

TUNGSTEN KARBÜR ESASLI SERAMİK METAL  
KOMPOZİTLERİN ULTRASES DALGA HIZ METODU İLE  
ORTALAMA TANECİK BOYUTLARININ TAYİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem SEVİM

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İ. Hakkı SARPÜN

FİZİK ANABİLİM DALI

OCAK 2008

Bu tez çalışması AKÜ BAPK 06.FENED.11 numaralı proje ile desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUNGSTEN KARBÜR ESASLI SERAMİK METAL KOMPOZİTLERİN  
ULTRASES DALGA HIZ METODU İLE  
ORTALAMA TANECİK BOYUTLARININ TAYİNİ

Özlem SEVİM

DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. İ. Hakkı SARPÜN

FİZİK ANABİLİM DALI

OCAK 2008

## ONAY SAYFASI

İ. Hakkı SARPÜN'ün danışmanlığında,  
Özlem SEVİM tarafından hazırlanan  
TUNGSTEN KARBÜR ESASLI SERAMİK METAL KOMPOZİTLERİN  
ULTRASES DALGA HIZ METODU İLE  
ORTALAMA TANECİK BOYUTLARININ TAYİNİ  
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri  
uyarınca  
25/01/2008  
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
Fizik Anabilim Dalında  
yüksek lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Doç. Dr. Hüseyin AKBULUT	
Üye	Yrd. Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM	

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

Doç. Dr. Zehra BOZKURT  
Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>TEŞEKKÜR</b>	v
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	ix
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. LİTERATÜR BİLGİLERİ</b>	3
2.1 Ultrasesin Tanımı	3
2.2 Ultrasesin Keşfi ve Tarihi Gelişimi	3
2.3 Ultrasesin Temel Nitelikleri	4
2.3.1 Ultrasesin Yapısı	4
2.3.2 Ultrasesin Kullanım Alanları	5
2.3.3 Akustik Empedans	6
2.3.4 Enerjetik Yönü	7
2.3.5. Ses Basıncı	7
2.3.6. Ultrasonik Dalgaların Özellikleri	7
2.3.7. Ultrasonik Dalgaların Yansıması ve İletimi	8
2.4 Ultrases Dalga Çeşitleri	9
2.4.1. Boyuna Ultrases Dalgaları	9
2.4.2. Enine Ultrases Dalgaları	10
2.4.3. Yüzeysel Ultrases Dalgaları	10
2.5. Ultrases Ölçüm Metotları	11
2.5.1. Geçiş Metodu	11
2.5.2. Yansıma Metodu	12
2.5.3. Rezonans Metodu	12
2.5.4. Geçiş, Yansıma ve Rezonans Metodlarının Karşılaştırılması	13
2.6. Kompozit Malzemeler	13

2.6.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	13
2.6.2. Tungsten Karbür (WC) Hazırlık ve Üretimi	14
2.6.3. Kullanım Alanları	16
<b>3. MATERYAL ve METOD</b>	
3.1. Giriş	18
3.2. Numune Hazırlama	18
3.2.1. Kullanılan Malzemeler	19
3.2.2. Yapılan İşlemler	20
3.3. Deney Düzeneği	
3.3.1. Hız Ölçüm Metodu	21
3.3.2. Ultrases Dalga Hızı Ölçüm Deney Sistemi	23
3.3.3. Transducer	25
3.3.4. Deneysel İşlemler	25
<b>4. DENEYSEL BULGULAR</b>	
4.1. Deneysel Çalışma	28
4.2. Materyal Analizi	
4.2.1. Sinterleme Sonrası SEM Analizi	28
4.3. Ultrases Hız Deney Sonuçları	31
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR</b>	35
<b>KAYNAKLAR</b>	37
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	43

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TUNGSTEN KARBÜR ESASLI SERAMİK METAL KOMPOZİTLERİN

ULTRASES DALGA HIZ METODU İLE ORTALAMA TANECİK

BOYUTLARININ TAYİNİ

Özlem SEVİM

**Afyon Kocatepe Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. İ. Hakkı SARPÜN

Bu çalışmada Ultrases dalga hız metodu kullanılarak tungsten karbür (WC) – nikel (Ni)'den oluşturulan seramik kompozitleri 2, 4 ve 5 MHz'lik probalar kullanılarak ortalama tanecik boyutlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Numuneler 1000°C'den 1300°C'ye değişen farklı sıcaklıklarda Argon atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrası SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizleri yapılmıştır. Ayrıca elektrik akımsız nikel kaplanan WC tozlarının seramik-metal kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik hız-tane boyut temel grafiği 2, 4 ve 5 MHz'lik ultrasonik probalar kullanılarak oluşturulmuştur.

Bu çalışma numunelerin ortalama tanecik boyut ve ultrasonik hız ilişkisini göstermektedir. Kısaca, kompozit örneklerimizin ultrasonik hızlarının numunelerin ortalama tanecik boyut değerleriyle arttığını görüyoruz.

“Bu çalışma, AKÜ BAPK 06-FENED-11 Projesi kapsamında desteklenmiştir”.

2008-55 sayfa

**Anahtar kelimeler:** Tungsten Karbür, Sinterleme, Ultrases Hızı, Tanecik Boyutu

## ABSTRACT

Manual of Manuscript Preparation

THE MAIN SIZE DETERMINATION BY ULTRASONIC  
VELOCITY TECHNIQUE IN BASIC TUNGSTEN CARBIDE OF CERAMIC  
METAL COMPOSITES

Özlem SEVİM

**Afyon Kocatepe University**  
**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Supervisor:** Asst. Prof. Dr. İsmail H. SARPÜN

In this study, the main grain size of ceramic composites, made from tungsten carbide (WC) – nickel (*Ni*) has been determined with ultrasonic velocity technique by using 2, 4 and 5 MHz transducers. Samples were sintered at different temperatures ranging from 1000°C to 1300°C in Argon atmosphere. SEM (Scanning Electron Microscopy) analysis' are used after sintering process. The production of ceramic metal composites using WC powders plated with NiCl<sub>2</sub> by electroless method were also attempted. Ultrasonic velocity-grain size master graph was plotted using 2, 4 ve 5 MHz ultrasonic transducer.

This work has shown the relation of ultrasonic velocity and average grain size of samples. by this work, we have seen that the ultrasonic velocities of our composite samples are increasing with the average grain size of the samples.

“This work has been supported by AKU Research Grant Number 06.FENED.11”

2008-55 pages

**Keywords:** Tungsten Carbide, Sintering, Ultrasonic Velocity, Mean Grain Size.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimde alıŐma konusunu veren, alıŐmalarım boyunca ve ayrıca tüm zor anlarımda hep yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini asla esirgemedenden paylaŐan, Değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. İ. Hakkı SARPÜN'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve Sabri TUNCEL'e ve Fen Edebiyat Fakóltesi Fizik Bölümü'ndeki bütün hocalarıma çok teşekkür ederim.

Kompozit malzemelerinin hazırlanmasında yardımlarını hiç esirgemeyen ve teknik konularda her zaman bilgilerini paylaŐan Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Ayhan EROL'a teşekkür ederim. Deneysel işlemler sırasında her an bilgilerini paylaŐan ve çalışmalar sırasında yardımcı olan Teknisyen Birol EROL'a teşekkür ederim.

ÇalıŐmalarım boyunca benden hiçbir desteğini esirgemeyen eŐime, anneme, babama, Hüseyin ve Özden'e çok teşekkür ederim.

Bu alıŐma AKÜ BAPK 06-FENED-11 no'lu proje ile desteklenmiştir.

Özlem SEVİM



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### 1. Simgeler

a	Tane yarıçapı
A	Titreşim genliği
c	Dalga hızı
C	Esneklik katsayısı
f	Frekans
$\rho$	Yoğunluk
I	Ultrases enerji şiddeti
K	Dalga sayısı
P	Ses basıncı
R	Yansıma katsayısı
T	Geçme katsayısı
T	Sıcaklık
V	Ultrases dalga hızı
Z	Akustik empedans
$\Lambda$	Dalga boyu
$E_T$	Geçen enerji
$E_R$	Yansıyan enerji

### 2. Kısaltmalar

TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu
SEM	Scanning Electron Microscopy
NDT	Non-Destructive Testing
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
<b>Şekil 1</b>	Piezoelektrik Olay	4
<b>Şekil 2</b>	Düzlem sınırına normalden bir cisim veya ışının düşmesi durumundaki akustik bir dalganın yansıma ve yayılması	8
<b>Şekil 3</b>	Boyuna dalga yayılımı	10
<b>Şekil 4</b>	Enine dalga yayılımı	10
<b>Şekil 5</b>	Yüzeysel ultrases dalgası	11
<b>Şekil 6</b>	Geçiş yönteminde numunenin transducer'ların numuneye bağlanması	12
<b>Şekil 7</b>	Yansıma metodunda numuneye transducer bağlanması	12
<b>Şekil 8</b>	WC-Ni Denge Diyagramı	15
<b>Şekil 9</b>	Sinterlemede kullanılan tüp fırın	21
<b>Şekil 10</b>	Ultrases dalga hızı ölçüm metodunda referans numuneleri ile çizilen hız-tanecik boyu referans grafiği	22
<b>Şekil 11</b>	Referans grafik kullanılarak bulunan tanecik boyutları ve metalografik olarak elde edilen tanecik boyutlarının kıyaslanması	23
<b>Şekil 12</b>	Ultrases hız ölçümlerinde kullanılan Sonatest CH700-P SWITCH Li-ion cihazı	24
<b>Şekil 13</b>	Ekranında oluşan üç pikin gösterimi	24
<b>Şekil 14</b>	Sistemde kullanılan transducerlar	25
<b>Şekil 15</b>	(a) 1000C'de Kaplamalı WC-Ni (b) 1000C'de Kaplamasız WC- Ni	29
<b>Şekil 16</b>	(a) 1100C'de Kaplamalı WC-Ni (b) 1100C'de Kaplamasız WC- Ni	29
<b>Şekil 17</b>	(a) 1200C'de Kaplamalı WC-Ni (b) 1200C'de Kaplamasız WC- Ni	30
<b>Şekil 18</b>	(a) 1300C'de Kaplamalı WC-Ni (b) 1300C'de Kaplamasız WC- Ni	30
<b>Şekil 19</b>	Kaplamasız WC-Ni numunelerinin sinterleme sıcaklığı – ultrases hız grafiği	31

<b>Şekil 20</b>	Kaplamalı WC-Ni numunelerinin sinterleme sıcaklığı – ultrases hız grafiği	32
<b>Şekil 21</b>	Kaplamasız WC-Ni numunelerinin tanecik boyutu – ultrases hız grafiği	33
<b>Şekil 22</b>	Kaplamalı WC-Ni numunelerinin tanecik boyutu – ultrases hız grafiği	33

## ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
<b>Çizelge 1</b>	Ultrasonik ölçümler ve uygulama kategorileri	6
<b>Çizelge 2</b>	Tungsten Karbürün (WC) Özellikleri	16
<b>Çizelge 3</b>	Hazırlanan numunelerin özellikleri	19
<b>Çizelge 4</b>	Kaplamasız WC-Ni numunelerinin ultrases hızları	31
<b>Çizelge 5</b>	Kaplamalı WC-Ni numunelerinin ultrases hızları	31
<b>Çizelge 6</b>	Kaplamasız WC-Ni numunelerinin tanecik boyutu ölçümleri	32
<b>Çizelge 7</b>	Kaplamalı WC-Ni numunelerinin tanecik boyutu ölçümleri	32

## 1. GİRİŞ

Ultrases, frekansı 20 KHz'in üzerinde olan seslere denir. Ultrasesin birçok kullanım alanı mevcuttur. Ultrasonik ölçüm yöntemi, kalite kontrol testi, kalınlık ölçme, yüzey düzgünlüğü ve çatlak kontrolü yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Ultrasonik deneyler, ultrasonik dalgalarının malzemenin içinden geçerken sönümlenmesi, saçılması ve yansımaları olaylarına dayanmaktadır.

Ultrases ile yapılan tahribatsız muayene (NDT, non-destructive testing), mekaniksel özellikleri tayin etmek için gerekli olan tahribatlı muayenelerden biraz daha pahalı olmasına rağmen, çoğu analitik ve deneysel çalışmalar ultrases kullanan NDT bilgilerinden mikro yapının hangi özelliklerinin ve bu özelliklerin nasıl elde edilebileceği konusunda gerçekleştirilmiştir (Sarpün 1998). Materyalin mikro yapısal karakterizasyonu; izotrop olmayan materyalde tane boyutu, çatlak, eklenilen madde, geometrik yapı ve ayrıca bileşiminde bulunan maddenin azalma miktarını anlamada ve mekanik özelliklerin tahmin kalitesini sağlamada önemli bir yere sahiptir (Thang ve Kim 1999).

Numune olarak kullanılan seramik; yüksek performanslı seramik malzemelerdendir. Bu malzemenin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz; ağırlığı hafiftir, sertliği yüksektir, aşınması azdır, erime noktası yüksektir, ileri uygulamalarda kullanılır ve yapı endüstrisinde olduğu gibi çoğu endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır.

Seramikler, inorganik maddelerdir ve metal olmayan kimyasal maddeler yüksek sıcaklıkta işlemlerden geçerler. Seramik kalitesini etkileyen faktörler; tanecik boyutu, pişirilme sıcaklığı ve bileşimini oluşturan element türüdür (Özdemir 2006).

Bu tezin ikinci bölümünde ultrasesin tanımı, keşfi ve tarihi gelişimi, ultrases dalgalarının elde edilmesi, temel nitelikleri, dalga çeşitleri ve ölçüm metodları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde; numune hazırlama, kullanılan malzemeler, deney düzeneği, elektrik akımsız (Electroless) nikel kaplama incelenmiştir.

Dördüncü bölümde ise deneysel çalışma sonuçlarını içeren deneysel veriler, hazırlanan kompozit malzemelerden elde edilen ultrasonik ölçümler ve sonuçlar verilmiştir. SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizleri bulunmaktadır.

En son olarak ise ultrases deney sonuçları ile SEM'den alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Ultrasesin materyal karakterizasyonunda ilk kullanımı 1929 yılında Sokolov tarafından yapılmıştır. Daha sonra 1943 yılında Firestone tarafından tek transducer yardımı ile puls-eko tekniği geliştirilmiştir.

Ultrases test edilecek numuneye zarar vermediği için, 1945 yılından itibaren tıp ve malzeme analizi alanları başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.

### 2. 1. Ultrasesin Tanımı

Ses maddesel ortamlarda boyuna dalgalar halinde yayılan bir enerji türüdür. Bir cisim titreşiyorsa enerjisini bulunduğu ortama ses kaynağı gibi dalgalar halinde yayar.

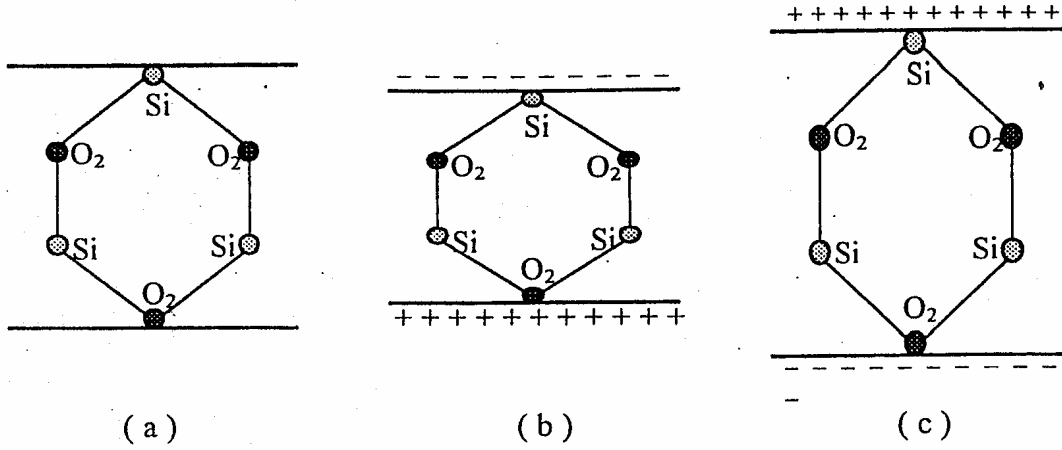
Sesler sahip oldukları frekanslara göre adlandırılmaktadırlar. Frekansı 16 KHz'in altında bir değere sahip sesler **infrases**, 20 KHz'in üzerindeki bir değerde frekansa sahip seslere **ultrases** denir. 16 KHz ve 20 KHz'in arasında bir değerde frekansa sahip sesler insan kulağı tarafından duyulabilen seslerdir.

### 2. 2. Ultrasesin Keşfi ve Tarihi Gelişimi

1880 yılında Pierre ve Paul Jacques Curie kardeşler piezoelektrik etkiyi keşfetmişlerdir. Bir yıl sonra da G. Lippmann teorik olarak ters piezoelektrik olayı bulmuştur ve sonrasında Curie kardeşler deneysel olarak piezoelektrik olayı kanıtlamışlardır. Piezoelektrik olay, bazı kristal veya seramik malzemelerin üzerine mekanik bir basınç uygulanması sonucu, elektriksel gerilimin oluşmasıdır (Şekil 1).

1914-1918 yılları arasında Fransız Fizikçi Paul Langevin düşman denizaltıları izlemek için kullanılan bir ultrases alıcısı ve vericisi yapmıştır. Daha sonra ultrases üzerine yoğunlaşmış ve birçok alanda kullanımı sağlanmıştır. Ultrasesin, materyal

karakterizasyonunda ilk kullanımı 1929 ve 1935 yıllarında bilim adamı Sokolov tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Piezoelektrik olay; (a) Numunenin nötr hali, (b) Numuneye dış etki olması ve sıkışma, (c) Numunede dış etki sonrası kutuplaşma olması ve gevşeme (Sarpün 1998).

## 2. 3. Ultrasesin Temel Nitelikleri

### 2. 3. 1. Ultrasesin Yapısı

Ultrasonik dalgaların yayılması ortamın parçacıkları arasındaki bağ kuvvetlerine esneklik sınırları içerisinde etki edilmesiyle sağlanır. Dalgaların uyguladığı basınç esnek olarak atomdan atoma iletilir. Dalgaların yayılması göz önüne alındığında, birisi ortamdaki parçacıkların titreşim doğrultusu, diğeri ses dalgalarının ortam içindeki ilerleme doğrultusu olmak üzere iki doğrultuya göre boyuna ve enine isimli iki tip dalga ve bu iki dalganın kombinasyonu ile oluşan yüzey dalgaları tanımlanabilir.

Ultrases mekanik bir enerji çeşididir ve ultrasesin oluşturulmasında ve algılanmasında transducerlar kullanılır. Ortamda yayılan bir dalganın hızı sabitse kaynağın frekansı değiştirilerek yayılan dalganın dalga boyu değiştirilebilir. (1) denkleminde bunu gözlemleyebiliriz.

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



### 2. 3. 2. Ultrasesin Kullanım Alanları

Ultrases kullanımı 1945'den sonra gelişmiştir. Numune ve dokuya zarar vermediği için tıpta ve malzeme analizinde kullanılmaktadır.

Mason ve McSkimmin (1947) tarafından ultrases ile malzeme hızı ve azalma (attenuation) ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Azalma metodu ile tanecik boyutu belirlemesini Roderick ve Truell (1952) gerçekleştirmiştir.

Hilliard (1963) ve Aldrige (1969), alıcı transducerdan gelen bilgileri değerlendirip tanecik boyutu belirleme yöntemini geliştirmişlerdir. Teorik açıklamasını ise Papadakis (1965) yapmıştır. Beecham (1966) da geri yansıma tekniği ile tanecik boyutu belirlemesinin ilk deneysel çalışmasını yapmıştır. Bununla ilgili teorik çalışmayı Fay ve arkadaşları (1976) gerçekleştirmiş ve değişik yapılara uygulanmasını Goebbels ve Höller (1976) yapmıştır.

Son yıllarda ultrases ve uygulamaları hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. Materyal karakterizasyonun da kullanılan yöntemler yutulma (attenuation) ölçümleri, geri-yansıma metodu, grafik metodu, ilk arka yüzey yansıma metodu, ultrases dalga hız metodudur (Sarpün 1998).

Endüstrideki kullanımı, boyut ve yakınlık analizi, çok tabakalı materyaldeki tabakalar halinde dizimi, mekanik özellikleri ve materyal karakterizasyonunu içerir, metalde kusur bulmayı sağlar; anizotropi ve heterojenlik ölçümleri; kimyasal korozyon; kristallendirme ve polimerizasyon; sıvı ve gaz akış metreleme; yüzey görüntüsü ve materyalin iç yapı özellikleri; granül mikro yapısı ve dokusu; uygulanan ve artan zorlamaları; yüksek sıcaklık değerleri; yapay zeka, yapısal ve elektronik materyaller, uçak ve uzay, plastikler ve kompozitler, anayol ve uçak iniş yolları, köprüler ve demiryolları ve daha birçok alandadır (Özdemir 2006).

Ultrasesin ortamla etkileşmesi sonucu numune ile ilgili bilgi elde edilmektedir. Çizelge 1'de malzeme analizleri ve bunların endüstriyel kullanımları verilmiştir.

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

ÖLÇÜM KATEGORİSİ	ÖLÇÜLEN PARAMETRELER	UYGULAMALAR
Zaman Bölgesi	Zamana göre ultras es dalgasının; Şiddetinin değ iş imi Hızının ölçümü (boyuna, enine ve yüzey dalgaları)	Yoğunluk, kalınlık, kusur bulma, elastik ve mekaniksel özellikler, yüzey analizi, anizotropi, homojenlik, boyut analizi, robotbilim, uzaktan algılama
Yutulma (Azalma) Bölgesi	Ultras es dalgasının verilen frekanstaki ve ışık boyutundaki geçen ve yansıyan kısımlarındaki dalgalanmaların incelenmesi	Numunedeki kusurların, yüzey ve iç mikroyapılarının, iç yüzey analizlerinin belirlenmesi
Frekans Bölgesi	Ultras es Yutulma-Frekansa bağı lığı veya Ultrasonik Spektroskopi	Mikroyapı, tane boyut, tane sınır ilişkileri, gözeneklilik, yüzey karakterizasyonu, faz analizleri
Görüntü Bölgesi	Zamana göre ş iddet, hız ve yutulma'daki değ iş imlerin görüntü haline getirilmesi	Yüzey ve kusurların iç görüntüleri, mikroyapı, yoğunluk, hız, mekanik özellikler, 2-D ve 3-D görüntüleme

### 2. 3. 3. Akustik Empedans

Ortamın sesin yayını mına karşı gösterdiği dirence **akustik empedans** denir. Farklı ortamlar farklı akustik empedanslara sahiptirler. Akustik empedans,

$$Z = \rho V \quad (2)$$

$\rho$ : ortamın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

Z: akustik empedans (kg/m<sup>2</sup>s)

V: sesin ortamdaki yayılma hızı (m/s)

ile bulunur. İki ortamın arakesitine gelen ultras es dalgası, iki materyal farklı akustik empedanslara sahiplerse geçen dalganın enerjisi  $E_T$ ,

$$E_T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \times 100 \quad (3)$$

ve yansıyan enerji  $E_R$ ,

$$E_R = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \times 100 \quad (4)$$

şeklinde gösterilir (Bhardwaj 2000).

### 2. 3. 4. EnerjetikYönü

Ultras, titreşim hareketleriyle doğan, yayılan ve algılanan sestir. Titreşim hareketleri yaptıkları için aynı zamanda mekanik bir enerjidir. Bu enerjiden etkilenecek titreşen atom ve moleküller bulunur. Etkilenen atomların ve moleküllerin genlikleri arasındaki bağıntı;

$$I = \frac{1}{2} Z w A^2 \quad (5)$$

şeklindedir.

I (W/m<sup>2</sup>): ultrases enerji çeşidi

A (m): titreşim genliği

Z (kg/m<sup>2</sup>s): ortamın akustik empedansı

$w = 2\pi f$  (s<sup>-1</sup>) : açısal frekans

### 2. 3. 5. Ses Basıncı

Ses, titreşim hareketiyle ilerlediğinden geçtiği noktalara basınç uygular ve bu basınca **ses basıncı** denir (Özdemir 2006).

$$P = Z w A \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir.

P (N/m<sup>2</sup>): ses basıncının genliğidir.

$$I = \frac{1}{2} \frac{P^2}{Z} \quad (7)$$

ise akustik ses şiddeti ve akustik basınç arasındaki bağıntıdır.

### 2. 3. 6. Ultrasonik Dalgaların Özellikleri

Ultrasonik dalgaya ait özellikleri şöyle sıralayabiliriz:

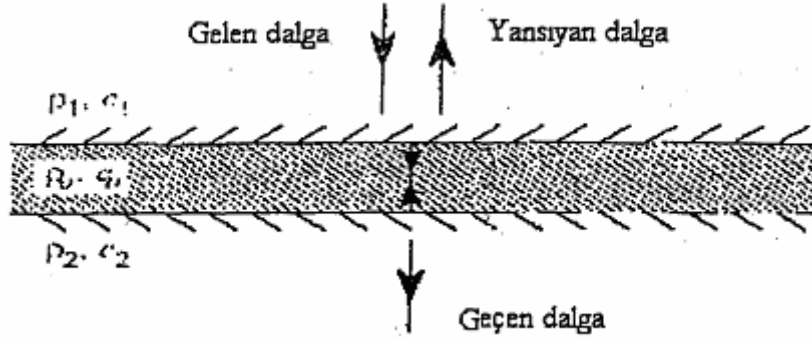
- ❖ Yüzeyde yansıma ve kırılma.
- ❖ Yüzeyde, açılı bir cisim veya ışının üzerine düşmesiyle durum değiştirmesi.
- ❖ Yutulma (attenuation).

- ❖ Dalga boyu, frekans ve hız.
- ❖ Yakın ve uzak alanlarda ışının yayılması.

Titreşim yapan bir parçacığın zaman içerisinde genliğinin maksimum ve minimum arasında salınım yapması **dalgayı** meydana getirir. İki çeşit dalga vardır; elektromanyetik ve mekanik dalgalar. Elektromanyetik dalgalar boşlukta da yayılabilirler ama mekanik dalgalar sadece esnek ortam içerisinde yayılırlar. Ultrases dalgaları da mekanik dalgalardandır.

### 2. 3. 7. Ultrasonik Dalgaların Yansıması ve İletimi

Ultrasonik dalgalar, materyallerin elastik özelliklerine ve elektrik akımlı parça titreşimlerine göre farklı dalga boylarına sahiptir. Dalgalar yüzey normaline gelince yansıma ve yayılma gerçekleşir. Şekil 2’de gösterilen üç dalga gelen, yansıyan ve geçen dalgalar olarak adlandırılır.



Şekil 2. Düzlem sınırına normalden cisim veya ışının düşmesi durumundaki akustik bir dalganın yansıma ve yayılması (Halmshaw 1991).

Dalgalar yüzey normaline gelince yansıma ve geçme (yayılma) gerçekleşir. Şekilde gösterilen üç dalga gelen, yansıyan ve geçen dalgalar olarak adlandırılır.

Geçen ve yansıyan dalgaların genliği yer değiştirmeler hesaplanarak bulunmaktadır ve zorlamalar yüzeyde aynı olmalıdır. Mükemmel bir yüzey için;

$$R^{Yerdeğerdenme} = \frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (8)$$

$$T^{Yerdeğerdeme} = \frac{A_t}{A_i} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (9)$$

yerdeğiştirme genlik oranlarıdır.

$$R^{zorlanma} = -\frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (10)$$

$$T^{zorlanma} = \frac{Z_2}{Z_1} \frac{A_t}{A_i} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (11)$$

zorlama (basınç) genlik oranlarıdır. Bu sonuçlar, her materyalde kendi akustik empedansı açısından görülmektedir.

$R$ (Reflectance): Yansıma.

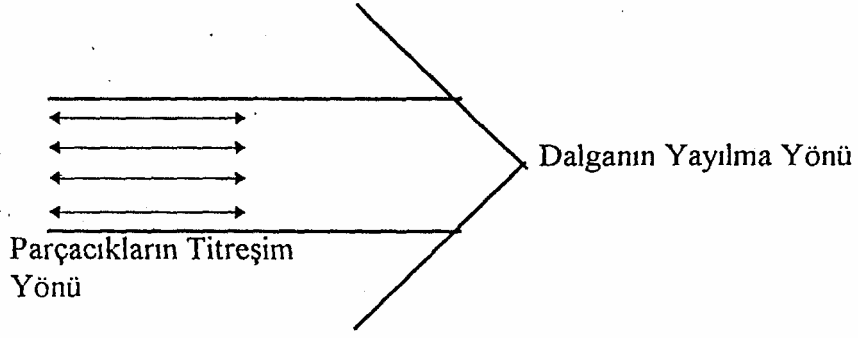
$T$  (Transmittance): Geçme.

## 2. 4. Ultrases Dalga Çeşitleri

Ultrases dalgaları ve genel olarak bütün dalgalar, dalganın ilerleme yönü ile parçacığın titreşim yönüne göre sınıflandırılır.

### 2. 4. 1. Boyuna Ultrases Dalgaları

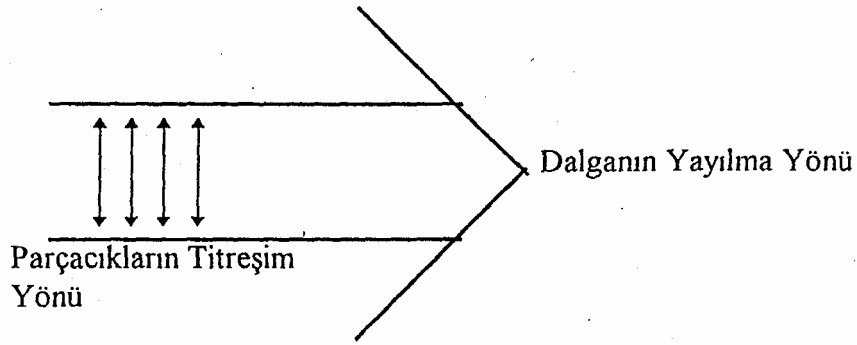
Yüzeye yakın parçacıklar yüzeye dik olarak titreştiklerinde **boyuna dalgalar** meydana gelir. Kinetik enerjiyi ilk parçacıktan yanındakine iletirler. Parçacıkların, ortam içerisinde titreşim doğrultularıyla dalga yayılma doğrultuları aynıdır ve parçacıklar arası bağ zayıf olsa da boyuna dalgalar katı, sıvı ve gaz ortamlarda oluşabilmektedir. İçinde buldukları ortamı esneklik sınırları içerisinde sıkıştırmaya ve çekmeye zorlayarak yayıldıkları için bunlara **basınç dalgaları** da denir. Boyuna dalgalar katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilirler (Tuncel 1995).



Şekil 3. Boyuna dalga yayılımı (Aral 1987).

#### 2. 4. 2. Enine Ultrases Dalgaları

Test numunesinde, ultrases dalgaları parçacıkların hareketine dik doğrultuda yayılıyorsa bu dalgalara **enine dalgalar** denir. Enine dalgalar, yayıldıkları ortamın parçacıklarını çapraz yönde kaymaya zorladıkları için **kesme** veya **kayma dalgaları** olarak da adlandırılmaktadırlar. Enine dalgaların yayılma hızları, boyuna dalgaların yayılma hızlarının yaklaşık olarak yarısına eşittir (Sarpün 1998). Bu dalgalar, sadece katı ortamlarda yayılabilirler.

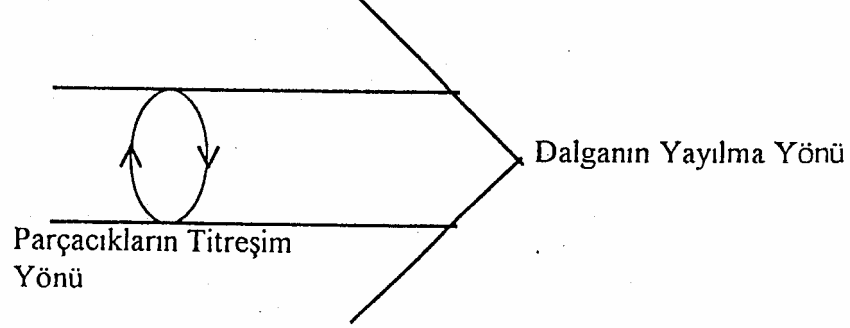


Şekil 4. Enine dalga yayılımı (Aral 1987).

#### 2. 4. 3. Yüzey Dalgaları

Parçacıkların ortam içerisinde titreşim hareketi, dalganın yayılma doğrultusuna dik, enine ve boyuna ultrases dalgalarının birleşimi olan bir elips şeklindedir. Bu şekilde enine ve boyuna dalgaların kombinasyonu sonucu oluşan dalgalara **yüzey dalgaları** denir. Dalganın genliği ortam yüzeyinden itibaren eksponansiyel olarak azaldığı için

sadece yüzeyde yayılırlar ve yayılma hızları, enine ultrases dalgasının yayılma hızından daha küçüktür. Bu dalgalarla cisimlerin yalnızca yüzeyleri incelenebilir. Eğri yüzeylerde dahi yayılabilirler.



Şekil 5. Yüzeysel ultrases dalgası (Aral 1987).

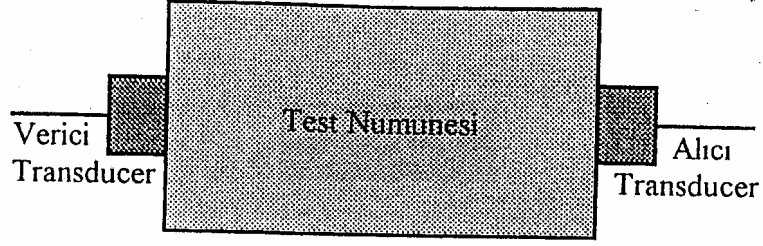
Yüzey dalgaları, Lamb dalgaları ve Rayleigh dalgaları olmak üzere iki çeşittir.

## 2. 5. Ultrases Ölçüm Metotları

Ultrases ölçüm metotları, farklı hassasiyetli zaman ölçümleriyle birlikte, ölçüm hassaslığı karmaşık ve gelişmiş elektronik ölçüm sistemlerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu metotlar, katı, sıvı ve gaz ortamlarda ses dalgalarının yayılma hızı, sönüm faktörü veya enerji kaybının tesbitine yöneliktir.

### 2. 5. 1. Geçiş (Doğrudan İletim) Metodu

Bir ultrases dalgasının test numunesi içerisinde geçiş zamanı, numunenin bir yüzeyine, ultrases vericisi bir transducer ve karşı yüzeyine alıcı transducer yerleştirilerek ölçülür. İhtiyacı olan tetikleme devresi ise öyle olmalı ki; ölçüm, verici transducer gelen dalgayı gönderdiğinde başlasın, dalga alıcı transducer'a ulaştığında sona ersin. Test parçasının farklı yerlerinden alınan ölçümler sonucu geçiş zamanları aynı çıkarsa, test parçası içinde **süreksizlik yoktur** denir ama ölçülen zamanlarda farklı bir ölçüm alınırsa, test maddesi içinde **yapı bozukluğu vardır** denir (Sarpün 1998).

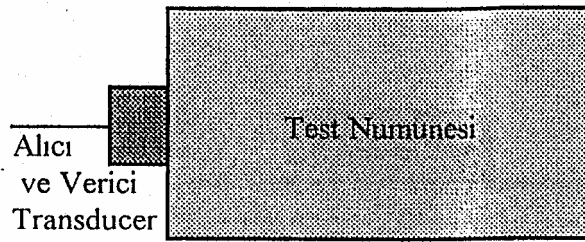


Şekil 6. Geçiş yönteminde transducer'ların numuneye bağlanması.

Numune içinde süreksizlik yoksa verilen enerjinin yaklaşık olarak çoğu karşı tarafta hissedilir, dolayısıyla kullanılan bir osiloskop varsa, ekranda oluşan atmaların genlikleri eşit olur. Eğer süreksizlik varsa verilen enerjinin bir kısmı absorblanacağı için alıcı transducer enerjinin belli bir kısmını algılamayacağı için ekranda oluşan atmaların genliklerinde düzensizlikler oluşur.

### 2. 5. 2. Yansıma (Puls-Eko) Metodu

Bu yöntemde, bir tek transducer hem alıcı hem de verici olarak kullanılmaktadır. Numuneye gönderilen dalga hava ortamında ilerlerken büyük miktarı geri yansıdığı için iki numune boyu geçiş zamanı olarak alınır. Bu şekilde ölçülen zaman küçükse numunede süreksizlik olduğu düşünülür. Normalde iki atmanın arası uzun olması gerekirken, süreksizlik olduğunda atmalar sıklaşır ve genliklerde düzensizlikler oluşur.



Şekil 7. Yansıma metodunda numuneye transducer bağlanması.

### 2. 5. 3. Rezonans Metodu

Numune içerisine sürekli dalga gönderilerek, gelen dalgalar numune içinde yankılanma



oluşturur. Ultrases dalgaları numune içinde karşılaştıklarında farklı fazda iseler birbirlerini sönümlerler ama aynı fazda iseler birbirlerini kuvvetlendirirler. Aynı fazda olduklarında numune içinde sönümlenmeyen sürekli bir dalga oluşur. Bu olaya **rezonans hali** denir.

Rezonans durumunda ses kuvvetlenip duyulabilir duruma gelir. Bu da numune de süreksizlik olmadığını gösterir. Eğer dalgalar birbirini sönümlüyorsa hiçbir ses duyulmaz. Bu metodun kullanılması için gerekli olan şart, gönderilen dalganın dalgaboyunun yarısı, numunenin boyuna eşit olmalıdır.

#### **2. 5. 4. Geçiş, Yansıma ve Rezonans Metodlarının Karşılaştırılması**

Geçiş metodunun kullanılması için numunenin iki tarafına erişilebilir olması ve yüzeylerin birbirine paralel olması gerekir. Ancak yansıma metodunda yüzeylerin iyi temizlenmiş olması ve transducer'ın bağlandığı yüzeyin düz olması yeterlidir.

Rezonans metodu diğer yöntemlere göre daha az uygulama alanına sahiptir. Sadece paralel kenarlı duvarların kalınlıklarının ölçümünde ve oldukça hassas transducer'lar yardımı ile mikro yapı kalınlıklarının ölçümünde kullanılmaktadır.

### **2. 6. Kompozit Malzemeler**

Kompozit malzemeler, üstün özellikler elde etmek amacıyla değişik tür malzemelerin birbirinin zayıf yönlerini düzelterek bir araya gelmesine veya fazlardan oluşan malzeme sistemine **kompozit malzeme** denir. Çok kristalli birçok metal veya metal olmayan parçanın bir arada toplanması **kompozit** olarak adlandırılır.

#### **2. 6. 1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kimyasal olarak, kompozit malzemeyi meydana getiren bileşenler birbirinden farklıdır. Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin bazı özellikleri geliştirilebilmektedir.

Özellikleri şöyle sıralayabiliriz (Özdemir 2006);

- Dayanım
- Korozyon direnci
- Aşınma direnci
- Elektrik iletkenliği
- 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

### **2. 6. 2. Tungsten Karbür (WC) Hazırlık ve Üretimi**

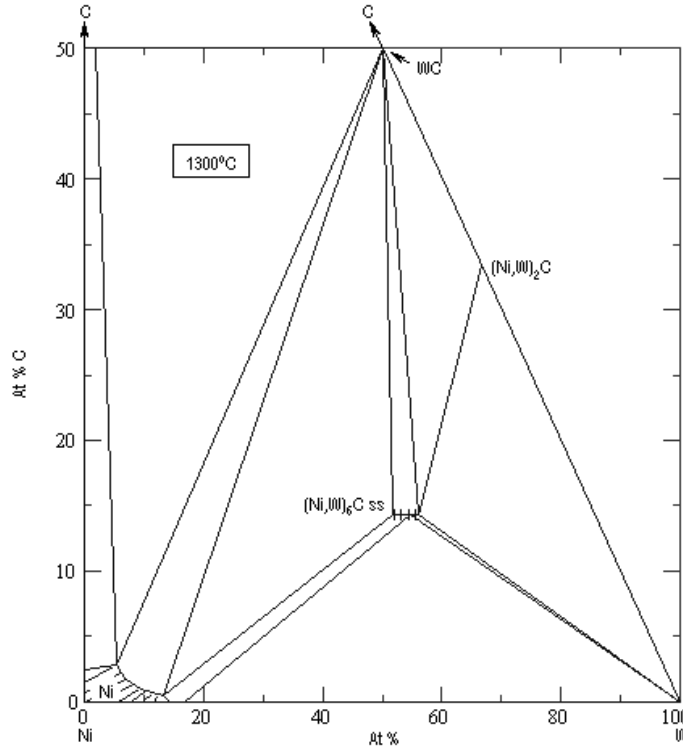
Tungsten, 1783`de İspanya`da, F. Elhujar tarafından keşfedildi. Ama 1779`da Woulfe, wolframite mineralini incelerken, bu mineralde yeni bir element olduğu sonucuna vardı. Tungsten`in diğer ismi olan Wolfram bu sonuçtan dolayı verilmiştir.

Tungsten karbür (WC), en önemli tungsten (volfram) bileşimidir. 2600°C`de erimeden ayrışır. Tungsten karbür yüksek sıcaklık da (1000°C – 1500°C) sertliğini ve aşınma direncini korumaktadır (Nagy 2003). Bu yüzden erime sıcaklığı en yüksek metallerden bir tanesidir.

Tungsten karbür, yüksek sıcaklık da tungsten ve hidrokarbonun karışımı sonucu oluşmaktadır. WC bileşimi, yüksek sıcaklık da karbon ve tungsten karbür içinde ayrımakta ve karbür iki şeklin karışımıyla oluşmaktadır. Diğer biçimleri  $W_3C$  ve  $W_3C_4$  ile oluşturulmaktadır. WC asit, baz ve alkali çözücülerden etkilenmez.  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , HF gibi karışımlarda yavaş yavaş çözünebilir.

Tungsten karbür bileşiminde bulunan karbon oranı kaynama noktasını değiştirmektedir. C değeri %2'de kaynama noktası 2710 °C iken, C oranı % 3,5 olduğunda kaynama noktası 2760 °C olmaktadır.

WC bileşiminde 1300°C'de faz değişimi olmaktadır. Bu durum Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. 1300C'de WC-Ni denge diyagramı (Gastafson ve arkadaşları 1987).

Tungsten karbür, düşük sıcaklıkta katı kobalıtta yalnızca %1 oranında çözünürken, nikelde %25 oranında ve demirde %5 oranında çözünmektedir. 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 (Erol ve Çolak 2004).

Tungsten karbür tek başına veya başka metal karbürleriyle birlikte dökme demirin, testere ve matkapların kesici uçlarının ve zırh delici mermi çekirdeklerinin sertliğini arttırmak amacıyla kullanılır. Metal benzeri bir yoğunluğu olup, mavimsi açık gri renklidir. Tungsten karbürün özellikleri Çizelge 2’de belirtilmektedir.

**Çizelge 2. Tungsten karbürün (WC) Özellikleri.**

Molar Kütle	195.86 g·mol <sup>-1</sup>
Erime Noktası	2870 °C, 5198 °F (3143K)
Kaynama Noktası	6000°C, 10832 °F (6273K)
Yoğunluk ve Faz	15.8 g·cm <sup>-3</sup> , katı
Basma Mukavemeti	0.3448 GPa
Sertlik	9 (Mohs Cetveli)
Isıl Öziletkenlik	84.02 W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
Kristal Yapısı	Hexagonal
Hal	Gri-siyah katı
Sertlik, HV	2600
Elastisite Modülü	520-600 GPa
Örgü Parametresi	a=0,2907 c=0,2837

### 2. 6. 3. Kullanım Alanları

Metal işlerinde, madencilik ve yapı endüstrisinde kullanılır. Aynı zamanda askeri malzeme, ısı oluğu, radyasyon kalkanı, ağırlık ve karşı ağırlıkların üretiminde, çelik aksamların ve aşınmaya dayanıklı parça ve kaplama malzemelerinin yapımında da kullanılır. Az rastlanan fiziksel özellikleri ile uzay endüstrisinde, gaz türbini ve dizel motor üretimi ile yüzey işleme endüstrisinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Örneğin renkli cam üretiminde, x-ışını ve televizyon lambalarında, petrol ürünleri

endüstrisinde, kimya endüstrisinde, tekstil endüstrisinde, uçak endüstrisinde de önemli bir yeri vardır.

Petrol sanayilerinde, matkaplarda, delici ekipmanların kesici kısımlarında ve kırıcı makinelerde, taşımacılık ve elektrik malzemeleri kaplamasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Saf tungsten metal tozundan yapılan öğütme ürünleri elektrik ve elektronik sanayinde kullanılmaktadır. Tungsten teli, elektrik lambalarında ve elektronik tüplerde katot olarak kullanılır. Tungsten diskler, otomotiv distribütör noktalarında ve pek çok üründe bağlantı noktası olarak kullanılır. Tungsten metali, sıcak ve radyasyon kalkanı olarak, x-ışını bileşenleri ve katot ışın tüpleri ve yüksek ısılı fırınlarda ısıtıcı madde olarak da kullanılmaktadır. Tungsten, özellikle uçak sanayinde ağır metal olarak kullanılmaktadır.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3. 1. Giriş

Bu çalışmada amaç, tungsten kompozitlerinin ultrases dalga hızları ile ortalama tanecik boyutları arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. Ultrases dalga hız ölçümünün tane boyutuna bağlı olarak değişimini incelemek için ultrases dalgaları numuneye gönderilir ve birbirleriyle etkileşmeleri sonucunda hız ölçümü yapılır.

Toz metalurjisi yöntemi ile karıştırılarak oluşturulan WC+Ni ve electroless kaplama yöntemi ile Ni kaplanan WC tozları ile kompozit numuneler hazırlanıp 1000°C den başlayıp 1300°C'ye kadar olan farklı sıcaklıklarda ve yeterli sürelerde argon (Ar) gazı atmosferinde sinterlenmiştir.

Kompozitlerin mikroyapıları SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) kullanılarak kristal yapının çözümlenmesi hedeflenmiştir. SEM analizi ile elde edilen görüntülerden faydalanarak analizörüne aktarımı ile ortalama tanecik boyutları bulunmuştur.

#### 3. 2. Numune Hazırlama

Bu çalışmada kullandığımız ana malzeme, tungsten karbür tozlarıdır. WC tozları ile beraber nikel klorür ve nikel tozları da kullanılmış, farklı sıcaklıklarda sinterlenen seramik metal kompozit malzemeler hazırlanmıştır. WC+Ni (kaplamasız) ve WC+Ni (kaplamalı) hazırlanan kompozit malzemelerdir.

Kaplamasız numunelerde % 70 WC ve % 30 Ni , kaplamalı numunelerde ise % 70 WC ve % 30 NiCl<sub>2</sub> kullanılmıştır.

Kaplamasız numunelerde, WC ve Ni tozları küçük bir kutu içerisinde karıştırıcı ile iyice karıştırıldıktan sonra 400 barlık (8 ton) basınçta hidrolik pres ile çapı 30 mm'lik bir kalıpta preslenmiştir. Kaplamalı numuneler de ise WC tozları ve NiCl<sub>2</sub> taneleriyle

kariştırılıp içerisine hidrazin hidrat ve amonyak katılmak suretiyle kaynatılıp tepkimenin oluşması sağlanmıştır. Oluşan karişım saf su ile yıkanıp, süzülmüş ve fırında kurutulmuştur. Kuruyan karişımlar 360 barlık (6 ton) hidrolik pres ile 30 mm çaplı kalıpta preslenmiştir. Daha sonra numuneler 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300 °C’de tüp fırında argon (Ar) gazı atmosferinde sinterlenmiştir.

### 3. 2. 1. Kullanılan Malzemeler

#### a)Tungsten Karbür-Nikel (WC+Ni-kaplamasız)

WC+Ni (kaplamasız) kompozit numunelerinde, toplam olarak % 70 WC, % 30 Ni tozları kullanılmıştır. Sadece mekanik olarak kariştırılan kimyasal maddeler kalıpla preslenmiş ve daha sonra 1000°C - 1300°C’de argon gazı atmosferinde sinterlenmiştir. Bu şekilde dört tane kaplamasız numune yapılmıştır.

#### b)Tungsten Karbür-Nikel Chloride (WC+Ni-kaplamalı)

WC+Ni (kaplamalı) kompozit numunelerinde, toplam olarak % 70 WC, % 30 NiCl<sub>2</sub> kullanılarak kimyasal kaynatma yöntemiyle karişım oluşturulmuştur. Kurutulup kalıpta preslenmiştir. Bu şekilde hazırlanan dört numune 1000°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C’de argon gazı atmosferinde sinterlenmiş ve dört tane kaplamalı numune oluşturulmuştur.

Çizelge 3. Hazırlanan numunelerin özellikleri.

Numune No	Numuneler	M <sub>i</sub> (g)	M <sub>s</sub> (g)	H(mm)	R(mm)	T <sub>s</sub> (°C)
1	WC+Ni	25.078	24.964	5.17	29.63	1000
2	WC+Ni	24.502	23.592	4.84	30.33	1100
3	WC+Ni	23.511	23.422	4.60	30.02	1200
4	WC+Ni	24.000	23.831	4.54	29.24	1300
5	WC+NiCl <sub>2</sub>	22.368	22.222	5.03	30.11	1000
6	WC+NiCl <sub>2</sub>	23.505	23.317	4.95	30.10	1100
7	WC+NiCl <sub>2</sub>	23.511	23.339	5.10	29.82	1200
8	WC+NiCl <sub>2</sub>	24.000	23.897	5.41	29.40	1300

M<sub>i</sub> : Numunenin sinterlenmeden önceki ağırlığı.

M<sub>s</sub> : Numunenin sinterlenmeden sonraki ağırlığı.

**h** : Numunenin sinterlendikten sonraki kalınlığı.

**R** : Numunenin sinterlendikten sonraki çapı.

**T<sub>s</sub>** : Numunenin sinterlenme sıcaklığı.

### 3. 2. 2. Yapılan İşlemler

#### a) Presleme

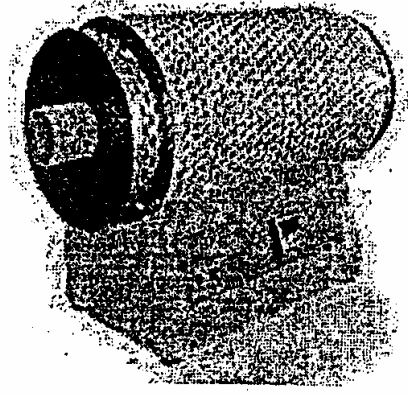
Elde edilmek istenen numunenin ölçütlerine uygun olarak yapılmış kalıp içerisinde, metal tozlarını basıncın etkisiyle şekillendirip, yüksek yoğunluklu bir kütle meydana getirmeye **presleme** denir (Özdemir 2006). Numunenin tanecikleri arasındaki bağların kuvveti artar. Boşluk sayısı azalır. Her bir numune için % 70'e % 30 oranı dahilinde karışımlar hazırlanmış ve homojen şekilde karıştırılarak, çapı 30 mm olan silindir şeklindeki kalıpta soğuk presleme gerçekleştirilmiştir. Presleme işlemi hidrolik pres makinasında kaplanmış olan numuneler ~ 360 kgf/cm<sup>2</sup> (bar), kaplanmamış numuneler ise ~ 400 kgf/cm<sup>2</sup> (bar) basınçla oluşturulmuştur.

#### b) Sinterleme

Sinterleme, toz halindeki malzemenin erime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılarak tozların birbirlerine değdikleri noktalardan başlayarak kaynaşmasına denir. Moleküler çekim kuvvetleriyle partikül kabuğunda oluşan yüzey geriliminin, sıcaklıkla azaltılıp birbirine kaynaşması, bu yönüyle eriterek kaynaşmadan çok farklılık gösterir.

Hazırlanan numuneler, bir kaplanmış bir de kaplanmamış olmak üzere ikişerli olarak 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C'lerde argon gazı atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi gerçekleşirken sıcaklık artar. Bu yüzden numunelerde çatlama olabilir. Sinterleme esnasında sıcaklık artışı ~10 °C / dk olduğundan kullanılan sıcaklıklarda sırasıyla 1.40, 1.50, 2.00, 2.10 saat süreyle sıcaklıklar istenen değerlere gelmiş ve sonrasında 2 saat daha o sıcaklıkta sinterlenmiştir. Numuneler fırın içerisinde soğuyana kadar bekletilmiştir.





Şekil 9. Sinterlemede kullanılan tüp fırın.

### 3. 3. Deney Düzenegi

#### 3. 3. 1. Hız Ölçüm Metodu

Numuneye gönderilen ultrases dalga hızlarının etkisiyle tanecik büyüklüğü bulunurken referans numunelerine ihtiyaç duyulur. Ultrases dalga hızı, numunenin yapısına bağlı olduğu gibi numune içinde ultrases dalgasının saçılmasından oldukça etkilenmektedir (Sarpün 1998). Polikristaller içinde ultrases dalgalarının saçılmaları ile ilgili teorik açıklamalar Hirsekorn tarafından yapılmış ve saçılma katsayısı, boyuna ve enine dalga hızları,  $D$ , tanecik boyutu ve  $k$ , dalga sayısının çarpımının bir fonksiyonu cinsinden tanımlanmıştır. Bununla ilgili deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş olup sonuçta bulunan tanecik boyutlarında, yapılan hataların % 20'den az olduğu belirtilmiştir (Hirsekorn 1982, Palanichamy 1995).

Ultrases dalga hızı metodunu kullanarak tanecik boyu hesaplamasında takip edilecek basamaklar şunlardır (Grayali ve Shyne 1985);

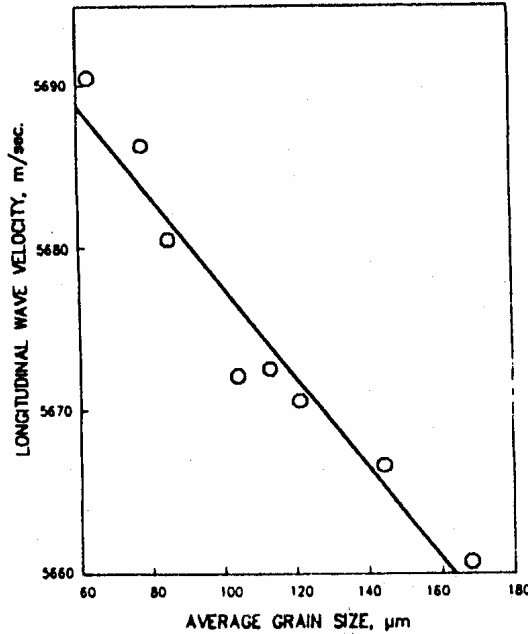
- i. Farklı tanecik boyutlu referans numunelerinin tanecik boyutlarını metalografik veya elektron mikroskobu yardımıyla bulmak.
- ii. Bütün referans ve test numunelerinde ultrases dalga hızlarını bulmak.

- iii. Referans numunelerinin metalografik veya elektron mikroskobu metodu ile elde edilen tanecik boyutları ve ultrases dalga hızları arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik elde etmek.
- iv. Bu grafiği kullanarak test numunelerinin tanecik boyutlarını bulmak.
- v. Bulunan tanecik boyutlarının, metalografi veya elektron mikroskobu metodu ile karşılaştırmak.

Bu metotta dikkat edilmesi gereken iki önemli unsur vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

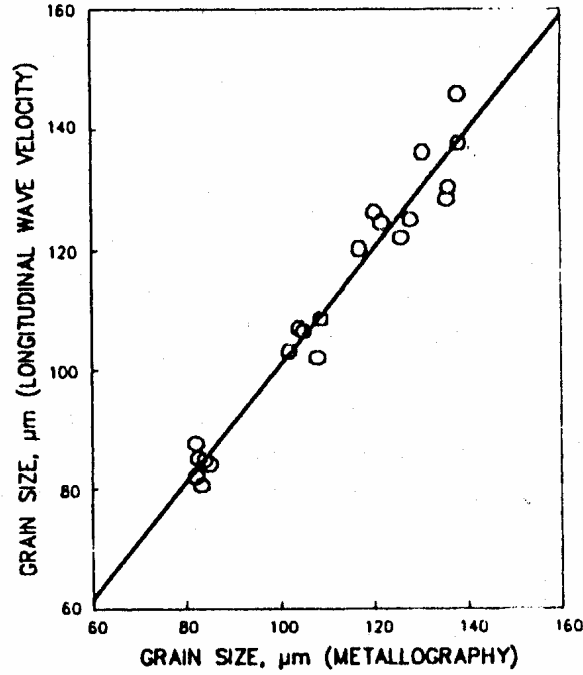
- i. Numunelerin ultrases hızlarının tespitinde oldukça hassas davranılmalıdır.
- ii. Referans numunelerinin tanecik boyutları mümkün olduğu ölçüde farklı olmalıdır.

Palanichamy referans numunelerinin ultrases hızları ile tanecik boyutlarını kullanarak hız-tanecik boyutu grafiğini çizmiştir (Şekil 10). Bu grafik ultrases dalga hızları ile tanecik boyutlarının ters orantılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. Ultrases dalga hızı ölçüm metodunda referans numuneleri ile çizilen hız-tanecik boyu referans grafiği (Palanichamy 1995).

Palanichamy, Şekil 11’de bulunan grafikteki tanecik boyutlarını ve metalografik olarak bulunan tanecik boyutlarını kullanarak, tanecik boyutlarını kıyaslayan grafiği çizmiştir. Metalografik olarak bulunan ve referans numunelerinin sahip olduğu tanecik boyutları birbirine uyumlu çıkmıştır.



Şekil 11. Referans grafik kullanılarak bulunan tanecik boyutları ve metalografik olarak elde edilen tanecik boyutlarının kıyaslanması (Palanichamy 1995).

### 3. 3. 2. Ultrases Dalga Hızı Ölçüm Deney Sistemi

Kullanılan cihaz, Sonatest CH700-P/SWITCH Li-ion’dur. Sitescan 150 olarak da adlandırılmaktadır. Genel olarak bütün amaçlar için kullanılabilen, ekonomik ve modern dijital aletlerden beklenen tüm önemli fonksiyonlarla donatılan bir dedektördür. Sahip olduğu geniş bandla zayıf etkileri bile saptayabilmektedir. İleri ölçüm modlarını, tam ekran dalgaform gösterimini, kalınlık okuma hafızasını ve otomatik kalibrasyon özelliğini içermektedir.

AKÜ Fizik Bölümü tarafından, AKÜ BAPK 06.FENED.11 projesi kapsamında Ekim 2007’de alınan bu son model akış dedektörü, ultrases dalga hızı ölçümlerinde direkt olarak numunenin hızını ekranda göstermektedir. Ultrases hız ölçümünün yapılabilmesi

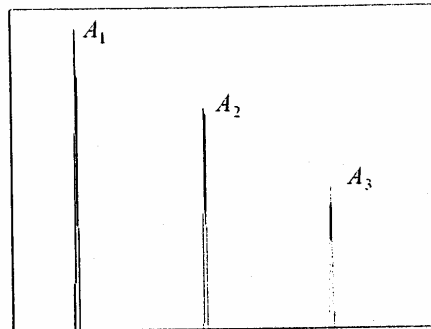
için, daha önce numune kalınlıklarının hassas olarak belirlenmesi gerekmektedir. Ardından bir alıcı/verici transducer kullanılarak numuneye gönderilen ultrases dalgasının ekranda A-Scan görüntüsünde ön yüzeyden ve arka yüzeyden gelen yansıma pikleri elde edilir. Cihazın ölçüm yapmasını sağlayan kapı (gate) çizgileri, tam piklerin başlangıç noktalarında olacak şekilde bu piklerin üzerine getirilir. Direkt olarak numune kalınlığı girilip, gerçek pikler kapı (gate) ile belirlendiğinde, ultrases dalga hızı direkt olarak ekranda okunmaktadır.

Bu çalışma da kullanılan ultrases hız ölçüm aleti Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 12. Ultrases hız ölçümlerinde kullanılan Sitescan 150 cihazı.

Ultrases ölçüm cihazının ekranında oluşan pikler Şekil 13’de gösterilmektedir.



Şekil 13. Ekranda oluşan üç pikin gösterimi.

### 3. 3. 3. Transducer

Transducer, titreşim enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir probdur. Ultrases sinyalinin oluşturmak için, yüksek frekanslı titreşim hareketi gerekir. Burada titreşim enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren transducer'dır.

Bu çalışmada kullanılan 2 MHz, 4 MHz ve 5 MHz'lik transducer'ların görüntüleri Şekil 14'de verilmektedir.



Şekil 14. Sistemde kullanılan transducer'lar.

Numune ile transducer'ın arasında mutlaka sıvı bir madde kullanılır. Nedeni ise dalganın geçiş esnasında kayba uğramasını engellemek ve test edilecek olan numuneye enerji geçişinin sağlanabilmesidir. Burada etkileşimi sağlamak için kullanılan ince film tabakası ultrasonik jeldir.

### 3. 3. 4. Deneysel İşlemler

Deneysel çalışmada öncelikle önemli olan akımsız nikel kaplamanın düzenli bir sırayla gerçekleştirilmesidir. İyi bir nikel kaplamanın yapılabilmesi için şu hususlar önemlidir (Özdemir 2006);

- Banyo ısısı

- pH
- Nikel klorür
- İndirgenme konsantresi
- Banyonun yoğunluğu

WC (tungsten karbür), Ni ile kaplanır ve daha sonra deneysel işlem basamakları gerçekleştirilir;

- i. Kaplama Banyosu
- ii. Banyo Sıcaklığı
- iii. Toz Karışımı İlavesi
- iv. Amonyak İlavesi (pH ayarı için)
- v. Banyo ısı (~95 °C) – pH Kontrolü (~9)
- vi. Reaksiyonun Tamamlanması (~ 1 saat)
- vii. Yıkama ve Filtreden Geçirme (saf su ve aseton ile)
- viii. Kurutma
- ix. Soğuk Presleme
- x. Sinterleme (1000°C-1100°C-1200°C-1300°C)
- xi. SEM Analizi

Kaplanmış WC elde etmek için % 70 tungsten karbür ile % 30 nikel kimyasal maddesi gerekir. 1 oran Ni elde etmek için 4 oran  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Nikel Klorür) gerekir. Reaksiyonun kontrol altında tutulması için nikel klorür ve Hidrazin Hidrat belli bir sıcaklıkta karıştırılır. Kimyasal maddeler gerekli oranda hazırlandıktan sonra 20 ml Hidrazin Hidrat, 80 ml saf su ve gerekli oranda  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 800 ml'lik behere sırasıyla koyularak kaynatma aşaması başlar, sıcaklık 30°C - 40°C'ye geldiğinde saf su ile homojen olarak karıştırılan tungsten karbür eklenir ve ara ara karıştırılır. Sıcaklık 95°C olduğunda pH 9-10 olarak ölçülür ve reaksiyonun başlaması için amonyak eklenir. Yaklaşık olarak 1 saat sonra reaksiyon tamamlanır ve kaplanan numuneler süzülerek alınır. Sırasıyla saf su ve aseton kullanılarak yıkanır ve filtreden geçirilir. Numune kurutma fırınında kurutularak toz haline gelir. Sonrasında kullanılacak kalıba oluşturulan numuneler ayrı ayrı koyulur ve preslenir. Oluşturulan dört numune 1000°C,

1100°C, 1200°C, 1300°C'de sinterlenir. Böylece kaplanmış tungsten karbür-nikel numuneleri hazırlanmış olur.

Kaplanmamış WC-Ni elde etmek içinse % 30 oranında nikel ile % 70 oranında tungsten karbür mekanik olarak karıştırılır. Daha sonra dört numune ayrı ayrı kalıba konularak preslenir. Argon gazında 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C'de sinterlenir. Böylece kaplamasız tungsten karbür-nikel numuneleri hazırlanmış olur.

## **4. DENEYSEL BULGULAR**

### **4. 1. Deneysel Çalışma**

Kullanılan ultrases sistemi alıcı-verici cihazı ve transducer'dan oluşur. Cihazdan gelen sinyali numune üzerine, transducer gönderir, numunenin yüzeyinden ve içinden yansıtılarak gelen sinyali ultrases cihazına iletir. Bu ultrases cihazı da sinyali transducer'a gönderir ve transducer'dan gelen sinyali bilgisayara iletir.

Yansıma pikleri, transducer'dan numuneye gönderilen ultrases dalgalarının A-scan'deki görüntüleriyle oluşturulur. Gate (Kapı) çizgileri, oluşan tam piklerin başlangıç noktalarına getirilir. Numune kalınlığına eşit şekilde pikler arası mesafe ayarlanır. Sonrasında numunenin ultrases hızı ekranda okunur.

Sıcaklığı artırılan numunelerin tanecikleri biraz daha deforme olmakta ve büyümeye meyillenmektedir. Tanecikler büyüyünce, birbirleriyle etkileşimleri artmakta ve ultrasonik dalgaların iletimi hızlanmaktadır, yani numunelerin ultrases hızları artmaktadır.

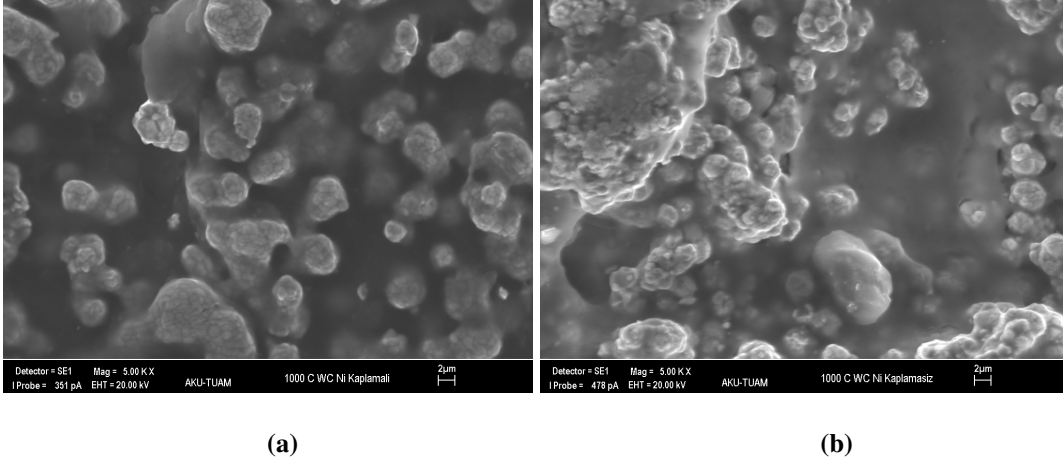
### **4. 2. Materyal Analizi**

#### **4. 2. 1. Sinterleme Sonrası SEM Analizi**

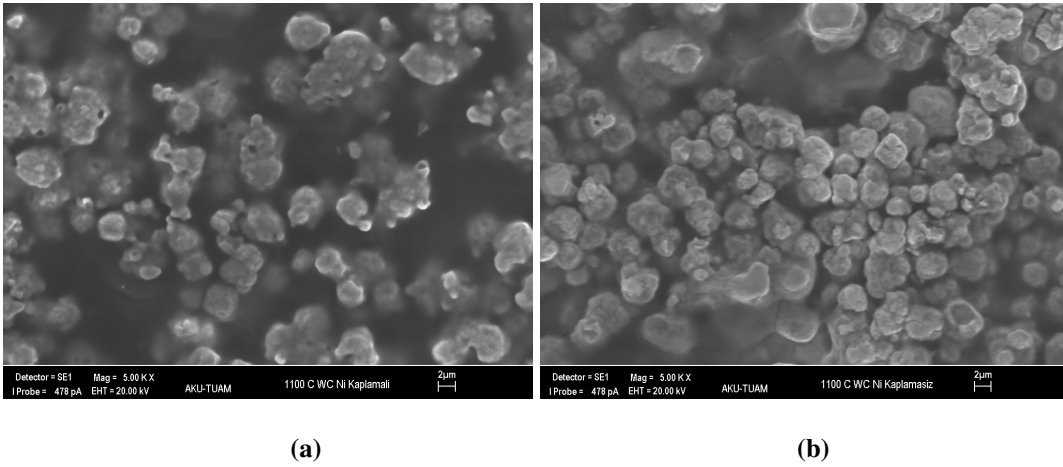
Sinterleme sıcaklıkları farklı olan kaplamalı ve kaplamasız WC-Ni numunelerinin SEM analizleri verilmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız sinterlenen tüm numuneler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi'nde (TUAM) Leo 1430 VP SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile karakterize edilmiştir. Kullanılan SEM cihazı üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve X ışınları (EDX – Enerji Açılımlı X – ışını Spektrometresi) dedektörü bulunmaktadır. Bu cihaz, W (tungsten) filament ile çalışmaktadır. Elementer analizler, görüntü üzerinde nokta ve alan yöntemi ile kalitatif ve semi-kantitatif olarak yapılmıştır. Analizlerde Shimadzu marka XRD-6000 model bakır hedefli X ışını tüpüne



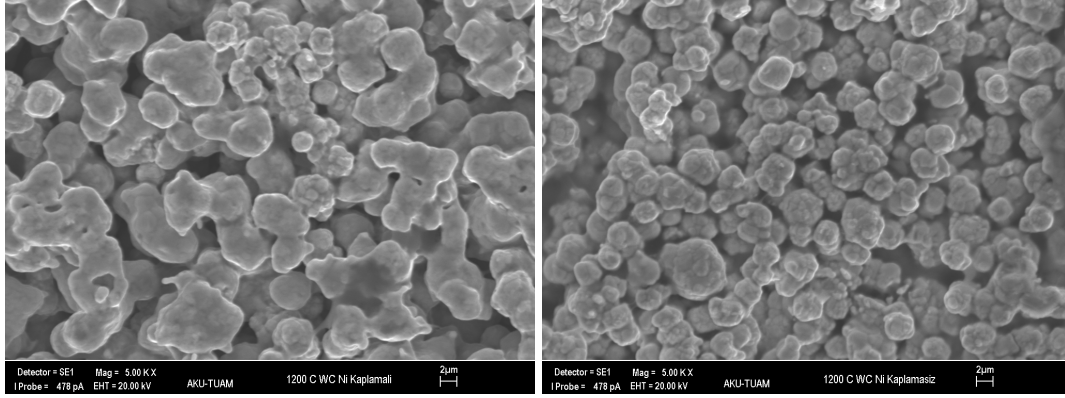
sahip cihaz kullanılmıştır. Bu analizlerde 1.544 °A dalga boyunda Cu-K X-ışınlarından faydalanılmıştır. Cihaz en fazla 60 KV potansiyel ve 50 mA akımla çalışabilmektedir. Analizler sonucu elde edilen SEM görüntüleri Şekil 15, 16, 17 ve 18’de gösterilmektedir.



Şekil 15. (a) 1000C'de Kaplamalı WC-Ni (b) 1000C'de Kaplamasız WC-Ni



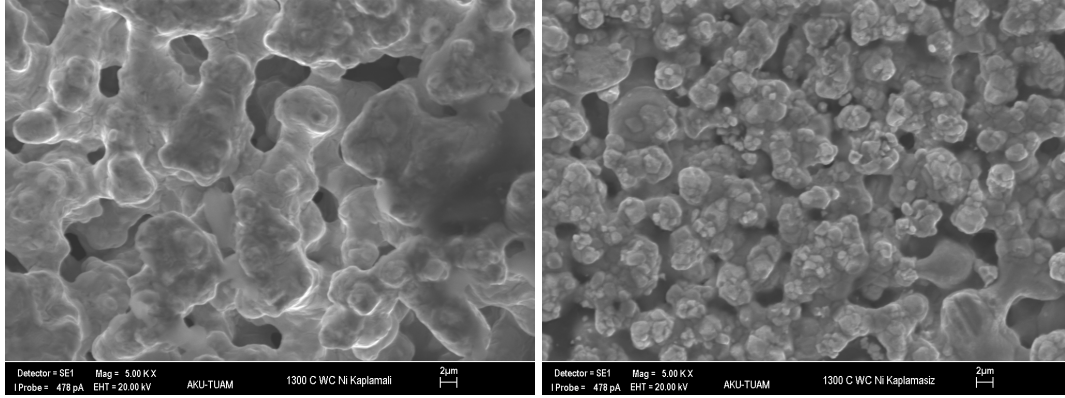
Şekil 16. (a) 1100C'de Kaplamalı WC-Ni (b) 1100C'de Kaplamasız WC-Ni



(a)

(b)

Şekil 17. (a) 1200C'de Kaplamalı WC-Ni (b) 1200C'de Kaplamasız WC-Ni



(a)

(b)

Şekil 18. (a) 1300C'de Kaplamalı WC-Ni (b) 1300C'de Kaplamasız WC-Ni

Kaplamalı ve kaplamasız numunelerin ortalama tanecik boyutları SEM görüntülerinden faydalanılarak bulunmuştur.

1200°C'den 1300°C'ye geçişte tanecik boyutlarında daha fazla genişleme ve birbirlerine kaynaşma görülmektedir. Bunun nedeni ise 1200°C'den 1300°C'ye geçişte faz değişiminin oluşmasıdır.

### 4. 3. Ultrases Hız Deney Sonuçları

Kaplamasız ve kaplamalı numunelerin 2, 4 ve 5 MHz'lik problarla yapılan ölçüm sonuçlarında bulunan ultrases hızları Çizelge 4 ve 5'de verilmektedir.

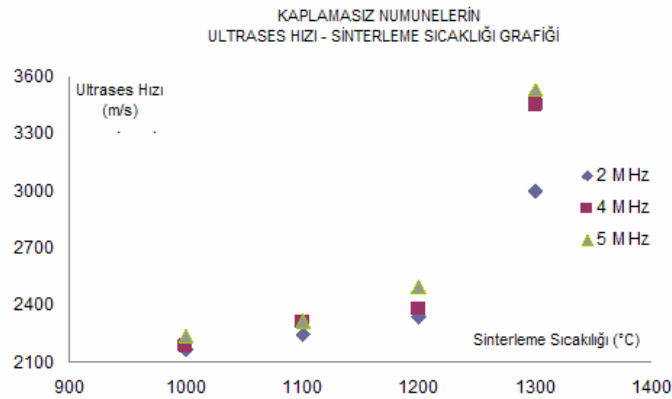
Çizelge 4. Kaplamasız WC-Ni numunelerinin ultrases hızları.

Numune No	2MHz	4MHz	5 MHz
1	2166 m/s	2189 m/s	2237 m/s
2	2241 m/s	2305 m/s	2316 m/s
3	2335 m/s	2377 m/s	2498 m/s
4	2996 m/s	3451 m/s	3531 m/s

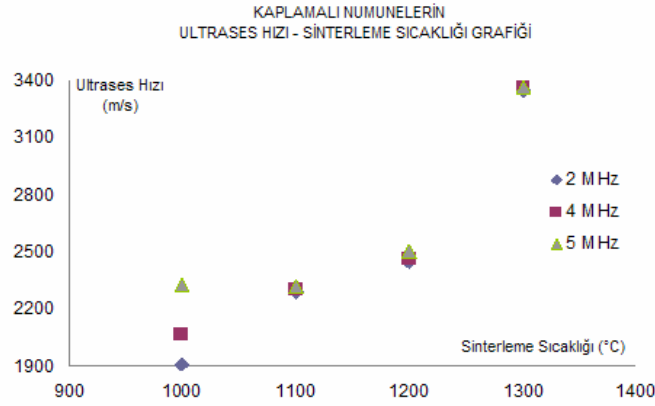
Çizelge 5. Kaplamalı WC-Ni numunelerinin ultrases hızları.

Numune No	2MHz	4MHz	5 MHz
5	1909 m/s	2062 m/s	2326 m/s
6	2284 m/s	2303 m/s	2313 m/s
7	2449 m/s	2458 m/s	2500 m/s
8	3343 m/s	3359 m/s	3364 m/s

Şekil 19 ve 20 incelendiğinde kaplamasız ve kaplamalı WC-Ni numunelerin, sinterleme sıcaklıkları arttığında ultrases hızlarının da arttığı görülmektedir.



Şekil 19. Kaplamasız WC-Ni numunelerinin sinterleme sıcaklığı- ultrases hız grafiği



Şekil 20. Kaplamalı WC-Ni numunelerinin sinterleme sıcaklığı-ultrases hız grafiği.

Çizelge 6 ve 7’de kaplamasız ve kaplamalı WC-Ni numunelerinin ortalama tanecik boyutu ölçümleri verilmektedir.

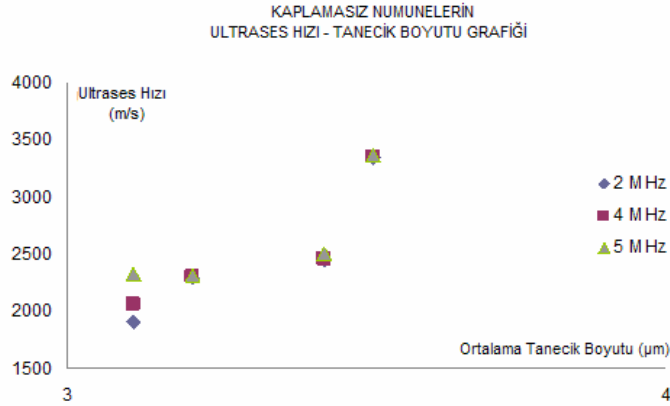
Çizelge 6. Kaplamasız WC-Ni numunelerinin tanecik boyutu ölçümleri.

Numune No	Ortalama Tanecik Boyutları ( $\mu\text{m}$ )
1	3.11
2	3.21
3	3.43
4	3.51

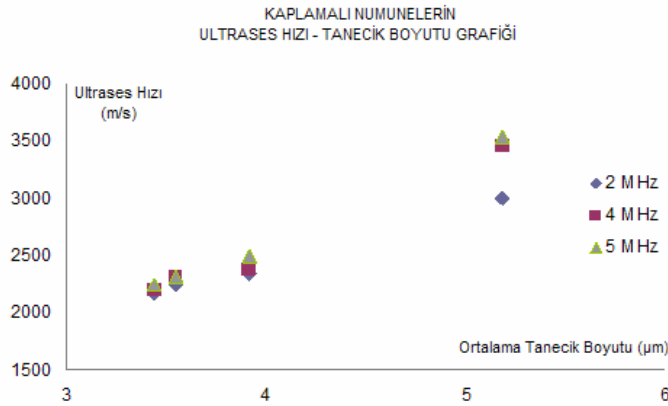
Çizelge 7. Kaplamalı WC-Ni numunelerinin tanecik boyutu ölçümleri.

Numune No	Ortalama Tanecik Boyutları ( $\mu\text{m}$ )
5	3.44
6	3.55
7	3.92
8	5.18

Numunelerin tanecik boyutları büyüdüğünde ultrases hızları artmaktadır. Şekil 21 ve 22’de çizilen grafikler de bunu gözlemlemek mümkündür.



**Şekil 21. Kaplamasız WC-Ni numunelerinin taneçik boyutu- ultrases hız grafiği.**



**Şekil 22. Kaplamalı WC-Ni numunelerinin taneçik boyutu-ultrases hız grafiği.**

Numunelerin, ultrases hızları ile sinterleme sıcaklıkları arasındaki ilişki Şekil 19 ve 20’de görüldüğü gibi doğru orantılıdır. Sinterleme sıcaklığı arttığında ultrases hızı da artmaktadır. Özellikle sıcaklık 1200°C’den sonra 1300°C’ye çıktığında ultrases hızı daha büyük bir artışa sahip olmaktadır. Bunun nedeni, bu esnada faz değişiminin olmasıdır.

Numunelerin ortalama taneçik boyutları, sinterleme sıcaklığında olduğu gibi, ultrases hızlarıyla doğru orantılıdır. Ultrases hızları artış gösterdiğinde, numunelerin taneçik

boyutları da artış göstermektedir. Numunelerin tanecik boyutları sinterleme sıcaklıkları arttığında büyür. Dolayısıyla taneciklerin birbirleriyle etkileşimi artar ve ultrasonik dalgalar daha hızlı iletilir. Sıcaklığın artışıyla ultrases dalgalarının hızları artar.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Öncelikle gerekli malzemeler temin edilmiş ve deney düzenekleri hazırlanmıştır. Materyal karakterizasyonunda ultrases dalga hız metodu kullanılmıştır. Numunelerin ultrases dalga hızları ölçülerek sinterleme sıcaklığı ve ortalama tanecik boyutları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ortalama tanecik boyutları hesaplamaları için SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)'den alınan analiz sonuçlarından yararlanılmıştır.

WC, akımsız Ni kaplamaya tabi tutularak dört adet kaplanmış WC-Ni numunesi elde edilmiştir ve bu numunelerin her biri 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C sıcaklıklarda argon gazı korumalı atmosferde sinterlenmiştir.

WC ile Ni oranlı olarak karıştırılıp, dört adet kaplamasız WC-Ni numunesi elde edilmiştir. Yine bu numuneler de, kaplamalılarda olduğu gibi her bir tanesi 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C sıcaklıkta sinterlenmiştir.

Yapılanları şöyle özetleyebiliriz;

- Deneysel işlemler sonucu dört tane kaplamalı ve dört tane kaplamasız olmak üzere sekiz tane numune hazırlanmıştır.
- Bu numuneler bir kaplamalı ve bir kaplamasız olmak üzere ikişerli gruplar halinde 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C sinterlenmiştir.
- Presleme ve sinterleme sonrası kompozitlerde kütle kaybının olduğu bunun nedeninin de gözeneklilik olduğu anlaşılmıştır.
- Sekiz kompozitinde ultrases dalga hızları ölçülmüş ve SEM görüntü analizleri alınmıştır.
- Deneysel tane boyut değerleri SEM görüntülerinde faydalanılarak hesaplanmıştır.
- Ultrases dalga hızları ile sinterleme sıcaklıkları ve ortalama tane boyutları arasındaki ilişki incelenmiştir.
- Kompozitlerin ultrases hızlarının, sinterleme sıcaklıklarıyla ve ortalama tanecik boyutları ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, ultrases hızının tanecikli yapıyla uyum içerisinde oluşu, kullandığımız ultrases dalga hız metodunun doğru bir yöntem olduğunu göstermektedir. Tasarruf açısından, zaman ve ekonomi için uygun bir metottur.

Yöntem uygulanırken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

- Mümkün olduğu kadar numunelerde gözeneklerin oluşmamasına,
- Sinterleme esnasında bekleme süresine,
- Numune yüzeylerini düzgün olmasına ve metalografik işlemin uygulanmasına,
- Deneysel işlemlerin sırasına ve doğru uygulanmasına,
- İşlemleri gerçekleştirirken sağlığa zarar verici etkenlere dikkat edilmesi gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- Aral, E., 1987, ‘‘Ultras es ders notları’’, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aldrige, E., E., 1969, ‘‘Non-destructive Testing’’, Ed. X. Egerton, Oxford U. P., pp. 31-45
- Beecham, D., 1966, ‘‘Ultrasonics 4’’, pp. 67-76.
- 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.
- Bougoin, M., Thevenot, F. , Dubois, J. , and Fantozzi, G. , 1985, J. Less-Common Metals, pp. 114, 257.
- Brodhag, C. and Thevenot, F. , 1986, J. Less-Common Metals, pp.117-175.
- Çolak, F.,2004, ‘‘Kimyasal Metotla Nikel Kaplanmış Tungsten Karbür Tozları Kullanılarak Seramik-Metal Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi’’, Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metal Eğitim Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Datta, S. K., Ledbetter, H. M., Shah, A. H., 1985, ‘‘Ultrasonic Velocity Studies of Composites and Heterogeneous Materials’’, pp. 93-106.
- El-Mahallawy, N., Abi-Nader F. N., Borhan M. A-A., Shenouda. S., Attallah M. M., Ali, H., 1998, ‘‘High Performance Ceramics’’, The American University in Cairo Engineering Department Mechanical Engineering Unit ENG 327-Engineering Materials, pp. 4-36.

Fay, B., Brendel, K., Ludwig, G., 1976, "Ultrasound in medicine and biology 2", pp. 195-198.

Firestone, F. A., 1943, U. S. Patent 2.439.13.9

German, R. M., Mar, R. W. and Hastings, J. C., 1975, Am. Ceram. Soc. Bull. 54(2), 178.

Goebbels, K., Höller, R., 1976, "Ultrasound, Proceedings of the 8th World Conference on NDT", pp. 1-7.

Göller, G., Tekin, A., "Bor karbür üretim yöntemleri", İ. T. Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi/Met. Müh. Bölümü.

Grayali, N. and Shyne, J. C., 1985, Effect of microstructure and prior austenite grain size on acoustic velocity and attenuation in steel, Review of Progress in Quantitative NDE 4, D. O. Thompson and D. E. Chimenti (Eds.), Plenum Press, New York, pp. 927-936.

Gustafson, P., Gabriel, A. and Ansara, Z., 1967, Z. Metallik d; 78 [2], 151-156.

Halmshaw, R., 1991, "Non-Destructive Testing", St Edmundsbury Press, 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.

Hirse Korn, S., 1982, "The scattering of ultrasonic waves by polycrystals", J. Acoust Soc Am 72, pp. 1021-1031.

- Hirse Korn, S., 1983, "Scattering of ultrasonic waves in single phase polycrystalline metals including multiple scattering" In: P. Höller, Editors, New procedurs in nondestructive testing (proceedings), Springer, Berlin, pp. 265-275.
- Kalandadze, G. I., Shalamberidze, S. O., Peikrishvili, A. B., 2000, "Sintering of Boron Carbide", Journal of Solid State Chemistry 154, pp. 194-198.
- Kislyi, P. S., Kuzenkova, M. A., Bondaruk, N. I. And Grabhuk, G. L., 1983, "Boron Carbide" Naukova dumka, Kiev.
- Knudsen, A. K., in: Messing, G. L., Mazdiyasi, K. S., McCauley, J. W., Haber, R. A., (Eds.), 1987, Ceramic Powder Science, Advances in Ceramics, Vol. 21, American Ceramic Society, Westerville, OH, pp.237.
- Kozack, M. J., Khatri, S. C., Alison, J. E., Baber, M. G., 1993, in: S. Suresh et al. (Eds.) Fundamentals of MMCs, Butterworth-Heinemann, Boston, MA, pp.297-326.
- Mahagin, D. E., Dahl, R. E., 1977, "Nuclear applications of boron and the borides", In: V. I. Matkovich (Ed.), Boron and Refractory Borides, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 613-632.
- Mason, W. P., McSkimmin, H. J., 1947, "Journal of the Acoustical Society of America 19", pp. 464-473.
- Malkovich, V. J. (Ed.), 1977, "Boron and Refractory Borides" Springer Verlag, Berlin.
- Nagy, P. B., 2003, "Ultrasonic Nondetsructive Evaluation", Dept. Aerospace Eng.&Eng. Mechanics, Part 5, pp. 5.1-5.2-5.14.
- Özdemir, T., "Bor Karbür Esaslı Seramik Metal Kompozitlerinin Ultrases Dalga Hız Metodu İle Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini", Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Özden, N.,1981, Sesötesi (ultrasonik) ile muayene, Segem Yayınları, pp. 48, 141.
- Palanichamy, P., Joseph, A., Jayakumar T. and Raj, B., 1995, Ultrasonic velocity Measurements for estimations of grain size inaustenitic 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.
- Peker, M., 1989, ‘‘Ultraseler ile Katı, Sıvı ve Gaz Ortamların Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi’’, Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Petculescu, P., Matei, J., 2004, ‘‘Ultrasonics Investigation of n-Si Samples’’, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 6, No. 1, pp. 253-260.
- Quehella, D. T., 2000, Laser ultrasonics investigations of vertical bridgman crystal growth, Ph. D. Thesis, University of Virginia, 226p. (unpublished).
- Rayleigh, Lord., 1929, Theory of Sound Vol. 2, Macmillan Co., New York, pp. 152.
- Roy, T. K., Subramanian, C., Suri, A. K., 2005, ‘‘Pressureless sintering of boron carbide’’, Elsevier, Ceramics International, article in press.
- Roderick, R. L., Truell R., 1952, ‘‘Journal of the Acoustical Society of America 23’’, pp. 267-275.
- Samsonov, G. V.,(Ed.), 1960, ‘‘Boron, Its Compound and Alloys’’ Izd. AN USSR, Kiev.

- Sarpün, İ. H., 2004, ‘‘Ultrasen Yöntemi ile Çeşitli Mermerlerin Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini’’, Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Sarpün, İ. H., 1998, ‘‘Ultrasen ile Mermer Blokların İç Yapısının ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tayini’’, Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Sarpün, İ. H., Doğan, M., 2004, ‘‘Ultrasonik Materyal Karakterizasyonu’’, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, pp. 1-5.
- Scales, J. A. and Malcolm, A. E., 2003, Laser characterization of ultrasonic wave propagation in random media, Physical Review E 67 046618.
- Scott, J. J., 1964, US Pat. No.3 161 471.
- Sinha, A., Mahata, T., Sharma, B. P., 2002, J. Nucl. Mater. 301, pp. 165.
- Spohn, M. T., 1993, Am. Ceram. Soc. Bull. 72, pp. 88.
- Srivatsan, T. S., Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A., Lavernia, E. A., Lavernia, E. J., 1991, ‘‘Processing techniques for particulate-reinforced aluminium metal matrix composites’’, J. Mater. Sci. 26, pp. 5965-5978.
- Surappa, M. K., Rohatgi, R. K., 1981, ‘‘Preparation and properties of cast aluminium-ceramic particle composites’’, J. Mater. Sci. 16, pp. 983-993.
- Talaş, Ş., Erol, A., Çolak, F., 2004, ‘‘Electroless Ni Plating of WC’’. Afyon Kocatepe University, Technical Education Faculty, Afyonkarahisar.
- Thang, K-Y., Kim K.-C., 1999, ‘‘Ultrasonics’’, pp. 37-39.

Thevenot, F., 1990, ‘‘Boron carbide-a comprehensive review’’, J. Eur. Ceram. Soc. 6, pp. 205-225.

Tuncel, S., 1995, ‘‘Tarama Ultrasonik Muayene Tekniği’’, Marmara Araştırma Merkezi, Gebze-Kocaeli.

Turan, S., 1998, ‘‘Taramalı Elektron Mikroskobu ve Uygulamaları’’, Seramik-Araştırma Merkezi, Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

Yılmaz, F., Akbulut, H., 1994, ‘‘Seramik Partiküllerle Takviye Edilmiş Alüminyum-Bakır Alaşımlarının İncelenmesi’’ TÜBİTAK Makine Malzeme ve İmalat Sistemleri Araştırma Grubu.

Yılmaz, M., Altıntaş, S., 1997, ‘‘Al-SiC<sub>p</sub> Kompozitinin Isıl Çevrim Koşulu Altında Davranışının Teorik ve Deneysel İncelenmesi’’, 9. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, pp. 721-726, İstanbul.

### **İnternet Kaynakları**

### **Erişim Tarihleri**

- |  |            |
|--|------------|
| 1. <a href="http://www.sciencedirect.com/ceramic-metal-composites">http://www.sciencedirect.com/ceramic metal composites</a> | 16.03.2007 |
| 2. <a href="http://www.sciencedirect.com/ultrasonic-velocity">http://www.sciencedirect.com/ultrasonic velocity</a>           | 10.05.2007 |
| 3. <a href="http://www.google.com/tungsten-karbür">http://www.google.com/tungsten karbür</a>                                 | 03.06.2007 |
| 4. <a href="http://www.google.com/tungsten-carbide">http://www.google.com/tungsten carbide</a>                               | 18.08.2007 |
| 5. <a href="http://www.google.com/sonatest-cihazlar">http://www.google.com/sonatest cihazlar</a>                             | 24.10.2007 |

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Özlem SEVİM
Doğum Yeri	Dusseldorf
Doğum Tarihi	14.12.1980
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dili	İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum)	
Lise	Afyon Anadolu Öğretmen Lisesi
Lisans	Antalya Akdeniz Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü
Yüksek Lisans	Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı
Katılan Kongre: World Year of Physics 2007 Turkish Physical Society 24 <sup>th</sup> International Physics Congress, Malatya, TURKEY (28-31 August 2007)	
Katılan Konu: 'Ultrasonic Particular Size Measurement Methods'	