

TUNGSTEN KARBÜRLÜ METAL MATRİKS KOMPOZİT
SERAMİKLERİNİN ELASTİK SABİTELERİNİN
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Saliha ELMAS

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK

FİZİK ANABİLİM DALI

OCAK 2008

“Bu tez çalışması AKÜ BAPK-06. FENED.11 nolu proje ile desteklenmiştir”.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUNGSTEN KARBÜRLÜ METAL MATRİKS KOMPOZİT SERAMİKLERİNİN
ELASTİK SABİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Saliha ELMAS

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK

FİZİK ANABİLİM DALI

OCAK 2008

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK'ın danışmanlığında, Saliha ELMAS tarafından hazırlanan "TUNGSTEN KARBÜRLÜ METAL MATRİKS KOMPOZİT SERAMİKLERİNİN ELASTİK SABİTELERİNİN BELİRLENMESİ" başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca

25/01/2008

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

FİZİK Anabilim Dalında

Yüksek lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Prof. M. Selami KILIÇKAYA	
Üye	Yrd. Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1. Ultrases.....	3
2.2. Ultrasesin Temel Nitelikleri.....	4
2.2.1. Ultrasesin Yapısı ve Ultrases Dalgalarının Elde Edilmesi.....	4
2.2.2. Ultrasesin Kullanım Alanları.....	5
2.2.2.1. Ultrasesin Tıp Alanındaki Uygulamaları.....	5
2.2.2.2. Ultrasesin Malzeme Analizindeki Uygulamaları.....	6
2.2.3. Ultrasonik Dalgaların Yansıması ve İletimi.....	9
2.2.4. Ultrases Dalga Çeşitleri.....	11
2.2.4.1. Boyuna Ultrases Dalgaları.....	12
2.2.4.2. Enine Ultrases Dalgaları.....	12
2.2.4.3. Yüzeysel Ultrases Dalgaları.....	13
2.2.5. Ultrasesin Malzemeyle Etkileşmesi.....	14
2.2.6. Ultrases Dalgası Saçılma Bölgeleri.....	14
2.2.6.1. Rayleigh Saçılma Bölgesi.....	14
2.3. Ultrases Ölçüm Metotları.....	15
2.3.1. Tane Boyut Ölçüm Metodu.....	15

2.3.2. Geçiş Metodu (Through Transmission).....	16
2.3.3. Yansıma (Puls-Echo) Metodu	17
2.3.4. Dalga Hızı.....	17
2.3.5. Ultrasonik Metodun Bazı avantajları.....	18
2.4. KOMPOZİT MALZEMELER	19
2.4.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	19
2.4.1.1. Metal Matriksli Kompozitler (MMK)	20
2.4.1.2. Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Özellikleri ve Kullanım Alanları...	21
2.5. ELASTİK SABİTELER	22
2.5.1. Tensörlere Kısa Bir Giriş.....	22
2.5.1.1. Stress tensörü.....	23
2.5.1.2. Strain tensörü	24
2.5.1.3. Hooke Yasası.....	25
2.5.1.4. İzotropik Materyal	28
2.5.1.5. Kübik Yapı	29
3. MATERYAL VE METOT	34
3.1. Giriş	34
3.2. Kullanılan Malzemeler	34
3.2.1. Tungsten Karbür (WC).....	34
3.2.2. Nikel (Ni).....	36
3.3. Numunelerin Hazırlanması.....	37
3.3.1. Electroless Nikel Kaplama İşlemi	37
3.4. Deneysel Çalışmalarda Yapılan İşlemler ve Kullanılan Cihazlar	42
3.4.1. Presleme	42
3.4.2. Sinterleme.....	43
3.5. Ultrases Deney Düzeneği	44
3.5.1. Ultrases Dalga Hızı Ölçüm Deney Sistemi	44
3.5.2. Transducer' lerin Deneyde Kullanım Şekli	46

4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	47
4.1. Veri Alma Tekniği ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	47
4.2. Kaplamalı ve Kaplamasız Numunelerinin Deneysel Sonuçları	47
4.2.1. Sinterleme Sonrası SEM-EDX Analizi	47
4.2.2 Sinterleme Sonrası Yoğunluk Sonuçları.....	50
4.2.3. Ultrases Hız Deneyleri Sonuçları	51
4.2.4. Young Modülünün (<i>E</i>) Hesaplanması	56
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	60
KAYNAKLAR.....	62
ŐZGEMIŐ.....	72

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
**TUNGSTEN KARBÜRLÜ METAL MATRİKS KOMPOZİT
SERAMİKLERİNİN ELASTİK SABİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Saliha ELMAS

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
FİZİK Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bekir ORUNCAK

2. Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN

Bu çalışmada kimyasal metotla nikel kaplanmış % 70 tungsten karbür (WC) tozları kullanılarak seramik-metal kompozit malzeme üretimi ve tungsten karbür-nikel (WC-Ni) tozlarından oluşturulan seramik-metal kompozit malzemelerinin ultrases dalga hız metodu ile elastik sabiteleri incelenmiştir. Bu çalışmada 10 μm boyutunda tungsten karbür (WC) tozu ve kaplama banyosunda da nikel elde etmek için % 30 $NiCl_2 \cdot H_2O$ (Nikel Klorür) kullanılmıştır. Elde edilen tozlar 30 mm yarıçaplı kalıpta yerleştirilerek 360 bar basınçta hidrolik pres kullanarak preslenmiştir. Numuneler tüp fırında argon gazı atmosferinde 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrası SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) ve EDX (Enerji Açılımlı X-Işını Spektrometresi) analizleri yapılarak tane boyutu analizleri yapılmıştır. Ultrasonik boyuna hız ölçümlerinde 2 ve 5 MHz'lik transducer, ultrasonik enine hız ölçümlerinde ise 1 ve 5 MHz'lik transducerler kullanılmıştır. Elde edilen boyuna ve enine hız sonuçları ile elastik sabite katsayısı olan Young Modülü (E) hesaplanmıştır. Ayrıca her bir numune için yoğunluklar belirlenmiştir. Bu elde edilen veriler sayesinde Young Modülü-Ortalama Tanecik boyutu, Boyuna hız-Ortalama Tanecik boyutu, Enine hız-Ortalama Tanecik boyutu grafikleri hazırlanmıştır.

Bu çalışma numunelerin ultrasonik hız-ortalama tane boyutu ve elastik sabite-ultrasonik hız ilişkisini göstermektedir. Özetle kaplamalı ve kaplamasız numunelerimizin sonuçları Young Modülünün ultrasonik hız ile birlikte arttığını

göstermektedir. Özellikle bu artışın 1300°C' de sinterlenen numunelerde gerçekleştiği görülmektedir.

2008, 72 sayfa

Anahtar kelimeler: Elastik Sabiteler, Ultrasonik Hız, Kompozit Malzemeler, Elektrik Akımsız Nikel Kaplama (Electroless)

ABSTRACT

Master of Science in the Department of Physics

DETERMINING THE ELASTIC OF METAL MATRIX COMPOSITES CERAMIC WITH TUNGSTEN CARBIDE

Saliha ELMAS

Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics DEPARTMENT

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Bekir ORUNCAK

Co-Supervisor: Assist. Prof. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN

In this work Nickel has been covered by the chemical method, the ceramic-metal complex material production by using %70 tungsten carbide (WC) powder and tungsten carbide (WC-Ni) ceramic metal supplies that are provided by the elastic constant via the method of ultrasound velocity. In this work %30 $NiCl_2.H_2O$ (Nickel Chloride) has been used to provide tungsten carbide at the dimension 10 μm , and also to provide nickel in the covering bath. Provided powder were placed in a 30 mm diameter mold and pressed using a hydraulic pres at a pressure of 360 bar. Samples were sintered at temperatures of 1000°C, 1100°C, 1200°C and 1300°C with Ar gas atmosphere in tube furnace. After sintering process mean grain size analysis have been realized by having been done SEM (Scanning Electron Microscopy) and EDX (Enerji Açılımlı X-ışını Spektrometresi) analysis. In the measuring ultrasonic longitudinal velocity 2 and 5 Mhz transducers, ultrasonic transverse velocity 1 and 5Mhz transducers have been used. Young Modulus (E), elastic constant coefficient, has been calculated with providing longitudinal and transeverse velocity. Also, for every sample densities were determined. Young Modulus- mean grain size, longitudinal velocity- mean grain size, transverse velocity- mean grain size graphics have been prepared with the help of these datas.

This work has shown relation of ultraonic velocity-mean grain size and elastic constant- ultrasonic velocity of samples. Shortly, it shows that with covered or without

covered samples, results increase with the ultrasonic velocity of Young Modulus. Especially this increase has confirmed on the sample which are sintered 1300°C.

2008, 72 pages

Keywords: Elastic Constants, Ultrasonic Velocity, Composite Materials, Electroless Ni Plating

TEŞEKKÜR

Bana bu tez alıőması sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Do. Dr. Bekir ORUNCAK'a ve Yrd. Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN'e teőekkürü borç bilirim.

ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma-Uygulama Merkezine ve ultrases enine hız ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan Doç. Dr. Hakan GÜR ve Birnur DOYUM'a çok teşekkür ederim.

Kompozit malzeme hazırlanması ile ilgili teknik konularda bana yardımcı olan Teknik Eğitim Fakültesinde Yrd. Doç. Dr. Ayhan EROL' a ve teknisyen Birol EROL'a teőekkürü borç bilirim. Tez alıőması boyunca sürekli yanımda bulunan sevgili arkadaşlarım Vildan ÖZKAN'a ve Özlem SEVİM'e çok teşekkür ederim.

Tez çalıőmamda ve her konuda bana destek olan Aileme, Ayőe ve Mehmet YILDIZ' a çok teşekkür ederim.

Saliha ELMAS

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

a	Tane yarıçapı
A	Titreşim genliği
c	Dalga hızı
C	Esneklik katsayısı
E	Young modülü
D	Ortalama tanecik boyutu
f	Frekans
F	Yaya uygulanan kuvvet
ρ	Yoğunluk
k	Dalga sayısı
k	Yay
K	Hacim modülü
M	Kütle
n	Yüzey vektörü
P	Ses basıncı
R	Yansıma katsayısı
T	Geçme katsayısı
T	Sıcaklık
u	Yerdeğiştirme vektörü
V	Ultras ses dalga hızı
V_L	Boyuna dalga hızı
V_T	Enine dalga hızı
X	Yerdeğiştirme
ω	Açısal frekans
Z	Akustik empedans
λ	Dalga boyu
ν	Poisson oranı

ε	Strain tensörü
S	Elastik uyum tensörü
σ	Stress tensörü
λ	Lamé sabiti
μ	Lamé sabiti
ϕ	Anizotropi faktörü
t	Stress vektörü
\hat{e}	Birim vektör

2. Kısaltmalar

AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
SEM	Scanning Electron Microscopy
EDX	Enerji Açılımlı X-Işını Spektrometresi
UA	Ultrasonik Attenuation
UB	Ultrasonik Back-Scattering
URA	Ultrasonic Relative Attenuation
MMK	Metal Matriksli Kompozit
NDT	Non-Destructive Testing
TUAM	Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 1	Düzlem sınırına normalden bir cisim veya ışınım düşmesi durumundaki akustik bir dalganın yansımaları ve yayılması (Nagy 2003)	10
Şekil 2	Yansıma durumlarındaki ses basınç değerleri (Nagy 2003)	11
Şekil 3	Ortam içinde oluşan boyuna dalgaların şematik gösterimi (İşleyici 2005)	12
Şekil 4	Ortam içinde oluşan enine dalgaların şematik gösterimi (İşleyici 2005)	13
Şekil 5	Yüzeysel ultrases dalgası (Sarpün 1998)	13
Şekil 6	Malzemede titreşen parçacıklar arası bağların şematik gösterimi (İşleyici 2005)	14
Şekil 7	Geçiş yönteminde transducer'lerin numuneye bağlanması (Sarpün 1998)	16
Şekil 8	Yansıma metodunda numuneye transducer bağlantısı (Sarpün 1998)	17
Şekil 9	Bir küp üzerinde stress bileşenleri (Sarpün 1998)	23
Şekil 10	Farklı kübik yapılar için anizotropi faktörü (Nagy 1999)	30
Şekil 11	Kübik kristal yapıda kristal düzlemleri (Nagy 1999)	30
Şekil 12	Tungsten karbür'ün hekzagonal kristal yapısı (Toth 1971)	35
Şekil 13	W-C denge diyagramı (Rieck 1967)	36
Şekil 14	Electroless nikel kaplama ile elektrolitik nikel kaplama arasındaki fark (Aclassmetal.com 2004)	38
Şekil 15	Kaplama başlarken	40
Şekil 16	Kaplama devam ederken	40
Şekil 17	Kaplama devam ederken	40
Şekil 18	Kaplama bittiğinde	40
Şekil 19	Deney akım şeması	41
Şekil 20	Hidrolik pres makinesi	43

Şekil 21	Sinterlemede kullanılan tüp fırın	43
Şekil 22	Ultrases boyuna hız ölçüm cihazı	44
Şekil 23	Ultrases enine ölçüm cihazı	45
Şekil 24	A-Scan görüntüsündeki pikler ve numuneden alınan pik görüntüleri	45
Şekil 25	Numune ölçümlerinde kullanılan transducerler (a) Boyuna hız transducer (b) Enine hız transducer	46
Şekil 26	Kaplamalı numunelerin SEM görüntüsü, (a) 1000°C, (b)1100°C, (c) 1200°C, (d) 1300°C	48
Şekil 27	Kaplamasız numunelerin SEM görüntüsü, (a) 1000°C, (b)1100°C, (c) 1200°C, (d) 1300°C	48
Şekil 28	1000°C’de kaplamalı Tungsten karbür-nikel (WC-Ni) numunesinin EDX spektroskopisi	50
Şekil 29	1000°C’de kaplamasız Tungsten karbür-nikel (WC-Ni) numunesinin EDX spektroskopisi	50
Şekil 30	Örneklerin 1 MHz boyuna ultrases hız-deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği	54
Şekil 31	Örneklerin 5 MHz boyuna ultrases hız-deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği	54
Şekil 32	Örneklerin 1 MHz enine ultrases hız-deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği	54
Şekil 33	Örneklerin 5 MHz enine ultrases hız-deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği	55
Şekil 34	Örneklerin 1 MHz boyuna ultrases hız-deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği	55
Şekil 35	Örneklerin 5 MHz boyuna ultrases hız-deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği	55
Şekil 36	Örneklerin 1 MHz enine ultrases hız-deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği	56

Şekil 37	Örneklerin 5 MHz enine ultrases hız-deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği	56
Şekil 38	1 MHz için Young modülü-ortalama tanecik boyutu grafiği	58
Şekil 39	5 MHz için Young modülü-ortalama tanecik boyutu grafiği	58
Şekil 40	1 MHz için Young modülü-ortalama tanecik boyutu grafiği	58
Şekil 41	5 MHz için Young modülü-ortalama tanecik boyutu grafiği	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
Çizelge 1	Ultrasonik ölçümler ve uygulama kategorileri (Bhardwaj 2000)	9
Çizelge 2	Kübik kristallerde farklı kristal doğrultuları için ultrases hızları (Queheillalt 2000)	32
Çizelge 3	Tungsten karbür (WC) özellikleri	35
Çizelge 4	WC tozu için hazırlanan nikel kaplama banyosunun kimyasalları ve oranları	39
Çizelge 5	Hazırlanan kaplamalı numunelerin özellikleri	42
Çizelge 6	Hazırlanan kaplamasız numunelerin özellikleri	42
Çizelge 7	Kaplamalı numunelerin sinterleme sıcaklığı ile ortalama tanecik boyutu arasındaki ilişki	49
Çizelge 8	Kaplamasız numunelerin sinterleme sıcaklığı ile ortalama tanecik boyutu arasındaki ilişki	49
Çizelge 9	Sinterleme sonrası kaplamalı numunelerin boyutları ve yoğunlukları	51
Çizelge 10	Sinterleme sonrası kaplamasız numunelerin boyutları ve yoğunlukları	51
Çizelge 11	Kaplamalı numunelerde boyuna ve enine hız ölçüm sonuçları	52
Çizelge 12	Kaplamasız numunelerde boyuna ve enine hız ölçüm sonuçları	52
Çizelge 13	Kaplamalı numunelerin deneysel ortalama tanecik boyutu dağılımları	53
Çizelge 14	Kaplamasız numunelerin deneysel ortalama tanecik boyutu dağılımları	53
Çizelge 15	Kaplamalı numuneler için hesaplanan Young modülü değerleri	57
Çizelge 16	Kaplamasız numuneler için hesaplanan Young modülü değerleri	57

1.GİRİŞ

Frekansı 20 kHz' den yüksek olan seslere ultrases denilmektedir. Ultrases, mekanik parametrelerle ilgilidir ve mikro yapıyı değerlendirmede kullanılan tahribatsız muayene (non-destructive) metotlarından biridir (Özdemir 2006). Ultrasonik tahribatsız muayene tekniği (NDT) materyal analiz uygulamalarının geniş bir çeşidine uygulanabilen çok yönlü bir tekniktir. Materyal karakterizasyonunda ultrases kullanılması ilk olarak Sokolov (1929) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ultrases, Sokolov tarafından metallerin içyapı hatalarının belirlenmesinde kullanılmış, daha sonra iki transducer yardımıyla katı içindeki çatlak ve kusurların belirlenmesinde kullanılmıştır. Firestone, (1943) tek transducer yardımıyla puls-eko tekniğini geliştirmiş ve büyük bir hassasiyet sağlamışlardır (Sarpün ve Doğan 2004).

Ultrasonik hız teknikleri, test edilen materyale zarar vermeksizin anizotropi faktörü doğrusal olmayan parametrelerle, elastik modülü içeren materyalin elastik (Heramon 1981) ve elastik olmayan (inelastic) parametrelerini anlamamızda büyük fayda sağlar (Petculescu 2004).

Elektrik akımsız (Electroless) nikel kaplama yeni bir teknik olmayıp 1950'den beri dünyada endüstrinin çeşitli yerlerinde kullanılmaktadır. Araştırmacılar 1960'dan beri sıkı bir çalışma ile bu tekniği geliştirerek çeşitli kullanım alanları bulmuşlardır. Günümüzde bu gelişen teknolojiler ve ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda nikel kaplama seramik tozların üzerinde de denenmiş ve denenmektedir. Dünyada metal kaplama endüstrisinde electroless kaplama yöntemlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Electroless nikel kaplamada kesinlikle elektrik akım olmaksızın kimyasalların birbiri ile girmiş oldukları reaksiyon sonucu meydana gelmektedir. Literatüre bakıldığında yüzlerce bu metotla çalışan kimyasal banyolar bulunmaktadır. Bu çalışmada tam nikel veren Hidrazin Hidrat banyosu kullanılmıştır (Çolak 2004).

Metal matriksli kompozit malzemelere son zamanlarda büyük ilgi duyulmaktadır. Bu büyük ilginin nedenlerinden birisi de, ekonomik ve yüksek kaliteye sahip malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesidir. Metal matriksli kompozitlerde mekanik

özellikleri arasında elastik sabiteler önemli özelliklerdendir. Atomik kuvvetler ile doğrudan ilgili olduklarından (faz geçişi, zarar gibi) dolayı ve katı maddelerde meydana gelen fiziksel süreçlerde önemli bir bilgi kaynağını temsil etmektedir. Elastik sabiteler, hem mekanik testler ile hem de ultrasonik dalga yayılma karakteristikleri ile belirlenebilir. Mekanik testler, malzemelerin anlaşılmasında zarar vericidir ve birkaç mm kalınlıkta ince tabakalı bir biçimde imal edilen malzemeler için anizotropik elastik tensörünün tam bir değerlendirmesine izin vermez. Bu yüzden ultrasonik metotlar, tahribatsız olarak kullanılabilir olduğundan bazı avantajlar önerir. Üstelik farklı yayılma doğrultularındaki hızlarının bilinmesi sayesinde, malzemenin elastik anizotropisi hakkında nitel bilgi elde edilebilir (Ducret et al. 1999). Bundan dolayı materyallerin elastik özelliklerinin ultrasonik incelemesinde, ultrasonik boyuna ve enine dalgaların hızları ve materyallerin etkili elastik sabiteleri temel alınır.

Bu tezin ikinci bölümünde ultrasenin tanımı ve tarihi gelişimi, ultrasenin temel nitelikleri, yapısı, ultrases dalga çeşitleri ve ultrases ölçüm metotlarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde kompozit malzemeler, metal matriksli kompozitler ve kullanım alanları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde elastik sabiteler hakkında genel teorik bilgiler verilmiştir. İlk önce temel esneklik kavramları tanımlanmış ve katıdaki ultrases hızları denklemler ile ifade edilmiştir.

Bu tezin beşinci bölümünde ise deneysel çalışmalar yer almaktadır. Burada, kullanılan malzemeler, numune hazırlama, electroless kaplama işlemi, deneyde kullanılan cihazlar ve deney düzenekleri incelenmiştir. Tezin altıncı bölümünde deneysel çalışma sonuçları verilmiştir. Bu bölümde hazırlanan kompozit numuneler için Afyon Kocatepe Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden elde edilen ultrasonik hız ölçüm sonuçları ve elastik sabite katsayısı belirlenmiştir. Yine bu bölümde numunelere ait SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) ve EDX (Enerji Açılımlı X-Işını Spektrometresi) görüntüleri bulunmaktadır.

Sonuç olarak, ultrases deney sonuçları ile elde edilen elastik sabite sonuçları arasındaki ilişki ile ilgili gerekli yorumlar yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1. Ultrases

İnsan kulağı 16 Hz ile 20000 Hz arasındaki frekans bölgesindeki sesleri duyabilir. Bu sınırın üstündeki frekanslardaki seslere ultrases denir (Sarpün 1998).

Pierre Curie ve kardeşi Paul Jacques Curie tarafından 1880 yılında piezoelektrik etkinin keşfi ve bir yıl sonra G. Lipmann tarafından teorik olarak ters piezoelektrik olayının ispatlanması ile kuartz ve diğer materyallerde piezoelektrik olay üzerine yoğun çalışmalar başlatılmıştır. Bu çalışmalar aynı zamanda ultrases araştırmalarının ve çalışmalarının temelini oluşturmuştur (Özdemir 2006).

I. Dünya Savaşı'nda Fransız fizikçi Paul Langevin, kendi adıyla anılan düşman denizaltılarını izlemekte kullanılan bir ultrases alıcı-verici sistemi yapmıştır. 1929 ve 1935 yıllarında, Sokolov metallerin dedekte edilmesinde ultrases dalgalarını kullanmıştır. 1931 yılında ise Mulhaser, iki transducer kullanarak ultrases dalgaları ile katı içindeki çatlak ve kusurları dedekte ederek bu sistemin patentini almıştır. Bu sistem sadece büyük yapı hatalarını tespit etmekte kullanılmıştır. Firestone (1940) ve Simons (1945) puls-eko tekniği ile pulslu ultrases testini geliştirmişlerdir. Bu işlem tek bir transducer ile gerçekleştirilirken Mulhaser'in sistemine göre daha büyük bir hassasiyet sağlamıştır.

1945'ten sonra ultrasesin test edilecek numune veya dokuya zarar vermemesinden dolayı uygulama olarak temelde ikiye ayrılmıştır. Bunlar ultrasesin tıp ve malzeme analizi alanlarındaki uygulamalardır (Sarpün 2004).

2.2. Ultrasesin Temel Nitelikleri

2.2.1. Ultrasesin Yapısı ve Ultrases Dalgalarının Elde Edilmesi

Ses maddesel ortamın titreşim hareketidir. Ultrases dalgaları da ses dalgaları gibi davranır (Sarpün 1998). Ses dalgaları, elastik olarak ortamda yayılırlar ve titreşim enerjisini iletirler. Sıvılarda ve gazlarda ses dalgaları boyuna dalga olarak yayılırlar katıdaki ses dalgaları ise hem enine hem boyuna dalgalar olarak yayılma gösterirler.

Havadaki ses hızı, 20 °C de ~340 m/s, sudaki ses hızı, ~1500 m/s'dir. Ses dalgalarının frekansı değişik olabilir. Buna göre;

- 20 Hz aşağısı: ses altı (infrasonic)
- 20 Hz- 20 kHz: işitilebilir (audible)
- 20 kHz üstü: ses üstü (ultrasonic, ultrasound)

olarak tanımlanır.

Ultrases bir titreşim hareketi olup, titreşim hareketi olarak yayılır ve titreşim hareketi olarak algılanır. Ortamda ultrases dalgaları yayılırken atomlar ve moleküller denge konumları etrafında titreşirler. Bu titreşimler ortam boyunca yayılırlar. O halde ultrases mekanik bir enerjidir.

Dalga ortamda ilerlerken ortamda sıkışmalar ve gevşemeler meydana getirir. Bu sıkışma ve gevşemeler ortamda yayılma doğrultusunda ilerler. İki sıkışma veya iki gevşeme arasındaki uzaklık dalga boyu kadardır. Ortamda V hızıyla ilerleyen bir ultrases dalgasının λ dalga boyu ile frekansı arasındaki bağıntı

$$V = \lambda f \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. Bir ortamda yayılan ultrases dalgasının yayılma hızı sabit olduğu düşünülürse frekansın değiştirilmesiyle ortamda yayılacak dalga boyunun değiştirilmesi olanağının olduğu görülmektedir.

Genellikle 20 kHz'in üzerindeki frekanslı ultrases dalgalarını elde etmek için transducer adı verilen cihazlar kullanılır. Bunlar hem alıcı hem de verici olarak kullanılabilir. Bir transducer enerjiiyi bir sistemden diğerine çeviren bir cihazdır (Ören ve Bacaksız 2000).

2.2.2. Ultrasesin Kullanım Alanları

2.2.2.1. Ultrasesin Tıp Alanındaki Uygulamaları

II. Dünya Savaşında (1939-1945) önemli bir rol oynayan radarlar Firestone (1943) tarafından geliştirilen puls-eko tekniği ile üretilmiştir. Savaşta kullanılan sonar ve radarlar göz önünde bulundurularak tıp alanında da ultrases ile çalışmalar başlamıştır. Tıp alanında ilk çalışmalar ise beyin ve kafatası üzerinde olmuştur (Dussik 1942).

Tıp alanındaki teşhise yönelik çalışmaların başarıya ulaşmasından sonra görüntüleme amaçlı ultrasesin kullanımı 1950'li yıllardan sonra oldukça artmıştır. Ballantine et al. (1950) ve Hueter and Bolt (1951) çalışmalarında beyin karıncıklarının iki boyutlu görüntülenmesi için ultrasesle çalışan bir sistem kurmuştur. Fakat kafatasının ultrases dalga demetinin yapısını bozmasından dolayı görüntülerin kalitesi sınırlıydı. Ludwig (1950) farklı dokularda yoğunluk ve akustik hız ölçümlerini kullanarak yumuşak dokulardan yansıyan ultrases dalgaları ile görüntü oluşturdu. 15 MHz'lik ultrases dalgası vererek dokulardan yansıyan ekoların tek-boyutlu görüntülerini (A-mod) oluşturan cihaz Wild (1950) ve French et al. (1950, 1951) tarafından tanımlanmıştır. Wild and Reid (1952, 1953) bu cihazı geliştirerek iki-boyutlu görüntüleri (B-mod) değişik doku yapıları için elde etmiştir. Wild and Reid'in kullandığı cihaza benzer bir eş-zamanlı (real-time) ultrases B-mod tarayıcısı, Howry and Bliss (1952) tarafından geliştirilmiş olup oldukça iyi görüntüler elde etmişlerdir. Reid and Wild (1957) tarafından ultrases ile görüntülemenin klinik uygulamaları araştırılmıştır.

Satomura (1957) tarafından Doppler-ultrasesi kullanılarak kardiyak hareketleri gözlemlenmiştir. Daha sonraki yıllarda Doppler sinyallerinin spektral analizi, değişik arter ile ilgili hastalıkların teşhisine yardım için kullanılmıştır (Strandness et al. 1967). Pulsu doppler cihazının geliştirilmesi Wells (1969) ve Baker (1970) tarafından yapılmış olup ilk olarak kan hızının ölçümleri için kullanılmıştır. Bu ölçümler ilk başta tek-boyutlu olmasından dolayı hassas olmamasına rağmen Fox (1978) tarafından kan akış hız vektörünün üç koordinat bileşeninin elde edilmesi ile hassasiyet artmıştır.

1980'li yılların ortalarına kadar elektronik açıdan oluşturulan renkli görüntülerin elde edilmesine imkan tanımaz iken sistemlerin geliştirilmesi ile iki-boyutlu kan hızı ölçümleri çok açıdan görüntülenmesi başarılıdır (Kasai et al., 1985). İki-boyutlu (von Ramm Smith, 1990) ve üç-boyutlu (Wells et al., 1992; Picot et al., 1993) görüntüleme tekniklerinin geliştirilmesi ile ultrasesin tıpta kullanımı oldukça genişlemiş hatta her kadın-doğum uzmanının özel muayenehanesinde bile ultrason cihazı bulunur hale gelmiştir.

O'Brien et al. (1995) ultrases dalgalarının yayılma özelliklerinin bulunması ile kalp kasının morfolojik ve kimyasal belirlenmesini yapmıştır. Bir dokunun elastik özelliklerinin belirlenmesi ile dokunun görüntülenmesi şeklindeki elastik özelliklerin tıp alanına uygulanmasının bir derlemesini Gao et al. (1996) yapmıştır. Aynı yıllarda laser-ultrases metodunun geliştirilmesi ile tıp alanında da uygulamaları yapılmıştır. Assentoft et al. (1996), laser-ultrases metodu ile biyolojik dokuların karakterizasyonu yapılmıştır. Tabii ki bu insan vücudu üzerinde uygulanması karakterizasyon çalışmaları için yüksek frekanslı ultrases dalgası oluşturulması gerektiğinden kullanılan laser ışını dolayısıyla riskli olmuştur. Bu yıldan sonra kullanılan ultrases dalgasının frekansı çok yükseltilmiş olup daha iyi bir görüntüleme yapılması için gerekli koşullar ortaya konmuştur. Bununla ilgili çalışmalar Töyräs et al. (1999) ve Miller ve Bamber (2000) tarafından yapılmıştır. Töyräs et al., kıkırdak ve dokularda enzimsel olarak dereceli görüntüleme ile teşhis çalışmalarını yüksek frekanslı ultrases dalgaları ile yaparken Miller ve Bamber ise dokuların Young modülü değişimlerinin görüntülenmesini gerçekleştirmiştir (Sarpün 2004).

2.2.2.2. Ultrasesin Malzeme Analizindeki Uygulamaları

1930'lardan itibaren malzemenin özellikleri ile akustik karakterizasyon arasındaki ilişki incelenmektedir. Rayleigh (1899) tarafından açıklanan düşük frekans Rayleigh limitinde kürelerden sesin yansımaları gibi, Mason ve McSkimin (1947) taneciklerin de dalgayı saçacağını göstermiştir. Yaptıkları bu çalışmada poli-kristallerde ultrases dalgasının yayılmasını ele alarak düşük frekans Rayleigh limitinde frekansın dördüncü kuvveti ile

saçılma soğurulması derecelendirilmesini yapmışlardır. Bunu izleyen çalışmalar da polikristaller üzerine olmuştur (Pekeris 1947, Roth 1948, Huntington 1950). Bhatia ve Moore (1959) Rayleigh limitinde genel bir ortorombik kristal için elastik sabitelerindeki değişimlerinden dolayı saçılan dalganın yapısını açıklamıştır. Daha sonra Rayleigh limiti dışındaki frekanslar için teorik çalışmalar yapılmıştır. Hirsekorn (1982, 1983) tanecikleri, küreden saçılma gibi bireysel saçıcılar olarak kabul etmiştir. Bu kabullenme ile dalga hızlarında olduğu gibi frekansın bir fonksiyonu olarak attenuation (yutulma) hesaplamaları yapılmasını kolaylaştırmıştır.

Katı maddelerin sertlik, kırılma dayanımı, çekme dayanıklılığı gibi özellikleriyle dalga hızı ve attenuation arasındaki ilişkilerini Vary (1980) açıklamıştır. Ultrasesin geri yansıma tekniğini kullanarak katı maddelerin karakterizasyonunu Goebels (1980, 1986) incelemiştir. Fay (1973) geri yansıyan ultrasesin teorik çıkarımı üzerine ayrıntılı çalışmaları vardır. Saniie ve Bilgutay (1986) tanecik boyutunun belirlenmesi için difüz alanlarının kullanımını amaçlamışlardır. Bu teoriler ultrases dalgasının madde içinde tüm tanecikler ile etkileştiği varsayılarak (çoklu saçılma bölgesinde) geliştirilmiştir.

Ultrases dalgasının madde içinde sadece bir tanecikle etkileştiği kabul edilerek oluşturulan teoriler; odaklanabilen transducerlar, zayıf saçıcı olarak kabul edilen ultrases saçılma katsayısı düşük maddeler söz konusu olduğunda kullanılabilir. Bağımsız saçıcı yaklaşımını kullanan bu tekli saçılma teorilerinde Margetan (1992) ve Rose (1992), gelen ultrases dalgasının ortamdan çıkmadan ortalama olarak bir tek saçıcı ile etkileştiğini kabul etmişlerdir. Tekli saçılma teorileri, tanecik boyutu, ısıl iyileştirme, tanecik yapısı ve taneciklerin gürültü (noise) güç spektrumu hakkında hem nicel hem de nitel olarak bilgi elde etmekte başarılı olmuşlardır (Margaten et al. 1992a-b, Russell ve Neal 1994a-b). Daha önce Thorsos (1988) ve Wirgin (1989) tarafından açıklanan Kirchoff yaklaşım teorisi kullanılarak sert-katı yüzeylerden saçılan ultrases dalgalarının birinci ve ikinci mertebeden simulasyonu Embrechts (2000) tarafından yapılmıştır.

Ultrases tekniğini kullanarak alüminyum numunelerin elastik sabiteleri ve malzeme dayanımı özellikleri Schneider (1998) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada gerilim dayanımı eddy akımı tekniği (değişken magnetik alandan faydalanarak numune

yüzeyinde indüklenme ile oluşturulan ve numunenin elektriksel iletkenliğine, magnetik geçirgenliğine, geometrisine ve homojenliğine bağı olan elektrik akımı ve bu akımın numune yüzeyindeki değişimlerinden faydalanarak numune yüzeyindeki kırıkların, çatlakların ve benzeri bozuklukların tespit tekniği) ile belirlenerek ultrases dalgası geçiş zamanı tekniği ile belirlenen elastik sabiteleri arasındaki ilişki açıklanmıştır. Bernabé et al. (1999) ise ince filmlerin elastik sabitelerinin yüzey akustik dalgalarını kullanarak belirlemiştir (Sarpün 2004).

1993-1997 yılları arasında malzeme karakterizasyonunda uygulanan çeşitli ultrases tekniklerini açıklayan çalışmaların bir derlemesi Trétout (1998) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar akustik holografı, laser ultrases, akustik mikroskopi, akusto-ultrases teknikleri üzerine olup Trétout, bu tekniklerle uzay araçları malzeme yapılarına uygulamasını yapmıştır.

Son yirmi yılda ultrases dalgası ve uygulamaları hızlı bir şekilde göstermiştir. Endüstrideki kullanım alanları; boyut ve yakınlık analizini, çok tabakalı materyaldeki tabakalar halindeki dizimi, mekanik özellikleri ve elastik karakterizasyonunu içerir ve metalde açıkça kusur bulmanın ötesine gitmiştir; anizotropi ve heterojenlik ölçümleri; yüzey profili, kimyasal korozyon, kristallendirme ve polimerizasyon; sıvı ve gaz akış metreleme; yüzey görüntüsü ve materyalin içyapı özellikleri; sıvı viskozitesi; granül mikro yapısı ve dokusu; uygulanan ve artan zorlamaları; yüksek sıcaklık değerleri; basınç ve radyasyon çevre uygulamaları; robotbilim, yapay zekâ, yapısal ve elektronik materyaller, uçak ve uzay, kimyasal ve petrol, plastikler ve kompozitler, ağaç ve yapı, anayol ve uçak iniş yolları, köprüler ve demiryolları, kauçuk ve tekerlek, gıda, eczacılık şeklindedir (Özdemir 2006).

Malzemenin ortamla olan etkileşmesinden yararlanarak bazı analizler yapılabilmektedir. Malzeme analizleri ve endüstriyel kullanımları arasındaki ilişki Çizelge 1’de verilmiştir (Bhardwaj 2000).

Çizelge 1. Ultrasonik ölçümler ve uygulama kategorileri (Bhardwaj 2000).

Ölçüm Kategorisi	Ölçülen Parametreler	Uygulamalar
Zaman Bölgesi	Zamana göre ultrases dalgasının; Şiddetinin değişimi Hızının ölçümü (enine, boyuna ve yüzey dalgaları)	Yoğunluk, Kalınlık, kusur bulma, Elastik ve mekaniksel özellikler, yüzey analizi, Anizotropi, homojenlik, Boyut Analizi, Robotbilim, Uzaktan Algılama
Yutulma (Attenuation) Bölgesi	Ultrases dalgasının verilen frekanstaki ve ışık boyutundaki geçen ve yansıyan kısımlarındaki dalgaların incelenmesi	Numunedeki kusurları, yüzey ve iç mikroyapılarının, iç yüzey analizlerinin belirlenmesi
Frekans Bölgesi	Ultrases yutulma-frekans bağıllığı veya Ultrasonik Spektroskopi	Mikroyapı, Tane boyut, tane sınır ilişkileri, gözeneklilik, yüzey karakterizasyonu, faz analizleri
Görüntü Bölgesi	Zamana göre şiddet, hız ve yutulmadaki değişimlerin görüntü haline getirilmesi	Yüzey ve kusurların iç görüntüleri, Mikroyapı, Yoğunluk, Hız, mekanik Özellikler, 2-D ve 3-D görüntüleme

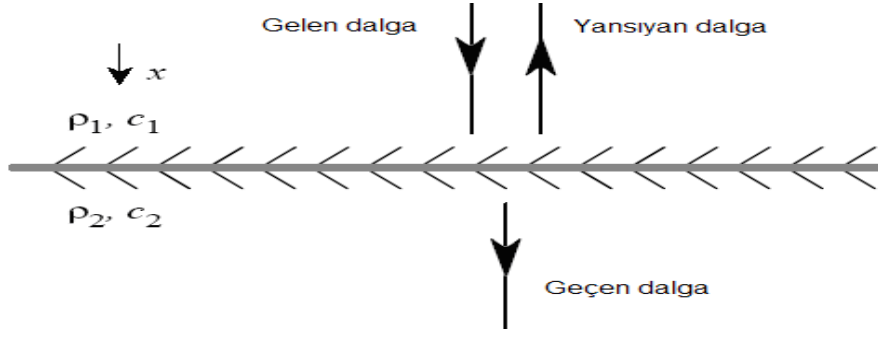
2.2.3. Ultrasonik Dalgaların Yansıması ve İletimi

Ultrasonik dalgalar, mekanik titreşimler olduğundan farklı materyallerde farklı dalga boylarına sahiptirler. Bu farklılık, materyalin elastik özelliklerine ve materyaldeki elektrik akımlı parça titreşimine bağlıdır. Parça titreşimi sinüsel dağılım gösteriyor ise dalgalar tek dalga (λ) olarak ilerler ve bilinen formül

$$f = c / \lambda \quad (2)$$

şeklindedir. Burada c dalga hızıdır.

Yansıma ve geçmenin en basit durumu, dalgalar yüzeye normaline geldiği zaman meydana gelir. Şekil 1'de iki ortam arasında ara yüzdeki boyuna dalgaların durumu gösterilmektedir.



Şekil 1. Düzlem sınıra normalden bir cisim veya ışınım düşmesi durumundaki akustik bir dalganın yansıması ve yayılması (Nagy 2003).

Bu durum, üç tane yayılma dalgası cinsinden yani gelen, yansıyan ve geçen bileşenleri olarak tanımlanabilir. Bu üç dalga ile üretilen yer değiştirme ve zorlama (stress) dağılımları aşağıdaki denklemlerle yazılabilir.

$$u_x^{(i)} = A_i e^{i(k_1 x - \omega t)}, \quad \tau_{xx}^{(ii)} = i\omega Z_1 A_i e^{i(k_1 x - \omega t)} \quad (3)$$

$$u_x^{(r)} = A_r e^{i(-k_1 x - \omega t)}, \quad \tau_{xx}^{(rr)} = -i\omega Z_1 A_r e^{i(-k_1 x - \omega t)} \quad (4)$$

$$u_x^{(t)} = A_t e^{i(k_2 x - \omega t)}, \quad \tau_{xx}^{(t)} = i\omega Z_2 A_t e^{i(k_2 x - \omega t)} \quad (5)$$

Burada $Z_1 = \rho_1 c_1$ ve $Z_2 = \rho_2 c_2$ ' dir. Mükemmel bir ara yüz için yayılan ve yansıyan dalgaların genliği normal yer değiştirmeler hesaplanarak bulunur ve zorlamalar (stressler) ara yüzde aynı olduğu bulunabilir. Bu yüzden, $x=0$ için, aşağıdaki denklemler yazılmaktadır.

$$u_x^{(i)} + u_x^{(r)} = u_x^{(t)} \quad \text{ve} \quad \tau_{xx}^{(i)} + \tau_{xx}^{(r)} = \tau_{xx}^{(t)} \quad (6)$$

Bu doğrudan sonuca götürür.

$$R^{(Yerdeğerleme)} = \frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (7)$$

ve

$$T^{(Yerdeğerleme)} = \frac{A_t}{A_i} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (8)$$

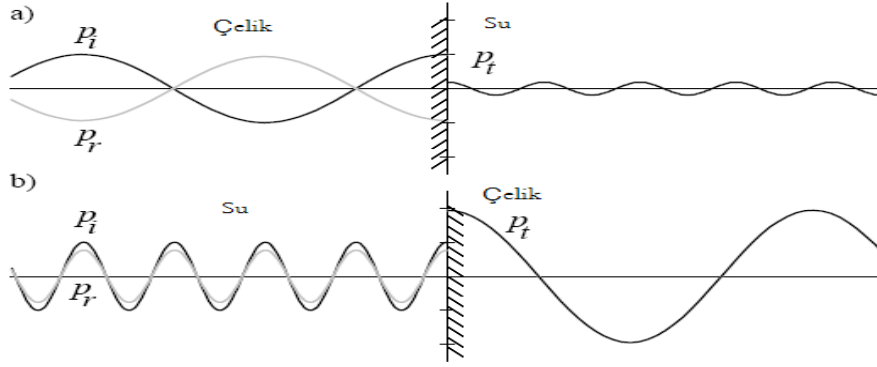
(7) ve (8) denklemleri yer değiştirme genlikleri oranını verir. Genel olarak, zorlama (veya basınç) genlikleri aşağıdaki gibi verilir.

$$R^{(zorlama)} = -\frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (9)$$

ve

$$T^{(zorlanma)} = \frac{Z_2 A_t}{Z_1 A_i} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (10)$$

Burada R ve T , sırasıyla *yansıma* ve *geçme* katsayıları olarak bilinir. Bu sonuçlar, her maddede kendi akustik empedansı bakımından olduğu görülür. Şekil 2'de çelik ve suda yansıma durumundaki ses basınç değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2. Yansıma durumlarındaki ses basınç değerleri (Nagy 2003) a) Çelik-su, b) su-çelik yüzeyi normal doğrultusunda.

Çelik-su için

$$\rho_s c_s = 46.5 \times 10^6 \quad (11)$$

$$\rho_w c_w = 1.5 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s} \quad (12)$$

Zorlamaya bağlı olarak, denklemlerinden $R = -0,938$ ve $T = 0,063$ değerleri bulunur. Su-çelik için ise, $R=0,938$ ve $T=1,938$ bulunur. Yansıyan dalga genliği gelen dalganın genliği ile yaklaşık aynıdır, geçen dalganın genliği ise gelen dalganın genliğinin yaklaşık iki katıdır (Nagy 2003).

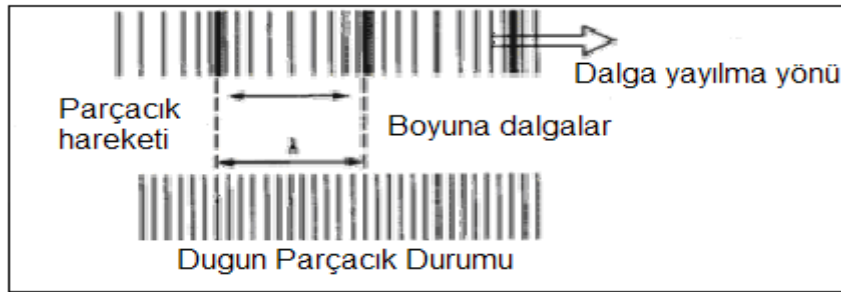
2.2.4. Ultrases Dalga Çeşitleri

Ultrases dalgaları maddesel dalgalar olduğu için, ultrases dalgasının ilerleme yönü ile maddesel ortamdaki parçacıkların titreşim yönü ultrases dalgalarının çeşidini belirlemektedir.

Katı malzemeler içinde ilerleyen ultrasonik titreşimlerin pek çok tipleri vardır. Ultrasonik testte en çok kullanılan tipleri: boyuna, enine ve yüzey dalgalarıdır. Her bir tip, bir ortamın elementlerinde özel bir harekete yol açar.

2.2.4.1. Boyuna Ultrases Dalgaları

Ortamdaki parçacıkların titreşim hareketlerinin yönü dalganın yayılma yönü doğrultusundadır. Bu dalgalar pek çok malzemedeki yüksek bir hıza sahiptirler ve katı, sıvı, gaz ortamlarında yayılabilmektedirler. Boyuna dalgalar basınç dalgaları veya “L” dalgaları olarak bilinirler (Ören ve Bacaksız 2000). Bu dalga türüne basınç dalgaları denmesinin sebebi ise, eşit mesafelerde parçacık yüzeylerinin arasında eşit basınç dalgaları meydana gelir. Bu dalgaların iki sıkışma ve iki gevşeme noktası arasındaki mesafe eşittir. Bu iki mesafe arası da bize dalga boyunu, dolayısıyla eğer kullandığımız dalganın frekansını da biliyorsak bize ultrases dalgasının hızını verir. Ultrases dalgası hızı, dalganın yayıldığı ortamın özelliklerine bağlıdır. Şekil 3’te boyuna ultrases dalgası görülmektedir.

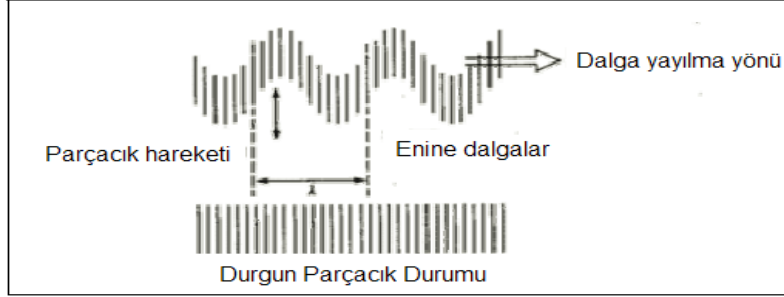


Şekil 3. Ortam içinde oluşan boyuna dalgaların şematik gösterimi (İşleyici 2005).

2.2.4.2. Enine Ultrases Dalgaları

Ortamdaki parçacıkların titreşim doğrultuları, dalganın yayılma yönüne dik ise bu tür dalgalara enine ultrases dalgaları denir. Enine dalgalar sadece katı ortamlarda yayılabilmektedirler. Sıvı ve gaz ortamlarda yayılamazlar. Çünkü bu ortamlarda enine geçiş için hiçbir elastisite yoktur ya da çok azdır. Enine dalgaların yayılma hızları,

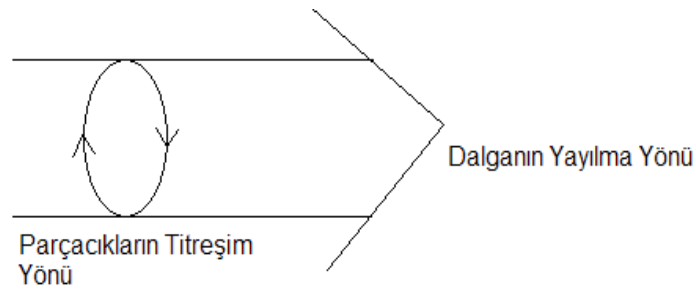
boyuna dalgaların yayılma hızlarının yaklaşık olarak yarısına eşittir. Aşağıdaki Şekil 4’te enine ultrases dalgası görülmektedir.



Şekil 4. Ortam içinde oluşan enine dalgaların şematik gösterimi (İşleyici 2005).

2.2.4.3. Yüzeysel Ultrases Dalgaları

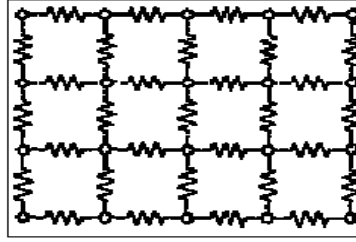
Ortamdaki parçacıkların titreşim hareketi, dalganın yayılma doğrultusuna dik bir elips şeklindedir. Bu elips enine ve boyuna ultrases dalgalarının birleşimi şeklinde oluşmaktadır. Yüzeysel dalgaları bir katı malzemenin yalnızca yüzeyinde yayılırlar (Ören ve Bacaksız 2000). Çünkü dalganın genliği yayıldığı ortamın yüzeyinden itibaren eksponansiyel olarak azalır ve bir dalga boyu mesafe sonra ise sıfır olur. Bu nedenle, bu tür dalgalarla sadece cisimlerin yüzeyleri incelenebilir. Bu dalgaların yayılma hızları ise enine ultrases dalgasının yayılma hızından daha küçüktür. Yüzeysel dalgaları, yüzeyde ilerlerken parmakla ve su ya da gres gibi bir malzemeyle engellenerek zayıflatılabilir. Şekil 5’te yüzeysel bir ultrases dalgası görülmektedir.



Şekil 5. Yüzeysel ultrases dalgası (Sarpün 1998).

2.2.5. Ultrasesin Malzemeye Etkileşmesi

Ultrases dalgası, malzeme içinde parçacıkların titreşimi şeklinde yayılır. Yayılan bu dalga, bir yay üzerindeki titreşen sayısız parçacık veya cisim olarak düşünülebilir. Her parçacık komşu parçacığın hareketinden etkilenir ve geri çağırıcı kuvvete göre davranır. Yani yaylardaki Hooke yasası ($F = -kx$) gibi düşünülebilir (Şekil 6). Ultrases dalgalarının içinde ilerlediği farklı malzemelere göre hızlarının değişiklik göstermesinin sebebi budur. Parçacıkların kütlesi malzemenin yoğunluğuyla, yay sabiti de malzemenin esneklik katsayısıyla ilişkilidir (Deniz 2005).



Şekil 6. Malzemedeki titreşen parçacıklar arasındaki bağların şematik gösterimi (İşleyici 2005).

2.2.6. Ultrases Dalgası Saçılma Bölgeleri

2.2.6.1. Rayleigh Saçılma Bölgesi

Dalga boyunun tanecik boyutundan daha büyük olduğu bu bölgeye Rayleigh saçılma Bölgesi denir. Lord Rayleigh'in küçük bir küreden büyük dalga boyulu dalgaların saçılmasını ilk olarak tanımlanmasından sonra Rayleigh olarak isimlendirilmiştir (Rayleigh 1929).

Bu bölgede kullanılan ultrases dalgasının dalga boyu (λ), ortalama tanecik boyutuna (\bar{D}) göre çok büyüktür ($\lambda \gg \bar{D}$). Genellikle dalga boyu ve ortalama tanecik boyutu arasındaki oranın

$$\frac{\bar{D}}{\lambda} < \frac{1}{3} \quad (13)$$

olması istenir. Bu bölgede saçılma katsayısı, A_R tanecikler arasında elastik özelliklerdeki değişimi ve anizotropiyi karakterize eden bir sabit olmak üzere;

$$a_s = A_R \frac{\bar{D}^3}{\lambda^4} \quad (14)$$

ile ifade edilir (Özdemir 2006).

2.3. Ultrases Ölçüm Metotları

Ultrases ölçüm metotları ses dalgalarının katı, sıvı ve gaz ortamlarında yayılma hızı, sönüm faktörü veya enerji kaybının tespitine yöneliktir. Katılarda hız ölçümü, ortamda iki nokta arasında ses hızının yayılma zamanını ölçmekle gerçekleştirilebilir. Tüm ölçüm metotları değişik hassasiyetle zaman ölçümünden ibaret olmakla birlikte, ölçüm hassaslığı karmaşık ve gelişmiş elektronik ölçüm sistemlerinin kullanılmasını gerektirir. Fiziksel ölçümlerde doğru yorumlar ancak hız ölçümlerinde enerji kaybını göz önüne alınmakla yapılabilir.

Ultrases araştırmalarında her deneysel sistemde en az bir tane olmak üzere transducer yardımı ile ultrases dalgasının üretilmesini ve bölgede yayılmakta olan dalganın tespitini gerektirir (Sarpün 1998).

2.3.1. Tane Boyut Ölçüm Metodu

Ultrasonik teknik olarak, dalga hız metodunu kullandık. Kaplamalı ve kaplamasız Tungsten karbür-nikel (WC-Ni) kompozit numuneler farklı sıcaklık ve sürelerde sinterleme işlemi yapılarak hazırlanmıştır ve numunelerin hızları ölçülmüştür. Daha sonra SEM, EDX analizleri yapılmıştır.

Katı numunelerde tanecik boyutunun ultrases ile belirlenmesi değişik yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemler genellikle numunenin içyapısının özelliklerine bağlı olan numune içindeki ultrases dalgasının hızı, yutulma değeri ve geri yansıma miktarı gibi parametreleri belirlenmesi ile yapılır (Sarpün 2004). Genel olarak kullanılan metotlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

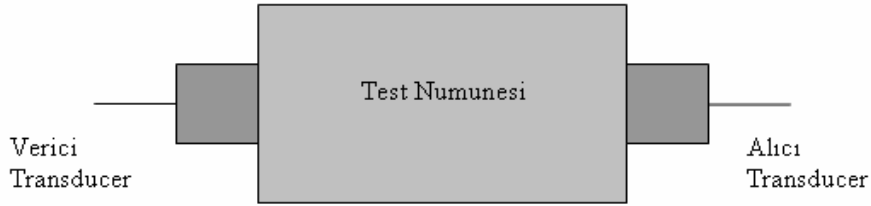
- i. Yutulma ölçüm (UA, Ultrasonic Attenuation) metodu,
- ii. Hız ölçüm metodu,

- iii. Geri-saçılma ölçüm (UB, Ultrasonic Back-Scattering) metodu,
- iv. İlk arka cidar yansıması pik yüksekliği ölçüm (URA, Ultrasonic Relative Attenuation) metodu,
- v. Grafik metodudur.

Bu metotlardan bazılarında özel cihaz ve düzeneklere ihtiyaç duyulurken bir kısmı için de numune boyutlarının yaklaşık olarak eşit olması gerekmektedir. Burada ultrases ölçüm metotlarından, geçiş yöntemi ve yansıma metodu aşağıda incelenmiştir (Sarpün 2004).

2.3.2. Geçiş Metodu (Through Transmission)

Bir ultrases dalgasının test parçasının içinden geçiş zamanı, bir yüzeyine ultrases vericisi bir transducer ile karşı yüzeyine alıcı bir transducer yerleştirilerek ölçülebilir. Bunun için bir tetikleme devresine ihtiyacımız vardır. Öyle ki verici dalgayı gönderdiği anda zaman ölçümü başlasın ve dalga karşıdaki alıcı transducer' a ulaştığı anda ölçüm dursun. Eğer, test parçasının farklı yerlerinden alınan ölçümler sonucu geçiş zamanları aynı çıkıyorsa, o zaman test parçası içinde süreksizlik yoktur denir. Fakat ölçülen zamanlarda bir noktada bile farklı bir ölçüm alınırsa, o test maddesinin içinde yapı bozukluğu vardır denir.



Şekil 7. Geçiş yönteminde transducer'lerin numuneye bağlanması (Sarpün 1998).

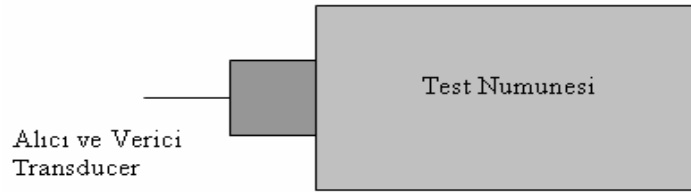
Eğer ölçüm cihazında bir osiloskop kullanılıyor ise bu kullanım metodunda eğer numune içinde süreksizlik yok ise verilen enerjinin yaklaşık olarak hepsi karşı tarafta algılanacağı için ekranda beliren atmaların genlikleri eşit olacaktır. Eğer, numunede süreksizlik varsa bu durumda verilen enerjinin bir kısmı süreksizlikte absorblanacağı için alıcı transducer ancak belli bir kısmı algılayabilecek dolayısıyla osiloskop

ekranında atmaların genliklerinde düzensizlik olacak ve eşit olamayacaktır (Sarpün 1998).

2.3.3. Yansıma (Puls-Echo) Metodu

Firestone tek transducer yardımıyla puls-eko tekniğini geliştirmiş ve büyük bir hassasiyet sağlamışlardır (Sarpün ve Doğan 2004).

Bu test yönteminde ise tek bir transducer hem alıcı hem de verici olarak kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde numuneye bağlanan transducer dalgayı gönderdikten sonra numune içinde ilerleyen dalga hava ortamına geldiğinde büyük bir miktarı geri yansıtacak dolayısıyla ölçülen zaman iki numune boyunu geçiş zamanı olacaktır. Eğer bu şekilde ölçülen zamanlardan daha küçük bir zaman elde edilirse, numunede bir süreksizlik olduğu ve o ortamdan dalganın yansıdığı söylenebilir. Eğer osiloskop kullanılıyorsa normalde iki atmanın arası çok uzun iken, numunede süreksizlik olduğu durumda atmalar sıklaşacak ve genlikleri eşit olmayarak bir düzensizlik hâsıl olacaktır (Sarpün 1998).



Şekil 8. Yansıma metodunda numuneye transducer bağlantısı (Sarpün 1998).

2.3.4. Dalga Hızı

Ultrasonik dalgaların çeşitli cins hızları materyalin elastik sabitinden hesaplanabilir. Sıkıştırılan dalgalar için, geniş boyutlu numuneler dalga boyuyla kıyaslanır.

$$v_c = \left[\frac{E(1-\alpha)}{\rho(1+\alpha)(1-2\alpha)} \right]^{1/2} \quad (15)$$

$$v_s = \left[\frac{E}{2\rho(1+\sigma)} \right]^{1/2} \quad (16)$$

E young modülüdür (Nm^{-2}), v_c sıkıştırılmış dalga hızıdır, v_s enine dalga hızıdır, ρ numunenin yoğunluğudur ve σ Poisson oranıdır (Halmshaw 1991).

Ultrasonik hız ve tane boyut ilişkisi Hirsekorn tarafından açıklandı (Hirsekorn 1982) ve (Hirsekorn 1983). Burada saçılma teorisi, Rayleigh bölgesi, tane yarıçapı a ve dalga sayısı k açısından ifade edildi. Aynı zamanda poli-kristallerde enine ve boyuna ultrasonik hızların hesabı ka fonksiyonuyla verilir. Referans (Hirsekorn 1983)'ye göre, faz ve grup hızları uzunluk dalgaları için aşağıda verilir.

$$v_{LP} = v_L \left\{ 1 + \left(\frac{A}{\rho_0 v_L^2} \right) \frac{2}{3 \cdot 5^3 \cdot 7} \left[14 + 21 \frac{\kappa^2}{k^2} + \frac{2}{5} \left(\frac{106}{7} + \frac{6 \kappa^2}{7 k^2} + 21 \frac{\kappa^4}{k^4} \right) (ka)^2 \right] \right\}^{-1} \quad (17)$$

$$v_{LG} = v_L \left\{ 1 + \left(\frac{A}{\rho_0 v_L^2} \right)^2 \frac{2}{3 \cdot 5^3 \cdot 7} \left[14 + 21 \frac{\kappa^2}{k^2} + \frac{6}{5} \left(\frac{106}{7} + \frac{6 \kappa^2}{7 k^2} + 21 \frac{\kappa^4}{k^4} \right) (ka)^2 \right] \right\}^{-1} \quad (18)$$

Bu denklemlerde, A anizotropi faktör, κ ve k dalga sayısıdır ve a tane yarıçapıdır. Referans Hirsekorn 1983'de, Normalize edilmiş hıza karşı ka grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde, ka değeri hızın ilk azalmasıyla değişir, sonra artar (Özdemir 2006).

2.3.5. Ultrasonik Metodun Bazı avantajları

Ultrasonik metodun diğer metotlara göre pratik ve avantajlı kullanım alanları mevcuttur. Ultrases metodu ile; numune zarar görmemektedir ve çok kalın malzemeler muayene edilebilmektedir. Ultrasonik cihazlarla kalınlık ölçümünde yapılan hata $\sim \pm 0,01$ mm civarındadır. Mikro ve makro incelemeler yapılmaktadır. Metal içindeki boşluklar hassa bir şekilde belirlenmektedir. Ayrıca zaman kaybını azaltan bir metottur. Numunenin ne kadar kalın olduğu önemli değildir. Numunenin bazı fiziksel özellikleri tespit edilebilmektedir. Ultrasonik sistem ile; numune iç yapısının belirlenmesi, kusurların tespiti, kalite artırılması önemli olmaktadır ve diğer kullanılan sistemlere göre maliyeti daha düşük ve ucuzdur. Numunenin ölçümü alınmadan önce özel işlemlerin yapılmasına gerek yoktur.

2.4. KOMPOZİT MALZEMELER

2.4.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Malzemeler,

- a) Metaller,
- b) Seramikler,
- c) Plastikler

olmak üzere üç temel sınıfa ayrılırlar.

Birbirlerinin zayıf olan yönünü düzelterek, üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Kompozit, çok kristalli birçok metal ve metal olmayan parçanın bir arada toplanması olarak ifade edilir. Kompozit malzemeyi meydana getiren bileşenlerin her biri kimyasal olarak birbirinden farklıdır. Kompozit malzemeleri meydana getiren bileşenler birbiri içinde çözülemez. Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin aşağıdaki özellikleri geliştirilebilmektedir;

- Dayanım
- Korozyon direnci
- Aşınma direnci
- Elektrik iletkenliği (elektriksel direnç)
- Termal iletkenlik
- Akustik iletkenlik
- Ses tutuculuğu (yutuculuğu)
- Mekanik dayanım
- Çarpma dayanım
- Çekme
- Eğilme
- Kırılma tokluğu
- Basınç
- Rijitlik

- Yorulma ömrü
- Sıcaklığa bağlı davranışı
- Isı yalıtımı
- Ses yalıtımı
- Ağırlık
- Görünüm'dür.

Genel olarak kompozit malzemelerin avantajları, standart-hafif/yüksek mukavemet özellikli malzemelere, daha hafif / daha yüksek mukavemet alternatifi getirmesidir. Buna ilave olarak üretimlerindeki esneklik, iyi korozyon ve aşınma dirençleri, uzun yorulma ömürleri ve düşük ısı iletkenlikleri ile birçok uygulama alanında geleneksel malzemelere oranla üstünlük sağlamaktadırlar. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre üstünlükleri ise; dizayn estetiği, küçük üretim alanı, üründeki kıymet artışı gibi üstün özelliklerdir. Kompozit malzemelerin diğer malzemelere oranla daha pahalı olmaları, en büyük dezavantajlarıdır. Bu durumda, bu tip malzemelerin yeni olmaları ve dolayısıyla üretim yöntemlerinin yerleşmemiş ve üretimlerinin yüksek üretim oranlarına erişmemiş olmasından kaynaklanmaktadır (Çolak 2004).

Kompozit malzemeler kullanılan matriks malzemesine göre üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar:

1. Polimer Matriksli Kompozit Malzemeler
2. Seramik Matriksli Kompozit Malzemeler
3. Metal Matriksli Kompozit Malzemeler (MMK)

2.4.1.1. Metal Matriksli Kompozitler (MMK)

Metal matriksli kompozitler (MMK) elastik modüle, yüksek çekme, basma ve kayma mukavemetine sahiptirler. Toz metalurjisi yöntemiyle elde edilen yapının mekanik özellikleri daha iyidir. Sac levha destekli metal matriks kompozitler; ekstrüzyon, dövme, haddeleme gibi alışılmış yapım yöntemleriyle tekrar şekillendirilebildikleri gibi talaşlı yapımlar da mümkündür. Son yıllarda MMK malzemelerinin üretilmesinde ve daha pratik olarak uygulamaya aktarılmasında süresiz olarak takviye edilmiş

malzemeler tercih edilmiştir. Bunun sebebi, takviye malzemelerinin kolay üretilibilmeleri ve kolay temin edilebilmeleridir. Süreksiz olarak takviye edilmiş MMK'lerin kolay üretilbilir olmalarından dolayı son yıllarda çok değişik alanlarda kullanılmaktadır (Yılmaz ve Akbulut 1994).

Metal matriksli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan biri metal matriks diğeri ise takviye malzemesidir (genel olarak bir metaller arası bileşik bir oksit, bir karbür veya bir nitrittir). Kompozit üretilmesinde matriks ve takviye malzemesi beraber olarak karıştırılırlar. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı bileşenler seçilir. Tüm durumlar için matriks bir metaldir. Genelde matriks bir metal veya metal alaşımıdır (Çolak 2004).

2.4.1.2. Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

Sürekli fiberlerle takviye edilmiş MMK'ler yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve darbelere karşı direnç gibi özellikleri bir araya getiren malzemelerdir. Grafit ve SiC gibi partikül takviyeli Al esaslı MMK'lerin aşınma özellikleri, işlenebilme kabiliyetleri ve dayanımları arttırılmasına karşın süneklik ve kopma özellikleri kötü yönde etkilenmektedir (Yılmaz ve Altıntaş 1997).

MMK malzemelerin akma ve çekme gerilmesi değerlerini etkileyen faktörlerin başında matriks malzemesi gelmektedir. Alaşımlar yüksek akma ve çekme gerilmesi değerleri göstermelerine karşın deformasyon kabiliyetleri düşüktür. Bu durum ısı ilemlerle giderilmektedir. MMK malzemelerde elastik modül takviye fazının ilavesiyle önemli oranda ve sürekli olarak artmaktadır. Buna bağlı olarak elastik modülün değeri ölçüm yöntemine bağlı olarak değişebilir. Dinamik ölçüm, gerilme-genleşme eğrisinden elde edilen statik değerden yüksek bir değer verebilir. Ayrıca, statik değer çekme ya da basma deneyiyle elde edilmiş olması da farklılık yaratabilir. Elastik özellikler, MMK'lerde üzerinde oldukça fazla çalışılan mekanik özelliklerden birisi olmuştur. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan modellerden biri olan karışımlar kuralı, sürekli fiber takviyeli kompozit malzemeler için iyi sonuçlar

vermekte iken, partikül takviyeli kompozit malzemelerde kullanımı pek uygun olmamıştır (Çolak 2004).

Metal matris kompozitler (MMK) mükemmel stiffness (katılık)-yoğunluk ve kuvvet-ağırlık oranlarından dolayı ileri mühendislik uygulamaları için yeni malzemelerin üretimi için umut vericidir (Ducret et al. 1999). Bundan dolayı metal matriksli kompozit malzemelere son zamanlarda büyük ilgi duyulmaktadır. Bu büyük ilginin nedenlerinden birisi de, ekonomik ve yüksek kaliteye sahip malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesidir. Teknolojik uygulamalarda kullanılan malzemelerde, ağırlığın düşük buna karşın mukavemet/yoğunluk (spesifik mukavemet) oranının yüksek olması istenmektedir. Çünkü bu oran, mühendislik malzemelerin elastik modül, mukavemet, korozyon, oksidasyon, termal kararlılık, sürünme, aşınma ve yorulma uygulamalarında en önemli parametrelerdendir (Akbulut 1995).

MMK üretiminin ana nedeni, kullanılan matriks alaşımının mukavemet ve elastik modülünü arttırmaktır. Ayrıca matriks malzemesi olarak çok farklı alaşımlar kullanılabilirdiği için, farklı elastik modüle, mukavemete ve termal genişleme katsayısına sahip kompozit malzemeler üretilebilmektedir. MMK malzemelerin yüksek aşınma dirençleri ve mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilme yetenekleri, aşınma ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanımlarını yaygınlaştıran önemli etkenlerden bazılarıdır.

2.5. ELASTİK SABİTELER

2.5.1. Tensörlere Kısa Bir Giriş

Esneklik teorisi sürekli ortam mekaniğinin incelenmesi veya daha basit kelimelerle uygulanmış kuvvetler ile bir katı cisminin bir parçasının deforme olmasıdır. Bu bölümde homojen olarak deformeyi kapsayan statik esneklik ile ilgileneceğiz. Burada gerçekte tanımlanmış parametreler ultrasonik yayılımında meydana gelen sonlu frekanslar için kullanılmıştır. Bu basit bir durumdur ve deformasyon, bize strain (zorlama) tensörü ve esneklik modülü gibi tanımlanmış kavramları sağlar. Tensör gösterimi esneklik

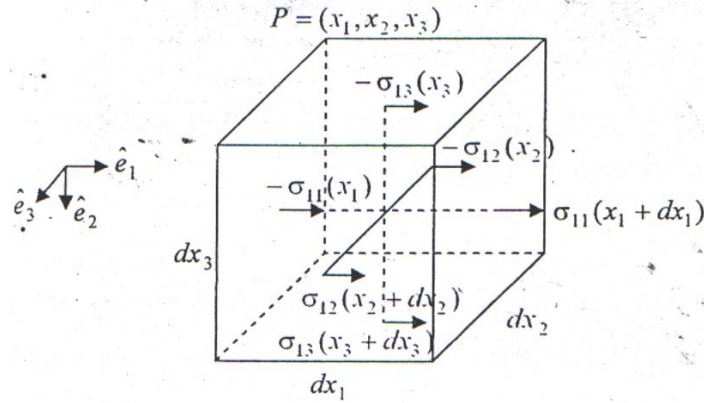
parametrelerini tanımlamaktadır. Bu, esneklik ve akustikte ileri boyutta kullanılan basit, zarif ve etkili bir yaklaşımdır (Landau et al. 1959).

2.5.1.1. Stress tensörü

Dış kuvvetler altında olmayan duran bir cismi varsayarsak burada bir deformasyon yoktur. Katı bir deformasyona maruz kaldığı zaman, cismin ilk denge durumuna gelmesini sağlayan bir iç stress (birim alandaki kuvvet miktarı) oluşur. Bu oluşan iç stressleri belirleyebilmek için dik birim vektörleri \hat{e}_1 , \hat{e}_2 , \hat{e}_3 olan kartezyen koordinat sistemini kullanalım (Şekil 9).

Herhangi bir P noktasında yüzeye dik \hat{e}_1 birim vektörü doğrultusunda $t^{(e_1)}$ stress vektörünün etki ettiğini kabul edelim. Bu stress vektörü birim vektörler yönünde σ_{i1} bileşenlerine ayrılır.

$$\sigma_{i1} = t^{(e_1)} \hat{e}_i, \quad i=1,2,3 \quad (19)$$



Şekil 9. Bir küp üzerinde stress bileşenleri (Sarpün 1998).

Benzer şekilde σ_{i2} ve σ_{i3} ($i=1,2,3$) bileşenleri $t^{(e_2)}$ ve $t^{(e_3)}$ stress vektör bileşenleri ile bulunur. Dokuz tane σ_{ij} bileşenin bilinmesi ile P üzerinden herhangi bir keyfi yüzey üzerine etki eden $t^{(n)}$ stress vektörü; n yüzey vektörü olmak üzere,

$$t_j^{(n)} = n_i \sigma_{ij} \quad (20)$$

ile hesaplanır. (20) eşitliğindeki $t^{(n)}$ ve n birinci mertebeden tensörler olup σ_{ij} ile lineer bağımlı olmasından dolayı ikinci mertebeden bir tensör olması gerekir ve stress tensörü olarak adlandırılır. Bu tensörün diyagonal elemanları dik bileşenler olarak isimlendirilirken arta kalan elemanlar yüzey (shear) bileşenlerini oluştururlar. Stress tensörü, genel olarak konuma ve zamana bağlı olmaktadır. Özel bir durum olarak, konumdan bağımsız ise homojen olarak isimlendirilir, konuma bağlı olduğu durumda ise inhomojen olarak belirtilmektedir. Cisim içindeki kütle-torklarının bulunmadığı durumlarda önemli bir sonuç ortaya çıkmaktadır ki, bu durumda stress tensörü simetriktir (Auld 1990).

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ji} \quad (21)$$

Bununla birlikte polarizasyon veya magnetizasyondan dolayı kütle- torklarının bulunması durumunda da eğer stress tensörü Hooke yasasında simetrik kısmı $\frac{1}{2}(\sigma_{ij} + \sigma_{ji})$ olarak tanımlanmış ise simetrik olarak ele alınabilir. (21) eşitliği temel bir elastodinamik özellik olarak kabul edilmektedir (Sarpün 2004).

2.5.1.2. Strain tensörü

Cismin deformasyonu boyunca, ilk olarak x konumundaki bir nokta $x' = x + u$ konumuna yer değiştiriyorsa, buradaki $u = u(x, t)$ cismin deformasyonunu karakterize eden yer değiştirme vektörü olmaktadır. Dik strain bileşenleri, dik doğrultulardaki normalize edilmiş uzunluk değişimleri olarak tanımlanmaktadır.

$$\varepsilon_{11} = \frac{u_1(x_1 + dx_1) - u_1(x_1)}{dx_1} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \quad (22)$$

$$\varepsilon_{22} = \frac{u_2(x_2 + dx_{21}) - u_2(x_2)}{dx_2} = \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \quad (23)$$

Benzer şekilde ε_{33} ifadesi de bulunabilir. Yüzey (shear) bileşenlerinde ise cisim deformasyonu şeklinde olup genellikle iki yüzey kenarının arasındaki açı (γ) değişimi olarak tanımlanır. Küçük değişimler için yüzey bileşenleri,

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{2}\gamma_{12} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1}\right) \quad (24)$$

şeklinde tanımlanır. Diğer bileşenlerde aynı şekilde bulunabilir. Bileşenlerini bulduğumuz strain tensörü en genel formda,

$$\varepsilon_{kl} = \frac{1}{2}(u_{k,l} + u_{l,k} + u_{j,k} + u_{j,l}) \quad (25)$$

şeklinde yazılır. Bu eşitlikten de görüldüğü gibi strain tensörü bir noktadaki bağlı deformasyonları için gerekli olan bir ifade olmaktadır. Sonuç olarak birim hacimdeki değişim

$$(1 + \varepsilon_{11})(1 + \varepsilon_{22})(1 + \varepsilon_{33}) - 1 \approx \varepsilon_{ii} \quad (26)$$

olarak verilir ki bu ifade strain tensörünün izdüşümü olarak ortaya çıkar.

2.5.1.3. Hooke Yasası

Bir ortam içinde var olan σ_{ij} iç stressleri sonlu sayıdaki ε_{kl} strainleri ile sonuçlanır. Bu temel gözlem, iki tensör arasındaki fonksiyonel bağıntı olarak sayılabilir.

$$\varepsilon_{kl} = \varepsilon_{kl}(\sigma_{ij}) \quad (27)$$

Benzer şekilde ters fonksiyonel bağıntıyı da yazabiliriz.

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(\varepsilon_{kl}) \quad (28)$$

Bu bağıntılar, birinci mertebeden olup Hooke yasası olarak bilinirler. Anizotropik lineer bir ortam için genelleştirilmiş Hooke yasası,

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (29)$$

$$\varepsilon_{kl} = s_{kl ij} \sigma_{ij} \quad (30)$$

ile ifade edilebilir. Bu eşitliklerdeki c_{ijkl} , dördüncü mertebeden elastik stiffness (katılık) tensörü ve $s_{kl ij}$, dördüncü mertebeden elastik compliance (uyum) tensörü göstermektedirler. Bu tensörler görüldüğü gibi $3^4 = 81$ tane bileşene sahiptir. Bu çok sayıdaki bileşene rağmen simetri, dönüşüm özellikleri ve strain enerji yoğunluğundaki durumlardan dolayı daha düşük bir matematiksel işlem katılarının elastik davranışlarını tanımlamakta yeterli olmaktadır. (21) eşitliği ile verilen stress tensöründeki simetriyi kullanarak,

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \quad (31)$$

yazılabilir. (24) ile verilen lineer stress tensörü,

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right) \quad (32)$$

şeklinde genelleştirilebilir. Bu eşitlikten de rahatlıkla görülebileceği gibi simetriktir.

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji} \quad (33)$$

Bu simetrik özelliklerini kullanırsak elastik compliance (uyum) ve stiffness (katılık) tensörleri için,

$$S_{ijkl} = S_{jikl} = S_{ijlk} = S_{jilk} \quad (34)$$

$$C_{ijkl} = C_{jikl} = C_{ijlk} = C_{jilk} \quad (35)$$

bağıntılarını elde ederiz. Bu durumda ikili simetrik bileşenler için sadece 6 durum bulunduğu ortaya çıkar. Yani,

Tensör gösterimi	11	22	33	23,32	31,13	12,21	
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	
Matris Gösterimi	1	2	3	4	5	6	(36)

Bu durumda daha önce iki indis ile belirttiğimiz stress ve strain vektörlerini tek bir indis ile belirtebiliriz.

$$\begin{aligned} \sigma_{11} = \sigma_1 & \quad \sigma_{23} = \sigma_4 & \quad \varepsilon_{11} = \varepsilon_1 & \quad 2\varepsilon_{23} = \varepsilon_4 \\ \sigma_{22} = \sigma_2 & \quad \sigma_{13} = \sigma_5 & \quad \varepsilon_{22} = \varepsilon_2 & \quad 2\varepsilon_{13} = \varepsilon_5 \\ \sigma_{33} = \sigma_3 & \quad \sigma_{12} = \sigma_6 & \quad \varepsilon_{33} = \varepsilon_3 & \quad 2\varepsilon_{12} = \varepsilon_6 \end{aligned} \quad (37)$$

Aynı işlem elastik compliance ve stiffness tensörleri için de geçerlidir.

$$S_{mn} = s_{ijkl} \quad m \text{ ve } n = 1,2,3$$

$$S_{mn} = 2s_{ijkl} \quad m \text{ veya } n = 4,5,6 \quad (38)$$

$$S_{mn} = 4s_{ijkl} \quad m \text{ ve } n = 4,5,6$$

$$C_{mn} = c_{ijkl} \quad (39)$$

Bu durumda (4.11) ve (4.12) eşitliklerini, matris formunda yazabiliriz.

$$\varepsilon_i = S_{ij} \sigma_j \quad (40)$$

$$\sigma_i = C_{ij} \varepsilon_j \quad (41)$$

Bu iki eşitlik $i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ değerlerini aldığından 6x6 matris içermekte olup yani 36 bileşene sahiptir. Örneğin (40) eşitliği,

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & S_{25} & S_{26} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} & S_{45} & S_{46} \\ S_{51} & S_{52} & S_{53} & S_{54} & S_{55} & S_{56} \\ S_{61} & S_{62} & S_{63} & S_{64} & S_{65} & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} \quad (42)$$

şeklindedir.

Strain enerji yoğunluğu, U , elastik deformasyona bağlı olup kuadratik yapıya sahip olmasından dolayı hem elastik stiffness hem de elastik compliance matrisleri simetriktir.

$$U = \frac{1}{2} \varepsilon_i \sigma_i = S_{ij} \sigma_j \sigma_i \quad (43)$$

$$U = \frac{1}{2} \varepsilon_j \sigma_j = S_{ji} \sigma_i \sigma_j$$

Aynı işlem C_{ij} için de yapıldığında,

$$\begin{aligned} S_{ij} &= S_{ji} \\ C_{ij} &= C_{ji} \end{aligned} \quad (44)$$

elde edilir. Bu durumda var olan 36 bileşen sayısı bu simetriden dolayı 21 bileşene inmektedir (Sarpün 2004).

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ 0 & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ 0 & 0 & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & C_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \quad (45)$$

2.5.1.4. İzotropik Materyal

Kristal özelliğinden ziyade makroskopik özellikleri bütün doğrultularda fiziksel olarak aynı olan materyallere “İzotropik Materyal” denir. Bu tür materyallerde elastik matris, bütün doğrultular için dönüşümlerde sabit kalmaktadır. Bundan dolayı (45) ile verilen elastik matris elemanı,

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{12} & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} \end{bmatrix} \quad (46)$$

halini alır. En temel durumlardan bir tanesidir ve görüldüğü gibi sadece üç tane elastik matris bileşeni kalmıştır. C_{11} , C_{12} ve C_{44} . Ayrıca bu üç bileşen arasında var olan,

$$C_{11} = C_{12} + 2C_{44} \quad (47)$$

bağıntısı mevcuttur ve böylece matris bileşen sayısı 2'ye düşmektedir. İzotropik materyallerde genellikle elastik özellikler Lamé sabitleri λ ve μ ile verilir:

$$C_{12} = \lambda \quad (48)$$

$$C_{44} = \mu \quad (49)$$

$$C_{11} = \lambda + 2\mu \quad (50)$$

Bu durumda Elastik sabiteler matrisi,

$$C = \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda + 2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \quad (51)$$

haline gelir.

İzotropik materyalde diğer elastik özelliklerden Poisson oranı,

$$\nu = \frac{\lambda}{(2\lambda + 2\mu)} \quad (52)$$

Young modülü,

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{(\lambda + \mu)} \quad (53)$$

ve Hacim modülü,

$$K = \frac{\lambda + 2\mu}{3} \quad (54)$$

şeklindedir.

Çoğu eş-tanecikli polikristalli metaller ve alaşımlar, tabii ki üretimine bağlı olarak, izotropik yapınıninkine çok yakın elastik özellikler göstermektedirler (Sarpün 2004).

2.5.1.5. Kübik Yapı

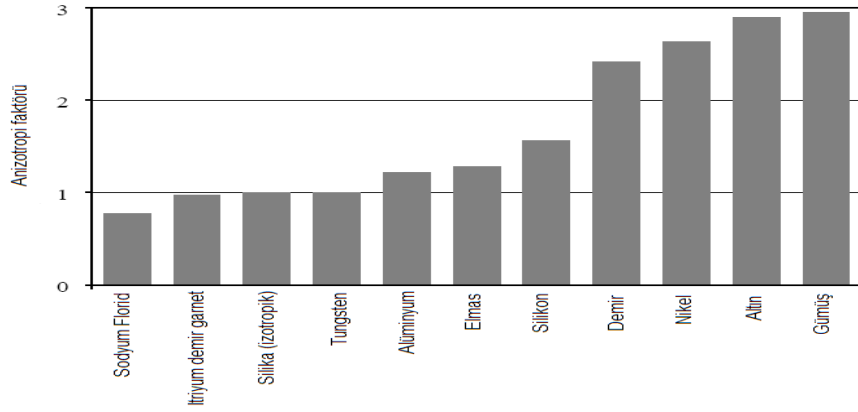
Elastik matris olarak izotropik materyalle aynıdır.

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{12} & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{44} \end{bmatrix} \quad (55)$$

Fakat burada elastik matris elemanları arasında bağıntı yoktur. Dolayısıyla elastik matris elemanı sayısı üç tanedir. Bu yapı için anizotropinin ölçümü olan anizotropi ölçümü olan anizotropi faktörü,

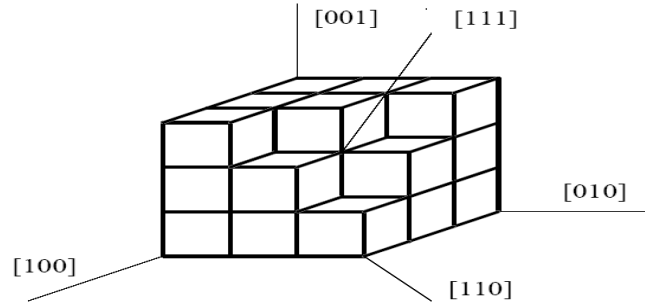
$$\phi = \frac{2C_{44}}{C_{11} - C_{12}} \quad (56)$$

ile verilir (Nagy 1999). Farklı materyallere ait anizotropi faktörü Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Farklı kübik yapılar için anizotropi faktörü (Nagy 1999).

Kübik yapıda, farklı kristal düzlemlerinde ultrases dalgasının yayılma hızı farklılıklar göstermektedir. Şekil 11’de kristal doğrultuları gösterilmektedir.



Şekil 11. Kübik kristal yapıda kristal düzlemleri (Nagy 1999).

2.5.1.6. Katı Ortamlarda Ultrases Hızı ve Absorbsiyonu

Ultrases dalgalarının katı ortamlarda yayılmasının en genel ifadesi;

$$\frac{\partial^2 \Psi(r)}{\partial t^2} = \frac{C}{\rho} \frac{\partial^2 \Psi(r)}{\partial r^2} \quad (57)$$

şeklinde verilebilir. (57) ifadesinde C ortamın elastik sabitelerini ifade eder. C ' nin genel formu bir tensörle ifade edilebilir. C_{ijkl} elastik sabiteleri tensörü her tür kristal yapı ve homojen izotrop yapı için çıkarılmıştır (Sarpün 2004).

2.5.1.7. Kübik Yapı İçin ve İzotrop Yapı İçin Elastisite Sabitelerine Bağlı Ses Hızları

Ultras ses dalgalarının katı içerisinde yayılmaları kullanılarak o katının sahip olduğu elastisite sabiteleri tespit edilebilir. Bunun için, enine ve boyuna dalgaların katıya gönderildikleri doğrultulara göre yayılma hızları ölçülmektedir (Aral 1987).

Katı içinde ilerleyen dalganın, dalga hızı ile katının yoğunluğu ve esneklik katsayısı arasındaki genel bağıntı

$$V = \sqrt{\frac{C_{ij}}{\rho}} \quad (58)$$

şeklindedir. Burada; V dalganın hızı, C esneklik katsayısı ve ρ ise malzeme yoğunluğudur. Örneğin, kübik yapıda boyuna dalgaların yayılma hızı,

$$V_b = \sqrt{\frac{C_{11}}{\rho}} \quad (59)$$

şeklindedir. Enine dalgaların yayılma hızı ise,

$$V_e = \sqrt{\frac{C_{44}}{\rho}} \quad (60)$$

şeklindedir. Elde edilen bu hız ifadeleri saf titreşim durumlarına karşılık gelir. Yani dalga yayılım yönü ve titreşim eksenini x , y , z eksenlerinden sadece birinde oluşmaktadır. Kübik kristallerde farklı kristal doğrultuları için ultras ses hızları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kübik kristallerde farklı kristal doğrultuları için ultrases hızları (Queheillalt 2000).

Yayıma doğrultusu	Titreşim doğrultusu veya düzlemi	Hız ifadesi ve biçimi
[100]	[100]	$v^2 = \frac{C_{11}}{\rho}$ (Boyuna)
[100]	(001)	$v^2 = \frac{C_{44}}{\rho}$ (Enine)
[110]	[110]	$v^2 = \frac{C_{11} + C_{12} + 2C_{44}}{2\rho}$ (Boyuna)
[110]	[001]	$v^2 = \frac{C_{44}}{\rho}$ (Enine)
[110]	$\overline{[110]}$	$v^2 = \frac{C_{11} - C_{12}}{2\rho}$ (Enine)
[111]	[111]	$v^2 = \frac{C_{11} + 2C_{12} + 4C_{44}}{3\rho}$ (Boyuna)
[111]	(111)	$v^2 = \frac{C_{11} + C_{44} - C_{12}}{3\rho}$ (Enine)

Homojen izotropik yapıda ise elastisite sabiteleri ikiye indiği için, enine dalga için hız ifadesi,

$$v_e = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (61)$$

şeklinde verilmektedir. Boyuna dalga için ise,

$$v_b = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (62)$$

olarak elde edilmiştir.

λ : Ultrases dalgasının dalga boyu

μ : Lamé sabiti

Boyuna ve enine dalgaların hesabında esneklik katsayısı olarak Young esneklik katsayısı kullanılır. Yoğunluk, boyuna ve enine ultrases hızına bağlı olarak esneklik katsayısı,

$$E = \rho V_T^2 \frac{3V_L^2 - 4V_T^2}{V_L^2 - V_T^2} \quad (63)$$

olarak verilmiştir.

V_L : Boyuna hız (Longitudinal velocity)

V_T : Enine hız (Transverse velocity)

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

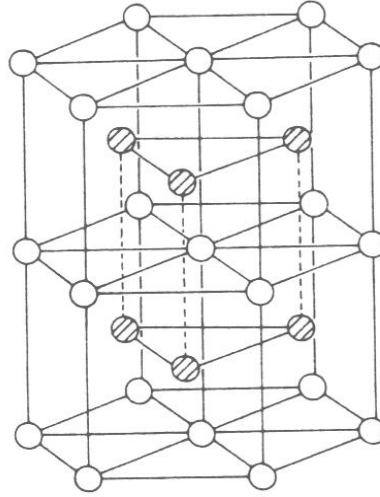
Bu çalışmada, Electroless nikel kaplanmış tungsten karbür (WC-Ni) kompozitlerinin ve homojen olarak karıştırılan (WC-Ni) kompozitlerinin ultrases dalga hız ölçüm yöntemi ile elastik sabitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ultrases dalgalarının numune ile etkileşimleri sonucunda, ultrases enine ve boyuna hız ölçümü yapılarak elastik sabiteler belirlenecektir. Ayrıca incelenecek numunenin uygun şartlarda hazır hale gelmesi gerekir. Bu bölüm ve sonrası numunenin hazırlanması, electroless nikel kaplama işlemi, deney düzeneği, grafikler ve sonuçların değerlendirilmesi 6. bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Electroless metodu ile nikel kaplanan WC tozlarının ve homojen olarak karıştırılan (WC-Ni) tozlarının seramik-metal üretimi gerçekleştikten sonra preslenerek hazır hale gelen numuneler 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C' de geçici sıvı faz sinterlemeyle argon gazı atmosferinde sinterlenerek elde edilen seramik-metal kompozitin mikroyapısı SEM ve EDX analizleri yapılarak incelenmiştir. SEM analizi ile numunenin görüntüsü elde edildikten sonra görüntü analizörüne aktarılan görüntünün ortalama tanecik boyutu bulunmuştur. Ayrıca ultrasonik boyuna ve enine hız ölçümleri yapıldıktan sonra yoğunluk ölçümleri de yapılmıştır. Ultrasonik hız değerlerine göre elastik sabite katsayısı olan Young Modülü (E) değeri hesaplanmıştır.

3.2. Kullanılan Malzemeler

3.2.1. Tungsten Karbür (WC)

Bu çalışmada, 10 μm tane boyutuna sahip, Sigma Aldrich firmasından sağlanan tungsten karbür tozu kullanılmıştır. Kullanılan tungsten karbür tozu % 99 saflığa sahiptir. Tungsten karbürün, erime ve kaynama sıcaklıkları yüksektir. Tungsten karbürün kristal yapısı, Şekil 12'de gösterildiği gibi hegzagonal sıkı pakettir (Çolak 2004). Tungsten karbürün genel olarak özellikleri ise Çizelge 3'te verilmiştir.

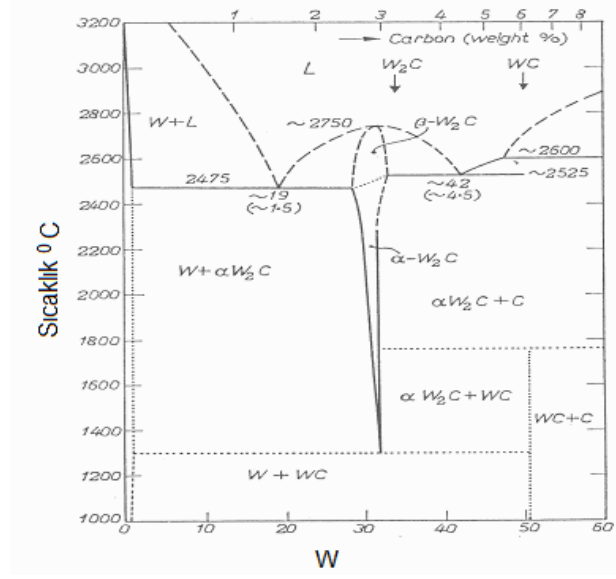


Şekil 12. Tungsten karbür' ün hekzagonal kristal yapısı : ○: W ◐: C (Toth 1971).

Çizelge 3. Tungsten karbür (WC) özellikleri

Erime noktası °C	2870
Kaynama noktası °C	6000
Yoğunluk g/cm ³	15.63
Basma kuvveti (MPa)	4100-5850
Sertlik HV	2600
Elastisite Modülü (GPa)	520-600
Kristal yapısı	Hekzagonal
Lattice Parametresi nm	A=0,2907 c=0,2837

Mümkün metallerin arasında, tungsten, yüksek sertliği, mükemmel korozyon-direnç ve yüksek erime noktası yüzünden önemli bir etkiye sahiptir (Zhang et al. 2007). Tungsten karbür, yüksek ısıda tungsten ve hidrokarbonun karışımı sonucu oluşmaktadır. Tungsten karbür bileşimi, yüksek ısıda karbon ve tungsten karbür içinde ayrışmakta ve karbür iki şeklin karışımıyla oluşmaktadır. Diğer biçimleri ise W_3C ve W_3C_4 ile oluşturulmaktadır. Tungsten karbür bileşiminde bulunan karbon oranı kaynama noktasını değiştirmektedir. ~ C miktarı % 2'de kaynama noktası 2710°C iken, ~ C miktarı % 3,5 olduğunda kaynama noktası 2760°C olmaktadır (Kosolapova 1971). Şekil 13'te tungsten karbürün denge diyagramı gösterilmiştir (Çolak 2004).



Şekil 13. W-C denge diyagramı (Rieck 1967).

Tungsten karbür, düşük sıcaklıkta katı kobaltta yalnızca % 1 oranında çözünme gösterirken, nikelde % 25 ve demirde % 5 oranında çözünme göstermektedir. Nikel ve demirde, tungsten karbürün yüksek katı çözünürlüğü, gevrekliği artırıcı bir etki yapar. Kobalt miktarının artışıyla tokluğun artmasına karşılık sertlik, basma mukavemeti, elastik modül ve abrasif direnç azalır (Culp 1997).

Sinterlenmiş karbürlerin çok iyi olan takım performansı, yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetinden ileri gelir (Avner 1987).

3.2.2. Nikel (Ni)

Nikel cevheri, sülfürlü, oksitli ve arsenik olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu çalışmada, nikel eldesi $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (Nikel klorür) den elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda 4 gr $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (Nikel klorür)' den yaklaşık 1 gr Nikel elde edilmiştir.

Nikel, gümüş beyazı renkte $8,9 \text{ gr/cm}^3$ yoğunlukta 1452°C sıcaklıkta ergiyen hemen her ortamda korozyona direnci çok yüksek olan bir metaldir. Manyetiktir, ısı iletkenliği yüksektir. Isıl işleme sertleştirilemez. Bilinen en özlü metaldir. Dayanım ve sertliği soğuk işlemeyle yükseltmek mümkündür. Sıfır altı sıcaklıkta sertlik ve dayanım daha da yükselmektedir.

Nikel petrol endüstrisinde, kimya endüstrisinde, gıda endüstrisinde, mutfak takımlarında, kâğıt endüstrisinde, çatı kaplama işlerinde, korozyondan korunması istenen metallerin kaplanmasında ve daha ucuz kullanma alanlarına sahiptir. Nikel sıcak ve soğuk olarak biçimlendirilebilmektedir. Nikel oksit, bilimsel ve dekoratif amaçlarla, cama renk vermek için kullanılmaktadır. Aşınmadan korunmak için bazı metallerin yüzeyi ince bir nikel katman ile kaplanır (Çolak 2004).

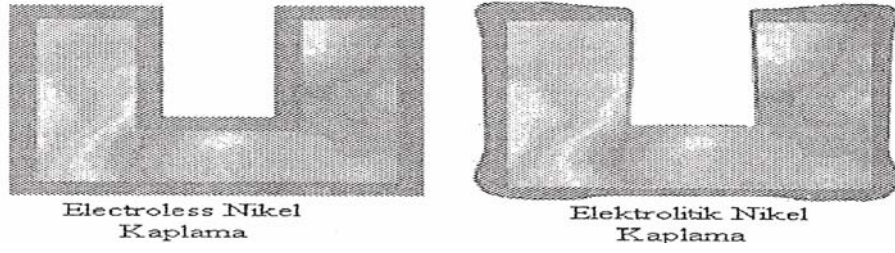
3.3. Numunelerin Hazırlanması

3.3.1. Electroless Nikel Kaplama İşlemi

Electroless nikel kaplama yeni bir teknik olmayıp 1950'den beri dünyada endüstrinin çeşitli yerlerinde kullanılmaktadır. Araştırmacılar 1960'dan beri sıkı bir çalışma ile bu tekniği geliştirerek çeşitli kullanım alanları bulmuşlardır. Günümüzde bu gelişen teknolojiler ve ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda nikel kaplama seramik tozların üzerinde de denenmiş ve denenmektedir. Dünyada metal kaplama endüstrisinde electroless kaplama yöntemlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir.

Electroless nikel kaplamada kesinlikle elektrik akım olmaksızın kimyasalların birbiri ile girmiş oldukları reaksiyon sonucu meydana gelmektedir. Literatüre bakıldığında yüzlerce bu metotla çalışan kimyasal banyolar bulunmaktadır. Bu çalışmada tam nikel veren fakat kaplama sırasında araştırmacının sağlık koşullarını sağlamasına dikkat etmesi gereken bir metot olan Hidrazin Hidrat banyosu kullanılmıştır.

Electroless nikel kaplama bir mühendislik ortamında uygulanan elektrikli kaplamalara göre birçok üstünlükleri olan bir işlemdir. Bu kaplama, korozyon direncinin gerekli olduğu alanlarda ve buna benzer birçok yerlerde kullanılır. Bu işlemin en büyük avantajı bir parçanın bütün yüzeyinin eşit olarak kaplanmasını sağlamaktadır. Elektrolitik kaplamada en iç kısımlar ve erişilemeyen kısımların kaplanması zordur. Şekil 14'de electroless nikel kaplama ile elektrolitik nikel kaplama arasındaki fark gösterilmiştir.



Şekil 14. Electroless nikel kaplama ile elektrolitik nikel kaplama arasındaki fark (Aclassmetal.com 2004).

Electroless nikel kaplama işleminde en önemli noktalardan biri banyo sıcaklığı, diğeri de pH' ın ayarlanmasıdır. pH' ın ayarlanmasında genellikle sülfürik asit, kostik soda veya amonyak kullanılmaktadır. Kaliteli bir nikel kaplama için bazı parametrelerin dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Bu parametreler şöyledir:

- Banyo ısısı
- pH
- Nikel oranı (Nikel klorür)
- İndirgeme konsantresi
- Banyonun yoğunluğu

Bu çalışmada, ana malzeme olarak tungsten karbür tozu (WC) seçilmiştir. İlk olarak kaplamasız numune elde edilmeye çalışılmıştır. Hazırlanan kompozit malzemeler; tungsten karbür- nikel (WC+Ni)' dir. WC+Ni kompozit numunelerinde % 70 WC, % 30 Ni tozları kullanılmıştır. WC-Ni tozları iyice karıştırıldıktan sonra 360 bar basınçta hidrolik pres ile çapı 30 mm'lik bir kalıpta preslenmiştir ve numuneler 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C' de tüp fırınında argon gazı atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterleme işleminden sonra tahribatsız muayene metodu (NDT) uygulanmıştır. İkinci olarak hazırlanan ise electroless metoduyla nikel kaplanmış tungsten karbür tozlarıdır. Numune hazırlama sırasında kullanılan toz ve kimyasalların oranları Çizelge 4'te verilmiştir. İlk kaplama banyosu için, gerekli olan kimyasallar ve oranları hazırlandıktan sonra, yaklaşık 800 ml'lik bir beher içerisine sırasıyla Hidrazin Hidrat (% 30) + saf su (% 70), $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ Nikel klorür 36 gr konularak ortama ısı verilmeye başlanır. Banyo sıcaklığı 30-40°C olduğunda tungsten karbür (WC) tozu ile saf su eklenir ve karıştırılmaya başlanır. Banyonun sıcaklığı 95°C ye ulaştığında pH'ı 9'a ayarlamak için amonyak ekleyerek reaksiyon başlaması sağlanır. Yaklaşık 90 dakika süren bir zamanda reaksiyon tamamlanarak kaplanmış numuneler banyodan alınır. İlk önce bir kaç kez saf

suda daha sonra asetonda ve son olarak tekrar saf suda filtreden geçirilerek yıkanır. Daha sonraki aşamada yıkanmış olan tozlar kurutma fırınında kurutulularak bir sonraki aşamaya hazır hale getirilmiş olur. Şekil 15-16-17-18’de kaplama yapılırken çekilirken fotoğraflar gösterilmiştir. Şekil 19’da ise deney akım şeması verilmiştir.

Çizelge 4. WC tozu için hazırlanan nikel kaplama banyosunun kimyasalları ve oranları.

Bileşik	Ağırlık
Tungsten karbür (WC)	21 gr
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (Nickel chloride)	36 gr
Hydrazine Hydrate ($N_2H_4 \cdot H_2O$)	30 ml
Saf su	70 ml
Sıcaklık	95°C
pH değeri	9



Şekil 15. Kaplama başlarken.



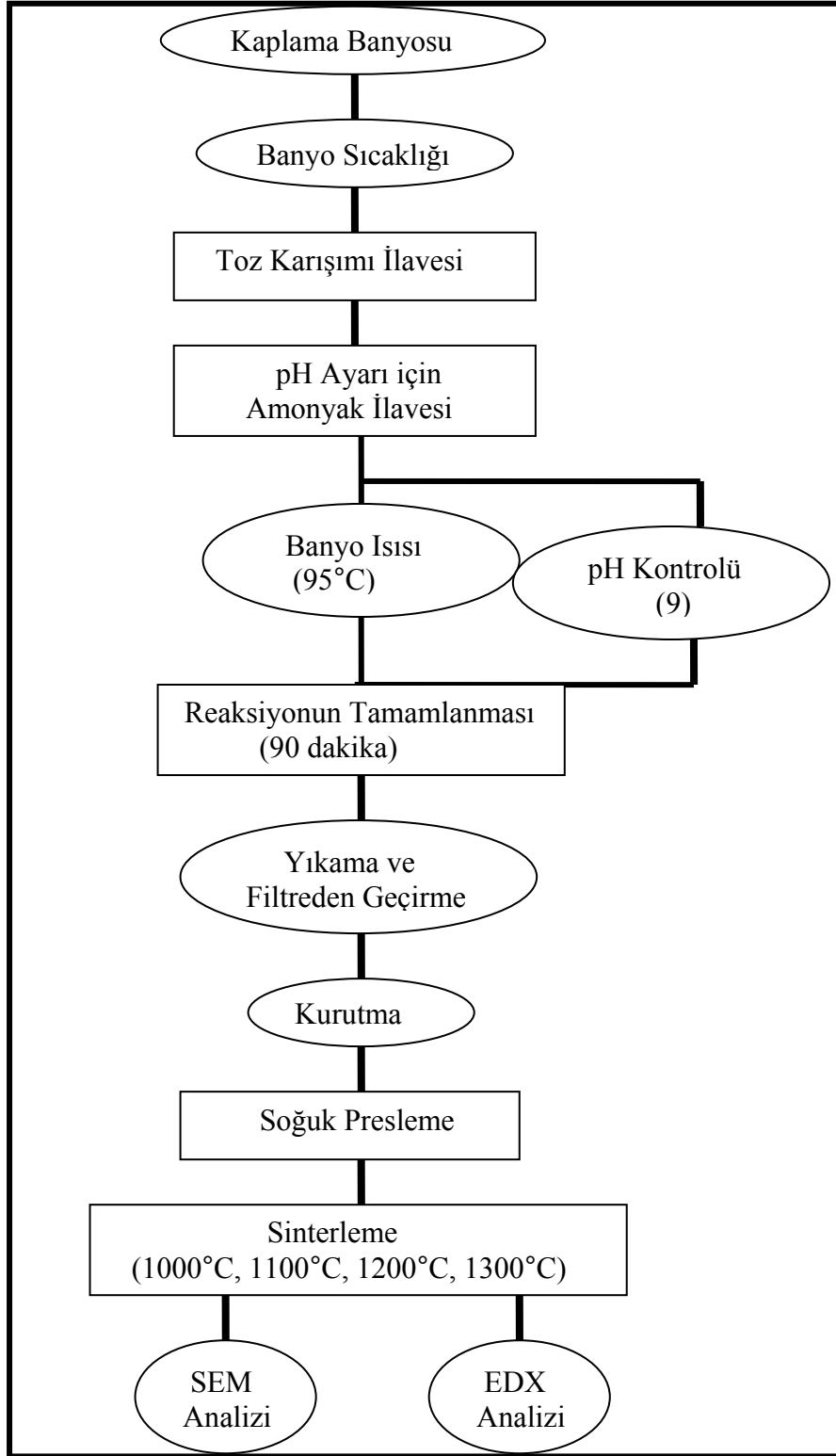
Şekil 16. Kaplama devam ederken.



Şekil 17. Kaplama devam ederken.



Şekil 18. Kaplama bittiğinde.



Şekil 19. Deney akım şeması

Elde ettiğimiz bu numunelerin özellikleri aşağıda yer alan Çizelge 5 ve Çizelge 6’da verilmiştir. Çizelge 5 ve Çizelge 6’da sinterleme sıcaklıkları (T_s), numunelerin sinterleme öncesi (M_i) ve sonrası kütleleri (M_s) ve kalınlıkları (d_i), (d_s) verilmiştir.

Çizelge 5. Hazırlanan kaplamalı numunelerin özellikleri.

Numuneler	M_i (gr)	M_s (gr)	d_i (mm)	d_s (mm)	T_s ($^{\circ}$ C)
1	22.368	22.222	5.03	5.10	1000
2	23.505	23.317	4.95	5.05	1100
3	23.511	23.339	5.10	5.05	1200
4	24.00	23.897	4.41	5.30	1300

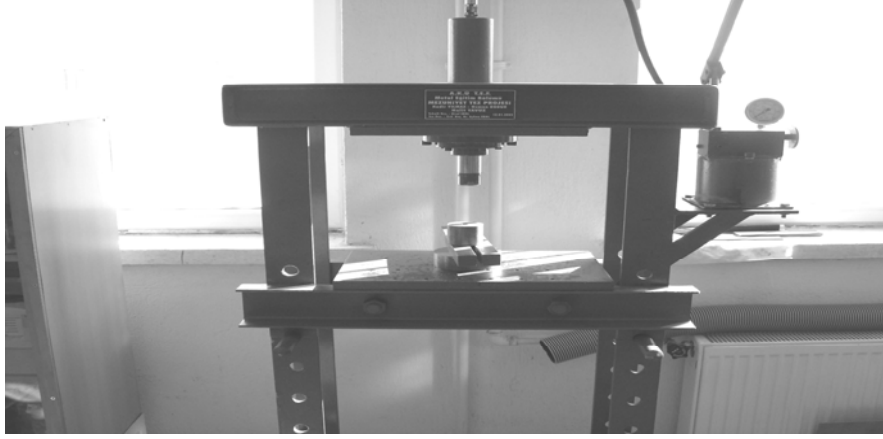
Çizelge 6. Hazırlanan kaplamasız numunelerin özellikleri.

Numuneler	M_i (g)	M_s (g)	d_i (mm)	d_s (mm)	T_s ($^{\circ}$ C)
5	25.078	24.964	4.17	4.82	1000
6	24.502	23.592	4.84	4.16	1100
7	23.511	23.422	4.60	4.41	1200
8	24.00	23.831	4.54	4.40	1300

3.4. Deneysel Çalışmalarda Yapılan İşlemler ve Kullanılan Cihazlar

3.4.1. Presleme

Metal tozları oluşturulacak numunenin şekil ve ölçütlerine göre kalıp içerisinde, basınç tesiri altında şekillendirilmesi ve yüksek yoğunluklu bir kütle haline gelmesi işlemine presleme denir. Presleme ile oluşan numunenin tanecikler arası bağ ve mukavemeti artarken, gözeneklilik ise azalır. Her bir numune için 29,802 gramlık tozlar hazırlanarak, homojen bir biçimde karıştırılarak kompozit malzeme hazırlanarak çapı ~30 mm’lik silindir biçiminde kalıpta soğuk presleme işlemi yapılmıştır. Presleme, hidrolik pres makinesinde ve ~360 kgf/cm² (bar) basınçta yapılmıştır. Şekil 20’de Hidrolik pres makinesi gösterilmektedir.



Şekil 20. Hidrolik pres makinesi.

3.4.2. Sinterleme

Hazırlanan tozlar 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C sıcaklıklarda Şekil 21'deki tüp fırında argon gazı atmosferinde sinterleme işlemi uygulanmıştır. Buradaki amaç, tungsten karbürün nikel ile oluşturacağı sıvı fazın tungsten karbürü ıslatmasıyla beraber kompozit malzeme oluşturmaktır. Sinterleme işlemi sırasında, sıcaklık artışı hızlı olmamalıdır. Bu numunenin çatlamasına ve sinterleme işleminin verimli gerçekleşmemesine neden olur. Sinterleme sırasında sıcaklık artışı ~ 10°C/ dk kadardır. Her bir numune için sinterleme süreleri 2 saat olarak belirlenmiştir. Ortam sıcaklığı soğuyana kadara numuneler fırın içerisinde bekletilmiştir.



Şekil 21. Sinterlemede kullanılan tüp fırın.

3.5. Ultrases Deney Düzeneği

3.5.1. Ultrases Dalga Hızı Ölçüm Deney Sistemi

Numune içindeki ultrases dalga hızları yardımıyla numunelerin elastik sabitelerini bulmak için referans numunelerine ihtiyaç vardır. Ultrases dalga hızı, numunenin yapısına bağlı olup özellikle numune içinde ultrases dalgasının saçılması ile oldukça etkilenmektedir. Polikristaller içinde ultrases dalgalarının saçılmaları ile ilgili teorik çalışmalar (Hirsekoru 1982) tarafından yapılmış ve saçılma katsayısı, boyuna ve enine dalga hızları, \bar{D} tanecik boyutu ve k , dalga sayısının çarpımının bir fonksiyonu cinsinden tanımlanmıştır. (k : dalga sayısı ve a : ortalama tanecik çapı)

Numunelerin boyuna hız ölçümleri şekil 22'de gösterilen Sonatest 150s model ultrases dalga akış dedektörü ile yapılmıştır.

Bu çalışmada, boyuna hız ölçümleri için 2 ve 5 MHz'lik iki prob kullanılmıştır.(2 MHz boyuna hız Prob: SLH2-102 T013174, 5 MHz boyuna hız Prob: SLM5 T010873)

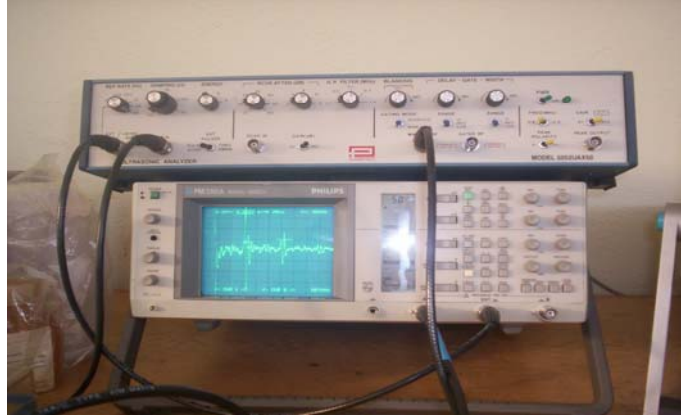
Boyuna hız ölçümlerinde, önce numune kalınlığı belirlenmiştir sonra alıcı/verici transducer ile numuneye gönderilen ultrases dalgasının yansıma pikleri elde edilmiştir. Numune kalınlığı ile pikler arası mesafe eşit hale getirilir ve numunenin ultrases hızı ekranda okunur. Ses dalgasının hızı malzemenin cinsine, yoğunluğuna ve esneklik modülüne göre değişirken frekanstan bağımsızdır. Bir metal içinde ilerleyen ultrasonik ses dalgası, malzemenin içinde bir çatlak, boşluk veya başka bir malzemeye rastlayınca yansır ve yönünü değiştirerek bir kısmı diğer malzemenin içine de girer.



şekil 22. Ultrases boyuna hız ölçüm cihazı.

Numunelerin enine hız ölçümleri, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma/Uygulama Merkezi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 23'te gösterilen Panametrics Ultrasonic Analyzer 5052UAX50 model ultrases dalga akış dedektörü ile ölçümler alınmıştır. Bu cihaza paralel bağlı olan Philips PM 3365A 100 MHz 100 Ms/s modelinde bir osiloskop ile numuneye gönderilen pulslar osiloskop ekranında gözlemlenmiştir.

Enine hız ölçümleri için 2 ve 5 MHz'lik iki prob kullanılmıştır (1 MHz enine Prob: Panametrics V153 1.0/0.5 157217, 5 MHz enine Prob: Panametrics V155 5.0/0.5 79278).



Şekil 23. Ultrases enine ölçüm cihazı.

Enine hız ölçümlerinde, alıcı/verici transducer ile numuneye gönderilen ultrases dalgasının ekrandaki Şekil 24'te A-Scan görüntüsündeki ön ve arka yüzeyden gelen yansıma pikleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sinyaller sayesinde μs cinsinden ölçülen Δt geçiş süreleri belirlenerek enine hız değerleri bulunmuştur. Enine hız ölçüm süresince ultrases cihazındaki enerji değeri 4, PCVR attenuation değeri 10 olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 24. A-Scan görüntüsündeki pikler ve numuneden alınan pik görüntüleri.

3.5.2. Transducer'lerin Deneyde Kullanım Şekli

Ultras ses sinyalinin oluşturulması için, yüksek frekanslı titreşim hareketi gerekir. Yani titreşim enerjisinin elektrik enerjisine dönüşmesi gerekir. Bu işlemi transducer yapar. Ses dalgaları bir transducer tarafından oluşturulur ve alınırlar.

Deneyimizde kullanacağımız transducerler enine ve boyuna dalga üreten ve alan özelliklerine sahip olan 1, 2 ve 5 MHz'lik transducerlerdir. Boyuna ve enine dalga transducerlerin bir özelliği ise direkt olarak numune ile temas ettirilmemeleridir. Eğer direkt olarak transducer numune ile temas halinde olursa, numune ile transducer arasında bir hava tabakası kalacaktır. Dolayısıyla ultras ses dalgaları bu hava tabakasından kayba uğrayarak geçecektir. Bu nedenle transducer yüzeyine dalgaların geçişini engellemeyecek bir madde sürülmesi gerekmektedir. Ölçümlerimizi alırken numunelerin yüzeylerine ultrasonik (Sonagel-W T-09 Water based) jel ve ağda sürülmüştür. Sistemde kullandığımız transducerler ise Şekil 25'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 25. Numune ölçümlerinde kullanılan transducerler.

(a) Boyuna hız transducer

(b) Enine hız transducer

4. DENEYSEL SONUÇLAR

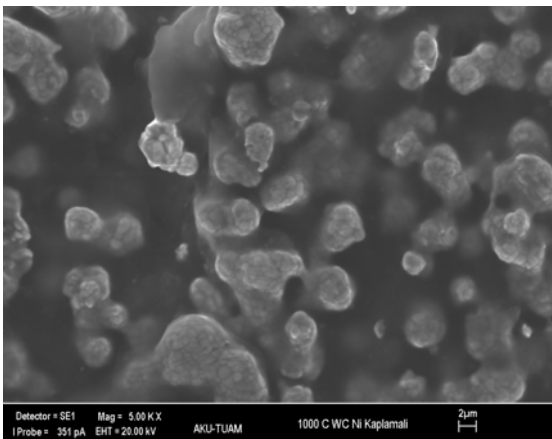
4.1. Veri Alma Tekniği ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Ultras ses sistemi, bir transducer ve bir ultras ses alıcı-verici cihazından oluşmaktadır. Transducer, cihazdan gelen sinyali numune yüzeyine gönderir. Numunenin yüzeyinden ve içinden yansıyarak gelen ultras ses sinyalini ultras ses cihazına iletilmesini sağlar. Ultras ses cihazı, ultras ses sinyalini transducer'e gönderir ve numuneden gelen ultras ses sinyalini ekranda gösterir.

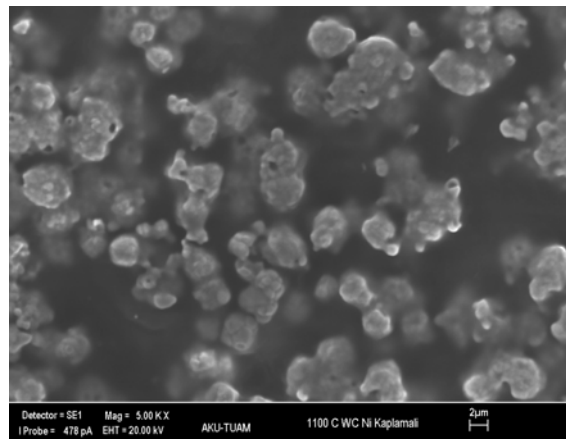
4.2. Kaplamalı ve Kaplamasız Numunelerinin Deneysel Sonuçları

4.2.1. Sinterleme Sonrası SEM-EDX Analizi

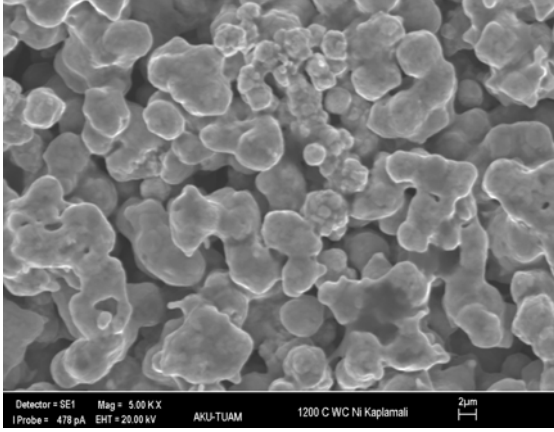
Sinterlenen numuneler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezinde (TUAM) LEO 1430 VP SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), ve bunun ardından Röntec EDX dedektörü ile karakterize edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen kaplamalı ve kaplamasız (WC-Ni) numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 26 ve Şekil 27'de görülmektedir.



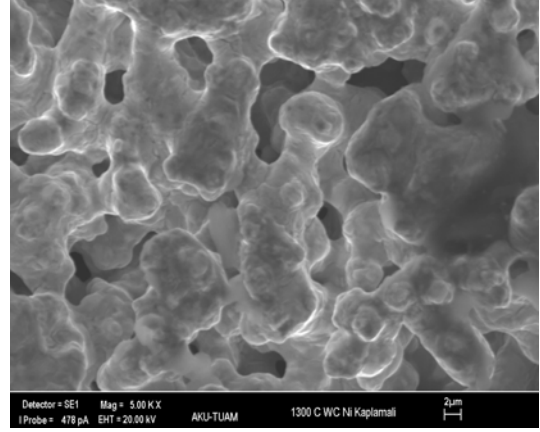
(a)



(b)

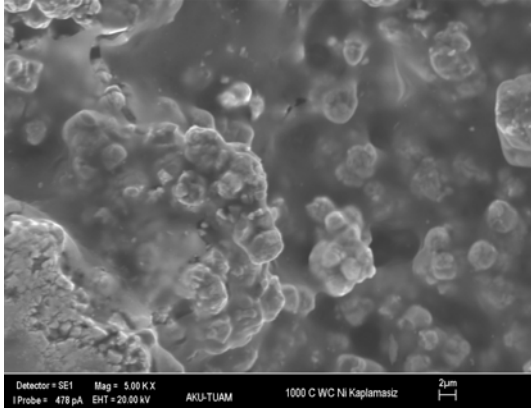


(c)

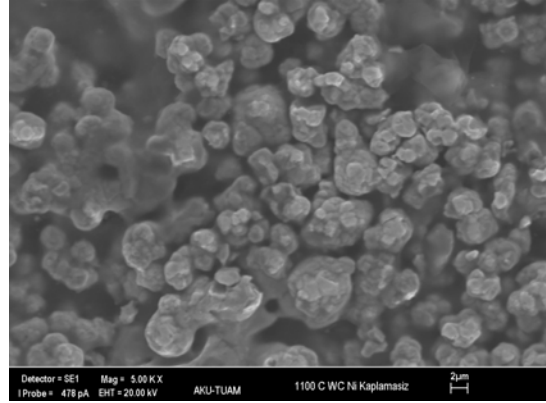


(d)

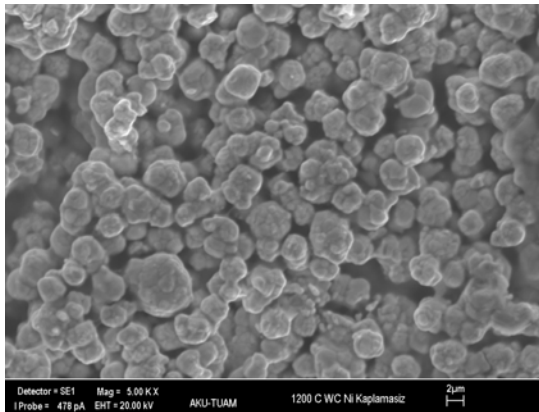
Şekil 26. Kaplamalı Numunelerin SEM görüntüsü, (a) 1000°C, (b) 1100°C, (c) 1200°C, (d) 1300°C.



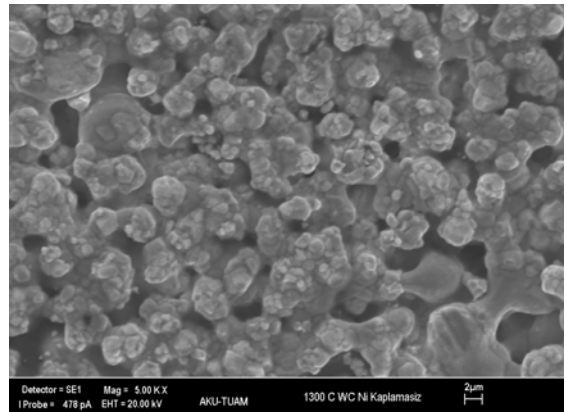
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 27. Kaplamasız Numunelerin SEM görüntüsü, (a) 1000°C, (b) 1100°C, (c) 1200°C, (d) 1300°C.

SEM görüntüleri kullanılarak hesaplanan numunelerin ortalama tanecik boyutları Çizelge 7 ve Çizelge 8'de verilmektedir. Çizelge 7'deki sonuçlar bize electroless kaplamanın ortalama tane boyutları üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Bu kaplama

metodunun diğer kaplama teknikleriyle kıyaslanması halinde her bir tanenin bu şekilde nikel ile çevrelendiği düşünülürse sinterleme işlemiyle üretimde avantaj olarak karşımıza gelecektir. Şekil 26’da SEM fotoğrafına bakıldığında sinterleme sıcaklığına bağlı olarak farklı yapılar gözlemlenmiştir. Tozlar arasında sinterleme sırasında oluşan bağlar yüksek sıcaklıklarda birbirine yapışma prosesi ve böylece bünyenin yoğunluk ve boyutlarında meydana gelen değişim görülmüştür. Yani sinterleme sıcaklığı arttıkça taneciklerin daha birbirine bağlandığı görülmektedir.

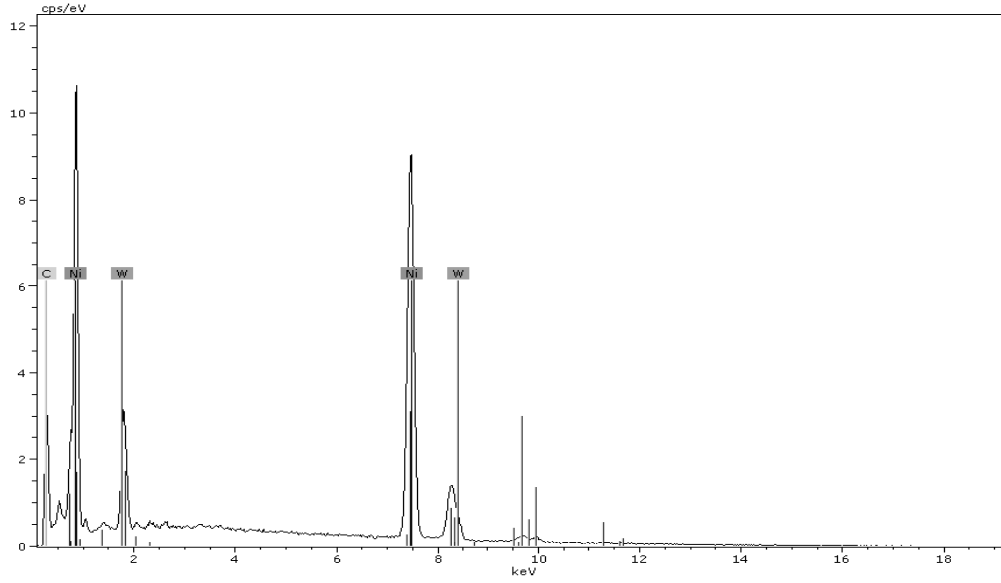
Çizelge 7. Kaplamalı Numunelerin Sinterleme sıcaklığı ile ortalama tanecik boyutu arasındaki ilişki.

Numuneler	Ortalama tanecik Boyutu (μm)	Sinterleme sıcaklığı ($^{\circ}C$)
1	3.44	1000
2	3.55	1100
3	3.92	1200
4	5.18	1300

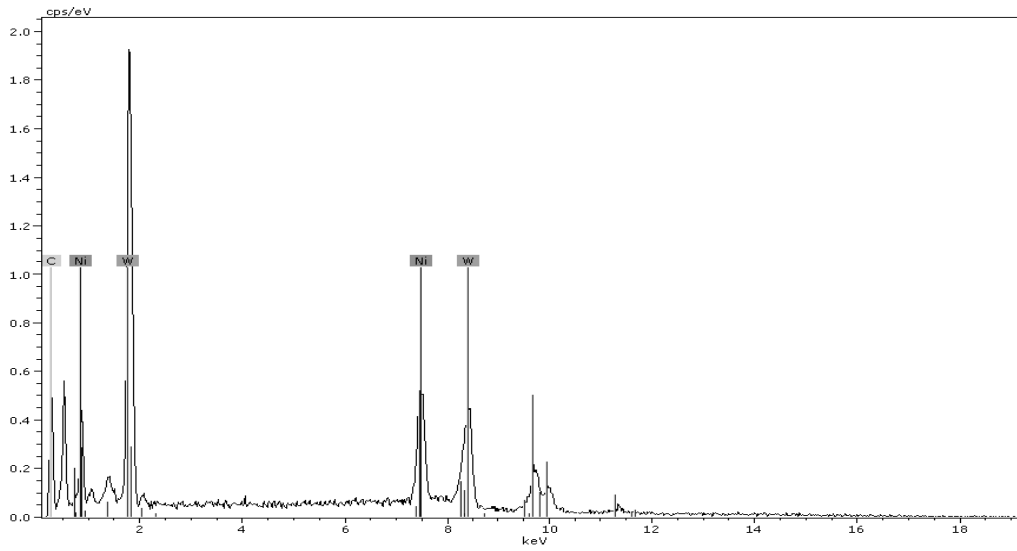
Çizelge 8. Kaplamasız Numunelerin Sinterleme sıcaklığı ile ortalama tanecik boyutu arasındaki ilişki.

Numuneler	Ortalama tanecik Boyutu (μm)	Sinterleme sıcaklığı ($^{\circ}C$)
5	3.11	1000
6	3.21	1100
7	3.43	1200
8	3.51	1300

WC-Ni numunelerinin EDX analiz sonuçlarına bakıldığında karbon (C), nikel (Ni), tungsten (W) elementleri tespit edilerek kompozit malzeme oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 28 ve Şekil 29’da 1000 $^{\circ}C$ de sinterlenen kompozit numunelerinin EDX spektrumları verilmiştir. Şekil 28’de gösterilen EDX sonuçlarında da kaplamanın gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 28. 1000°C’de Kaplamalı Tungsten karbür –nikel (WC-Ni) numunesinin EDX Spektroskopisi.



Şekil 29. 1000°C’de Kaplamasız Tungsten karbür –nikel (WC-Ni) numunesinin EDX Spektroskopisi.

4.2.2 Sinterleme Sonrası Yoğunluk Sonuçları

Hazırlanan kompozisyondan preslenerek elde edilen 8 tane numunenin, farklı sıcaklıklarda uygulanacak sinterleme işleminden sonra yoğunlukları hesaplanmıştır. Farklı sıcaklık ve atmosferde sinterlenen numunelerin, sinterleme sonrası boyut ve yoğunlukları Çizelge 9 ve Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 9. Sinterleme sonrası kaplamalı numunelerin boyutları ve yoğunlukları.

Numuneler	Sıcaklık (°C)	Çap (cm)	Kalınlık (cm)	Ağırlık (gr)	d (gr/cm ³)
1	1000	3.020	0.510	22.814	6.249
2	1100	3.020	0.505	23.815	6.588
3	1200	3.016	0.505	23.835	6.610
4	1300	2.950	0.530	24.289	6.708

Çizelge 10. Sinterleme sonrası kaplamasız numunelerin boyutları ve yoğunlukları.

Numuneler	Sıcaklık (°C)	Çap (cm)	Kalınlık (cm)	Ağırlık (gr)	d (gr/cm ³)
5	1000	3.013	0.482	24.971	7.265
6	1100	3.036	0.416	22.082	7.336
7	1200	3.010	0.441	23.286	7.425
8	1300	2.930	0.440	23.792	8.024

4.2.3. Ultrases Hız Deneyleri Sonuçları

- **Boyuna Hız Ölçümleri**

Bir alıcı-verici transducer ile numuneye gönderilen ultrases dalgasının A-Scan görüntüsünde ön yüzeyden ve arka yüzeyden gelen yansıma pikleri elde edilir. Bu pikler üzerine gate (kapı) çizgileri, tam piklerin başlangıç noktasına getirilir. Numune kalınlıkları veri olarak girilir ve cihazdaki otomatik kalibrasyon sayesinde numunenin boyuna ultrases hızı ekranda okunur. 2 ve 5 MHz' lik transducerlerin kullanılmasıyla boyuna hız değerleri tespit edilmiştir.

- **Enine Hız Ölçümleri**

Yine boyuna hız ölçümlerinde olduğu gibi bir alıcı-verici transducer ile numuneye gönderilen ultrases dalgasının A-Scan görüntüsünde ön yüzeyden ve arka yüzeyden gelen yansıma pikleri elde edilir. Daha sonra cihazda yer alan kilit (lock) düğmesine basılarak pikler kilitlenir ve sonra dijital hafızaya (digital memory) alınır. Cur 1(+) ve Cur 2 (+) işaretleri piklerin en üst düzeyine getirilerek $\Delta t (\mu s)$ geçiş süreleri ölçülür.

Daha sonra numunenin kalınlığı kullanılarak ultrases dalgasının geçiş hızı hesaplanmıştır.

Farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş kaplamalı ve kaplamasız WC-Ni numunelerinden elde edilen boyuna ve enine hız ölçüm sonuçları izelge 11 ve izelge 12’de verilmiştir. Deneylede boyuna hız için 2 ve 5 MHz’lik transducerler enine hız için ise 1 ve 5 MHz’lik transducerler kullanılmıştır. Bütün izelge sonuçlarına bakıldığında sinterleme sıcaklığına bağlı olarak ultrases dalga hızının arttığı görölmektedir. Boyuna hız V_L ile gösterilirken enine hız ise V_T ile gösterilmektedir.

Çizelge 11. Kaplamalı numunelerde boyuna ve enine hız ölçüm sonuçları.

Numuneler	$V_L (m/s)$		$V_T (m/s)$	
	(2 MHz)	(5 MHz)	(1MHz)	(5 MHz)
1	1968	2022	1262,04	1275,4
2	2288	2314	1396,6	1410,5
3	2459	2495	1470,5	1422,2
4	3335	3367	1858,6	2441,7

Çizelge 12. Kaplamasız numunelerde boyuna ve enine hız ölçüm sonuçları.

Numuneler	$V_L (m/s)$		$V_T (m/s)$	
	(2 MHz)	(5 MHz)	(1MHz)	(5 MHz)
5	2166	2237	1575,1	1541,6
6	2241	2316	1581,7	Ölçüm yok
7	2362	2477	1624,1	1546,4
8	2979	3542	1756,4	2046,5

- **Ortalama Tanecik Boyutu Sonuçları**

Numunelerin SEM görüntülerinden elde edilen ortalama tanecik boyutları izelge 13 ve izelge 14’de verilmiştir.

Çizelge 13. Kaplamalı numunelerin deneysel ortalama tanecik boyutu dağılımları.

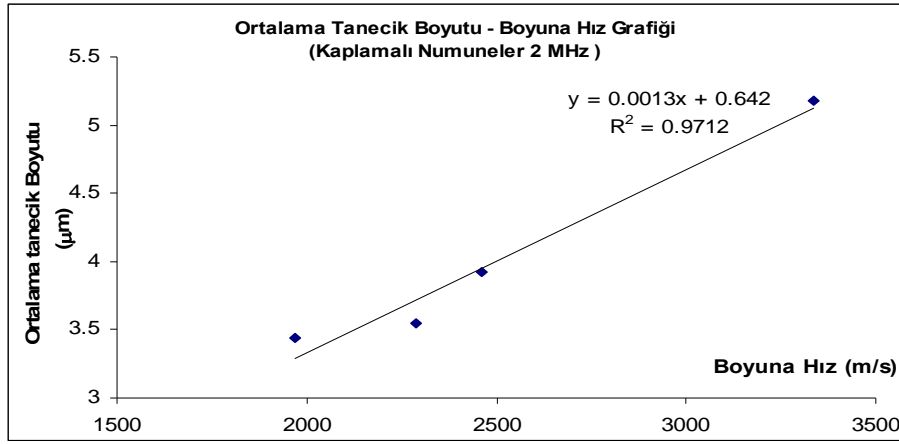
Numuneler	Ortalama tane boyutu (μm)	Sıcaklıklar (°C)
1	3.44	1000
2	3.55	1100
3	3.92	1200
4	5.18	1300

Çizelge 14. Kaplamasız numunelerin deneysel ortalama tanecik boyutu dağılımları.

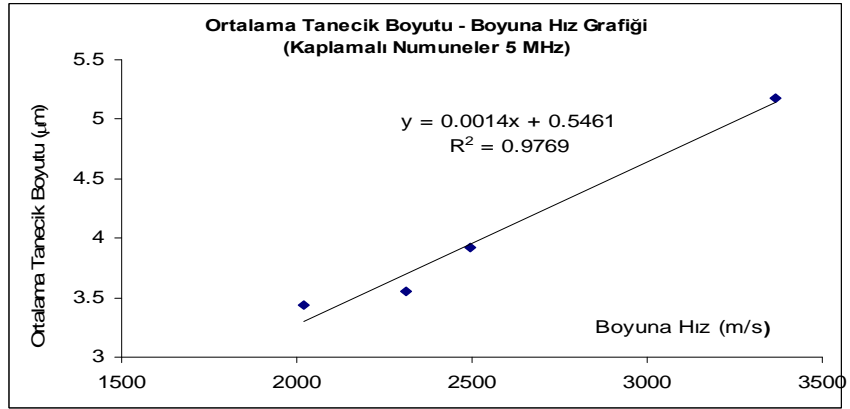
Numuneler	Ortalama tane boyutu (μm)	Sıcaklıklar (°C)
5	3.11	1000
6	3.21	1100
7	3.43	1200
8	3.51	1300

Tanecik boyutu ve ultrases hızı arasındaki ilişkiyi incelemek için, numunelerin deneysel olarak hesaplanan tane boyut grafiği ve ultrases hızları arasındaki grafikler kaplamalı numuneler için Şekil 30-31-32-33’de verilmiştir. Kaplamasız numuneler için elde edilen grafikler ise Şekil 34-35-36-37’de gösterilmiştir.

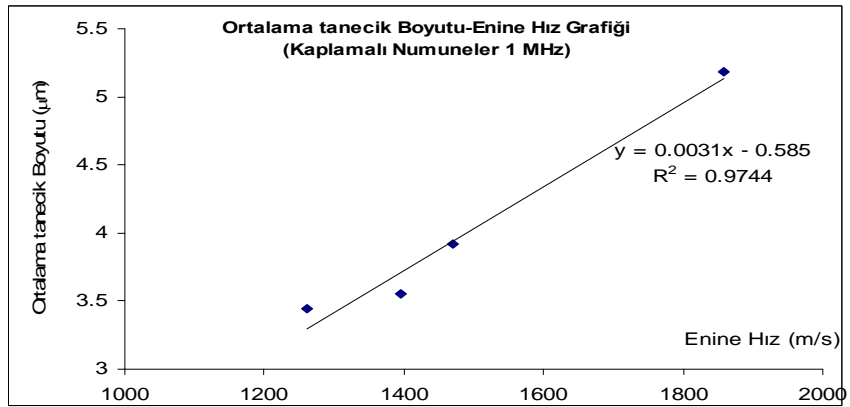
Grafiklerde ultrases dalga hızı değerleriyle numunenin ortalama tanecik boyutu değerleri arasında doğrusal ilişki olduğu görülmektedir. Bu grafiklerde, 1, 2 ve 5 MHz transducer ile elde edilen ultrases hız değerleri kullanılmıştır, korelasyon katsayıları ve denklemleri elde edilmiştir.



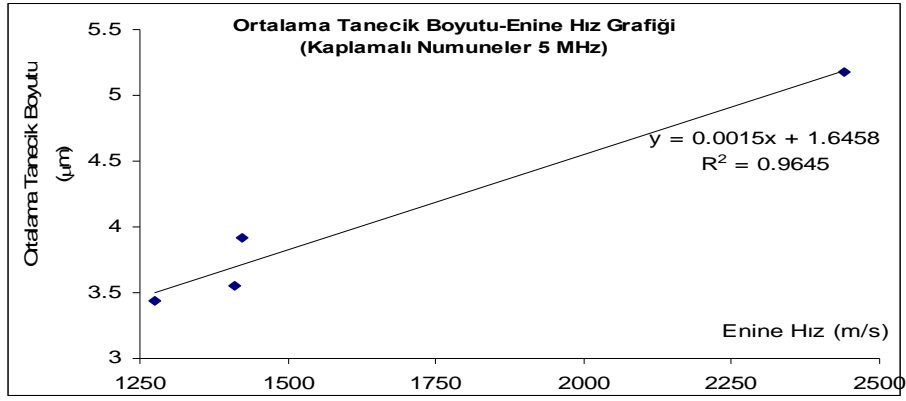
Şekil 30. Örneklerin 2 MHz boyuna ultrases hız- deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.



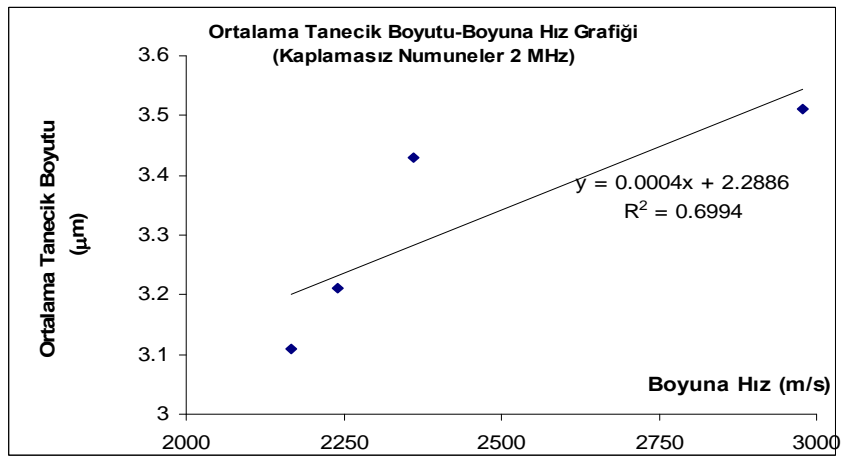
Şekil 31. Örneklerin 5 MHz boyuna ultrases hız- deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.



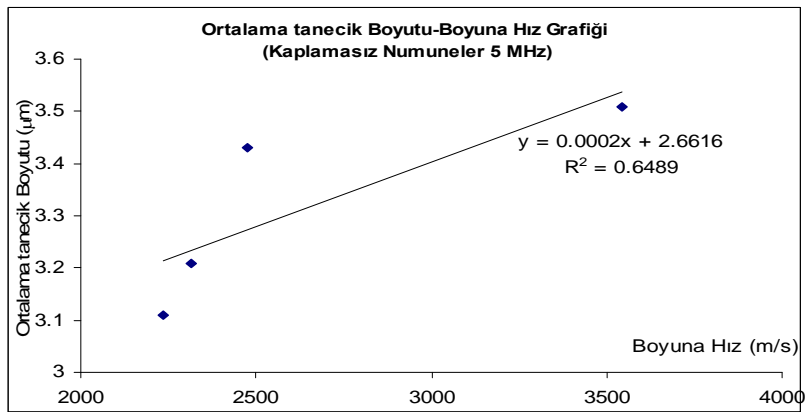
Şekil 32. Örneklerin 1 MHz enine ultrases hız- deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.



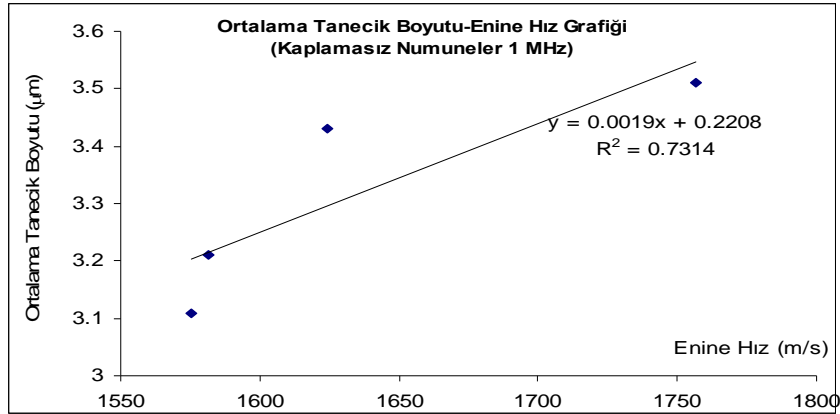
Şekil 33. Örneklerin 5 MHz enine ultrases hız- deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.



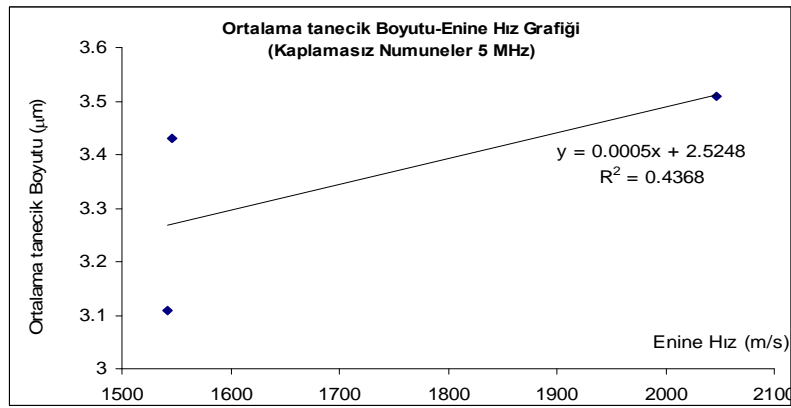
Şekil 34. Örneklerin 2 MHz boyuna ultrases hız- deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.



Şekil 35. Örneklerin 5 MHz boyuna ultrases hız- deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.



Şekil 36. Örneklerin 1 MHz enine ultrasres hız- deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.



Şekil 37. Örneklerin 5 MHz enine ultrasres hız- deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

Çizelge 11-12-13-14'te gösterildiği gibi deneysel elde ettiğimiz ortalama tanecik boyutu, boyuna ve enine ultrasres hızları sinterleme sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. Özellikle 1300°C'de sinterlenen numunede tanecik boyutunda, boyuna ve enine ultrasres hızlarında ani ve daha fazla artış görülmüştür.

4.2.4. Young Modülünün (E) Hesaplanması

Young modülü, ortalama tanecik boyutu ve ultrasres hızı arasındaki ilişkiyi incelemek için, numunelerin yoğunlukları, boyuna ve enine ultrasres hızları bilinmesi gerekir. Çizelge 15 ve Çizelge 16'da deneysel olarak bulunan Young modülü değerleri verilmiştir.

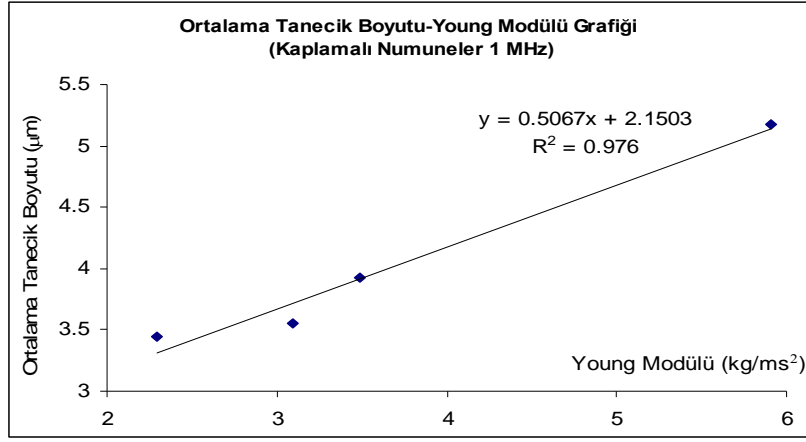
Çizelge 15. Kaplamalı numuneler için hesaplanan Young modülü değerleri.

Numuneler	$E (kg / ms^2)$	
	(1 MHz)	(5 MHz)
1	$2,290 \times 10^{10}$	$2,376 \times 10^{10}$
2	$3,092 \times 10^{10}$	$3,158 \times 10^{10}$
3	$3,491 \times 10^{10}$	$3,367 \times 10^{10}$
4	$5,907 \times 10^{10}$	$7,561 \times 10^{10}$

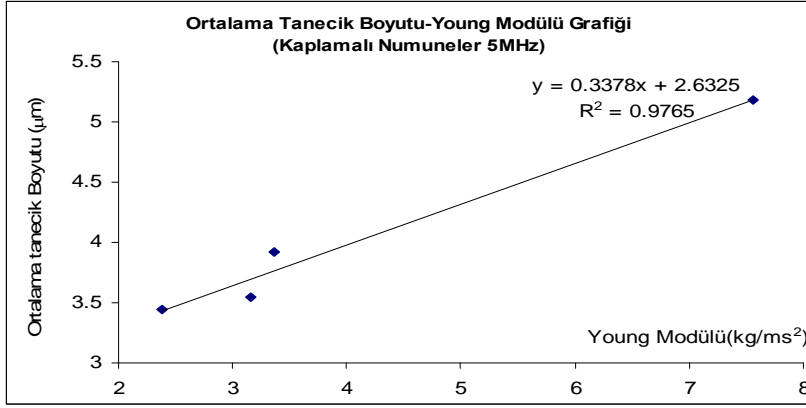
Çizelge 16. Kaplamasız numuneler için hesaplanan Young modülü değerleri.

Numuneler	$E (kg / ms^2)$	
	(1 MHz)	(5 MHz)
5	$3,384 \times 10^{10}$	$3,619 \times 10^{10}$
6	$3,683 \times 10^{10}$	Ölçüm yok
7	$4,118 \times 10^{10}$	$4,191 \times 10^{10}$
8	$6,106 \times 10^{10}$	$8,396 \times 10^{10}$

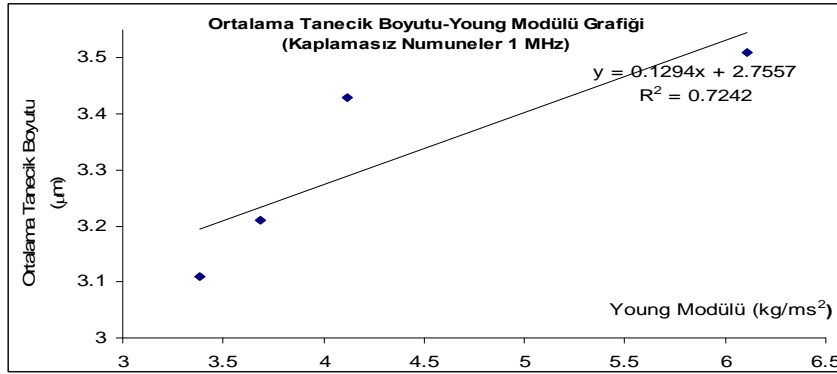
Elde edilen Young modülü ve ortalama tanecik boyutu arasındaki ilişkiyi incelemek için, Şekil 38-39-40-41 elde edilmiştir. Şekillerde Young modülü değerleriyle numunenin ortalama tanecik boyutu değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.



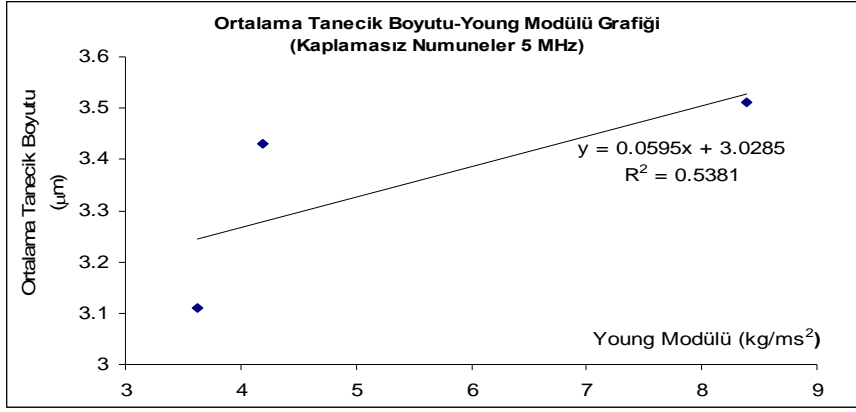
Şekil 38. 1 MHz için Young Modülü- Ortalama tanecik boyutu grafiği.



Şekil 39. 5 MHz için Young Modülü- Ortalama tanecik boyutu grafiği.



Şekil 40. 1 MHz için Young Modülü- Ortalama tanecik boyutu grafiği.



Şekil 41. 5 MHz için Young Modülü- Ortalama tanecik boyutu grafiği.

Çizelge 11-12-13-14'de gösterildiği gibi deneysel elde ettiğimiz ortalama tanecik boyutu, boyuna ve enine ultrases hızları sinterleme sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. Ultrases hızının tanecikli yapıya bağlı olarak uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Burada hem zamandan tasarruf edilmiştir hem de ekonomik olarak ultrases yönteminin diğer metotlara göre daha kullanışlı olduğu görülmektedir. Böylelikle ilerde farklı kompozit malzemeler üzerinde tane boyut dağılımları incelenebilir ya da materyalin mikro yapısal özellikleri hesaplanabilir. Bu durum malzeme biliminde ve fizik alanında yeni gelişmelere ve araştırmalara yol açabilmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada ilk olarak ‐Tungsten karbür tozunun nikel kaplanması‐ üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Burada kullanılan elektrik akımsız (electroless) nikel kaplama metodunda, kullanılan banyo, kimyasalların oranları ile banyo sıcaklığı ve pH değerinin iyi ayarlanması, tepkimenin tam olarak gerçekleşmesi gerektiği kanısına varılmıştır. Burada homojen ve istenilen bir kaplama elde edildiği SEM ve EDX analizlerinden gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar da oluşan fazlar hakkında bir çalışma yapılmamıştır.

Yine ‐Toz metalurjisi metodu kullanılarak metal kompozit malzemeler‐ hazırlanmıştır. SEM ve EDX analizleri yapılmıştır. Numunelerin dalga hızları ölçülerek elastik sabite katsayısı belirlenmiştir. Seramik metal kompozitlerinin elastik sabite katsayısı materyalin hızına bağlı olarak incelenmiştir.

Hazırlanan kaplamalı ve kaplamasız WC-Ni numuneleri 1000, 1100, 1200 ve 1300°C sinterleme sıcaklığı seçilmiştir. Bu sıcaklıklarda argon gazı korumalı atmosferde geçici sıvı faz sinterleme işlemi uygulanmıştır. Bu farklı sinterleme sıcaklıkları birbiri ile kıyaslandığında kompozitin en iyi 1300°C’de sinterlendiği gözlemlenmiştir. Bu işlem sonucunda tek bir yapıya sahip olan intermetalik malzemeler elde edilmiştir.

Bu bilgiler ışığı altında yapılan deneysel sonuçlar bize şu sonuçları vermiştir;

- Yapılan deneysel çalışmada dört tane kaplamasız WC-Ni numunesi ve dört tane electroless nikel kaplama yöntemiyle nikel kaplanmış WC-Ni kompozit malzemeleri hazırlanmıştır.
- Geçici sıvı faz sinterleme ile 1000°C-1100°C-1200°C ve 1300°C’ de numuneler sinterlenmiştir. Sinterleme argon gazı altında yapılarak oksidasyon önlenmiştir.
- Geçici sıvı faz sinterleme ile 1300°C’ de sinterlenen WC-Ni kompozitlerinin dalga hızının fazla olduğu ve diğer numunelere göre daha sağlam bir malzeme elde edildiği görülmüştür.
- Sekiz tane kompozit numunenin dalga hızları ölçülmüştür ve numunelerin ortalama tane boyutları SEM’ de görüntü analizörüne aktarılarak hesaplanmıştır.

- Sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası kütle ve yoğunlukları belirlenmiştir.
- Daha sonra numunelerin esneklik katsayısı olan Young modülü değerleri hesaplanmıştır.
- Electroless kaplamada Hydrazine Hydrate banyosu kullanılarak saf nikel elde edilmiştir.
- Sinterleme sonrası malzemelerin yoğunluklarında bir düşüş gözlemlenmektedir.
- Hazırlanan kompozitlerde presleme ve sinterleme sonrası kütle kaybı görülmektedir. Bu durum kompozit malzemelerin gözenekli bir yapıda olmasından ileri gelmektedir.

Bu deney sonucunda ilk tespit ettiğimiz özelliklerden bir tanesi, numune içindeki ultrases hızının farklı sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişmesidir. Buda sinterleme sıcaklığı arttıkça yapı daha homojen bir şekil aldığını ve ultrases hızının da arttığını gösteriyor. Ayrıca ultrases mekanik bir enerji olduğuna göre onun ortamın elastik özellikleri ile ilgili bağlantılı olması doğaldır. Malzemenin elastik özellikleri ses hızını etkilediğinden ses hızındaki değişme ölçülerek ortamın elastik özelliklerindeki değişimleri görmekteyiz.

Sonuç olarak, ultrasonik hız ölçümlerinin kompozitlerde ve diğer materyallerde ortalama tane boyut dağılımının ve elastik sabitelerinin tahmin edilebileceğini göstermiştir. Kullandığımız teknik ise tahribatsız muayene metodudur (NDT). Çizilen referans grafiklerinde değerlerin birbiriyle uyumlu olduğunu görmekteyiz. Numunelerin ultrases hızının örneklerin tane boyut değerleriyle (ka değerleri), elastik sabite değeriyle ve sinterleme sıcaklığı ile artma gösterdiği literatür bilgileriyle beraber görmekteyiz.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H., 1995, "Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matriksli Kompozitleri Üretimi ve Mikroyapı-Özellik ilişkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Algidre E. 1969, "Non-Destructive Testing", Ed. X. Egerton, Oxford U.P, pp.31-45.
- Anık, S., ve Anık, E. S., 1977, "Malzeme bilgisi ve muayenesi", (Weissbach, W.' den çeviri), Kurtulmuş Matbaası, pp. 180.
- Aral, E., 1987, "Ultrasen Ders Notları", Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Auld, B.A., 1990, "Acoustic Fields and Waves In Solids", vol.1, Robert E. Krieger Publishing Company.
- Avner, S.H., 1974, "Introduction to Physical Metallurgy", Book Cmp, New York, pp. 472-477.
- Baker, D.W., 1970, "Pulsed ultrasonic Doppler blood-flow sensing", IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics Su-17, pp. 170-185.
- Ballantine, H.T., Bolt, R.H., Hueter, T.F. and Ludwig, G.D., 1950, "On the detection of intracranial pathology by ultrasound", Science 112, pp. 525-528.
- Bernabé, A., Prieto, C., Gonzalez, Y. and Every, A.G., 1999, "Elastic Constants of $In_xGa_{1-x}As$ and $In_xGa_{1-x}P$ determined using surface acoustic waves", Journal of Physics: Condensed Matter 11,28, pp. L323-L327.
- Bueno, S., Hernandez, M.G., Sanchez, T., Anaya, J.J., Baudin, C., 2006, "Non-destructive characterization of alumina aluminium titanate composites using a

micromechanical model and ultrasonic determinations Part I. Evaluation of the effective elastic constants of aluminium titanete”, Ceramics International.

Bhardwaj, M.C., 2000, “High transduction Piezoelectric transducers and introduction of Non-Contact analysis”, Ultrason Laboratories, Inc. 1020 E. Boal Avenue Boalsburg, PA 16827 USA.

Bhatia, A.B. and Moore, R.A., 1959, “Scattering of high- frequency sound waves in polycrystalline materials II”, Journal of the Acoustical Society of America 29, pp. 1140-1141.

Culp, N.J., Huffman, D.D. and Henry, R.J., 1997, “Tools Materials, Metals handbook”, Desk Edition, ASM, Ohio.

Çolak, F., 2004, “Kimyasal Metotla Nikel Kaplanmış Tungsten Karbür Tozları Kullanılarak Seramik-Metal Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniv. Metal Eğitim Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.

Deniz, A., 2005, “Alümina Seramiklerinin Tanecik Boyutunun Ultrases ile Belirlenmesi” Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniv. Fen Bilimleri Ens.

Ducret, D., El Guerjouma, R., Guy, P., R’Mili, M., Baboux, J.C., Merle, P., 1999, “Characterisation of anisotropic elastic constants of continuous alumina fibre reinforced aluminium matrix composite processed by medium pressure infiltration”, Composites.

Dussik, K., 1942, “On the possibility of using ultrasound waves as a diagnostic aid”, Neurol. Psychiat., 174, pp. 153-168.

Embrechts, J.J., 2000, “Simolaton of first and second order scattering by rough surfaces with a sound ray formalism”, Journal of Sound and Vibration 229, 1, pp. 65-87.

- Fox, M.D., 1978, "Multiple crossed-beam ultrasound Doppler velocimetry, IEEE", Transactions on Sonics and Ultrasonics SU-25, pp. 281-286.
- Firestone F.A., 1943, "U.S.patent 2.439.13.9.
- French, L.A., Wild, J.J. and Neal, D., 1950, "Detection of cerebral tumors by ultrasonic pulses", Cancer 7, pp. 705-708.
- French, L.A., Wild, J.J. and Neal, D., 1951, "The experimental application of ultrasonics to the localisation of brain tumors", Neurosurgery 8, pp. 198-203.
- Gao, I., Parker, K.L., Lerner, R.M. and Levinson, S.F., 1996 "Imaging of the elastic properties of tissue – a review ", Ultrasound in Medicine and Biology 22, pp. 959-977.
- Goebbels, K., Höller, R., 1976, "Ultrasound, Proceedings of the 8th World Conference on NDT" , pp. 1-7.
- Goebbels, K., 1980, "Structure analysis by scattered ultrasonic radiation", Research Techniques in Nondestructive Testing V. IV, R.S. Sharpe (Ed.), Academic Pres, New York, pp. 67-74.
- Goebbels, K., 1986, "Ultrasonics for microcrystalline structure examination, Philosophical Transactions of the Royal Society of London A320, pp. 161-169.
- Halmshaw, R., 1991, "Non-Destructive Testing" , St Edmundsbury Pres, second edition, Part-4, United Kingdom.
- Hearmon, R.F.S., 1981, "Solid State Communications", pp.37-915.

Hilliard, J. E., 1963, "Northwestern University, Dept. of Materials Research Center", Internal Report.

Hirsekorn, S., 1982, "The scattering of ultrasonic waves by polycrystals", Journal of the Acoustical Society of America 72, pp. 1021-1031.

Hirsekorn, S., 1983 a, "The scattering of ultrasonic waves by polycrystals. II. Shear waves", Journal of the Acoustical Society of America 73, pp. 1160-1163.

Hirsekorn, S., 1983 b, "Scattering of ultrasonic waves in single phase polycrystalline metals including multiple scattering" In: P. Höller, Editors, New procedures in nondestructive testing (proceedings), Springer, Berlin, pp. 265-275.

Howry, D.H. and Bliss, W.R., 1952, "Ultrasonic visualization on soft tissue structures of the body", J. Lab. Clin. Med., 40; pp. 579-592.

Huntington, H.B., 1950, "On ultrasonic scattering by polycrystals", Journal of the Acoustical Society of America 22, pp. 362-364.

http://www.aclassmetal.com.au/plate_nickol.htm, 19.05.2004.

İşleyici, U., 2005, "Yüzey Pürüzlülüğünün Ultrasonik Muayeneye Etkisi" Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Kasai, C., Namekawa, K., Koyana, A. and Omoto, R., 1985, "Real-time two dimensional blood flow imaging using an autocorrelation technique", IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics SU-32, pp. 458-463.

Kosolapova, T. Y., 1971, "Carbides Properties, Production and Applications", Plenum Press, New York-London.

Landau, L.D. and Lifshitz, E.M., 1959, "Theory of Elasticity", Pergamon Press, London.

- Margetan, F.J., Gray, T.A. and Thompson, R.B., 1992 a, "A technique for quantitatively measuring microstructurally induced ultrasonic noise", Review of Progress in Quantitative NDE 10, D.O. Thompson and D.E. Chimenti (Eds.), Plenum pres, New York, pp. 1717-1724.
- Margetan, F.J., Thompson, R.B., Han, Y.H.K., Paxson, A.J. and Shamblen, C.E., 1992 b, "Relationship of microstructure to backscattered ultrasonic noise", Review of Progress in Quantitative NDE 11, D.O. Thompson and D.E. Chimenti (Eds.), Plenum pres, New York, pp. 1685-1691.
- Mason, W.P. and McSkimin, H.J., 1947, "Attenuation and scattering of high frequency sound waves in metals and glasses " Journal of the Acoustical Society of America 19, pp. 464-473.
- Miller, N.R. and Bamber, J.C., 2000, "Thresholds for visual of Young' s modulus contrast in simulated ultrasound image movies", Physics in medicine and Biology 45, 8, pp. 2057- 2079.
- Nagy, Peter B., 2003 Ultrasonic Nondestructive Evaluation, pp. 20-251-729.
- O'Brien, W.D., Sagar, K.B., Warltier, D.C. and Rhyne, T.L., 1995, "Acoustic propagation properties of normal, stunned and infarcted myocardium: Morphologic and Biochemical determinants", Circulation 91, pp. 154-160.
- Ören, Polat., Bacaksız, T., 2000, "Kompozit Malzemeler İçin Kullanılan Hasarsız Kontrol Yöntemleri" Anadolu Üniv. Sivil Havacılık Yüksekokulu, Eskişehir.
- Özdemir Tuba., 2006, "Bor Karbür Esaslı Seramik Metal Kompozitlerinin Ultrases Dalga Hız Metodu ile Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini" Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniv. Fen Bilimleri Ens.

- Palanichamy, P., Joseph, A., Jayakumar T. And Raj, B., 1995, Ultrasonic velocity measurements for estimations of grain size in austenitic stainless steel, *NDT&E International* 28,3, pp. 179-185.
- Papadakis, E. P., 1965, "Journal of the Acoustical Society of America 37", pp. 703-710.
- Pascoe, K.J., 1985, *Properties of Materials for Electrical Engineers*", John Wiley & Sons, New York, 324 p.
- Peker, M., 1989, "Ultras ses ile Katı, Sıvı ve gaz Ortamların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Pekeris, C.L., 1947, "Note on the scattering of radiation in an inhomogenous medium", *Physical Review Letters* 71, pp. 268-269.
- Petculescu, P., Matei, J., 2004, "Ultrasonics Investigation of n-Si Samples", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* Vol. 6, No. 1, pp. 253-260.
- Picot, P.A., Rickey, D.W., Mitchell, R., Rankin, R.N. and Fenster, A., 1993, "Three-deminsional colour Doppler imaging", *Ultrasound in Medicine and Biology* 19, pp. 95-104.
- Quehellalt, D. T., 2000, *Laser ultrasonic investigations of vertical bridgman crystal growth*, ph.,D.thesis, University of Virginia, 226p.(unpublished)
- Rayleigh, Lord., 1899, "On the Transmission of light through an atmosphere containing small particles in suspension, and on the origin of the blue sky", the *Philosophical Magazine* 47, pp. 375-383.
- Rayleigh, Lord., 1929, *Theory of Sound* Vol.2, Macmillan Co., New York, pp. 152.
- Rieck, G.D., 1967, "Tungsten and its Compounds", Pergamon Pres Oxford.

- Sokolov, S.Y., 1929, "On the problem of propagation of ultrasonic oscillations in various bodies", *Elek. Nachr. Tech.*, 6:454-460.
- Rose, J.H., 1992, "Ultrasonic backscatter from microstructure", *Review of Progress in Quantitative NDE 11*, D.O. Thompson and D.E. Chimenti (Eds.), Plenum pres, New York, pp. 1677-1684.
- Roth, W., 1948, "Scattering of ultrasonic radiation in polycrystalline metals", *Journal of Applied Physics* 19, pp. 901-910.
- Russell, M.D. and Neal, S.P., 1994 a, "Grain noise power spectrum estimation for weak scattering polycrystalline materials using experimentally estimated backscatter coefficients: normal incidence", *Ultrasonics* 32, pp. 163-171.
- Russell, M.D. and Neal, S.P., 1994 b, "Grain noise power spectrum estimation for weak scattering polycrystalline materials using experimentally estimated backscatter coefficients: oblique incidence", *Ultrasonics* 32, pp. 173-180.
- Saniie, J. and Bilgutay, N.M., 1986, "Quantative grain size evaluation using ultrasonic backscattered echoes", *Journal of the Acoustical Society of America* 84, pp. 400-408.
- Sarpün, İ.H., 1998 "Ultraseler ile Mermer Bloklarının İç Yapısının ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tayini" Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniv., Fen Bilimleri Ens.
- Sarpün, İ.H., 2004, "Ultraseler Yöntemi ile Çeşitli Mermerlerin Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini", Doktora Tezi, Osmangazi Üniv., Fen Bilimleri Ens.
- Sarpün, İ.H., Doğan, M., 2004, "Ultrasonik materyal Karakterizasyonu", Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, pp. 1-5.

- Satomura, S., 1957, "Ultrasonic Doppler method for the inspection of cardiac functions", *Journal of the Acoustical Society of America* 29, pp. 1181-1185.
- Schneider, E., 1998, "Nondestructive characterization of state and properties of aluminium structures", 7th European Conference on Non-Destructive Testing, Copenhagen.
- Strandness, D.E., Schults, R.D., Sumner, D.S and Rushmer, R.F., 1967, "Ultrasonic flow detection: a useful technique in the evaluation of peripheral vascular disease", *American Journal of Surgery* 113, pp. 311-320.
- Turan, S., 1998, "Taramalı Elektron Mikroskopu ve Uygulamaları", *Seramik Araştırma Merkezi, Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.*
- Thevenot, F., in: Ganguly, C., Roy, S.K., Roy, P.R.(Eds.), 1991, "Advanced Ceramics, Key Engineering Materials", Vols.56-57, TransTech, Zurich, pp. 59.
- Thompson, R.B., Margetan, F.J., Han, Y.H.K., Paxson, A.J. and Shamblen, C.E., 1992,
- Thorsos, E.I., 1988, "The validity of the Kirchhoff approximation for rough surface scattering using a Gaussian roughness spectrum", *Journal of the Acoustical Society of America* 83, pp. 78-92.
- Töyräs, J., Rieppo, J., Nieminen, M.T., Helminen, H.J. and Jurvelin, J.S., 1999, "Characterization of enzymatically induced degradation of articular cartilage using high frequency ultrasound", *Physics in Medicine and Biology* 44, 11, pp. 2723-2733.
- Trétout, H., 1998, "Review of advanced ultrasonic techniques for aerospace structures", 7th European Conference on Non-Destructive Testing, Copenhagen.

- Vary, A., 1980, "Ultrasonic measurement of material properties", Research Techniques in Nondestructive Testing V. IV, R.S. Sharpe (Ed.), Academic Pres, New York.
- Von Ramm, O.T., and Smith, S.W., 1990, "Real time volumetric ultrasound imaging system", Journal of Digital Imaging 3, pp. 261-266.
- Wells, N.T., 1969, "A range-gated ultrasonic Doppler system", Medical & Biological Engineering 7, pp. 641-652.
- Wells, N.T., Haris, R.A. and Halliwell, M., 1992, "The envelope that tissue imposes on achievable ultrasonic imaging", Journal of ULtrasound in Medicine 11, pp. 433-439.
- Wild, J.J., 1950, "The use of ultrasonic pulses for the measurement of biological tissues and the detection of tissue density changes", Surgery 27, pp. 183-188.
- Wild, J.J. and reid, J.M., 1952, "Application of echo- ranging techniques to the determination of structure of biological tissues", Science 115, pp. 226-230.
- Wild, J.J. and reid, J.M., 1953, "The effects of biological tissues on 15-mc pulsed ultrasound", Journal of the Acoustical Society of America 25, pp. 270-286.
- Wirgin, A., 1989, "Scattering from hard and soft corrugated surfaces: iterative corrections to the Kirchhoff approximation through the extinction theorem ", Journal of the Acoustical Society of America 85, pp. 670-679.
- Yılmaz, F., Akbulut, H., 1994, "Seramik Partiküllerle Takviye Edilmiş Alümiyum-Bakır Alaşımlarının İncelenmesi" Tübitak Makine Malzeme ve İmalat Sistemleri Araştırma grubu.

Yılmaz, M., Altıntaş, S., 1997 “Al-SiC_p Kompozitinin Isıl Çevrim Koşulu Altında Davranışının Teorik ve Deneysel İncelenmesi”, 9. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, pp. 721-726, İstanbul.

Zhang, W.X., Huang, N., He, J.G., Jiang, Z.H., Jiang, Q., Lian, J.S., 2007 , “Electroless deposition of Ni-W-P coating on AZ91D magnesium alloy”, Applied Surface Science 253, pp. 5116-5121.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Saliha ELMAS
Doğum Yeri	Karacabey/ BURSA
Doğum Tarihi	13.06.1980
Medeni Hali	Bekâr
Yabancı Dili	İngilizce
	Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise	Karacabey Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı) (1995-1999)
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi (2001-2005)
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi (2005-2008)
	Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

Yayımları (SCI ve diğer)

“Kompozitlerin Elastik Özellikleri” İsmail Hakkı SARPÜN, Saliha ELMAS, Rıdvan ÜNAL, Hüseyin Ali YALIM, Bekir ORUNCAK, Ayhan EROL
Türk Fizik Derneği 24. Uluslararası Fizik Kongresi İnönü Üniversitesi / Malatya,
TÜRKİYE (28 - 31 Ağustos 2007)

“Elastic Properties of Composites” konulu makale BALKAN PHYSICS LETTER’ da
yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.