

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans çalışmam sırasında bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, desteklerini esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr.Enver OKTAY'a,

Yardımlarını esirgemeyen bölümümüzün kıymetli hocaları sayın Prof.Dr.İbrahim YUSUFOĞLU, Prof.Dr.T.Osman ÖZKAN ve Prof. Dr. Şerafettin EROĞLU'na ve tüm araştırma görevlilerine,

Ultrasonik hız ölçümlerinin yapılmasında bana yol gösteren ve yardımcı olan Doç.Dr.Şinasi EKİNCİ ve Yüksek Fizik Mühendisi Serdar SARIÇAM'a,

Isıl işlem çalışmalarının ve döküm çalışmasının yapılmasında bana yardımcı olan İstaş, Assab-Korkmaz ve Akman Döküm firmalarına,

Eğitim hayatım boyunca bana destek veren sevgili anneme, babama ve kardeşime çok teşekkür ederim.

**Ocak 2006**

**İlven MUTLU**  
**Metalurji ve Malzeme Mühendisi**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ .....	iv
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ .....	vii
ÖZET .....	viii
SUMMARY .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	2
2.1. SESİN ÖZELLİKLERİ VE MEKANİK DALGALARIN YAYILMASI .....	2
2.2. ULTRASONİK DALGA TÜRLERİ .....	4
2.2.1. Boyuna Dalgalar .....	4
2.2.2. Enine Dalgalar .....	5
2.2.3. Yüzey Dalgaları .....	6
2.2.4. Plaka (Lamb) Dalgaları .....	6
2.3. YANSIMA VE TRANSMİSYON .....	6
2.4. ULTRASONİK DALGALARIN ÜRETİLMESİ .....	7
2.5. ULTRASONİK DEMET VE ÖZELLİKLERİ .....	8
2.6. ULTRASONİK TEST TEKNİĞİ .....	9
2.7. ULTRASONİK DALGALARIN ZAYIFLAMASI .....	11
2.7.1. Ultrasonik Dalgaların Saçılması .....	13
2.8. ULTRASONİK DALGALARIN HIZLARI İLE ELASTİSİTE VE KAYMA MODÜLLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER.....	15
2.9. TAKIM ÇELİKLERİ .....	16
2.9.1. Soğuk İş Takım Çelikleri .....	17
2.9.2. Sıcak İş Takım Çelikleri .....	17
2.9.3. Yüksek Hız Çelikleri .....	17

2.9.4. Plastik Kalıp Çelikleri .....	18
2.10. PASLANMAZ ÇELİKLER .....	19
2.11. TAKIM ÇELİKLERİNİN ISIL İŞLEMİ .....	19
2.12. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ .....	20
2.13. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR .....	21
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>26</b>
3.1. KULLANILAN MALZEMELER.....	26
3.2. SPEKTRAL ANALİZ ÇALIŞMASI.....	27
3.3. NUMUNELERİN YOĞUNLUKLARININ BELİRLENMESİ.....	27
3.4. ISIL İŞLEM ÇALIŞMASI.....	28
3.4.1. H13 Sıcak İş Takım Çeliğinin Isıl İşlemi.....	28
3.4.2. 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğinin Isıl İşlemi.....	29
3.5. SERTLİK ÖLÇÜMÜ.....	30
3.6. NUMUNELERİN METALOGRAFİK KARAKTERİZASYONU.....	31
3.6.1. Optik Mikroskop Çalışması.....	31
3.6.2. Tane Boyutu Belirleme .....	31
3.7. ULTRASONİK HIZ ÖLÇÜMÜ.....	32
3.7.1. Ultrasonik Hızın Ölçüldüğü Deney Cihazı.....	32
3.7.2. Ultrasonik Hızın Ölçüldüğü Test Tekniği.....	33
3.7.3. Ultrasonik Test Sisteminin Kalibrasyonu.....	34
3.8. ELASTİSİTE VE KAYMA MODÜLLERİNİN HESAPLANMASI.....	36
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>37</b>
4.1. SPEKTRAL ANALİZ .....	37
4.2. YOĞUNLUKLAR .....	37
4.3. SERTLİK ÖLÇÜMÜ .....	38
4.4. ORTALAMA TANE BOYUTLARI .....	38
4.5. ULTRASONİK HIZ ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI .....	47
4.6. NUMUNELERİN ELASTİSİTE VE KAYMA MODÜLLERİ .....	52
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>62</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	:Boyuna dalga .....	4
Şekil 2.2	:Enine dalga .....	5
Şekil 2.3	:Ultrasonik demet .....	8
Şekil 2.4a	:Darbe-yankı yönteminin blok diyagramı.....	9
Şekil 2.4b	:Hatalı ve hatasız malzemelerin darbe-yankı yöntemiyle muayenesinde. oluşan ekran görüntüleri.....	10
Şekil 2.5	:Transmisyon yöntemi .....	11
Şekil 2.6	:Ultrasonik dalgaların zayıflaması.....	12
Şekil 2.7	:Saçılma mekanizmaları .....	14
Şekil 2.8	:Takım çelikleri için genel ısıl işlem diyagramı.....	20
Şekil 3.1	:Kademeli döküm .....	27
Şekil 3.2	:Vakum fırını.....	29
Şekil 3.3	:Ultrasonik cihazın temel devre elemanları .....	32
Şekil 3.4	:Krautkramer, USM 25 test cihazı .....	33
Şekil 3.5	:Normal Prob .....	34
Şekil 3.6	:V1 Kalibrasyon bloğu .....	34
Şekil 3.7	:Açılı prob ile kalibrasyon.....	35
Şekil 4.1a	:H13 çeliğinde farklı tavlama şartlarında karşılaşılabilen mikroyapılar..	39
Şekil 4.1b	:Normalize halde, ısıl işlem uygulanmamış orijinal numune, (10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	39
Şekil 4.2	:1030°C sıcaklıkta 30 dk süreyle östenitlenen H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı,( 10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	40
Şekil 4.3	:1030°C sıcaklıkta 90 dk süreyle östenitlenen H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı, ( 10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	40
Şekil 4.4	:1050°C sıcaklıkta 15 dk süreyle östenitlenen H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı, (10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	41
Şekil 4.5	:1050°C sıcaklıkta 90 dk süreyle östenitlenen H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı, (10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	41
Şekil 4.6	:1000°C sıcaklıkta 40 dk süreyle östenitlenen 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, (10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	42
Şekil 4.7	:1000°C sıcaklıkta 60 dk süreyle östenitlenen 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, (10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	42
Şekil 4.8	:1000°C sıcaklıkta 40 dk süreyle östenitlenen 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, (10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m) .....	43
Şekil 4.9	:1100°C sıcaklıkta 60 dk süreyle östenitlenen 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, (10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m) .....	43
Şekil 4.10	:Isıl işlem uygulanmamış orijinal numune. ( 10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	44
Şekil 4.11	:1 nolu 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, (10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	44
Şekil 4.12	:2 nolu 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, m ( 10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m) .....	45

<b>Şekil 4.13</b>	:3 nolu 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, ( 10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	45
<b>Şekil 4.14</b>	:4 nolu 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, ( 10 haneli marker $\equiv$ 20 $\mu$ m).....	46
<b>Şekil 4.15</b>	:316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 4 MHz boyuna dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutu ile değişimi.....	47
<b>Şekil 4.16</b>	:304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 1 MHz boyuna dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutu ile değişimi.....	47
<b>Şekil 4.17</b>	:304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 1 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutu ile değişimi.....	48
<b>Şekil 4.18</b>	:304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 2 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutu ile değişimi.....	48
<b>Şekil 4.19</b>	:H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinde 4 MHz boyuna dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutuyla değişimi.....	49
<b>Şekil 4.20</b>	:H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinde 1 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutuyla değişimi.....	49
<b>Şekil 4.21</b>	:H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinde 2 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutuyla değişimi.....	50
<b>Şekil 4.22</b>	:316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 4 MHz boyuna dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutuyla değişimi.....	50
<b>Şekil 4.23</b>	:316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 1 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın ortalama tane boyutuyla değişimi.....	51
<b>Şekil 4.24</b>	:316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 2 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi.....	51
<b>Şekil 4.25</b>	:304 östenitik paslanmaz çeliğinde elastisite modülü – tane boyutu ilişkisi .....	52
<b>Şekil 4.26</b>	:H13 sıcak iş takım çeliğinde elastisite modülü - tane boyutu ilişkisi .....	52
<b>Şekil 4.27</b>	:316 östenitik paslanmaz çeliğinde elastisite modülü - tane boyutu ilişkisi .....	53
<b>Şekil 4.28</b>	:304 östenitik paslanmaz çeliğinde tane boyutu - kayma modülü ilişkisi .....	53
<b>Şekil 4.29</b>	:H13 sıcak iş takım çeliğinde tane boyutu - kayma modülü ilişkisi .....	54
<b>Şekil 4.30</b>	:316 östenitik paslanmaz çeliğinde tane boyutu – kayma modülü ilişkisi .....	54

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 3.1</b>	:H13, 304 ve 316 çeliklerinin kimyasal bileşim aralıkları.....	26
<b>Tablo 3.2</b>	:H13 sıcak iş takım çeliği ısıtılma işlem prosedürü.....	28
<b>Tablo 3.3</b>	:304 çeliği ısıtılma işlem prosedürü.....	30
<b>Tablo 4.1</b>	:H13 sıcak iş takım çeliği, 316 paslanmaz çelik döküm ve 304 paslanmaz çeliği numunelerinin kimyasal analizi .....	37
<b>Tablo 4.2</b>	:H13 sıcak iş takım, 304 östenitik paslanmaz ve 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinin yoğunlukları .....	38
<b>Tablo 4.3</b>	:H13, 304 ve 316 çeliklerinde elde edilen ortalama tane boyutları.....	46

## SEMBOL LİSTESİ

a	:t zamanında atomların yer değişimi, mm
$a_0$	:Atomların titreşiminin genliği, mm
$c_1$	:Malzemeye bağlı bir sabit
$c_2$	:Malzemeye bağlı bir sabit
$c_3$	:Malzemeye bağlı bir sabit
D	:Ortalama tane boyutu, $\mu\text{m}$
E	:Elastisite modülü, Pa
f	:Frekans, Hz
G	:Kayma modülü, Pa
$(\Delta K/K)^2$	:Ortalama uyumsuzluk parametresi
k	:Malzemeye bağlı bir sabit
N	:l uzunluğundaki doğrunun kestiği tane sayısı
P	:Akustik basınç
$P_0$	:Başlangıçtaki akustik basınç
T	:Periyod, s
V	:Ultrasonik hız, $\text{m s}^{-1}$
$V_B$	:Boyuna ultrasonik hız, $\text{m s}^{-1}$
$V_E$	:Enine ultrasonik hız, $\text{m s}^{-1}$
$V_y$	:Yüzey dalga hızı, $\text{m s}^{-1}$
Z	:Akustik empedans, $\text{Pa s m}^{-1}$
$\alpha$	:Ses zayıflama katsayısı, $\text{dB cm}^{-1}$
$\gamma$	:Ultrasonik demet genişleme açısı
$\lambda$	:Dalga boyu, mm
$\rho$	:Yoğunluk, $\text{gr cm}^{-3}$
$\nu$	:Poisson oranı

## ÖZET

### PASLANMAZ VE TAKIM ÇELİKLERİNDE TANE BOYUTUNUN ULTRASONİK DALGALARIN SAÇILMASINA ETKİSİ

Bu çalışmada, farklı tane boyutlarına sahip paslanmaz ve takım çeliklerinde tane boyutunun ultrasonik dalgaların saçılmasına etkisi araştırılmıştır. 304 paslanmaz çeliği ve H13 takım çeliği numunelerinde farklı tane boyutları elde etmek için ısıl işlem uygulanmıştır. Farklı tane boyutları elde etmek için sıcaklıklar ve tutma süreleri değiştirilmiştir. 316 östenitik paslanmaz çelik numuneler ise döküm yolu ile farklı tane boyutlarında üretilmişlerdir. Her numunede metalografik inceleme yapılmış ve tane boyutları belirlenmiştir. Numunelerde ultrasonik enine ve boyuna dalga hızları 1, 2 ve 4 MHz frekansa sahip normal probalar kullanılarak darbe yankı metodu ile ölçülmüştür. Numunelerin tane boyutu arttığında ultrasonik dalgaların saçılması artmıştır. Numunelerin tane boyutları ultrasonik dalgaların dalga boylarından küçüktür ve tane boyutu/dalga boyu oranı Rayleigh bölgesi civarında bulunmaktadır. Ayrıca numunelerin elastisite ve kayma modülleri belirlenmiştir. Numunelerin elastisite ve kayma modüllerinin artan tane boyutu ile azaldığı bulunmuştur.

## **SUMMARY**

### **EFFECT OF GRAIN SIZE ON THE SCATTERING OF ULTRASONIC WAVES IN STAINLESS AND TOOL STEELS**

In this study, effect of grain size on the scattering of ultrasonic waves in stainless and tool steels was investigated. The heat treatments were carried out in order to obtain different grain sizes for H13 tool steel and 304 stainless steel samples. Holding times and temperatures were varied to obtain different grain sizes. The 316 austenitic stainless steel samples were prepared in different grain sizes by casting. Metallographic examinations were done on each sample and the grain sizes were determined. Ultrasonic velocities of longitudinal and transverse waves were measured by means of pulse-echo method using normal probes with 1, 2 and 4 MHz frequencies. Scattering of ultrasonic waves increased with increasing grain size of the samples. Grain sizes of the samples were smaller than the wavelengths of the ultrasonic waves and the grain size/wavelength ratio was near the Rayleigh region. In addition elastic and shear modulus of the samples were determined. It was found that elastic and shear modulus of the samples decreased with increasing grain size.



## 1. GİRİŞ

Bir tahribatsız muayene yöntemi olan ultrasonik muayene günümüzde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Ultrasonik muayene ile çatlak, inklüzyon, katmer, gözenek gibi iç yapı kusurları tahribatsız olarak belirlenebilmektedir. Ayrıca, ultrasonik yöntem ile malzemenin tane boyutu, kalınlığı, elastisite modülü, kayma modülü ve poisson oranı da tespit edilebilmektedir. Ultrasonik dalgalar malzeme içerisinde ilerlerken çeşitli nedenlerle enerjilerini kaybederler buna ultrasonik zayıflama denir. Ultrasonik zayıflamaya esas olarak absorpsiyon, saçılma ve demet genişlemesi neden olmaktadır. Metallerde ultrasonik zayıflama büyük ölçüde iri tanelerin neden olduğu saçılmadan kaynaklanmaktadır. Bir malzemede ultrasonik dalgaların saçılması, o malzemenin tam olarak homojen olmamasından kaynaklanmaktadır. Akustik empedansı farklı iki malzeme arasındaki sınır, ultrasonik dalgalar için bir inhomojenite oluşturur. Inklüzyonlar, gözenekler ve tane sınırları inhomojen ortamları oluşturur. Saçılmaların bir kısmı proba geri döner ve alet ekranında çimlenme denen belirtiler halinde gözlenir [1]. Saçılma, test esnasında sinyal/gürültü oranını azaltmakta ve bu da süreksizliklerin değerlendirilmesinde hatalara neden olmaktadır. Absorpsiyon daha ziyade plastiklerde görülmektedir ve ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesinden kaynaklanır. Metallerin kalite kontrol aşamalarında test edilmesi gereken en önemli özelliklerinden biri ortalama tane boyutudur. Ultrasonik yöntemle tane boyutunun belirlenmesi, klasik tahribatlı metalografik yöntemle göre hem hızlı hem de tahribatsız olması nedeniyle büyük bir üstünlüğe sahiptir.

Bu çalışmada paslanmaz ve takım çeliklerinde tane boyutunun ultrasonik saçılmaya etkisi incelenmiş ve optimum test koşulları araştırılmıştır. Tane boyutunu ultrasonik yöntemle belirlemek için 316 östenitik paslanmaz , 304 östenitik paslanmaz ve H13 sıcak iş takım çeliklerinde ultrasonik hız-tane boyutu bağıntılarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca numunelerde elastisite ve kayma modülleri belirlenmiş ve artan tane boyutunun etkisi incelenmiştir.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. SESİN ÖZELLİKLERİ VE MEKANİK DALGALARIN YAYILMASI

Işığın ve elektromagnetik dalgaların tersine, mekanik dalgaların yayılabilmesi için mutlaka bir madde ortamının olması gerekmektedir. Fiziksel olarak ses, esnek (elastik) ortamların mekanik titreşimlerinden meydana gelmektedir. Bu titreşimler esnek bir maddenin parçacıklarının, moleküllerinin veya atomlarının sükunet halinden dışarıdan bir kuvvetin etkisiyle hareket haline geçirilmesi sonucu oluşmaktadır. Bütün maddeler, birbirine atomlar arası kuvvetlerle bağlanmış atomlardan (veya moleküllerden) oluşmaktadır. Bu atomik kuvvetler esnektir, yani atomlar birbirine yaylarla bağlanmış gibi düşünülebilir. Atomlar arası bağlantıdan dolayı, bir atomun titreşimi yanındaki atomun da titreşmesine neden olacaktır. Titreşim hareketi atomdan atoma geçerek tüm malzeme içine yayılacaktır. Eğer tüm atomlar birbirine esnek olmayacak şekilde bağlı olsaydı, hepsi aynı anda hareket ederler ve aynı konumda sabit kalırlardı [1,2] .

Bir dalganın frekansı (f), yayıldığı ortamın atomlarının titreşim frekansı ile aynıdır ve birimi Hertz (Hz) 'dir. Bir titreşimin oluşması için geçen zamana dalganın periyodu (T) denir ve frekansla arasındaki ilişki Eşitlik 2.1'de verilmiştir.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

Titreşim periyodu boyunca dalga belli bir yol kat eder. Bu mesafe dalganın dalga boyu ( $\lambda$ ) olarak adlandırılır. Ortamda yayılan dalgaların belli bir zaman içinde aldıkları yola hız (V) denir. Hız, dalga boyu ve periyod arasındaki ilişki,

$$V = \frac{\lambda}{T} \quad (2.2)$$

şeklindedir [1].

Bir mekanik dalga bir ortamdan geçerken, belli bir t zamanında denge halinde olan ortam atomlarının yer değişimi aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir [1].

$$a = a_0 \sin(2\pi ft) \quad (2.3)$$

a : t zamanında atomların yer değişimi

$a_0$  : Atom titreşiminin genliği

f : Atom titreşiminin frekansı

Mekanik dalgaların, zaman ve mesafeye bağlı hareket denklemi ise aşağıdaki gibidir [1].

$$a = a_0 \sin \left( 2\pi ft \right) \left( t - \frac{x}{V} \right) \quad (2.4)$$

Ses dalgaları, katı, sıvı ve gaz atomlarının titreşimlerinden oluşmaktadır. İnsan kulağının algılayabileceği ses dalgası frekansı genelde 20 Hz – 20 kHz arasındadır. Frekansı 20 kHz ‘den yüksek olan ses dalgalarına ultrasonik dalgalar denir. Malzeme testinde genelde 0.5 – 20 MHz arası frekanslar kullanılmaktadır. Metallerin testinde en çok kullanılan frekanslar 1 – 5 MHz arasındadır. Katı, sıvı ve gaz ortamda yayılabilen ultrasonik dalgalar vakumda yayılamazlar. Sıvı ve gazlar sıkıştırmaya ve genişlemeye karşı bir direnç gösterirler ve esnek dalgaları iletirler [ 1, 3 ] .

Bir malzemede ultrasonik dalgaların yayılmasına karşı gösterilen dirence akustik empedans (Z) denir. Akustik empedans malzemedeki ultrasonik dalga hızı ile malzeme yoğunluğunun ( $\rho$ ) çarpımına eşittir [ 1, 3 ] .

$$Z = \rho V \quad (2.5)$$

Akustik basınç bir ultrasonik dalga tarafından malzemeye uygulanan değişken gerilmelerin genliğini ifade etmek için kullanılan terimdir ve aşağıdaki gibi ifade edilir [1].

$$P = Za \quad (2.6)$$

P : akustik basınç

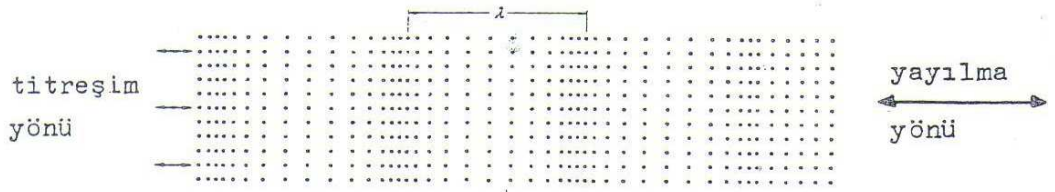
Z : Akustik empedans

a : titreşim genliği

## 2.2. ULTRASONİK DALGA TÜRLERİ

### 2.2.1. Boyuna Dalgalar

Boyuna dalgalara basınç dalgaları da denir. Yayıldığı ortamın parçacıklarını sıkışmaya ve gevşemeye zorlayarak hareket eder ve yayılma yönü titreşim yönü ile aynıdır [1,2,4]. Şekil 2.1’de bir boyuna dalga, titreşim ve yayılma yönü belirtilerek gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Boyuna dalga [ 7 ]

Boyuna dalga, üretimlerinin ve algılanmalarının kolay olmasından dolayı, ultrasonik testte en çok kullanılan dalga türüdür. Boyuna dalgalar katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilirler [1] .

Elastisite teorisi her tür esnek dalganın yayılma hızını aşağıdaki genel bağıntı ile verir [1,4] .

$$V = (E / \rho) f (v) \quad (2.7)$$

E: Elastisite modülü

$\rho$ : Yoğunluk

$v$ : Poisson oranı

V: Hız

Boyuna dalga hızı  $V_B$  ise aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

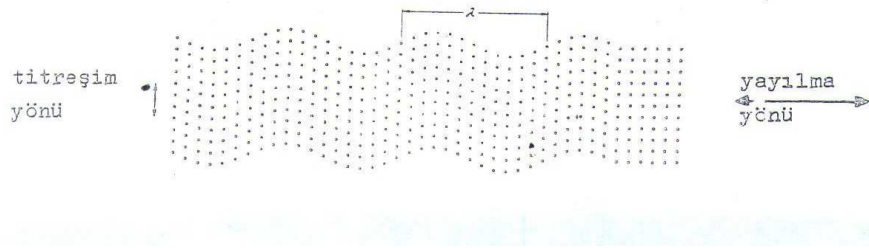
$$V_B = \sqrt{\frac{E(1-v)}{\rho(1+v)(1-2v)}} \quad (2.8)$$

Bu bağıntıdan da görülebileceği gibi yoğunluğu bilinen bir malzemede ultrasonik hız ölçümü ile elastisite modülü belirlenebilir.

Boyuna dalgalar sınır yüzeylerdeki empedans farklılığından daha az etkilendiklerinden, kaba taneli yapılar ve dendritler tarafından daha az engellenirler. Enine dalgalarla aynı frekanstaki boyuna dalgaların dalga boyu enine dalgaların dalga boyundan 1.8 kat daha uzun olduğundan, zayıflamaları daha azdır [5] .

### 2.2.2. Enine Dalgalar

Titreşim yönü yayılma yönüne dik veya çapraz olduğundan dolayı, enine dalgalara kesme dalgaları da denir [1,2,4,6]. Şekil 2.2’de bir enine dalga, titreşim yönü ve yayılma yönü ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Enine dalga [ 7 ]

Enine dalgalar yayıldıkları ortam parçacıklarını çapraz çekmeye zorlarlar ve bu yüzden sadece katılarda yayılırlar. Sıvı ve gazlarda atom veya moleküller arası mesafe büyük olduğundan, bunlar arasındaki çekme kuvveti, birinin diğerini hareket ettirmesi için yeterli gelmemekte ve dalga zayıflamaktadır. Enine dalga hızı boyuna dalga hızının yaklaşık yarısıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir [1] .

$$V_E = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (2.9)$$

### 2.2.3. Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları ilk defa Lord Rayleigh tarafından açıklanmıştır. Bu yüzden bunlara Rayleigh dalgaları da denir. Bu dalga türü sadece malzeme yüzeyinde yayılır. Yüzey dalgalarında parçacık titreşimi eliptik bir yörünge takip eder. Yüzey veya yüzeye yakın hataların tespitinde ve karmaşık şekilli parçaların yüzey testinde kullanılırlar. Yayılma hızları ( $V_y$ ) titreşim modunun elipsoide dönüşümünden dolayı enine dalgalarinkinden biraz daha azdır [ 1, 3 ] ve hızlar arasındaki ilişki Eşitlik 2.10'da verilmiştir.

$$V_y \approx 0,92 V_E \quad (2.10)$$

### 2.2.4. Plaka (Lamb) Dalgaları

Bir yüzey dalgası, kalınlığı dalğanın üç dalga boyuna eşit veya daha ince bir plakanın içine gönderilirse plaka dalgası meydana gelir. Plaka dalgalarının hızı sadece malzeme yoğunluğuna bağlı değil, aynı zamanda plaka dalgasının tipine, plaka kalınlığına ve frekansa bağlıdır [1].

## 2.3. YANSIMA VE TRANSMİSYON

Ultrasonik dalgalar akustik empedansları farklı iki ortamın ara yüzeyine dik geldiklerinde, dalgaların bir kısmı yansıtılır bir kısmı da geçirilir. Yansıtılan veya geçirilen enerji miktarı iki ortamın akustik empedansları farkına bağlıdır. Fark büyükse enerjinin büyük bir kısmı yansıtılır [ 1, 2, 3 ] .

Ultrasonik testte dalgaların genellikle hatalardan veya malzemenin arka yüzeyinden yansması önem taşır. Havanın akustik empedansı sıfırdır, dolayısıyla tam yansımaya söz konusudur. Ultrasonikte prob-malzeme arayüzeyinden yansıyan dalgalar kullanılmaz ve prob içindeki sönümleme bloğu ile sönümlenerek yok edilirler [1] .

## 2.4. ULTRASONİK DALGALARIN ÜRETİLMESİ

Ultrasonik transdüserler elektrik enerjisini ultrasonik enerjiye ve ultrasonik enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu olaya piezoelektrik olay denir [1] . Piezoelektrik olay atomların simetrisine göre meydana gelir. Basınç uygulandığında her atomun çekim merkezi hareket eder ve bir potansiyel farkı oluşur. Doğrudan piezoelektrik olayda mekanik basınç altında kalan bir piezoelektrik malzeme içinde bir elektrik potansiyeli oluşur. Ters piezoelektrik olayda ise, elektrik potansiyeli uygulanan bir piezoelektrik malzemede elastik deformasyon, yani mekanik titreşimler meydana gelir. Doğrudan piezoelektrik olay ultrasonik dalgaları algılamada, ters piezoelektrik olay ise üretimde kullanılır [1, 6] .

Eğer transdüser tek kristalden yapılmışsa ki burada piezoelektrik olay doğal olarak meydana gelir buna piezoelektrik kristal transdüser denir. Transdüser çok kristalli bir malzemeden yapılmışsa ki burada piezoelektrik olay polarizasyon (kutuplanma) ile meydana gelir, buna polarize seramik transdüser denir [1, 6] .

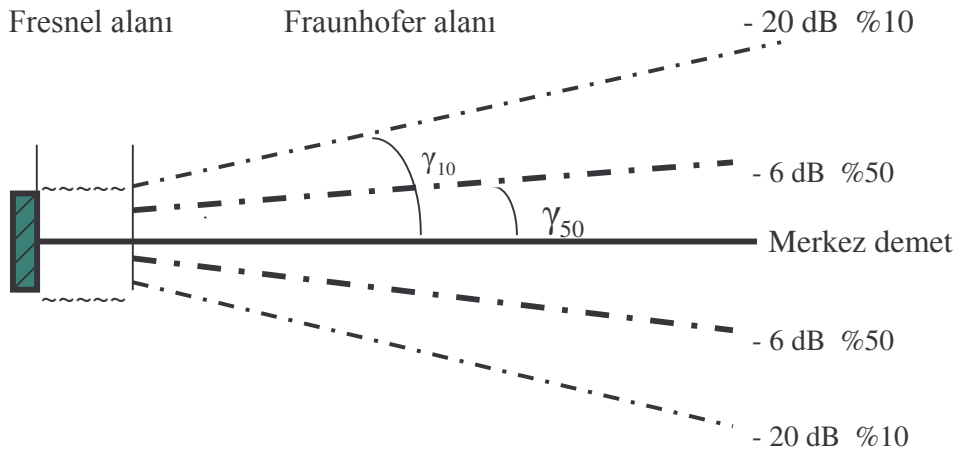
Bazı malzemeler piezoelektrik malzemelere benzer özellikler gösterirler. Fakat deformasyon elektrik potansiyeli ile orantılı değildir. Bu tür malzemelere ferroelektrik malzemeler denir. Ferroelektrik malzemeler rasgele yönelmiş domainlerden oluşur. Ferroelektrik plakanın yüzeyleri arasına potansiyel farkı uygulandığında domainler elektrik alanına paralel yönelir ve bir deformasyon olur. Ferroelektrik özellik (hem pozitif hem negatif gerilim altında genişleme) malzemeyi Curie noktasına ısıtma (ferroelektrik özellik kaybolur) ve öngerilim noktasının altına soğutma ile piezoelektrik özelliğe dönüştürülür. Bundan sonra malzeme piezoelektrik malzeme gibi davranır [1, 6].

Kuvars, lityum sülfat, kadmiyum sülfür ve çinko oksit piezoelektrik kristal transdüser malzemelerindedir. Baryum titanat, kurşun zirkonat titanat ve kurşun metaniobat başlıca ferroelektrik malzemelerdir.

## 2.5. ULTRASONİK DEMET VE ÖZELLİKLERİ

Ultrasonik dalgaların madde ortamında yayılması bir demet şeklinde olmaktadır. Ses demeti, yakın alan (Fresnel bölgesi) ve uzak alan (Fraunhofer bölgesi) olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Yakın alana giren hataların çok dikkatli değerlendirilmesi gerekmektedir, zira bu bölgede yansıtılan sinyallerin genliği mesafe ile önemli ölçüde değişmektedir. Ses demeti uzak alanda belli bir açı ile genişleyerek yayılır. Uzak alanda ses basıncı akustik eksen(merkez demet) üzerinde maksimumdur. Akustik demetin şekli ve boyutları; kristal şekline, boyutuna, hıza ve frekansa bağlıdır [1].

Ultrasonik demet Şekil 2.3’de şematik olarak gösterilmiştir. Proben hemen önünde Fresnel alanı bulunur. Daha sonra ise demet “ $\gamma$ ” açısı ile genişlemektedir.



Şekil 2.3 : Ultrasonik demet [ 7 ]

Ultrasonik demetin şiddeti merkez demet üzerinde maksimumdur. Merkez demet ile “ $\gamma_{50}$ ” açısı yapan doğrultularda ultrasonik demetin şiddeti 6dB azalır. Yankı yüksekliği bu doğrultularda %50 azalır ve bu demete %50 sınır demeti de denir. Benzer şekilde %10 veya -20dB sınır demeti de ( $\gamma_{10}$ ), merkez demetin genliğinin onda birine indiği demet anlamına gelir.

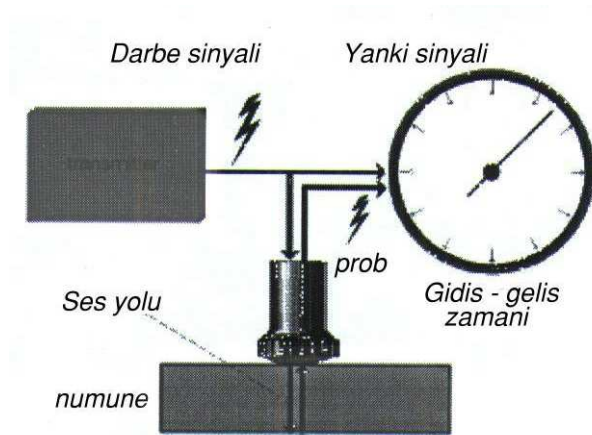
## 2.6. ULTRASONİK TEST TEKNİĞİ

Ultrasonik testte yansıyan dalgaların kullanıldığı yöntem darbe-yankı yöntemi, iki yüzey arasında geçiş yapan dalgaların kullanıldığı yöntemde geçirim (transmisyon) yöntemi denir. Malzemelerin ultrasonik dalgalarla rezonans haline uyarılarak test edildiği yöntem ise rezonans yöntemi denir [ 2, 3 ].

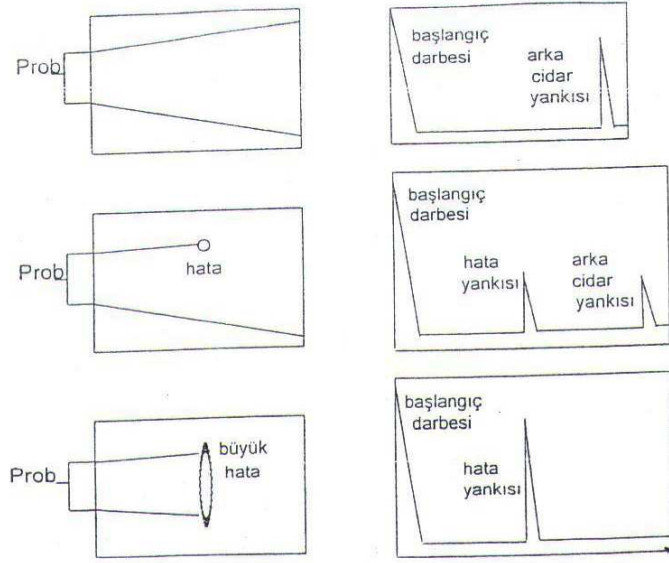
Darbe yankı yöntemi, prob tarafından gönderilen ses dalgalarının malzeme içinde bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması ve algılanması esasına dayanır.

Ultrasonik test teknikleri ya temas ya da daldırma şeklindedir. Temas tipi testte prob numune ile doğrudan temas halindedir. Daldırma testinde, sıvı sızdırmaz bir prob kullanılır ve prob ile malzeme arasında sıvı bulunur. Doğrudan temas teknikleri, normal demet tekniği, açılı demet tekniği, yüzey dalgası tekniği ve tandem tekniği şeklinde sınıflandırılır.

Şekil 2.4a'da darbe-yankı yöntemi ile muayene mekanizması görülmektedir. Ultrasonik dalganın gidiş-geliş süresi aygıt tarafından ölçülmektedir. Numune kalınlığı (ses yolu), kumpasla hassas bir şekilde ölçülüp aygıt girildiğinde aygıt ses hızını hesaplar ve cihaz ekranına yansıtır. Şekil 2.4b'de ise hatalı ve hatasız malzemede darbe-yankı yöntemiyle oluşan yankıların ekran görüntüleri verilmiştir.



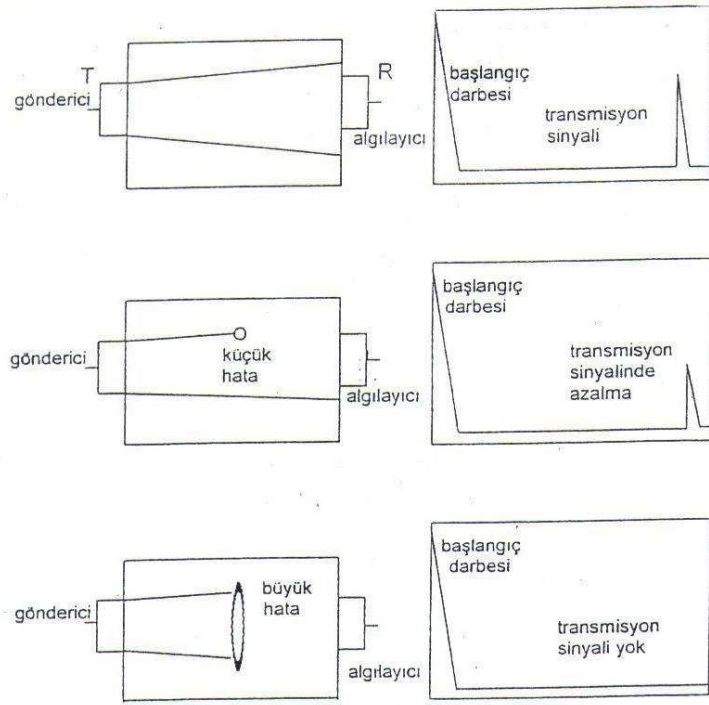
Şekil 2.4 a : Darbe-yankı yönteminin blok diyagramı [ 2]



Şekil 2.4 b: Hatalı ve hatasız malzemelerin darbe-yankı yöntemiyle muayenesinde oluşan ekran görüntüleri [ 2]

Şekil 2.4-b'de Darbe-yankı metodu izah edilmektedir. Burada prob hem alıcı, hem verici görevi görür. Öncelikle probdan çıkan dalga numune ile etkileşir ve başlangıç darbesi oluşur. Ultrasonik dalga numunenin arka cidarına çarptığında ise arka cidar yankısı oluşur ve cihaz ekranında bir pik olarak kendini gösterir. Eğer numune içinde bir süreksizlik var ise kendini cihaz ekranında bir pik olarak gösterir. Eğer süreksizlik dalganın ilerleyişini durduracak kadar büyük ise arka cidar yankısı görülmez.

Şekil 2.5'te transmisyon yöntemiyle hatalı ve hatasız malzemelerin muayenesinde oluşan ekran görüntüleri verilmiştir. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi bir alıcı ve bir verici olmak üzere iki adet prob vardır. Numune içinde bir süreksizlik olmaması durumunda cihaz ekranında başlangıç darbesi ve transmisyon sinyali görülür. Eğer numune içinde herhangi bir süreksizlik var ise ultrasonik dalga zayıflar, dolayısı ile transmisyon sinyali azalır. Eğer hata büyük ise ultrasonik dalganın geçişini engeller ve cihaz ekranında transmisyon sinyali görülmez.



Şekil 2.5 : Transmisyon yöntemi [ 7 ]

## 2.7. ULTRASONİK DALGALARIN ZAYIFLAMASI

Ultrasonik dalgaların çeşitli etkenlerle şiddet ve enerjilerini kaybetmesine ultrasonik zayıflama denir. Ultrasonik demetin zayıflamasına esas olarak demet genişlemesi, absorpsiyon, saçılma ve temas kayıpları neden olmaktadır. Metal ve seramiklerde zayıflamanın büyük kısmı saçılmadan, sıvı ve plastiklerde ise absorpsiyondan ileri gelmektedir. Absorpsiyon ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi olayıdır. Absorpsiyon, frekans yükseldikçe artmaktadır. Absorpsiyona; dalgaların sıkışması sırasındaki ısınmadan ve genişlemesi sırasındaki soğumadan kaynaklanan kayıplar, ferromagnetik malzemelerde magnetoelastik kayıplar, boşlukların neden olduğu ısıl kayıplar neden olur. Bir malzemede ultrasonik dalgaların saçılması, o malzemenin tam olarak homojen olmamasından ileri gelmektedir. Akustik empedansı farklı 2 malzeme arasındaki sınır ultrasonik dalgalar için bir inhomojenite oluşturur. İnklüzyonlar, gözenekler ve tane sınırları inhomojen ortamları oluşturur. Her tane farklı akustik empedansa sahiptir ve sonuçta saçılmaya neden olur. Saçılmaların bir kısmı proba geri döner ve alet ekranında çimlenme denen belirtiler halinde gözlenir [ 1, 5 ].

Düzlemsel dalgalarda akustik basınç mesafe ile eksponansiyel olarak azalmaktadır ve aşağıdaki gibi ifade edilir [1].

$$P = P_0 e^{-\alpha x} \quad (2.11)$$

$\alpha$ : Ses zayıflama katsayısı

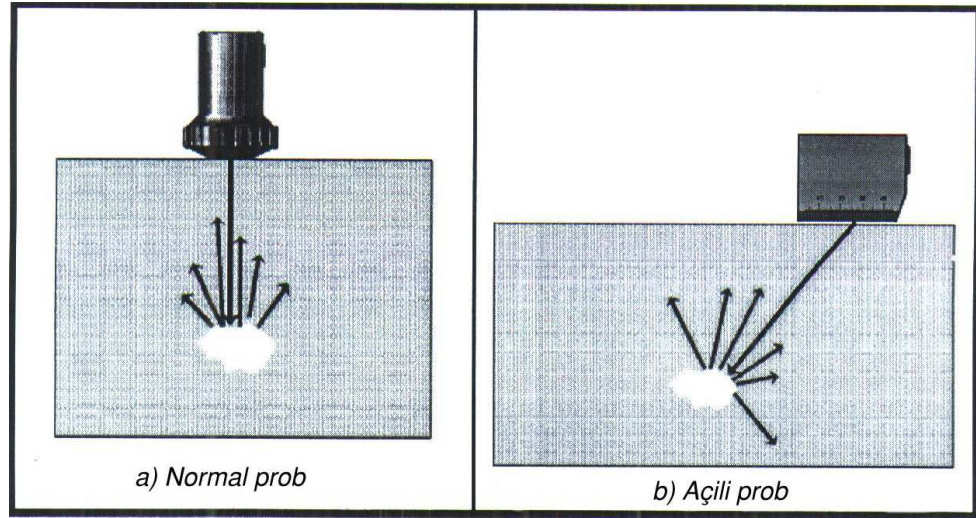
$P_0$  : Başlangıçtaki akustik basınç

$P$  :  $x$  mesafesindeki akustik basınç

Ses zayıflama katsayısı ( $\alpha$ ), absorpsiyon ( $\alpha_a$ ) ve saçılma ( $\alpha_s$ ) katsayılarının toplamıdır.

$$\alpha = \alpha_a + \alpha_s \quad (2.12)$$

Zayıflama katsayısı malzeme özelliklerine ve frekansa bağlıdır. Frekans yükseldikçe zayıflama artar. Düşük frekanslarda zayıflama genelde soğurulmadan kaynaklanır, frekans yükseldikçe (dalga boyu tane boyutu mertebesine yükseldikçe) saçılma artar.



Şekil 2.6: Ultrasonik dalgaların zayıflaması [ 2]

Şekil 2.6'da ultrasonik dalgaların, normal ve açılı problarla yapılan testlerde zayıflamaları verilmektedir. Görüldüğü gibi ultrasonik dalga bir hacimsel hataya çarpıp saçılmaktadır.

### 2.7.1. Ultrasonik Dalgaların Saçılması

Ultrasonik dalgaların saçılması, malzemenin tane boyutuna (D) ve ultrasonik dalgaının frekansına (f), dolayısıyla dalga boyuna ( $\lambda$ ) bağlıdır. Malzemenin ortalama tane boyutu ve sesin dalga boyuna bağlı olarak çeşitli saçılma mekanizmaları vardır [1,5].

- a)  $D/\lambda \ll 1$  olduğunda bir saçılma görülmez. Buna etkisiz saçılma denir ve şekil 2.7-a'da şematik olarak gösterilmiştir.
- b) Şekil 2.7-b'de şematik olarak gösterilen Rayleigh saçılması  $0,02 < D/\lambda < 0,2$  şartında gerçekleşir. Ultrasonik testte en çok karşılaşılan mekanizmadır. Rayleigh saçılmasının görüldüğü bölgede saçılma katsayısı aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\alpha_s = c_1 D^3 f^4 \quad (2.13)$$

Burada  $c_1$  malzemeye bağlı bir sabittir.

- c)  $D/\lambda \approx 1$  şartında oluşan stokastik saçılma şematik olarak Şekil 2.7-c'de gösterilmektedir.

Bu bölgede tane sınırlarında yansıma, kırılma ve dalga dönüşümü oluşur. Bu saçılma daha ziyade kaba taneli yapılarda meydana gelir. Stokastik bölgede saçılma katsayısı aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

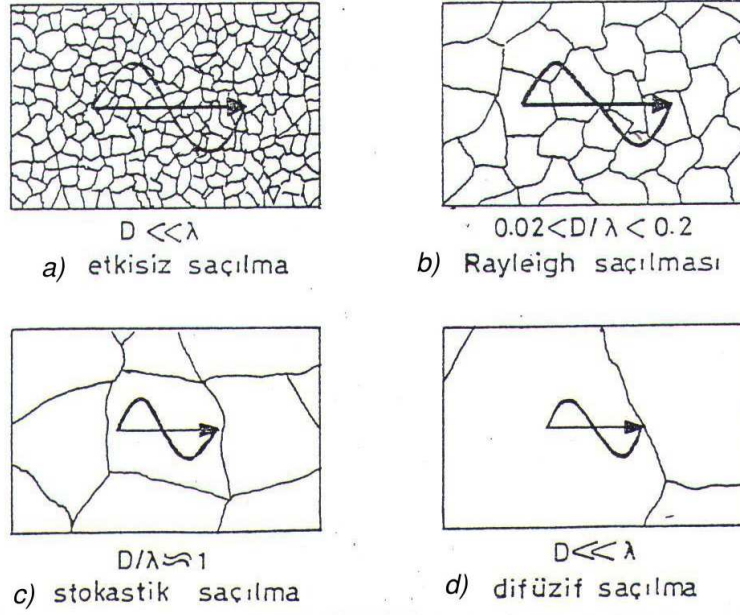
$$\alpha_s = c_2 D f^2 \quad (2.14)$$

Burada  $c_2$  malzemeye bağlı bir sabittir.

- d) Şekil 2.7-d'de şematik olarak gösterilen difüzyon saçılması ise  $D/\lambda \gg 1$  şartında oluşur. Bu bölgede saçılma katsayısı frekansa bağlı değildir. Difüzyon bölgesinde saçılma katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\alpha_s = c_3 / D \quad (2.15)$$

Burada  $c_3$  malzemeye bağlı bir sabittir. Difüzyon bölgesinde saçılma, tane boyutu ile ters orantılıdır.



Şekil 2.7 : Saçılma mekanizmaları [ 5 ]

Bridge ve Merrikh, 316H Paslanmaz Çeliği ile yaptıkları çalışmada, ortalama tane boyutu ve dalga boyuna bağlı olarak saçılma katsayısının bulunmasında

$$\begin{aligned} \alpha_s &= 0.58 D^3/\lambda^4 & (D \ll \lambda/2\pi) \\ \alpha_s &= 3.6 \cdot 10^{-3} D/\lambda^2 & (D \sim \lambda/2\pi) \\ \alpha_s &= 1.67 \cdot 10^{-4} /D & (D > \lambda/4) \end{aligned}$$

şeklinde Rayleigh, Stokastik ve Difüzyon bölgeleri saptamışlardır [ 8 ].

Saçılma, test esnasında sinyal/gürültü oranını azaltmakta ve bu da süreksizliklerin belirtilerinin değerlendirilmesinde hatalara neden olur. Burada gürültü teriminden yanıltıcı sinyaller anlaşılacaktır. Bunlara çimlenme de denir, ve esas sinyaller ile aralarındaki güç farkı (dB) cinsinden karakterize edilir. Kaba taneli ve saçılmaya neden olan malzemelerde, ölçümlerin en iyi yapılabileceği frekansı ve dalga modunu (enine veya boyuna dalga) belirlemek gerekir.

Ses zayıflamasını azaltmak için düşük frekanslar kullanmak gerekir; ancak bu algılama duyarlılığını yükseltmek için büyük kristal kullanmayı gerektirir. Genelde 1-5 MHz frekanslar kullanılır [5] .

## 2.8. ULTRASONİK DALGALARIN HIZLARI İLE ELASTİSİTE VE KAYMA MODÜLLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Boyuna, enine ve yüzey dalgalarının hızları, malzemenin yoğunluğuna ve elastisite modüllerine bağlıdır. Bu dalgaların hızları frekansa ve malzeme boyutuna bağlı değildir. Boyuna ve enine dalgaların hızları, elastisite ve kayma modüllerine bağlı olarak aşağıda verilmiştir [1].

$$V_B = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (2.16)$$

$$V_E = \sqrt{\frac{E}{\rho 2(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2.17)$$

Burada ;  $V_B$  ;  $V_E$  : Boyuna ve Enine dalga hızları

$E$  : Elastisite modülü (Young modülü)

$G$  : Kayma modülü

$\nu$  : Poisson oranıdır

Bir malzemede, ultrasonik hızlar yardımı ile, malzemenin elastisite ve kayma modüllerini tayin etmek mümkündür.

Poisson oranı ( $\nu$ ),  $E$  ve  $G$ 'ye aşağıdaki gibi bağlıdır.

$$\nu = \left( \frac{E}{2G} - 1 \right) \quad (2.18)$$

Poisson oranı ile  $V_E$  ve  $V_B$  arasındaki ilişki Eşitlik 2.18'de verilmiştir.

$$\nu = \frac{V_B^2 - 2V_E^2}{2(V_B^2 - V_E^2)} \quad (2.19)$$

Kumar ve diğerleri yaptıkları çalışmada poisson oranının artan ultrasonik hız ile azaldığını bulmuşlardır. Ayrıca enine dalga hızlarının boyuna dalga hızlarına göre poisson oranı ile daha iyi bir korelasyon gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Sonuçta poisson oranı ile enine dalga hızı arasında aşağıdaki bağıntıyı elde etmişlerdir [9] .

$$v = 0,5 - 1.363 \times 10^{-4} V_E \quad (2.20)$$

Bu bağıntıdan da görüleceği gibi artan ultrasonik hız ile poisson oranı azalmaktadır. Ayrıca 316 Paslanmaz çeliği ile yaptıkları çalışmada artan tane boyutuna bağlı olarak ultrasonik hızın azaldığını ve buna bağlı olarak poisson oranının arttığını belirlemişlerdir [9, 10].

## 2.9. TAKIM ÇELİKLERİ

Takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatta kullanılan, sıcak veya soğuk haldeki iş parçasını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile biçimlendirilen yüksek nitelikteki çeliklerdir [11] .

Kullanım şartlarına ve uygulama alanlarına göre takım çelikleri:

- Soğuk İş Takım Çelikleri
- Sıcak İş Takım Çelikleri
- Yüksek Hız Çelikleri
- Plastik Takım Çelikleri

olarak sınıflandırılır.

Takım çeliği, yüksek oranda alaşım elemanı içerir. Yüksek oranda alaşım elemanı, çeliğin ergitilmesinden dökümüne ve işlenmesine kadar her aşamada diğer çeliklerin üretiminden farklı sistemlerin kullanılmasını zorunlu kılar. Takım çeliğinin kalitesi de çeliğe uygulanan bu işlemlere bağlıdır. Takım çeliğinin kalitesi aşağıdaki özelliklerle ifade edilebilir:

- Dar kimyasal bileşim
- Homojen kimyasal bileşim
- İnce taneli ve homojen mikroyapı
- İşlenmiş yüzeyler

### **2.9.1. Soğuk İş Takım Çelikleri**

Genel olarak yüzey sıcaklığı 200°C'yi geçmeyen takımın imalinde kullanılan çeliklerdir. Talaşlı ve talaşsız imalat için kullanılırlar. Soğuk iş takım çelikleri, kesme, delme, zımba, baskı, pres, soğuk fişkırtma gibi işlemlerde kullanılır. Bu çeliklerden yüksek aşınma dayanımı beklenir [11]. Bu çeliklerde genellikle % 0,3-2,5 arası karbon bulunur. Bu çelikler karbür teşekkül ettirici V, Mo, W ve Cr ile alaşımlandırılır ve buna uygun ısıtıl işlem uygulanır.

### **2.9.2. Sıcak İş Takım Çelikleri**

Genel olarak yüzey sıcaklığı 200° C'yi geçen sürekli ısıya tabi takımlarda kullanılırlar. Başlıca kullanım alanları açık dövme, kapalı kalıpta dövme, basınçlı döküm, presleme, enjeksiyon ve ekstrüzyondur [11]. Bu çelikler sıcakta dayanıma, iyi meneviş dayanımına, sıcakta yüksek aşınma direncine ve yeterli sünekliğe sahip olmalıdır.

### **2.9.3. Yüksek Hız Çelikleri**

Malzemelerin yüksek hızlarda işlenmeleri için kullanılan takım çelikleridir, yüksek kesme hızlarına dirençlidirler ve genelde talaşlı imalat için kullanılırlar. En önemli özellikleri yüksek sıcaklıklarda aşınma dayanımıdır. Delme, kesme, tornalama, frezeleme ve zımbalamada kullanılırlar [11]. Hız çelikleri % 0,8-1,4 arası karbon ve W, Cr, Mo, V ve Co elementlerini içerir. Alaşım elemanlarının yapıda dağılımı bu çeliklerin kalitesini önemli ölçüde etkiler.

### **2.9.4. Plastik Kalıp Çelikleri**

Bu çelikler plastiklerin enjeksiyon, ekstrüzyon, şişirme ve çeşitli presleme teknikleriyle şekillendirilmesinde kullanılan takım çelikleridir. Polimer malzemelerden enjeksiyon veya ekstrüzyon yolu ile üretim yapılırken sıvı polimer, metal kalıp için korozif ve aşındırıcı etkiler yaratır. Özellikle PVC , yapısındaki Cl'dan dolayı oldukça koroziftir.

## 2.10. PASLANMAZ ÇELİKLER

İçinde en az % 10,5 Cr içeren, çevresel ve korozyon koşullarında paslanmayan yada yüksek sıcaklıklara dayanabilen çeliklere paslanmaz çelikler denir. Temel üretim ve kullanım nedeni yüksek korozyon direncidir. Paslanmaz çeliğe paslanmazlık özelliği kazandıran kromun dışında bazı türlerinde Ni ve Mo ana alaşım elemanı olarak yer alır. Korozyona yüksek dirençli olmaları nedeniyle paslanmaz çeliklerin enerji, kimya, ilaç, petrokimya, gıda, otomotiv, kağıt ve tıp aletleri sektöründe geniş kullanım alanları vardır. Paslanmaz çeliklerin kullanımı esnasında, korozyon direnci mekanik özellik ve yüksek sıcaklıktaki davranışını belirleyen ana etkenler malzemenin kimyasal bileşimi ve mikroyapısıdır [12].

Paslanmaz çelikler

- Martensitik
- Ferritik
- Östenitik
- Çökelmeyle sertleşen paslanmaz çelikler
- Çift fazlı (duplex) paslanmaz çelikler

olmak üzere beş ana sınıfa ayrılırlar [12] .

Paslanmaz çelikler yüzeyde kromca zengin oksit tabakasının oluşumu ile paslanmazlık özelliği kazanır.

Martensitik paslanmaz çeliklerin en önemli karakteristikleri sert ve kırılğan oluşlarıdır. Manyetik özellik gösterirler. Isıya dayanıklıdırlar, iyi işlenebilme özellikleri vardır. Genellikle jet motoru parçaları, pompa şaftları, valfler, kesici aletler, rulmanlar, yaylar, nozüller, jilet, mutfak eşyaları yapımında kullanılırlar.

Ferritik paslanmaz çelikler su verme esnasında martensit dönüşümü göstermedikleri için sadece plastik deformasyon ile sertleştirilirler. En iyi ve belirgin özellikleri yüksek korozyon dirençleridir. %16 – 30 arası Cr içerirler. Başlıca kullanım alanları su verme aparatları, petrol endüstrisinde parça yapımı, cıvata ve mil yapımıdır.

300 serisi olarak adlandırılan östenitik paslanmaz çelikler yapılarında paslanmazlık için %16-26 Cr ve yapıyı östenitik fazda tutacak oranda Ni (%7 – 22) içeren Fe-Ni-Cr alaşımlarıdır. Isıl işlem ile sertleştirilemezler [12].

Östenitik paslanmaz çelikler faz dönüşümü göstermedikleri için yüksek sıcaklıklara ısıtma bunlarda tane büyümesine yol açar. Süneklik ve mekanik özellikleri oldukça iyidir. Östenitik paslanmaz çelikler genellikle çatal-bıçak takımlarında, otomobil jant kapaklarında, uçak gövdelerinde, gıda işleme aletlerinde, reküperatörlerde kullanılır.

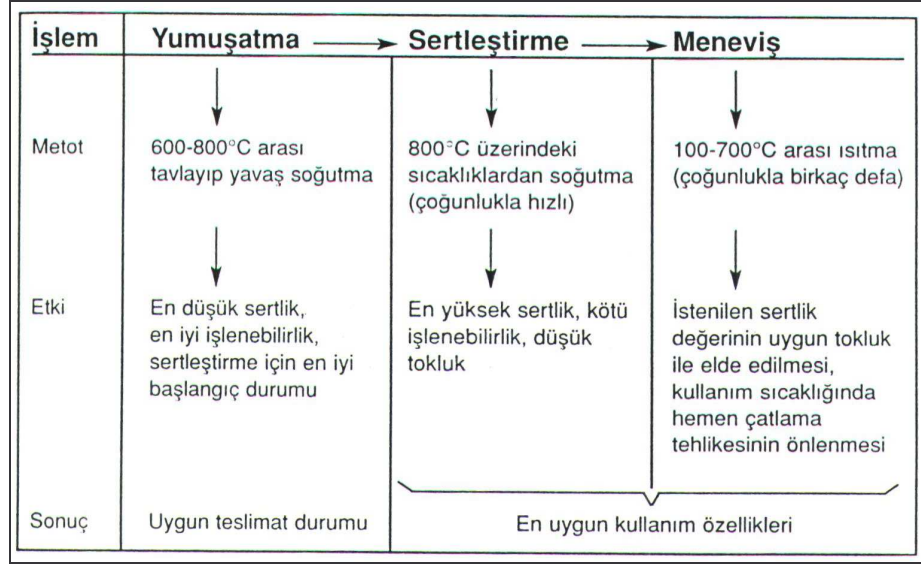
Yapılarında hem östenit hem de ferrit bulduran paslanmaz çeliklere Duplex çelikler denir. Çökelme sertleşmesi ise prensip olarak alaşımın çözeltiye alma tavından sonra hızlı soğutmayı takip eden bir yaşlandırma işlemidir.

## 2.11. TAKIM ÇELİKLERİNİN ISIL İŞLEMİ

Genellikle takım çelikleri için 600-800°C arası tavlayıp yavaş soğutma sonucu en düşük sertlik, en iyi işlenebilirlik, sertleştirme için en iyi başlangıç durumu elde edilir ve buna tavlama denir. 800-1250°C sıcaklıklardan soğutma (çoğunlukla hızlı) sonucu en yüksek sertlik, düşük tokluk, kötü işlenebilirlik elde edilir. Sertleştirmeden hemen sonra 100-700°C arası ısıtma (çoğunlukla birkaç defa) sonucu ise istenen sertlik değerinin uygun tokluk ile elde edilmesi, kullanım sıcaklığında hemen çatlama tehlikesinin önlenmesi sağlanmış olur. Bu proses menevişleme olarak bilinir [11]

H13 sıcak iş takım çeliğinin östenitleme sıcaklığı 1000-1050°C arasındadır. H13'ün yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti östenitleme sıcaklığı arttıkça artar, ancak bu artışla beraber toklukta azalma olur. Östenitleme sıcaklığı ne kadar yüksek ise çeliğin tane büyümesine karşı hassasiyeti o kadar artar ve kaba taneli bir yapı oluşur. Yüksek vanadyumdan dolayı H13 çeliği tane büyümesine karşı çok kötü bir hassasiyet göstermemektedir. Diğer bir ifade ile tane büyümesi yavaş meydana gelir. Sertleştirme sonrası tane boyutu ASTM 7 civarı olmalıdır [13] . Sıcak iş çeliklerinin 500°C civarında temperlenmeleri halinde ikinci bir sertleştirme meydana gelir [13] .

Şekil 2.8.'da takım çelikleri için genel ısıl işlem diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.8: Takım çelikleri için genel ısıl işlem diyagramı [ 11]

## 2.12. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ

Geleneksel östenitik paslanmaz çelikler ısıl işlemle sertleştirilemezler. Bunun nedeni östenit-martensit dönüşümü göstermezler. Çünkü içerdikleri yüksek miktardaki nikel yapının östenit fazda kalmasını sağlar. Yüksek sıcaklıklarda (900°C'den sonra) krom karbürler çözünürler [14]. Östenitik paslanmaz çeliklerde 480-815°C arasında krom karbürler tane sınırlarına çökerler bu yüzden östenitleme bu bölgenin üstünde olmalıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerde östenitleme bölgesinde aşırı bekleme veya çok yüksek sıcaklık sonucu tane büyümesi gözlenir.

Ferritik paslanmaz çeliklerde ısıl işlem ile sertleştirilemezler tam tersine yüksek sıcaklıktan soğutma ile en düşük sertliğe erişilir. Çünkü yüksek Cr ve düşük Ni içerirler ve yapı ferrit fazda kalır [14].

Martensitik paslanmaz çeliklerin ısıl işlemi sade ve düşük karbonlu çeliklerin ısıl işlemine benzer. Maksimum mukavemet ve sertlik karbon oranına bağlıdır [14].

### 2.13. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bridge ve Merrikh, 316 H Östentik Paslanmaz Çeliği üzerinde bir çalışma yapmışlardır. 100-1400 °C arasında 46 adet numuneyi her biri farklı sıcaklıkta 75'er dakika tutmuşlardır ve değişik şartlarda soğutmuşlardır (havada, fırında, yağda). Soğutma ortamının saçılmaya etkisi olmadığını bulmuşlardır. Saçılma tane boyutuna bağlı olarak değişmiştir. Tane boyutu ve sertlik 1050° C civarında ani değişimler göstermiştir. Ayrıca ortalama tane boyutu ile frekans arasındaki orana bağlı olarak 3 saçılma bölgesi tespit edilmiştir.

$$\alpha_s = 0.58 D^3/\lambda^4 \quad (D \ll \lambda/2\pi, D: 10-60 \mu\text{m})$$

$$\alpha_s = 3.6 \cdot 10^{-3} D/\lambda^2 \quad (D \sim \lambda/2\pi, D: 60-150 \mu\text{m})$$

$$\alpha_s = 1.67 \cdot 10^{-4} /D \quad (D > \lambda/4, D > 150 \mu\text{m})$$

burada “ $\lambda$ ” enine dalga boyudur [8] .

Serabian NiMoV alaşımlı çelik, alüminyum, magnezyum, nikel ve nikel alaşımlarında ultrasonik zayıflamanın tane boyutu ve frekansa olan bağlılığını incelediği çalışmasında, dalga boyu / tane boyutu oranına bağlı olarak, saçılma için

$$(\Delta K/K)^2 D^3 f^4 \quad (\lambda \gg D)$$

$$(\Delta K/K)^2 D f^2 \quad (\lambda \sim D)$$

$$(\Delta K/K)^2 / (D) \quad (\lambda \ll D)$$

şeklinde 3 bölge tespit etmiştir. Burada  $(\Delta K/K)^2$  terimi tanelerin şekillerine bağlı olup, ortalama uyumsuzluk parametresi olarak ifade edilmiştir [15].

Juva ve Haarvisto, östenitik paslanmaz çeliklerde mikroyapının ultrasonik dalgaların zayıflamasına etkisini incelemişlerdir. Tane boyutu, karbür yüzdesi ve karbür dağılımını değiştirmek için numunelere argon atmosferli bir fırında ısıl işlem uygulanmıştır. Numuneler 1200°C civarında belli süreler tutulmuşlardır. Karbür yüzdesini değiştirmek için ise daha sonra, çözeltiyeye alma ve çöktürme ısıl işlemleri yapılmıştır. Sonuç olarak, tane boyutu büyüdükçe zayıflamanın arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca yapıda bulunan  $\delta$  ferrit miktarının zayıflamaya kayda değer bir etkisinin olmadığını saptamışlardır. Karbür oranı ve yüzdesinin de aynı şekilde ultrasonik zayıflamaya küçük bir etkisinin olduğunu bulmuşlardır [16].

Papadakis, 416 paslanmaz çeliği (%12 Cr), 440 paslanmaz çeliği (%17 Cr) ve nikel üzerinde ultrasonik zayıflamayı ölçmüş, tane boyutu dağılımı ve ultrasonik hızı belirlemiştir. Tane boyutunu değiştirmek için 440 paslanmaz çeliği 1270°C de 2 saat, 416 çeliği 860°C de 4 saat ve nikel alaşımı 700°C de 3 saat tutulmuştur. Ultrasonik ölçümler darbe-yankı metoduna göre kuvars transdüser ile enine ve boyuna dalga ile ölçülmüştür. Sonuçlar zayıflamanın, frekans ve tane boyutuna bağlılığının 3 bölge'de farklı olduğunu göstermiştir.

- $\lambda > 2\pi D$  için  $\alpha \sim D^3 f^4$
- $\lambda < 2\pi D$  için veya  $\lambda \cong D$  için  $\alpha \sim T f^2$
- $\lambda \ll D$  için  $\alpha \sim 1/D$

burada T tanelerin genişlik ve şekline bağlı bir sabittir [17].

Palanichamy ve diğerleri, soğuk işlenmiş östenitik paslanmaz çeliğinde tavlama davranışını (kendine gelme, yeniden kristalleşme) ultrasonik hız ölçümü ile karakterize etmişlerdir. 1050°C'de tavladıkları numunelerin tane boyutu 25-35  $\mu\text{m}$  olmuştur. Daha sonra numunelere %20 soğuk deformasyon ve 0,5-1000 saat sürelerde, 800°C'de tavlama uygulanmıştır. Ultrasonik test 4MHz normal prob'la yapılmıştır ve enine dalgaların, boyuna dalgalardan daha hassas olduğunu bulmuşlardır. Ultrasonik hızın tavlamanın çeşitli aşamalarındaki değişimini karakterize etmişlerdir. Tane büyümesinin olduğu anlarda, hızda düşüşler gözlenmiştir [18].

Kumar ve diğeri 316 östenitik paslanmaz çeliği ile yaptıkları çalışmada tane boyutunun ultrasonik spektral parametrelere etkisini incelemişlerdir. 50mm çapında ve 15 mm uzunluğundaki numunelere 1100-1350°C arasında 15 dk ile 2 saat arasında değişen sürelerde tavlama yapmışlar ve numunelerde 30-138 µm tane boyutu elde etmişlerdir. Ultrasonik zayıflamayı ise

$$\alpha = \alpha_1 f^{0.5} + \alpha_2 f^2 + S D^3 f^4 \text{ olarak ifade etmişlerdir.}$$

Burada;  $\alpha_1, \alpha_2$  ve S katsayılar olup  $\alpha_1 f^{0.5} + \alpha_2 f^2$  terimi absorpsiyonu temsil eder S  $D^3 f^4$  ise saçılmayı temsil eder. Toplam zayıflamaya en büyük etkinin tane boyutu ve frekansın neden olduğunu bulmuşlardır [19].

Gür ve diğeri, 1040 ve 4140 ıslah çelikleri ile yaptıkları çalışmada içyapı ile ultrasonik özellikler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. 30 mm çapında ve 5 mm kalınlığındaki numunelere ısıtma işlemi uygulamışlar ve 20 MHz boyuna dalga ile darbeyankı metoduna göre ultrasonik hız ölçümü yapmışlardır. Tane boyutunun ultrasonik hızı etkilememesi için ısıtma işlemi çalışmasında aynı tane boyutunda fakat farklı iç yapıda numuneler elde etmişlerdir. Martensit, beynit, ince perlit, kaba perlit ve temperlenmiş martensit yapılarında ölçtükleri hızlar aşağıda verilmiştir [20] :

Martensit :	5904 m s <sup>-1</sup>
Beynit :	5934 m s <sup>-1</sup>
İnce perlit:	5948 m s <sup>-1</sup>
Kaba perlit:	5952 m s <sup>-1</sup>
Temperlenmiş martensit:	5953 m s <sup>-1</sup>

DiGiacomo ve diğeri, karbon çeliğinde tane boyutunu ultrasonik dalgalarla belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Öncelikle 5 adet numuneye ısıtma işlemi uygulayarak ASTM 3, 5, 6, 7 ve 8 tane boyutlarında elde etmişlerdir. Daha sonra 10 MHz frekanslı ultrasonik dalgalarla hız ölçümü yapmışlardır. Sonuçlar taneler incelidikçe saçılmanın azaldığını göstermiştir. Uygun yüzey şartlarında, ultrasonik saçılmanın tane boyutunu belirlemede kullanılabileceğini tespit etmişlerdir [21].

Kumar ve diğeri, VT14 titanyum alaşımında (Ti -4.5Al-3Mo-1V) ultrasonik hız ve zayıflamayı incelemiştir. Öncelikle 20x20x12 mm boyutlarındaki numunelere ısı işlem uygulayarak farklı iç yapılar elde etmiştir. Ultrasonik hız ve sertliğin ultrasonik zayıflama ile ters orantılı olduğunu bulmuşlardır. Ultrasonik hızın  $\beta$  fazının dönüşüm sıcaklığını tespit etmede kullanılabileceğini tespit etmiştir. En düşük ultrasonik hız  $\beta$  fazının olduğu numunelerde ölçülmüştür. Çünkü bu faz en düşük elastisite modülüne sahiptir [22].

Klinman ve diğeri, karbon çeliklerinde tane boyutu ve mukavemet değerlerini tahribatsız olarak ultrasonik yöntemlerle belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Öncelikle sade karbonlu çelikten 46 adet sıcak haddelenmiş numune elde etmişler ve bunlara normalizasyon tavlama uygulamışlardır. Daha sonra farklı tane boyutları ve perlit oranları elde etmek için 700-1200°C arasında değişen sıcaklıklarda östenitlemişlerdir. Ultrasonik ölçümler daldırma metodu ile darbe-yankı tipi proba yapılmıştır. Ortalama tane boyutları 11-230  $\mu\text{m}$  arasında elde edilmiştir ve iç yapıda % 0-36 arasında perlit elde edilmiştir. Elde ettikleri sonuçlarda ultrasonik zayıflamaya büyük ölçüde tane boyutunun neden olduğunu fakat çekme mukavemetinin belirlenmesinde perlit oranının etkisinin olduğunu saptamışlardır. Tane boyutu arttıkça akma mukavemetinde büyük düşüşler gözlenmiştir. Ayrıca artan tane boyutu ile ultrasonik zayıflamanın da arttığı tespit edilmiştir. Tane boyutuna bağlı olarak belirledikleri akma mukavemeti ve ultrasonik zayıflama değerleri aşağıda verilmiştir [23].

<u>Tane boyutu, <math>\mu\text{m}</math></u>	<u>akma mukavemeti, MPa</u>	<u>zayıflama, dB/cm</u>
30.3	450	0.42
35.1	410	0.56
53.7	380	0.80
80.4	310	1.81
113.3	300	2.36

Chakravarty ve diğeri, süspansiyon sistemlerinde kullanılan östenitik Cr-Mn çeliğinden yapılmış pimlerde tane boyutunun ultrasonik zayıflama ile kontrol edilebilirliğine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Pimlerin aşınmaya, darbe ve kayma kuvvetlerine dayanıklı olması arzu edilmektedir. Fakat sık sık iri tanelerin neden olduğu kırılmalar gözlenmektedir. Chakravarty ve diğeri ASTM 1-6 arası tane boyutlarında çok sayıda pimde 1.25 MHz ve 2.5 MHz de ultrasonik zayıflama ölçümü yapmışlardır. 2.5 MHz de yaptıkları çalışmada ASTM 1 (iri taneli yapı) de önemli ölçüde ultrasonik zayıflama tespit edilmiştir fakat ASTM 4-6 (ince taneli yapı) arasında zayıflama daha az olmuştur [24].

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

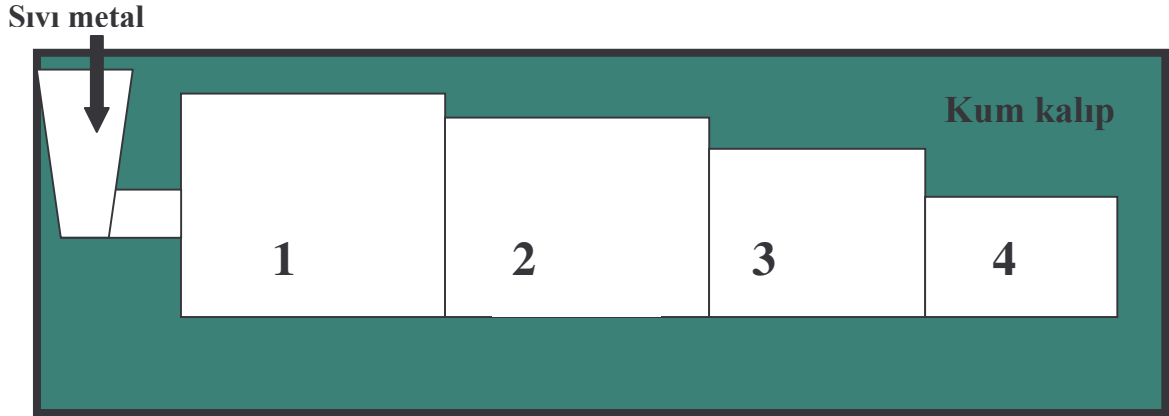
#### 3.1 KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada tane boyutunun ultrasonik dalgaların saçılmasına etkisini incelemek için H13 sıcak iş takım çeliği, 304 ve 316 östenitik paslanmaz çelikleri kullanılmıştır. Kullanılan çeliklerin AISI standardına göre verilen bileşim aralıkları Tablo 3.1’de verilmiştir [25].

Tablo 3.1 : H13, 304 ve 316 çeliklerinin AISI Standardındaki kimyasal bileşim aralıkları [25]

Bileşim(%) Çelik	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V
H13	0.38-0.41	0.9-1.2	0.2-0,5	<0,03	<0,03	5,26	-	1.1-1.5	0.9-1.1
316 çelik	<0.07	<1.00	<2.00	<0.045	<0.03	14-18	10-14	2-3	-
304 çelik	<0.08	<1.00	<2.00	<0.045	<0.03	18-20	8-10.5	-	-

H13 sıcak iş takım çeliği dünyanın önde gelen takım çeliği üreticisi olan UDDEHOLM kuruluşunda üretilmiş olup Assab-Korkmaz A.Ş.’den temin edilmiştir. Çubuk şeklindeki çelikten 50x25x75 mm boyutlarında 5 adet numune kesilerek hazırlanmıştır. 304 östenitik paslanmaz çelik Namazcı kardeşler Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.’den çubuk şeklinde temin edilmiştir. 304 östenitik paslanmaz çelik çubuktan 20x40x50 mm boyutlarında 5 adet numune kesilerek hazırlanmıştır. 316 östenitik paslanmaz çelik Akman Döküm Sanayi ve Ticaret A.Ş. de indüksiyon ocağında hazırlanmış ve bu çelik kademeli olarak hazırlanmış Şekil 3.1’de gösterilen kum kalıba dökülmüştür. Dökümden sonra bloktan numuneler kesilmiş ve yüzeylerini düzgün hale getirmek için taşlanmıştır. Bu çelikten hazırlanan 1 nolu numunenin boyutu 55x60x72 mm, 2 nolu numunenin boyutu 55x30x75 mm, 3 nolu numunenin boyutu 55x10x73 mm ve 4 nolu numunenin boyutu 55x7x72 mm olarak  $\pm 0,01$ mm hassasiyette kumpasla ölçülmüştür.



Şekil 3.1 : Kademeli Döküm

### 3.2 SPEKTRAL ANALİZ ÇALIŞMASI

Numunelerin üretici firmalardan sağlanan kimyasal analizlerinin teyid edilmesi için spektral analiz çalışması yapılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal analizi “Spectrolab Lavfa 18 A” markalı spektrometre ile yapılmıştır.

Kullanılan spektrometre esas olarak bir optik emisyon spektrometresi (OES) olup, katı durumdaki numuneyi bir elektrod vasıtası ile yakar (gazlaştırır). Oluşan gaz optik sistem vasıtası ile bileşenlerine ayrılır ve dedektörde algılanır. Sonuçlar bilgisayar ortamında verilir.

### 3.3 NUMUNELERİN YOĞUNLUKLARININ BELİRLENMESİ

Numunelerin yoğunlukları, elastisite ve kayma modüllerinin hesaplanmasında gerektiği için belirlenmiştir. Öncelikle numunelerin boyutları, mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Daha sonra numuneler Sartorius marka analitik terazide tartılarak kütleleri belirlenmiştir. Numunelerin yoğunlukları, kütle/hacim bağıntısından hesaplanmıştır.

### 3.4 ISIL İŞLEM ÇALIŞMASI

#### 3.4.1. H13 Sıcak İş Takım Çeliğinin Isıl İşlemi

Bu çeliğin ısıl işlemi Assab-Korkmaz A.Ş.'nin ısıl işlem tesisinde BaCl<sub>2</sub> esaslı nötr tuz banyosunda yapılmıştır. H13 sıcak iş takım çeliğine uygulanan ısıl işlem prosedürü Tablo 3.2'de verilmiştir. Aynı çubuktan kesilen ve yüzeyleri taşlama ile düzgün hale getirilen 5 numuneden 4'üne ısıl işlem uygulanmıştır. Numunelerden 1 adedine ısıl işlem uygulanmamıştır ve orijinal halde incelenmiştir. 4 numune öncelikle doğabilecek ısıl şokları ve iç gerilimleri önlemek için sırası ile 400-450°C, 650°C ve 830-850°C'de 1'er saat ön ısıtılmışlardır. Östenitleme'den sonra numunelere 500°C'deki yağ banyosun'da soğutma uygulanmış 30 dk'lık bir beklemeden sonra numuneler havada soğutulmuşlardır. Hemen ardından da numuneler 570°C'de menevişlenmişlerdir.

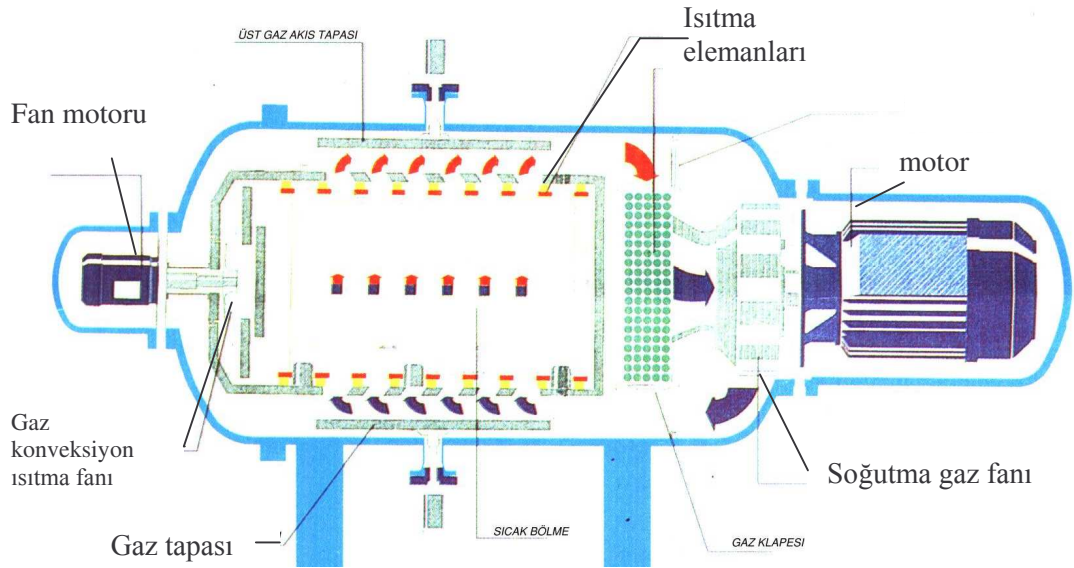
Tablo 3.2 : H13 sıcak iş takım çeliğinin ısıl işlem prosedürü

İşlem \ Numune	1	2	3	4
Ön Isıtma	400-450 °C ( 1 Saat )	400-450 °C ( 1 Saat )	400-450 °C ( 1 Saat )	400-450 °C ( 1 Saat )
	650 °C ( 1 Saat )	650 °C ( 1 Saat )	650 °C ( 1 Saat )	650 °C ( 1 Saat )
	830-850 °C ( 1 Saat )	830-850 °C ( 1 Saat )	830-850 °C ( 1 Saat )	830-850 °C ( 1 Saat )
Östenitleme	1030 °C ( 30 dk )	1030 °C ( 90 dk )	1050 °C ( 15 dk )	1050 °C ( 90 dk )
Su Verme	500° C yağ ve hava	500° C yağ ve hava	500° C yağ ve hava	500° C yağ ve hava
Menevişleme	570°C ( 90 dk )	570°C ( 90 dk )	570°C ( 90 dk )	570°C ( 90 dk )

### 3.4.2. 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğinin Isıl İşlemi

Bu çelik östenitik, yani sıcaklıkla yapı değişmesi göstermeyen bir çeliktir dolayısı ile ısıl işlem ile sertleştirilemez. Uygulamada bu çelik ancak deformasyon uygulanarak sertleştirilir. Uygulamada bu çeliğe tane sınırlarındaki karbürleri çözeltiye almak için sadece çözeltiye alma tavlaması uygulanır. Bu durumda eğer gereğinden fazla bekleme yapılırsa tane büyümesi görülür bu da istenmeyen bir durumdur.

Isıl işlemler İstaş ısıl işlem tesisinde Şekil 3.2’de görülen TAV marka yüksek sıcaklıklara çıkabilen koruyucu atmosferli vakum fırınında yapılmıştır. Fırının maksimum şarj kapasitesi 600 kg olup maksimum sıcaklık 1350°C’dir ve şarj basınçlı gaz ile konveksiyon yoluyla ısıtılır. Şekil 3.2’de ısıl işlemin yapıldığı vakum fırınının şematik resmi verilmiştir. 5 adet numuneden 4 adedine ısıl işlem yapılmış, 1 adedi ilk halinde incelenmiştir. Tablo 3.3’de 304 östenitik paslanmaz çelik numunelere uygulanan ısıl işlem prosedürü verilmiştir.



Şekil 3.2: Vakum Fırını

Tablo 3.3: 304 östenitik paslanmaz çeliği ısıl işlem prosedürü

İşlem \ Numune	1	2	3	4
Östenitleme	1000° C ( 40 dk )	1000° C ( 60 dk )	1100° C ( 40 dk )	1100° C ( 60 Dk )

Vakum fırınında yapılan ısıl işlemde öncelikle numuneler soğuk olarak fırına konuldu. Daha sonra vakum pompası ile fırının havası 10 torr'a boşaltıldı. Daha fazla vakum için difüzyon pompası kullanılır. Numuneler östenitlendikten sonra fırın oda sıcaklığına azot gazı atmosferinde soğutuldu. Vakum sisteminin en büyük avantajı, numunelerin yüzeylerinin değişmemesidir. Yüzeyler dekarbürizasyona ve oksidasyona uğramaz. Ayrıca homojen bir ısıtma sağlar, deformasyon ve yüzeyde gerilim oluşmaz.

### 3.5 SERTLİK ÖLÇÜMÜ

H13 sıcak iş çeliğine uygulanan ısıl işlemi teyit etmek için sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümü "BAHA" marka sertlik ölçme cihazında yapılmıştır. Batıcı uç olarak konik elmas uç kullanılmıştır. Sertliği ölçülecek yüzeyler zımparanmıştır. Öncelikle 10 kg ön yük uygulanmış daha sonra yük 150 kg'a çıkarılmıştır ve numunelerin sertlikleri Rockwell C skalasından okunmuştur. Her numuneden değişik bölgelerden beşer ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

### 3.6 NUMUNELERİN METALOGRAFİK KARAKTERİZASYONU

#### 3.6.1. Optik Mikroskop Çalışması

Metalografik inceleme için numuneler Metaserv marka aşındırma ve parlatma cihazında sırasıyla 120, 180, 320, 600, 800 ve 1200 gridlik zımparalarla aşındırılmıştır. Bu aşama sonrasında numunelerin yüzeyleri parlatma çuhasında alümina ve saf su kullanılarak parlatılmıştır.

Parlatılan H13 sıcak iş takım çeliği numuneleri, fazlar arası kontrast oluşması için nital (1 ml derişik  $\text{HNO}_3$  + 50 ml etanol) dağlama reaktifi kullanılarak 12 sn süresince dağlanmıştır. Parlatılan paslanmaz çelik numuneler ise 33 ml derişik  $\text{HNO}_3$ , 33 ml derişik  $\text{HCl}$  ve 34 ml saf su kullanılarak hazırlanan dağlama reaktifi ile 30-50 sn sürelerde dağlanmışlardır. Dağlanan numunelerin mikroyapıları Olympus PME3 marka ışık metal mikroskopta incelendi. Mikroskopta numunelerden elde edilen görüntülerin fotoğrafları çekildi.

#### 3.6.2. Tane Boyutu Belirleme

Çelik numunelerin tane boyutunun belirlenmesi lineer kesme yöntemine göre yapıldı. Lineer kesme yöntemi, mikroyapı fotoğrafı üzerinde rasgele doğrultularda çizilen ve boyutu bilinen doğruların kestiği tane sayısından hareket eder. Ortalama tane boyutu  $L$ ,

$$L = \frac{\ell}{N_L} \quad (3.1)$$

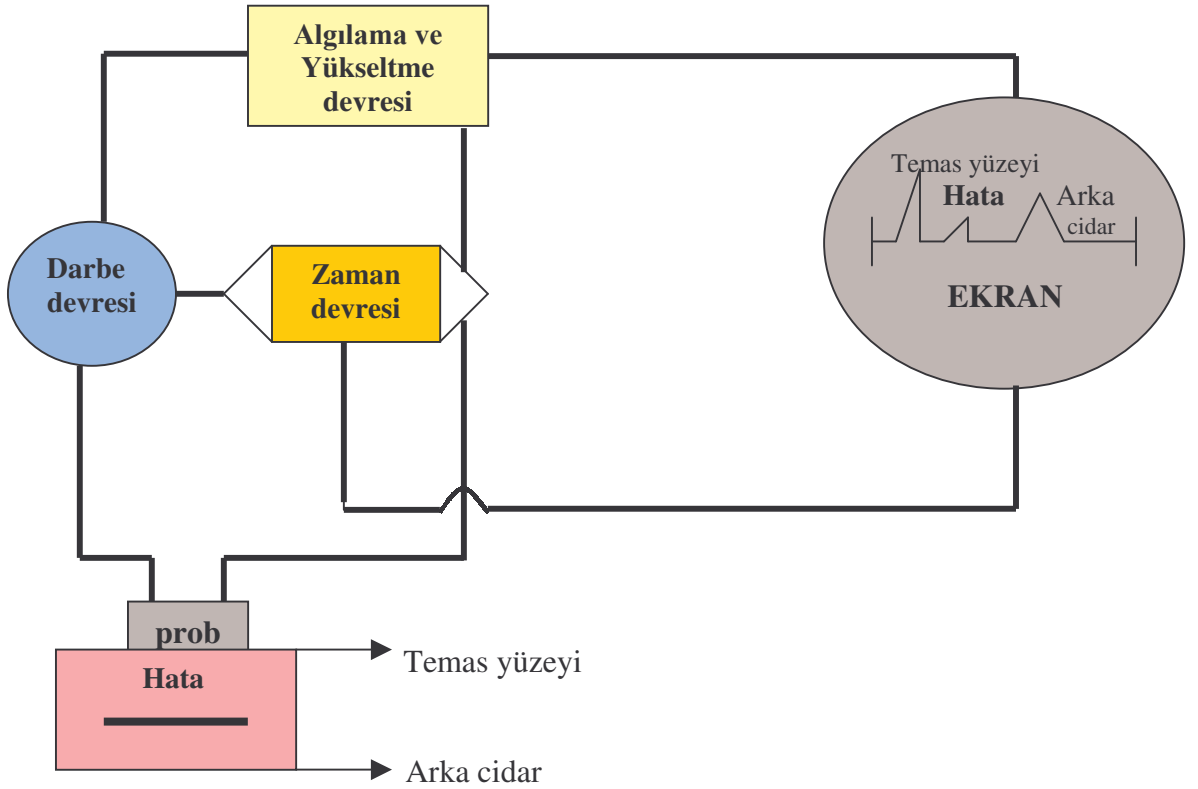
bağıntısından hesaplanır. Burada  $N_L$ ,  $\ell$  uzunluğundaki doğrunun kestiği tane sayısıdır. Sağlıklı bir hesaplama için her fotoğrafta sabit uzunlukta 4 farklı rasgele doğru çizilmiş buna göre tane boyutu hesaplanmıştır. Ancak tane boyutunda istatistiksel dağılım göz önüne alındığında tane boyutu  $D$  aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanır [14].

$$D = 1,56L \quad (3.2)$$

### 3.7. ULTRASONİK HIZ ÖLÇÜMÜ

#### 3.7.1. Ultrasonik Hızın Ölçüldüğü Deney Cihazı

Ultrasonik hız ölçümleri Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) endüstriyel uygulama bölümünde yapılmıştır. USM 25, Krautkramer markalı ultrasonik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Darbe – yankı tipi ultrasonik cihazın blok diyagramı Şekil 3.3'te verilmiştir. Cihazın ultrasonik hız ölçümündeki hassasiyeti  $\pm 1$  m/s dir.



Şekil 3.3 : Ultrasonik Cihazın Temel devre elemanları [ 1 ]

Ekran, algılama-yükseltme devresi ve zaman devresi ultrasonik cihazın temel elemanlarını oluşturmaktadır. Ekran, görüntünün oluştuğu, cihazın en uç elemanıdır. Darbe devresi 300-1000 V arası kısa elektrik darbeleri üretir, bunları hem transdüser hem de yükseltme devresine uygular. Transdüser bu elektrik darbesini ultrasonik titreşimlere dönüştürür. Algılama-yükseltme devresi, bir yükseltici, bir doğrultucu ve bir zayıflatıcı içerir. Zaman devresi, tarama ve darbe devrelerini aynı anda harekete geçiren elektrik darbelerini üretir. Yani bu devrelerin zamanlamasını ayarlar [1].

Şekil 3.4’de deneyde kullanılan Krautkramer USM 25 test cihazı görülmektedir



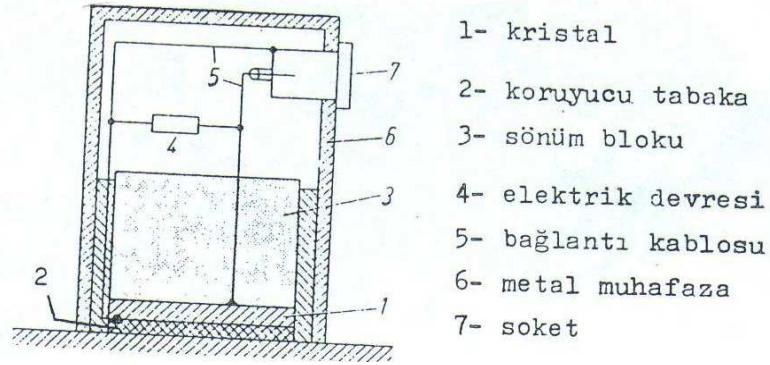
Şekil 3.4 : Krautkramer, USM 25 Test Cihazı

### 3.7.2. Ultrasonik Hızın Ölçüldüğü Test Tekniği

Bu çalışmada darbe-yankı yöntemi ile 1, 2 ve 4 MHz frekansa sahip enine ve boyuna dalgalar üreten problarla ultrasonik hız ölçümü yapılmıştır. Darbe-yankı yöntemi en çok kullanılan yöntem olup, prensibi prob tarafından gönderilen ses dalgalarının malzeme içinde bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması esasına dayanır [1] .

Bu çalışmada doğrudan temas tekniği ile ultrasonik hız ölçümü yapılmıştır. Bu tip testte, prob numune ile doğrudan temas halindedir. Sesin probdan numuneye geçişini kolaylaştırmak için araya ince bir sıvı film (yağ, gres veya bal) sürülür.

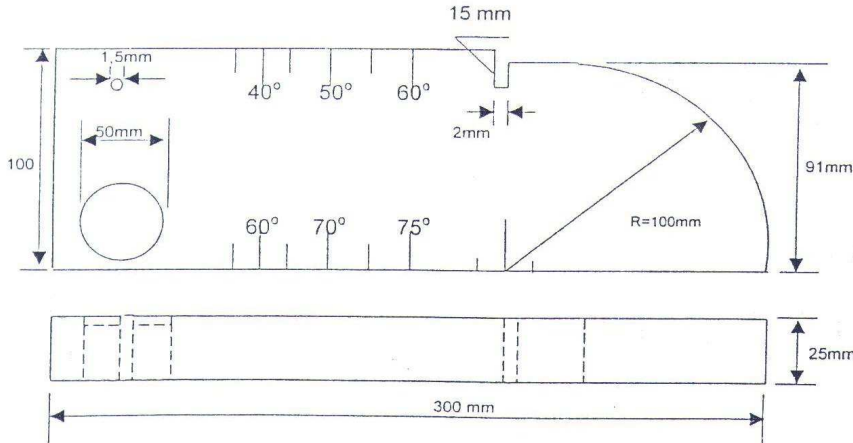
Şekil 3.5’te deneyde kullanılan normal probun şematik yapısı görülmektedir. Burada koruyucu tabaka, ultrasonik dalgaları üreten kristali dış etkilerden korumaktadır. Sönüm bloku ise prob-numune arasından yansıyan dalgaları sönümleyerek algılanmalarını engeller.



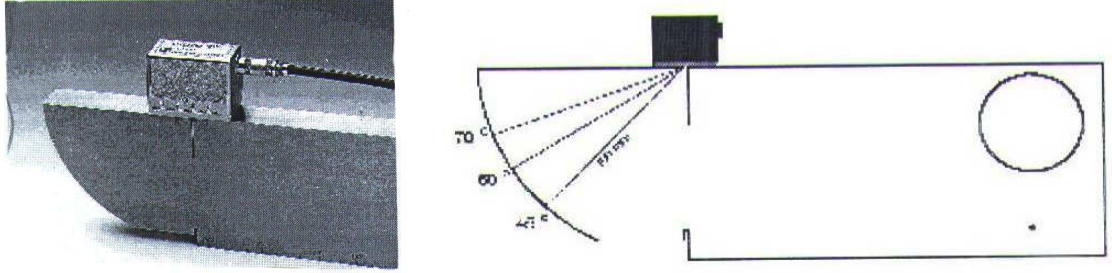
Şekil 3.5 : Normal Prob [ 7 ]

### 3.7.3. Ultrasonik Test Sisteminin Kalibrasyonu

Kalibrasyon, Ultrasonik cihaz ekranını test edilecek malzemenin belli bir kalınlığına göre ayarlayıp, ölçekli hale getirme işlemidir. Ekranın yatay skalasına göre ayarlanan bu kalınlığa test alanı denir. Kalibrasyon, uluslararası kuruluşlar tarafından dizayn edilmiş kalibrasyon blokları ile yapılır. En çok kullanılanlar, ISO tarafından tasarlanan ve Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından onaylanan V1 ve V2 bloklarıdır. Bu çalışmada kullanılan V1 kalibrasyon bloğu şematik olarak şekil 3.6'da gösterilmektedir.[ 1, 2 ]



Şekil 3.6 : V1 Kalibrasyon bloğu [ 1 ]



Şekil 3.7: Açılı prob ile kalibrasyon [ 2 ]

Şekil 3.6'daki V1 kalibrasyon bloğunun 100 mm'lik yüzeyinden ölçüm alınıp arka cidar yankısı ekranın sonuna getirilirse ekran 100 mm'ye kalibre edilmiş olur. Eğer ekran 50 mm'ye kalibre edilmek istenirse, V1 kalibrasyon bloğunun 25 mm kalınlığındaki bölgesinden ölçüm alınıp ikinci cidar yankısı ekranın sonuna getirilmelidir. Kalibrasyon bloğunun dairesel kısmı açılı prob ile kalibrasyon yaparken kullanılır. Blok üzerindeki 1.5 mm ve 50 mm'lik delikler prob açısının tespitinde kullanılmaktadır.

Şekil 3.7'de ise 45, 60 ve 70 derecelik açılı problar ile kalibrasyon görülmektedir. Açılı prob ile kalibrasyonda öncelikle ses çıkış noktası (prob indeksi) blok üzerindeki dairesel kısmın merkezine konur. Dairesel kısmın yarıçapı 100 mm olduğundan 1.yankı 100 mm mesafeden gelecektir. 1.yankı yatay kaydırma ile ekranın sonuna getirilirse ekran 100 mm mesafeye kalibre edilmiş olur. Eğer ekran 200 mm mesafeye kalibre edilmek istenirse 2.yankı ekranın sonuna getirilmelidir [1].

### 3.8 ELASTİSİTE VE KAYMA MODÜLLERİNİN HESAPLANMASI

Elastisite modülü (E) aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. [ 1, 9, 4 ]

$$V_B = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (3.1)$$

Kayma modülünün hesaplanmasında ise aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır. [ 1, 9, 4 ]

$$V_E = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3.2)$$

Burada;  $V_B$  ve  $V_E$ : Boyuna ve Enine dalga hızı

$G$  : Kayma modülü

$\nu$  : Poisson oranı

$\rho$ : Yoğunluk dur.

Bağıntılarda  $V_B$  ve  $V_E$  ultrasonik cihaz ile ölçülmüştür, yoğunluklar Bölüm 3.3'te anlatıldığı gibi kütle / hacim oranından bulunmuştur. Poisson oranları ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır:

$$\nu = \frac{V_B^2 - 2V_E^2}{2(V_B^2 - V_E^2)} \quad (3.3)$$

## 4. BULGULAR

### 4.1. SPEKTRAL ANALİZ

Yapılan spektral analiz çalışması sonucu elde edilen H13, 304 ve 316 çeliklerinin kimyasal bileşimleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: H13 sıcak iş takım çeliği, 316 paslanmaz çelik döküm ve 304 paslanmaz çeliği numunelerinin kimyasal analizi.

Bileşim Çelik Numune	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	P	S
H13	0.38	1.03	0.41	5.25	–	1.29	0.89	0.010	0.0008
304	0.08	1.11	2.19	18.00	8.22	–	–	0.049	0.029
316	0.08	0.81	0.72	19.20	10.42	2.08	–	0.002	0.015

Spektral analiz sonuçları çeliklerin AISI standardına göre Tablo3.1’de verilen kimyasal bileşimlerini teyit etmektedir.

### 4.2. YOĞUNLUKLAR

Bölüm 3.3’de açıklanan yöntemle göre belirlenen H13 sıcak iş takım çeliği, 316 paslanmaz çeliği ve 304 paslanmaz çeliği numunelerinin yoğunlukları Tablo 4.2 de verilmiştir. Belirlenen yoğunluk değerleri ile çeliklerin üreticilerinden sağlanan yoğunluk değerleri uyum içindedir. Numunelerin yoğunlukları ultrasonik yöntemle çeliklerin elastisite ve kayma modüllerinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

Tablo 4.2: H13 sıcak iş takım, 304 östenitik paslanmaz ve 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinin yoğunlukları

Çelik Cinsi	Yoğunluk g cm <sup>-3</sup>
H13 Sıcak iş takım çeliği	7.74
304 Östenitik paslanmaz çelik	7.82
316 Östenitik paslanmaz çelik	7.85

### 4.3. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

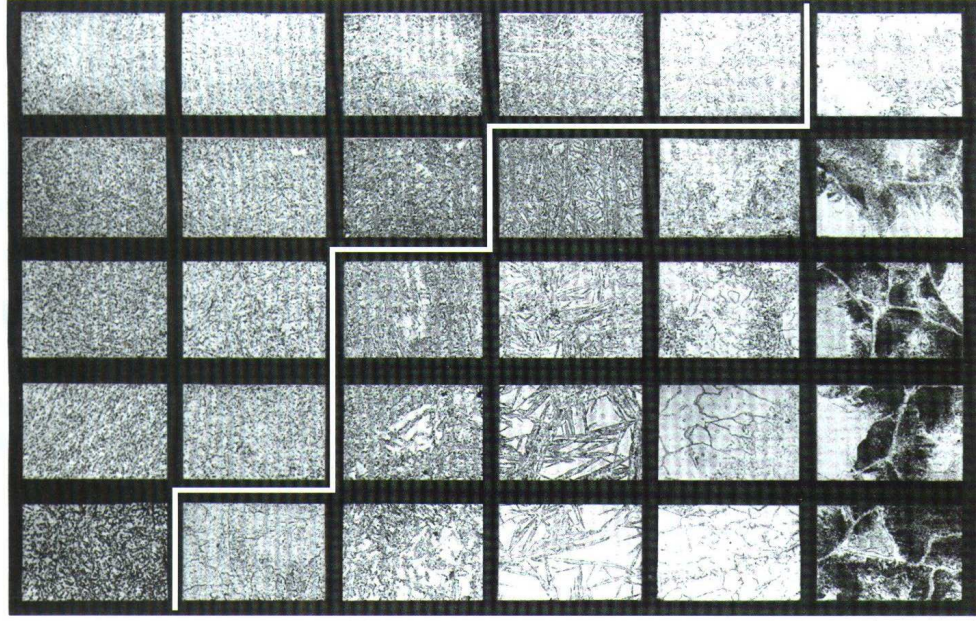
H13 numunelerinin Rockwell C skalasındaki sertlik değerleri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

<u>Isıl İşlem Durumu</u>	<u>Numune Kodu</u>	<u>Ortalama Sertlik ± 2</u>
Isıl İşlem görmemiş parça,	5	38 HRC
1030° C’de 30 dk östenitleme,	1	55 HRC
1030° C’de 90 dk östenitleme,	2	56 HRC
1050° C’de 15 dk östenitleme,	3	56 HRC
1050° C’de 90 dk östenitleme,	4	57 HRC

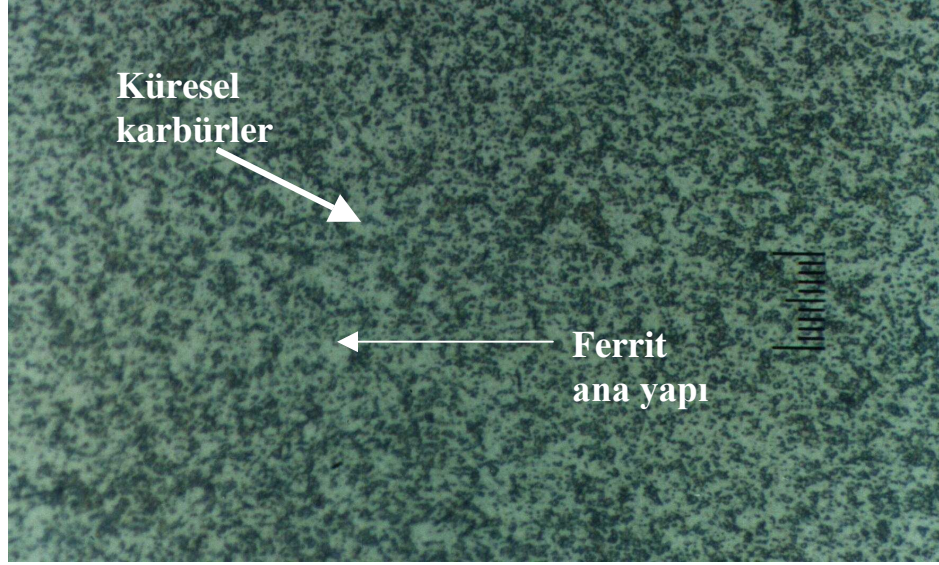
Isıl işlem uygulaması H13 sıcak iş takım çeliğinin sertliğinde artışa neden olmuştur.

### 4.4. ORTALAMA TANE BOYUTLARI

Isıl işlem uygulanmış ve ısıl işlem uygulanmamış H13 çelik numunelerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.1-4.5’de verilmiştir. Şekil 4.1a’da H13 çeliğinde farklı tavlama şartlarında karşılaşılabilen mikroyapılar verilmiştir [26]. Beyaz çizginin üstündeki mikroyapılar üretici Uddeholm fabrikasında kabul edilen yapılardır ve satışa sunulurlar, diğerleri ise tekrardan işleme alınır .



(a)



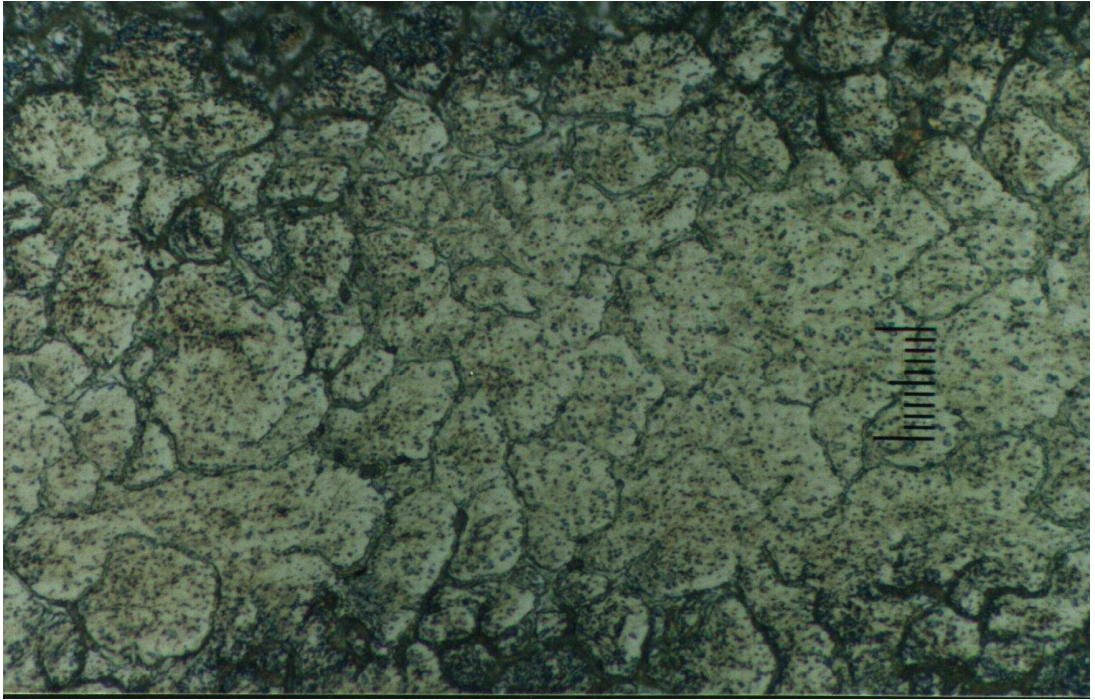
(b)

Şekil 4.1: (a) H13 çeliğinde farklı tavlama şartlarında karşılaşılabilen mikroyapılar [26]  
 (b) Normalize halde, ısıtım işlem uygulanmamış orijinal numune,  
 ( 10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)

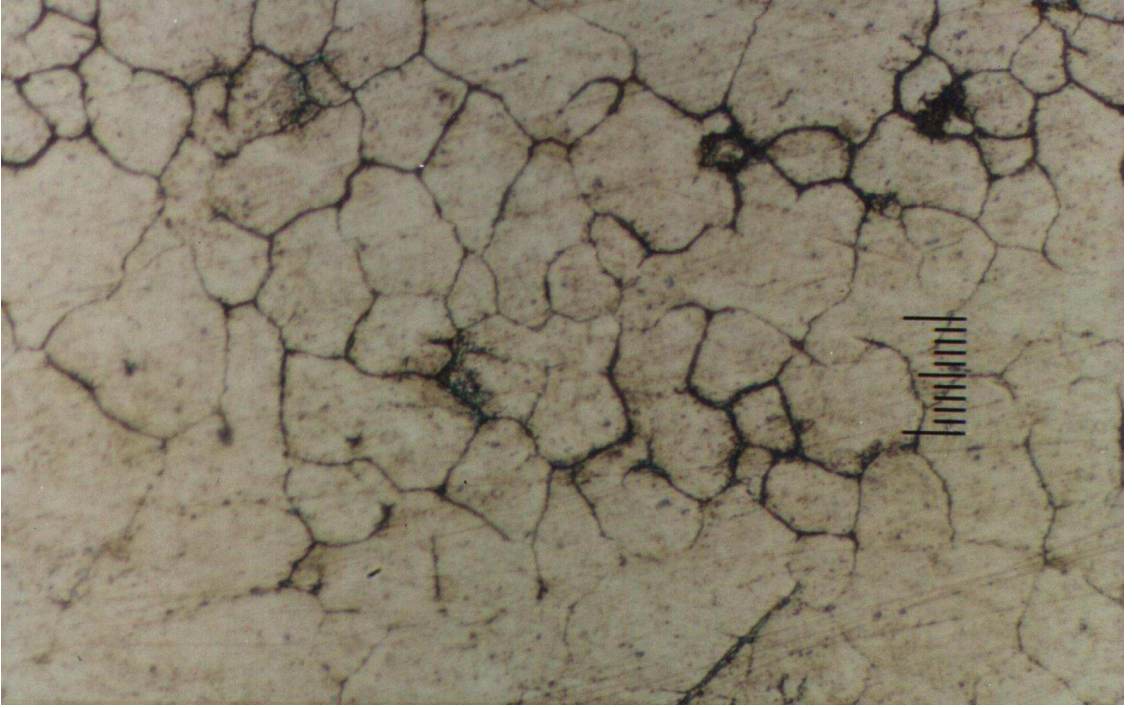
Şekil 4.1b de deneysel çalışmada kullanılan orijinal numunenin (5 nolu numune) mikroyapısı verilmiştir. Orijinal numune (5 nolu) esas olarak normalize edilmiş haldedir ve karbürler iç yapıda küreselleşmiş ve dağılmıştır. Su verilmiş ve menevişlenmiş H13 numunelerinin mikroyapıları Şekil 4.2-4.5 de verilmiştir. Numunelerin mikroyapıları temperlenmiş martensit ve kalıntı östenitten oluşmakta olup ayrıca yapıda dağılmış karbürler de görülmektedir.



Şekil 4.2: 1030°C sıcaklıkta 30 dakika süreyle östenitlenen H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı, (10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)



Şekil 4.3: 1030°C sıcaklıkta 90 dakika süreyle östenitlenen H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı, (10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)

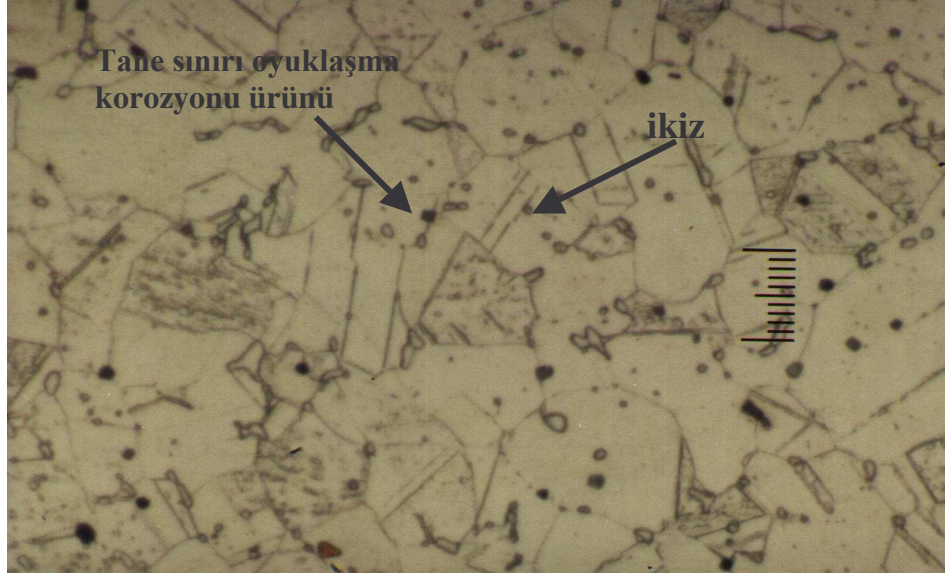


Şekil 4.4: 1050°C sıcaklıkta 15 dakika süreyle östenitlenen H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı, (10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)

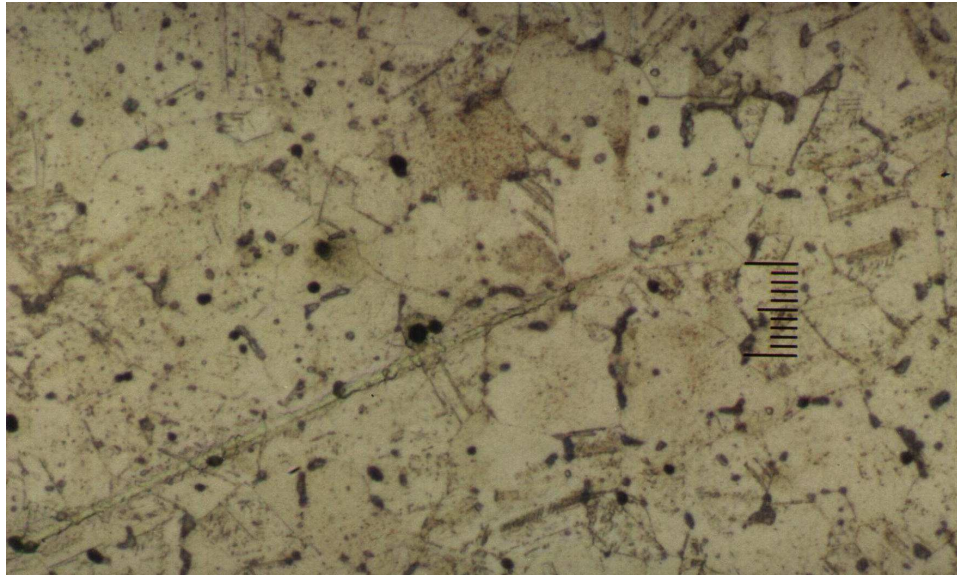


Şekil 4.5: 1050°C sıcaklıkta 90 dakika süreyle östenitlenen H13 sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı, (10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)

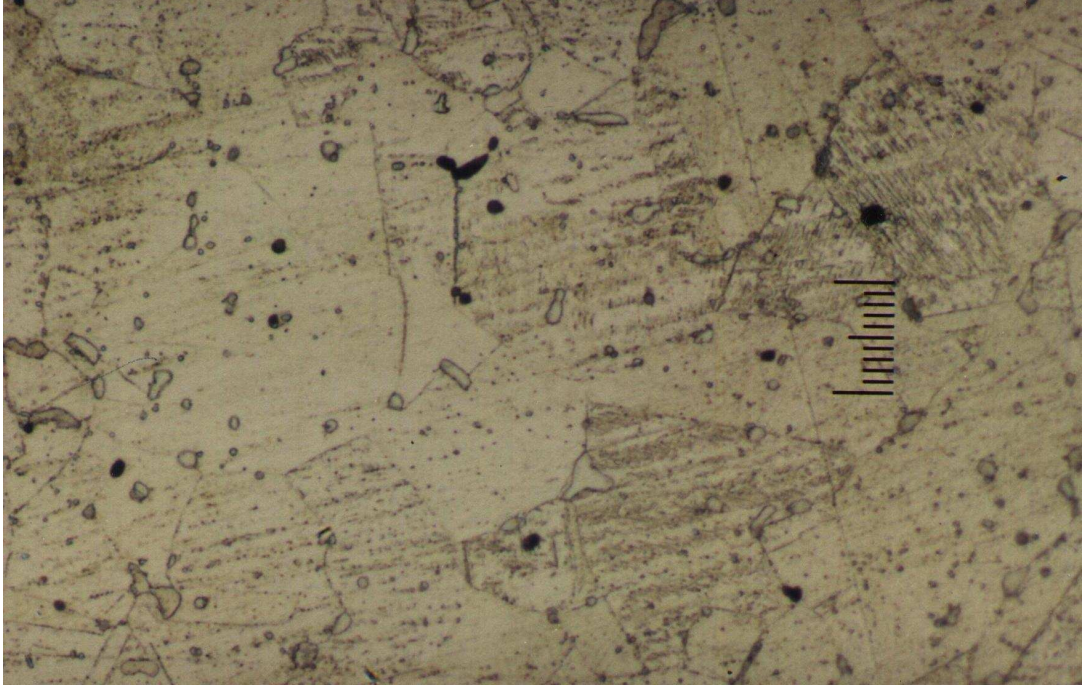
Isıl işlem uygulanmış ve ısıl işlem uygulanmamış 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.6-4.10'da verilmiştir. Mikroyapı östenit tanelerinden oluşmakta olup yer yer ikizler de görülmektedir. Tane sınırlarında siyah küresel benekler, tane sınırı oyuklaşma korozyonu ürünleridir.



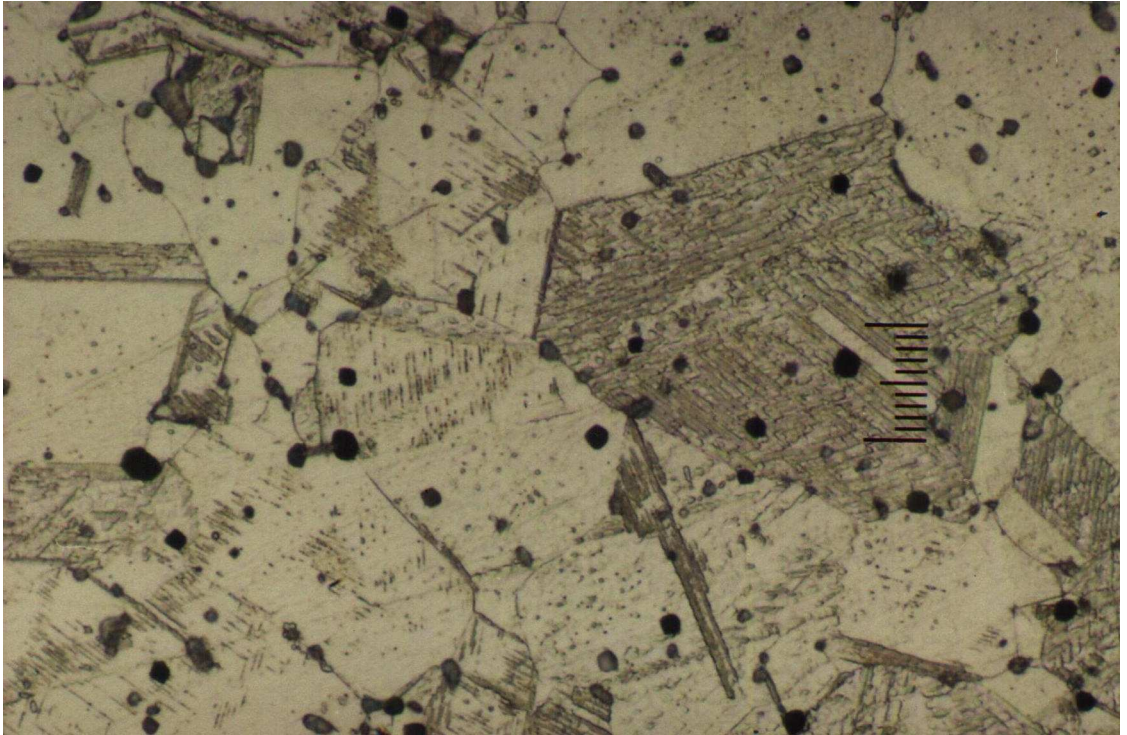
Şekil 4.6: 1000°C sıcaklıkta 40 dakika süreyle östenitlenen 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, ( 10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)



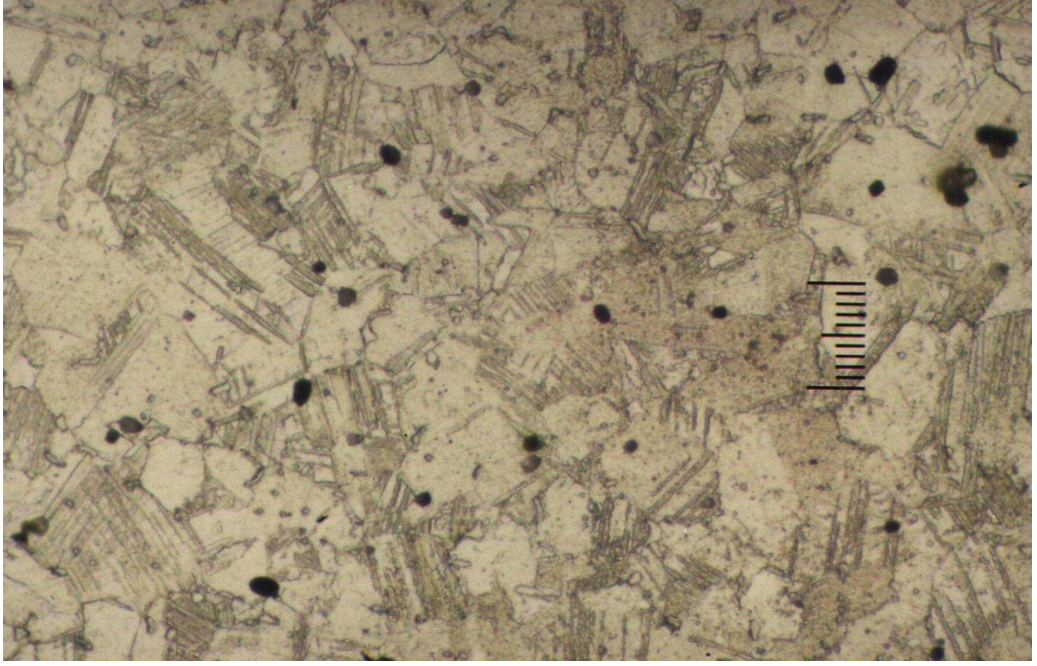
Şekil 4.7: 1000°C sıcaklıkta 60 dakika süreyle östenitlenen 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, ( 10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)



Şekil 4.8: 1000°C sıcaklıkta 40 dakika süreyle östenitlenen 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, (10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)

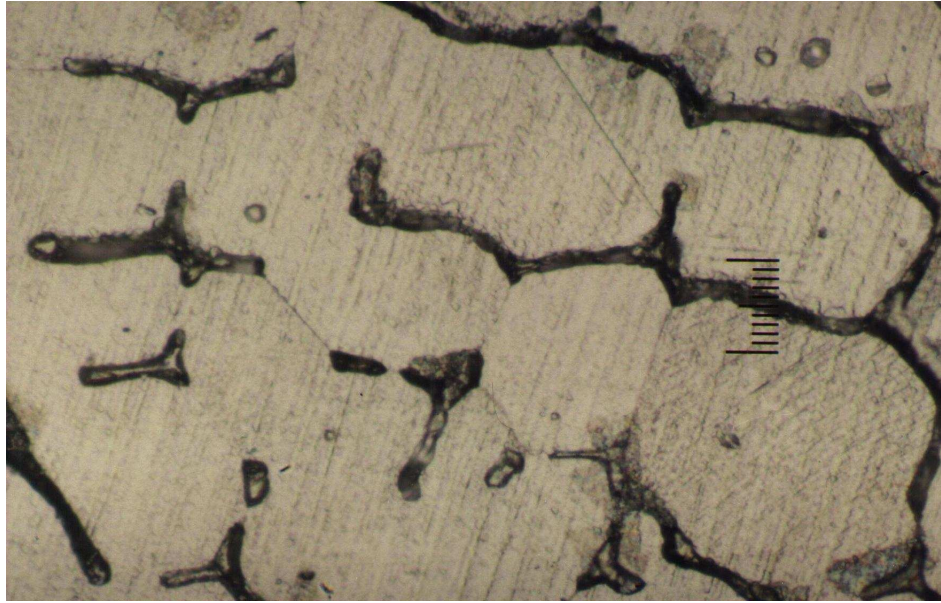


Şekil 4.9: 1100°C sıcaklıkta 60 dakika süreyle östenitlenen 304 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı, (10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu$ m)

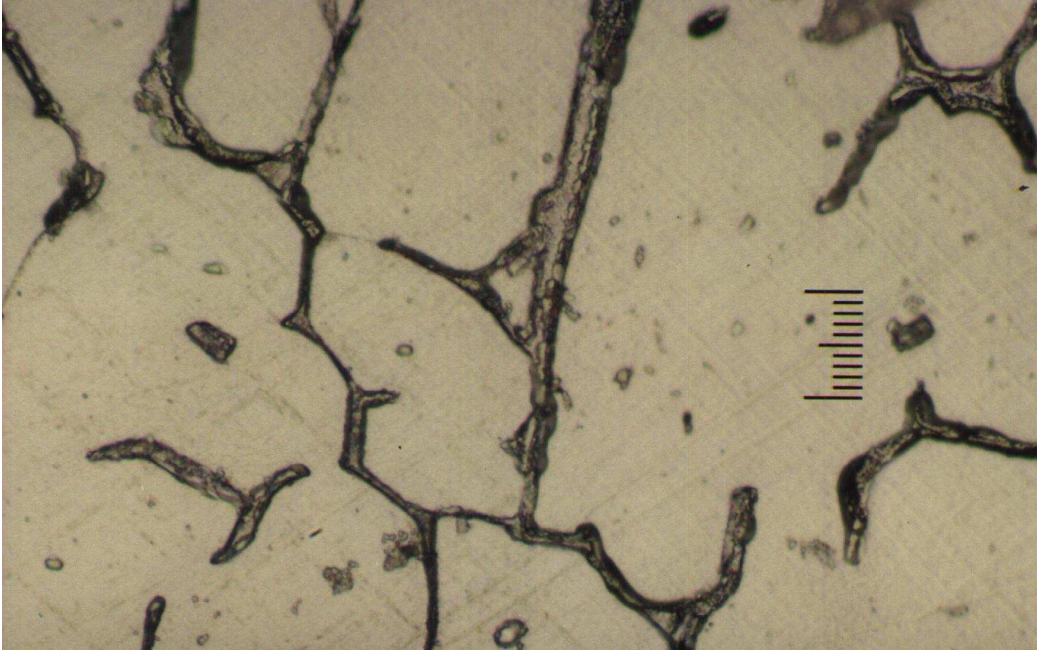


Şekil 4.10: Isıl işlem uygulanmamış orijinal numune. (10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu\text{m}$ )

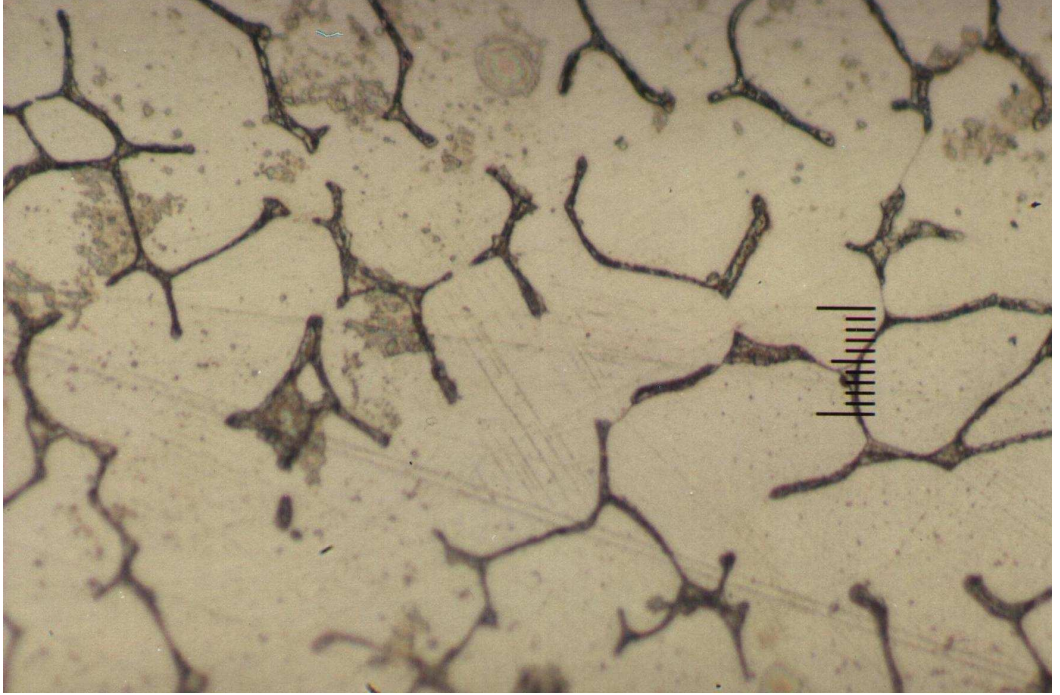
Kademeli döküm yapılarak farklı tane boyutlarında elde edilen 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.11-4.14'de verilmiştir. Mikroyapıları östenit tanelerinden oluşmakta ve ayrıca tane sınırlarında  $\delta$ -ferrit fazı bulunmaktadır.



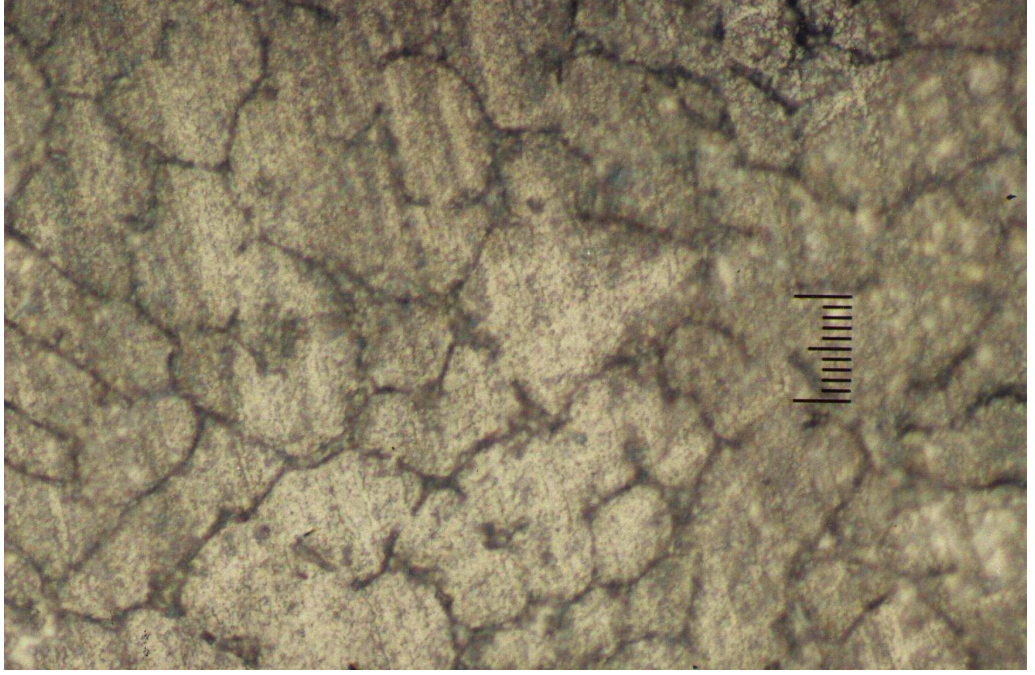
Şekil 4.11: 1 nolu 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı  
(10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu\text{m}$ )



Şekil 4.12: 2 nolu 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı,  
( 10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu\text{m}$ )



Şekil 4.13: 3 nolu 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı,  
( 10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu\text{m}$ )



Şekil 4.14: 4 nolu 316 östenitik paslanmaz çelik numunenin mikroyapısı,  
( 10 haneli marker  $\equiv$  20  $\mu\text{m}$ )

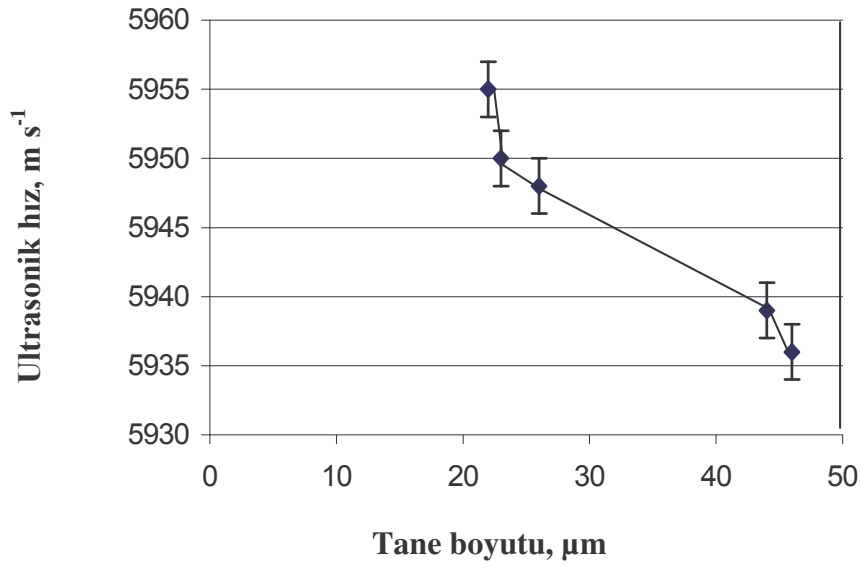
Tablo 4.3'te H13 ve 304 çeliklerinde ısıt işleme, 316 çeliklerinde ise kademeli dökümle değiştirilen ve lineer kesme yöntemine göre belirlenen ortalama tane boyutları verilmiştir.

Tablo 4.3: H13, 304 ve 316 çeliklerinde elde edilen ortalama tane boyutları

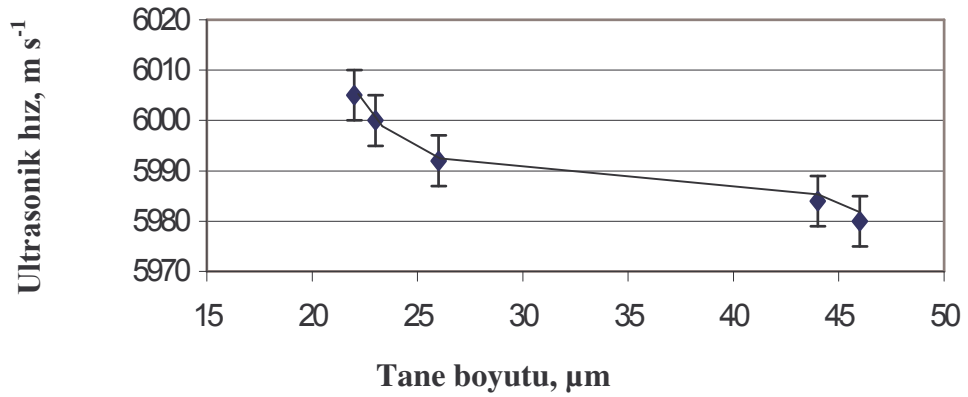
Numune Çelik	1	2	3	4	5
<b>H13 Takım Çeliği</b>	26 $\mu\text{m}$	28 $\mu\text{m}$	29 $\mu\text{m}$	32 $\mu\text{m}$	24 $\mu\text{m}$
<b>304 Paslanmaz Çeliği</b>	23 $\mu\text{m}$	26 $\mu\text{m}$	44 $\mu\text{m}$	46 $\mu\text{m}$	22 $\mu\text{m}$
<b>316 Paslanmaz Çeliği</b>	81 $\mu\text{m}$	63 $\mu\text{m}$	38 $\mu\text{m}$	32 $\mu\text{m}$	-

#### 4.5. ULTRASONİK HIZ ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

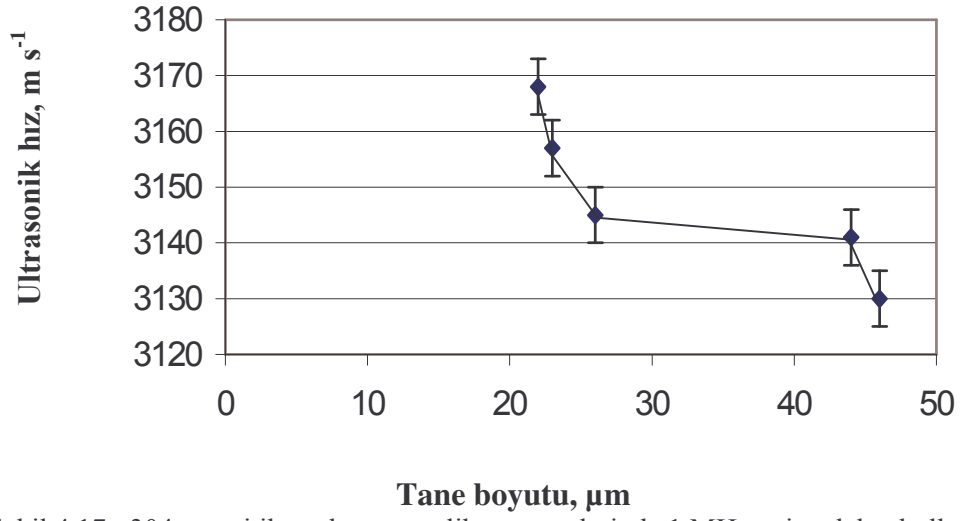
Krautkramer USM 25 ultrasonik test cihazında, 4 MHz boyuna dalga (MB4 S prob), 1 MHz boyuna dalga (B1 S prob), 2MHz enine dalga (MB2Y prob) ve 1MHz enine dalga (B1Y prob) ile ultrasonik hız ölçümleri sonuçları Şekil 4.15 – 4.23'te ortalama tane boyutuna karşı verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ultrasonik hızın artan tane boyutu ile azaldığı anlaşılmaktadır.



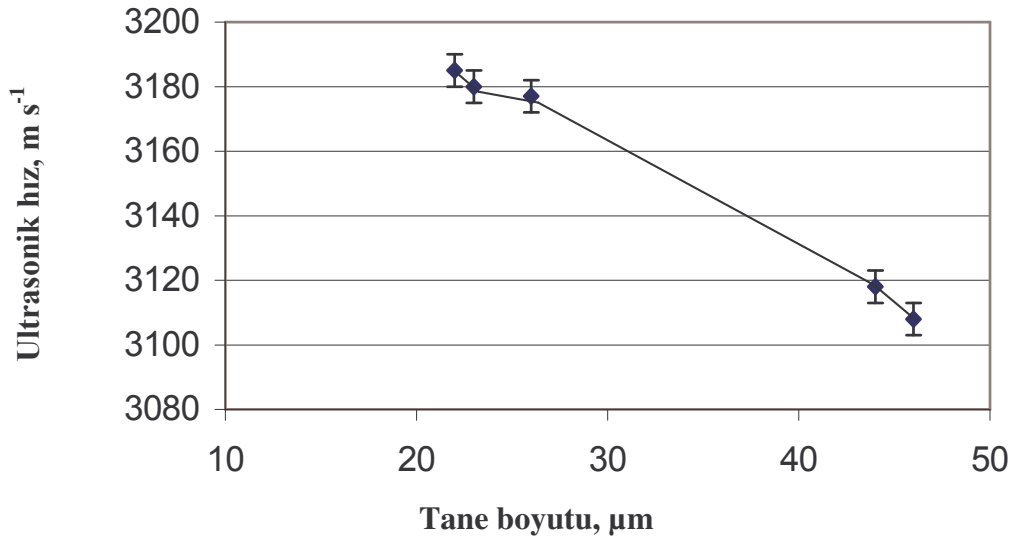
Şekil 4.15 : 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 4 MHz boyuna dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



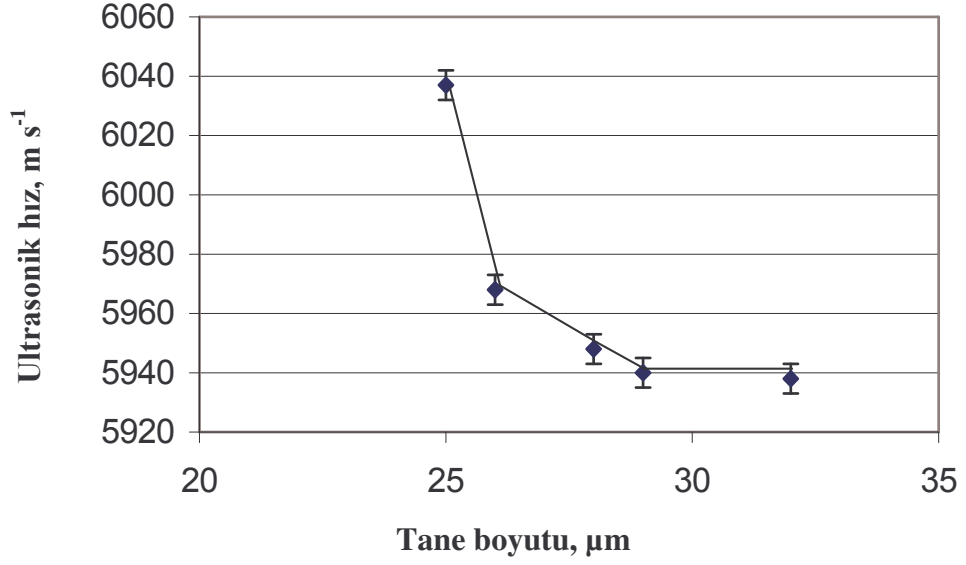
Şekil 4.16: 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 1 MHz boyuna dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



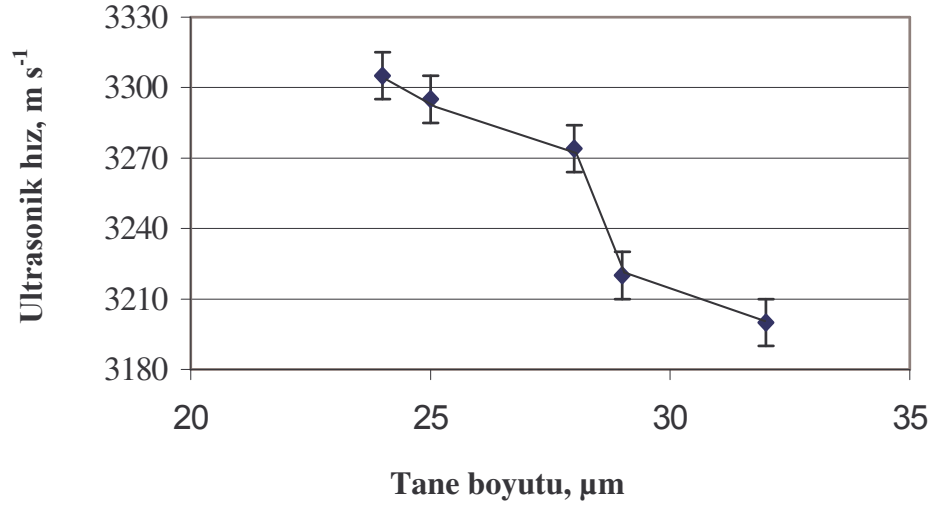
Şekil 4.17 : 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 1 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



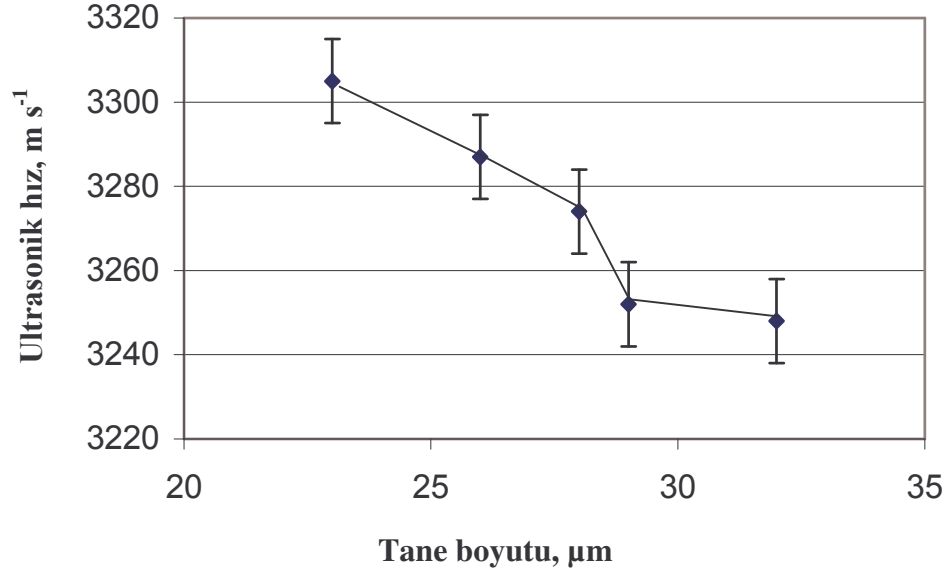
Şekil 4.18 : 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 2 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



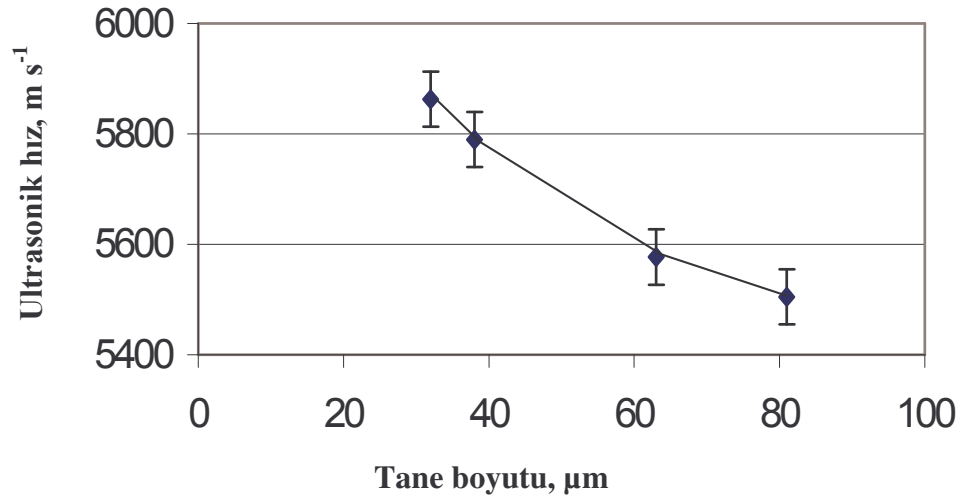
Şekil 4.19 : H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinde 4 MHz boyuna dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



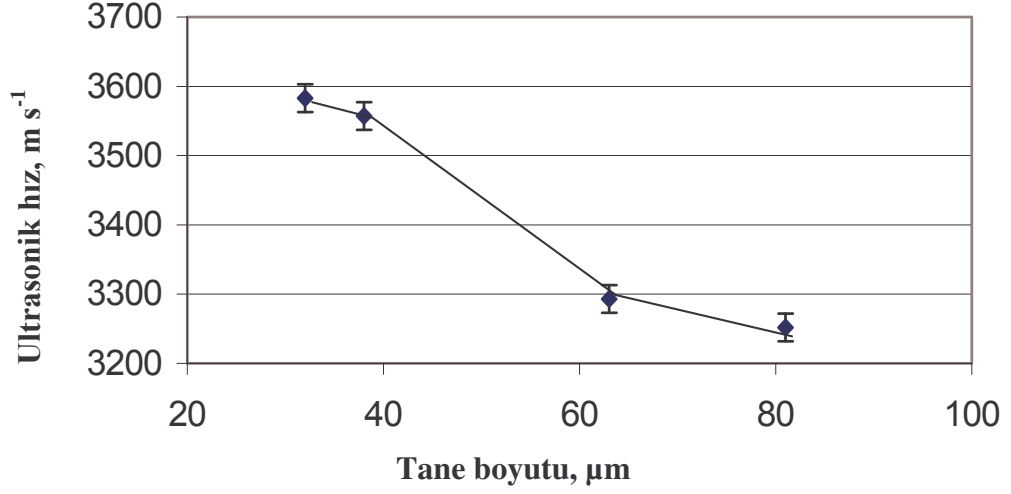
Şekil 4.20 : H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinde 1 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



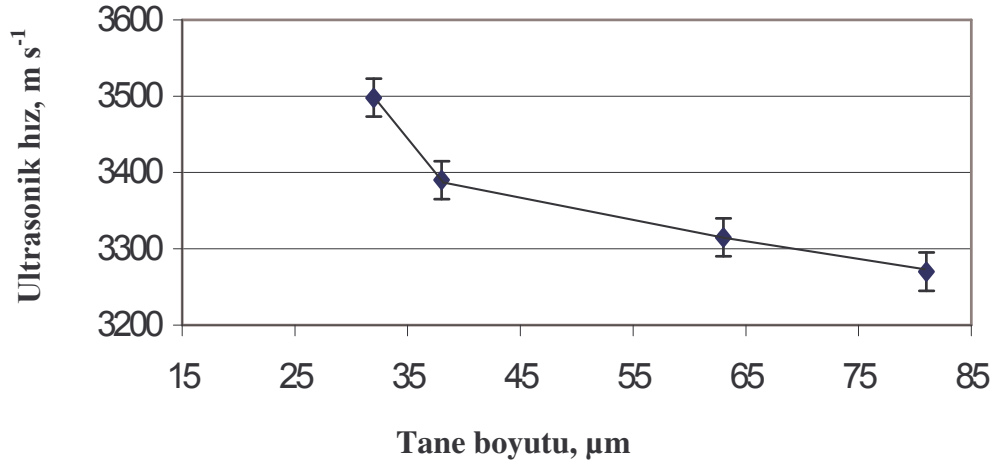
Şekil 4.21 : H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinde 2 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



Şekil 4.22 : 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 4 MHz boyuna dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



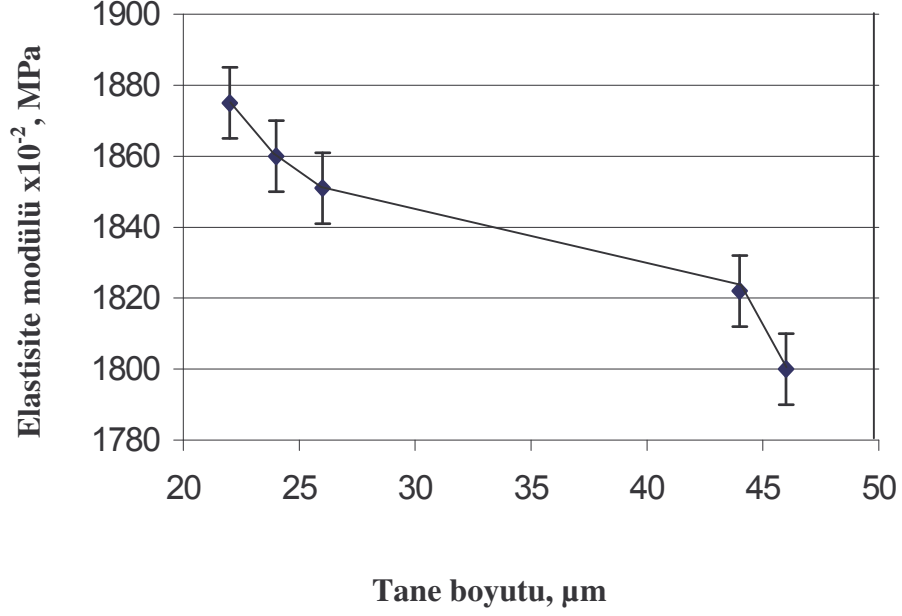
Şekil 4.23: 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 1 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi



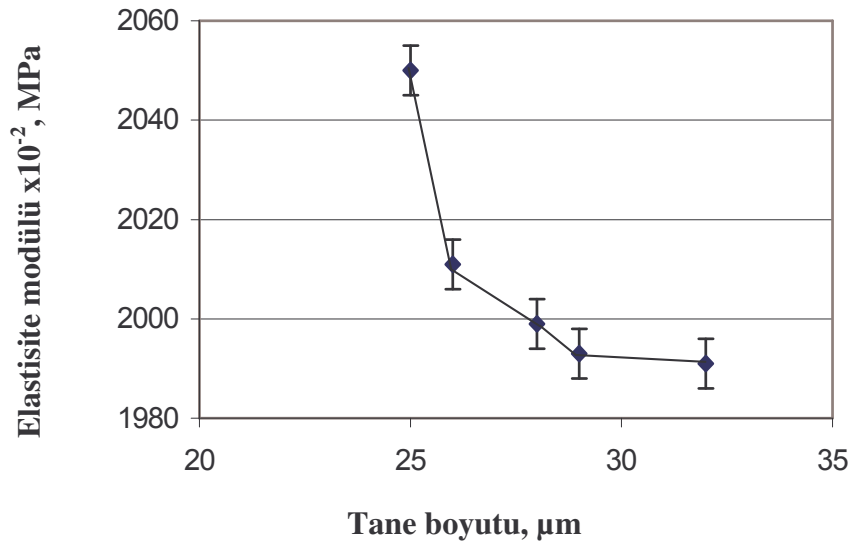
Şekil 4.24: 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde 2 MHz enine dalga kullanılarak ölçülen hızın tane boyutu ile değişimi

#### 4.6. NUMUNELERİN ELASTİSİTE VE KAYMA MODÜLLERİ

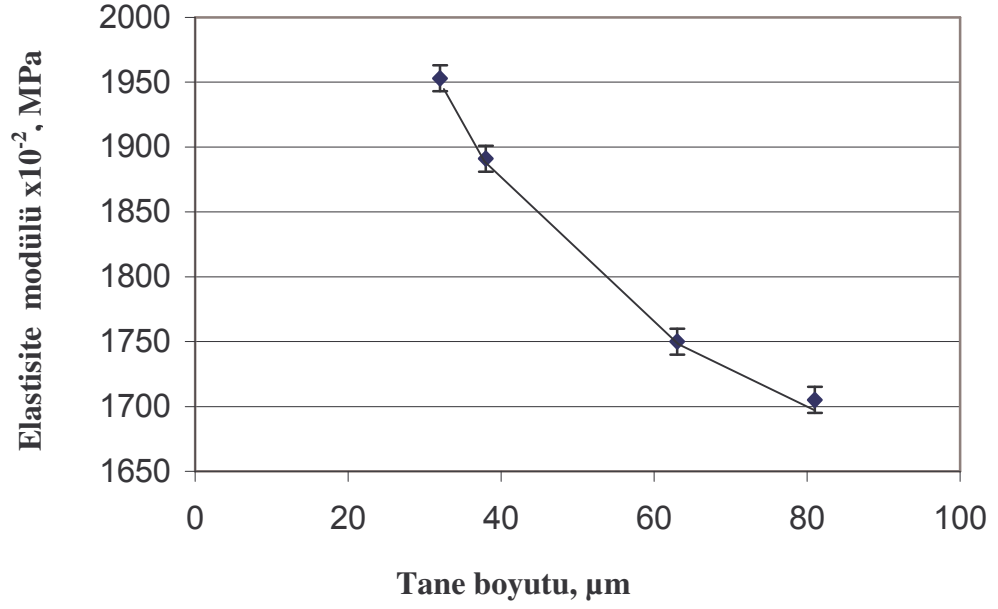
Bölüm 3.8’de açıklandığı şekilde hesaplanan elastisite ve kayma modüllerinin tane boyutuna karşı değişimleri şekil 4.25 – 4.30’da verilmiştir. Grafiklerden görüleceği gibi artan tane boyutu ile elastisite ve kayma modülleri azalmaktadır.



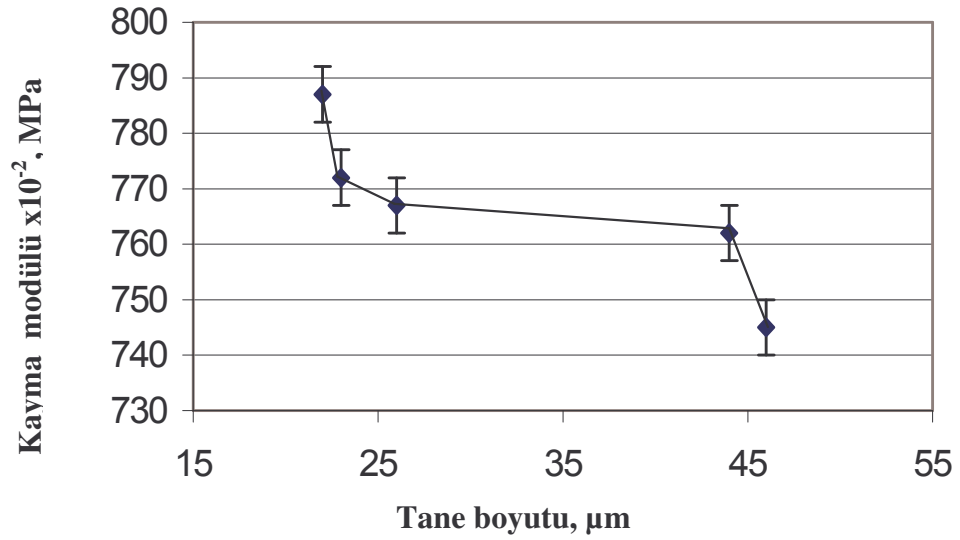
Şekil 4.25: 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğinin Elastisite Modülü-Tane boyutu ilişkisi



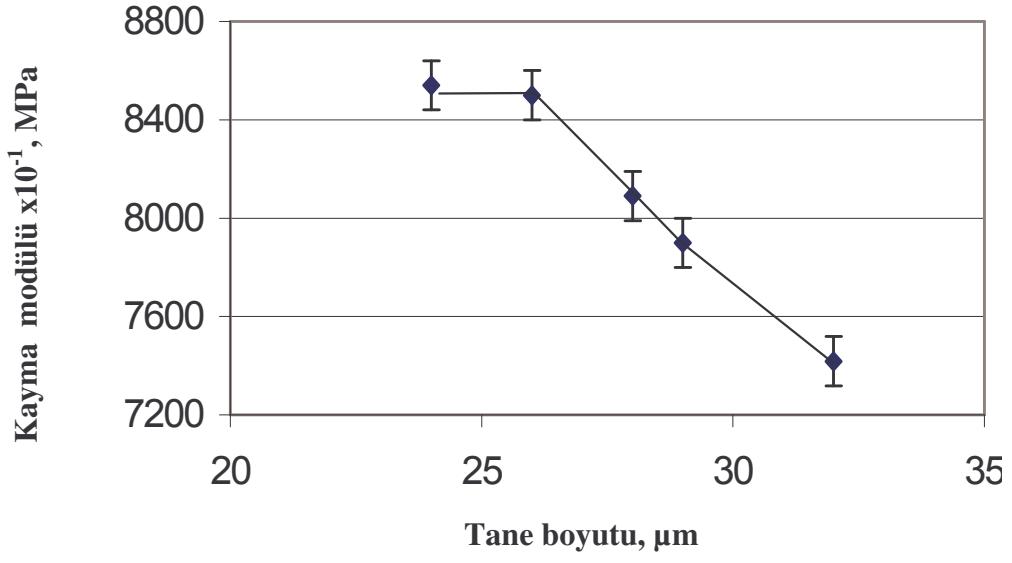
Şekil 4.26 : H13 Sıcak İş Takım Çeliğinin Elastisite Modülü- Tane Boyutu ilişkisi



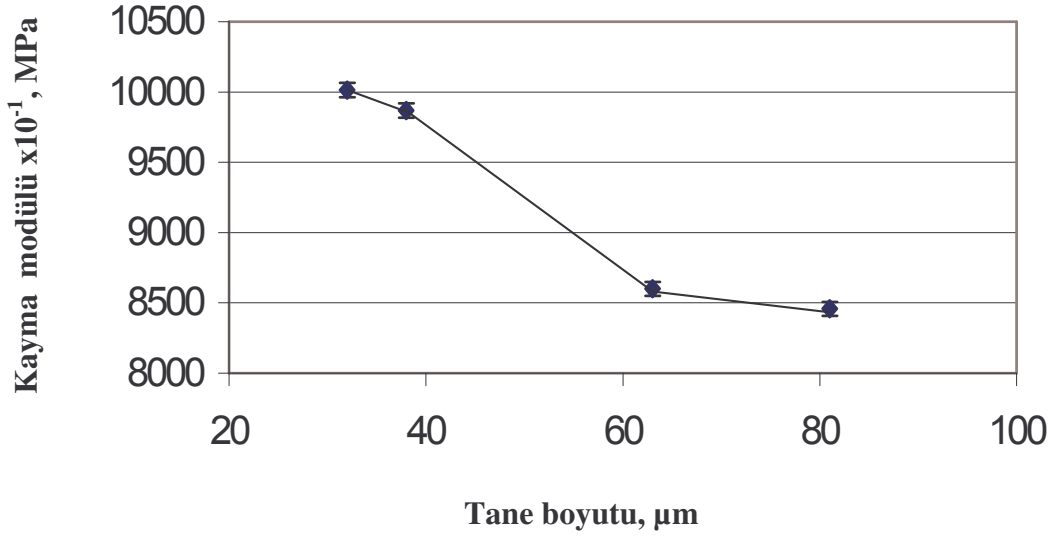
Şekil 4.27: 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Elastisite Modülü – Tane Boyutu ilişkisi



Şekil 4.28 : 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğinde Tane Boyutu-Kayma Modülü İlişkisi



Şekil 4.29 : H13 Sıcak İş Takım Çeliğinde Tane Boyutu – Kayma Modülü ilişkisi



Şekil 4.30 : 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğinde Tane Boyutu – Kayma Modülü ilişkisi

## 5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; farklı tane boyutlarına sahip östenitik paslanmaz ve takım çeliklerinde tane boyutunun ultrasonik dalgaların saçılmasına etkisi incelenmiştir. Bu amaç için 304 östenitik paslanmaz çelik ve H13 sıcak iş takım çeliği numunelerine ısıl işlem uygulanarak farklı tane boyutları elde edilmiştir. 316 östenitik paslanmaz çelik numuneler ise kademeli döküm yoluyla farklı tane boyutlarında üretilmişlerdir. Numunelerde ultrasonik enine ve boyuna dalga hızları 1, 2 ve 4 MHz frekansa sahip normal prob kullanılarak darbe-yankı metodu ile ölçülmüştür.

Çalışmada kullanılan çeliklerin kimyasal analizlerinin AISI standardına uygun olduğunu teyit etmek için spektral analiz yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.1’de verilmiştir. Bulgular, standartlar ile uyum içerisindedir. Bölüm 4.2 de verilen çeliklerin yoğunlukları kütle/hacim bağıntısından belirlenmiştir ve sonuçlar üretici firmalardan sağlanan yoğunluklar ile uyum içindedir. Isıl işlem uygulanmış H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinin sertlik değerleri Bölüm 4.3’te verilmiştir. Bulunan değerler ısıl işlem uygulanmamış numunenin sertlik değeri ile karşılaştırıldığında, ısıl işlem görmüş numunelerin sertliklerinde yaklaşık %47 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Sertlikteki bu artış H13 sıcak iş takım çeliğine uygulanan ısıl işlemi teyit etmiştir.

Numunelerin mikroyapı fotoğrafları ve lineer kesme yöntemine göre belirlenen ortalama tane boyutları Bölüm 4.4’te verilmiştir. H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.1-4.5’te verilmiştir. Mikroyapı incelemeleri, ısıl işlem görmüş numunelerde iç yapının temperlenmiş martensit ana yapı içerisinde dağılmış karbürlerden oluştuğunu göstermektedir. Isıl işlem görmemiş numune ise ferrit ana yapı içinde dağılmış küresel karbürlerden oluşmaktadır. Numunelerin ortalama tane boyutları artan sıcaklık ve artan östenitleme süresi ile artış göstermiş ve 24 ile 32  $\mu\text{m}$  arasında elde edilmiştir. H13 sıcak iş takım çeliğinde çok fazla tane büyümesi görülmemesinin nedeni içerdiği Vanadyum elementinin tane büyümesini engelleyici özelliğinden kaynaklanmaktadır [26]. 304 östenitik paslanmaz çelik numuneleri, ortalama tane boyutlarını değiştirmek için 1000-1100°C sıcaklıkta 40-

60 dk arasında değişen sürelerde östenitlenmişlerdir. 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.6-4.10'da verilmiştir. Mikroyapı incelemeleri, ana yapının östenitten oluştuğunu ve tane içlerinde yer yer tavlama kaynaklanan ikizlerin olduğunu göstermiştir. Ayrıca tane sınırlarında oyuklaşma korozyonu ürünleri siyah benekler halinde bulunmaktadır. Numunelere uygulanan ısı işlem sonucu ortalama tane boyutları 22 ile 46  $\mu\text{m}$  arasında belirlenmiştir. Palanichamy ve diğerleri [18]; 1050°C de 70 dk östenitledikleri östenitik paslanmaz çelik numunelerde 25-35  $\mu\text{m}$  arasında tane boyutları elde etmişlerdir. 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.11-4.14'te verilmiştir. Mikroyapı incelemeleri ana yapının, östenitten oluştuğunu ve yapı içinde yer yer  $\delta$ -ferrit fazının olduğunu göstermiştir. Östenitik paslanmaz çeliklerde eğer uygun Ni/Cr oranı sağlanamaz ise bir miktar ferrit fazı görülebilmektedir. Ortalama tane boyutları, kademeli dökümde numune boyutlarına bağlı olarak 32 ile 81  $\mu\text{m}$  arasında elde edilmiştir.

Lineer kesme yöntemine göre ortalama tane boyutları belirlenen numunelerin ultrasonik hız ölçüm sonuçları Bölüm 4.5'te verilmiştir. Ultrasonik hız ölçümleri 4 MHz ve 1 MHz boyuna dalga ile 2 MHz ve 1 MHz enine dalga üreten temas tipi problarla, darbe-yankı metoduna göre yapılmış ve Şekil 4.15-4.24'te ortalama tane boyutuna karşı verilmiştir. Ultrasonik hız ölçüm sonuçlarına göre artan tane boyutuna bağlı olarak ultrasonik hızın azaldığı ve ultrasonik saçılmanın arttığı tespit edilmiştir. 316 östenitik paslanmaz çeliği numunelerinde ortalama tane boyutu 32  $\mu\text{m}$ 'den 81  $\mu\text{m}$ 'e arttığında, 4 MHz boyuna dalga ile ölçülen ultrasonik hız 5870  $\text{m s}^{-1}$ 'den 5500  $\text{m s}^{-1}$ 'e azalmıştır. 304 östenitik paslanmaz çeliği numunelerinde ortalama tane boyutu 22  $\mu\text{m}$ 'den 46  $\mu\text{m}$ 'e arttığında, 4 MHz boyuna dalga ile ölçülen ultrasonik hız 5955  $\text{m s}^{-1}$ 'den 5937  $\text{m s}^{-1}$ 'e azalmıştır. Aynı numunelerde 2 MHz enine dalga ile ölçülen ultrasonik hız ise 3185  $\text{m s}^{-1}$ 'den 3107  $\text{m s}^{-1}$ 'e azalmıştır. H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinde ortalama tane boyutu 24  $\mu\text{m}$ 'den 32  $\mu\text{m}$ 'e arttığında, 4 MHz boyuna dalga ile ölçülen ultrasonik hız 6039  $\text{m/s}$ 'den 5941  $\text{m s}^{-1}$ 'e azalmış yine aynı numunelerde 2 MHz enine dalga ile ölçülen ultrasonik hız ise 3306  $\text{m s}^{-1}$ 'den 3250  $\text{m s}^{-1}$ 'e azalmıştır. Numunelerin tane boyutları çalışmada kullanılan ultrasonik dalgaların dalga boylarından oldukça küçüktür. Bu çalışmada kullanılan 4 MHz ve 1 MHz frekansa sahip probların ürettikleri boyuna dalgaların dalga boyları ( $\lambda$ ) sırasıyla 1,3 mm ve 5,2 mm, 2 MHz ve 1 MHz

frekanslı problemlerin ürettikleri enine dalgaların dalga boyları ( $\lambda$ ) ise sırasıyla 1,5 mm ve 3,2 mm'dir. Saçılma, Rayleigh saçılması olarak gerçekleşmiştir. Rayleigh saçılması  $cD^3f^4$  terimi ile ifade edilmekte olup, ortalama tane boyutu (D) ve frekansa (f) bağlı olarak artmaktadır [ 1,5,27 ].

Kumar ve diğerleri [19]; 316 östenitik paslanmaz çeliği ile yaptıkları çalışmada, 30 ile 138  $\mu\text{m}$  arasında tane boyutlarına sahip numunelerde, saçılmaya en büyük etkiyi artan tane boyutunun neden olduğunu belirtmişler ve saçılmayı  $cD^3f^4$  şeklinde ifade etmişlerdir. Palanichamy ve diğerleri [18]; östenitik paslanmaz çeliğinden, 25  $\mu\text{m}$  ile 35  $\mu\text{m}$  arasında tane boyutlarında numunelerde ultrasonik hız ölçümü yapmışlar ve artan ortalama tane boyutu ile hızın azaldığını bulmuşlardır. Klinman ve diğerleri [23]; karbon çeliği numunelerde tane boyutunun 30  $\mu\text{m}$ 'den 113  $\mu\text{m}$ 'ye arttığında, ultrasonik zayıflamanın arttığını bulmuşlardır. Zayıflamanın nedenini Rayleigh bölgesi saçılmasına bağlamışlardır.

Bölüm 3.8'de açıklandığı şekilde hesaplanan elastisite ve kayma modülleri ortalama tane boyutuna karşı Bölüm 4.6'da verilmiştir. Grafiklerden artan tane boyutu ile elastisite modülünün ve kayma modülünün azaldığı görülmüştür. 304 östenitik paslanmaz çelik numunelerinde tane boyutu 22  $\mu\text{m}$ 'den 46  $\mu\text{m}$ 'e arttığında elastisite modülü 187 GPa'dan 180 GPa'a, kayma modülü ise 78,7 GPa'dan 74,6 GPa'ya azalmıştır. H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinde ortalama tane boyutu 24  $\mu\text{m}$ 'den 32  $\mu\text{m}$ 'e arttığında elastisite modülü 205 GPa'dan 199 GPa'a, kayma modülü ise 85 GPa'dan 74 GPa'ya azalmıştır. 316 östenitik paslanmaz çeliği numunelerinde ortalama tane boyutu 32  $\mu\text{m}$ 'den 81  $\mu\text{m}$ 'e arttığında elastisite modülü 196 GPa'dan 171 GPa'a, kayma modülü ise 100 GPa'dan 85 GPa'ya azalmıştır. Elastisite modülü tane boyutunun bir fonksiyonu değildir. Ancak tane boyutunun artması ile elastisite modülünün bir miktar azalması tane büyümesi sonucu yapıda tercihli yönelmenin oluştuğuna işaret etmektedir. İnce taneli yapıda rasgele yönelmiş tanelerin bulunma olasılığı daha fazladır. Buna karşılık taneler büyüdükçe bazı taneler yok olmakta bu da yapıda tercihli yönelmeye sebebiyet vermektedir. Buna bağlı olarak elastisite modülü bir miktar azalmıştır. Bu konunun detaylı olarak araştırılması gerekmektedir.

Sonuç olarak:

- 316 ve 304 östenitik paslanmaz çeliklerinde ve H13 sıcak iş takım çeliğinde, ortalama tane boyutu arttıkça ultrasonik hız azalmış ve ultrasonik saçılma artmıştır.
- 316 ve 304 östenitik paslanmaz çeliklerinde ve H13 sıcak iş takım çeliğinde, tane boyutu arttıkça muhtemelen yapıda meydana gelen tercihli ynlenmeden dolayı elastisite ve kayma modülleri bir miktar azalmıştır.

## KAYNAKLAR

1. EKİNCİ, Ş., YILDIRIM, A., SARIÇAM, S., 2004, *Ultrasonik Test, Seviye 1, Eğitim Notları*, TAEK, ÇNAEM, Endüstriyel Uygulama Bölümü, 22-79.
2. *Nondestructive material testing with ultrasonics*, 2000, NDT.net, Vol.5, No 9.
3. TAŞAN, İ., TOPRAK, Z., 2001, *Tahribatsız Muayene Yöntemleri*, Bitirme Tezi, İ.Ü., Müh., Fak., Metalurji ve Malzeme Müh., 5-20.
4. *Determination of ultrasonic properties*, 1996, NDT.net, Vol.1 No 3.
5. EKİNCİ, Ş., 1991, *Östenitik Kaynak Dikişlerinin Ultrasonik Testinde karşılaşılan sorunlar ve çözümleri*, Metalurji dergisi, sayı 34.
6. TMMOB, 1997, *Tahribatsız Muayene Kurs Programı Notları*, Metalurji Mühendisleri Odası, 20-50.
7. EKİNCİ, Ş., 1994, *Tahribatsız Test: Ultrasonik – Seviye 2*, ÇNAEM, Endüstriyel Uygulama Bölümü, 30-50.
8. BRIDGE, B., MERRIKH, K., 1999, *Ultrasonic Backscatter measurements of grain size variations illustrated by studies on heat treated Chrome – Nickel stainless steel*, South Bank University, 103 Borough Road London, SE1 OAA, UK, 2-7.
9. KUMAR, A., JAYAKUMAR, T., RAJ, B., RAY, K.K., 2003, *Correlation between Ultrasonic shear wave velocity and Poisson's ratio for isotropic solid materials*, Acta Materiala 51 2417 – 2426.
10. ASMANI, M., KERMEL, C., LERICHE, A.,OURAK, M., 2004, *Influence of porosity on Young's modulus and Poisson's ratio in alumina ceramics*, Journal of the European Ceramic Society, Vol. 21, Issue 8, Pg. 1081-1086.
11. ASİL ÇELİK, 2000, *Asil Çelik Teknik Yayınları*, 80-100.

12. BALCI, B. S., ŞEN, E., 2002, *Paslanmaz Çeliklerin Üretim Yöntemleri*, İ.Ü. Bitirme Tezi, 2-20.
13. THEİNING, K.E., , 1984, *Bofors El Kitabı, Isıl İşlem*, Çeviri, İTÜ, TEKİN, A., 200-257.
14. ASM, 1991, *Metals Handbook, Heat Treatment*, Vol. 4, ISBN 0-87170-379.
15. SERABIAN, S., 1980, *Frequency and Grain Size Dependency of Ultrasonic Attenuation in Polycrystalline Materials*, BJNDT 22, 1-7.
16. JUVA, A. , HAARVISTO, M., 1977, *On the Effects of Microstructure on the Attenuation of Ultrasonic Waves in Austenitic Stainless Steels*, BJNDT 19.
17. PAPADAKIS, E.P., 1964, *Ultrasonic Attenuation Caused by Scattering in Polycrystalline Metals* Bell Lab, Inc. Allentown, Pennsylvania, Journal of Acoustical Society of America, Vol 37, Nd 4, 711-714.
18. PALANICHAMY, P., VASUDEVAN, M., JAYAKUMAR, T., VENUGOPAL, S. and RAJ, B., 2000, *Ultrasonic Velocity measurements for characterizing the annealing behaviour of cold worked austenitic stainless steel*, NDT&E International, Vol. 33, Issue 4, 253-259.
19. KUMAR, A., JAYAKUMAR, T., PALANICHAMY, P. and RAJ, B., 1999, *Influence of grain size on Ultrasonic Spectral parameters in AISI type 316 stainless steel*, Scripta Materialia Vol. 40, Issue 3, 333-340.
20. GÜR, C., H., TUNCER, B., O., *Investigating The Microstructure-Ultrasonic Property Relationship In Steels*, Middle East Technical University, Metallurgical& Materials Engineering Department, Welding Tech.&NDT Center, Ankara, Turkey, 1-5.
21. DİGİACOMO, G., OHLSTEİN,G., JONES, W., J., 1970, *Development Of An Ultrasonic Method For Determination Of Grain Size In Cast Steel*, Materials Evalution, 271-276.
22. KUMAR, A., JAYAKUMAR, T., RAJ, B., RAY, K., K., 2003, *Characterization of Solutionizing Behaviour In VT14 Titanium Alloy Using Ultrasonic Velocity And Attenuation Measurements*, Material Science And Engineering, A360, 58-64.

23. KLİNMAN, R., WEBSTER, G., R., MARSH,F., J., STEPHENSON, E., T., 1980, *Ultrasonic Prediction Of Grain Size, Strength And Toughness In Plain Carbon Steel*, Materials Evalution, 1-8.
24. CHAKRAVARTY, S. ,N. BHATTACHARYA , D. , K., MANDAL,A.,K.,1996, *Grain Size Control In Cr-Mn Steel Pins By Ultrasonik Attenuation Technique*, WCNDT'96-New Delhi, Ashgate Publishing Company, 1-6.
25. ASM METALS HANDBOOK, 1990, *Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance Alloys*, Vol. 1, 758-843
26. ASSAB-KORKMAZ, 2004, *Kalıp Çeliği ve Isıl İşlemi*, Genişletilmiş 3.baskı, 55-57.
27. ANDERSON, A., 1995, *Study of the Relationships Between Ultrasonic Attenuation and Grain-Size Distributions in Polycrystalline Materials*, WORCESTER, Polytecnic Institute, 2-5.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1980 yılında Rusçuk'ta doğdum. İlk ve ortaöğretim eğitimimi Avcılar Abdülkadir Uztürk ilköğretim okulunda tamamladıktan sonra lise eğitimime 50.Yıl Avcılar İna lisesinde devam ettim ve 1998 yılında mezun oldum. Aynı yıl girdiğim İ.Ü.Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden 2003 yılında mezun oldum. 2003 Yılında İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başladım.