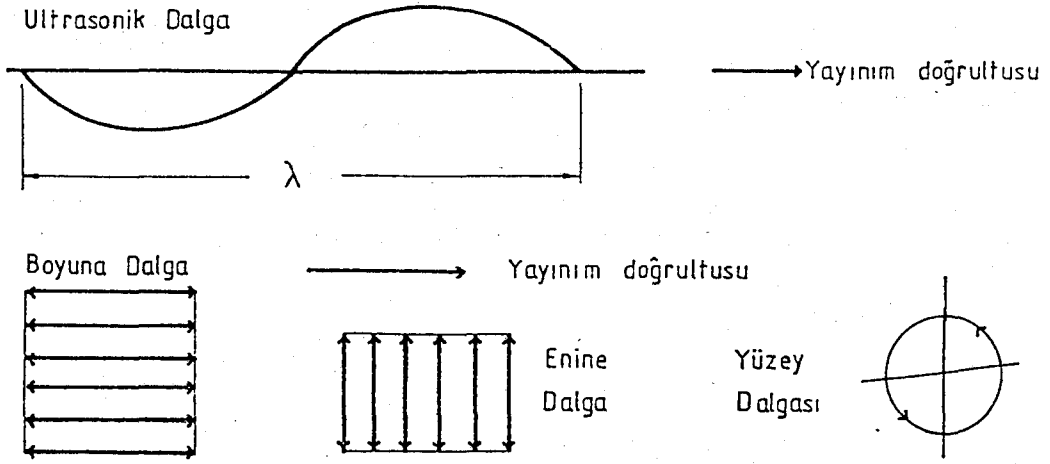
$$c_E = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\nu)}} \quad (3.8)$$

$$c_y = c_E \frac{0.87+1.12\nu}{1-\nu} \quad (3.9)$$

olup, bazı malzemelerde akustik hız değerleri çizelge 3.3.'de verilmektedir.

3.5.5.Ultrasonik dalgaların ara yüzeylerde davranışı

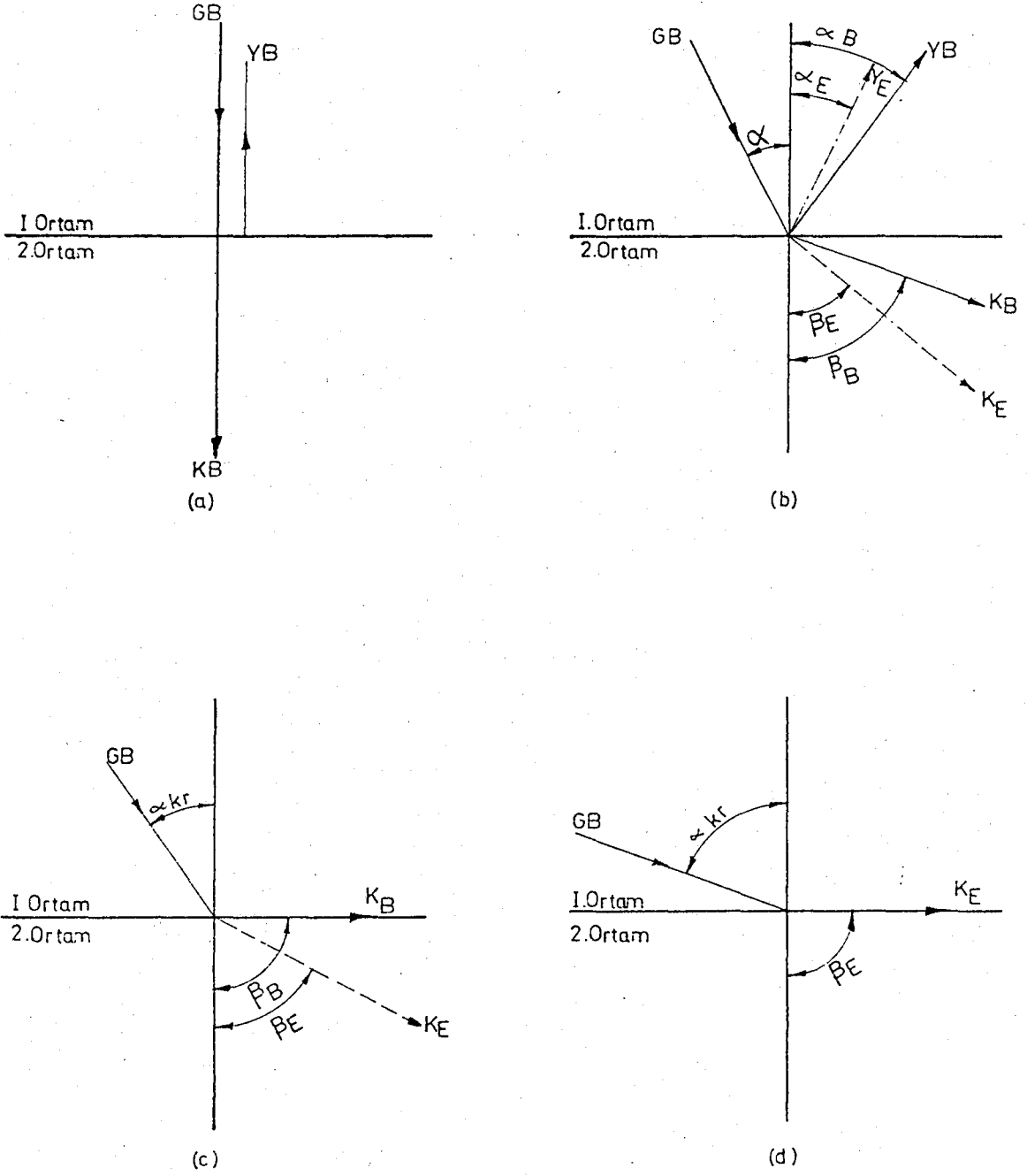
Ultrasonik dalgalar, ortamları birleştiren ara yüzeylerde kırılır ve yansır. Yüzeğe dik olarak gelen ultrasonik enerji, aynı doğrultu içinde kalmak koşuluyla kısmen yansıyarak geri döner ve kismende yoluna devam ederek diğer ortama geçer (şekil 3.14.a). Ultrasonik enerji ara yüzeye eğik olarak gelmişse bir dallanma olur. Gelen bir enerji ışını, dört ışına bölünür (şekil 3.14.b). Bunlardan ikisi yansıyan, diğer ikisinde kırılan ışınlardır. Gelen boyuna dalğanın ara yüzeylere 70° den daha küçük bir açıyla gelmesi halinde yansıyan dalgalar oluşmamaktadır (Şekil 3.14.c.d.).



Şekil 3.13. Ultrasonik dalga çeşitleri
(Ersümer ve Aydınbeyli, 1977)

Çizelge 3.3. Bazı malzemelerde akustik hızlar
(Oerlikon, 1979)

| | Akustik Hızlar 10^3 m/sn | |
|----------------------|-------------------------------|-----------|
| | C_B | C_E |
| Demir (Çelik) | 5,93 | 3,23 |
| Dökme Demir | 3,5 - 5,6 | 2,2 - 3,2 |
| Alüminyum | 6,32 | 3,08 |
| Bakır | 4,70 | 2,26 |
| Pirinç | 3,83 | 2,25 |
| Porselen | 5,6 - 6,2 | 3,5 - 3,7 |
| Perspex (plexiglass) | 2,73 | 1,43 |
| Naylon , perlon | 1,8 - 2,2 | - |
| Lastik (vulkanize) | 2,3 | - |
| Lastik (yumuşak) | 1,48 | - |
| Motor yağı | 1,23 - 1,74 | - |
| Su (20 °C) | 1,483 | - |



Şekil 3.14. Ultrasonik ışının ara yüzeylerde yansımaları ve kırılması (Oerlikon, 1979)

Geliş açısı α , yansıma yada kırılma açısı β "Snell Kanunu" na göre aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} \quad (3.10)$$

Akustik hızlar boyuna ve enine dalgalar için farklı olduğundan her iki dalganın yansıma ve kırılma açıları farklı olacaktır. Ara yüzeye dik düşen ultrasonik enerjinin, yansıtıp geri dönen ve yoluna devam ederek ikinci ortama geçen kısımlarının oranları ise şöyle hesaplanabilir:

$$\text{Yansıyan Enerji Oranı: } Y = \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1} \quad (3.11)$$

$$\text{Kırılan Enerji Oranı: } K = \frac{2W_2}{W_2 + W_1} \quad (3.12)$$

W_1 ve W_2 ortamların akustik empedanslarıdır.

Örneğin, sırasıyla çelik-su ve çelik-hava ara yüzeyine dik gelen ultrasonik enerjinin yansıyan ve kırılan kısımlarının oranları hesaplandığında;

Çelik-su için: $Y = \% 93.7$, $K = \% 6.3$

Çelik-hava için: $Y = \% 100$, $K = \% 0$ bulunur.

Verilen iki örnekte de görüldüğü gibi ara yüzeylerde ultrasonik enerjinin büyük bir bölümü yansır, az bir kısmı ise kırılır. Çelik-hava ara yüzeyinde geçiş pratik olarak 0'dır. Buradanda tahribatsız muayene açısından şu önemli sonuçlara varılabilir.

a. Malzeme içine gönderilen ultrasonik enerjinin yüzeylerden sızması olasılığı yoktur.

b. Ultrasonik enerji hatalardan ve yüzeylerden kuvvetle yansır.

c. Malzeme içine ultrasonik enerji havadan geçerek gönderilemez.

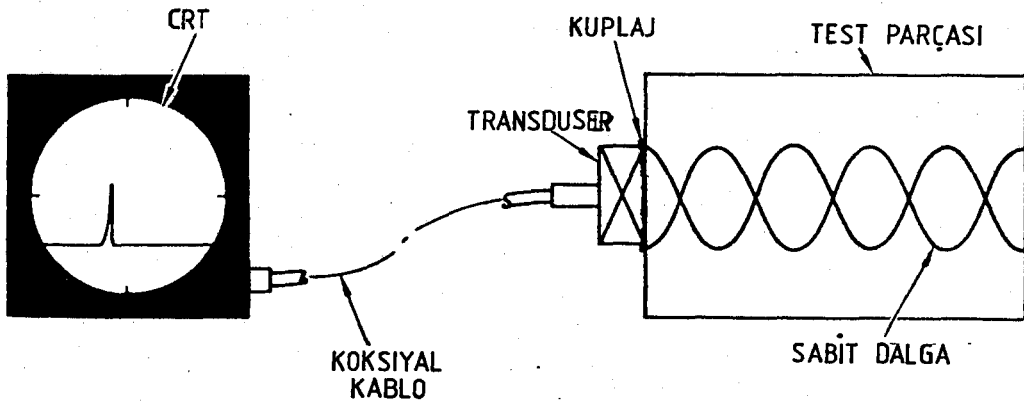
d. Malzeme içine ultrasonik enerji sudan geçerek gönderilebilir. Sıvı ortamda sadece boyuna dalgalar yayınabilir.

3.5.6.Ultrasonik test sistemleri

Tahribatsız muayenelerde şu üç ana ultrasonik test sistemi vardır.

3.5.6.1.Darbe yankı sistemi

Bu sistemde kısa, zamanlanmış ultrasonik dalga darbeleri test edilecek malzeme içine gönderilir. Bu darbeler, çarpışmaları herhangi bir malzeme sınırından yada yolları üzerinde bulunan süreksizliklerden yansır. Alınan yansımalar yada ekolar süreksizliğin malzeme içindeki derinliği ve boyutu gibi bilgileri sağlayan katot ışınlu bir tüpte (CRT) izlenir. Biri alıcı, diğeri verici olarak iki transduser kullanılabildiği gibi, tek bir transduser hem alıcı hem de verici olarak kullanılabilir (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15.Darbe-yankı sistemi (Üstünel, 1981)

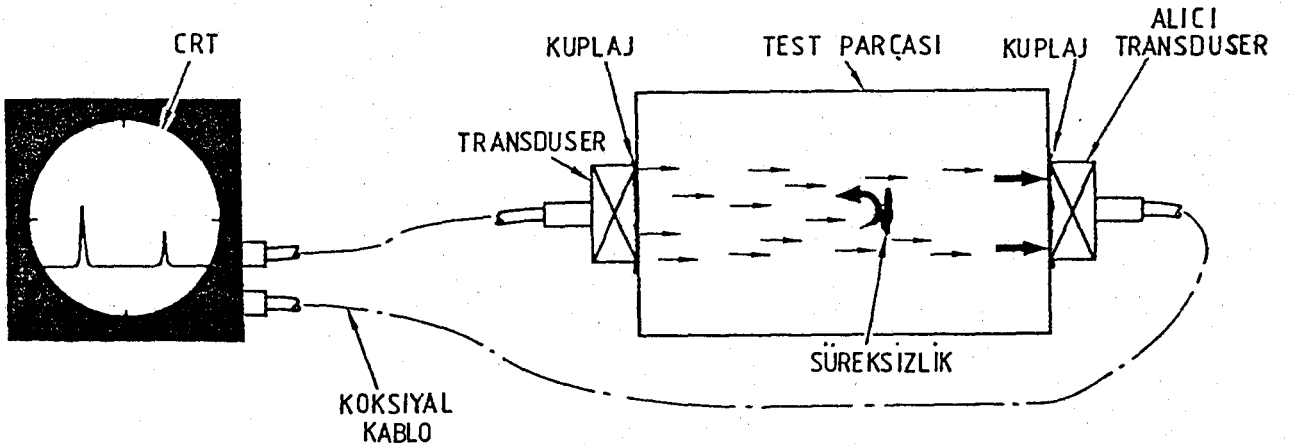
Darbe yankı sistemi, süreksizliklere çarparak alıcı transduser'e ulaşan "Yansıyan Enerji" prensibine dayanır. Şöyle ki, yansıma ve iletim yüzdesi ara yüzeyi oluşturan malzemelerin akustik empedanslarının oranına bağlı olduğundan süreksizlikler aşırı derecede yüksek empedans oranlarına sahip olarak ara yüzeyler gibi hareket ederler. Sağlam malzemede bir enerji darbesi malzeme içinden geçerek ve arka yüzeyden

yansıdıktan sonra tekrar bir darbe imiş gibi kaynağına gelir. Hatalı malzemede orjinal darbenin bir kısmı süreksizlikten yansır ve orjinal darbeden önce transdusere geri döner. Darbe-yankı sistemi malzemelerdeki süreksizlikleri tesbit için yansımadaki bu farkı kullanır.

3.5.6.2. Direkt iletim sistemi

Ultrasonik muayenede diğer sistemlere oranla daha az kullanılan bir sistemdir. Bu sistem, iki transduser kullanımını gerektirir. Bir transduser alıcı olarak kullanılırken, diğeri verici olarak kullanılır. Darbe-yankı sisteminde olduğu gibi, kısa darbeleri ultrasonik dalgalar malzeme içine gönderilir. Darbe-yankı sisteminden farklı yönü ise, yansımaların verici transdusere geri dönmemesidir. Alıcı transduser direkt yada indirekt olarak malzemeyi geçen ses dalgalarını yakalayabilecek şekilde, verici transdusere göre ayarlanır.

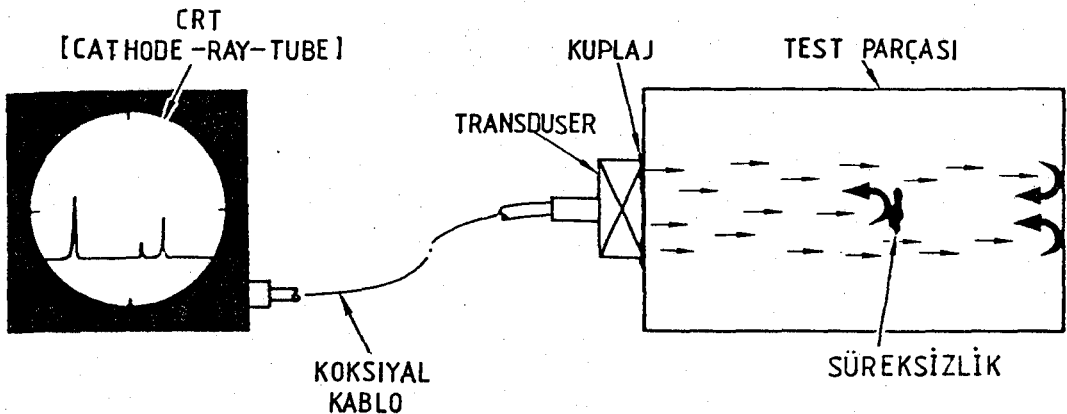
Direkt iletim sistemi, alınan enerji değerindeki değişimleri belirleyerek, bir malzeme içindeki süreksizlikleri tesbit eder. Alınan enerji değerindeki belirli bir azalış, bir süreksizlik belirtisidir (Şekil 3.16.).



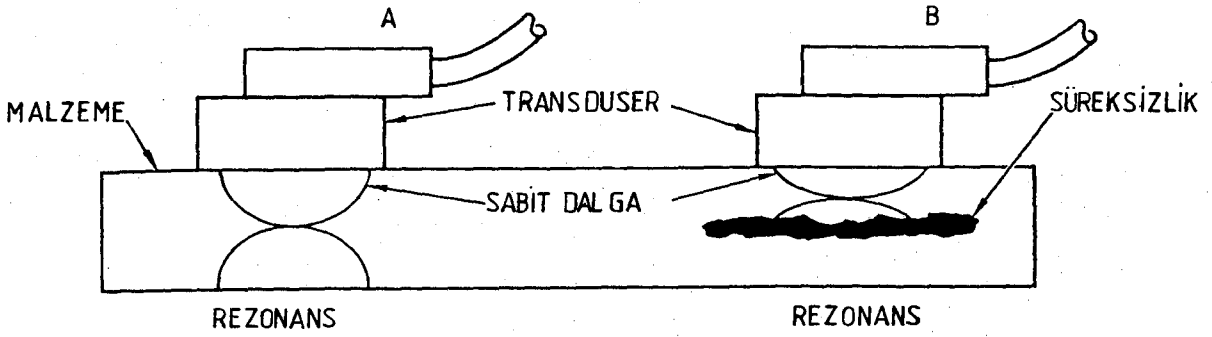
Şekil 3.16. Direkt iletim sistemi
(Üstünel, 1981)

3.5.6.3. Rezonans sistemi

Bu sistemde malzeme kalınlığını ölçmek ve sınırlı yada yapılandırılmış malzemelerin kalitesini belirlemek için rezonans olayından yararlanılır. Rezonans sisteminde ultrasonik dalgalar, dalgaların daima sürekli boyuna dalgalar olması durumu hariç malzeme içerisine darbe-yankı sistemine benzer olarak gönderilir. Dalga frekansı, test parçası içinde sürekli sabit dalgalar oluşuncaya kadar değiştirilir ki buda test parçasının daha büyük bir değerde titreşmesine yada rezonansa girmesine neden olur. Rezonans bir jeneratör tarafından algılanır ve CRT ekranda bir ibre sapması yada hopperlörde işitilebilir bir ses değişimi olarak gösterilir. Rezonans sistemi süreksizlikleri belirlerken, verilen bir malzeme kalınlığı için rezonans frekansındaki değişimleri kullanır (Şekil 3.17.). Örneğin bir malzeme parçasına rezonans sisteminin transduserini temas ettirelim. Sonra malzeme rezonansa gelinceye ve sürekli sabit dalgaların bir yarı dalga boyu yada dalga boyunun tam katları oluşuncaya kadar frekansı ayarlayalım. Transduser bir süreksizlik üzerinde hareket ettirilirse, malzeme seçilen frekansta rezonansı durduracak ve sabit sürekli dalga kaybolacaktır (Şekil 3.18.A). Böyle bir durumda, dalga boyu daha uzun olup süreksizlik malzeme kalınlığındaki bir değişim gibi hareket edeceğinden frekans değerinin yeniden ayarlanması gerekir. Bu ise sabit sürekli dalgayı elde etmek için (Şekil 3.18.B'de gösterildiği gibi) dalga boyu ayarlaması demektir.



Şekil 3.17. Rezonans sistemi (Üstünel, 1981)



Şekil 3.18.Rezonans sisteminde sürekli sabit dalganın oluşumu (Üstünel, 1981)

3.5.7.Ultrasonik test metotları

İki tip ultrasonik test metodu mevcuttur.

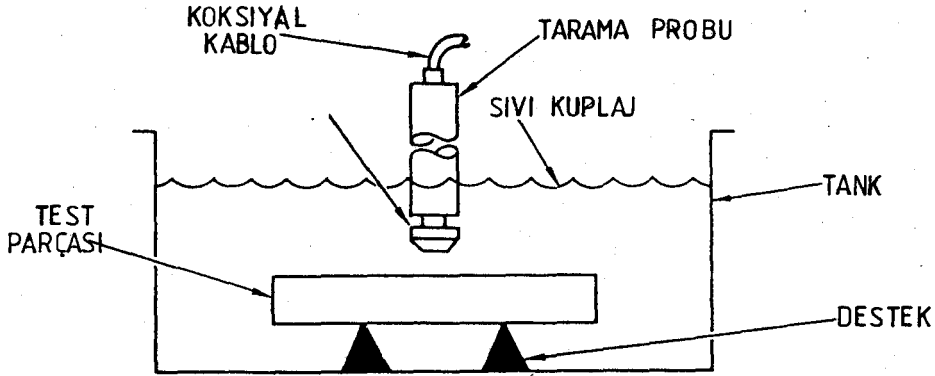
- 1.Temas metodu.
- 2.Daldırma metodu.

3.5.7.1.Temas metodu

Test edilecek malzeme yüzeyine direkt temas sağlayacak şekilde bir transduser yerleştirilen test metoduna "Temas Testi" adı verilir. Temas testinde transduser, malzemeye genellikle bir sıvı, yarı sıvı yada pasta şeklinde ince bir tabaka kuplaj vasıtasıyla temas ettirilir. Kuplaj, transduser ve malzeme arasında en fazla enerji iletimini sağlar. Atelyelerde çok sık kullanılan test cihazları genellikle portatif taşınabilir tiptendir.

3.5.7.2.Daldırma metodu

Bu metotta malzeme ve transduser bir sıvı içine daldırılır ve ultrasonik dalgalar sıvı yardımıyla test parçasına uygulanır. Transduser test edilecek malzemeye temas etmez. Kuplaj, genellikle ıslatıcı madde eklenmiş sudur. Test parçası için özel destekler gereklidir ve transduseri taşıyan tara- ma probunu yönlendirmek ve hareket ettirmek için manipulatörler kullanılır (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Daldırma metodu (Üstünel, 1981)

3.5.7.3. Temas metodunun avantajları ve dezavantajları

Temas metodunun başlıca avantajı sistemin yerleştirme esnekliğidir. Bu esneklik test cihazının test malzemesinden yada test edilecek parçadan ayrılabilmesine imkan verir.

Temas metodunun diğer avantajları şöyle sıralanabilir:

1. En az sayıda test cihazı ve aksesuar gerektirir.
2. Yüzey dalga testi olanağı sağlar.
3. Çok büyük parçaları test edebilme olanağı verir.

Ancak temas metodunda transduser genellikle test parçası üzerinde elle gezdirilmekte yada teste bağlı olarak noktasal okumalar yapılmaktadır. Bu durum temas metodunun başlıca dezavantajları olarak nitelenebilir. Temas metodunun diğer dezavantajları şunlardır:

1. Test yüzeyi ile transduser arasındaki kuplajın üniform bir biçimde muhafaza edilme güçlüğü olduğundan test, sistem duvarlığının kaybına ve test sonuçlarının üniform olmamasına neden olur.

2. Test parçasına ultrasonik ses enerjisinin maksimumunu iletebilmek için belirli bir yüzey düzgünlüğü gereklidir.

3. Ağır bir kuplajın kullanılması, test sonunda parça yüzeyinde giderilmesi gereken bir yağ yada gres tabakası bırakır.

4. Değişken açılı transduser kullanılan özel şartlar hariç, transduser açıları daldırma testindeki gibi sürekli olarak değiştirilemez.

Temas metodunun sınırlamalarının bir analizi yapılırsa, en büyük dezavantajın transduser yüzeyi ile test parçası yüzeyi arasında üniform akustik kuplajı kurma güçlüğüdür. Eğer testi yapan kişi transduseri test parçasıyla temas ettirirken üniform bir basıncı koruyamazsa, ortaya çıkan sonuçlar değiştikçe test sisteminin duyarlılığında değişecektir.

3.5.7.4. Daldırma metodunun avantajları ve dezavantajları

Daldırma metodunun başlıca avantajları şunlardır:

1. Küçük süreksizlikleri tesbit için daha yüksek duyarlılık ve büyük bir hızla tarama yapma olanağı sağlayan daha yüksek test frekansları kullanılabilir.

2. Transduser açılarının değiştirilebilme kolaylığı vardır.

3. Düzensiz şekille test parçalarını muayene edebilme yeteneğine sahiptir.

4. Daldırma metodu otomatik tarama ve kayıt işlemine uygundur.

Daldırma metodunun dezavantajları:

1. Çok sayıda aksesuar gerektirir.

2. Ses enerjisinin büyük bir kısmı test parçası ana yüzeyinden yansır.

3. Bazı test parçalarının boyutları bir tank içine daldırmaya elverişli olmaz.

Bu açıklamalardan da görülebileceği gibi herhangi bir alanda bir test yapılmak istendiğinde kullanılacak en iyi metod temas metodudur. Daldırma metodu ise test gereklerine bağlı olarak atölye yada üretim hattında tercih edilmesi uygundur.

3.5.8. Ultrasonik muayenede dalga yayılımına test parçasının etkisi

Bir test parçasının yüzey durumu gönderilen ve alınan ultrasonik enerjiyi büyük ölçüde etkiler. Kaba yüzeyler istenmeyen şu etkilere neden olabilir:

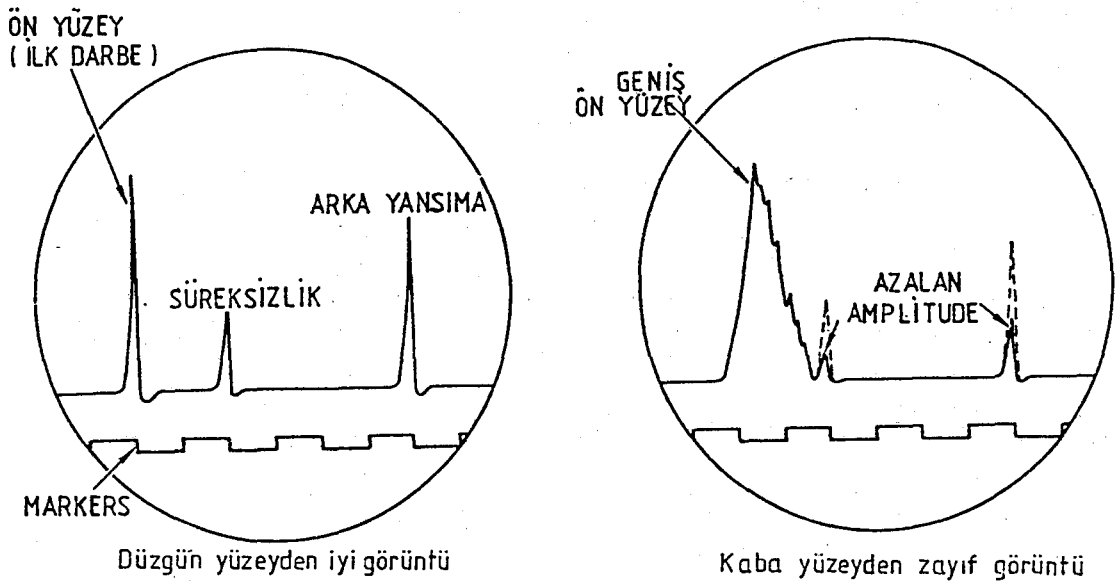
1.Süreksizliğin ve arka yüzey sinyal büyüklüğünün kaybı.

2.Ön yüzey belirti genişliğinin artışı ve ayırma gücü kaybolması.

3.Dalga yönünün bozulması.

4.Sahte yüzey dalgaları oluşturması.

Şekil 3.20.'de düzgün ve kaba yüzeylerden alınmış CRT görüntüleri verilmektedir.



Şekil 3.20.CRT görüntüleri (Üstünel, 1981)

Güvenilir bir test için transduserin test parçasına teması mümkün olduğu kadar üniform olacak biçimde gerçekleştirilmelidir. Bir test parçası sınırlarına ultrasonik dalgaların çarpması görünür ışığın yansımalarıyla karşılaştırılabilir. Eğer gelen demet sınıra dikse, bir aynaya çarpan ışık gibi geriye kaynağına yansır. Süreksizliğin fark edilebilmesi için ideal bir test parçası ön ve arka yüzeylerin paralel olduğu şekildedir. Yüzeylerin paralel olmaması halinde, yansıyan enerji bir ayna yüzeyine açılı olarak gelen ışıkta olduğu gibi transduserden farklı bir yöne yönlenecek ve alınan tepkinin büyüklüğü azalacaktır. Kimi durumlarda yansımaya açısına bağlı olarak arka yüzey yansımalarının kaybolması olasıdır.

3.5.9.Ultrasonik enerjinin üretimi

Ses bir titreşim enerjisi yani bir mekanik enerji olduğuna göre ses üretimi demek titreşim enerjisi üretmek demektir. Ultrasonik frekansları üretmek yine bir titreşim hareketi üretmek ve algılamakta titreşim enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek demektir. Kimi malzemeler örneğin nikel, nikel alaşımları, çelik ve ferritler magnetik etki ile boyut değiştirirler. Üzerinden alternatif akım geçen bir bobinin içine konan nikel çubuğun boyu, akım yön değiştirdikçe değişir. Akım yüksek frekansa çıktığında çubuk aynı frekansla titreşir. Buna magnetostriktiv etkileşim denir ve 20-40 kHz frekanslar bu yöntemle üretilebilir. Kimi maddelerin elektrik gerilimi altında boyut değiştirmesi "piezoelektrik olay" olup yüksek frekanslarda enerji üretimine uygun, temel olaydır ve tersinirdir. Yani aynı maddeler mekanik olarak şekil değiştirmeye zorlanırsa, elektrik gerilimi oluştururlar. Piezoelektrik etki gösteren ve ultrasonik muayenede en çok kullanılan malzemeler kuvarts ve baryum titanattır. Piezoelektrik kristal, verilen ani ve kuvvetli bir elektrik darbesi ile kalınlık titreşimlerine başlar. Bu titreşimler, üretilen ultrasonik enerjidir.

3.5.10.Ultrasonik cihazın tanımı ve işleyişi

Ultrasonik cihaz, malzemenin içine ses dalgaları göndererek bu dalgaların malzeme içindeki gidiş ve dönüş zamanını elektronik olarak ölçüp değerlendiren bir düzenedir.

Proben kristali, elektriksel dalgaları ses dalgalarına dönüştürerek malzemenin içine gönderir ve ekrandaki ışık noktası sol köşeden sağ köşeye doğru hareket eder. Bu noktanın hareket hızı, malzemenin içindeki ses hızına bağlıdır. Malzemenin tabanından geri dönen ses dalgaları, probun kristali tarafından yeniden elektriksel dalgalara dönüştürülürler ve bu dalgalar elektronik olarak değerlendirilirler. Ekran üzerinde eko adını verdiğimiz görüntü izlenir.

Ultrasonik cihazın blok diyagramı şekil 3.21.'deki gibi gösterilebilir. Ultrasonik cihazı oluşturan birimlerin işlevleri ise şöyle özetlenebilir.

1.Darbe üreticisi: Darbe üreticisi elektronik olarak çalıştırıldığında bir alternatif voltaj patlaması üretir. Bu patlamanın frekansı ve süresi ünitenin kapasitesine bağlı olup, sabit ve değiştirilebilir tipte olabilir. Üretilen darbeler hem proba, hemde yükseltici devreye gönderilirler. Proba gönderilen darbe transduserde ultrasoniye dönüşür. Yükseltici devreye gönderilen darbe buradan katod ışını tüpüne gelir. Ekranın sol yanında başlangıç sinyali olarak yer alır.

2.Zaman devresi: Tüm devrelerin zamanlama koordinasyonu bu devre tarafından gerçekleştirilir.

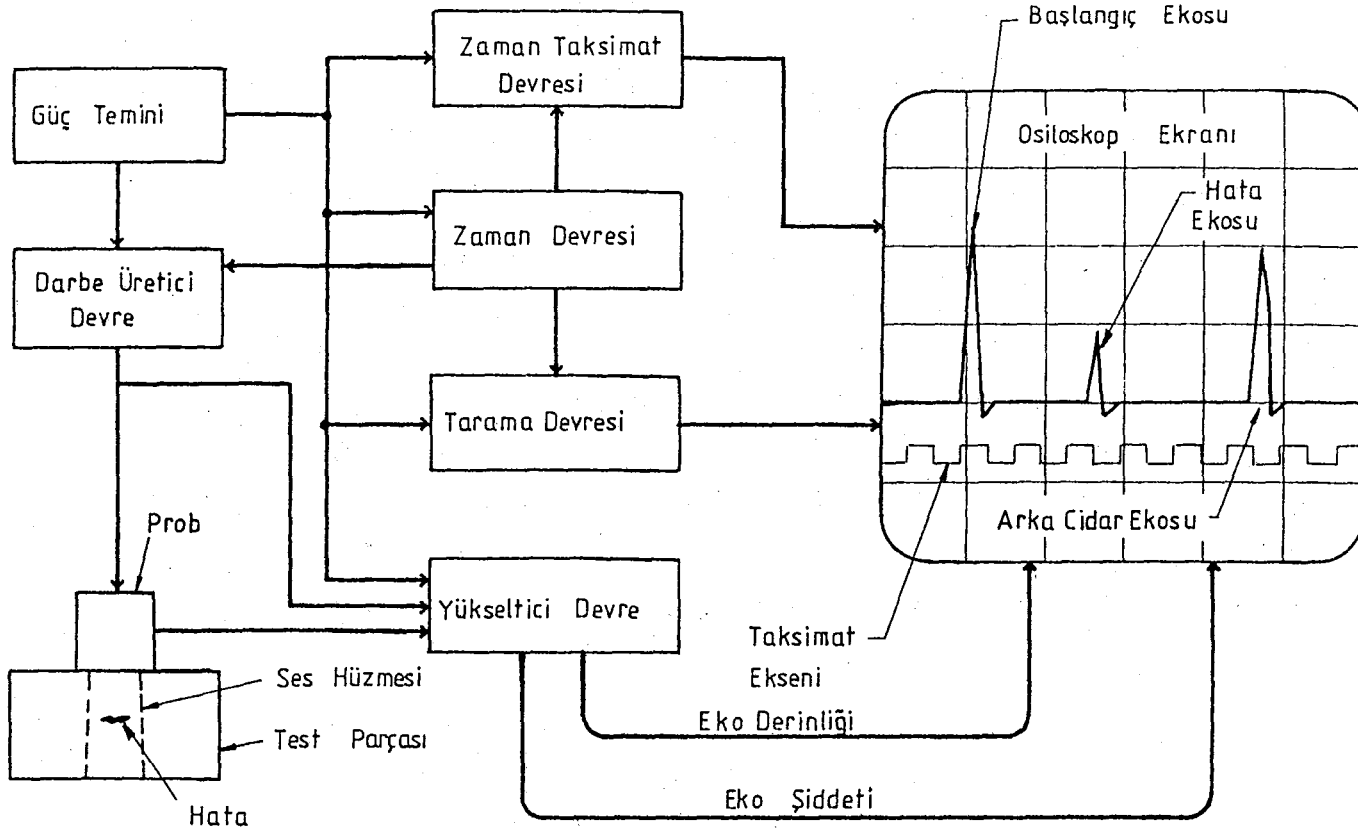
3.Zaman taksimat devresi ekranda kırık çizgilerden oluşmuş taksimat eksenini meydana getirir. Taksimat ekseninin amacı zaman eksenini eşit aralıklarla bölerek, yapılacak okumaları kolaylaştırmaktır. Taksimat aralıkları istenilen uzunluğa ayarlanabilir.

4.Tarama devresi: Tarama devresinin esas fonksiyonu, yatay zaman ekseninin görüntüsünü oluşturarak elektron demetinin sabit bir hızla ekranı taramasını sağlamaktır. Devrenin bir ikinci fonksiyonu ise yatay eksenini sağa sola kaydırarak deney parçasının bütün kalınlığının ekranda görüntülenebilmesine imkan vermektir.

5.Yükseltici devre: Yükseltici devre darbe üreticisinden gelen darbelere ve probdan gelen yankı darbelerine ait düşey sinyallerin oluşmasını sağlar. Ayrıca yankı sinyallerinin şiddetlendirilmesi ve istenilen formda modülasyonunda bu devre tarafından yapılır.

3.5.11.Problar

Problar bünyelerinde bulundukları piezoelektrik eleman tarafından meydana getirilen ultrasonik dalgaların malzeme içerisine gönderme işleminde kullanılan elemanlardır.



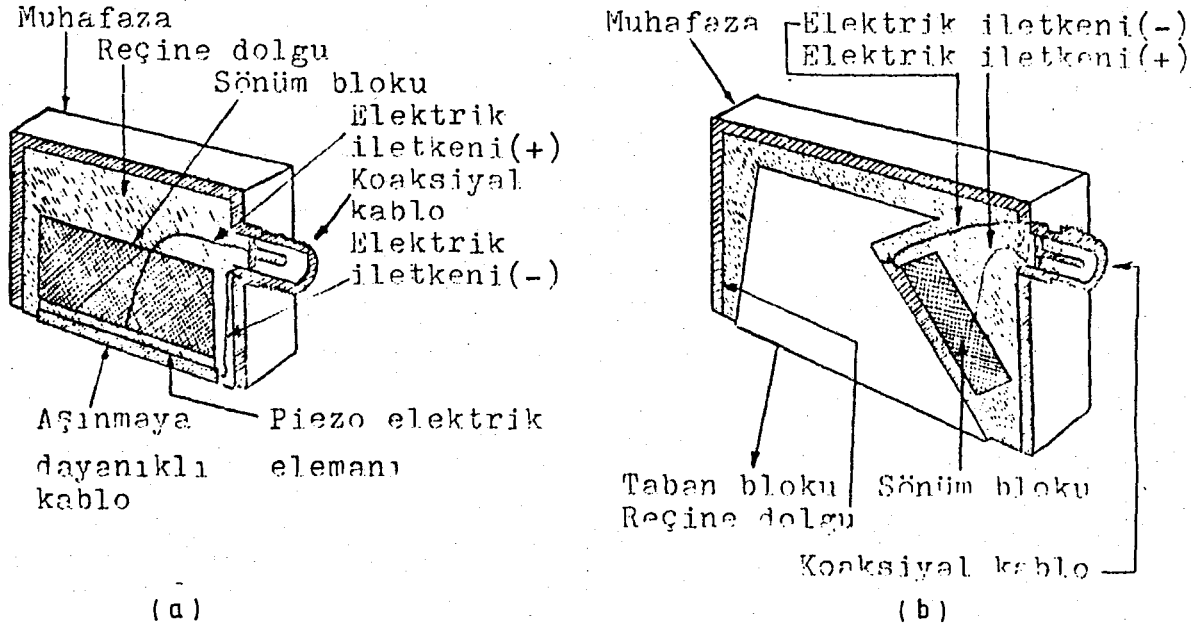
Şekil 3.21. Ultrasonik cihazın blok diyagramı
(Metals Handbook, 1976)

Ürettikleri ultrasonik dalgaları prob yüzeyine dik doğrultuda test parçası içine doğru gönderen problara "Normal Prob" denir. Normal proplar genellikle boyuna dalgalar gönderir ve algırlarlar.

Standart normal propların 0.5 MHz den 15 MHz kadar geniş bir frekans seçim alanları vardır. Bu proplarla 5000 mm kalınlıkta hatta daha kalın test parçalarına bile ses demeti gönderilebilir, büyük ve kalın parçalar test edilebilir. Propların formu sayesinde test parçasının yüzey özelliklerine ve yapısal özelliklerine rahatlıkla uyum sağlanır. Normal propların tek dezavantajı yüzeye çok yakın olan devamsızlıkları algılama zorluğudur. Devamsızlıktan gelen eko, impuls ekosu içinde kaybolur (şekil 3.22.a).

Standart açılı proplar ise malzeme içine belirli bir açı altında dalga demeti gönderirler ve gönderdikleri ses dalgalarını tekrar algırlarlar (şekil 3.22.b). Prob haznesi içinde kristal, normale belli bir açı yapacak biçimde yerleştirilmiştir. Yüzeye eğik bir geliş açısı altında ses demeti gönderirler ve boyuna dalga üretirler. Ancak kırılmadan dolayı boyuna dalgalar yüzeysel dalgalara çevrilir. Malzeme içinde sadece enine dalgalar kalır. En çok kullanılan prob açıları 45° , 60° ve 70° dir.

Normal proplarda olduğu gibi açılı proplarda da üst yüzeye çok yakın devamsızlıkları görme zorluğu vardır. Bu problemi ortadan kaldırma amacıyla "SE Probları" yapılmıştır. SE probları ve SE açılı probları olarak sınıflandırılırlar. Tüm SE probları genel olarak doğrusal dalgalar gönderirler ve algırlarlar. Standart normal propların ve açılı propların tersine SE proplarda iki tane kristal vardır. Bunlardan biri yalnızca gönderici, diğeri sadece algılayıcıdır. Gönderici kristalin algılama fonksiyonu olmadığı için yüzeye sürtümeden dolayı, kristalin rahatsız olması söz konusu değildir. Bütün tarama yüzeyi boyunca gönderi impulsları yüzeye uzak olan kristalden gönderildiği halde cihaz ekranında rahatsız edilmiş olarak beliren bir eko görülmez.



Şekil 3.22.Çeşitli prob tipleri, a.Normal prob, b.Açısal prob
(Metals Handbook, 1976)

Ancak kristalin temas yüzeyinden uzak olmasından dolayı, ekran üzerinde bir temas ekosu görülür. Bu ekoların oluşum nedeni aslında göndericiden gelen ses dalgalarının temas yüzeyinden yansiyarak algılayıcı tarafından algılanmalarıdır. Ancak temas üstü ekolar çok küçük olduklarından, yüzeye yakın devamsızlıkların algılanmasını bile etkilemezler. Bu nedenle SE problemleri yüzeye yakın hataların algılanmasında normal ve açılı problemlere oranla çok daha kullanışlıdır. Dar bir dalga yayılma menziline sahip olmalarıda SE problemlerinin kullanımını açısından bir dezavantaj oluşturur.

3.5.12. Transduserler

Ultrasonik test sistemin temel elemanı transduserdir. Transduser, malzemenin durumunu görür ve elde ettiği bilgiyi ekrana geri gönderir. Ultrasonik transduserlerin kristalleri piezoelektrik malzemelerden yapılmıştır. Piezoelektrik özellikleri gereğince transduserler elektrik enerjisine ultrasonik enerjiye ve ultrasonik enerjiye elektrik enerjisine dönüştürürler.

Ultrasonik transduserlerde üç tip piezoelektrik malzeme kullanılmakta olup, bunlar kuvarts, lityum, sülfat ve baryum titanat, kurşun zirkonat, kurşun metaniobat, kurşun zirkontitanat gibi polerize olmuş seramiklerdir. Bir transduserin yeteneği ve test sistem malzemesi olarak iyiliği, duyarlılığı ve ayırma özelliği olarak tanımlanabilir. Transduserin duyarlılığı küçük süreksizlikleri belirleme yeteneği olup, süreksizliklerden gelen ses enerjisi yansımalarına belirleyerek bir standart referans bloktaki suni olarak açılmış bir süreksizlikten gelen sinyal büyüklüğü ile ölçülür. Ayırma, derinlik yada zaman olarak birbirine çok yakın iki süreksizlikten gelen yansımaların transduser tarafından fark edilmesi yeteneğidir. Diğer bir deyimle her bir süreksizlik için ekranda fark edilebilen ayrı sinyaller oluşturma yeteneğidir.

Örneğin, bir test parçasının yakın bir süreksizliğin, bir transduser tarafından tesbit edilme yeteneği "yüzey ayrımı" olarak isimlendirilir. En iyi ayırma yüksek frekanslar kısa darbe genişliği ve dikkatli bir sönümlenme ile elde edilir.

3.5.13. Akustik emisyon

Ultrasonik muayenelerde en çok kullanılan teknikler, darbe-yankı ve rezonans teknikleridir. Birincisinde, dışarıda üretilen bir ultrasonik demetle muayene edilecek malzemenin içi taranır. Malzemenin diğer yüzünden, hatada yansıtıp geri dönen dalgaların faz ve genlikleri ölçülür. Yansıyan dalganın fazından hatanın yeri, genliğinden de hatanın büyüklüğü tesbit edilir. Bir ultrasonik muayene tekniğide rezonans tekniğidir. Pratikte özellikle ince cidarların kalınlığını ölçmede kullanılan bu teknikte ölçü ortamının dışarıda üretilen bir ultrasonik demet kullanılır. Ancak, modern endüstrinin büyük ilgi duyduğu çatlama başlangıçlarına mikroskobik safhada iken tesbit etmek, bu tekniklerle mümkün olmaktadır. Bu gibi hedeflerden gelen yankılar, temel gürültü arasında kaybolmaktadır.

Çatlama esnasında malzemenin kendisi ses çıkartır, çattırdır. Buna "Akustik Emisyon" adı verilmektedir. İç gerilmeler nedeniyle plastik deformasyonda ani bir artış, yani çatlama bir yandan gerilim yoğunluğunun ani olarak azalmasını sağlarken diğer yandanda ses dalgaları yayınlar. Oluşan ses dalgaları dış yüzeyden yansıyarak malzeme içinde zamanla eksponansiyel olarak sönen çınılamalara neden olur. Çınlama süresi çelikte yaklaşık 0.03 mikrosaniye kadar olmaktadır. Akustik spektrumun duyulabilen kanadından başlayarak megahertz mertebesine kadar giden bu seslerin deteksiyonu, frekans analizi ve genliklerinin ölçülmesinden, bunları yaratan mikroskobik çatlamlar hakkında kantitatif bilgiler edinmek mümkündür. Mikroskobik çatlamlar malzeme kırılmalarının ilk belirtileri olduğuna göre bunların deteksiyonu ile yorulma mukavemeti, sürünme mukavemeti, gerilme korozyonu ve deformasyon sertleşmesi gibi önemli özellikleri ölçme imkanı doğar.

Akustik emisyon tekniğinin en önemli özelliği, çatlak oluşumu anında ve uzak bir noktadan tesbit etme imkanı vermesidir.

Akustik emisyon tekniği yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene usulleri arasında değildir. Ancak büyük merkezlerde kritik muayenesinde hizmete girmiş bulunmaktadır. Bu konuda ilk uygulama 1964 yılında Plaris füzelerinin yanma odalarının hidrostatik denemesi sırasında çatlak teşekkülünün tesbitidir. Çatlağın oluştuğu ve yürümekte olduğu bu şekilde belirlenir belirlenmez deney basıncı düşürülmekte ve bu nokta tamir olunmaktadır. Böylece fevkalade pahalı bir parça olan yanma odasının basınç muayenesi sırasında tahrip olması engellenmektedir. (Özden, 1972)

Bugün akustik emisyon tekniği daha ziyade uzay ve nükleer teknolojilerde basınçlı kapların hidrostatik muayeneleri sırasında yada kaynak işlemi esnasında dikişte oluşan çatlak başlangıcının tesbitinde kullanılmaktadır. Reaktörün basınçlı bileşenlerinde, işletme esnasında oluşan aktif çatlaklar bu yolla takip edilmekte ve ilgili komponent reaktör işletmesini aksatacak bir arıza göstermeden değiştirilmektedir.

3.5.14. Tahribatsız muayenede ultrasonik muayene metodunun avantajları ve dezavantajları

a. Avantajları:

1. Küçük hataların tesbitini sağlayan yüksek duyarlılığa sahiptir.

2. Çatlak, boşluk gibi yüzey ve iç hataların belirlenmesinden başka, metalurjik iç yapının incelenmesi elastisite modülünün tayini, kalınlık ölçmeleri ve bunun gibi yapılabilir. Dolayısıyla geniş bir uygulama alanına sahiptir.

3. Süreksizliklerin boyutlarını ve konumlarını tesbitte hassasiyetleri çok yüksektir.

4. Çabuk tepki sebebiyle süratli ve otomatik test yapmaya imkan sağlar.

5. Kontrol için test parçasının sadece bir yüzeyi yeterlidir.

6.Çok kalın malzemelerin muayenesine olanak verir.

7.Sonucu anında verdiği gibi, gerekirse kalıcı bir kayıt alınması olanağında vardır.

8.Cihazlar taşınabilir olup, metod ve teknik olarak uygulayan personelin sağlığına zararlı etkisi yoktur.

b.Dezavantajları:

1.Parçanın geometrik şekli ve yüzey durumu, hassasiyeti büyük ölçüde etkiler ve çok küçük, ince parçaların incelenmesinde güçlükler yaratır.

2.Yüzeyin hemen altındaki hatalar tesbit edilmeyebilir.

3.Ana malzemeye kaynamış ve onunla benzer akustik özelliklere sahip kalıntıların aranması güçtür.

4.Dalgaların malzemeye etkin biçimde girmesini sağlayan bir ara sıvıya gereksinme vardır.

5.Ultrasonik dalga demetinin hatanın uzantısına göre doğrultusunun, hata sinyali büyüklüğüne etkisi vardır.

6.İri taneli ve gözenekli malzemelerde ince tanecikler halinde dağılmış çökelek ve kalıntılar içeren malzemelerde, yansıma ve kırılmalar bir sinyal kalabalığı oluşturur. Bunların hata seçimi güçtür.

7.Cihaz kalibrasyonu ve hataların karakterizasyonu için referans standartlarına mutlak gerek vardır.

8.Muayene işlemi, iyi yetişmiş ve dikkatli teknisyen kullanımını gerektirir. İşlemin geliştirilmesi ise çok geniş teknik bilgiyi gerektirir.

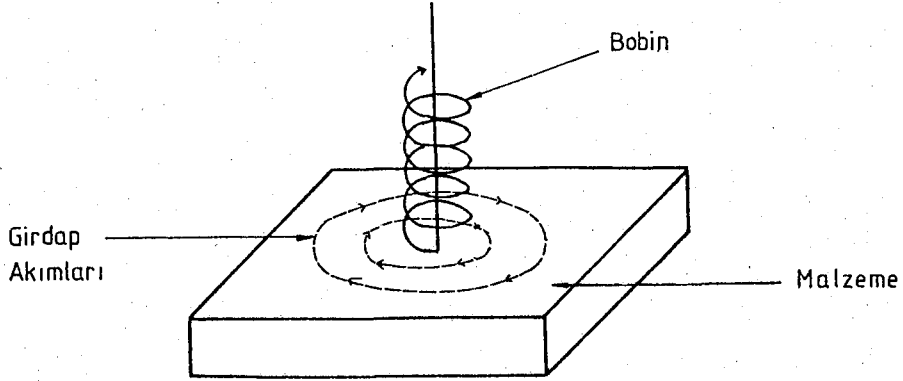
3.6.Girdap Akımları (Eddy Current) ile Muayene

3.6.1.Girdap akımlarının tanımı ve özellikleri

Bir alternatif magnetik alan tarafından bir iletken malzemede yaratılan alternatif akımlara, indüksiyon akımları yada "Girdap Akımları" adı verilir. Bu akımlar dairesel olup, akış düzlemi alanı diktir.

Bir bobinden geçen alternatif akım bir magnetik alan oluşturur ve bu magnetik alan, sabit frekansta akım şiddetiyle orantılı olarak değişir. Magnetik alan iletken malzemeyle yakın temasa getirildiğinde bu magnetik alan malzemenin içine yayılacaktır. Bu yayılımın şiddeti ve etkinliği, malzemenin cinsine ve alanın malzemedeki uzaklığına bağlıdır.

1825 yılında Faraday'ın değişken bir magnetik alanın bir iletkende elektrik akımı yarattığı keşfetmesinden bir kaç yıl sonra Lenz oluşturulan girdap akımlarının yönünün, kendisini oluşturan magnetik alanın yönüne zıt olduğunu bulmuştur (şekil 3.23.).



Şekil 3.23. İletken malzeme de girdap akımları

İletken malzeme de oluşturulan sekonder magnetik alan, malzemenin dışına doğru uzanmakta ve bobinin magnetik alanını etkilemektedir. Böylece bobin akımı daha düşük bir değere inmekte ve bobin devresine bir ampermetre takılarak bobinden geçen bu akım ölçülebilmektedir.

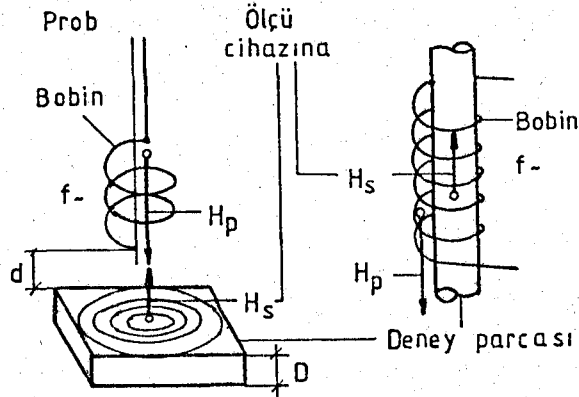
3.6.2. Girdap akımları ile muayenenin esasları

Girdap akımları ile muayenenin şekil 3.24.'deki prensip şemasında görüleceği gibi malzeme içindeki hatalar, geometrik ve metalurjik değişimler malzemenin elektriksel iletkenlik ve magnetik özelliklerinde, dolayısıyla endüklenen girdap akımlarında lokal değişimlere neden olmaktadır.

Girdap akımlarındaki bu değişmeler detektör bobin tarafından ibreli ekranlı, kalemli kaydedicili, ışıklı yada sesli alarmlı, sayıcı bir okuma cihazına gönderildiğinde malzemenin elektriksel, magnetik ve geometrik süreksizlikleri dolaylı olarak ölçülebilir.

Malzeme içindeki girdap akımlarını değişikliğe uğratan başlıca faktörler şunlardır:

- 1.İmalattan ve kullanımdan doğan süreksizlikler.
- 2.Malzemenin iletkenlik değişimi.
- 3.Malzeme kalınlık değişimi.
- 4.Malzeme üzerindeki iletken olmayan kaplama kalınlıkları değişimi.



Şekil 3.24.Girdap akımlarıyla parça muayenesi (Tekiz, 1984)

3.6.3.Girdap akımlarıyla muayenede etkili başlıca faktörler

Girdap akımlarının şiddetini etkileyen faktörlerden bazıları muayene işlemini kolaylaştırıcı, bazıları ise güçleştirici rol oynarlar. Bunların bir kısmı kullanılan cihaz tarafından, bir kısmı ise test edilen malzemenin kendisi tarafından kontrol edilir. Bunların başlıcaları şunlardır:

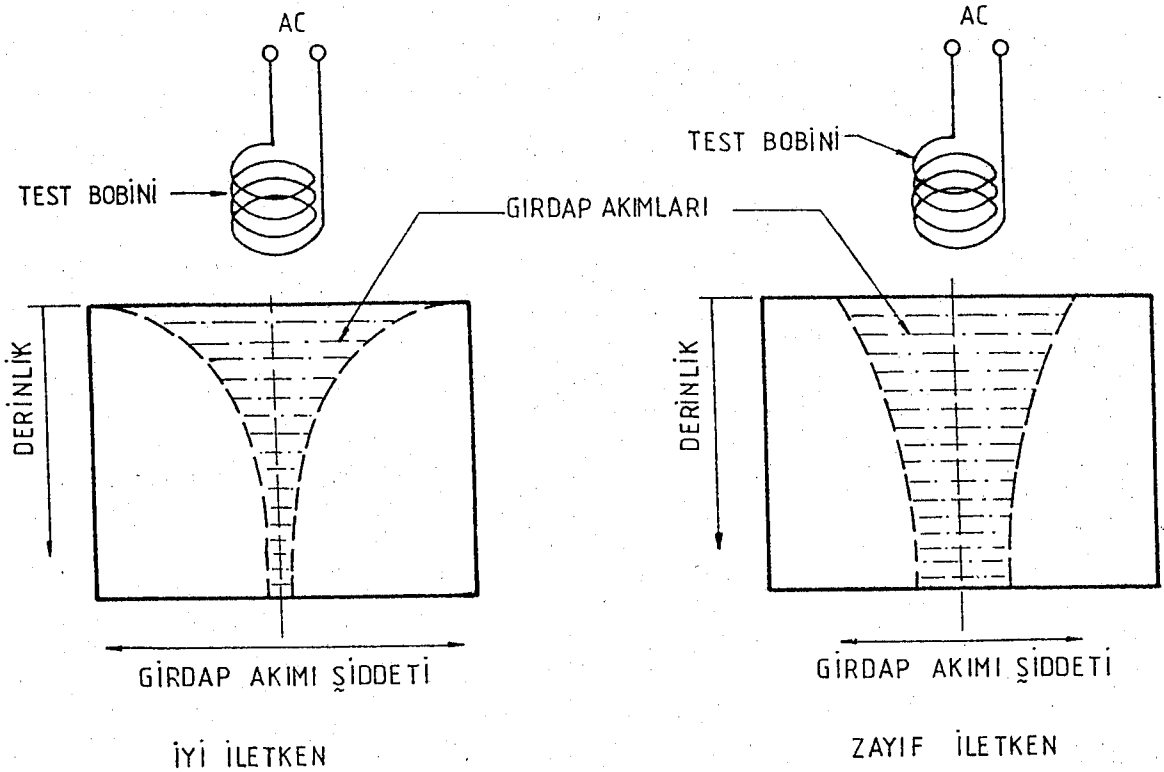
- 1.Muayene parçasının iletkenliği.
- 2.Muayene parçasının magnetik geçirgenliği.
- 3.Muayene bobininden geçen alternatif akımın frekansı.

4. Muayene parçasının geometrisi.
5. Malzeme-bobin uzaklığı.
6. Muayene parçasındaki süreksizlikler.

3.6.3.1. Muayene parçasının iletkenliği

Bir malzemenin iletkenliği o malzeme içinde elektronların akış kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Malzemenin iletkenliği arttıkça, verilen belli bir sürede malzemedan geçen elektron sayısı artmaktadır. Girdap akımlarında aslında bir iletken malzemeye uygulanan alternatif magnetik alan tarafından oluşturulan bir elektron akışıdır. Yüksek iletkenliğe sahip bir malzemede, düşük iletkenliğe sahip malzemedekinden daha büyük girdap akımları yaratılacağı açıktır. Ayrıca malzemenin iletkenliğindeki bir değişim malzeme içindeki girdap akımlarında da değişim oluşturacağından, bu değişim ölçülerek iletkenlik ölçümünde yapılabilir.

İletkenlik, uluslararası tavllanmış bakır standardı (Internation Annealed Copper Standart=IACS) kullanılarak ölçülür. Bu ölçüm, yüksek saflıktaki özellikleri belirlenmiş bir bakırın elektriksel iletkenliği % 100 kabul edilerek yapılır. Diğer metallerin iletkenlik ölçüleri bu malzeme ile mukayese esasına dayanır ve % IACS olarak ifade edilir. Malzemelerde iletkenlik değişimleri, ısıl işlem, yaşlanma sertleşmesi, kimyasal bileşim değişikliği, sıcaklık değişimi gibi etkenlerle oluşur. Bu değişiklikler malzemede bölgesel olarak ortaya çıkıyorsa, bunların tesbiti amacıyla girdap akımları kullanılabilir. Buna göre farklı iletkenliğe sahip malzemelerde, girdap akımlarının izafi büyüklüğü ve dağılımında farklı olacaktır (şekil 3.25.). Çizelge 3.4.'de kimi malzemelerin iletkenlik değerleri verilmektedir.



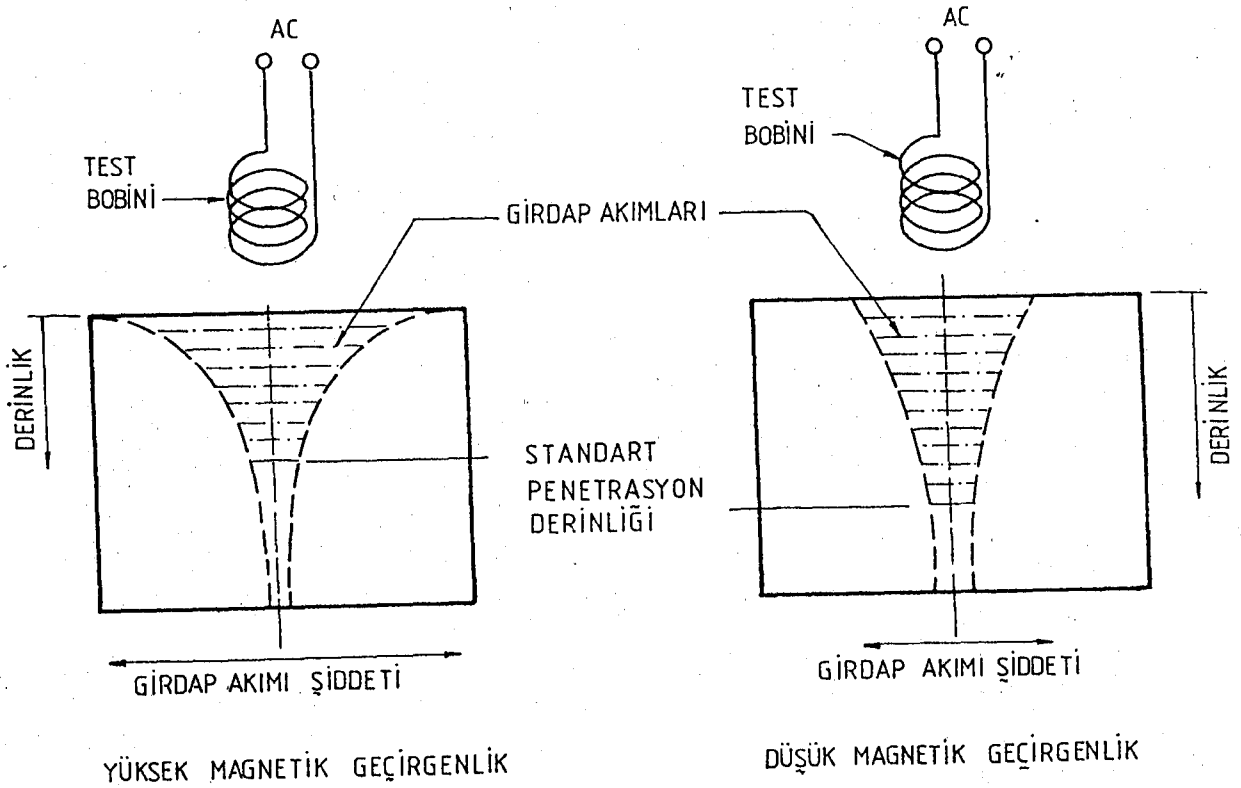
Şekil 3.25. Düşük ve yüksek iletkenliğe sahip malzemelerde girdap akım alanları (Üstünel, 1981)

3.6.3.2. Muayene parçasının magnetik geçirgenliği

Magnetik geçirgenlik bir malzemenin magnetik etkilenme yatkınlığının ölçüsüdür. Diğer bir deyimle magnetik geçirgenlik bir malzemenin magnetik akı geçişine izin verme yeteneğinin bir ölçüsüdür, "B" magnetik akı yoğunluğu, "H" magnetik alan kuvveti olmak üzere B/H oranı ile tanımlanır.

Bir bobinin magnetik alanı, bir magnetik malzemeye uygulandığında malzemedeki akı yoğunluğu miktarı, malzemenin magnetik parçacıkları tarafından ilave akı yoğunluğu yaratılması nedeniyle, bobinin tek başına sağladığı akıdan daha büyüktür. Sonuçta, magnetik malzemelerdeki girdap akımlarının şiddeti daima magnetik olmayan malzemelerdekinden büyük olacaktır (şekil 3.26.).

Magnetik olmayan malzemelerde girdap akımları şiddeti direkt olarak bobinin magnetik alan şiddetine bağlı olup, girdap akımlarındaki herhangi bir değişiklik ancak malzemenin iletkenliğinin veya bobinin magnetik alan kuvvetinin değiştirilmesi ile mümkündür. Magnetik geçirgenliğin girdap akımları şiddeti üzerine kesin bir etkisi vardır. Bu durum yüksek magnetik geçirgenliğe sahip malzemelerde hata belirtilerini maskeliyebilir ve bu metod tahribatsız muayene usulü olarak uygun olmaz. Çizelge 3.4.'de bazı malzemelere ait magnetik geçirgenlik değerleri verilmektedir.



Şekil 3.26. Malzemelerin magnetik geçirgenliğinin girdap akım şiddeti üzerine etkisi (Üstünel, 1981)

3.6.3.3. Bobinden geçen alternatif akımın frekansı

Yüksek frekanslı bir akım, bir iletkenin geçirildiğinde elektronlar yüzeyde toplanır. Bu olaya "yüzey etkisi" adı verilir. Bu durum girdap akımları içinde geçerlidir. Frekans arttıkça yüzey etkisi artar, yani girdap akımları yüzeye yaklaşır. Böylece girdap akımlarının nüfuz edebileceği derinlik, bobine uygulanan akımın frekansı değiştirilerek kontrol edilebilir. Girdap akım alanı yüzeye nüfuz ettikçe, bu alanın kuvveti tedricen azalır. Bu azalma bobine bir belirti vermeyecek kadar küçük bir değere ulaşıncaya kadar sürer. Bu değer, girdap akımları şiddetinin yüzeydeki değerinin % 37 sine düştüğü değer olarak tanımlanmaktadır.

$$D_p = 503 \sqrt{\frac{R}{M \cdot f}} \quad (3.13.a)$$

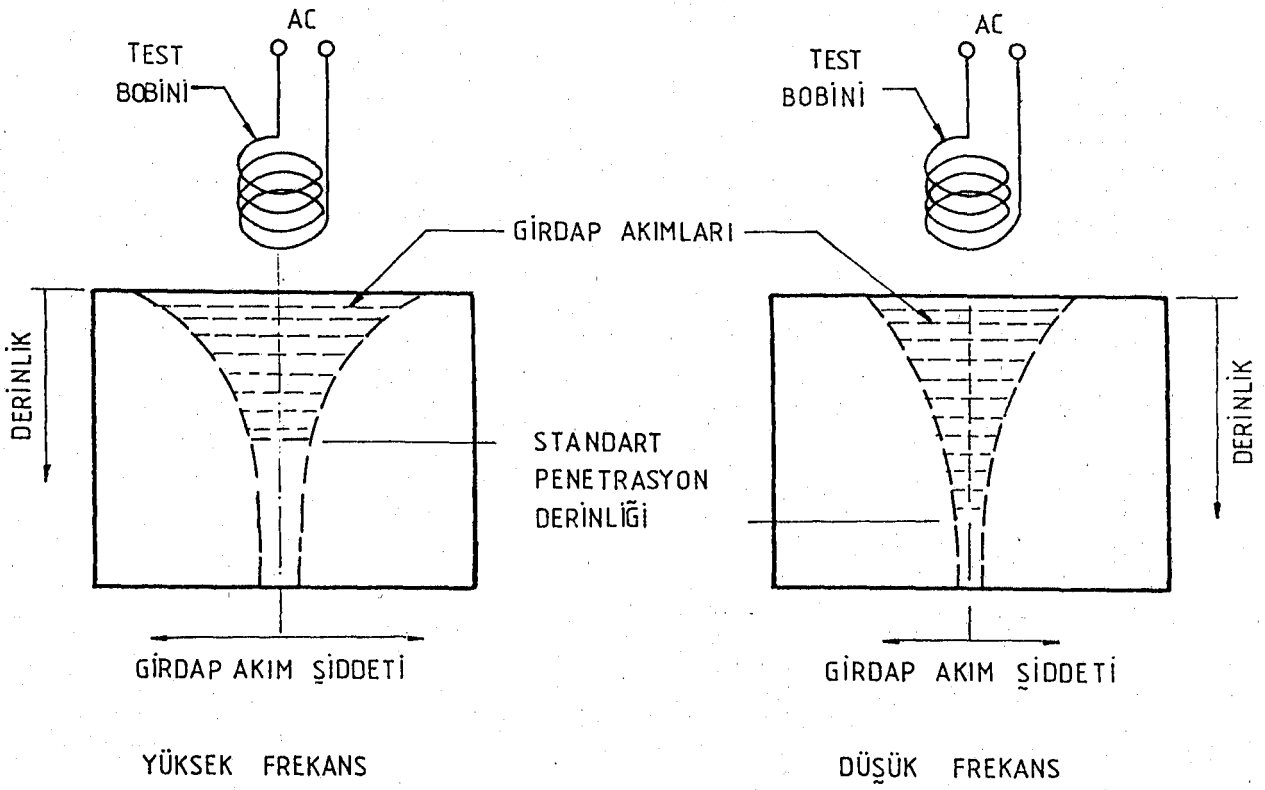
$$R = \frac{1.7241}{\% \text{ IACS}} \quad (3.13.b)$$

Formül 3.13.'de görüldüğü gibi nüfuziyet derinliği, iletkenlik, magnetik geçirgenlik ve bobin akım frekansına bağlıdır. Frekansın malzemelerdeki nüfuziyet derinliğine etkisi şekil 3.27. deki gibi gösterilebilir.

Alçak frekanslı girdap akımları, yüzey altı hatalarına yüzey hatalarından daha fazla duyarlıdır. Nüfuziyet derinlikleri çok az olduğundan yüksek frekanslı girdap akımları için bu durum sözkonusu değildir. Çizelge 3.4.de bazı malzemelerde, farklı frekans değerleri için milimetre olarak nüfuziyet derinliği verilmektedir.

3.6.3.4. Muayene parçasının geometrisi

Muayene edilen malzemedeki boyut değişimleri, girdap akımlarını bozarak bir gösterge sapmasına yol açarlar. Şöyle ki, girdap akımları alanı, parçanın bir kenarına yada herhangi bir kesit değişimine çok yaklaştırıldığında bozulmalar ve sapsmalar oluşur.



Şekil 3.27. Frekansın girdap akımlarının nüfuziyet derinliğine etkisi (Üstünel, 1981)

Çizelge 3.4. Kimi malzemelerin iletkenlik, magnetik geçirgenlik ve nüfuziyet derinliği değerleri

| MALZEME | İLETKENLİK % IACS | PERMEABİLİTE | ÇEŞİTLİ FREKANSLARDA mm OLARAK % 37 Dp | | | |
|--------------------------|----------------------|--------------|--|--------|---------|-------|
| | | | 4 kHz | 64 kHz | 256 kHz | 1 MHz |
| BAKIR | 100 | 1 | 1,041 | 0,254 | 0,127 | 0,066 |
| ALÜMİNYUM | 32 | 1 | 1,828 | 0,457 | 0,228 | 0,107 |
| MAGNEZYUM | 37 | 1 | 1,702 | 0,432 | 0,203 | 0,107 |
| KURŞUN | 7,8 | 1 | 3,708 | 0,940 | 0,457 | 0,234 |
| PASLANMAZ ÇELİK | 2,5 | 1,02 | 6,553 | 1,651 | 0,813 | 0,416 |
| YÜKSEK ALAŞIMLI ÇELİK | 2,9 | 750 | 0,241 | 0,061 | 0,030 | 0,015 |
| DÖKME ÇELİK | 10,7 | 175 | 0,226 | 0,056 | 0,056 | 0,015 |

3.6.3.5. Muayene parçasındaki süreksizlikler

Girdap akımları bir çatlaktan geçemezler. Bu nedenle çatlağın etrafından dolaşırlar ve böylece girdap akım alanında bir değişime neden olarak, göstergede bir ibre sapması verirler. Cihaz sabit bir hassasiyet ayarındayken, ibre sapma miktarı hatanın boyutuyla değişecektir. Ancak gerçek hata boyutu ibre sapma miktarıyla belirlenemez, cihazın hassasiyet ayarı bilinen bir hata için ayarlanmasıyla test malzemesindeki hatanın boyutu tahmin edilebilir. Bu amaçla bilinen boyutlu hataları içeren bir standart blok kullanılır.

3.6.4. Muayene bobinleri (probları)

Muayene bobinleri, iletken bir muayene parçasına değişken bir magnetik alan uygulamak için dizayn edilmişlerdir. Magnetik alan, bobinden geçen magnetik akım tarafından yaratılır. Muayene değişkenleri bu alanın şiddet ve dağılımını değiştirir. Bu değişiklik, bobinden geçen akımdaki değişikliği gözleyerek izlenebilir. Alternatif olarak, uyarıcı bobinin magnetik alanı içine yerleştirilen ayrı bir bobin yada bobinler test parçasındaki değişkenleri belirlemek için kullanılabilir. Bobinler çeşitli tip cihazlar için imal edilirler, bir cihaz tipine ait bir bobinin farklı bir cihazda kullanılması her zaman sözkonusu olmaz. Değişim sözkonusu olduğunda kullanılacak cihaza ve frekans aralığına uyum sağlanmalıdır.

3.6.4.1. Bobin seçiminde dikkat edilecek hususlar

Girdap akımı bobini seçimindeki temel kabul, kullanılması amacına bağlıdır. Küçük çaplı bir bobin küçük hataların tesbitinde çok daha iyi bir teşhis ve ayırtetme kabiliyeti sağlayacaktır. Bobinin, kullanılan köprü devre empedans aralığı ile uyum içinde olması gerekir. Empedans ihtiyacını karşılamak için probun kullanılacağı frekans aralığı gözönünde tutulmalıdır. Pek çok uygulamada, test parçasıyla bobin arası mesafe, parça içinde mümkün olan en büyük alan şiddetini elde etmek amacıyla minimumda tutulmalıdır.

Tüm uygulamalarda muayene edilecek alana yerleştirilecek bobinin girebileceği kadar bir sahaya gerek vardır.

3.6.4.2. Bobin tipleri ve özellikleri

Girdap akım bobinleri

a. Yüzey bobinleri

b. Çevresel bobinler

c. İç bobinler,

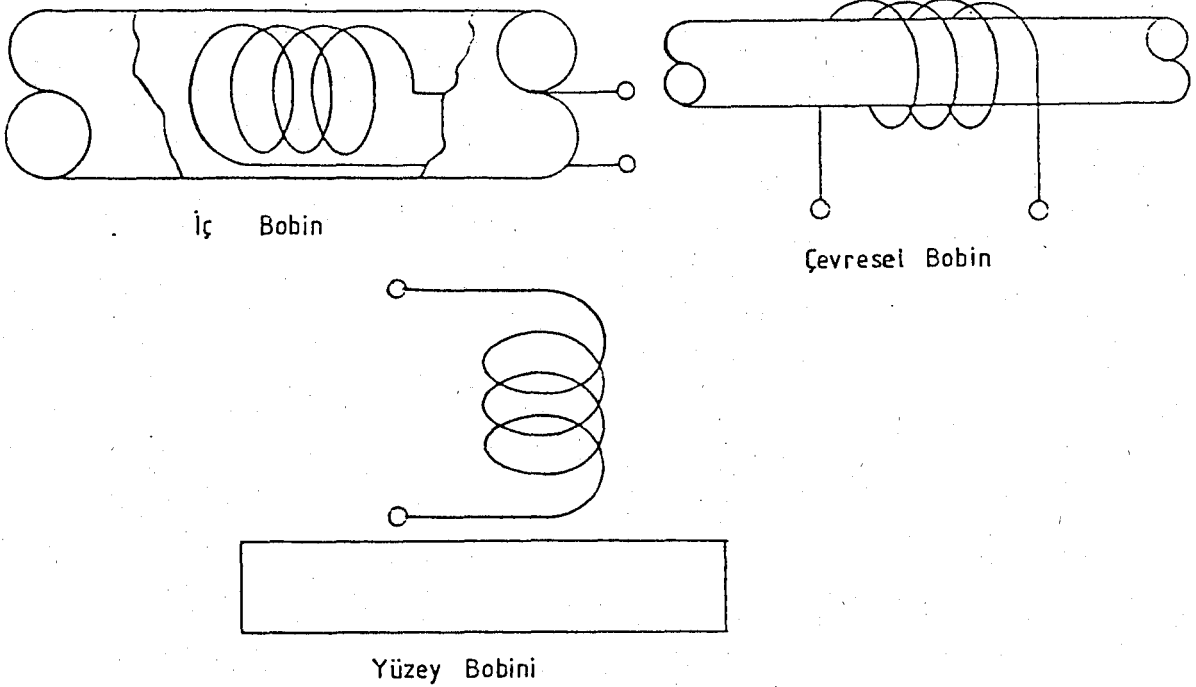
olmak üzere üç tiptir (şekil 3.28.).

Her üç tipte, girdap akımı cihazının dizaynına bağlı olarak tek yada çift bobin şeklinde düzenlenebilir (şekil 3.28.).

Şekil 3.29. da çevresel bobinler gösterilmiştir. Ancak, benzer düşünce yüzey ve iç bobinlerde uygulanabilir. Gerek tek gerekse çift bobinler absöüt ve diferansiyel olarak sarılabilir. Yalnızca bobinin altındaki alanla ilgilenen bobine absöüt bobin denir. Diferansiyel bobinler bir alanı diğeri ile mukayese eder ve yalnızca iki alan arasındaki tepki farkını verir. Şekil 3.30. da girdap akımlarıyla muayenenin prensip şemaları görölmektedir. 3.30.a. şeklinde düzlemsel bir parçanın yüzey bobini ile muayenesi görölmektedir. 3.30.c. şeklinde silindirik bir parçanın muayenesi görölmektedir. Her iki şekilde bir dedektör bobin tarafından parçanın mutlak empedansı ölçölmektedir.

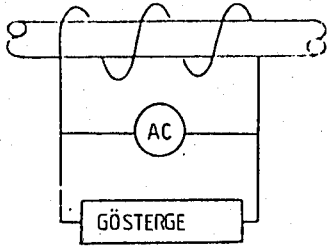
3.30.b,d ve f şekillerinde deney parçasının komşu iki bölgesinin empedans farklarını ölçecek şekilde düzenlenmiş detektör bobin çiftlerinin üç muhtelif tertibi görülmektedir.

3.30.e şeklinde deney parçası ile bir standart parça mukayese edilmektedir.

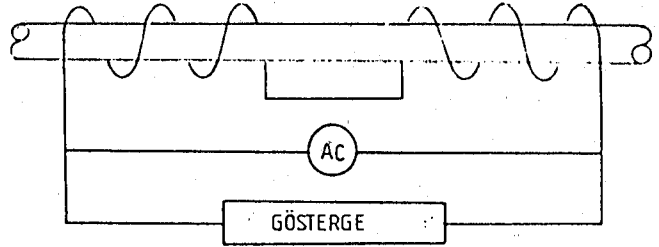


Şekil 3.28.Girdap akımı bobin tipleri

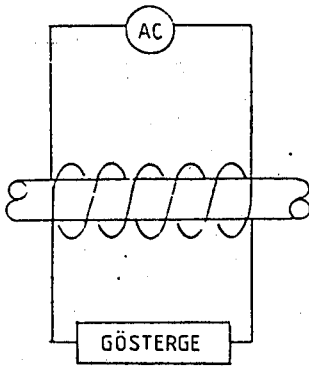
a.Yüze bobinlerinin kullanım alanı: Girdap akımlarıyla muayenede genellikle yüze bobinleri kullanılır. Yüze bobinleriyle plakalar, levhalar ve düzensiz şekilli parçalar muayene edilebilir. Muayene edilecek alanın büyüklüğü bobin çapıyla kontrol edilir. Muayene alanı geniş olduğunda, geniş tip yüze bobinleri kontrol süresini kısaltmak için tercih edilebilir. Küçük hataların tesbiti gerekiyorsa, küçük çaplı bobinler kullanılabilir. Cıvata yuvaları, deliklerin muayenesi için genellikle özel şekilli yüze bobinleri kullanılır. Yüze bobinleri süreksizliklerin yerinin kesin tesbitinde iyi bir kabiliyete sahiptirler.



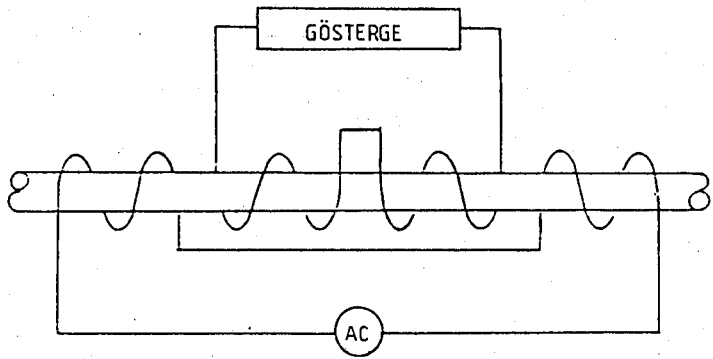
Absolüt tek bobin



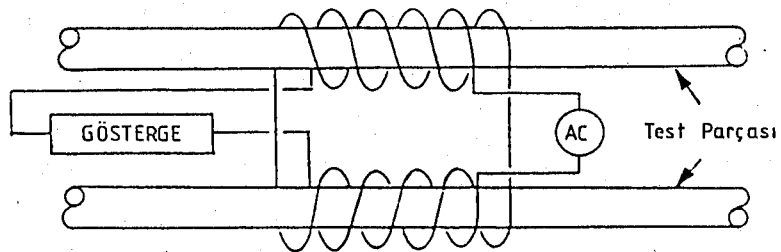
Diferansiyel tek bobin



Absolüt çift bobin

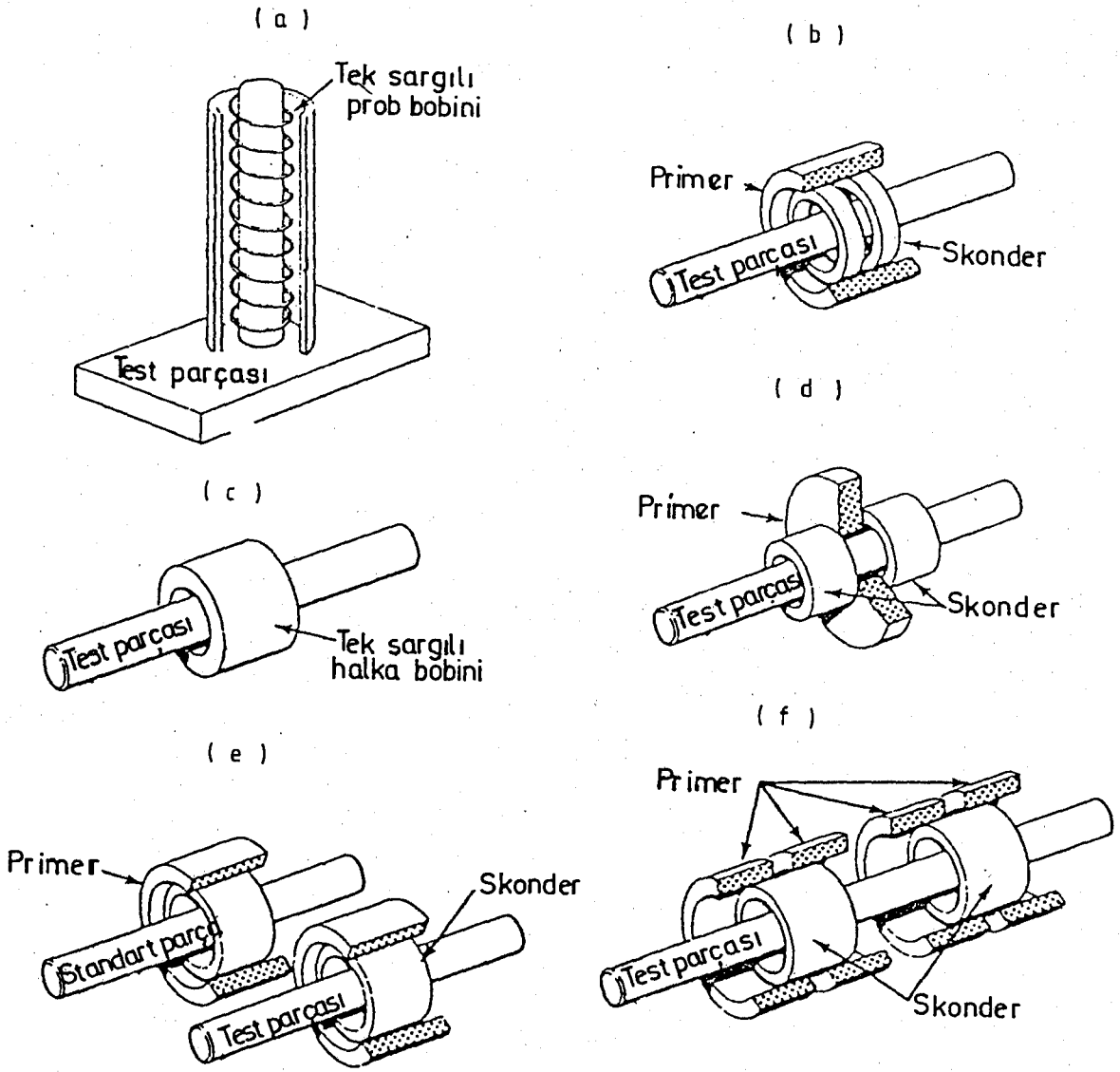


Diferansiyel çift bobin



Diferansiyel çift bobin

Şekil 3.29.Çevresel Bobinler



Şekil 3.30. Girdap akımları ile muayenenin prensip şemaları
(Özden, 1972)

b.Çevresel bobinlerin kullanım alanı: Çevresel bobinler öncelikle çubuk, tüp, silindir yada tel gibi parçaların seri imalat kontrollerinde kullanılır. Çevresel bobinlerle test parçasının tüm çevresi bir defada muayene edilir, ancak hatanın yeri kesin olarak belirlenemez.

c.İç bobinlerin kullanım alanı: İç bobinler tüpler, borular yada iç kısmına giriş sağlanabilen diğer parçaların muayenesinde kullanılabilir. İç bobin iyi bir test duyarlılığı sağlamak için mümkün olduğu kadar parça boşluğunu doldurmalıdır. İç bobinlerin kullanılması, bükülme durumları yada üniform olmayan çaplar nedeniyle sınırlıdır. İç bobinlerle muayene parçasının tüm çevresi bir defada muayene edilir, ancak hataların kesin yeri saptanamaz.

3.6.5.Tahribatsız muayenede girdap akımları usulünün avantajları ve dezavantajları

a.Avantajları:

1.Muayene esas itibariyle, metalurjik yapı farklılıkları ve malzeme hataları nedeniyle oluşan iletkenlik ve magnetik geçirgenlik değişimini ölçer. Hata, malzeme türü ve bileşimi, ısıl işlem tabakası kalınlığını belirlemek, ince cidarların kalınlık ölçümü için çok uygundur.

2.Muayene, yüzeydeki yada çatlaklardaki kirlerin temizlenmesini gerektirmez.

3.Muayene cihazı elektromagnetik endüksiyonla çalışır. Bunun için muayene parçası ile temas ve bağlantıya gerek yoktur.

4.1000°C 'a kadar sıcaklıklarda muayene yapılabilir.

5.Sistemin uyarma frekansı yükseltilerek muayene süresi 0.001 saniye kadar düşürülebilir. Yani muayene hızı çok yüksektir.

6.Yüzeysel ve yüzeye yakın iç hataların incelenmesi olanağı vardır.

7.Malzeme özelliklerini belirleme yönünden girdap akımları usulü, diğer tahribatsız muayene usullerine göre bariz bir üstünlüğe sahiptir.

b. Dezavantajları:

1. Bu usul iletken olmayan malzemelere uygulanamaz. Ancak iletken bir malzemenin üzerindeki iletken olmayan kaplama kalınlığını ölçebilmektedir.
2. Metal kaplama kalınlıkları temel metal ile kaplamanın iletkenlikleri arasında yeterli fark olduğunda ölçülebilir.
3. İletkenlik ve magnetik geçirgenlikte lokal değişimler, usulün hassasiyetini azaltır.
4. Duyarlılığı aynı düzeyde tutabilmek için referans standartları hazırlama güçlüğü vardır.
5. Silindirik çubukların içinde eksene dikey doğrultuda bulunan süreksizliklerin incelenmesi güçtür.

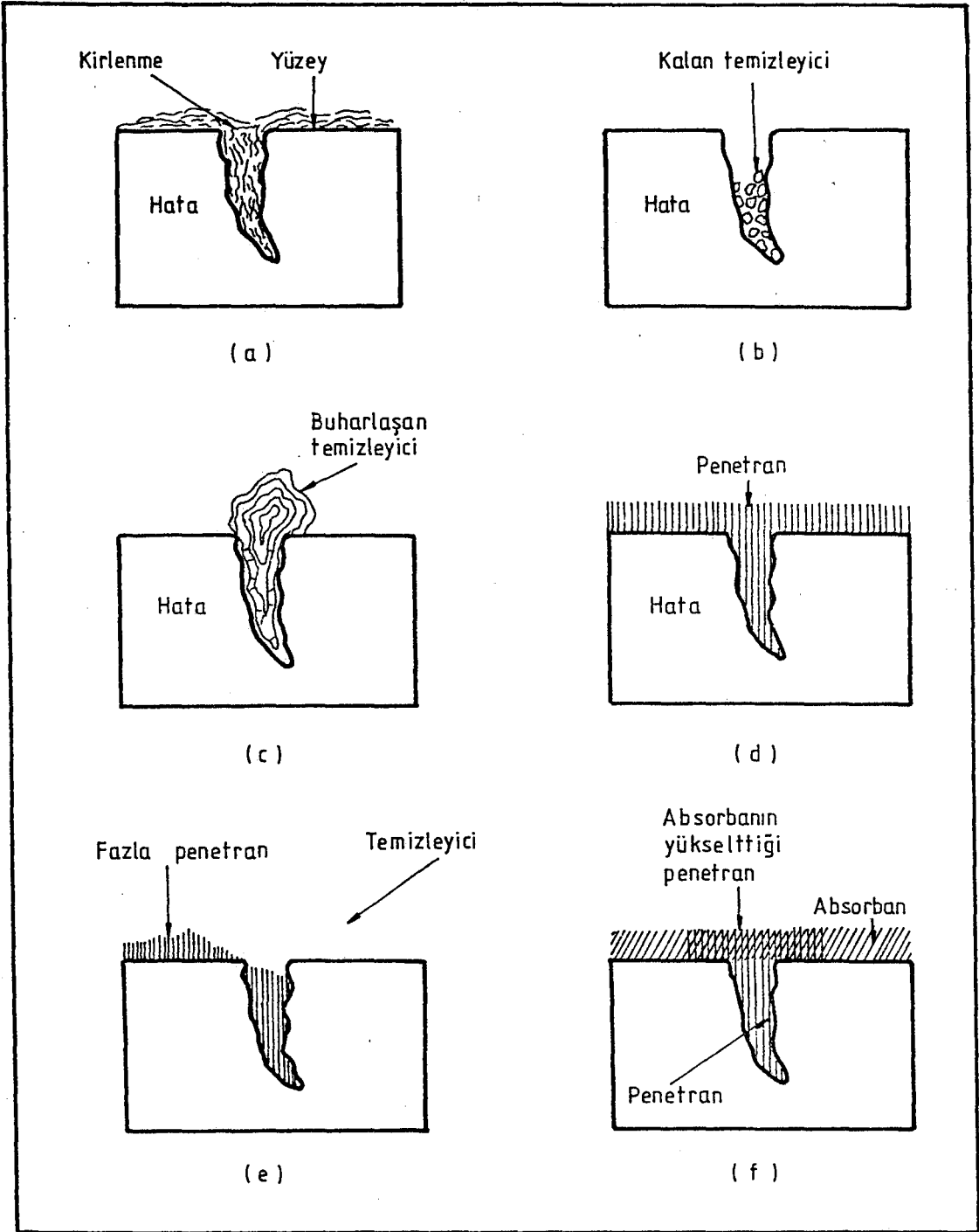
3.7. Penetran Sıvı ile Muayene

3.7.1. Penetran sıvı ile muayenenin tanımı ve uygulanması

Bu metodun esası, bir katı yüzeyinin uygun bir sıvı ile etkin bir biçimde ıslatılmasıyla yüzeyde oluşturulan düzgün ve sürekli sıvı tabakasının, yüzeye açık süreksizliklere doldurması ve bu sıvının fazlasının yüzeyden alınmasından sonra süreksizlik içinde kalan sıvının yüzeye sürülen belirtici tabakası içinde kılcallık olayı sonucu yükselerek süreksizliğin yerini belirtmesi prensibine dayanır. Penetran sıvı ile muayene usulü şekil 3.31.deki gibi özetlenebilir. Şöyleki, penetranın süreksizliklere iyi bir şekilde girebilmesi için malzeme yüzeyinin tamamen temizlenmiş olması gerekmektedir. Parça üzerindeki pislikler penetranın kılcal hareketini azaltmak suretiyle duyarlılığı azaltırlar veya tamamen doldurarak penetranın girmesine engel olurlar. Ayrıca penetranın bileşimini bozabilirler.

Temizleme ve yüzeyin kurutulması işleminden sonra, penetran bir fırça yada pamuk bezle yüzeye sürülebileceği gibi, tanka daldırılarak yada sprey şeklinde uygulanabilir.

Penetranın hatayı doldurabileceği nüfuziyet zamanı kadar beklenmelidir. Küçük ince çatlaklar, geniş çatlaklara göre daha uzun bir nüfuziyet zamanı gerektirirler (çizelge 3.5).



Şekil 3.31. Penetran sıvı ile muayene metodunun uygulanma prensipleri a. Kirli hatalı parça b. Temizlemeden sonra kalan temizleyici c. Kurutma ile kalan temizleyicilerin buharlaşması d. penetran uygulanması e. yüzey penetranının temizlenmesi f. absorban tabaka uygulanması ve penetran absorbe edilişi

Nüfuziyet zamanı sıcaklığıda bağlıdır. Çok soğuk parçalar 0°C'in üstü sıcaklıklara ısıtılmalıdır. Bundan önceki aşama yüzeydeki fazla penetranın temizlenmesi işlemi olup, büyük bir dikkatle yapılması gerekir. Temizleme işlemi fazla yapılırsa, çatlaklarda kalması gereken penetranda kaldırılabilir. Temizleme az olursa, yüzeyde penetran kalabilir ve zemin yüksek olacağı için küçük çatlaklar bulunmayabilir. Solventle temizleme ince hatalara hassasiyeti artırır. Ancak, asla sprey yada basınçlı diğer şekillerde solvent püskürtülmemelidir. Zira bu çatlağın içindeki penetran temizleyebilir yada azaltabilir. Temizleme işi için en uygun yol nemlendirilmiş bezle silmektir.

Absorban tabakanın uygulanması aşamasında, penetranın absorbe olacağı zaman kadar beklenilmesi gerekir. Bu süre 15 dakikadan az olmamalıdır, yaklaşık olarak bu penetranın yüzeyde kalma süresinin yarısıdır. Absorban tabaka tarafından yükseltelen penetran uygun ışıkla incelenir. Floresan penetran için ultraviyole, diğerleri için ise renklerin incelenebileceği kadar normal beyaz ışık ile inceleme yapılmalıdır. Parça, muayenenin tamamlanmasından sonra tamamen penetran ve absorban belirticiden temizlenmelidir.

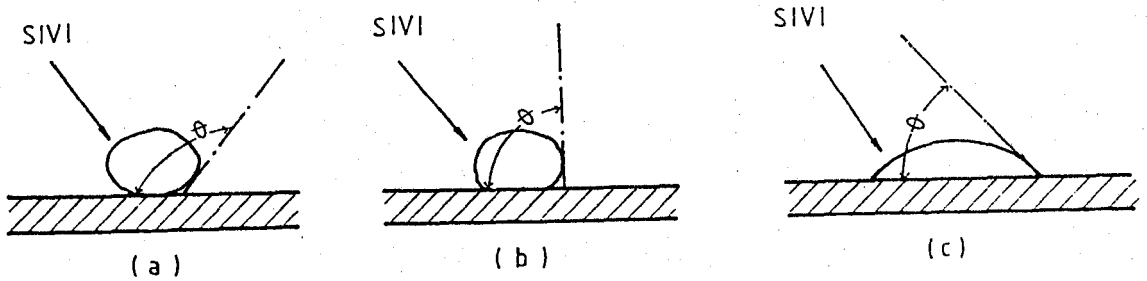
Çizelge 3.5.Kimi hata çeşitleri için gerekli penetran nüfuziyet süreleri (Önder, 1985)

| Malzeme | Hatanın Tabiatı | Nüfuziyet Süresi (dakika) |
|---------------------|---|---------------------------|
| Saç ekstrüzyon | Isıl işlem çatlakları, taşlama çatlakları, yorulma çatlakları | 15 |
| Dökme (metaller) | Kendini çekme çatlakları gözenekler, soğuk işleme | 3-10 |
| Dövme | Çatlaklar, katlar | 30 |
| Kaynak | Çatlaklar ve gözenekler | 20 |
| Akrilik tip plastik | İnce çatlaklar, bağlantı ve dikiş hataları | 5-10 |
| Plastik | Çatlaklar ve çizikler | 1-5 |

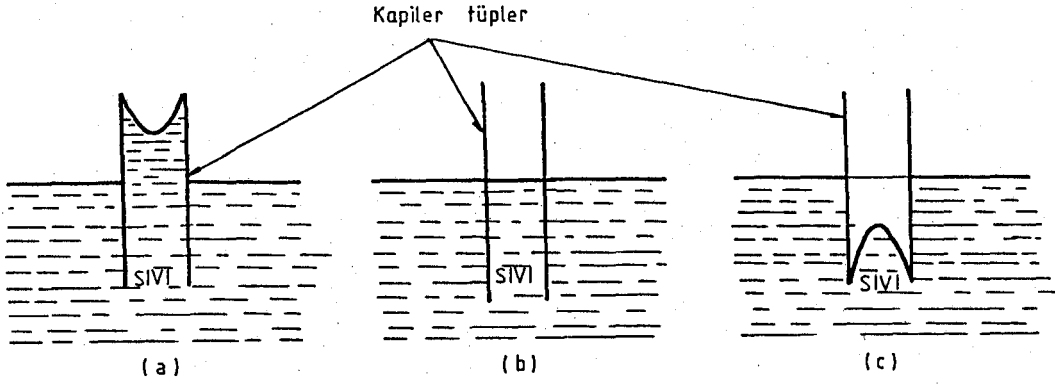
3.7.2. Penetran sıvı ile muayene tekniğinin esasları

Penetran muayene işleminin temelini oluşturan kapiler kuvvet, parça üzerine sürülen sıvının çatlak, oyuk gibi kılcal kesitlerdeki nüfuziyet meyili olarak tanımlanabilir. Sıvıların yüzey gerilimi ve düşük ıslanmayı oluşturan temas açısı, kapiler akışı engelleyen hususlardır. Şekil 3.32. ve 3.33.de temas açısının yüzeydeki ve kılcal borudaki etkisi gösterilmiştir. Şekil 3.32.de katı malzeme yüzeyine damlatılan sıvı örnek olarak verilmiş, açısının değişimi ile sıvının malzeme yüzeyin ıslatma özelliği gösterilmiştir. açısının 90° den fazla olduğu durumlarda, sıvı yaklaşık top şeklini almakta ve yüzeyi ıslatmamaktadır. Şekil 3.33.de ise açısının kılcal borudaki sıvı seviyesine etkisi açıklanmaktadır. Sıvı ile kılcal boru çeperi arasındaki temas açısı 90° den küçükse (yani sıvı kılcal boru çeperini ıslatmışsa) tüpün içindeki sıvı seviyesi, dışındaki sıvı seviyesinden daha yüksektir. Temas açısı 90° veya daha büyükse, sıvı tüpün dışındaki sıvı seviyesinin üstüne çıkmamakta, ya aynı seviyede yada daha altta olmaktadır.

Şekil 3.32. ve 3.33.de verilen örnekler aslında pratik uygulamayı tam yansıtmaz. Örneğin pratikte çatlaklar yuvarlak boru kesitli değildirler, girintili çıkıntılıdır. Bununla beraber bir sıvı penetranın düşük temas açılı, yüksek yüzey gerilimine sahip olması istenir. Bugün kullanılan sıvı penetranların uygun temas açısı 10° 'nin altında, hatta 0° 'ye yakındır.



Şekil 3.32. Temas açısına bağlı olarak yüzeydeki ıslanma durumu
a. Çok az ıslanma, b. Az ıslanma, c. İyi ıslanma



Şekil 3.33. Temas açısına bağlı olarak bir kapiler tüp içindeki sıvının yükselmesi ya da alçalması.
 a. açısı 90° den küçük kapiler yükselme,
 b. açısı 90° ye eşit herhangi bir hareket yok.
 c. açısı 90° den büyük seviyede aşağı düşüş.

3.7.3. Sıvı penetrantların sınıflandırılması ve özellikleri

Sıvı penetrantlar ya taşıdıkları boyanın özelliğine ya da yıkanabilme tekniklerine göre sınıflandırılırlar.

3.7.3.1. Boyanın özelliklerine göre penetrantlar

a. **Fluoresan penetrantlar:** Kimi kimyasal bileşikler, ultraviyole ışığa maruz kaldıklarında görünür ışık yayma özelliğine sahiptirler. Uygun fluoresan maddeler penetranta eklenerek, çatlak içine giren çok az miktardaki penetrandan ultraviyole ışık altında kuvvetli görünür ışık alınabilir.

b. **Renk kontrast penetrantlar:** Renk kontrast penetrantları, penetrant yağında çözünen kırmızı boya içerirler. Çatlak içine giren kırmızı boya, beyaz developer kullanıldığında oluşturulan kontrastla beyaz ışık altında kolayca ayırdedilebilir.

c. **Renk kontrast ve fluoresan penetrantlar:** Çift duyarlıklı bu penetrantlar, beyaz ve ultraviyole ışık altında kırmızı renk veren boya maddesi içerirler. Bu tekniğin yukarıda anlatılan fluoresan ve renk kontrast penetrantları ile kıyaslanması yapıldığında, renginin parlak ancak fluoresan özelliğinin düşük olduğu görülür.

3.7.3.2. Yıkama tekniğine göre penetranlar

Penetran malzemeleri, özel bir yıkama tekniği ile giderilebilecek oluşturulmuş ve formüle edilmişlerdir.

a. Suyla yıkanabilen penetranlar ve uygulanması: Penetranın ana bileşimi suyla karışmayan yada suda çözünmeyen petrol esaslı yağlardan oluşur. Bununla birlikte penetranla karışıp onu su ile yıkanabilir hale getiren kimyasal bileşene "emülsifier" denir. Pratikte emülsifier, penetranla birlikte yada ondan ayrı olarak uygulanabilir. Suyla yıkanabilen penetranlar bünyelerinde emülsifieride taşırlar. Su ile yıkanabilir penetran tatbikinden sonra, fazla penetran yüzeyden direkt su ile yıkanarak gidebilir.

b. Yağlı emülsifier ve uygulanması: Yağlı emülsifierlerde, emülsifier bileşiği yağ içinde çözülmüş yada dağılmış durumdadır. Yağlı emülsifier penetranla temasa geçtiğinde, kolayca penetran içinde çözünür ve difüze olur.

Şekil 3.34.de görüleceği gibi yağlı emülsifierin davranış mekanizması penetranı difüze olma ve çözünme şeklindedir. Difüzyon hızı direkt olarak emülsifierin viskozitesine bağlıdır. Yüksek viskoziteli emülsifierlerde difüzyon süresi 2-4 dakikadır. Düşük viskoziteli emülsifierlerde difüzyon nisbeten daha hızlıdır (yaklaşık 2 dakikadan az). Difüzyon hızını etkileyen diğer bir faktörde, emülsifierin parça üzerinden uzaklaştırılmasıdır. Parçanın emülsifier banyosuna daldırılıp çıkarıldıktan sonra emülsifierin süzdürülme işleminin yapılmaması halinde, difüzyon hızı emülsifierin süzdürülmesi yönüne nazaran daha yavaş olmaktadır. Emülsifierin süzdürülmesi ile akışta bir türbülans oluşur ve tek başına difüzyon ile ulaşılan hızdan daha hızlı karışma elde edilir. Aksi halde emülsifikasyon olayı saatler alır.

c. Sulu emülsifier ve uygulanması: Sulu emülsifier, kalıntı penetranı daldırma yada püskürtme tekniği ile uygulanabilir. % 5-50 oranında emülsifier bileşiği içeren sulu çözelti tanka doldurulur, yıkanacak parçalar bu tanka daldırılır.

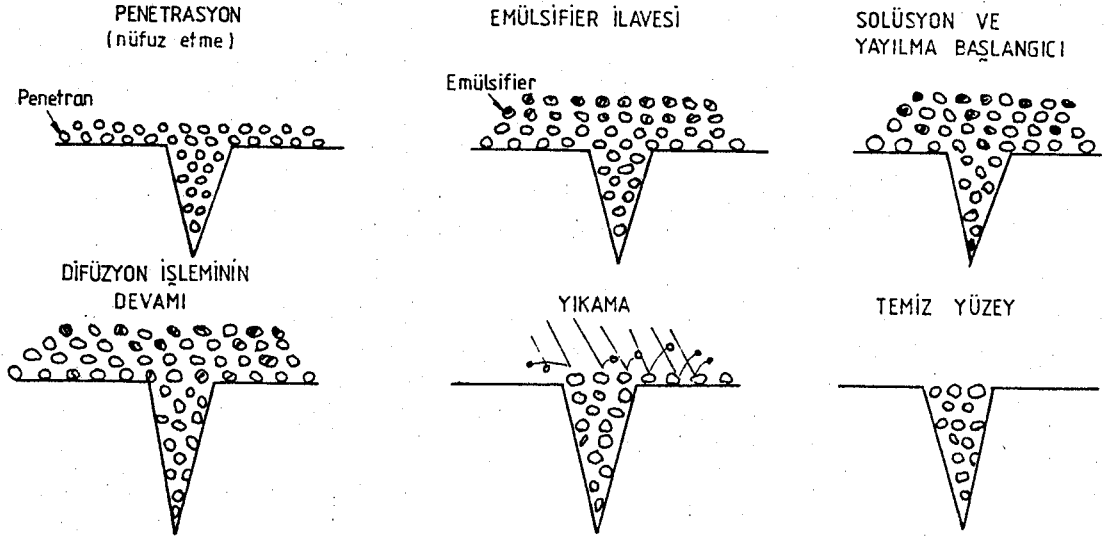
Püskürtme şeklinde uygulanmasında ise tazyikli suya % 0.05-1 oranında emülsifier bileşiği karıştırılır. Emülsifier bileşiği penetrana bileşir, karıştırma nedeniyle emülsifier ile birleşen penetrana parça yüzeyinden uzaklaşır ve tekrar parça yüzeyinde toplanamaz. Sulu emülsifier yöntemiyle yıkama, yağlı tekniğe göre daha kontrollüdür ve daha az penetrana bırakır (şekil 3.35.).

d.Solventler ve uygulanması: Kontrol edilecek parça üzerindeki kalıntı penetrana temizleyecek solventler, petrol esaslı ve klorür esaslıdır. Solventler esas olarak sonradan su ile yıkanabilen penetranalarda uygulanabilir. Solvent temizleyiciler, dikkatle uygulanmalıdır. Temizleme işleminde kullanılacak kağıt yada bez hafifçe solventle nemlendirilmelidir. Temizlemede kullanılan bezin, aşırı nemlendirilmesi parça üzerinde fazla solvent tatbikine neden olacak, bu durumda parçadaki süreksizliklere nüfuz etmiş olan penetrana sökmesine neden olacaktır.

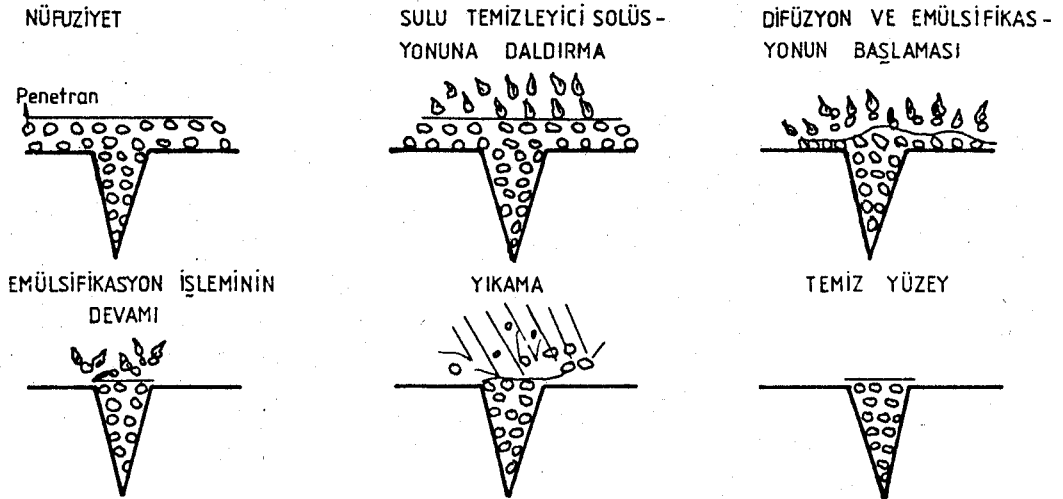
3.7.4.Developerler

Penetrana muayene işleminde kullanılan developerin ana fonksiyonu süreksizlik içine hapsolan penetrana görülebilirliğini geliştirmektir. Böylece, belirtilerin daha iyi görülebilmesi için süreksizlik içindeki penetrana yüzeye çıkarılması ve yüzeye dağıtılması ve belirtinin kontrastının artırılması sağlanır. Normalde her penetrana, developer uygulanmadan kendi kendine develope olacak özelliğe sahiptir. Penetrana büyük süreksizliklerden kolayca parça yüzeyine yayılabilir, ancak kılcal çatlaklardan yüzeye çıkması zor olabilir. Bu nedenle penetrana muayenesinde mutlaka developer uygulanır.

Developer işleminin mekanizması absorpsiyon ve adsorpsiyon olayına dayanır. Adsorpsiyon, adhesiv kuvvet nedeniyle sıvıların parça yüzeyinde tutulmasıdır. Bu özelliğe sahip developer ile süreksizliğin içindeki sıvı penetrana yüzeye çıkartılır. Absorpsiyon ise emme anlamına gelir.



Şekil 3.34.Yağlı emülsifierin etkileme mekanizması.



Şekil 3.35.Sulu emülsifierin etkileme mekanizması.

Adsorbsiyon mekanizması ile yüzeye çıkan penetran developer tarafından yutulur ve dağıtılır (şekil 3.36.). Developer yan-sımayı düşürür ve ultraviyole ışık altında mavimsi görünür. Mavimsi görüntü, sarımsı fluoressan hata görüntüsü ile çok yüksek kontrast oluşturur.

Başlıca developer çeşitleri ve ana özellikleri şunlardır:

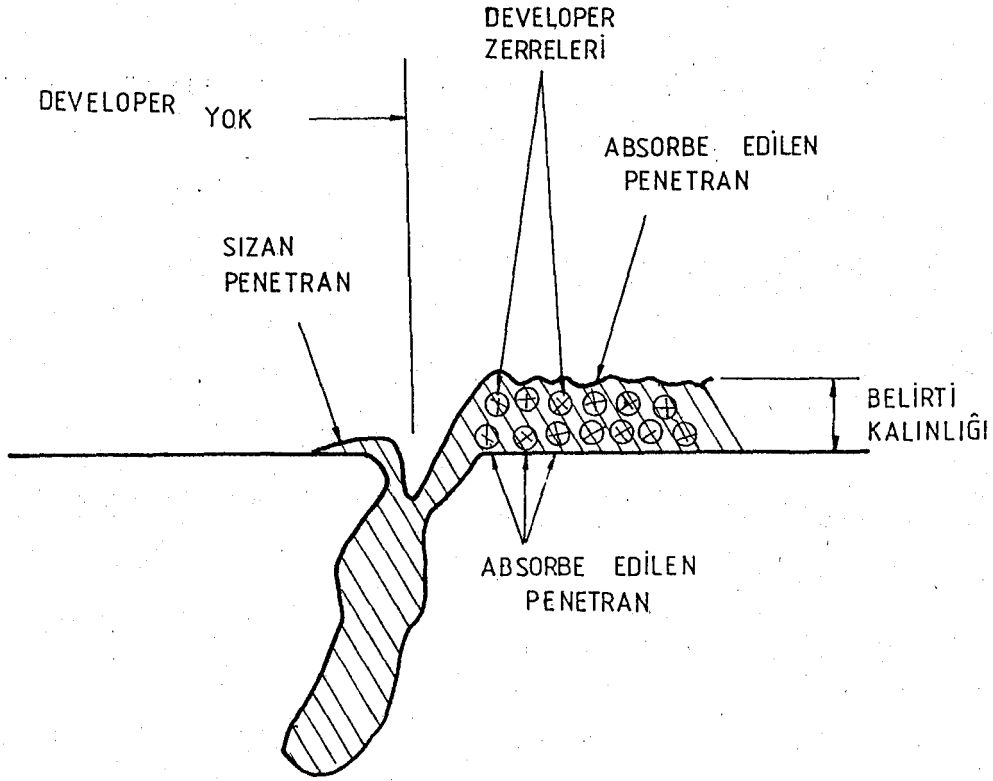
3.7.4.1. Toz developerler

Toz developerler yumuşak ve düşük yoğunluğa sahiptirler. Her tür fluoressan penetranla kullanılabilirler, parça yüzeyinde adhezyon kuvveti ile gevşekçe tutulurlar. Toz developerler, zerrelerini tutabilecek yeterince penetrana sahip büyük ve orta büyüklükteki çatlaklarda çok etkilidirler. Bununla beraber, toz zerrelerini tutacak kadar penetrana sahip olmayan mikro çatlaklara karşı etkinlikleri düşüktür. Toz developerler genellikle renksiz ve beyazdır. Parça yüzeyine uygulandıklarında çok ince bir tabaka oluşur, renksizmiş gibi görünüm verirler. Yani, developerlerin uygulanıp uygulanmadığını belirlemek zordur.

Toz developerlerin tatbikinden önce parçanın kurutulup, yüzeyinde herhangi bir nem içermemesi gerekir. Çok az da olsa nemin bulunması küçük çatlakların tesbitini engelleyebilir. Toz developerler genellikle parça yüzeyine püskürtülerek uygulanırlar.

3.7.4.2. Suda süspansiyon halinde bulunan developerler

Suda süspansiyon halinde bulunan developerler suda çözünmezler, kurduklarında ise yüksek absorpsiyon özelliğine sahiptirler. Bu developerler konsantre sıvı olarak yada toz şeklindedirler ve kullanımdan önce suyla karıştırılırlar. Suda süspansiyon oluşturan developerlerde, developer zerrelerinin yanında onların birleşmesini engelleyen kimyasal bileşenler, parça yüzeyine kolayca tutunmasını sağlayan nemlendiriciler ve korozyon önleyici inhibitörler içerir.



Şekil 3.36. Developer mekanizması (Üstünel, 1981)

3.7.4.3. Suda çözünen developerler

Bu developerlerin suda süspansiyon oluşturan developerlerden farkı suda çözünmeleridir. Developer çözeltisi genellikle sarı yada yeşildir. Kurutma işlemi sırasında su buharlaştıkça developer zerreleri kristalize olur. Parça üzerindeki developer katmanı şeffaftır ve kolayca görülmez, ancak dokunulduğunda hissedilir. Ayrıca, ultraviyole ışık altında ayırd edilebilir. Ultraviyole ışık altında developer bulundurmayan yüzeyler daha koyu renk verirler. Kuruyan katmanın kalınlığı, suda süspansiyon oluşturan developerinkinden daha incedir. Ancak toz developerden kalındır.

3.7.4.4. Su içermeyen developerler

Su içermeyen developerler kullanıma hazır şekilde temin edilirler ve developer zerreleri uçucu solvent içinde süspansiyon şeklinde bulunurlar.

Su içermeyen developerler solvent taşıdıklarından, en hassas developerlerdir. Kılcal çatlaklar oluştuğunda toz ve sulu developerler bu tür süreksizliklerin içindeki penetrarla temas kuramazlar. Böylece bu penetranı geri çekecek kapiler ve yüzey gerilim kuvvetinin yaratılmasında başarısız kalırlar. Su içermeyen developerlerde solvent süreksizliğe girer ve penetranda çözünür. Böylece süreksizlikteki penetranın hacmi artar, viskozitesi düşer. Su içermeyen developerlerin başlıca uygulama şekli sprey ve püskürtmedir.

3.7.5.Tahribatsız muayenede sıvı penetran usulünün avantajları ve dezavantajları

a.Avantajları:

- 1.Fiziksel özellikleri ne olursa olsun her cins malzemeye uygulanabilir.
- 2.Uygulanması kolaydır. Çabuk sonuç verir. Sonuçları değerlendirmek kolaydır. Gerektirdiği teçhizat basittir.
- 3.Parçanın geometrisi, kimyasal bileşimi, hataların uzantısı ve iç yapı herhangi bir kısıtlama oluşturmaz.
- 4.Parça üzerindeki hataların yönü önemli değildir. Dolayısıyla tek muayenede her yöndeki hatalar incelenebilir.

b.Dezavantajları:

- 1.Sadece yüzeye açılan süreksizliklerin incelenmesine olanak verir.
- 2.Fazla pürüzlü ve gözenekli yüzeyler için uygun bir yöntem değildir.
- 3.Çatlakları örten etkileri kaldıran ön temizleme mutlak gerektirir.
- 4.Kaplama tabakası altındaki ana malzeme çatlaklarını incelemek için kaplama tabakasının kaldırılması gerekir.

3.8.Magnetik Parçacık Metodu ile Muayene

3.8.1.Magnetik parçacık metodunun tanımı

Magnetik parçacık metodu, ferromagnetik malzemelerin yüzey ve yüzey altındaki çatlaklarını tesbite yarayan bir tahribatsız muayene usulüdür. Test edilecek parça magnetik olarak etkilendiğinde, hataların bulunduğu bölgelerde magnetik akım yüzeyden dışarı doğru yönelir. Parça yüzeyinde magnetik parçacıklar bulunduğunda ortamdaki parçacıklar hatalı bölgelere çekilecekler ve bu bölgeleri göstereceklerdir. Bunları görmek hatanın kendisini görmekten daha kolaydır.

Bu metodun uygulanmasında iki ayrı usul mevcuttur.

- 1.Magnefluks usulü.
- 2.Magnaglom usulü.

3.8.2.Magnefluks usulü

3.8.2.1.Usulün tanımı ve özellikleri

Bu usulde test edilen parçalar magnetik olarak etkilenir genellikle magnetik akım yönüne dik istikamette bulunan çatlaklar parçanın yüzeyinde kaçak alan oluşmasına neden olurlar. Kaçak alanın ve dolayısıyla çatlağın varlığı, yüzeye uygulanan çok ince ferromagnetik tanelerin bir kısmının kaçak alan tarafından tutulması ve bu bölgede toplanmasıyla tesbit edilir. Parçacıkların magnetik çekim kuvvetiyle toplanması, çatlağın ana hatları üzerinde oluşabilir ve onun yerini, büyüklüğünü, şeklini belirtir. Bu toz izinin oluşmasına ve şekline etki eden başlıca önemli faktörler şunlardır:

- 1.Magnetik alanın şiddeti ve yönü.
- 2.Magnetik etkilemede kullanılan usul.
- 3.Çatlağın boyutları, şekli ve yönü.
- 4.Magnetik tozun karakteri ve uygulama şekli.
- 5.Muayene edilen parçanın magnetik özellikleri.
- 6.Parça yüzeyinin işlenme özelliği (hassas yada kaba işlenmiş, kaplama yapılmış yada boyanmış gibi).

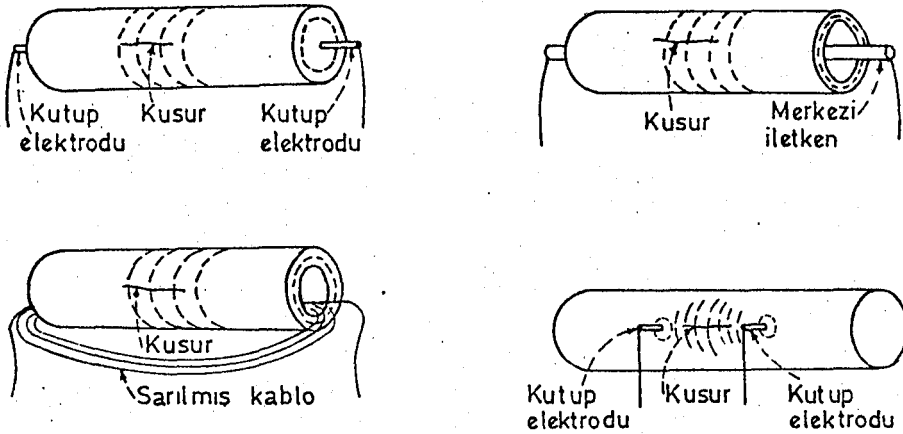
3.8.2.2. Magnefluks usulünün uygulanması

Usulün uygulanması şu üç ana aşamayı içerir:

- Muayene edilecek parçanın magnetizasyonu.
- Yüzeye ferromagnetik taneciklerin uygulanması.
- Toz izlerinin tesbiti için muayene işlemi.

a. Parçanın magnetizasyonu: Parçanın içindeki magnetik alanın, çatlak tarafından yolunun kesilebilmesi için yönlü olarak oluşturulması gerekir. Boyuna ve çevresel olmak üzere iki tip magnetizasyon uygulaması vardır.

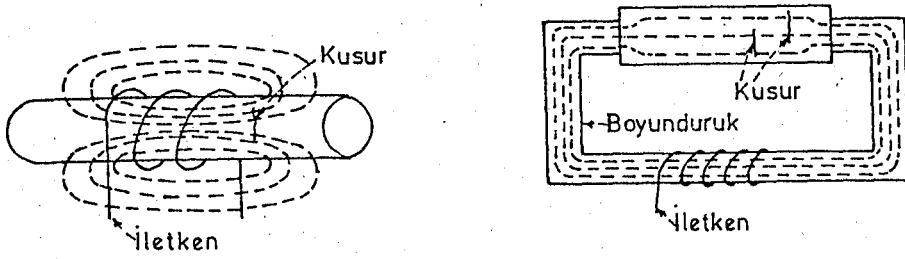
1. Çevresel magnetizasyon: Parçanın tümünden yada bir kısmından akım geçirerek oluşturulur. Akımın akış yönüne paralel hatalar, çevresel alandaki kesikliklerle belirlenir (Şekil 3.37.).



Şekil 3.37. Çevresel magnetizasyon. (Ersümer ve Aydınbeyli, 1977)

2. Boylamasına magnetizasyon: Parçanın eksenine dik doğrultudaki hatalar, boylamasına magnetizasyon ile tesbit edilir. Bu magnetizasyon parçayı bir selenoid yada bir bobin içerisine yerleştirerek cismin etrafına bir kablo sararak oluşturulur (şekil 3.38.).

Her iki magnetizasyon için alternatif akım veya doğru akım kullanılabilir. Doğru akım yüzey altı süreksizlikleri bulmak için uygun olup alternatif akım yalnız yüzeye açılmış süreksizliklerin tesbitinde kullanılır.

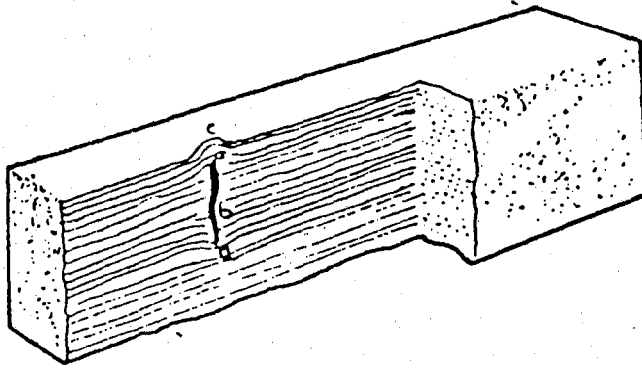


Şekil 3.38.Boylamasına magnetizasyon.
(Ersümer ve Aydınbeyli, 1977)

Magnetik alan bir çatlak tarafından kesildiğinde, magnetik parçacıkların bir kısmı çatlağın üstünde havaya doğru itilerek bir kaçak alan oluşturulur (şekil 3.39.). Bu durumda şu hususlar meydana gelir.

- Çatlağın etrafında magnetik akımın yoğunluğu artar.
- Çatlak üzerinde yukarı doğru bir kaçak alan oluşur.

Bu alanın şiddeti, yüzeye çatlak arasındaki parça kalınlığına, malzemenin içindeki magnetik alanın şiddetine, yüzeye dik istikametteki çatlağın boyutuna bağlıdır. Çatlağın yüzeye yakın olması halinde, kuvvetli ve yoğun bir kaçak alan oluşur.



Şekil 3.39.Çatlak nedeniyle kaçak alanın oluşması.
(Paracık, 1985)

b. Ferromagnetik parçacıkların uygulanması: Parça muayeneye alındığında önce magnetiklenir ve ferromagnetik parçacıklar kuru bir pudra gibi toz halinde yada kimi sıvılarla karıştırılmış süspansiyon halinde uygulanır. Magnetik parçacıklar kaçak alanın etkisiyle yüzeyde toplanarak, hatanın yerini tesbit ederler. Kalıcı bir kayıt elde edilmesi istendiğinde bir izoteyp yapıştırılarak tozlar onun üzerine nakil edilir yada fotoğraf alınır.

c. İzlerin tesbiti için yüzey muayenesi: Parça magnetik olarak etkilendikten ve magnetik parçacıkların uygulanmasından sonra, parça yüzeyinin gözle muayenesinde iyi bir aydınlatmaya ihtiyaç vardır. İzün görünüşünü daha belirgin hale getirmek için magnetik tanecikler çeşitli renklerde boyanarak kullanılabilirler. Karanlıkta parlayan fluoressan magnetik taneler yada ultraviyoleye yakın bir radyasyona maruz bırakıldığında donuk ışık veren taneler, azami bir kontrast ve görüntü sağlar.

3.8.2.3. Magnefluks usulünün uygulanma alanları

Magnetik tanecikler metodu, ferromagnetik malzemelerde çok küçük ve derinliği az olan çatlakların tesbitine imkan verir. Özel koşullarda özel toz ve magnetikleme ile küçük çatlaklar muayene edilebilir. Özel yöntemler kullanarak çelikte tane sınırları belirlenebilir. Magnetik parçacık metodu yüzeye açılan her boyut ve derinlikteki çatlağın tesbitinde kullanılan tahribatsız muayene usullerinin en uygunudur. Bu usul dökme, dövme parçalar, talaş kaldırılarak işlenmiş parçalarda uygulanabilir.

Parçaları kesmek suretiyle yapılan araştırmalar, hatanın görüldüğü azami derinliklerin, çok temiz işlenmiş parçalarda 6 mm, büyük döküm parçalarda ve kaynaklarda 18-25 mm mertesinde olduğunu ortaya koymuştur.

3.8.2.4.Magnefluks usulünün uygulanabildiği malzemeler

Bu usul, her tür ferromagnetik malzemeye uygulanabilir. Ancak hepsinde aynı oranda etkili değildir. En iyi şekilde, magnetik geçirgenliği yüksek olan çelik ve alaşımlarına uygulanır. Yüzey altında kalan çatlaklar, daha çok yüksek geçirgenliğe sahip yumuşak çeliklerde görülür. Kır dökümlerin yüzey çatlakları kolayca tesbit edilebilir. Usul nikel ve kobalta da kolaylıkla uygulanabilir. Paslanmaz çelik ve diğer os-tenitik alaşımlar bu usul ile muayene edilemezler, zira bu yapıdaki demir antimagnetiktir.

3.8.2.5.Magnefluks usulünün uygulanmasında kullanılan muayene ortamları

a.Yaş metod: Yaş metod genellikle yüzeyde ve ince çatlaklarda daha iyi sonuçlar verir. Bu metod, çok küçük yüzey süreksizlikleri için oldukça hassastır. Kimi durumlarda yaş metod kullanmak üzere doğru akım tercih edilir. Bu şekilde yataklar ve uçak parçalarında yüzeyin hemen altındaki çatlaklar kontrol edilebilir. Yaş metotta magnetiklenmiş parça, hamur halinde hazırlanmış, yağ ile karıştırılmış magnetik tanecikler içeren bir banyoya daldırılır yada bir banyoda üzerine eriyik püskürtülür. Burada asıl amaç net bir görüntü elde etmektir. Bunu sağlayan parçanın banyoda kalma süresidir. Magnetiklenmiş parça banyoya daldırılmış durumda, çok küçük çatlaklardaki kaçak alanların bile çok sayıda magnetik parçacığı çekeceği kadar beklemelidir. 0.4-0.5 saniye süren alternatif yada doğru akım uygulaması yeterlidir.

b.Kuru metod: Bu metod yüzey altında kalan çatlakların muayenesine daha elverişlidir. Çünkü taneciklerin geçirgenliği daha yüksek ve biçimleri uzundur. Magnetize edilmiş parça üzerine serpilene muayene tozları kırmızı, siyah veya gri renkte hazırlanır.

3.8.3.Magnaglo usulü ile muayene

Karışık biçimli olan iş parçaları üzerindeki küçük çatlakları bulmakta yardımcı olan fluoesan magnetik toz kullanılarak uygulanan usuldür. Fluoesan görüntü karartılmış odada ultraviyole ışık altında kolayca görülebilir, ancak normal ışıkta pek görülemez. Fluoesan olmayan tozlar iyi kontrast vermezler. Hassasiyet istenilen yerlerde, bu yöntem magnefluks yönteminden daha üstündür. Temel prensipler magnefluks yönteminde açıklandığı gibidir. Yalnız hata izleri yeşil, sarı fluoesan çizgileri halinde görülür.

3.8.4.Tahribatsız muayenede magnetik parçacık metodunun avantajları ve dezavantajları

a.Avantajları:

- 1.Parçanın yüzeyinde ve yüzeyin hemen altındaki süreksizliklerin magnetik resmini doğrudan oluşturur.
- 2.Duyarlılığı aynı düzeyde tutmak için bir elektrik devresine ve kalibre edilmesi gereken bir elektronik okuma devresine gerek yoktur.
- 3.Muayeneden önce çatlakların içindeki kirlerin ince bir temizliği gerekmez.
- 4.Metal olmayan kalıntıların incelenmesi imkanını verir.
- 5.Uzman teknisyenler çatlak derinliğini uygun tozlar kullanarak yaklaşık olarak saptayabilir.

b.Dezavantajları:

- 1.Yüzeğe yakın olmayan iç hataların incelenmesinde kullanılamaz.
- 2.Ferromagnetik olmayan malzemeye uygulanamaz.
- 3.Deneyden önce veya sonra genellikle bir demagnetizasyon gereklidir.
- 4.Deneyden sonra aşındırıcı karakterde olan magnetik tozların mutlaka temizlenmesi gerekir.
- 5.En iyi sonuç için çeşitli doğrultularda farklı magnetizasyon uygulamak gerekir.

4.UÇAK BAKIM-ONARIMINDA UYGULANABİLEN BAŞLICA TAHRİBATSIZ MUAYENE USULLERİ

4.1.Uçak Bakım-Onarımı ve Tahribatsız Kontrol Gereği

Uçak bakım-onarımı, yapımından sonra kullanıcısı tarafından hizmete alınmasından hizmetten kaldırılmasına kadar imkanlar ölçüsünde ilk günkü kadar yeni, iyi çalışır, temiz ve uçuşa elverişli bir biçimde tutulabilmesi için, bir uçağa yapılan işlemlerin ve faaliyetlerin tümüne denir.

Bakım, yapılan kontroller sonucu eskimiş uçak parça, eleman yada cihazlarının değiştirilmesi için belirli aralıklarla uçağa uygulanan ve uçağın emniyetli uçuş görevi yapabilmesi için temel olan bir işlemdir. Onarım ise uçağa ait bozulmuş veya hasar görmüş bir parça, eleman veya cihazın yapımçı talimatlarına uygun olarak tamir edilerek yeniden kullanılır hale getirilmesi işlemidir. Uçak bakımları uygulanma şekillerine göre genelde ikiye ayrılır:

a.Programlı bakımlar, şartlara göre belirli aralıklarla yapılması, yapımçı firma tarafından istenen periyodik bakımlardır.

b.Programsız bakımlar, uçuş sırasında uçuş ekibince belirlenen arızaların giderilmesi yada uçuş emniyeti açısından kontrolörler tarafından istenilen bakımlardır.

Programlı bakım periyotlarından 7000-9000 blok saat (yaklaşık 2-3 yılda bir) arayla uygulanan fabrika seviyesi bakımda, uçak hangara alınarak demonte edilir. Tüm parçaları ve asamble elemanları imalatçı tarafından müsaade edilen en küçük parçasına dek ayrılır. Bunların gerekli ve uygun kontrollerinin yapılması sağlanır. Kısacası komple revizyon (Fabrika seviyesi bakım-FASBAT) ile yapısal açıdan uçak sıfırlanarak yenilenmiş olarak hizmete verilir.

Yukarıda tanımlanan bakım-onarım işlemlerinde, özellikle fabrika seviyesi bakımda, tahribatsız muayene usullerinin geniş bir kullanım alanı vardır. Tahribatsız muayenelerin, ikinci bölümde açıklanan özellikleri nedeniyle sağlıklı,

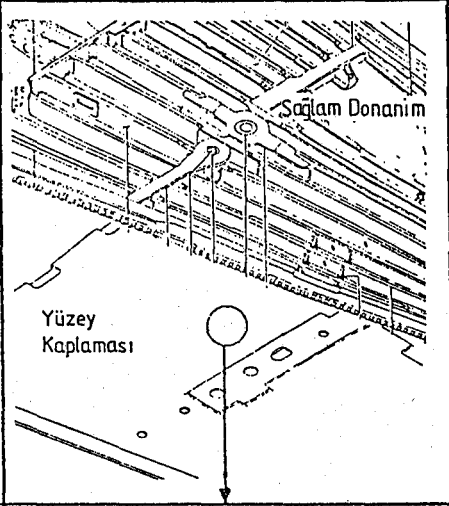
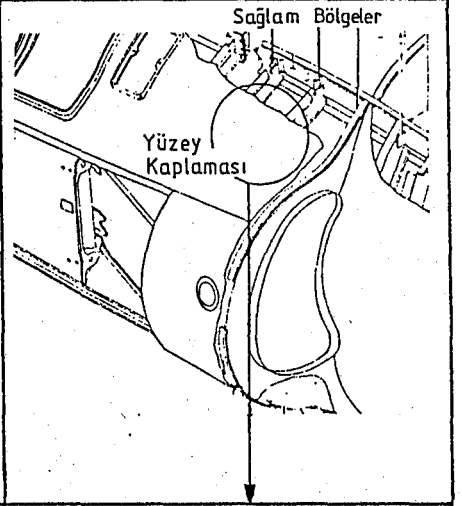
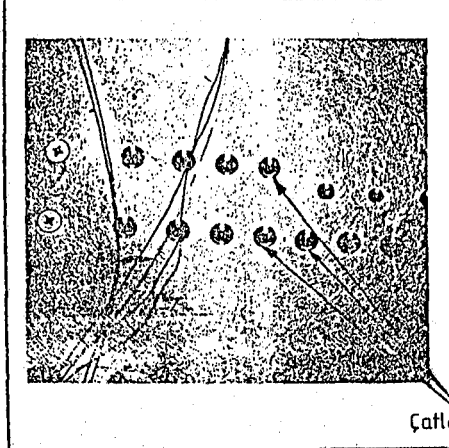
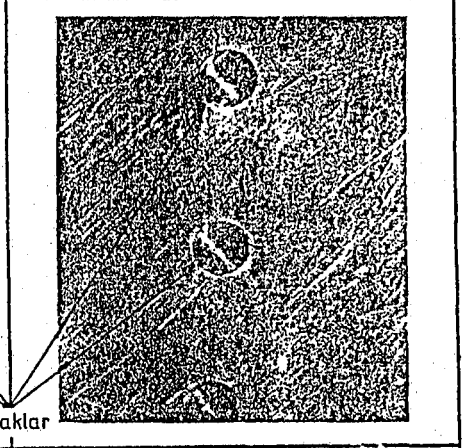
kısa süreli, gerektiğinde sistemin çalışması durdurulmadan parçaları tahrip etmeden kontrol işlemleri gerçekleştirilebilir. Uçak bakım-onarım işlemlerinde çok hassas ve ciddi kontrol, tetkik ve tesbit esas olduğundan tahribatsız muayene usullerinin uygulanması şart olmaktadır.

Uçak kalkış anından itibaren görevini yerine getirirken ve iniş esnasında çeşitli yüklere ve zorlanmalara maruz kalır. Bu zorlanmalar sonucu uçağın ana elemanlarında, mukavemet ve bağlantı elemanlarında, kaplama saçında önemli süreksizlikler oluşabilir. Uçaklarda karşılaşılabilecek süreksizlikler ve korozyon türlerinden ikinci bölümde söz edilmişti. Bu süreksizlikler, çok küçük boyutlarda olsalar bile, büyük hasarların başlangıcını oluşturabileceklerinden, tesbitleri fevkalade önemli bir konudur. Örneğin, bir uçakta ek yükler sonucu oluşan yorulma çatlakları ve yorulma çatlaklarına maruz kalan bazı kritik kısımlar şekil 4.1.de , kanat iç yapısında oluşan yorulma çatlağı şekil 4.2.de, sürüklenme payandasındaki yorulma çatlağına maruz kalan bölge, şekil 4.3.de görülmektedir. Şekil 4.4.de ise kanat saçında bulunan perçin deliklerinde oluşacak yırtılmaların başlangıç değeri, gerilme-uçuş saat diyagramı üzerinde belirlenmektedir. Bu kritere göre belirli bir uçuş saat değerinden sonra parçayı uygun bir tahribatsız muayene usulü ile kontrol etmek gerekmektedir.

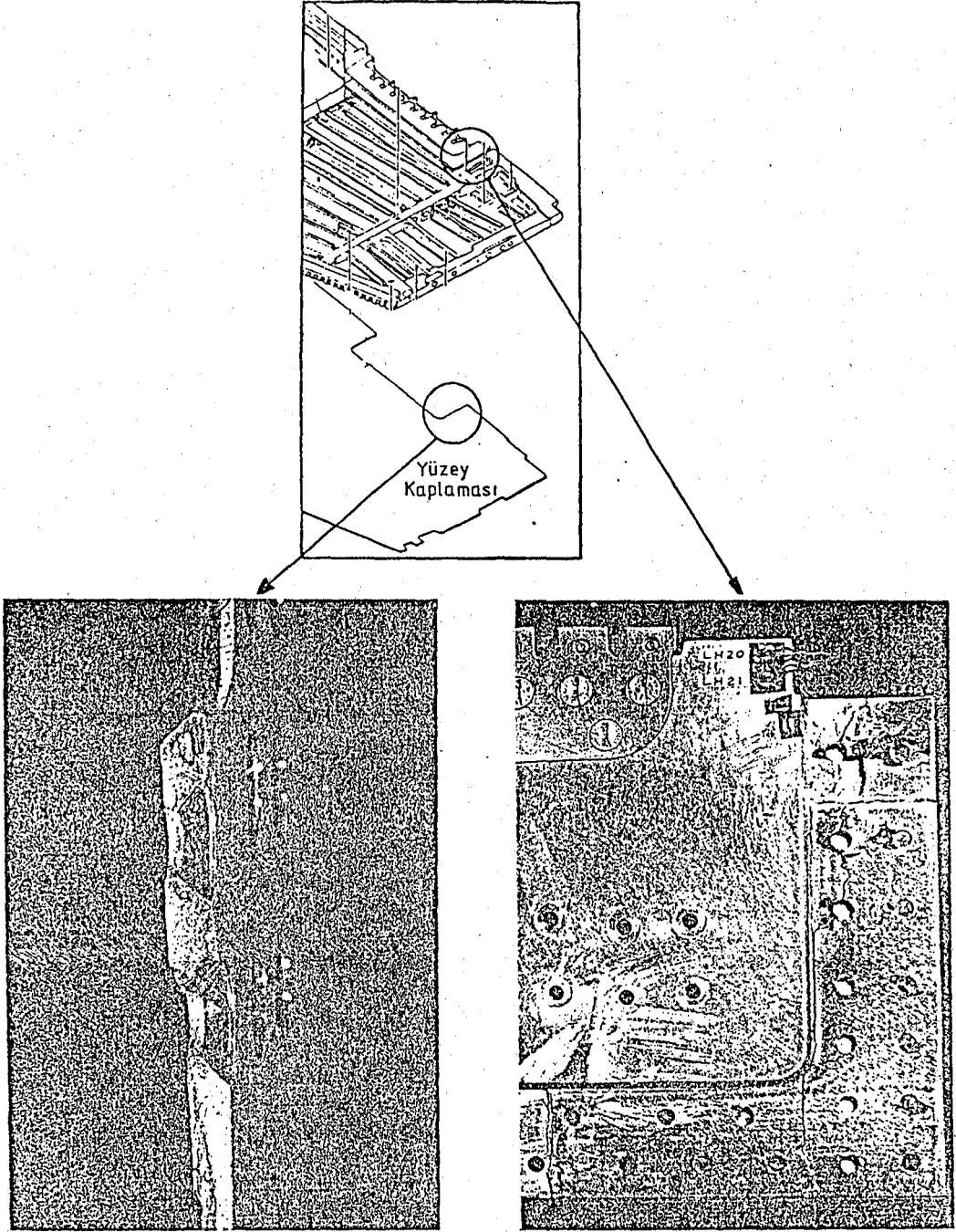
Genelde uçak bakım-onarımında uygulanan başlıca tahribatsız muayene usulleri şunlardır:

- 1.X-ışınları radyografisi ile muayene.
- 2.Ultrasonik muayene.
- 3.Girdap akımlarıyla muayene.
- 4.Penetran sıvı ile muayene.
- 5.Magnetik parçacıklarla muayene.

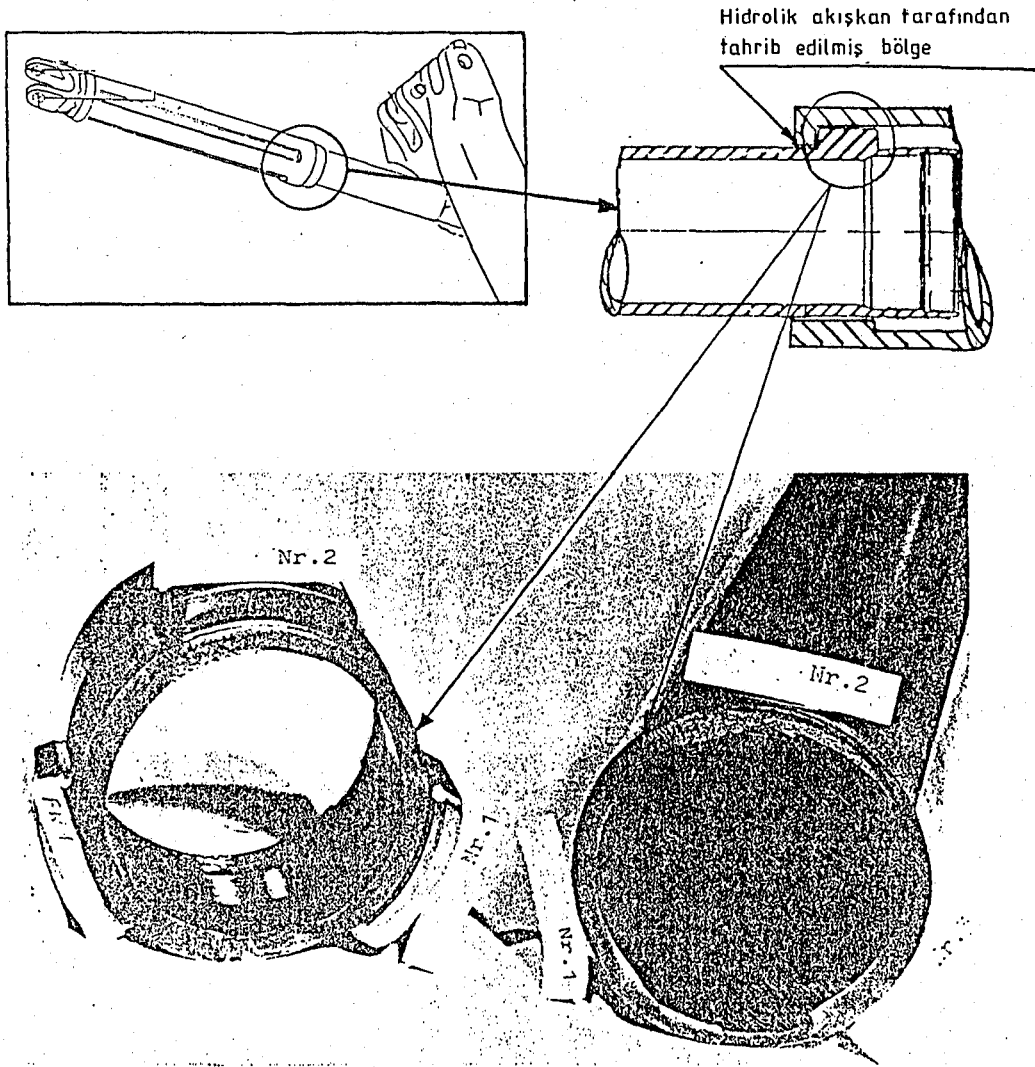
Bu muayene usullerinin özellikleri ve uygulamaları hakkında genel bilgiler bölüm 3'te verilmiştir. Uçak bakım-onarımında, tesbit edilecek süreksizliklerin yüzeyde yada yüzey altında oluşlarına göre bu usullerden biri yada birkaçı aynı anda uygulanabilir. Ayrıca bir usulün uygulanma kolaylığı ve süreside seçiminde önemli bir etkidir.

| ANA ELEMAN | KANAT | GÖVDE |
|-----------------------------|---|--|
| YORULMAYA MARUZ KRİTİK ALAN |  |  |
| | ALT KANAT YÜZEY KAPLAMASI | GÖVDE YÜZEY KAPLAMASI |
| |  |  |
| YÜKLEME DURUMU | EĞİLME | KESME |

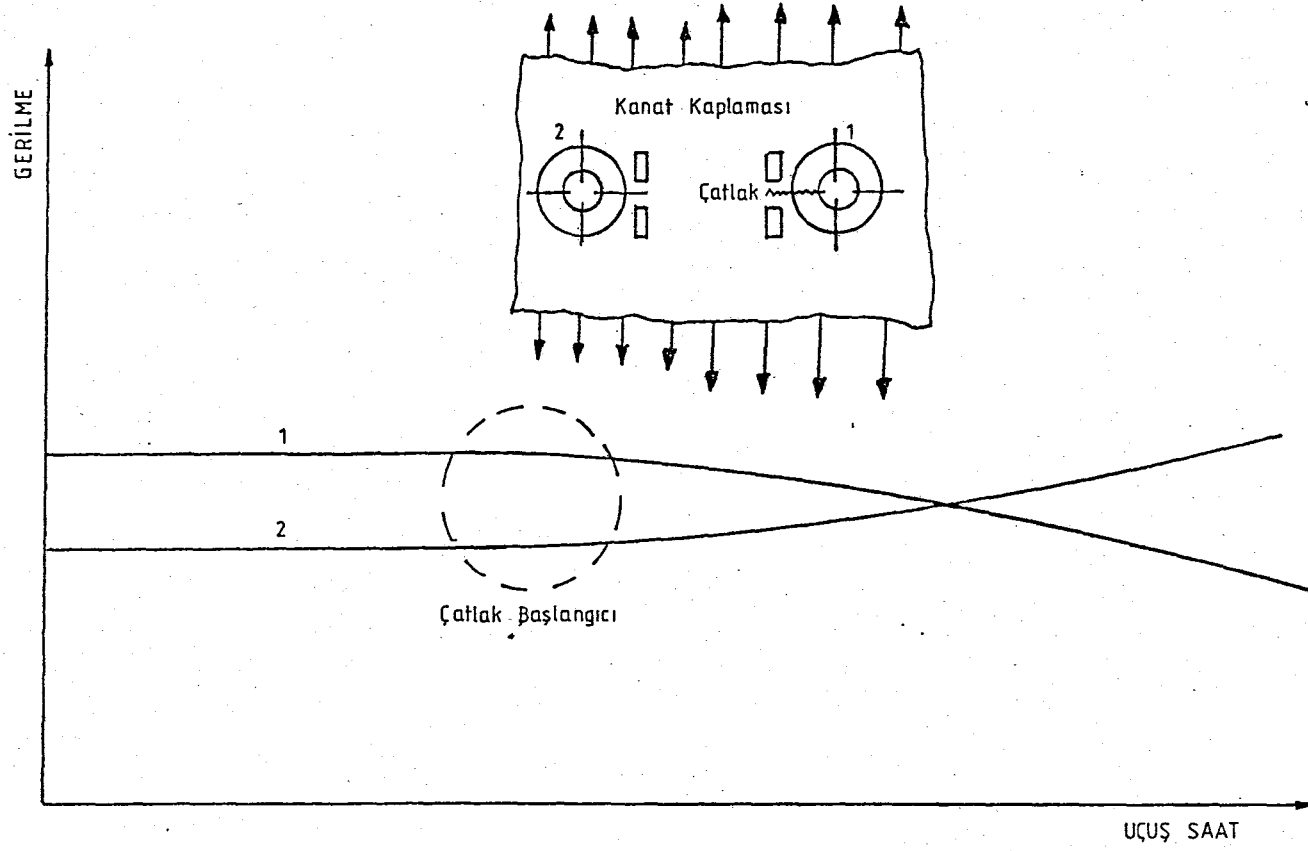
Şekil 4.1. Bir uçakta ek yükler sonucu oluşan yorulma çatlakları (Agard, 1977)



Şekil 4.2.Kanat iç kısmında oluşan yorulma çatlakları
(Agard, 1977)



Şekil 4.3. Sürüklenme payandasındaki yorulma çatlakına maruz kalan bölge (Agard, 1977)



Şekil 4.4. Gerilme-Uçuş saat diyagramı (Agard, 1977)

4.2.Uçak Elemanları ve Tahribatsız Muayenesi

Bir uçak başlıca beş ana elemandan meydana gelmiştir. Bu ana elemanlar kanat, güç grubu, gövde, kuyruk yüzeyleri ve iniş takımlarıdır. Havadan ağır bir cisim olan uçağın havada tutunabilmesi için taşıyıcı yüzeylere (kanatlar) ve hareket temin eden güç grubuna gereksinimi vardır. Uçağın dengesini sağlayabilmesi ve manevraları için kuyruk yüzeyleri gerekmektedir. Kuyruk yüzeylerini kanat ve güç grubunu birbirine rijit bağlayan gövde, faydalı yük taşıyıcı eleman olarak görev yapar. İniş takımları ise yerle teması sağlayarak iniş ve kalkış işlemlerini gerçekleştirirler.

Uçağın tüm fonksiyonlarını gerçekleştirmesini sağlayan bu ana elemanların tahribatsız kontrolleri, incelenmesi gereken önemli bir konudur. Fabrika seviyesi bakımda, ana elemanlar üzerindeki kritik bölgelerin, herhangi bir arıza yada hasar sözkonusu olmasa bile teker teker kontrol edilmesi gerekir. Ana elemanlar üzerinde, önceki bölümde belirtilen muayene usulleri ile kontrol edilmesi mümkün ve gerekli olan kritik bölgeler şunlardır.

- Kanatta; bağlantı donanımları, nervürler, kanat yüzey kaplamaları, flapların, kanatcıkların ve tip tankların bağlantı elemanları, lonjeronlar (şekil 4.5.).

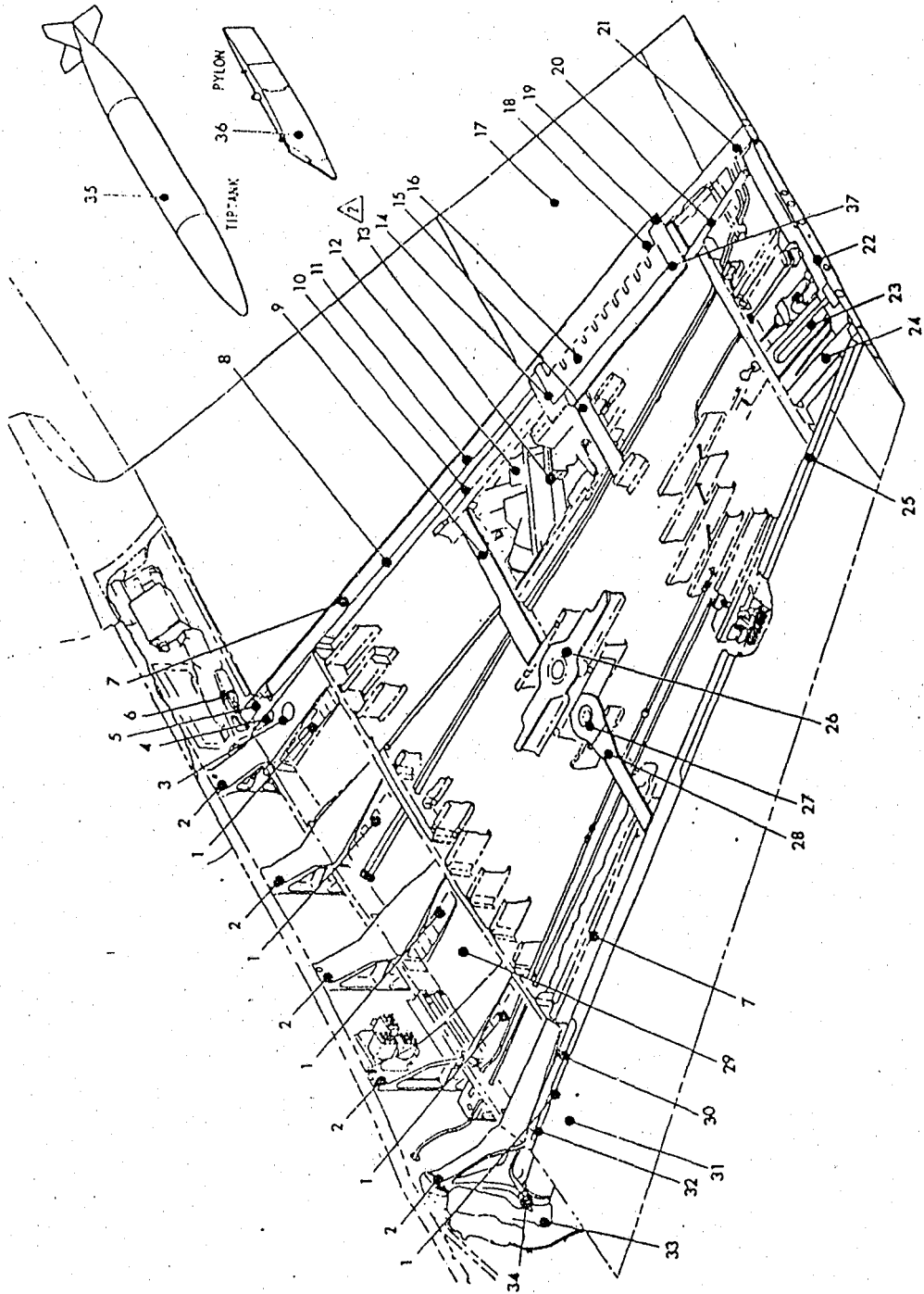
- Güç grubunda; türbin dişlileri, türbin paleleri, türbin şaftı, hava deflektörleri, torsiyon bilezikleri (şekil4.6.).

- Kuyruk grubunda; irtifa ve istikamet dümenlerinin bağlantı noktaları, yatay stablize nervürleri (şekil 4.7.).

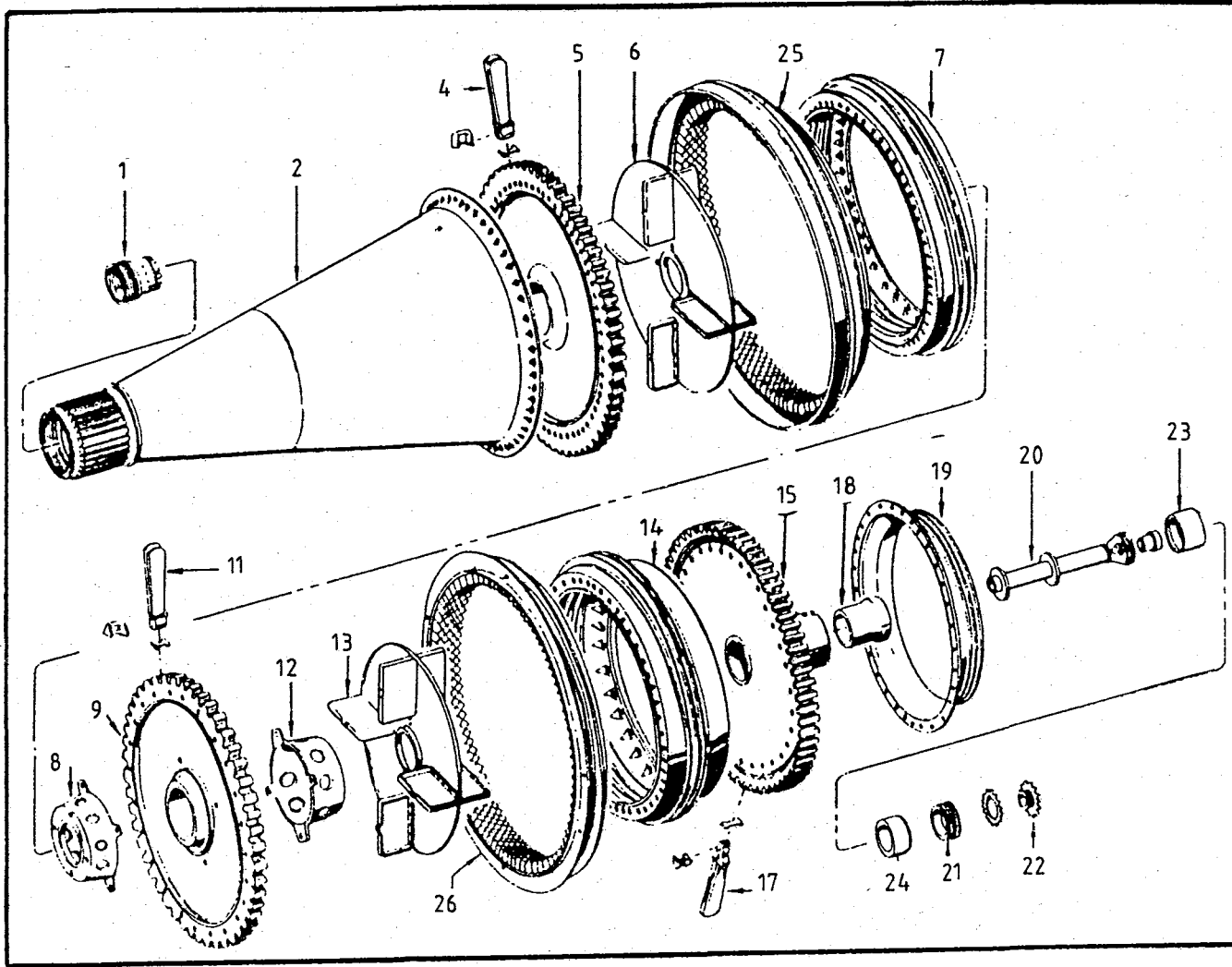
- Gövde de; iniş takımları ve motor bağlantı donanımları, ana kolonlar, gövde kaplamasının birleşme bölgeleri (şekil 4.8.).

- İniş takımlarında; ana iniş takımı hidrolik donanımı, ana iniş takımı tekerlek bağlantı krank, ana iniş takımı bağlantı civataları ve pinleri, burun iniş takımını açık vaziyette kilitleme yayı (şekil 4.9.).

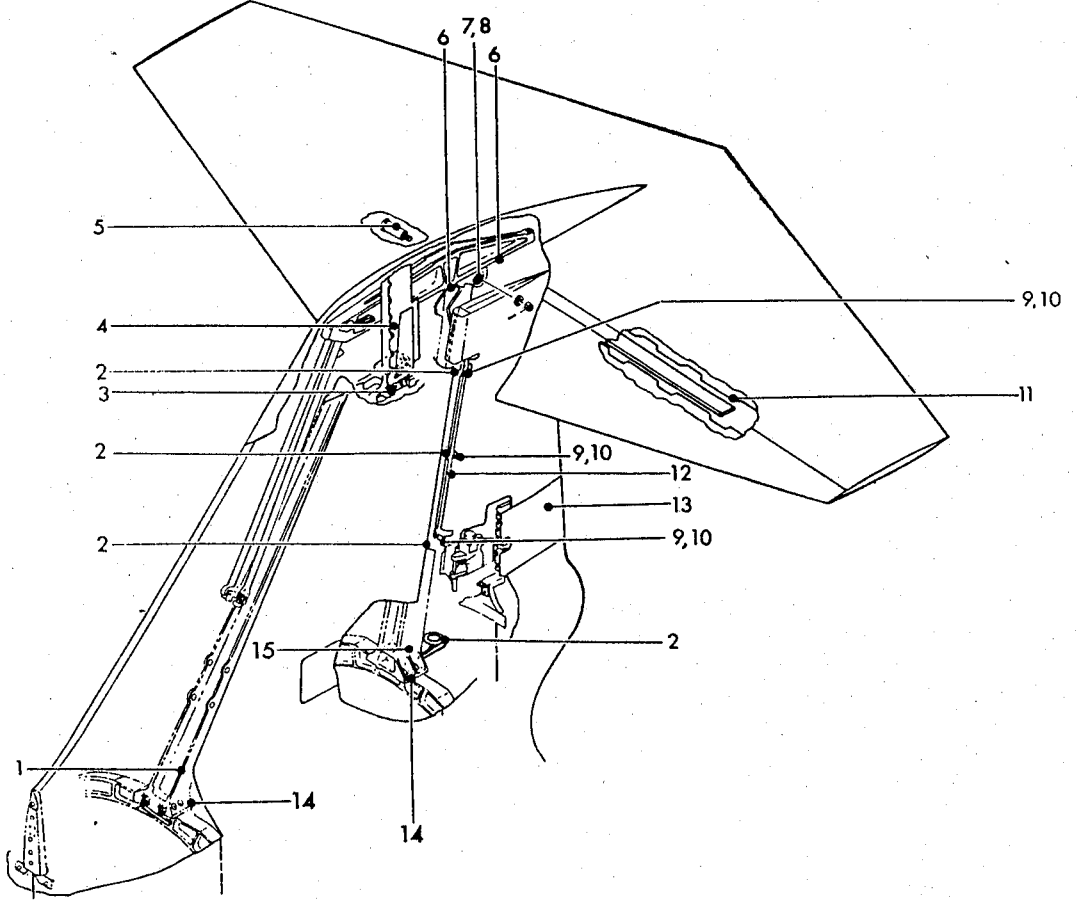
Bu kritik bölgelerin muayenelerinde uygulanabilen usuller ise şunlardır.



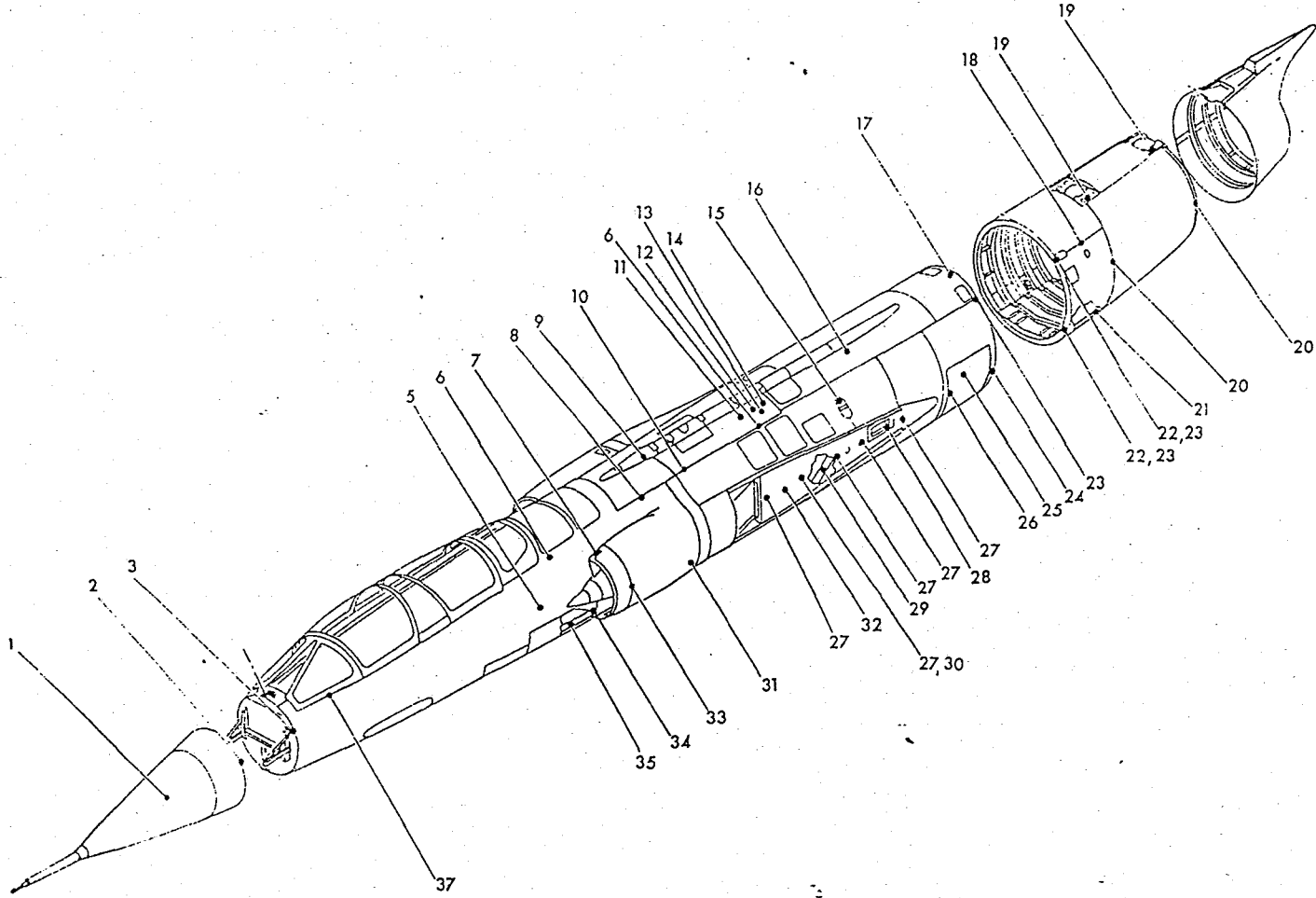
Şekil 4.5. Kanatta bulunan kritik bölgeler



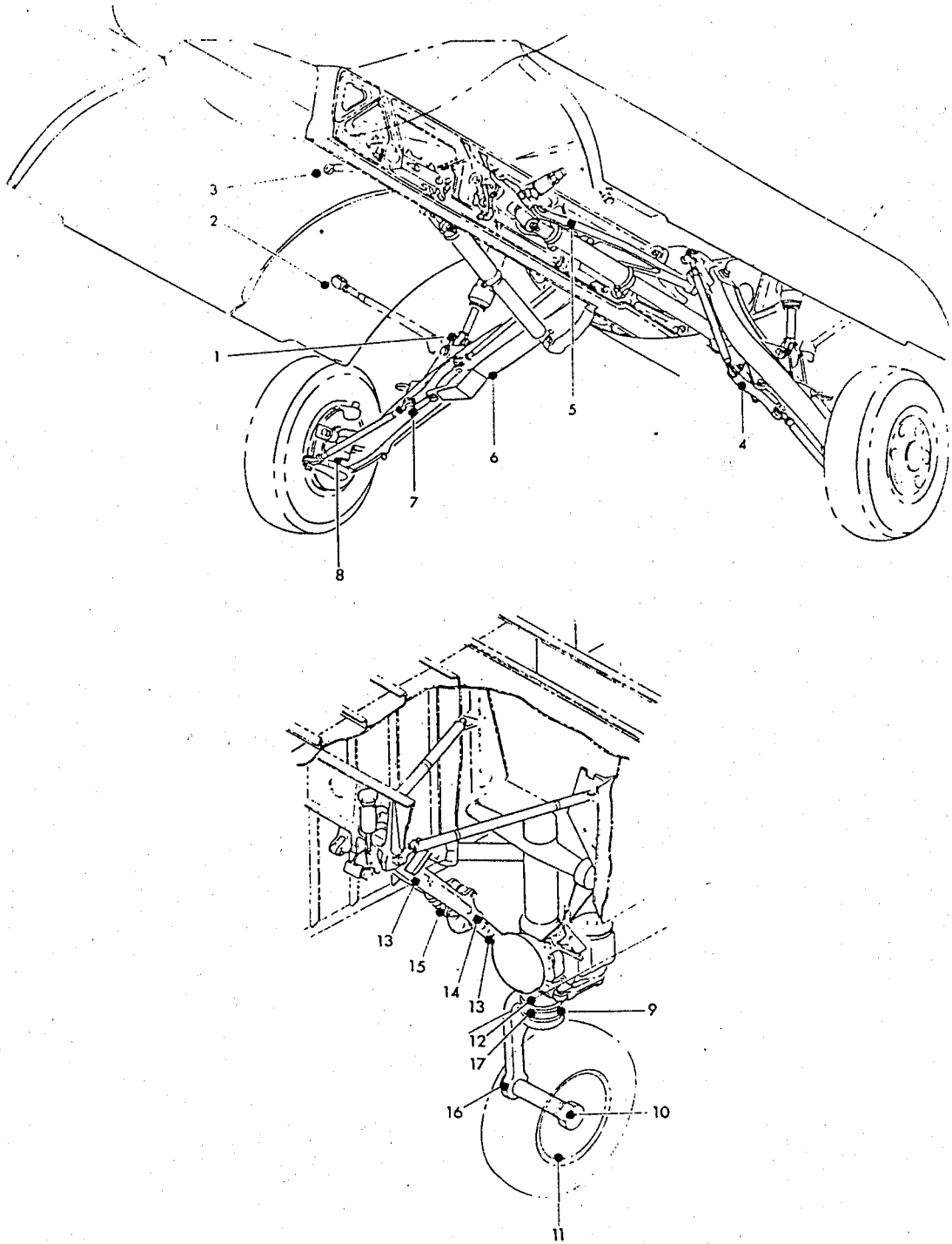
Şekil 4.6.Güç grubunda bulunan kritik bölgeler



Şekil 4.7. Kuyruk grubunda bulunan kritik bölgeler



Şekil 4.8.Gövdede bulunan kritik bölgeler



Şekil 4.9. İniş takımlarında bulunan kritik bölgeler

4.2.1.Radyografik muayene usulünün uygulanması

Radyografik muayene usulü uçak elemanlarında çatlak, oyuk, gözenek, korozyon gibi süreksizliklerin bulunmasında kullanılır. Hem yüzeydeki hemde yüzey altındaki hataların teşhis edilmesi, karmaşık parçalarda arıza tesbiti yapabilmesi tercih nedenleri arasında önemli bir yer tutar. Kaplanmış yada ulaşılamayan parçalara söküksüz ulaşabilme imkanı sağlar.

Uçak üzerinde radyografik muayenenin uygulandığı başlıca kritik bölgeler çizelge 4.1.de toplu olarak verilmektedir. Bu usulle yüzey korozyonu, ince çatlaklar, kalın parçalardaki küçük hataların tesbitinde belirsizlikler oluşabilir. Bu nedenle çizelge 4.1.den'de görüleceği gibi genellikle radyografi metodunun yanısıra, yüzeyler birde penetran metoduyla muayene edilerek güvenilir sonuçlar elde edilmeye çalışılır.

4.2.2.Ultrasonik muayene usulünün uygulanması

Ses dalgalarının yansımaları ilkesine dayanan bu usul uçak konstrüksiyonunda kullanılan hemen her tip malzemeye uygulanabilmektedir. Yüzey ve yüzey altı süreksizliklerini bulmada ve süreksizliğin yerini, derinliğini, büyüklüğünü saptamada son derece hassas bir usuldür. En önemli sınırlaması ise muayene parçasına bir yüzeyden temas şarttır. Ancak küçük bir alandan parçaya ulaşabilme, parçanın tümünü muayene için yeterlidir.

Çizelge 4.2.de bu usulün uçağın hangi kritik bölgelerine uygulandığı verilmektedir. Emniyet açısından genellikle girdap akımları yada penetran usulü ile birlikte uygulanmaktadır.

4.2.3.Girdap akımları muayene usulünün uygulanması

Girdap akımları ile muayene hızlı, pratik ve etkili bir usul olması nedeniyle, uçaklardaki elektriksel iletkenliğe sahip yapılarda, üst üste gelen yüzeylerde, bağlama elemanlarında ve çok geniş olmayan yüzeylerde çatlakların, hasarların bulunmasında, alüminyum alaşımlarında aşırı yaşlanma ve ısı hasarının tesbitinde kullanılmaktadır.

Bu usulün metal yapılı uçak ana elemanları üzerindeki uygulama alanı çok geniş olup çizelge 4.3.de detaylı olarak verilmektedir.

4.2.4.Penetran sıvı muayene usulünün uygulanması

Bu usul, uçaklarda sık sık rastlanan gözenekli olmayan yapılardaki, yüzeye açılan ve gözle görülemeyecek kadar küçük hataların bulunmasında hızlı, güvenilir bir yöntem olup uçak bakım-onarımında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle alüminyum, magnezyum, bakır alaşımları, pirinç, dökme demir, paslanmaz çelik, titonyum, magnetik olmayan alaşımlar seramikler, plastikler, kaplanmış plastikler, cam ve benzeri malzemeler ile kompozit malzemeler ile imal edilmiş uçak eleman ve parçalarına uygulanabilmektedir.

Genel olarak uçak üzerinde penetran usulünün uygulandığı kritik noktalar çizelge 4.4.de verilmiştir. Uçaktaki tüm malzemelere kolayca uygulanabilir bir usul olması nedeniyle kullanım alanı çok geniştir.

4.2.5.Magnetik parçacıkla muayene usulünün uygulanması

Uçak yapılarında demir ve çelik gibi ferromagnetik malzemelerde yüzey ve yüzeyin hemen altındaki hataları bulabilmek için en güvenilir usuldür. Usulün uygulanmasında, test edilecek parçanın hatanın şekline göre akım ve magnetizasyon seçimi, uygun tozların kullanılması ile yüzeydeki ve yüzeyin yaklaşık 6.5 mm kadar altındaki çatlaklar bulunabilmektedir. Bu ise uçak bakım-onarımında sıkça rastlanan bir durumdur. Bir uçak üzerinde magnetik parçacık usulünün uygulandığı kısımlar çizelge 4.5.de toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 4.1.Uçak bakım-onarımında radyografik muayenenin uygulanma sahaları

| Uçakta Kritik Bölgenin Ait olduğu Ana Eleman | Kritik Bölge Nosu | Kritik Bölgesinin Adı | Radyografi-nin Yanısıra Kullanılan Metod |
|--|-------------------|--|--|
| Kanat | 2 | Kanat Bağlantı Donanımları | Penetran |
| Kanat | 9 | Nervür | Penetran |
| Kanat | 10 | Kanat Kirişi | Penetran |
| Kanat | 14 | Kanatçık servo silindir bloğu | - |
| Kanat | 15 | Nervür | Penetran |
| Kanat | 16 | Kanatçık servo silindir piston somunları | - |
| Kanat | 17 | Kanatçık alt ve üst yüzeyleri | Penetran |
| Kanat | 20 | Kanat uç kirişi | Penetran |
| Kanat | 21 | Kanat dış arka kirişi | Girdap akımları Penetran |
| Kanat | 22 | Kiriş | Girdap Akımları |
| Kanat | 24 | Kanat dış ön kirişi | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 1 | Kanatçık ön kirişi | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 4 | Kanatçık uç desteği | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 7 | Yatay stabilize nervürü | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 11 | Yatay stabilize kirişi ve flanş levhaları | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 12 | İstikamet dümeni kirişi ve alt nervürü | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 13 | Kaymayı önleyici nervürler ve kontrol çubuğu | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 15 | Kanatçık arka kirişi | Penetran |
| Gövde | 1 | Radar başlığı | - |
| Gövde | 4 | Burun iniş takımı bağlantı mesnedi | Penetran |
| Gövde | 8 | Gövde üst ana kirişi | Penetran |

Çizelge 4.1.'in devamı

| Uçakta Kritik Bölgenin Ait Olduğu Ana Eleman | Kritik Bölge Nosu | Kritik Bölgesinin Adı | Radyografi-nin Yanısıra Kullanılan Metod |
|--|-------------------|--|--|
| Gövde | 13 | Alt ve üst yüzeyleri birleştiricileri | - |
| Gövde | 15 | Zemin soğutma kapısı delikleri | Penetran |
| Gövde | 17 | Motor üst arka muhafaza donanımları ve mesnet yapısı | Penetran |
| Gövde | 18 | Arka gövde üst ana kirişi | Penetran |
| Gövde | 20 | Arka gövde kafesleri | Penetran |
| Gövde | 21 | Arka gövde alt ana kirişi | Penetran |
| Gövde | 24 | Motor bağlantı donanımı ve şaftı | Penetran Magnetik Parçacık |
| Gövde | 27 | Ana kolonlar | Girdap Akımları Penetran |
| Gövde | 33 | Motor hava alığı | Penetran |
| Gövde | 35 | Gövde ana alt kirişi | Penetran Girdap akımları |
| Gövde | 36 | Kabin hava çıkış kanalı | Penetran |
| Gövde | 37 | Üst ana kiriş | Penetran |
| İniş Takımları | 3 | Ana iniş takımı ileri hareket donanımı | Penetran |

Çizelge 4.2.Uçak bakım-onarımında ultrasonik muayenenin uygulanma sahaları

| Uçakta Kritik Bölgenin Ait Olduğu Ana Eleman | Kritik Bölge Nosu | Kritik Bölgenin Adı | Ultrasoniğin Yanısıra Kullanılan Metod |
|--|-------------------|--|--|
| Kanat | 1 | Kanat bağlama donamını kanat alt yüzeyindeki sürgü delikleri | Girdap akımı |
| Kanat | 12 | Kanatçık servo giriş paneli | Penetran |
| Kanat | 29 | Kanat yüzey kaplamaları | Girdap akım Penetran |
| Kanat | 37 | Kanat alt yüzeyindeki kanatçık servo silindiri | Girdap akım |
| Kuyruk Grubu | 14 | Kanatçık ön ve arka giriş montaj alanları | Girdap akım |
| Gövde | 6 | Üst lonjeron takviyele-ri | Girdap akım |
| İniş Takımları | 6 | Ana iniş takımı dikmesi | Penetran |
| İniş Takımları | 9 | Burun iniş takımı çatallı | Penetran |

Çizelge 4.3.Uçak bakım-onarımında girdap akımlarıyla muayenenin uygulanma sahaları

| Uçakta Kritik Bölgenin Ait Olduğu Ana Eleman | Kritik Bölge Nosu | Kritik Bölgenin Adı | Girdap akımlarının yanısıra kullanılan Metod |
|--|-------------------|--|--|
| Kanat | 3 | Kanat bağlama donanımı | Penetran |
| Kanat | 4 | Kanat bağlama donanımı alt yüzeydeki sürgü delikleri | - |
| Kanat | 6 | Flap çalıştırıcı kelepçesi | Penetran |
| Kanat | 21 | Kanat dış arka kirişi | Radyografi Penetran |
| Kanat | 22 | Nervür | Radyografi |
| Kanat | 26 | Kanat pylon donanımı | Penetran |
| Kanat | 28 | Kanat pylon destek kirişi | Penetran |
| Kanat | 29 | Kanat yüzey kaplamaları | Ultrasonik Penetran |
| Kanat | 30 | Hücum kenarı flabı menteşesi | Ultrasonik Penetran |
| Kanat | 31 | Hücum kenarı flabı kirişi | - |
| Kanat | 35 | Uç tank bağlantı bölgeleri | Mağnetik parçacık |
| Kuyruk Grubu | 3 | Kanatçık üst kirişi | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 6 | Yatay stablize kontrol çubuğu | Penetran |
| Kuyruk Grubu | 14 | Kanatçık montaj alanları | Ultrasonik |
| Gövde | 6 | Üst lonjeron | Ultrasonik |
| Gövde | 25 | Hız Freni Donanımı | Penetran |
| Gövde | 27 | Ana kolonlar | Radyografi |
| Gövde | 29 | Ana İniş Takımı Destek Kiriş | - |
| İniş Takımları | 8 | Ana İniş Takımı Dikmesi mili | - |
| İniş Takımları | 11 | Burun İniş Takımı tekerlek cantları | Penetran |

Çizelge 4.4. Uçak bakım-onarımında penetran sıvı usulü ile muayenenin uygulanma sahaları

| Uçakta Kritik Bölgenin Ait Olduğu Ana Eleman | Kritik Bölge Nosu | Kritik Bölgenin Adı | Penetranın Yanısıra Kullanılan Metod |
|--|-------------------|--|--------------------------------------|
| Kanat | 2 | Kanat Bağlantı Donanımları | Radyografi |
| Kanat | 7 | Hücum ve Firar Kenarı Flabı | - |
| Kanat | 9 | Nervür | Radyografi |
| Kanat | 12 | Kanatçık Servo Giriş Paneli | Ultrasonik |
| Kanat | 29 | Yüzey Kaplaması | Ultrasonik |
| Kanat | 32 | Kanat Bağlantı Donanımı | Girdap akımları |
| Kuyruk Grubu | 2 | İstikamet Dümeni Menteşesi | - |
| Kuyruk Grubu | 6 | Yatay Stablize Çubuğu | Girdap akımları |
| Kuyruk Grubu | 8 | Yatay Stablize Mil Yatağı | - |
| Kuyruk Grubu | 15 | Kanatçık Arka Kirişi | Radyografi |
| Kuyruk Grubu | 17 | İstikamet Dümeni Hareket Donanımı | - |
| Gövde | 4 | Burun İniş Takımı Bağlantı mesnedi | Radyografi |
| Gövde | 7 | Motor Hava alığı | - |
| Gövde | 14 | Motor Montaj Donanımı | - |
| Gövde | 16 | Motor Beşiği | - |
| Gövde | 35 | Gövde Alt Kirişleri | Radyografi Girdap akım |
| İniş Takımları | 1 | Ana İniş Takımı Hidrolik Donanımı | Magnetik Parçacık |
| İniş Takımları | 4 | Ana İniş Takımı Tekerlek Bağlantı Krankı | - |
| İniş Takımları | 6 | Ana İniş Takımı Dikmesi | Ultrasonik |

Çizelge 4.4.'ün devamı

| Uçakta Kritik Bölgenin Ait Olduğu Ana Eleman | Kritik Bölge Nosu | Kritik Bölgenin Adı | Penetranın Yanısıra Kullanılan Metod |
|--|-------------------|--|--------------------------------------|
| Motor | 2 | Türbin Şaftı | - |
| Motor | 5,9,11 | Birinci, ikinci ve üçüncü kademe türbin dişlileri | - |
| Motor | 7,14 | Birinci ve ikinci kademe torsiyon bilezikleri | - |
| Motor | 19 | Türbin Hava Contası | - |
| Motor | 4,11,17 | Türbin Paleleri | - |
| Motor | 8,12 | Birinci ve ikinci kademe hava deflektör tutucuları | - |
| Motor | 6,13 | Birinci ve ikinci kademe hava deflektörleri | - |

Çizelge 4.5.Uçak bakım-onarımında magnetik parçacıkla muayenenin uygulanma sahaları

| Uçakta Kritik Bölgenin Ait Olduğu Ana Eleman | Kritik Bölge Nosu | Kritik Bölgenin Adı | Magnetik Parçacıkların yanısıra Kullanılan Metod |
|--|-------------------|---|--|
| Kanat | 5 | Firar Kenarı Flabı Hareket Donanımı | - |
| Kanat | 18 | Kanatçık Menteşesi | - |
| Kanat | 35 | Uç Tank Bağlantı Bölgesi | Girdap akım |
| Kuyruk Grubu | 5 | Yatay Stablize Bağlantı Civatası | - |
| Kuyruk Grubu | 10 | İstikamet Dümeni Menteşe Pimleri | - |
| Gövde | 3 | Radar Başlığı Kilitleme Elemanları | - |
| Gövde | 12 | Motor Ön Montaj Hattı | - |
| Gövde | 22 | Arka Gövde Bağlantı Civataları | - |
| Gövde | 24 | Motor Bağlantı Donanımı | Radyografi Penetran |
| İniş Takımları | 1 | Ana İniş Takımı Hidrolik Donanımı | Penetran |
| İniş Takımları | 5 | Ana İniş Takımı Fren Bağlantıları | Penetran |
| İniş Takımları | 10 | Burun İniş Takımı Aksı | - |
| İniş Takımları | 15 | Burun İniş Takımını Açık Vaziyette Kitleme yayı | - |

4.3.Uçaklarda Petek Yapıların (Sandviç Konstrüksiyon) Tahribatsız Muayenesi

Günümüzde havacılıkta, malzeme kalınlık artışının neden olduğu ağırlık artışı problemini çözümlenebilmek için sandviç konstrüksiyon kullanılmaktadır. Bu konstrüksiyonda, düşük yoğunlukta olan ince bir metalden yapılmış petek çekirdeğin alt ve üst kaplama metali yüksek yoğunluklu bir malzemeden oluşturulmaktadır (şekil 4.10.). Bazen kaplama metalleri titanyum, alüminyum, çelik ve benzeri metallerle de takviye edilebilir.

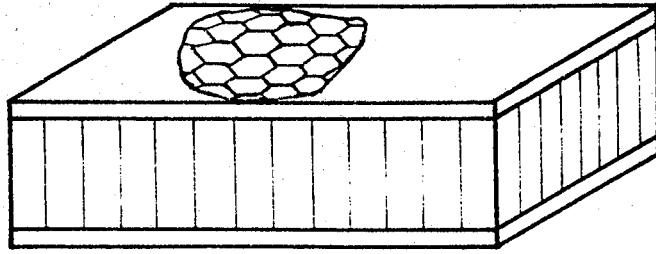
Genelde petek yapılar yüksek bir mukavemete, mükemmel bir titreşim ve salınım karakteristiğine ve üstün izolasyon özelliklerine sahiptirler. Bu özellikleri sebebiyle uçak sanayiinde kullanımları gittikçe yaygınlaşmaktadır (şekil.4.11).

Uçaklarda petek yapılarda zamanla karşılaşılan başlıca hatalar kaplama saçının veya peteğin ezilmesi ve kaplama saçı ile petek arasında oluşan nem sonucu korozyon başlamasıdır. Uçak bakım-onarımında petek yapılarda oluşan çeşitli hataların tesbiti için kullanılan başlıca tahribatsız muayene usulleri çizelge 4.6.da verilmektedir. Yüzeydeki hataların tesbiti için girdap akımları ile muayene önerilirken, yüzey altında kalan petek hatalarının tesbiti için radyografi, alt ve üst levhaların çekirdekten ayrılmasının tesbiti için ise ultrasonik muayene önerilmektedir.

4.3.1.Uçaklarda petek yapılara ultrasonik muayene usulünün uygulanması

Petek yapıların ultrasonik usul ile muayenesinde şu üç tip ultrasonik muayene cihazı kullanılmaktadır.

- a.Yüksek frekanslı test cihazı (1 MHz-5 MHz).
- b.Düşük frekanslı test cihazı (15 kHz-50 kHz).
- c.Rezonans tipi cihaz.

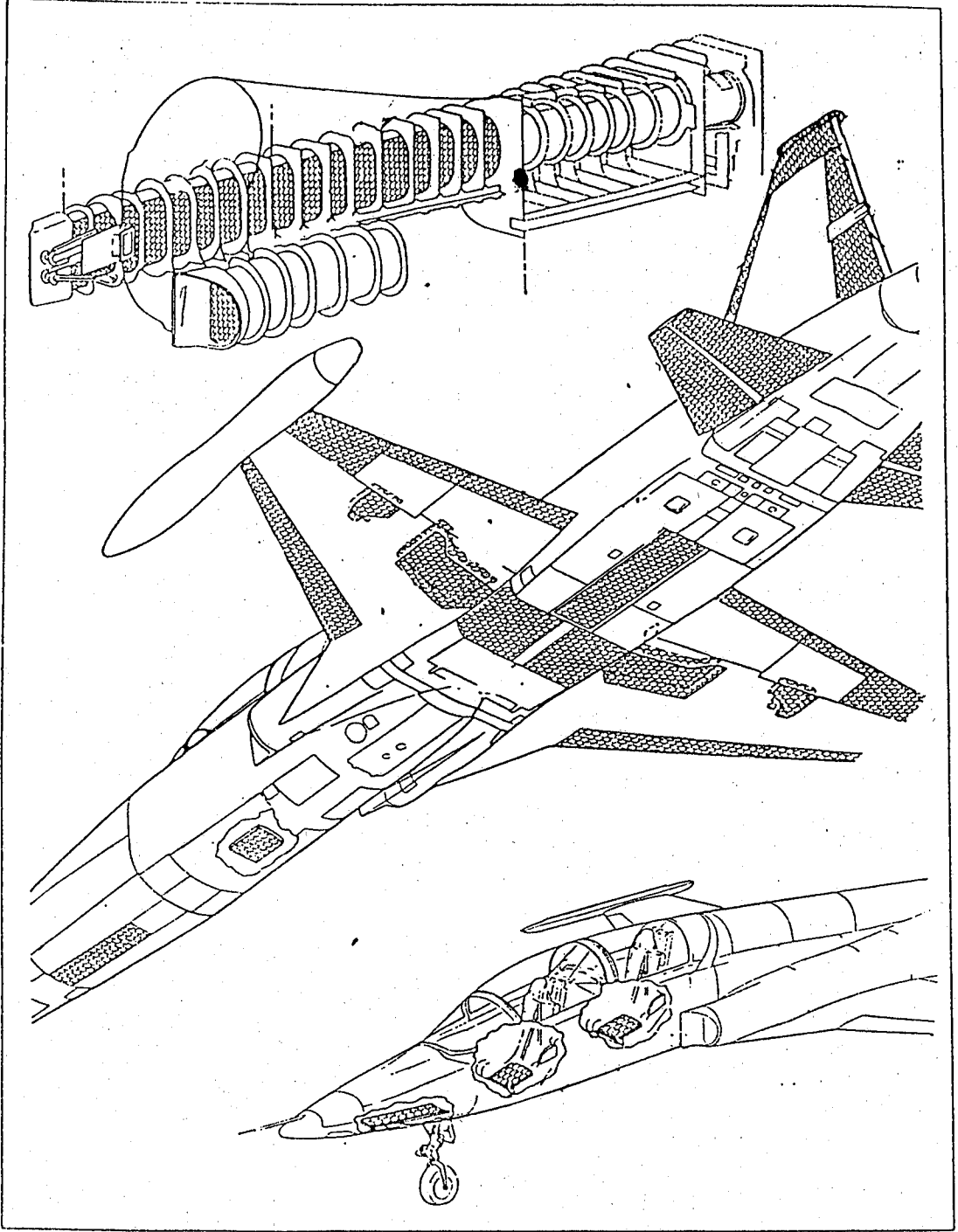


Şekil 4.10. Petek yapı

Çizelge 4.6. Petek yapılarda oluşan çeşitli hataların tesbiti için kullanılan tahribatsız muayene usulleri

| | | ULTRASONİK (Düşük frekans - direkt iletim) | ULTRASONİK (Yüksek frekans - darbe yankı) | ULTRASONİK (Yüksek frekans - direkt iletim) | X-Ray | Girdap Akımları | Akustik Emisyon |
|--|----------------------------|---|--|--|-------|-----------------|-----------------|
| Metal yüzey levhaları ve metal petekten oluşan yapılarda | Nem, yağ | ○ | | | ● | | ○ |
| | Petek korozyonu | ○ | ○ | ○ | ● | | ○ |
| | Petek ezilmesi | ○ | | ○ | ● | | |
| | Üst yüzey metali ayrılması | ○ | | ● | | | |
| | Alt yüzey metali ayrılması | ○ | | ● | | | |
| Yüzey çatlakları | | | | | ● | | |
| Metal yüzey levhaları ve metal olmayan petekten oluşan yapılarda | Nem, yağ | ○ | | | ● | | ○ |
| | Korozyon | ○ | | ○ | ● | ○ | ○ |
| | Petek ezilmesi | ○ | ○ | ○ | ● | | |
| | Üst levhanın ayrılması | ○ | | ● | | | |
| | Alt levhanın ayrılması | ○ | | ● | | | |
| Yüzey çatlakları | | | | | | | |
| Tek kademeli metal metale bağlanmış yapılarda | Birleşme hattı korozyonu | ○ | ○ | ○ | | ○ | ● |
| | Ayrılmalar | ○ | □ | ● | | | |
| | Yüzey çatlakları | ○ | | | | ● | |
| Çok kademeli metal metale bağlanmış yapılarda | Birleşme hattı korozyonu | ○ | ○ | ○ | | ○ | ● |
| | Ayrılmalar | ○ | □ | ● | | | |
| | Yüzey çatlakları | ○ | | | | ● | |

- Tercih edilen uygun metod
- Alternatif metod
- Sınırlı alternatif metod



Şekil 4.11. Bir uçak üzerindeki petek yapılı kısımlar

Yüksek frekans, ya darbe-yankı metadoyla yada direkt iletim sistemi ile iletilebilir. Uçak bakım-onarımında direkt iletim metodu en iyi hata arama yöntemi olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Ancak metodun başlıca dezavantajı zaman kaybı ve sistemin taşınabilme zorluklarıdır. Ayrıca, kuplaj malzemenin (su-yağ), parçaya zarar vermemesi şarttır. Bu metod, dezavantajlarına karşın petek yapıların muayenesinde en emniyetli ve hassas yoldur.

Düşük frekanslı test cihazı, özellikle petek yapılar için geliştirilmiştir. En büyük avantajı taşınabilir olması ve transduserle parça arasında kuplaj gerektirmemesidir (şekil 4.12.).

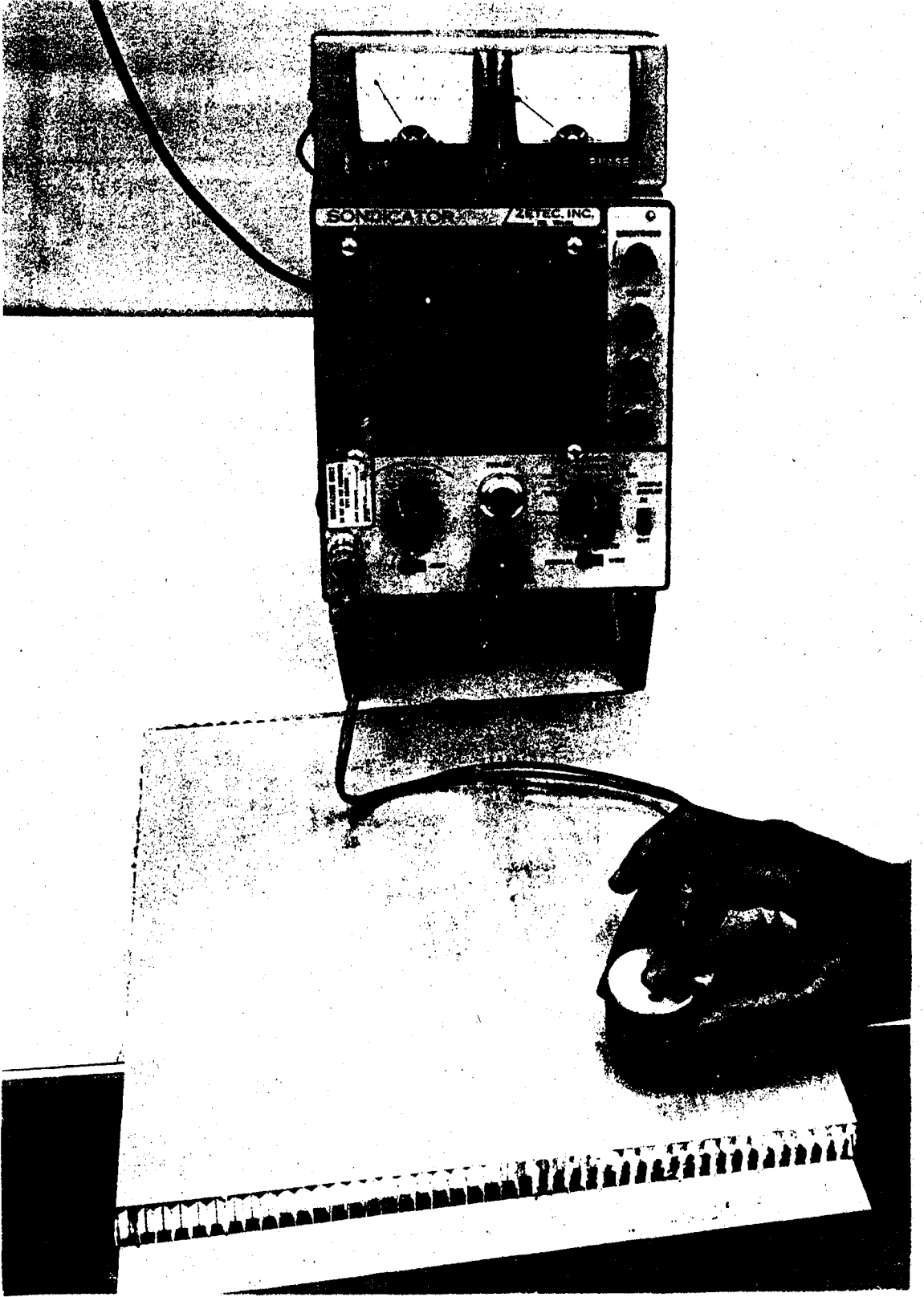
4.3.2. Uçaklarda petek yapılara radyografik muayene usulünün uygulanması

Radyografi usulü parçanın iç kısımlarındaki hataları inceleyebildiğinden, uçak bakım-onarımında önemli bir usuldür. Teçhizat taşınabilir olduğundan genel olarak muayene edilecek parça uçaktan sökülmeden muayene edilebilmektedir. Gerektiğinde parçaların X-ray laboratuvarına alınarak muayenesini yapmakta mümkün olmaktadır.

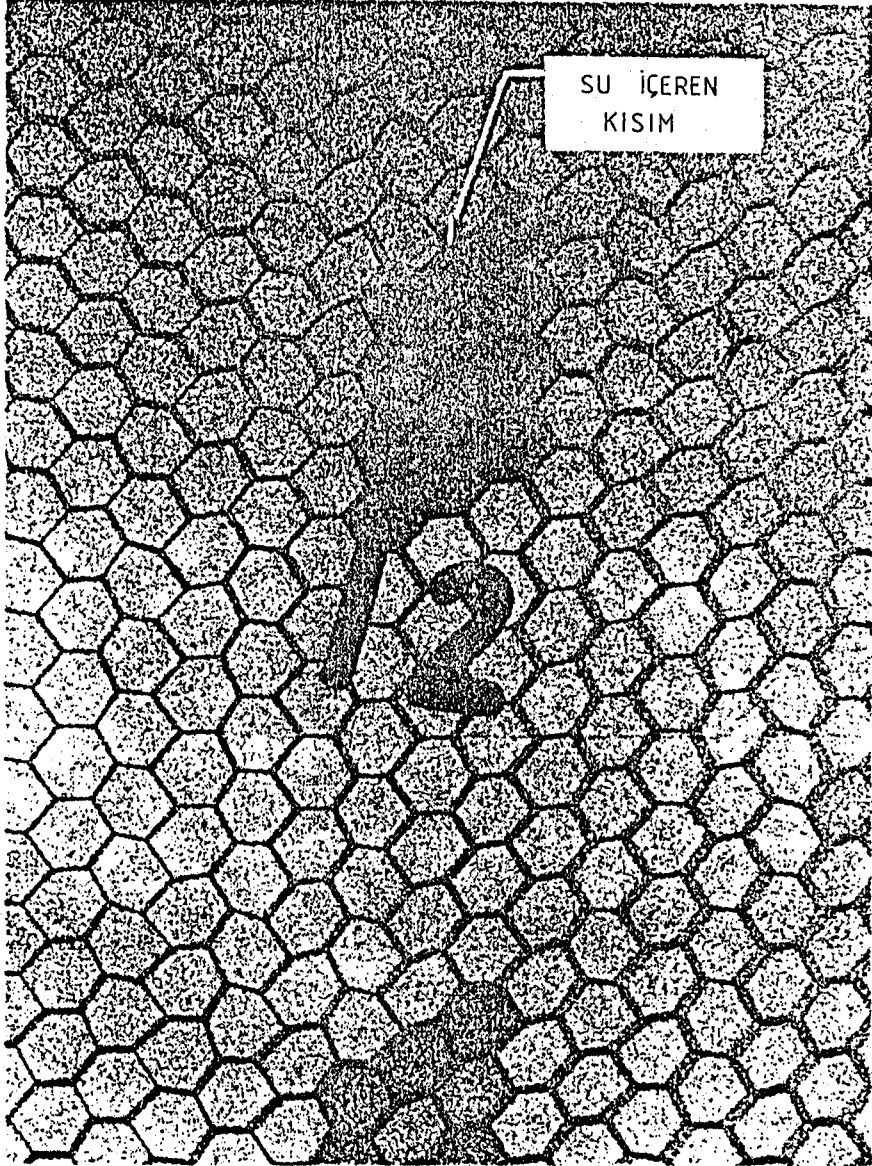
Radyografi usulü ile petek yapılarda teşhis edilebilen başlıca hata çeşitleri şunlardır:

Petek hücrelerindeki su, petek yüksekliğinin en az %10'luk bir kısmını oluşturduğunda, bu durum X-ray ile teşhis edilebilmektedir. Muayene işleminin hassasiyeti petek kaplama saçının kalınlığına ve radyografi tekniğine bağlı olmaktadır (şekil 4.13.).

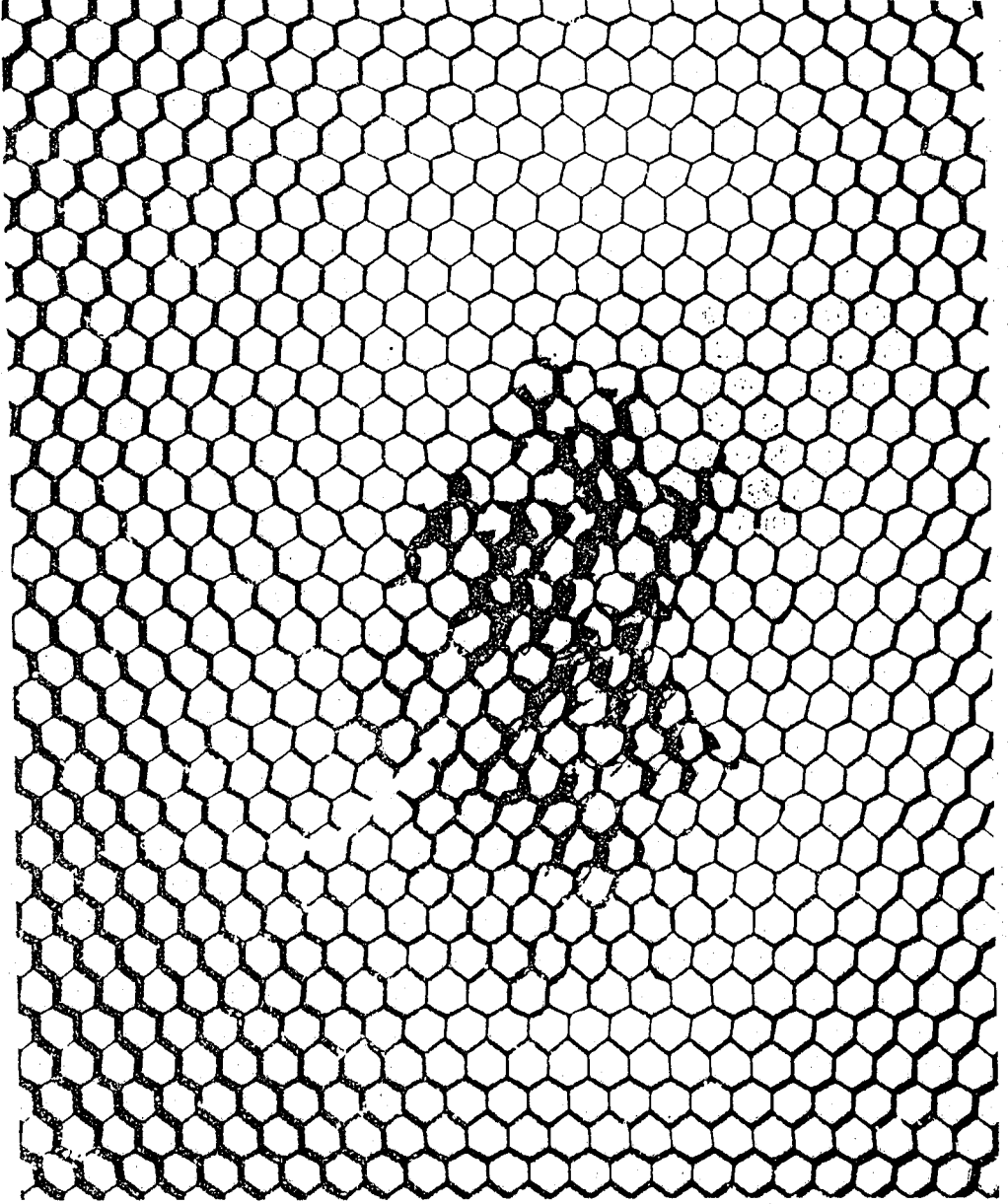
Peteğin ezilmesi, petek ile yüzey metali bağlantısındaki ayrılmalara neden olmaktadır. Bu hata radyografik görüntüde tesbit edilebilir (şekil 4.14.).



Şekil 4.12. Bir ultrasonik cihaz ile petek yapının kontrolü



Şekil 4.13. Radyografik usul ile tesbit edilmiş petek hücrelerindeki su



Şekil 4.14.Radyografik usul ile petek yapının ezilmesinin tesbiti

4.3.3.Girdap akımları ile muayene usulünün uygulanması

Uçak bakım-onarımında petek yapılarda, girdap akımları usulü genelde şu üç tip hatayı teşhis için uygulanır.

- a.Çatlak kontrolü.
- b.Korozyon (tane içi korozyon) tesbiti.
- c.Isıl hataların tesbiti.

Özellikle yüzeydeki çatlakların tesbiti için kullanılan usulde yüksek frekans daha geniş bir alanı muayene imkanı sağladığı için tercih edilir.

4.3.4.Uçaklarda petek yapılara akustik emisyon muayene usulünün uygulanması

Akustik emisyon usulünün temelinin, metalleri iç yapılarındaki fiziksel yada mekanik değişimler tarafından oluşturulan gerilme-dalga sinyallerinin tesbit edilmesine dayanması nedeniyle bu usul, uçak bakım-onarımında özellikle petek yapılardaki nemin ve korozyonun teşhisinde radyografi ve girdap akımları usullerinden daha etkili olmaktadır.

4.4.Uçaklarda Kompozit Malzemelerin Tahribatsız Muayenesi

Genelde kompozit malzemelerde oluşan hatalar metalik malzeme hatalarından farklıdır ve kırılma mekanizmasındaki etkileri pek iyi bilinmemektedir. Ayrıca kompozitlerin bilinen tahribatsız muayene tekniklerine tepkileri üzerindeki araştırmalarda da son yıllarda başlamıştır. Bu nedenle kimi metodların geliştirilmesine ihtiyaç vardır ve uygun standartların kurulabilmesi için mekanik performans üzerindeki etkilerinde araştırılması gerekmektedir.

Kompozit malzeme terimi çok farklı mekaniksel özelliklere sahip oldukça değişik malzemeleri içermektedir. Uçaklardaki yapısal uygulamalar incelendiğinde, bu geniş alan temel olarak boron, karbon yada comfiber ile güçlendirilmiş epoksi reçineli kompozitlerle kısıtlanmaktadır.

Metalik yapılı pekçok kompozit uçak yapısal parçaları bir elemanlar serisinden imal edilmektedir ve yapışkan bağ kullanılarak inşaa edilen geniş sayıdaki bu elemanlar konveksiyonal mekaniki bağlaçların kullanımını artan bir şekilde mümkün kılmaktadır. Bu bağlar kompozit ile kompozit, kompozit ile metal yada kompozit ile petek çekirdek malzemelerden olabilir. Kimi durumlarda yapıştırıcı bağ sadece doldurucu olarak işlev görebilir yada çok az yapısal öneme haiz olabilir. Ancak birçok durum bağın bütünlüğü kompozit malzemenin kendi bütünlüğü kadar önemlidir.

Uçaklarda bulunan kompozit malzemelerde servis esnasında oluşan hasar prensip olarak aşırı statik yük ani darbe yada yorulmadan kaynaklanır. Kimi zamanda aşırı ısınma ve akma etkili olmaktadır. Buna ilaveten uçakların uçuş sırasında maruz kaldığı çevre şartlarıda malzeme özelliklerinde değişimlere neden olmaktadır. Yıldırım çarpması, kuş çarpmaları, yağmur yada dolu erozyonu ile pürüzlü pist üzerindeki ankaş yığıntılarının darbelerinden oluşan hasar, şiddet derecesine göre farklı şekillerde meydana gelmektedir.

Uçaklarda bulunan hidrolik sıvılar, yakıt ve yağlardan oluşan sıvılar, epoksi reçine matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini çok az etkilemektedir. Ancak, bu etkileme rutubetin girmesinden dolayı meydana gelen hasardan daha az olmasına karşın kimi yapıştırıcı bağların özelliklerinde azalma oluşturabilmektedir. Tahribatsız muayene işleminde kullanılan kuplaj sıvılardan kompozit malzemeler üzerinde böyle olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Kompozit malzemelerin ultrasonik muayenesinde, prob ile malzeme arasında makina yağı kullanıldığında olumlu sonuç alınmıştır.

Nem nüfuzunun bir çok kompozit malzemeye etkisi oldukça önemli boyutlardadır. Nem, fiber-matrix ara yüzeyine girmekte, yalnızca ara yüzey bağının zayıflatmakla kalmayıp birde reçinenin kendi içindeki difüzyonunu ve boşluklar mevcutsa difüzyon hızını artırmaktadır.

Çevresel koşullardaki değişimlerin kuru kompozitler üzerinde herhangi bir etkisi olmamakta ve bir kez nem absorbe edildiğinde küçümsenemeyecek bir hasar oluşabilmektedir. Bu hasar hapsolunan rutubetin alçak sıcaklıklarda donması yüksek sıcaklıklarda buharlaşması ile artmaktadır. Bu nedenle, absorbe edilen nemin derecesinin mutlaka tesbiti gerekir.

Ayrıca kompozit malzemelerde adhesiv bağlı eklemlerde, absorbe edilen rutubet bağın kalitesini düşürmektedir. Metalden metale bağlarda rutubet polimer arasından sızarak ara yüzeylerle ve zayıf kohezif özelliklere sahip oksit yüzeyleriyle birleşme eğilimi göstermektedir. Uçak yapılarındaki kompozit malzemelerde rastlanan hata çeşitleri için tavsiye edilen en uygun tahribatsız muayene usulleri çizelge 4.7.de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Kompozit malzemelerdeki hata çeşitleri için önerilen tahribatsız muayeneler.

| YÖNTEM HATA | PENETRAN SIVI | RADYOGRAFİ | ULTRASONİK | GİRDAP AKIMI |
|---------------------|------------------|------------|------------|-----------------|
| ÇARPMA | X | X | | X |
| AYRILMA | | | X | |
| ÇATLAK | X | X | X | X |
| DELİK HASARI | X | X | | |
| SU GİRMESİ | | X | | |
| YILDIRIM DÜŞMESİ | | X | | |
| ISI HASARI | | | X | |

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1.Genel Değerlendirme

Uçak yapımında kullanılan malzemelerde uçağın kullanım süreci içinde mutlaka kimi hatalar oluşmaktadır. Yüzeyde ve iç kısımlarda oluşan bu hatalar malzemenin statik ve dinamik yük altındaki davranışını etkileyerek istenilen mukavemet özelliklerinin elde edilememesine neden olmaktadır. Hataların uçağın kullanımı boyunca büsbütün yok edilerek yada gerektiği kadar azaltılarak istenilen mukavemet özelliklerinin sağlanması, uçak bakım periyotlarında hataların sıkı bir denetimi ile gerçekleştirilebilmektedir. Malzemeyi tahrip etmeden denetimin etkili bir biçimde yapılabilmesi için hataların tesbitini, izlenmesini ve değerlendirilmesini mümkün kılan tahribatsız muayene usullerinin kullanılması, uygulanabilecek tek yoldur. Ancak gerekli uçağın emniyeti, maksimum kullanımı ve ekonomiklik yönlerinden ilk adım olarak, hataların hangi boyutta iken bulunması gerektiği malzemenin hasar toleransına ve emniyet katsayılarına göre saptanmalıdır. Bundan sonra hata boyutuna göre, malzemede çatlak büyüme hızı veya korozyon yayılma hızı yada deformasyon genişleme hızı gibi hasar büyüme hızları gözönüne alınarak hangi periyotta, hangi tahribatsız muayene usulü ile kontrol işleminin yapılacağı belirlenmelidir. Ancak, bu seçimde ulaşılabilirlik durumu, zaman, maliyet, sahip olunan teçhizat ve malzeme personelin eğitim durumu ve işletme şartları gibi faktörlerde gözönüne alınmalıdır. Bundan sonra en uygun bakım periyodu ve kontrol yöntemi tesbit edilmiştir.

Bu çalışmada esas olarak uçak bakım-onarımında kullanılan temel beş metot incelenmiş ve bu metodların birbirinden esas ve uygulama tekniği açısından farkları açıklanmıştır. Her bir usulün kapsamı ve sınırlamaları belirtilerek, bu tahribatsız muayene usullerinin birbirine göre avantajları ve dezavantajları verilmiştir.

Bu incelemeler sonucunda, bu tahribatsız muayene usullerinin uçak bakım-onarımında birbirinin alternatifi olmaktan ziyade bakım ve onarım emniyetini artırmak için birbirlerinin tamamlayıcısı olarak uygulanmasının daha uygun olacağı tesbit edilmiştir..

Sonuçta çalışmada ele alınan beş temel tahribatsız muayene usulünün yukarıda belirtilen faktörler ışığında, farklı malzeme tipine, hata cinsine ve parça özelliğine göre uçak bakım-onarımında uygulama alanları aşağıdaki şekilde tavsiye edilebilir:

5.2.Radyografik Muayene

Genelde radyografi usulü tüm malzemelere uygulanabilir. Uçaklarda alüminyum, çelik ve titanyum malzemelerde yüzey altı çatlaklarının tesbitinde önerilir. Ancak hata derinliği toplam malzeme kalınlığının % 30-% 40'ı kadar olmalıdır. Çünkü hassasiyet kalınlığın artması ile azalır. Her derinlikteki hata, ışınım demeti ile paralel olmak şartıyla bulunabilir.

Korozyon tesbitinde radyografi usulü, ancak korozyonun ağır olması halinde kullanılabilir. Çünkü ağır korozyon olmaması halinde hatalı kısım ana parçadan düşüp ayrılmaz ve fotografik yoğunlukta bir değişim olmayacağı için korozyon bulunamaz.

Kompozit malzemelerde, su tespitinde ve ayrıca diğer tahribatsız, muayene usulleriyle bulunamayan çatlakların, çarpma hasarlarının, delik hasarlarının bulunması ve derecesinin tesbiti için önerilir. Ancak, usul metallerde olduğu kadar hassas değildir.

Uçak kanatlarında, flap, slat, spoyler gibi çeşitli elemanların bağlantı parçaları, iskeleti spara bağlayan parçalar için radyografi karmaşık yapı nedeniyle kolay bir yöntem olarak tavsiye edilir.

Kuyruk grubunda, radyografi, hareketli yüzeylerin kumanda ve hareket sistemlerini, bağlantı parçalarını içine alan geniş bir alanda önerilebilir. Gövde yapısındaki kapılar, pencereler yapının bu noktalara kesilmek zorunda olmasından dolayı gereken mukavemeti sağlamak için yapı takviye saçları ve profilleri ile güçlendirilmiştir. Çok katlı saçlar ve karışık şekilli profiller diğer yöntemlerin kullanılmasını engellediğinden ve ayrıca geniş bir alanın kontrolü gerektiğinden radyografi tercih edilmelidir.

İniş takımlarının uçak yapısına bağlandığı kısımlarda ulaşılabilirliğin zor olması ve karmaşık yapı nedeniyle radyografi önerilebilir.

Radyografik muayene esnasında alanın boşaltılmak zorunda olunması nedeniyle, uçak üzerinde ve ciarında iş yapılması bir vakit kaybına yol açar.

5.3.Ultrasonik Muayene

Ultrasonik muayene yüksek hassasiyeti ve her tür malzemeye uygulanabilmesi ile uçak bakım-onarımında tercih edilen bir usuldür. Yüzey altı çatlaklarının tesbitinde yalnız probun temas ettiği tabakayı muayene edebilir, ikinci tabakayı muayene edemez. En yüksek eğitimli ve tecrübeli personel gerektiren yöntemdir.

Civatalar takılı durumda iken ultrasonik muayene ile kontrol edilebilirler.

Korozyon tesbitinde ultrasonik muayene hafif korozyonları ölçmek için önerilir. Ağır korozyonlar için genellikle doğru sonuç vermezler çünkü ağır korozyon halinde taneler arası çatlaklar olacağı için düzgün yansıma yüzeyi yoktur.

Ultrasonik usulün kompozitler üzerindeki uygulama alanı oldukça sınırlıdır. Ultrasonik dalgalar, epoksi yada reçine içinde yavaş, elyafta ise daha hızlı yayılırlar. Dalga demeti yüzey ve elyaf yönlerinden etkilenerek bozulmaya uğrar.

Ayrıca çatlak yönü tahmin edilemez. Ultrasonik usul her şeye rağmen kullanıldığında 0.5-2.25 mHz kadar düşük frekanslar tercih edilmelidir.

Kanatlarda ve kuyruk grubunda bulunan bağlantı parçalarının ultrasonik usulle muayenesi tavsiye edilebilir. Gövde yapısında bağlama elemanı takılmış yada çıkartılmış olan delik çeperlerinde hata aramak için ultrasonik muayene önerilir. İniş takımı ana muylusu ve diğer muylu, pin şeklinde kuvvet ileten birçok parçada ultrasonik usul önerilir.

5.4.Girdap Akımları ile Muayene

Girdap akımları ile muayene, özellikle alüminyum yüzeylerin kontrolü için yüksek duyarlılığı nedeniyle en uygun usuldür. Ayrıca yüzey temizleme işlemi çok azdır, düşük sıcaklıklardada uygulanabilir ve muayene süresi çok kısadır. Düz saçlar deliklerin etrafı yada kavisli yapılar gibi muayene yerleri için kalem yada aşılı probların çeşitli tipleri kullanılabilir. Ancak, geniş alanlar için probun tüm alanı taraması gerektiğinden uzun zaman alır, bu nedenle tavsiye edilmez.

Yüzey altı çatlaklarının tesbitinde özellikle alüminyum yapılarda girdap akımları en iyi sonucu verirler. Yöntemin avantajı tabakalı yapılarda alt tabakalardaki hataları bulmasıdır. Hataları bir açıdan bulması, çelik yapılara uygulanamaması, çatlak duyarlılığının derinlikle süratle azalması en önemli eksiklikleridir. Usul ile 6 mm'lik bir saçın altındaki yaklaşık 12 mm'lik bir çatlak bulunabilir. Daha yüksek hassasiyet isteniyorsa tavsiye edilmezler.

Alüminyum ve titanyum yapılarda bağlama elemanı sökülmüş delikler, delik probları ile uygulanan girdap akımları metoduyla muayene edilebilirler. Bağlama elemanın takılı deliklerin muayenesi ise bir çevreleme probu kullanılarak girdap akımları ile yapılabilir.

Girdap akımı bir parçanın görünmeyen tarafındaki korozyon ve derecesini tesbit için önerilir. Taneler arası korozyon ile oluşan çatlaklara duyarlı oluşu ve korozyonun küçük oyuklarını tesbit edebilmesi üstün yanlarıdır.

Grafit epoksi kompozitler için uygulanabilen girdap akımında yalnız düşük iletkenlikli grafit elyaflar üzerinde girdap akımı oluşturulur. Yüzey çatlakları için 150-200 kHz frekans önerilir, yüzey altı için daha düşük frekans önerilir. Yüzey yada yüzey altı çatlakları için özel problemler, referans standartlar ve kompozitler için eğitilmiş personel gerekir.

Kanatlarda sparlar arasındaki yakıt tankı olarak kullanılan kısmın yapısını kontrol için en uygun usul düşük frekans girdap akımıdır. Bağlantı parçaları, kızaklar hareket mekanizması gibi parçaların muayenesinde yapı alüminyum ise girdap akımı uygundur. Ancak girdap akımının en uygun olduğu kısımlar makara hareket mekanizması gibi elemanların bağlantı parçaları ile bağlandıkları yerlerdir.

Kuyruk grubunda, noktasal kontrolün gerektirdiği, bağlantı parçaları, elemanların yapıya bağlanması için destek, dirsek türü parçalar çoğunlukla alüminyumdan yapıldıkları için girdap akımı tercih edilmelidir.

5.5. Penetran Sıvı ile Muayene

Yüzey çatlaklarının tesbitinde geniş alanların muayenesi için penetran sıvı tercih edilmelidir. Penetran sıvı usulü alüminyum, çelik ve titanyum yapılara uygulanılabilir.

Kompozit malzemelerin muayenesinde penetran sıvı usulü pek tavsiye edilmez. Çünkü, penetranın kirlettiği alan tamir sırasında iyi yapışmayabilir. Bu sakıncanın olmadığı durumlarda suyla yıkanabilen floresan penetranın bir absorban tabaka ile kullanılması özellikle grafit epoksi kompozitler için iyi sonuç verir.

Motor revizyonu sırasında, parçaların tamamen sökölüp ayrılması nedeniyle yorulma kontrolünde fluoressan penetran usulü ile başarılı sonuçlar elde edilebilir.

Yatay ve düşey kuyruğun uçaktan sökölmiş halde olduğu durumlarda penetran sıvı usulü üstünlük kazanır.

5.6.Magnetik Parçacıklar ile Muayene

Ferro-magnetik çeliklerde yüzey çatlakları için en hassas usul magnetik tozdur. Ayrıca bir montaj içindeki parçayı sökmeden portatif mıknatıslarla muayene imkanı sağlar. Hızlı bir usuldür ve çok az yüzey hazırlama gerektirir. Çeliklerdeki yüzey çatlaklarının tesbiti için diğer usuller tercih edilmezler.

Cıvatalar sökölmiş haldeyken boyuna magnetizasyon usulü ile uygulanan magnetik toz muayenesi ile yüksek hassasiyete erişilir.

Kuyruk grubu uçaktan sökölüp ayrılmışsa magnetik toz usulü başarı ile uygulanabilir. İniş takımları ana dikme ve destek parçaları yüksek mukavemet temini için demir ve çelikten yapılırlar ve yüksek çatlak duyarlılığı olan bir usulle muayene edilmelidirler. Magnetik parçacık usulü, yüksek hassasiyeti ve portatif mıknatıslarıyla parçaları sökmeden muayene imkanına sahip olması nedeniyle dikmelerin kontrolünde önerilir.

"EK AÇIKLAMALAR-A"

X ve γ IŞINLARININ ÖZELLİKLERİ ve ELDE EDİLİŞLERİ

A.1.X ve γ Işınlarının Özellikleri

X ve γ ışınları elektromagnetik ışınımlar olup, dalga boyları görünür ışığın çok altındadır. Elektromagnetik ışınının dalga boyu ile enerjisi arasındaki bağıntı denklem A.1. de verilmiştir.

$$\lambda = \frac{12.4}{E} \quad (A.1)$$

Elektromagnetik ışınım boşlukta, ışık hızı ile ve doğrusal olarak yayılır. Bir kaynaktan yayılan ışınının şiddeti (I), uzaklığın (d) karesi ile ters orantılı olarak zayıflar. Buna "Ters Kare Kanunu" adı verilir. Bu ise radyografik muayene işleminde, poz süresinin kısa tutulması için cismin mümkün olduğu kadar kaynağa yakın tutulması ve radyasyonun kötü etkilerinden korunmak için kaynaktan mümkün olduğunca uzak durulması gerektiğini ortaya koyar.

X ve γ ışınlarının enerjileri yüksek olduğundan katı ortamlara kolay nüfuz edebilirler. Bu özellikleri nedeniyle cisimlerin içinin görüntüsünü almada kullanılırlar. Elektromagnetik ışınım maddesel ortamda da doğrusal olarak yayılır. Ancak ortamın atomları ile çarpışma sonucunda ışınım yolundan saparak saçılır ve soğurularak enerjisini yitirip durur. Işınının maddesel ortam içinde zayıflaması eksponansiyel olarak gerçekleşir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} \quad (A.2)$$

Zayıflama katsayısı ışınının enerjisine ve malzemenin cinsine bağlıdır. Çizelge A.1.de çeşitli enerji değerleri ve alüminyum demir kurşun gibi bazı metaller için zayıflama katsayıları verilmektedir.

Çizelge A.2.de X ve γ ışınlarının özellikleri birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge A.1. Bazı enerji değerleri ve malzemeler için zayıflama katsayıları

| Enerji (kev) | Zayıflama katsayısı μ (cm^{-1}) | | |
|--------------|--|-------|-------|
| | Al | Fe | Pb |
| 10 | 72,4 | 1410 | |
| 50 | 0,964 | 15,2 | 65,0 |
| 100 | 0,459 | 2,93 | 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 | 0,391 |

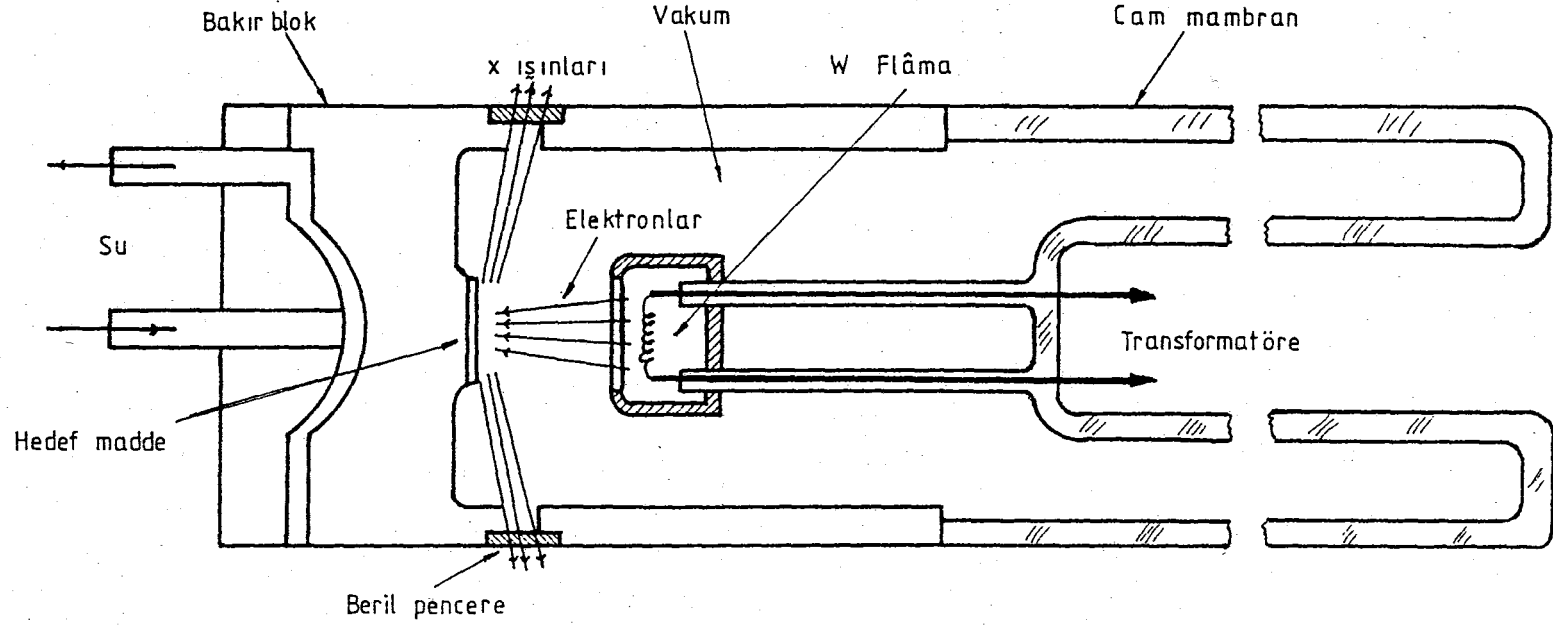
A.2.X-Işını Üretimi

X-ışınlarının üretiminde kullanılan, X-ışınları tüpü şekil A.1.de görülmektedir. X-ışınları tüpü, elektron neşredebilecek bir kaynak, yüksek hız sağlayabilecek bir voltaj, metal bir hedefle soğutma sistemini içerir. Elektron kaynağı (flaman-katod), özel bir biçimde rulo edilmiş ve yüksek sıcaklıklarda elektron neşreden metalik genellikle tungsten bir teldir. Neşredilen elektron miktarı flaman sıcaklığının bir fonksiyonudur. Tungsten flaman, 6-20 volt ve 3 amper civarında elektrik ile ısıtılır. Flaman ile hedef metal arasında 20-50 kV'luk voltaj farkı elektronların flamandan hedef metale doğru hızlandırılmalarına neden olur.

Elektron hedefi (anod), yüksek ısıl iletkenliği olan metal bir bloktur (genellikle bakır) ve erime derecesi yüksek bir metalden özel olarak şekillendirilmiş bir hedefi (genellikle tungsten) taşır. Bu hedef, hızlandırılmış elektronların yörüngeleri doğrultusuyla 60-70 derecelik bir açı yapar. Anod yüksek gerilim devresinin artı kutbuna bağlanmıştır.

Çizelge A.2: X ve γ ışınlarının karakteristik özellikleri

| ÖZELLİKLERİ | X-IŞINLARI | γ -IŞINLARI |
|---------------------------------------|--|--|
| Boyutlar ve maniplasyon | Cihazın boyutları büyüktür. Bazı durumlarda cihazın yerleştirilmesi problem oluşturabilir. | Işınım kaynağının boyutları çok küçüktür. Yerleştirme kolaydır. |
| Nakliye | Cihazın nakli bir problem oluşturmaz. | Muhafazasının ağırlığına ve büyüklüğüne rağmen bir güçlük oluşturmaz. |
| Işınım karşı korunma. | Sadece cihazın çalıştırıldığı alanlarda gereklidir. | Işınımın devamlı olması nedeni ile heran gereklidir. |
| Işınımların dalga boyu. | Cihazın maksimum geriliminin bir fonksiyonudur. | Kullanılan radyoaktif elementin cinsine bağlıdır. Normal cihazların yaydığı X-ışınlarınıninkinden daha küçüktür. |
| Işınım şiddeti ve gerekli poz süresi. | Şiddetli bir ışınım ve kısa süreli poz süresine ihtiyaç gösterir. | Işınım şiddeti düşük ve uzun bir poz süresi (bazı hallerde saatlerce). |
| Radyografinin kalitesi. | Gerilimin uygun seçilmesi ile iyi bir kontrast elde edilebilir. | Daha zayıf bir kontrast elde edilir. |
| Işınım | Normal tüplerde ışınım zayıf açılı bir koni şeklindedir. | Bütün doğrultularda aynı şiddettedir. |



Şekil A.1.X-ışınları tüpü

Hızlandırılmış elektronların anod üzerinde sert bir şekilde durdurulması sonucunda oluşan enerjinin oldukça küçük bir kısmı, %1'den azı X-ışınlarının oluşmasına neden olur. Diğer kısmı ise ısıya dönüşür, buradanda X-ışınları tütünün veriminin maksimum %1 olabileceği sonucuna varılabilir.

Elektron demetinin taşıdığı enerji (tüp gerilimi) V , hedef elemanın atom numarası Z ise, tüp verimi A.3.formülü yardımıyla hesaplanabilir.

$$\mathcal{E} = 1.1 \cdot 10^{-9} \cdot Z \cdot V \quad (\text{A.3})$$

A.3. γ -Işını Üretimi

γ -Işınları, radyoaktif izotopların kendiliklerinden yaydığı bir radyasyondur. Doğal radyoaktif izotop elemanların çekirdekleri, enerji durumundaki dengesizlik nedeniyle kararsızdır. Daha kararlı hale geçmek isteyen çekirdekten, elementer parçacıklar ve elektromagnetik ışınlar yayılır. Bu olaya radyoaktivite denir. Kararlı elementlerde, nükleer reaktörlerde radyoaktif hale getirilebilirler. Yapay olarak radyoaktivite başlatılabilmekte ancak kontrol edilememektedir.

γ -Işınlarının dalga boyu ve nüfuz etme yeteneği, ışını neşreden maddenin cinsine bağlı olarak değişir. γ -ışınlarının dalga boylarının normal radyografi tiplerinin yaydığı X-ışınlarındakinden çok daha küçük olması, γ -ışınlarının uygulama alanını belirler. Radyoaktif maddelerin yayınladığı ışının şiddeti sabit değildir. Zamanla belirli bir formüle göre azalır. Bu azalma oldukça yavaş bir biçimde olmaktadır. Herhangi bir radyoaktif maddenin aktivitesinin yarısını yitirmesi için gerekli zaman o maddenin bir karakteristiğidir. Buna o maddenin yarı ömrü denir. Bu özellik, radyoaktif malzemenin satın alınışı ve film çekme sırasında verilecek pozun hesaplanmasında büyük önem taşır. Çizelge A.3.de endüstriyel radyografide en çok kullanılan γ kaynakları ve bunların önemli birkaç özelliği verilmektedir.

Radyoaktif maddeler genellikle silindir şeklindedir. Aşınmadan ve diğer nedenlerden dolayı oluşabilecek madde kayıplarını engellemek için radyoaktif maddeler, kapsüller içine yerleştirilmiştir. γ -radyografi cihazları zırhlı bir muhafaza kabından oluşmuştur. Radyoizotop kullanılmadığı zamanlarda bu kap içinde saklanır. Işıma olayı durdurulmadığı için radyoizotop kurşun yada uranyumdan zırh içine alınır.

Çizelge A.3. Endüstriyel radyografide kullanılan bazı kaynakları ve özellikleri

| Radyoizotop | Yarı ömür y - yıl ve g - gün | Gamma Enerjisi MeV | X-ışını esdeğer enerjisi kV | Özgül radyasyon dozu Rhm/ci | Optimum ölgül aktivitesi ci/gr |
|-------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Co - 60 | 5,26 y | 1,17; 1,33 | 3 000 | 1,3 | 50 |
| Ir - 192 | 74,4 g | 0,3 0,6 | 900 | 0,48 | 350 |
| Cs - 137 | 30 y | 0,66 | 1 200 | 0,33 | 25 |

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Agard, 1977, Non-destructive inspection relationships to aircraft.
- Arabacı, H. , 1985, Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenelerine genel bir bakış ve radyografi metodunun etüdü, Master tezi, A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Yayını.
- Durmaz, Ö. , 1987, Uçak bakım ve onarımında tahribatsız muayeneler, Master tezi, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Yayını.
- Ersümer, A. ve Aydınbeyli, N. , 1977, Makina teknolojisi malzeme deneyleri, Eskişehir Devlet Mühendislik Mimarlık Akademisi Yayını.
- Makina Mühendisleri Odası, 1981, Radyografik ve ultrasonik muayene.
- Metals Handbook 1976, Non-destructive inspection and quality control, Volume 11, Eight Edition .
- Oerlikon, 1979, Ultrasonik muayene metodu.
- Özden, N. , 1972, Tahribatsız muayeneler ve gelişme istikametleri, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Yayını.
- Paracık, D. , 1985, Tahribatsız deney metodları, Lisans tezi, A.Ü.Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını.
- Tekiz, Y. , 1984, Tahribatsız deneyler, İ.T.Ü.Makina Fakültesi Yayını.
- Üstünel, A. , 1981, Radyografi metodu, E.İ.B.M.K.Tahribatsız Kontrollar Atelyesi Yayını.
- Üstünel, A. , 1981, Penetran sıvı emdirme yöntemi, E.İ.B.M.K. Tahribatsız Kontrollar Atelyesi Yayını.
- Üstünel, A. , 1981, Ultrasonik muayene metodu, E.İ.B.M.K. Tahribatsız Kontrollar Atelyesi Yayını.
- Wolfgang, W. , 1977, Malzeme bilgisi ve muayenesi, (Çev.Anık, S. ve Anık, E.S.), Birsen Kitapevi Yayını.