

79228

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu Doç. Dr. Hüseyin Sönmez Prof. Dr. Nizan Sönmez

**VORTEKS YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PARTİKÜL
TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSLİ
KOMPOZİT MALZEMENİN MİKROYAPISAL
KARAKTERİZASYONU VE ISIL İŞLEMLERİ**

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM
DOKÜMAN

Met. Müh. Ebru KARAGÖZ

F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU

İSTANBUL, 1998

79228

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	2
2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	3
2.1.1 Metal Matriksli Kompozitler	4
2.1.2 Polimer Matriksli Kompozitler	5
2.1.3 Seramik Matriksli Kompozitler	5
2.2 Kompozitleştirmede Temel Yaklaşımlar	6
3. METAL MATRİKSİLİ KOMPOZİTLER.....	7
3.1 Matriks Malzemeleri	7
3.2 Takviye Malzemeleri	9
3.2.1 Silisyum Karbür (SiC)	11
3.2.2 İnce Taneli SiC Tozu Üretimi.....	11
3.3 Üretim Yöntemleri	13
3.3.1 Toz Metalurjik Yöntem	14
3.3.2 Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi	14
3.3.3 Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemi	15
3.3.4 Sprey-Çöktürme Yöntemi	15
3.3.5 Şok Sıkıştırma Yöntemi	16
3.3.6 Vorteks Yöntemi	16
3.4 Matriks/ Takviye Arayüzeyi	18
4. PARÇACIK TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSİLİ KOMPOZİTLER	20
4.1 Parçacık Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerde Isıl İşlemler	21
4.2 Parçacık Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerde Termomekanik İşlemler.....	22
5. ALÜMİNYUM MATRİKSİLİ KOMPOZİTLERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMA ALANLARI.....	23
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
6.1 Matriks ve Takviye Malzemesi Seçimi	25
6.2 Üretim Yöntemleri	26
6.2.1 Vorteks Yöntemi	26
6.2.2 Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemi	26

6.3	Isıl İşlemler.....	26
6.4	Mekanik Deneyler	27
6.5	Metalografik ve Fraktografik İncelemeler.....	27
7.	DENEYSEL SONUÇLAR	30
7.1	Vorteks Yöntemiyle Üretilen MMK Malzemeler.....	30
7.2	Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen MMK Malzemeler.....	41
8.	SONUÇLARIN İRDELENMESİ	52
8.1	Ölçülen Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması	52
8.2	Çekme Deneylerinin Karşılaştırılması	53
8.3	Görüntü Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	55
8.4	Kırılma Yüzeylerinin İrdelenmesi	56
9.	SONUÇLAR	57
10.	REFERANSLAR	58
	ÖZGEÇMİŞ	60

ÖZET

Bu çalışmada üstün özellikleri ile konvansiyonel malzemelerin kullanım alanlarında giderek kullanım payını arttıran kompozit malzemeler genel olarak tanıtılmış; metalsel malzemelerin yüksek tokluk özellikleri ile takviye malzeme katkısıyla yüksek dayanım, mukavemet ve aşınma özellikleriyle donanan metal matriksli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri, kullanılan matriks ve takviye elemanlarına genel bir bakış yapılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada özellikle otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılan alüminyum matriksli parçacık takviyeli kompozitlerin üretim yöntemleri ve ısıt işlemleri genel olarak değerlendirilmiş ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmaya çalışılarak ileriye bir bakış yapılmıştır.

Deneysel olarak seçilen Etial 145 tipi alaşım Vorteks ve Basıncsız infiltrasyon yöntemi kullanılarak % 5 ve %15 SiC_P takviyeli kompozit malzeme olarak üretilmiş ve T6 ısıt işlemi uygulanmıştır. Isıt işlemin mekanik özellikler üzerine etkisi metallografik, fraktografik yöntemler ve görüntü analizi teknikleri yardımıyla karakterize edilmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

In this study, the composite materials having superiour properties to conventionel materials and therefore finding ever increasing applications are introduced in a general manner. The mechanical properties, in particular, the toughness of metallic materials, and the metal matrix composites with their enhanced strength and wear resistance have been summarized.

In addition, the production methods, and the general types of matrix andfiller materials are examined. Furthermore, the production and heat-treatment methods for aluminium matrix particulate reinforced composites which have a wide-spread application in automotive sector, and the influence of these methods on the mechanical properties are investigated.



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde denetim ve gözetimini üstlenerek her türlü olanaklarını ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmaların gerçekleşmesindeki yardımlarından dolayı Herrn Reinhardt Völker'e, Metallografik çalışmalardaki bilgi birikimini zevkle paylaşan Herrn Horst Opielka' a, Tarama elektron Mikroskopik çalışmalardaki katkılarından dolayı Frau Sabine Kühnemann'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bütün eğitim hayatım boyunca sürekli maddi ve manevi desteklerini arkamda hissettiğim aileme gönülden teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Uzay, havacılık ve otomotiv sanayiinde yüksek dayançlı fakat hafif malzeme ihtiyacı kompozitlerin doğması ve gelişmesinde itici kuvveti oluşturmuştur. Özellikle dayanç/ağırlık ve rijitlik/ağırlık oranlarının yüksek olması bu malzemelerin kullanımını yaygınlaştırmıştır .

Kompozit malzemeyi oluşturan matriks, yapı içindeki sürekli faz olup takviyeleri bir arada tutmaya yarar. Takviye ise matriks içine gömülmüş süreksiz fazdır. Matriks ve takviye malzemesi metal, plastik, seramik ve cam olabilir. Genel olarak kompozit malzemelerde matriks sünek ve hafif malzemelerden; takviye malzemeleri ise sert, yüksek dayançlı malzemelerden seçilir. Beklenen özelliklerin kompozite kazandırılması için takviye ve matriks arasındaki bağın çok iyi kurulması gereklidir.

Kompozit malzemelerinin dayanç özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan takviye malzemesinin cinsinin yanısıra bu malzemenin matriks içindeki oran ve dağılımı, geometri ve boyutlarının çok büyük rolü vardır /1/.

Metal matriksli kompozitler, metalin bir seramik veya karbon ile sistematik olarak karışımından elde edilen malzemelerdir /2/.

Döküm yöntemiyle üretilen parçacık takviyeli metal matriksli kompozitler özellikle sürtünme ve aşınma dayanım beklentili uygulamalarda büyük bir öneme sahiptir. Metal matriksli kompozit malzemelerde matriks malzemesi olarak Al, Mg ve Ti- alaşımlarının kullanımı yaygındır. Al ve alaşımları kolay temin edilebilen SiC, Al₂O₃ gibi takviye malzemeleriyle kimyasal ve fiziksel uyumlulukları ve kullanılabilecek diğer matriks alaşımlarına oranla geniş uygulama alanları nedeniyle ilk sırada bulunmaktadır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

İnsanoğlu makina ve bina yapımında, doğada bulunan veya çeşitli yöntemlerle istenilen özelliklerle donatılmış malzemeleri kullanır. Teknolojinin zamansal gelişimi ile birlikte malzemelerden beklentilerin giderek tek bir malzeme tarafından karşılanamaması kompozit malzeme konseptinin doğmasına sebep olmuştur.

Kompozit terimi en geniş anlamda; çok kristalli bir çok metal ve metal olmayan parçacıkların bir araya toplanması olarak ifade edilebilir. Kompozitleştirmenin temel amacı iki yada daha çok malzemeden yola çıkarak bu malzemelerin farklı özelliklerini belirli oranlarda taşıyan yeni bir malzemenin ortaya çıkarılmasıdır /3/.

Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için aşağıdaki özellikleri taşıması beklenir ;

- İnsan tarafından üretilmelidir,
- Farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en azından iki malzemenin kombinasyonundan oluşmalıdır,
- Kompozit malzemeyi oluşturan ayrı malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidirler,
- Kompozit, kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikler göstermelidir.

Kompozit malzemeler; seramikler, metaller, camlar, elastomerler ve polimer malzemelerden oluşabilmektedir.

Kompozitlerin üretim şartları ve uygulamaları göz önüne alındığında yukarıdaki sıralanan malzemelere ilave olarak bir çok malzeme kullanılabilir. Kompozit sistemlerine bağlı olarak değişik sınıflardaki malzemelerden en az iki grup bir araya getirilerek üstün özelliklere sahip malzemeler elde edilmektedir /4/.

Kompozit malzemelerden beklenen özellikler seçilen matriks ve takviye malzemesi ile üretim yöntemine bağlıdır /5/. Ama aşağıdaki beklentiler ağırlıklıdır;

- Düşük yoğunluk
- Mekanik dayanım
- Kimyasal dayanım
- Termik stabilite
- Yüksek Elastislik modülü
- Yüksek Çekme ve Basma Dayanımı
- İyi işlenebilirlik
- Düşük Maliyet

Hangi malzemelerin kompozit hangi malzemelerin monolitik malzeme olduğunu ifade edebilmek için malzemelerin değişik sayıdaki yapı seviyelerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Atomik seviye : Tek moleküllerin ve kristal hücrelerinin göz önüne alındığı bu seviyede tüm malzemeler, iki veya daha fazla sayıdaki farklı atomların bir arada bulunması durumunda kompozit olarak ifade edilir. Bu tanıma göre iki farklı atomun bir araya gelmesi, kompozit bir malzeme oluşması için yeterlidir. İki farklı element atomunun bir katı ergiyik oluşturması halinde bile meydana gelen bileşik kompozit olarak tanımlanabilmektedir. Bu malzemeler saf elementler haricinde: bileşikler, alaşımlar, polimerler ve seramiklerden oluşabilir.

Mikroyapısal Seviye : Kristal, faz molekül ve bileşiklerin iki veya daha fazla sayıdaki kristal, molekül ve faz yapılarında meydana gelmesiyle oluşan malzemeler kompozit olarak tanımlanabilir. Bu tanımlama ile geleneksel olarak homojen ve monolitik olarak değerlendirilen çok sayıda malzeme kompozit olarak sınıflandırılabilir. Yine bu tanımlama ile tüm metalik malzemeler içinde pirinçler, bronzlar gibi tek fazlı alaşımlar monolitik olarak ele alınmaktadır. Çok fazlı bir karbon alaşımı olan çelikler ve dökme demirler kompozit sınıfına girmektedirler.

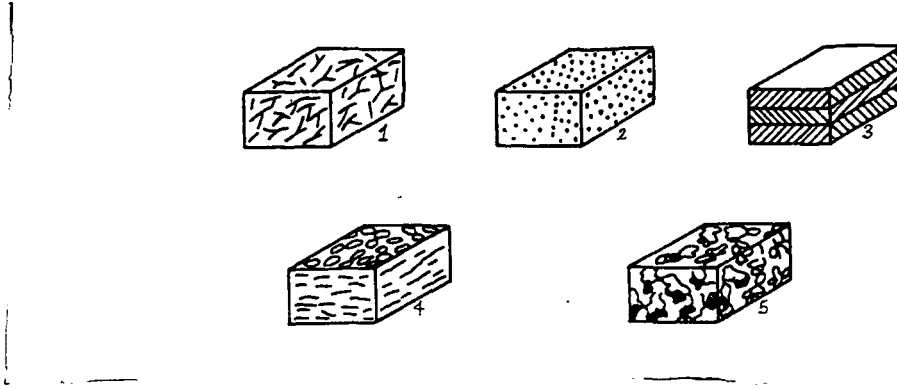
Makroyapısal Seviye : Kaba olarak iki bileşenin oluşturduğu yapılardır. Bu yapılar matriksler, partiküller ve fiberleri kapsamaktadır. Kompozit olarak adlandırılan bu malzemeler farklı makrobileşenlerden oluşmaktadır. Makroyapısal seviye tanımı birçok kompoziti içermesine rağmen genel olarak kompozit olarak bilinen bazı malzemeleri kapsamamaktadır. Daha kapsamlı olması için bileşenlerin doğaları ve kompoziti meydana getiren bileşenler genelde farklı kimyasal yapıya sahiptirler ve birbirleri içerisinde çözünmezler.

Bu şartlar altında hem yapısal olarak hemde malzeme bileşenlerinin kompozisyonu açısından kompozit malzemelerinin tanımı “ **Temel olarak birbiri içerisinde çözünmeyen ve birbirlerinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla makrobileşenin karışımından veya birleşmesinden meydana gelen malzeme sistemidir** „/4/.

2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapısal bileşenlerin şekline göre yapılan genel bir sınıflandırma

1. Fiberli takviyeli kompozitler, fiberler + matriks veya fiber ile matriksiz yapı
2. Partikül takviyeli kompozitler, partiküller + matriks veya partikül ile matriksiz yapı
3. Levhasal kompozitler, düz plakalar + matriks veya levha ile matriksiz yapı
4. Tabakalı kompozitler, farklı bileşen tabakalarından oluşmuş kompozit
5. Doldurulmuş (iskelet) kompozitler, sürekli bir iskelet matriksin ikincil bir malzemeye doldurulması /6/.



Şekil 2.1 Yapısal Bileşenlerin Şekline Göre Kompozit Malzeme Tipleri /6/.

Kompozit malzemeler kullanılan matriks malzemesine göre metal, polimer ve seramik matriksli kompozitler olarak üç gruba ayrılmaktadır /4/.

2.1.1. Metal Matriksli Kompozitler (MMK)

Metal matriksli kompozitlerin geliştirilmesinde itici kuvvet metalik malzemelerin tokluğundan yararlanılarak yüksek dayançlı yeni malzemelerin kullanıcıya sunulması amaçdır /3/.

Metal matriksli kompozitlerde matriks malzemesi olarak genelde Al, Mg ve Ti alaşımları kullanılır. Takviye malzemesi olarak ; seramik partiküller, wisker, elyaf levhacık kullanımı yaygındır /7/.

Bu noktadaki çalışmaların çoğu ileri teknoloji uygulamalarına yönelik olarak özgül dayanımın artırılması yönünde Al ve Mg gibi hafif metallerin yine SiC, Si₃N₄ ve Al₂O₃ gibi hafif seramik malzemelerle takviyesi biçiminde gelişmiştir. Kompozitleştirme için matriks malzemesi ile takviye malzemesinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirli bir uygunluğa sahip olması gereklidir. Örneğin her iki malzeme özel olarak öngörülmemişse birbirleri ile kimyasal bir tepkimeye girmemelidir. Üretim yöntemine bağlı olarak örneğin her iki malzemenin yoğunluğu birbirlerinden çok farklı olmamalıdır. Arayüzeyde meydana gelen olaylarda kompozitleştirme açısından oldukça önemlidir /3/.

Toz metalurjisine alternatif olarak geliştirilen döküm ve reaksiyonla MMK üretim tekniklerinin maliyet ve pratikliğinden dolayı bu malzemelere duyulan ilgi son 20 yılda doruk noktaya ulaşmıştır. Seramik malzemelerin yüksek elastik modülü ve metallerin yüksek tokluğunu birleştiren bu malzemeler : havacılık ve savunma sanayiinin yanında otomotiv endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır. MMK'ların yüksek aşınma direnci

de göz önüne alındığında bu malzemelerin modern teknolojiye kullanılmaya aktarılmasının önemi açıkça ortaya çıkmaktadır /4/.

2.1.2 Polimer Matriksli Kompozitler

Polimerler metal ve seramiklere göre daha komplekstirler. Matriks olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışabilir malzemelerdir. Ancak düşük elastik modül ve kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matriksler genelde sürekli fiber takviyeli olarak kullanılırlar. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen polyster ve epoksi reçine matrikslerdir. Epoksi reçine matriksli kompozitlerin en önemli uygulama alanı havacılık sektörüdür. Polimer matriksli kompozitlerin kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus sıcaklık ve nemdir. Özellikle bu iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matriksli kompozitlerin mekanik özelliklerinde hidrotermal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir. Bu kompozitlerin üretiminde: elle sıvama, tel sarma, kese kalıplama, pultrisyon, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum yöntemleridir. Polimer matriksli kompozit malzemelerinde en önemli takviye elemanları olarak cam fiber, kevlar fiber, boron fiber ve karbon fiber sıralanabilir /4/.

2.1.3 Seramik Matriksli Kompozitler

Seramik malzemeler sert ve kırılgandırlar. Yüksek sıcaklıklardaki elastislik özellikleri yanında kimyasal inerttir ve düşük yoğunluğa sahiptirler. Seramik malzemeler termal şok ve tokluğun düşük olduğu malzemelerdir. Seramik malzemelerin seramik fiberler ile takviye edilmesi durumunda mukavemet yükselmekte ve toklukları da artmaktadır. Bu uygulama ile monolitik seramiklere oranla 20 kat daha fazla tokluk elde edilebilmektedir. Alümina ve Zirkonya esaslı seramik kompozitler üzerindeki son yıllardaki çalışmalar bu malzemelerin sadece roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamalarda değil aynı zamanda insan vücudunda da kullanılmasına olanak sağlamıştır. Seramik matriksli kompozitlerde proses parametreleri ile mikroçatlak oluşumları sağlanmaktadır. Bu çatlaklar gerilme konsantrasyonunun yoğunlaşmasını engelleyerek gerilmeleri absorbe etmektedir.

Seramik matriksli kompozitlerin üretimleri iki aşamalı bir prosestir. Birinci aşamada takviye malzemeleri matriks içerisine yerleştirilir ikinci aşama ise yoğunlaştırmadır. Seramik matriksli kompozitlerin yoğun olarak kullanılan bazı üretim yöntemleri : viskoz infiltrasyon, sıcak isostatik presleme (HIP), infiltrasyon, toz metalurjik yöntemler, sol-gel ve polimer piroliz yöntemleridir /4/.

2.2 Kompozitleştirmede Temel Yaklaşımlar

Kompozit malzemelerin özelliklerinin önceden belirlenmesi için çeşitli matematiksel yaklaşımlar kullanılabilir. Bunun için miktar, boyut, dağılım, şekil gibi bileşen özellikleri veri olarak değerlendirilir.

Young modülü:
$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.1)$$

Isıl genleşme katsayısı:
$$c = \frac{\alpha_f V_f E_f + \alpha_m V_m E_m}{E_f V_f + E_m V_m} \quad (2.2)$$

Isıl iletkenlik:
$$k_c = k_f V_f + k_m V_m \quad (2.3)$$

Bu eşitliklerde V; matriks (m), kompozit (m), fiber (f) veya parçacık (p) Hacim Oranı. E ; Elastislik Modülü . α ; Isıl genleşme katsayısı. k ; Isıl iletkenliktir.

Çekme Dayanımı :
$$\sigma_c = \sigma_M V_M + \sigma_P V_P \quad (2.4)$$

Kayma Modülü :
$$G_c = G_M (1 + 2.5 V_P + 14.1 V_P^2) \quad (2.5)$$

eşitlikleriyle belirlenebilir /8,9/.

3. METAL MATRİKSİLİ KOMPOZİTLER

Malzeme biliminde son 40 yılda yapılan araştırmalar geleneksel malzemelerden daha iyi özelliklere ve rekabete açık fiyatlara sahip olan yeni mühendislik malzemesi olarak metal matriksli kompozitlerin geliştirilmesinin üzerinde odaklanmıştır /2/.

Metal matriksli kompozitler ilk olarak 1960' lı yıllarda geliştirilmiştir. İlk çalışmalar paslanmaz çelik teller ve silika fiberlerle desteklenmiş alüminyumlarla yapılmıştır. Günümüze kadar pek çok MMK tipi geliştirilmiştir. Ancak kullanım miktarları polimer matriksli kompozitlere (PMK) göre oldukça sınırlıdır. Buna sebep olarak malzeme fiyatlarının ve üretim maliyetinin yüksekliği gösterilebilir. Bu nedenle MMK'ların kullanım alanları PMK ve konvansiyonel alaşımların yetersiz kaldığı alanlarda sınırlıdır. Günümüzde yapılan çalışmaların büyük bölümü MMK'ların kullanım alanlarının artırılması amacıyla üretim maliyetlerinin düşürülmesi amacına yöneliktir.

1960'dan sonra metal malzemelerin önemi gittikçe azalırken polimer, kompozit ve seramik malzemelerin kullanım paylarında önemli bir artış gözlenmiştir ve bu artış gerek bu malzemelerdeki teknolojik gelişmeler gerekse malzemelerden beklentilerin artması ile 2000' li yıllarda artarak sürecektir /10/.

MMK'ların maliyetlerindeki bu yüksekliğin temel nedeni hammaddelerinin temininden değil ikinci işlemler olarak adlandırılan kompozit üretim tekniklerinin pahalılığı ve üretim yöntemlerinin hala yeterli bilgi birikimi ile donatılamamasından kaynaklanmaktadır. Ancak MMK'ların yerlerini aldıkları konvansiyonel malzemelere oranla sahip oldukları üstün özellikler nedeniyle bu malzemelerinin ileride üretimlerinin belirli standartlara bağlanacağı ve bu dezavantajlarını ortadan kaldırdıktan sonra piyasa paylarının giderek artacağına kesin gözüyle bakılmaktadır.

3.1 Matriks Malzemeleri

Metal matriksli kompozit malzemelerde matriks malzemesi olarak, düşük özgül ağırlıkları nedeniyle konvansiyonel olarak konstrüksiyon uygulamalarında kullanılan Alüminyum ve Magnezyum alaşımları yoğun olarak kullanılır. Alüminyum alaşımlarında matriks malzemesi uygulamaları aşağıda belirtilen alaşım gruplarında odaklanmıştır;

Al-Cu-Mg (2XXX)
 Al-Zn-Mg-Cu (7XXX)
 Al-Mg-Si (6XXX)
 Al-Fe.X (8XXX)

Kırılma tokluğu ve dayanımın arzulandığı uygulamalarda Al-Cu-Mg alaşımları, yüksek dayanım beklentili uygulamalarda Al-Zn-Mg-Cu alaşımları, yüksek işlenebilirlik beklentili uygulamalarda Al-Mg-Si alaşımları matriks malzemesi olarak Alüminyum esaslı metal matriksli kompozit malzemelerde tercih edilirler /11/.

Metal matriksli kompozitlerde matriks malzemesi olarak Alüminyum alaşımlarına oranla 2,1 g/cm³'lük yoğunluğu ile yaklaşık 3 kez daha hafif olan Mg alaşımlarının uygulanmasında ise hala belirli alanlarda sınırlanmıştır. Kullanım konvansiyonel döküm alaşımları (AZ 61, AZ 91) ve ısı dayanımlı nadir elementleri içeren Mg özel alaşımlarında (QE 22) belirli oranlarda uygulanmaktadır.

Bazı özel uygulamalarda Titanyum, Bakır ve Süperalaşımların da matriks malzemesi olarak kullanıma alındığı bilinmektedir. Bu tip özel uygulamalara örnek olarak kompresör ve buhar türbinlerinde yüksek ısı dayanımları nedeniyle Ti-alaşımları, kontakt malzemelerinde Cu-alaşımları, gaz türbini ve türbin kanatlarında süperalaşım uygulamaları sayılabilir /12/.

Tablo 3.1'de yoğun olarak kullanılan bazı Al ve Mg-alaşımlarının kimyasal bileşimleri bir araya toplanmıştır /12/.

Tablo 3. 1 Matriks Olarak Kullanılan Bazı Al ve Mg-Alaşımlarının Kimyasal Bileşimleri

Alüminyum Matriks Alaşımları									
Sembol	Kimyasal Bileşim, Ağırlık (%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer
2014	0.5-1.2	0.7	3.9-5.0	0.4-1.2	0.2-0.8	0.25	0.1	0.15	0.2 Zr
2024	0.5	0.5	3.9-5.0	0.4-1.2	0.2-0.8	0.25	0.1	0.15	0.2 Zr
6061	0.4-0.8	0.7	0.15-0.4	0.15	0.8-1.2	0.25	0.2	0.15	
7075	0.4	0.5	1.2-2.0	0.3	2.1-2.9	5.5	0.25	0.2	0.2Zr
8090	-	-	1.2	.	0.7	-	-	-	0.1 Zr
Magnezyum Matriks Alaşımları									
Sembol	Kimyasal Bileşim, Ağırlık (%)								
	Al	Zn	Mn	Si	Ag	Y	Zr	Diğer	
AS41	4.5	0.1	0.35	0.7	-	-	-	-	
AZ61	6.0	0.6	0.25	-	-	-	-	-	
AZ91	9.0	0.7	0.15	-	-	-	-	-	
ZE41	-	4.2	-	-	-	-	0.7	1.2 NE	
QE22	-	-	-	-	2.5	-	0.7	2.1NE	
WE54	-	-	-	-	-	5.25	0.5	3.5NE	

3.2 Takviye Malzemeleri

Metal matriksli kompozitlerde seramik parçacıklar ve fiberler, karbon fiberler en çok kullanılan takviye elemanlarıdır. Metalik fiberlerin takviye elemanı olarak kullanımı ise fonksiyonel malzeme olarak kontaktörler, iletken ve süperiletken malzeme uygulamalarında sınırlı kalmaktadır.

Ekonomik bakış açısıyla en uygun takviye edici eleman olarak süreksiz(fiber veya parçacık) elemanlar göze çarpmaktadır. Bu süreksiz elemanların bir diğer tercih sebebi ise kompozit malzeme özelliklerinde sağladıkları artırım yerine elde edilen özellikler anizotropisidir.

Metal matriksli kompozitlerde aynı matriks malzemesi için ulaşılmak istenilen özellikler profili takviye elemanlarının dağılım, oriyantasyon ve şekli ile bağlıdır.

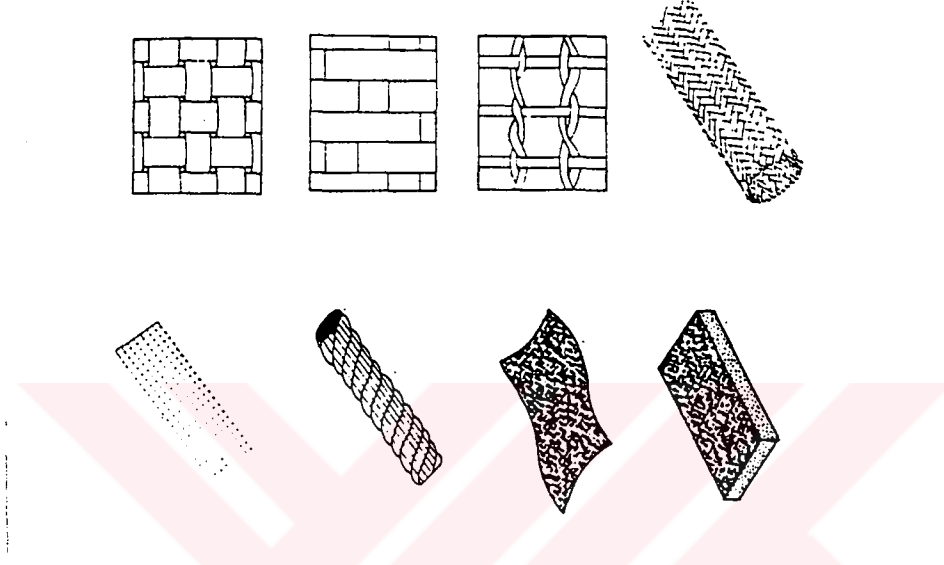
Parçacık Takviye Elemanları : Metal matriksli kompozitlerin parçacıklarla takviye edilmesinde seramik, zımparalama ve parlatma sektörlerinde konvansiyonel malzeme olarak kullanılan sert bileşimlerden faydalanılır. Tablo 3.2' de bu amaçla kullanılabilecek oksit, karbür, nitrür ve borür bileşimleri derlenmiştir. Bu elemanlar arasında teknik ve ekonomik açıdan Silisyum ve Bor karbür, Alüminyumoksit, Alüminyum ve Bornitrür potansiyel olarak dikkat çekmektedirler.

Tablo 3.2 Parçacık ve Plaka Şekilli Seramik Takviye Elemanları /5/.

Element	Karbürler	Nitrürler	Borürler	Oksitler
Bor	B ₄ C	-	-	-
Tantal	TaC	TaN	TaB	-
Zirkon	ZrC	ZrN	ZrB ₂	ZrO ₂
Hafnium	HfC	HfN	HfB	HfO ₂
Alüminyum	-	AlN	-	Al ₂ O ₃
Silisyum	SiC	Si ₃ N ₄	-	-
Titanyum	TiC	TiN	TiB ₂	-
Krom	Cr ₂ C ₃	-	CrB ₂	CrO ₂
Molibden	MoC	-	MoB	-
Wolfram	WC	-	WB	-
Thoryum	ThC ₂	ThN	-	ThO ₂

Sürekli Fiberler : Metal matriksli kompozitlerin organik veya inorganik sürekli fiberlerle takviye edilmesinde gruplama fiberlerin kalınlıkları üzerinden yapılmaktadır. Mono (tek fiber d = 100-150 μ m) ve Multifilament (çapları 6-20 μ m arasındaki 500-300 adet tek fiberlerin biraraya getirilmesinden) fiberler olarak tanımlanan bu grupta kimyasal bileşim üretim yöntemi ve mamul şekline göre çok geniş bir özellikler bandı elde edilir.

Monofilament fiberler arasında SiC ve BC en çok kullanılan kimyasal bileşimlerdir. Multifilament fiberler ise çok geniş bir kimyasal bileşim paletinde; C-fiberler, karbür ve oksit fiberler alt gruplandırması altında sınıflandırılabilir. Multifilament fiberlerin müşteriye arz şekilleri Şekil 3.1’de görülmektedir /5/.



Şekil 3.1 Multifilament Fiber Mamul Şekillerinin Şematik Gösterimi

Kısa Fiber ve Whiskerlar : Kısa fiberler ve Whisker malzemeler takviye elemanları arasında önemli bir grubu oluştururlar. Bu elemanlar fiberler ve parçacıklar arasında bir potansiyele sahiptirler. Takviye etkileri uzun fiberlere oranla düşük olmasına rağmen üretilen kompozit malzemelerde isotrop özelliklerin elde edilebilme olasılığı ve düşük maliyetleri bu malzemelerin avantajları olarak sıralanabilir.

Kısa fiberler, uzun fiberlerin üretim yöntemleriyle üretilebilirler veya hammadde olarak uzun fiberlerin boyutsal redüksiyonu ile elde edilebilirler.

Whiskerlar çok ince, tek kristalli ve çok düşük hata yoğunluklu takviye elemanlarıdır. Geniş bir kimyasal bileşim paletinde SiC ve Si_3N_4 whiskerlar özellikle yüksek stabiliteleri ve düşük maliyetleri ile metal matriksli kompozitlerde takviye malzemesi olarak büyük bir kullanım potansiyeline sahiptirler. Tablo 3.3’de kısa fiber ve Whiskerların mekanik özellikleri derlenmiştir /5/.

Tablo 3.3 Kısa Fiber ve Whisker Takviye Elemanlarının Mekanik Özellikleri /5/.

Takviye Elemanı	Fiber Çapı [μm]	Yoğunluk [g/cm^3]	E-Modülü [GPa]	Çekme Dayanımı [MPa]	spes. E-Modülü [GPa/gcm^{-3}]	spes. Dayanım [GPa/gcm^{-3}]
$\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$	1-5	3.3	300	2000	90	600
$\text{Al}_2\text{O}_3/\%50 \text{SiO}_2$	1-7	2.73	105	1000	38	360
SiC	0.1-1.5	3.18	481	20600	150	4680
Si_3N_4	0.5-2.0	3.18	380	14000	120	4400

3.2.1 Silisyum Karbür (SiC)

Silisyum karbür kuvvetli kovalent bağ yapısında yapay bir malzeme olup, E.G.Acheson tarafından 1891'de tesadüfen sentezlenmiştir. Al_2O_3 'den daha sert, ısıya daha dayanıklı ve korozyona karşı yüksek dayanım gösterir. Bu yüzden yaygın olarak hem aşındırıcı hem de refrakter olarak, demir-çelik yapımında metalurjik katkı malzemesi olarak, elektriksel özellikleri bakımından ısıtıcı elementlerde ve elektriksel devre parçalarında kullanılır. Büyük çapta üretim Acheson'un keşfettiği elektrik fırnında gerçekleştirilir.

Silisyum karbürün iki kristal şekli vardır; heksagonal veya rombohedral yapıdaki $\alpha\text{-SiC}$ ve kübik yapıdaki $\beta\text{-SiC}$. α şekli bir reaksiyon fırnında 1800 °C ile 2000 °C ve daha üzerinde sentezlenen dengeli yüksek sıcaklık şeklidir. Ticari ölçekte üretilen kristaller yüksek sertlik, iyi ısı dengelilik, yüksek sıcaklık direnci ve çok üstün korozyon direnci gösterir. β şekli düşük sıcaklık şekli olup 1500 °C ile 1600 °C arasındaki düşük sıcaklık bölgesinde üretilir. Aktivitesi yüksek, çok ince toz halinde çeşitli yöntemlerle elde edilebilir. β şekli düşük sertliktedir ve 1800 °C - 2000 °C arasında geri dönülmez bir geçişle α şekline dönüşür ve kolayca oksitlenebilir. Bu özellikler β şeklinin kullanımını kısıtlar.

Tablo 3.4 MMK'lerde Takviye Elamanı Olarak Kullanılan SiC'ün Özellikleri

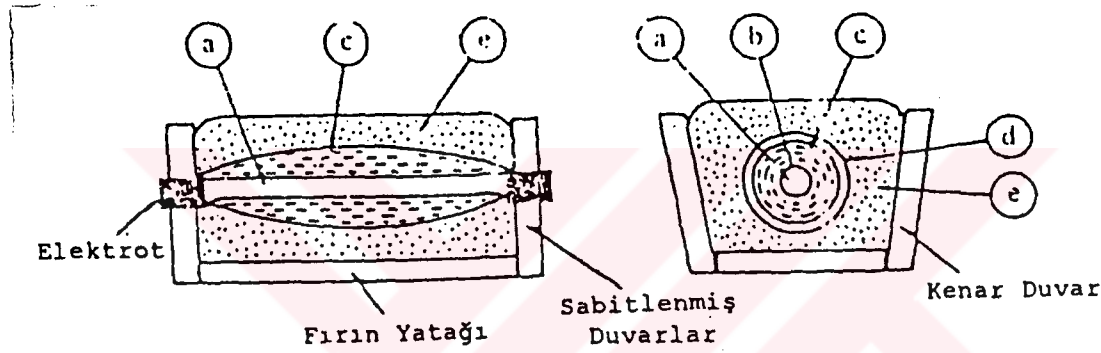
Partikül	SiC	SiC
Kristal yapı	heksagonal	heksagonal
Yoğunluk [g/cm^3]	3.21	3.21
Form	kırılmış	kırılmış, blok form, küresel
Mors sertliği	9.7	9.7
Üretici firma	ESK Kempten	Norton AS

3.2.2 İnce Taneli SiC Tozu Üretimi

Sinterleme teknolojisindeki son gelişmeler, silisyum karbürün düşük sinterlenebilirlik derecesine rağmen yüksek yoğunluğa sinterlenmiş SiC parçaların üretimini mümkün

kılmıştır. Bununla beraber böyle işlemler yüksek saflıkta ve yeterince ince-mikron altı tozları gerektirmektedir. Üretim yöntemleri ya Acheson fırınında elde edilen α -SiC'ün ince öğütülmesi veya ince taneli β -SiC'ün doğrudan sentezlenmesidir.

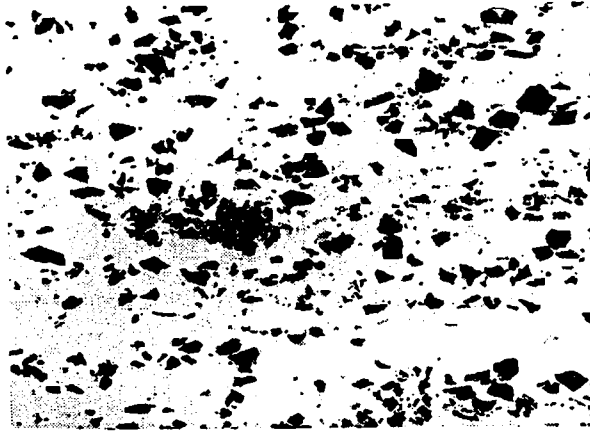
α -SiC Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, silika ve kok karışımı olan hammadde elektrikli bir fırında (Acheson fırını) belli bir uzaklıkta sabitlenmiş ve araları grafitle bağlanmış elektrodlar arasına paketlenir. Kutuplar arasından elektrik geçirilerek fırın ısıtılır ve aynı zamanda reaksiyon olması sağlanır. Fırın içindeki reaksiyon oldukça komplekstir ve aşağıdaki formüle göre gerçekleşir.



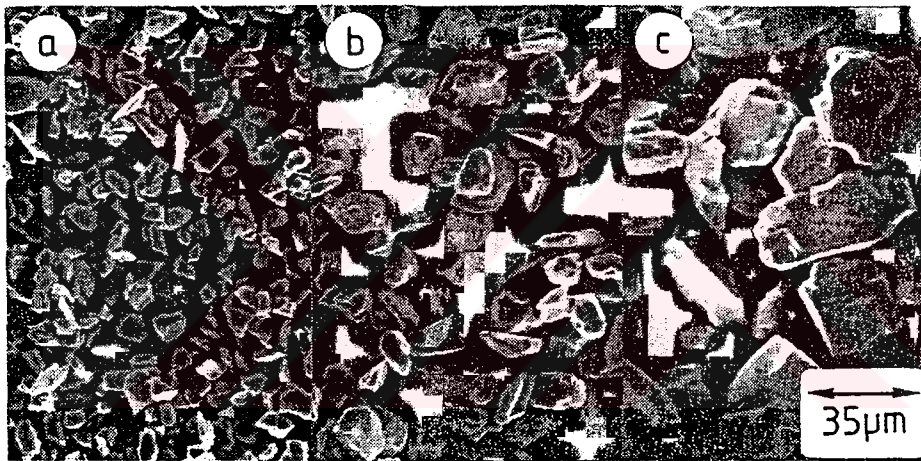
Şekil 3.2 Acheson Fırınının Şematik Görünüşü

a. grafit direnç, b. bozunmayla oluşmuş grafit, c. α -SiC ingot, d. tepkimeye girmemiş malzeme ve β -SiC, e. tepkimeye girmemiş malzeme

Grafit etrafındaki yüksek sıcaklık bölgesinde β -SiC kademesinden geçerek α -SiC ingot zonu oluşur. Elektrod merkezinden uzaklaştıkça sıcaklık azalacağından, reaksiyon sonrasında fırın iç kesiti, dışta bir β -SiC bandı olan α -SiC ingot zonu gösterir, daha da dışta tepkimeye girmemiş hammadde karışımı tabakası bulunur. α -SiC topakları ayrılır ve parçalama işlemine sokulur, yıkanarak dekarbürize edilir, demiri uzaklaştırılır, istenilen tane büyüklüğündeki ürünü elde etmek için ham silisyum karbürün uygun tane büyüklüğünde olanı kullanılır. Normal olarak yüksek saflıkta hammadde kullanılır, katkı maddeleri katılarak katışkılar uzaklaştırılır, son ürün ince öğütmeden geçirilerek sınıflandırılır /13/.



Şekil 3.3 %15 SiC Takviyeli AlZnMgCu Metal Matriksli Kompozit Mikroyapısı



Şekil 3.4 Değişik Boyuttaki SiC Takviye Malzemesinin SEM Mikrografi
a) 8 µm b) 18 µm c) 31 µm /11/.

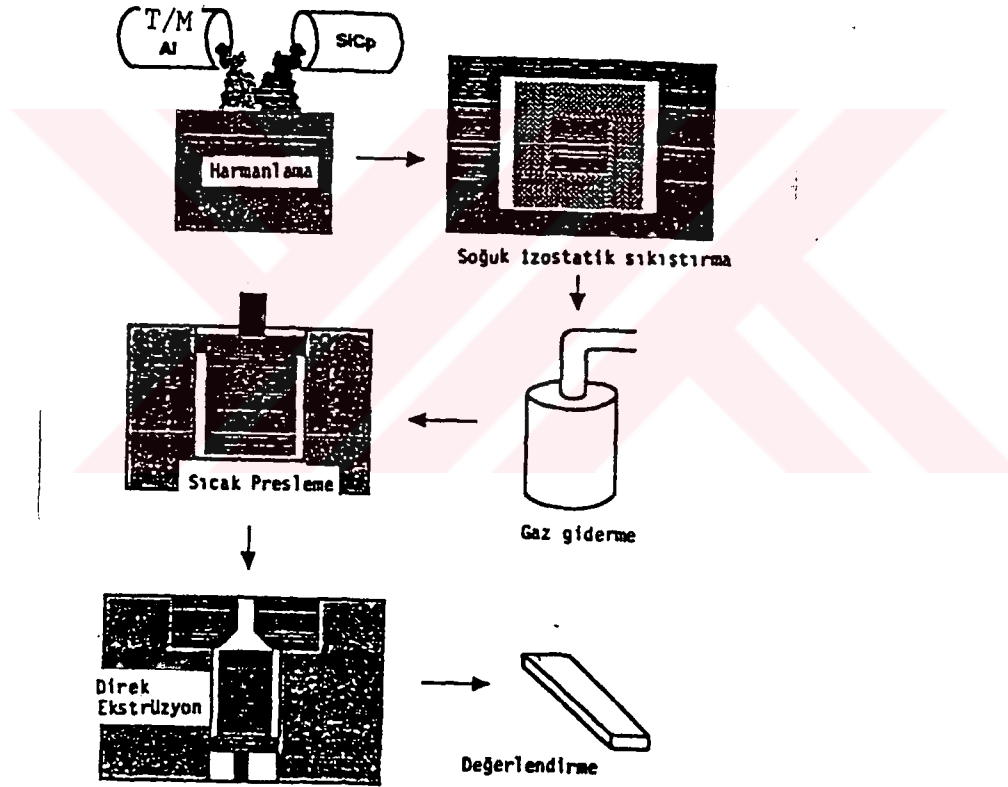
3.3. Üretim Yöntemleri

MMK'lerin üretiminde kullanılan temel üretim yöntemleri şunlardır:

- 1- Toz metalurjik yöntem
- 2- Basıncılı infiltrasyon yöntemi
- 3- Basıncsız infiltrasyon yöntemi
- 4- Sprey çöktürme yöntemi
- 5- Şok sıkıştırma yöntemi
- 6- Vorteks yöntemi

3.3.1 Toz Metalurjik Yöntem

Toz metalurjik yöntemde matriks ve takviye elemanı kullanımında herhangi bir sınırlamanın olmaması bu yöntemin başlıca avantajlarından biridir. Matriksle takviye arasındaki reaksiyon, katı hal prosesinin kullanımı ile minimum seviyeye indirilebilir. Metastabil alaşımlar matriks malzemesi olarak kullanılabilir. Bu kompozit yüksek çalışma sıcaklıklarında kullanılacaksa çok önemlidir, çünkü hızlı katılaşılan alaşımlar konvansiyonel malzemelere nazaran yüksek sıcaklıklarda daha iyi dayanıma sahiptirler. Yüksek hacim oranında takviye elemanı kullanımı mümkündür, bu da elastik modülünü arttırmakta ısı genleşme katsayısını düşürmektedir. Fakat toz metalurjik yöntem oldukça pahalı bir metottur.

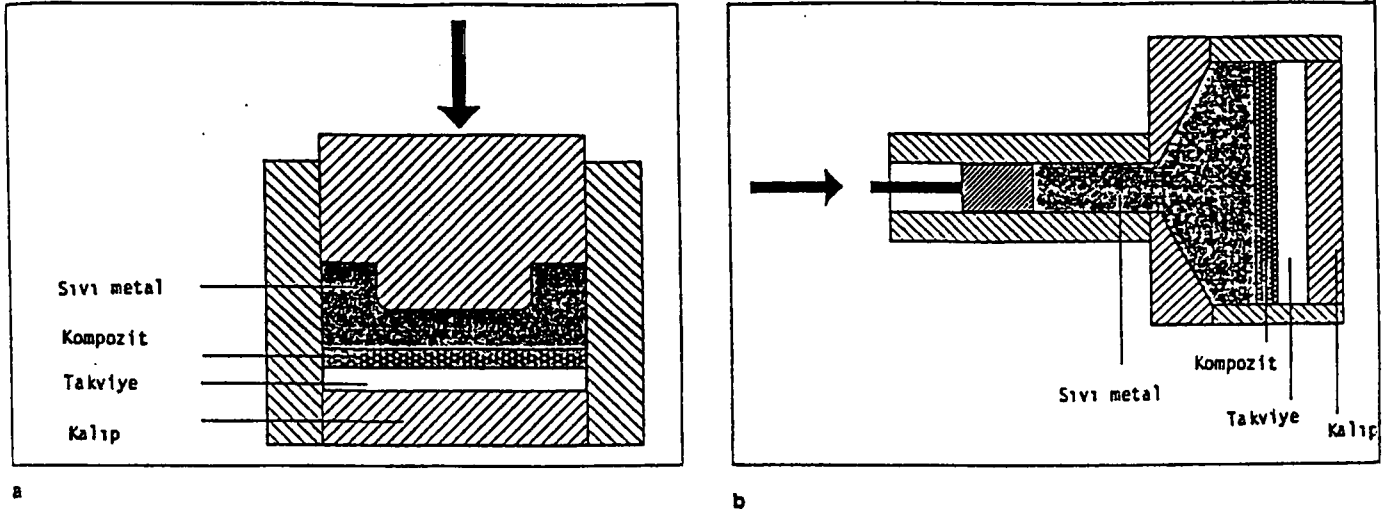


Şekil 3.5 Toz Metalurjik Yöntem Üretim Aşamaları

3.3.2 Basıncılı İnfiltrasyon Yöntemi

Takviye malzemesinden hazırlanıp şekillendirilmiş preforma basınçlı metal infiltrasyonu sonucu MMK malzeme üretimine dayanan bir yöntemdir. Bu yöntemin en büyük avantajı

%50 gibi yüksek takviye oranlarına çıkabilmesidir. Bu yöntemle üretilen kompozitin maliyet tahmini güçtür ve bugüne kadar kesin rakamlar elde edilememiştir /14/.



Şekil 3.6 Basınçlı İnfiltrasyon Yönteminin Şematik Görünümü

- Pres döküm, piston kalıbının şeklini vermekte
- Pres enjeksiyon döküm, piston ergiyik metali kalıbın içindeki preforma itmekte

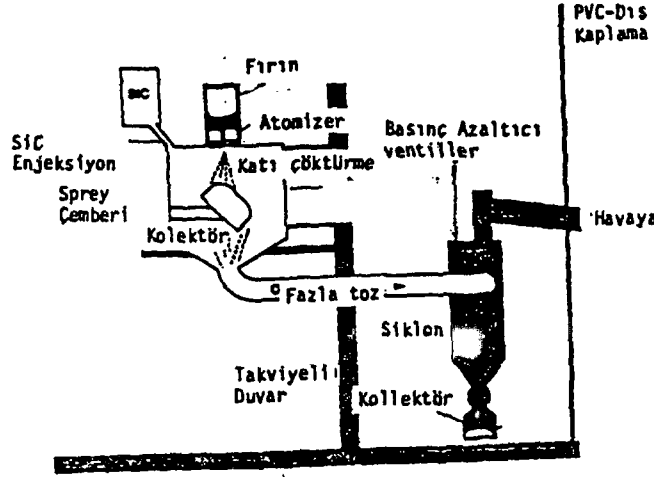
3.3.3 Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemi

Basıncsız infiltrasyon yöntemi ekonomik ve yöntem elastikiyeti nedeniyle dikkat çekicidir. İnfiltrasyon sırasında ergimiş metal, seramik malzemedeki gözenekleri kapiler kuvvetler etkisi ile doldurur. Sıvı faz sinterlenmesinden farklı olarak, infiltrasyonda sıvı haldeki metal ile gözenekli seramik malzemenin teması dış yüzeyden başlayarak gözenekli yapı içerisine doğru yayılır. Bu yöntemle karmaşık şekilli veya büyük boyutlu ürünler istenen nihai şekle çok yakın olarak üretilebilir. Ayrıca ilave işlemlere (ekstrüzyon, sıcak presleme v.b.) gerek kalmadan yüksek teorik yoğunluklar elde edilir.

Başarılı infiltrasyon için, sıvı metal ile seramik malzeme arasındaki temas açısının küçük olması (sıvı metalin seramik malzemeyi ıslatması) dışında diğer koşullarda sağlanmalıdır. Seramik malzeme kapiler kuvvetle infiltrasyonu sağlayacak şekilde por boyutu ve dağılımına sahip olmalıdır. Metalin sıvı halde akışkanlığı yüksek olmalı ve seramik malzemenin metal içindeki çözünürlüğü az olmalıdır. İnfiltrasyon sistemine vakum uygulaması kapiler etki ile infiltrasyonu artırır /15/.

3.3.4 Sprey Çöktürme Yöntemi

Bu yöntemde atomize edilen metal takviye ile birlikte çöktürme yapılan yüzey üzerine spreylenerek MMK yüzey oluşturulmaktadır. Bu oldukça hızlı katılacak bir prosestir. Çöktürme oranı 6-10 kg/dak. dır. Bu yöntemle üretilen kompozitlerin maliyetleri vorteks ve toz metalurjik üretim yöntemleri arasındadır /14/.



Şekil 3.7. Sprey Çöktürme Yöntemi

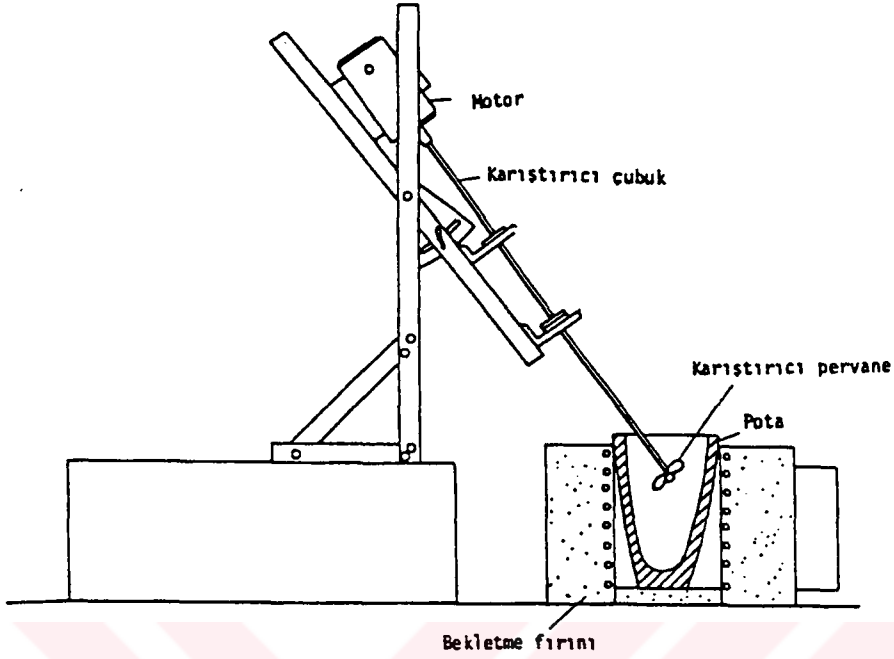
3.3.5 Şok Sıkıştırma Yöntemi

Bu yöntemde, patlama sırasında oluşan şok dalgalarını kalıplanmış toz veya toz karışımları üzerinden geçirerek yoğun katı parça imaline dayanmaktadır. Yöntemin başlıca avantajları ;

- Teorik yoğunluklara yaklaşılması,
- Yüksek sıcaklıklara çıkılmadan elementsel bileşenlerden hareketle bir bileşik veya alaşım üretimi ve şekillendirmenin yapılması,
- Stokiyometrik sınırlamalara bağlı kalmaksızın alaşım elde edilebilmesi,
- Şekillendirme esnasında uygun şekilde yerleştirilmiş patlayıcının sıcaklık ve basıncının kullanılması ile birleştirilecek tozların birbirleri ile reaksiyona girmesinin engellenmesidir /16/.

3.3.6 Vorteks Yöntemi

Bu yöntem ; ergitilmiş ve mekanik olarak karıştırılan matriks malzemesi içerisine takviye malzemesinin ilavesi esasına dayanır. Bu yöntemde karşılaşılan temel problem metal malzemelerinin seramik parçacıklarını ıslatma yetersizliğidir /4,17/. Bu yöntemin tercih edilmesinde MMK'lerin bu yöntemle şekillendirilmesinin diğer yöntemlere oranla daha kolay olması, proses parametreleri ile malzeme özelliklerinin kolaylıkla kontrol edilebilmesi ve maliyetin düşük olmasıdır. Fakat karıştırma ve ergitme nedenli gaz boşluklarının mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemesi bu yöntemin dezavantajı olarak sayılabilir /18/.



Şekil 3.8 Vorteks Yönteminin Şematik Görünüşü

Metal matriksli kompozitlerin vorteks yönteminde yeterli özelliklerle donatılmış bir üretiminin gerçekleştirilmesi için karıştırma hızı, karıştırıcı çap ve pozisyonu, karıştırma sıcaklığı gibi işlem parametrelerinin kontrol edilmesi gereklidir. Özellikle takviye elemanlarının düşük partikül boyutlarında ama yüksek hacim oranlarında seçildiği durumlarda elde edilen kompozit malzemelerin %30'a varan poroziteye sahip olduğu gözlenmiştir /4/.

Bu üretim yönteminde yapılan araştırmalarda karıştırma hızının oldukça önemli bir sistem parametresi olduğunu ortaya koymuştur.

Takviye elemanları ve ergiyik matriks teması için karıştırıcı pervanesi tarafından üretilen kayma kuvvetleri, parçacıkların birleşmesini (topaklama, aglomerasyon) sağlamaya çalışan arayüzey kuvvetlerini engellemeye çalışır.

Karıştırma hızı arttıkça ergiyik içerisindeki kayma gerilmeleri de artar. Bu da parçacık hacim oranının artmasını gerektirir. Fakat artan karıştırma hızı ergiyik içersine gaz girişine neden olur ve ergiyik içine dağıtmaya çalışılan SiC parçacıkları flotasyonda olduğu gibi gaz kabarcıklarına saldırırlar ve artan köpük miktarı ile daha fazla miktardaki SiC parçacıkları ergiyik içersine girmeden kalır.

Bu iki karşılıklı etken sonucunda optimum karıştırma hızı ortaya çıkar. Farklı deney düzeneklerinde yeni farklı akışkan sistemlerinde bu hız değişik değerlerde ortaya çıkmakla beraber literatürlerde /19,20/ 500-1000 devir/dak.'lık aralığa sahip olduğu görülmüştür.

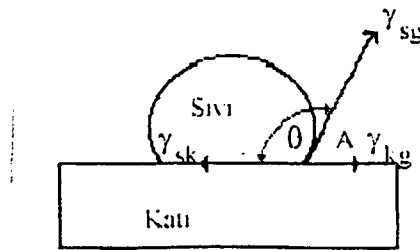
3.4 Metal/Takviye Arayüzeyi

Metal matriksli kompozit malzemelerinin kendisinden beklenen özellikleri karşılayabilmesi için matriks takviye arayüzeyinin ıslatabilirliğini arttırmak, kimyasal etkileşimleri kontrol etmek ve oksit oluşumunu minimuma indirmek gerekir.

Arayüzey, element konsantrasyonlarının, kristal yapısının bir taraftan diğerine değiştiği iki boyutlu süreksiz bir alan olarak tanımlanabilir. Atomik düzen ele alındığında uyumlu ve uyumsuz arayüzeylerin oluşması söz konusudur. Uyumlu bir arayüzey, her iki kristalinde arayüzeyde benzer latisler tarafından paylaşılmasıdır. Bu durum, arayüzeyin her iki tarafında da birbirine karşılık gelen atom gruplarının var olduğunu göstermektedir. Genelde zorlanmamış kristaller arasında kusursuz bir atomik düzen oluşmaz. Bunun yanında arayüzeyde uyumluluk, kristalin elastik deformasyonu ile ilgilidir ve dolayısıyla uyumlu bir arayüzey, uyumsuz bir arayüzeyden daha düşük enejeye sahiptir. Genellikle matriks ve takviye arasında düzgün bir arayüzeyden ziyade düzgün olmayan bir arayüzey ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, matriks ve takviye arasındaki temas ıslatabilirlik kavramı açısından ele almak gerekir.

Islatabilirlik engeli, kompozit üretmede mutlaka aşılması gereken bir engeldir. Islatmanın meydana gelebilmesi için arayüzey bağ mukavemetinin, sıvının yüzey gerilimden daha büyük olması gerekmektedir. Islatılabilirlik temas açısı θ ölçülerek anlaşılmaktadır.

Şekil 3.9'de seramik bir malzemeye sıvı metalin damlatılması sonucunda bu damlacığın ortaya çıkarmış olduğu geometri ve oluşan arayüzey kuvvetleri verilmektedir. Şekildeki sistemde sıvı-katı (γ_{sk}), sıvı-gaz (γ_{sg}) ve katı-gaz (γ_{kg}) arasında farklı arayüzey kuvvetleri etki etmektedir.



Şekil 3.9 A noktasında temas açısını ve arayüzey kuvvetlerini gösteren sıvı damlacığı metoduna göre ıslatma olayının şematik görünüşü

İdeal bir ıslatma için, temas açısının (θ) sıfır olması, yani yüzeyi tamamen kaplaması gerekmektedir. Etkin ıslatma için ise katı-sıvı arayüzey enerjisinin düşük olması, sıvı metal yüzey geriliminin düşmesi ve temas açısının 90° 'den düşük olması gerekmektedir. Şekil 3.9'deki denge şartlarında Thomas-Young eşitliği kullanılmaktadır.

$$\gamma_{kg} = \gamma_{ks} + \gamma_{sg} \cos \theta \quad \text{veya} \quad \theta = \cos^{-1} \frac{\gamma_{kg} - \gamma_{ks}}{\gamma_{sg}} \quad (3.1)$$

Eşitlikten de anlaşılacağı gibi temas açısı θ 'nın 90° 'den düşük olmasını sağlamak için $\gamma_{kg} - \gamma_{ks}$ değeri pozitif olmalıdır. Gaz fazı içinde katının yüzey geriliminin ölçülmesi çok zor olduğundan, bir katının herhangi bir sıvı ile adhezyonu işi Dupre tarafından aşağıdaki eşitlikle verilmektedir;

$$W_{ks} = \gamma_{kg} + \gamma_{sg} - \gamma_{ks} \quad (3.2)$$

Kararlı bir katı-sıvı arayüzeyi için W_{ks} değerinin karakteristik olarak yüksek olması gerektiği belirtilmektedir.

Kompozit malzemelerin özellikleri, katı-sıvı-gaz arasındaki enerji dengelerine ve dolayısıyla ıslatma açısına bağımlı olduğundan, ıslatma açısının düşürülmesi için çeşitli ön işlemler yapılmaktadır. Ana amaç arayüzey bağ mukavemetini arttırmaktadır ve bu aşağıda verilen faktörlere bağlıdır;

i) Fiber veya takviye elementi, ii) matriks, iii) matriks-takviye arayüzeyinin özellikleri
Bunların yanında, arayüzeyin karakteristiği, sıcaklık, difüzyon, kalıntı gerilmeler gibi etkenlerin, arayüzeyi ne derecede etkilediği de göz önüne alınmalıdır /4/.

4. PARÇACIK TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKS KOMPOZİTLER

Parçacık takviyeli alüminyum matris kompozitler: ergitme metalurjik, sprey çöktürme ve toz metalurjik yöntemlerle üretilebilirler. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri; parçacık hacim miktarı ve matris bileşimine bağlıdır fakat üretim yönteminin de takviye elemanlarının katkısının büyüklüğüne etkisi vardır.

Parçacık ilavesinin etkisiyle en büyük etki termal genleşme katsayısının düşüşünde gözlenir. Bu etki özellikle ısısal yüklenmenin yüksek olduğu konstrüktif uygulamalarda ve ölçü stabilitesi açısından önemlidir.

Parçacık takviyeli alüminyum kompozit malzemelerinde ve genel olarak tüm parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerde çekme dayanımı ve akma sınırı ile elastiklik modülü parçacık takviyesi ile artarken kırılma uzaması ve kırılma mukavemet değerlerinde düşüş gözlenir /11/.

Tablo 4.1 Parçacık Takviyeli Alüminyum Matris Malzemelerinin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Akma Sınırı [MPa]	Çekme Mukavemet [MPa]	Kopma Uzama (%)	E-Modul [GPa]	Kırılma Tokluğu [MPa m ^{1/2}]	CTE* 10 ⁶ K ⁻¹
Ergiyik Metalurjik Alaşımlar						
6061-T6 (1)	276	310	20.0	69.0	29.7	25.4
1+10%Al ₂ O ₃	296	338	7.6	81.4	24.1	22.0
1+15% Al ₂ O ₃	317	359	5.7	86.9	22.0	19.6
1+20% Al ₂ O ₃	352	372	4.0	97.2	21.5	-
2014 - T6 (2)	476	524	13.0	73.1	25.3	23.0
2+10% Al ₂ O ₃	496	531	3.0	84.1	18.0	20.9
2+15% Al ₂ O ₃	476	503	2.2	90.3	18.8	19.3
2+20% Al ₂ O ₃	503	517	1.0	101.0	-	-
A356 - T6 (3)	200	255	4.0	75.2	-	-
3+ 20%SiC	297	317	0.6	84.8	-	-
Sprey Çöktürme						
2618-T6 (4)	320	400	-	75.0	-	23.0
4+13%SiC	333	450	-	89.0	-	19.0
8090-T6 (5)	480	550	-	79.5	-	22.9
5+12%SiC	486	529	-	100.1	-	19.3

* Isıl genleşme katsayısı /11/.

Tablo 4.2 Parçacık Takviyeli Alüminyum Matriks Malzemelerinin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Akma Sınırı [MPa]	Çekme Mukavemet [MPa]	Kopma Uzama (%)	E-Modul [GPa]	Kırılma Tokluğu [MPa m ^{1/2}]	CTE* 10 ⁶ K ⁻¹
Toz Metalurjik Alaşımlar						
1	276	310	15.0	69.0	-	23.0
1+20% SiC	397	448	4.1	103.4	-	15.3
1+30% SiC	407	496	3.0	120.7	-	13.8
1+40% SiC	431	538	1.9	137.9	-	11.1
2	345	462	8.0	71.0	-	-
2+20% SiC	379	517	5.3	105.0	-	-
2+30% SiC	434	621	2.8	121.0	-	-
2+40% SiC	414	586	1.5	134.0	-	-
7090-T6 (6)	586	627	10.0	73.8	-	-
6+20% SiC	621	690	2.5	106.9	-	-

4.1 Parçacık Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerde Isıl İşlemler

Alüminyum allotropik özellikli bir element olmadığı için Al ve Al- alaşımlarının ısıtılma işlemlerinde yoğun olarak çökelti sertleşmesi mekanizmasından yararlanılır.

Parçacık takviyeli alüminyum matriksli kompozit malzemelerin uygulanan ısıtılma işlemi ile dayanım ve sertlik artımı amaçlanır.

Parçacık takviyeli metal matriksli kompozitlerde, takviye edilmemiş matriks malzemesine oranla farklı bir çökelti oluşumu gözlenir. Bu farklı çökelti oluşumunun sebebi olarak parçacık takviyeli alüminyum kompozitlerinde çökelti kinetiğindeki değişimdir.

Parçacık takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerde çökelti kinetiğini değiştirebilecek iki temel etki vardır. Bunlardan parçacık takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin, takviyesiz matrikse oranla yüksek enerjili partikül/matriks arayüzeyinin heterojen çekirdeklenme olan etkisi; ikincisi ise matriks ve parçacıkların farklı ısısal genleşme katsayıları nedeniyle katılma esnasında ortaya çıkan dislokasyonların çökelti kinetiğine etkisidir.

Alüminyum matriksli kompozit malzemelere artan parçacık takviyesiyle yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı artan hata (yüksek enerjili bölge) yoğunluğuna paralel olarak sertlik ve dayanımda önemli bir artış gözlenir. Parçacık takviyesiyle sertlik ve dayanım

acısından sağlanan bu avantaj kırılma mukavemeti açısından ise geçerli değildir. Parçacık matriks arayüzeyindeki matrikse göre farklı kimyasal potansiyel matrikste çözülmüş elementlerin bazalarına çekme bazalarına ise itme tarzında bir etkileşimde bulunmaktadır. Bu etkileşim sonucu arayüzeyde belirli segregasyon ve kimyasal bileşik oluşumları gözlenir. Arayüzeydeki bu bileşikler sert ve kırılğan ise kırılma mukavemeti değerlerinde istenmeyen büyük düşüşler gözlenmektedir /11,24/.

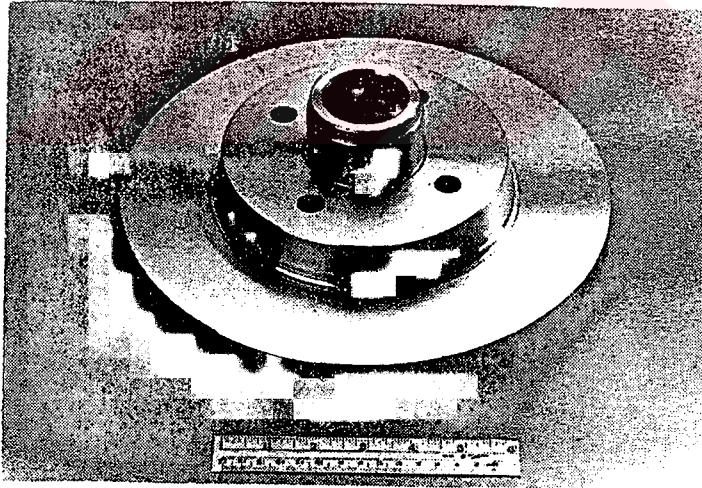
4.2 Parçacık Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerde Termomekanik İşlemler

Ekstrüzyon, haddeleme, dövme ve hatta bir dereceye kadar sıcak presleme veya vakumda sıcak presleme metal matriksli kompozitlerin üretiminden daha çok onların işlenmesinde kullanılan yöntemlerdir. Kompozit ister toz metalurjik ister döküm yöntemlerinden biriyle üretilsin bu işlemlerden birinin uygulanması varolan gözeneklerin azaltılarak giderek teorik yoğunluğa yaklaşılmamasına, hem matriks hem de takviye fazında tane küçülmesine yol açmakta, takviye fazının dağılımının ve mikroyapısının daha homojen hale getirilmesine ve bunlardan daha önemlisi metal matriksli kompozitlerin dayanım ve tokluğunun artırılmasını sağlar. Termomekanik işlemlerde uygulanan yüksek plastik deformasyon sonucu dislokasyon yoğunluğu artmakta ve metal matriksli kompozitlerin dayanım değerlerinde önemli iyileşmeler sağlanmaktadır /22/.

5. ALÜMİNYUM MATRİKSİLİ KOMPOZİTLERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMA ALANLARI

Metal matriksli kompozitlerin, geleneksel malzemelere göre sahip olduğu üstün özellikler otomotiv endüstrisinin ilgisini çekmekte ve metal matriksli kompozit malzemeleri kullanmak için birçok yeni uygulama alanları bulmaya yöneltmektedir. Başlıca uygulamalar ise; fren aksam ve parçaları, pompa gövdeleri, dişliler, valfler, destek parçaları, kasnaklar, elektronik paket kutular, turboşarj, süpersarj, kompresörler ve süspansiyon parçalarıdır. Tüm bu parçalar metal matriksli kompozitlerin önemli özelliklerini ortaya çıkarmakta ve otomotiv endüstrisine olan yararlarını göstermektedir.

Fren diskleri : Alüminyum matriksli kompozitten imal edilen fren disklerinin başlıca avantajı ağırlığının düşük olmasıdır. Ağırlıktaki bu azalış %50-60 değerlerindedir. Dökme demirden imal edilen ve ağırlığı 5.4 kg olan fren diski, metal matriksli kompozit malzemeden imal edilmesi durumunda ağırlığı 2.4 kg'a düşmektedir. Bu aynı zamanda atalet kuvvetini azaltmakta ve yakıt tüketimini düşürmektedir. Hafif olan metal matriksli kompozit disk ayrıca ivmeyi artırarak frenleme mesafesini (durma mesafesini) azaltmaktadır. Fren ses seviyesi azalmakta, aşınmalar minimum değere düşmekte ve dökme demir diske nazaran daha düzgün bir sürtünme yüzeyi göstermektedir. Fren disklerinde iyi bir aşınma direnci en gerekli özelliklerden biridir, bu da yeteri kadar takviye oranı gerektirmektedir.

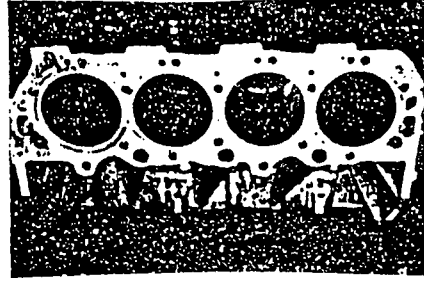


Şekil 5.1 359Al/%20 SiC_p Kompozit Malzemeden Üretilen Fren Diskleri

Motor Bloğu ve Silindir Gömleği : Aracın toplam ağırlığını azaltmak için bütün otomotiv üreticileri dökme demir motor bloğu yerine alüminyum malzemeden blok teknolojisi geliştirmeye çalışmaktadırlar. Böylelikle ağırlık azalması yaklaşık 15-35 kg arasında olmaktadır. Yüksek silisyum oranlı alüminyum alaşımları motor bloğu üretiminde kullanılmaktadır. Ancak bu alaşımlar silindir bölgesinde oldukça yüksek sıcaklıklara dayanamaktadırlar ve aşınma dirençleri düşüktür. Sürekli takviyeli

alüminyum matriksli kompozitler ek olarak 3-4.5 kg'lık ağırlıkta azalma avantajı sağlamaktadırlar. Bu hafiflik, motorun çalışma verimini ve ısı iletkenliğini artırmakta, boyut sabitliğini ve rijitliğinin daha iyi olmasını sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak motor sürtünmesi azalmaktadır.

Silindir alanı oldukça yüksek sıcaklıklara ve yanmış gazlara maruz kaldığından burada aşınma, yorulma ve sürtünme gibi özellikler önem kazanmaktadır /14/.



Şekil 5.2 Partikül Takviyeli Alüminyum Matriksli Silindir Gömleği ve Alüminyum Motor Bloğu

Tablo 5.1 Alüminyum Matriksli Kompozitten İmal Edilmiş Bazı Otomotiv Parça Uygulamaları /21/.

Takviye	Parça	Özellik	Yararı	Üretici
SiC _p	Piston	Aşınma direnci	Ağırlıkta azalma	Dural, Martin Marietta
Al ₂ O ₃ (f)	Segman yatağı ve piston kapağı	Aşınma direnci, yorulma ve sürtünme	Yüksek çalışma sıcaklığı	Toyoto, T&N, JPL, Mahle
SiC _p	Fren diski, kampana ve aksamı	Aşınma direnci	Ağırlıkta azalma	Dural, Lanxide
SiC _p	Aktarma şaftı	Özel rijitlik	Ağırlıkta azalma	GKN, Dural
SiC _w	Biyel kolu	Özel rijitlik, dayanım ve ısı genleşme	Karşıt kütlelerin azalması	Nissan
Al ₂ O ₃ (f)	Biyel kolu	Özel rijitlik, dayanım ve ısı genleşme	Karşıt kütlelerin azalması	Du-Pont, Chrysler
Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -C	Silindir gömleği	Aşınma direnci, genleşme	Uzun ömür, boyutta azalma	Honda
TiC _p	Piston, biyel kolu	Aşınma, yorulma	Ağırlıkta ve aşınmada azalma	Martin Marietta

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Partikül takviyeli alüminyum matriks kompozit malzemelerin mikroyapısal karakterizasyonu ve ısıt işlemlerin mekanik özellikler üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalarda vorteks ve basınçsız infiltrasyon yöntemleri kullanılarak laboratuvar şartlarında kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

6.1 Matriks ve Takviye Malzemesi Seçimi

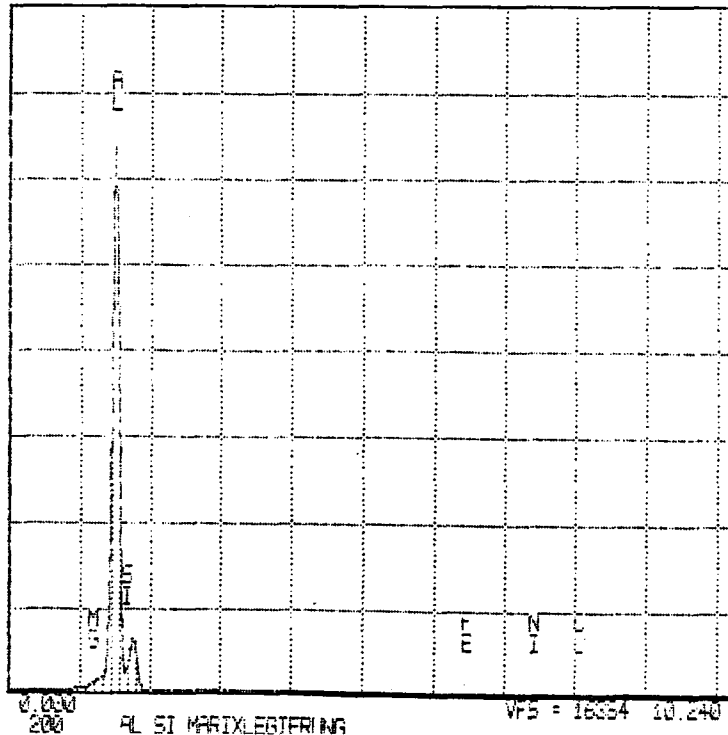
Matriks malzemesi olarak yapılan tüm dökümlerde kimyasal bileşimi Etial 145'e uygun bir alaşım seçilmiştir. Bu alaşıma katılan tüm alaşım elemanları Goodfellow firmasının ürün kataloğundan en düşük saflık oranı % 99,99 olacak şekilde temin edilmiştir. Her döküm sonrası matriks malzemesinin kimyasal bileşimi EDX (Energy Dispersive X-Ray Analyser) yardımıyla kontrol edilmiştir. Tablo 6.1'de matriks malzemesinin EDX ölçüm sonuçları ve çalışma şartları verilmiştir.

Tablo 6.1 Matriks Malzemesinin EDX Analiz Sonuçları

Malzeme			Al-Si Matriks Alaşımı	
Gerilim			15 kV	
Eğim Açısı			43.4 °	
Element	K-Oranı	ZAF	Atom %	Wt %
Al-K	0.806	1.045	86.13	84.25
Si-K	0.069	1.771	11.99	12.21
Fe-K	0.006	1.116	0.33	0.67
Ni-K	0.006	1.108	0.33	0.69
Cu-K	0.015	1.169	0.78	1.79
Mg-K	0.004	1024	0.44	0.39

IN 5400 MFI Stuttgart
Cursor: 0.000keV = 0

WED 18-FEB-96 11:37



Takviye malzemesi olarak 15 µm boyutlu ESK, Kempton firması tarafından üretilmiş SiC parçacıklar % 5 ve % 15 hacim oranlarında kullanılmıştır.

6.2 Üretim Yöntemleri

Bu çalışmada temel üretim yöntemi olarak Vorteks yöntemi seçilmiştir. Vorteks yönteminin diğer yöntemlere göre üretimsel avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi amacıyla basınçsız infiltrasyon yöntemiyle de parçacık takviyeli Alüminyum matriksli kompozit malzeme üretilmiş ve özellikler karşılaştırılmıştır.

6.2.1 Vorteks Yöntemi

Vorteks Yöntemiyle gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda deney düzeneği laboratuvar boyutlu bir indüksiyon fırınının bu amaca yönelik olarak dizayn değişikliğiyle elde edilmiştir. Bu düzende ergitme işlemleri MgO pota içerisinde Argon gazı atmosferinde gerçekleştirilmiş ve ısısal ölçümler optik pinometre ile yapılmış ve $\pm 2^\circ \text{C}$ hassasiyette kontrol altında tutulmuştur. Alaşım ergiyik sıcaklığı 590°C e ulaştığında fırın üst kapağı kaldırılarak metalin gazı alınmış daha sonra grafit kaplı çelik karıştırıcı MgO pota içerisine daldırılarak 750 devir/dk. lık hızla ergiyik karıştırılmıştır. Bu esnada Mg elementi ergiyik içerisine ilave edilmiştir. Mg' un tamamen eritilmesinden sonra SiC takviye elemanları ergiyik içerisine atılmış ve fırın sıcaklığı 750°C e çıkarılıp bu sıcaklıkta 5 dakika kalınmıştır. Daha sonra kompozit malzeme 100°C e ön ısıtılmış 9 mm çapındaki Cu kokiller içerisine dökülmüşlerdir.

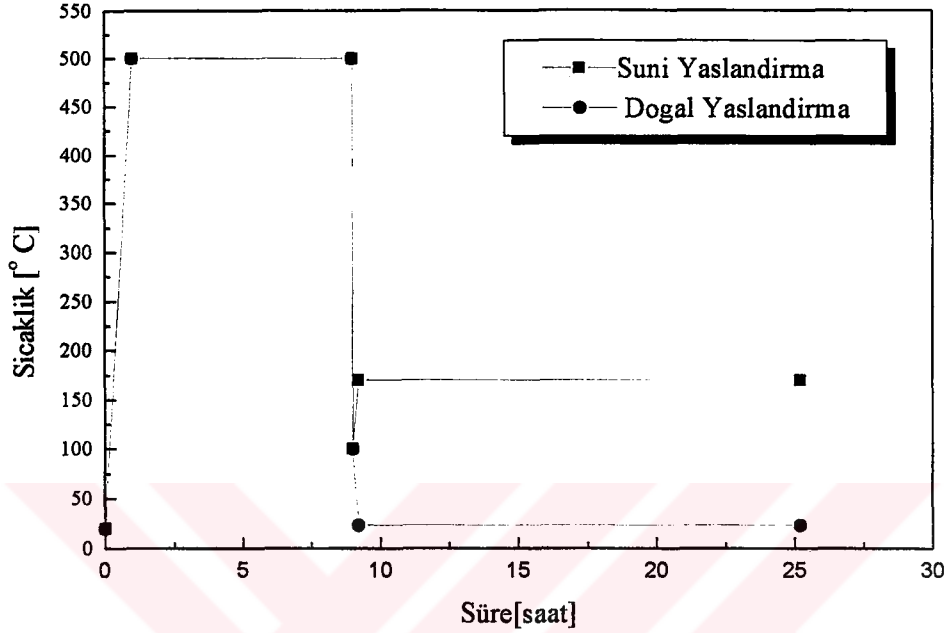
6.2.2 Basınçsız İnfiltrasyon Yöntemi

İnfiltrasyon yönteminde de Vorteks yönteminde kullanılan İndüksiyon fırını ve MgO pota kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak kullanacağımız SiC parçacıklar soğuk isostatik bir Schenk Trebel RM 400 tip preste 172 MPa basınçta preslenerek poröz bir önform halinde 600 torr (800 mbar) azot gaz basıncı altında daha önce önalaşım halinde dökülen matriks malzemesi ile 1200°C e getirilir. Sıvı ergiyik boşlukları doldurarak takviye elemanını ıslatır. Böylece kompozit malzeme elde edilir. Primex yöntemi olarak tescillenen bu yöntem özellikle elektronik malzemelerin üretimlerinde kullanılır.

6.3 Isıl İşlemler

Vorteks ve basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit malzemelere T6 ısıl işlemini uygulanmıştır. Isıl işlemler Leybold Heraus firması tarafından üretilmiş 1000°C e kadar ısıtılabilir $\pm 3^\circ \text{C}$ hassasiyete sahip bir fırında gerçekleştirilmiştir. Bu ısıl işlem 3 basamaklı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci basamak olan çözeltiye alma işlemi 500°C de 8 saat uygulandıktan sonra sertleştirme işlemi 100°C e ön ısıtılmış su banyosunda gerçekleştirildikten sonra 170°C de maksimum tavlama süresi 16 saat olacak şekilde suni olarak yaşlandırılmıştır. Bir diğer numune grubu ise doğal olarak yaşlanmaya bırakılmıştır. Her iki grupta da yeteri sayıda numune ile başlanarak belirli zaman aralıklarında hem mekanik hem de metalografik olarak numune alınarak zamansal olarak

ısıt işlemlerin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1' de ısıt işlem şematik olarak zamansal akışı gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Üretilen Kompozit Malzemelere Uygulanan Isıt İşlemlerin Şematik Gösterimi

6.4 Mekanik Deneyler

Üretilen kompozit malzemeler çekme deneyi ve sertlik deneylerince mekanik olarak test edilmişlerdir. Çekme deneyleri ASTM 8-81 no T68 'e uygun olarak 25 mm boy ve 6 mm çapında numunelerle Schenk Trebel RM 400 tip çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her bir numune tipi için 3 çekme numunesi hazırlanmış ve elde edilen değerlerde hata yüzdesi düşük tutulmaya çalışılmıştır. Sertlik ölçümleri ise kompozit malzemelerinin homojen olmayan mikroyapılarında hatalı ölçüm olasılığının minimum olduğu sistemin ortalama ve daha gerçek değerlerinin elde edildiği Brinell sertlik yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde 187,5 Kg yük ve 2,5 mm. lik bilya çapı kullanılmıştır.

6.5. Metalografik ve Fraktografik İncelemeler

Her iki yöntemle üretilen kompozit malzemeler gerek döküm yapılarında gerekse değişik ısıt işlem süre ve şartlarında optik metalografik inceleme amaçlı olarak hazırlanmışlardır. Çekme numuneleri ise çekme deneyi sonrası fraktografik olarak incelenmişlerdir.

Metalografik İncelemeler öncelikle Buehler firması tarafından imal edilen kesme cihazı yardımıyla numune alma işlemi ile başlar. Numunelerin soğuk olarak monte edilmesinden sonra optik metalografik incelemeler amacıyla zımparalama ve parlatma olmak üzere gruplandırılabilen iki kademeli olarak hazırlanmışlardır. Yumuşak matriks içerisinde sert seramik parçacıklar nedeniyle kompozit malzemelerin elle metalografik hazırlanması yerine yarı veya tam otomatik aletlerde çalışılması tavsiye edilmektedir./23/

Numunelerin zımparalama işlemleri 150 devir/dk. lık hızlarda yarı otomatik bir cihazda sırasıyla FEPA standartına göre 120, 180, 320, 500, 1000, 1200 numaralı SiC zımparalama kağıtları kullanılarak ıslak olarak gerçekleştirilmiştir. Bu numaralandırmaya karşılık gelen ortalama tane büyüklükleri Tablo 6.2 de görülmektedir.

Tablo 6.2 SiC Islak Zımpara Kağıtları için Tane Büyüklükleri/23/

FEPA Standartına Göre Zımpara Numarası	Ortalama Tane Büyüklüğü [µm]
-	325
60	260
80	196
100	154
-	137
120	120
-	110
150	95
180	75
-	71
220	65
240	59
280	52
320	46
400	35
500	31
600	26
800	22
1000	18
1200	15
2400	10
4000	5

Numunelerin parlatma işlemleri elmas pasta kullanılarak yarı otomatik cihazlarda 150 devir/ dk. lık hızlarda gerçekleştirilmiştir. Elmas pasta olarak Buehler firmasının sırasıyla 15, 6, 3, 1 µm boyutlarındaki ürünleri kullanılmıştır. Son parlatma ise SiO₂-Süspansiyon ile 150 devir/dk. lık hızda 30-60 sn.lik süre zarfında gerçekleştirilmiştir.

Optik Metalografik incelemeler Leica Metalux 3 tipi bir optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Matriks malzemesinin hassas intermetalik faz mikroskopik incelemesi yapılmadığından optik incelemelerde herhangi bir dağlama ayracı kullanılmamış, görüntüler direkt parlatılmış yüzeylerden alınmıştır.

Takviye edici SiC taneciklerinin dağılım karakterizasyonu Optik Leica Mikroskobuna bağlı Quantimet Q 500 IW tipi Görüntü analizatörü kullanılarak belirlenmiştir. Her bir değer için numune üzerinde değişik 10 nokta belirlenerek ortalama dağılımlar belirlenmiştir.

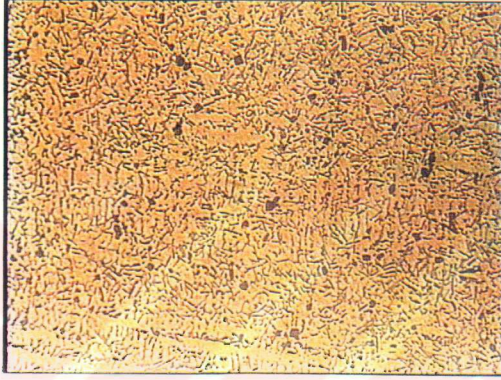
Fraktografik İncelemeler çekme deneyi sonrası kırılma yüzeylerinin Tarama Elektron Mikroskobunda incelenmesi olarak gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler JEOL 35 C tipi bir tarama elektron mikroskobunda 15 kV' luk bir ivmelendirme geriliminde ve 15 mm lik bir çalışma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Bu tip fraktografik ölçümler için tarama elektron mikroskoplarının en büyük avantajları yüksek ayırma güçleridir.

Tarama elektron mikroskobu ayrıca kendisine bağlı EDX sistemi yardımıyla analizlerde de kullanılmıştır. Parlatılmış yüzeyler üzerinden yapılan EDX ölçümlerinde monte malzemesinin iletken olmaması nedeniyle sputterlama yöntemiyle numune yüzeyleri karbon film ile kaplanmış ve iletken hale getirilip analizler alınmıştır.

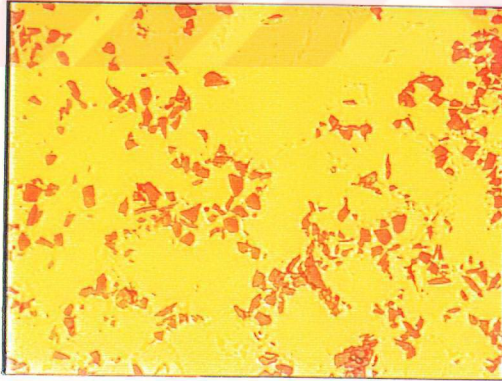
7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1. Vorteks Yöntemiyle Üretilen MMK Malzemeler

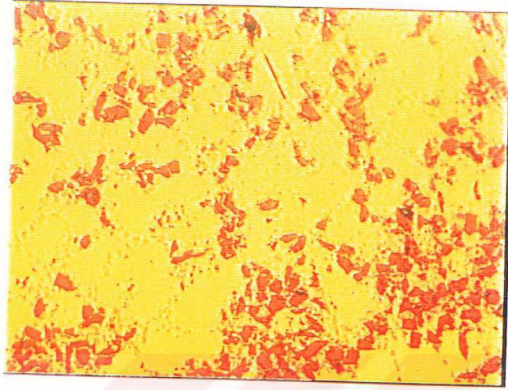
Vorteks Yöntemiyle üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin ve matris alaşımlarının döküm mikroyapı fotoğrafları Şekil 7.1, 7.2 ve 7.3’ de görülmektedir.



Şekil 7.1 Matris Alaşımının Döküm Yapısı

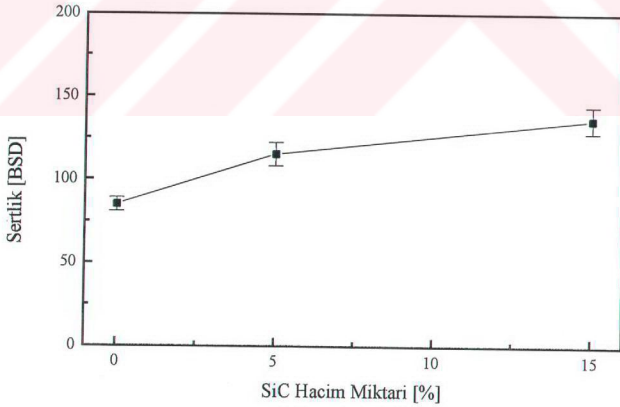


Şekil 7.2 % 5 SiC Takviyeli MMK’in Döküm Yapısı



Şekil 7.3 %15 SiC Takviyeli MMK'in Döküm Yapısı

Şekil 7.4' de Vorteks yöntemiyle üretilen MMK malzemelerin döküm yapılarında sertlik özelliklerine takviye elemanı (SiC) miktarının etkisi görülmektedir.

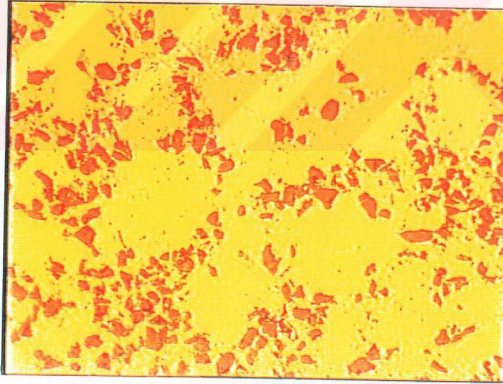


Şekil 7.4 SiC Hacim Miktarının Döküm Yapısındaki MMK Malzemelerin Sertliğine Etkisi

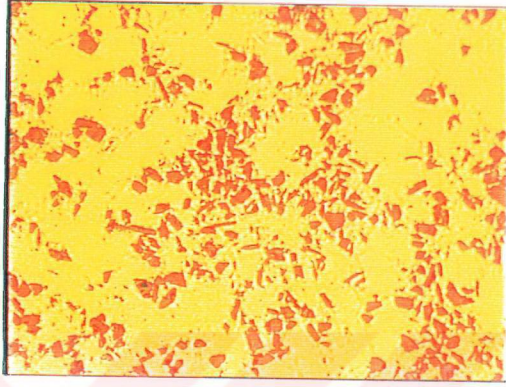
Uygulanan T6 ısıt işlemleri sonrası Matriks alaşımı ve % 5, % 15 SiC Takviyeli MMK malzemenin mikroyapı fotoğrafları Şekil 7.5, 7.6 ve 7.7’de görülmektedir.



Şekil 7.5 T6 Isıl İşlemi Sonrası Matriks Alaşımının Mikroyapısı

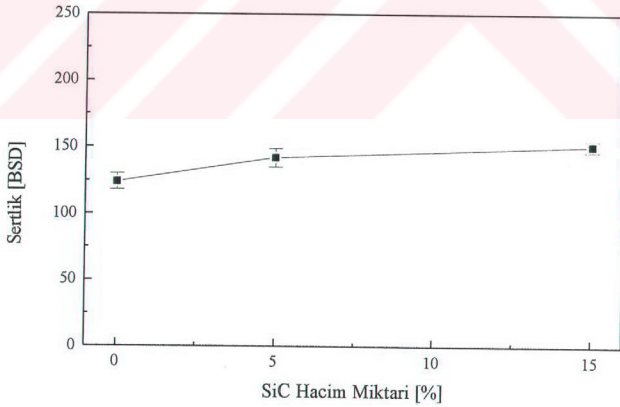


Şekil 7.6 T6 Isıl İşlemi Sonrası % 5 SiC Takviyeli MMK Mikroyapısı



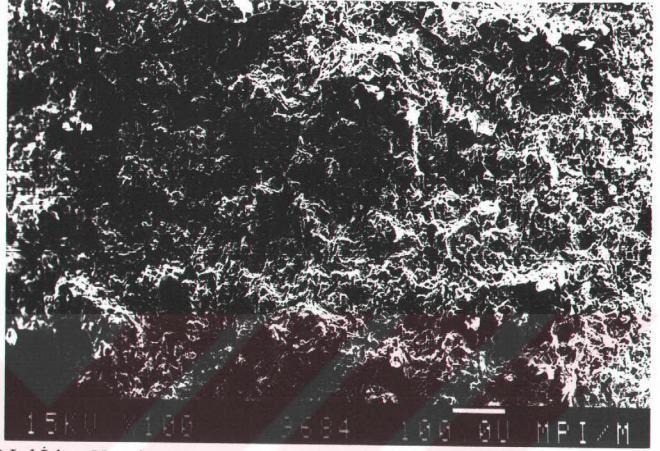
Şekil 7.7 T6 Isıl İşlemi Sonrası % 15 SiC Takviyeli MMK Mikroyapısı

T6 ısıtılmasının uygulamasından sonra ölçülen sertlik değerleri Şekil 7.8’ de verilmiştir.

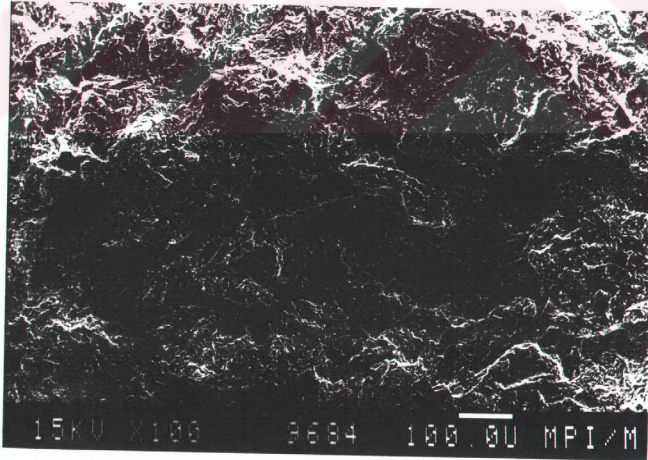


Şekil 7.8 T6 Isıl İşlemi Uygulanmış Matriks Alaşımı ve MMK’lerin Sertlik Değerlerine SiC Miktarının Etkisi

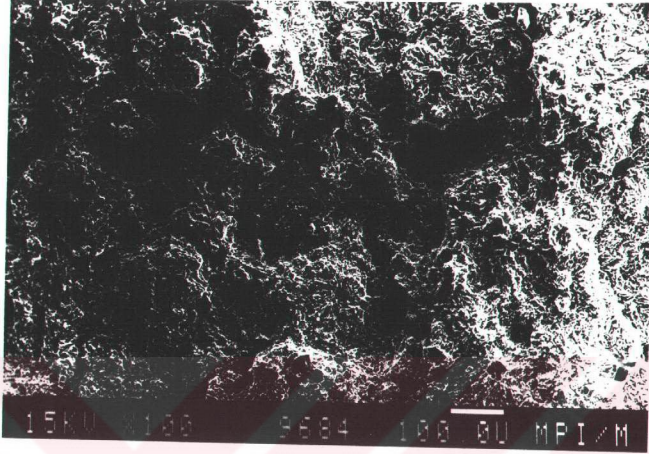
Isıl işlem uygulanmamış matriks alaşımı ve MMK' lerin yapılan çekme deneyi sonrası kırılma yüzeylerinin tarama elektron mikroskopik fotoğrafları Şekil 7.9, 7.10 ve 7.11'de görülmektedir.



Şekil 7.9 Isıl İşlem Uygulanmamış Matriks Alaşımının Kırılma Yüzeyi

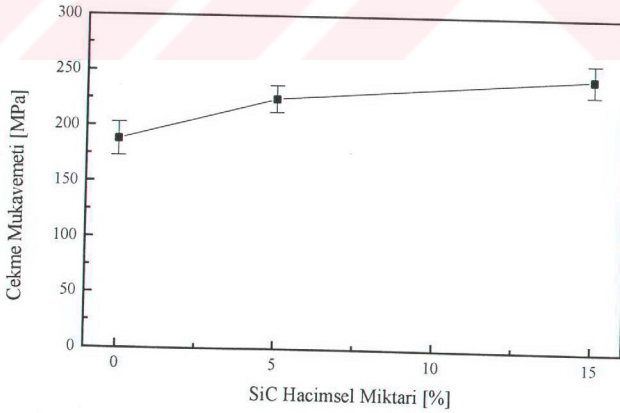


Şekil 7.10 Isıl İşlem Uygulanmamış % 5 SiC MMK'in Kırılma Yüzeyi

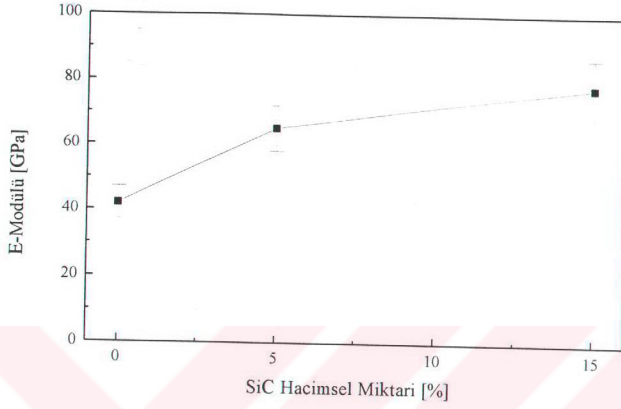


Şekil 7.11 Isıl İşlem Uygulanmamış % 15 SiC MMK'in Kırılma Yüzeyi

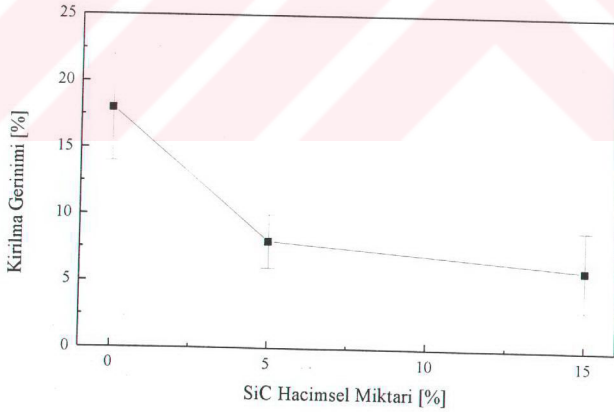
Isıl işlem uygulanmamış matrisin alaşımı ve MMK malzemelere uygulanan çekme deneyi sonrası elde edilen çekme mukavemeti, elastisite modülü ve kırılma gerinim değerlerinin SiC hacimsel miktarına bağlı olarak değişimi Şekil 7.12, 7.13 ve 7.14' de verilmiştir.



Şekil 7.12 Çekme Dayanımının SiC Miktarına Göre Değişimi

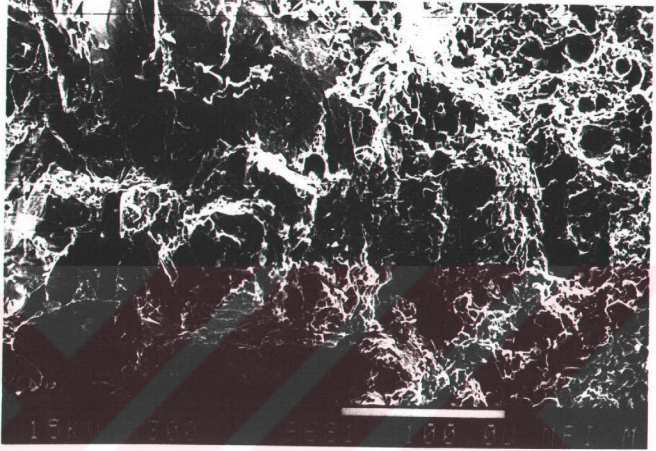


Şekil 7.13 E-Modülünün SiC Miktarına Göre Değişimi

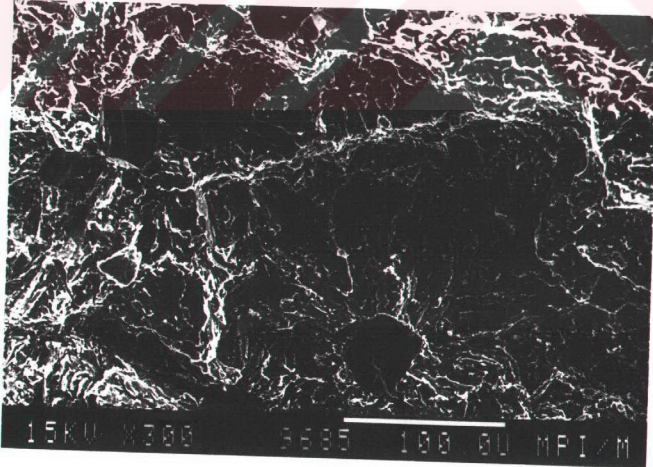


Şekil 7.14 Kırılma Geriniminin SiC Miktarına Göre Değişimi

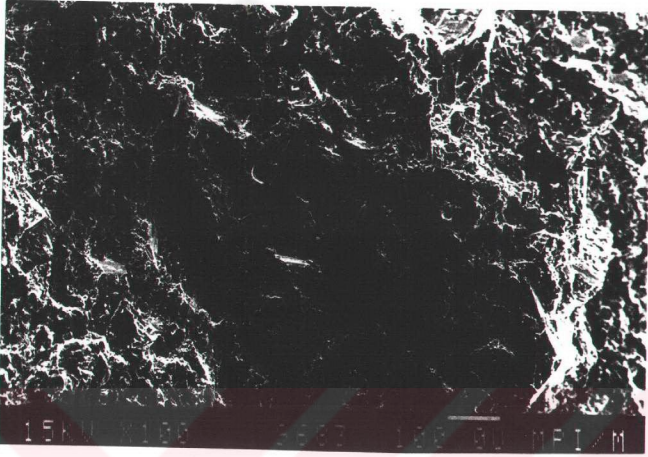
Uygulanan T6 ısıtılması sonrası çekme deneyi yardımıyla mekanik özellikleri belirlenen matriks alaşımı ve SiC takviyeli MMK'lerin kırılma yüzeyleri Şekil 7.15, 7.16 ve 7.17 görülmektedir.



Şekil 7.15 Matriks Alaşımının T6 Isıl İşlemi Sonrası Kırılma Yüzeyi

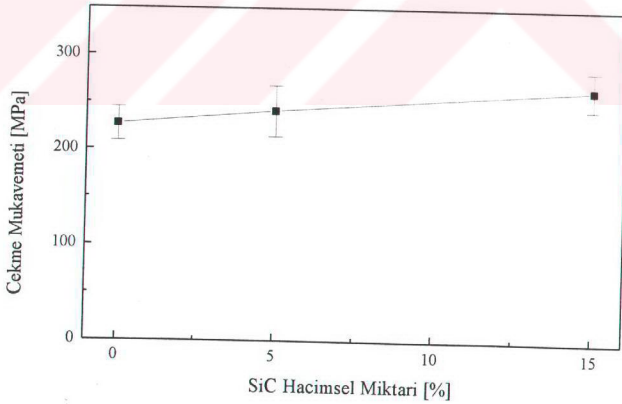


Şekil 7.16 %5 SiC Takviyeli MMK'in T6 Isıl İşlemi Sonrası Kırılma Yüzeyi

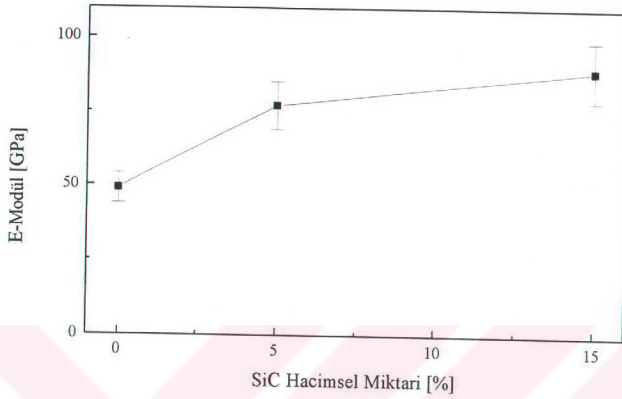


Şekil 7.17 % 15 SiC Takviyeli MMK'in T6 Isıl İşlemi Sonrası Kırılma Yüzeyi

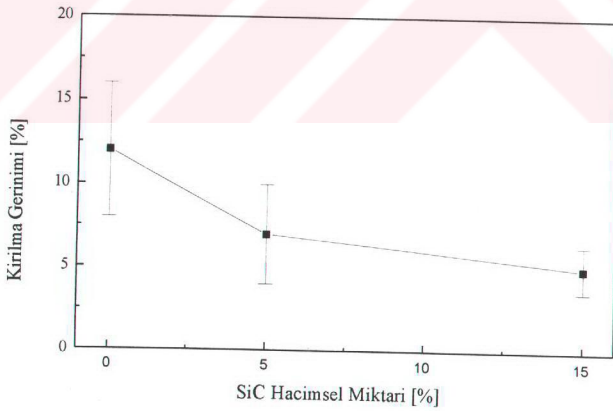
T6 ısıt işlemi sonrası çekme deneyi ile belirlenen mekanik özelliklerin SiC miktarına göre değişimi Şekil 7.18, 7.19 ve 7.20'de görülmektedir.



Şekil 7.18 T6 Isıl İşlemi Sonrası SiC Miktarına Göre Matriks Alaşımı ve MMK'lerin Çekme Mukavemetlerinin Değişimi

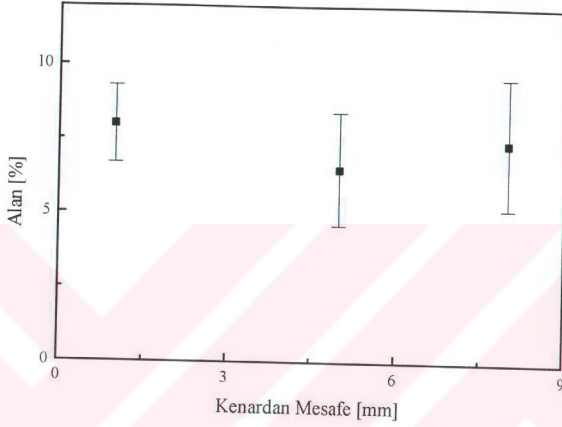


Şekil 7.19 T6 Isıl İşlemi Sonrası SiC Miktarına Göre Matriks Alaşımı ve MMK'lerin E-Modülünün Değişimi

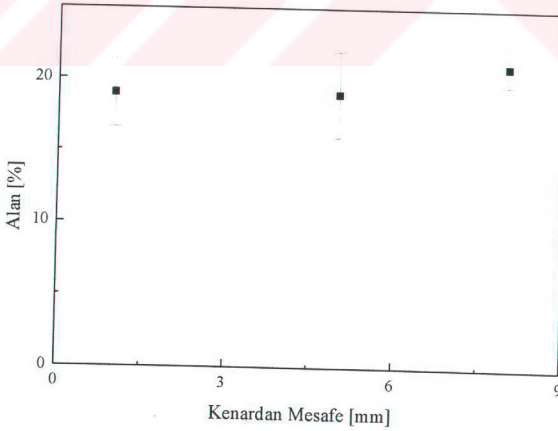


Şekil 7.20 T6 Isıl İşlemi Sonrası SiC Miktarına Göre Matriks Alaşımı ve MMK'lerin Kırılma Gerinimlerinin Değişimi

Vorteks yöntemi ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin dağılım kalitelerinin belirlenebilmesi amacıyla yapılan görüntü analizi çalışmalarında numunenin başlangıç, orta ve dış kenar bölgelerinde her bölgede 10 değişik noktada çalışılmıştır. Şekil 7.21 ve 7.22 de bu ölçüm sonuçları verilmiştir.



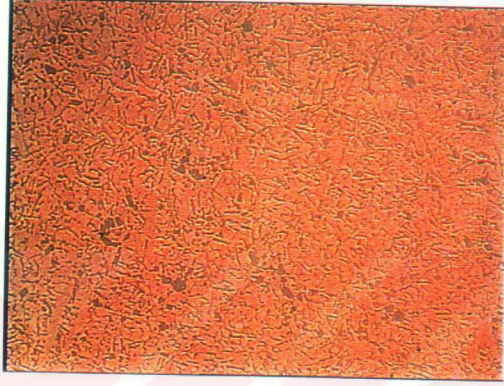
Şekil 7.21 % 5 SiC İçeren MMK'de SiC Dağılımı



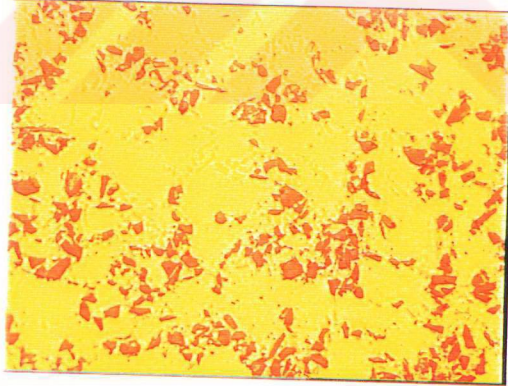
Şekil 7.22 % 15 SiC İçeren MMK'de SiC Dağılımı

7.2 Basınçsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen MMK Malzemeler

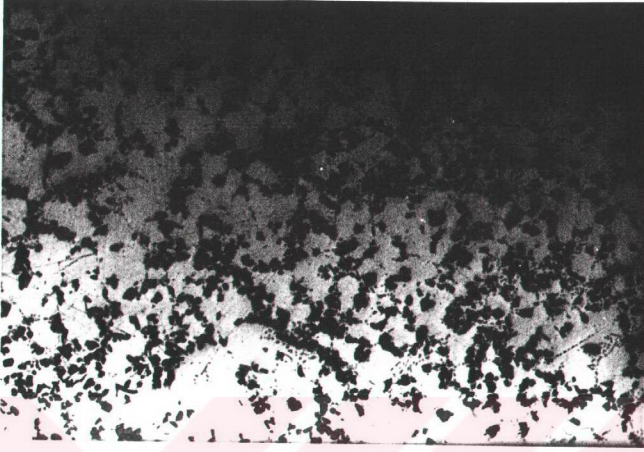
Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen matriks alaşımı ve MMK'lerin döküm yapıları Şekil 7.23, 7.24 ve 7.25'de görülmektedir.



Şekil 7.23 Matriks Alaşımının Döküm Yapısı

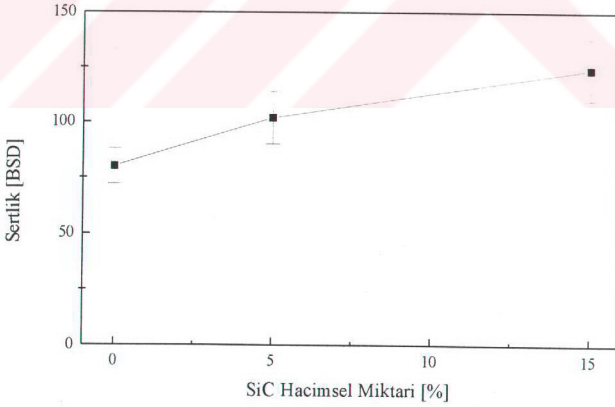


Şekil 7.24 % 5 SiC Takviyeli MMK'in Döküm Yapısı



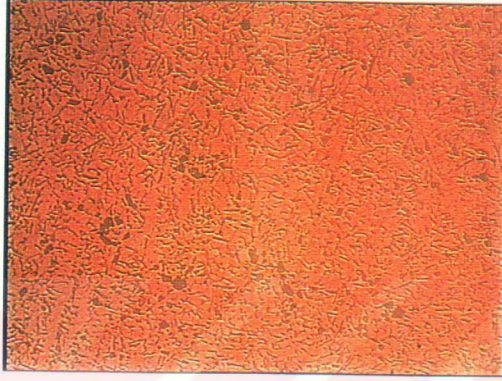
Şekil 7.25 %15 SiC Takviyeli MMK'in Döküm Yapısı

Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen MMK malzemelerin döküm durumundaki sertlik değerlerine SiC miktarının etkisi Şekil 7.26 verilmiştir.

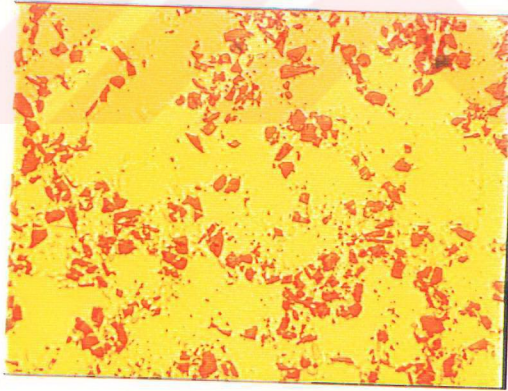


Şekil 7.26 Basınçsız İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilen MMK'lerin Sertliğine SiC Miktarının Etkisi

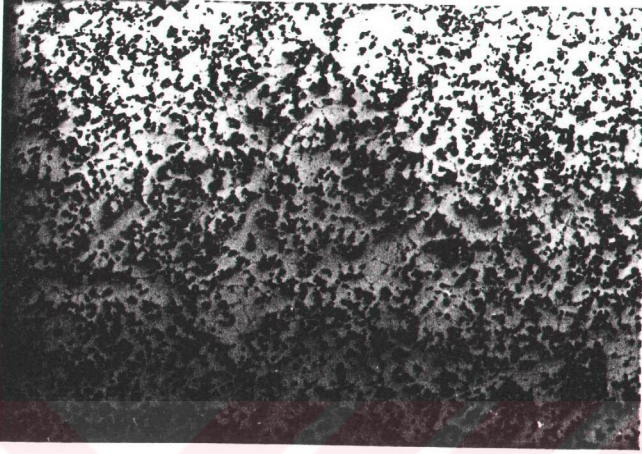
Uygulanan T6 ısıt işleme sonrası basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen matriks alaşımı ve MMK'lerin mikroyapıları Şekil 7.27, 7.28 ve 7.29' da görölmektedir.



Şekil 7.27 T6 ısıt işleme sonrası basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş Matriks Alaşımının Mikroyapısı

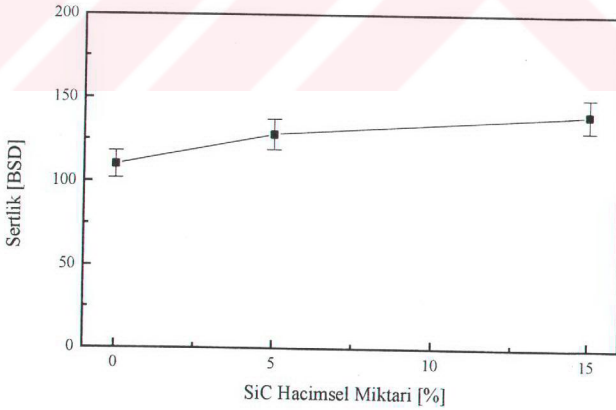


Şekil 7.28 T6 ısıt işleme sonrası basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş % 5 SiC Takviyeli MMK'ın Mikroyapısı



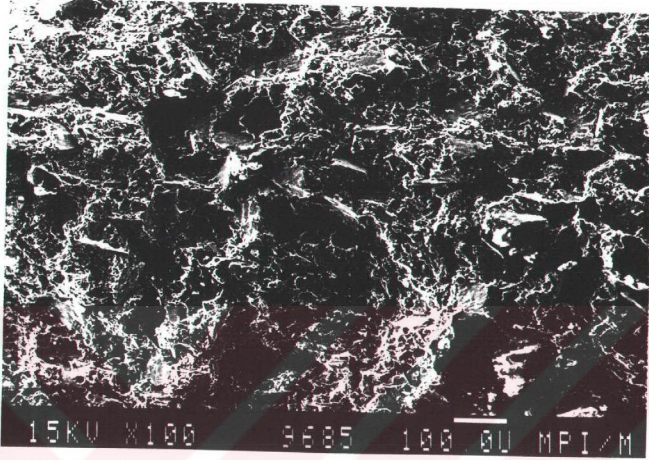
Şekil 7.29 T6 ısıt işlemleri Sonrası Basıncısız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilmiş % 15 SiC Takviyeli MMK'ın Mikroyapısı

T6 ısıt işlemleri sonrası basıncısız infiltrasyon yöntemiyle üretilen MMK'lerin sertlik değışimi Şekil 7.30'da görölmektedir.

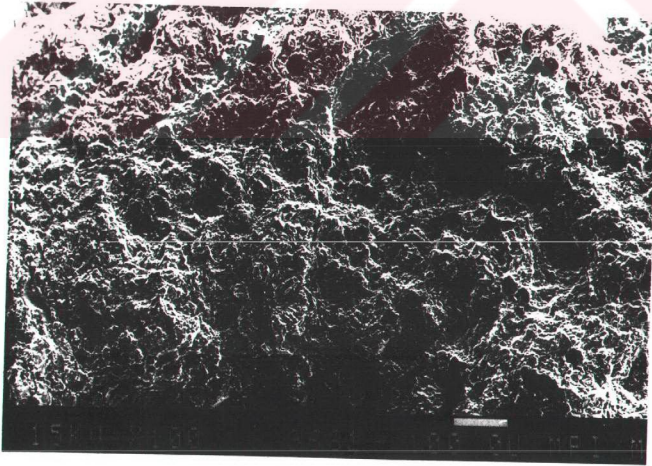


Şekil 7.30 T6 ısıt işlemleri Sonrası MMK'lerin Sertlik Değerlerinin SiC Miktarına Göre Değişimi

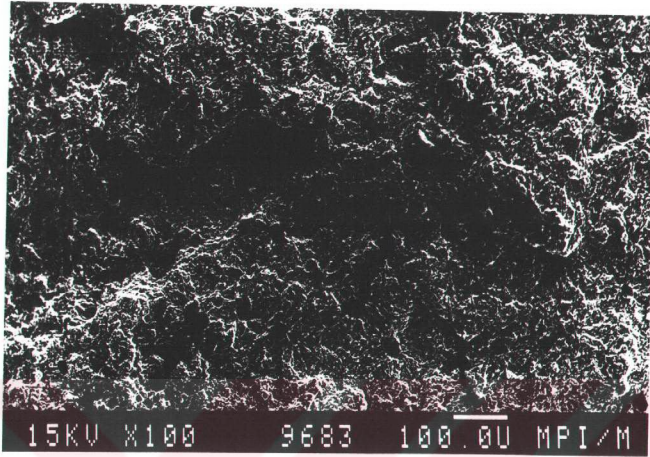
Isıl işlem uygulanmamış matriks ve MMK malzemelerin çekme deneyi sonrası oluşan kırılma yüzeyleri Şekil 7.31, 7.32 ve 7.33’de görülmektedir.



Şekil 7.31 Isıl İşlem Uygulanmamış Matriks Alaşımının Kırılma Yüzeyi

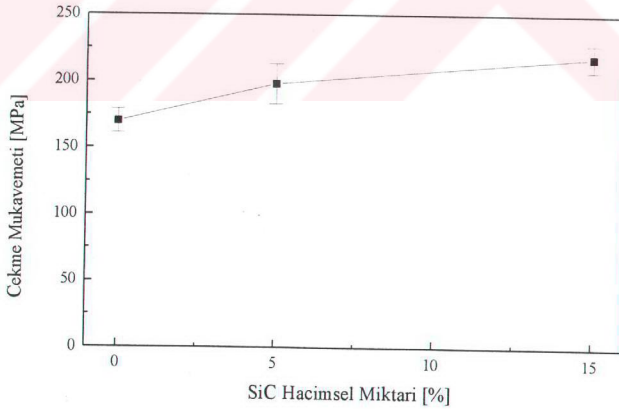


Şekil 7.32 Isıl İşlem Uygulanmamış % 5 SiC Takviyeli MMK'ın Kırılma Yüzeyi

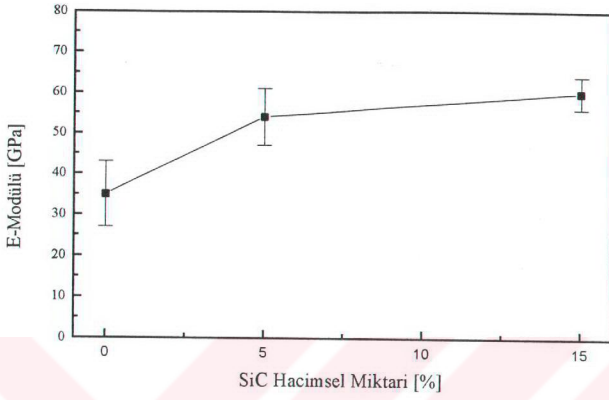


Şekil 7.33 ısıt işlem uygulanmamış % 15 SiC Takviyeli MMK'in Kırılma Yüzeyi

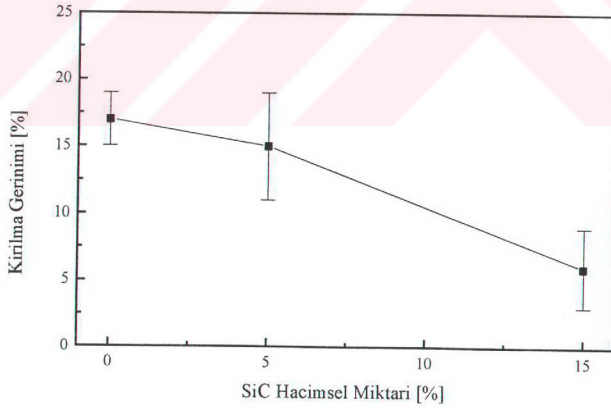
Basıncsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen MMK'lerin T6 ısıt işlemi uygulanmadan çekme deneyi ile belirlenen mekanik özellikleri Şekil 7.34, 7.35 ve 7.36'da verilmiştir.



Şekil 7.34 T6 ısıt işlemi uygulanmamış Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen MMK'lerin Çekme Mukavemetlerinin SiC Miktarına Göre Değişimi

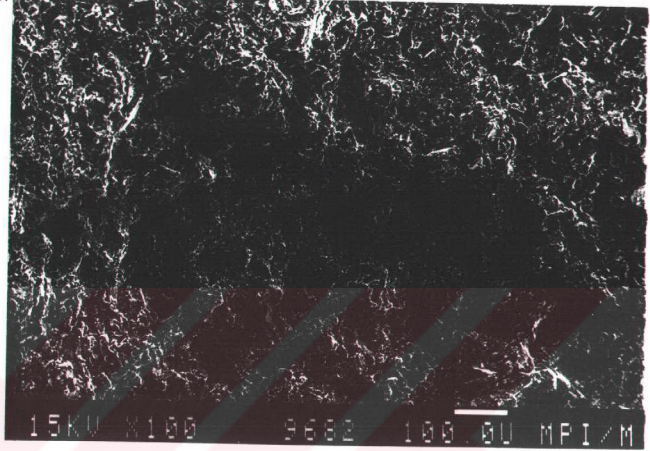


Şekil 7.35 T6 Isıl İşlemi Uygulanmamış Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen MMK'lerin Elastisite Modülünün SiC Miktarına Göre Değişimi

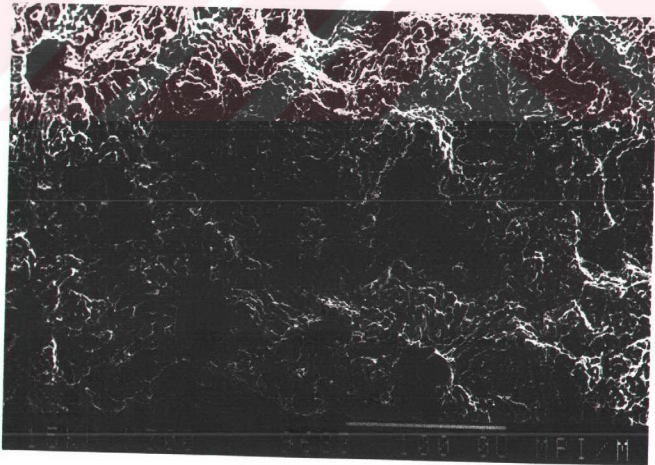


Şekil 7.36 T6 Isıl İşlemi Uygulanmamış Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen MMK'lerin Kırılma Geriniminin SiC Miktarına Göre Değişimi

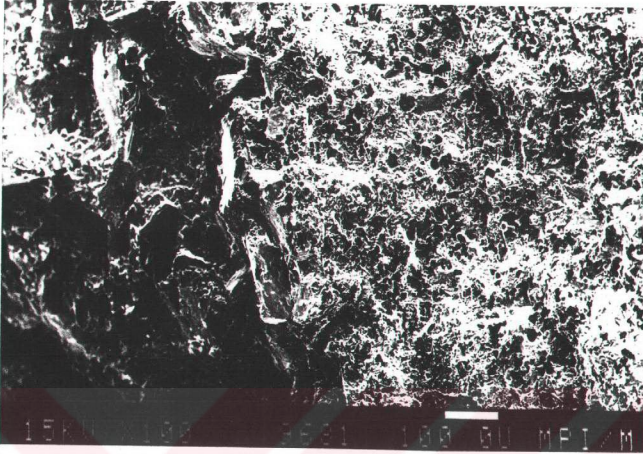
Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen matriks ve MMK'lerin T6 ısıt işlemleri uygulaması sonrası çekme deneyi ile oluşturulan kırılma yüzeyleri Şekil 7.37, 7.38 ve 7.39'da görülmektedir.



Şekil 7.37 T6 Isıl İşlemi Sonrası Basınçsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Matriks Alaşımının Kırılma Yüzeyi

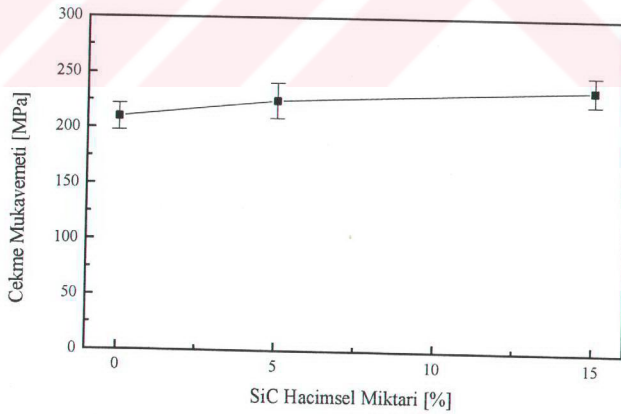


Şekil 7.38 T6 Isıl İşlemi Sonrası Basınçsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen %5 SiC Takviyeli MMK'in Kırılma Yüzeyi

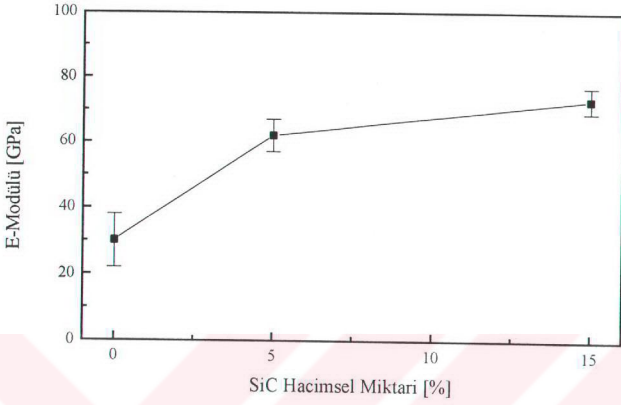


Şekil 7.39 T6 ısıt işlemleri Sonrası Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen %15 SiC Takviyeli MMK'nın Kırılma Yüzeyi

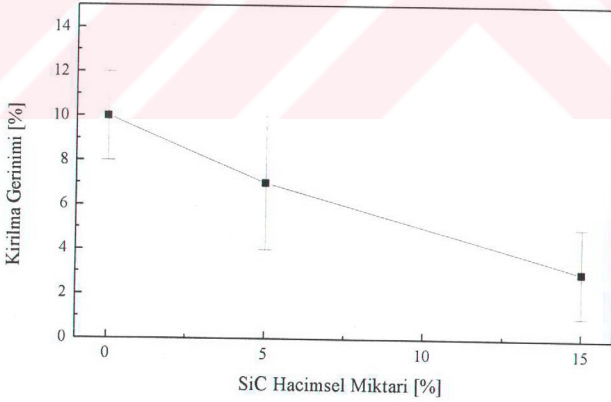
Basıncsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen MMK'lerin T6 ısıt işlemleri sonrası çekme deneyi ile belirlenen mekanik özellikleri Şekil 7.40, 7.41 ve 7.42'de görülmektedir.



Şekil 7.40 T6 ısıt işlemleri Sonrası MMK'lerin Çekme Mukavemetlerinin SiC Miktarına Göre Değişimi

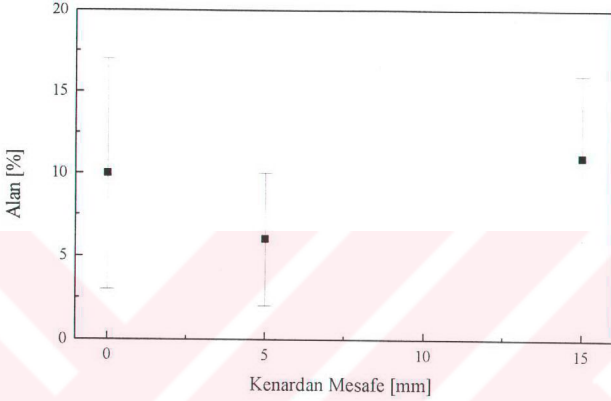


Şekil 7.41 T6 Isıl İşlemi Sonrası MMK'lerin E-Modüllerinin SiC Miktarına Göre Değişimi

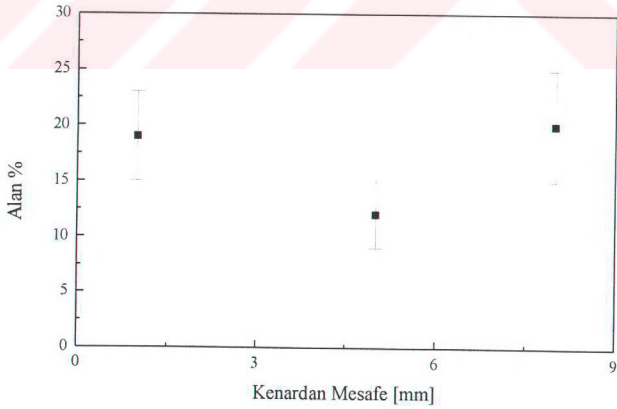


Şekil 7.42 T6 Isıl İşlemi Sonrası MMK'lerin Kırılma Geriniminin SiC Miktarına Göre Değişimi

Basınçsız infiltrasyon yöntemi kullanılarak üretilen %5 ve %15 SiC takviyeli MMK'lerin dağılım kalitelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan görüntü analizi sonuçları Şekil 7.43 ve 7.44'de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 7.43 %5 SiC İçeren MMK'de SiC Dağılımı



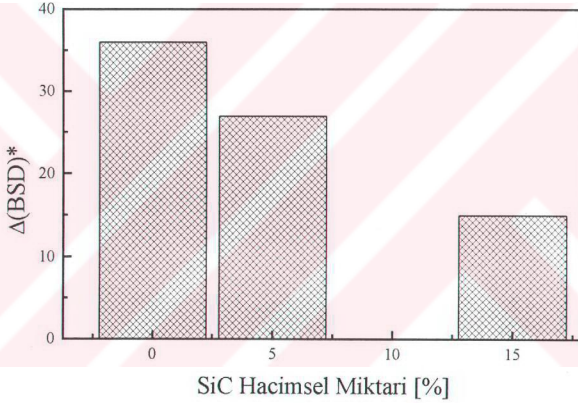
Şekil 7.44 %15 SiC İçeren MMK'de SiC Dağılımı

8. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

8.1 Ölçülen Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması

Ölçülen sertlik değerlerine bakıldığında gerek sadece döküm durumunda gerekse T6 ısıtım işlemi uygulanan numunelerde (bkz. Şekil 7.4, 7.8, 7.26 ve 7.30) artan SiC miktarıyla birlikte sertliklerin arttığı gözlenmiştir. Bu gözlem hem Vorteks yöntemiyle üretilen numuneler hemde Basıncsız infiltrasyon yöntemi ile üretilen numuneler için geçerlidir.

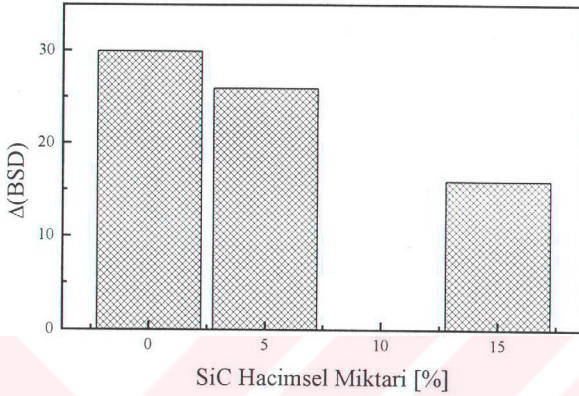
T6 ısıtım işleminin uygulamasından sonra elde edilen sertlik artışları Şekil 8.1'de Vorteks yöntemi için Şekil 8.2'de ise Basıncsız infiltrasyon yöntemi için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 8.1 Vorteks Yöntemi İle Üretilen MMK'lerde Isıl İşlem İle Sağlanan Sertlik Artışının SiC Miktarına Göre Değişimi

Şekil 8.1 ve 8.2 de görülebileceği gibi artan SiC miktarına bağlı olarak ısıtım işlemi ile sağlanan sertlik artışında hem Vorteks yönteminde hemde basıncsız infiltrasyon yönteminde bir azalma gözlenmiştir. Bu azalma literatürde de diğer araştırmacıların başka bir takviye elemanı ile yaptıkları çalışmalarda ortaya çıkmıştır./1/ Bu azalmanın iki temel nedeni olabilir. i) artan takviye malzemesi ile ısıtım işlemine cevap veren matris malzemesi miktarı azalmakta ve dolayısıyla matris fazının sertliğe olan katkısı azalmaktadır.

* Isıl işlem sonrası ve öncesi sertlik değerleri farkı



Şekil 8.2 Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilen MMK'lerde Isıl İşlem İle Sağlanan Sertlik Artışının SiC Miktarına Göre Değişimi

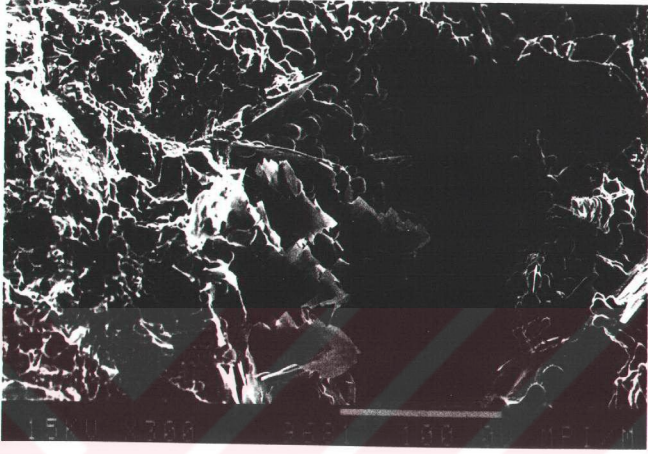
- ii) İkinci sebep olarak ise takviye elemanlarının matriksin yaşlanma hızını arttırması ve malzeme için en yüksek mukavemet ve sertliğin elde edildiği yaşlanma sıcaklıklarında matriks alaşımının aşırı yaşlanmasıdır.

Gerek ısıl işlemlerle elde edilen sertlik değerleri gerekse döküm yapısındaki sertlik değerleri karşılaştırıldığında Vorteks yöntemi ile elde edilen değerlerin basıncsız infiltrasyona göre elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak özellikle basıncsız infiltrasyon yöntemi ile üretilen numunelerde rastlanılan bazı durumlarda oldukça büyük boyutlu boşluklar olduğu kanısına varılmıştır. Şekil 8.3'de bu boşluklardan bir tanesi görülmektedir.

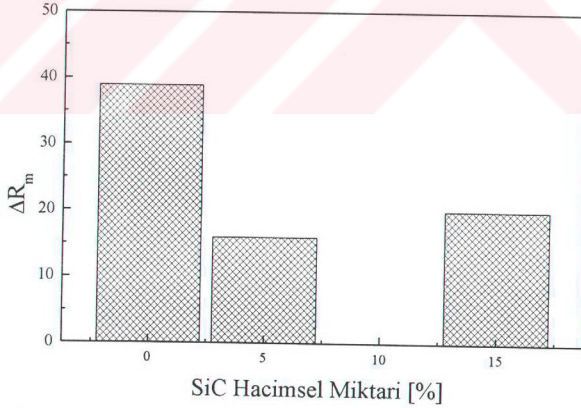
8.2 Çekme Deneylerinin Karşılaştırılması

Yapılan çekme deneyleri sonuçlarına göre artan SiC miktarına paralel olarak tüm çekme mukavemetlerinde bir artış gözlenmiştir. Isıl işlem ile sağlanan mukavemet artışları Şekil 8.4 ve 8.52'de karşılaştırılmıştır. Aynen sertlik değerlerinde olduğu gibi ısıl işlem ile sağlanan mukavemet artışı matriks alaşımlarında SiC içeren MMK'lere oranla daha fazladır. Sertlik artışında iki madde olarak açıkladığımız bu sebeplere takviye elemanlarını çökelti kinetiğine olan etkileri de eklemek mümkündür. Bu fazlaların yaşlanma kinetiğini

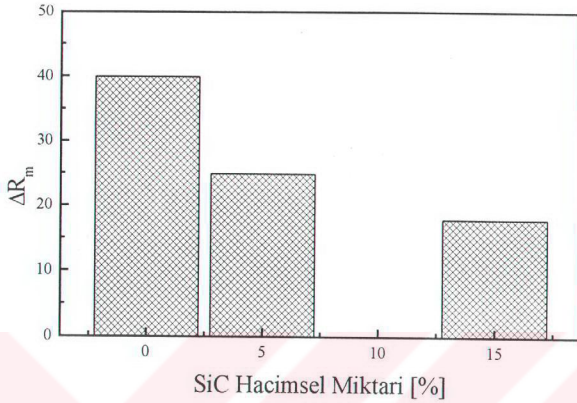
hızlandıkları ve kompozit malzemenin aşırı yaşlanmasına sebebiyet verdikleri bir çok çalışmada belirtilmiştir. /24,25,26/



Şekil 8.3 Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen MMK'de Boşluk



Şekil 8.4 Vorteks Yöntemiyle Üretilen MMK'larda Isıl İşlem İle Sağlanan Mukavemet Artımı



Şekil 8.5 Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen MMK'larda Isıl İşlem İle Sağlanan Mukavemet Artımı

Yapılan çekme deneylerinde elde edilen diğer değerler E-modülü ve Kırılma Gerinimi (Kopma uzaması) klasik fiziksel ve mekanik metalurjik bilgiler doğrultusunda değişime uğramıştır.

8.3 Görüntü Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Vorteks ve basıncsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen numunelerde dağılım kalitesini karşılaştırmak amacıyla yapılan görüntü analizi çalışmalarında; vorteks yöntemiyle üretilen numunelerde SiC dağılımının numune üzerinde daha homojen olduğu saptanmıştır (Şekil 7.21, 7.22 ve 7.43, 7.44). Basıncsız infiltrasyon yönteminde ise gerek %5'lik SiC gerekse %15' lik SiC miktarlarında numunenin iç kısımlarına oranla kenar kısımlarda yoğunluk belirlenmiştir. Ayrıca basıncsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen numunelerde kenardan aynı mesafedeki ölçümlerde birbirinden oldukça farklı değerler elde edilmiştir. Bu durum basıncsız infiltrasyon yönteminde SiC dağılımının inhomojenitesini açıkça ortaya koymaktadır.

8.4 Kırılma Yüzeylerinin İrdelenmesi

Tarama Elektron Mikroskobu yardımıyla incelenen kırılma yüzeylerinde artan SiC miktarına paralel olarak hem Vorteks yönteminde hem de basınçsız infiltrasyon yönteminde kırılma tipi sünek kırılmadan gevrek kırılmaya doğru değişim göstermiştir. Mikroyapıda alüminyumca zengin bölgelerde ise sünek tip kırılmalar yüksek SiC miktarlarında bile gözlenmiştir.



9. SONUÇLAR

Metal matriksli kompozit malzemelerin gelişen teknoloji ile birlikte endüstrideki kullanım oranı artmaktadır. Uzun, havacılık ve otomotiv sanayinin büyük ilgisini çeken metal matriksli kompozit malzemelerinin üretim yöntemlerinin ve özelliklerinin incelenmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmada, vorteks yöntemi ve basınçsız infiltrasyon yöntemi kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda:

- Her iki üretim yönteminde de artan SiC miktarına bağlı olarak gerek T6 ısıtma işlemi uygulanmış gerekse uygulanmamış durumda sertlik ve çekme mukavemetinde artış gözlenirken kırılma gerilimi (kopma uzaması) değerlerinde ise azalma görülmüştür.
- Isıtma işlemi uygulanarak sağlanan sertlik ve mukavemet artış değerleri takviye elemanı içermeyen matriks alaşımlarında daha efektif olarak ortaya çıkmıştır. Kompozit malzemelerde artan SiC miktarıyla ısıtma işlemi ile sağlanan artış değerinde düşüş belirlenmiştir. Bu düşüşün sebebi iki temel nedene bağlanabilir. Bu sebeplerden birincisi ; artan takviye malzemesi miktarı ile ısıtma işlemine cevap veren matriks malzemesi miktarı azalmakta ve dolayısıyla matriks fazının sertlik ve mukavemete olan katkısının azalmasıdır. İkincisi ise takviye elemanlarının matriksin yaşlanma hızını arttırması ve malzeme için en yüksek sertlik ve mukavemetin elde edildiği yaşlanma sıcaklıklarında matriks alaşımının aşırı yaşlanmasıdır.
- Vorteks yöntemi kullanılarak üretilen kompozit malzemeler basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit malzemelere oranla daha sert ve çekme mukavemet dayanımı daha yüksektirler. Bunun sebebi olarak basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozitlerde belirlenen boşluklardır.
- Görüntü analizi çalışmalarında Vorteks yöntemiyle üretilen kompozitlerin SiC dağılımlarının basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit malzemelerinkine oranla daha homojen oldukları belirlenmiştir.
- Her iki üretim yönteminde de artan SiC miktarı ile kırılma yüzeylerinde gevrek kırılma tipi ağırlıklı olarak gözlemlenmiştir.

10. REFERANSLAR

1. AKBULUT H., DURMAN M., YILMAZ F., "Vorteks Metodu ile Üretilen Al_2O_3 Takviyeli Al-Si Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Davranışları", 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Cilt 2, s. 1329-1334.
2. LITTLE J.A., McCracken D., SIMMS N., "High Temperature Oxidation of a Particulate SiC-Aluminium Metal Matrix Composite", Journal of Materials Science Letters, 1988, s. 1037-1039
3. Metals Handbook, Vol. 2, s. 903-912
4. YILMAZ F., AKBULUT H., DURMAN M., "Seramik Partiküllerle Takviye Edilmiş Al-Cu Alaşımların İncelenmesi", Tübitak-MAG 953, Proje Raporu, 1993
5. KAINER K.U., "Partikel, Fasern und Kurzfasern Zur Verstärkung von Metallischen Werkstoffen", Metallische Verbundwerkstoffe, Editör Kainer K.U., DGM Informationsgesellschaft Verlag, 1994, s. 43-64
6. VINSON J.R., SIERAKOWSKI R.L., "The Behavior of Structures Composed of Composites Materials", Martinus Nijhoff Publishers, 1986, s. 1-10
7. ÖNAL G., "Metal Matrisli Kompozitler" Makina Market, Eylül 1996, s. 128-134
8. SÖZBİR Ü., "SiC_p Takviyeli AlMg1SiC Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi", Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bitirme Ödevi, 1994
9. ÜNAL A., "Kompozit Malzemeler Ders Notları" YTÜ 1995
10. KELEŞOĞLU E., "Metal Matrisli Kompozitlerin Isıl İşlemleri" Isıl İşlemler 2, Seminer Çalışması, 1993
11. SCHRÖDER J., "Partikelverstärkte Leichtmetall-Verbundwerkstoffe", Editör Kainer K.U., DGM Informationsgesellschaft Verlag, 1994, s. 193-219
12. DEGIŠCHER H.P., "Schmelzmetallurgische Herstellung von Metallmatrix-Verbundwerkstoffen" Editör Kainer K.U., DGM Informationsgesellschaft Verlag, 1994, s. 139-169
13. KİNIKOĞLU S., "Yüksek Teknoloji Seramikleri Ders Notları" YTÜ 1994
14. DENİZ S., "Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretimi", Yöneten Prof.Dr.Ahmet Topuz, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1994
15. ÇIRAKOĞLU M., TOY Ç., TEKİN A., SCOTT D., "AlN-B₄C Kompozitlerinin Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretim Şartlarının İncelenmesi" 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Cilt 2, s. 1307-1315
16. YÜCEL O., İNAL O., GÖLLER G., TEKİN A., "Metal/Seramik Kompozitlerin Şok Sıkıştırma Yöntemi ile İmalı", 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Cilt 2, s. 1295-1305
17. OH S.Y., CORNIE J.A., RUSSELL K.C., "Wetting of Ceramic Particulates with Liquid Aluminum Alloys: Part I Experimental Techniques" Metallurgical Transactions, 1989, Vol 20, s.533-541
18. BRONSVELD P.M., BRUINSMA P., HOSSON DE J.Th., "Microstructural Analysis of Hot Isostatically Pressed Al-SiC", Materials Science and Engineering, A135, 1991, s.77-81

19. HANUMANTH G.S., IRONS G.A., " Particle Incorporation by Melt Stirring for the Production of Metal Matrix Composites", Journal of Materials Science, 1993, Vol 28, s. 2459-2465
20. SAMUEL A.M., LIU H., SAMUEL F.H., " On the Castability of Al-Si/SiC Particle Affecting Fluidity and Soundness", Composites Science and Technology, 1993, Vol 49, s. 1-12
21. PRADEEP R., " Cast Aluminum Matrix Composites for Automotive Applications", JOM, 1991, s. 10-15
22. CÖCEN Ü., " Süreksiz SiC Katkılı Alüminyum Matriksli Kompozitler", Metalurji Dergisi, Sayı 95, 1995, s. 54-60
23. PETZOW G., "Metallographisches Ätzen", Materialkundlich-technische Reihe; 1, ISBN3-443-23014-8 s. 66-69
24. NİEH T.G., KARLAK R.F., Scripta Metallurgica, 1984, Vol. 18, s. 25-32
25. PAPAİZAN J.M., Metallurgical Trans., 1988, 19 A, S. 2945-2955
26. AKBULUT H., "Alümina Fiber Takviyeli Al-Si MMK'lerin Üretimi ve Mikroyapı-Özellik İlişkilerinin İncelenmesi", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1994

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı-Soyadı : Ebru KARAGÖZ
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul, 09.05.1974

EĞİTİM DURUMU

1988-1991 Beşiktaş Kız Lisesi
Metalurji Mühendisi 1991-1995 Yıldız Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Metalurji Mühendisliği Bölümü
1995- Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Üretim Bilim Dalı
Yüksek Lisans Çalışması

MESLEKİ HAYAT

1996- Hidroser Hidrolik-Pnömatik Ekipmanları San. Ve Tic. A.Ş.
İthalat Sorumlusu

MÜKAFAT VE ONURLAR

1991 Beşiktaş Kız Lisesi Dönem Üçüncüsü
1995 Yıldız Teknik Üniversitesi Dönem Üçüncüsü
Kimya-Metalurji Fakültesi Dönem Birincisi
Metalurji Mühendisliği Bölümü Dönem Birincisi

YABANCI DİLLER

Almanca (Okuma, Yazma, Konuşma) Temmuz 1997- Haziran 1998 Stuttgart/Almanya
Goethe Enstitüsü sertifikalarıyla belgelenmiş.

İngilizce (Orta seviyede Okuma, Yazma, Konuşma)

