

ULTRASONİK TEST YÖNTEMİ YARDIMIYLA SiC_p TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMEMLERİN ELASTİKLIK MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ

İbrahim ŞAHİN*

Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
İstanbul
e-mail: isahin@yildiz.edu.tr

Ayşegül AKDOĞAN EKER

Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
İstanbul

ÖZET

Metal matriksli kompozit malzemeler otomotiv, uzay, havacılık, askeri alan ve elektronik endüstrisi gibi birçok alanda yüksek mekanik özellikleri, mükemmel aşınma direnci, korozyon direnci ve hafiflikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bu çalışmada, sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş, sıcak ekstrüzyonla şekillendirilmiş ve T6 ısıl işlemi uygulanmış, ağırlıkça %5, %10 ve %15 SiC partikül içeren AlSi7Mg2 matriksli kompozit malzemelerin, takviye oranına göre ultrasonik dalga hızlarının değişiminin incelenmesi ve buna bağlı olarak da elastiklik modülünün belirlenmesi amaçlanmıştır. SiC oranının artışı ile ultrasonik dalga hızının ve elastiklik modülünün arttığı görülmüştür. T6 ısıl işlemi, kompozit malzemelerin elastiklik modüllerinde düşük miktarlarda artıslara sebep olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Metal matriksli kompozitler, sıkıştırma döküm, ekstrüzyon, ultrasonik dalga, elastiklik modülü

Determination of The Elastic Modulus of SiC_p Reinforced Composite Materials By Ultrasonic Test Method

ABSTRACT

Metal matrix composite materials are preferred in many areas such as the automotive, space, aviation, military systems and electronic industries applications due to their light weight, high mechanical properties, excellent wear and corrosion resistance. The present study examined the changes in ultrasonic wave speed with reinforcement ratio and determined of the elastic modulus of AlSi7Mg2 matrix composite materials containing SiC particle reinforcements in 5, 10 and 15 wt.%, which were produced using squeeze casting method and shaped by hot extrusion method and subsequently T6 heat treated. An increase in the SiC_p ratio resulted in an increase of the ultrasonic wave speed and elastic modulus values. The T6 heat treatment provided an insignificantly increase of the elastic modulus values of composite materials

Keywords : Metal matrix composites, squeeze casting, extrusion, ultrasonic wave, elastic modulus

* İletişim yazarı
Geliş/Received : 25.03.2009
Kabul/Accepted : 03.07.2009

GİRİŞ

Kompozit malzemeler son 30 yıldır birçok alanda geleneksel mühendislik malzemelerinin yerini almaktadır. Metal matrişli kompozit (MMK) malzemeler hafiflik, yüksek mekanik özellikler, mükemmel aşınma ve korozyon direnci nedeniyle tercih edilmektedir. Özelliklerinin kontrolünde ana faktörler; imalat yöntemi, matris malzemesi türü ile takviye elemanın türü, boyutu ve matris içerisindeki dağılımıdır.

MMK malzeme üretimi ve üretim sonrası şekillendirme proseslerinin gelişmeleri, teknolojik uygulamalar için çok önemlidir. Üretim yöntemleri; matris ve takviye malzemesi türü ve takviye malzemesi şekli yönlerinden farklı değerlendirilebilir [1]. Partikül takviyeli MMK malzemeler, diğer kompozit türlerine oranla ekstrüzyon, haddeleme ve dövme gibi geleneksel imalat yöntemleri ile daha kolay şekillendirilebilirler [2].

Üretilen malzemenin yüksek döküm ve plastik şekillendirme kapasetine sahip olması istenir. Şekillendirilebilirlik ve malzeme özellikleri malzemenin iç yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Kompozit malzemelerin mikroyapılarının iyileştirilmesi son zamanlarda yapılan çalışmalarla, sıkıştırma döküm yöntemi yardımıyla mümkün olabilmektedir [3]. Sıkıştırma döküm yöntemi, metal bir kalıp içerisinde yerleştirilen, ön ısıtma yapılmış, seramik fiber veya başka bir takviye malzemesinden olmuş ön şeke, kuvvet yardımıyla sıvı metalin emdirilmesi ve böylece sıkıştırılan sıvı metale yüksek basınç uygulanarak katlaştırılması işlemidir [1]. Buna alternatif olarak, visker veya partiküller sıvı metalle, döküm öncesi karıştırılabilir. SiC, Al_2O_3 partikülleri ve Si_3N_4 viskerleri içeren Al合金 matrişli kompozit malzemeler bu şekilde üretilmektektir [4].

Alüminyum matrişli SiC partikül takviyeli kompozit malzemeler günümüzde, yüksek hızlı trenlerin fren rotorları, otomotiv endüstrisinde fren diskleri, fren kampanası, silindir gömleği, piston kolu malzemesi olarak ve uçaklarda rüzgar paneli, gövde elemanları ve uçuş kontrol hidrolik manifoldlarında, elektronik endüstrisinde elektronik devre elemanlarında olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.

Döküm MMK malzemeler; homojen dağılım, düşük porozite ve daha ince tane yapısı elde etmek için ekstrüzyon yöntemi ile şekillendirilirler [5]. Ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilen kompozit malzemelerin çekme dayanımı ve uzama değerleri, sıcak presleme ile üretilenlerden yüksektir. Ekstrüzyon işlemi ile kompozit malzemelerin uzama miktarı iki kat daha yükselmektedir [6].

Malzemelerin muayenesinde kullanılan ultrasonik test

yönteminde, test tekniği ve teorisi biraz karmaşık olmasına rağmen, yöntemin arkasındaki temel kavramlar basittir [7]. Yöntemin uygulama alanı hataların belirlenmesi ile sınırlı değildir, malzeme özelliklerinin (örneğin elastiklik modülü, porozite, tane boyutu, tercihli tane yönlenmesi gibi) belirlenmesinde de kullanımını artmaktadır. Özellikler çoğunlukla hız, güç kaybı ve ultrasonik enerjinin geri yansımاسının ölçümlesiyle belirlenir [8]. Ultrasonik analizler, boyuna ve enine yönde dalga hızlarından hareketle, MMK'lerin anizotropisini karakterize etmek ve elastiklik özelliklerinin incelenmesi için de etkin bir yoldur. Malzemenin elastiklik modülünün geleneksel çekme yöntemlerine nazaran özellikle kayma özellikleri ve Poisson oranı ile ilgili olarak daha hassas bir şekilde belirlenmesini sağlar [9].

Ultrasonik dalgaların yayılmasının mikroyapı ve mekanik özelliklerin değişimine duyarlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle mikroyapı parametreleri ve ultrasonik test sonuçları arasındaki bağıntının belirlenmesi, işlem parametrelerinin geliştirilmesi ve kompozitlerin kalite kontrolleri açısından faydalıdır [2].

Al matrişli kompozit malzemelerdeki küçük mikroyapı değişimlerini ve elastiklik modüllerini belirlemek için ultrasonik yöntemler üzerinde çalışılmıştır.

Fang vd.nin yaptığı bir çalışmada, döküm yöntemi ile üretilen, hacimsel olarak %10, %15 ve %20 Al_2O_3 içeren 6061 Al合金 matrişli kompozit malzemeye sıcak ekstrüzyon işlemi uygulanmıştır. Ultrasonik test yöntemiyle ultrasonik dalga hızları ölçülerek, Al matrişli kompozit malzemedeki seramik partiküllerin hacimsel oranı hesaplanmıştır. 5 MHz'lık tek kristalli normal prob ile boyuna dalgalar üretilmiştir. Eğer MMK'deki porozite değerleri çok fazla değilse, bu yöntem hem hızlı hem de güvenilir bir yöntemdir. Ultrasonik test yöntemi, zaman tasarrufu yönünden avantajlıdır [10].

Gür ve Ogel'in yaptığı çalışmanın konusu, SiC partiküllerin hacimsel oranı, boyutu ve dağılımı gibi mikroyapı parametrelerinin, Al matrişli kompozit malzemelerdeki ultrasonik dalga yayılmasına etkisinin nasıl olduğunu belirlemektir. Bu amaçla SiC partikül takviyeli Al matrişli kompozit malzemeler, toz metalurjisi yöntemi kullanılarak, laboratuvar ölçünginde üretilmiştir. Al-SiC kompozit malzemesinde ultrasonik dalga hızının, SiC oranının artışı ile artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, sabit hacimsel takviye oranında, SiC boyutunun 10 μm 'den 40 μm 'ye çıkması halinde ultrasonik hızın etkilenmediği görülmüştür. Yüksek hacimsel takviye oranlarında, SiC partiküllerin homojen dağılımı, ultrasonik dalga hızını önemli derecede etkilemiştir [11].

Gür'ün yaptığı bir başka çalışmada, farklı oranlarında SiC partikül takviyeli 25 μm ve 180 μm çaplı saf Al tozlarından,

sıcak presleme ile kompozit malzeme üretilmiştir. Her bir toz karışımına hacimsel olarak %5 oranında Cu toz ilave etmiştir. Hem enine hem de boyuna dalga hızlarının, kompozitteki SiC miktarının artışıyla yükseldiği belirlenmiştir. Hacimsel olarak %10'un üzerinde SiC içermesi durumunda, kompozit malzemeyi oluşturan elemanların partikül boyut oranı, ultrasonik hız için önemli bir etken olmaktadır. Yüksek bir Al/SiC partikül boyut oranı, Al tozlarının sınırları boyunca SiC segregasyonlarına sebep olmaktadır ve böylece, takviyenin homojen dağılımıyla ilgili olarak daha düşük ultrasonik hızlar elde edilmektedir. Ultrasonik hızlardaki bu düşüş, segregasyonlu yapıdaki mikro ölçekli porozite ile ilişkilidir [12]. Ultrasonik hız ölçümünün, SiCp takviyeli Al matrişli kompozit malzeme üretiminde kalite ve işlem parametrelerinin kontrolünde güvenilir olduğu görülmüştür [12].

Bona vd.nin yaptığı çalışmada ise çeşitli üretici firmaların ürettiği, cam emdirilmiş Al_2O_3 , esaslı seramik matrisli kompozit malzemelerin elastiklik modülleri ve Poisson oranları, ultrasonik test teknigi kullanılarak belirlenmiştir [13].

Bu çalışmada, sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş, sıcak ekstrüzyonla şekillendirilmiş ve T6 ısıl işlemi uygulanmış, ağırlıkça %5, %10 ve %15 SiC partikül içeren AlSi7Mg2 matrisli kompozit malzemelerin, takviye oranına göre ultrasonik dalga hızlarının değişiminin incelenmesi ve buna bağlı olarak da elastiklik modülünün belirlenmesi amaçlanmıştır.

DENEYSEL YÖNTEM

Matris malzemesi olarak, AlSi7Mg2合金ası seçilmiştir. Bunun için, AlSi12合金asına %99,7 saflıktaki Al ilave edilerek Si oranı %7'ye düşürülmüş ve %2 oranında Mg ilave edilerek Tablo 1'de kimyasal bileşimi verilen AlSi7Mg2 matris malzemesi elde edilmiştir. Takviye malzemesi olarak, $3,18 \text{ g/cm}^3$ yoğunluklu, FEPA (Federation of European Producers of Abrasives) standardına göre 400 Mesh'lik ($11\text{--}44 \mu\text{m}$), ortalama $23 \mu\text{m}$ çapındaki SiC partiküller seçilmiştir.

Tablo 1. AlSi7Mg2 Matrix Malzemesinin Kimyasal Bileşimi (%)

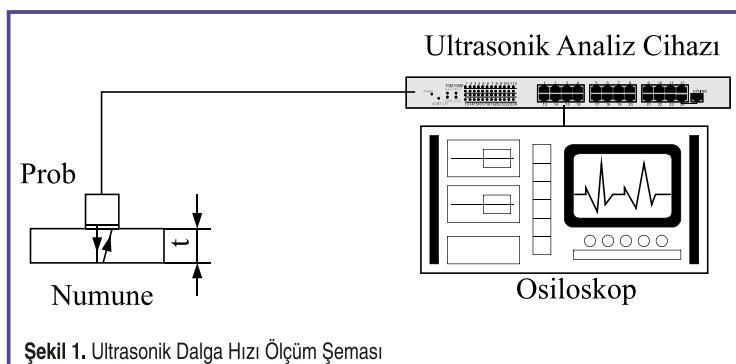
Al	Si	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn
Kalan	7,48	2,47	0,05	0,357	0,043	0,047

Kompozit malzeme üretimi için sıkıştırma döküm yöntemi seçilmiştir. İndüksiyon ocağına yerleştirilen pota içerisinde AlSi7Mg2 matris malzemesi konarak ergitilmiş ve içerisinde ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında SiC partikülleri, grafit çubuk ile sürekli karıştırılarak katılmışlardır. Daha sonra bu karışımın bir kısmı, 100 °C'luk bir sıcaklığa ısıltılmış olan sıcak

ış takım çeliğinden yapılmış (W.Nr. 1.2714) kalıp içeresine boşaltılmış ve 100 MPa'lık bir basınçla hidrolik pres yardımı ile sıkıştırılarak katlaşması sağlanmıştır. Böylece, sıkıştırma döküm yöntemi ile 90 mm çapta ve 90 mm boyundaki silindirik deney blokları üretilmiştir. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen MMK blokların bir kısmı, 450°C'de 23:1 ekstrüzyon oranında sıcak ekstrüzyon yöntemi ile şekillendirilmiş ve 25 mm çapında çubuklar elde edilmiştir. Ekstrüzyon işlemi, yatay ekstrüzyon presinde yapılmıştır ve ekstrüzyon basıncı 150 MPa, ekstrüzyon hızı 0,5 m/dak olarak alınmıştır.

Deney numunelerinin bir kısmına T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. Bunun için, 520°C'de 6 saat süre ile ısıtılarak çözeltiye alınan ve 20°C'deki suya atılarak soğutulan numuneler, 170°C'de 5 saat ısıtılarak havada soğutulmuş ve suni yaşlandırma işlemi yapılmıştır.

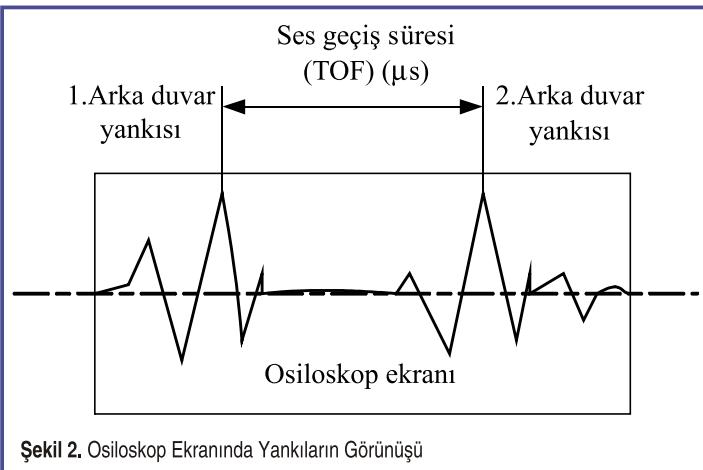
Sıkıştırma döküm ve ekstrüzyonla şekillendirilen parçalardan alınan dikdörtgen kesitli numuneler taşlanarak 0,03 mm toleransla yüzey paralelliği sağlanmış ve 320, 400, 600, 800, 1000 mesh'lik zımparalardan geçirilmiştir. Ultrasonik dalga hızı ölçümü, darbe yankı tekniğiyle yapılmıştır. Dalga hızı ölçümleri için, Şekil 1'de görülen düzenek kullanılmış, modeli 5052UAX50 olan Panametrics marka ultrasonic analyzer cihazı ve buna bağlı olan 150 MHz kapasiteli Gould DataSys 740 marka dijital osiloskoptan faydalanylmıştır.



Sekil 1. Ultrasonik Dalga Hızı Ölçüm Seması

Her bir numunede boyuna ve enine dalga hızı ölçümleri yapılmıştır. Boyuna dalga için 10 MHz, enine dalga için 5 MHz'lik Krautkramer Branson-15 marka, 0,5 inç tek kristalli normal prob kullanılmıştır. Numune yüzeyi ile prob arasındaki arayüzeyde sabit bir temas sıvısı (boyuna dalgalar için makina yağı, enine dalga için bal) kalınlığı elde edebilmek amacıyla numune yüzeyindeki proba sabit bir kuvvet uygulanmıştır. Ses hızı, ultrasonik dalgaların, kalınlık boyunca paralel yüzeyler arasındaki gidiş geliş süresinin ölçülmesiyle belirlenmiştir. 1. ve 2. arka duvar yankılarının ilk tepe noktaları arasındaki geçiş süresi ölçülmüştür (Şekil 2).

Boyuna dalga hızı ölçümlü ile bulunan ses geçiş süresi μ s cinsinden TOFL ile enine ölçümlü bulunan ses gecis süresi ise



Şekil 2. Osiloskop Ekranında Yankıların Görünüşü

TOFT ile ifade edilmiştir. Bulunan bu ses geçiş süreleri ile aşağıdaki (1) ve (2) bağıntıları yardımıyla, boyuna ve enine dalga hızları bulunmuştur.

$$V_L = \frac{2t}{TOFT} \times 1000 \quad (1)$$

$$V_T = \frac{2t}{TOFT} \times 1000 \quad (2)$$

Burada V_L ve V_T sırasıyla, boyuna ve enine dalga hızları (m/s), t numunenin kalınlığıdır (mm) [10]. Parçaların et kalınlıkları, saatli kumpas yardımıyla 0,02 mm hassasiyette mekanik olarak ölçülmüştür.

Daha sonra (3) bağıntısı yardımıyla malzemelerin Poisson oranları hesaplanmıştır:

$$\mu = \frac{0,5 - \left(\frac{V_T}{V_L} \right)^2}{1 - \left(\frac{V_T}{V_L} \right)^2} \quad (3)$$

Bulunan bu μ yardımıyla elastiklik modülünün hesaplanması için aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır. Bu iki bağıntı ile elde edilen sonuçlar birbirine eşittir.

$$E = 2\rho V_T^2 (1 + \mu) \quad (4)$$

$$E = V_L^2 \rho \left[\frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \right] \quad (5)$$

Burada elastiklik modülü (GPa), ρ malzemenin yoğunluğu (g/cm³) [12].

SONUÇLAR

Parça eksene paralel olarak yapılan ultrasonik dalga hızı ölçümü ile belirlenen enine ve boyuna dalga hızları ile elastiklik modülleri Tablo 2'de verilmiştir [14].

Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen bloklardan alınan numuneler üzerindeki boyuna ve enine ultrasonik dalga hızı ölçümü sonucunda, artan SiC partikül oranı ile dalga hızlarının arttığı tespit edilmiştir (Şekil 3). Uygulanan T6 ısıl işlemi, eksene paralel olarak yapılan boyuna dalga ölçümünde matris malzemesinde dalga hızının düşmesine, kompozit malzemedede ise yükselmesine sebep olmuştur (Şekil 4).

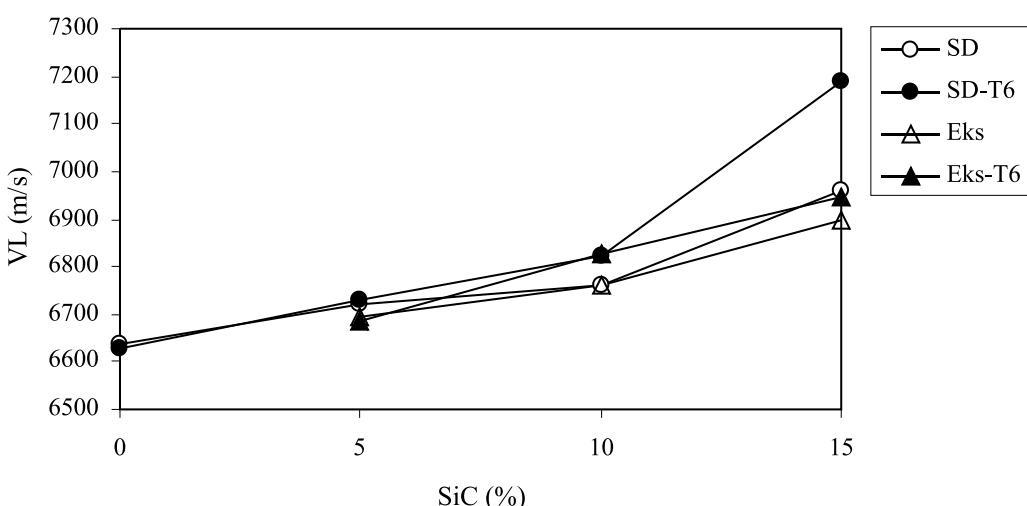
Tablo 2. Ultrasonik Yöntemle Ölçülen Dalga Hızları ve Elastiklik Modülleri (SD: Sıkıştırma Döküm, Eks: Ekstrüzyon)

Malzeme	SiC (%)	ρ (g/cm ³)	t (mm)	V_L (m/s)	V_T (m/s)	Poisson oranı (μ)	E (GPa)
SD- AlSi7Mg2	0	2,652	10,35	6636	3293	0,337	76,81
SD- AlSi7Mg2/5SiC _p	5	2,673	10,45	6721	3429	0,345	83,20
SD- AlSi7Mg2/10SiC _p	10	2,691	10,25	6762	3435	0,326	83,88
SD- AlSi7Mg2/15SiC _p	15	2,720	11,17	6960	3635	0,312	94,66
SD- AlSi7Mg2-T6	0	2,645	11,66	6626	3224	0,345	74,07
SD- AlSi7Mg2/5SiC _p -T6	5	2,672	10,52	6730	3431	0,324	83,52
SD- AlSi7Mg2/10SiC _p -T6	10	2,687	10,49	6822	3464	0,326	85,12
SD- AlSi7Mg2/15SiC _p -T6	15	2,723	10,81	7190	3638	0,328	95,73
Eks- AlSi7Mg2/5SiC _p	5	2,667	11,49	6696	3462	0,318	84,34
Eks- AlSi7Mg2/10SiC _p	10	2,687	11,12	6759	3571	0,306	89,27
Eks- AlSi7Mg2/15SiC _p	15	2,696	11,04	6899	3547	0,320	89,22
Eks- AlSi7Mg2/5SiC _p -T6	5	2,670	10,93	6687	3327	0,336	78,19
Eks- AlSi7Mg2/10SiC _p -T6	10	2,692	11,33	6827	3608	0,306	91,23
Eks- AlSi7Mg2/15SiC _p -T6	15	2,696	12,73	6945	3525	0,327	88,72

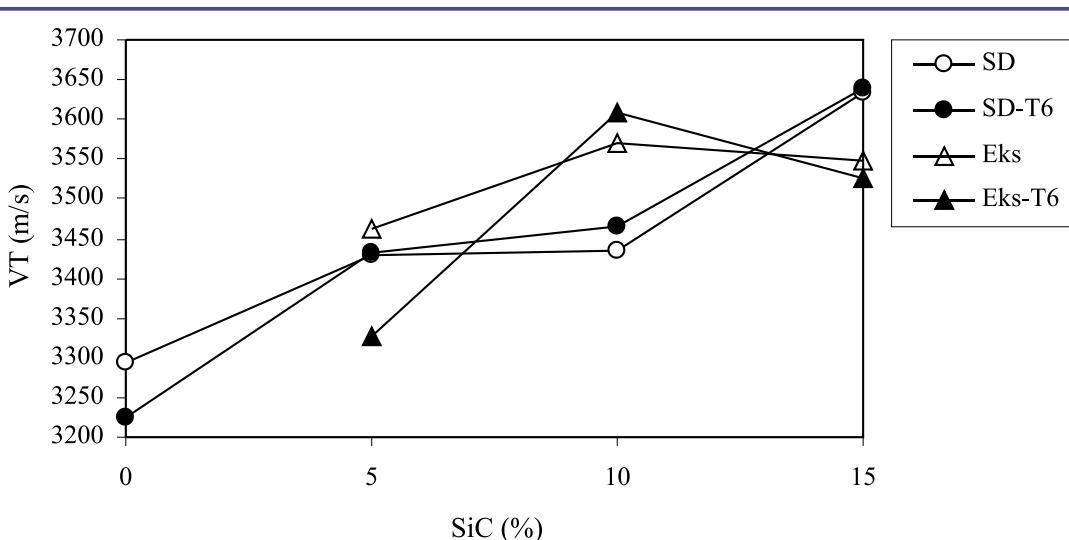
Ekstrüzyon işlemi ile şekillendirilen çubuklardan alınan numuneler üzerinde yapılan dalga hızı ölçümelerinde, SiC oranının artışıyla yine dalga hızlarının arttığı saptanmıştır (Şekil 3). T6 ısıl işlemi sonucunda ise, %15 SiC partikül içeren numunelerde, enine dalga ölçümelerinde, %10 SiC içeren numunelerle karşılaşıldığında dalga hızında düşme olduğu görülmüştür (Şekil 4).

Ultrasonyik ölçümelerden elde edilen dalga hızı değerleri ile (3) denklemi yardımıyla Poisson oranları hesaplanmıştır. Bu değerler ve Archimedes prensibi ile yapılan ölçümeler yardımıyla elde edilen [14] malzeme yoğunlukları (4) ve (5) denklemlerinde yerlerine konarak elastiklik modülleri belirlenmiştir. Hesaplanan elastiklik modüllerinin ağırlıkça %SiC oranı ile değişimi Şekil 5'teki grafikte gösterilmiştir.

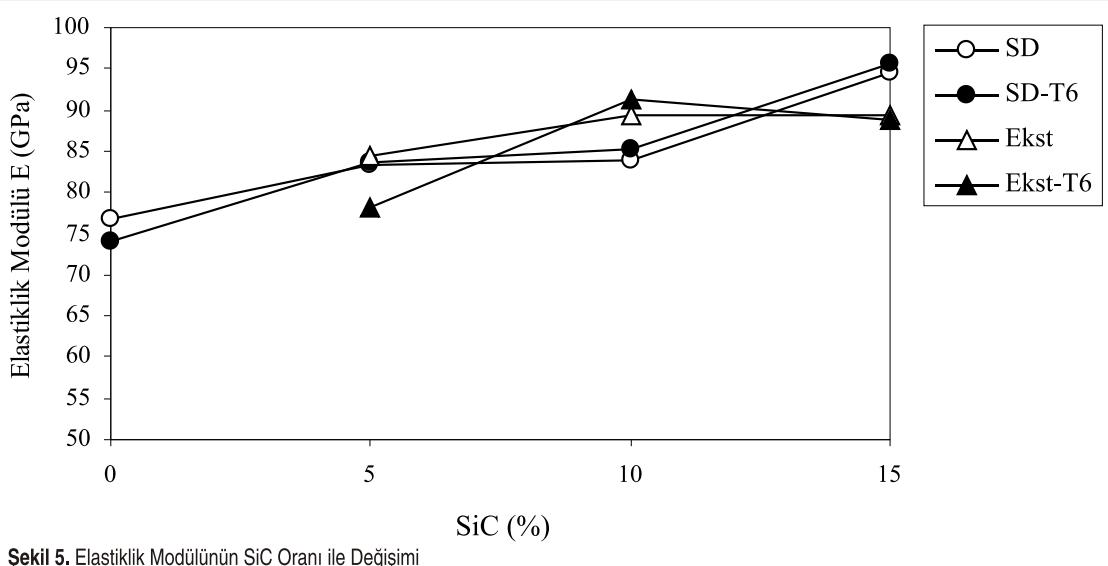
Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzemelerde SiC oranının artışıyla, elastiklik modülünün arttığı görülmüştür. Attia ve Jung vd.nin yaptığı çalışmalar da benzer sonuçlar bulunmuştur [15, 16]. Lee vd., sıkıştırma döküm yöntemiyle ürettiği, 9-10 μm boyutunda, hacimce %15 SiC partikül takviyeli A356 Al合金 matrişli kompozit malzemenin elastiklik modülünü 90 GPa olarak belirlemiştir [17]. Çalışmamızda kullandığımız AlSi7Mg2 matriş合金ının elastiklik modülü 76,81 GPa iken, %5, %10 ve %15 SiC içeren kompozit malzemede sırasıyla, 83,20 GPa, 83,88 GPa ve 94,66 GPa olarak hesaplanmıştır. Buna göre, %15 SiC içeren kompozit malzemenin elastiklik modülü, matriş合金ına oranla %23 artmıştır. Uygulanan T6 ısıl işlemi sonucunda matriş malzemesinin elastiklik modülü %4 oranında düşmüştür, kompozit malzemelerin elastiklik modüllerinde ise çok küçük miktarlarda



Şekil 3. Eksene Paralel Olarak Ölçülen Boyuna Dalga Hızı Değerlerinin SiC Oranı ile Değişimi



Şekil 4. Eksene Paralel Olarak Ölçülen Enine Dalga Hızı Değerlerinin SiC Oranı ile Değişimi



artışlar olmuştu. Ekstrüyonla şekillendirilen numunelerde ise, %5 SiC içeren numunenin elastiklik modülü 84,34 iken, %10 SiC içeren kompozit malzemede %6'luk bir artışla 89,27 GPa değerine yükselmiştir. SiC oranı %15'e çıktığında ise elastiklik modülünde değişme olmamıştır. T6 isıl işlemi, %5 ve %15 SiC oranlarında elastiklik modülünü düşürmüştür, %10 SiC oranında ise çok küçük miktarda arttırmıştır.

KAYNAKÇA

- Huda, M.D., Hashmi, M.S.J. ve El-Baradie, M.A. 1995. "MMCs: Materials, Manufacturing and Mechanical Properties", Key Engineering Materials, Cilt 104-107, 37-64.
- Gür, C.H. 2003. "Investigation of Microstructure-Ultrasonic Velocity Relationship in SiCp-Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites", Mat. Sci. and Eng., Cilt A361, 29-35.
- Erturan, H., Savaş, M.A. ve Altıntaş, S. 2000. "Döküm Kalitesinin Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Yükseltmesi", Mühendis ve Makine, Cilt 41, Sayı 486, 43-46.
- Eliasson, J. ve Sandström, R. 1995. "Applications of Aluminium Matrix Composites", Key Engineering Materials, Cilt 104-107, 3-36.
- Taha, M.A. 2001. "Practicalization of Cast Metal Matrix Composites (MMCCs)", Materials and Design, Cilt 22, 431-441.
- Libin, Z. ve Jintao, H. 1998. "Metal Matrix Composites in China", Journal of Materials Processing Technology, Cilt 75, 1-5.
- Shull, P. J. ve Tittmann, B.R. Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques, and Applications, Marcel Dekker Inc., New York, A.B.D., 2002, 63-192.
- Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Elsevier, 2001, 6039-6043.
- Huang, Y.D., Froyen, L., ve Wevers, M. 2000. Quality Control and Nondestructive Tests in MMC, MMC-Assess Thematic Network, Institute of Materials Science and Testing, Vienna University of Technology.
- Fang, C.-K., Fang, R.L., Weng, W.P. ve Chuang, T.H. 1999. "Applicability of Ultrasonic Testing for the Determination of Volume Fraction of Particulates in Alumina-Reinforced Aluminum Matrix Composites", Materials Characterization, Cilt 43, 217-226.
- Gür, C.H. ve Ogel, B. 2001. "Non-destructive Microstructural Characterization of Aluminium Matrix Composites by Ultrasonic Techniques", Materials Characterization, Cilt 47, 227-233.
- Gür, C.H. 2001. "Investigation of SiCp Reinforced Aluminium Matrix Composites by Shear and Longitudinal Ultrasonic Waves", INSIGHT, British Journal of NDT, Cilt 43, No 11, 748-750.
- Boan, A.D., Mecholsky Jr., J.J., Barret, A.A. ve Griggs, J.A. 2008. "Characterization of Glass-infiltrated Alumina-based Ceramics", Dental Materials, Cilt 24, 1568-1574.
- Şahin, İ. 2004. Silisyum Karbür Takviyeli Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Mikroyapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Attia, A.N. 1993. "Static ve Dymanic Properties of Al-Si Alloys/SiC Particulate Composites", Key Engineering Materials, Cilt 79-80, 327-338.
- Jung, H.K., Cheong, Y.M., Ryu, H.J. ve Hong, S.H. 1999. "Analysis of Anisotropy in Elastic Constants of SiCp/2124 Al Metal Matrix Composites", Scripta Materialia, Cilt 41, Sayı 12, 1261-1267.
- Lee, S., Kwon, D. ve Suh, D. 1996. "Microstructure and Fracture of SiC-Particulate-Reinforced Cast 356 Aluminum Alloy Composites", Metallurgical and Materials Transactions A, Cilt 27A, 3893-3901.