

**TiO<sub>2</sub> PARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSLİ  
KOMPOZİT MALZEMELERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisi Onur ŞEN**

**Ana Bilim Dalı : Makine Mühendisliği**

**Programı : İmalat ve Konstrüksiyon**

**MANİSA 2005**

**CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TiO<sub>2</sub> PARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSLİ  
KOMPOZİT MALZEMELERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisi Onur ŞEN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1 Temmuz 2005**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Temmuz 2005**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Enver ATİK**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Cevdet MERİÇ (CBÜ)**  
**: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TOPARLI (DEÜ)**

**MANİSA 2005**

|  |             |
|--|-------------|
| <b>İÇİNDEKİLER</b>   | <b>I</b>    |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>  | <b>III</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>   | <b>IV</b>   |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ</b>                                       | <b>VI</b>   |
| <b>KISALTMALAR LİSTESİ</b>                                   | <b>VII</b>  |
| <b>TEŞEKKÜR</b>  | <b>VIII</b> |
| <b>ÖZET</b>  | <b>IX</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>X</b>    |
| <b>1. GİRİŞ</b>  | <b>1</b>    |
| <b>2. KOMPOZİT MALZEMELER</b>                                | <b>6</b>    |
| <b>2.1. Yapı Bileşenlerine Göre Kompozit Malzemeler</b>      | <b>6</b>    |
| 2.1.1.Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler                 | 7           |
| 2.1.2.Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler                    | 10          |
| 2.1.3.Tabakalı Kompozitler                                   | 10          |
| 2.1.4.Lamel Esaslı Kompozitler                               | 11          |
| 2.1.5.Dolgu Kompozitleri                                     | 11          |
| <b>2.2. Matriks Malzemeleri</b>                              | <b>11</b>   |
| 2.2.1.Metal Matriksler Ve Alaşımları                         | 12          |
| 2.2.1.1. Alüminyum Ve Alaşımları                             | 13          |
| 2.2.1.2. Çinko Alaşımları                                    | 14          |
| 2.2.1.3. Magnezyum Alaşımları                                | 15          |
| 2.2.1.4. Titanyum Alaşımları                                 | 16          |
| 2.2.2.Plastik Matriksler                                     | 16          |
| 2.2.3.Seramik Matriksler                                     | 17          |
| <b>2.3. Takviye Elemanları</b>                               | <b>18</b>   |
| 2.3.1.Alüminyum Oksit  | 19          |
| 2.3.2.Silisyum Karbür  | 19          |
| 2.3.3.Titanyumdioksit  | 20          |
| 2.3.4.Karbon   | 21          |
| 2.3.5.Cam Elyafı   | 21          |
| 2.3.6.Bor  | 22          |
| 2.3.7.Aramid   | 22          |
| <b>2.4. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretimi</b> | <b>23</b>   |
| 2.4.1.Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretim                     | 23          |
| 2.4.2.Erimiş Metal Yöntemi İle Üretim                        | 25          |
| 2.4.3.Deney Numunelerinin Üretimi                            | 26          |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>            | <b>31</b> |
| <b>3.1. Deney Numunelerinin Üretimi</b>  | <b>31</b> |
| 3.1.1.Malzemeler Ve Bileşenleri          | 31        |
| 3.1.2.Kompozit Numunelerin Üretimi       | 32        |
| <b>3.2.Mekanik Deneyler</b>              | <b>33</b> |
| 3.2.1.Sertlik Deneyi                     | 33        |
| 3.2.2.Çekme Deneyi                       | 33        |
| 3.2.3.Basma Deneyi                       | 33        |
| <b>3.3. Aşınma Deneyi</b>                | <b>33</b> |
| <b>4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b>    | <b>36</b> |
| <b>4.1. Mekanik Deney Sonuçları</b>      | <b>36</b> |
| 4.1.1.Sertlik Deneyi Sonuçları           | 36        |
| 4.1.2.Çekme Deneyi Sonuçları             | 37        |
| 4.1.3.Basma Deneyi Sonuçları             | 38        |
| <b>4.2. Aşınma Deneyi Sonuçları</b>      | <b>39</b> |
| <b>4.3. Optik Mikroyapı Fotoğrafları</b> | <b>42</b> |
| <b>4.4. SEM Fotoğrafları</b>             | <b>45</b> |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>           | <b>51</b> |
| <b>6. KAYNAKLAR</b>                      | <b>52</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                          | <b>56</b> |

**SEMBOL LİSTESİ**

|               |   |
|---------------|---|
| PDN           | : Partikül dağılım sayısı                   |
| $H_0$         | : Eriyik yüksekliği                         |
| $\Omega$      | : Kabın açısal hızı                         |
| $r_i$         | : İç silindirin yarı çapı                   |
| D             | : Et kalınlığı                              |
| $v_t$         | : Partikül yerleşme hızı                    |
| $\mu$         | : Bulamacın viskozitesi                     |
| $\theta$      | : Temas açısı                               |
| $\gamma_{sg}$ | : Katı-gaz arasındaki yüzey enerjisi        |
| $\gamma_{lg}$ | : Sıvı-gaz arasındaki yüzey enerjisi        |
| $\gamma_{sl}$ | : Katı-sıvı arasındaki yüzey enerjisi       |
| Wa            | : Aşınma oranı                              |
| Wr            | : Aşınma direnci                            |
| $\Delta G$    | : Ağırlık kaybı                             |
| M             | :Yükleme ağırlığı                           |
| S             | : Aşınma yolu                               |
| d             | : Yoğunluk                                  |
| $F_n$         | : Numune üzerine dik yönde uygulanan kuvvet |
| n             | : Devir sayısı                              |
| r             | : Aşınma yörünge yarıçapı                   |
| P             | : Numune yüzeyine gelen basınç              |
| V             | : Kayma hızı                                |

**ŞEKİL LİSTESİ**

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1. Partikül takviyeli ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitlerin yapısı                        | 8  |
| Şekil 2.2. Sıvı matris alaşımı ile seramik partikül arasındaki etkileşim                                       | 9  |
| Şekil 2.3. Değişik elyaf dokuma türleri  | 10 |
| Şekil 2.4. Matrislerin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri  | 11 |
| Şekil 2.5. Alüminyum oksit'in eldesi   | 19 |
| Şekil 2.6. Toz Metalurjisi Yöntemi   | 23 |
| Şekil 2.7. Basıncısız infiltrasyon Yöntemi   | 25 |
| Şekil 2.8. Plazma püskürtme Yöntemi  | 26 |
| Şekil.2.9. Karıştırma ve döküm işleminin şematik görünümü  | 27 |
| Şekil 2.10. Hız profilinin A356-SiC kompozitinin viskozitesi üzerine etkisi                                    | 29 |
| Şekil 2.11. Katı partiküllerin girdaplaşma konumu: (a) konum 1; (b) konum 2                                    | 30 |
| Şekil 3.1. Çekme deney numunesi  | 33 |
| Şekil 3.2.a. Aşınma deney düzeneğinin şematik resmi  | 34 |
| Şekil 3.2.b. Aşınma deney cihazı fotoğrafı   | 35 |
| Şekil 4.1.a. Takviye elemanlarının türüne göre sertliğin değişimi  | 36 |
| Şekil 4.1.b. Partikül oranına göre sertliğin değişimi  | 37 |
| Şekil 4.2.a. Takviye elemanlarının türüne göre çekme dayanımının değişimi.                                     | 37 |
| Şekil 4.2.b. Partikül oranına göre çekme dayanımının değişimi  | 38 |
| Şekil 4.3.a. Takviye elemanlarının türüne göre basma dayanımının değişimi.                                     | 39 |
| Şekil 4.3.b. Partikül oranına göre basma dayanımının değişimi  | 39 |
| Şekil 4.4. Tüm numunelerin aşınma sonucu oluşan zamana bağlı ağırlık kayıpları.                                | 40 |
| Şekil 4.5. Tüm numunelere ait aşınma dirençleri  | 41 |
| Şekil 4.6. Sürtünme katsayısının zamana bağlı olarak değişimi  | 42 |
| Şekil 4.7. AlSi12CuNiMg-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%4) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100) | 42 |
| Şekil 4.8. AlSi12CuNiMg-SiC (%4) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100)                            | 43 |
| Şekil 4.9. AlSi12CuNiMg-TiO <sub>2</sub> (%2) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100)               | 43 |
| Şekil 4.10. AlSi12CuNiMg-TiO <sub>2</sub> (%4) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100)              | 43 |
| Şekil 4.11. AlSi12CuNiMg-TiO <sub>2</sub> (%6) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100)              | 44 |
| Şekil 4.12. AlSi12CuNiMg-TiO <sub>2</sub> (%8) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100)              | 44 |
| Şekil 4.13.a. AlSi12CuNiMg- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)              | 45 |
| Şekil 4.13.b. AlSi12CuNiMg- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)              | 45 |
| Şekil 4.14.a. AlSi12CuNiMg- SiC (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)   | 46 |
| Şekil 4.14.b. AlSi12CuNiMg- SiC (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)   | 46 |
| Şekil 4.15.a. AlSi12CuNiMg- TiO <sub>2</sub> (%2) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)                            | 47 |
| Şekil 4.15.b. AlSi12CuNiMg- TiO <sub>2</sub> (%2) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)                            | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.16.a. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250) | 48 |
| Şekil 4.16.b. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500) | 48 |
| Şekil 4.17.a. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%6) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250) | 49 |
| Şekil 4.17.b. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%6) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500) | 49 |
| Şekil 4.18.a. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%8) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250) | 50 |
| Şekil 4.18.b. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%8) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500) | 50 |

**ÇİZELGE LİSTESİ**

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 2.1. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri                          | 13 |
| Çizelge 2.2. Yaygın alüminyum alaşım elementlerinin Al üzerindeki etkileri | 14 |
| Çizelge 2.3. Çinko alaşımının bazı özellikleri                             | 15 |
| Çizelge 2.4. Mg alaşımlarının bileşimi ve bazı mekanik özellikleri         | 15 |
| Çizelge 2.5. Bazı metal alaşımlarının özellikleri                          | 16 |
| Çizelge 2.6. Bazı mühendislik seramiklerinin tipik özellikleri             | 17 |
| Çizelge 2.7. Titanyum dioksit kullanım alanları                            | 20 |
| Çizelge 2.8. Cam-elyaf türleri ve özellikleri                              | 22 |
| Çizelge 3.1. AlSi12CuNiMg Alaşımının kimyasal bileşimi ( % Ağırlık)        | 31 |
| Çizelge 3.2. Numunelere ait bileşimler (%Ağırlık)                          | 32 |
| Çizelge 4.1. Aşınma deney numunelerinin yoğunlukları (gr/cm <sup>3</sup> ) | 41 |



**KISALTMALAR LİSTESİ**

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| MEK | : Metal Esaslı Kompozit    |
| MMK | : Metal Matriksli Kompozit |
| T/M | : Toz Metalurjisi          |

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen danıőman hocam **Yrd. Doç. Dr. Enver ATİK** başta olmak üzere, **Doç. Dr. Cevdet MERİÇ**'e, deneysel çalıőmalarım süresince yardım ve desteklerini gördüğüm **Arő. Gör. Bekir Sadık ÜNLÜ**'ye, **Arő. Gör. Selda AKGÜN**'e, **Arő. Gör. Hülya KAAR DURMUŐ**'a, metal iőleri öğretmeni **Hasan Ali YALDIZ**'a, **Oğuz AYDENİZ** ve **Gökhan BALCI**'ya, emek harcıyıp beni bugünlere getiren değerli aileme teőekkürlerimi bir borç bilirim.

**ÖZET**

Bu çalışmada son zamanlarda duyulan alternatif malzeme ihtiyacını gideren kompozit malzemelerden partikül takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde çalışılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda matriks olarak kullanılan AlSi12CuNiMg alüminyum alaşımına %4 silisyum karbür, %4 alüminyum oksit ve %2-4-6-8 titanyum di-oksit olmak üzere ağırlıkça çeşitli yüzdelerde üç ayrı partikül takviyesi yapılarak, döküm yöntemiyle üretilen partikül takviyeli kompozit numuneler üzerinde sertlik, çekme ve basma dayanımı, aşınma direnci araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar üretilen numunelerdeki takviye elemanlarının mekanik özellikleri nasıl etkilediği yönünde bir sonuç çıkarmamızı sağlamıştır.

**ABSTRACT**

In this study, mechanical properties of particulate reinforced composite materials that provide the requirement of alternative materials in these days was studied on.

In this aim, hardness, tensile, bending strength, wear resistance, on the sample of the particulate reinforced composites manufactured by cast method contained addition of %4 SiC, %4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %2-4-6-8 TiO<sub>2</sub> to AlSi12CuNiMg aluminium alloy matrix were studied. We got several results that show us how the mechanical properties of the reinforcement materials with data obtained were affected.

## 1. GİRİŞ

Enerji, iletişim, ulaşım, havacılık, uzay gibi sivil ve askeri amaçlı sektörlerde halen çalışılan veya planlanan sistemlerdeki teknolojik gelişmeler, güvenlik ve ekonomik zorunluluklar ile kısmen de olsa çevresel kaygılarla halen elde edilebilen malzemelerin sınırlarının ötesinde özelliklere sahip yeni malzemelere olan gereksinimi arttırmaktadır. Geleneksel metaller ve alaşımları ile seramik malzemeler doğal özellikleri nedeniyle devam eden araştırma ve gelişmelerle gelecek sistemlerin gereksinimlerini karşılamakta zorlanacaktır.

Günümüzde bu alanlarda ortaya çıkan yeni malzemeler karbon-karbon ve metal matriksli kompozitlerdir. Bu malzemelerin ileri teknoloji gerektiren askeri ve uzay uygulamaları göreceli düşük hacimli, katma değeri yüksek ve oldukça pahalıdır. Ancak bu malzemelerin, ulaşım ve enerji sektörlerinde daha büyük hacimde üretim ve düşük maliyet gerektiren otomobil, diğer motorlar ve elektro-mekanik sistemlerdeki uygulamaları ticari hale gelmiştir ve yakın dönemde önemli gelişmeler beklenmektedir (Cöcen ve diğerleri, 1996).

MMK malzemeler üzerindeki ilk çalışmalar, Al ve Ti matriksleri üzerinde olmuştur. Bu malzemeler fiberlerle takviye edilmiş, üstün özellikli melez (hybrid) kompozitlerdir. Bu tür kompozitlerin maliyetleri oldukça yüksektir. Bu gibi kompozitlerin kullanımları askeri uygulamalarla sınırlandırılmıştır (İbrahim et al, 1990; Stubbington, 1988). Bunun yanında, whisker takviyeli MMK' ler, partikül takviyeli kompozitlere göre daha üstün özellikler vermelerine rağmen pahalılıkları ve kanserojen etkilerinden dolayı fazla tercih edilmemektedirler. Takviye malzemesi olarak kullanılan seramik partiküller çok daha düşük fiyata sahiptirler ve birbiri yerine kullanılabilen çeşitli tipte takviye malzemesi elde edilebilir.

Metal esaslı kompozitler; yüksek elastik modüle, yüksek çekme-basma ve kayma mukavemetine, yüksek servis sıcaklığına sahip olmaları ayrıca, metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirmelerinden dolayı son derece önemli mühendislik malzemeleri olmuşlardır (İbrahim et al, 1991). Bu üstünlüklerinin yanında tekrar üretilebilir mikroyapı, mekanik özellikler ve düşük yoğunluk değerleri vermeleri açısından daha da önem kazanmışlardır (Reobuck et al, 1989). Bunun yanı sıra hava-uzay ve otomotiv endüstrisi alanlarında avantaja sahip olan malzemelere duyulan ihtiyaç metal matriksli kompozit (MMK) malzemelerde hızlı bir gelişmeye yol açmıştır. Doğru dizayn ve yöntem ile yüksek dayanım ve sertlik gibi üstün özelliklere elde edilerek üretilebilirler (Tang et al, 2003).

MMK üretiminde pek çok metal ve alaşımlarının kullanılmasına rağmen alüminyumun yeri başkadır ve pek çok özelliğinden dolayı tercih sebebidir. Alüminyum' un dışında en fazla kullanılan metal ve alaşımları da şöyle sıralanabilir: Ti, Mg, Cu, Ni, Pb, Ag, Zn, Fe, Nb, bronz, süper alaşımlar (demir esaslı) ve intermetalikler (Srivastan et al, 1991).

Takviye malzemelerini ise temel olarak şöyle sıralayabiliriz;

- a) sürekli fiberler,
- b) süreksiz fiberler,
- c) whiskerler,
- d) teller,
- e) partiküller (Srivastan et al, 1991).

SiC, Bor, Grafit, Alüminyum Oksit, Tungsten, Titanyum ve Molibden gibi değişik malzemeler kompozitlerde kullanılan takviye elemanlarına örnek olarak gösterilebilir (Kuntel, 1996). Takviye elemanlarının temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır (Kelly et al, 1965). Matrisin fonksiyonu ise takviye elemanı ve matrisi bir arada tutarak yük ve gerilim transferi sağlamak ve bunun yanı sıra çoğu takviye elemanının gevrek ve kırılma olmasından dolayı onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır (Şahin, 2000).

Belirgin mukavemet, rijitlik, aşınma dayanımı, kırılma, sönümlenme gibi mekanik özellikler bilinen diğer malzemelere göre MMK' lerde daha yüksektir (Kang et al, 2004). Kompozitler aynı zamanda monolitik malzemelere nazaran daha iyi termal, mekanik yorulma ve sürünme dayanımı sergileyebilir (Tang et al, 2003).

MMK' ler kontrol edilebilir termal iletkenlik ve düşük termal genleşme katsayısına da sahiptir (Kang et al, 2004). Bu nedenle bu malzemeler piston segmanları, silindir hatları bağlantı rodları, direksiyon mili ve motor parçalarında uygulama alanı bulmaktadır (Davis et al, 1993; Christman et al, 1989). MMK' lerin özellikleri matris türüne ve takviye elemanına göre belirlenir; böylece çok çeşitli dizayn edilip üretilebilirler, ancak matris elemanı olarak genellikle SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli alüminyum alaşımı veya kısa fiber kullanılır. MMK' lerde üretim çeşidi olarak genellikle likid metodu kullanılır. Bu yöntemle çeşitli parçaların üretiminde döküm sistem ve teknolojisinde sahip olunan avantajlar kadar pek çok avantajlara rastlanılmaktadır (Kang et al, 2004). Bu yüzden şimdilerde genel olarak bu yöntem kullanılmaktadır (Suresh et al, 1993). Eğer erimiş metalin döküm işlemi takviyeli erimiş haldeki Al matris' e direkt uygulanırsa, takviyeli komplike formda MMK parçalar üretilebilir. Ancak takviye elemanındaki yoğunluk farkından dolayı üniform olarak dağılmış olan takviye elemanlarından oluşan bir ürün elde etmek oldukça zordur (Kang et al, 2004).

Silisyum karbür partikül takviyesi ile üretilmiş olan metal matrisli kompozit malzemeler (MMK) özellikle caziptir, çünkü bu malzemeler takviyesiz temel alaşım' a göre oldukça belirgin özellikler sergilerler (Wang et al, 1991), ve süregelen metal-üretim yöntemleriyle üretilebilirler. Bu SiC takviyeli MMK' lerin artan bir oranda piston malzemeleri, bağlantı rodları, fren rotorları olarak otomobil endüstrisinde, kullanımına yol açmıştır. 150µm çapına kadar olan SiC partikülleri ile takviye edilmiş alüminyum alaşım kompozitleri bu tür uygulamalarda kullanılarak değerlendirilmiştir (Bindumadhavan et al, 2001). SiC takviyeli MMK' lerin sürtünme ve aşınma

davranışlarının üzerinde farklı kişilerce geniş çalışmalar yapılmıştır (Alpas et al, 1991; Martizez et al, 1993). Genel olarak SiC takviyeli MMK'lerin aşınma dayanımı partikül boyutuna, partikülün hacimsel oranına ve matrisi oluşturan alaşımın özelliklerine bağlıdır (Liang et al, 1995; Song et al, 1995).

Kompozit malzemeler ile kendisini oluşturan elemanlardan tek başına elde edemeyeceğimiz özellikleri bir malzemede toplarız. Kompozit malzeme üretilmesi ile aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir (Taya et al, 1988). Bunlar genel olarak şöyle sıranılabilir:

- a) Yüksek dayanım,
- b) Yüksek rijitlik,
- c) Yüksek yorulma dayanımı,
- d) Mükemmel aşınma direnci,
- e) Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- f) İyi korozyon direnci,
- g) İyi termal ve ısı iletkenliği,
- h) Düşük ağırlık,
- i) Çekicilik ve estetik görünüm vb.

Bütün bu özellikler aynı zamanda oluşmaz ve herhangi bir uygulama için böyle bir gereksinime ihtiyaç da yoktur. Özellikleri bilinen bileşenlerden yararlanılarak bir kompozit malzemenin bazı özellikleri örneğin; yoğunluk, elastik modülleri ve çekme dayanımları vb. hesaplanabilir.

Fakat yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar, uygun matris ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür. Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde matrisler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesinde matris ile takviye elemanı arasındaki ara-yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara-yüzey bağının kuvvetli olması ise bileşenlerin uyumuna ve matrisin ıslanabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımının da matris alaşımı ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Kompozitler karma malzeme olduklarından bu şartları sağlamak ve elde etmek için en iyi matris ve takviye elemanı seçilmelidir.

Bu avantajlarının yanında birtakım dezavantajları da mevcut olup şu şekilde sıralanabilir;

- a) Üretimlerinin güçlüğü,
- b) Pahalı olmaları,
- c) Üretimlerinden sonra işleneceklerse bunun güç olması,
- d) Yüksek maliyete sahip olmaları,
- e) Gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi,
- f) Geri dönüşümsüz olmaları gibi...

Sürekli gelişen kompozit üretim süreçleri ve alaşım tasarımındaki gelişmelerle özellikle süreksiz katkılı metal matriks kompozitler yakın gelecekte yüksek performans ve düşük maliyetleri ile önem kazanacaktır. Bu kompozitler temel üretim teknikleri ile üretilebilmekte ve hem enerji hem de malzeme tasarrufu gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu bağlamda yatak malzemeleri, pistonlar, silindir gömleği ve hatta motor blokları gibi daha basit ve temel uygulamalar ile öncelikli olarak güneş enerjisi pilleri, yarı veya süper iletkenlerin de içinde bulunduğu enerji, barınma ve ulaşım sektörlerinde metal matriks kompozitleri özel bir yer edinmektedir (Cöcen ve diğerleri,1996). Bilhassa dökümlle üretilen partikül takviyeli MEK'ler özellikle sürtünmenin ve aşınmanın istenmediği alanlarda küçümsemeyecek oranda endüstriyel uygulama alanına sahiptirler. Örneğin, Al-Grafit (Rohatgi et al, 1986) ve Al-SiC (Dod MMCs Inf.,1988) MEK pistonlar, yüksek aşınma dayanımı vermeleri ve yakıt tüketimini düşürmeleri açısından kayda değerdirler. Temel kullanım alanları; havacılık, otomotiv, savunma ve diğer bazı yapısal uygulamalar olan MEK malzemeler, yatak, elektrik kontak malzemesi ve silindir gömleği olarak da kullanılmaya başlanılmışlardır (Rohatgi et al, 1986). Bu malzemelerin kullanımları oldukça yaygınlaşmış ve ileriki yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir (Reobuck et al, 1989).

Başlangıçları hakkında kesin bir şey bilinmemekle beraber, kullanımlarının çok eski yıllara dayandığı tahmin edilmektedir. Yapı malzemesi olarak değerlendirilen kerpiçler kompozit malzemelerin en ilkel örnekleridir. Daha da geriye gidecek olursak geçmişinin eski mısır uygarlığına dek uzandığını görürüz.

19. yüzyılın başlarında çimento sanayiinin gelişimiyle birlikte kum, çakıl, çimento ve su karışımı olan beton kompoziti uygulanmaya başlanmıştır. Asfalt kompoziti ise 1938 yılında Paris de uygulamaya koyulup giderek yaygınlaşmıştır.

Cam elyafının 19. yüzyılın sonlarında fabrikasyon bazında imalata alınmasıyla elyaf takviyeli kompozitler oluşmuş ve 1930' lu yıllardan sonra endüstride kullanım alanı bulmuşlardır. Ardından II. Dünya Savaşının yaşanmasından sonra savunma sanayiinde kullanılabilir bir malzeme olarak önemli bir yer edinmiştir. 1950'li yıllardan sonra otomotiv sanayiinde de giderek



yaygınlaşan bir malzeme grubu haline gelmiştir. Yaşadığımız son 50 yıldır ise mukavemet/ağırlık oranının önemsendiği yerlerde tercih edilmektedir.

Kimyasal ve korozyon direncinin istendiği alanlarda ziraat aletleri, kimyasal madde depoları, su tankları vb. alanlarda bunların yanı sıra elektrik izolasyonu sağlamalarından dolayı da elektrik elemanlarının imalatında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Görünüş estetiğın arandığı günümüzde kolay şekillendirilebilir ve ısıı izolasyon sağlayabilmesinden dolayı araçlarda kullanılmaktadır (Ertiryaki, 1990).

Bu kompozit sistemleri şekillendirilmelerini, tahribatsız muayene metodlarının etkinliğini ve tasarımda en yüksek etkinlik için gerekli olan çeşitli yüklere karşı davranışlarının anlaşılmasını engelleyen çok karmaşık bağımlılıklar içermektedir. Bu nedenle MMK'lerin özelliklerinin ve performanslarının öngörülmesi ve tasarımı ile ilgili bilim alanları da önem kazanacaktır.

Ülkemizde belli bir organizasyona dayanmayan bu konuda bireysel çalışmalarla dünyadaki gelişmeler takip edilerek, bilgi birikimi sağlanmaktadır. TÜBİTAK ve çeşitli üniversitelerimizde yapılan birbirinden kopuk deneysel üretim çabaları ise en azından bu konuda süreçlerin uygulanması, bazı kompozit özelliklerinin araştırılması, sorunların tesbiti ve çözümü yönünde deneyim kazanılmasını sağlamaktadır (Cöcen ve diğeri, 1996).

## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

En az iki malzemenin birleşmesi ile elde edilen kompozit malzemeler, alaşımlarda görülen çözülme ve faz oluşumları göstermezler. Bileşen ayrı fazlar sadece adhezyon kuvvetleri ile bağlanırlar tıpkı betonarme' de (beton-demir) olduğu gibi. Atomsal ve molekülse düzeyde birleştirilen malzemeler alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme sınıfına girmezler. Çelikteki krom ve vanadyuma baktığımızda bir karışım oluştururlar ve yapı mikroskobik olarak homojendir, bu nedenle bir kompozit değildir. Karbür uçlu takımları ele aldığımızda ise, yumuşak kobalt metal matriks içine sert karbürlerin yerleştirilmesi parçacıklı bir kompozit yapı meydana getirdiğini görürüz (Kelly et al, 1965). Kompozit bir yapıda çözünmezlik esas olmalıdır.

İkiden çok fazla malzemenin makro boyutlarda bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit malzemelerde genellikle, iki bileşen grubu belirleyici rolü oynar. Bu bileşen gruplarından biri takviye fazı meydana getirirken diğere grup bileşen ise matriks fazı oluşturur.

Kompozit malzemenin temel kısmı olan matriksi oluşturan malzemelerde mekanik özelliklerden çok termodinamik özellikler önem taşımaktadır. Kompozit malzeme üretiminde matriks elemanı olarak kullanacağımız malzemede aşağıdaki hususların dikkate alınması gerekir :

- a) Yoğunluk
- b) İslatma kabiliyeti
- c) Viskozite
- d) İşlem sıcaklığı ve basıncı
- e) Katılma süresi
- f) Katılma büzülmesi
- g) Zehirliliği
- h) Uçucu madde yayılma oranı

Bir kompozit malzemede takviye elemanları matriks ile ıslatılarak rijit bir yapı görünümüne girer. Takviye elemanı matriks ile ıslatıldıktan sonra oluşan yüzeyin bağlayıcı etkisi ile bütünlüğe ulaşırlar. Ara-yüzey, matriksin ıslatma kabiliyetine bağlıdır (Ertiryaki, 1990).

### 2.1. Yapı Bileşenlerine Göre Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeleri değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Yapı bileşenlerine göre bir sınıflandırma yapabileceğimiz gibi matriks malzemesinin türüne göre de bir sınıflandırma yapmak mümkündür. Ancak biz burada yapı bileşenlerine göre bir sınıflandırma yapacağız.

Yeni elde edilen bir malzemeyi modern kompozit olarak adlandırmak için aşağıdaki kriterlere sahip olması gerekmektedir (Kelly et al, 1965, Piatti,1983):

- a) İnsan ürünü olmalı,
- b) Özellikler mükemmel olup kompoziti meydana getiren elemanların en iyi özelliklerinin bir arada toplanması gereklidir,
- c) Herhangi bir ferdi bileşenler elde edilemeyen mekanik özelliklerin elde edilmesi gerekmektedir,
- d) Optimum özelliklerin yakalanması için bir malzemenin diğer bir malzeme içinde kontrollü bir biçimde dağıtılmasıyla birbirinden farklı malzemeler karıştırılarak bir malzeme (kompozit) oluşturulmalı.
- e) En az iki veya daha fazla fiziksel ve mekaniksel özelliği farklı olan malzemelerin birleştirilmesi ve farklı ara yüzeye sahip olmaları gerekir.

### 2.1.1. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler

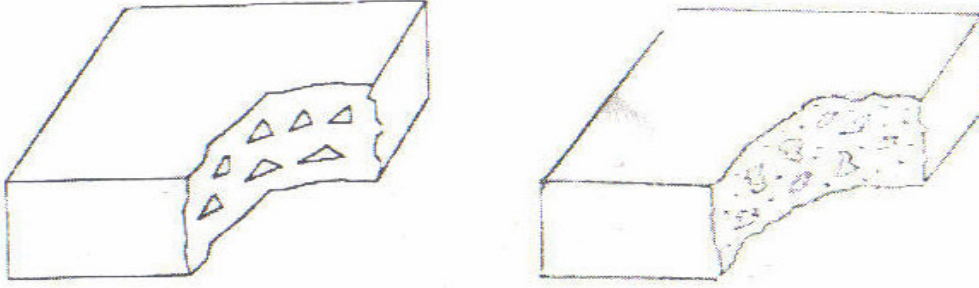
Partikül takviyeli kompozitler, mikron boyutlarındaki çeşitli partikül takviye elemanlarının matriks'e katılmasıyla elde edilen bir kompozit çeşididir. Metallerin sertliklerini, aşınma dirençlerini yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini geliştirmek için değişik türde oksit karbür veya nitrür partiküllerinden yararlanılır (Kuntel, 1996). En çok kullanılan partiküller ise  $Al_2O_3$  ve SiC' den oluşan seramiklerdir. Aşındırıcı ve kesici araçlar olarak kullanılan SiC ve  $Al_2O_3$  gibi ucuz seramik tozlarının rahat ulaşılabilirliği onları metaller için takviye malzemesi olarak göz önünde bulundurmamızı sağlamıştır. Burada yük, takviye elemanı ve matriks tarafından birlikte taşınır ve özellikler yine izotropiktir. Partikül takviyeli MMK' ler düşük maliyet, rijitliğinde dikkate değer gelişme gösterir. Ancak mukavemetteki gelişme azdır, kopmadaki şekil değişiminin ve kırılma tokluğunun düşük olması bu kompozitlerin zayıf yönüdür (Cöcen ve diğerleri,1996).

Her ne kadar takviyeli kompozitlerin üretimi ile ilgili problemler olsa da, optimum mekanik özellikler için gerekli olan matriks içerisinde takviyenin homojen dağılımına ulaşılmasının güç olması önemlilerindedir. Bu problem, nispeten kompleks şekilli kompozitlerin üretimine olanak tanıyan partikül takviyesinin kullanıldığı karıştırma ve döküm yöntemini de içeren bir çok üretim yönteminde yaygındır. İyi kalitede kompozite ulaşmak için takviye elemanının dağılımı ile ilgili döküm parametrelerinin saptanması ve kontrolü önemlidir (Hashim et al, 2002).

Makroskobik ve mikroskobik boyutlu partiküller malzeme özelliklerini farklı şekilde etkiler. Partikül takviyeli kompozitleri fiber ve pul kompozitlerden ayırt eden karakteristik özellikleri,

partiküllerin matris içerisinde tamamen rastgele dağılması ve bu nedenle malzemenin izotropik özellik göstermesidir (Kuntel, 1996).

Partikül takviyeli kompozitler ile iç bileşenlerle oynayarak farklı, alternatif özellikler elde etmek hedeflenmiştir. Şekil 2.1 de gösterildiği gibi, bunlar büyük parçacık içerdiklerinden kaymayı etkili olarak yapamazlar. Bu kompozitler; metal, seramik ve polimerlerin birleşiminden oluşabilirler. Sert metal uçlar ve beton da örnek olarak verilebilir (Şahin, 2000).



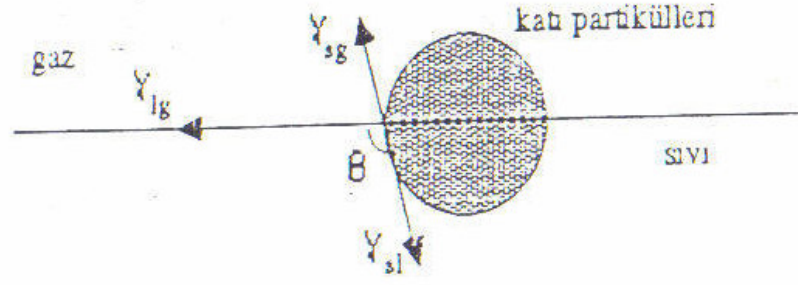
Şekil 2.1. Partikül takviyeli ve dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitlerin yapısı (Şahin, 2000).

Seramik partikül takviyeli MMK'lerin başarılı sonuçlar vermesi, seramik ara-yüzey bağ mukavemetinin kuvvetli olmasına bağlıdır. Ara-yüzeyde bağ mukavemetini, dolayısıyla sıvı-katı ara-yüzeyinde, ıslanmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Ara-yüzeyde partikül dağılımının homojen olması için, partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılma hızının yüksek olması gerekir. Ayrıca sıvı matrisin alaşımı ve seramik partikül arasındaki yoğunluk farkının ve ara-yüzeyde sıcaklık gradyanının da düşük olması lazımdır. Bu faktörlerin yanında; partiküllerin eş eksenli olması, partikül aglomerasyonunu önlemek için sıvı matrisin karıştırılması ve sıvı-katı ara-yüzeyinin düz olması gerektiğinde kaydedilmektedir (Stefenascu et al, 1988).

Matriks-seramik ara-yüzeyindeki etkileşim iki şekilde olmaktadır.

- a) Matriks-seramik malzemesi arasındaki mekanik kilitleme,
- b) Matriks-seramik arasındaki kimyasal bağ oluşumu.

Mekanik kilitleme olayında, ara-yüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip gelmesi ile ıslanma meydana gelir. Islatabilirlik, temas açısı( $\theta$ ) ölçülerek anlaşılır. Şekil 2.2 de sıvı matrisin alaşımı ile seramik partikül arasındaki etkileşim temsil edilmektedir (İbrahim et al, 1991).



Şekil 2.2. Sıvı matris alaşımı ile seramik partikül arasındaki etkileşim (İbrahim et al, 1991).

$$\gamma_{sg} = \gamma_{lg} \cos\theta + \gamma_{sl}$$

$\gamma_{sg}$ ,  $\gamma_{lg}$ ,  $\gamma_{sl}$ ;

sırasıyla katı-gaz, sıvı-gaz ve katı-sıvı arasındaki yüzey enerjilerini temsil etmektedir.

İslatmanın olabilmesi için  $\theta$  açısı 90 dereceden küçük olmalıdır. Bu da katı-gaz arasındaki ara-yüzey enerjisinin katı-sıvı arasındaki ara-yüzey enerjisinden daha büyük olması gerektiğini göstermektedir. Metal-seramik sistemlerinde temas açısının düşmesi, katının yüzey enerjisinin artmasına, katı-sıvı ara-yüzey enerjisinin düşmesine ve/veya sıvı metal ara-yüzey geriliminin düşmesine bağlıdır (Banerji et al, 1984).

İslanmanın iyi olduğu sistemlerde çekme,akma mukavemetlerinin(İbrahim et al, 1991), aşınma direncinin(Nair et al, 1985) ve yorulma ömrünün(Karakaya ve diğerleri, 1991) arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle de ıslatmayı arttırmak için bu sistemlerde aşağıdaki işlemler yapılır (Delannay et al, 1985):

- Seramik partiküllerin yüzeyleri kaplanır,
- Metalik matris Mg,Ca,Li gibi reaktif elementlerle alaşımlanır,
- Seramik partiküler ısı işleme maruz bırakılır.

Böylece bir kompozitin dayanımı;

- Parçacıkların büyüklüğüne
- Parçacıklar arası mesafe ve homojen dağılıma,
- Matriksin özelliğine,
- Parçacıkların özelliklerine bağlı olarak değişir.

Kompozitler pek çok alanda kullanılırlar ve seçilirlerken kullanılacağı alan göz önünde bulundurulur. Örneğin eğer yapısal bir uygulamada kompozit malzeme kullanılacaksa, kompozitin modül değerleri, mukavemeti ve yoğunluğu önem kazanacaktır ve yüksek modüllerin yanında düşük yoğunluk arzu edilecektir. Partikül biçimi önemi olabilir, çünkü köşeli, sivri partiküller bölgesel gerilimi arttırıcı, sünekliği düşürücü olarak davranabilirler. Eğer kompozit termal uygulamalarda kullanılmak zorundaysa termal iletkenlik ve termal genişleme katsayısı

önemlidir. Termal genleşme katsayısı iç gerilimleri geliştirmek vasıtasıyla kompozitin mukavemetine etki eder (Lloyd, 1994).

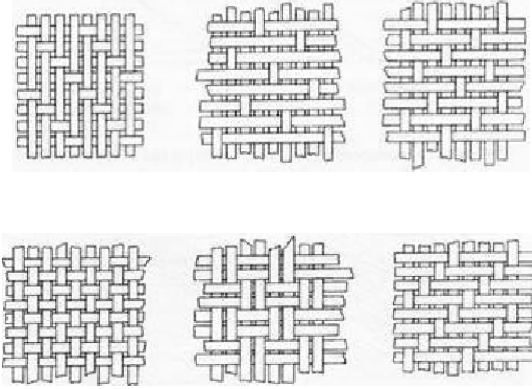
### 2.1.2. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bu kompozitler ile yumuşak olan matriks içine katılan sert, elastik elyaflarla çekme dayanımı, yorulma dayanımı gibi pek çok özelliğe iyileşme sağlanabilir. Elyaf takviyeli kompozitlerde matriks tarafından elyafa iletilen kuvvet tümüyle elyaf tarafından taşınır.

Takviye amacıyla kullanılan elyaflar;

- Doğal elyaflar
- Sentetik organik elyaflar (naylon, aramid)
- Sentetik inorganik (cam, karbon, boron v.b)

Elyaf takviye elemanı olarak, doğranmış, öğütülmüş, whisker şeklinde olduğu gibi kesilmeden ip şeklinde de kullanılırlar ve bunun yanı sıra Şekil 2.3'de görüldüğü gibi elyaf takviye elemanları matriks içerisine değişik kombinasyonlarda yerleştirilebilirler.



Şekil 2.3. Değişik elyaf dokuma türleri (ER, 2004).

### 2.1.3. Tabakalı Kompozitler

Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonlarından oluşur. Matriks içerisine rasgele yönlendirilmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar veya farklı elyaf takviyeli tabakadan oluşabilir. Tabakalı kompozitler için esas sebep bu kompozitin maruz kalacağı yüklere uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğin doğrusal bağımlılığından avantaj sağlamaktır. Her tabakanın esas malzeme yönleri istenilen doğrultuda yapılabilmektedir (Şahin, 2000).

#### 2.1.4. Lamel Esaslı Kompozitler

Yüksek yük taşıma kabiliyeti olan uzunluk/çap oranında dolgu maddesi ilavesiyle elde edilirler. Matriks içerisinde yer alan pulların konsantrasyonu düşük olabileceği gibi birbirleri ile temas etmelerini sağlayacak derecede yüksek değerlerde olabilirler. Düzlemsel yapıya sahip pullarla sıkı bir paketleme elde edilebilir. Pul esaslı sistemin maliyeti yüksek olsa da mukavemet özellikleri bir hayli iyidir (Kuntel, 1996).

#### 2.1.5. Dolgu Kompozitleri

Dolgu kompozitleri üç boyutlu sürekli bir matriks malzemesinin yine üç boyutlu dolgu malzemesi ile doldurulması ile oluşan malzemelerdir. Matriks çeşitli geometrik şekillere sahip bir iskelet yapısındadır. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Optimum özelliklere sahip kompozitlerin üretimi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenler seçilmelidir (Kuntel, 1996).

### 2.2. Matriks Malzemeleri

Kullanılan matriks malzemeleri genellikle plastik, metal veya seramiktir. Plastik matriks olarak termoset veya termoplastikler kullanılır. Plastik malzemelerin genel özellikleri, düşük yoğunluk, kolay işlenebilirlik, iyi korozyon dayanıklılığı, düşük ısı ve elektrik iletkenliği ve de iyi yüzey kalitesine sahip olmaktır (Baycık,2001).

Metal matriks malzemeleri ise rijit ve yüksek dayanımlıdır (Atas ve diğerleri, 2000). Ancak üretimleri güçtür ve her takviye malzemesi ile kullanılmazlar (Aran , 1990).

Seramik matriks malzemeleri sert, çok yüksek sıcaklığa ve korozyona dayanıklı fakat gevrek ve darbe dayanımı düşük olan malzemelerdir.

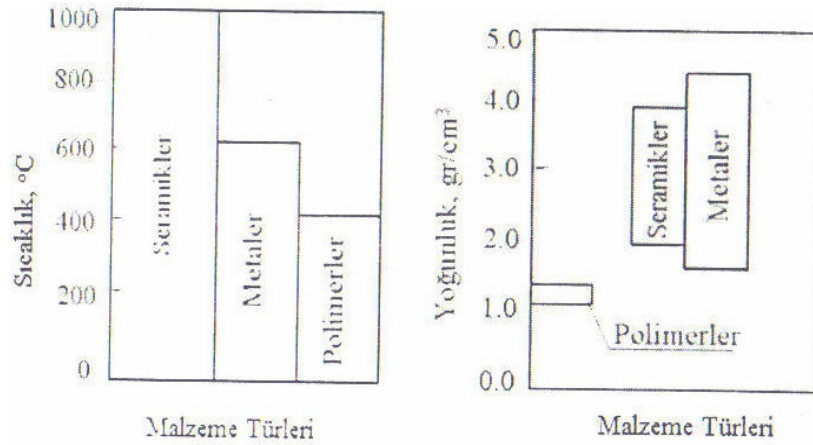
Kompozit malzemenin türüne göre, matriksin bir takım görevleri vardır. Bu görevleri şu şekilde sıralandırabiliriz.

- a) Kompozite gelen kuvveti takviye elemanına iletmek,
- b) Kompozite gelen kuvveti tek başına taşımak,
- c) Kompozite gelen kuvveti takviye elemanı ile birlikte taşımak (Baycık,2001).

Partikül takviyeli kompozit malzemelerde matriksin görevi sınırlı kalmaktadır. Matriks malzemesi, parçacıkları bir arada tutarken elyaf takviyeli kompozitlerde ise matriksin yerine getirmesi gereken fonksiyonları şöyle sıralayabiliriz;

- Düzenlenmiş elyafarı bir arada tutarak kuvvetleri elyafa iletmektir. Bu özellikle çekme ve kaymayla birlikte basma yüklemeleri için hayati önem taşır.
- Elyafarı çevresel etkilerden ve darbelerden korumak.
- Çatlakları durduraktır. Kullanılan elyafar yüksek dayanım ve elastik modüle sahip olmalarına rağmen çok gevrekler (Frag, 1989).

Kompozitlerde kullanılan farklı matriks malzemelerinin sıcaklık-yoğunluk özellikleri ve karşılaştırması Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Matrikslerin sıcaklık ve yoğunluk özellikleri (Şahin, 2000).

### 2.2.1. Metal Matriksler ve Alaşımları

Yapısal olarak metal matriksli kompozitler tek bileşenli alaşımlarla başarılabilen gerekli özellikleri elde etmek amacıyla bir metal alaşımlı matriks içinde sürekli veya süreksiz (kısa) fiber, whisker veya partikül şeklinde takviye fazı içerir (Cöcen ve diğerleri,1996). Bu amaçla kullanılan metal matriks malzemeleri yüksek rijitlik, dayanım, atmosfere karşı iyi korozyon dayanımı, ısı özellik, aşınma dayanımı ve yorulma dayanımına sahiptir. Hafif metaller, kompozitler için matriks malzemesi olarak çok cazip olmaktadır. Dayanım/yoğunluk oranının iyi olması amacıyla düşük yoğunluk, ağırlıkça hafif, yüksek mekanik özelliklere sahip olan metaller veya alaşımları metal matriksli kompozitlerde matriks malzemesi olarak kullanılmaktadır. Malzemenin kullanılacak olduğu ortam şartları ve bu ortamda malzemedan beklenen işlevler göz önüne alınarak matriks malzemesi olarak hangi malzemenin kullanılacağı, saf mı yoksa alaşımlı olarak mı kullanılacağına karar verilir.

Metal matriks malzeme olarak genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Co ve Zn gibi metal ve alaşımları kullanılır (Ögel, 1997). Fakat bunlardan sadece Al ve alaşımları, Ti ve Mg yaygın olarak kullanılmaktadır.



### 2.2.1.1. Alüminyum ve Alaşımları

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan bu denli çeşitliğe sahip olan matris malzemeleri içerisinde alüminyum ve alaşımları tercih sırasında ilk sırayı almaktadır.

Bu denli etkin kullanım sağlayan belli başlı özelliklerini aşağıda görmekteyiz.

- a) Yüksek dayanım/özgül ağırlık,
- b) Yüksek elektrik iletkenliği/ özgül ağırlık,
- c) Yüksek ısı iletkenliği/özgül ağırlık,
- d) Yüksek ıslatabilirlik,
- e) Yüksek ışık yansıtma kabiliyeti,
- f) Düşük ergime derecesi,
- g) Yüksek atmosferik korozyon direnci,
- h) Kolay şekil verilebilir,
- i) Yüzey işleme methodlarının çeşitliliği,

Alüminyumun döküm kabiliyeti bakımından iyi olduğunu pek söyleyemeyiz ancak dökülebilirlik özelliği alaşımlandırma yapılarak iyileştirilebilir. Döküm kabiliyeti dışında işlenebilirliği de iyi değildir (tornada kaleme sıvanması gibi) ve aynı şekilde alaşımlama yapılarak bu özelliği de iyileştirilebilir. Bunun yanı sıra alaşımlama ile saf alüminyum özelliklerinde pek çok iyileştirme yapmak mümkündür. Tüm bunları ele aldığımız zaman alüminyum alaşımlarının saf alüminyuma nazaran daha çok tercih edilmesinin sebebini açıkça görmekteyiz.

Saf alüminyumun özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri (Alüminyum Raporu, 2000).

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Kimyasal sembol       | Al                                     |
| Atom numarası         | 13                                     |
| Atom Ağırlığı         | 26.98                                  |
| Kafes Yapısı          | KYM                                    |
| Yoğunluğu (20°C)      | 2.6989 gr/cm <sup>3</sup>              |
| (660°C'de sıvı)       | 2.37 gr/cm <sup>3</sup>                |
| Elastik modül, E.     | 7.2 10 <sup>3</sup> kp/mm <sup>2</sup> |
| Kayma modülü, g.      | 2.7 10 <sup>3</sup> kp/mm <sup>2</sup> |
| Ergime sıcaklığı      | 660.24 °C                              |
| Ergime ısı            | 94.6 cal/gr                            |
| Elektrik iletkenliği  | 37.74                                  |
| m/Ohm.mm <sup>2</sup> |  |
| Isı iletkenliği, λ.   | 0.55 cal/cm.s.°C                       |

TSE standartlarını incelediğimizde TSE 2349'a göre alüminyum alaşımlarını iki ayrı sınıfta görmekteyiz. Bunlar şekillendirilemeyen alaşımlar (döküm alaşımları) ve şekillendirilebilen alaşımlardır.

Alüminyum esaslı malzemelerde kullanılan başlıca alaşım elementleri; Si, Cu, Mg, Mn, ve Zn'dir. Bu elementler ayrı ayrı yada birkaçı aynı anda ilave edilerek sahip oldukları belirli özellikleri sisteme katarlar. Örneğin, yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme için tüm ticari Al-Si, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak kullanılabilir (İbrahim et al, 1991). Alüminyumun alaşımlarında en sık kullanılan alaşım elementlerinin alüminyum üzerindeki etkileri Çizelge 2.2'de görebilmek mümkündür.

Çizelge 2.2. Yaygın alüminyum alaşım elementlerinin Al üzerindeki etkileri.

| Alaşım Elementleri      | Si | Mg | Mn | Cu | Zn |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Yoğunluk                | -  | -  | +  | +  | +  |
| Sertlik                 | +  | +  | +  | +  | +  |
| Mukavemet               | +  | +  | +  | +  | +  |
| Elektrik İletkenliği    | -  | -  | -  | -  | -  |
| Korozyon Dayanımı       | +  | +  | +  | -  | -  |
| Isıl Genleşme Katsayısı | -  | -  | -  | -  | +  |

| TABLO AÇIKLAMALARI |                                       |
|--------------------|---------------------------------------|
| +                  | Olumlu yönde etki sağlar              |
| -                  | Olumsuz yönde etki sağlar             |
| =                  | Olumlu yada olumsuz bir etki sağlamaz |

Al alaşımları sayı sistemine göre 4 dijital sayı ile gösterilmekte olup bunlardan ilk sayı temel alaşım elementlerini ve diğer sayı ise alaşımın belirli bir bileşimini gösterir.

### 2.2.1.2. Çinko Alaşımları

Çinko ve alaşımlarının ergime derecesinin düşük olması (419°) döküm malzemesi olarak bunu cazip hale getirmektedir. Çinko alaşımlarının da döküm kabiliyeti çok iyi olması nedeni ile 0.5 mm kalınlığında ince cidarlı, karışık şekilli ve çok küçük çaplı delikler kolaylıkla elde edilebilir. Keza döküm ve çelik üzerine kaplandığı zaman çok iyi korozyon direnci sağlar. Ancak çinko 7.13g/cm<sup>3</sup> gibi yüksek bir yoğunluğa sahip malzemedir. Kompozit üretiminde matris elemanı olarak çinkonun kullanılmasında cazip bir döküm malzemesi olmasının yanında bu negatif özelliğinin de neden olacağı sonuçlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Alaşımlarının düşük devirlerde ve ağır yükleme şartlarında aşınma dirençleri mükemmeldir, bunun yanı sıra oda sıcaklığında yorulma dayanımları da iyi olmasına rağmen düşük sıcaklıklarda kırılğan malzemelerdir(Şahin, 2000). Alaşımlarının bazı özellikleri ve bileşimleri Çizelge 2.3'de sunulmuştur.

Çizelge 2.3. Çinko alaşımının bazı özellikleri (Şahin, 2000).

| Kodu   | Tipik bileşim yüzdesi |    |      | Çekme day.(MPa) | Uygulanan metot |
|--------|-----------------------|----|------|-----------------|-----------------|
|        | Zn                    | Al | Cu   |                 |                 |
| Z33520 | 95.6                  | 4  | 0.25 | 283             | Basınçlı döküm  |
| Z35635 | 91                    | 8  | 1.0  | 384             | Basınçlı döküm  |
| Z35840 | 71                    | 27 | 2.0  | 425             | Döküm alaşımı   |

### 2.2.1.3. Magnezyum Alaşımları

Endüstriyel alanda kullanılan stabil metallerin tümüne bakacak olursak magnezyum içlerinden en hafifi olarak karşımıza çıkar hatta aynı hacimde alüminyum ile bir karşılaştırma yapıldığında alüminyumdan yaklaşık olarak üçte bir daha hafiflik sağladığını görürüz. En yaygın Alaşım elementleri Al, Zn, Mn dir. Mg-Al-Zn-Mn alaşımındaki alaşım elemanlarına bakacak olursak manganez atmosferik korozyon dayanımını, çinko şekil değiştirme kabiliyetini, alüminyum mekanik mukavemet ve korozyon dayanımını artırır ki bu alaşım uçak tekerleri ile motor karterlerinin dökümünde kullanılır (Oğuz,1990). Bunun yanı sıra döküm kabiliyeti yüksek olduğundan piston, pervane imalatı gibi pek çok alanda kullanılırlar. Mg alaşımlarının bileşimi ve birtakım mekanik özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Mg alaşımlarının bileşimi ve bazı mekanik özellikleri (Groover, 1996).

| Kodu  | Tipik bileşim yüzdesi |     |     |     | Diğerleri | Çekme Day.(Mpa) | Uzama Mik.(%) |
|-------|-----------------------|-----|-----|-----|-----------|-----------------|---------------|
|       | Mg                    | Al  | Mn  | Zn  |           |                 |               |
| AZ10A | 98                    | 1.3 | 0.2 | 0.4 | --        | Hadde           | 10            |
| AZ80A | 91                    | 8.5 | --  | 0.5 | --        | Dövme           | 11            |
| HM31A | 96                    | --  | 1.2 | --  | 3.14      | Hadde           | 10            |
| AZ63A | 91                    | 6.0 | --  | 3.0 | --        | Döküm           | 6             |
| AM60  | 92.8                  | 6.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3Cu     | Döküm           | 6             |
| ZK21A | 97.1                  | --  | --  | 2.3 | 0.6Zr     | Çekme           | 4             |

Magnezyum alaşımlarının tanımlanmasında yukarıda tabloda görüldüğü gibi 3 ile 5 arasında karakterlerden oluşan kodlama sistemi kullanılır. İlk karakteri oluşturan harfler alaşımı meydana getiren temel elementi simgeler. İki haneden oluşan sayı ise alaşım elementlerinin içeriğini gösterir. Kod sistemindeki son harf ise bulunabilirliğini ifade eder.

#### 2.2.1.4. Titanyum Alaşımları

Doğada rutil ve ilmenit şeklinde bulunur. Her ne kadar alaşım elementi olarak çeliğe eklense de saf veya alaşımlı olarak denizcilik, kimya alanları, motor, türbin imalatı gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip olduğundan dolayı uçak ve uzay sanayinde de tercih edilmektedir. Ti ve alaşımları yüksek sıcaklıklarda diğer elementlerle kolayca reaksiyona girer bu yönünden dolayı yüksek sıcaklık uygulamaları sınırlıdır. Korozyon direnci iyidir. Al ile karşılaştırıldığında daha rijit bir yapıya sahiptir.

Metaller arasında titanyumun ısıl genleşme katsayısı oldukça düşüktür. Titanyum ile bazı metal alaşımlarının özellikleri Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Bazı metal alaşımlarının özellikleri (Oğuz, 1990).

| Malzeme cinsi                     | %6 Al, %4 Zr, %1 | %5 Cr, %3 Al | %7 Al, %4 Mo |
|-----------------------------------|------------------|--------------|--------------|
| Malzeme Şekli                     | Saç              | Çubuk        | Çubuk        |
| İşlem Türü                        | Tavlanmış        | Tavlanmış    | Tavlanmış    |
| Çekme muk. (kg/mm <sup>2</sup> )  | 100              | 108,5        | 112          |
| Akma Sınırı (kg/mm <sup>2</sup> ) | 97               | 103          | 105          |
| Uzama %                           | 17               | 14           | 15           |

#### 2.2.2. Plastik Matriksler

Monomerlerin birbirleriyle kimyasal bağlarla birleşerek bir makro molekül zinciri oluşturması sonucunda açığa çıkan malzemelerdir. Endüstriyel alanda kullanılan plastikler sentetik olarak üretilirler. Endüstriyel önemi oldukça yüksek olan malzemelerdir. Bunları bu nedenle önemli kılan sebepleri şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Metallere göre düşük yoğunluk,
- Yüksek korozyon direnci,
- Yüksek yalıtkanlık,
- Düşük maliyet,
- Işık geçirgenliği,
- Yüksek yorulma direnci ve sönümlene kabiliyeti.

Genel olarak üç tip plastik kullanılmakta olup bunlar; termosetler, termoplastikler ve elastomerlerdir. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunup ısıtıldıklarında yumuşarlar. Kırılma tokluğu ve geri dönüşüm kapasiteleri yüksek malzemelerdir ve sertleşme aşaması için ek çözücülere ihtiyaç duymamaktadırlar. Bu olumlu özelliklerinin yanında

üretiminin güç oluşu, maliyetinin yüksek oluşundan dolayı matris malzemesi olarak termosetler kadar tercih edilmemektedirler. Termosetler sıvı halde bulunan ve sertleşmeleri, ısıtılmaları ve kimyasal tepkimeler sonucu gerçekleşen plastik matris çeşididir. Sertleştikten sonra yüksek sıcaklıklara çıkılsa dahi yumuşamazlar ve termoplastiklere göre yüksek dayanıma sahiptirler. Elastomerlerin en bilinen özelliği ise yüksek oranlarda elastik olarak deformasyona uğrayarak eski şekillerine dönmeleridir. Bunlara en güzel örnek kauçuktur.

### 2.2.3. Seramik Matrisler

Seramikler, metal ve ametallerin oluşturdukları bileşiklerdir. Doğada dış etkilerden dolayı kayaların parçalanması ile oluşan kil ve benzeri maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen malzemelerdir.

Kompozit malzemelerde seramik kullanılmasının amacı, seramiklerin yüksek sıcaklık ve korozyon dayanımından yararlanmak ve bu arada malzemenin tokluğunu artırmaktır (Ögel, 1997). Kayma dirençleri yüksek olduğundan, plastik şekil değişikliğine uğramadan gevrek kırılmaya uğrarlar. Dayanımları yüksek, sert olduklarından aşındırıcı malzeme olarak ( $Al_2O_3$  ve SiC) kullanılırlar. Yüksek sıcaklık özellikleri olduğundan jet motoru parçaları gibi yüksek sıcaklığa maruz kalan parçalarda kullanılmaktadırlar. En çok kullanılanları silisyum karbür (SiC), silisyum nitrür ( $Si_3N_4$ ) ve alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ). Bu malzemeler ile elde edilen kompozit malzemeler yaklaşık 120 °C'ye kadar kullanılabilir. Seramikler kristal yapıya sahip olabildikleri gibi cam gibi kristal olmayan seramiklerde mevcuttur. Bunlardan bir kısmının tipik özellikleri Çizelge 2.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 2.6. Bazı mühendislik seramiklerinin tipik özellikleri (Şahin, 1996).

| Malzeme cinsi                   | Al-L165 | Ti-6/4 | Mg-L125 | Zn-27  |
|---------------------------------|---------|--------|---------|--------|
| Yoğunluğu ( $kg/dm^3$ )         | 2770    | 4430   | 1800    | 5010   |
| Çekme modülü (Gpa)              | 73      | 110    | 41      | 120    |
| Çekme dayanımı (MPa)            | 460     | 1000   | 182     | 42-440 |
| Özgül modülü ( $E/\rho$ )       | 2.70    | 2.70   | 2.3     | 15.1   |
| Özgül dayanım ( $\sigma/\rho$ ) | 7       | 3      | 0.3     | 1.5    |
| Kırılma tokluğu                 | 33      | 64     | 16      | --     |

### 2.3. Takviye Elemanları

1980' li yılların sonunda Stacey tarafından metal matriksli kompozitler için uygun olan kısa fiberler ve whiskerler ile ilgili olarak bir araştırma yapılmıştır (Stacey, 1988). Partikül olarak seramiklerin kullanılabilir olmasından beri, partikül takviyeli kompozitler için potansiyel bir takviye elemanı olmuşlardır. Rohatgi ve arkadaşları mica (Deonath et al, 1980), alümina, silisyum karbür ve kil (Surappa et al, 1981), zirkon(Banerji et al, 1983) ve gafit (Krishnan et al, 1984) kullanmışlardır. Bunların yanı sıra boron carbide (Kai et al, 1989) ve titanyum diboride (Roebuck et al, 1988) gibi diğer takviye elemanları ile de çalışmalar yapılmıştır.

Küçük partiküllerin takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozit malzemelerde gelen kuvvet matriks tarafından taşınırken, iri partikülle takviye edilmiş olan kompozitlerde ise hem matriks hem de partikül tarafından taşınır (örneğin; beton) (Baycık, 2001).

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde, matriks gelen kuvvet elyafa iletir ve kuvvet tümüyle elyaf tarafından taşınır, cam takviyeli plastiklerdeki gibi (Aran , 1990).

Kompozit malzeme üretiminde, matriks malzemesi kadar takviye elemanının da sahip olduğu özellikler önemlidir ki zaten kompozit malzemeyi hangi amaç için üreteceksek o amaç dahilinde uygun takviye elemanı seçilir. Kullanılacak olan üretim tekniği, takviye elemanının matriks tarafından ıslanabilirliği gibi faktörler üretim aşamasında çok önemli olup belirlenmeleri açısından takviye elemanını iyi tanıyıp seçmek gerekmektedir. Genel olarak metal esaslı kompozitlerde, bir takviye elemanından sergilenmesini istediğimiz fonksiyonları şu şekilde sıralayabiliriz.

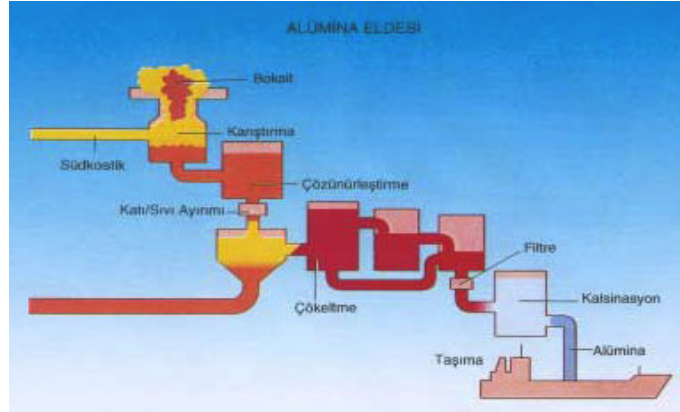
- a) Kompozitin yüksek mukavemet/yoğunluk oranı için, düşük yoğunluğa sahip olmalıdır
- b) Üretim kolaylığı (aynı zamanda maliyeti etkileyen bir faktör)
- c) Yüksek modül ve dayanım
- d) Kimyasal bakımdan uyumluluk
- e) Yüksek sıcaklıklarda kararlı ve dirençli olmaları (özellikle metal esaslı kompozitlerde)

Tüm bu özelliklerin incelenmesinin temelinde malzemenin kendisi yani atomik yapısı yatar. Düşük yoğunluğa sahip takviye elemanlarının tercih edilmesi nedeniyle ilk olarak hafif atomlar üzerinde araştırma yapmak gerekir. Mukavim bir malzeme için atomlar arası bağ kuvvetlerinin yüksek olması ve aynı zamanda zorlanma anında kuvvet doğrultusunda uzaması gerekir.

Günümüzde kullanılan takviye elemanlarından en sık olarak rastladığımız elyaflar ve irili ufaklı boyuttaki seramik partiküllerdir. Kendi içlerinde bakacak olursak karşımıza en çok çıkan elyaflar; cam, karbon, bor ve aramid, seramik partiküller ise alüminyum oksit ve silisyum karbürdür. Çok fazla tercih edilen ve bu tezde deneysel çalışmalarda kullanılan takviye elemanlarını inceleyelim.

### 2.3.1. Alüminyum Oksit

Alüminyum üretimi önceki yüzyılın sonundan itibaren bilinmekte olup, üç ana kademedede yapılır. Birinci aşama boksit madeninden  $Al_2O_3$  elde edilmesidir. Bu aşama Bayer prosesi olarak adlandırılan bir prosesle gerçekleştirilir (Hashim et al, 2002). Alüminyum oksitin elde edilme işlemini Şekil 2.5' de görmekteyiz.



Şekil 2.5. Alüminyum oksit'in eldesi (Alüminyum Raporu, 2000).

Erime sıcaklığı  $2050^{\circ}C$ ' lerde olup yüksek modüllü alüminyumla iyi karışım yapabilir ve aşındırıcı bir özellik sergiler (Ay ve diğerleri, 1997). Diğer seramik takviye elemanlarında olduğu gibi oluşturdukları kompozitlerde iyi sürtünme ve aşınma davranışı sergilerler. Bu nedenle fren diski, piston, silindir gömleği gibi otomobil parçalarında çokça kullanılırlar. Sanayide ise Kor renkli ergimiş alümina (yaklaşık %21 kromoksidin elektrik ark fırınlarında sıcak hava vermesi suretiyle saf alüminadan elde edilen yüksek saflıktaki alüminyum oksittir) ısıl işlemli dövülebilir dökme demirin düzgün taşlanması, yüksek hız çeliğin silindirik taşlanması, ısıl işlem görmüş yüksek hız çeliğinden mamul takımların taşlanması, spesifik olarak da dalma taşlama işlerinde de kullanılabilir.

### 2.3.2. Silisyum Karbür

1960'lı yıllarda plastik ve metal matriksli kompozitler için takviye fazı olarak yüksek özgül dayanım ve elastik modülüne sahip malzemeler üzerinde oldukça yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında boron, SiC ve boron karbür gibi malzemelerde geniş olarak yer almış ve deneysel çalışmaların çoğu boron üzerine odaklanmıştır. Ancak General Teknoloji Şirketi deneysel çalışmalarını SiC üzerine yoğunlaştırmış ve çekme dayanımlarını geliştirmiştir (Şahin,2000). Bu ve bunun yanı sıra boron'un yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılamaması

silisyum karbürün önemini arttırmıştır. Takviye elemanı olarak son zamanlarda silisyum karbürün yaygın kullanıma sahip olmasının bir diğer önemli nedeni ekonomik olmasıdır.

SiC katkıli kompozitlere baktığımızda  $Al_2O_3$  katkıli olanlara oranla daha üstün aşınma direnci göstermekte ve kompozitlerin sürtünme katsayısı katkısız alüminyumunkinden daha düşük olmaktadır (Cöcen ve diğerleri, 1997).

### 2.3.3. Titanyumdioksit

Saf titanyum dioksitin rutil ve anataz olmak üzere iki kristal şekli vardır. Rutil şeklindeki kristal yapısı, plastik uygulamalar için önemlidir. Sadece elmaslar titanyum dioksitten daha fazla kırılma göstergesine (ışığın eğilebilme kabiliyetinin ölçümüne denir) sahiptir. Dünyada en geniş çapta kullanılan beyaz pigmenttir, sadece magnezyum oksit titanyum dioksitten daha beyaz olmasına rağmen kırılma göstergesi titanyum dioksitten düşüktür. Safir ve yakut kristallerinin yıldız şekilleri, içerdikleri titanyum dioksitten ileri gelir. Yoğunluğu  $4,05 \text{ g/cm}^3$  olup (%99,6  $TiO_2$ ) alüminyum oksitle karşılaştırıldığında  $1850 \text{ }^\circ\text{C}$  ile daha düşük sıcaklıkta ergime göstermektedir, bunun yanı sıra 980 HV sertlik, 350 Mpa çekme dayanımına sahip bir malzemedir.

Silgi, kağıt, boya ve benzeri maddelerin yapımında kullanılır. Çizelge 2.7.'de kullanım alanları belirtilmiştir. Yüksek miktarda dolgu maddesi olarak da kullanılabilir. ve sertleşmiş reçinelerde hava şartlarına dayanımı artırır.

Çizelge 2.7. Titanyum dioksit kullanım alanları.

| <b>Boya</b>         | <b>Kağıt</b>          |
|---------------------|-----------------------|
| • İnşaat Boyaları   | • Kuşe Kağıt          |
| • Sanayi Boyaları   | • Laminasyon          |
| • Otomotiv Boyaları | • Diğer               |
| <b>Plastik</b>      | <b>Özel Sanayiler</b> |
| • Masterbatch       | • Mürekkep            |
| • PVC Profil        | • Kauçuk              |
| • Plastik Mobilya   | • Deri                |
| • Diğer             | • Diğer               |



### 2.3.4. Karbon

Yüksek çekme dayanımına ve yüksek elastik modüle sahip olan malzemelerdir. Grafitin küçük kristallerinden oluşan karbonun allotropik formundan biridir. Bu takviye elemanları organik maddelerden üretildikleri için organik fiber olarak da adlandırılırlar. Ham madde olarak selüloz (Rayon) ve zift (Pitch) halinde elyaflarda kullanılırlar.

Yüksek elastik modülü ve kristalliği elde etmek için 2000-3000°C' lerde ısıtma işlemi uygulanır.

Diğer yapısal özellikleri ise şu faktörlere bağlıdır;

- a) Elyaf doğrultusu,
- b) Kristalliği,
- c) Kusurların etkisi.

Doğrultu iyileştiği zaman boyuna çekme dayanımı ve modülü, elektrik ve ısı iletkenliği, boyuna negatif ısı genleşme katsayısı artarken enine çekme dayanımı ve modülü azalır. Kristalliği iyileştirdiğimiz zaman ise elektrik ve ısı iletkenliği, boyuna negatif ısı genleşme katsayısı ve oksidasyon direnci artar. Ancak boyuna çekme ve basma dayanımı, enine çekme dayanımı ve modülü, boyuna kayma modülü azalır. Kristal hatası olmadığında ise çekme dayanımı, ısı iletkenlik ve elektrik iletkenliği ve oksidasyon direnci artar (Frag, 1989).

### 2.3.5. Cam Elyaflar

Cam elyafları plastiklerin takviyesinde kullanılmaktadır ve bu sayede plastiklerin çekme, eğilme, darbe dayanımları artarak daha rijit bir malzeme elde edilir.

Cam elyafı, silika, alüminyum oksit, soda, magnezyum oksit gibi cam üretim hammaddelerinden üretilir. Hammadde bileşimi, çok ince öğütülerek, homojen bir karışım oluşturmak üzere karıştırılarak 1600°C sıcaklığında çalışan bir öğütme fırınına verilir. Sıvı hale geçen karışım bir sarma sistemi ile mikron boyutundaki çaplarda çekilip bir bobin üzerine sarılırlar. Cam lifleri demetlenmeden önce bağlayıcı ile kaplanırlar. Bağlayıcının cinsi cam elyafının kompozit içerisindeki performansını etkileyen en önemli faktörlerdendir ki kompozitin mukavemeti reçine-cam bağının kuvveti ile orantılı olarak artar. Bobin üzerine sarılıp kuruyan liflere, çeşitli amaçlara hitap etmek üzere uygun proseslerde şekil verilerek son hali verilir.

Cam elyafları ve bunlara has özellikler Çizelge 2.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.8 Cam-elyaf türleri ve özellikleri (Özbay, 1987).

| Elyaf Türü | Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> ) | Tek Lif Çekme Dayanımı (10 <sup>4</sup> gr/cm <sup>2</sup> ) | Çekme Modülü (10 <sup>4</sup> gr/cm <sup>2</sup> ) | Yumuşama Noktası (C°) |
|------------|--------------------------------|--|--|-----------------------|
| A - Camı   | 2.45                           | 3.1  | 72   | 700                   |
| C - Camı   | 2.45                           | —  | —  | 690                   |
| E - Camı   | 2.56                           | 3.6  | 76   | 850                   |
| R - Camı   | 2.58                           | 4.4  | 85   | 990                   |
| S - Camı   | 2.49                           | 4.5  | 86   | —                     |

### 2.3.6. Bor

Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar sert ve ısıya dayanıklıdır. Doğada serbest şekilde değil tuz şeklinde bulunmaktadır. Oda sıcaklığında katı durumda olan hafif elementlerden biri olup seyrek olduğundan klasik tekniklerle üretmek mümkün değildir. Bu nedenle son yıllarda tungsten çekirdek yerine karbon çekirdek kullanılmaktadır. Bor elyafı, tungsten (W), karbon (C) veya Ti filamentleri üzerine CVD kaplama tekniği ile üretilir ve kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak otomotiv, savunma, enerji, ulaşım (demiryolu, havacılık ve uzay), spor malzemelerinde kullanım alanı bulur (Tübitak, 2003).

### 2.3.7. Aramid

Organik elyafların en gelişmiş olan aramid elyafı piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar ve Twaron olarak anılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, petrol türevi malzeme ve sülfürik asit kullanılarak yapılır. Bu üretim sırasında enerji girdisi aşırı derecede yüksektir ve oluşan yan ürünler de çok zehirlidir. Dayanıklılık, yüksek ısı direnci ve hafiflik özellikleriyle sanayinin pek çok alanında tercih sebebi olup kullanılmaktadır. Otomobil emniyet kemerleri, koruyucu giysilerle insanların sağlığını korumak ve güvenliğini sağlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca uçak ve gemi sanayinin dış yapı malzemelerinde, lif optik ve elektro-mekanik kabloların üretiminde, ip ve halat sanayinde, çeşitli spor aletlerinde, balistik kumaş olarak zırhlı araçlarda araç içi döşemelerde ve benzin deposunun kaplanması için kullanılmaktadır.

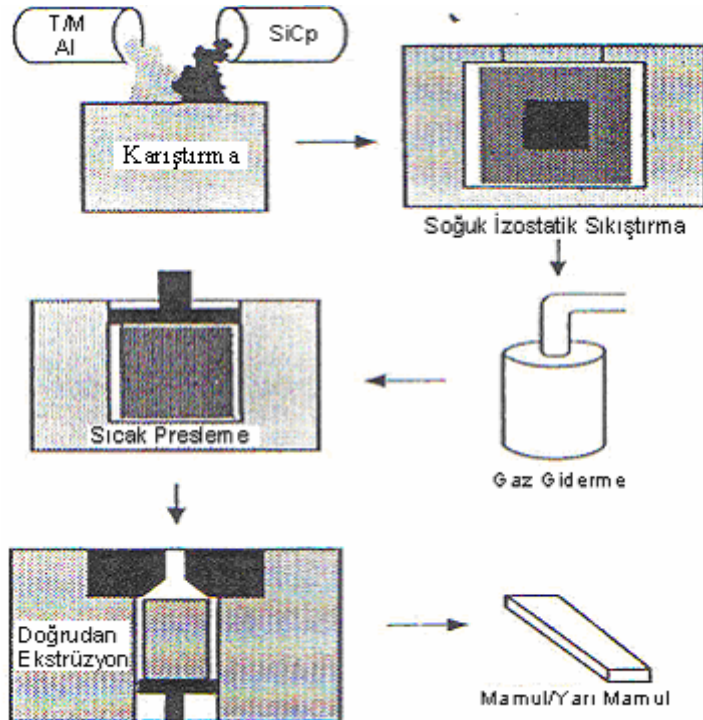
Önemli özelliklerini şu şekilde sıralamak mümkündür (ER, 2004) ;

- Genellikle rengi saridir
- Düşük yoğunluktur
- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanım
- Kevlar elyafı kompozitler Cam elyafı kompozitlere göre 35% daha hafiftir
- E Cam türü elyaflara yakın basınç dayanıklılığı

## 2.4. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretimi

### 2.4.1. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretim

Erimiş metal yöntemi ile seramik partiküllerin ıslanmasındaki zorluktan dolayı toz metalurjisi yöntemi geliştirilen ilk yöntemdir. Toz metalurjisi yönteminin gerekli özellikleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Toz Metalurjisi Yöntemi (Lloyd, 1998).

Toz metalurjisi genellikle 20-40 $\mu$ m aralığındaki atomize edilmiş tozların ön alaşımlanmasıdır, fakat aynı zamanda tozların karıştırılabilmesidir veya hızlı bir şekilde kesitli şerit veya elyafı katılaştırılabilmesidir (Adams et al, 1985). Öncelikli olarak, karıştırma işlemi önem arz etmektedir; çünkü bu, kompozitin ilk homojenliğini gerçekleştirmektedir ve alüminyum tozu için kuru bir ortamda gerçekleştirilir. Kömür tozu, un gibi bazı organik tozlara benzeyen ince alüminyum tozları havada yayıldığında kolay bir şekilde tutuşur ve oldukça patlayıcıdır. Alüminyum %9 gibi ufak bir oranda oksijen sağlayan atmosferde ve 25mJ kadar az bir enerji seviyesi ile tutuşacaktır. Statik elektriğin boşaltılması bir patlamayı tetikleyecek bir kıvılcım oluşturabilir, bu nedenle tüm makineler iyi bir şekilde yere yerleştirilmelidir, tozları içermek ve tutmak için yalnızca iletken materyaller kullanılmalıdır. Bu tozların işlenmesine, taşınmasına ve saklanmasına özen gösterilmesi gerekir.

Çünkü alüminyum metal toz partikülleri hidratlı oksit filmine sahiptir, eğer alt sıra gaz gözeneklerinden kaçınmak gerekli ise birleştirme sağlanmadan önce birleşik su moleküllerini atmak gerekir. Soğuk kompakt bilet'i 400°C'nin üzerinde dinamik bir vakum altında bilet boyutuna bağlı olan bir tutma süresince bekleterek buna ulaşılır. Vakumlu sıcak presleme kompoziti %95'in üzerindeki bir yoğunluğa birleştirir ve bu alaşımın solidüsün altında veya sıvı-katı bölgesinde gerçekleşebilir. Sıvı faz sinterleme kullanıldığında presleme kinetiği daha hızlıdır, fakat bunun bir dezavantajı vardır, güçlük çekmeden takviye elemanı ile sıvı faz arasında reaksiyon oluşabilir. Sıvı faz sinterleme aynı zamanda hızlıca katılan toz partiküllerinin mikro yapısını düşürecektir ve erimiş bölgelerde kaba ötektik intermetalik faz doğuracaktır. Tamamen katı hal birleşmeleri tanımlayan atomizasyon, hızlı katılma ile elde edilebilen aşırı doymuş yarı kararlı alaşım kompozisyonunu elde etmek gibi avantajlara olanak. Final ürün ise ekstrüzyon oranı yaklaşık 20:1 veya daha yüksek olan ekstrüzyon ile elde edilir. Metal toz partikülleri arasındaki oksit filmi dağıtmak, metalden metala bağlantıyı sağlamak ve metal partiküller arasında iyi bir bağın gelişimine izin vermek için yüksek bir ekstrüzyon oranı gereklidir. Yüksek bir ekstrüzyon oranı aynı zamanda takviye elemanlarının dağılımını geliştirir. Toz metalürji yöntemi aşağıdaki gibi çeşitli etkili özelliklere sahiptir (Zedalis, 1989):

- a) Herhangi bir alaşımın matriks olarak kullanılmasına izin verir,
- b) Herhangi bir takviye elemanının kullanılmasına olanak tanır, çünkü matriks ile takviye elemanı arasındaki reaksiyon solid-state yöntemi kullanılarak minimize edilebilir.
- c) Hızlı bir şekilde katılmış malzeme kullanarak matriks için dengesiz alaşımlar kullanılabilir. Bu özellikle kompozitlerin yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılması gerekli ise önemlidir, aynı zamanda da geleneksel alaşımlardan daha yüksek sıcaklıklarda daha mukavim olan hızla katılmış alaşımlar için.
- d) Takviye elemanının yüksek hacimli sürtünmesi mümkündür, böylece kompozitin modüllerini maksimize, termal genleşme katsayısı minimize edilebilir.

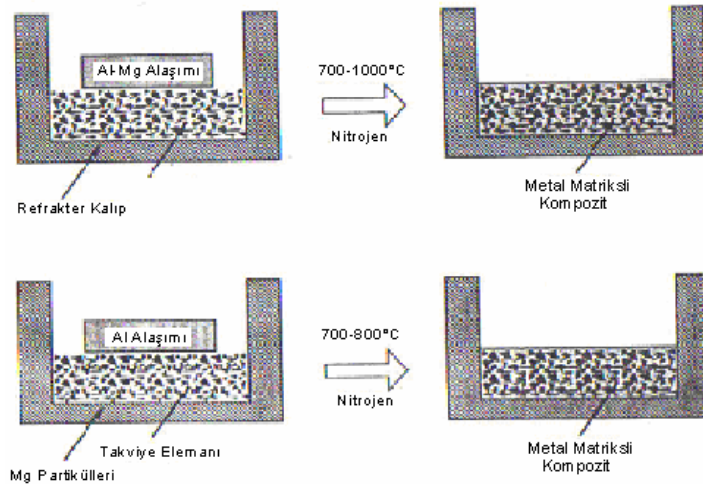
Toz metalürji yöntemi aynı zamanda bir takım büyük dezavantajlara da sahiptir:

- Oldukça reaktif, potansiyel patlayıcı tozların yüksek miktarlarda taşınmasını gerektirir,
- İmalat yöntemleri oldukça komplekstir, üretilebilecek formlardaki ilk ürünler sınırlıdır.
- 1 ve 2. maddelerin sonucu olarak ürünler geleneksel üretilen alüminyum alaşımlarıyla karşılaştırıldığında pahalıdır.

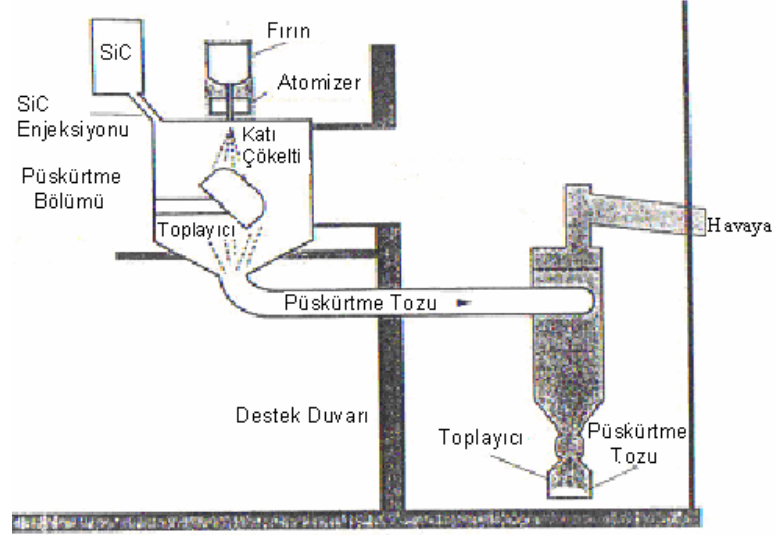
#### 2.4.2. Erimiş Metal Yöntemi İle Üretim

Seramik partikülleri metalik eriyiğin içine atmak ilk zamanlarda sınırlı başarılarla sahipti, çünkü metallerin çoğu seramik partikülleri ıslatmıyor ve bu erimiş metaldeki partiküllerin reaksiyonu ile sonuçlanıyordu (Badia et al, 1969; Patton et al, 1972). Bir tek partikülün bir eriyiğe katılması ile ilgili olan temel termodinamik etkenler bazı detaylar dahilinde göz dahilinde incelenmiş ve eriyik alüminyum ile seramik partiküller arasındaki bağlantı açısının başarılı bağlantı için 90°'den ufak olması gerektiğini göstermiştir. İslanma açısı çoğunlukla sessile drop metodu ile ölçülür ve sıcaklık, zaman, iç yüzey reaksiyonları gibi bir çok değişkenden etkilenir. Genel olarak erimiş alüminyum

çoğu seramik partikülleri tipik döküm sıcaklıklarında (<800°C) ıslatmaz ve erimiş metal bu ıslatma davranışını, ıslanma açısı eksikliğini yenmek için mekanik enerji depolayarak geliştirmeye çalışır. Erimiş metal yöntemlerine baktığımızda; Karıştırma metodu (mixing methods), yarıkatı döküm (semisolid casting), basınçlı infiltrasyon (pressure infiltration), basınçsız infiltrasyon (pressureless infiltration, Şekil 2.7) , in situ reaction synthesis ve plazma püskürtme'den (spray deposition) (Şekil 2.8) oluşur.



Şekil 2.7. Basınçsız infiltrasyon Yöntemi (Lloyd, 1998).



Şekil 2.8. Plazma püskürtme Yöntemi (Lloyd, 1998).

Yukarıdaki başlangıç üretiminden sonra kompozitlere ikincil imalat yöntemleri ile son hali verilir. Bu yöntemleri ise şu şekilde sıralayabiliriz.

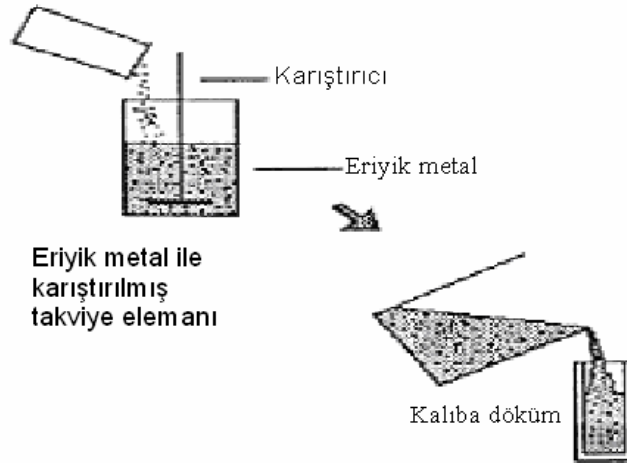
- Sıcak şekil verme (ekstrüzyon)
- Döküm
- Talaşlı imalat
- Birleştirme Yöntemleri (kaynak gibi)

#### 2.4.3. Deney Numunelerinin Üretimi

Deneylerde kullanılacak olan numunelerin ağırlık oranları belirlenerek, üretimi için bir dizi çalışmalar yapılmıştır.

Genel olarak metal matriksli kompozitlerin karıştırma ve dökümü eritmeyi ve bunu izleyen eriyiğin içinde bir takviye elemanının kullanılmasıyla uygun dağılımın elde edilmesini gerektirir. Bir sonraki adım döküm matriksi içindeki disperse fazın istenilen dağılımını elde etmek için seçili şartlar altında asılı partikülleri içeren eriyiğin katılaşmasıdır. Bu işlemin şematik diyagramı Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Bu metotla üretilen kompozitlerde, işlemin erime ve katılaşma aşamalarının her ikisi esnasında da partikül dağılımı işlem parametrelerine bağlı olarak belirgin bir şekilde değişecektir. Döküm sırasında dökme ve katılaşma karakteristikleri matriks içerisindeki partikül dağılımının üniformaluluğunu etkileyen temel faktörlerdir. Bunlar, sıvı metalin viskozitesi, ısı transfer oranı, malzemelerin ıslanabilirliği, karıştırma metodu, karışmadan önce ve sonra takviye elemanının yığılması, model veya kalıp şekli ve sıcaklık gibi parametrelerden etkilenir. Katılaşma partikülün katılaşma çekirdeği olarak davranıp davranmamasına bağlı olarak

partikül dağılımını etkiler. Gözle görülür çöküntünün meydana gelmesine izin verilmeden önce katılaşmanın meydana gelmesi de önemlidir (Hashim et al, 2002).



Şekil.2.9 Karıştırma ve döküm işleminin şematik görünümü (Hashim et al, 2002).

Eğer çökme olursa katı hacim oranına bağlı olan termal iletkenlik ve ısı kapasitesi gibi karışımın termal özellikleri katılaşma oranını etkiler. Bunun yanı sıra partikül katılması ve karıştırma işlemleri de önem taşır.

Genelde bir sıvı eriyik içerisine katılan partiküle iki tip engel vardır. Bunlar bir yüzeydeki oksit filmi gibi mekanik engeller ve ıslanabilirlik bakımından söz edebileceğimiz termodinamik engellerdir. Mekanik engeller iyi döküm uygulamaları ile azaltılabilir, fakat termodinamik engelleri aşmak daha zordur. Genellikle metal matrisli kompozitlerde kullanılan seramik takviyelendiriciler metalik eriyik tarafından ıslanamazdır ve yüzey enerjisi engelini aşmak için dışarıdan bir tahrik kuvvetine gereksinim duyulur. Bu kuvvet ise eriyiği mekanik veya elektromanyetik karıştırmayla sağlanır (Hashim et al, 2002). Alaşım kimyası, partikül ekleme sıcaklığı ve karıştırma hızı takviyelendiricinin metal tarafından ıslatılmasını kontrol eden parametrelerden bazıları olarak gösterilebilir (Asthana et al, 1993). Bir defada partiküller sıvıya aktarılır ve enerji bariyeri aşılar, yüzey enerjisi veya yüzey kuvveti eriyik içindeki konumla değişmeyecektir.

Eriyik içindeki partiküllerin dinamiği, karıştırma hareketi ile yada yerçekimi, yoğunluğu kapsayan diğer etkiler ile belirlenir.

İki problem ekleme işlemini güçleştirir :

- (i) Partikül topaklaşmaları, dağılma tamamlanmadan ve ıslanma meydana gelmeden önce sona ermelidir.
- (ii) Partiküller için gaz baloncuklarına bağlı olmak enerjik olarak yardımcıdır.

Partikül eklenmesi sırasında, partikül tarafından meydana gelen, eriyiğin lokal katılaşması vardır ve tüm matriks erime sıcaklığı, partiküllerin sıcaklığına bağlı olarak solidüsün altına düşebilir (Hashim et al, 2002).

Matriks eriyiğine partikül girişi yöntemi döküm işleminin çok önemli bir yönüdür.

Partikül karıştırması ve kullanılmasına ilişkin birkaç teknik mevcuttur (Rohatgi et al, 1986; Krishnan, 1981). Fakat bu metotlardan bazıları bir takım dezavantajlara sahiptir. Partiküllerin gaz enjeksiyonu örneğin eriyik içerisine bir miktar gazın katılması, bazı metotlar partiküllerin dağıtılmasında çok etkili değildir, ultrasonik gibi bazı teknikler de oldukça pahalıdır ve üretim seviyesine çıkması zordur (Hashim et al, 2002).

Karıştırma sırasında dağılım açıkça kullanılan karıştırma işlemine bağlı olacaktır. Aşırı gaz miktarı ingot içerisinde kabul edilemez derecede gözeneğe yol açan aşırı karıştırılmış eriyikten ileri gelebilir. Asal gaz veya vakum işlemlerinde dahi üst eriyik yüzeyi karıştırması problemlerin nedeni olarak bilinir (Hashim et al, 2002). Mekanik karıştırma genellikle eriyik hazırlığında veya yapılmasında kullanılır, karıştırma koşulları, eriyik sıcaklığı ve tipi, partiküllerin miktarı ve özelliği, bu olay araştırıldığında göz önüne alınacak temel faktörlerden bazılarıdır (Lloyd, 1994). Erimiş bir alaşımdaki partiküllerin homojen dağılımının sağlanmasında, bulamacın karıştırılmasıyla ortaya çıkan yüksek hız profili radyal yönde üniform partikül dağılımına yol açar ve çökmeden gelen partikülleri önler (Hashim et al, 2002). Eksenel yöndeki ikincil akış yüksekten düşük momentum bölgelerine momentumun transferine yol açar ve partiküllerin kalkmasına yol açar. Akış parametreleri ile kalkma hareketini ilişkilendirmek için ikincil akış eksenel hızının yerleşme hızına oranı olarak bir partikül dağılım sayısı (PDN) tanımlanır (Hashim et al, 2002). Eğer PDN 1'den büyükse yerleşme hızı ikincil akış eksenel hızından küçüktür ve partiküller eriyiğin üstüne taşınacaktır. Bir başka şekilde PDN 1'den küçükse partiküller dipte kalacaktır. Homojen bir dağılım için PDN'nin 4'den büyük olması gerekir (El-kaddah et al, 1991).

PDN aşağıdaki gibi verilir (Hashim et al, 2002);

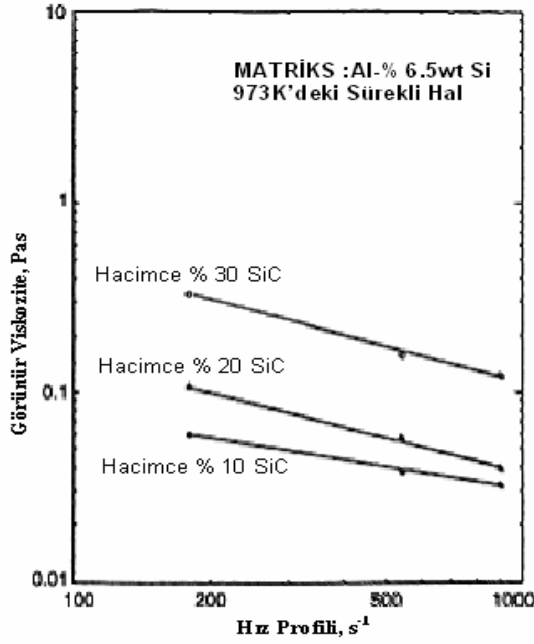
$$PDN = [Ho.(\mu.\Omega)^{1/2}] / [r_i^{1/4} .D^{3/4} .v_t]$$

Burada; Ho eriyik yüksekliği,  $\Omega$  kabın açısız hızı,  $r_i$  iç silindirin yarı çapı, D et kalınlığı,  $v_t$  partikül yerleşme hızı ve  $\mu$  ise bulamacın viskozitesidir.

Genel olarak partiküller etrafındaki sıvı hareketinin, zararlı oksit veya diğer kirlilikleri içeren partikül yüzeylerini yıkamada yardımcı olan bir hız profili yarattığı kabul edilmektedir. Bu yıkama hareketi partiküle verilen sıvıyı sürekli olarak yeniler. Daha önceden bahsedildiği gibi döküm çoğu zaman yarı katı haldeki kompozit ile meydana gelir. Sabit koşullarda yarı katı bulamaçların inceltme davranışlı güçlü kesmesi, birincil faz tanelerinin tane bağlanma işlemi için yarışmasına bağlanır. Daha yüksek hız profillerinde birincil faz taneleri arasındaki bağ kırma kuvveti ile kırılır ve daha düşük bir viskozite elde edilir. Şekil 2.10 çeşitli sıcaklıklarda hız profili



ile viskozitedeki varyasyonları gösterir. Viskozite partikül boyutundaki artışla ve takviye elemanının hacim oranıyla artar. Ayrıca kompozit bulamacının görünür viskozitesi hız profiline geniş aralığının üzerine çıkmasıyla düşer (Hashim et al, 2002).

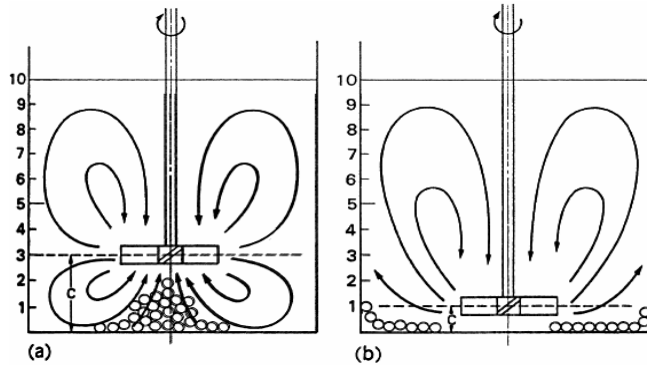


Şekil 2.10. Hız profiline A356-SiC kompozitinin viskozitesi üzerine etkisi (Fleming, 1991).

Bir döküm tekniğiyle üretilen kompozitlerde, döküm içindeki seramik partiküllerin homojen olmayan bir şekilde dağılımı başlıca problemlerden biri olarak tanımlanmıştır (Hashim et al, 2002). Mekanik karıştırma genellikle eriyiği hazırlama veya tutma sırasında kullanılır, bu bağlamda karıştırma şartları, eriyik sıcaklığı, partiküllerin yapısı, miktarı bu olayın incelenmesinde göz önünde bulundurulması gereken temel faktörlerden bazılarıdır. Genel olarak karıştırma iki şekilde fayda sağlar; partiküllerin sıvı metal içine transferi için ve süspansiyon içindeki partiküllerin devamlılığını sağlamak. Birkaç karıştırıcı tipi karıştırma amacı için uygundur. Bazı durumlarda karıştırıcılar aksel akışın yüksek derecelerde gerçekleşmesini sağlamak için dizayn edilir (Hashim et al, 2002).

Karıştırıcı çapı da göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür. Karıştırıcı çapı çok küçük olduğunda katkı partiküller merkezde tortulardan yoksun olunması halinde karıştırıcının çevresinde asılı kalır. Çap çok büyük olursa katı partiküller dipte karıştırıcının merkezinde dağılmamış olarak kalmaya eğilimlidirler. Bu nedenle optimum karıştırıcı çapı, katkı partiküllerin aynı hızda hem merkezde hem de çevrede girdaplaştığı boyutta olmalıdır (Hashim et al, 2002). Yassı tabanlı kap için, karıştırıcı çapı  $d$  nin  $0,4 D$  ye eş olduğu ki buradaki  $D$  kap çapıdır, ve pervane genişliği  $b$ 'nin  $0,1-0,2 D$ 'ye eşit olması gerektiği bulunmuştur.

Silindirik bir kaptaki sıvı içindeki katı partiküllerin karıştırılması halinde, karıştırma hızı düşük olduğunda katı partiküller dibe doğru iner ve tüm partiküller hız kritik bir değere ulaştığında girdaplaşırlar (Nagata, 1975). Bu, karıştırıcı dizaynına, kabın boyut ve şekline ve de partikül özelliklerine bağlı olan kompleks bir olaydır. Şekil 2.11 (a) ve (b) de görüldüğü gibi katı partiküllerin iki tip girdaplaşması gözlemlenmiştir (Hashim et al, 2002).



Şekil 2.11. Katı partiküllerin girdaplaşma konumu: (a) konum 1; (b) konum 2 (Hashim et al, 2002).

Karıştırma sırasında oluşan girdap ıslanmayan partiküllerin içinde emebilir hem de kabarcıkları erimiş alaşımın içine çeker. Partiküller sürekli kendilerinin eriyik dışına yüzmelerine yardım eden, su yüzünde kalabilmelerini gideren kabarcıklara tutunur. Sonuç olarak karıştırma ve döküm ile üretilen kompozitlerin içindeki porozite miktarının lineer olarak partikül miktarıyla farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Karıştırma sırasında türbülans yaratmak gereklidir, fakat bu yalnızca sıvının dip kısmında gereklidir (Hashim et al, 2002).

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Endüstriyel alanda en fazla kullanılan partikül takviyeli kompozitlere baktığımız da, matriks olarak alüminyum ve alaşımları, takviye elemanı olarak ise  $Al_2O_3$ , SiC başta olmak üzere birçok malzemenin oluşturduğu çeşitlilikten (silindir gömleği için grafit- $Al_2O_3$ , fren kampanası için Al alaşımı-SiC, v.b) söz etmek mümkündür (Baycık, 2001). Kompozitin istenilen özelliklere sahip olması açısından kendisini oluşturan malzemelerin ve özelliklerinin bilinmesi ve kontrol edilmesi gerekir.

DeneySEL çalışma amacıyla üretilen numuneler üzerinde aşınma, çekme ve basma, eğme deneyleri gerçekleştirilmiş olup, numunelerin sertlik ölçümleri yapıp iç yapı fotoğrafları çekilmiştir.

#### 3.1. Deney Numunelerinin Üretimi

##### 3.1.1. Malzemeler ve Bileşenleri

DeneySEL çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanan kompozit malzemelerin tümünde matriks malzemesi aynı olup piston, motor gibi ısınmaya ve aşınmaya mukavim parçaların imalatında tercih edilen AlSi12CuNiMg alüminyum alaşımı kullanılmıştır, AlSi12CuNiMg için kimyasal bileşim Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Takviye malzemesi olarak ise 60  $\mu m$  boyutunda  $Al_2O_3$ , 90  $\mu m$  boyutunda SiC ve 45  $\mu m$  boyutunda  $TiO_2$  tozları kullanılmıştır.  $Al_2O_3$ , SiC gibi sert seramik partiküllerinin ilavesiyle elde edilecek olan kompozitte aşınma dayanımında artış sağlayacağı bilinmektedir.

Çizelge 3.1. AlSi12CuNiMg Alaşımının kimyasal bileşimi ( % Ağırlık).

| Si    | Fe  | Cu      | Mn   | Mg      | Zn   | Ni      | Pb  | Sn  | Ti  | Diğerleri | Al         |
|-------|-----|---------|------|---------|------|---------|-----|-----|-----|-----------|------------|
| 11-13 | 0,6 | 0,8-1,5 | 0,25 | 0,8-1,4 | 0,25 | 0,8-1,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,15      | geri kalan |

### 3.1.2. Kompozit Numunelerin Üretimi

Numune üretimi için 750 gr. üzerinden ağırlıkça yüzdeler dahilinde her bir kompoziti oluşturacak olan matriks/takviye elemanı miktarları hesaplanıp üretime geçilmiştir. Üretilen kompozit çeşitleri ve bunları meydana getiren matriks/takviye elemanın ağırlıkça yüzde bileşimleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Numunelere ait bileşimler (%Ağırlık).

|   | (AlSi12CuNiMg) | Takviye Elemanı                    |
|---|----------------|------------------------------------|
| 1 | % 96           | % 4 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 2 | % 96           | % 4 SiC                            |
| 3 | % 98           | % 2 TiO <sub>2</sub>               |
| 4 | % 96           | % 4 TiO <sub>2</sub>               |
| 5 | % 94           | % 6 TiO <sub>2</sub>               |
| 6 | % 92           | % 8 TiO <sub>2</sub>               |

Kompozit malzemede matriksi oluşturacak olan alüminyum alaşımı ergitilmek üzere belirlenmiş olan ağırlıkça yüzdeler dahilinde bir grafit pota içerisine katılıp elektrikli direnç fırınında 700°C' de tutulup, matriks malzemesinin ergimesi beklenmiştir. Matriks malzemesi ergidikten sonra karıştırıcı çubuk grafit potaya daldırılarak hızla karıştırılmıştır, karıştırma işlemi sırasında pota içerisinde oluşan girdabın ortasına daha önce Al alaşımı ile birlikte ağırlıkça yüzdesi belirlenmiş olan takviye elemanlarından söz konusu olan partikül ilave edilmiştir. Karıştırma işlemine devam edilmiştir ta ki karışım hamur kıvamına gelinceye kadar. Partikül ilavesinin tamamlanmasının ardından karışım ara ara karıştırılmıştır, burada partiküllerin matrikse tutunması, matriks tarafından iyice ıslatılması amaçlanmıştır. Bu işlemin kritik kısmı başlangıçtaki potanın dibindeki katkı partiküllerinin dağıtılması için olan karıştırma hareketinin verimliliğidir. Bir kalıba akıtılana dek eriyik içine eklenen partiküllerden hemen sonra dağılımı kontrol etmek için verimli karıştırma hareketinin gerekliliği bilinmektedir. Döküm işlemi gerçekleştirilmeden önce döküm esnasında sorun olabilecek gaz boşluklarını ortadan kaldırmak için azot bazlı gaz alıcı tablet kullanılmıştır.

Ergitme ve karıştırma işlemlerini izleyen döküm aşamasına gelindiğinde ise 200°C ön sıcaklığa ısıtılmış kalıplara döküm yapılmıştır. Döküm yapıldıktan sonra numuneler 5 dakikalık bir bekleme süresinin ardından kalıptan çıkarılıp havada soğumaya bırakılmışlardır. Sırasıyla her numune için yukarıdaki işlemler uygulanıp üretim tamamlanmıştır.

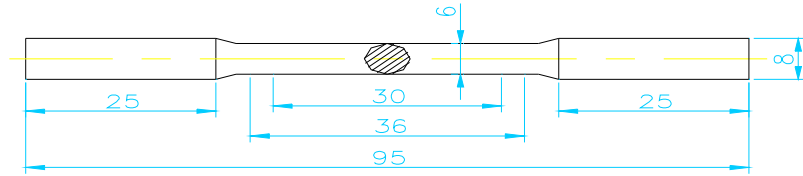
### 3.2. Mekanik Deneyler

#### 3.2.1. Sertlik Deneyi

Yüzeyleri parlatılan numuneler üzerinde C.B.Ü Müh. Fak. Laboratuvarında mevcut olan Future Tech FM700 Dijital Mikrosertlik Cihazı (0,5g-2000g) ile HV cinsinden mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm esnasında numunelere 500 gf yük uygulanıp, her bir numune için 6'şar adet ölçüm yapılmıştır. Her bir numune için bu 6 ölçüm sonucunda elde edilen verilerin ortalamaları alınmıştır.

#### 3.2.2. Çekme Deneyi

Çekme deneyinde kullanılan deney çubukları TS 138 normuna göre daire kesitli (yuvarlak) silindirik başlı olarak hazırlanmıştır. Şekil 3.1'de işlenmiş çekme deney çubuğu görülmektedir. Çekme deneyleri C.B.Ü Müh. Fak. Laboratuvarında mevcut olan Shimadzu Üniversal Test Cihazında (10 Ton) yapılmıştır.



Şekil 3.1. Çekme deney numunesi.

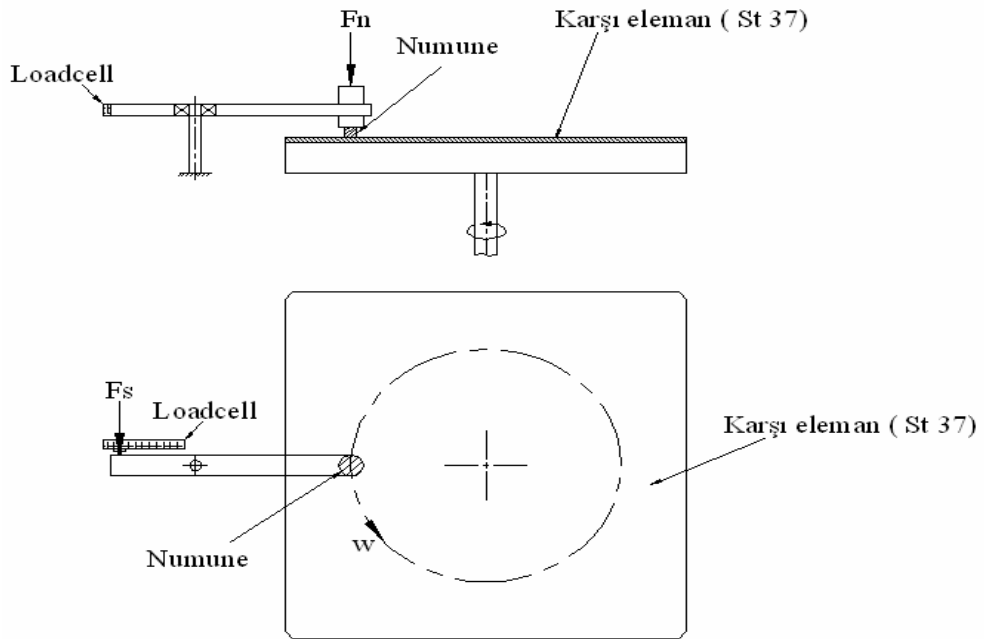
#### 3.2.3. Basma Deneyi

Basma deney numuneleri TS 206 normunda, silindir biçimindeki deney parçası olarak hazırlanmıştır. Silindir deney parçaları kısa ( $h=d$ ), orta ( $h=3xd$ ) ve uzun boy ( $h=10xd$ ) olarak üç tiptir. Deney için kullanılan numunemiz ise kısa deney parçası tipindedir ( $h=d=10$  mm). Basma deneyi de çekme deneyinin gerçekleştirildiği cihazda üzerinde yapılmıştır.

### 3.3. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyleri Şekil 3.2.a'da şematik resmi ve Şekil 3.2.b'de fotoğrafı görülen pim-disk düzeneğinde yapılmış olup, karşı eleman olarak St 37 levhalar kullanılmıştır. Aşınma deneyine başlamadan bütün numuneler sırasıyla 240, 600 ve 1200 numaralı SiC abrasif zımpara kağıtları ile parlatılmıştır. Aşındırma işleminde 6 mm çapında, 15 mm uzunluğunda silindirik numuneler işlenip, numune ile karşı elemanın temas yüzeylerinde normal kuvvet olarak 10 N'luk kuvvet uygulanmıştır. Aşınma sırasında karşı eleman 50 dev/dak hızla dönmüştür. Her bir numune için 60 dakika devam eden deney süresince her 5 dakika da bir sürtünme kuvveti, her 10 dakikada bir ise numunelerdeki ağırlık kaybı ölçülmüştür. Numuneler deney öncesi alkol ile temizlenmiş olup, aşınma sonucunda numunelerde oluşan ağırlık kayıpları 0,0001 gr hassasiyete sahip olan Sartorius BL 210S Model Hassas Tartı ile tespit edilmiştir. Aşınma deneyleri herhangi bir yağlayıcı kullanılmadan kuru ortamda yapılmıştır: "Teknik Kuru Kayma Sürtünmesi" (Demirci, Atik, 1995).

|  |  |
|--|--|
| Dik yönde uygulanan kuvvet                   | : $F_n = 10 \text{ N}$                                     |
| Devir sayısı                                 | : $n = 50 \text{ dev/dak}$                                 |
| Aşınma deneyinin yapıldığı yörünge yarı çapı | : $r = 100 \text{ mm}$                                     |
| Numune yüzeyine gelen basınç                 | : $P = F_n/A = 0,35 \text{ N/mm}^2$                        |
| Kayma hızı                                   | : $V = \pi \cdot 2 \cdot r \cdot n/60 = 0,523 \text{ m/s}$ |



Şekil 3.2.a. Aşınma deney düzeneğinin şematik resmi.



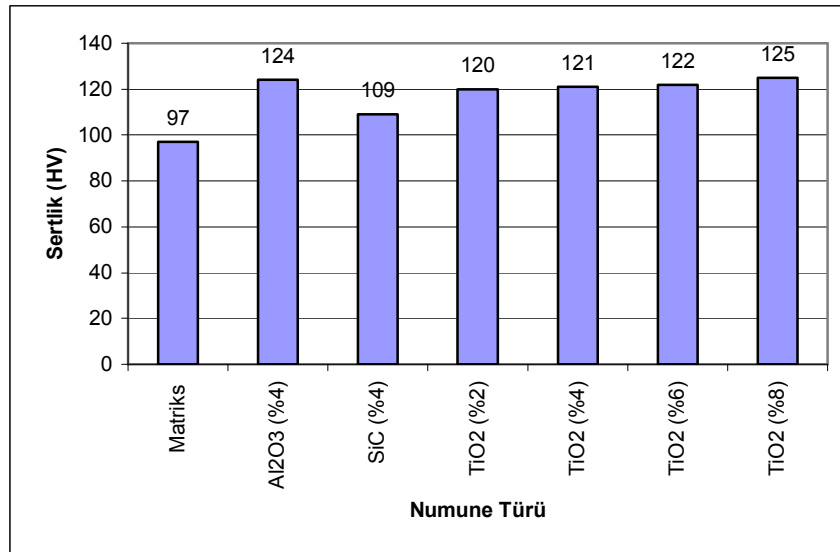
Şekil 3.2.b. Aşınma deney cihazı fotoğrafı.

## 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Mekanik Deney Sonuçları

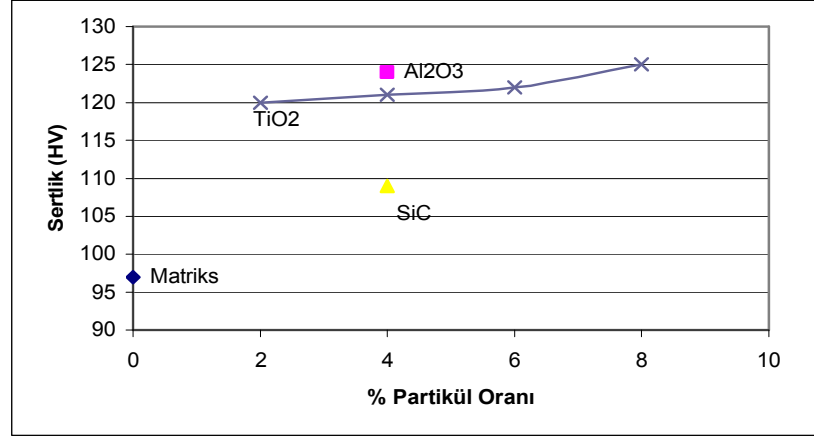
#### 4.1.1. Sertlik Deneyi Sonuçları

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinden elde edilen değerlerin değişimi, Şekil 4.1.a'da numune türüne göre, Şekil 4.1.b'de ise partikül oranına göre verilmiştir. Üretilen kompozitlerde matris malzemesinin (AlSi12CuNiMg) sertlik değerinin,  $Al_2O_3$ , SiC ve  $TiO_2$  partikülleri takviyesiyle arttığı gözlemlenmiştir. Daha önceki yıllarda yapılan benzer çalışmalara baktığımız zaman Alpas ve Embury da yaptıkları çalışmada (1990), 2014 Al alaşımına 14  $\mu m$  boyutunda ağırlıkça %20 oranında SiC takviyesi sonucunda sertliğin iki kat arttığını gözlemlemişlerdir. Alüminyum oksit takviyesinin, ağırlıkça aynı oranlardaki silisyum karbür takviyesine nazaran sertlik artışında daha da etkili olduğu gözlemlenmiştir. Takviye olarak titanyum dioksit partiküllerinin kullanılmasıyla, kompozit içindeki  $TiO_2$  oranı arttıkça kompozitte sertlik artışı meydana gelmiştir. Kompozit içindeki ağırlıkça yüzdeleri aynı olan  $Al_2O_3$ , SiC ve  $TiO_2$  'den oluşan 3 ayrı numuneye baktığımızda sırasıyla sertlik artışına katkılarının en fazla alüminyum oksitte ardından titanyum dioksitte ve sonrasında silisyum karbürde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1.a. Takviye elemanlarının türüne göre sertliğin değişimi.

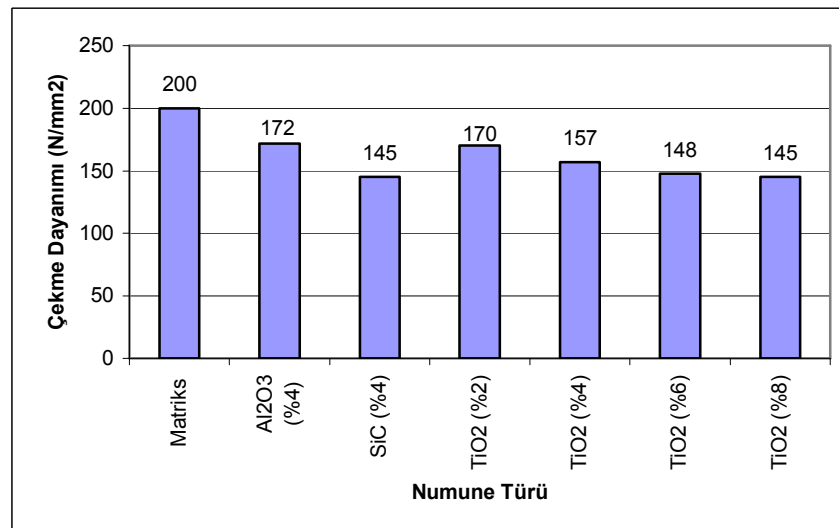




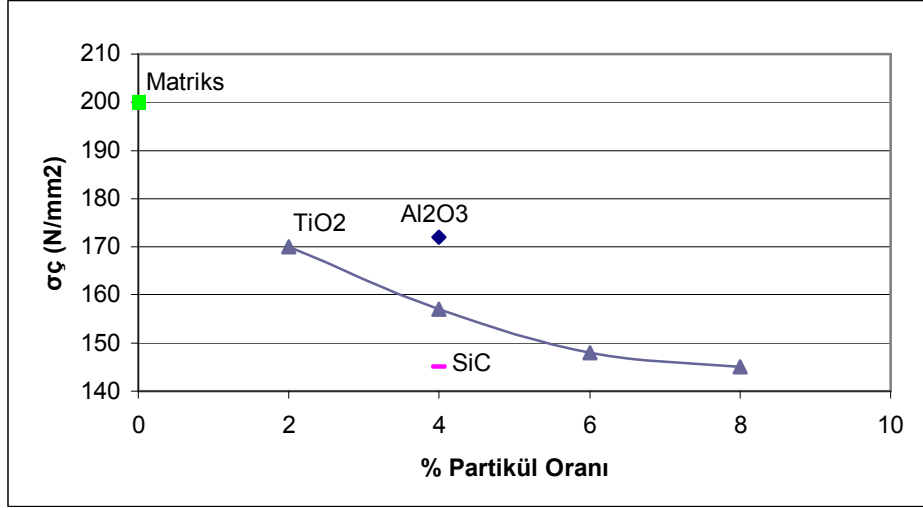
Şekil 4.1.b. Partikül oranına göre sertliğin değişimi.

#### 4.1.2. Çekme Deneyi Sonuçları

TSE 138'e göre hazırlanan çekme deney çubukları üzerinde gerçekleştirilen çekme deneyinde elde edilen sonuçlar, 4.2.a'da numune türüne göre, Şekil 4.2.b'de ise partikül oranına göre verilmiştir. Çekme dayanımı  $200\text{N/mm}^2$  olan matriks malzemesine (AlSi12CuNiMg) yapılan partikül takviyesi sonucunda çekme dayanımında düşüş meydana gelmiştir. Kompozit içindeki ağırlıkça yüzdeleri aynı olan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC ve  $\text{TiO}_2$  'den oluşan 3 ayrı numuneye baktığımızda silisyum karbür takviyesinin çekme dayanımını, alüminyum oksit takviyesine göre daha çok düşürdüğü görülmüştür, titanyum dioksitli kompozitte ise alüminyum oksitten düşük, silisyum karbürden yüksek bir çekme dayanımı göstermektedir. Matriksteki  $\text{TiO}_2$  oranı arttıkça çekme dayanımı daha da düşmektedir.



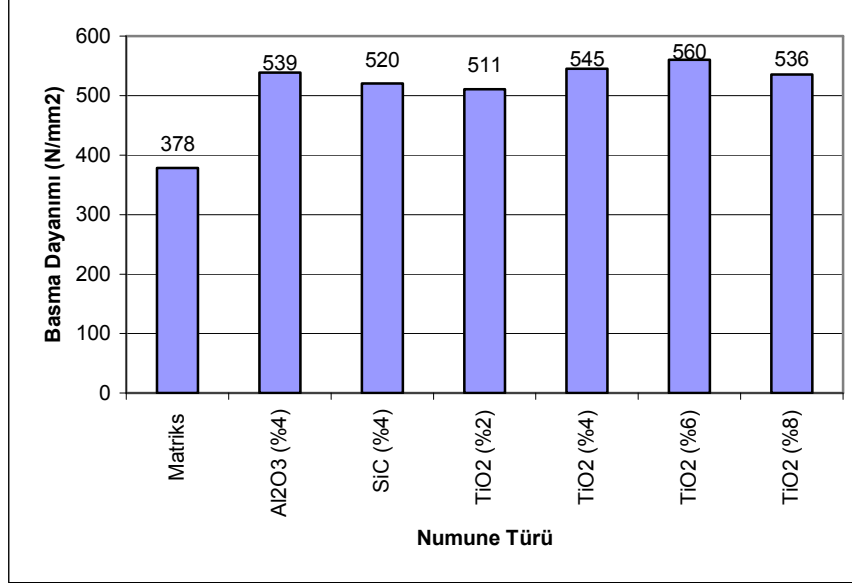
Şekil 4.2.a. Takviye elemanlarının türüne göre çekme dayanımının değişimi.



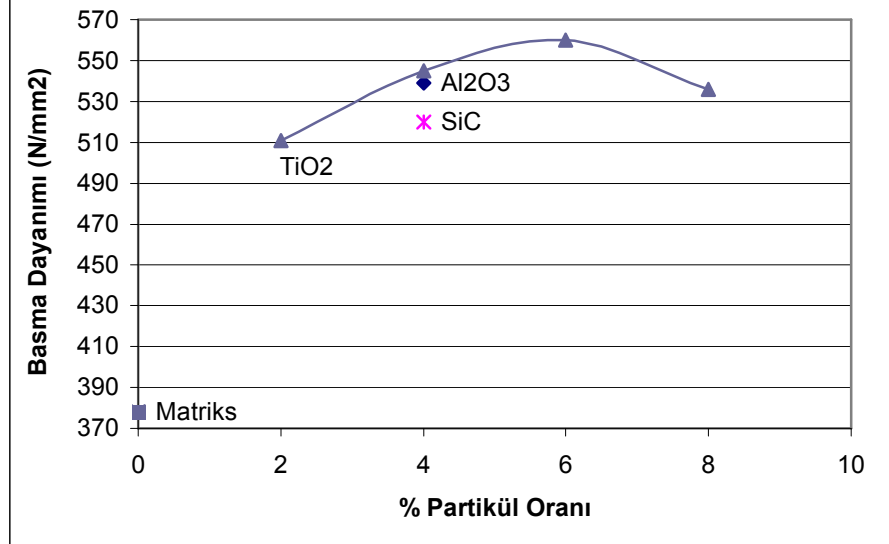
Şekil 4.2.b. Partikül oranına göre çekme dayanımının değişimi.

#### 4.1.3. Basma Deneyi Sonuçları

TSE 206 normuna bağlı kalınarak hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirilen basma deneyinde elde edilen veriler ile Şekil 4.3.a ve Şekil 4.3.b'de verilen iki ayrı grafik üzerinde toplanmıştır. Şekil 4.3.a'dan da anlaşılacağı üzere matriks malzemesi AISi12CuNiMg alaşımı'nın basma dayanımının partikül takviyesi ile arttığı görülmektedir. Kompozit içindeki ağırlıkça yüzdeleri aynı olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC ve TiO<sub>2</sub> 'den oluşan 3 ayrı numuneye baktığımızda silisyum karbür takviyesinin basma dayanımının en düşük olduğu, alüminyum oksit ile takviyelendirilmiş kompozitin silisyum karbür takviyeli olandan yüksek ancak titanyum dioksit takviyeli kompozitten düşük olduğu görülmüştür. Partikül oranının basma dayanımı üzerinde olan etkisini gösteren Şekil 4.3.b'ye baktığımızda titanyum di oksidin kompozit içindeki ağırlıkça yüzdeler oranının artmasıyla basma dayanımının yükseldiği görülmüştür ancak, ağırlıkça %8 TiO<sub>2</sub> içeren kompozit buna uymayıp daha düşük TiO<sub>2</sub> yüzdesine sahip kompozitlerden daha düşük basma dayanımı gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu çarpık sonuç, deney numunelerinin üretimi aşamasında %8 TiO<sub>2</sub>'in matriks tarafından ıslatılması ve karışması açısından yaşanan sorunun bir sonucu olarak gösterilebilir.



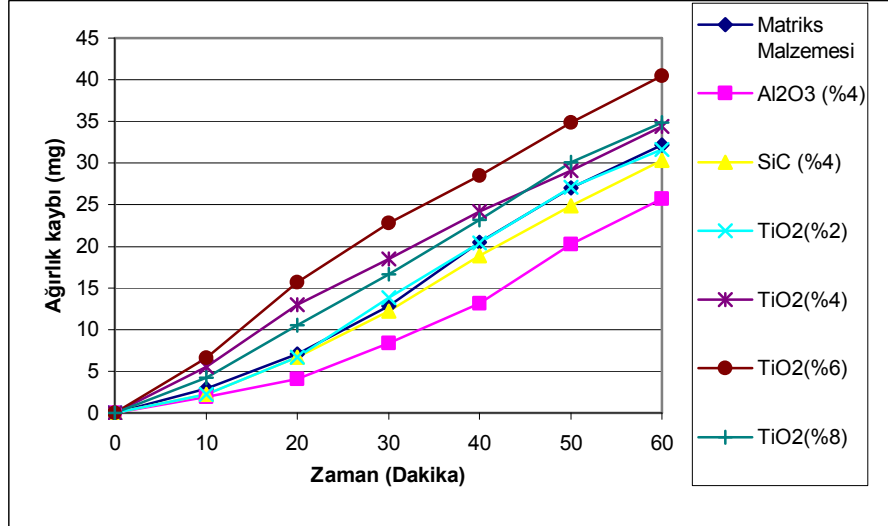
Şekil 4.3.a. Takviye elemanlarının türüne göre basma dayanımının değişimi.



Şekil 4.3.b. Partikül oranına göre basma dayanımının değişimi.

#### 4.2. Aşınma Deneyi Sonuçları

Pim-disk aşınma deney düzeneğinde aşınmaya tabi tutulan numunelerden alınan deney sonuçları aşağıdaki şekilde üç ayrı grafikte toplanmıştır. Şekil 4.4'de tüm numunelerde zamana bağlı olarak aşınma sonucu meydana gelen ağırlık kayıplarını görebiliriz.



Şekil 4.4. Tüm numunelerin aşınma sonucu oluşan zamana bağlı ağırlık kayıpları.

Şekil 4.5'de ise her bir numune için 60 dakikalık deney süresi sonunda sergilemiş oldukları aşınma direnci görülmektedir. Aşınma direncinin hesaplanmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır (YILMAZ, 1997).

$$W_a = \Delta G / (d' \cdot M \cdot S) \text{ (mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}, W_r = 1/W_a \text{ (N} \cdot \text{m/mm}^3\text{)}$$

$W_a$  : Aşınma oranı ( $\text{mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ),

$W_r$  : Aşınma direnci ( $\text{N} \cdot \text{m/mm}^3$ ),

$\Delta G$  : Ağırlık kaybı (mg),

$M$  : Yükleme ağırlığı (N),

$S$  : Aşınma yolu (m),

$d$  : Yoğunluk ( $\text{gr/cm}^3$ ).

Her bir numunede yükleme ağırlığı 10N olup, aşınma yolu ise deney süresi olan 60 dakika için aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra aşınma deney numunelerinin yoğunlukları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

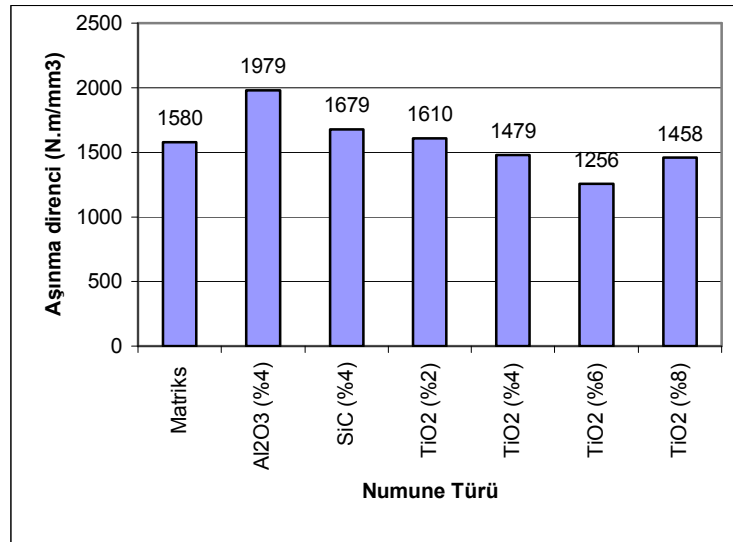
50 (dev./dak.) 60 (dak) = 3000 devir yapar (deney süresince).

1 devirde alınan yol ise numunenin aşınma süresince izlediği yörünge yarı çapı 100 mm olmak üzere :  $2 \cdot \pi \cdot 100 = 0,628 \text{ m'dir}$ .

Böylece aşınma yolu,  $S = 3000 \text{ (dev.)} \times 0,628 \text{ (m/dev.)} = 1884 \text{ (m)}$  olarak bulunur.

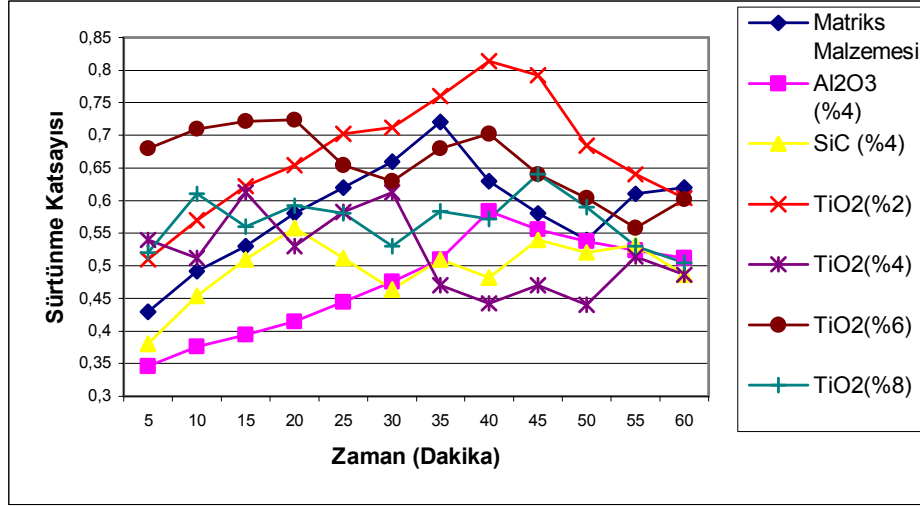
Çizelge 4.1. Aşınma deney numunelerinin yoğunlukları ( $\text{gr/cm}^3$ ).

|   | Numune                                  | Yoğunluk ( $\text{gr/cm}^3$ ) |
|---|---|-------------------------------|
| 1 | %96 Matriks+% 4 $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 2,75                          |
| 2 | %96 Matriks+% 4 SiC                     | 2,72                          |
| 3 | %98 Matriks+% 2 $\text{TiO}_2$          | 2,73                          |
| 4 | %96 Matriks+% 4 $\text{TiO}_2$          | 2,76                          |
| 5 | %94 Matriks+% 6 $\text{TiO}_2$          | 2,78                          |
| 6 | %92 Matriks+% 8 $\text{TiO}_2$          | 2,81                          |



Şekil 4.5. Tüm numunelere ait aşınma dirençleri.

$\text{AlSi12CuNiMg}$  alaşımına eklenen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%4), SiC (%4) ve  $\text{TiO}_2$  (%2) partikül takviyelerinde meydana gelen ağırlık kaybının  $\text{AlSi12CuNiMg}$  alüminyum alaşımına göre düşük olduğu yani aşınma dayanımını geliştirdikleri görülmüştür. Demirci ve Atik (ATİK, 1998) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Al matrikse Alüminyum oksit partikül takviyesi yapılmış ve takviye elemanının aşınma dayanımı üzerinde olumlu bir etki yaptığı sonucuna varılmış.  $\text{TiO}_2$  oranı arttıkça kompozitin ağırlık kaybı artmaktadır, ancak %8 titanyum içeren kompozitin ağırlık kaybının bu seriyi bozduğu gözlemlenmiştir. Daha önce de bahsettiğimiz gibi %8 oranındaki  $\text{TiO}_2$ 'in ıslanmama ve karışmama sorunundan bahsetmiştik, serinin bozulmasını bu sorundan ileri gelen bir sonuç olarak değerlendirmek mümkündür. Çünkü %8  $\text{TiO}_2$  içeren kompozit ideal olarak üretilmemiştir.



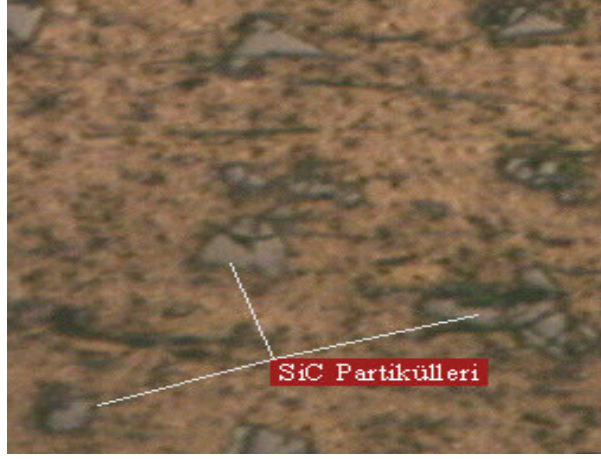
Şekil 4.6. Sürtünme katsayısının zamana bağlı olarak değişimi.

### 4.3. Optik Mikroyapı Fotoğrafları

Ağırlıkça yüzde %4 takviyelendiricilerle üretilen kompozit numunelerinin optik mikroskopta çekilen mikro yapı fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



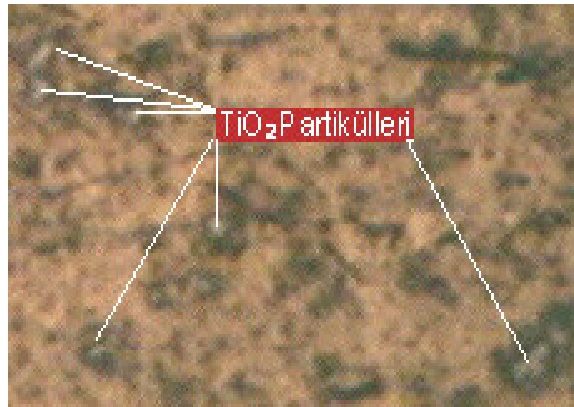
Şekil 4.7. AlSi12CuNiMg-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%4) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100).



Şekil 4.8. AlSi12CuNiMg-SiC (%4) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100).



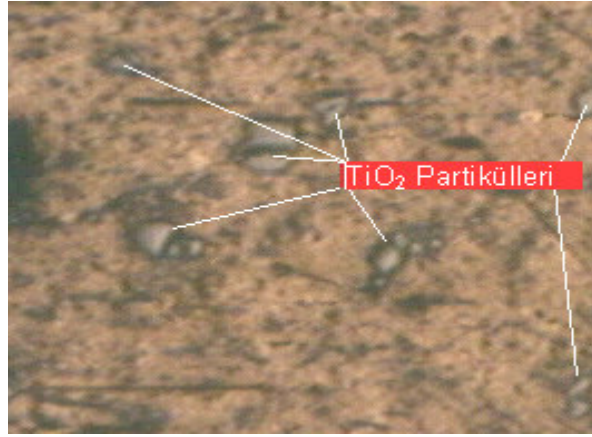
Şekil 4.9. AlSi12CuNiMg-TiO<sub>2</sub> (%2) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100).



Şekil 4.10. AlSi12CuNiMg-TiO<sub>2</sub> (%4) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100).



Şekil 4.11. AISi12CuNiMg-TiO<sub>2</sub> (%6) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100).

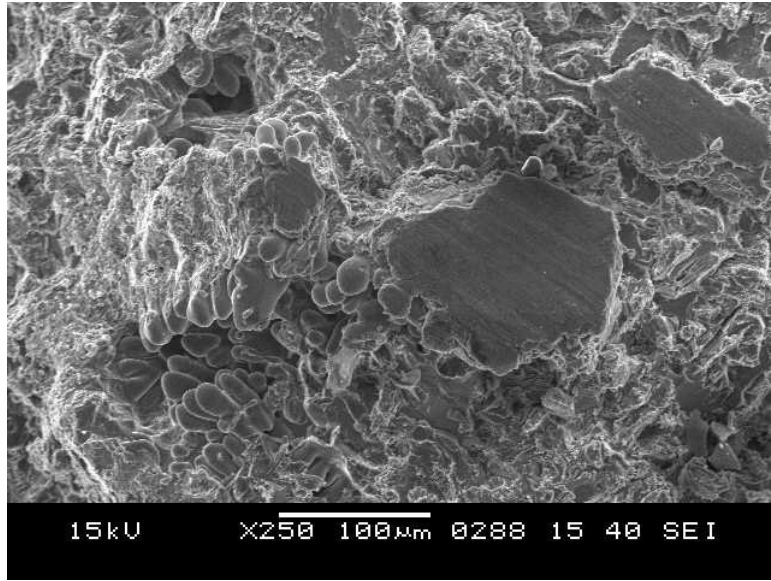


Şekil 4.12. AISi12CuNiMg-TiO<sub>2</sub> (%8) takviyeli malzemeye ait mikroyapı fotoğrafı (x100).

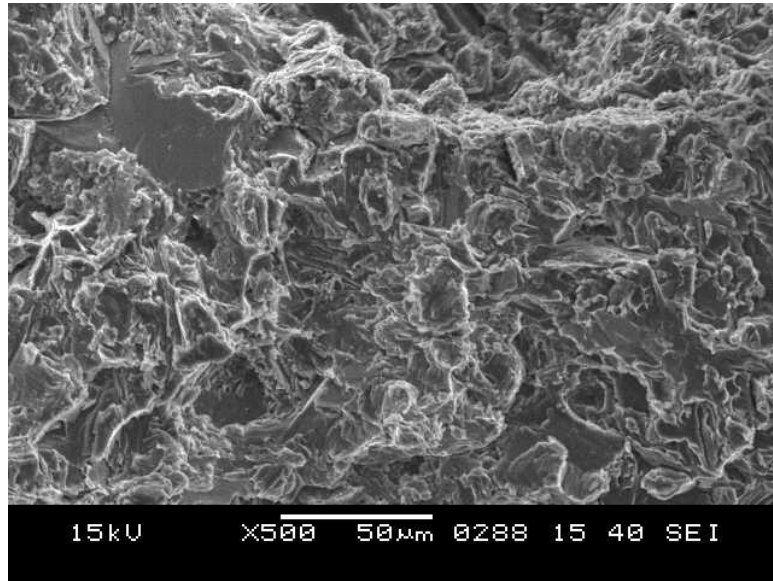


#### 4.4. SEM Fotoğrafları

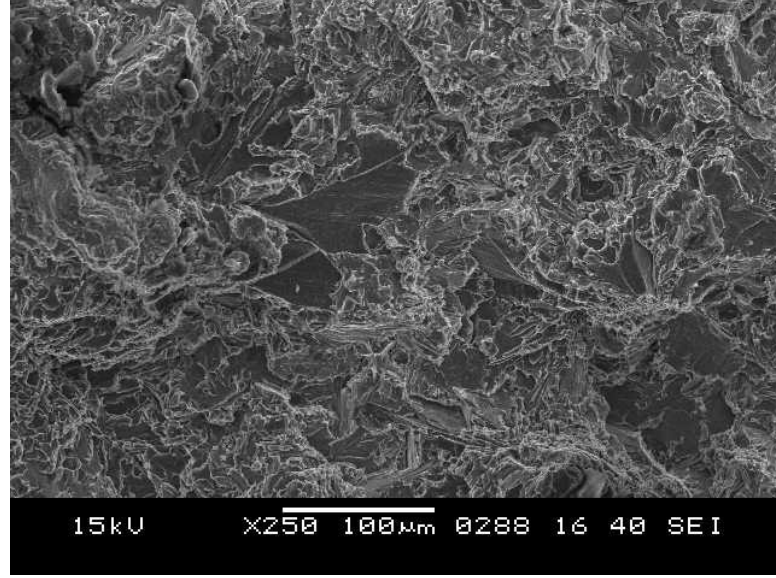
Aşağıda her bir numuneye ait çekme deney çubuklarının kopma yüzeylerinden çekilmiş olan SEM fotoğrafları yer almaktadır. Fotoğrafların genelinde partikül elemanı ile matriks malzemesi arasında iyi bir arayüzeyin sağlanamadığı görülmektedir.



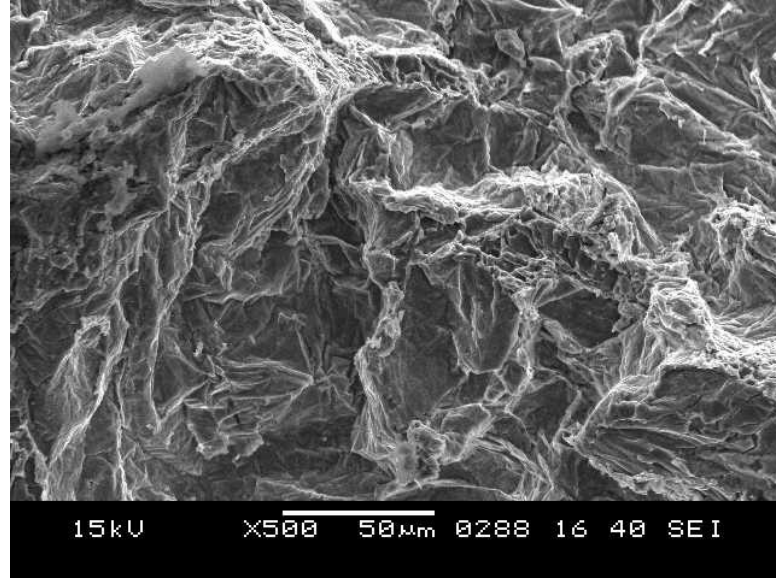
Şekil 4.13.a. AlSi12CuNiMg- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)



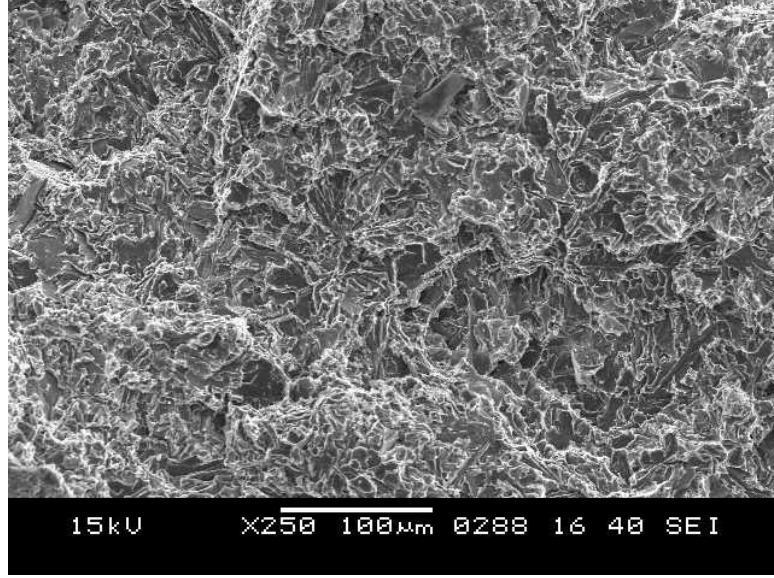
Şekil 4.13.b. AlSi12CuNiMg- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)



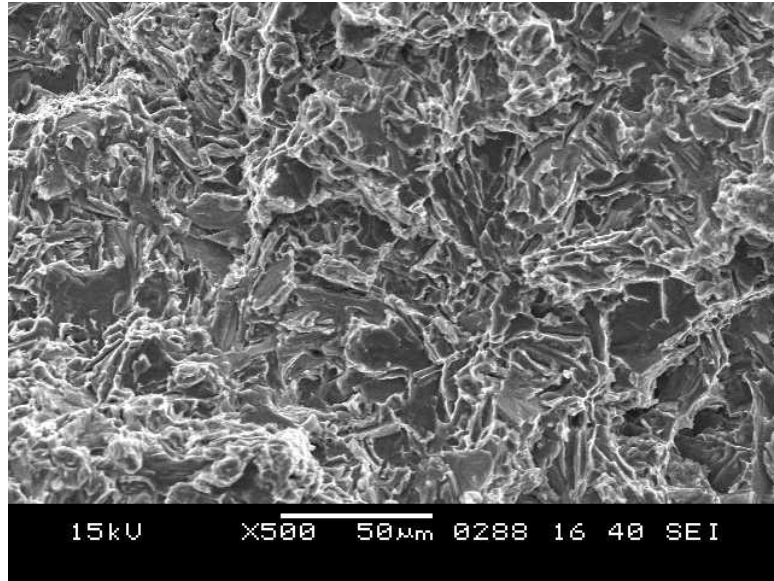
Şekil 4.14.a. AISi12CuNiMg- SiC (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)



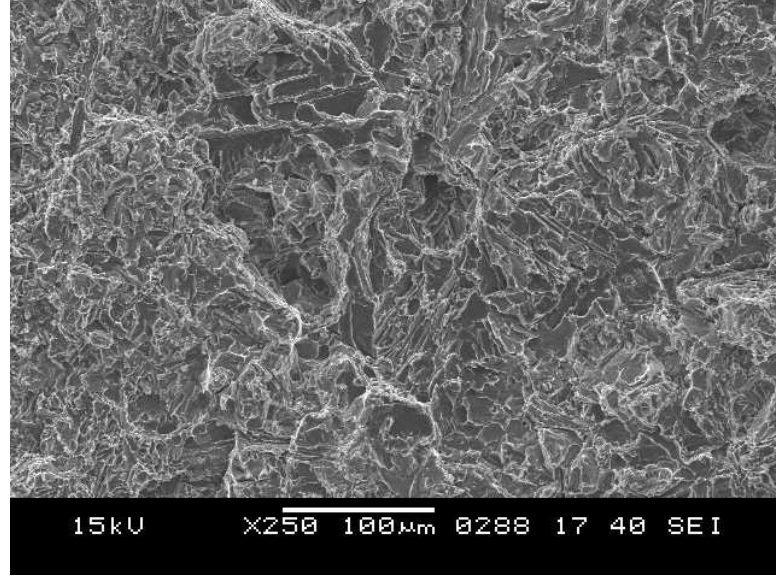
Şekil 4.14.b. AISi12CuNiMg- SiC (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)



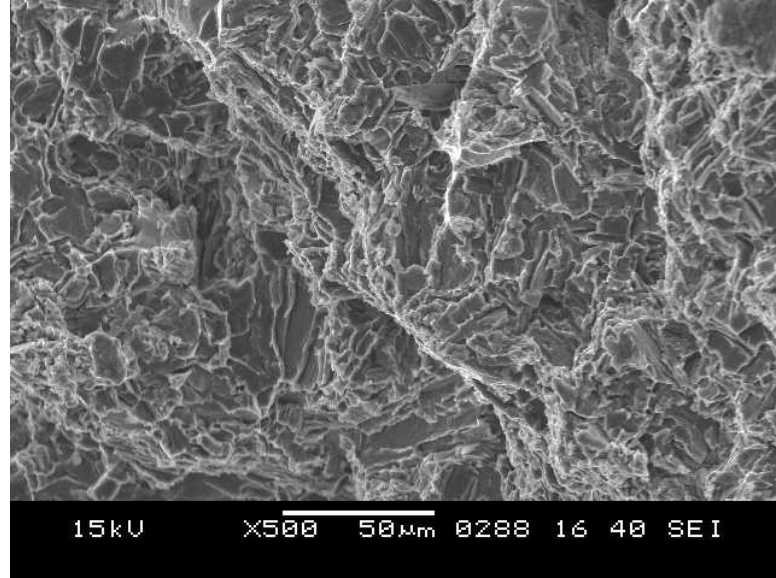
Şekil 4.15.a. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%2) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)



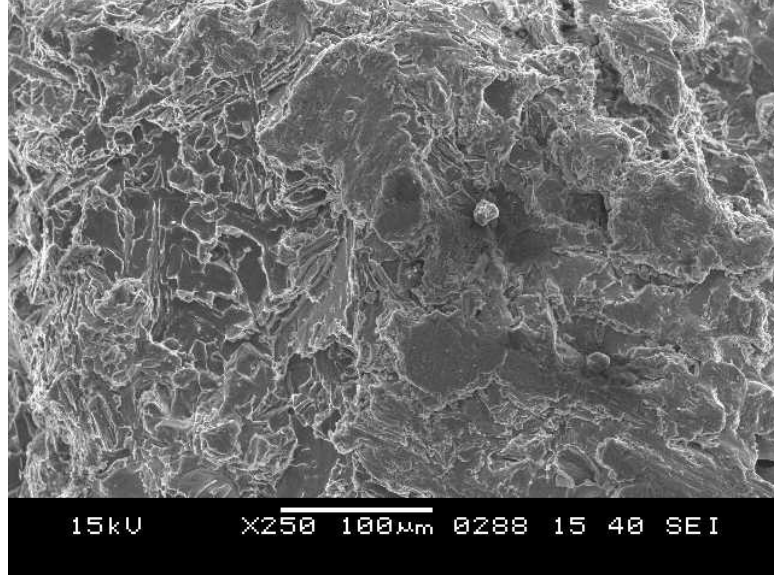
Şekil 4.15.b. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%2) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)



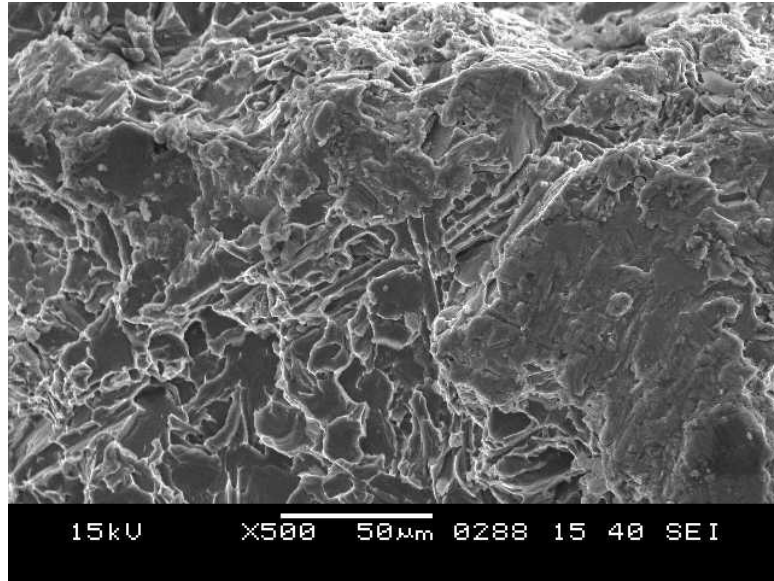
Şekil 4.16.a. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)



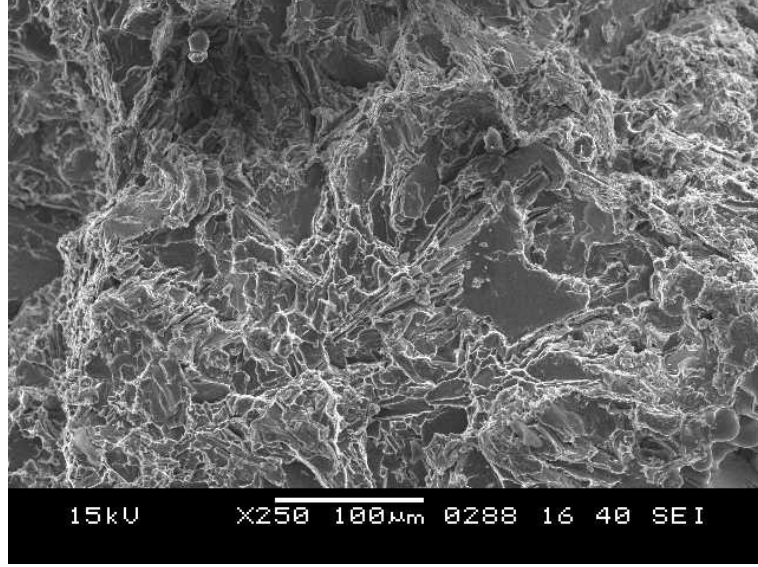
Şekil 4.16.b. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%4) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)



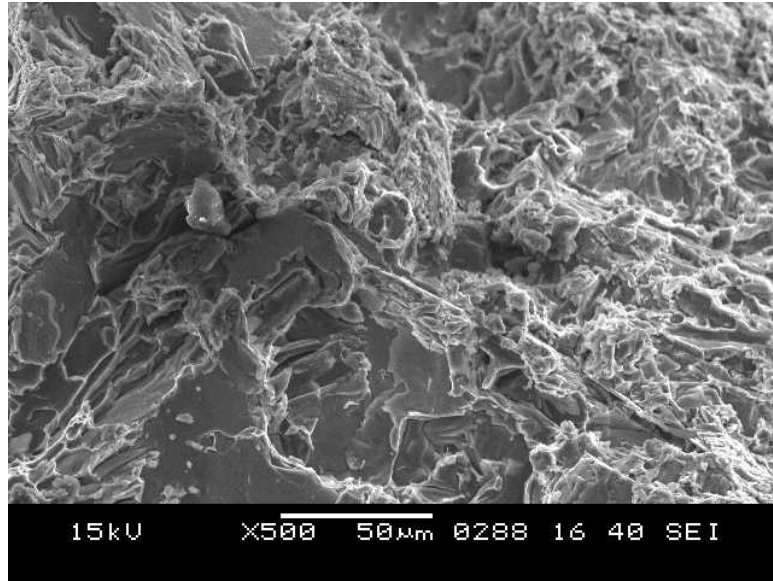
Şekil 4.17.a. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%6) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)



Şekil 4.17.b. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%6) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)



Şekil 4.18.a. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%8) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x250)



Şekil 4.18.b. AlSi12CuNiMg- TiO2 (%8) kopma yüzeyi SEM fotoğrafı (x500)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

AlSi12CuNiMg alüminyum alaşımına eklenen  $Al_2O_3$ , SiC ve  $TiO_2$  partikül elemanlarının sertliği arttırıcı bir etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir.

Partikül takviyesinin çekme dayanımını düşürdüğü, basma dayanımında ise bir artış sağladığı belirlenmiştir. Çekme dayanımında meydana gelen bu düşüş, partiküllerin çekme anında matriks içinde bir boşluk gibi davranmasının bir sonucudur. Bunun yanı sıra SEM fotoğraflarından da matriks ile partikül takviye elemanları arasında iyi bir bağlantı sağlanamamış olduğu anlaşılmaktadır; bu da çekme dayanımı üzerinde olumsuz bir etki yapmaktadır.

$Al_2O_3$  (%4), SiC (%4) ve  $TiO_2$  (%2) partikül takviyelerinin aşınma direncinde sırasıyla % 20, %6 ve %2 oranında iyileştirici etkiye sahip oldukları belirlenmiştir.

$TiO_2$  ile matriks malzemesi olarak kullanılan Al alaşımı arasında iyi bir bağlantının sağlanmadığı görülmüştür. Bu nedenle  $TiO_2$ 'in aşınma dayanımını geliştirici bir etki sağladığı gözlemlenmemiş olup sürtünme katsayısı üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmuştur. Sert seramik partikül olan  $TiO_2$ 'in, Al alaşımlarında özellikle aşınma dayanımını arttırıcı bir takviye elemanı olarak kullanılabilmesi için;  $TiO_2$  ve Al alaşımı yüzeyine iyi bağlanan bir ara yüzey geliştirilmelidir ve bu tür kompozit malzemelerde geliştirilen bu ara yüzeyin kullanılması önerilir.

## 6. KAYNAKLAR

- ADAMS, C.M., LEWIS, R.E.,” High Performance Al Alloys in Proceedings of Rapidly Solidified Crystalline Alloys”, Metall. Soc. AIME, Warrendale, PA, pp. 157-183, 1985
- ALPAS, A.T., ZHANG, J., “Scripta Metall. Mater. , 26”, 505, 1991
- “ Alüminyum Raporu”, TÜBÜTAK, MAM, 2000
- ARAN, A.,” Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler” İ.T.Ü., 1990, İSTANBUL
- ASTHANA, R., TEWARI, S.N., Comp. Manuf. 4, 1993
- ATAS, C., SAYMAN, O.,”Elastic-Plastic and Expantion of Plastic Zone in Clamped and Simply Supported Aluminium Metal-Matrix Laminated Plates, Composite Structures”, 49,9-19, 2000
- ATİK, E., “Mechanical Properties and Wear Strenght in Aluminium-Alumina Composites”, Metarials Structures, 31, 418-422, July 1998
- AY, M., YEREBAKAN, M., KURT, M., “Tane Dağılımlı Metal-Matrisli Kompozit Malzemelerin Raylı Sistemlerde Fren Pabucu Olarak Kullanılması” 7. Denizli Malzeme Sempozyumu,108-115, 1997, DENİZLİ
- BADIA, F.A., ROHATGI, P.K., “Dispersion of Graphite Particles in Al Casting Through Injection of the Melt”, Trans. AFS 77:402, 1969.
- BANERJI, A., SURAPPA, M.K., ROHATGI, P.K., “Cast Al Alloys Containing Dispersion of Zircon Particles”, Metall. Trans. 14b:273, 1983
- BANERJI, A., ROHATGI, P.K., REIF, W., “Role of Wettability in the Preparation of Metal Matrix Composites-a Review”, Metall., 37, 656-61, 1984
- BAYCIK, H., “Karma Malzeme ve Kullanıldığı Yerler”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Bilim Haftası Konferans Notları,2001
- BINDUMADHAVAN, P.N., WAH, H.K., PRABHAKAR, O., “ Dual Particle Size (DPS) Composites: Effect on Wear and Mechanical Properties of Particulate Metal Matrix Composites” Wear 284, 112-120, 2001
- CHRISTMAN, T., NEEDLEMAN, S., SURESH, S., Acta Metall., 37, 3029-3050, 1989.
- CÖCEN, Ü. ÖNEL, K., “Metal Matriksli Kompozitler: Özellikleri ve Uygulamaları” Metalurji, 1996
- CÖCEN, Ü., BELEVİ, M., ÖNEL, K., “Tane Silisyum Karbür Katkılı Alüminyum Alaşımı Bazlı Kompozitlerin Aşınma Davranışları” 7. Denizli Malzeme Sempozyumu,146-156, 1997, DENİZLİ
- DAVIS, L.C., ALLISON, J.E., Meatll. Trans., A 24, 2487-2496, 1993
- DELANNAY, F., FROYEN, L., DERUYTTRE, A., “Rewiev-the Wetting of Solids by Molten Metals and its Relation to Preparation of Metal Matrix Composites”, J. Mater. Sci., 22,1-16, 1985.
- DEMİRCİ, H., ATİK E., “ Alüminyum Alaşımı- $Al_2O_3$  Kompozitlerinde Partikül Oranının Mekanik Özelliklere Etkisi”, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, 1995, DENİZLİ



- DEONATH, ROHATGI, P.K., "Cast Al Alloy Composites Containing Cu Coated Ground Mica Particles, J. Mater. Sci.,15:2777, 1980
- EL-KADDAH, N.E., CHANG, K.E., Mater. Sci. Eng. A 144, 221, 1991
- "Engine Applications for Metal Matrix Composites", DOD MMCs Inf. Analysis Center, Current Highlights,8, No:4, 1988
- ER, UĞUR, "Uçak Sanayinde Kullanılan Plastik Matriksli Kompozit Malzemeler", Seminer Notları, Hava Harp Okulu Komutanlığı Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, 2004, İSTANBUL
- ERTİRYAKI, İ., " Malzeme Bilgisi", İ.T.Ü., 1990
- FARAG, M.M., "Selection of Materials and Manufacturing Processes for Engineering Design", Prentice Hall Ltd., The Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
- FLEMING, M.C., Metall. Trans. A 22A , 972, 1991
- GRANT, P.S., BEWLAW, B.P., "Advanced Engineering Materials", Proc Sixth Irish Materials Form,1989, Dublin, IRELAND.
- GROOVER, P.M., "Fundamentals Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems", Prentice Hall Inc., 1996, USA.
- Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., "Particle Distribution in Cast Metal Matrix Composites- Part I, II", 2002
- İBRAHİM, İ.A., MOHAMMED, F.A., LAVERNIA, E., "Particulate Reinforced Metal Matrix Composites-a Review", J. Mater. Sci.,26,1137-56,1991
- KAI, W., YANG, J.M., HARRIGAN, W.C., "Mechanical Behaviour of B<sub>4</sub>C Particulate Reinforced 7091 Al Composite" Scr. Metall.,23:1277, 1989
- KANG, C.G., YOUN, S.W., "Mechanical Properties of Particulate Reinforced Metal Matrix Composites by Electromagnetic and Mechanical Stirring and Reheating Process for Thixoforming" Journal of Materials Processing Technology, 2004
- KARAKAYA, M., SEHİTOĞLU, H., "Thermomechanical Fatigue of Particulate-Reinforced, Aluminium 2XX-T4", Met. Trans., 22A 697-707,1991
- KELLY, A., DAVIES, G.L., "The Principles of The Fibre Reinforced Metals", Met. Rev., 10-37, 1965
- KRISHNAN B.P., J. Mater. Sci. 16, 1209–1216, 1981
- KRISHNAN, B.P., ROHATGI, P.K., "Modification of Al-Si Alloy Melts Containing Graphite Particle Dispersion", Met. Technol., 11:41, 1984
- KUNTEL, K., "Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerinin Termal Yorulması", Tez Çalışması, Dokuz Eylül Üniversitesi,1996, İZMİR.
- LIANG, Y.N., MA, Z.Y., LI, S.Z., LI, S., BI, J., "J. Mater. Sci. Lett., 14",114,1995
- LLOYD, D.J., "Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites " Int. Mater. Rev. 39:1, 1994

- LLOYD, D.J., J. Int. Mater. Rev. 39,1–23, 1994
- LLOYD, D.J., "Processing of Particle-Reinforced Metal Matrix Composites", Alcan International Limited, Kingston, Ontario, Canada, 1998.
- MARTIZEZ, M.A., MARTIN, A., LLORCA, J., "Scripta Metall. Mater. , 28", 207,1993
- MORTENSEN, A., CRNIE, J.A., FLEMINGS, M.C., "Solidification Processing of Metal Matrix Composites", J. Metals, Feb., 12-19, 1988
- NAGATA, S. " Mixing Principles and Applications", Wiley, 250–258, 1975, NEW YORK
- NAIR, S.V., TIEN, J.K., BATES, R.C., "SiC-Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites", Int. Met. Rev.,30-6, 275-90,1985
- OĞUZ, B., " Demir Dışı Metaller Kaynağı Metalurji-Uygulama", 495, 1990, İSTANBUL
- ÖĞEL, B., "Kompozit Malzemelerde Son Gelişmeler ve İleriye Dönük Beklentiler", 9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, C1, TMMOB, 33, 639-650,1997, İstanbul
- ÖZBAY, M., " Çağdaş Teknolojide Kompozit Malzemeler", Mühendis ve Makina Dergisi, 325 Sayı, 23, 1987
- PATTON, A.M., "Foundry Trials of Graphite Containing Al Alloys", J. Inst. Met. 100:197, 1972
- PIATTI, G., "Advances in Composite Materials, Applied Science", Publishers Ltd.,1983, London
- ROEBUCK, B., FORNO, E.J., "Titanium Diboride and Silicon Carbide Particulate Reinforced Al Alloy Metal Matrix Composites", Proc. Mod. Develop. Powder Metall., 20:451-465, 1988.
- ROEBUCK, B., GORLEY, T.A.E., McCARTNEY, L.N., "Overview, Mechanical Property Test Procedures for Metal Matrix Composites", Mater. Sci. Tech. 5, 12-19,1989
- ROHATGI, P.K., ASTHANA, R., DAS, S., "Solidification, Structures, and Properties of Cast Metal-Ceramic Particle Composites", Int. Met. Rev., 31, 115-139, 1986
- SONG, W.O., KRAUKLIS, P., MOURITZ, A.P., BANDYOPADHYAY, S., "Wear, 185",125,1995
- SRIVASTAN, T.S., İBRAHİM, İ.A., MOHAMMED, F.A., LAVERNIA, E., "Processing Techniques for Particle-Reinforced Metal Aluminium Matrix Composites", J. Mater. Sci., 26, 5965-78,1991
- STACEY, M.H., "Production and Characterisation of Fiber for Metal Matrix Composites", Mater. Sci. Technol., 4:227, 1988
- STEFENASCU, D.M., DHINDRAW, R.K., KACAR, S.A., MOITRA, A., "Behaviour of Ceramic Particle at the Solid-Liquid Metal Interface in Metal Matrix Composites", Met. Trans., 19A, 2847-55, 1988.
- STUBBINGTON C.A., " Materials Trend in Military Airframes", Metals, Mater. 4., 424-31, 1988
- SURAPPA, M.K, ROHATGI, P.K., "Preparation and Properties of Cast Al-ceramic Particle Composites", J. Mater. Sci., 16:983, 1981
- SURESH, S., MORTENSEN, A., NEEDLEMAN, A., "Fundamentals of Metal-Matrix Composites", Butterworth-Heinmann, 23-41, 1993, BOSTON
- ŞAHİN, Y., Ph.D. The University of Aston in Birmingham, 1994.

- ŞAHİN, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 1996
- ŞAHİN, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", Gazi Üniversitesi, 2000, ANKARA
- TANG, F., ANDERSON, I.E., BİNER, S.B., "Microstructures and Mechanical Properties of Pure Al Matrix Composites Reinforced Al-Cu-Fe Alloy Particles" Materials Science and Engineering, A363, 20-29, 2003
- TAYA, M., ARSENAULT, R.J., "Metal Matrix Composites-thermal and Mechanical Behaviour", Pergamon Press, 1988
- TÜBİTAK, " Bor Raporu, EK2H", 2003, ANKARA
- WANG, Z., ZHANG, R.J., "Metall. Trans, 22A", 1585, 1991
- YILMAZ, F. "Sürtünme ve Aşınma", 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Kitabı, 229-257, 1997, İSTANBUL
- ZEDALIS, M.S., PELTIER, J.M., GILMAN, P.S., "High temperature AL-Fe-V-Si Base Matrix Composites", Metall. Soc. AIME, 323-334, 1989, Warrandale

**ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Onur ŞEN  
Doğum Tarihi : 30 Haziran 1980  
Doğum Yeri : Manisa  
Lise : Manisa Lisesi - 1997  
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği  
Bölümü-2002  
İş Deneyimi : HSK Hidrolik Sistem Kontrol SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ. – İZMİR  
Ünlü Ziraat Aletleri, Zirai Ürünleri SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.- MANİSA