

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı

**TİCARİ UÇAKLARDA KULLANILAN METALLERE
UYGULANAN TAHRİBATSIZ MUAYENELER VE
MANYETİK MALZEMELERDE BARKHAUSEN NDT
METODUNUN UYGULANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Serkan KÖSEOĞLU

Danışman

Prof.Dr. Ahmet Cihat BAYTAŞ

İstanbul – 2025

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Serkan KÖSEOĞLU

Tezin Dili : Türkçe

TezinAdı : Ticari Uçaklarda Kullanılan Metallere Uygulanan Tahribatsız Muayeneler ve Manyetik Malzemelerde Barkhausen NDT Metodunun Uygulanması

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Uçak Mühendisliği

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 14.07.2025

Sayfa Sayısı : 65

Tez : Prof. Dr. Ahmet Cihat BAYTAŞ

Danışmanları

Dizin Terimleri : Barkhausen NDT Metodu, Havacılık, Tahribatsız Muayene, İnş takımı, Isıl Gerilme, Isıl Hasar

Türkçe Özet : Tez kapsamında havacılıkta kullanılan tahribatsız muayene teknikleri ve Barkhausen Metodu hakkında bilgi verilerek, Barkhausen metodunun inş takımlarında uygulanması ve yöntemin avantajları incelenmiştir.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

Serkan KÖSEOĞLU

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı

**TİCARİ UÇAKLARDA KULLANILAN METALLERE
UYGULANAN TAHRİBATSIZ MUAYENELER VE
MANYETİK MALZEMELERDE BARKHAUSEN NDT
METODUNUN UYGULANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Serkan KÖSEOĞLU

Danışman

Prof.Dr. Ahmet Cihat BAYTAŞ

İstanbul – 2025

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Serkan KÖSEOĞLU

.../.../2025



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Serkan KÖSEOĞLU'nun Ticari Uçaklarda Kullanılan Metallere Uygulanan Tahribatsız Muayeneler ve Manyetik Malzemelerde Barkhausen NDT Metodunun Uygulanması adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Uçak Mühendisliği anabilim dalı, Uçak Mühendisliği bilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan *Prof. Dr. Mahmut Adil YÜKSELEN*

Üye *Prof. Dr. Ahmet Cihat BAYTAŞ*
(Danışman)

Üye *Dr.Öğr. Üyesi Hayri ACAR*

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 20..

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tez kapsamında uçak yapıları ve malzemelerinde kullanılan tahribatsız muayene metodları (NDT) ve havacılık sektöründe kullanımı daha nadir olan barkhausen NDT metodu hakkında bilgi verilmiş, barkhausen metodunun Boeing uçaklarının iniş takımlarında uygulanması ve bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantajları incelenmiştir.

Uçak bakımında oluşabilecek yapısal hasarların belirlenmesinde tahribatsız muayeneler (Non Destructive Testing, NDT) çok önemli bir yere sahiptir. NDT kontrolleri, düzenli olarak uygulanarak, muhtemel yapısal hasarların erken tespitini ve bu hasarlara bağlı oluşabilecek kaza kırımların engellenmesini sağladığından, oluşabilecek çok büyük maddi ve manevi kayıpları engellemektedir.

NDT kontrolleri uçak üretici firmalarının prosedürleri ve uluslararası NDT standartları göz önünde bulundurularak uçak yapıları üzerinde sahada veya NDT Atölyesi şartlarında gerçekleştirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Barkhausen NDT Metodu, Havacılık, Tahribatsız Muayene, İniş takımı, Isıl Gerilme, Isıl Hasar

SUMMARY

In this thesis, information is given about non-destructive testing techniques (NDT) used in aircraft structures and materials and the Barkhausen NDT method (which is not widely used in the Aviation), and the application of the Barkhausen method for the landing gears of Boeing aircraft and the advantages and results of this method compared to other methods are examined.

In aircraft maintenance, non-destructive testing (NDT) has a very important place in determining possible structural damages in aircraft. Since NDT inspections are applied regularly, they prevent very big material and moral losses since they provide early detection of possible structural damages and prevention of accidents that may occur due to these damages.

Non-destructive testing (NDT) techniques used in aircraft structures and materials have been examined within the scope of this study.

NDT applications are generally carried out on aircraft structures on site (Hangar or Ramp area) or under NDT Workshop conditions, taking into account the procedures of aircraft manufacturers and international NDT standards.

Keywords: Barkhausen Noise Method, Aviation, Non Destructive Testing, NDT, Landing Gear, Thermal Stress, Thermal Damage

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

HAVACILIKTA KULLANILAN TAHRİBATSIZ MUAYENE METOTLARININ GENEL TANITIMI

1.1. Girdap Akımları Metodu.....	5
1.1.1. Yöntemin Değerlendirilmesi	7
1.2. Ultrasonik (ses dalgası ile) Kontrol Metodu	7
1.2.1. Yöntemin Değerlendirilmesi	8
1.3. X Işını ile Kontrol Metodu.....	9
1.3.1. Yöntemin Değerlendirilmesi	11
1.4. Sıvı Nüfuzu (Penetrant) Metodu	12
1.4.1. Yöntemin Değerlendirilmesi	13
1.5. Manyetik Parçacıklar ile Kontrol Metodu.....	14
1.5.1 Manyetik Parçacık ile Kontrolün Uygulanması	16
1.5.1.1. Boylamasına Mıknatıslama	16
1.5.1.2. Dairesel Mıknatıslama	17
1.5.2 Yöntemin Değerlendirilmesi	17

İKİNCİ BÖLÜM

BARKHAUSEN ETKİSİ TEORİSİ

2.1. Barkhausen Etkisi Teorisi.....	19
2.2. Sertliğin Barkhausen Gürültüsüne Etkisi.....	23
2.3. Gerilmenin Barkhausen Gürültüsü Üzerindeki Etkisi	23
2.4. Yüzey hatalarının Belirlenmesi	23
2.5. Metodun Ticari Havacılıkta Uygulama Örnekleri.....	26
2.6. Barkhausen NDT Yönteminin Diğer Yöntemlere Göre Avantajları	30
2.7. Barkhausen Yönteminin İmalat /Üretim Sanayisinde Uygulama Alanları.....	31

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DENEYSEL ÖRNEK ÇALIŞMALAR

3. Deneysel Örnek Çalışmalar	37
3.1. Barkhausen NDT Metodu Uygulama Örneği 1	37
3.2. Barkhausen NDT Metodu Uygulama Örneği 2	38
3.3. Barkhausen NDT Metodu Boeing 737 NTM Prosedürünün uygulanması	42
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
KAYNAKÇA	49
ÖZGEÇMİŞ.....	50



KISALTMALAR

NDT Non-Destructive Testing

NTM Non-Destructive Testing Manual

SB Service Bulletin



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1	Farklı hatalar için etkili NDT metodları	3
Tablo 1.2	Uçaklarda kullanılan tahribatsız kontrollerin genel özellikleri.....	4
Tablo 1.3	Girdap akımları yönteminin değerlendirilmesi.....	7
Tablo 1.4	Ultrasonik test metodunun değerlendirilmesi	9
Tablo 1.5	X Işınları Metodunun değerlendirilmesi	11
Tablo 1.6	Sıvı penetrant kontrolünün değerlendirilmesi	13
Tablo 1.7	Manyetik parçacıklar metodunun değerlendirilmesi	18
Tablo 2.1	Barkhausen metodunun kullanılabilir olduğu çelik türleri.....	22
Tablo 3.1	Barkhausen ile değerlendirilen numuneler için lazer işleme parameterleri ...	38

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Girdap akımı (eddy current) metodu manyetik alan ve girdap akımları.....	5
Şekil 1.2	Girdap akımı (eddy current) NDT cihazı.....	7
Şekil 1.3	Ultrasonik muayene.....	8
Şekil 1.4	Radyografik muayene	11
Şekil 1.5	Hatalı parçanın radyografik görüntü oluşumu.....	11
Şekil 1.6	X-RAY cihazı	12
Şekil 1.7	Penetrantın uygulanması.....	13
Şekil 1.8	FPI metodunda penetrantın developer içine taşınımı.....	13
Şekil 1.9	NDT atölyesinde uçak jantına uygulama yapılması	14
Şekil 1.10	Manyetik parçacık ile muayene.....	15
Şekil 1.11	Manyetik kuvvet çizgileri	15
Şekil 1.12	Kelepçe (Yoke) cihazı.....	16
Şekil 1.13	YOKE çalışması ve kaynak hatalarının tespiti.....	16
Şekil 1.14	Bobin ile parçada oluşturulan boyuna manyetik alan.....	17
Şekil 2.1	Barkhausen düzeneği.....	20
Şekil 2.2	Histeresis döngüsü.....	21
Şekil 2.3	(a) Manyetik gürültü verisi ve (b) MBN profilinin şematik gösterimi	21
Şekil 2.4	Sertliğin barkhausen gürültüsüne etkisi	23
Şekil 2.5	Barkhausen NDT cihazı	25
Şekil 2.6	Eksenel ve çevresel probe örnekleri.....	25
Şekil 2.7	Eksenel ve çevresel BNI indikasyonları.....	26
Şekil 2.8	Barkhausen metoduyla bulunan hasar örnekleri.....	26
Şekil 2.9	Ölçülen barkhausen değerini ve krom kaplı iniş takımı pistonundaki konumu gösteren 3 boyutlu ısı haritası.....	27
Şekil 2.10	Hasarları tespit edilen örnek iniş takımı parçaları.....	28
Şekil 2.11	Hasarları tespit edilen burun iniş takımı	29
Şekil 2.12	Burun iniş takımı detayı.....	29
Şekil 2.13	Dişlideki taşlama yanığı örnekleri	30
Şekil 2.14	Barkhausen yönteminin üretim sanayisinde uygulama alanları.....	31
Şekil 2.15	Üretim aşamalarında kullanılan barkhausen sensör tipleri.....	31
Şekil 2.16	İmalat sanayinde kullanılan barkhausen NDT sistem örnekleri.....	32
Şekil 2.17	Rollscan 250 barkhausen cihazı.....	33
Şekil 2.18	Barkhausen cihazı kalibrasyonu	34
Şekil 2.19	Barkhausen cihazı, probe ve referans standardı.....	35
Şekil 3.1	35NCD16 Çelikte lazer ile oluşturulmuş yanık numuneleri.....	37
Şekil 3.2	35NCD16 Çelikte MP değerleri ve VPP değerlerinin karşılaştırılması	39
Şekil 3.3	20X büyütmede numunelerin yüzey görüntüleri	40
Şekil 3.4	Referans standartları (15-5PH, 4330M ve 4340M çelikleri için).....	41
Şekil 3.5	Örnek kalibrasyonda mıknatıslama voltajı	42

ÖNSÖZ

Hava araçları yerde iken ve uçuşun her aşamasında değişken yükler tarafından etkilenirler. Basınçlamadan kaynaklanan yüzey gerilmeleri, değişik aerodinamik kuvvetlerden ve sürtünmeden kaynaklanan çekme, basma, kesme, burulma kuvvetleri ve ağırlık gibi değişken yükler ve kuvvetler, hava aracı yapısında zaman içerisinde yapısal hatalar oluşmasına sebebiyet verebilirler. Malzeme yorulması (fatigue), korozyon gibi zamana bağlı etkiler ile oluşabilecek bu çeşit hataların takvim günü veya uçuş adımı (Flight Cycle, FC) olarak tahminen ne zaman oluşabileceği uçak üreticileri tarafından simule edilerek (istatiki bilgileri ve örneklemeler de gözönünde bulundurularak), bu hataların oluşabileceği eşik değerinden (threshold) önce kontrollere başlanıp belirli (interval) aralıkları ile kontrollerin tekrarlanması için sivil havacılık otoriteleri ile birlikte çalışmalar yürütürler.

Uygulanacak kontrol yöntemleri servis bülten olarak isimlendirilen üretici bilgilendirme dokümanları (Service Bulletin, SB) ile hava aracı işleticilerine tavsiye edilir ve gerekli görüldüğünde sivil havacılık otoriteleri tarafından Uçuşa Elverişlilik Direktifleri (Airworthiness Directive, AD) vasıtası ile zorunlu (mandatory) olarak uygulanır.

Hava araçlarına zorunlu modifikasyon programları, yapıdaki yaşlanmaya bağlı aging programları, tamir değerlendirme programları ve Uçuşa elverişlilik limit dokümanları (Airworthiness Limitations Items ALI) ile zorunlu kontroller, modifikasyonlar ve parça ömründen dolayı (life limited parts, LLP) parça değiştirme gerekliliklerini içeren direktifler, sivil havacılık otoriteleri tarafından uyulması zorunlu olarak takip ettirilerek, ilgili bakım ve kontrol işlemleri gerçekleştirilir.

Malzemelerde oluşabilecek hataların tespiti, basma, çekme testi, burulma testi gibi malzemeye yapısal olarak hasar verebilecek yöntemler ile belirlenebileceği gibi tahribatsız muayeneler (Non Destructive Testing, NDT) ile yapıya zarar vermeden hızlı ve güvenli bir şekilde saptanabilir.

GİRİŞ

Tahribatsız muayene uygulamalarından kullanılan ana metodların özellikleri ve kullanım alanları bu çalışma kapsamında incelenmektedir.

Tahribatsız muayeneler tüm bakım seviyelerinde (hat bakım, üs bakım gibi) uygulanabilen kontrol yöntemleridir. Uçak parçalarının üretim aşamalarında da tahribatsız muayenelerden yararlanılmaktadır.

Uçak yapılarında oluşabilecek hataların başlangıç aşamasında saptanması ve giderilmesi, hava aracı yapısının bütünlüğünün korunması ve uçuş güvenliği için zorunludur.

Uçak teknolojisindeki gelişmeler paralelinde NDT metodları çeşitlilik açısından gelişmeler göstermiştir. Tahribatsız muayene uygulamalarından kullanılan ana metodlar; görsel metodlar (ayna, büyüteç gibi araçları kullanarak veya borescope gibi cihazlar ile), termal metodlar, (eddy current) girdap akımları metodu, ultrasonik kontrol metodu, X ışını metodu, sıvı nüfuzu (penetrant) ve manyetik parçacıklar metodudur.

Havacılıkta diğerleri kadar yaygın kullanım alanı bulmayan Barkhausen metodu sadece mıknatıslanabilen metallerde kullanılabilir. Özellikle krom kaplanmış yüzeylerin bile altındaki yapısal gerilme ve termal hasarları belirlemekte kullanılır. Bu nedenle maliyet ve zaman kazandıran etkili bir tahribatsız kontrol metodudur. Bu metodun sadece iniş takımı atölyesinde bir parçada kullanımı ile yıllık olarak oluşabilecek maliyet tasarrufuna özellikle vurgu yapılmıştır.

Bu tez kapsamında öncelikle ticari havacılıkta nadir kullanılan barkhausen manyetik gürültü metodu ve uçak bakımında kullanılan diğer NDT metodları hakkında inceleme yapılarak yöntemlerin artı ve eksileri ile uygulama alanları incelenecektir.

Sonuçlar kısmında tahribatsız muayenelerin uçak bakımındaki yeri ve ne kadar önemli olduğu değerlendirilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

HAVACILIKTA KULLANILAN TAHRİBATSIZ MUAYENE METODLARININ GENEL TANITIMI

Havacılıkta yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene metodları; Girdap akımları yöntemi, ultrasonik test metodu, radyografik kontrol, manyetik parçacık ve sıvı penetrant kontrolleridir.

Yöntemler ile ilgili olarak Tablo 1.1’ de farklı hatalar için etkili NDT metodları ve Tablo 1.2’ de yöntemlerin genel özellikleri verilmektedir.



Tablo 1.1 Farklı hatalar için etkili NDT metodları

Hata Çeşidi	Etkili NDT Metodu
Üç Boyutlu Hatalar	
Gözenekler, Pürüzler	Görsel İnceleme
Malzeme Kalıntısı, Çapak	Penetran Metodu
Çekme Kaynaklı Boşluk	Manyetik Parçacık Metodu
Malzemede Delik ve/veya Boşluk	Girdap Akımları (Eddy Current) Metodu
Korozyon Oyukları	Ultrasonik Metod
	X ışınları Metodu
	Termografik Metod
İki Boyutlu Hatalar	
Yorulma Kaynaklı Çatlak	Görsel İnceleme
Kaplama Çatlağı	Manyetik Parçacık Metodu
Oksitlenme Çatlakları	Girdap Akımları ile Kontrol
Isıl İşlem Çatlakları	Ultrasonik Metod
Dövme ve Haddeleme Yığılmaları	Ses Emilimi
Tabaka Ayrılmaları	Termografik Metod
Döküm ve Kaynak Soğuma Çatlakları	

Kaynak: Kayrak, M, (2001), Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri, Eskişehir

Tablo 1.2 Uçaklarda kullanılan tahribatsız kontrollerin genel özellikleri

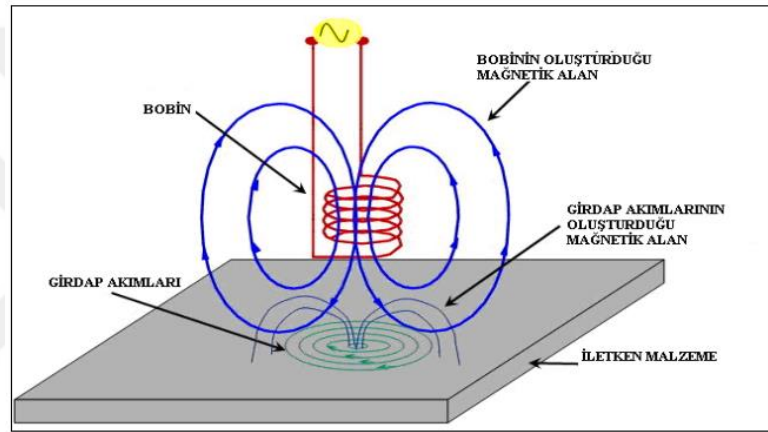
Yöntem	Uygulama Alanı	Artıları	Eksileri
Gözle ve optik aletlerle kontrol (mercek, ayna, boroscope vb)	Yüzey kontrolü	Uygulanması basit olup optik aletlerle hassasiyet arttırılabilir	Yapıya ulaşılabilirlik gerektirir.
Penetran sıvı ile kontrol	Metal, plastik ve seramiklere uygulanabilir	Geniş yüzeylerin bir seferde kontrolü mümkündür	Tespit edilecek süreksizlik yüzeye açık ve ulaşılabilir olmalıdır
Manyetik parçacıklar ile kontrol	Manyetik geçirgenliğe sahip metallerin yüzey ve yüzeye yakın iç kısımlarının kontrolü	Test prensibi basittir, sistem taşınabilir	Test işleminden önce ve sonra parça demanyetize edilmelidir
Girdap akımları ile kontrol	Elektriksel iletken malzemelerin yüzey ve yüzeye yakın iç kısımlarının kontrolü	Hızlı, duyarlı sonuç verir ve sistem taşınabilir	Malzemenin iç yapı değişimine ve bileşimine duyarlı bir yöntemdir
Ultrasonik kontrol	Tüm malzemelerde uygulanabilir, derin iç yapı süreksizliklerinin belirlenmesinde etkilidir.	Hızlı, duyarlı sonuç verir ve sistem taşınabilir	Eğitimli personel, çatlak yönü bilinmelidir. Kalibrasyon gerektirir.
Radyografik kontrol	Tüm malzemelerde uygulanabilir, iç yapı süreksizliklerinin kontrolü	Söküm gerektirmeden kontrol yapılabilir	X-ray ışınları tehlikelidir, koruma önlemleri gerektirir. Film banyo işlemleri zaman alır

Kaynak: Kayrak, M, (2001), Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri, Eskişehir

1.1. Girdap Akımları (Eddy Current) Metodu

Metod süreksizlik tespiti, korozyon ve malzeme kalınlığı değişimi tespiti, iletkenlik ölçümü ve kaplama kalınlığının saptanmasında kullanılır.

Girdap akımları uygulamasında aşağıdaki Şekil 1.1’de gösterildiği üzere bobine alternatif akım uygulanarak manyetik alan oluşturulur. İletken bir malzemeye yaklaştırıldığında, iletken malzemede akım indüklenir. İndüklenen akım girdap şeklinde olduğundan bu test metoduna girdap akımları metodu denilmektedir. Oluşan girdap şeklindeki akım da kendi manyetik alanını oluşturur. Buna ikincil manyetik alan denir ve birincil manyetik alan ile denge hali teşkil ederler.



Şekil 1.1 Girdap akımı (eddy current) metodu manyetik alan ve girdap akımları

Kaynak: Megep, (2012)

Yapılan kontrolde içinde bobin bulunan prob malzeme yüzeyine temas edecek şekilde konumlandırılır ve malzemeye indüklenen akım ile malzeme muayenesi gerçekleştirilir. Bu kontrol yüzey hatalarının bulunması ve yüzeye yakın yüzey altı hatalarının tespit edilmesinde uygulanabilir.

1. Süreksizlik Tespiti

Yüzey ve yüzey altı çatlakları yüksek gerilme yoğunluğu olan bölgelerde oluşabilir. Bağlantı elemanların (perçin, cıvata...) bulunduğu bölgeler veya malzeme kesitinde meydana gelen değişimler gerilme yoğunluğunu artırır. Bu nedenle girdap akımları kontrolleri bu bölgelere odaklanır.

2. Korozyon Tespiti

Korozyon nedeniyle metal malzemenin aşınması girdap akımları kullanılarak tespit edilebilir. Metal malzemenin incelendiği bölgelerde girdap akımları bozulur ve bu yöntemle tespit edilebilir.

3. İletkenlik Ölçümü

Özelleştirilmiş girdap akımı tekniğini kullanan cihazlar ile iletkenlik ölçülebilir. %IACS cinsinden elektriksel iletkenlik ölçümü yapmaktadır. İletkenlik sıcaklık, ısıtma işlemi, alaşımlama gibi etmenlerle değişim göstermektedir.

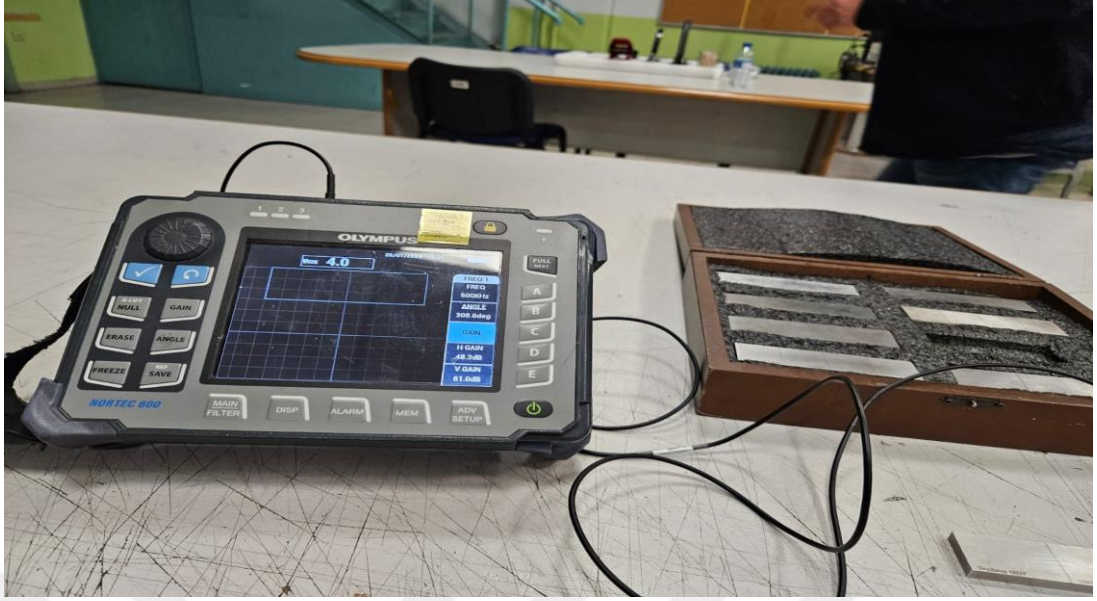
4. Yalıtkan Kaplama Kalınlığının Ölçülmesi

Bu ölçümün temeli probun ucunda bulunan bobin ile iletken malzeme arasındaki uzaklığın değişmesidir. Bu yöntem özellikle uçakta boya kalınlığı ölçülebilir. Sadece yalıtkan kaplama kalınlığı ölçmek için özelleştirilmiş girdap akımı cihazları mevcuttur.

5. Isıl Hasar

Alüminyum alaşımları uzun bir süre yüksek bir sıcaklığa maruz kalırsa iletkenliği artar, sertlik ve dayanım değerleri düşer. Bu değişim saptanarak ısı hasarı hakkında yorum yapılabilir.

Aşağıdaki Şekil 1.2’de kullanılan test ekipmanı ve kalibrasyon blokları görülmektedir.



Şekil 1.2 Eddy current (girdap akımı) NDT cihazı

1.1.1 Yöntemin değerlendirilmesi

Yöntemin değerlendirilmesi aşağıdaki Tablo 1.3’de gösterilmektedir.

Tablo 1.3 Girdap akımları yönteminin değerlendirilmesi

GİRDAP AKIMLARI METODU	
ARTILARI	EKSİLERİ
- Personel sağlığına etkisi yoktur. - Hızlıdır - Çalışma sıcaklık aralığı geniştir. - Hafif bir sistem olup sahada kullanılabilir. - Ekonomiktir - İletken malzemelerde iyi sonuç verir. Havacılıkta sıklıkla kullanılan bir NDT metodudur.	- Yalıtkan malzemelerde uygulanamaz. - Sonucu birçok değişkenden etkilenir.. (Mıknatıslanabilme, iletkenlik, yüzey kaplaması, ortam sıcaklığı, yüzey geometrisi gibi...) - Malzeme yüzeyinde ve yüzeye yakın hataların bulunmasında etkilidir, derin hataları belirleyemez. - Proben yanlış konumlanması sonucu etkiler

Kaynak: Shull, P. J. (2002). Nondestructive evaluation: theory, techniques, and applications. CRC press.

1.2. Ultrasonik (Ses Dalgası ile) Kontrol Metodu

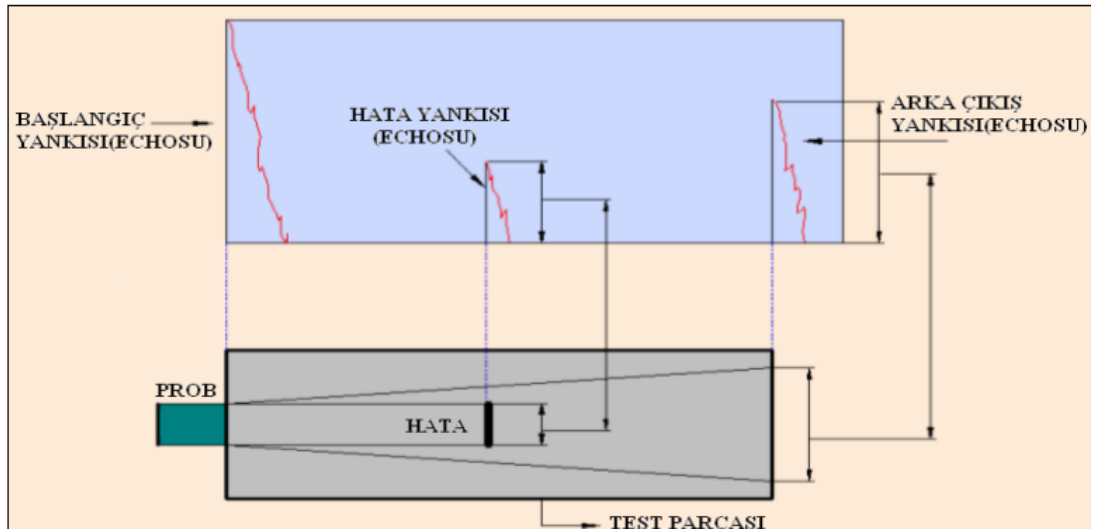
Hacimsel metodlardan biridir. Ultrasonik ses dalgaları değişik açılarda dizayn edilmiş probalar ile malzeme içerisine gönderilerek malzeme özellikleri, kalınlık ve süreksizlikler belirlenebilir. Ultrasonik kontrol çok geniş uygulama alanına sahiptir.

Ses dalgalarının hatadan geri yansiyarak proba dönmesi ile cihaz ekranına sinyal görüntülenir. Ultrasonik dalgalar 20 kHz (20000 Hertz) ve üzeri frekansa sahiptir. (Saniyede 20000 titreşim ve üzeri). Ultrasonik dalgalar ses olarak duyulamaz. İnsan kulağı maksimum 20 Hz frekansa kadar sesleri duyabilmektedir.

Malzemenin kompozisyonu, yapısı, yoğunluğu ve geometrisi ve süreksizlik tespitleri rahatlıkla yapılabilir. Süreksizlikten dönen yankılar kullanılarak hatanın konumu, ölçüleri ve şekli bulunabilir.

- Malzeme içerisindeki ses hızının belirlenebilir, malzeme kalınlığı tespit edilebilir,
- Süreksizlik, hata veya delaminasyon belirlenebilir,
- Yoğunluk, elastik özellikler gibi malzeme özellikleri analiz edilebilir.

Prob tarafından algılanan yankılar elektrik sinyallerine dönüştürülerek ekranda görüntülenir. Yankıların konum ve genliği hatanın konum ve ölçülerini belirlemede kullanılır. Ultrasonik ses dalgasına dik hatalar en iyi şekilde belirlenebilir.



Şekil 1.3 Ultrasonik muayene

Kaynak: Megep, (2012)

Prob elektriksel darbeleri ultrasonik ses dalgalarına çevirerek malzemeye gönderir. Geri dönen ses dalgalarını elektrik sinyaline çevirir. Darbe ve yansıma arasındaki zaman farkı belirlenir. Aalgılanan yansımalar güçlendirilerek ekranda görülmesi sağlanır.

Probta bulunan piezoelektrik kristal (işlenerek polarize edilmiş baryum titanat), aldığı elektriksel pulslar üzerine titreşir ve parçada yayınan ultrasonik dalga sıralarını meydana getirir. Malzemedeki çatlak veya süreksizliklerin sebep olduğu akustik direnç değişimi ekoyu geri yansıtır.

Çeşitli hataların tespiti için düz ve açılı prob çeşitleri bulunmaktadır.

1.2.1. Yöntemin değerlendirilmesi:

X-Ray metoduna göre artısı sağlığa zararlı olmaması ve tüm malzemelere uygulanabilirliğidir.

Yüzey altı süreksizliklerinin tespitinde kullanılabilir. Ses dalgalarına paralel hatalar bu metodla tespit edilemez.

Yöntemin değerlendirilmesi Tablo 1.4'te yapılmıştır.

Tablo 1.4 Ultrasonik test metodunun değerlendirilmesi

ULTRASONİK KONTROL	
ARTILARI	EKSİLERİ
- Derin hataların tespit edilebilmesi - Hassasiyeti - Çabuk sonuç vermesi - Kompleks parçaların kontrolünde etkili - Malzeme özelliğinin tespiti. - Bütün malzemelerde kullanılabilmesi. - Sahada kullanılabilmesi - Sağlığa etkisinin olmaması	- Eğitimi daha kapsamlıdır - Metod uygulanırken kuplaj (temas sıvısı) gerekmektedir. - Ultrasonik dalgaya paralel hatalar saptanamaz. - Büyük alanlarda işlem süresi uzar - Malzeme geometrisinden etkilenir - Görece daha pahalı bir metottur.

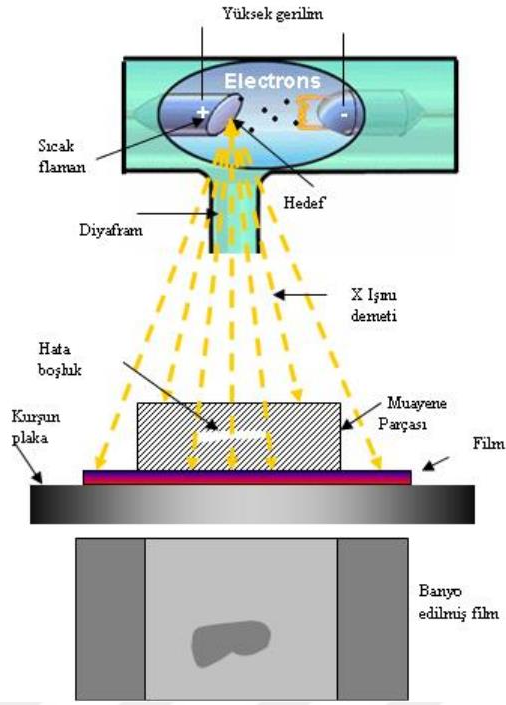
Kaynak: Shull, P. J. (2002). Nondestructive evaluation: theory, techniques, and applications. CRC press.

1.3 X Işını ile Kontrol Metodu

X Ray ışınlarından yararlanılarak malzemelerin (borular, buhar kazanları, uçak parçaları, vs.) hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Yöntem tüm malzemelere uygulanabilir. İç yapı incelemesi olarak NDT kontrolünde yaygın kullanılır.

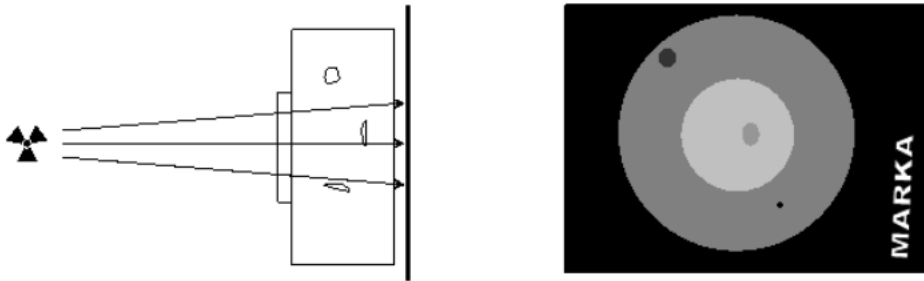
X Işını ile kalınlık değişimleri, yapısal değişiklikler, hatalar, montaj detayları tespit edilebilmektedir. Işınlar malzeme tarafından emilir. Kalınlığın artmasıyla beraber emilen miktar artar. X ısınlarnın dalga boyları çok küçük olduğundan gözle görülmez ve malzemelere nüfuz ederler. Filme ulaşan ışın yoğunluğuna göre görüntü oluştururlar. Kontrol parçasının bir tarafına ışın kaynağı, diğerine (film) konulur. Kaynağın enerjisi malzemeyi geçebilmelidir. Dalga boyu küçüldükçe nüfuz (penetrasyon) gücü artar. Nüfuz/penetrasyon gücü, cihaza uygulanan voltaj ile belirlenir. Malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna bağlı olarak film üzerinde oluşan görüntünün yoğunluğu da değişir. Görüntünün netliği ve büyüklüğü, radyasyon kaynağının odak büyüklüğüne, radyasyon kaynağının filme olan uzaklığına, malzemenin filme olan mesafesine bağlıdır. Film, test parçasının arkasına yerleştirildikten sonra belli bir süre x ışınları ile pozlanır. Pozlanmış film, banyo edilerek kararma (yoğunluk) miktarına bakılır. Filmde yoğunluk farkları, numunede farklılıklar olduğunu göstermektedir. Malzemedeki bir boşluk filmde daha siyah olarak görülür. Işıklı film okuma cihazları ile filmler incelenir.

Filmde çarpıklık minimum olmalı veya hiç olmamalı, netliği yüksek olmalıdır. Numunenin kenarları filmde keskin görülmelidir yoksa bu bölgede oluşacak süreksizlikler görülemeyebilir. Film küçük süreksizlikler dahi net görünebilmesi için mümkün olan yüksek kontrasta sahip olmalıdır.



Şekil 1.4 Radyografik muayene
Kaynak: Megep, (2012)

Şekil 1.5’ da hatalı parçanın film üzerinde görüntü oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 1.5 Hatalı parçanın radyografik görüntü oluşumu
Kaynak: Megep, (2012)

X – ışın tüplerine uygulanan voltaj artırılarak dalga boyu küçültülür ve giricilik(enerjisi) artırılır. X-ışınlarının şiddeti belli bir sürede birim alana çarpan ışınların sayısıdır.



Şekil 1.6 X-RAY cihazı

1.3.1 Yöntemin değerlendirilmesi

X Işınları yönteminin genel değerlendirmesi aşağıdaki Tablo 1.5 te sıralanmıştır.

Tablo 1.5 X Işınları metodunun değerlendirilmesi

X-RAY Yöntemi	
ARTILARI	EKSİLERİ
- (X-Ray filmleri) görsel olarak incelenebilir. - Malzeme içindeki hatalar belirlenebilir. - Malzeme kompozisyonu konusunda bilgi sağlar - Bütün malzemelerde etkilidir. - Bütün alanın kontrolü sağlanabilir.	- İnsan sağlığına olumsuz etkileri vardır. - Pahalıdır - Yabancı maddeler sonucu etkiler - Uygulanması zaman alıcı ve zahmetlidir.

Kaynak: Shull, P. J. (2002). Nondestructive evaluation: theory, techniques, and applications. CRC press.

1.4 Sıvı Nüfuzu (Penetrant) Metodu

Bu kontrol yüzeydeki kılcal çatlakları ortaya çıkaran NDT metodudur. Hızlı, basit, ucuz ve hassas bir NDT yöntemidir. Çeşitli parçaların muayenesinde kullanılabilir. Hatanın yüzeye açık olması gerekir. Taşınabilir malzemeler ile sahada kullanılabilir.

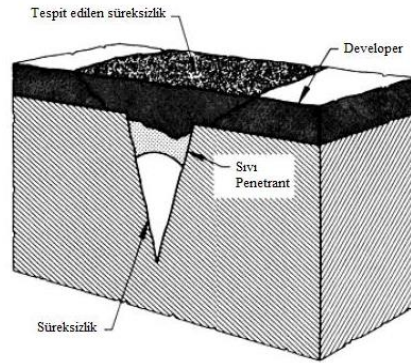
Sıvı penetrant metodunda parçanın yüzey temizliği ve NDT teknisyeninin görüşünde problem olmaması önem arz eder. NDT teknisyeninin doğru eğitimi önemlidir. İlk aşamada kontrol yapılacak yüzeyin temizlemesi yapılır. Penetrant sıvısı uygulanarak sıvının hatalı kısma nüfuz etmesi beklenir.

Penetrant malzemesi ve emilim bekleme zamanı ilgili prosedüre göre belirlenir. Yüzeyde kalan fazla penetrant temizlenir. Temizleme işlemi yapılırken içeri giren penetrantın dışarı çıkarılmamasına dikkat edilmelidir. Developer kimyasal maddesi uygulanır. Developer malzemedeki penetrant sıvıyı dışarı çekerek görülmesini sağlar, yüzeydeki renk farkından hata tespit edilebilir. Parça tekrar temizlenerek işlem tamamlanır. Şekil 1.7’de penetrant uygulanması ve 1.8’de penetrantın developer tarafından emilmesi gösterilmiştir.



Şekil 1.7 Penetrantın uygulanması

Kaynak: Megep, (2012)



Şekil 1.8 FPI metodunda penetrantın developer içine taşınımı

Kaynak: Megep, (2012)

1.4.1 Metodun değerdendirilmesi

Sıvı penetrant yöntemini gözenekli malzemelerde bile kullanılabilir. Diğer metodlardan daha basit ve ekonomiktir. Test malzemeleri sahada kullanılabilir ve güvenilir neticeler verir. Hızlı ve seri kontrol için sistem otomasyonu yapılabilir.

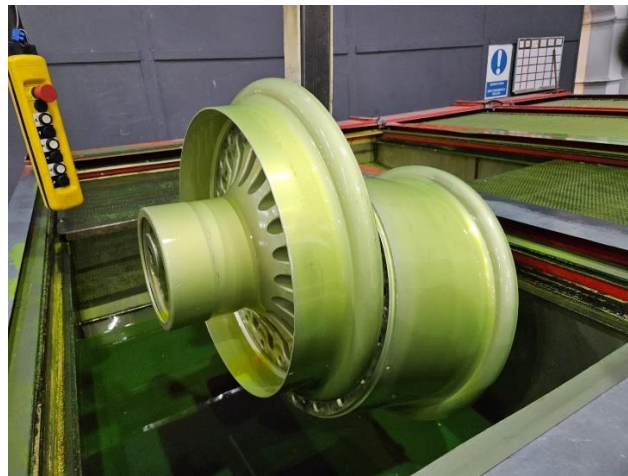
Metodun eksisi yüzeye açık olan hataları saptayabilmesi ve sonuçları değerdendirecek beceri ve tecrübeye sahip NDT teknisyeni gerektirmesidir.

Metodun değerdendirilmesi aşağıdaki Tablo 1.6’de yapılmıştır.

Tablo 1.6 Sıvı penetrant kontrolünün değerdendirilmesi

SIVI PENETRANT KONTROLÜ	
ARTILARI	EKSİLERİ
-Ekonomik bir yöntemdir -Uygulaması zor değildir -Çeşitli malzemelerde kullanılabilir -Hızlı sonuç verir. -Taşınabilir. -Hatanın yeri ve boyutlarını belirlemede etkili -Geniş yüzeylerde kullanılabilir	-Yüzey hatalarında etkili, yüzeye açık olmayan hataları belirleyemez - Yüzey özelliklerine bağımlı - Gözenekli malzemelerde yetersiz sonuç -Kirlilik oluşumu ve sağlık riskleri barındırır. - Sıcaklığa bağımlıdır - Boya ve benzerinin kaldırılması gerekir -Sonuçların değerdendirilmesi operatör deneyimine bağı -Metot öncesi uygulanan mekanik işlemler ile olası çatlağın ağzı kapanabilir. - Görsel methodtur

Kaynak: Shull, P. J. (2002). Nondestructive evaluation: theory, techniques, and applications. CRC press.



Şekil 1.9 NDT atölyesinde uçak jantına uygulama yapılması

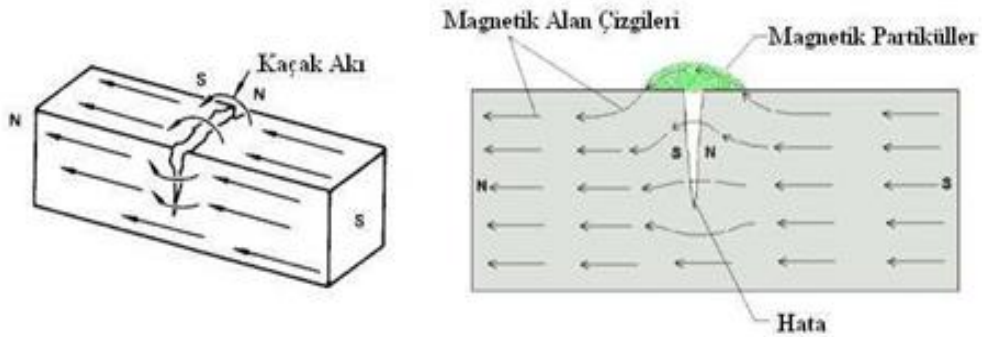
1.5 Manyetik Parçacıklar ile Kontrol Metodu

Mıknatıslanabilen parçalarda etkili bir yöntemdir. Bu NDT metodu ferromanyetik malzemelerde etkilidir, hızlı ve güvenilir sonuçlar verir

Ferromanyetik olarak isimlendirilen Demir, nikel, kobalt içeren malzemeler mıknatıslandığında birbirlerini kuvvetli bir biçimde çekerler. Manyetik alan tarafından zayıf bir biçimde çekilen malzemelere paramanyetik, manyetik alan tarafından hafifçe itilenler diamanyetik olarak isimlendirilir. Al, Pt, Ti, Cr ve O birer paramanyetik malzeme sayılabilirler. Cu, Ag, Sn ve Zn diamanyetik malzemelerdir.

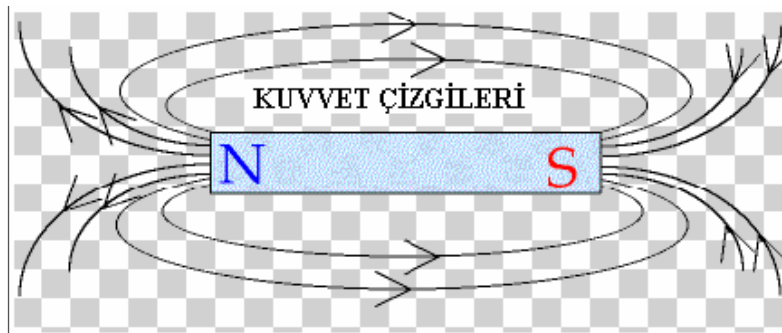
Metod kullanılırken mıknatıslama yöntemi, akım tipinin seçimi ve parçacık tipinin seçimine karar verilir. Uygulamada kontrol edilecek parça mıknatıslanır ve (demirtozu gibi maddeler) yüzeye yayılır. Mıknatıslanmanın etkisiyle bu tozlar süreksizliğe yönelir ve süreksizliğin tespitini sağlar.

Yüzeyde ve yüzey civarındaki hatalar tespit edilebilir. Hatalı kısımda manyetik alanda değişim oluşur. Çatlak üzerinde toplanan manyetik parçacıklar ile hatalı bölge belirlenir.



Şekil 1.10 Manyetik parçacık ile muayene

Kaynak: Onursal,M. (2010)



Şekil 1.11 Manyetik kuvvet çizgileri

Kaynak: Megep, (2012)

Şekilde 1.11’da görüldüğü gibi bir mıknatısın etrafında kuvvet çizgilerinin belirli bir yönü vardır. Malzemeye akım verilerek manyetik alan oluşturulduğunda süreksizlikler var ise bu hatalarda kutuplar oluşur.

Süreksizlik bulunan malzemelerde bir akı kaçağı oluşturur. Malzeme yüzeyine uygulanan demir tozları süreksizlik üzerine toplanır. Demir tozları içinde floresan madde bulunan taşıyıcı bir sıvı ile de uygulanabilir. Mıknatıslandırılmış malzeme üzerine dökülerek süreksizliklerin belirlenmesinde kullanılabilir.

1.5.1 Manyetik parçacık kontrolünün uygulanması

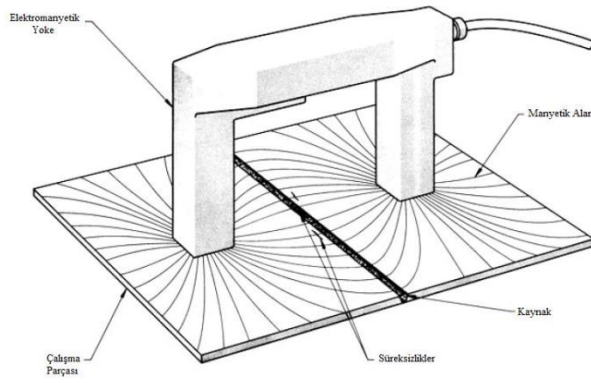
Bu metotla kontrol edilecek parçanın önce mıknatıslanması ve kontrol bitiminde mıknatıslanmanın giderilmesi gerekir.

1.5.1.1 Boylamasına mıknatıslama

a- Mıknatısla/elektromıknatısla uygulama:



Şekil 1.12 Kelepçe (Yoke) cihazı
Kaynak: Megep, (2012)



Şekil 1.13 YOKE çalışması ve kaynak hatalarının tespiti
Kaynak: Megep, (2012)

Temas yüzeyleri, parçanın bu kısımlarında mevcut manyetik alanın kuzey ve güney kutuplarını oluşturur. Şekil 1.13’de görüldüğü gibi manyetik akı çizgileri iki kutbu birleştiren doğruya paraleldir ve bu doğruya dik olan çatlakların algılanması maksimumdur.

b- Bobin ile mıknatıslama:

Test edilecek parça enerjili bobinin iç yüzeyine yakın olarak yerleştirilir. Çünkü bobin etrafında dönen kuvvet çizgilerinden dolayı burada manyetik alan maksimumdur. Parça eksenine boyunca mıknatıslanır.



Şekil 1.14 Bobin ile parçada oluşturulan boyuna manyetik alan
Kaynak: Megep, (2012)

c. Kablo Sarımı ile Mıknatıslama

Uzun parçalarda parçaya iletken kablo sarılarak akım uygulanır ve boyuna manyetik alan oluşturulur.

1.5.1.2 Dairesel mıknatıslanma

Ortası delik parçalar içine bir iletken yerleştirilir. Akım verildiğinde daireSEL manyetik alan meydana gelir.

1.5.2 Yöntemin değerlendirilmesi

Hassastır, incelenecek yüzeyde az kaplama varsa veya boyalıysa da kullanılabilir. Manyetik parçacık kontrolünde yüzey altı süreksizlikleri belirlenebilir.

Eksisi mıknatıslanabilen malzemelere uygulanabilir ve yüzey veya yüzey civarı süreksizlikleri belirleyebilir. Mıknatıslama yaparken oluşabilecek elektrik arkı parçaya hasar verebilir. İnceleme sonrası parçanın mıknatıslığı giderilmelidir.

Metodun genel değerlendirmesi Tablo 1.7’de yapılmıştır.

Tablo 1.7 Manyetik parçacıklar metodunun değerlendirilmesi

MANYETİK PARÇACIK KONTROLÜ	
ARTILARI	EKSİLERİ
- Güvenilir bir yöntemdir - Kolay uygulanabilir - Hata malzeme üzerinde görölebilir - Eğitim gerekliliği daha azdır - Kontrol edilecek parça boyut ve şeklinden bağımsızdır. - Malzeme üzerindeki manyetik olmayan kaplama (boya gibi) ince ise kaplama kaldırılmadan uygulanabilir - çatlak derinliğini belirlemeye yardımcı olabilir - Ekonomik bir yöntemdir.	-Manyetik olmayan malzemelere uygulanamaz -Yüzeydeki/yüzey civarındaki hatalar belirlenebilir. - İşlem sonrası mıknatıslama giderilmelidir. - Elektrik gücü gerektirir, mıknatıslama için -Elektrik arkı oluşursa malzeme hasarlanabilir - İkinci kontrol gerekebilir - Operatörün tecrübe ve bilgisine bağlıdır.

Kaynak: Shull, P. J. (2002). Nondestructive evaluation: theory, techniques, and applications. CRC press.

İKİNCİ BÖLÜM

BARCKHAUSEN ETKİSİ TEORİSİ

2.1 Barkhausen Etkisi Teorisi

Fizikçi Heinrich Barkhausen tarafından 1919'da keşfedilen bir manyetizma ile tahribatsız muayene yöntemidir. Demir, çelik gibi mıknatıslanabilen malzemelere uygulanan manyetik alanın yavaş ve düzgün bir şekilde arttırılmasının, malzemenin tamamen değil, çok küçük adımlarla mıknatıslanmasına neden olduğunu keşfetmiştir.

Barkhausen etkisi ferromanyetik bir malzemenin zamana bağlı mıknatıslanması sonucu keşfedilmiştir.

Barkhausen etkisi, sürekli bir mıknatıslanma veya manyetikliğin giderilmesi süreci sırasında meydana gelen, ferromanyetik alanların veya mikroskobik hizalanmış atomik mıknatıs kümelerinin (spinler) boyutunda ve yöneliminde meydana gelen bir dizi ani değişikliktir. Oluşan mıknatıslanabilen malzemenin kendisine uygulanan mıknatıslama kuvveti değiştiğinde ortaya çıkan çığırta benzeyen gürültüye verilen addır. Manyetik alanların (ferromanyetik malzemelerdeki benzer şekilde manyetik olarak yönlendirilmiş atomlar) hızlı değişikliklerinden kaynaklanmaktadır.

Malzemelerde yapıdaki ayrılmalar gibi yerel kusurlar, dönüş değişimine karşı geçici engeller oluştururlar. Manyetik alandaki değişim, kusurdaki yerel enerji bariyerini aşacak kadar güçlü hale geldiğinde, alan duvarı kusurun üzerinden "geçerek" bir grup atomun aynı anda dönüşünü değiştirmesine neden olur. Mıknatıslanmadaki bu ani değişiklik, çubuk boyunca manyetik akıda geçici bir değişikliğe neden olur ve bu, bobin tarafından kulaklıkta bir ses olarak algılanır.

Mıknatıslama alanı değiştirildiğinde, örneğin bir mıknatısı bir demir çubuğa doğru veya ondan uzağa hareket ettirerek, malzemenin mıknatıslanması bir dizi süresiz değişiklikle değişir ve bu da manyetik akıda "sıçramalara" neden olur.

Bunlar, bir amplifikatöre ve hoparlöre bağlı çubuğun etrafına bir tel bobini sarılarak tespit edilebilir. Malzemenin mıknatıslanmasındaki ani geçişler bobinde akım darbeleri üretir ve bu darbeler güçlendirildiğinde hoparlörde bir ses üretir. (odun ateşinin sesine benzeyen bir çığırta sesi çıkarır.) Heinrich Barkhausen tarafından

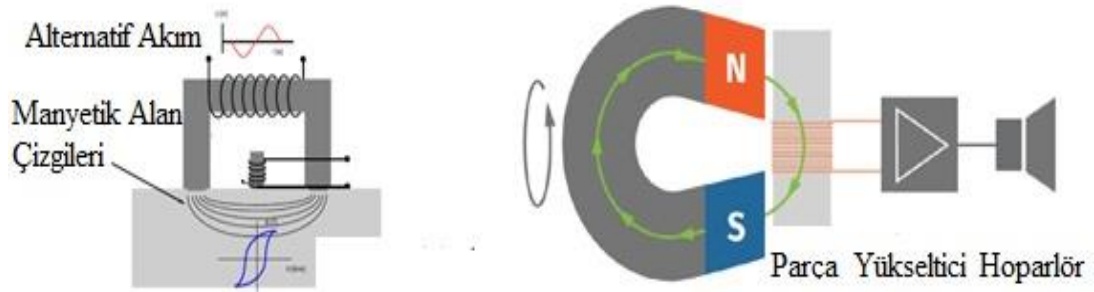
keşfedildiğinden bu sese Barkhausen gürültüsü (MBN, Magnetic Barkhausen Noise) adı verilmektedir.

Mıknatıslanabilen malzeme için barkhausen gürültüsünün miktarı, yapısal bileşim, kristal yapının yerinden çıkmaları ile bağlantılıdır ve malzemenin mekanik özelliklerinin belirlemede kullanılabilir. Bu mıknatıslanma sıçramaları, ferromanyetik alanların boyutundaki veya dönüşündeki değişikliklerden kaynaklanır.

Barkhausen metodu manyetik alan ve bir bobindeki akı değişikliklerinin tespit edilmesi yöntemi ile malzemedeki kusurların tespiti için uygulanabilen bir tahribatsız muayene yöntemidir.

Şekil 2.1 de örnek barkhausen düzeneği gösterilmiştir.

Bobin bir numune üzerine sarılır ve bir amplifikatör aracılığıyla bir hoparlöre bağlanır. Daha sonra numune üzerinde manyetik alan düzgün bir şekilde artırılır. Tanecik sınırlarından geçerken olası düzensizliklerde oluşan sesi duymak için amplifier kullanılır.



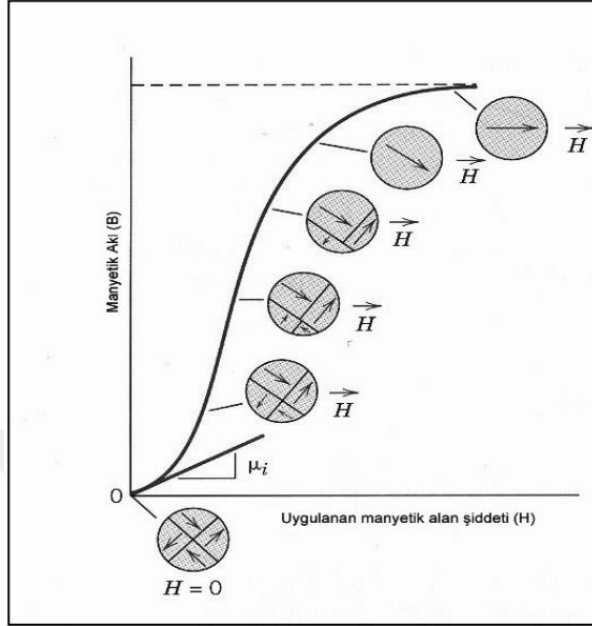
Şekil 2.1 Barkhausen düzeneği

Ölçüm sırasında sensör, numuneyi bir döngüde mıknatıslar ve manyetikliğini giderir ve indüklenen BN sinyalini alır ve ana analizöre aktarır.

Etki alanları büyüdükçe/küçüldükçe engellerle sabitlenirler, bu da Barkhausen gürültüsüne neden olan adımlara veya "sıçramalara" neden olur.

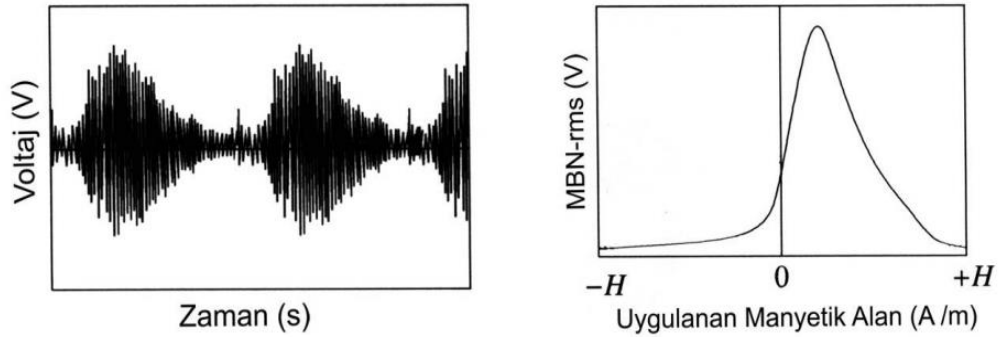
Malzemeye şiddeti aşamalı olarak artan bir manyetik alan uygulandığında, Manyetik doyma noktasına yaklaşırken, malzeme kolay mıknatıslanma yönünde tek

bir bölgeden ibarettir ve bu bölge uygulanan alana paralel bir şekilde yönelmektedir (Şekil 2.2). Uygulanan manyetik alan kaldırıldığında zaman mıknatıslanma sıfırlanır.



Şekil 2.2 Histeresis döngüsü

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul



Şekil 2.3 (a) Manyetik gürültü verisi ve (b) MBN profilinin şematik gösterimi

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

Ferromanyetik malzemelerin histeresis döngüleri incelendiğinde manyetik akı zıplamaları gözlemlenir. Bu akı değişimleri domen duvarlarının tersinmez hareketinden kaynaklanmaktadır. Tane sınırları, dislokasyonlar ve kalıntılar gibi içyapı unsurları domen duvarlarının hareketini zorlaştırmaktadır. Manyetik alan yeterli şiddete ulaştığında, domenler bu tip engelleri aşarak ani voltaj zıplamalarına neden olmaktadır. Bir bobin yardımıyla Manyetik Barkhausen Gürültüsü (MBN) algılanabilir. Ham manyetik gürültü verisi zamana veya uygulanan manyetik alan

şiddetine karşılık oluşan voltaj atım dizileridir (Şekil 2.3 (a)). Algılanan sinyal yükseltilerek belirli bir frekans aralığında filtrelenip bilgisayar yazılımıyla işlenerek, manyetik alana karşılık grafiği çizilip MBN profili (Şekil 2.3 (b)) çıkarılmaktadır.

Barkhausen gürültüsü yüzey ve yüzeyin altındaki çok yakın alan hakkında bilgi sağlar. Bir Barkhausen gürültü sinyali ayarlanmış mıknatıslama frekansından başlayıp 2 MHz'in üzerinde biter. Etkili sinyal nüfuz derinliği 0,01 mm ile 1 mm arasındadır.

Penetrasyon tahmini derinliği aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir; burada δ penetrasyon derinliğini, π sayısı, μ manyetik geçirgenliği, σ elektriksel iletkenliği ve f ise alternatif manyetik alanın frekansıdır.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \mu \sigma f}} \quad (1)$$

Talaşlı imalat (tornalama, frezeleme, delme, taşlama), soğuk işleme (bilyeli dövme, lazerle dövme, otofretaj) ve yüzey sertleştirme (karbürleme, nitrürleme, indüksiyonla sertleştirme) hem gerilim hem de mikro yapıda bazı değişimleri içerir ve Barkhausen (MBN) ile kolayca analiz edilebilir. Sünme ve yorulma gibi çeşitli dinamik süreçler, benzer şekilde gerilim ve mikroyapıdaki değişim Barkhausen yöntemi ile de izlenebilmektedir. Barkhausen yönteminin pratik uygulamaları genel olarak üç kategoriye ayrılabilir:

- Sertliğin değerlendirilmesi
- Artık gerilmelerin değerlendirilmesi
- Yüzey kusurlarının test edilmesi

Tablo 2.1 Barkhausen metodunun kullanılabilir olduğu çelik türleri

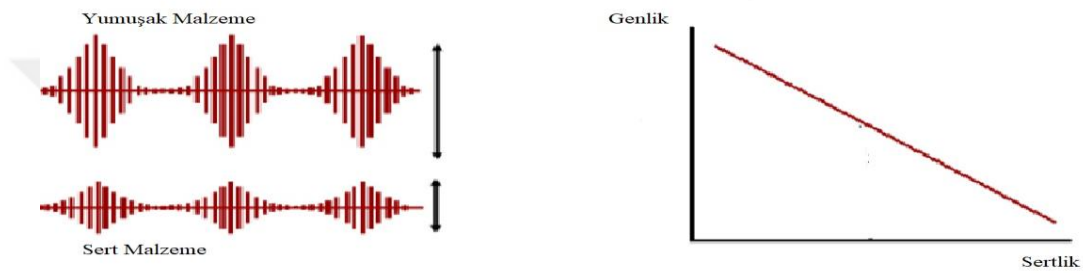
SAE 4330	AMS6491
SAE 4340	300M
SAE 5120H	SAE 10XX
SAE 4320	SAE 15XX
AMS6490	Döküm Demir
100Cr6 (52100)	A2 Tool Çeliği

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

2.2 Sertliğin Barkhausen Gürültüsüne Etkisi

Malzemelerin sertlik durumunun değerlendirilmesinde Barkhausen gürültüsü kullanılabilir. Yumuşak malzemeler Barkhausen sinyali genliğini artırır ve sert malzemeler Barkhausen gürültü sinyali genliğini azaltır. Şekil 2.4'te bu etki gösterilmiştir.

Barkhausen gürültüsü bir üretim hattındaki yumuşak ve sert parçaları birbirinden ayırabilir. Üretim oranlarını kolayca eşleştirebilir. Çoğu üretim hattında gerçek zamanlı sertlik kontrolü sağlar.



Şekil 2.4 Sertliğin barkhausen gürültüsüne etkisi

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

2.3 Gerilmenin Barkhausen Gürültüsü Üzerindeki Etkisi

Barkhausen yönteminde indikasyonlar numunelerdeki gerilim seviyesi ile ilişkilidir. Gerilmenin değerlendirilmesinde Barkhausen yöntemi kullanılabilir. Çekme gerilimi Barkhausen gürültü sinyali genliğini artırır ve basınç gerilimi azaltır.

Örnek olarak Barkhausen yöntemi shoot peening (soğuk dövme) yöntemi ile malzeme işlemede, işlemin düzgünlüğünü ve doğruluğunu incelemekte kullanılabilir.

Kalıntı gerilmelerin Barkhausen gürültüsü ile ölçülmesi kalibrasyon işlemi ile yapılabilir.

2.4 Yüzey hatalarının belirlenmesi.

Taşlama yanığı, taşlama işlemleri sırasında yüzeyde meydana gelen termal hasarların ortak adıdır. Taşlama yanığı yüzeyde yerel renk bozukluklarına neden olabilir ve yüzey katmanlarını yumuşatabilir veya sertleştirebilir

Barkhausen metodu hem sertlik hem de gerilim değişimlerinde aynı tepkiyi verdiğinden, taşlama yanıklarının güvenilir bir şekilde tespit edilmesinde kullanılabilir. Taşlama yanıklarının %100 tespiti, Barkhausen metodunun en yaygın endüstriyel uygulamasıdır.

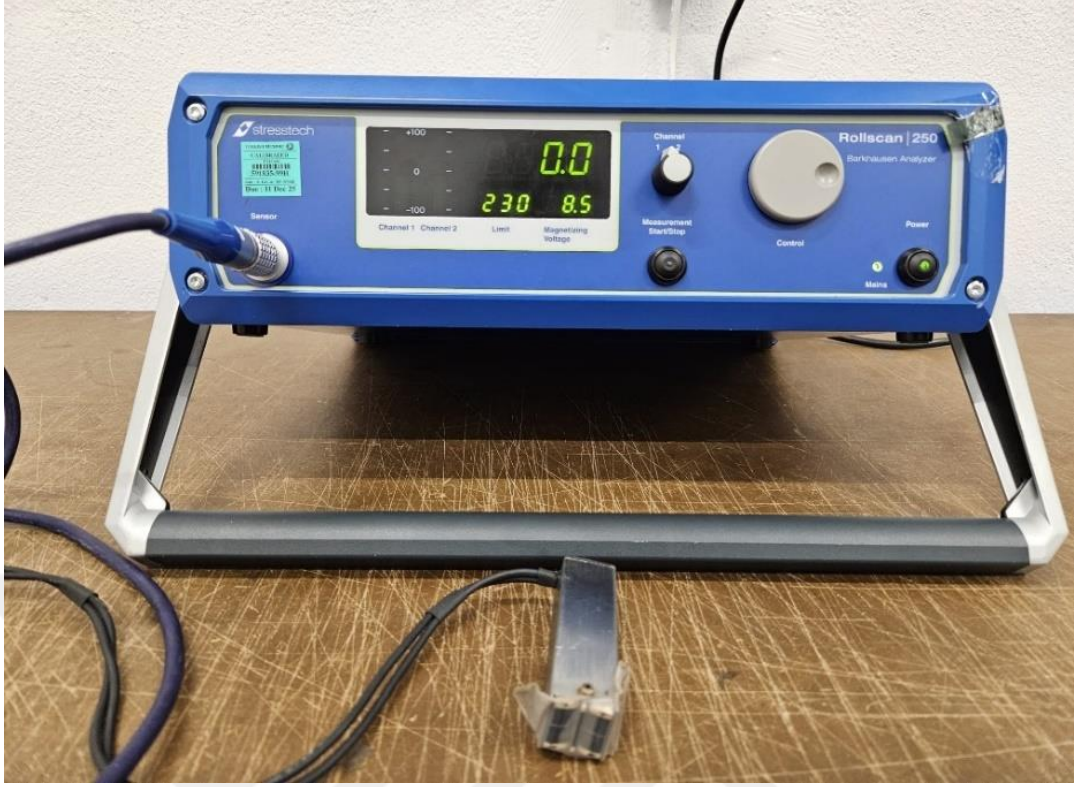
Krom kaplanmış yüzeylerde kusurlar tespit edilebilir. Oluşan termal hasarların krom plaka üzerinden Barkhausen metodu ile tespiti güvenilir bir uygulamadır. Ana uygulama alanı uçakların iniş takımlarıdır.

Krom kaplanmış parçalarda yüzey kusurlarını tespit etmek için Barkhausen metodunun kullanılması, methodun uygulandığı iç silindirler gibi parçalarda krom kaplamanın kaldırılması işlemine gerek kalmadan parçaların kontrol edilmesini sağlamaktadır.

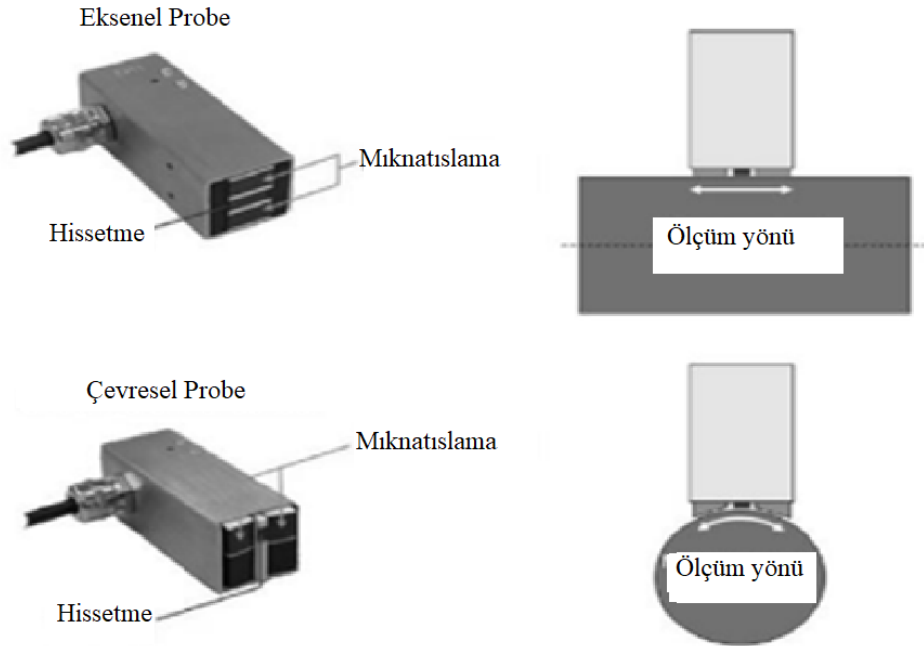
Stresscan Ekipmanı, çok çeşitli çelik ve diğer ferromanyetik malzemelerde yüzey kalitesini kontrol etmek ve yüzeye yakın kusurları test etmek için kullanılır, gerilimlerdeki veya mikro yapıdaki değişikliklerle ilgili kusurları kolayca tespit eder.

Piston pimleri, dişliler, yatak halkaları ve makaraları, eksantrik milleri ve krank milleri ve iniş takımları stresscan ekipmanı ile başarıyla test edilebilecek parçalardan sadece birkaçıdır. ViewScan veri toplama yazılımının kullanımına entegre edilmesiyle daha da verimli hale gelir.

şekil 2.5'te Barkhausen NDT cihazı ve şekil 2.6'da eksenel ve çevresel probe örnekleri ve ölçüm yönü gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Barkhausen NDT cihazı

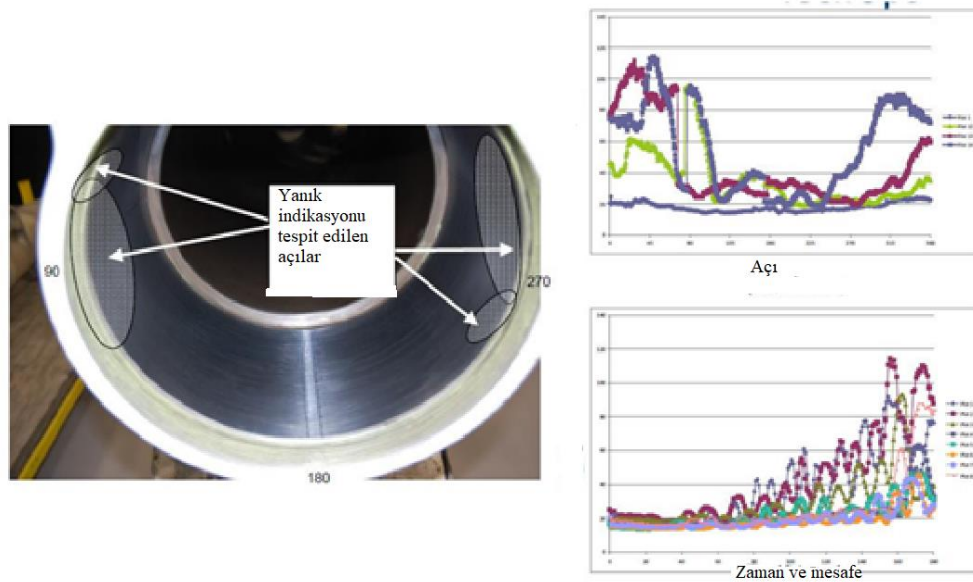


Şekil 2.6 Eksenel ve çevresel probe örnekleri

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

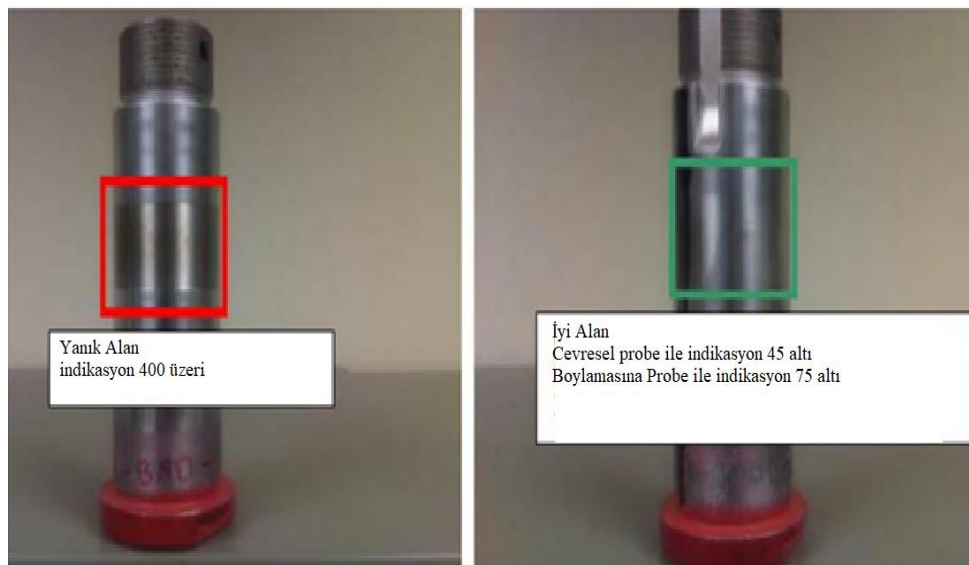
2.5 Metodun Ticari Havacılıkta Uygulama Örnekleri

Barkhausen metodu ile bulunan hasar örnekleri Şekil 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 ve 2.11’de detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Eksenel ve çevresel BNI indikasyonları

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul



Şekil 2.8 Barkhausen metoduyla bulunan hasar örnekleri

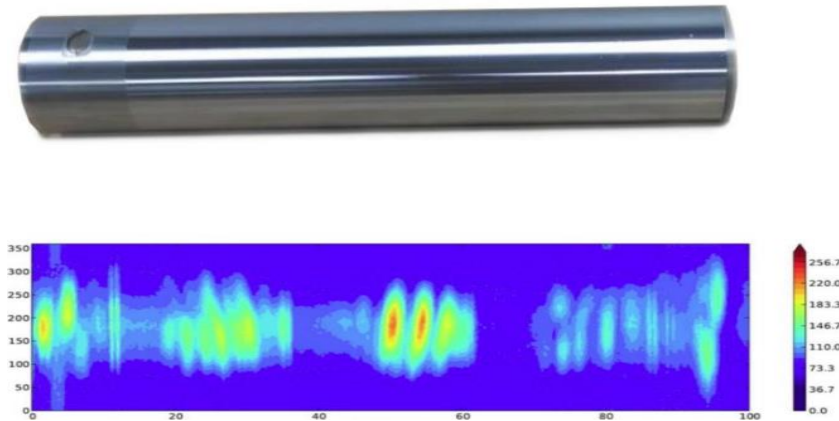
Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

Birçok iniş takımı parçasının üretimi ve revizyonu sırasında, kaplamalı çelik kullanılmaktadır. Bu pimlerin, aksların, pistonların ve diğerlerinin çelik alt tabakaları kolayca yeniden temperlenmeye veya taşlama işlemi sırasında taşlama yanması nedeniyle hasarlanma olasılığı bulunmaktadır.

Barkhausen metodu kaplamalı veya kaplamasız yüzeylerde uygulanabilir. Genelde hasarlanma açısında kritik alanlar kaplanmış yüzeyin altında olduğundan Barkhausen metodunun kullanılması, bu hasarların tespit edilebilmesini sağlayarak, parçalarda krom kaplamanın kaldırılması ve inceleme sonrası tekrar krom kaplama uygulaması yapılması işlemlerini ordan kaldırmaktadır. Önemli derecede zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

Bu uygulama boeing uçaklarında burun iniş takımının revizyon zamanından **en az bir hafta** tasarruf sağlamaktadır. Mali analiz olarak bir haftalık süre adamsaat cinsinden **60 adamsaat** olarak ifade edilebileceği düşünülürse **60 adamsaat X 150 ABD Doları (giydirilmiş adamsaat maliyeti, tesis giderleri dahil) = 9000 ABD doları sadece bir parçanın incelenmesinde tasarruf sağlanır**. Ortalama olarak bir iniş takımı atölyesinde yılda 40 Boeing ön iniş takımı yapıldığı bir durumda **yıllık mali tasarruf: 40 X 9000 ABD doları = 360.000 ABD doları** olarak hesaplanabilir.

Genelde iniş takımları atölyesinde uygulanan bu NDT metodu iniş takımı revizyon (OVH) zamanı ve adamsaat tasarrufu ile önemli derecede maliyet tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 2.9 Ölçülen Barkhausen değerini ve krom kaplı iniş takımı pistonundaki konumu gösteren 3 boyutlu ısı haritası

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

Örnek Referans NTM Prosedürü: Boeing 737 NTM Bölüm 6 51-00-29 Prosedür 2' dir. Referansı verilen prosedür çıplak, boyalı veya krom kaplamalı 4340M, 4330M veya 15-5PH çelik parçaları ısı zararları açısından incelemek için Barkhausen gürültü muayenesini kullanır.

Bu prosedür, Rollscan 200 ve 250 Barkhausen cihazıyla kalibrasyon yapma ve parçaları inceleme talimatını vermektedir. Cihaz çelikteki manyetoelastik parametreleri (MP) ölçer. Yüksek MP değerleri olası ısı hasarının göstergesidir. Şekil 2.10 ve 2.11' de ısı hasar örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.10 Hasarları tespit edilen örnek burun iniş takımı parçaları

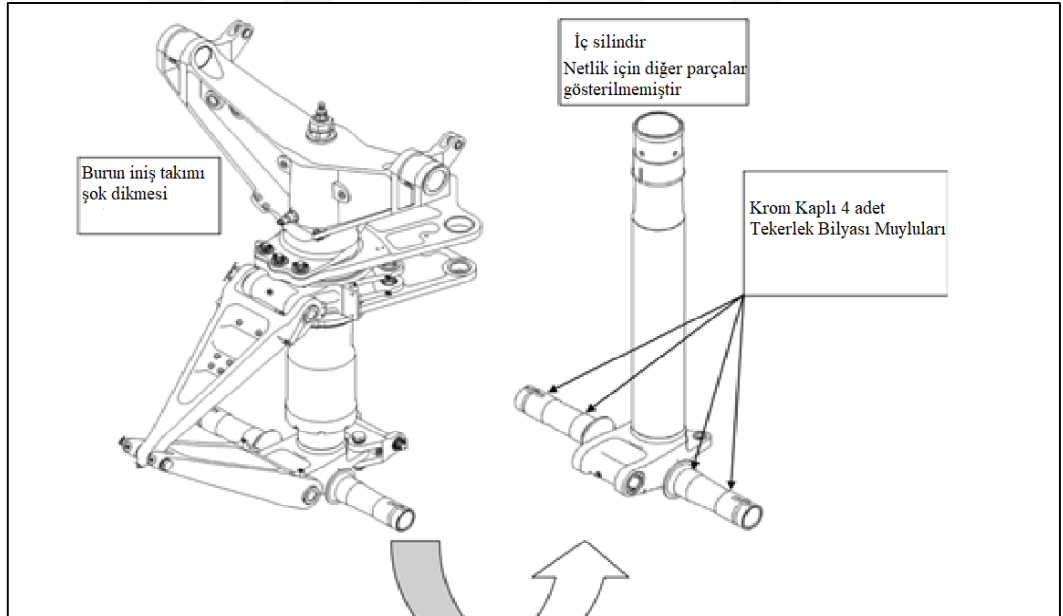
Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul



Şekil 2.11 Hasarları tespit edilen burun iniş takımı parçası

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

Aşağıdaki Şekil 2.12’te ilgili testin yapıldığı Boeing burun iniş takımındaki alanlar gösterilmektedir.



Şekil 2.12 Burun iniş takımı detayı

2.6 Barkhausen NDT Yönteminin Diğer Yöntemlere Göre Avantajları

Barkhausen NDT Yönteminin X-Ray yöntemine göre artıları olarak daha hızlı sonuç vermesi, güvenilir olması, geniş yüzeylerde kolaylıkla uygulanabilmesi, krom kaplama altından bile sonuç vermesi, gerilim değişiklikleri ve mikroyapıdaki

değişiklikleri belirleyebilmesi, otomize edilebilmesi ve çevreye zararlı olmaması değerlendirilebilir.

- X-ray diffraction (kırınımı) ile kalıntı gerilme ölçümü ile Barkhausen analizi arasında korelasyon mümkündür.

- X -ray kırınımı geniş yüzeyler için uygun değil

- Nital etching, yorumlaması zor subjectif sonuçlar verir

- Barkhausen, daha ölçülebilir sonuçlar verir

- Barkhausen yönteminde sarf malzeme, hurda parça veya kimyasal kullanımı yoktur.

X-ray diffraction (kırınımı):

- Taşlama yanığı, kalıntı gerilmeye sebep olur ve kalıntı gerilme değerleri tahribatsız olarak x -ray kırınımı yöntemiyle ölçülür.

- X -ışını, görünür ışığa göre yüksek enerji ve kısa dalga boyuna sahiptir. Bu sebeple, kristal yapıdaki malzemelerde düzlemler arası mesafeyi ölçmek için idealdir.

Nital etching (dağlama):

Az tahribatlı taşlama yanığı tespit yöntemi olup, karbonlu çeliklerin mikroyapısını ortaya çıkarmada kullanılır. %3-5 nitrik asit ve etanol içeren solüsyon, numune üzerinde çok az aşınmaya neden olur. Taşlama yanığı bulunan alan testten sonra diğer bölgelere göre daha koyu renkli görünür.



Şekil 2.13 Dişlideki taşlama yanığı örnekleri

Kaynak: Kavrar, E. (2022) BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

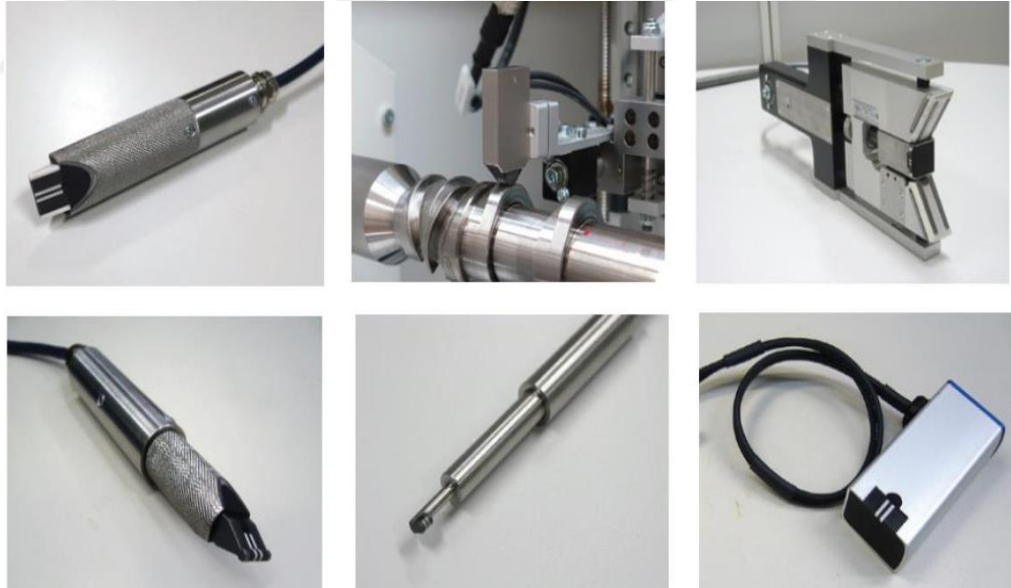
2.7 Barkhausen Yönteminin İmalat /Üretim Sanayisinde Bazı Uygulama Alanları



Şekil 2.14 Barkhausen yönteminin üretim sanayisinde uygulama alanları

Kaynak: Fırtına, H. Stresstech X-ray-Diffraction ile kalıntı gerilme ölçümü. Erişim adresi: <https://bias.com.tr/storage/media/1569/stresstech-x-ray-diffraction-ile-kalinti-gerilme-olcumu-huseyin-firtina.pdf>

Şekil 2.15’ te imalat sanayinde kullanılan probe tipleri gösterilmektedir.



Şekil 2.15 Üretim aşamalarında kullanılan barkhausen sensör tipleri

Kaynak: Fırtına, H. Stresstech X-ray-Diffraction ile kalıntı gerilme ölçümü. Erişim adresi: <https://bias.com.tr/storage/media/1569/stresstech-x-ray-diffraction-ile-kalinti-gerilme-olcumu-huseyin-firtina.pdf>

Şekil 2.16’ da imalat sanayinde kullanılan otomatikleştirilmiş, seri ölçüm yapabilen barkhausen NDT sistem örnekleri görüntülenmektedir.



Şekil 2.16 İmalat sanayinde kullanılan barkhausen NDT sistem örnekleri

Kaynak: Fırtına, H. Stresstech X-ray-Diffraction ile kalıntı gerilme ölçümü. Erişim adresi: <https://bias.com.tr/storage/media/1569/stresstech-x-ray-diffraction-ile-kalinti-gerilme-olcumu-huseyin-firtina.pdf>

Şekil 2.17’ de kullanılan Rollscan 250 cihazı, Şekil 2.18 de kalibrasyon yapılma aşamaları ve Şekil 2.19’da probe ve ilgili referans standardı (kalibrasyon bloğu) gösterilmektedir.



Şekil 2.17 Rollscan 250 Barkhausen Cihazı



Şekil 2.18 Barkhausen cihazı kalibrasyonu



Şekil 2.19 Barkhausen cihazı probu ve referans standardı

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DENEYSEL ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Bu bölümde barkhausen metodu uygulama örneklerine yer verilmiştir.

3.1 Barkhausen NDT Metodu Uygulama Örneği 1

Bu kapsamda yapılan çalışmalara örnek olarak 4330 çeliğinin laser işleme yöntemiyle yüzey değişimleri incelenmektedir. İlgili NDT çalışmaları Ayberk Yüßen tarafından gerçekleştirilerek 29-30 Haziran 2024 tarihinde “2.International Black Sea Scientific Research And Innovation Congress” de makale olarak yayınlanmıştır.

Barkhausen NDT metoduyla yapılan çalışmalara örnek olarak fiber lazer işleminin AMS 4330 çeliği üzerindeki yüzey özellikleri açısından etkisine ilişkin yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. AMS 4330 çeliği mukavemet, tokluk ve yorulma mukavemeti açısından üstün yapısı nedeniyle havacılık endüstrisinde kendine yer edinmiş malzemelerden biridir. Farklı parametrelerle lazer işleminin sonucunda ortaya çıkan yüzey değişiklikleri, Barkhausen Gürültü (BN) analizi uygulanarak incelenmektedir. Bu nedenle, bu tahribatsız test tekniklerinin gerekliliği, lazer işleme parametrelerinin ölçülmesinde ve optimize edilmesinde ve buna bağlı olarak AMS 4330 çeliğinin malzeme özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olmaya devam etmektedir. Barkhausen gürültü analizi, lazerin yanık izlerinin, lazer yönünün etkisiyle MP değerlerinde sürekli olarak büyük bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.

Bu nedenle, tarama hızı, frekans ve güç parametreleri gibi lazer parametrelerinin ince ayarlanmasıyla malzeme yüzey özelliklerinin önemli ölçüde iyileştirilebileceğini göstermektedir. Örneğin, Örnek 8, tarama hızının 250 mm/dak olduğu ve ışın gücünün 100W olarak ayarlandığı en yüksek akıcılığı kullanmış ve işlenen örneklerle karşılaştırıldığında yüzey alanının ortalama BN'si daha yüksek, daha koyu ve daha homojen bir görünüm kazanmıştır. Mikro yapıdaki değişikliklerin, gerilim durumunun ve yüzeyin kalitesinin tahribatsız bir şekilde değerlendirilmesi, lazer işleme parametrelerinin optimize edilmesi için çok iyi bir platform sağlamaktadır.

KAYNAK: Yüßen, A., Fidan, S., Ürgün, S., & Bora, M. Ö., (2024). Enhanced Surface Analysis Of Aviation-Grade 4330 Steel Processed With Fiber Laser: A Comparative Study Using Barkhausen Noise And Grayscale Image Histogram Methods . 2. International Blacksea Scientific Research And Innovation Congress (Pp.349-365). Trabzon, Turkey

3.2 Barkhausen NDT Metodu Uygulama Örneği 2

İlgili NDT çalışmaları Ayberk Yüßen tarafından gerçekleştirilerek 29-30 Haziran 2024 tarihinde “2.International Black Sea Scientific Research And Innovation Congress” de makale olarak yayınlanmıştır.

Aşağıdaki Şekil 3.1’de kullanılan numune ve farklı lazer işleme parametreleri ile oluşturulmuş yanık örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1 35NCD16 Çelikte lazer ile oluşturulmuş yanık numuneleri

Kaynak: Yüßen, A., Fidan, S., Bora, M. Ö., & Ürgün, S., (2024). 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis With The Barkhausen Noise Method . 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis With The Barkhausen Noise Method (pp.334-348). Trabzon, Turkey

Tablo 3.1 Barkhausen ile değerlendirilen numuneler için lazer işleme parametreleri

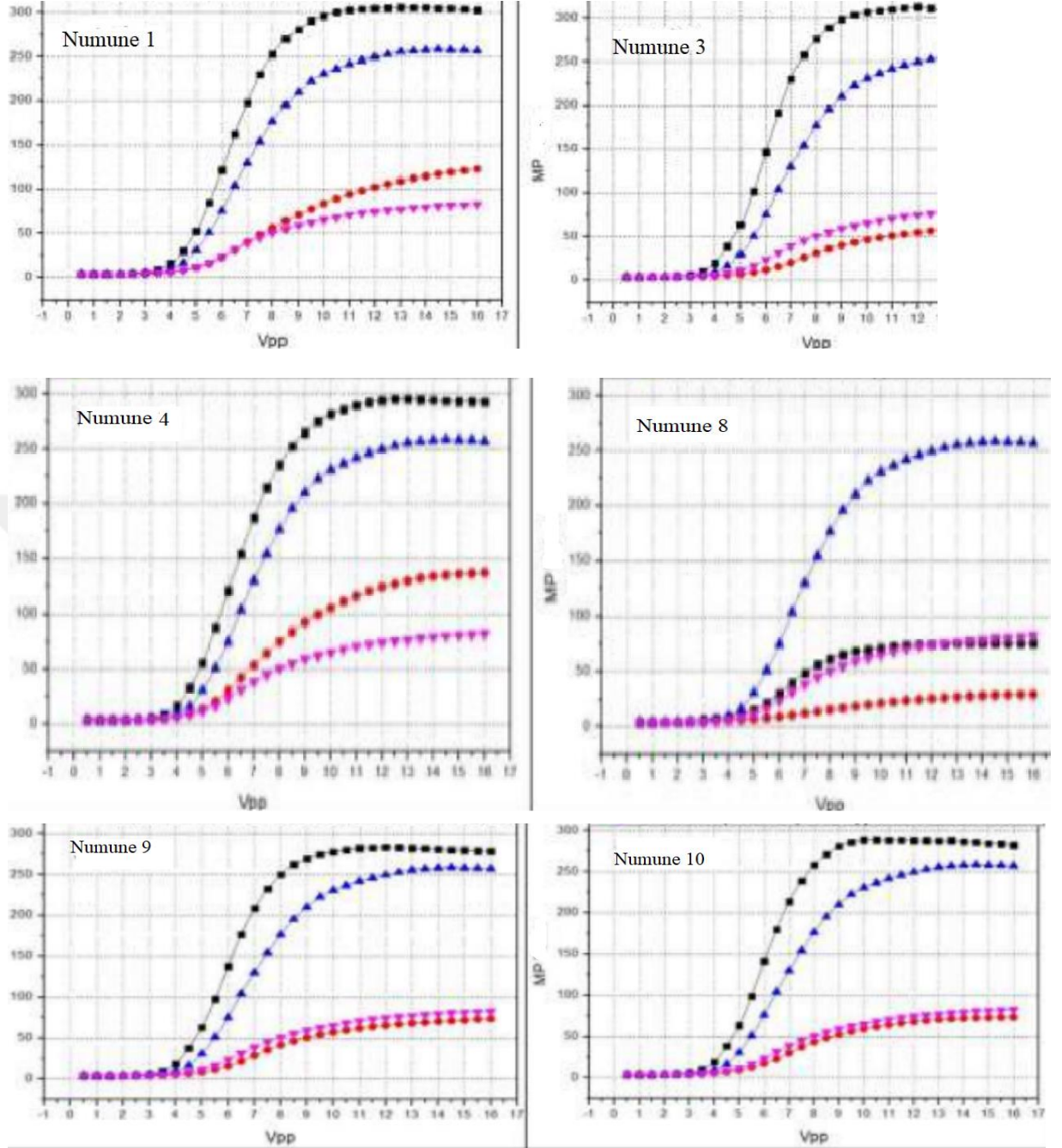
Yanık Numune Numarası	Lazer İşleme hızı (mm/s)	Güç değeri (Watt)	Frekans (Khz)
1	1000	20	50
3	1000	100	50
4	500	20	50
8	250	100	50
9	500	50	200
10	500	50	20

Kaynak: Yüßen, A., Fidan, S., Bora, M. Ö., & Ürgün, S., (2024). 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis With The Barkhausen Noise Method . 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis With The Barkhausen Noise Method (pp.334-348). Trabzon, Turkey

Bu çalışmada 35NCD16 çeliğin manyetik özelliklerinin lazer ile yakarak oluşan yanıklardan etkilendiği belirlenmiştir. Lazer yönüne paralel bölgelerde MP değerleri daha yüksektir. Lazer uygulama yönündeki yanmış bölgelerden elde edilen MP değeri, yanmamış bölgelere kıyasla daha yüksektir. Şekil 3.2’de yanık hasarının dereceleri yüksek güç ve düşük hızlarda oluşturulmuş numunelerde yanmış alan ve yanmamış alanlar arasında önemli indikasyon farkları görülmüştür. Daha yüksek lazer gücü ve düşük tarama hızı ile işlenen parçalarda, yanma nedeniyle hasar, pürüzlü, düzensiz yüzey ve oksitlenme görülmüştür. Buna karşılık, lazer gücü düşük ve yüksek tarama hızlarına maruz bırakılan numuneler, görünür hasarın az olduğu ve malzeme yapısının işlem yapılmayan alandaki yapılara yakın olduğu belirlenmiştir.

Lazer işlenen yöndeki manyetik parametre (MP) değerleri, ters yöndeki değerlere kıyasla önemli ölçüde daha yüksektir. Bu durum, lazer işleminin çeliğin mekanik özellikleri üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.2 Manyetik Parametre (MP) değeri ile Tepe-Tepe Voltajı (V_{pp}) arasındaki ilişki gösterilmektedir. V_{pp} Tepe-tepe gerilimi voltaj dalga formunun tepesi olarak adlandırılan noktadan başlayarak dalga formunun çukuru olarak adlandırılan en alt noktasına kadar ölçülen kısımdır. Yani tepe-tepe voltaj, bir voltaj dalga formunun en tepesinden en altına kadar olan tam dikey uzunluğudur.

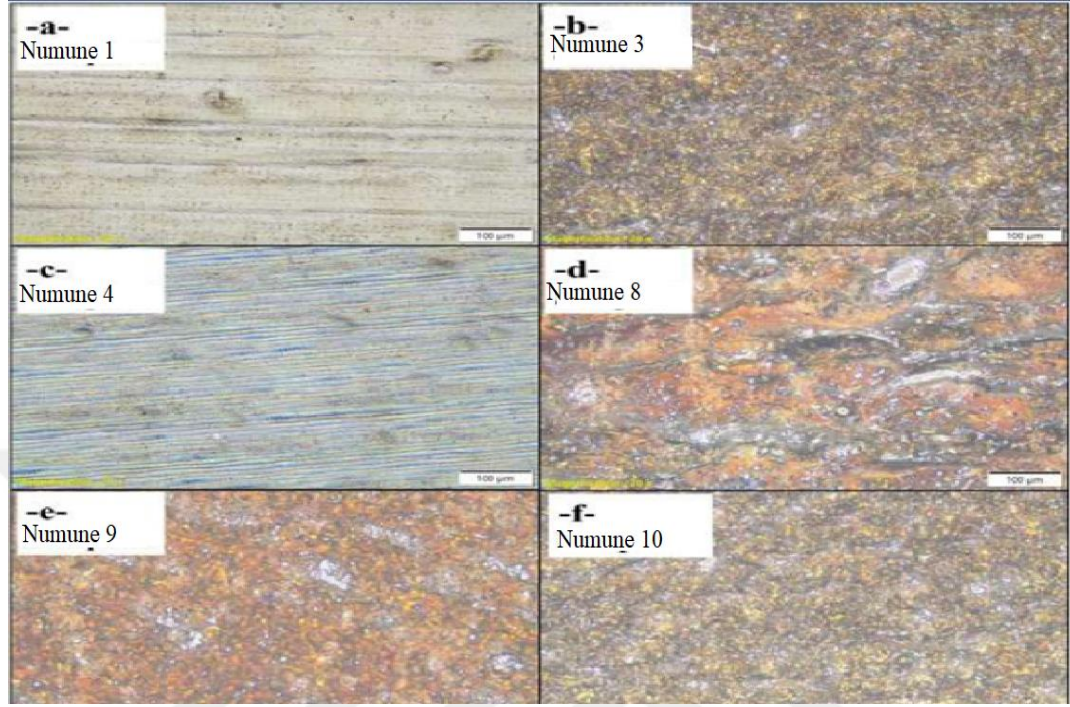


Şekil 3.2 35NCD16 Çelikte MP değerleri ve VPP (voltaj tepe tepe) değerlerinin karşılaştırılması.

- Lazer işleme yönündeki yanık alan indikasyonlar
- ▲ Lazer işleme yönündeki referans (yanmamış) alan indikasyonlar
- Lazer işleme yönünün ters yönündeki yanık alan indikasyonlar
- ◆ Lazer işleme yönünün ters yönündeki referans (yanmamış) alan indikasyonlar

Kaynak: Yüşen, A., Fidan, S., Bora, M. Ö., & Ürgün, S., (2024). 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis With The Barkhausen Noise Method . 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis With The Barkhausen Noise Method (pp.334-348). Trabzon, Turkey

Numunelerin 20 kat büyütülmüş optik mikroskop görüntüleri Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 20X büyütmede numunelerin yüzey görüntüleri

Kaynak: Yüßen, A., Fidan, S., Bora, M. Ö., & Ürgün, S., (2024). 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis With The Barkhausen Noise Method . 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis With The Barkhausen Noise Method (pp.334-348). Trabzon, Turkey

Numune 1 Düzgün ve ince çizgilerle ve minimum hasarlı yüzey görülmektedir.

Numune 3 Mikro çatlaklar, erimiş alan ve önemli yanık hasarı oluşmuştur.

Numune 4 Numune 1'e benzer olup, daha belirgin çizgiler görülmektedir. Yüzeyde orta ve hafif yanma seviyeleri bulunmaktadır.

Numune 8 Pürüzlü ve düzensiz bir yüzeye, yüksek oksidasyona ve çıkıntılı bir kabuk yüzeyine sahiptir. Aşırı yanık olarak değerlendirilmiştir.

Numune 9 Oksidasyonlu ve pürüzlü, düzensiz bir yüzeye sahiptir. Bu yanık etkisi, lazere uzun süre veya şiddetli maruz kalındığını gösterir.

Numune 10 Granül görünümlü, pürüzlü ve değişime uğramış bir yüzeydir. Ciddi yüzey erimesi ve yeniden katılaşmasından oluşan önemli derecede yanık hasarı mevcuttur.

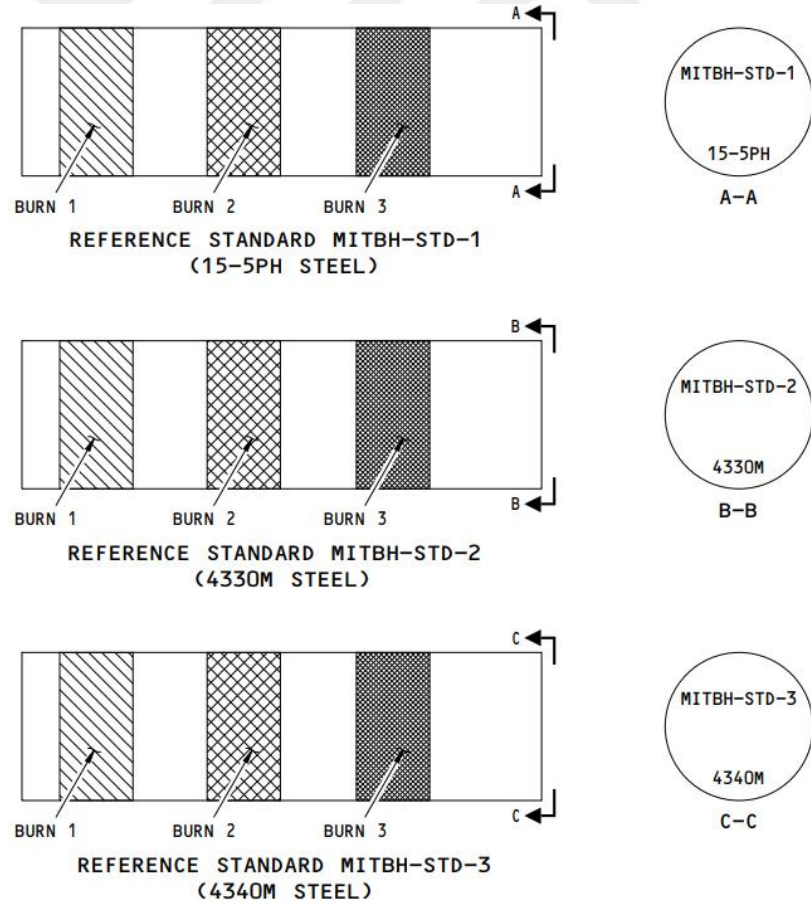
İstenen malzeme özelliklerinin elde edilmesi için lazer işleme parametrelerinin doğru belirlenmesi ve devamlı kontrol edilmesi gerektiği ve barkhausen yönteminin çelik parçaların değerlendirilmesi ve kalite güvencesi için etkili bir yöntem olduğu doğrulanmaktadır.

3.3 Barkhausen NDT Metodu Boeing 737 NTM Prosedürünün uygulanması

Örnek prosedür Boeing 737 NTM Bölüm 6 51-00-29 Prosedür 2' dir

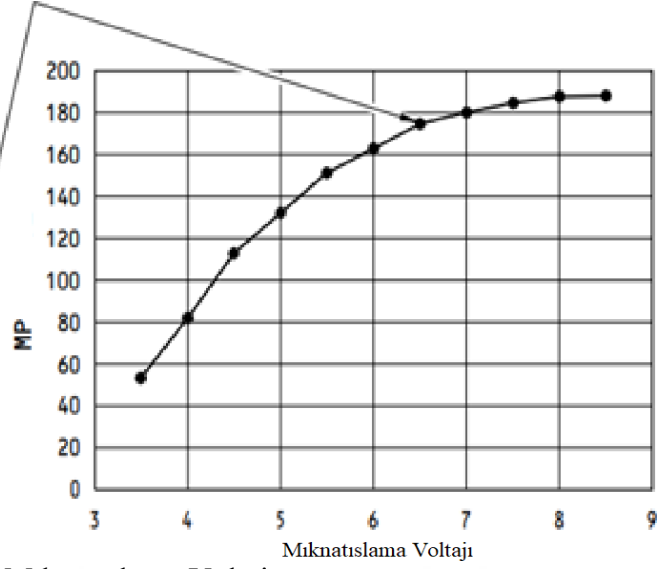
- Bu prosedür, çıplak, boyalı veya krom kaplı 4340M, 4330M veya 15-5PH çelik parçaları ısı hasarı açısından incelemek için manuel bir Barkhausen gürültü incelemesi kullanır.

- Bu prosedür, Rollscan 200 ve 250 Barkhausen cihazıyla bir kalibrasyon yapma ve parçaları inceleme talimatları verir. Rollscan 200 ve 250, çelikteki manyetoelastik parametreleri (MP) ölçer. Yüksek MP değerleri olası ısı hasarının bir göstergesidir. Şekil 3.2 de referans çelik parçaları ve yanık lokasyonları gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Referans standartları (15-5PH, 4330M ve 4340M çelikleri için Boeing 737 Non-Destructive Test Manual, (2021)

Mıknatıslama Voltajı	MP Değeri
3.5	53.2
4	81.7
4.5	112.4
5	131.8
5.5	150.8
6	162.4
6.5	174.3
7	179.6
7.5	184.3
8	187.2
8.5	187.5



Şekil 3.5 Örnek Kalibrasyonda Mıknatıslama Voltajı
Boeing 737 Non-Destructive Test Manual, (2021)

Mıknatıslama voltajına göre alınması gereken MP değeri ilgili prosedürde verilmiş olup Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

Reddetme Eşiğini Bulmak İçin Kalibrasyon

- Bir Değer Bulun (Referans Standardındaki Minimum MP Değeri)

(a) Parçada krom, boya veya kaplama varsa, uygun folyoyu(folyoları) referans standardının taban alanına koyun ve sensörü folyonun(folyoların) üzerine koyun. İncelenecek parçada krom, boya veya kaplama yoksa, sensörü doğrudan referans standardının taban alanına (yanık alanı yok) koyun.

(b) Sensörün kutup parçalarının kalibrasyon sırasında olduğu gibi aynı yönde hizalandığından (çevresel hizalanmış veya uzunlamasına hizalanmış) emin olun. Cihaz ekranı görüntüsünde gösterilen MP değerinin bir kaydını yapın.

(c) Sensörü ve folyoyu (folyolar kullanılıyorsa) referans standardının taban alanında farklı bir konuma çevre boyunca yaklaşık 45 derece hareket ettirin. Sensörün yanık alanında olmadığından emin olun. Sensörün Yanık 3'ün kenarından 0,5 inç (13 mm) veya daha fazla uzakta olduğundan emin olun. Bu konum için MP değerinin bir kaydını yapın.

(d) Sensör referans standardındaki (yanık alanı yok) taban alanının çevresinde hareket ettirilirken 8 MP değeri ölçülene kadar bunu tekrar tekrar yapın. Bu MP değerlerini kaydedin.

(e) Ölçülen en düşük taban MP değerini belirleyin.

• B Değerini (Yanık 1'deki Ortalama MP Değeri) Bulun

(a) İncelenecek parça krom kaplamalıysa, uygun titanyum folyoyu(ları) referans standardındaki Yanık 1'e koyun. Parça boyalı veya kaplamalıysa, uygun plastik folyoyu(ları) referans standardındaki Yanık 1'e koyun. Parça çıplaksa, sensörün merkezini folyo olmadan Yanık 1'in merkez çizgisine koyun.

(b) Sensörün kutup parçalarının her zaman kalibrasyon sırasında olduğu gibi aynı yönde hizalandığından emin olun. Bu Yanık 1 konumu için MP değerini kaydedin.

(c) Burn 1 çevresi boyunca 19 konum daha kaydedin. Yanık 1'deki tüm 20 konum için MP değerlerini kaydedin.

(d) Yanık 1 alanının çevresindeki 20 ölçümün ortalama değerini hesaplayın.

• C Değerini (Parçadaki Muayene Alanındaki Minimum MP Değeri) Bulun

(a) Sensörü incelenen parçadaki muayene alanına yerleştirin. Sensörün kutup parçalarının doğru şekilde hizalandığından emin olun. Sensörün parçanın yüzeyine dik olduğundan emin olun. Parçadaki MP değerini kaydedin.

(b) Sensörü parçadaki muayene alanında en az 20 rastgele konuma taşıyın ve her konumda bulunan MP değerlerini kaydedin.

(c) Parçada bulunan en düşük MP değerini kaydedin.

• Değeri hesaplayın ($D = C/A$)

• D değeri 1,1'e eşit veya daha azsa, ayarlanmış eşik değerini $B + C - A$ 'ya eşit olacak şekilde hesaplayın.

• D değeri 1,1'den büyük ve 1,5'e eşit veya daha azsa, Reddetme Sınırını (ayarlanmış eşik değeri) $B + (0,1 \times A)$ 'ya eşit olacak şekilde hesaplayın.

• D değeri 1,5'ten fazlaysa, parça üzerinde inceleme yapmayın. Eşik kalibrasyonunu tekrar yapın ancak bu kez en düşük MP değerinin bulunduğundan emin olmak için sensörü parça üzerindeki inceleme alanında tutarak 30 ölçüm yapın.

(a) Yeni en düşük MP değerine sahip yeni $D = C/A$ hesaplaması 1,1'e eşit veya daha düşükse, ilgili adımda belirtildiği gibi Reddetme Sınırını (ayarlanmış eşik) hesaplayın ve bu inceleme prosedürüne devam edin.

(b) Yeni en düşük MP değerine sahip yeni $D = C/A$ hesaplaması 1,1'den fazla ve 1,5'e eşit veya daha düşükse, ilgili adımda belirtildiği gibi ayarlanmış eşik hesaplayın ve bu inceleme prosedürüne devam edin.

(c) D değeri tekrar 1,5'ten fazlaysa, parçayı incelemeyin, ancak Boeing Müşteri Hizmetleri'ne size yardımcı olmasını söyleyin.

ÖRNEKLER:

- D değerinin 1,1'e eşit veya daha az olduğu bir örnek aşağıdadır

$A = (\text{Referans standardındaki en düşük MP değeri}) = 10 \text{ MP}$

$C = (\text{Parçadaki en düşük MP değeri}) = 11 \text{ MP}$

$D = C/A$, dolayısıyla $D = 11/10 = 1,1$

$B = \text{Yanık 1'den Ortalama} = 25$

Bu nedenle, Reddetme Sınırı (ayarlanmış eşik) $B + C - A$ veya $25 + 11 - 10 = 26 \text{ MP'dir}$

- D değerinin 1,1'den fazla ve 1,5'e eşit veya daha az olduğu bir örnek aşağıdadır

$A = (\text{Referans standardındaki en düşük MP değeri}) = 10 \text{ MP}$

$C = (\text{Parçadaki en düşük MP değeri}) = 14 \text{ MP}$

$D = C/A$, dolayısıyla $D = 14/10 = 1,4$

$B = \text{Yanık 1'den Ortalama} = 25$

Bu nedenle, Reddetme Sınırı (ayarlanmış eşik) $B + (0,1 \times A)$ veya $25 + (0,1 \times 10) = 26 \text{ MP'dir}$

D değeri 1,5'ten fazlaysa bir örnek: $A = (\text{Referans standardındaki en düşük MP değeri}) = 10 \text{ MP}$

$C = (\text{Parçadaki en düşük MP değeri}) = 16 \text{ MP}$

$D = C/A$, dolayısıyla $D = 16/10 = 1,6$

B = Yanma 1'den Ortalama = 25

Bu örnekte, D değeri 1,5'ten fazladır. Dolayısıyla, parçada en düşük MP değerinin bulunduğundan emin olmak için yukarıdaki ilgili bölüm tekrar yapılmalıdır. D değeri tekrar 1,5'ten fazlaysa, incelemeyi yapmayın.

- Ayarlanmış eşik değerine eşit veya daha fazla olan manyetoelastik parametre (MP) değerleri olası ısı hasarı belirtileridir.

- Yüksek MP değerleri aşağıdaki koşullardan kaynaklanabilir:

- (1) Kötü krom taşıma

- (2) Hizmet içi yanık hasarı

- (3) Parçada yeterince saçma püskürtülmemiş alanlar

- (4) İnce kaplama alanları (krom, boya ve kaplamalar dahil)

Muayene Raporları incelenen tüm parçalar için NDT Raporu hazırlanmalı ve aşağıdaki verileri içermelidir;

- Muayene tarihi
- Muayene yeri
- Muayene alanı
- Muayene sonucu
- Referans tarihi ve revizyon numarası
- Parça numarası ve seri numarası
- Malzeme alaşımı
- Min ve maks krom veya boya kalınlığı
- Vpp ve frekans değeri
- Kullanılan Ekipman
- Uygulayan NDT teknisyeninin imza ve mühürü

Uyumsuz parçalar durumunda, kriterlere uymayan değerleri, konumlarını ve tespit edildikleri sırada kullanılan arka plan gürültü değerini ve tarama yönünü belirten bir muayene raporu hazırlanmalıdır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uçak üzerinde oluşabilecek yapısal hasarların başlangıç aşamasında tespiti oluşabilecek daha büyük yapısal hasarları engellemek açısından çok önemlidir. Bu kontroller zamanında tespit edilemediği takdirde çok kötü sonuçlara yol açabilecek daha büyük hasar ve kaza-kırımların engellenmesini sağlar.

Ana kontrol metodları girdap (eddy current) akımları muayenesi, ultrasonik muayene, X-Işınları ile muayene, manyetik parçacıklar ile muayene ve sıvı emilim (penetrant) muayenesi olmakla birlikte termografi metodu, barkhausen manyetik gürültü metodu da kullanım alanları bulabilmektedir.

Yüzey kontrol metodu olan girdap akımları yöntemi sıklıkla kullanım alanı bulabilmektedir. Metod yüzeye yakın hataların hassas bir şekilde tespitinde kullanılabilir. Mıknatıslanabilen malzemelerde başarı oranı düşmektedir.

Ultrasonik metot malzeme içinde veya ulaşılamayan yüzeylerinde hata arandığında kullanılabilecek bir yöntemdir. Değişik açılarda gönderilen ses dalgalarının geri dönüşüne göre kontrol gerçekleştirilir. Birleştirilmiş yapıların kontrolü ve bağlantı elemanı yuvası ve civarında hata aramakta etkilidir. Metot ile malzeme kalınlıkları belirlenebilir.

Sıvı penetrant kontrolü büyük parçaların kontrolünde kullanılabilir. Başka yöntemler ile bulunan çatlak bulgusunun teyit edilmesinde de kullanılabilir. Yöntemin artısı büyük yüzeylere uygulanabilmesi ve sahada uygulanabilmesidir. İşlem bekleme süresinin uzun olması metodun eksisidir.

Manyetik parçacıkla kontrol metodu mıknatıslanabilen malzemeler için kullanılabilir. Yöntemin artısı çok kısa sürede sonuç vermesi, eksisi mıknatıslanamayan malzemelerde uygulanamamasıdır.

X-Işınları metodu iç yapılardaki hasarların tespitinde kullanılmaktadır. Sistemin yüksek maliyetli olması ve kurulmasının zor ve zahmetli oluşu, insan sağlığına olan olumsuz etkileri bu yöntemin eksileridir. X- Işını metodu uygulanırken personelin sağlığı açısından dikkatli olunması ilgili önlemlere kesinlikle uyulması gerekir. Bu nedenle uçak üzeri uygulamaları hangarda çalışma olmayan zamanlarda ve genelde gece vardiyalarında gerekli güvenlik önlemleri alınarak uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada özellikle havacılık sektöründe nadir olarak kullanılan (sadece mıknatıslanabilen ferromanyetik malzemelere uygulanabildiğinden) barkhausen manyetik gürültü yöntemine de yer verilmiş ve ilgili NDT yönteminin hasarların belirlenmesinde önemli bir yere sahip olduğu gösterilmiştir.

Barkhausen etkisi, manyetik malzemeler üzerine dış manyetik alan uygulandığında, manyetik momentlerin hızlı bir şekilde değişmesi sonucu, kaydedilebilir ses (Barkhausen gürültüsü) ortaya çıkmasıdır. Malzemenin mikroskobik yapıdaki değişimini anlamakta kullanılır. Metal malzemelerin mikro yapılarındaki değişiklikler, özellikle yüzeydeki gerilme veya deformasyon, barkhausen gürültüsünde belirgin değişikliklere yol açar. Barkhausen metodu, metal işleme endüstrisinde kalite kontrolü ve malzeme hasarının erken tespiti için ve malzeme biliminde özellikle metal ve alaşımların kalitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır.

Bu yöntem, malzeme bilimi ve mühendislik alanlarında, özellikle kalite kontrol ve hasar tespiti gibi uygulamalarda kullanımı arttırılabilir. Barkhausen metodu malzeme içindeki termal gerilmeler ve stres gerilmeleri nedeniyle oluşan yapısal hasarları belirlemede etkili ve ekonomik bir yöntemdir.

Barkhausen metodunun kullanımı yeni teknolojilerin gelişimine açıktır. Özellikle nanoteknoloji ve yeni malzeme tipleri ile barkhausen etkisinin daha detaylı incelenmesi, üretim aşamalarında ve malzeme kontrolünde değerli katkılar sağlayacaktır.

Üniversite ve sektör arasında bilgi alışverişi havacılığımızın gelişimi için çok önemli olduğunu düşünüyorum. Bu tez sırasında destekleri için Prof.Dr. Ahmet Cihat BAYTAŞ, THY Teknik A.Ş Tahribatsız muayene (NDT) müdürü Ender KAVRAR, NDT yetkin mühendisi ve eğitmeni Ayberk YUSEN ve değerli NDT teknisyenlerine çok teşekkür ederim.

Uçuş emniyetinin arttırılması için yapılan tüm bakım çalışmalarında, tahribatsız kontrol yöntemleri değerli bir yere sahiptir. Tahribatsız muayene eğitimine gereken önemin verilmesi, mühendis ve teknisyenlerimizin eğitim ve staj konularında yer verilmesi havacılığımızın gelişimine büyük fayda sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Boeing 737 Non-Destructive Test Manual, (2021)

Fırtına, H. Stresstech X-ray-Diffraction ile kalıntı gerilme ölçümü. Erişim adresi: <https://bias.com.tr/storage/media/1569/stresstech-x-ray-diffraction-ile-kalinti-gerilme-olcumu-huseyin-firtina.pdf>

Kavrar, E. (2022). BARKHAUSEN NOISE LEVEL II, İstanbul

Kayrak, M. (2001). Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri, Eskişehir

Megep, (2012). (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), Uçaklarda Tahribatsız Muayene, Ankara

Onursal, M. (2010). Uçaklarda kullanılan metal malzemelere uygulanan tahribatsız muayeneler (Doctoral dissertation, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 40-43).

Shull, P. J. (2002). Nondestructive evaluation: theory, techniques, and applications. CRC press.

Yüßen, A., Fidan, S., Bora, M. Ö., & Ürgün, S., (2024). 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis with The Barkhausen Noise Method. 35NCD16 Low Alloy Steel Fiber Laser-Induced Burn Damage Analysis with The Barkhausen Noise Method (pp.334-348). Trabzon, Turkey

Yüßen, A., Fidan, S., Ürgün, S., & Bora, M. Ö., (2024). Enhanced Surface Analysis of Aviation-Grade 4330 Steel Processed with Fiber Laser: A Comparative Study Using Barkhausen Noise and Grayscale Image Histogram Methods. 2. International Blacksea Scientific Research and Innovation Congress (Pp.349-365). Trabzon, Turkey

Fırtına, H. Stresstech X-ray-Diffraction ile kalıntı gerilme ölçümü. Erişim adresi: <https://bias.com.tr/storage/media/1569/stresstech-x-ray-diffraction-ile-kalinti-gerilme-olcumu-huseyin-firtina.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Köseoğlu, Serkan
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uçak Mühendisliği Bölümü	2025
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Mühendisliği Bölümü	1995
Lise	Şile 50.Yıl Lisesi	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1995-2025	İstanbul Türkiye	Uçak Mühendisi, Proje Yöneticisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Parametrik eğri ve yüzeylerin temsili (Bitirme tezi)

- İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, 1995.

Hobiler Satranç, Müzik, Fotoğraf

