

---

---

## **ALÜMİNYUM OKSİT UZUN FİBER DESTEKLİ Mg MATRİS KOMPOZİTLERİN STATİK VE YÜKSEK HIZ BASMA DAVRANIŞI**

### **QUASI-STATIC AND HIGH STRAIN RATE COMPRESSION BEHAVIOR OF ALUMINA LONG FIBER REINFORCED Mg METAL MATRIX COMPOSITES**

**Övünç AKİL\***, **Mustafa GÜDEN\*\***, **Muhsin ÇİFTÇİOĞLU\*\*\***,  
**Ian W. HALL\*\*\*\***, **Alper TAŞDEMİRÇİ\*\*\*\***

- \* İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü  
\*\* İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü  
\*\*\* İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü  
\*\*\*\* University of Delaware Makine Mühendisliği Bölümü

#### **ÖZET**

Bu çalışmada uzun alüminyum oksit (FP<sup>TM</sup>) fiber takviyeli magnezyum matris kompozitlerin enine basma davranışının deformasyon hızına bağlı değişimi araştırılmıştır. Silindirik numuneler fiber doğrultusuna dik yönde değişik deformasyon hızlarında Split Hopkinson basınç çubuğu ve statik mekanik test cihazı kullanılarak test edilmiş uzama-gerilme ilişkileri incelenmiştir. Optik ve elektron mikroskopu kullanılarak kırılma mekaniği belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda malzemenin enine basma mukavemetinin deformasyon hızı ile arttığı tespit edilmiş olup mikro-yapı incelemesinde deformasyonun ikizlenme ve kayma ile gerçekleştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** MMK, Sürekli Fiber, Kolsky Çubuğu , Deformasyon hızı, Magnezyum

#### **ABSTRACT**

In this study, the compression behavior of alumina long fiber (FP<sup>TM</sup>) reinforced magnesium matrix composite was investigated through the transverse to fiber direction at different strain rates. Cylindrically core drilled samples were tested at high and quasi-static strain rates using Split Hopkinson Pressure Bar and static mechanical testing machines respectively. The failure mechanism of the composite was analyzed using optical and scanning electron microscope. The compressive strength of the composite was found to increase with increasing deformation rate. The deformation mechanism was determined to be slip and twinning.

**Keywords:** MMC, Continious Fiber, Kolsky Bar, Strain rate, Magnesium

#### **1. GİRİŞ**

Sürekli fiber takviyeli metal matris kompozitler (SFMMK'ler) yüksek spesifik mukavemet değerleri ile son yıllarda özellikle savunma sanayi ve uzay teknolojilerinde tercih edilen malzemelerdir. Statik deformasyon hızlarındaki mekanik özelliklere yönelik birçok çalışma yapılmış olmasına karşın yüksek deformasyon

hızlarındaki davranışları ile ilgili çalışma sayısı oldukça azdır. Metal matris kompozitlerin (MMK) yüksek deformasyon hızlarındaki davranışları özellikle savunma ve havacılık-uzay uygulamalarında önemlidir.

SFMMK'ler uçakların iniş aksamalarında, uzay roketleri ve uydu bileşenlerinde, askeri araçların zırh yapılarında kullanılmaktadır, (Cady, 2001). Alüminyum oksit uzun fiber takviyeli MMK'lerin kullanım alanları arasında ise helikopter iletim mekanizmalarının kapakları ve balistik zırh yapıları bulunmaktadır. Magnezyum alaşımları özellikle yüksek özgül mukavemet gerektiren uygulamalarda örneğin otomotiv, demiryolu ve havacılık-uzay endüstrilerinde tercih edilen malzemelerdir, (Mukai, 2001).

Bu çalışmada yüksek özgül mukavemete sahip alüminyum oksit fiber takviyeli Mg-3%Li matris MMK'in basma mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmanın nihai amacı deformasyon hızına bağlı özelliklerin alüminyum oksit alüminyum MMK ile karşılaştırmak sureti ile matris elementinin etkilerini belirlemektir. Çalışılan kompozitin fiber yönüne dik (enine) basma davranışı deformasyon hızına bağlı olarak belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

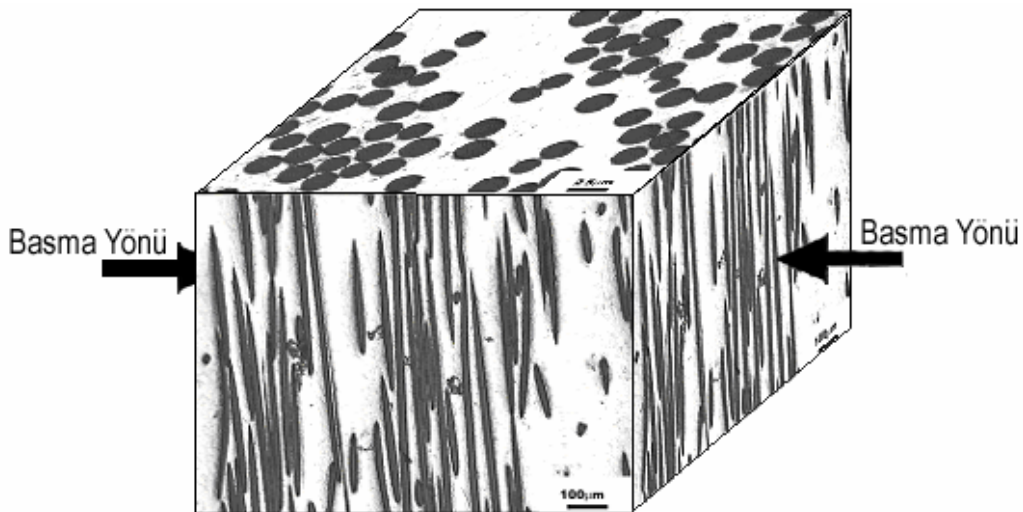
%35 hacim FPTM alüminyum oksit uzun fiber içeren Mg MMK DuPont Firması tarafından ergimiş metal emdirilmesi tekniği hazırlanmıştır. Fiberlerin çapı 20 mikrondur. Kullanılan fiberin ( $\alpha$ -alüminyum oksit) özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. FPTM  $\alpha$ -alüminyum %100 polikristal yapıda olup %99 saflık ve %98 teorik yoğunluktadır. Üretim metodu ile ilgili ayrıntılar diğer bir çalışmada detaylı incelenmiştir (Champion, 1978). Malzemeler plaka şeklinde olup fiber yönüne paralel ve normal doğrultularda sırası ile 6.7 mm, 12,8 mm çap ve uzunlukta silindirler numuneler delme yöntemi ile hazırlanmıştır (Şekil 1). Enine ve boyuna numunelerin mikro yapıları Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. FPTM  $\alpha$ - alüminyum oksit'in temel özellikleri

Çekme Mukavemeti	1380 MPa
Elastikiyet Modülü	345-379 GPa
Uzama	0.4%
Yoğunluk	3.90gr/cm <sup>3</sup>
Ergime Sıcaklığı	2045 ° C
Ortalama Çapı	20 ± 5 $\mu$ m
Kesidi	Daire



Şekil 1. Basma testi numunesi



Şekil 2. Kompozitin fiber ve fiberlere dik öndeki mikro yapıları.

Kompozitin deformasyon hızına bağlı basma davranışı belirlenmesi amacı ile farklı deformasyon hızlarında statik ve yüksek hız deformasyon testleri sırası ile Shimadzu AG1 250 kN çekme-basma test cihazı ve Split Hopkinson basınç çubuğu ile yapılmıştır

## 2.1. Statik basma testi

Statik basma testleri 4 farklı basma hızında yapılmıştır; 0.1 mm/sn, 3.2 mm/sn ve 100 mm/sn. Bu hızlara karşılık gelen birim şekil değişim miktarı hızları ise sırası ile şöyledir;  $1.3 \cdot 10^{-4}$ ,  $4.16 \cdot 10^{-3}$  ve  $1.3 \cdot 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 'dir.

## 2.2. Yüksek deformasyon hızı deneyleri

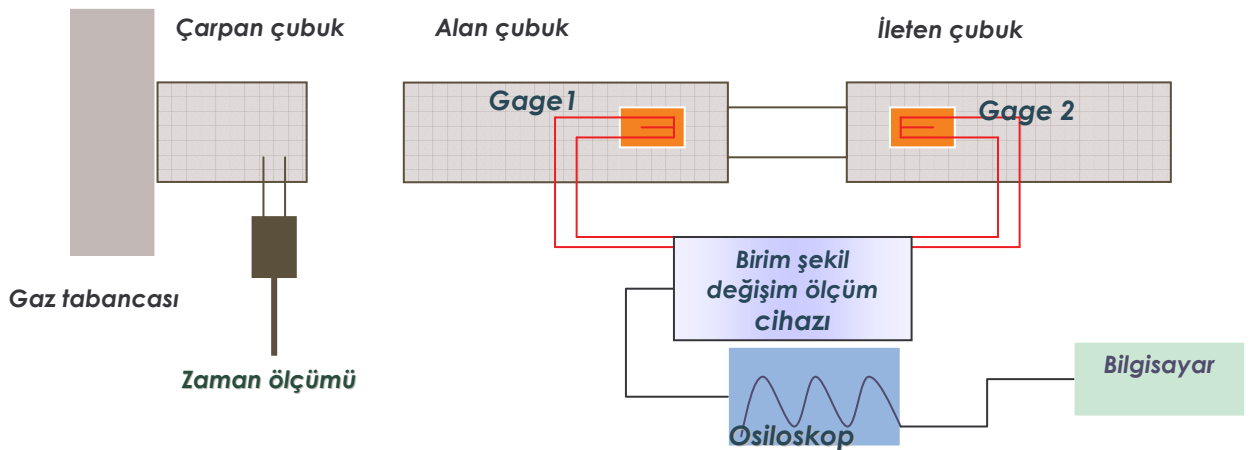
Yüksek hız testleri Split-Hopkinson Basınç Çubuğu (SHPB), bir diğer adı ile Kolsky Çubuğu, ile yapılmıştır. Şekil 3'de gösterilen tipik SHPB düzeneği çarpan, alan ve ileten çubuklardan oluşmuştur. Gaz tabancası ile fırlatılan çarpan çubuk, alan çubuk'a çarpınca bu çubukta yüksekliği sabit olan bir basma gerilme dalgası oluşturur. Alınan gerilme dalgası alan çubuk üzerinde hareket ederek, alan çubuk-numune-ileten çubuk arayüzlerinden bir kısmı çekme dalgası olarak geri alan çubuk'a, gerisi ise ileten çubuk'a iletilir. Her iki çubukta oluşan birim şekil değişim miktarları ( $\varepsilon$ ) çubuklar üzerine yerleştirilen birim şekil değişim gage'leri ve bir osiloskop yardımıyla ölçülür. Bu ölçümlerden numunenin gerilme dalgası geçişi sırasındaki birim şekil değişim miktarı, deformasyon hızı ( $\dot{\varepsilon}$ ) ve gerilmesi ( $\sigma$ ) kolayca hesaplanabilir.

$$\dot{\varepsilon}(t) = -\frac{2C_b}{L_s} \varepsilon_r(t) \quad (1)$$

$$\varepsilon(t) = -\frac{2C_b}{L_s} \int_0^t \varepsilon_r(t) dt \quad (2)$$

$$\sigma(t) = \frac{E_b A_b}{A_s} \varepsilon_t(t) \quad (3)$$

Bu işlemlerde  $C_b$  çubuğun elastik dalga hızını,  $L_s$  numune boyunu,  $E_b$  çubuk malzemesinin elastikiyet modülünü,  $A_b$  çubuğun kesit alanını,  $A_s$  ise numunenin kesit alanını ifade etmektedir.

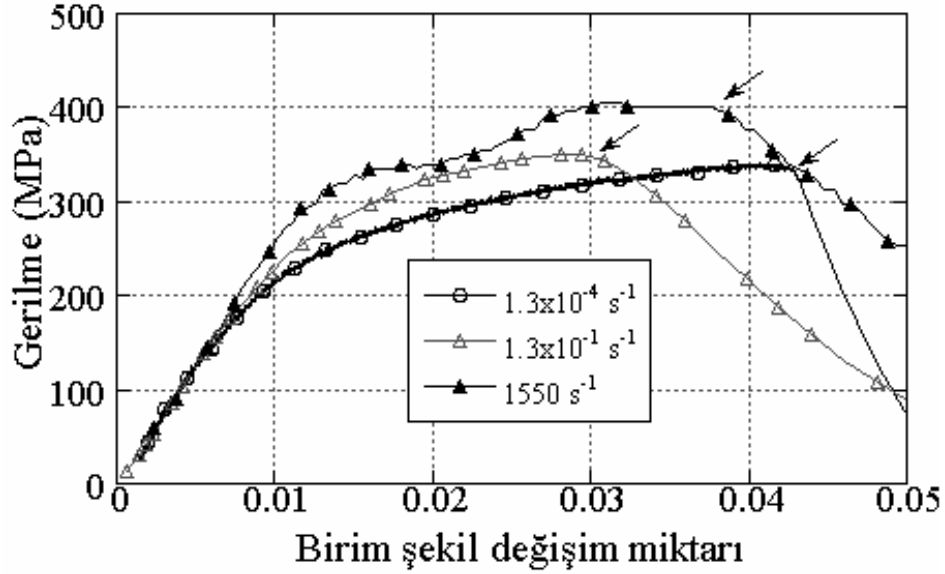


Şekil 3. SHPB'nin şematik gösterimi

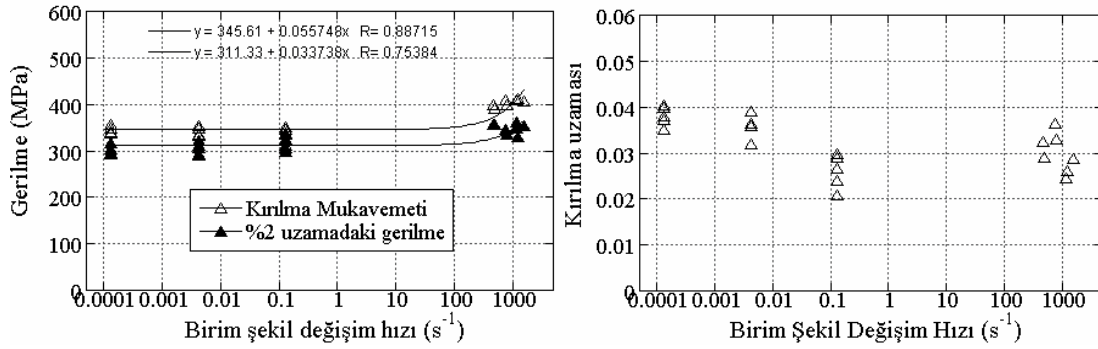
### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mekanik Testler

Şekil 4 kompozitin farklı deformasyon hızlarındaki gerilme birim şekil değişim miktarı grafiklerini göstermektedir. Bu şekilde görüleceği gibi kompozit fiberlere ters yönde artan gerilme ve kırılma mukavemeti (okla gösterilmiştir) göstermektedir. Şekil 5(a) ve (b)'de sırası ile kırılma ve %2 birim şekil değişimine karşılık gelen gerilme ve kırılma uzamasının (birim şekil değişimi) birim şekil değişim hızı ile değişimleri gösterilmiştir. Gerilmeler deformasyon hızı ile artmaktadır. Ancak kırılma gerilmesinin deformasyon hızı ile çok fazla değişmediği Şekil 5(b)'de görülmektedir.

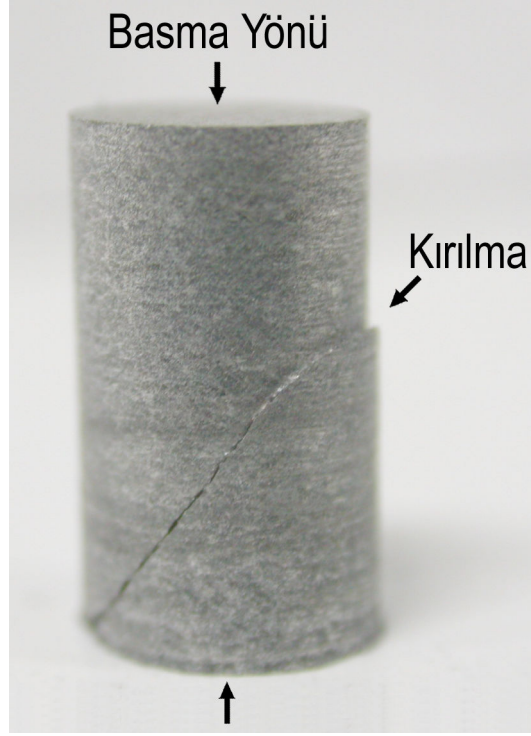


Şekil 4. Farklı deformasyon hızlarındaki gerilme-birim şekil değişim miktarı grafikleri .



Şekil 5 Birim şekil değişim hızına karşılık (a) kırılma ve %2 birim şekil değişimine karşılık gelen gerilme ve (b) kırılma uzaması (birim şekil değişimi)

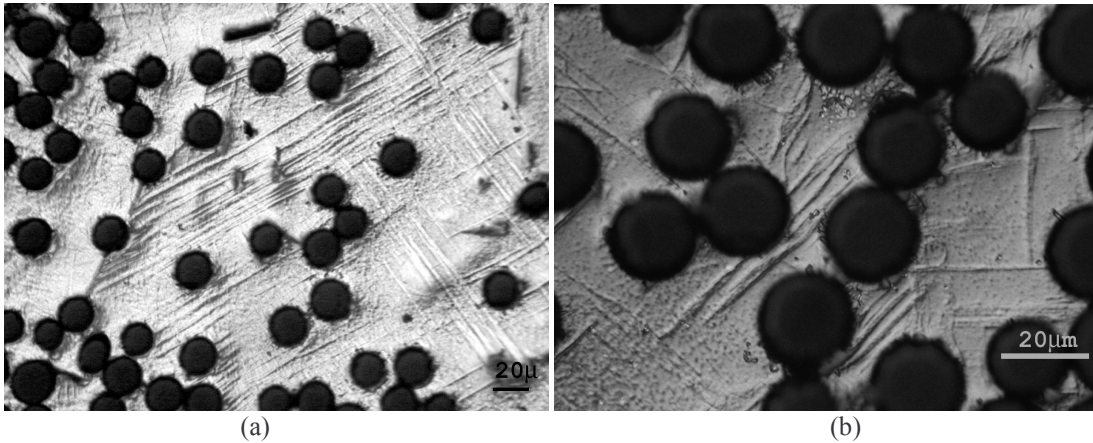
Basma testinde kırılma basma eksenine 45°'lik bir açı ile oluşmaktadır (Şekil 6). Bu ise kırılmanın kayma gerilmelerinin en yüksek olduğu alanda kayma bandı ile oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 6 Basma testinde kırılan numune.

### 3.2. Mikro yapı analizi

Mikro yapısal gözlemler malzemede deformasyon esnasında ikizlenme oluştuğunu göstermektedir (Şekil 8(a)). İkizlenmeler özellikle fiber aralarında yoğunlaşmaktadır (Şekil 8(b)). Bunun ise deformasyon esnasında fiberler arasında oluşan yüksek gerilmelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. İkizlenmenin düşük deformasyon hızlarında daha fazla olduğu da gözlenmiştir. İkizlenmeler dane sınırlarından ve/veya fiber arayüzeylerinden başladığı da Şekil 8 (a) ve (b) görülmektedir.

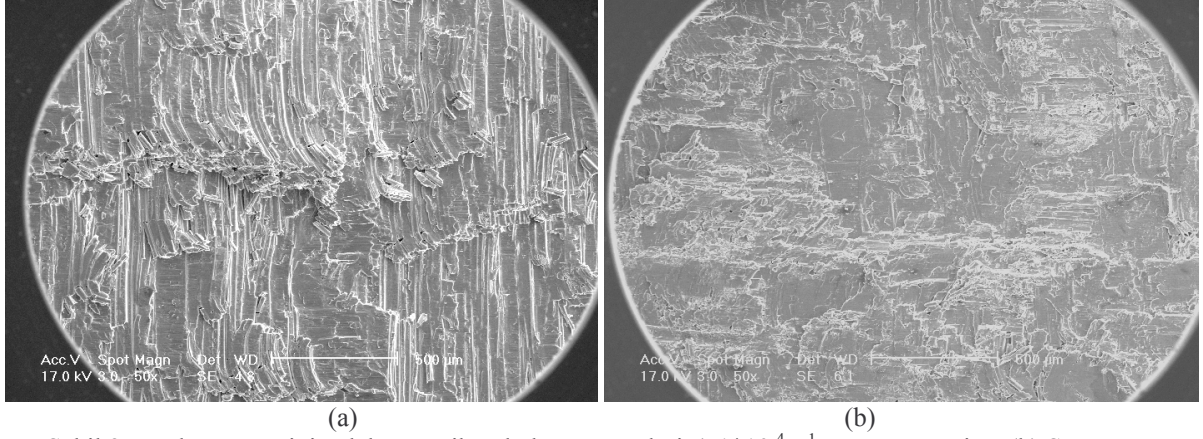


Şekil 8. Statik test yapılmış numunenin mikro yapısı (a) ikizlenme ve (b) fiberler arasındaki ikizlenmeler.

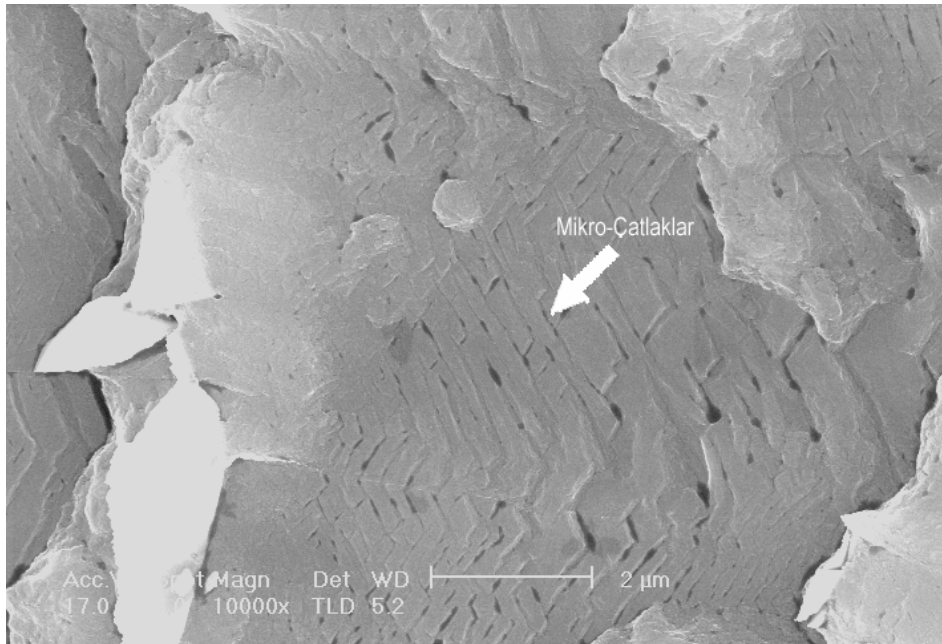
Mikroskobik analizlerde düşük deformasyon hızlarında kırılma yüzeyinde yüksek hızlara göre daha fazla fiber görülmüştür (Şekil 9 (a) ve (b)). Bu ise kayma bandı üzerinde kırılmanın düşük deformasyon hızlarında daha çok fiber-matris arayüzeyinde, yüksek hızlarda ise matris de olduğunu göstermektedir. Şekil 10 SHPB' da yüksek hızda test edilen numunede fiber-matris arayüzeyine yakın bir alanda matriste oluşan mikro çatlaklar gösterilmektedir. Çatlakların basma gerilmesinin, fiber matris arayüzeyinden çekme gerilmesi olarak geri

dönmesinden dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Mikroskobik olarak kanıtlanmamasına rağmen, çekme gerilme dalgasının özellikle ikizlenme arayüzlerinde çatlaklar oluşturacağı düşünülmektedir.

Deformasyon hızının artması ile ikizlenme oluşumunun artması beklenmesine rağmen ikizlenme oranında azalma gözlenmiştir. Bu ise daha sonraki çalışmalarda detaylı olarak irdelenecektir. Fiberler arsında gözlenen yoğun ikizlenmenin ise, bu bölgelerde oluşan yüksek gerilmelerinin uzama sertleşmesi ile kayma gerilmesini artırması ile oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 9 Kırılma yüzeyinin elektron mikroskobu görüntüleri a)  $1 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  test numunesi ve (b) SHPB test numunesi,  $1015 \text{ s}^{-1}$ .



Şekil 10 SHPB'da test edilen numunede fiber-matris arayüzüne yakın bir bölgede oluşan çatlaklar.

#### 4. SONUÇLAR

FPT<sup>TM</sup> alüminyum takviyeli Magnezyum matris kompozitin fiberlere dik yönde statik ve yüksek hız deformasyon basma özellikleri belirlenmiştir. Kompozitin kırılma mukavemeti ve gerilmeleri deformasyon hızı ile arttığı bulunmuştur. Mikroskobik analizler matriste ikizlenmenin oluştuğunu göstermiştir. Düşük ve yüksek hızlarda gözlenen kırılma yüzeyleri ve matris mikro yapıları ile mekanik davranışlar irdelenmiştir.

## 5. TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince esirgemedikleri desteklerinden dolayı İYTE-MAM personeline teşekkürü bir borç bilirim.

## 6. KAYNAKLAR

- [1]. C. M. CADY AND G. T. GRAY III, 2001, Influence of strain rate on the deformation and fracture response of a 6061-T6 Al-50 vol.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> continuous-reinforced composite, Mater. Sci. and Eng. A, Cilt 298/1-2, S 56-62
- [2]. CHAMPION, 1978 International Conference for Composite Materials II, S 882-904 1978
- [3]. TOSHIJI MUAKI, MASASHI YAMANOI, KENJI HIGASHI, 2001, Processing of Ductile Mg Alloy under Dynamic Tensile Loading, Materials Transactions, Cilt 42, No 12, S 2652-2654