

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

127420

MAKİNE ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

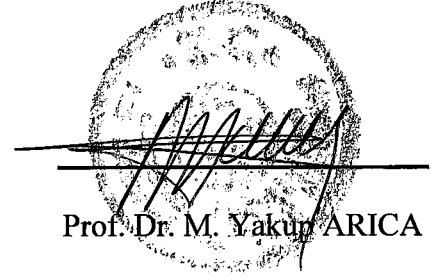
ISIL İŞLEM SONRASI OLUŞAN KALINTI GERİLMELERİN ULTRASONİK
MUAYENE YÖNTEMİYLE TESPİT EDİLMESİ

AZİZ BARIŞ BAŞYİĞİT

127420

HAZİRAN 2002

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.


Prof. Dr. M. Yakup ARICA
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Makine Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Veli ÇELİK
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.






Yrd. Doç. Dr. Necip CAMUŞCU
Danışman

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Necip CAMUŞCU

Yrd. Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Yrd. Doç. Dr. Şerafettin EREL

ÖZET

ISIL İŞLEM SONRASI OLUŞAN KALINTI GERİLMELERİN ULTRASONİK MUAYENE YÖNTEMİYLE TESPİT EDİLMESİ

BAŞYİĞİT, Aziz Barış

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Necip CAMUŞCU

Haziran 2002, 50 sayfa

Kalıntı gerilmeler; metalik yapı ve makine parçalarının imalatı sonrasında oluşarak malzemelerin yorulma mukavemeti, kullanım ömrü, boyutsal kararlılık, emniyet ve bunun gibi bir takım özelliklerini önemli derecede etkilemektedir.

Günümüz endüstrisinde giderek daha da önem kazanan kalıntı gerilmelerin tespiti bilim adamları için yeni bir araştırma sahası oluşturmaktadır. Bu konuda geniş kapsamlı çalışmalar halen devam etmektedir.

Kalıntı gerilmelerin tespiti için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, ekonomiklik, pratiklik ve incelenecek parçanın tahrip edilmemesi hususlarında avantaj sağlayan ultrasonik muayene yöntemi irdelenmiştir.

Aynı malzemedен (42CrMo4), 40x40x120 mm ebatlarında 15 adet test numunesi farklı koşullarda ısıл işleme tabi tutularak bünyelerinde farklı değerlerde kalıntı gerilmeler oluşturulmuş ve ultrasonik muayene yöntemiyle test edilmişlerdir. Kalıntı gerilmelerin artmasıyla ultrasonik ses dalgalarının hızındaki azalma, elde edilen test sonuçlarında görölmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kalıntı Gerilmeler, Ultrasonik Muayene, Isıl İşlem.



ABSTRACT

INVESTIGATION OF POST HEAT TREATMENT RESIDUAL STRESSES ON MATERIALS BY USING ULTRASONIC TESTING METHOD

BAŞYİĞİT, Aziz Barış

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department Of Mechanical, M .Sc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Necip CAMUŞCU

June 2002, 50 pages

Residual stresses severely affect the mechanical properties of materials such as; fatigue, strength, toughness, hardness and so on. These consequently affect service life and safety of materials.

Inspection of residual stresses on materials gradually gains greater importance and forms a new research field for scientists. Wide comprehensive studies on this subject are still going on today.

There are many methods for determining residual stresses. This study investigates the ultrasonic method which is economical, practical and non-destructive.

15 test specimens of dimensions 40x40x120 mm prepared from the same material (42CrMo4) were tempered at different temperatures after hardening in order to obtain different residual stresses which were then analyzed by ultrasonic method. The results show that as the residual stresses increase, the speed of ultrasonic waves decrease.

Key Words : Residual Stresses, Ultrasonic Testing, Heat Treatment.



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması aŐamasında sabır ile bana her türlü özveride bulunan danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Necip CAMUŞCU' ya, Yüksek Lisans çalıŐmalarım süresince beni motive eden kıymetli bölüm başkanımız, Sayın Prof. Dr. Veli ÇELİK'e, tüm teknolojik test ve ekipmanlar hususlarında büyük desteğini gördüğüm M.K.E.K ÇANSAŐ yönetimine ve Kalite Laboratuvarı çalıŐanlarına, ayrıca sürekli destek ve yardımlarını hissettiğim değerli aileme teşekkür ederim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

1.1. Çeşitli Sıcaklıklarda Gerilme Giderme Sonrası Zamanın Fonksiyonu	
Olarak Gerilme.....	16
1.2. Gerilme Giderme Durumunda Zaman Ve Sıcaklığın Etkisiyle	
Gerilmenin Değişmesi.....	17
2.1. Krautkramer USL 32 Ultrasonik Muayene Cihazı.....	21
2.2. Gönderici – Alıcı (T – R) Sistemi.....	23
2.3. Normal Probun Şematik Gösterimi	26
2.4. Açılı Probun Şematik Gösterimi.....	26
2.5. DIN 54122'ye Göre K ₂ Kalibrasyon Bloğu.....	28
2.6. DIN 54120'ye Göre K ₁ Kalibrasyon Bloğu.....	29
2.7. Yüzey Dalgaları.....	31
2.8. Plaka Dalgaları.....	32
2.9. Hatasız Parçadaki Ses Yankıları.....	34
2.10. Hatalı Bir Parçadaki Ses Yankıları	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

1.1. % 0.86 C'lu Alaşımız Çeliğın Sertleştirme Sıcaklığına Bağlı Olarak Elde Edilen Sertlik Değerleri	6
2.1. Bazı Malzemelerin Ses Hızları Ve Akustik Empedansları.....	33
3.1. Test Parçalarının Meneviş Sıcaklığına Bağlı Mukavemetleri.....	37
3.2. Yüzey Dalgaları Test Sonuçları.....	39
3.3. Boyuna Dalgalarla Yapılan Test Sonuçları.....	41

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Isıl İşlemler ve Malzemelerdeki Kalıntı Gerilmeler.....	1
1.2. Metallerin Deformasyonu.....	3
1.2.1. Metallerin Elastik Ve Plastik Şekil Değiştirilmesi.....	3
1.2.2. Sertleştirme İşlemi.....	4
1.2.3. Tavlama Yöntemleri.....	8
1.2.3.1 Normalizasyon.....	8
1.2.3.2 Yumuşak Tavlama.....	9
1.2.3.3 Yeniden Kristalleşme Tavlaması.....	9
1.2.3.4. Difüzyon Tavlaması.....	10
1.2.3.5. Kaba Tane Tavlaması.....	10
1.2.3.6. Hidrojen Tavlaması.....	11
1.2.3.7. Gerilme Giderme Tavlaması.....	11
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
2.1. Kalıntı Gerilmelerin Tesbiti İçin Kullanılan Yöntemler.....	19
2.1.1. Tahribatlı Yöntemler.....	19

2.1.1.1 X-Işınları Yöntemi.....	19
2.1.1.2 Hole – Drilling Yöntemi.....	20
2.1.2. Tahribatsız Yöntemler.....	20
2.1.2.1. Barkhausen Gürültü Yöntemi.....	20
2.1.2.2. Ultrasonik Muayene Yöntemi.....	20
2.1.2.2.1. Ultrasonik Muayene Yöntemi Genel Prensipleri.....	21
2.1.2.2.2. Ultrasonik Ses Dalgalarının Üretimi	24
2.1.2.2.3. Piezoelektrik Etki.....	24
2.1.2.2.4. Magnetostriktif Etki.....	24
2.1.2.2.5. Ultrasonik Prop Kristal Malzemeleri.....	25
2.1.2.2.6. Propların Yapısı ve Prop Çeşitleri.....	25
2.1.2.2.7. Ultrasonik Muayene Cihazı Kalibrasyonu.....	27
2.1.2.2.8. Ses Dalgaları ve Sınıflandırılması.....	29
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	35
3.1. Giriş.....	35
3.2. Test Parçalarına Yapılan İşlemler.....	36
3.2.1. Parçaların Normalizasyonu.....	36
3.2.2. Parçaların Sertleştirilmesi İşlemi.....	36
3.2.3. Parçaların Boyuna ve Yüzey Dalgalarıyla Test Edilmesi.....	37
4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	43
KAYNAKLAR.....	45
EKLER.....	46

1. GİRİŞ

1.1 Isıl İşlemler ve Malzemelerdeki Kalıntı Gerilmeler

Çeşitli konstrüksiyonlar ve makine parçalarında kullanılmakta olan çelik malzemeler, ısıl işleme tabi tutulduktan sonra eğer işlem sıcaklığı, çelikler için kabul edilen kritik sıcaklıktan (723 C°) daha yüksek ise yapı değişimi meydana gelecektir. Yapı değişiminden kasıt; mühendislik malzemelerinin çoğunda görülen atom diziminde üç boyutlu tekrarlanabilen bir atom düzeninin dönüşümüdür. Bu yapıya *kristal* adı verilmektedir.

Metaller aynı veya benzer tür atomlar içerdiklerinden, kolaylıkla birbirlerine uyarak düzenli yapıya sahip olurlar, bu nedenle metallerin tümü kristal yapıdadır. Çelik, diğer metalik malzemeler gibi kristalik yapıdadır. Atomlar gelişigüzel değil belirli bir tekrarlı düzende birarada bulunmaktadır. Metalik atomların yapmış oldukları bağ türlerine göre oluşturdukları kristal yapıları farklılık göstermektedir. Kar kristali bu duruma en iyi örnektir. Bazı kıymetli taşlar, kuvars (SiO_2) ve sofratuzunda da (NaCl) görülmekte olan bu durum iç yapının atom dizilimi hakkında bilgi vermektedir.

Atomların dizilimi yedi ana kristal tipi şeklinde oluşmaktadır. Bunlar:

- a) Kübik
- b) Tetragonal
- c) Ortorombik
- d) Monoklinik
- e) Triklirik

f) Hekzagonal

g) Rombohedral'dir.

Bu 7 farklı kristal yapı, aşağıda sıralanan faktörlere göre oluşabilmektedir:

- Atomsal ağırlık,
- Atom ve iyon yarıçapı,
- Atomlar arası uzaklık,
- Alaşım elementlerinin türü ve buna bağlı olarak oluşabilecek bağ yapısı,
- Atomların özgül ağırlığı (yoğunluk),
- Atomsal dolgu faktörü (Kristal yapıyı meydana getirecek atomların yapıyı

doldurma oranı)

Seramik ve polimerler çok farklı tür ve büyüklükte atomlar içerdiklerinden bunların uyum sağlayarak kristal yapı oluşturma olanakları oldukça kısıtlıdır, dolayısıyla seramiklerin bazıları polimerlerin pek azı kısmen bu yapıya sahip olabilir. Atomların belirli bir düzende değil de rastgele dizilmeleri neticesinde amorf yapı meydana gelmektedir. Bu amorf (şekilsiz) malzemeler içinde gazları, sıvıları ve camları sayabiliriz. Bunlardan gazlar ve sıvılar mühendislikte çok önemlidirler, çünkü enerji kaynağı olan yakıtlarımızın çoğu bu gruptandır. Üç kristalsiz malzemedden sonuncusu olan camın diğer bir ismi de katı sıvıdır. Bir başka deyişle aşırı soğumuş sıvılar olarak da değerlendirilebilir.

1.2 Metallerin Deformasyonu

1.2.1 Metallerin Elastik ve Plastik Şekil Değiştirmesi

Bir metale veya kristal yapıdaki herhangi bir malzemeye küçük bir kuvvet uygulandığında elastik şekil değiştirme meydana gelmektedir. Bu noktada uygulanan kuvvet ortadan kaldırıldığında malzeme eski haline dönecektir. Tüm metalik malzemelerde, metalin eski haline dönmesi ancak belirli bir gerilme değerine kadar olabilecektir ki her malzeme için bu üst sınır sabit bir değerdedir. Bu sınıra *akma mukavemeti* (σ_y), bu ana kadar gerçekteşen deformasyonlara da *elastik şekil değiştirmeler* adı verilmektedir. Bu noktanın üzerinde malzemeye uygulanacak olan tüm gerilimler ortadan kaldırılrsa bile malzemede *kalıcı deformasyon (plastik şekil değiştirme)* meydana gelecektir. Akma sınırını belirleyen en önemli etken; malzemenin atomları arasındaki bağ kuvvetleridir. Metalik malzemelerin geniş sınırlar içerisinde değiştirilebilen özellikleri, esas olarak yapı durumlarına bağlıdır. Bu yapıların düzenlenmesi malzemelerin ısığ işleme ve alaşım elementlerinin yapı içerisindeki dağılımlarına bağlıdır⁽¹⁾.

Makine elemanlarının malzemelerine, kullanım yerlerindeki optimum performanslarını sağlamak maksatıyla mühendisler tarafından hesaplanan uygun mukavemet değerlerini elde etmek için çeşitli ısığ işlemler uygulanmaktadır. Isıl işlemler; esas itibarıyla sıcaklık ve süre değişiminden ibarettir. Diğer bir ifadeyle, iş parçasının fırın içerisinde belirli bir sıcaklığa getirilip, bir süre tutulması ve uygun bir hızda soğutulması işlemdir. Uygulanacak ısığ işlemler malzeme gruplarının karakteristik özellikleridir. Her malzeme grubunun ısığ işlemler yöntemleri farklıdır. Bu farklılığı belirleyen faktörler, malzemelerin türleri ve kimyasal içerikleridir.

Ayrıca, aynı grup içerisinde bulunan malzemelerin arzu edilen yapı durumunu ve mukavemet değerlerini elde etmek üzere uygulanması gereken ısı işlem parametreleri farklılık arz etmektedir.

Çeliklerde iç yapıyı düzenlemek, taneleri inceltmek ya da kabalaştırmak, tane ve/veya bileşim homojenliği sağlamak, yapıyı yumuşatmak, iç gerilmeleri azaltmak gibi özellik değiştirme amacıyla uygulanan ısı işlemlere genel olarak *tavlama* adı verilmektedir. Her ne kadar sertleştirme işlemlerinde de iç yapının yeniden düzenlenmesi söz konusu ise de, ana amaç tüm hacimde yada yüzeysel olarak mukavemet artırımı olduğundan sertleştirme işlemi tavlama ile ayrı tutulmaktadır⁽²⁾.

1.2.2 Sertleştirme İşlemi

Çeliğe uygulanan ısı işlem sırasındaki sıcaklık konumuna ve soğutma koşullarına göre çelik, farklı kristal yapılarına sahip olmaktadır. Ferrit, perlit, östenit ve martenzit bunlardan en önemlileridir. Sertleştirilmesi istenen bir çelik muhakkak ait olduğu malzeme grubundaki ısı işlem şartlarına göre östenitik hale getirilmeli ve ani olarak soğutulmalıdır. Çeliğin en yumuşak hali olan ferritik yapının sertliği ortalama olarak 80-90 HV civarındadır. Nedeni; çeliğe, sertleştirme işlemleri sonucunda mukavemet kazandıran en önemli alaşım elementi karbondur ve demir içerisinde 723 C°`de en çok ağırlıkça % 0.02 C atomu çözünebilmektedir. Çünkü bu sıcaklıkta (723 C°), Fe atomlarının kristal yapısı ancak bu miktarda C atomunu içersine alabilmektedir.

Martenzitik yapı çeliğin arzu edilen en sert yapısıdır ve çeliğin soğutulma hızı ne denli yüksekse o kadar çok miktarda martenzit elde edilmekte ve netice olarak sertlik o oranda yüksek olmaktadır.

Isıl işlemle çeliğin sertleştirilmesi daha çok martenzitik yapı teşekkül ettirerek dönüşüm sertleştirilmesi yöntemiyle, ayrıca yakın zamanlarda büyük gelişme göstermiş olan sert partiküllerin çökeltilmesi (çökeltme sertleştirilmesi) ile yapılmaktadır. Çökeltme sertleştirilmesi; katı eriyik oluşturarak yaşlandırma yapılmasından ibarettir ancak pratik olmaması ve sadece düşük karbonlu alaşımsız çeliklere uygulanabilirliği yöntemi sınırlamaktadır.

Bir çeliğin dönüşümle sertleştirilmesinde ilk aşama, çeliğin gerekli sıcaklığa kadar ısıtılması ve *östenitleştirme sıcaklığı* adı verilen bu sıcaklıkta, arzu edilen yapı değişikliğine erişinceye kadar bekletilmesinden ibarettir. Isıtma işlemi, bünyeyi karbürize, dekarbürize ya da okside etmeyecek şekilde ayarlı bir hidrokarbon atmosferde yahut tuz banyosu içerisinde gerçekleştirilir. Isıtma sıcaklığının yeterli homojenlikteki bir östenitik yapı elde etmeyi ve mevcut özel karbürlerin gereken kadarının çözülmesini sağlayacak, fakat tane büyümesine imkan vermeyecek düzeyde olması zorunludur.

Tüm çeliklerin östenite dönüşüm sıcaklığı aynı değildir ve başta karbon olmak üzere alaşım elementlerinin tür ve miktarına bağlıdır. Örnek olarak % 0.86 C içeren alaşımsız bir çelikte östenitleştirme sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri Çizelge 1.1' de verilmiştir.

Çizelge 1.1 % 0.86 C'lu Alaşimsız Çeliğin Sertleştirme Sıcaklığına Bağlı Olarak Elde Edilen Sertlik Değerleri.

Sertleştirme Sıcaklığı (C°)	750	800	850	900	950	1000	1100	1200
Vickers Sertliği (HV)	740	790	810	800	750	650	425	320

Östenitleme sıcaklığı arttıkça genel olarak arzu edilmeyen kaba taneli yapı sorunu ortaya çıkmaktadır. Kaba taneli yapı sert olmasına rağmen aşırı gevrek ve kullanım ömrü azdır. Gereğinden daha düşük bir östenitleme sıcaklığı ise yetersiz sertlik problemi meydana getirecektir.

Sertleştirilmiş bir çelik malzeme, bünyesinde çok miktarda kalıntı gerilme ihtiva edeceğinden, muhakkak gerilimlerin çok düşük seviyelere inmesini sağlayan menevişleme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Parçalar 100-670 C° arasında arzu edilen mukavemet değerini yitirmeyecek şekilde uygun sıcaklıkta menevişlenmelidir. Ancak martenzit miktarındaki azalma dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, sertleştirme esnasında olduğu gibi, menevişleme esnasında da kristal yapısında önemli değişimler olmaktadır. Östenitte çözülmüş karbon, ani soğutma sonucunda kafesi terk edemez ve martenzitik yapı içerisinde sıkışmış olarak kalır. Menevişleme esnasında, ısıtma ile martenzit içerisindeki karbona hareketlilik kazandırılır ve martenzitin aşırı doymuş olan yapısından karbür olarak ayrışır.

Ayrıca, sertleştirme işleminde teşekkül eden kalıntı östenit de matris yapıda çözülmüş alaşım elementleriyle birlikte karbür ayrışmasına katkıda bulunur ve martenzit parçalanır.

Bir çeliğin menevişlenmesi esnasında mekanik özelliklerdeki değişimler, kısmen iç gerilmelerin azalması kısmen de mikroyapıda meydana gelen olayların sonucudur. Bu özellikler, menevişleme sıcaklığıyla ayarlanabilmektedir, aynı zamanda karbon ve alaşım elementleri miktarı, meneviş sıcaklığında bekleme süresi ve başlangıçtaki yapının karakteri gibi birçok faktör rol oynamaktadır. Değişimler genel olarak, meneviş sıcaklığına gelindiğinde daha hızlı, bekleme esnasında ise yavaş seyreder.

Sertleştirilmiş çelikler menevişlendiğinde, çekme dayanımı ve akma sınırı düşük meneviş sıcaklıklarında pek az artma gösterebilir ancak artan meneviş sıcaklıklarında, sertlikte olduğu gibi devamlı düşme gösterirler. Buna karşın malzemenin şekil değiştirebilirlik karakteristikleri olan kopma uzaması, kesit daralması ve çentik darbe dayanımı, meneviş sıcaklığı arttıkça artar.

Menevişleme, sertleştirmenin hemen ardından yapılmalıdır. Sertleştirilmiş parçalar çok büyük kalıntı gerilmelere sahip olduklarından, küçük darbeler kolayca çatlamaya sebep olabilir. En iyi uygulama, parçalar elle tutulabilecek sıcaklığa (50-60 C°) geldiğinde meneviş fırınına veya banyosuna alınmasıdır. Çatlamaya karşı hassas olan parçalar, soğuk fırına koyulmalı ve fırın parçalarla birlikte ısıtılmalıdır.

Meneviş süresi çok kısa seçilmemelidir. İşlem difüzyon olayları ile gerçekleştiğinden belirli bir süreye ihtiyaç vardır. Meneviş süresi, sertleştirmedeki bekleme süresinden daha kısa seçilmemelidir. Homojen kesitli küçük parçalarda,

daha yüksek sıcaklıklarda kısa süreli meneviş uygulanabilir ki bu yöntem *şok meneviş* olarak adlandırılmaktadır.

1.2.3 Tavlama Yöntemleri

1.2.3.1 Normalizasyon

Normal tavlama adı da verilen bu yöntemde temel amaç, çeliğin tane yapısını inceltmek ve homojen bir yapı sağlayarak daha sonra uygulanabilecek çeşitli ısı işlemlerdeki üniform östenitten emin olmaktır. Bunun için çelik östenitlendikten sonra sakin havada kendi kendine soğutulur. Normal tavllanmış çeliklerin kaynak edilebilirliği daha iyi duruma gelmektedir. Ayrıca normalize edilmiş çeliklerin tane kabalaşması ortadan kaldırılmış olduğundan, gevrek kırılma ve daha sonraki ısı işlemlerde çatlama riski de engellenmiş olmaktadır. Bütün bu olumlu özelliklere ilaveten ince tane oluşumu neticesinde talaşlı şekillenecek parçalarda işlemede kolaylık hissedilecektir.

Normal tavlama daha çok, yarı mamullerde ve yüksek sıcaklıkta dövülmüş, haddelenmiş ya da kaynak dikişinin çevresi gibi bölgesel farklı ısı etkisi altında kalmış parçalarda veya çelik döküm gibi malzemelerde uygulanmaktadır. Düşük karbonlu çeliklerde, normal tavlama ile, kristal segregasyonlarının sebep olduğu kusurlu yapı kısmen giderilebilmektedir. Tamamen giderilebilmesi ancak difüzyon tavlama ile mümkündür.

1.2.3.2 Yumuşak Tavlama

Yumuşak tavlama ile yüksek karbonlu çeliklerde talaşlı şekillendirmede kolaylık sağlanmaktadır. Ancak düşük karbonlu çeliklerde bu durum tersinedir. Çünkü yumuşak tavlama ile çelik malzemenin sertliği önemli ölçüde azalmakta olup zaten sertleşebilirliği az olan düşük karbonlu çeliğe yumuşatma tavlama uygulanacak olursa işleme esnasında malzeme aşırı sünekliğinden ötürü takıma sıvanacaktır.

1.2.3.3 Yeniden Kristalleşme Tavlaması

Kuvvetli soğuk şekillendirme sonrasında, aşırı mukavemet artışını gidermek ve ince taneli bir yapı elde etmek amacıyla uygulanmaktadır. Demir dışı malzemeler için kaba taneli yapıyı ince taneli yapıya dönüştürmek için tek yol bu tavlama yöntemidir. Buna karşın çeliklerde fazla soğuk mukavemetleşmeyi gidermek ve ince taneli yapı için ayrıca normal tavlama yapılmaktadır. Ancak normal tavlama sıcaklığının yeniden kristalleşme tavlamasına göre yüksek olması, dolayısıyla enerji maliyetinin yüksekliği, fırında aşınmanın fazlalığı ve tufallaşma kayıplarından dolayı yeniden kristalleşme (rekristalizasyon) tavlaması da uygulanabilmektedir. Yeniden kristalleşme tavlamasını sınırlayan bazı faktörler vardır, bunlar:

- Kritik şekil değiştirme derecesinin altında şekillendirilmiş parçalarda rekristalizasyon tavlaması uygulandığında ince taneli yapı değil aksine kaba taneli yapı meydana gelir. Bu tür parçalara ayrıca toparlanma tavlaması uygulanmalıdır.
- Derin çekilmiş parçalar gibi homojen şekillendirilmemiş parçalar için yeniden kristalleşme tavlaması koşullarının saptanması oldukça zordur.

- Parçanın bir bölümünde kritik şekil değiştirme altında kalınmışsa, parçalara rekristalizasyon sıcaklık bölgesi hızlı geçilecek şekilde normal tavlama uygulanması zorunludur.

- Rekristalizasyon tavlama, demir esaslı malzemeler için daha çok, karbonu düşük çelikten yapılmış saclara uygulanır.

1.2.3.4 Difüzyon Tavlama

Katılarda meydana gelen bileşim farklılıklarının (primer çökelmeler ya da katı çözümlü segregasyonlarında) dengelenmesi amaçlanır. Bunun için malzemelerin 1000 ile 1200 C° gibi katılma hattına yakın sıcaklıklarda uzun süre tavlama gerekir. Ancak söz konusu yüksek sıcaklıktan dolayı çok fazla tane kabalaşmasında kaçınılmazdır. Bunun giderilmesi için malzemelerin difüzyon tavlamasından sonra sıcak şekillendirilmesi ya da normal tavlama gerekmektedir.

1.2.3.5 Kaba Tane Tavlama

Özellikle % 0.2'den daha fazla karbon içeren sementasyon çeliklerinde talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek amacıyla yapılır. Bu tavlamanın uygulanması büyük ölçüde normal tavlama benzer ancak kaba tane elde etmek için östenitleştirme sıcaklığı daha yüksek olarak 950 C° ile 1100 C° arasında seçilir ve $\gamma \Rightarrow \alpha$ dönüşüm sahasında soğuma çok yavaş yapılır. Tavlama sonrasında kaba yapı tanelerin oluşması ile çeliğin plastik şekil değiştirilebilirliği çok azalır, ancak talaşlı şekillendirmede kırılma talaş elde edildiğinden dolayı işlenebilirlik özelliği artar.

1.2.3.6 Hidrojen Tavlama

Sıvı çelikte erimiş olarak bulunan hidrojen, çeliğin sıcak işlem sonrası soğutulması sonucu *fleyk* adı verilen iç çatlaklara neden olur. Böyle bir çelik 600-650 C° arasında birkaç gün ısıtılır ve bunu takiben yavaş soğutulursa, hidrojen miktarı azaltılabilir ve dolayısıyla iç çatlakların oluşum tehlikesi ortadan kalkmış olur.

1.2.3.7 Gerilme Giderme Tavlama

Kalıntı gerilmeler; metalik yapı ve makine parçalarının imalatı sonrasında oluşarak malzemelerin yorulma mukavemeti, kullanım ömrü, boyutsal kararlılık, emniyet ve bunun gibi bir takım özelliklerini önemli derecede etkilemektedir.

Kalıntı gerilmeler çeşitli talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri neticesinde oluşabilmektedir. Bu duruma örnek olarak; bazı termo-mekanik işlemler, malzemeye uygun kesici uç kullanılmaması, gereğinden fazla devir, talaş derinliği ve ilerleme hızı uygulanması verilebilir. Metalik malzemelerin sertleştirilmesi ve çeşitli yüzey işlemleri sonrasında kalıntı gerilmeler çok yüksek seviyelere çıkabilmektedirler.

Bir çok imalat prosesinde kalıntı gerilmelerin oluşumu kaçınılmazdır. Örnek olarak;

- Döküm
- Dövme
- Kaynak
- Haddeme
- Ekstrüzyon

- Elektro-erozyon
- Lazer ile imalat
- Kimyasal ve termo-kimyasal işlemler (CVD, PVD, Nitrasyon, Karbürizasyon vb.) verilebilir.

Kalıntı gerilmeler; makro ve mikro kalıntı gerilmeler olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Makro kalıntı gerilmeler malzemenin tüm kesitinde değil yalnızca bir kısmında bulunmakta olup birkaç tane tarafından teşkil edilmektedir. Mikro kalıntı gerilmeler ise malzemenin birçok taneleri tarafından teşkil edilmekte olup taneler arası bağlantılarını derinden etkilemektedir. Bu gerilmeler çekme veya basma konumunda olmaktadır. Isıl işlem veya dövme, haddeme gibi bazı termomekanik işlemler sonrasında iş parçaları soğumaya terkedildiğinde soğuma hızına bağlı olarak parçanın en dış kısmı çekirdek kısmına nazaran daha hızlı ısı kaybedeceğinden, çekirdek ile yüzey arasındaki bu sıcaklık farkı parçada büyük miktarda kalıntı gerilmeler oluşturacaktır. Parçanın yüzeyi ısı kaybından dolayı boyut kısaltma isteğinde iken, çekirdek kısmı daha yavaş soğumadan mütevellit daha az boyut kısaltma isteğinde olacaktır. Bir başka deyişle, çekirdek bölgesi yüzeye basma gerilmesi uygularken, yüzey bölgesi de çekirdeğe çekme gerilmesi uygulayacaktır. Netice itibarıyla, bu gerilme farkı parçada büyük miktarda kalıntı gerilmesi oluşturacaktır.

Bu noktada; haddelenmekte olan bir yapı çeliği ele alındığında, kesit daraltma hızı (plastik deformasyon oranı) arttıkça termo-mekanik işlem sonucu malzemede oluşacak kalıntı gerilmelerin yoğunluğu da o oranda artacaktır. Haddeme işlemi sonuçlandığında malzemenin iç (çekirdek) kısmı basma; yüzey (dış) kısmı ise çekme konumunda olan kalıntı gerilmeler ile yoğunlaşmış olacaktır.

Bu kalıntı gerilmelerin miktarı kesit daraltma hızının yanı sıra haddeleme sıcaklığına da doğrudan bağlıdır. Ayrıca haddeleme sıcaklığına getirilmekte olan malzemenin sıcaklık artış ve azalışının gereğinden hızlı yapılması, homojen olmayan ısıtma ve soğutma sonrası kalıntı gerilmelerinin miktarında çok önemli artış olmaktadır.

Kalıntı gerilmeyi oluşturan bazı faktörlerden kaçınmak olanaksızdır. Yapılması gereken; bu gerilmelerden malzemeyi mümkün olduğunca arındırmaktır.

Parçalarda mevcut olan iç gerilmeleri azaltarak sorun yaratmayacak seviyeye indirmek veya tamamen yok etmek için gerilme giderme tavlaması yapılmaktadır. İç gerilmeler, cidar ve çekirdek arasındaki sıcaklık farkından dolayı hızlı soğuma (soğutma gerilmeleri), martenzit dönüşümünde hacim artmasıyla sertleştirme (dönüşüm gerilmeleri), doğrultma ve bükme gibi plastik şekil verme, kaynakta ve ince yüzey tabakalarında talaşlı şekillendirme sonrası çok değişik nedenlerle meydana gelebilir. İç gerilmeler çeliğin işlenebilmesini oldukça zorlaştırırlar. Buna ilave olarak, işleme veya plastik deformasyon sonrası uygulanacak ısıtma işlemi sırasında çeliğin distorsiyonuna neden olurlar. Dolayısıyla bu gerilmelerin giderilmeleri gereklidir.^(1,2)

Gerilme giderme tavlamasında iç gerilmeler sürünme olaylarıyla azaltılır. Önceden yapılmış plastik şekillenmeye bağlı olarak uygulanan rekristalizasyon tavlamasına karşıt olarak, bu tavlama yapı değişimi söz konusu değildir.

Gerilme giderme tavlamasında sıcaklık en yüksek kullanım sıcaklığının üzerinde fakat özellik değişmelerinin rastlandığı sıcaklığında altında seçilmelidir.

Örneğin, martenzitik yapı elde edilecek tarzda sertleştirilmiş parçalarda 100 C° sıcaklığa ısıtmada, sertlikte dikkate değer bir düşme olmaksızın iç gerilmelerde

önemli ölçüde azalma meydana gelir. Martenzitik yapı eldesiyle oluşan kalıntı gerilmelerin temelinde kristal yapı distorsiyonu yatmaktadır. Isıl işlem prosesi ile büyük miktarda enerji alan kristal yapıyı oluşturan tüm atomlar titreşmeye başlarlar. Martenzitik yapı teşekkül ettirmek üzere hızla ısı enerjisi alınan (su verilen) atomlar titreşmekte iken ani olarak buldukları yerlerde kalıverirler. Bu durumda bir kristal hücresinin alabileceği maksimum atom sayısından çok fazla yahut oldukça az miktarda atom yeni hatalı kristal yapıyı oluşturabilir. Bütün malzeme boyunca bu duruma oldukça sık rastlanır. Netice olarak parçaya, sertleştirme işleminin hemen akabinde gerilme giderme veya menevişleme işlemi uygulanır ve sıkışan atomların eski rahat konumlarına dönmeleri sağlanır. Gerilme giderme, 1-2 saat arasında uygulanan bir tavlama değildir.

Gerilme giderme tavlamasının uygulandığı sıcaklık, çeliklerin bileşimlerine göre değişmektedir. Sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler için 550-650 C°, sıcak iş ve yüksek hız çelikleri için 600-750 C° dir. Gerilme giderme tavlaması, herhangi bir faz dönüşümü oluşturmaz, ancak yeniden kristalleşmeye sebep olabilir.

Soğuma esnasında termal gerilmelerin oluşumundan kaçınmanın en pratik yolu, parçaları fırın içerisinde 500 C°'ye kadar yavaşça soğutmak ve akabinde bunları fırından çıkararak havada soğutmaktır.

Kalıntı gerilmelerden arınmış olmaları arzu edilen oldukça büyük takımların veya makine parçalarının gerilme giderme işlemlerinde, soğuma hızının başlangıçta çok yavaş, örneğin saatte birkaç derece olması gereklidir. Sıcaklık düştükçe soğuma hızı artabilir, ancak bu artış 300 C°'ye ulaşmaya kadar gerçekleşmemelidir. Bu sıcaklıktan nihai soğumanın havada yapılması tavsiye edilir. Çeliğin en yüksek sıcaklığındaki halinde yavaş bir başlangıç soğutmasının tavsiye edilmesinin nedeni

şu şekilde izah edilebilir: Çelik, gerilme giderme tavlamasının en yüksek sıcaklığında bulunduğu zaman, çeliğin akma noktası düşüktür. Eğer çeliğin bu halinde yüzeyi ile merkezi arasında çok büyük bir sıcaklık farkı var ise, oluşacak termal gerilmelerden ötürü şekil değiştirmesi söz konusu olabilir. Termal gerilmeler çelikte böyle bir sürekli deformasyona neden olurlarsa çelik oda sıcaklığına soğuduğunda yeni gerilmelerin çeliğin bünyesinde kalması söz konusudur.

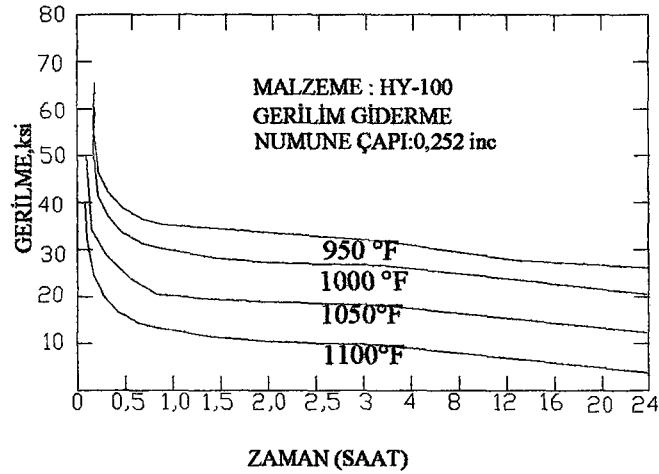
Sertleştirilmiş ve temperlenmiş çeliklerin normal temperleme sıcaklığının 25 C° altındaki bir sıcaklıkta, gerilme giderme tavlaması yapılır. Isıl işlem uygulanacak takımlar ve makine parçalarında, gerilme gidermeden ileri gelecek herhangi bir bükülme veya eğilmeyi telafi edebilecek oranda işleme toleransı bırakılmalıdır. Hızlı soğutma sonucu dahili gerilmelerin oluşmasının veya çok şiddetli yük altında düzeltilmelerinin söz konusu olduğu durumlarda, dövmeyle şekil verilmiş parçalar da gerilme giderme işlemine tabi tutulurlar. Bazı hallerde, örneğin alaşımlı çelikten dökülmüş ve kaynak edilmiş parçalar için normalizasyon sonrası gerilme giderme işlemi şart koşulur.

Dahili gerilmelerin mümkün olduğu kadar fazla giderilmesi istenirse, tavlama işlemi yukarıda belirtilen uygun tavlama sıcaklık aralığının üst sınırına yakın bir sıcaklıkta uygulanmalıdır. Maalesef bu durum her zaman uygulanmamaktadır. Nedeni, yüksek sıcaklığın kabul edilmeyecek oranda çok fazla yüzey oksidasyonu ve aynı zamanda sertleştirilmiş ve temperlenmiş çelikte çok fazla yumuşama meydana getirmesidir. Böyle hallerde daha düşük bir gerilme giderme sıcaklığı seçilmelidir. Bu sıcaklık oksidasyonsuz yüzey için mümkün mertebe yüksek olabilir ancak bu durumda bir miktar kalıntı gerilmelerin varlığı kabul edilmelidir.

Rosen Stein⁽³⁾, gerilme giderme işleminin etkinliğini saptayacak bir yöntem ileri sürmüştür. Bu yöntemde, akma noktaları 25kg/mm² den 125kg/mm² ye kadar değişen 13 farklı çelik numuneye 482 C° ile 593 C° arasında 24 saate kadar olan sürelerde gerilme giderme işlemi uygulanmıştır. Numuneler önce sürünme deney cihazına konmuşlar ve deney sıcaklığına ısıtıldıktan sonra, ilgili sıcaklıkta takriben akma noktalarına kadar yüklenmişlerdir. Deney sıcaklığında, gerilimler adım adım giderildiğinden, makine otomatik olarak yükünü azaltmış ve bu nedenle geyç (gauge) boyu sabit kalmıştır. Elde edilen diyagramın türü Şekil 1.1’de gösterilmektedir.

Bu şekildeki eğriler Bofors HY-100 çeliğine ait olup bileşimi aşağıda verilmektedir.

<u>%C</u>	<u>%Cr</u>	<u>%Ni</u>	<u>%Mo</u>
0.18	1.65	2.91	0.42

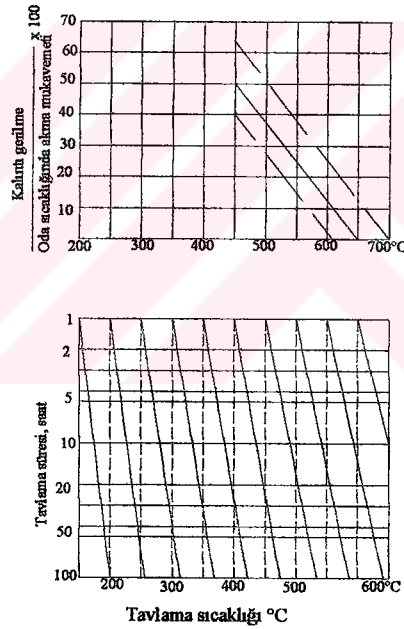


Şekil 1.1. Çeşitli Sıcaklıklarda Gerilme Giderme Sonrası Zamanın Fonksiyonu

Olarak Gerilme⁽³⁾

Numuneler 74kg/mm^2 lik bir akma mukavemeti sağlayacak şekilde sertleştirilmiş ve 620 C° de temperlenmişlerdir. Şekil 1.1'e göre gerilme giderme işleminin ilk saatlerinde gerilme giderme çok hızlı meydana gelmekte ve sonra çok yavaşlamaktadır.

Rosen Stein, bu ilişkinin gerilme giderme tavlama için de uygulanabileceğini ileri sürmüştür. Şekil 1.2'de görüleceği üzere, diyagram tekrar oluşturulmuş, zaman ve sıcaklığın karşılıklı bağıllığını gösteren yeni bir tür temperleme diyagramı ile birleştirilmiştir. Çünkü bu tür bir diyagramın açıklanması daha kolaydır.



Şekil 1.2. Gerilme Giderme Durumunda Zaman ve Sıcaklığın Etkisiyle Gerilmenin Değişmesi ⁽³⁾

Diyagramdaki ortalama eğrisine göre, 450 C° de 1 saat tavlama ile, gerilmelerin sadece % 50'si giderilmektedir. Gerilmeleri tamamen gidermek için malzemenin, örneğin 650 C° de 1 saat veya 600 C° de 1,5 saat süreyle tavlama yapılması gereklidir. Rosen Stein'in sonuçları Bofors işletmelerinde gerilme giderme öncesi ve sonrası gerilme ölçümleriyle uyum içerisinde bulunmaktadır. Sertleştirmeyi takiben gerilme giderme işlemi veya temperleme uygulandığında martenzitin ayrışmasının sağlanması koşuluyla, çeliği düşük bir sıcaklığa ısıtmakla, büyük miktarda gerilme gidermek mümkündür. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş çelik, gerilme giderme işlemine tabi tutulduğunda, gerilme giderme diyagramının söz konusu çeliğin temperleme diyagramı ile birleştirilmesi gerekir. Çünkü her iki diyagram zaman ve sıcaklığın birer fonksiyonlarıdır. Bu yolla, sertliği tehlikeye sokmadan, uygulanacak gerilme giderme tavlama için zaman ve sıcaklığın optimize edilmesi mümkün olmaktadır⁽³⁾.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Kalıntı Gerilmelerin Tespiti İçin Kullanılan Yöntemler

Bu yöntemler iki ana başlık altında değerlendirilmektedir. Aşağıda sıralanan yöntemler arasından hangisinin kullanılması hususunda aşağıdaki faktörler detaylıca değerlendirilmelidir.

- Ekonomiklik
- Pratiklik
- Sonuçlardaki kararlılık
- İncelenecek parçanın kısmen veya tamamen test edilmesi
- İnceleme süresi.

2.1.1 Tahribatlı Yöntemler

2.1.1.1 X- Işınları Yöntemi

X- Işınları yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak yalnızca 10 µm ölçüsündeki derinliklerde optimum seviyede sonuç vermekte, daha yüksek derinliklerde güvenilirliği oldukça azalmaktadır. Ayrıca teçhizatın ilk kuruluş maliyeti yüksek ve test sistemi oldukça pahalıdır. Yöntem, numune hazırlanması açısından tahribatlı olarak değerlendirilmektedir.

2.1.1.2 Hole – Drilling Yöntemi

Hole-drilling metodunun yarı-tahribatlı oluşu en önemli dezavantajı olarak değerlendirilmektedir. Ancak incelenecek malzemenin tüm kesitini kısa sürede tarama imkanı yöntemin avantajı olarak düşünülmektedir⁽⁴⁾.

2.1.2 Tahribatsız Yöntemler

2.1.2.1 Barkhausen Gürültü Yöntemi

Bark-Hausen Gürültü yöntemi üzerinde bilim adamları tarafından yapılmakta olan araştırma ve çalışmalar halen devam etmektedir.

2.1.2.2.Ultrasonik Muayene Yöntemi

Kalıntı gerilmelerin ultrasonik muayene yöntemiyle tespiti, ekonomiklik, pratiklik ve incelenecek parçanın tahrip edilmemesi hususlarında öne çıkmaktadır. Ayrıca parçalar kısmen veya tüm kesiti boyunca incelenebilmektedir.

Fransa'nın Senlis Eyaletinde kurulu olan CETIM (Centre Technique Des Industries Mecaniques) muayene merkezinde son yıllarda kalıntı gerilmelerin ultrasonik muayene yöntemiyle tespiti hususunda çalışmalar yapılmaktadır.

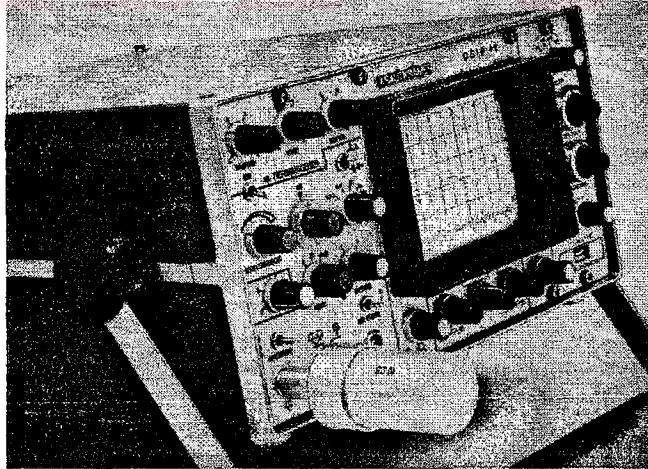
CETIM Laboratuvarlarında geliştirilen ve lisanslı olarak birçok gelişmiş endüstri ülkesinde yaygın olarak kullanılan ultrasonik test cihazı sayesinde malzemelerdeki kalıntı gerilmeler rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Sistemin alışlagelmiş ultrasonik

muayene cihazlarından farkı bilgisayar destekli oluşudur. Bilgisayar desteği deney süresini kısaltarak sonuçlardaki kesinliği artırmaktadır.

Buna ilaveten, Kanada'nın Toronto eyaletinde kurulu olan, Integrity Testing Laboratory Inc. ve Ukrayna'da bulunan Ulusal Bilim Akademisi'nin ortak çalışmalarıyla geliştirilen UCC (Ultrasonic Computerized Complex) cihazı ile bilgisayar ortamında malzemelerdeki kalıntı gerilmelerin tespiti yapılabilmektedir⁽⁵⁾.

2.1.2.2.1 Ultrasonik Muayene Yöntemi Genel Prensipleri

Ultrasonik muayene genel olarak, 20 kHz' den daha yüksek frekansa sahip olan ses dalgalarını malzemenin bünyesinden geçirerek malzemenin içerisinde bulunan herhangi bir yansıtıcıdan (çatlak, boşluk, gözenek, cüruf kalıntısı, hadde hatası v.b.) yansıtarak söz konusu süreksizliğin konum ve boyutlarını bulmaktan ibarettir.



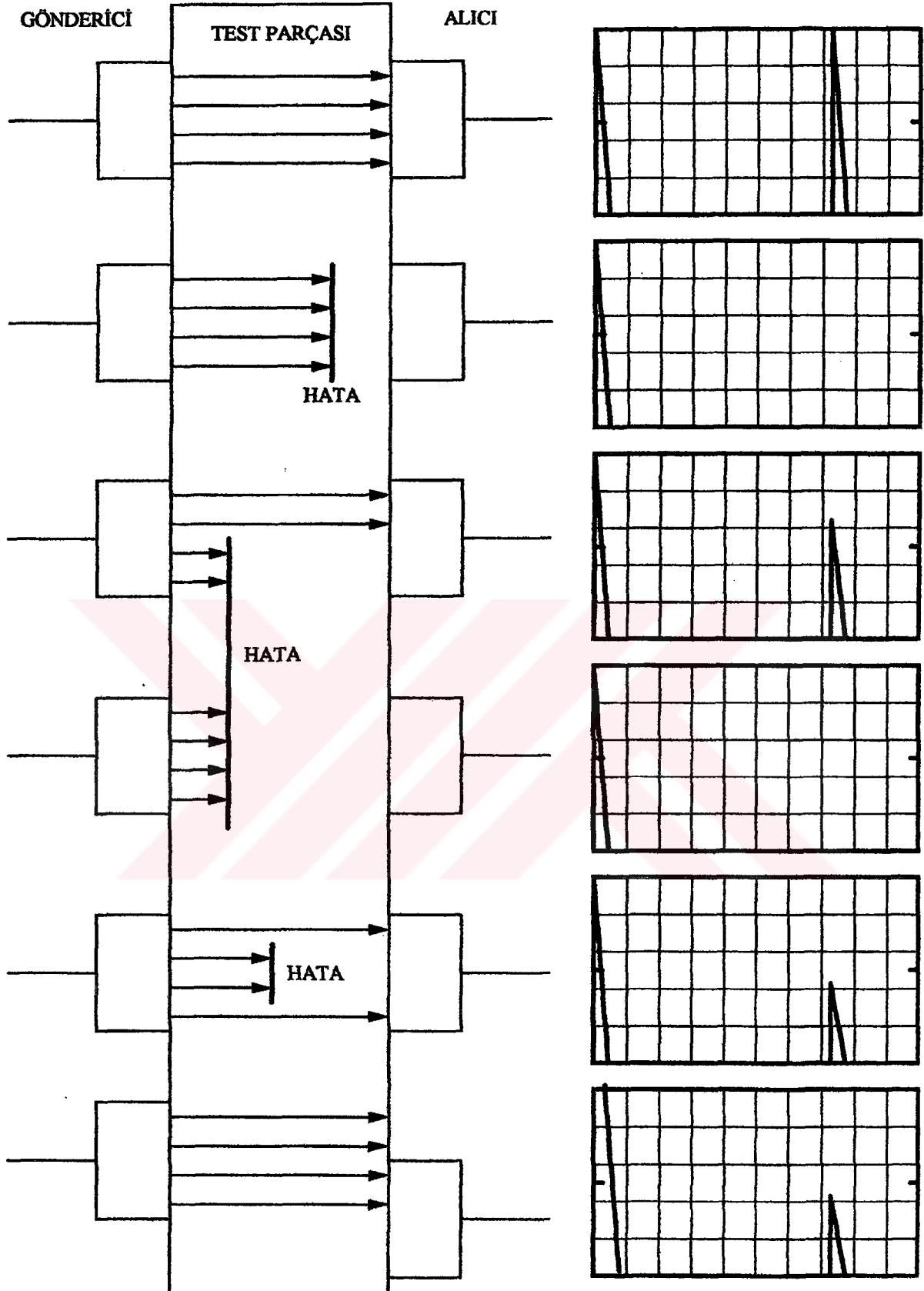
Şekil 2.1. Krautkramer USL 32 Ultrasonik Muayene Cihazı

Bütün ultrasonik muayene cihazları, darbe üretici ve osiloskoptan oluşur. Darbe üreticiden çıkan kısa süreli darbe bir sinyal güçlendiriciden geçip prop kristaline ulaşır. Gönderici prop kristaline gelen sinyaller birkaç yüz volt seviyesinde olmakla beraber çok kısa süreli olduklarından sağlık açısından bir tehlike oluşturmaz. Darbe üretici 50-1000 Hz arasında değişen darbe tekrar frekansları üretir. Darbe tekrar frekansları çok yüksek olduğunda ekranda hayalet yankılar oluşur, çok düşük olduğunda ise ekrandaki sinyal soluklaşır. Darbe üretici aynı zamanda yatay eksenindeki paralel kaydırma ve zaman ekseni ayarına da bağlıdır.

Cihaz, Gönderici/Alıcı (T-R) konumunda ise geri gelen ultrasonik sinyaller alıcı kristal tarafından karşılanır ve elektrik sinyallerine çevrilir, bir yükselticiden geçerek osiloskop ekranında belirirler.

Şekil 2.2'de görüleceği üzere, Gönderici-Alıcı tekniğinde, yollanan ultrasonik sinyaller alıcı kristale ulaşır (bu durumda, kristaller ayrı ayrı gönderici ve alıcı konumundadır) ve elektrik sinyallerine dönüştürülür. Yükselticiden geçen elektrik sinyalleri osiloskop ekranında gözlenir. Sinyallerin yükseltilme miktarı kazanç ayar düğmesi ile 2-20 dB'lik kademelerle kontrol edilebilir.

Analog cihazlarda osiloskop ekranı bir katot ışını tüpüdür. Katottan (flaman) yayılan elektronlar, elektromanyetik merceklere geçirilip ince bir elektron demeti haline getirilir. Bu demet floresan ekranı yatay ve dikey yönlerde tarar. Yükselticiden gelen sinyallere göre osiloskop ekranında belirtiler oluşur. Dijital cihazlarda ekranlar katot ışını tüpü veya sıvı kristal göstergeler olabilir.



Şekil 2.2 Gönderici/Alıcı (T-R) Sistemi⁽⁶⁾

2.1.2.2.2 Ultrasonik Ses Dalgalarının Üretimi

Ultrasonik dalgaların üretimi için çeşitli yöntemler vardır. Malzeme muayenesi için en yaygın olarak kullanılanlar piezoelektrik etki ve magnetostriktif etki ile ultrasonik dalga üretimidir.

2.1.2.2.3 Piezoelektrik Etki

Piezoelektrik etki ile ses dalgası üretimi ilk defa 1880'de Curie kardeşlerce bulunmuştur. Piezo-eleman malzemesi olan kuvars, baryum-titanat gibi bazı kristaller belirli yönlerde basma ya da çekme kuvvetine maruz kaldıklarında yüzeylerinde eksi yada artı elektriksel yüklenme oluşur. Bu malzemeler deformasyona uğratıldığı zaman bağlı bulunduğu iki metalik elektrot arasında elektriksel bir gerilim farkı oluşur. Ters olarak da, elektrotlara elektriksel gerilim uygulanırsa piezo-eleman belirli yönlerde boyutlarını değiştirir. Bu olay elektrik enerjisinin tersinir olarak mekanik enerjiye çevrimini (ters piezo-elektrik etki) mümkün kılar. Ters piezo-elektrik etki ultrasonik dalgaların iletilmesinde, doğrudan piezo-elektrik etki ise ultrasonik dalgaların algılanmasında kullanılır.

2.1.2.2.4 Magnetostriktif Etki

Ferromanyetik malzemeler (Fe, Co, Ni v.b.) bir manyetik alan içerisine girdiklerinde şekil değiştirebilirler. Değişken manyetik alan, mıknatısın salınım yapmasına neden olur. Manyetik enerjiden mekanik enerjiye bu çevrim, düşük frekanslı (40 Hz'e kadar) yüksek güçlü ultrasonik dalgaların üretimini mümkün kılar.

2.1.2.2.5 Ultrasonik Prop Kristal Malzemeleri (Transdüserler)

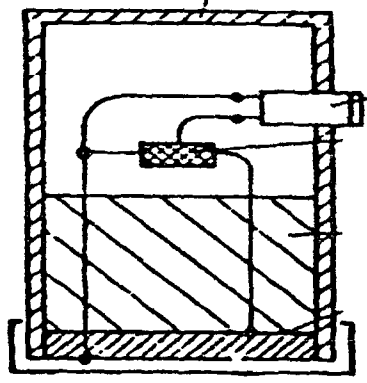
Prop kristalleri çoğunlukla polarize seramiklerden ve nadiren doğal kristallerden üretilirler. Seramikler, doğal kristallerin aksine, sinterleme yöntemiyle üretilen çok kristalli malzemelerdir. Sinterleme sonrası bir elektrik alanında soğutmak suretiyle polarizasyon (karşı elektriksel yüklerin ayrılması) sağlanır. Uygun malzemeler arasında baryum-titanat ($BaTiO_3$), kurşun-zirkonyum titanat (PZT) sayılabilir. Seramiklerin avantajı yüksek duyarlılıkları ve oldukça ucuza imal edilebilmeleridir. Doğal kristallerin (quartz, turmalin, rochelle tuzu v.b.) avantajları ise daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmeleri ve aşınmalarının düşük olmasıdır. Ancak bunların üretimi daha pahalıdır ve duyarlılıkları daha düşüktür⁽⁶⁾.

Ultrasonik muayene yönteminde kullanılmakta olan prop kristalinin boyutları titreşim frekansını etkilediğinden dolayı önem arz etmektedir.

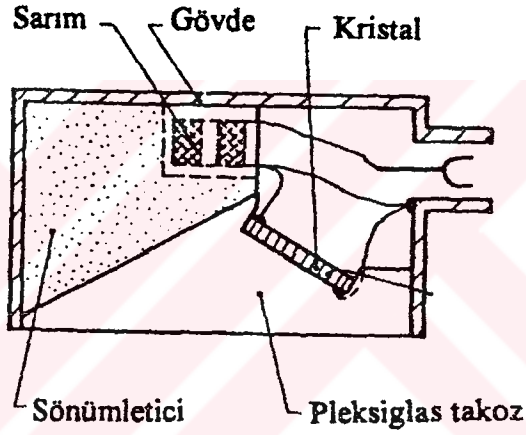
Proplarda, kristal kalınlığı ve çapı olmak üzere iki temel boyut söz konusudur. Arzu edilen frekansa ve kontrol edilecek parçanın geometrisine göre farklı firmalar tarafından üretilmekte olan birçok çeşit prop tipleri bulunmaktadır (Ek1).

2.1.2.2.6 Probun Yapısı Ve Prop Çeşitleri

Proplar, incelenecek malzemenin içerisinde olması muhtemel hata sınıfına ve parça geometrisine göre farklılık göstermektedir. Bunlar; normal ve açılı olmak üzere iki grupta incelenebilir. Normal proplarda, ses dalgaları muayene parçası yüzeyine, yüzey normaline göre dik olarak gelmektedirler. Kristal genellikle daireseldir. Bir normal probun şematik gösterimi Şekil 2.3.'de görülmektedir.



Şekil 2.3. Normal Probun Şematik Gösterimi⁽⁶⁾



Şekil 2.4. Açılı Probun Şematik Gösterimi⁽⁶⁾

Açılı proplarda kristal uygun açıda prop içerisinde konumlandırılmaktadır. Genellikle kristal dikdörtgen kesitlidir. Malzemenin içerisindeki hatalar açılı konumlanmışsalar veya malzemenin şekli itibarıyla açılı ve karmaşık bir yapı söz konusu ise yine özel olarak açıldırılmış muayene propları kullanılır.

Yaygın olarak kullanılmakta olan açılar 0° , 45° , 60° , 70° ve seri imalat kontrolü için bunlardan farklı açılara sahip muayene propları da bulunmaktadır. Ayrıca kaynak dikişlerinin incelenmesinde kaynak ağzı açısına göre prop seçilmektedir.

Örnek olarak 45° kaynak ağzı açısına sahip bir konstrüksiyonda hataların performanslı bir düzeyde kontrolü için 45° açılı prop seçilir.

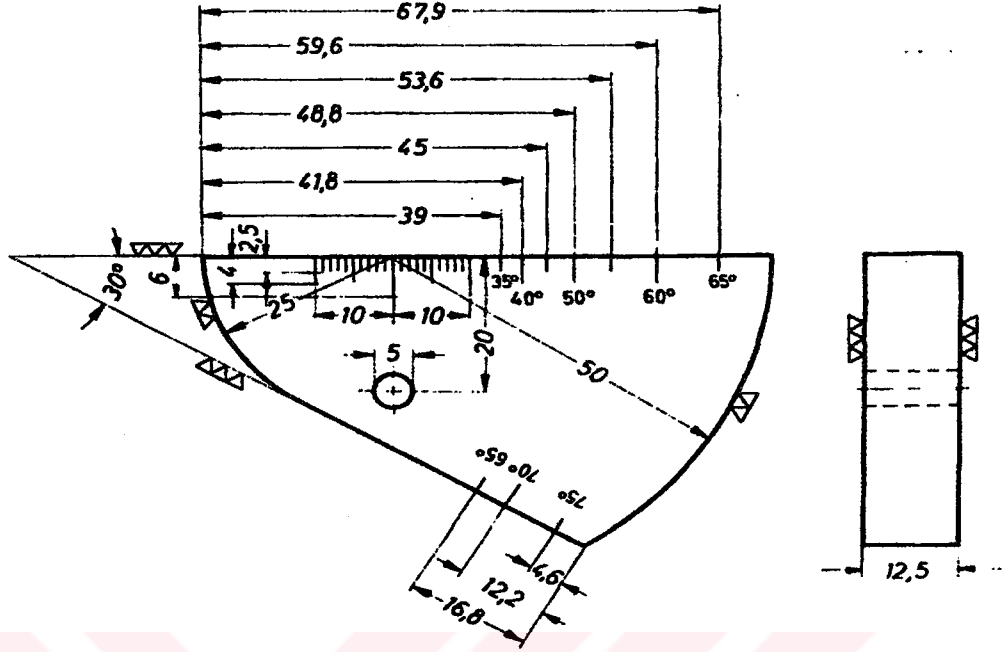
Propolar, ayrıca sahip oldukları kristalin yapısına göre, bir başka deyişle frekanslarına göre sınıflandırılmaktadır. Prop frekansı daha çok incelenecek malzemenin tane yapısına göre seçilir. İncelenecek malzemenin tane boyutu çok iriyse düşük frekanslı prop kullanılmalıdır. Bunun nedeni, oluşturulan dalğanın iri taneli malzemelerde saçınımının ve dolayısıyla ses zayıflamasının daha fazla olması ve kontrol hassasiyetinin azalmasıdır.

Ultrasonik muayene yönteminde incelenecek hata türü tahmin edilerek söz konusu hatalara göre test koşulları ayarlanmaktadır. Örnek olarak; haddeleme veya dövme işlemine tabi tutulmuş bir malzemede hatalar büyük bir olasılıkla işlem (deformasyon) yönüne paralel olacaktır. Muhtemel hatalar bu yolla tahmin edilmek suretiyle inceleme süresi ve zorluğu azaltılabilir.

Amaç, hata aranan bölgeye dik olacak şekilde ultrasonik dalgaları göndermek ve söz konusu hatalardan dalgaları yansıtarak mevcut süreksizlikleri tespit etmektir. Hataya uygun bir açıda ses dalgası gönderilmediğinde hataların tespit olasılığı oldukça azalmaktadır⁽⁶⁾.

2.1.2.2.7 Ultrasonik Muayene Cihazı Kalibrasyonu

Ultrasonik muayene yapılmadan önce, sağlıklı bir kontrol için mutlaka kalibrasyon yapılmalıdır. Kalibrasyon işlemi, test edilecek parça boyutları dikkate alınarak yapılmalıdır.



Şekil 2.5. DIN 54122'ye Göre K₂ Kalibrasyon Bloğu⁽⁷⁾

Test edilecek parçanın en büyük boyutu diğer bir ifadeyle, ses demetinin, parçanın içerisinde ilerleyeceği maksimum ses yolu mesafesi hesaplanarak, bu mesafenin 1.2 katı kadar ölçüye cihaz kalibre edilir. Kalibrasyon işlemi DIN 54120 ve 54122 standartlarında belirtilmekte olan standart kalibrasyon bloklarıyla yapılmaktadır. Bu, düşük alaşımlı çelikten (St 52-3) mamul özel kalibrasyon blokları referans alınmak suretiyle çelik dışı her türlü malzemenin kontrolü bazı matematiksel dönüşümler vasıtasıyla yapılabilmektedir. Ayrıca kontrol edilecek olan iş parçasını temsil etmek koşuluyla kalibrasyon bloğu imal edilebilir. DIN EN 27963'e göre standart kalibrasyon blokları K₁, K₂ olarak adlandırılmaktadır. Bu blokların resimleri Şekil 2.5. ve Şekil 2.6.'da verilmektedir.

kullanılmaktadır. Ancak bazı özel çalışmalarda, 20 MHz frekansa kadar ultrasonik dalgalar kullanılabilir.

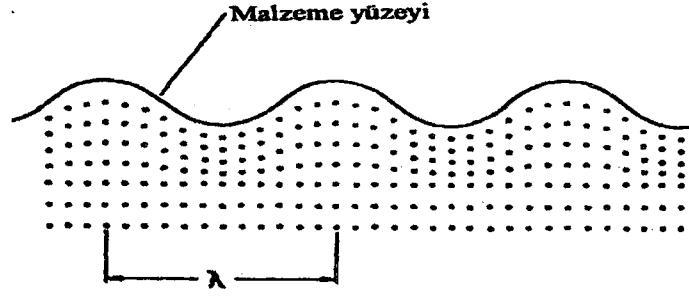
Ses dalgaları boşluk haricindeki tüm ortamlarda yayılabilir. Bir ses dalgasının herhangi bir ortamdaki yayılma karakteristiği ve davranışı diğer ortama göre farklılık göstermektedir. Bu durumu belirleyen faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Ortamların yoğunluğu
- Malzemenin yapısı
- Sesin malzemedeki yayılma hızıdır.

Aynı ortamda birden fazla çeşit ses dalgaları oluşabilmekte ve bu duruma ses dalgasının geliş açısının farklılığı neden olmaktadır. Aynı ortama farklı açılarla gönderilmekte olan ses dalgaları farklı davranışlar sergileyerek farklı tür dalgalar oluşturmaktadırlar. Bu noktada ses dalgalarının gönderilme (geliş) açıları büyük önem kazanmaktadır. Bu kritik açılara göre oluşturulmuş ve birçok uygulamalarda kullanılmakta olan ses dalgası tipleri aşağıda verilmiştir.

- Boyuna dalgalar
- Enine dalgalar
- Yüzey dalgaları
- L_{CR} dalgaları
- Lamb dalgaları (Plaka dalgaları)

Boyuna dalgaların ilerleme yönleriyle titreşim yönleri paraleldir. Enine dalgaların ilerleme yönleri titreşim yönlerine diktir. Bu sebepten dolayı boyuna dalgaların hızları enine dalgaların hızlarından daha büyük değerdedir⁽⁸⁾.

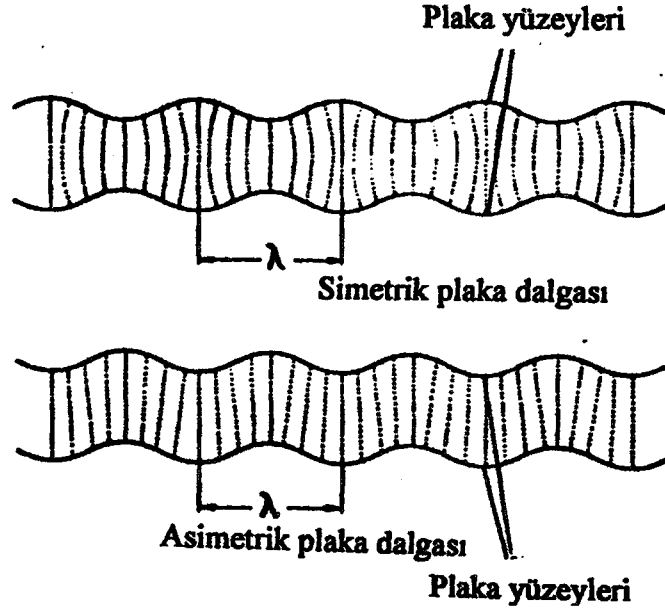


Şekil 2.7. Yüzey Dalgaları⁽⁶⁾

Yüzey dalgaları; malzemenin yüzey kısımlarında ve yalnızca dalga boyu kadar derinliğe nüfuz edebilmektedir. Malzemenin yüzey pürüzlülük durumundan bile kolayca etkilenebilecek hassasiyettedirler. Yüzey dalgaları, gerilme ve mukavemet ölçümlerinde oldukça hassastırlar^(6,9,10).

L_{CR} dalgaları, yine malzemenin yüzeyinin hemen altında ve yüzeye paralel giden ve kullanılan propların kritik bir açıyla konumlandırılması neticesinde oluşmaktadır. L_{CR} (kritik açıyla yansıtılan boyuna dalgalar) dalgaları, yüzeyden ilerlemelerine rağmen, malzemenin sertliğinden ve diğer fiziksel özelliklerinden etkilenmeksizin diğer dalga türlerine göre gerilmelere çok daha fazla hassastırlar⁽⁹⁾.

Ses dalgasının dalga boyu, ilerlediği plakanın kalınlığına yakın veya daha küçük olduğu durumlarda; enine ve boyuna dalgalardan daha farklı özelliklerde dalgalar ortaya çıkmaktadır. Bu tür dalgalar Plaka Dalgaları olarak adlandırılmaktadır. Plaka dalgalarının simetrik ve asimetric olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Simetrik plaka dalgalarında plakanın alt ve üst yüzeylerinde meydana gelen elastik deformasyon eksene göre simetriktir. Asimetric plaka dalgalarında ise plakanın alt ve üst yüzeylerinde meydana gelen elastik deformasyon eksene göre paraleldir⁽⁶⁾.



Şekil 2.8 Plaka Dalgaları⁽⁶⁾

Plaka dalgalarının ilerleme hızları frekansa ve plaka kalınlığına göre değişmektedir. Bu dalgalarla test yapmak özel bir bilgi birikimi ve deneyim gerektirmektedir.

Bir ses dalgası bir ortamdan diğerine geçerken hızında ve/veya dalga tipinde değişimler olabilmektedir. Ortamların, ses dalgasının ilerlemesine karşı göstermiş oldukları dirence *akustik empedans* adı verilmektedir. Akustik empedans malzemelerin karakteristik özelliğidir.

Bazı malzemelerin akustik empedansları, boyuna ve enine dalga hızları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı Malzemelerin Ses Hızları ve Akustik Empedansları ⁽⁴⁾

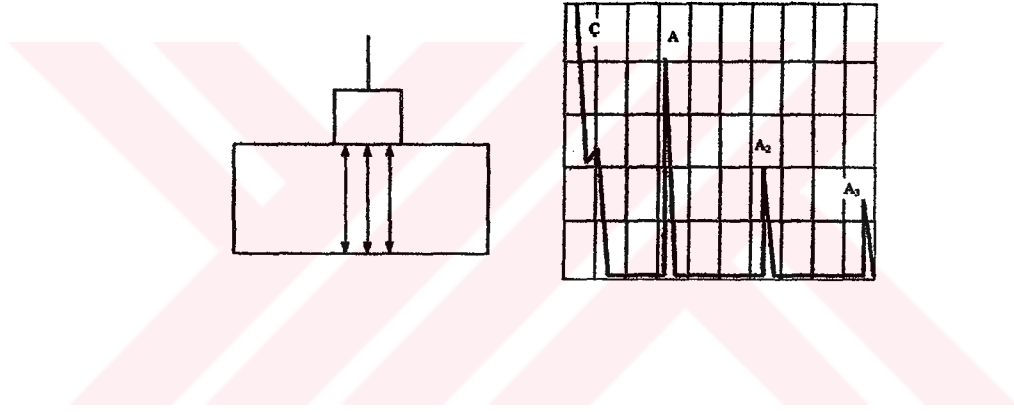
Malzeme Adı	Boyuna Dalga Hızı (m/sn)	Enine Dalga Hızı (m/sn)	Akustik Empedans
Alüminyum	6320	3130	17.10
Dökme Demir	4800	2400	37.44
Çelik (4140)	5870	3200	45.84
Titanyum-Karbür	8270	5160	42.59
Uranyum	3380	1960	63.88

İki farklı malzemenin akustik empedansları farkı ne kadar büyükse birinci ortamdaki ikinci ortama o kadar az ses dalgası geçebilir. Snell Kanununa göre; $\sin a / \sin b = c_1 / c_2$ olduğundan, a ve b sırasıyla geliş ve yansıma açıları ve c_1 ve c_2 ses hızları olduğundan dalga tipinin geliş açısına göre değişmesinden dolayı ortamlardaki ses hızları ara yüzey geliş açıları tarafından etkilenmektedir.

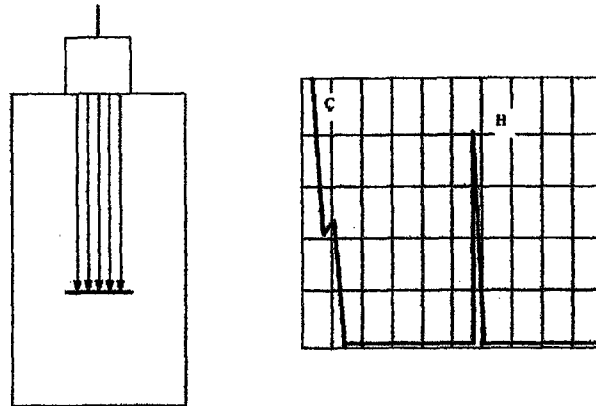
Her malzeme için dalga tipi oluşum açıları farklıdır. Çelik bir malzeme yüzeyine ultrasonik ses dalgaları gönderildiğinde geliş açısına bağlı olarak aşağıda sıralanan durumlar meydana gelir.

- Akustik empedansları arasındaki fark çok fazla ve geliş açısı 0° ise gönderilen ses dalgalarının tamamına yakını geldiği ortama geri yansır.
- Akustik empedansları arasındaki fark çok değilse Snell kanununa göre geliş açısı ile geri yansır.
- Akustik empedansları arasındaki fark çok az ise tamamına yakını ikinci ortama geçerek geliş açısına göre uygun dalga tipini oluşturarak geri yansır.

Ultrasonik muayene yönteminde test etmek üzere malzemeye gönderilen ses dalgaları, parçanın en büyük boyutuna göre hassas bir şekilde kalibre edildikten sonra parçanın hacminde herhangi bir hata yoksa, parçanın bakılmakta olan yönündeki boyutuna karşılık gelecek şekilde ses yankıları osiloskop ekranında Şekil 2.9'da görüleceği üzere belirir. Test edilen parçada herhangi bir hata (çatlak, boşluk, gözenek, döküm veya hadde hataları v.b.) mevcutsa, bu hatanın test edilen yüzeyden hatanın bulunduğu bölgeye kadar olan mesafeye karşılık gelen yeri ifade eden ses yankısı, osiloskop ekranında Şekil 2.10'daki gibi belirecektir⁽⁶⁾.



Şekil 2.9. Hatasız Parçadaki Ses Yankıları⁽⁶⁾



Şekil 2.10. Hatalı Bir Parçadaki Ses Yankısı⁽⁶⁾

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Giriş

Kalıntı gerilmelerin ultrasonik muayene yöntemi ile tespiti temel olarak ultrasonik dalganın gerilimli ve gerilimsiz malzemelerden geçirilmesi ve netice olarak dalganın ses hızındaki değişimini incelemektir.

Bu muayenenin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle kalibrasyonun hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca, osiloskop ekranındaki okuma hatasının asgari seviyelere inmesi için, titiz bir inceleme yapılmalıdır.

Ultrasonik muayene için son derece önemli olan incelenecek parçanın tane boyutu dikkate alınmalıdır. Çünkü parçanın tane boyutu ne kadar büyükse ses dalgalarının saçılma olasılığı ve buna bağlı olarak ses zayıflaması o kadar büyük olacaktır⁽⁶⁾.

Tüm bu olumsuzlukları azaltmak maksatıyla, tüm test numuneleri normalizasyon ısı işlemine tabi tutulmuştur. Normalizasyon ile hem tane inceltilmesi hem de homojen bir yapı sağlanmış olup bu sayede daha kararlı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun yanısıra, normalizasyon işlemi malzemenin östenitlenmesini müteakip sakın havada kendi halinde soğutulması olduğundan bir nevi gerilme giderme işlemi niteliğindedir.

Numune malzemesi ve boyutları:

Malzeme ıslah edilebilir çelik grubundan 42CrMo4 (4140, malzeme no:1.7225) evsafında olup kimyasal kompozisyonu aşağıdaki şekildedir:

% C : 0.40, %Si : 0.20, % Mn : 0.60, % Cr : 1, % P : 0.020, % S : 0.020, % Mo : 0.20

Test numuneleri 40x40x120 mm ebatlarında ve yüzeyleri taşlama kalitesindedir. Taşlama işlemi tüm ısı işlemler sonrasında yapılmıştır.

3.2 Test Parçalarına Yapılan İşlemler

3.2.1 Parçaların Normalizasyonu

15 adet numune öncelikle 400 C° de ön ısıtmaya tabi tutulmuş ardından 870 C° de 2 saat bekletilerek havada soğumaya terkedilmiştir. Normalizasyon sonrası numunelerden alınan sertlik test sonuçları 1030 N/mm² civarında tespit edilmiştir. Normalizasyon sonrası numunelerin mikroyapı resimleri Ek2’de verilmektedir. Resimlerde, malzemenin dövme fayları boyunca ince taneli ve homojen bir yapı sergilediği açıkça görülmektedir.

3.2.2 Parçaların Sertleştirilmesi İşlemi

1 numaralı numune dışındaki tüm numuneler sertleştirme ısı işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için parçalar yine 400 C° de 2 saat ön ısıtılarak 850 C° de 2 saat süreyle östenitik yapı kazandırılmıştır. Ardından 60 C° deki yağ banyosunda su verme işlemi uygulanmıştır. En son olarak parçalar farklı mukavemet değerleri elde etmek ve farklı kalıntı gerilme değerleri oluşturmak için farklı sıcaklıklarda menevişleme işleminden geçirilmişlerdir. Mikro yapıları Ek3’tedir. Menevişleme işlemleri sonucunda elde edilen mukavemet değerleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Test Parçalarının Meneviş Sıcaklığına Bağlı Mukavemetleri

Numune No	Meneviş sıcaklığı (C°)	Çekme Mukavemeti (N/mm²)
13	600	1255-1420
12	600	1385-1480
10	500	1520-1520
11	500	1555-1550
8	400	1420-1455
9	400	1700-1845
6	300	1880-1775
7	300	1850-1840
4	200	1775-1850
5	200	1880-1920
2	100	1930-1880
3	100	1995-1995
14	Menevişsiz	2040-2040
15	Menevişsiz	2040-2040

3.2.3 Parçaların Boyuna Ve Yüzey Dalgalarıyla Test Edilmesi

15 adet numune ayrı ayrı hem yüzey dalgaları hem de boyuna dalgalar oluşturularak ayrı ayrı ultrasonik teste tabi tutulmuşlardır.

Çelik bir malzemede yüzey dalgaları oluşturmak için tasarladığımız Ek4'te şekli verilen aparat ile öncelikle K₁ bloğunun herhangi 50 ve 100 mm'lik yüzeyinde kalibrasyon mesafeleri, referans olarak alınmıştır

K₁ bloğunun 50 mm'lik yüzeyi osiloskop ekranında 2.5 skalasına, 100 mm'lik yüzeyi ise 5 skalasına kalibre edilmiştir. Böylece, test numunelerimizin yüzey dalgaları için kontrol mesafesi olan 100 mm'lik boyutu osiloskop ekranında skala olarak 5 değerine tekabül etmektedir. Bu referans değerimize göre, numuneler üzerinde oluşturulmuş farklı gerilmeler, osiloskop ekranında yüzey dalgasının ses hızındaki değişimine bağlı olarak 5 skala değerinden farklı bir konumda belirecektir. Tüm numunelerin yüzey dalgalarıyla ultrasonik muayenesi sonucunda elde edilen osiloskop ekranında çıkan bu değerlerden yola çıkılarak, ses hızları, referans olarak alınan K₁ bloğuna göre ultrasonik yüzey dalgasının hızının hesaplanması aşağıdaki bağıntı vasıtasıyla bulunmaktadır.

$$C_R (2) = [C_R (1).d] / [k.T] \quad (6)$$

Bağıntıda, C_R (1), bilinen (referans) malzemenin yüzey dalgası ses hızı, C_R (2), bilinmeyen malzemenin yüzey dalgası ses hızı, k değeri skala faktörü, T ise ultrasonik cihazın osiloskop ekranında okunan değerdir. Ses gidiş-geliş süresi (t) ise, $t = x/c$, (yol=hızx zaman) ⁽¹¹⁾ bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bağıntıda x, sesin katettiği yol, c ise ses dalgası hızıdır. Tüm bu hesaplanan değerler Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Örnek olarak sadece normalizasyon işlemine tabi tutulmuş 1 numaralı parçanın yüzey dalgaları ile muayenesi sonucunda osiloskop ekranından elde edilen 5.004 skala değerine göre formülde yerine koyulduğu zaman,

$$C_R (2) = [C_R (1).d] / [k.T] \Rightarrow C_R = [3013.6 \text{ m/sn} . 100 \text{ mm}]. [20 \times 5,004] \Rightarrow$$

$C_R (2) = 3011.2 \text{ m/sn}$ bulunur.

Yine, 1 numaralı parça için ses gidiş-geliş süresi, $t = x/c$ bağıntısıyla hesaplanırsa,

$$t = (100\text{mm}/1000)/(3011.2\text{m/sn}) = 0.000033209 \text{ sn} \Rightarrow 33.21 \text{ } \mu\text{sn} \text{ değeri elde}$$

edilir. Çizelge 3.2'deki tüm değerler bu şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2. Yüzey Dalgaları Test Sonuçları

Ses No (numune no)	Skala no	Ses gidiş-geliş süresi (μsn)	Yüzey dalgası hızı (m/sn)
TK ₁	5.000	33.18	3013.6
T ₁	5.004	33.21	3011.2
T ₁₂	5.054	33.54	2981.4
T ₁₃	5.050	33.51	2983.8
T ₁₀	5.060	33.58	2977.9
T ₁₁	5.065	33.61	2974.9
T ₈	5.075	33.68	2969.1
T ₉	5.080	33.71	2966.1
T ₆	5.085	33.74	2963.2
T ₇	5.083	33.73	2964.4
T ₄	5.090	33.78	2960.3
T ₅	5.090	33.78	2960.3
T ₂	5.090	33.78	2960.3
T ₃	5.095	33.81	2957.4
T ₁₄	5.150	34.18	2925.8
T ₁₅	5.150	34.18	2925.8

Benzer şekilde, tüm numuneler boyuna dalga kullanılarak ultrasonik muayene ile test edilmiştir. K₁ bloğunun 25 mm'lik kısmı ile yapılan kalibrasyon işleminde, cihaz 150 mm'ye kalibre edilmiştir. İncelenecek parçanın boyu 120 mm olduğundan, kalibrasyon sonrası osiloskop ekranında, gerilmemiş (normalize edilen 1 no'lu parça) parçanın boyuna dalga ile testi neticesinde osiloskop ekranında beliren ses yankısı 8.000'dan çıkacaktır. Bu değer referans alınarak diğer tüm numunelerin testleri neticesinde elde edilen diğer sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı olarak hesaplanan ses gidiş-geliş süreleri, ses hızları Çizelge 3.3'te verilmektedir. DIN 54120'de verilmekte olan K₁ kalibrasyon bloğu için boyuna dalga hızı 5920 m/sn'dir. Boyuna dalgalarda da bu referans değer esas alınarak osiloskop ekranında okunan değere göre bu kez yüzey dalgası hızı yerine boyuna dalga hızı bağıntıda yerine yazılarak, $C_L (2) = [C_L(1).d] / [k.T]$ formülü vasıtasıyla tüm numunelerin boyuna ses dalgası hızları hesaplanır.

Örnek olarak, Çizelge 3.3'deki 1 numaralı (normalize edilmiş numune) parçanın ses hızı şu şekilde hesaplanmıştır:

$$C_L (2) = [C_L (1).d] / [k.T] \Rightarrow C_L (2) = [5920\text{m/sn} \times 120\text{mm}] / [15 \times 8.02] = 5905.23 \text{ m/sn bulunacaktır.}$$

Yine ses gidiş-geliş süreleri $t = x/c$ bağıntısıyla hesaplanmıştır örnek olarak,

1 numaralı numune için,

$$t = x/c \Rightarrow [(120\text{mm}) / (1000)] / [5905.23] = 0.00002032 \text{ sn} = 20.32 \mu\text{sn bulunur.}$$

Çizelge 3.3'deki değerler bu şekilde oluşturulmuştur. Bu değerlerden yola çıkarak,

$$\Delta\sigma = \frac{E}{L.t_0} \cdot (t-t_0)^{(9)} \text{ bağıntısı yardımıyla ultrasonik muayene yöntemiyle kalıntı}$$

gerilmelerin miktarı hesaplanabilmektedir. Bağıntıda yer alan, $\Delta\sigma$ değeri kalıntı

gerilmeyi, E değeri test edilen malzemenin elastisite modülünü, L değeri ultrasonik dalgalar için malzemedeki malzemeye değişmekte olan akustoelastik sabiti (E_k), t değeri gerilimli malzemedeki ultrasonik dalganın ses gidiş-geliş süresini, t_0 değeri ise gerilimsiz malzemedeki ultrasonik dalganın ses gidiş-geliş süresini ifade etmektedir.

Çizelge 3.3. Boyuna Dalgalarla Yapılan Test Sonuçları

Ses (numune) no	Skala No	Boyuna dalga hızı (m/sn)	Ses gidiş-geliş süresi (μ sn)	Kalıntı gerilme değeri (Mpa)
TK ₁	-	5920	-	-
T ₁	8.02	5905.23	20.32	0
T ₁₂	8.05	5883.23	20.40	357.9
T ₁₃	8.06	5876	20.42	447.4
T ₁₀	8.06	5876	20.42	447.4
T ₁₁	8.07	5868.6	20.45	581.6
T ₈	8.08	5861.4	20.47	671.1
T ₉	8.08	5861.4	20.47	671.1
T ₆	8.09	5854.14	20.50	805.3
T ₇	8.10	5847	20.52	894.8
T ₄	8.10	5847	20.52	894.8
T ₅	8.10	5847	20.52	894.8
T ₂	8.11	5840	20.55	1029
T ₃	8.12	5832.51	20.57	1118.5
T ₁₄	8.20	5775.61	20.78	2058
T ₁₅	8.20	5775.61	20.78	2058

Yukarıda açıklanan kalıntı gerilme bağıntısı, örnek olarak 15 numaralı

$$\text{numunenede uygulanırsa, } \Delta\sigma \equiv \frac{E}{L.t_0} .(t-t_0) \Rightarrow \Delta\sigma = \frac{200GPa}{2.2.(20.32)} (20.78- 20.32)=$$

2058 Mpa sonucu bulunur. L akustoelastik katsayısı, Ek5'te verilmekte olan tablodan alınmıştır. Tabloda bu katsayı -2.2 verilmekte olup çekme konumunda olan kalıntı gerilmeler için geçerlidir. Ancak, numunelerin hacimsel sertleştirilmesi sonrası oluşturduğumuz kalıntı gerilmelerin hesaplanmasında boyuna dalgalardan yararlanmamız ve numunelerin iç kısımları basma konumunda olan kalıntı gerilmelerle yoğunlaşmaları sebebiyle, söz konusu L katsayısı 2.2 alınmıştır. Çizelge 3.3'deki diğer tüm kalıntı gerilme değerleri bu şekilde hesaplanmış olup tümü basma konumundadır. Formülde t_0 değeri gerilimsiz numunenin üzerinde yapılan ölçüm sonucu elde edilen ses gidiş-geliş süresi olduğundan dolayı tüm numuneler için bu değer normalize edilmiş ve gerilmesiz olan 1 no'lu numuneden elde edilen ses gidiş-geliş süresi referans olarak alınmıştır. Yüzey dalgaları kullanılarak yapılan hesaplamalarda kalıntı gerilmelerin yukarıda verilen bağıntı ile hesaplanması için Ek5'te verilen 4140 malzemesinin L katsayısının bilinmesi gereklidir. Bu katsayıyı yüzey dalgası için temin edemediğimizden, boyuna dalgalarla yukarıda yapılan test sonuçları dikkate alınarak kalıntı gerilmeler hesaplanmıştır. L katsayısı, 4140 evsafındaki malzemenin yüzey dalgası için elimizde mevcut olmamasından dolayı yüzey dalgaları ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen yüzey dalgası hızları ve gidiş-geliş süreleri ilave bir fikir elde etmek için çizelge haline getirilmiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Isıl işlemler sonrasında meydana gelen kalıntı gerilmeler, ultrasonik muayene yöntemiyle saptanabilmektedir. Yöntemin avantajları arasında, pratik ve tahribatsız oluşu, parçaların kısmen yahut tamamen incelenebilirliği sayılabilir.

Bünyesinde kalıntı gerilme bulunan bir parçadan ultrasonik ses dalgaları geçirildiği zaman ses dalgalarının davranışında, kalıntı gerilme bulunmayan parçaya göre önemli derecede değişiklikler olmaktadır. Bunlardan en önemlisi dalganın ses hızındaki farklılıktır. Kalıntı gerilme ihtiva eden parçadaki ultrasonik ses hızı kalıntı gerilme içermeyen parçaya göre azalmaktadır. Diğer bir ifadeyle parçadaki kalıntı gerilme miktarı arttıkça ultrasonik dalganın ses hızı azalmaktadır. Bu durum Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'den açıkça görülmektedir.

Muayene yönteminde boyuna dalgalar ve yüzey dalgaları olmak üzere iki çeşit dalga tipi kullanılmıştır.

Test edilecek parçalar, farklı kalıntı gerilmeler oluşturmak için normalizasyon sonrası sertleştirilerek farklı mukavemet değerleri elde etmek üzere sertleştirilmenin ardından farklı sıcaklıklarda menevişlenmişlerdir. Dolayısıyla, parçalarda meneviş sıcaklığına bağlı olarak farklı değerlerde kalıntı gerilmeler oluşturulmuştur.

Boyuna dalgalarla yapılan test neticesinde elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır.

- Ses hızları
- Ses hızlarına bağlı olarak ses gidiş-geliş sürelerinin çıkarılması

- $\Delta\sigma \equiv \frac{E}{L.t_0} .(t-t_0)$ bağıntısı yardımıyla kalıntı gerilmelerin hesaplanması ve çizelge haline getirilmesi

Yüzey dalgaları kullanılarak yapılan testler neticesinde elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır.

- Ses hızları
- Ses hızlarına bağlı olarak ses gidiş-geliş sürelerinin çıkarılması ve bu değerlerin çizelge haline getirilmesi

Üzerinde yüzey dalgası kullanarak test ettiğimiz parçaların malzemesinin, L (akustoelastik) katsayısını temin edemediğimizden dolayı, boyuna dalgalarla yapılan test sonrasında elde edilen verilere göre kalıntı gerilme bağıntısı kullanılarak kalıntı gerilmelerin hesabı yapılarak çizelge haline getirilmiştir.

Boyuna dalgalarla yapılan test neticesinde elde edilen verilerden yola çıkılarak, kalıntı gerilmelerdeki beher artış, ses dalgası hızındaki azalmayı ortaya koymaktadır.

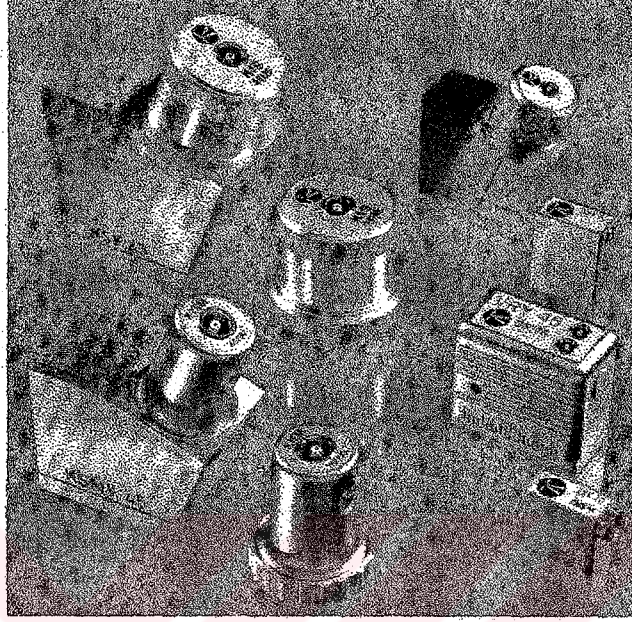
Testler, Krautkramer marka USL 32 model ultrasonik muayene cihazı ile yapılmıştır. Esas olarak kalıntı gerilmelerin ultrasonik muayene yöntemiyle tespiti için, son yıllarda özel olarak dizayn edilmiş bilgisayar destekli cihazlar bulunmaktadır. Yöntemde temel amaç, ses hızı farklılığından yola çıkarak kalıntı gerilme tespiti olduğundan kullanılan cihaz tipi hassasiyeti, pratikliği ve sonuçlardaki kararlılığı etkileyecektir. Ayrıca test sonucunda oluşan ses yankılarını, osiloskop ekranından oldukça dikkatli ve hassas bir şekilde tespit etmek gerekmektedir.

Kalıntı gerilmelerin X-ışınları ve diğer yöntemlerle saptanması, dolayısıyla ultrasonik muayene yöntemiyle kıyaslanması, yapılan araştırmanın sonuçlarındaki kararlılık, doğruluk ve hassasiyetin tespit edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Lavrence H. Van VLACK, Elements Of Material Science, U.S.A, 1964.
2. M. Ali TOPBAŞ, Çelik Ve Isıl İşlem El Kitabı, Prestij Yayıncılık, İSTANBUL, 1998.
3. K.E. THELNING, Çelik Ve Isıl İşlemi, BOFORS INC., ALMANYA, 1984.
4. R. OETTEL, The Determination Of Uncertainties In Residual Stress Measurement, SM&T Projects, Issue 1, September 2000.
5. <http://www.ndt.net/news/2000>, Advanced Ultrasonic Technique and Equipment For Residual Stress Measurement.
6. D.G.Z.I.P, Alman Tahribatsız Muayene Cemiyeti, Ultrasonik Muayene Kursu El Kitabı, M.E.T.U, ANKARA, 2000.
7. DIN Taschenbuch, Materialprüfnormen Für Metallische Werkstoffe 2, Beuth, 1983.
8. NDT Handbook, 2nd Edition, Volume 7, Ultrasonic Testing.
9. Don. E. BRAY, Paul JUNGHANS, NDT&E INT, Vol, 28, No. 4, 235, 1995
10. M. DUQUENNOY, M. OUAFTOUH, M. OURAK, NDT&E INT, Vol. 32, 1998
11. Arif Cem GÜRKAN, Ultrasonic Measurement Of The Thickness Of Surface Hardened Layer On Steel, Master Of Science Thesis, M.E.T.U, ANKARA, 1991

Ek 1. Çeşitli Proplar

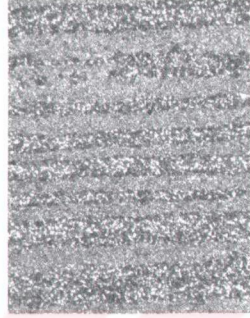


Ek 2. 1 Numaralı Parça Mikroyapıları



100X

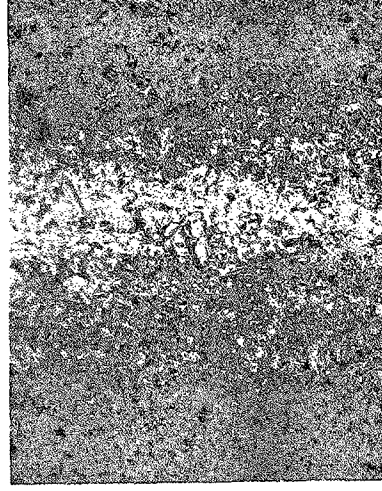
% 3 Nital



100X

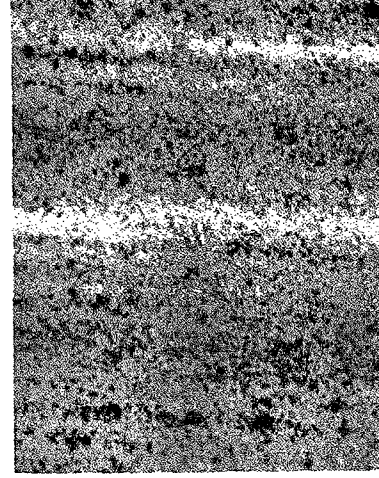
% 3 Nital

Ek 3. 15 Numaralı Parçanın Mikroyapısı



15 Numaralı Parça 200X

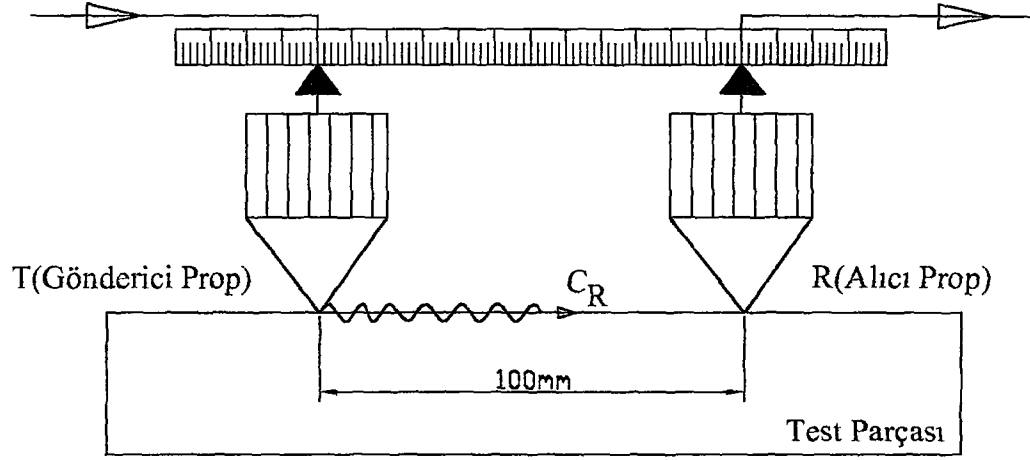
% 3 Nital



15 Numaralı Parça 100X

% 3 Nital

Ek.4 Yüzey Dalgalarının Oluşturulmasında
Kullanılan Aparat



Ek 5. Bazı Mühendislik Malzemelerindeki Boyuna, Enine ve Yüzey Dalgaları İçin Akustoelastik Katsayılar (L)

Malzeme	Yük	L21	L23	L22	L11	L12	L13
Alüminyum (1)	Basma	-2.0	0.6				
Alüminyum (2)	Basma	-2.1	0.57				
Alüminyum (3)	Çekme (RD)		0.46	0.68	-2.7		
Alüminyum (3)	Çekme (TD)			0.93	-3.1		
Kırılgan Dökme Demir	Basma				-2.15		
Döküm	Basma				-3.89		
Tavlanmış	Basma				-3.92		
Normalize Edilmiş	Basma				-2.98		
1080	Çekme	-1.5	0.09	0.27	-2.38	-0.15	
1080	Basma				-2.45		
CR Çelik Çubuk	Çekme				-2.38		
4140	Çekme (2.25 MHz)				-2.2		
4140	Çekme (5 MHz)				-2.36		
316 L Paslanmaz Çelik	Çekme	-1.5	-1.2		-2.1		
Akrilik (Saf)	Çekme				-2.14		
Alüminyum (Yüzey Dalgaları)	Çekme-RD		0.5				-1.1
Alüminyum (Yüzey Dalgaları)	Çekme-TD		0.5				-0.48