



Makale / Research Paper

δ -Al₂O₃ Kısa Fiber Takviyeli LM 13 Alüminyum Alaşımının Eğilme Dayanımına Yaşlandırma Isıl İşleminin Etkisi

Yahya ALTUNPAK^{1,*} ve Hatem AKBULUT²

¹ Department of Mechanical Engineering, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, 14300, Turkey

² Department of Metallurgy and Materials Engineering, Sakarya University, Sakarya, 54187, Turkey

*altunpak_y@ibu.edu.tr

Received/Geliş: 25.09.2018

Accepted/Kabul: 26.11.2018

Öz: Bu çalışmada, 3,0 MPa basınç altında, vakum ortamında, gaz basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş ve bünyesinde değişik oranlarda δ -Al₂O₃ saffil kısa fiber (% 0-30) bulunan Al-12Si (% ağı.) alaşımı (LM13) kullanılmıştır. Literatürde, LM13 alaşımına uygulanan standart T6 ısıl işlemi 515°C'de 8 saat çözeltiye alınma ve 171°C'de 12 saat yaşlandırma. Ancak bu kompozitler üzerinde yapılan önceki çalışmalar, T6 yaşlandırma işleminin yaşlanma esnasında intermetaliklerin çözeltiye alınmasını için uygun olmadığını göstermektedir. Bu amaçla, bir önceki çalışmada takviye elemanlarının matris fazı çökmesi üzerindeki etkisini açıklığa kavuşturmak için farklı ısıl işlem parametreleri denenmiştir. Bu çalışmanın amacı ise, δ -Al₂O₃ kısa fiberlerin ve farklı yaşlanma ısıl işlem parametrelerinin bu kompozitlerin eğilme dayanımı üzerindeki etkisini incelemektir. Eğme deneylerinde kullanılan numunelerinin ısıl işleminde genel olarak maksimum mikrosertlik değerlerinin elde edildiği ısıl işlem parametreleri kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerine üç nokta eğme deneyleri uygulanmış ve numunelerin kırık yüzeyleri ise taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmişlerdir. Optimum yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış her bir kompozit numunelerinin eğme mukavemeti değerleri standart T6 ısıl işlemi uygulanmış olanlarla kıyaslandığında çok daha iyi çıkmıştır. Ayrıca maksimum eğme mukavemeti değerlerinin elde edildiği kompozit malzemelere ait kırık yüzeylerin SEM görüntüsüne bakıldığında, kırılan numunelerde fiberlerin matrisle oldukça iyi bir şekilde bağlandığını ve fiberlerin matristen sıyrılmaya başlamasının minimum olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: LM13, MMK, Alümina kısa fiber, Eğme dayanımı.

Effect of Aging Heat Treatment on Bending Strength of δ -Al₂O₃ Short Fiber Reinforced LM 13 Aluminum Alloy

Abstract: In this study, δ -Al₂O₃ short fibers (0%-30 %) reinforced Al-12Si (wt-%) LM-13 aluminum composites formed by gas pressure infiltration method were used. In the literature; the standard aging heat treatment of LM-13 aluminum alloy is given as solutionizing at 515 °C for 8 h. And aging at 171 °C for 12 h. Prior experiments on these composites have shown that this aging treatment was not sufficient to get the intermetallics, that to be precipitated during aging, could not be solved by the standard solution temperatures and times. For this purpose, different heat treatment parameters have been tried to clarify the effect of the reinforcing element on the matrix phase precipitation in these composites. The aim of the work was to study the effect of δ -Al₂O₃ short fibers and aging heat treatment on the bending strength of the composites. Unreinforced alloy and the composite samples have subjected to three-point bending tests and the shear strength values were measured. Measurement of bending strength with scanning electron microscopy studies show that the biggest value of bending strength increment for unreinforced and δ -Al₂O₃ short fiber reinforced LM13 alloys are very different.

Initial studies have shown that the solution take-up temperature of 535 is ideal for maximum bending strength. For this reason, the composites and unreinforced alloy specimens were solution treated at 535 °C temperature for 8, 12, 16 and 20 hours and quenched in water at 20 °C. Aging was carried out at four aging temperatures of 151,

Bu makaleye atf yapmak için

Altunpak Y. ve Akbulut H., “ δ -Al₂O₃ Kısa Fiber Takviyeli LM 13 Alüminyum Alaşımının Eğilme Dayanımına Yaşlandırma Isıl İşleminin Etkisi” El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(1); 175-180.

How to cite this article

Altunpak Y. ve Akbulut H., “Effect of Aging Heat Treatment on Bending Strength of δ -Al₂O₃ Short Fiber Reinforced LM 13 Aluminum Alloy” El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019, 6(1); 175-180.

161, 171 and 181°C for a varying time of up to 22 h in air. The results revealed that at the optimized aging heat treatment conditions have given higher bending strength results when compared with standard aging treatment. For example, optimum heat treatment for 30 pct δ-Al₂O₃/ Al-12Si composite the optimum heat treatment was recorded as follows; solution treatment at 535°C for 20 hours and artificial aging at 151°C for 14 hours. The fracture surface investigations that performed by secondary electron images by scanning electron microscopy (SEM) showed that the fibers are bonded very well to the matrix and the phenomenon of fiber pull-out from the matrix is minimum at the optimum heat-treated composite samples.

Keywords: LM13, MMC, Alumina short fibers, Bending strength.

1. Giriş

Başta otomotiv endüstrisi olmak üzere havacılık, denizcilik ve demiryolu gibi birçok mühendislik uygulamalarında gittikçe artan bir oranda alüminyum esaslı MMK'lerin kullanılmaya başlandığı bilinmektedir [1-8]. Malzemelerin mekanik özelliklerinin, malzeme bilimi açısından birinci derecede önem taşıdığı ve bundan dolayı da araştırmaların birçoğunun mukavemet artış tekniklerinin geliştirilmesi yönünde olduğu söylenebilir. Alüminyum mukavemet artış tekniklerine kolayca cevap veren metallerin başında geldiği için birçok MMK'lerde matriks malzemesi olarak alüminyum ve alaşımları kullanılmaktadır. Bu nedenlerle son yıllarda kompozitlerin yaşlanma kinetiği konusunda birçok çalışma yapılmış ve alüminyum alaşımlarının yaşlanma karakteristiğine δ alümina fiberlerin etkisini araştırılmıştır [2-7]. Alaşımlara kompozit yapmak için ilave edilen seramiklerin yaşlanma kinetiklerini önemli ölçüde değiştirdikleri artık bilinmektedir. İlave edilen seramik fazlar, matriks alaşımı ile yaptıkları arayüzeyler, yol açtıkları heterojen çekirdeklenme ve/veya intermetaliklerin kararlılığını etkilediklerinden dolayı alaşımlar için verilen standart yaşlanma parametrelerini etkilemektedirler. Diğer bir ifadeyle ilave edilen seramiklerin oranı değiştikçe yaşlanma kinetiği de değişmektedir. Yani seramikleri çevreleyen matriks alaşımının yaşlanma işlemine gösterdiği reaksiyon da değişmektedir. Bazı araştırmacılar kompozitlerde maksimum sertliği veren ısı işlem şartları ile maksimum dayanım (çekme ve akma dayanımı gibi) değerlerini veremediğini rapor etmişlerdir [9, 10]. Takviye elemanlarının ve yaşlandırma ısı işlemlerinin kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini üzerinde yapılmış çalışmalar ve elde edilen veriler oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, δ- Al₂O₃ kısa fiber takviyeli LM13 alaşımında maksimum sertliği veren yaşlandırma ısı işlemi şartlarının bu kompozitlerin eğilme dayanımı üzerindeki etkisinin de araştırılması amaçlanmıştır.

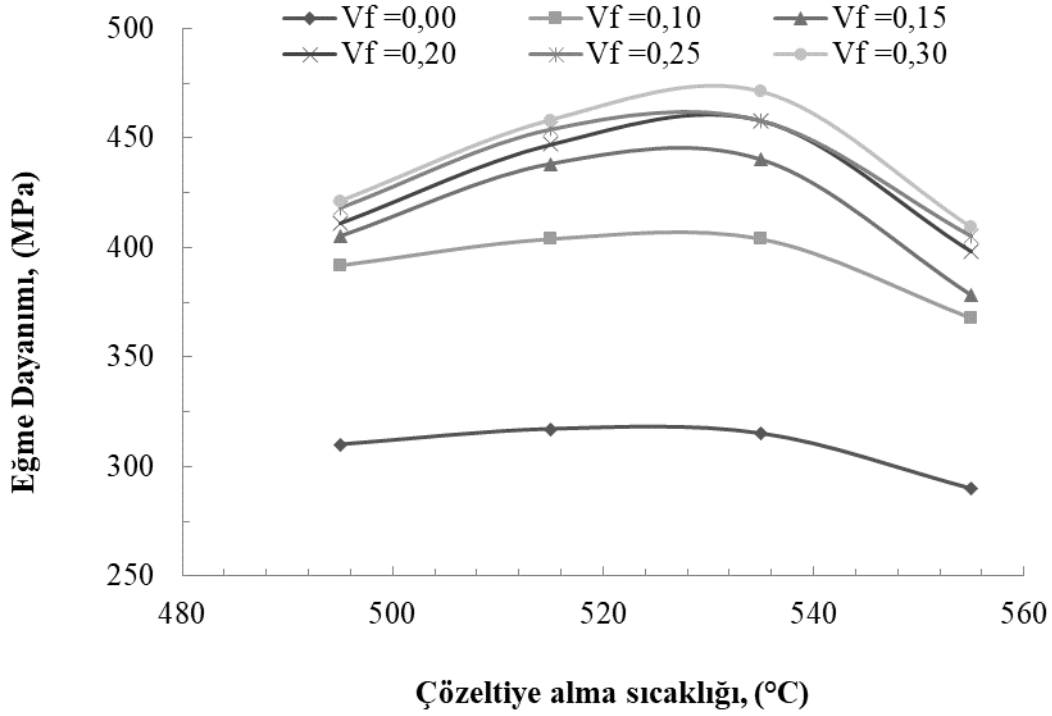
2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada, Akbulut tarafından 3,0 MPa basınç altında, vakum ortamında, gaz basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş ve bünyesinde değişik oranlarda δ-Al₂O₃ kısa fiber (% 0-30) bulunan Al-12Si (% ağırlık) alaşımı kullanılmıştır [1]. Üretilen kompozit malzemelere üç nokta eğme deneyleri uygulanmış ve numunelerin kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Eğme mukavemetlerinin tüm numune ve deney şartlarında yapılması mümkün olmadığından kritik deney şartlarında eğme testleri yapılmıştır. Eğme deneylerinde kullanılacak numunelerin ısı işlemi, bir önceki çalışmada maksimum mikrosertlik değerlerini veren yaşlandırma süreleri kullanılmıştır [2]. Örneğin 535°C'de 8 saat çözeltiye alınmış numunelerde; takviyesiz LM13 alaşımları için kullanılan yaşlandırma sıcaklığı ve süresi 151°C'de 34 saat, %30 takviyeli LM13 alaşımları için ise 151°C'de 14 saattir. 535°C'de 20 saat çözeltiye alınmış numunelerde ise; takviyesiz LM13 alaşımları için kullanılan yaşlandırma sıcaklığı ve süresi 161°C'de 30 saat, %30 takviyeli LM13 alaşımları için ise 151°C'de 14 saattir.

3. Bulgular ve Tartışma

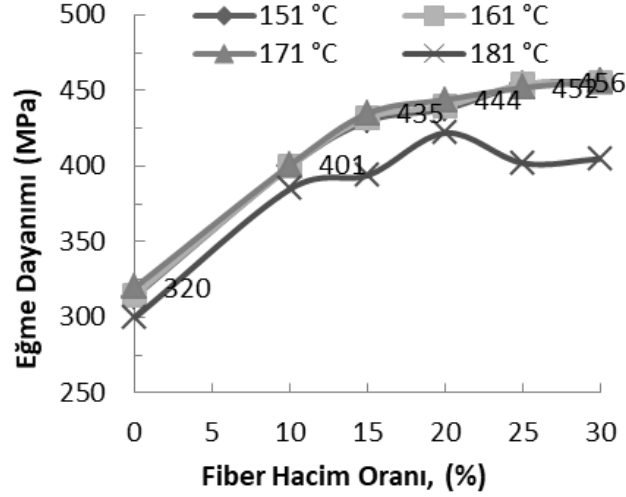
Şekil 1'de ise farklı sıcaklıklarda 12 saat çözeltiye alınmış ve 171°C'de yaşlandırılmış takviyeli ve takviyesiz LM13 alaşımlarında çözeltiye alma sıcaklığının ve süresinin malzemenin eğme mukavemetine etkisi görülmektedir. Burada takviyesiz LM13 alaşımı için ideal çözeltiye alma

sıcaklığının 515°C olduğu görülmektedir. Tüm takviyeli LM13 alaşımları için ise 535°C olduğu açık olarak görülmektedir. Burada 555 °C çözeltilmeye alma sıcaklığının hem takviyeli hem de takviyesiz LM13 alaşımı için uygun olmadığı, mikrosertlik değerlerini düşürdüğü gibi eğme mukavemeti değerlerini de büyük ölçüde düşürdüğü açık olarak görülmektedir.

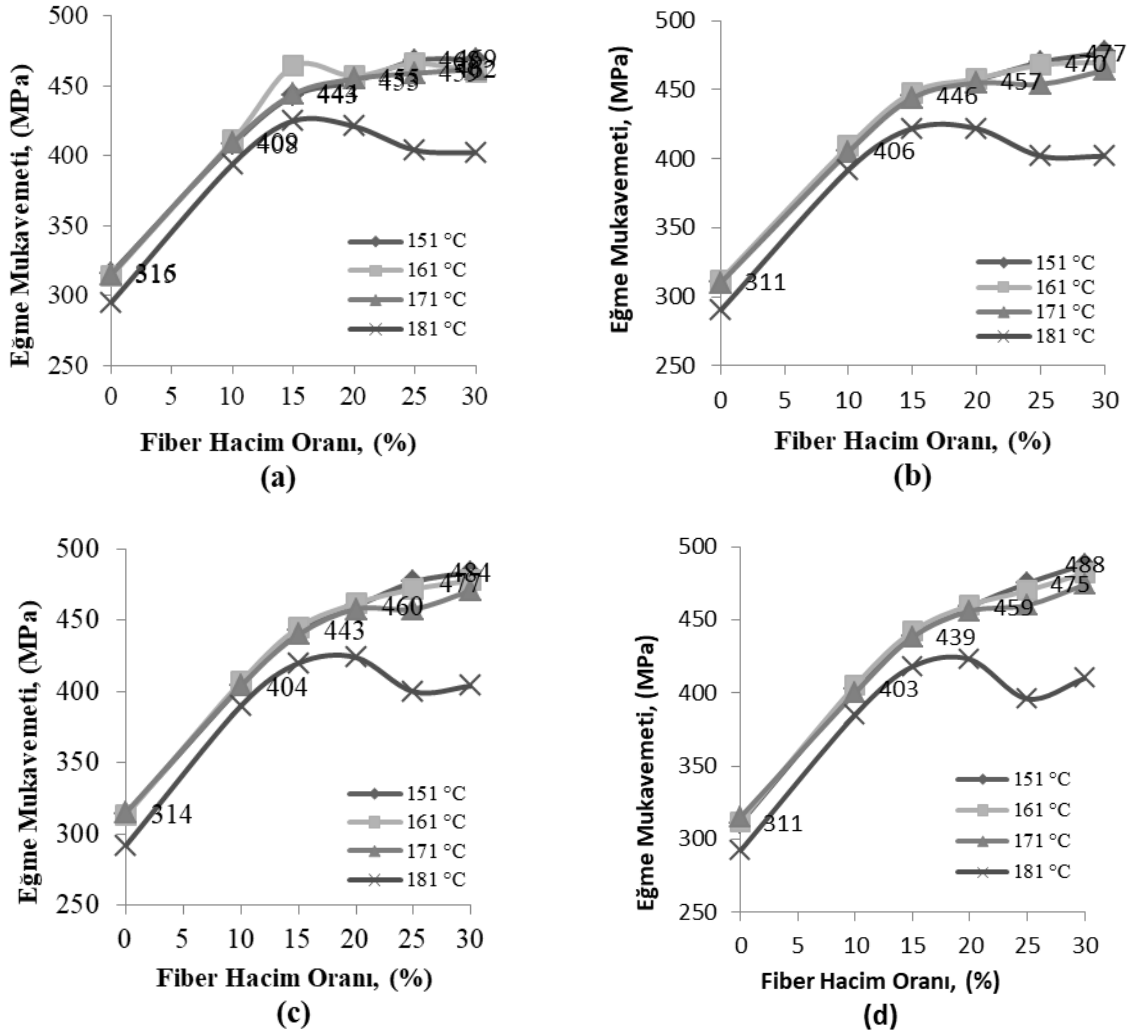


Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda 12 saat çözeltilmeye alınmış ve 171°C’de 12 saat yaşlandırılmış takviyeli ve takviyesiz LM13 alaşımlarında çözeltilme sıcaklığının ve süresinin malzemenin eğme mukavemetine etkisi

Şekil 2 ve 3’ deki grafiklerin incelenmesinden de görüleceği gibi; fiber hacim oranı arttıkça eğme mukavemetinin de arttığı açık olarak görülmektedir. Grafikler fiber hacim artışının eğme mukavemetini lineer olarak arttırmadığını göstermektedir. Yani bu malzeme ile yapılan bir önceki çalışmada [2] olduğu gibi, mikrosertlik değerlerine benzer şekilde artan fiber hacim oranı ile beklendiği ölçüde eğme mukavemet değerleri artmamaktadır. Diğer bir ifade ile fiber hacim oranının artması ile beklenen mukavemet artışı, karışım kuralındaki gibi olmadığı görülmüştür. Şekil 3’de; 535°C’de sırasıyla 8, 12, 16 ve 20 saat çözeltilmeye alınmış takviyeli ve takviyesiz LM13 alaşım numunelerinin 151, 161, 171 ve 181°C’deki yaşlandırma işlemlerinden sonraki eğme mukavemet değerleri grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 2’de de görüldüğü gibi örneğin %30 Saffil fiber takviyeli LM13 alaşımında standart T6 ısıl işlemi sonucunda yaklaşık 456 MPa eğme dayanım değeri elde edilmiştir. 535°C’de 20 saat çözeltilmeye alınmış ve 151°C’de yaşlandırılmış %30 Saffil fiber takviyeli LM13 alaşımında ise 488 MPa eğme dayanım değeri elde edilmiştir (Şekil 3). Bir önceki çalışmada da %30 Saffil fiber takviyeli kompozitlerde maksimum mikrosertlik değerini (HV 139) veren ısıl işlem şartları benzer olarak 535°C 20 saat çözeltilmeye alma ve 151°C’de yaşlandırma olarak bulunmuştur [2]. Ancak, Hassan ve arkadaşlarının yaptığı benzer bir çalışmada; 15SiCp takviyeli Al-Si-Fe alaşımında maksimum sertlik değerini 300 °C yaşlandırma sıcaklığında, maksimum çekme dayanım değerlerini ise 200 °C yaşlandırma sıcaklığında elde etmişlerdir [9]. Altunpak ve Akbulut’un yaptığı diğer bir çalışmada ise; % 20 alümina kısa fiber takviyeli 2124 Al kompozit numunelerinde maksimum çekme ve eğilme dayanımını veren ısıl işlem şartlarının (525 °C’de 6 saat çözeltilmeye alma ve 170 °C’de 12 saat yaşlandırma) maksimum mikrosertlik değerini veren ısıl işlem şartlarından (555 °C 6 saat çözeltilmeye alma ve 170 °C de 12 saat yaşlandırma) farklı olduğu rapor edilmiştir [10].



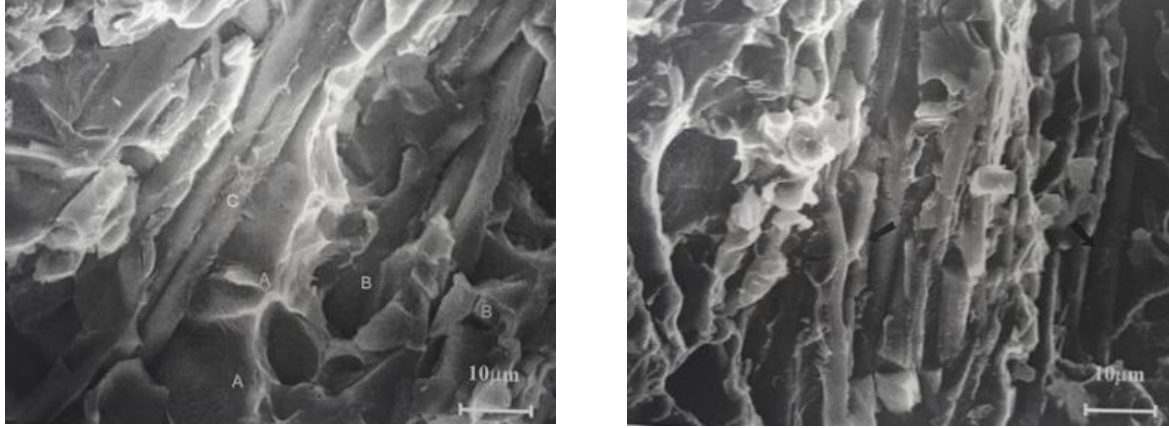
Şekil 2. T6 ısıl işlemi (515°C’de 8 saat çözeltiye alınma ve yaşlandırma) uygulanmış numunelerde, fiberlere dik eğme mukavemetinin fiber hacim oranına göre değişimi.



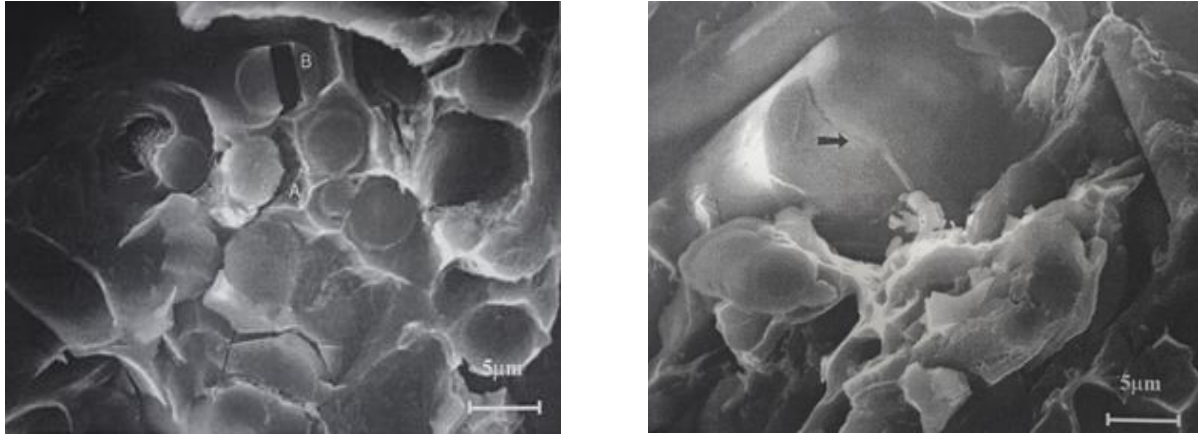
Şekil 3. 535°C’de a) 8 saat b) 12 saat c) 16 saat d) 20 saat çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış numunelerde, fiberlere dik eğme mukavemetinin fiber hacim oranına göre değişimi.

Şekil 4’de ise maksimum eğme mukavemeti değerlerinin elde edildiği kompozit malzemelere ait kırık yüzeylerin SEM görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 4a’da 535 °C’de 8 saat çözeltiye alınmış ve

161°C’de yaşlandırmış % 15 fiber takviyeli kompozit numunesi, Şekil 3b’de ise 535°C’de 20 saat ve 151°C’de yaşlandırılmış % 30 fiber takviyeli kompozit numunesinin eğme testi sonucu ortaya çıkan kırılma yüzeylerinin SEM ile elde edilen ikincil elektron görüntüleri sunulmaktadır. Kompozitin kırık yüzeyine bakıldığında optimum yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında kırılan numunede matrisin sünek kırılan (A) ve gevrek kırılan (B) bölgeleri yanında fiberlerin matrisle oldukça iyi bir şekilde bağlandığı anlaşılmaktadır (C ile gösterilen kısımlar). Şekil 4b’de görüldüğü gibi % 30 fiber takviyeli kompozit numunelerine ait kırılma yüzeylerinde muhtemelen üretim sırasında oluşan porozitelerden dolayı fiber matris arayüzeylerinde boşluklar gözlenmiştir (ok ile gösterilen kısımlar). Buna rağmen uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi sonucu eğme dayanımı artmıştır. Şekil 4’de ise sırasıyla % 15 ve % 30 fiber takviyeli MMK malzemelerin yüksek büyütmede kırık yüzey ikincil elektron görüntüleri sunulmaktadır.



Şekil 4. Optimum yaşlandırma işlemi uygulanan a) % 15, b) % 30 fiber takviyeli kompozit numunelerinin eğme testi sonrasındaki kırılma yüzeylerinin SEM ile elde edilen ikincil elektron görüntüleri.



Şekil 5. Optimum yaşlandırma işlemi uygulanan a) % 15, b) % 30 fiber takviyeli kompozit numunelerinin eğme testi sonrasındaki kırılma yüzeylerinin SEM ile elde edilen yüksek büyütmelerdeki ikincil elektron görüntüleri.

Şekil 5a’da % 15 fiber takviyeli kompozit malzemede eğme testi sonrasında oluşan çatlakın fiber tarafından durdurulması gözlenebilmektedir. Matriste başlayan çatlak muhtemelen daha zayıf arayüzey bağ mukavemetine sahip iki fiber arasından geçmiş (A ile işaretlenen kısım) ve hemen önünde fiber tarafından tutulmuştur. Fiberin orta kısmından çatlaması (B ile işaretlenen bölge), matris fiber arayüzey bağ mukavemetinin çok mükemmel olduğunu kanıtlamaktadır. Şekil 5b

incelendiğinde, benzer şekilde matrisin sünek kırıldığı ve fiberlerin matrisle birlikte hasara uğradığı anlaşılmaktadır. Şekilde ok ile gösterildiği gibi fiberin ortasında bir çatlak olduğu ancak buna rağmen fiberin matristen sıyrılmadığı görülebilmektedir.

4. Sonuçlar

Farklı yaşlandırma ısıl işlemleri uygulanmış δ-Al₂O₃ (Saffil) fiber takviyeli LM13 numunelerinde ölçülen eğme mukavemet değerleri, T6 ısıl işlemi ile kıyaslandığında çok daha iyi çıkmıştır. Takviyesiz LM13 alaşımı için ideal çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi 515°C’de 8 saat iken, Saffil fiber takviyeli LM13 alaşımları için ise en uygun çözeltiye alma sıcaklığı 535°C’de 20 saattir. 555°C çözeltiye alma sıcaklığı hem takviyeli hem de takviyesiz LM13 alaşımının eğme mukavemeti değerlerini önemli ölçüde düşürmüştür.

Fiber hacim artışının eğme mukavemetini lineer olarak arttırmamıştır. Fiber hacim oranının artması ile beklenen mukavemet artışı, karışım kuralındaki gibi olmadığı görülmüştür.

5. Teşekkür

Bu çalışma, “1st International Symposium on Light Alloy and Composite Materials“ isimli Uluslararası Sempozyumunda 22-24 Mart 2018 tarihinde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Akbulut H. “Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matriks Kompozitlerin Üretimi Ve Mikroyapı Özellik İlişkilerinin İncelenmesi”. Doktora Tezi. İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü (1994)
- [2] Altunpak Y., Akbulut H., “Aging heat treatment optimization of alumina δ-Al₂O₃ (Saffil) fiber reinforced LM-13 aluminium based MMC materials” Teknoloji, 2005, 8 (4): 331–339.
- [3] Chen. K., Chao. C., “Effect of δ Alumina Fibers on the Aging Characteristics of 2024-Based Metal-Matrix Composites” Metall.& Mater. Trans. A., 1995, 26A: 1035-1043.
- [4] Guo J., Yuan X., “The aging behavior of SiC/Gr/6061 Al composite in T4 and T6 treatments” Mater Sci Eng A, 2009, 499: 212-214.
- [5] Pal S., Mitra R., Bhanuprasad V.V., “Aging behaviour of Al–Cu–Mg alloy-SiC composites” 2008, Mater Sci Eng A, 480: 496-505.
- [6] Peng J., Li D.H.W., Du J., Xie Y., Liu G., “Study on the yield behavior of Al₂O₃–SiO₂(sf)/Al–Si metal matrix composites” 2008, Mater. Sci. Eng. A, 486: 427-432.
- [7] S.S. Reihani, “Processing of squeeze cast Al6061–30vol% SiC composites and their characterization” Materials & Design, 2006, 27(3): 216-222.
- [8] Das D.K., Mishra P.C., Singh S., Pattanaik S., Fabrication and heat treatment of ceramic-reinforced aluminium matrix composites - a review, International Journal of Mechanical and Materials Engineering 9(1) (2014) 1-15
- [9] Hassan S.B., Aponbiede O., Aigbodion V.S., “Precipitation hardening characteristics of Al–Si–Fe/SiC particulate composites” Journal of Alloys and Compounds, 2008, 466(1): 268-272.
- [10] Altunpak Y., Akbulut H., “Mechanical properties of a squeeze-cast 2124 Al composite reinforced with alumina short fibre” Metall. Res. Technol., 2017, 114: 509.