

**Al-TiC_p KOMPOZİTLERİNİN Al-Ti ERİYİKLERİ
İÇİNDE GRAFİT ÇÖZÜNDÜRÜLEREK
ÜRETİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. A. Murat KARAAĞAÇ
(506960074011)**

100929

100929

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Ocak 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2000**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Niyazi ERUSLU (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. H. Erman TULGAR (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)

OCAK 2000

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde fikir ve önerilerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. M. Niyazi ERUSLU'ya teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında yardımlarını gördüğüm sayın Dr. Necip ÜNLÜ'ye, Met. Yük. Müh. Ahmet GÜNER'e ve numunelerin hazırlanması ve incelenmesinde yardımcı olan Met.Yük. Müh. Selim YIDIRIM'a teşekkür ederim. X-ışınlarının çekiminde yardımcı olan Met. Yük. Müh. Engin MAYTALMAN'a teşekkür ederim.

Numunelerimin dökümü sırasında yardımcı olan değerli arkadaşım Met. Müh. Ümit BÜYÜKFIRAT'a teşekkür ederim.

Ocak 2000

Met. Müh. A. Murat KARAAĞAÇ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
SEMBOL LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. Giriş	3
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.3. Takviye Malzemeleri	5
3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER	7
3.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Özellikleri	7
3.2. Metal Matrisli Kompozit Üretiminde Kullanılan Takviye Fazlar	9
3.3. Metal Matrisli Kompozit Üretiminde Matris Malzemesinin Seçimi	14
3.4. Metal Matrisli Kompozitlerde Matris-Takviye Arayüzey İlişkileri	14
3.5. Arayüzey Bağ Türleri	15
3.5.1. Kimyasal Bağ	15
3.5.2. Mekanik Bağ	17
3.6. Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	20
3.7. Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları	21
4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	25
4.1. Toz Metalurjisi Yöntemi	26
4.2. Döküm Yöntemi	26
4.3. In-Situ Üretim Yöntemi (Takviye Fazın Ergimiş Metal İçinde Kendiliğinden Oluşturulması)	28
4.3.1. Karışık Tuz Reaksiyonları Yöntemi	29
4.3.2. DIMAX (Yönlendirilmiş Metal Oksidasyonu veya Nitrasyonu)	29
4.3.3. XD™ Yöntemi (Sıvı-Katı Reaksiyonları)	29
4.3.4. Gaz Enjeksiyonu Yöntemi ile Al-TiC Kompozit Üretimi	30
4.3.5. Elementel Karbon İlavesi ile TiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi	34

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	37
5.2. Deneylerde Kullanılan Aletler	37
5.3. Sıvı Al-Ti Alaşımları İçinde Grafit Çözündürerek Al-TiC Kompozitlerin Üretilmesi	37
5.4. Metalografi Çalışmaları	38
6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMESİ	39
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	47
EKLER	49
ÖZGEÇMİŞ	50



TABLO LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1.	Polimer, seramik ve metal matrisli kompozit malzemelerin genel özellikleri	5
Tablo 2.2.	Takviye elemanı şekline göre kompozitlerden beklenen genel özellikler	6
Tablo 3.1.	Takviye malzemeleri ve uygulama alanları	10
Tablo 3.2.	Seramik takviye malzemelerinin özellikleri.....	15
Tablo 3.3.	Bazı otomotiv kompozit malzemeleri ve özellikleri	22
Tablo 3.4.	Metal matrisli kompozitlerin kullanım alanları	23
Tablo 3.5.	Otomotiv sanayiinde yaygın olarak kullanılan metal matrisli kompozit malzemeler	24
Tablo A1.	1200-1300 °C sıcaklıkları arasında grafit çözündürülmüş ürünün X-ışınları difraktogramına ait 2 θ ve d değerleri.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Kompozit malzemelerin bileşenlerine göre sınıflandırılması	4
Şekil 3.1 : Karbür, borür, nitrür ve oksitlerin ergime sıcaklıkları	12
Şekil 3.2 : 46 adet bileşiğin oluşum serbest enerjileri	13
Şekil 3.3 : Bileşiklerin ergime sıcaklığı ile oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki	13
Şekil 3.4 : Sıvı, katı ve gaz fazlarının temas açısı ve arayüzey kuvvetlerinin ıslatma olayına etkisi	16
Şekil 4.1 : XD TM yönteminin şematik gösterimi	30
Şekil 4.2 : Gaz enjeksiyon yönteminin şematik gösterimi	31
Şekil 4.3 : CH ₄ ayrışmasının sıcaklık ile değişimi	32
Şekil 4.4 : Al-10Ti ile C arasındaki denge diyagramı	33
Şekil 4.5 : Sıcaklığın fonksiyonu olarak oluşum serbest enerjisi değişimi	34
Şekil 4.6 : Al-Ti-C üçlü denge diyagramı	36
Şekil 5.1 : TiC takviyeli alüminyum kompozitlerinin üretiminde kullanılan deney düzeneği	38
Şekil 6.1 : Grafit çözündürülmüş Al-10Ti alaşımının optik mikroskop görüntüsü (200 µm, %0,5 HF ile dağlanmış)	39
Şekil 6.2 : Al-10Ti alaşımına ait SEM elektron mikroskop görüntüsü	40
Şekil 6.3 : Al-10Ti alaşımında bulunan Al ₃ Ti iğneciğinin EDS analizi	41

Şekil 6.4 : 1200-1300°C sıcaklıkları arasında 30 dak. grafit çözündürülmüş Al-10Ti alaşımının optik mikroskop görüntüsü (200 µm, %0,5 HF ile dağlanmış)	41
Şekil 6.5 : 30 dak. grafit çözündürülmüş Al-10Ti alaşımının optik mikroskop görüntüsü (500 µm, %0,5 HF ile dağlanmış)	42
Şekil 6.6 : 30 dak. grafit çözündürülmüş Al-10Ti alaşımının optik mikroskop görüntüsü (800 µm, %0,5 HF ile dağlanmış)	42
Şekil 6.7 : a) Al-10Ti alaşımına ait X-ışınları analizi	
b) 1200-1300°C sıcaklıkları arasında 30 dak. grafit çözündürüldükten sonra elde edilen X-ışınları analizi	43
Şekil 6.8 : 1200-1300 °C'da 30 dak. grafit çözündürüldükten sonra elde edilen numunelerin SEM elektron mikroskop görüntüsü	44
Şekil 6.9 : 1200-1300 °C'da 30 dak. grafit çözündürüldükten sonra elde edilen numunede oluşan ikinci faz (TiC) üzerinden alınan EDS analizi sonucu	44

SEMBOL LİSTESİ

ε	: Isıl uyumsuzluk gerilmesi
$\Delta\alpha$	: Isıl genleşme katsayısı arasındaki fark
ΔT	: Sıcaklık değişimi
γ_{kg}	: Katının yüzey gerilimi
γ_{ks}	: Sıvı/katı arayüzey enerjisi
γ_{sg}	: Sıvı metalin yüzey gerilimi
W_{ks}	: Adhezyon işi
W_{kk}	: Sistemin soğutulması sonucunda arayüzeydeki adhezyon işi
$f(\Delta\alpha)$	: Arayüzey genleşmelerinin gözönüne alındığı sistemlerde matris/takviye fazı arasındaki termal genleşme farklılıklarının fonksiyonu
R	: Gaz sabiti (J/mol K)
T	: Sıcaklık (K)
K	: Denge sabiti
P_{CH_4}	: Metanın kısmi basıncı
P_{H_2}	: Hidrojenin kısmi basıncı
ΔG	: Serbest enerji değişimi (J/mol K)

Al-TiC_p KOMPOZİTLERİNİN Al-Ti ERİYİKLERİ İÇİNDE GRAFİT ÇÖZÜNDÜRÜLEREK ÜRETİLMESİ

ÖZET

Aluminyum hafifliği, buna karşın yüksek spesifik mukavemeti, korozyon direnci, geri kazanımının teknik ve ekonomik cazibesi ile başta uçak ve otomotiv sanayi olmak üzere, teknolojik gelişmelerde anahtar bir malzeme konumundadır. Aluminyum ve alaşımları tüm cazibelerine karşın bazı ileri teknoloji malzeme uygulamalarındaki beklentilere cevap verememektedir. Düşük yoğunluğun kritik olduğu durumlarda tasarım mühendislerinin ilk seçeneği yine aluminyum matrisli kompozit malzemelerdir. Bunlar arasında partikül takviyeli olanlar, monolitik aluminyum ve alaşımlarına kıyasla mütavazi üstünlükler sağlamalarına karşın, düşük proses maliyetleri ve karakteristik izotropik özellikleri ile son yıllarda büyük ilgi görmüştür.

Aluminyum matriste yaygın olarak kullanılan takviye malzemeleri karbürler, nitrürler ve oksitlerdir. Üretim yöntemleri çeşitli olmakla birlikte genellikle toz ve sıvı metalurji prensiplerinden yararlanılır. Bu yöntemlerin çoğunda takviye malzemesi matris içine dışardan ilave edilmektedir. Ancak takviye malzemesi olarak seçilen seramik bileşikler aluminyum tarafından ıslatılmadığından başarılı bir karıştırma her zaman mümkün değildir. Bunun için ya sıvı alaşıma yada seramik partiküllere ıslanma/ıslatmayı geliştirecek şekilde müdahale edilir. Bu tür ilave işlemler proses maliyetini artırır.

Bu çalışmada takviye fazı olan TiC, aluminyum matriste in-situ (yerinde oluşum ile) olarak oluşturulmuştur. Bu sayede partikül boyutları işlem süreleri ile kontrol edilebildiği, çok ince (1-3 μ) ve düzgün bir dağılım sağlanabildiği, takviye faz ile matris arasındaki yüzeyler temiz olduğu için üstün mikroyapılı kompozitler üretilmektedir. Ayrıca takviye faz doğrudan matris içinde oluşturulduğu ilave işlemler yapılmayacak ve takviye/matris arayüzey bağ kuvveti yüksek olacaktır.

Bu çalışmada Al-Ti alaşımı indüksiyon ocağında eritilerek, Al₃Ti fazının sıvı aluminyum içinde çözünmesi için 1200°C'ta çıkılmış, bu sıcaklıkta sıvı aluminyum içine porlu grafit palet bir karıştırıcı vasıtasıyla döndürülmüştür. Grafit palet 30 dak. döndürüldükten sonra çıkarılıp kompozit numuneleri incelendiğinde, başlangıç yapısında mevcut iri Al₃Ti iğneciklerinin küçüldüğü ve yapıda TiC partiküllerinin bulunduğu saptanmıştır.

SUMMARY

IN-SITU PROCESSING OF TiC_p -Al COMPOSITES BY REACTING GRAPHITE WITH Al – Ti MELTS

Aluminum has been a key material, particularly in the aerospace and automotive industries, owing to its low density, high specific strength, good corrosion resistance and recyclability. When “low density” is a critical issue for some advanced technology applications, aluminum-based composites which provide only a modest improvement over monolithic alloys, have nevertheless attracted a great deal of attention recently, owing to very reasonable processing costs, easy implementation and characteristic isotropic behavior.

By selecting the appropriate reinforcing constituents of a material, *i.e.* volum fraction, shape and size, it is possible to design alloys with enhanced strength and stiffness. Polymers, ceramics or metals serve as matrix material with whiskers, monofilaments, fibers or particulates acting as reinforcements. As a result, materials of improvement structrul integrity have been developed.

The reinforcing phases are generally ceramic particles, namely carbides, nitrides and oxides. Particle sizes range from only a couple of microns to a millimeter and volume fractions up to 40% have been reported.

A variety of processing techniques have been employed to produce particulate reinforced aluminum composites. Yet, with the exception of a few, they fall within two broad categories: Solid – state (Powder Metallurgy Processing) methods and Liquid state (Solidification Processing) methods. While the attributes of the former have long been recognize, the powder metallurgy methods are more expensive, more complicated and pose serious health and safety hazards as they involve handling of very fine metal / ceramic powders. On the other hand, solidification processing is particularly attractive as it is economical and practical. It can be easily implemented in the majority of the aluminum foundries and can be incorporated with the near-net shape casting technologies such as squeeze casting, die casting, compocasting rheocasting, etc.

Solidification processing is carried out in practice generally by direct inroduction of the reinforcing phase particles into aluminum melts by mechanical means. A variety

of techniques have been proposed to achieve a uniform distribution. However, mixing is straightforward as the ceramic particles are poorly wet by aluminum melts. Hence, either the ceramic particles or the aluminum melts ought to be treated to promote wetting. These pre-treatments increase the manufacturing steps involved as the cost of processing. Furthermore, since the ceramic particles are usually not in equilibrium with aluminum, there is a potential risk of interface reactions which yield undesirable products at processing temperatures and lead to a substantial degradation of properties.

Many of problems encountered in solidification processing of particulate-reinforced aluminum composites can be circumvented by an alternative approach which relies upon the in-situ formation of reinforcing phase particles in aluminum melts. Since the reinforcing phase so generated is thermodynamically stable, the matrix-particle interfaces tend to be clean, free from adsorbed gases, oxide films and detrimental reaction products and are thus much stronger.

In the last decade, new in-situ fabrication technologies have been developed for processing metal and ceramic matrix composites. Simply state, in-situ processes involve a chemical reaction resulting in the formation of a thermodynamically stable reinforcing ceramic phase. Some of these technologies include DIMAX, XD, SHS and reactive gas infiltration.

In-situ production of metal matrix composites (MMC's) can produce a new class of naturally stable composites for advanced structural and wear applications. Conventional mechanical mixtures of whiskers, fibers, or particles and matrices are often not thermodynamically stable. The in-situ processes for nonferrous and intermetallic systems eliminate interface incompatibility of matrices with reinforcements by creating more thermodynamically stable reinforcements based on their nucleation and growth from the parent matrix phase. By controlling the melt and reaction gas chemistry, a hierarchical range of carbides, nitrides, oxides, borides, and even silicides can be generated. Using knowledge of local mixing characteristics and by suitable selection of the two reacting phases, their concentrations, and their reactivities, the size and size distribution of the carbide and nitride phases can be controlled.

Materials property requirements for advanced aerospace, land transportation, and wear application have escalated such that conventional nonferrous alloy systems and synthetic MMC may not be suitable or cost-effective in some applications. Therefore,

cost-enhancement of the performance of monolithic metallic materials by in-situ or natural reinforcements with a high-strength/high stiffness second phase is required.

The present work was undertaken to establish a simple method to manufacture TiC_p reinforced aluminum composites by the in-situ processing route. The emphasis was placed on the simplicity and the applicability aspects of the proposed method. Al-10Ti melts were reacted with graphite under favorable conditions and the microstructures obtain thereof were characterized.



1.GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Kompozit, en az iki farklı malzemenin bir ara yüzey oluşturacak şekilde bir araya gelmesiyle, bu malzemelerin farklı özelliklerini belirli oranda taşıyan yeni malzemedir. Kompozit malzemeler, kendisini oluşturan malzemelerin iyi özelliklerini taşıdıkları için bileşenlerinden daha yüksek performans gösterirler [1].

Metal matrisli kompozitler (MMK) sahip oldukları fiziksel ve mekanik özelliklerden dolayı, otomobil, savunma ve havacılık gibi sanayilerde kullanıma aday malzemeler haline gelmişlerdir. Bu tür kompozitler içinde özellikle parçacık formunda takviye edilmiş malzemeler, mekanik özelliklerinin neredeyse yönden bağımsız olması sayesinde daha çok ilgi çekmektedir [2].

Kompozit malzemeler matris ve takviye fazı olmak üzere iki ana kısımdan oluşur. Matris yapı içindeki sürekli faz olup takviyeleri bir arada tutar. Takviye ise matris içine sokulmuş süreksiz fazdır. Matris ve takviye malzemesi metal, plastik, seramik ve cam olabilir. Genel olarak kompozit malzemelerde matris sünek, hafif ve düşük mekanik özelliklidir. Takviye ise sert, rijit ve yüksek dayanımlı tok ve hafiftir. Kompozit malzemelerin dayanım özelliklerinin belirlenmesinde takviye malzemesinin özelliklerinin yanında, yapı içindeki oranı, matris içindeki dağılımı, geometrisi ve boyutlarının çok büyük rolü vardır [3].

Kompozit malzemeler kullanılan matris malzemelerine göre üç ana sınıfa ayrılmaktadırlar. Bunlar polimerler, seramikler ve metal matrisli kompozitlerdir.

Metal matrisli kompozitler monolitik malzemelere göre yüksek elastik modülüne, yüksek çekme, basma ve kayma modülüne, yüksek kullanım sıcaklığına, yüksek spesifik mukavemete, yüksek aşınma direncine, yüksek mekanik yorulma ve sürünme dirençlerine sahiptirler [3]. Ayrıca metallerin süneklik ve tokluk özellikleri ile seramiklerin yüksek dayanım ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirmelerinden dolayı son derece önemli mühendislik malzemeleridir [4]. Bu üstün özelliklerinin yanında tekrar üretilebilir olmaları, yüksek mekanik özellikler ve düşük yoğunluk değerlerine sahip olmaları açısından da önem kazanmışlardır [5].

Metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan matris alaşımları çok çeşitlidir. Bunlar içinde alüminyum ve alaşımları metal matrisli kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılır. Bunun sebebi alüminyum ve alaşımlarının hafif olmaları, ekonomik olarak

uygun olmaları, çeşitli proses teknikleri ile üretilibilmeleri, yüksek mukavemet ve korozyon direnci sağlamalarıdır [4]. Aluminyum matrisli kompozit malzemelerin en belirgin üstünlükleri aşınma mukavemetlerinin ve ısı iletkenliklerinin yüksek, sürtünme katsayılarının ve ısı genleşmelerinin düşük ve bunların yanında rijitlik ve dayanım/ağırlık oranlarının yüksek olmasıdır [5].

Aluminyum matrisli kompozitler çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Bunlardan en yaygın olanı toz ve sıvı metalurji prensipleridir. Sıvı metalurji prensibi maliyet yönünden avantajlıdır. Uygulama çoğu kez seramik partiküllerin mekanik yöntemlerle sıvı aluminyum içine karıştırılması şeklindedir. Ancak seramik partikül olarak seçilen takviye malzemeleri sıvı aluminyum tarafından iyi ıslatılmadığından başarılı bir karıştırma her zaman mümkün değildir. Bunun için ya sıvı alaşıma veya seramik partiküllere ıslanma/ıslatmayı geliştirecek şekilde müdahale edilmesi gerekir. Bu ilave işlemler proses maliyetini artırır [6]. Bu yöntemlerle kompozit malzemelerin üretiminde en önemli sorun olan ıslatılabilirlik problemi ile karşılaşilmektedir.

Takviye fazın ergiyik içinde çekirdeklendirildiği kompozit üretim yöntemlerinde ıslatılabilirlik problemi yoktur. Bu yöntemlerde takviye faz ergiyik içinde çekirdeklendiğinden ve matris-takviye arasındaki arayüzeylerin temiz olmasından dolayıdır.

Bu çalışılan proses ile yani destek fazının sıvı alaşım içinde in-situ oluşturulması ile partikül boyutları işlem süreleri ile kontrol edilebilmekte, çok ince ve düzgün dağılım sağlanabilmekte, destek faz ve partikül arasında ki yüzeyler temiz ve düzgün olduğu için üstün mikroyapılı kompozitler elde edilebilmektedir. Bu sayede gelişen uçak, uzay ve otomotiv sektörünün gereksinim duyduğu yüksek dayanımlı, düşük yoğunluklu, aşınmaya karşı dirençli ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilen malzemeler üretilmektedir.

Bu çalışmada, hem matris malzemesi hemde Ti kaynağı olarak aluminyum döküm sanayinde tane inceltici olarak kullanılan Al-10Ti alaşımı kullanılmıştır. Birinci aşamada Al-TiC kompozit malzemesinin Al-Ti eriyiği içinde grafit çözündürerek in-situ üretimi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada bu malzemelerin mikroyapıları incelenmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Giriş

Çok farklı özellikteki maddeleri kimyasal ve yapısal olarak birleştirme ile üstün özelliklere sahip yapıların elde edileceği günümüzde ön plana çıkmaktadır. Kompozit terimi engeniş anlamda; çok kristalli bir çok metal ve metal olmayan maddelerin bir arada bulunması olarak olarak ifade edilir [5].

Kompozit malzemelerin tanımı olarak kabul edilen genel bir tanımlama mevcut olmamakla birlikte, literatürlerde çok geniş yaklaşımlar bulunmaktadır. Belirli bir tanımın ortaya çıkarılabilmesi hangi malzemenin kompozit hangisinin monolitik olduğunu belirten seviyeye bağlıdır.

Elementel Seviye: Bu seviye tek bir molekülü veya kristal hücrelerini oluşturan iki veya daha fazla atomun meydana getirdiği malzemeler kompozit olarak ele alınmaktadır. Bu durumda bileşikler, alaşımlar, polimerler ve seramikler bu sınıfa dahil edilmektedir.

Mikroyapısal Seviye: Bu seviyede, iki veya daha fazla kristal, faz veya moleküler yapının bir araya gelmesi ile kompozit malzeme tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre normal olarak monolitik veya homojen olduğu düşünülen malzemeler kompozit sınıfına dahil edilmektedir. Böylece, sadece tek fazlı alaşımlar, bütün metalik malzemeler monolitik malzeme, karbon ve demir içeren çelik ise kompozit malzeme olarak düşünülmektedir.

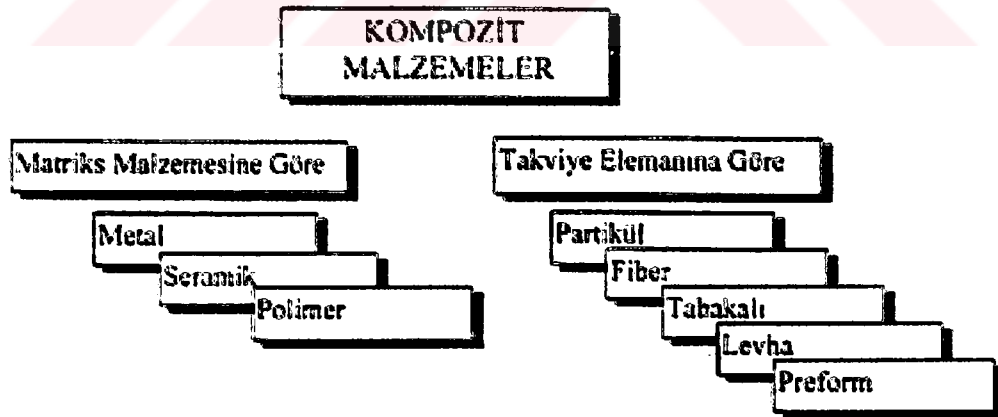
Makroyapısal Seviye: Bu seviyede ise, matrisler, partiküller, fiberlerin bir araya gelmesi ile oluşturulan yapılar düşünülmektedir. Bu yaklaşım farklı makrobileşenlerin meydana getirdiği malzemeler sistemi olarak söylenen kompozit düşüncesine uygun gelmektedir. Bileşenlerin şekli ve özellikleri bilinmelidir. Bunlar, (i) kompoziti meydana getiren bileşenlerin farklı kimyasal yapıya ve şekle sahip olması (ii) birbirleri içerisinde çözünmemeleridir. Bu genellemelerin ışığı altında kompozit malzeme şu şekilde tanımlanmaktadır. Kompozit malzeme, belirli özellikleri elde etmek için makro ölçülerde farklı bileşim ve şekle sahip iki veya daha fazla makrobileşenin birarada bulunduğu ve bileşenlerin özelliklerini devam ettirdikleri için fiziksel olarak belirlendiği malzeme sistemidir.

Kullanımda konvansiyonel malzemelerden kompozit malzemelere geçişin ana

nedenlerinden birisi, kompozitlerin standart hafif/yüksek mukavemet özellikli malzemelere daha hafif/daha yüksek mukavemet alternatifi getirmesidir. Buna ilave olarak yüksek mukavemet özellikleri, iyi korozyon ve aşınma dirençleri, uzun yorulma ömürleri ve düşük ısı iletkenlikleri ile bir çok uygulama alanında konvansiyonel malzemelere oranla üstünlük sağlamaktadırlar. Kompozit malzemelerin en büyük dezavantajı ise, genel olarak üretimlerinin diğer malzemelere kıyasla daha pahalı olmasıdır. Bu ise bu tür malzemelerin yeni olmaları ve dolayısıyla üretim yöntemlerinin yerleşmemiş olması, üretimlerinin çok fazla olmaması ve nispeten pahalı takviye elemanları kullanılmasından kaynaklanmaktadır [7].

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin doğaları ve yapılarının açıklamasıyla bir sınıflandırma yapıldığında, malzeme bileşenleri (örneğin; metal-organik veya metal-inorganik), malzeme bileşenleri (örneğin; matris sistemleri veya tabaka yapıları), bileşenlerin dağılımı (örneğin; elektiriksel veya yapısal) gibi temel özellikler göz önüne alınarak sınıflandırma yapmak gerekmektedir. Genel olarak kullanılan takviye elemanının şekline veya matris malzemesinin cinsine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Bu sınıflandırma Şekil 2.1’de gösterilmektedir [5].



Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin bileşenlerine göre sınıflandırılması [5].

Tablo 2.1.’de polimer, seramik ve metal matrisler kullanılması durumunda kompozit malzemeye nasıl bir etki sağladığı verilmektedir [5].

Üretilen kompozit malzemedan optimum faydanın elde edilmesinde takviye elemanının hangi tip olduğu, ilave edildiğinde kompozit malzemede ne gibi etkiler göstereceği ve kompozit malzemenin uygulama alanındaki ortam şartlarının bilinmesi önemli rol oynamaktadır. Tablo 2.2.'de çeşitli şekillerde bulunan takviye elemanlarının kompozit malzemede meydana getirdiği etkiler açıklanmaktadır [5].

Tablo 2.1. Polimer, seramik ve metal matrisli kompozit malzemelerin genel özellikleri [5].

Polimer Matrisli Kompozitler	Seramik Matrisli Kompozitler	Metal Matrisli Kompozitler
Metal ve seramiklere nazaran çok daha komplekstirler.	Çok sert ve kırılgandırlar.	Yüksek mukavemet
Ucuz ve Kolay çalışılabilir.	Kimyasal olarak inerttirler.	Yüksek elastik modül
Düşük yoğunluğa sahiptirler	Düşük yoğunluğa sahiptirler	Polimerlere nazaran yüksek çalışma sıcaklığı
Kimyasal etkilere karşı düşük yapısal kararlılık.	Düşük çekme mukavemeti.	Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin mukavemet ve modül özelliklerini birleştirir.
Düşük mekanik özellikler.	Düşük termal şok ve tokluk.	Nispeten düşük yoğunluk.
Düşük kullanım sıcaklığı.	Yüksek kullanım sıcaklığı.	Sıcaklık değişikliği ve termal şoka karşı düşük hassasiyet.

2.3. Takviye Malzemeleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan takviye malzemelerinin seçiminde kolay temin edilebilmelerinin yanında kullanıldıkları matris malzemesi ile uygunluk ve sağlayacakları üstün özellikler gözönüne alınmaktadır . Metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan takviye elemanları metal, oksit ve oksit olmayanlar adı altında üç ana grupta toplayabiliriz. Takviye elemanı seçiminde şu özelliklere dikkat edilmelidir;

- Elastisite modülü,
- Çekme dayanımı,
- Yoğunluk,

- d) Ergime sıcaklığı,
- e) Termal kararlılık,
- f) Şekil ve boyut,
- g) Maliyet,
- h) Termal genleşme katsayısı,
- i) Matris tarafından ıslatılabilirlik [4].

Tablo 2.2. Takviye elemanı şekline göre kompozitlerden beklenen genel özellikler (5).

Fiber	Partikül	Levha	Tabaka	Preform
Fiber boyunca mukavemet	İzotropik mukavemet	İzotropik mukavemet	Fiber boyunca mukavemet	İstenilen bölge güçlendirilir
Sürekli ve süreksiz fiber	Partikül (mikron)	Genişlik/kalınlık 500/1	Sürekli fiberler	Süreksiz fiber veya fiber/partikül
Dairesel, kare, hegzagonal	Köşeli, yuvarlak	Köşeli	Dairesel veya kare	Dairesel
Al_2O_3 , SiC, C, MgO, Si_3N_4	Al_2O_3 , SiC, C, B_4C , TiC, AlN	Al, AlB_2 , Ag, Mika	C, SiC Kaplı B, SiC	Al_2O_3 , SiC, C
Fiberlerin hatasız üretilmesi gerekir.		Yüksek termal ve elektrik direnci	Dizayn, üretim, kontrol kolaylığı	Kapalı por olabilir
		Düşük üretim maliyeti	Fiberlerin hatasız üretilmesi gerekir	Seri üretime uygun

3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER

3.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Özellikleri

Metal matrisli kompozitler (MMK) genel olarak birinci bileşenin metal matris (genellikle bir alaşım) ve ikinci bileşenin takviye elemanı (genellikle intermetalik bileşikler, oksit, karbür, nitrür) olduğu en az iki bileşenden meydana gelen yapılardır. Matris malzemesi olarak saf metallerin kullanımına nadiren rastlanmaktadır.

Günümüzde hızla gelişen modern teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayacak, konvansiyonel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin arayışı içinde metal matrisli kompozit malzemeler yoğun ilgi görmekte ve spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Metal matrisli kompozit malzemelerin konvansiyonel malzemelere olan üstünlükleri; sahip oldukları yüksek mukavemet, elastik modül, tokluk, mükemmel sürünme, yorulma ve aşınma mukavemetleri ve düşük ısı genleşme özellikleridir [8].

Metal matrisli kompozitler üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda artarken, ilk çalışmalarda sürekli fiber takviyeli kompozitlerin üretimi üzerine çalışılmıştır. MMK malzemeler ilk olarak havacılık sanayine hizmet vermek üzere geliştirilmişse de ilerleyen zamanlarda endüstriyel alanlarda da uygulama alanı bulmuşlardır. Askeri ve havacılık alanları dışında uygulama alanı bulmalarına neden olarak daha ucuz ve yeni tip takviye elemanlarının üretilmesi ve üretim yöntemlerindeki ekonomik koşulların elverişli duruma getirilmesi olmuştur [7]. Süreksiz fiberlerle takviye edilmiş kompozitlerin pahalı olması, kompleks fabrikasyon işlemleri ve sınırlı imalat yöntemleri bu malzemelerin kullanımını sınırlamış, süreksiz takviyeli kompozitlerin gelişimine katkıda bulunmuştur.

Metal matrisli kompozitlerin yapısal uygulamalar için kullanım alanı bulmaları aşağıdaki özelliklere sahip olmalarından dolayıdır [4].

- a) Yüksek elastik modüle sahiptirler,
- b) Yüksek mukavemet (çekme, basma, aşınma, sürünme ve kayma) gösterirler,
- c) Yüksek sıcaklıklarda çalışırlar,

- d) Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek modül özelliklerini birleştirirler,
- e) Tekrar retilbilir mikroyapı ve özelliklere sahiptirler,
- f) Düşük yoğunluk değerleri verirler,
- g) Sıcaklık değişikliklerine veya termal şoklara karşı düşük hassasiyet gösterirler,
- h) Yüksek yüzey dayanımı ve yüzey akışlarına karşı düşük hassasiyete sahiptirler,
- i) Yüksek elektrik ve termal iletkenlik özellikleri mevcuttur.

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitler, yüksek spesifik mukavemet, spesifik dayanım, düşük ısı genleşme katsayılarına, yüksek elastik modülüne, yüksek çekme-basma ve kayma dayanımına, yüksek kullanım sıcaklığına sahip olmaları, üretimlerinin kolay olması, metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek dayanım ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirmelerinden dolayı son derece önemli mühendislik malzemeleri olmuşlardır. Bu zelliklerinin yanında tekrar üretilbilir olmaları ve düşük yoğunluk değerlerine sahip olmaları açısından da önem kazanmışlardır. Bu zelliklerinin bir çoğu bu malzemelerin otomotiv sanayii için çok cazip kılmaktadır [4,8].

Metal matrisli kompozit malzemeler yapısal uygulamalarda pek çok uygulama alanı bulmalarına karşın nispeten yüksek maliyetlerinden dolayı mukavemet/ağırlık özelliğinin istendiği yerlerde önem kazanmaktadır. Metal matrisli kompozit üretiminin asıl amacı, kullanılan matris malzemesi ile mukavemetinin arttırılmasının yanında değişik yerlerde düşük termal genleşme katsayısının elde edilmesi ve yüksek aşınma direncinin elde edilmesidir. Metal matrisli kompozitlerin diğer bir avantajıda düşük yoğunluk sağlanmasıdır. Bununla birlikte metal matrisli kompozitlerin oksidasyon direnci ve tokluk özellikleri düşünüldüğünde diğer malzemelerden daha iyi bölgelerde olabileceği farkına varılması gereken bir noktadır. Metal matrisli kompozitlerin yüksek toklukları, yüksek sıcaklıklarda bile mukavemetlerini muhafaza edebilmeleri en açık ve önemli avantajlarıdır. Gereken yüksek mekanik direnç, takviye malzemesinden sağlandığı için, bir kompozit malzeme için matrisin yüksek sıcaklıklarda bile kararlı kalabilmesi mümkündür [22].

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan matris alaşımları (Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Co, vb.) ok çeşitli olabilmektedir. Fakat alüminyum ve alaşımları yüksek dayanım, aşınma ve korozyon direnci, yorulma ömrünün uzun olması, düşük ergime

derecesine sahip olmaları, düşük yoğunluk ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda korumalarından dolayı havacılık ve otomotiv sektöründe geleneksel malzemelere oranla üstünlük sağlamışlardır [4]. Bu özelliklerinin yanında ısı işlem kabiliyetinin iyi olması, ısı genleşmenin düşük olması, elektriksel ve ısı iletkenliğinin yüksek olması alüminyum matrisli kompozitten üretilmiş malzemelerin kullanımını avantajlı hale getirmiştir. Otomotiv sektöründe Toyota firmasının otomotiv pistonlarında kısa fiber takviyeli alüminyum matrisli kompozit kullanarak piston ağırlığını ve yakıt tüketimini düşürdüğü bir örnek olarak verilebilir.

3.2. Metal Matrisli Kompozit Üretiminde Kullanılan Takviye Fazlar

Metal matrisli kompozit malzemelerde takviye fazı olarak yüksek ergime sıcaklıkları ve sertlikleri, düşük kimyasal reaktivitelerinden dolayı seramik malzemeler (örneğin: karalı karbürler, oksitler, nitrürler, silikatlar ve borürler) kullanılmaktadır. Geçiş metal karbürler (IV-V. grup) yüksek sertlikleri nedeniyle ticari olarak önem taşımaktadırlar. Mükemmel yüksek sıcaklık mukavemet ve modülleri bu karbürleri yüksek sıcaklıkta (250 °C'in üzerinde) çalışan malzemelerde kullanılır hale getirmiştir [9].

Tablo 3.1'de bazı takviye malzemeleri ve onların uygulama alanları verilmiştir [12].

Kompozit üretim yöntemlerinin bir çoğunda takviye fazı whisker, fiber, veya partikül olarak matris malzemesine ilave edilir [10]. Bu takviye malzemelerin hacim oranı, şekli ve boyutu kompozitin mukavemet ve dayanımının belirlenmesinde önemli rol oynar [9]. Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı cinsine göre sınıflandırma yapacak olursak;

- Dispersiyonla sertleştirilmiş metal matrisli kompozitler: Bu tip kompozit malzeme matris malzemesi içinde ince partiküllerin homojen dağılması ile karakterize edilmektedir. Partiküllerin çapı 0,01µm arasında olup, %1-15 partikül hacim oranını arasında değişim göstermektedir.
- Fiber veya Whisker takviyeli metal matrisli kompozitler: takviye elemanı olarak kullanılan fiberlerin boyu 0,1-250 µm arasında değişirken, fiber hacim oranı %2-3'den %70'lere kadar uzanan malzeme grubudur.
- Partikül takviyeli metal matrisli kompozitler: %5-40 arasında hacim oranına sahip 1,0 µm çaptan daha büyük partiküllerin takviye elemanı olduğu malzemelerdir.

Tablo 3.1. Takviye malzemeleri ve uygulama alanları [12].

Metal	Karbürler	Nitrürler	Borürler	Oksitler	Uygulama alanları
Bor	B ₄ C	BN	-	-	Havacılık, nükleer
Tantalyum	TaC	TaN	TaB ₂	-	Havacılık
Zirkonyum	ZrC	ZrN	ZrB ₂	ZrO ₂	Havacılık, otomotiv, nükleer
Hafniyum	HfC	HfN	HfB	HfO ₂	Havacılık, nükleer
Aluminyum	-	AlN	-	Al ₂ O ₃	Otomotiv, metal çalışmaları
Titanyum	TiC	TiN	TiB ₂	-	Havacılık
Krom	CrC	-	CrB ₂	CrO ₂	Havacılık, otomotiv
Molibden	MoC	-	MoB	-	Havacılık, otomotiv
Tungsten	WC	-	WB	-	Havacılık, otomotiv
Toryum	ThC ₂	ThN	-	ThO ₂	Havacılık
Silisyum	SiC	Si ₃ Ni ₄	-		Otomotiv, havacılık, metal çalışmaları

Partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin yapısal verimi kullanılan takviye fazın yoğunluğuna, elastik modülüne ve çekme dayanımına bağlıdır. Takviye malzemelerinin kimyasal kararlılığı ve matris malzemesi ile uyumu üretim ve kullanım aşamasında önemlidir.

Seramik takviye malzemeleri için seçim kriterleri;

- elastik modül,
- çekme dayanımı,
- yoğunluk,
- ergime sıcaklığı,
- ısıl kararlılık,
- ısıl genleşme katsayısı,

- g) boyut ve şekil,
- h) matris malzemesi ile uyum,
- i) fiyat,
- j) kimyasal bileşim,
- k) kristal yapı,
- l) oluşum serbest enerjisi dir [4,11].

Kompozit malzemelerde, takviye fazı ile matris malzemesi arasındaki ısı uyumsuzluk gerinmesi (ϵ) çok önemlidir. ϵ , takviye ve matrisin ısı genleşme katsayısı arasındaki farklılığın ($\Delta\alpha$) fonksiyonudur ve aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanmaktadır:

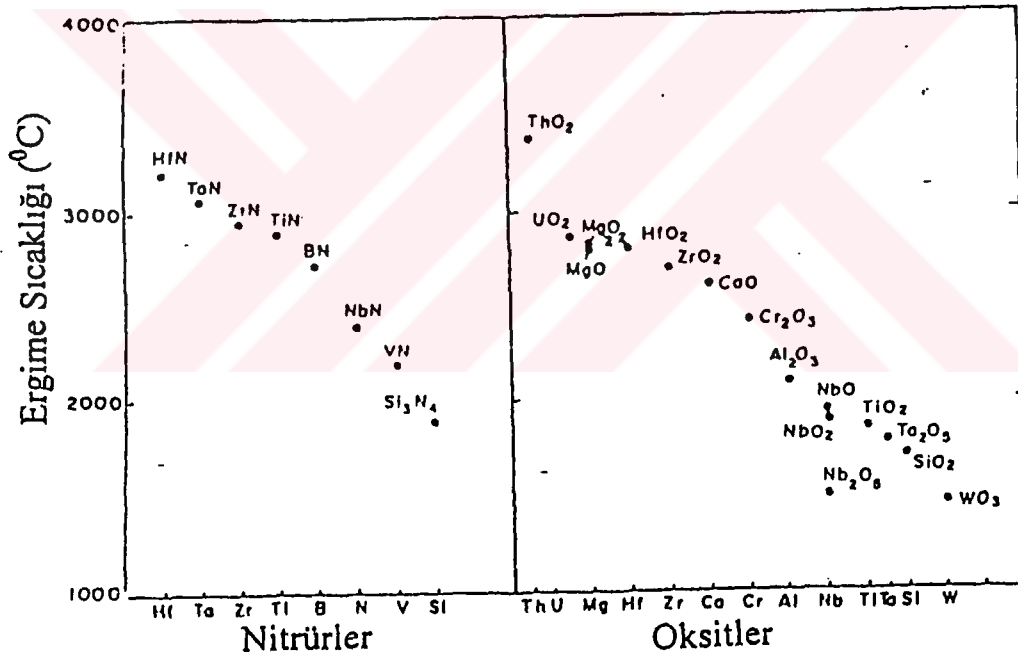
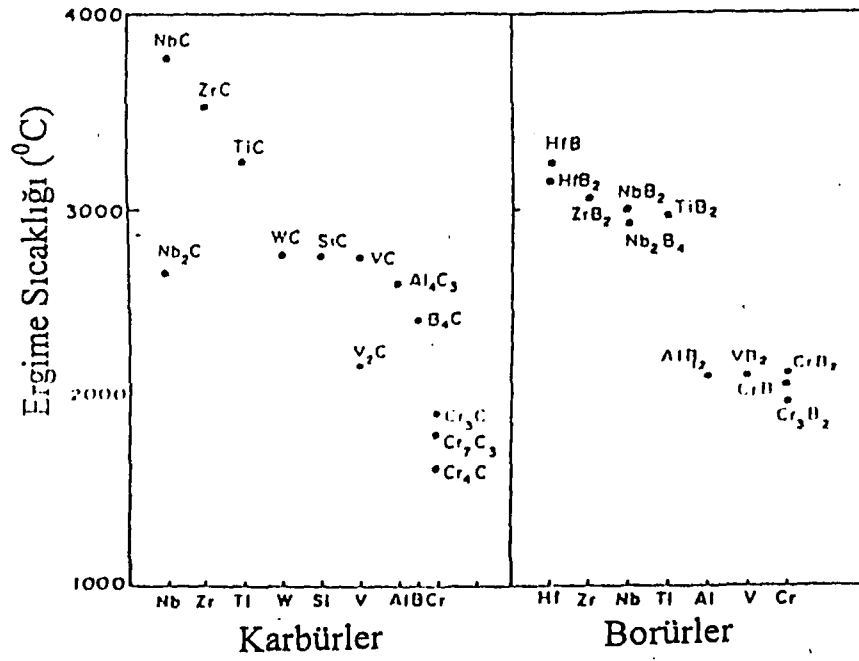
$$\epsilon = \Delta\alpha \Delta T \quad (3.1)$$

ΔT , sıcaklık değişimidir. Denklemden de görüldüğü gibi toplam deformasyonu azaltabilmek için $\Delta\alpha$ minimum olmalıdır [4].

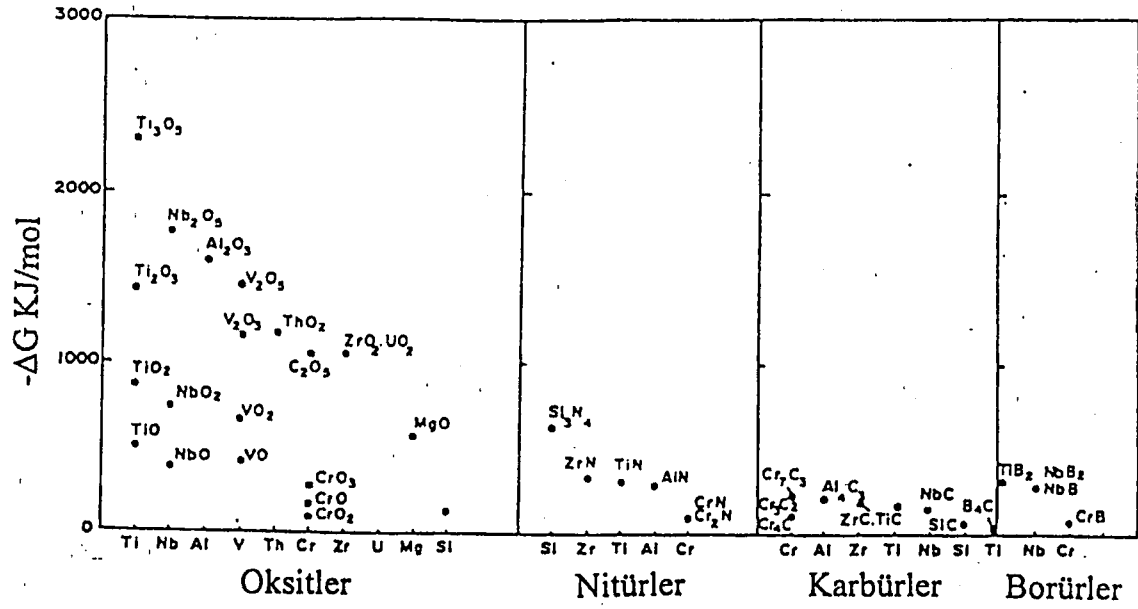
Takviye fazın ergime sıcaklığı (T_m) önemlidir. Ergime sıcaklığının artması ile birlikte mekanik özelliklerde iyileşmeler meydana gelir. Örneğin rijitlik ve gerilme değeri artan ergime sıcaklığının artmasıyla birlikte artar. Ayrıca ısı genleşme katsayısı ergime sıcaklığı ile ters orantılıdır. Şekil 3.1 'de karbür, borür, nitrür ve oksitlerin ergime sıcaklığı görülmektedir. Şekil 3.1'den de görüldüğü gibi en yüksek ergime sıcaklığına karbürler sahiptir. Bunları nitrürler, borürler ve oksitler izlemektedir [12].

Isıl olarak kararlı bileşikler yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmektedir. Oluşum serbest enerjileri ne kadar negatif ise bileşik o kadar kararlıdır. Şekil 3.2 'de 46 adet bileşiğin oluşum serbest enerjisi görülmektedir. Şekil 3.2'den de görüldüğü gibi oksitler en kararlı bileşiklerdir.

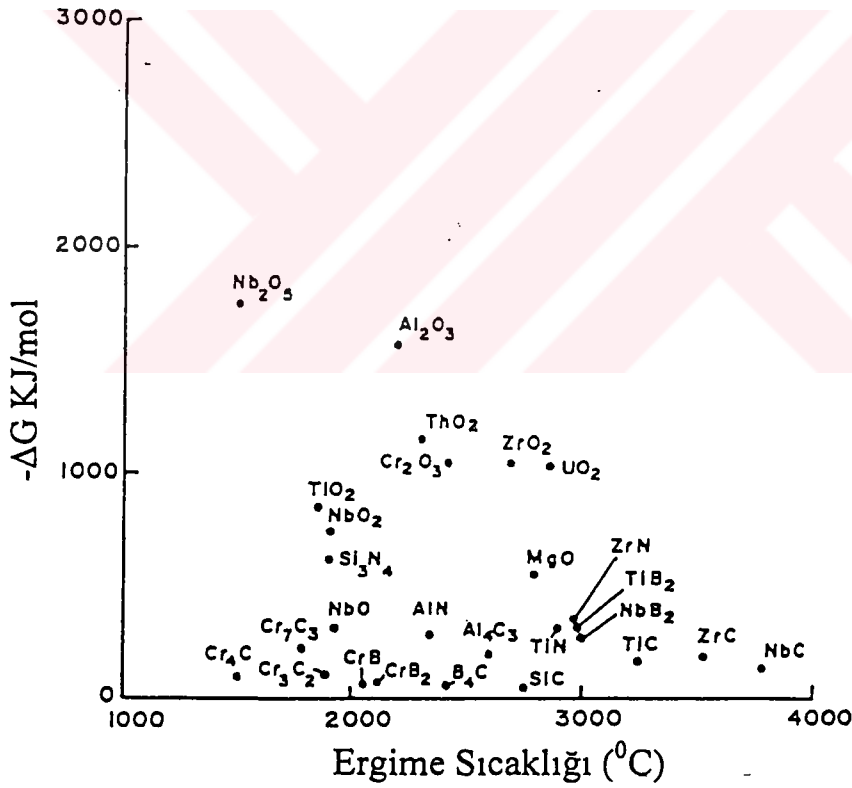
Şekil 3.3 'de ergime sıcaklığı ile oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi en yüksek ergime sıcaklığına sahip olan bileşikler en yüksek oluşum serbest enerjisine sahiptir. Buradan da en kararlı bileşiklerin düşük ergime sıcaklığına sahip Nb_2O_5 ve Al_2O_5 gibi bileşikler olduğu görülmektedir [12].



Şekil 3.1 Karbür, borür, nitrür ve oksitlerin ergime sıcaklıkları [12].



Şekil 3.2 : 46 adet bileşiğin oluşum serbest enerjileri [12].



Şekil 3.3 Bileşiklerin ergime sıcaklığı ile oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki [12].

Tablo 3.2 'de metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan bazı takviye malzemeleri ve onlara ait özellikler verilmiştir.

3.3 Metal Matrisli Kompozit Üretiminde Matris Malzemesinin Seçimi

Yüksek sıcaklık uygulamaları için metal matrisli kompozitlerin kullanımı termodinamik olarak kararlı dispersoidlerin varlığını zorunlu kılar. Halbuki yaygın olarak kullanılan yapısal alüminyum alaşımlarının (6xxx ve 7xxx) herbiri matris olarak kullanılabilir. Örneğin; alüminyuma titanyum ilaveleri Al_3Ti fazının çökmesi nedeniyle çekicidir. Bu faz yüksek ergime noktası ($1330\text{ }^{\circ}C$), düşük yoğunluğu ($3,3\text{ g cm}^{-3}$) ve alüminyumda düşük difüzyon hızı ($1,69 \times 10^{-14}\text{ cm}^2\text{ s}^{-1}$) nedeniyle matrisin yapısal verimliliğini ve ısı kararlılığını artırır.

Düşük yoğunluk istekleri için yaygın olarak kullanılan matris malzemeleri alüminyum ve magnezyumdur [4].

3.4 Metal Matrisli Kompozitlerde Matris - Takviye Arayüzey İlişkileri

Matris ve seramik takviye arasındaki arayüzey önemlidir, çünkü bu bölgenin özellikleri deformasyon sırasında metal matrisli kompozitlerin yük transferi ve çatlak direncini belirler. Bir metal matrisli kompozit malzemede arayüzey bağ mukavemetinin yüksek olması ve dolayısıyla nihai kompozit malzemede üstün özellikler elde edebilmek için aşağıda verilen özellikler gözönünde bulundurulmalıdır. Bunlar;

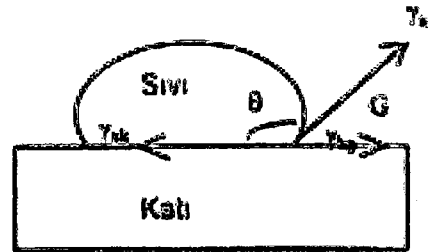
- a) Islatılabilirliği artırmak,
- b) Kimyasal etkileşimleri kontrol etmek,
- c) Oksit oluşumunu minimuma indirmektir.

Metal - seramik sistemlerinde, kompozitin tüm özellikleri önemli ölçüde metal/seramik arayüzeyinin özelliklerine ve tabiatına bağlıdır. Metal matrisli kompozit malzemelerde arayüzeylerden bahsedildiği zaman akla fiber ve matris arasındaki arayüzey gelmektedir. Genelde arayüzey, element konsantrasyonlarının, kristal yapısının, atomik düzenin, elastik modülün, yoğunluğun ve termal genleşme katsayısının bir taraftan diğerine değiştiği iki boyutlu bir süreksiz alandır [4].

Tablo 3.2 Seramik takviye malzemelerinin özellikleri [4].

Takviye malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^{-3} \text{ kg m}^{-3}$)	Isıl genleşme katsayısı ($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Mukavemet (Mpa)	Elastik Modül (Gpa)
Al_2O_3	3.98	7.92	221 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	379 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
AlN	3.26	4.84	2069 (24 $^{\circ}\text{C}$)	310 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
BeO	3.01	7.38	24 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	190 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
B_4C	2.52	6.08	2759 (24 $^{\circ}\text{C}$)	448 (24 $^{\circ}\text{C}$)
C	2.18	-1.44	-	690
CeO_2	7.13	12.42	589 (24 $^{\circ}\text{C}$)	185 (24 $^{\circ}\text{C}$)
HfC	12.20	6.66	-	317 (24 $^{\circ}\text{C}$)
MgO	3.58	11.61	41 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	317 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
MoSi_2	6.31	8.91	276 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	276 (1260 $^{\circ}\text{C}$)
Mo_2C	8.90	5.81	-	228 (24 $^{\circ}\text{C}$)
NbC	7.60	6.84	-	338 (24 $^{\circ}\text{C}$)
Si	2.33	3.06	-	112
SiC	3.21	5.40	-	324 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
Si_3N_4	3.18	1.44	-	207
SiO_2	2.66	<1.08	-	73
TaC	13.90	6.46	-	366 (24 $^{\circ}\text{C}$)
TaSi_2	-	10.80	-	338 (1260 $^{\circ}\text{C}$)
ThO_2	9.86	9.54	193 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	200 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
TiB_2	4.50	8.28	-	414 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
TiC	4.93	7.60	55 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	269 (24 $^{\circ}\text{C}$)
UO_2	10.96	9.54	-	172 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
VC	5.77	7.16	-	434 (24 $^{\circ}\text{C}$)
WC	15.63	5.09	-	669 (24 $^{\circ}\text{C}$)
WSi_2	9.40	9.00	-	248 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
ZrB_2	6.09	8.28	-	503 (24 $^{\circ}\text{C}$)
ZrC	6.73	6.66	90 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	359 (24 $^{\circ}\text{C}$)
ZrO_2	5.89	12.01	83 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	132 (1090 $^{\circ}\text{C}$)

Islatılabilirlik engeli, kompozit üretiminde mutlaka aşılması gereken bir engeldir [4]. Metal matrisli kompozitlerin oluşumunda önemli olan ergimiş metal tarafından takviyenin ıslatılması arayüzeyde kuvvetli kimyasal bağların kurulmasına yardımcı olur. Ergimiş metal yüzeyinde oksit filmlerinin mevcudiyeti ve takviye üzerinde adsorblanmış pislikler takviyenin ergimiş metal tarafından ıslanmamasına neden olur [3]. Sıvı ile bir katının ıslanabilirliği Şekil 3.4'te gösterilen temas açısıyla (θ) gösterilir [13].



Şekil 3.4 Sıvı, katı ve gaz fazlarının temas açısı ve arayüzey kuvvetlerinin ıslatma olayına etkisi [13].

Şekil 3.4'de sıvı, seramik bir malzemeye sıvı metalin damlatılması sonucunda bu damlacığın ortaya çıkarmış olduğu geometri ve oluşan arayüzey kuvvetleri verilmektedir. Şekil 3.4'deki sistemde sıvı-katı (γ_{ks}), sıvı-gaz (γ_{sg}) ve katı-gaz (γ_{kg}) arasındaki farklı arayüzey kuvvetleri birbirine etki etmektedir. İdeal bir ıslanma için temas açısının (θ) sıfır olması, yani yüzeyi tamamen kaplaması gerekmektedir. Etkin bir ıslanma için ise katı-sıvı arayüzey enerjisinin düşük olması, sıvı metal yüzey geriliminin düşmesi ve temas açısının 90 dereceden düşük olması gerekmektedir. Benzer şekilde temas açısının 180 derece olması halinde ıslanma olmayacaktır. Şekil 3.4'deki denge şartlarında Thomas – Young eşitliği kullanılmaktadır. Bu (3.2) denklemi ile gösterilmektedir [3,13].

$$\gamma_{kg} = \gamma_{ks} + \gamma_{sg} \cos\theta \quad (3.2)$$

Burada γ_{kg} ; katının yüzey gerilimi, γ_{ks} ; sıvı/katı arayüzey enerjisi, γ_{sg} ; sıvı metalin yüzey gerilimidir. Eşitlikten anlaşılacağı gibi temas açısı θ 'nın 90 dereceden 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 adhezyon (yapışma) işi (W_{ks}) Dupre tarafından aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir.

$$W_{ks} = \gamma_{kg} + \gamma_{sg} - \gamma_{ks} \quad (3.3)$$

Kararlı bir katı-sıvı arayüzey için W_{ks} değerinin yüksek olması gerekmektedir. Sistemin katı-katı duruma soğutulması durumlarında yukarıdaki eşitliğin modifiye edilmesi gerekmektedir. Böylece arayüzeyde termal genleşmelerde gözönüne alınmaktadır;

$$W_{kk} = \gamma_{kg} + \gamma_{sg} - \gamma_{ks} - f(\Delta\alpha) \quad (3.4)$$

W_{kk} ; sistemin soğutulması sonucunda arayüzeydeki adhezyon işi, $f(\Delta\alpha)$; arayüzey genleşmelerinin gözönüne alındığı sistemlerde matris/takviye fazı arasındaki termal genleşme farklılıklarının bir fonksiyonudur. 3.3 ve 3.4 eşitliklerinin birleştirilmeleriyle adhezyon işi basit olarak;

$$W_{ks} = \gamma_{sg} (1 + \cos\theta) \quad (3.5)$$

eşitliği ile temsil edilmektedir. Eşitlik (3.5)'ten görüleceği gibi bir sıvının bir katı fazı ıslatabilmesi için, kısacası temas açısının 90 dereceden küçük olması için $W_{ks} > 2\gamma_{sg}$ şartının sağlanması gerekmektedir.

Temas açısının düşürülmesi ise ;

- a) katının yüzey enerjisinin yükseltilmesi,
- b) katı-sıvı arayüzey enerjisinin düşürülmesi;
- c) sıvı metalin yüzey enerjisinin düşürülmesiyle mümkün olmaktadır [3,13].

Kompozit malzemelerin nihai özellikleri açısından yukarıda bahsedilen şartların istenen ölçülerde olması oldukça önemlidir. Bunların yanında, arayüzeyin karakteristiği, sıcaklık, difüzyon, kalıntı gerilmeler gibi etkenlerin, ara yüzeyi ne derecede etkilediği de gözönüne alınmalıdır. Arayüzeyde oluşan kompozisyona bağlı metallerarası bileşikler, karşılıklı difüzyon etkileşimleri sonucu değişen arayüzey geometrisi ve boyutları, morfolojisi, fiziksel, kimyasal, mekanik ve termal özelliklerde kompozit malzemesinin kalitesini önemli derecede etkilemektedir [3,14].

3.5. Arayüzey Bağ Türleri

Matris ve takviye faz arasındaki bağın özelliğini ve seviyesini kontrol edebilmek çok önemlidir. Bu kontrolü gerçekleştirebilmek için herhangi bir kompozit sisteminde mümkün bağ tipi veya tiplerinden hangisinin veya hangilerinin sistemi kontrol ettiğini anlamak şarttır. Temel olarak bağ çeşitlerini iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bu bağ tipleri;

- 1) Kimyasal bağ
- 2) Mekanik bağ.

3.5.1 Kimyasal Bağ

Yeniden Çözünme ve Islatabilirlik bağı: Takviye fazı ve matris arasındaki yüzeyler gözönüne alındığında, bu etkileşim çok küçük seviyede meydana gelmekte ve bileşenlerin birbiriyle etkileşimleri atomik seviyede olmaktadır. Etkileşimin bu seviyede olmasından dolayı kalıntı ve safsızlıkların ortamdan uzaklaştırılması için takviye fazın yüzeylerinin uygun bir şekilde ön işleme tabi tutulması gerekmektedir. Takviye faz yüzeylerinin herhangi bir şekilde kirlenmesi veya gaz kabarcıkları ,yağ, hava gibi safsızlıkların bulunması, takviye ve matrisin birbiriyle temasını zorlaştırmakta ve oluşan bağın zayıflamasına sebebiyet vermektedir [15].

Reaksiyon Bağı: Bağlanmanın kimyasal reaksiyonlarla meydana gelmesi durumunda atom transferi bir bileşenden diğerine ve bileşenlerden birbirine olmakta ve bu transferden dolayı meydana gelen etkileşim, arayüzeyi ortaya çıkarmaktadır. Bileşenler arasındaki bu atomik transfer difüzyon prosesi ile kontrol edilmektedir [4].

Arayüzeyin özellikle kimyasal reaksiyonlarla kontrol edilmesi halinde takviye fazın yüzeylerinin safsızlıklardan arındırılmasının yanında arayüzeyin doğasının da büyük önem arz ettiği tesbit edilmiştir. Takviye fazı ile matris alaşımları arasındaki ısıl genleşme farklılıkları ve arayüzey enerjileri farklılıkları dolayısı ile iki faz arasındaki

uyumun desteklenmesi gerekmektedir. Arayüzey bağ dayanımını artırabilmek için kompozit üretim işleminden önce genel olarak üç değişik ön işlem yapılmaktadır. Bunlar;

- A) Takviye fazın metalik malzeme ile kaplanması,
- B) Metalik matrisin reaktif bir element ile alaşımlanması,
- C) Takviye fazların ısıtılması işlemidir.

A) Takviye Fazın Metalik Malzeme ile Kaplanması

Seramik partiküllerin yüzeylerinin kaplanması işlemi iki amaç için yapılmaktadır. Bunlar, takviye-matris arayüzeyinde yapışma ve ıslatılabilirliği arttırmak ve yüksek sıcaklıklarda takviye-matris arasında oluşumu istenmeyen kimyasal reaksiyonları önlemektir. Kaplama işleminin ıslatılabilirliği arttırmasındaki ana prensip, metal ve seramik arasındaki atom transferini kolaylaştırmak veya metal-seramik etkileşim sistemini metal-metale çevirmektir [3,16].

B) Metalik Matrisin Reaktif Bir Elementle Alaşımlanması

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretimindeki başarı, matris ve seramik arasındaki bağın kuvvetli olmasına bağlıdır. Metal ve seramik arasında tercih edilen bağ mekanik bağdır. Metal matrisli kompozitlerde seramik ve metal arasındaki ıslanmayı arttırmak için Li, Mg, Ca, Ti, Zr ve P gibi bazı reaktif elementlerle alaşımlandırılmaktadır. Bu reaktif elementlerin ilavesinin amacı; ergiliğin yüzey gerilimini düşürmek, ergiliğin katı-sıvı arayüzey enerjisini azaltmak ve kimyasal reaksiyonlar sonucu metal ve seramik malzeme arayüzeyinde bir metallerarası bileşik veya spinel oluşturup atomik ölçüde bağlanmayı sağlamaktır. Alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan elementler oksijene karşı afinitesi yüksek olan Li ve Mg'dur. Bu elementler arayüzeyde oluşturdukları fazlar ile kimyasal bağ oluşumunu teşvik etmektedir. Reaksiyon süresi ve sıcaklığının yüksek olduğu bazı durumlarda oluşan arayüzey fazları izole kararsız tabakalar olarak davranarak, kompozitin deformasyonu sırasında çatlak oluşturan bölgeler olarak davranırlar [3,16].

C) Takviye Fazın Isıl İşlemi

Takviye fazın kimyasal durumunu değiştirmenin bir diğer yolu ısıtılması işlemidir. Takviye fazların yüzeylerinden istenmeyen gaz veya safsızlıkların giderilmesi ile ıslanma artırılır. Üretim öncesi ısıtılması işlemi ile oksit olmayan seramik partikül veya fiberlerin

yüzeyleri oksitlenerek matris malzemesi ile kimyasal reaksiyona girmesinin sağlanması amaçlanmaktadır.

Kompozit üretiminde en önemli problem ıslatılabilirliktir. Islatılabilirlik mekanizması sıvı metal ve seramik partikülleri arasında meydana gelen kimyasal bir reaksiyondur. Oluşan reaksiyon ürünleri genellikle kırılgandır ve özellikleri olumsuz yönde etkiler. Bu olumsuzluklar, takviye fazın ergiyik içine dışarıdan ilave edildiği tüm kompozit üretim yöntemlerinde mevcuttur. Oysaki son yıllarda üzerinde çalışılan takviye fazın in-situ olarak metal içinde oluşturulduğu uygulamalarda ıslatılabilirlik problemi yoktur. Bunun nedeni, bu üretim yöntemlerinde takviye fazın ergiyik metal içerisinde çekirdeklenmesi ve arayüzeylerde diğer yöntemlerde gözlemlenen kirlenmelerin olmamasıdır. In-situ yöntemiyle üretilen kompozitlerde partikül yüzeylerinde oksidasyon olmadığı, yüzeylerin aktif olduğu ve kirlenmenin olmadığı belirlenmiştir.

3.5.2. Mekanik Bağ

İki yüzey arasındaki mekanik kitlenme ile oluşan bağın, kompozit özelliklerini önemli derecede iyileştirdiği bilinmektedir. Takviye fazın yüzeyinde matris fazının çekirdeklenmesi, takviye fazın matris fazı ile çevrelenmesine neden olur. Bunun anlamı, arayüzeyde yük transferinden ziyade kütle transferinin gerçekleşmiş olmasıdır. Mühendislik özellikleri açısından uygun bir kompozit elde edebilmek için çoğu zaman sadece mekanik bağın kendi başına yeterli olmadığı saptanmıştır. Mekanik bağın kontrollü kimyasal reaksiyonlarla oluşan bağlarla desteklenmesi durumunda çok daha iyi özelliklerin ortaya çıktığı kaydedilmiştir [16].

3.6. Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri korozyon gibi diğer özelliklerinden daha çok ilgi çekmektedirler ve kullanılan takviye elemanının tipine, şekline ve dağılımına göre değişim göstermektedirler. Metal matrisli kompozit malzemelerde elastik modül, akma ve çekme gerilmesi ve genleme değerleri takviye malzemesinin yukarıda sayılan özelliklerine göre çeşitli şekillerde hesaplanırken sürekli fiberlerle takviye edilen metal matrisli kompozitlerde fiber boyunca maksimum mukavemetin elde edildiği fakat, partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerde ise her yönde mukavemet değerlerinin birbirine eşit olduğu bildirilmektedir.

Metal matrisli kompozitlerde mukavemetin artmasına neden olan mekanizmalar aşağıda özetlenmektedir [7];

- Kompozit mukavemet artışı (yük transferi),
- Dispersiyonla mukavemet artışı,
- Kalıntı elastik gerilmeler,
- Tekstür farklılıkları,
- Termal genleşme katsayıları arasındaki farkın bir sonucu olarak dislokasyon oluşumuna bağlı yüksek dislokasyon yoğunlukları,
- Yüksek dislokasyon yoğunluğu oluşumunun sonucu olarak küçük alt tane boyutu.

Kompozitlerde dislokasyon yoğunluklarının artması birinci derecede termal genleşme katsayıları arasındaki farklılığa bağlanmıştır. Metal matrisli kompozitlerde termal genleşme katsayılarının 10:1 gibi yüksek oranlarda olabilmesi, dislokasyon yoğunluğu artışının en etken sebebi olarak kaydedilmiştir. Termal genleşme katsayısının yanında, Taya ve Mori'ye göre, kompozit malzemelere uygulanan plastik deformasyon neticesinde takviye malzemeleri dislokasyonların ilerlemesini engelleyerek dislokasyon yoğunluğunun artmasına yol açmaktadırlar.

Tablo 3.3'de otomotiv sanayii için seçilen bazı kompozit malzemeler ve özellikleri verilmektedir.

3.7. Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları

Metal matrisli kompozitler yüksek mekanik özelliklere sahip olmalarından ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda korumalarından dolayı bir çok uygulama alanı bulmuşlardır.

Son yıllarda metal matrisli kompozitlerin ticari kullanım alanlarına şu örnekler verilebilir.

Uçak sanayiinde denenme safhasında olmasına karşın grafit elyaf katkılı alüminyum matrisli kompozitler roket ve helikopter yapılarında, Al_2O_3 elyaf katkılı alüminyum matrisli kompozitler helikopter dişli kutularının yapımında, B-SiC karışımı elyaflarla desteklenen alüminyum matrisli kompozitler ise düşük sıcaklık içeren jet motoru kanatçıklarında kullanılmaktadır.

Tablo 3.3. Bazı otomotiv kompozit malzemeleri ve özellikleri [16].

Üreticiler	Matris	Takviye malzemeleri	Modul (GPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)
Martin Marietta ve Amax	Al	-	74	221
Martin Marietta ve Amax	Al 2219	TiC (hacimce %15)	69-117	400
Lanxide	Al	-	69	124-172
Lanxide	Al	SiC (hacimce %45-55)	152-179	400-448
Lanxide	Al	Al ₂ O ₃ (Hacimce %50-70)	193-262	200-278
Dural	Al	-	72	186-262
Dural	Al 2014	Al ₂ O ₃ (Hacimce %10-20)	83-103	414-483
Dural	Al 6061	Al ₂ O ₃ (Hacimce %10-20)	83-103	241-345
Dural	Al A356	SiC (Hacimce %10-20)	83-97	276-345
Comalco	Al	-	69	310
Comalco	Al 6061	Al ₂ O ₃ (Hacimce %20)	85	330
Honda	Al	-	69	193
Honda	ADC12	Al ₂ O ₃ (Hacimce %10)	80	250

Otomotiv sanayiinde kullanılan dökme demir fren kampanalarının %20-30 SiC içeren alüminyum matrisli kompozitler ile yer değiştirmektedir. Böylece fren sisteminde %60 'a varan ağırlık tasarrufu sağlanmıştır.

Motor bloklarındaki silindir gömlekleri grafit-Al₂O₃ partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerinden üretilmektedir. Isı iletimi artarken, kompozitin ısı genleşme katsayısı çok düşük olduğundan piston ile gömlek arasındaki toleranslar en aza indirgenebilmiş, dolayısı ile motor verimi artırılarak yakıttan tasarruf edilir.

Metal matrisli kompozitlerin tipik kullanım alanları Tablo 3.4'de verilmektedir.

Tablo 3.4. Metal matrisli kompozitlerin kullanım alanları [12].

Uzay	Uzay yapıları ve antenleri
Hava araçları	Uçak motor kutuları, ana krişler, kapılar, kanat boşlukları
Otomobil	Motor gövdesi, ana gövde, piston ve biyel kolu, şaft, fren diski, vb.
Elektrik	Motor fırçaları, pil plakaları
Tıp	Protezler, tekerlekli sandalyeler, ortopedik araçlar
Spor	Tenis raketleri, olta çubukları, bisiklet ve motorsiklet gövdeleri
Tekstil	Mekikler

Günümüzde metal matrisli kompozit malzemelerin, otomobillerin çok değişik parçalarında kullanıldığını ifade eden araştırmalar mevcuttur. Enerjinin her geçen gün pahalılaşması ve çevre koruma yönetmeliklerinin sıkılaştırılması, günlük kullanımda kompozit malzemelere olan gereksinimi artırmaktadır. Örneğin taşıtlar 15 yıl öncesine nazaran eksoz gazı açısından %96 daha temiz ve yakıt tasarrufu açısından %100 daha ekonomiktir.

Tablo 3.5’de başarılı olarak kullanılan ve uygulama alanlarının dahada yaygınlaşacağı ifade edilen metal matrisli kompozit malzemeler ve avantajları özetlenmektedir.

Son yıllarda KB Alloys Inc. (KBA) ve Anglo Blackwells Ltd. tarafından Al-%3Ti-%0.15C master alaşımları geliştirildi. Bu alaşımlar ile daha ince yapı elde edilmektedir. Bu master alaşımlar Mg içerikli alaşımlarda olduğu gibi Zr ve Cr içeren alaşımlarda verimli tane incelticidirler.

Tablo 3.5. Otomotiv sanayiinde yaygın olarak kullanılan metal matrisli kompozit malzemeler [16].

Takviye	Parça	Özellik	Avantaj	Üretici
SiC _(p)	Piston	Aşınma Direnci	Ağırlıkta azalma	Dural, Martin Marietta, Lanxide
Al ₂ O ₃ (f)	Segman yatağı, Piston kapağı	Aşınma direnci, yorulma ve sürünme	Yüksek çalışma sıcaklığı	Toyota, 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 ve dayanım, ısı genleşme	Ağırlıkta azalma	Nissan
Al ₂ O ₃ (f)	Biyel kolu	Aşınma direnci, genleşme	Ağırlıkta azalma	Du-Pont, Chrysler
Al ₂ O ₃ -SiC-C	Silindir gömleği	Aşınma direnci, genleşme	Uzun ömür, boyutta azalma	Honda
Gr _(p)	Silindir gömleği, piston, yataklar	Aşınma ve sürtünmede azalma	Motor gücünde artış	Assoc. Eng. CSIR
TiC _(p)	Piston, biyel kolu	Aşınma, yorulma	Ağırlıkta ve aşınmada azalma	Martin Marietta

4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Monolitik malzemelerle karşılaştırıldığında süper özellik göstermelerinden dolayı yüksek performansa sahip kompozit malzemelerin kullanımı gittikçe artan bir şekilde uygulama alanı bulmaktadır. Hem ham madde hemde üretim yönteminin üretilen kompozit malzemenin maliyetini etkilemesi, monolitik malzeme ve kompozit malzeme arasındaki seçimi belirleyen önemli faktördür. Kompozit malzeme yapımında kullanılan takviye elemanı maliyetinin yüksek hacimlerde üretilmesi ile düşük değerlere çekilmesi sonucu hammadde maliyetinde azalma eğilimine gitmektedir. Aynı zamanda üretim yöntemlerinin de maliyet açısından uygun duruma getirilmesi sayesinde kompozit malzemelerin monolitik malzemelere oranla tercih edilmesini artırmıştır. Kompozit malzemenin üretilmesi ve ürünün elde edilmesi genelde tek işlemde yapılmaktadır. En uygun üretim yönteminin seçimine kompozit malzemeden arzu edilen özellikleri sağlayan düşünülerek karar verilir. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviye elemanının tipi üretim yönteminin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Çünkü üretilen parçanın mekanik özellikleri ve maliyeti önemli derecede etkilenmektedir. Genelde partikül takviyeli kompozit malzemeler wisker ve sürekli fiber takviyeli kompozit malzemelerden daha uygun ve ucuz olarak üretilmektedirler [17].

Metal matrisli kompozitlerin çeşitli üretim yöntemleri bulunmakla birlikte temel üretim yöntemleri aşağıda verilmektedir:

- 1) Toz metalurjisi yöntemi
- 2) Döküm yöntemi
- 3) Takviye fazın ergiyik içinde çekirdeklendiği yöntemler (in-situ üretim)
 - a) Karışık tuz reaksiyonları,
 - b) DIMAX (Yönlendirilmiş metal oksidasyonu / nitrasyonu)
 - c) XD™ yöntemi,
 - d) Gaz enjeksiyonu yöntemi,
- 4) Yayınma

5) Ekstrüzyon ve çekme

yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır [17,18].

4.1 Toz Metalurjisi Yöntemi

Kompozit üretimi için geliştirilmiş ilk yöntemdir. Bu yöntemde metal tozu ön alaşımlanmış ~20-40 µm boyutunda atomize tozdur. Toz metalurjisi yönteminin başlıca avantajları; matris malzemesi olarak herhangi bir alaşımın rahatlıkla kullanılabilmesidir. Katı durumda üretim yapılması nedeniyle matris ile takviye faz arasındaki reaksiyon minimuma indirildiği için herhangi bir takviye faz kullanılabilir. Yüksek hacim oranında takviye faz kullanımı mümkündür. Bu da kompozitin elastik modülünü artırmakta ve ısıl genleşme katsayısını düşürmektedir. Bu avantajların yanında toz metalurjisi yönteminin pahalı olması en büyük dezavantajdır [18].

4.2. Döküm Yöntemi

Ticari bakımdan, döküm şekli daha uygun gözükmektedir. Döküm yöntemleri dışındaki üretim şekilleri pahalı ve kullanışsızdır. Döküm yönteminin genel avantajları aşağıda verilmektedir.

- Basit, hızlı ve ucuz
- Kompleks şekilde parçaların mekanik işleme tabi tutulmadan elde edilmesi
- Çeşitli metal matrisli ve fiberler için uygun olması
- Sık sık ihtiyaç duyulan kompleks parçaların üretim kolaylığı

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan döküm yöntemleri aşağıda açıklanmaktadır.

a) Atomizasyon ve Gaz Enjeksiyonu: Takviye malzemelerinin, özellikle partiküllerin sıvı matris içine N₂ gazı yardımıyla disperse edilmesi prensibine dayanmaktadır. Potadaki sıvı metal, potanın tabanı açıldığında aşağı doğru akmakta ve partiküller ile karşılaşmaktadır. Bu sırada sisteme N₂ gazı verildiği için eriyik ince damlacıklar haline gelmekte ve homojenlik sağlanmaktadır. Bu yöntem partikül takviyeli Metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanıma uygundur [7].

b) Vorteks Yöntemi: Bu yöntem kullanılarak, ergitilen matris metalinin içine daldırılan bir karıştırıcı yardımıyla oluşturulan vorteks içine seramik takviye malzemeleri kontrollü olarak verilerek Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK) elde edilir. Genelde partikül takviyeli MMK malzemelerin üretimi için daha uygun olmasına kısa fiber ve wisker takviyeli kompozit malzemelerin üretilmesinde mümkündür. MMK üretim metodlarının içinde en ucuz ve en kolay üretim yöntemidir [7].

c) Pelet Yöntemi: Bu yöntemde önceden sıkıştırma döküm gibi herhangi bir yöntemle hazırlanan peletler sıvı metale ilave edilir. Hazırlanan peletler matris metali ile aynı bileşime sahip olan metal ile yüksek orandaki (% 50-60) takviye malzemesinden meydana gelmektedir (grafit, grafit ve Al tozları içeren peletler). Peletler hazırlanmadan önce takviye malzemeleri genelde Ni veya Cu gibi metallerle kaplanmaktadır. Bu metodla kompozitler tekrar ergitilip dökülebilmektedirler. Yöntem oldukça ucuz ve pratik bir yöntemdir. Tek dezavantajı eriyik içersine disperse olan Al tozlarının oksit tabakası içermesidir.

d) Yönlenmiş Katılma: Tek yönde katılmış ötektik kompozitler büyük ilgi uyandırmaktadırlar. Bu yöntem yardımıyla, tantalyum monokarpit wiskerleri ile takviye edilmiş NiTiC süper alaşımından uçak motoru türbin bıçakları üretilmektedir [7].

e) Sıvı İnfiltrasyon: Bu yöntemde vakum altında inert bir gaz yardımıyla sıvı metalin kalıp içerisinde bulunan preform şeklindeki takviye elemanının içine nüfuz etmesine dayanmaktadır. Sisteme uygulanan basınç miktarı sıkıştırma dökümde kullanılan çok düşük değerlerdedir. Sıvı metalin katılmasından preformda bulunan gözeneklere emdirilmesi, kimyasal reaksiyonların minimuma indirilmesi, matris-fiber arasındaki bağ mukavemetinin ve ıslatılabilirliğin artırılması için preformun uygun bir sıcaklığa kadar ısıtılması gerekmektedir [7].

İnfiltrasyonun mümkün olan en kısa sürede tamamlanması gerekmektedir. Buda ancak dışarıdan uygulanacak basıncın, seramik preformdaki fiberler arasındaki kılcal basıncı yenebilecek derecede yüksek olarak seçilmesiyle sağlanır [7].

Sıkıştırma Döküm: En önemli üretim yöntemlerinden olan sıkıştırma döküm otomotiv, havacılık ve diğer endüstrilerde kullanıldığı için üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Sıkıştırma döküm yöntemi herhangi bir metalin vakum yapılmadan basınç altında katılaştırılmasına dayanmaktadır. İstenilen şekilde ve takviye hacmine sahip preform ön ısıtma işlemi yapılarak kalıp boşluğuna bırakılmakta ve sonra ısıtılmış kalıba sıvı metal dökülmektedir. Hemen ardından hidrolik pres

yardımla metal katılaşana kadar basınç uygulanmaktadır. Basınç altında katılaştırma ile takviye malzemesiyle matris metali arasında ara yüzey bağ mukavemetinin oldukça olumlu yönde etkilendiği belirtilmektedir. Geleneksel dökümlere göre daha fazla basınç gerekmektedir. Katılma süresince uygulanan basınç sayesinde ince taneli, gözeneksiz ve pürüzsüz yüzeye sahip malzemelerin üretimi sağlanmaktadır. Yüksek basınç ihtiyacından dolayı istenilen parçanın boyutu sınırlayıcı faktördür [7].

Bunların yanında takviye fazın ergiyik metal içinde çekirdeklenildiği kompozit üretim yöntemleride mevcuttur. Bu sayede arayüzey kirlilikleri oluşmamaktadır. Bu yöntemlerden bir sonraki bölümde bahsedilecektir.

4.3. In-Situ Üretim Yöntemi (Takviye Fazın Ergiyik Metal İçinde Kendiliğinden Oluşturulması)

In situ proses (takviye fazın ergiyik metal içinde kendiliğinden oluşturulması) takviye fazının matriste çekirdeklenmesi ve büyümesi esasına dayanır. Böylece termodinamik olarak kararlı takviye fazlar elde edilir. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri içinde, takviye fazın ergiyik metal içinde çekirdeklenmesine izin veren üretim yöntemleri ekonomik ve teknik açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır. Takviye fazının ergiyik metal içinde çekirdeklenildiği yöntemlerde partikül miktarının ve şeklinin kontrol edilmesi mümkündür. Bu ise kompozit malzemelerin özelliklerinin iyileşmesine neden olur. Diğer üretim yöntemlerinde görülen ıslatılabilirlik problemi ve matrisle takviye faz arasındaki arayüzey uyumsuzluğu bu yöntemde görülmemektedir. Ergiyik bileşimi ve reaksiyon kimyası kontrol edilerek karbürler, nitrürler, oksitler, borürler ve silikatlar oluşturulabilmektedir. Başlangıç fazlarına bağlı olarak genellikle reaksiyonlar gaz-sıvı, sıvı-katı ve sıvı-sıvı olarak sınıflandırılır. Düşük ve yüksek sıcaklık alaşım sistemlerinde ergiyik faz içinde çekirdeklenerek oluşan takviye fazın bulunması ana alaşım malzemesinin dayanımını ve elastik modülünü olumlu yönde etkilemektedir. Diğer bir faydası ise yüksek sıcaklık performansının artmış olmasıdır [1].

In-situ kompozitlerin takviye fazın sonradan ilave edilen (ex-situ kompozitler) kompozitlere göre avantajları şöyle sıralanabilir [1,4,9];

- Daha küçük partikül boyutu nedeniyle yüksek mukavemet, yorulma direnci, sürünme direnci ve aşınma direnci,

- Temiz ve oksitlenmemiş parikül-matris arayüzeyleri, ıslanabilirliğin artması ve böylece daha yüksek arayüzey mukavemeti,
- Islanabilen, yüksek sıcaklıklarda çözünmeyen, termodinamik olarak kararlı partiküller elde edilir.
- Çok iyi partikül boyut dağılımı elde edilir,
- İlave işlemlere gerek olmadığından üretim maliyetleri düşüktür.

4.3.1. Karışık Tuz Reaksiyonları Yöntemi

Bu yöntemde titanyum ve borun karıştırılmış tuzları TiB_2 partikülleri oluşturmak için ergiyik alüminyum içinde reaksiyona sokulmuştur. Borürleri içeren alüminyum ergiyiği daha sonra külçe ve ingot olarak dökülmüştür. Bu prosesle üretilen TiB_2 partiküllerinin boyutları 1-2 μm arasındadır. Reaksiyon prosesinde tuzların bulunmasından dolayı, TiB_2 partiküllerinin bazı istenmeyen reaksiyon ürünleri ile kaplandığı düşünülmektedir [1].

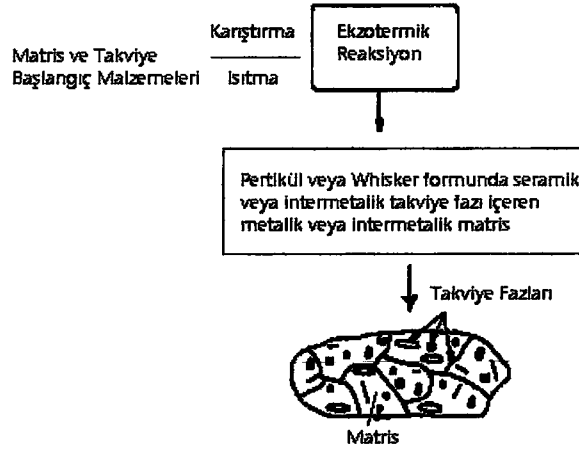
4.3.2. DIMAX (Yönlendirilmiş Metal Oksidasyonu veya Nitasyonu)

Bu yöntemde, ergiyik metal yüksek sıcaklıklarda oksitleyici atmosfere maruz bırakılmaktadır. Son ürün üç boyutlu, birbirine bağlı, oksit ve mikro kanallı metal alaşımdır. Reaksiyon ürünü oksidasyon atmosferine doğru büyür. Reaksiyon kapiler kuvvetlerle ergiyik alaşımın yüzeye iletilmesi ile desteklenir. Ana alaşım okside olarak takviye fazı oluşturulmaktadır (örneğin; TiO_2). Mg ve Zn gibi alaşım elementlerinin küçük miktarlarda ergiyikte bulunmasının nedeni oksidasyon reaksiyonunun başlamasına yardımcı olmak ve böylece normalde saf alüminyum yüzeyinde oluşan pasif filmin oluşumunu engellemektir. Aynı zamanda alaşım elementleri ergiyiğin yüzey enerjisini değiştirerek oksitlerin ıslatılmalarını sağlarlar.

4.3.3. XD™ Yöntemi (Sıvı- Katı reaksiyonları)

Bu proseste, matris ve ikinci fazı oluşturan bileşenlerin toz karışımındaki ekzotermik reaksiyonları metal matriste takviye partiküllerinin çökmesine neden olur. Takviyelerin in-situ gelişimi sebebiyle takviye ve matris arasındaki oksit tabakası elimine edilir.

Bu prosesle takviye partiküllerinin boyutu ilk boyutlarıyla sınırlı olmak üzere ince boyutlu takviye partiküllerinin homojen dağılımı elde edilir. XD prosesinin şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmektedir [19].



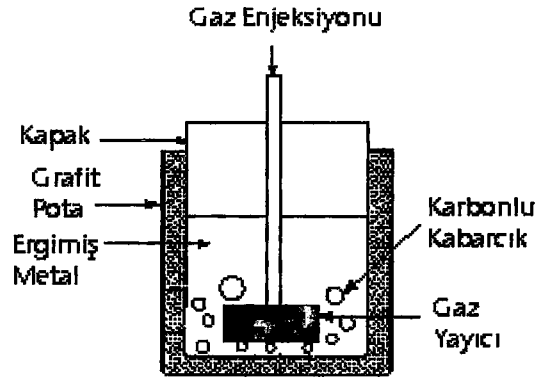
Şekil 4.1. XD™ Yönteminin şematik gösterimi [19].

Bu yöntemle üretilen kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak Al, Fe, Cu, Pb, Ni, Ti ve takviye faz olarakta borürler, karbürler, nitrürler ve bunların karışımı kullanılabilmektedir [20]. Alaşımda bulunan partiküllerin boyutlarının 0,1-3 μm arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu değer diğer yöntemlerle üretilen metal matrisli kompozitlerin partikül boyutundan oldukça düşüktür [12].

4.3.4. Gaz Enjeksiyon Yöntemi ile TiC Takviyeli Al-TiC Kompozit Üretimi

Bu proseste, karbonlu bir gaz (CO , CO_2 , $\text{CO}+\text{CO}_2$ karışımı, CCl_4 veya CH_4) yüksek sıcaklıklarda (1150-1400 $^{\circ}\text{C}$) sıvı alüminyum içinde bulunan titanyum ile reaksiyona girerek TiC'ü oluşturmaktadır. Matris malzemesi olarak demir dışı alaşımlar (Al, Cu, Mg, Ni ve Ti gibi) kullanılabilir. Takviye fazı gaz-katı reaksiyonunun neden olduğu buhar-sıvı-katı reaksiyonu yolu ile oluşmaktadır [1].

Al-Ti alaşımlarında katı alaşım elementi ve metal içermeyen gaz arasında meydana gelen reaksiyon sonucunda ergiyik haldeki matris alaşımında ince boyutlu takviye faz oluşmaktadır. Şekil 4.2'de gaz enjeksiyon yönteminin şematik şekli verilmektedir [10].



Şekil 4.2. Gaz enjeksiyon yönteminin şematik gösterimi [10].

İşlemin akış sırası şöyledir;

- 1. Aşama karbonlu gazın (CH_4) sıvı ergiyik içinde ayrışmasını,
- 2. Aşama oluşabilecek değişik reaksiyon yolları ve ürünlerini,
- 3. Aşama (katı ve sıvı durumda) TiC oluşumu için mümkün olan reaksiyon yollarını,
- 4. Aşama ise katılaşma sırasındaki olayları göstermektedir.

1. Aşama: Gaz Ayrışması

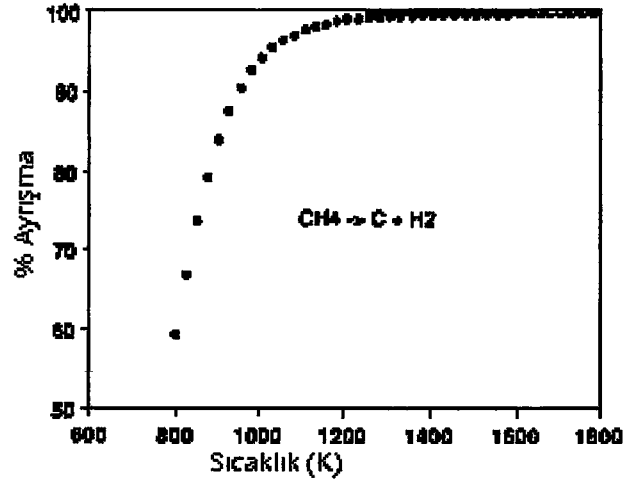
Ar-CH_4 gaz karışımı değişik akış hızlarında ergiyik içine yollar. Yüksek sıcaklıklarda CH_4 aniden ayrışır. Ayrışma oranı sıcaklığın fonksiyonu olarak belirlenir. CH_4 oluşumunun serbest enerji değişimi aşağıdaki reaksiyonla verilir:



$$\Delta G^\circ = -RT \ln K = -91863 + 111.2 T \text{ Jmol}^{-1} \quad 4.2$$

$$\text{Denge sabiti } K = P_{\text{CH}_4} / P_{\text{H}_2}^2$$

CH₄'ün ayrışma yüzdesi Şekil 4.3 'de grafik olarak verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi 1300°K'in üzerinde CH₄ kolaylıkla ayrışmaktadır [9].



Şekil 4.3. CH₄ ayrışmasının sıcaklık ile değişimi [9].

2. Aşama: TiC ve Al₄C₃ Oluşumu

Karbonlu gazın ayrışması sonucu, karbon Ar/H₂ kabarcıklarında serbest kalır ve gaz-metal ara yüzeyinde karbon-metal reaksiyonu oluşur. Al₄C₃ atmosferik su buharından etkilendiği için oluşumu kesinlikle engellenmelidir [10].

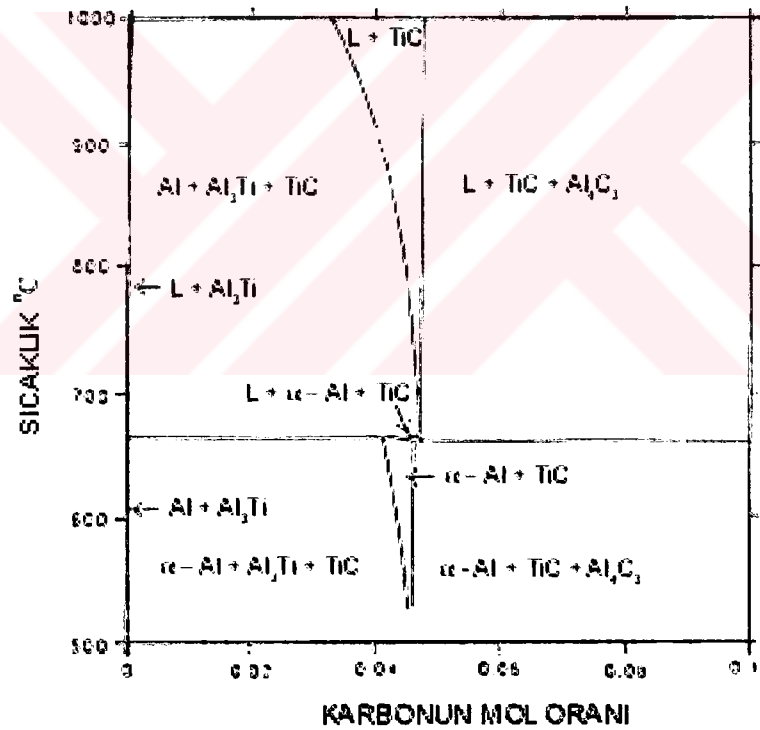
3.Aşama: TiC Oluşumu ve Reaksiyon Sırası

TiC oluşumunda Al-Ti alaşımı ve karbon arasındaki sıvı-katı reaksiyonu kısa sürede gerçekleşen bir reaksiyon değildir. TiC oluşumu katı durumda veya sıvı çözeltilerden çökeltme yolu ile gerçekleşebilir. Katı durumda Al₃Ti iğneleri karbon ile reaksiyona girerek kararsız olan Ti₃AlC fazını oluşturur. Yeterli süre ve karbon verildiğinde Ti₃AlC fazı termodinamik olarak kararlı olan TiC'ü oluşturur. Sıvı durumda termodinamik olarak öncelikle TiC oluşumu beklenmesine rağmen alüminyumun ergiyik içindeki aktivitesinin (~0,99) titanyumun aktivitesinden (~0,01) yüksek olmasından dolayı TiC'den önce Al₄C₃ ve Ti₃AlC ara ürünleri oluşmaktadır [21]. Sıvı durumda reaksiyon sırası aşağıda verildiği gibidir:



4.Aşama: Katılaşma

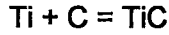
Karbon miktarına bağlı olarak düşük sıcaklıklarda diğer kararlı fazların oluşabileceği deneysel ve teorik çalışmalarda belirlenmiştir. Şekil 4.4'de Al+%10Ti ile C arasında hesaplanmış faz diyagramı görülmektedir. 0,04 mol oranının altında C bulunması durumunda, oda sıcaklığında alüminyum matriste sadece Al_3Ti ve TiC dengededir [12].



Şekil 4.4. Al-10Ti ile C arasındaki denge diyagramı [12].

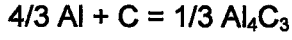
TiC ve Al_4C_3 oluşumunun termodinamiğine bakacak olursak; çok bileşenli sistemlerde çeşitli bileşiklerin hakim olan şartlara bağlı olarak oluşması mümkündür. Al_4C_3 'ün oluşması bu bileşiğin gevrek olması sebebiyle oluşumu istenmez. Bu

proseste mümkün olan reaksiyonlar ve serbest enerji değişimleri aşağıda verilmektedir.



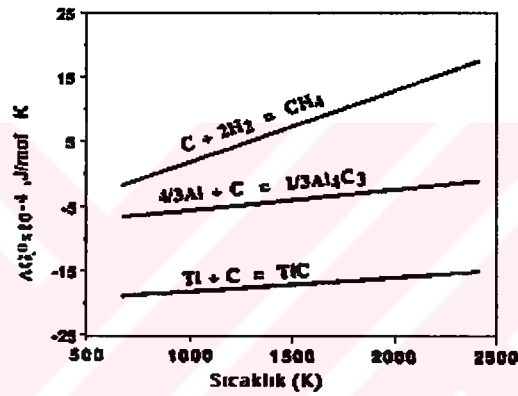
$$\Delta G^\circ = -186606 + 13.22T \text{ Jmol}^{-1} \quad (4.6)$$

ve



$$\Delta G^\circ = -8884040 + 32.1T \text{ Jmol}^{-1} \quad (4.7)$$

Şekil 5.5'ten görüleceği gibi TiC'ün oluşum serbest enerjisi Al_4C_3 'ten daha düşüktür. Buradan da görüleceği gibi TiC daha kararlı bir fazdır ve oluşumu daha muhtemeldir



Şekil 4.5. Sıcaklığın fonksiyonu olarak oluşum serbest enerjisi değişimi [9].

4.3.5. Elementel Karbon İlavesi ile TiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi

Al-Ti alaşımına elementel karbon ilave etmek sureti ile TiC takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimini gerçekleştirmek mümkündür. Elementel karbon olarak grafit veya amorf karbon kullanılmaktadır. Bu yöntemin diğer yerinde oluşum tekniklerine (in-situ yöntemlere) göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir;

- Üretimin kolay olması,
- Çok yüksek üretim teknolojisine ihtiyaç duyulmaması,
- Üretim maliyetinin düşük olması,

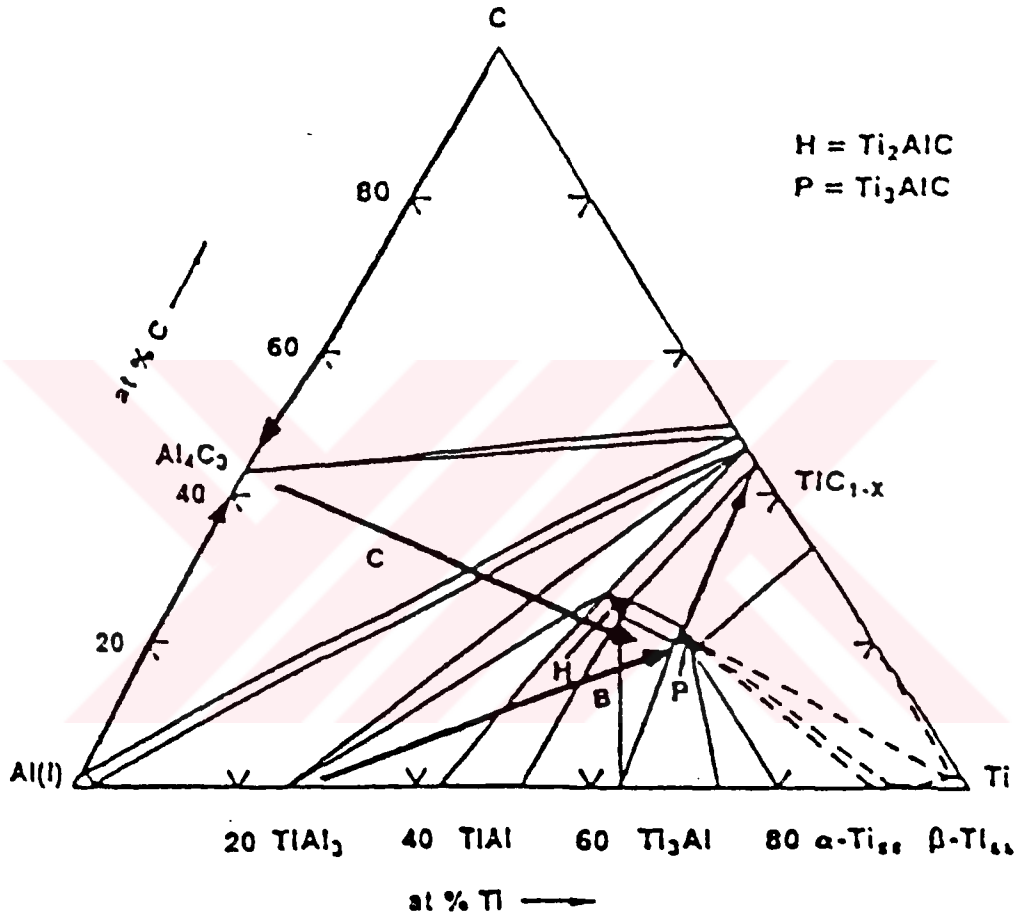
- Klasik kompozit üretim yöntemlerinde görülen ıslatılabilirlik probleminin olmaması,
- Mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyen matris-takviye faz arasındaki kirlenmelerin görülmemesi,
- En önemlisi ise üretim süresinin kısa olmasıdır.

TiC takviyeli alüminyum kompozit üretimi Al-Ti alaşımlarına uygun sıcaklıkta grafit tozu ilave ederek gerçekleştirilir.

Bu yöntemin iyi şekilde anlaşılıp başarılı olarak uygulanabilmesi için TiC oluşum termodinamiğinin ve elementel karbonun matris tarafından ıslanabilirliğinin belirlenmesi gerekir.

Alüminyum eriyiği içindeki Al_4C_3 ve TiC fazlarının kararlılığı bu fazların dönüşüm serbest enerjilerine bağlıdır. Bu yüzden Al-Ti-C çl  sisteminde oluşacak reaksiyonlar ve sıcaklığın fonksiyonu olarak dönüşüm serbest enerjilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Al-Ti-C denge diyagramı Şekil 4.6'da verilmektedir.

Alüminyum eriyiği içersine küçük miktarlarda katı Ti ve C ilave edilmesi durumunda, çözünmüş titanyum ve çözünmüş karbon reaksiyona girerek TiC'  oluşturmaktadır. 1273 K'nin altındaki sıcaklıklarda karbonun alüminyum tarafından ıslatılmadığı, 1273 K 'nin üzerindeki sıcaklıklarda temas açısının artan sıcaklıkla azaldığı ve 1373 K'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise temas açısının 90 derecenin altına düştüğü A. Banerji tarafından ifade edilmiştir. Al-Ti alaşımlarında temas açısı saf alüminyuma göre daha küçüktür. Sıcaklık ve Ti miktarının artması ile temas açısı daha da küçülmektedir. N. Sobczak ve arkadaşları Al-Ti alaşımları ve grafit arasındaki ıslatılabilirlik üzerine yaptıkları çalışmada sıcaklığa, süreye ve Al-Ti bileşimine bağlı olarak katı/sıvı arasındaki temas açısı ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Grafitin saf alüminyum tarafından ıslatılması 1323 K'in üzerindeki sıcaklıklarda mümkün olmaktadır. Al-Ti alaşımlarında temas açısı saf alüminyuma göre daha küçük olmaktadır. Sıcaklık ve titanyum miktarının artmasıyla temas açısı dahada küçülmektedir. Al-%1,5 Ti alaşımında 1173 K'in üzerindeki sıcaklıkta grafit alüminyum tarafından ıslatılabilmektedir. Al-%6Ti alaşımında grafitin alüminyum tarafından ıslatılması 1223 K'de 7 dakikada gerçekleşirken 1323 K'de 1 dakikada ve 1423 K'de hemen gerçekleşmektedir [12].



Şekil 4.6. Al-Ti-C üçlü denge diyagramı [12].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, alüminyum dökümhanelerinde tane küçültme amacıyla kullanılan Al-10Ti alaşımı ile poroz grafitten yararlanılmıştır. Üretilen kompozit malzemeden alınan numuneler metalografik olarak hazırlanıp parlatılarak %0,5 HF çözeltisi ile dağlandıktan sonra mikroyapıları incelenmiştir.

5.2. Deneylerde Kullanılan Aletler

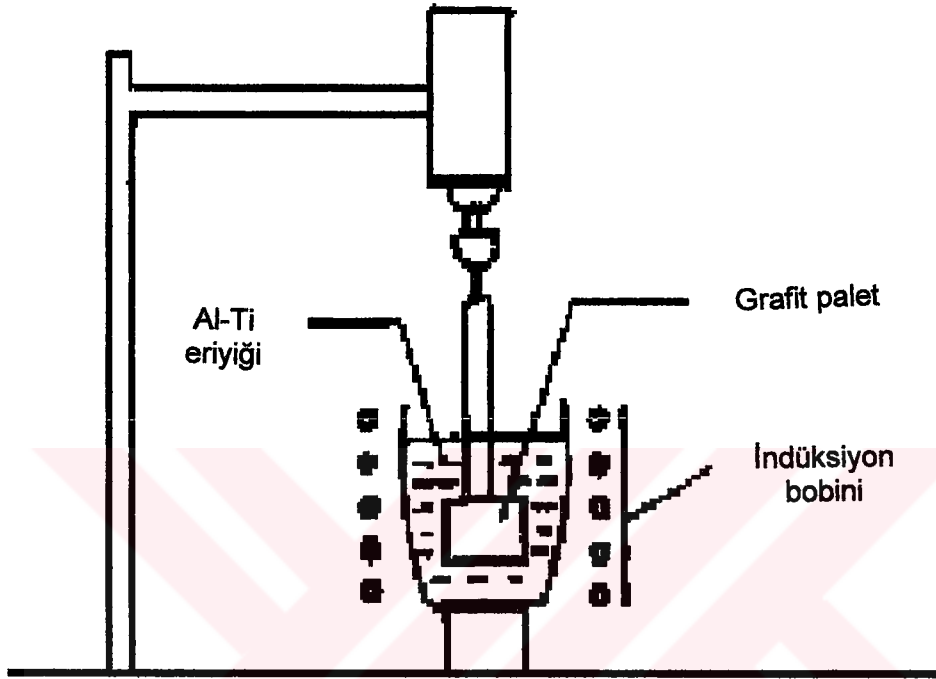
Alüminyumun ergitme işlemi indüksiyon ocağında yapılmış ve grafitin ergimiş alüminyum içinde döndürülmesi için bir karıştırıcıdan yararlanılmıştır. Metalografik olarak hazırlanmış ve dağlanmış numunelerdeki faz yapısının belirlenmesinde x-ışınları difraksiyon tekniğinden yararlanılmıştır. Bu amaçla Philips Analytical X-Ray B.V. cihazı kullanılmıştır. Zeiss marka optik mikroskop ve SEM incelemelerinde JEOL JSM-5410 SEM elektron mikroskobu kullanılmıştır.

5.3. Sıvı Al-Ti Alaşımları İçinde Grafit Çözündürülerek Al-TiC Kompozitlerin Üretilmesi

Bu yöntemle kompozit numunelerin hazırlanmasında, hem alüminyum matris hemde karbür oluşturuçu titanyum kaynağı olarak alüminyum dökümhanelerinde tane küçültme amacıyla kullanılan Al-10Ti alaşımı kullanıldı. Alüminyum içinde titanyumun çözünürlüğü son derece sınırlı olduğundan (alüminyumun ergime sıcaklığında %1 kadar) Al-10Ti alaşımının mikroyapısı alüminyum matris içinde çökelmiş Al_3Ti bileşiklerinden oluşmaktadır. Bu alaşım silisyumkarbür bir pota içinde indüksiyonla ergitilmiştir. Eriyik sıcaklığı Al_3Ti bileşiklerinin çözünmesini ve grafitin alüminyum tarafından ıslatılmasını sağlamak için $1200^{\circ}C$ 'ta çıkarılmıştır. Bu sıcaklığa çıkıldıktan sonra poroz grafitten hazırlanan bir palet, bir karıştırıcıya monte edilerek sıvı alaşım içine daldırılmıştır. TiC takviyeli alüminyum kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.1'de verilmektedir.

Grafit palet eriyik içinde 30 dakika süre ile döndürülmüştür. Grafitin dönme hızı 100 devir/dakika olarak seçilmiştir. Burada ergiyik yüzeyinde bozulmaması ve girdap oluşumunun önlenerek metalin aşırı oksidasyonunu engellemek için bu hız seçilmiştir ve paletin salınım yapmaması için eksantriklik iyi ayarlanmıştır. Böylece

işlem süresince banyo yüzeyinin bozulmamasına özen gösterilmiş ve sıcaklık 1200-1300°C aralığında muhafaza edilmiştir. 30 dakikalık süre sonunda grafit palet eriyikten çıkartılmış, banyo yüzeyinde biriken curuf temizlenip eriyik grafit bir karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra kokil kalıplara dökülmüştür.



Şekil 5.1. TiC takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan deney düzeneği.

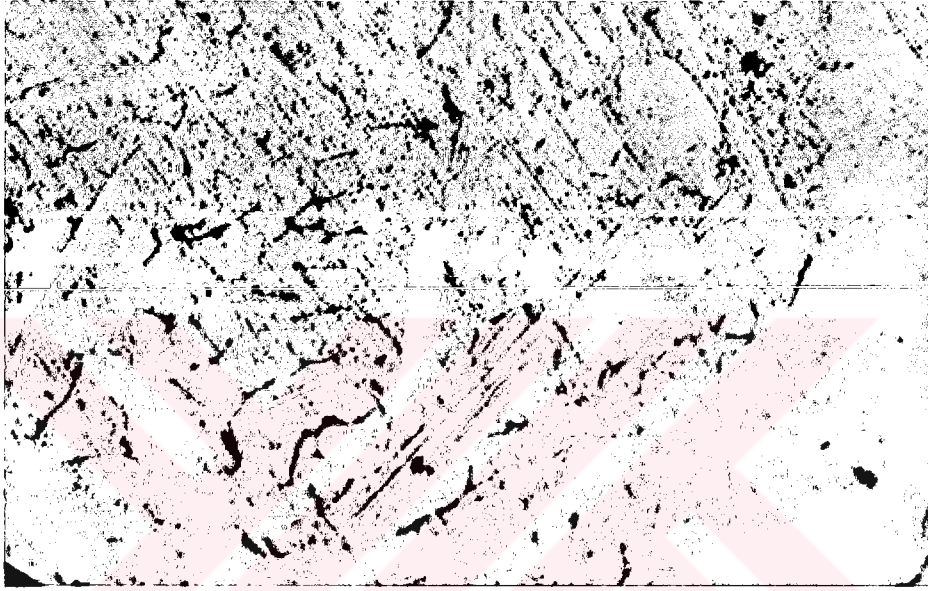
Bu yöntemle hazırlanan kompozitten alınan numuneler metalografik olarak hazırlanmış ve dağlandıktan sonra mikroyapıları incelenmiştir. Faz yapılarının belirlenmesinde X-ışınları difraksiyon tekniğinden yararlanılmıştır.

5.4. Metalografi Çalışmaları

Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapılarını incelemek üzere standart metalografik işlemleri uygulanmıştır. İlk önce 80, 240, 320, 500, 600, 800, 1000, 1200 mesh'lik zımparalardan geçirilen numuneler 1µm'luk elmas pastalarda parlatılmıştır. Bu hazırlanan numuneler optik mikroskopta incelenmiştir. Hazırlanan numunelerde %0,5 HF ile dağlama işlemi yapılmıştır. Hazırlanan numuneler Zeiss marka optik mikroskop ile incelenmiştir. Ayrıca yapıdaki fazların EDS incelemesi SEM (taramalı elektron mikroskobu) JEOL JSM 5410 cihazında gerçekleştirilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMESİ

TiC oluşumunu belirleyebilmek için öncelikle grafit çözündürülmemiş Al-10Ti alaşımlarının X-ışınları difraktogramları çekilmiş ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Şekil 6.1'de içinde grafit çözündürülmemiş Al-10Ti alaşımının dağlanmış haldeki mikroyapısı görülmektedir. Burada kaba taneler ve iğnesel şekilde görülen fazlar Al_3Ti 'dir.



Şekil 6.1. Grafit çözündürülmemiş Al-10Ti alaşımının optik mikroskop görüntüsü (200 μ m, %0,5 HF ile dağlanmış)

Bu Al-10Ti alaşımında iğnesel partiküller üzerinden alınan EDS analiz sonuçları bu iğnesel fazların Al_3Ti olduğunu kanıtlamaktadır. Al_3Ti fazının EDS analiz sonucu Şekil 6.3'de verilmektedir. Al-10Ti alaşımına ait SEM elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 6.2'de verilmektedir. Bununla birlikte 30 dakika grafit çözündürülmüş olan numunelerin mikroyapılarında Al_3Ti partiküllerinin sayısı azalmış ve oldukça iri ve bloksu olan Al_3Ti partikülleri 1200-1300°C sıcaklıkları arasında parçalanarak, Ti serbest kalmış, karbonla reaksiyona girmeyen kısmı tekrar Al_3Ti bileşiği şeklinde katılaşmıştır. Şekil 6.4'te 30 dakika grafit çözündürülmüş olan Al-10Ti alaşımının mikroyapısı verilmektedir. Şekil 6.5 ve şekil 6.6'da da farklı büyütmelerde işlem görmüş alaşımın optik mikroskobu görüntüleri verilmektedir.

Grafitin 1200 °C'ta ergiyik içinde 30 dak. döndürülmesi sonucu elde edilen yapının ve başlangıç alaşımı olan Al-10Ti'un X-ışınları analizi Şekil 6.7'de verilmektedir. Bu

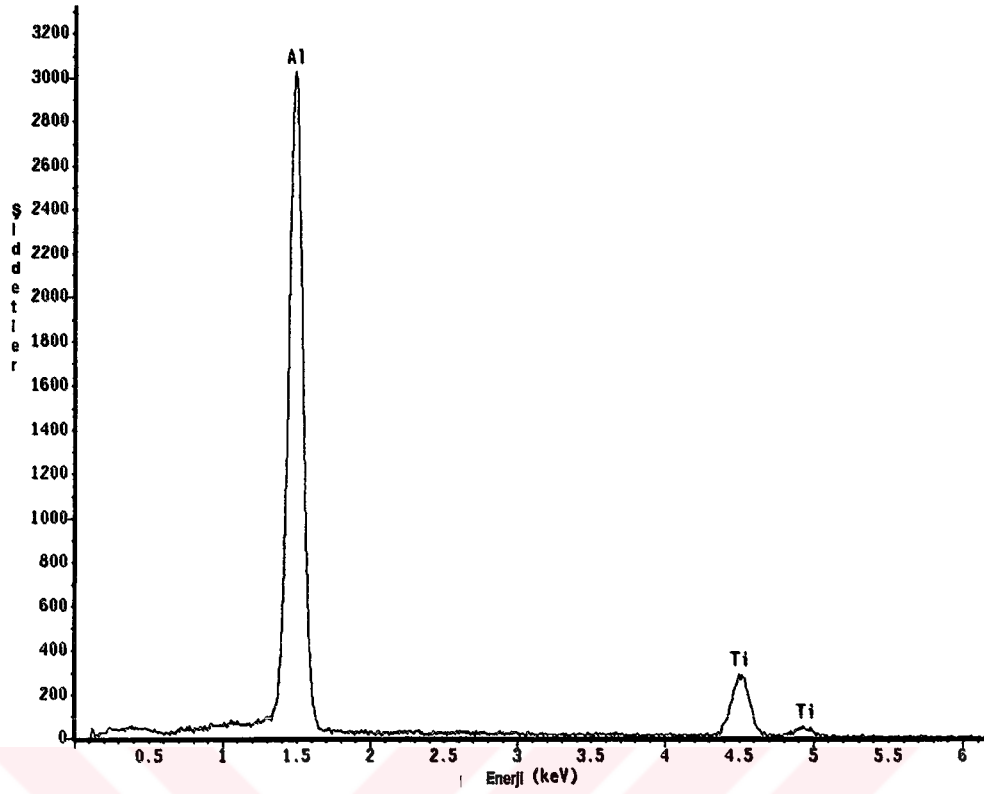
x-ışınları analizi incelendiğinde başlangıçta yapıda Al ve Al_3Ti pikleri bulunmaktadır. Bu optik mikroskop ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntülerinden Al_3Ti fazının alüminyum matris içinde homojen dağılmış olarak bulunduğu görülmektedir.

1200-1300 °C'da 30 dakika grafit çözündürüldükten sonra elde edilen numunelerin x-ışınları analiz sonucu incelendiğinde (Şekil 6.7b) yapıda Al matris ve Al_3Ti fazının yanısıra TiC piklerinin de oluştuğu görülmektedir. 1200-1300°C sıcaklıkları arasında Al_3Ti parçalandığından ve kuvvetli karbür yapıcı olan Ti serbest kalarak karbon ile reaksiyona girdiği için yapıda Al_3Ti piklerinin küçüldüğü ve TiC piklerinin oluştuğu görülmektedir. Grafit çözündürülmüş Al10Ti ait SEM elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 6.8'de verilmektedir. Bu malzemeye ait EDS analizi sonuçları da Şekil 6.9'de verilmektedir.

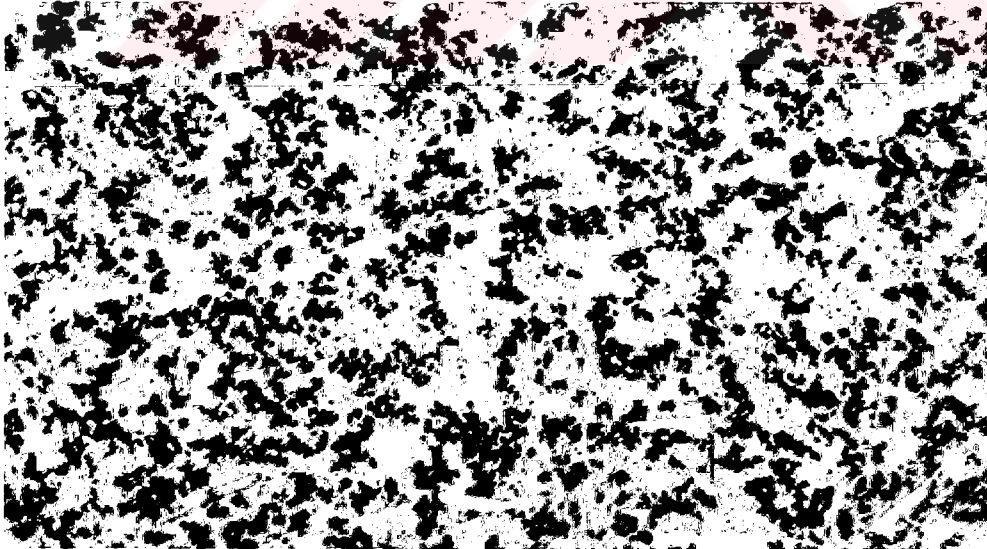
Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.8'den görüleceği gibi TiC ilk oluşmaya Al_3Ti fazının üzerinde ve bu faza yakın yerlerde başlamaktadır. Çünkü serbest kalan titanyumun karbonla ilk reaksiyona girdiği bölgeler buralardır.



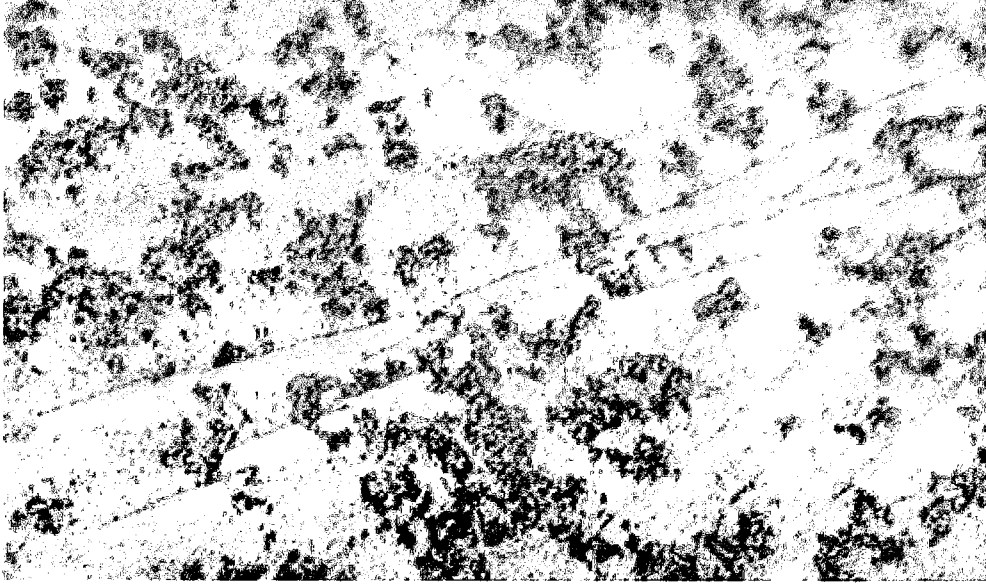
Şekil 6.2. Al-10Ti alaşımına ait SEM elektron mikroskobu görüntüsü.



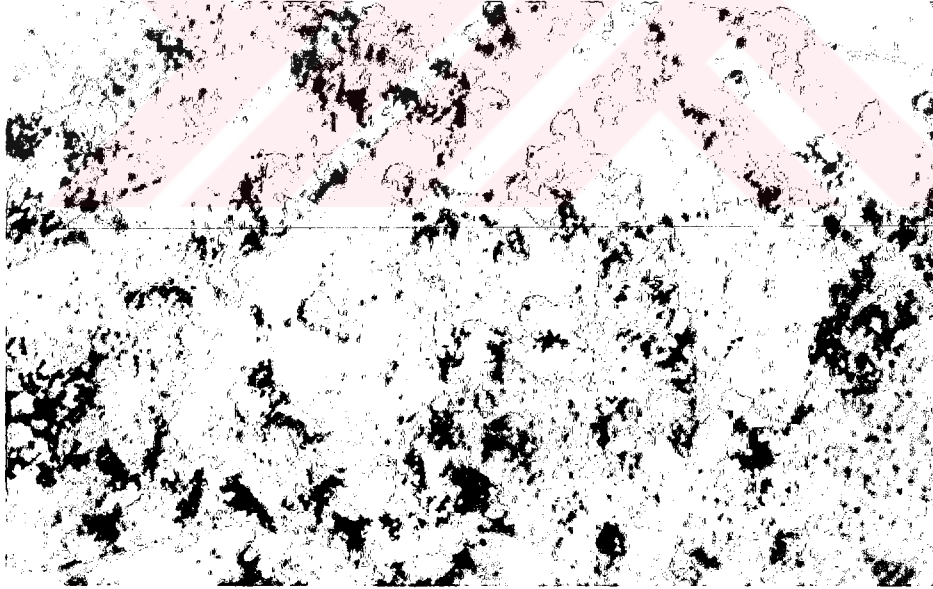
Şekil 6.3. Al-10Ti alaşımında bulunan Al_3Ti iğneciğinin EDS analizi sonucu.



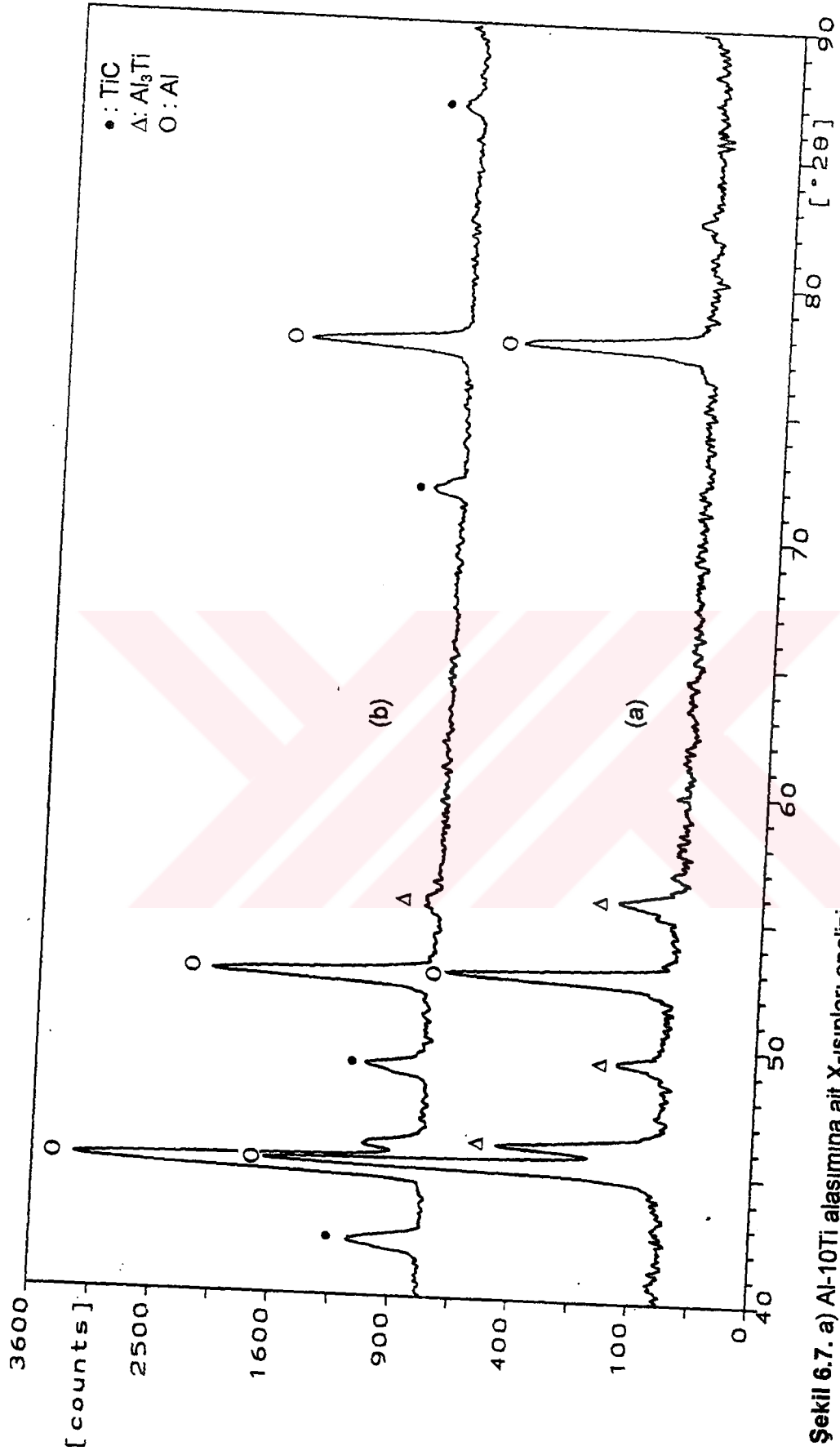
Şekil 6.4. 1200-1300 °C sıcaklıkları arasında 30 dak. grafit çözüldürülmüş Al-10Ti alaşımının optik mikroskop görüntüsü (200 μ m, %0,5 HF ile dağlanmış)



Şekil 6.5. 30 dak. grafit çözündürülen Al-10Ti alaşımının optik mikroskop görüntüsü (500 μm , %0,5 HF ile dağlanmış).



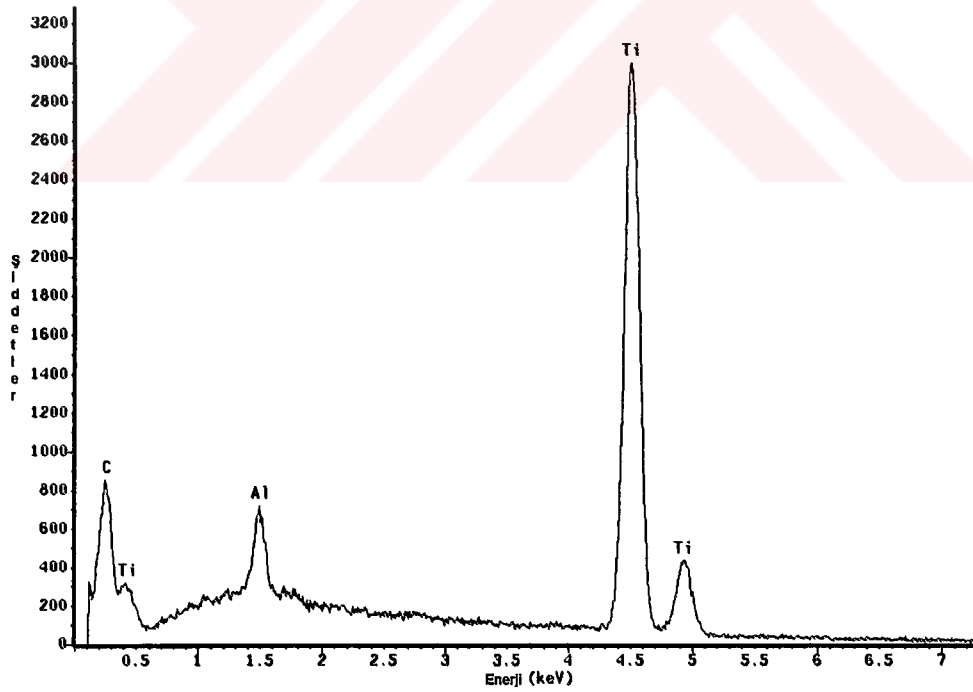
Şekil 6.6. 30 dak. grafit çözündürülmüş Al-10Ti alaşımının optik mikroskop görüntüsü (800 μm , %0,5 HF ile dağlanmış).



Şekil 6.7. a) Al-10Ti alaşımına ait X-ışınları analizi
b) 1200-1300°C sıcaklıkları arasında 30 dak. grafit çözündürüldükten sonra elde edilen X-ışınları analizi



Şekil 6.8. 1200-1300 °C'da 30 dakika grafit çözündürüldükten sonra elde edilen numunelerin SEM elektron mikroskobu görüntüsü



Şekil 6.9. 1200-1300 °C'da 30 dakika grafit çözündürüldükten sonra elde edilen numunede oluşan ikinci faz (TiC) üzerinden alınan EDS analizi sonucu

SEM görüntüsü incelendiğinde yapıda Al_3Ti fazının yanında TiC fazında bulunduğu görülmektedir. Şekil 6.9'da verilen EDS analiz ile de bu ispat edilmektedir. Burada Al_3Ti fazının küçülmeye başladığı ve TiC küçük partiküller halinde homojen olarak yapı içinde dağılmaya başladığı görülmektedir.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Al-Ti eriyikleri içersinde grafit çözündürülerek TiC takviyeli kompozit üretilmektedir.
2. Alüminyum içersinde çözünürlüğü çokdüşük olan Ti alüminyum içinde Al_3Ti fazı şeklinde bulunur. Bu faz 1200-1300 °C sıcaklıkları arasında parçalanır ve metalik titanyum serbest kalır. Sisteme grafit sokulduğunda titanyum ve karbonla oluşacak reaksiyon sonucu TiC oluşmaktadır.
3. Burada indüksiyon ergitme yapılmalı ve bir karıştırıcı kullanılmalıdır. Böylece indüksiyonunun karıştırma hareketi ile ve devri ayarlanan bir karıştırıcı ile karbonun serbest kalacak titanyum ile reaksiyona girme şansı artırılır.
4. Çalışılan bu yöntemde başlangıç numunesi olan Al-10Ti alaşımının yapısında iğnesel Al_3Ti fazları uygun çalışma şartlarında yöntem sıcaklığının ve sürenin uygun seçilmesiyle TiC haline dönüşecektir.
5. 1200-1300 °C sıcaklıkları aralığında Al-10Ti eriyiği içersinde grafitin 30 dak. çevrilmesi sonucu TiC fazı oluşmuştur. Al_3Ti iğne şekilli fazlar küçülme göstermiştir, ve bunların yerine TiC fazları oluşmaktadır.
6. TiC'ün ilk oluşmaya başladığı noktalar Al_3Ti faz bölgeleridir. Serbest kalan titanyum karbonla Al_3Ti fazına yakın bölgelerde reaksiyona girmektedir. İndüksiyon ortamının sağladığı karıştırma ve Grafitin bir karıştırıcı yardımıyla döndürülmesi sonucu Ti ile karbonun reaksiyona girmesi kolaylaştırılır. Böylece TiC yapıda homojen olarak dağılır.
7. Bu çalışmada süre 30 dak olarak çalışıldı eğer bu süre birazdaha uzatılabilirse yapıda mevcut olan Al_3Ti fazlarının yerini tamamen TiC fazları alacaktır.
8. Yapılan ilk çalışmalarda metalin oksitlenmemesi ve metal banyosunu temizlemek için bazı curuf tozları ve örtü tozları kullanılmıştır. Bu malzemelerle yapılan çalışmalar başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Bunun nedeni bu malzemeler yapıdaki safsızlıkları temizlerken oluşan çok küçük boyutlu TiC partiküllerini yapıdan uzaklaştırmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Koczak, M. J., Premkumar, M. K., Emerging Technologies for the In-Situ Production of MMCs, *JOM*, January, 1993, 44-48
- [2] Sezenöz, T., Kalkanlı, A., 1999. Yerinde Üretilen Titanyum Karbür Parçaları ile Takviye Edilmiş Alüminyum Esaslı Kompozit Üretimi, *ANKIROS Uluslararası Döküm Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 14-15 Ekim, s.165-172.
- [3] Rajan, T. P. D., Pillai, R. M., Pai, B. C., 1998. Reinforcement Coating and Interfaces in Aluminum Metal Matrix Composites, *Journal of Materials Science*, Vol. 33, 3491-3503.
- [4] Ibrahim, A., Mohamed, F. A., Lavernia E. J., 1991. Particulate Reinforced Metal Matrix Composites – a review, *JOM*, V.26, 1137-1156
- [5] Schwartz, M.M., 1984. Composite Materials Handbook, Mc Graw – Hill Co. New York, 1-45.
- [6] Birol, Y., Parkan, N., Çakır, O., 1997. Al-TiC Kompozitlerinin Al-Ti Eriyikleri İçinde Grafit Çözündürülerek Üretilmesi, *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 11-15 Haziran, s. 651-656.
- [7] Kurnaz, S. C., 1999. Alümina Fiber Takviyeli Çinko-alüminyum (Zn %27 Al) Metal Matrisli Kompozitlerin Basınçlı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Rohatgi, Pradeep, 1991. Cast Aluminum – Matrix Composites For Automotive Applications, *JOM*, V.26, April, 10-15.
- [9] Sahoo, P., Koczak, M. J., 1991. Analysis of In-situ Formation of Titanium Carbide in Aluminium Alloys, *Materials Science and Engineering*, A144, 37-44.
- [10] Sahoo, P., Koczak, M. J., 1991. Microstructure Property Relationships of In-situ Reacted TiC/Al-Cu Metal Matrix Composites, *Materials Science and Engineering*, A131, 69-76.

- [11] El-mahallawy, N. A., Taha, M. A., 1993. Reinforcement Considerations for High Temperature Metal Matrix Composites, *Key Engineering Materials*, Trans. Tech Publ., Switzerland, Vol. 79-80, 1-14.
- [12] Çeviker Kerti, I., 1999. Gaz Enjeksiyon ve Elementel Karbon İlavesi Yöntemleriyle TiC Takviyeli Aluminyum Matrisli Kompozit Üretimi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Oh, S. Y., Cornie J. A., Russel K. C., 1989. Wetting of Ceramic Particulates with Liquid Aluminium Alloys: Part 1. Extramental Techniques, *Metal. Trans.*, Vol.20A, 527-532.
- [14] Oh, S. Y., Cornie J. A., Russel K. C., 1989. Wetting of Ceramic Particulates with Liquid Aluminium Alloys: Part 2. Study of Wetting, *Metal. Trans.* Vol. 20A, 533-541.
- [15] Howe, J. M., 1993. Bonding, Structure and Properties of Metal/ceramic Interfaces: Part 1, Chemical Reactions and Interfacial Structure, *Int. Mater. Rev.* Vol. 38 No.5, 233-256.
- [16] Rohatgi, R. K., Asthana, R., Das, S., 1986, Solidification, Structures and Properties of Cast Metal-Ceramic Particle Composites, *Int. Met. Rev.*, Vol.31, 115-139.
- [17] Clayne, T.W., Mason J.F., 1987. The Squeeze Infiltration Process for Fabrication of MMCs, *Metal Trans.* Vol. 18A, August 1519-1530.
- [18] Loyd, D. J., 1994. Particle Reinforced Aluminum and Magnesium Matrix Composites, *Int. Mat. Rev.*, Vol.39, No.1, 1-23.
- [19] Ranganath, S., 1997. A Review on Particulate-Reinforced Titanium Matrix Composites, Vol.32, 1-16.
- [20] Westwood, A. R. C., 1998. Materials for advanced Studies and Devices, *Metallurgical Trans. A*, Vol.19A, 749-758.
- [21] Khatri, S., Koczak, M. J., 1993. Formation of TiC In-Situ Processed Composites via Solid-Gas, Solid-Liquid and Liquid-Gas Reaction in Molten Al-Ti, *Mat. Sci. And Eng. A*162, 153-162.
- [22] Krishan, K., Chawla., 1993. Metal Matrix Composites, *Mater. Science and Tech.* Vol.13, 82-101.

EKLER

Tablo A.1. 1200-1300°C sıcaklıkları arasında grafit çözündürülmüş ürünün X-ışınları difraktogramına ait 2θ ve d değerleri

Açı [2θ]	d değeri α_1 [$\text{\AA}$ °]	d değeri α_2 [$\text{\AA}$ °]	Pik genişliği [2θ]	Pik şiddeti [sayım]
42.140	2.4881	2.4935	0.200	79
45.265	2.3244	2.3295	0.600	79
46.110	2.2841	2.2890	0.160	79
49.115	2.1522	2.1569	0.240	81
52.580	2.0195	2.0239	0.200	77
55.695	1.9149	1.9190	0.720	66
59.525	1.8019	1.8058	0.160	61
71.685	1.5276	1.5309	0.560	55
77.425	1.4302	1.4333	0.320	59
86.655	1.3036	1.3064	0.480	53

ÖZGEÇMİŞ

A.Murat KARAAĞAÇ 1974 yılında Bursa'nın İznik ilçesinde doğmuştur. Lise eğitimini 1991 yılında İznik Lisesinde tamamladıktan sonra 1992 yılında İstanbul Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümünü kazanarak bu okula devam etmiş, 1993 yılında yatay geçişle İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümüne geçmiştir. 1996 yılında bu bölümden mezun olmuştur. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Hali hazırda serbest çalışmaktadır.

