

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
ALÜMİNYUM METAL MATRİKSİLİ
KOMPOZİT MALZEMELER ve ÜRETİMİ**

Metalurji Müh. Sedat DENİZ

F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Bilim Dalı'nda
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

İSTANBUL, 1995

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince benden yardımlarını esirgemeyen
Saygıdeğer Hocam Sayın Prof.Dr. Ahmet TOPUZ'a ve 1013.
Ordu Ana Tamir fabrikasından Sayın Kemal TÜRKER'e
teşekkürlerimi sunarım.

Sedat DENİZ

ÖZET

Bu tezin amacı, partikül takviyeli Alüminyum Metal Matriksli Kompozitlerin mekanik özelliklerini, üretim aşamalarını anlamak ve otomotiv endüstrisindeki potansiyel uygulamalarını belirlemektir.

AL-bazlı alaşımlar, düşük yoğunlukları, geniş alaşım türleri ısıtılma işlem yetenekleri ve üretim esneklikleri açısından çekici malzemelerdir. Bu yüzden her zaman AL-bazlı matriks dikkate alınmalıdır.

Takviye olarak Al_2O_3 , SiC, Gr, TiC, TiN, Si_3N_4 gibi farklı türde partikül takviyeler kullanılmakta ve en iyi kompozit özelliklerini elde etmek için alternatif üretim yöntemleri bunlarla birlikte tartışılmaktadır. İleri aşamada da Metal Matriksli Kompozitlerin (MMK) otomotiv endüstrisindeki potansiyel uygulamaları anlatılmaktadır.

Deneyisel çalışmada TiN, Si_3N_4 , Gr, Al_2O_3 partikül takviyeli Al-MMK tabii yoldan gaz infiltrasyon ve karıştırma metodu ile üretilmeye çalışılmıştır. Üretilen parçaların mukavemet deneyleri yapılmış ve mikroyapı filimleri çekilmiştir.

SUMMARY

The objective of the thesis is to give an overview of current understanding of particle reinforced Aluminum Metal Matrix Composites and their mechanical properties, manufacturing routes and potential applications in the automotive industry.

Al-based composites have attractions of low density, wide alloy range, heat treatment capability and processing flexibility. For all conditions Al-based matrix has to be taken in consideration.

The different type of reinforcement being used such as Al_2O_3 , SiC, Gr, TiC, TiN, Si_3N_4 and together with the alternative processing methods are discussed to achieve optimum composite properties. In the following stage, potential application in the automotive industry is discussed.

Experiments have been carried out to manufacture TiN, Si_3N_4 , Gr and Al_2O_3 reinforced Al-MMCs., by reaction gas infiltration and mixing processes. Mechanical experiments was carried out to test the produced samples and the photographs taken of the microstructures.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

1. GİRİŞ	1
2. METAL MATRİKSİLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	5
2.1. Elastiklik Modülü	5
2.2. Dayanım	7
2.3. Uzama	10
2.4. Kırılma Tokluğu	11
2.5. Yorulma	13
2.6. Sürünme	14
3. METAL MATRİKSİLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	26
3.1. Toz Metalurjik Yöntem	26
3.1.1. Al-Zn-Mg-Cu/SiC Takviyeli MMK'in Toz Metalurjik Yöntem ile Üretimi	27
3.2. Ergiyik Metal Metodu	28
3.3. Karıştırma Metodu	28
3.3.1. Karıştırma Yöntemi ile İmal Edilen Al-Si-Mg/ Grafit Metal Matrisli Kompozit Uygulaması	30
3.4. Basıncılı İnfiltrasyon Yöntemi (Pres Döküm)	31
3.4.1. Basıncılı İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilen Al/TiC MMK.	32
3.5. Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemi	32
3.6. Sprey Çöktürme Yöntemi	33
3.6.1. Sprey Çöktürme Yöntemi ile Üretilen 6061 Al/Gr MMK.	33
3.7. Tabii Yoldan Üretim (In-situ)	34
3.7.1. Kompozit Malzemenin Tabii Yoldan IN-SITU Metodu ile Üretimi	35
3.7.1.1. XD - Prosesi	38
3.7.1.2. Reaktif-Gaz-infiltrasyon Yöntemi	39

4. ALÜMİNYUM MATRİKSİLİ KOMPOZİTLERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE UYGULAMA İMKANLARI	42
4.1. Aktarma Şaftı	42
4.2. Fren Diskleri	44
4.3. Motor Bloğu ve Silindir Gömleği	45
4.4. Biyel Kolu ve Pistonlar	46
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	54
5.1. Kompozit Malzemenin Üretimi	61
5.2. Metalografik Çalışma	65
5.3. Sonuç ve İrdeleme	73
6. SONUÇ	75
7. KAYNAKLAR	

1. GİRİŞ

Metal matriksli kompozitler (MMK), metalin bir seramik, karbon veya metalik katkı ile sistematik karışımından elde edilen malzemelerdir. MMK'ler sürekli veya süreksiz fiberler içerirler ve monolitik malzemelerde elde edilemeyen mükemmel özellikler gösterirler. Malzemeye bağlı olarak bu özellikler; yüksek elastik modülü, yüksek dayanım ve rijitlik, sönümleme, işlenebilirlik, yüksek aşınma dayanımı ve düşük ısı-genleşme katsayısıdır ki bunlar otomotiv endüstrisinde oldukça arzu edilen özelliklerdir. Bundan dolayı MMK'ler taşıtlı araç üreticilerine, maliyetleri düşürmek ve performansı geliştirmek için iyi bir fırsat sunmaktadırlar.

MMK'lerin otomotiv endüstrisinde başlıca uygulama imkanları aşağıdaki gibi sıralanabilir :

Sistem	Parça	Kullanım Sebebi
Motor	Piston kapağı	Yüksek sıcaklık, yorulma, sürünme, aşınma
	Segman yatağı	Aşınma direnci, ağırlıkta azalma
	Sübap kolu	Ağırlık, rijitlik, aşınma
	Valf	Yüksek sıcaklık, yorulma, sürünme, aşınma
	Piston pimi	Özel rijitlik, aşınma, sürünme
	Silindir gömleği	Aşınma, düşük sürtünme, ağırlık
	Biyel kolu	Özel rijitlik, ağırlık
	Yataklar	Ağırlık, azaltılmış sürtünme

Süspansiyon	Amortisör	Sönüm, rijitlik
Aktarma hattı	Aktarma şaftı ve yardımcı aksam	Aşınma, ağırlık, özel rijitlik, yorulma dayanımı
	Dişliler	Aşınma, ağırlık
	Jantlar	Ağırlık
Muhafaza	Dişli kutusu ve yatakları	Aşınma, ağırlık
	Diferansiyel yatağı	Aşınma, ağırlık
Frenler	Fren diskleri	Aşınma, ağırlık
	Kampanalar	

Metal matriksli kompozitlerin sunduğu başlıca yararlar :

- Yakıt verimliliği
- Ağırlık azalması
- Hacim kazanımı
- Emisyonda azalma
- Performansın, gücün geliştirilmesi
- Düşük gürültü seviyesi
- Titreşimlerin azaltılması
- Bakım ve onarım masraflarının azalması

Metal matriksli kompozitlerin yüksek elastik modülleri, yüksek yorulma dayanımları ve düşük ısı-genleşme katsayıları, onların 2000'li yıllarda otomobillerde kullanılmalarını sağlayacaktır.

Yeni teknolojilerin devreye girmesindeki başlıca zorlayıcı etkenler :

- Maliyet
- Kalite ve dayanımda devamlılık
- Emniyet
- Yakıt tüketimini azaltma gereği
- Düşük emisyon

- Stil ve şekil
- Performans
- Kullanım ve konfor
- Yeniden kullanılabilirlik-recycling
- CAFE (Corporate Average Fuel Economy) hedefleri

Görüldüğü gibi MMK'ler zorlayıcı etkileri karşılamada büyük rol oynayacağı görülmektedir. Bu üstünlüklerinin yanında tekrar üretilebilir bir mikroyapı ve düşük yoğunluk değerlerine sahip olmaları açısından da önem kazanmaktadırlar.

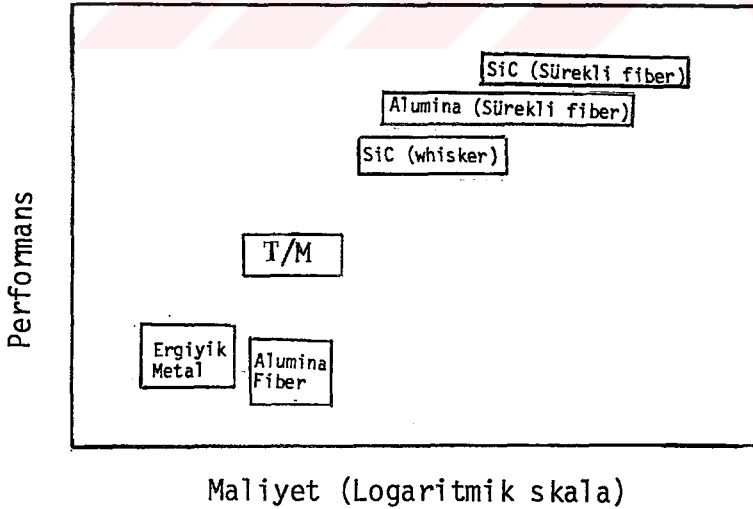
Sürekli fiber takviyeli alüminyum matrisli kompozitler, özellikle otomotiv endüstrisi için geniş imkanlar sunmaktadır. En önemli özelliklerden biri de, takviyenin hacim oranı, tipi ve/veya morfolojisi, istenilen değerlerde değiştirilerek fiziksel ve mekanik özellikler rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Bu değişkenleri kullanarak (fiber türü ve hacim oranı) bir aplikasyon için gerekli olan özellikleri içeren kompozit malzeme dizayn edilebilir. Takviye işlemi genelde kompozitin yoğunluğunu pek değiştirmemekte ve böylece takviyesiz Al-alaşımına göre daha yüksek dayanımlı ve fiziksel/mekanik özellikleri geliştirilmiş bir malzeme elde edilmektedir.

Takviyenin hacim oranı arttıkça, kompozit elastiklik modülü artar. Takviyesiz alaşıma nazaran, kompozitin mekanik dayanımı da artar ve bu mukavemet artışı özellikle yüksek çalışma sıcaklıklarında kendini daha belirgin olarak gösterir.

Özellikle yorulma dayanımı, otomotiv uygulamalarında önemli bir özelliktir. MMK'lerin yorulma dayanımı tamamen muayene metoduna ve kompozitin kalitesine bağlıdır.

Kompozite seramik fiber takviyesi, aşınma dayanımını belirgin bir şekilde arttırmaktadır. Isıl genleşme katsayısı da, malzemenin ısı iletkenliğini koruyarak azaltılabilir.

Son yıllarda üzerine çalışılan başlıca Alüminyum metal matriksli kompozit sistemleri ; Al/Gr, Al/SiC, Al/Al₂O₃, Al/TiC 'dur. Sürekli veya süreksiz fiber ile takviye yapılabilir. Genel olarak, yüksek performanslı kompozitler çok pahalı olan sürekli-fiber takviyeli olarak üretilirler. Diğer taraftan süreksiz-fiber takviyeli kompozitler daha düşük performans/maliyet oranı vermektedirler. Bu yüzden otomotiv endüstrisi için en ilgi çekici olanlar, pahalı olmayan ve ergiyik metal yöntemi ile üretilen kompozitlerdir. Fakat % 20'den fazla fiber hacim oranına sahip kompozitin dökümü zordur. Buna rağmen birçok otomobil parçası bu yöntem ile güvenilir bir şekilde üretilmektedir. Son yıllarda basınçlı infiltrasyon yöntemi ile, % 50 fiber hacim oranına sahip MMK'ler de ergiyik metal yöntemi ile üretilmektedir. MMK'lerin diğer üretim yöntemleri ise; Toz metalurjik yöntem, karıştırma metodu, spreycöktürme ve tabii yoldan (in-situ) üretim metodlarıdır.



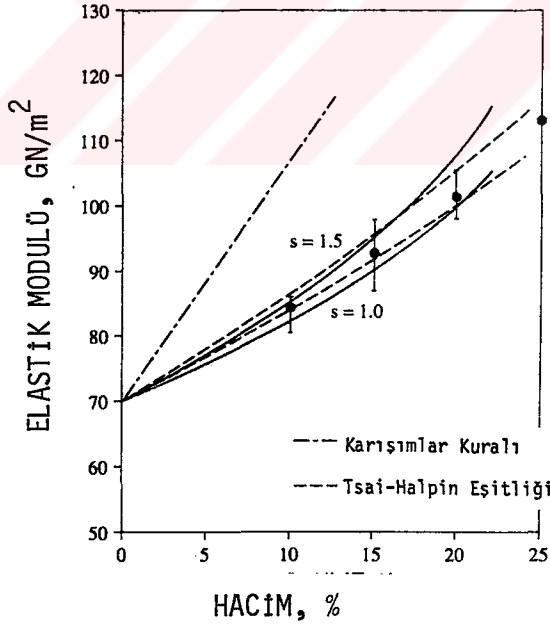
Şekil 1- Çeşitli kompozitlerin, malzeme maliyet performans ilişkisi.

2. METAL MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Düşük maliyetli, yüksek elastik modül ve dayanımlı, yüksek aşınma dirençli ve fabrikasyonu kolay oluşundan dolayı partikül takviyeli hafif metaller bugün ticari olarak üretim aşamasına gelmişlerdir. Bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen faktörleri anlamak oldukça önemlidir, çünkü takviye tipine, üretim metoduna ve ilk üretimden sonraki fabrikasyon tipi detaylarına göre oldukça hassaslık gösterir. Bu yüzden en iyi özellikleri elde etmek için, anahtar faktörleri mümkün olduğu kadar anlamak gerekir.

2.1. Elastiklik Modülü

Elastiklik modülü takviye hacim oranının artışı ile belirgin bir şekilde artar. Şekil 2.1'de bir Al/SiC MMK görülmektedir.



Şekil 2.1. Elastik modülünün, SiC hacim oranına göre değişimi.

Bu değerler (dövmeye 2000, 6000 ve 7000 serisi Al-Mg-Zn alaşımlı Al / SiC MMK'lerden alınmıştır).

Karışımlar Kuralı :

$$E_c = V_p E_p + V_m E_m \quad (2.1)$$

E_c , E_p , E_m : Kompozitin, partikülün, matrisin elastiklik modülü.

V_m , V_p : matrisin ve partikülün hacim oranı.

Karışımlar kuralı daha çok sürekli fiber takviyeli kompozitler için uygundur ve bu Halpin -Tsai eşitliği olarak partikül takviyeli kompozitler için modifiye edilmiştir :

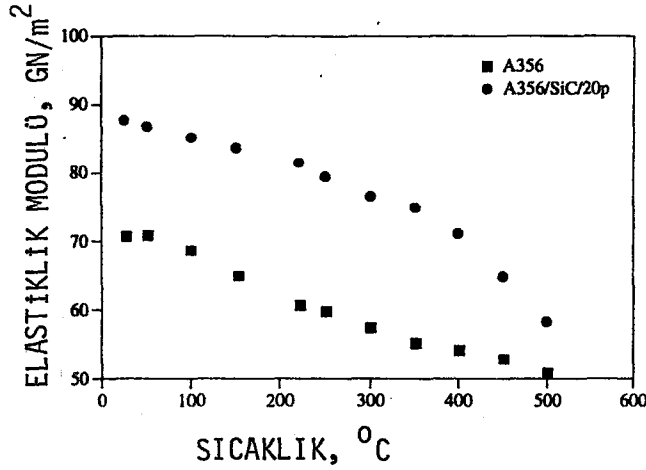
$$E_c = \frac{E_m (1 + 2sq V_p)}{1 - q V_p} \quad (2.2)$$

$$q = \frac{(E_p/E_m - 1)}{(E_p/E_m + 2s)} \quad (2.3)$$

s : partikülün uzunluk oranı

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi Halpin-Tsai eşitliği sonuçlar için iyi bir temsil vermektedir.

Geliştirilmiş elastiklik modülü, yüksek sıcaklıklarda da bu özelliğini korumaktadır. Şekil 2.2'de 500°C'ye kadar yapılan ölçümleri göstermektedir.



Şekil 2.2. Sıcaklığa bağlı olarak A356 ve A356/SiC/ 20 p MMK'teki elastik modülü değişimi.

Bu yüksek sıcaklık uygulamaları için önemli bir faktördür.

2.2. Dayanım

$$\sigma_c = (V_p \sigma_m s/4) + V_m \sigma_m \quad (2.4)$$

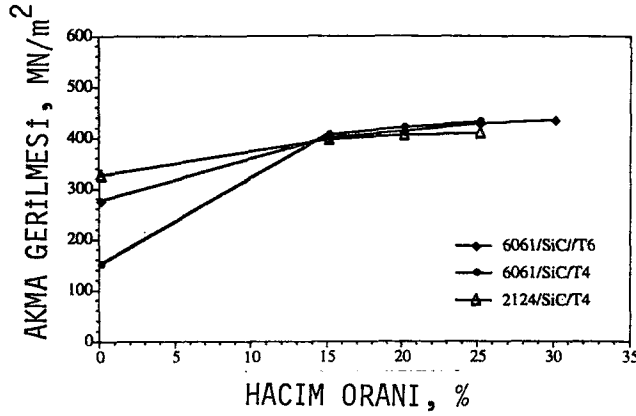
formülü kompozitin dayanımını belirler.

σ_m : matrisin akma dayanımı

S : uzunluk oranı (bu oran MMK'lerde genelde 1-5 : 1 arasındadır)

Partikül takviyeli kompozitlerin dayanımı en çok takviyenin hacim oranına bağlı olarak değişir. Partikül boyutuna çok az bağlıdır. (Şekil 2.3).

Toz metalurjik yöntem ile üretilen kompozitler hernasılsa ergiyik yöntem ile imal edilenlere nazaran daha yüksek dayanım değerleri göstermektedir. Bu belki de oksidlerin yapı içinde dağılımından doğan veya daha ince tane boyutundan gelen bir dayanım olabilir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta da dayanım artış hızının çok yüksek takviye hacim oranlarında düştüğü görülmektedir (Şekil 2.3).



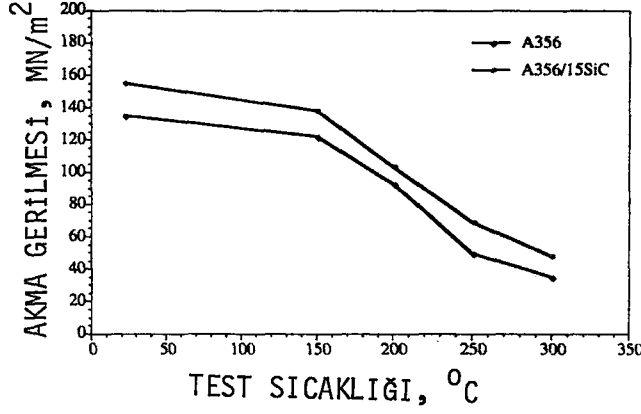
Şekil 2.3. Toz-metalurjik yöntem ile üretilen MMK'lerin hacim oranına bağlı olarak akma dayanımı değerleri.

Bu da yüksek hacim oranlarında karıştırma zorluklarından doğan bir düzenli partikül dağılımının olmamasından kaynaklanmaktadır.

Dayanım artışı, matriks alaşımın mikroyapısına da bağlıdır. Dayanım artışı aşırı yaşlandırılmış malzemede en düşüktür. Yaşlandırma sertleşmesine tabii tutulmuş alaşımlarda iç gerilmeler daha fazla olmakta ve şekil verme miktarı hızlı bir şekilde azalma göstermektedir. Bu etki aynen kompozit malzemelerde de olur. Bu da kompozitin dayanımı ısıtılma işlemiyle arttığını gösterir.

Bir kompozitte herhangi bir dayanım artışı elde etmenin yolu, gerilmeyi matriksten daha mukavemetli olan takviye partikülüne transfer edebilme yeteneğine bağlıdır. Bu da, partikül ile matriks arasında kuvvetli bir yüzey bağlantısı elde edilmesine bağlıdır. Yüzeyler arası bağlantı zayıf ise, ara yüzey, herhangi bir gerilimin partiküle transferinden önce, hasara uğrayacaktır ve bir dayanım artışı vermeyecektir. Oluşan artık ısıtılma gerilmeleri ve partikül dağılımının homojen olmaması, erken bir plastisiteye yol açmakta ve düşük gerilim oranlarında dayanım artışı olmamaktadır.

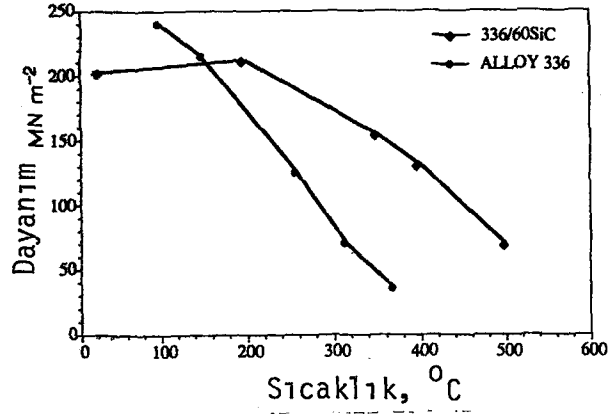
Takviye katkısı, elastik modulünü daha yüksek sıcaklıklarda da arttırmaktadır, Şekil 2.4.



Şekil 2.4. 100 saat bekleme süresinden sonra A 356 ve A 356/SiC/15 p malzemeleri için akma dayanımının sıcaklıkla değişimi.

A 356/SiC/15 p kompozit malzeme, 300°C'de matriksten yaklaşık 10 MN/m² daha yüksek bir dayanıma sahiptir.

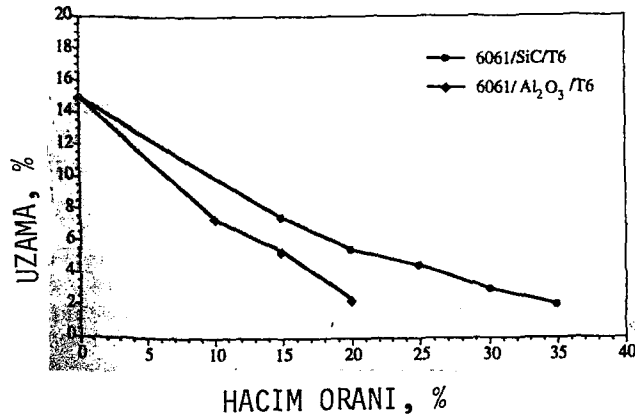
Toz metalurjik yöntem ile, kompozitin yüksek sıcaklıklarda dayanımı arttırılabilir. Diğer bir yol da, takviye hacim oranını arttırmaktır. Lanxide Corp. firmasının Primex, düşük basınçlı infiltrasyon yöntemi ile net şekle yakın, yüksek takviye hacim oranlı kompozit elde edilebilir. Şekil 2.5'te 336 (Al-Si) alaşımının % 60-SiC ile takviyesinden elde edilen kompozitin sıcaklığa bağlı olarak akma gerilmesinin değişimi görülmektedir. Kompozitin yüksek sıcaklık dayanımı tabii ki büyük bir avantajdır fakat bu süneklikte bir kayıptır.



Şekil 2.5. % 60 SiC içeren 336 alaşımının sıcaklığa bağlı olarak dayanımı.

2.3. Uzama

Kompozitlerin mekanik özelliklerindeki ana sınırlama, sınırlı olan süneklik değeridir. Tablo 2.2'de görüldüğü gibi çekme uzaması, takviye ilavesi ile hızlı bir şekilde azalmaktadır, Şekil 2.6.



Şekil 2.6. 6061 malzemede çekme uzamasının takviye hacim oranına göre değişimi.

Isıl-işlem gören alaşımlarda, yaşlandırma süresinin artışı ile yine azalmaktadır. Son çalışmalar, hasarın partikül kırılması ve mat-riks içinde partikül yığılmaları arasında oluşan boşlukların, birlik-te etkisi sonucu oluştuğunu göstermektedir.

Kaba partiküllerden, ister intermetalik veya takviye partikülü olsun, partikül kırılmasını minimuma indirmek için, mümkün olduğunca sakınılmalıdır. Ara yüzey boyunca kırılmaları azaltmak ve partikülü verimli bir şekilde yükleyebilmek için, yüzeylerarası kuvvetin yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca partikülün yapı içinde düzenli dağılımı iyi bir süneklik için gerekmektedir.

Genel olarak maksimum düzeyde süneklik için kompozit aşağıdaki özellikleri taşımalıdır :

- 1- Düzenli partikül dağılımı
- 2- İnce ($<10 \mu\text{m}$) ve düzenli partikül boyutu dağılımı
- 3- Partikül şeklinin kontrolü
- 4- Sünek bir matriks
- 5- Yüksek yüzeylerarası dayanım.

2.4. Kırılma Tokluğu

Takviye oranının artması ile tokluk değeri düşmektedir. Bu düşüş % 0 ile % 10 takviye oranlarında oldukça belirgindir. Yüksek takviye yüklemelerinde ise bu düşüş çok azdır. Tipik $15\text{-}20 \text{ MN}^{-3/2}$ gibi tokluk değerleri için, kompozitler kırılma tokluğu derecesi için makul veriler sağlamaktadırlar.

Kırılma için kritik kırılma tokluğu ile takviye hacim oranı arasında aşağıdaki denklem mevcuttur (Hahn - Rosenfield modeli) :

$$K_{IC} = [2 \sigma_y E (\pi/6)^{1/3} \cdot d]^{1/2} \cdot f_p^{-1/6} \quad (2.5)$$

K_{IC} = Kritik kırılma tokluğu değeri

σ_y = Akma gerilmesi

E = Elastiklik modülü

d = Partikül çapı

f_p = Partiküllerin hacim oranı

Bu formüle göre, dayanım artışı ile toklukta bir artışın olacağı tahmini verir. Yine bu formülden partikül boyutunun artışı ile tokluğun artacağını gösterse de, bu bilim adamları tarafından doğrulanmamıştır.

Kompozitlerin kırılma tokluğunun hesaplanmasında kullanılan diğer bir model de Krafft modelidir ve Thomason tarafından geliştirilmiştir :

$$K_{IC} = 2.58 (\rho \sigma_y E \epsilon_c)^{1/2} \quad (2.6)$$

ρ : çatlak ucu yarıçapı, tipik olarak $50 \mu m$

σ_y : akma gerilmesi

E : Elastiklik modülü

ϵ_c : Mikroboşluk çekirdeklenme gerinimi

ϵ_c değeri, normal ortalama gerinime, boş çekirdeklenme partiküllerinin hacim oranına ve partikül-matriks yüzeylerarası kuvvete bağlıdır.

Bu formüle göre süneklikte azalma ile akma gerilmesinin artışı ile birlikte, toklukta bir artış olacağı tahminini vermektedir.

Tablo 2.1 ' de, 2.5 ve 2.6 formüllerine göre, 6061/ $Al_2O_3/15 p$ ve 2014/ $Al_2O_3/15p$ MMK'lerin kırılma toklukları deneysel ve teorik değerler olarak verilmektedir.

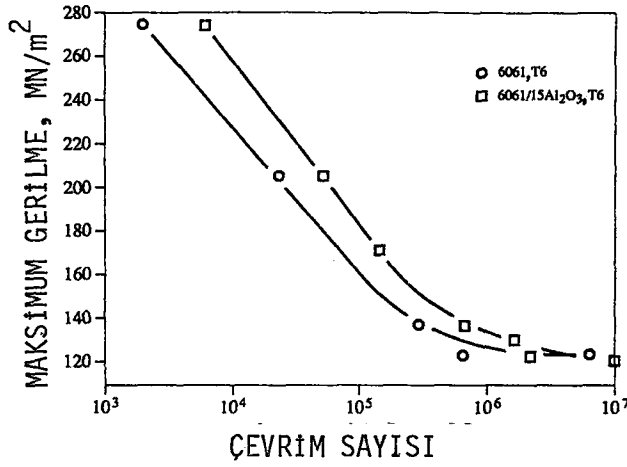
Tablo 2.1. Teorik ve deneysel kırılma tokluğu değerlerinin karşılaştırılması.

Kompozit	σ_y MN m ⁻²	Uzama %	K_{exp} MN m ^{-3/2}	K_{th} MN m ^{-3/2}
Thomason eşitliği				
Al-Cu				
2014/Al ₂ O ₃ /15p				
3 h, 160°C	331	6	24.2	25.4
7 h, 160°C	441	2	21.7	12.0
16 h, 160°C	469	1	19.5	12.4
40 h, 160°C	420	1	19.0	11.7
48 h, 160°C	372	2	18.1	15.6
Al-Mg ₂ Si				
6061/Al ₂ O ₃ /15p				
1 h, 177°C	221	7	24.7	21.5
3 h, 177°C	317	5	23.2	21.8
10 h, 177°C	345	3	22.7	17.6
25 h, 177°C	331	3	21.5	17.2
100 h, 177°C	276	4	21.2	18.0
Hahn ve Rosenfield eşitliği				
Al-Cu				
2014/Al ₂ O ₃ /15p				
3 h, 160°C	331	6	24.2	31.1
Al-Mg ₂ Si				
6061/Al ₂ O ₃ /15p				
1 h, 177°C	221	7	24.7	24.8

Tablodaki değerler karşılaştırılırken, partiküllerin 10 µm boyutta ve düzenli olarak dağıldığı kabul edilerek ve çatlak ucu yarıçapı 50 µm alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

2.5. Yorulma

Birçok uygulamalarda, kompozitlerin tekrarlı yüklemelere dirençli olmaları istenir. MMK'lerin düşük tekrarlı yorulma davranışları, takviyesiz alaşımlara nazaran kötüdür. Çünkü kompozitlerin sünekliği düşüktür. Oysa ki yüksek tekrarlı performans yüksek elastik modülünden dolayı geliştirilebilir ve çalışmalar bu yönde yoğunlaşmıştır.



Şekil 2.7. 6061-T6 ve 6061/Al₂O₃/15 p,T6 malzemeleri için S-N eğrisi (R = -1 değerinde)

2.6. Sürünme

Partikül takviyesi yüksek sıcaklıklarda elastik modülünde bir artış sağlamaktadır. Yapılan deneyler göstermektedir ki, ince partikül takviyesi ve yüksek hacim oranları 350°C'ye kadar sürünme direncinde belirgin bir artış sağlamaktadır. Al/SiC/10p, 20p ve 30p kompoziti, iki partikül boyutunda, 1,7 ve 14,5 µm, sürünme testine tabi tutulduğunda, takviye hacim oranının artışı ile sürünme oranının düştüğü bulunmuştur. Bu esnada da sürekli sürünme dayanımı da takviye hacim oranının artması ile yükselmiştir (14,5 MN/m² (% 10p) (1,7 µm) 32,8 MN/m² (% 30p), Test sıcaklığı 350°C).

Aşağıda MMK'lerin çeşitli mekanik özelliklerini gösteren şekiller verilmiştir.

Tablo 2.2 Ticari olarak elde edilebilen bazı MMK'lerin tipik özellikleri.

Kompozit*	AKMA GER. MN m ⁻²	ÇEKME GER. MN m ⁻²	UZAMA %	Elastik Modülü GN m ⁻²	Öretici Firma
Ekstrüde					
Al-Mg ₂ Si					
6061/Al ₂ O ₃ /10p (T6)	296	338	7-5	81	Duralcan, Alcan
6061/Al ₂ O ₃ /15p (T6)	317	359	5-4	87	Duralcan, Alcan
6061/Al ₂ O ₃ /20p (T6)	359	379	2-1	98	Duralcan, Alcan
6061/Al ₂ O ₃ /20p (T6)	305	330	3-4	85	Comral 85, Comalco
6061/SiC/15p (T6)	342	364	3-2	91	Cospray, Alcan
6061/SiC/15p (T4)	405	460	7-0	98	DWA
6061/SiC/20p (T4)	420	500	5-0	105	DWA
6061/SiC/25p (T4)	430	515	4-0	115	DWA
Al-Cu					
2014/Al ₂ O ₃ /10p (T6)	483	517	3-3	84	Duralcan, Alcan
2014/Al ₂ O ₃ /15p (T6)	476	503	2-3	92	Duralcan, Alcan
2014/Al ₂ O ₃ /20p (T6)	483	503	1-0	101	Duralcan, Alcan
2014/SiC/15p (T6)	466	493	2-0	100	Cospray, Alcan
2618/SiC/12p (T6)	460	532	3-0	98	Cospray, Alcan
2124/SiC/17-8p (T4)	400	610	5-7	100	BP
2124/SiC/25p (T4)	490	630	2-4	116	BP
2124/SiC/20p (T4)	405	560	7	105	DWA
Al-Zn-Mg					
7075/SiC/15p (T651)	556	601	3	95	Cospray, Alcan
7049/SiC/15p (T6)	598	643	2	90	Cospray, Alcan
7090/SiC/20p (T6)	665	735	2	105	DWA
Al-Li					
8090/SiC/13p (T4)	455	520	4	101	Cospray, Alcan
8090/SiC/13p (T6)	499	547	3	101	Cospray, Alcan
8090/SiC/17p (T4)	310	460	4-7	103	BP
8090/SiC/17p (T6)	450	540	3-4	103	BP
Döküm					
Al-Cu					
201/TiC/20p (T7)	420		2-0	105	XD , Martin Marietta
Al-Si					
356/SiC/10p (T61)	287	308	0-6	82	Duralcan, Alcan
356/SiC/15p (T61)	329	336	0-3	91	Duralcan, Alcan
356/SiC/20p (T61)	336	357	0-4	98	Duralcan, Alcan
380/SiC/10p (F)	245	332	1-0	95	Duralcan, Alcan
380/SiC/20p (F)	308	356	0-4	114	Duralcan, Alcan
Mg-Al-Zn					
AZ91/SiC/9-4p	191	236	2	47-5	Dow
AZ91/SiC/15-1p	208	236	1	54	Dow
AZ61/SiC/20p	260	328	2-5	80	Dow

* Kompozit gösterimi : Matriks/Takviye/Partikül hacim oranı

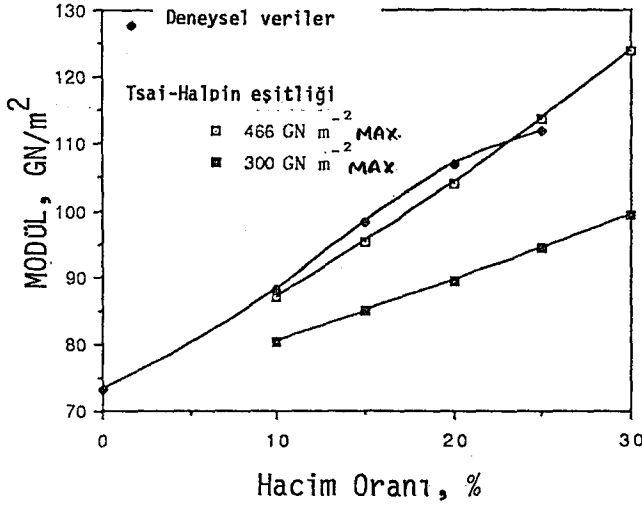
Tablo 2.3 Bazı otomotiv kompozit malzemeler ve özellikleri

Öretici Firma	Matriks	Takviye *	Modül Çekme Dayanımı (GPa) (MPa)
Martin Marietta and Amax	Al-	—	74 221
Lanxide	Al 2219	TiC, 15 vol. %	69-117 400
	Al-	—	69 124-172
		SiC, 45-55 vol. %	152-179 400-448
		Al ₂ O ₃ , 50-70 vol. %	193-262 200-276
Dural	Al-	—	72 186-262
	Al 2014	Al ₂ O ₃ , 10-20 vol. %	83-103 414-483
	Al 6061	Al ₂ O ₃ , 10-20 vol. %	83-103 241-345
	Al A356	SiC, 10-20 vol. %	83-97 276-345
Comalco	Al-	—	69 310
	Al 6061	Al ₂ O ₃ , 20 vol. %	85 330
Honda	Al-	—	69 193
	ADC12	Al ₂ O ₃ (f), 10 vol. %	80 250
		Carbon(f), 10 vol. %	70 200
		Al ₂ O ₃ (f), 10 vol. %, + Carbon(f), 5 vol. %	80 230

*Tüm takviye tipleri partiküldür. Sadece Honda tarafından imal edilenler kısa fiberdir. Özellikler ekstrüde edilmiş malzeme için geçerlidir.

Tablo 2.4 Tipik Al-Alaşımlar(takviyesiz) özellikleri

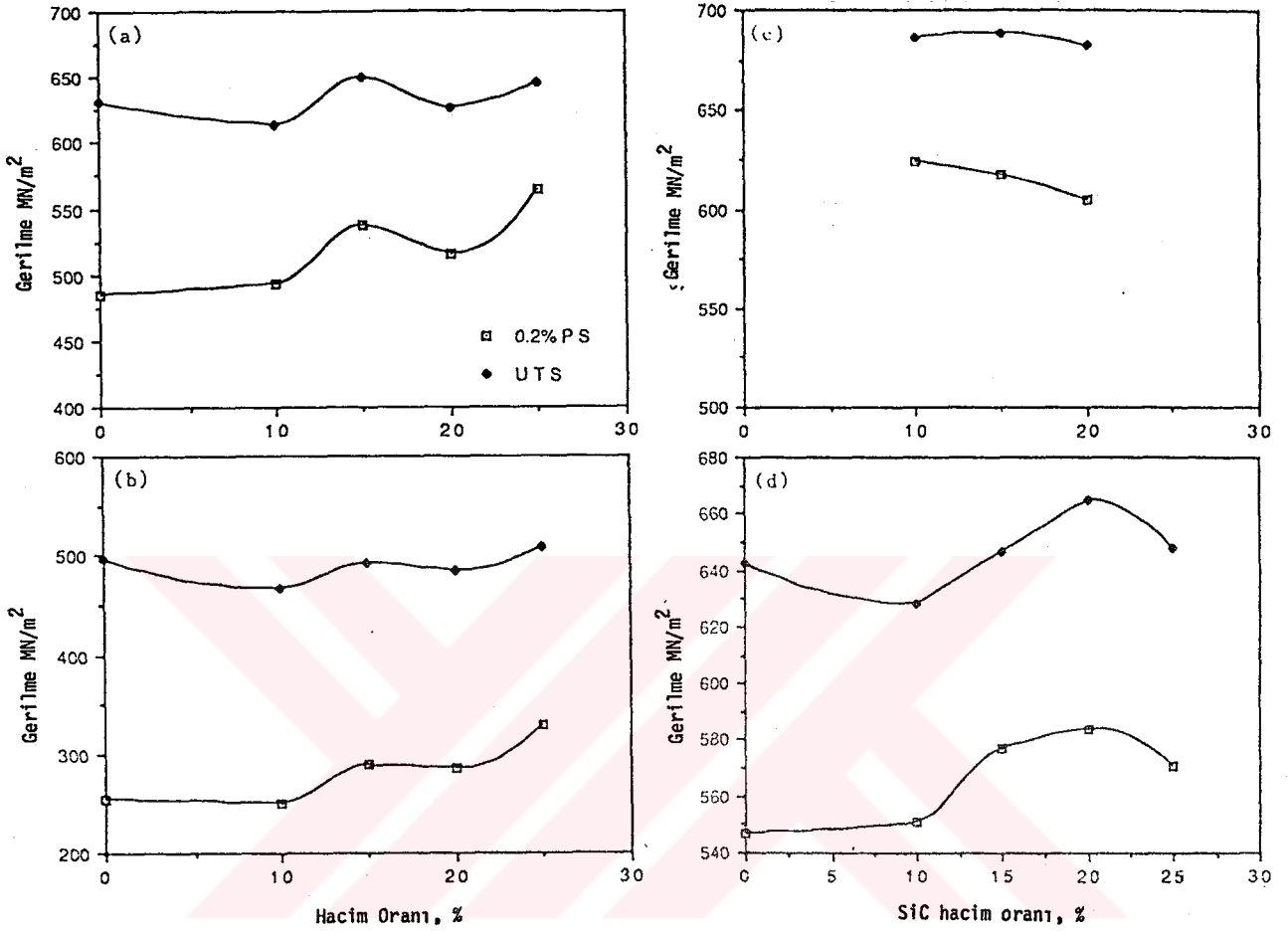
	AG MN m ⁻²	ÇG MN m ⁻²	Uzama %	EM GN m ⁻²
6061 (T6)	275	310	20	69
2014 (T6)	476	524	13	73
2124 (T6)	325	470	12	72
2618 (T6)	370	470	9	74
7075 (T6)	505	570	10	72
8090 (T6)	415	485	7	80
A356 (T6)	205	280	6	76
A380 (F)	160	320	3-5	72
AZ61	157	198	3-0	38
AZ91	168	311	21	49



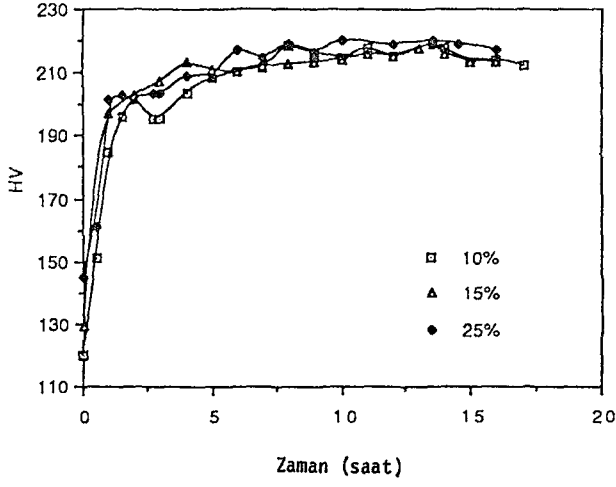
Şekil 2.8 SiCp takviyeli(CW 67) kompozitin hacim oranına bağlı olarak Elastiklik Modülünün değişimi.Şekilde Tsai-Halpin eşitliğine göre teorik ve pratik değerlerin karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo 2.5 LM 25 alaşımın ve %5 Grafit takviyeli Al-döküm kompozitin basınçlı pres döküm ve kalıp döküm halindeki özellikleri.

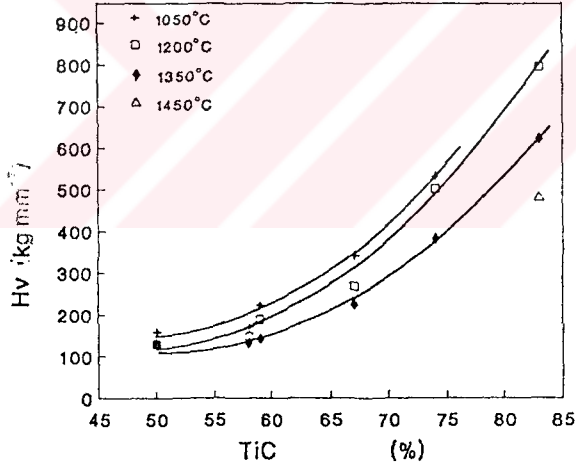
Kompozit	Çekme Gerilmesi (MPa)	Uzama (%)	Basma Ger. (MPa)	Çentik darbe (MN)	Sertlik, (BHN)	Kırılma Tokluğu K_{IC} (MPa m ^{1/2})
Al % 5 Gr (Kalıp döküm)	85-95	2-3	—	—	—	—
Al- %5 Gr (basınçlı pres döküm)	132-136	2-3	335-342	1.0-1.5	85-93	8-10
LM25 basınçlı pres döküm	140-148	4-5	480-485	2.0-3.0	70-80	—
LM25 kalıp döküm	135-140	2-3	—	—	70-80	13-15



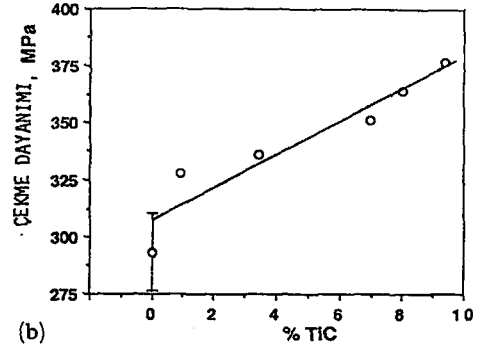
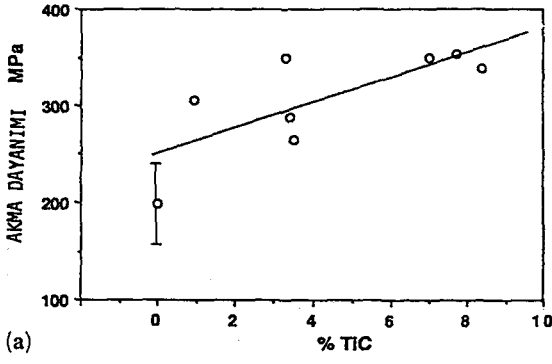
Şekil 2.9 SiCp takviyeli MMK'in çeşitli ısııl işlem koşullarında Akma Dayanımı(PS) ve Çekme Dayanımı(UTS) değişimi; (a)ekstrüde (b) T4, çökelme sertleşmesi görmüş (c) 120°C de 6 saat yaşlandırılmış, T6 (d) 120°C'de 13.5 saat yaşlandırılmış (aşırı yaşlanma).



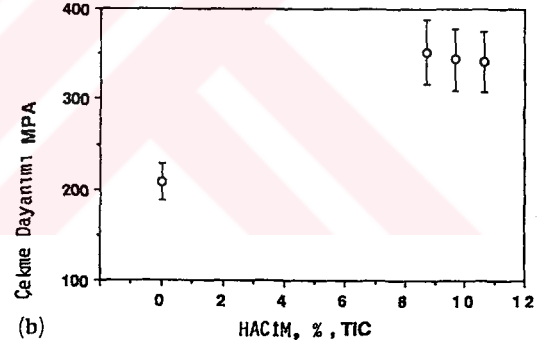
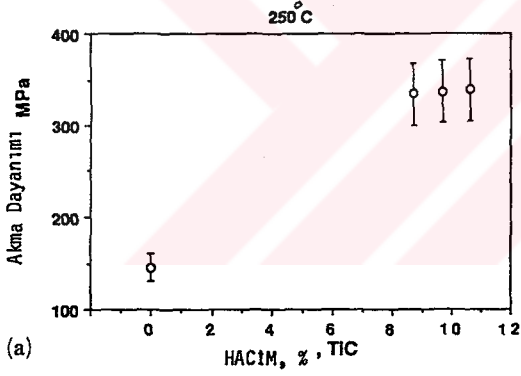
Şekil 2.10 % 10,15 ve 25 SiCp ile takviye edilmiş(CW 67) MMK¹ in 120 C de yaşlandırma süresine bağlı olarak Vickers Sertlik değerinin değişimi.



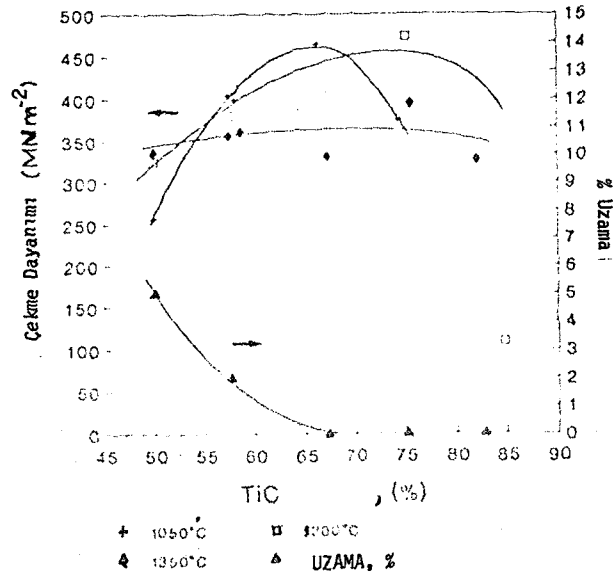
Şekil 2.11 TiC hacim yüzdesine ve infiltrasyon sıcaklığına bağlı olarak Vickers Sertlik değerinin değişimi.



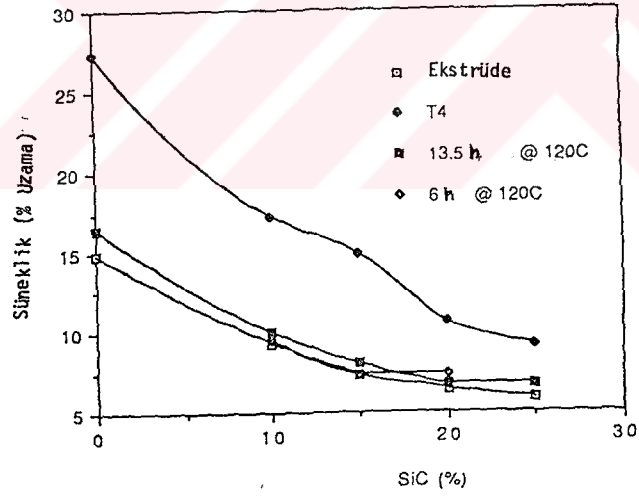
Şekil 2.12 TiC hacim oranına göre Akma Dayanımı ve Çekme Dayanımının değişimi.



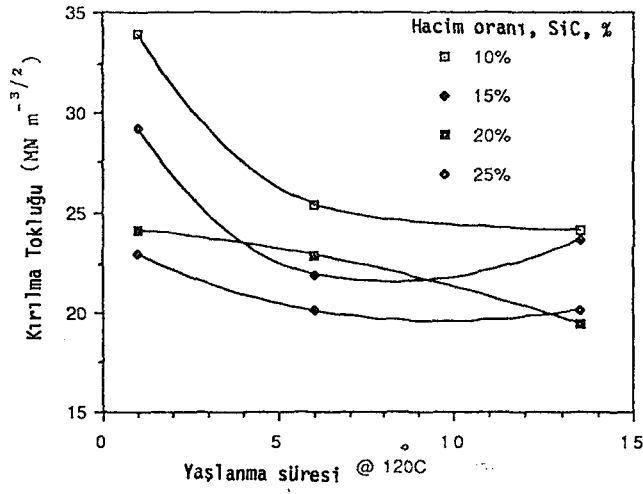
Şekil 2.13 Al-%4.5 Cu + TiC MMK¹'in 250°C de hacim oranına bağlı olarak akma ve çekme dayanımının değişimi.



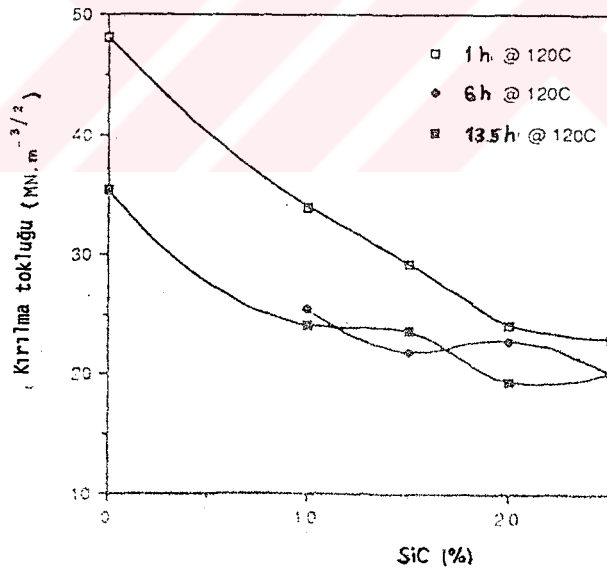
Şekil 2.14 1050,1200 ve 1350° C de imal edilen Al-TiC MMK'in,TiC hacim oranına oranına karşı Çekme Dayanımı ve Sünekliğin değişimi.



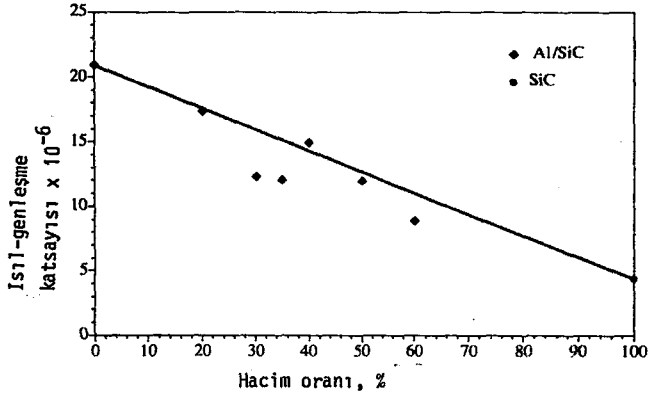
Şekil 2.15 Çeşitli ısı-ışıl işlem koşullarında MMK'in Süneklik değerinin değişimi.



Şekil 2.16 120°C de yaşlanma süresine ve SiCp hacim oranına göre Kırılma Tokluğunun değişimi.



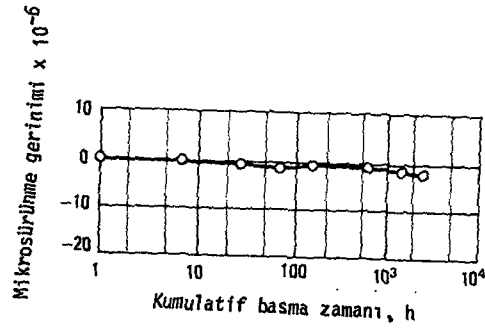
Şekil 2.17 SiCp hacim oranına göre Kırılma Tokluğunun değişimi.



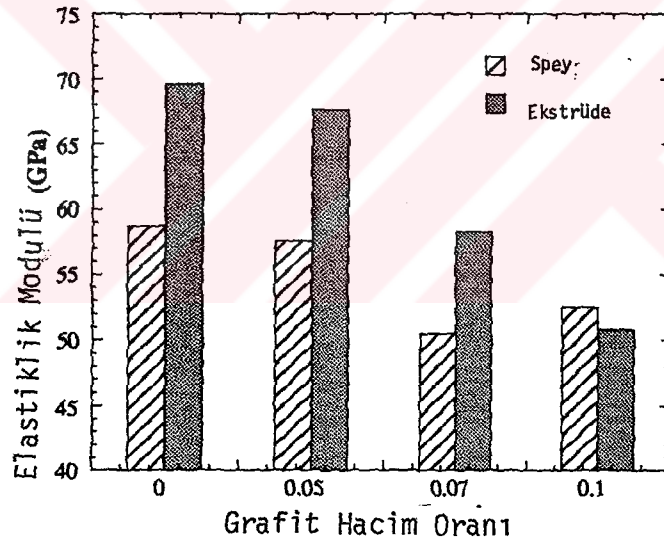
Şekil 2.18 Isıl-genleşme katsayısının SiC hacim oranına bağlı olarak değişimi

Tablo 2.5 Takviyeli ve takviyesiz Alüminyumun ısı-geleşme özellikleri.

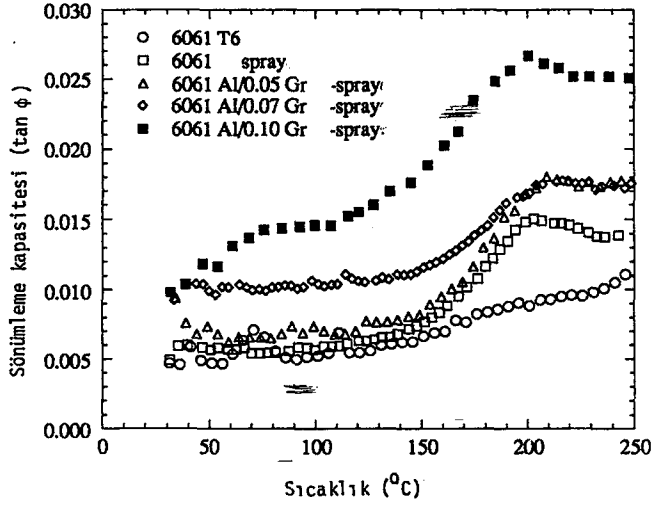
Malzeme	Hacim Oranı, %	Yoğunluk g/cm ³	Isı-İletkenliği w/m.°C	Isıl-Genleşme Katsayısı, 10 ⁶ /°C
Alüminyum	0	2.71	221	23.6
SiCp/Al	40	2.91	128	12.6
Pl20/ Gr/Al	60	2.4	419	-0.32



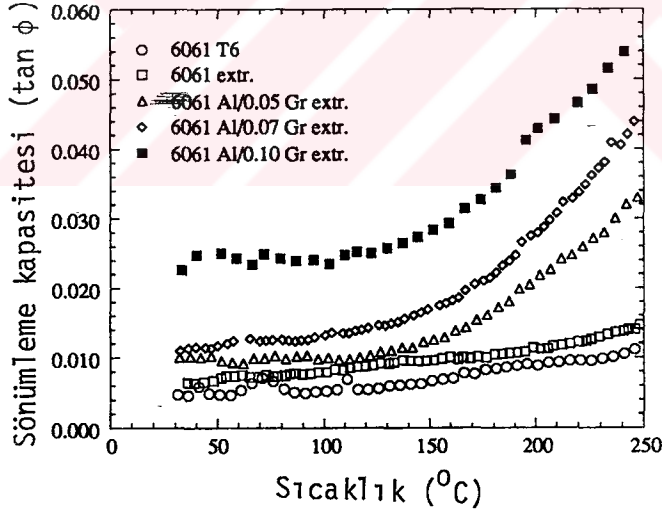
Şekil 2.19 2124-T4/SiC/30p MMK' in mikrosürünme davranışı.
Kompozitin performansı uzun süreli bir boyut
sabitliğini ifade etmektedir.



Şekil 2.20 Grafite hacim oranına bağlı olarak Elastiklik Modülünün
değişimi.



Şekil 2.21 6061-T6 Al-Alaşıımı ve ekstrüde edilmiş 6061/ Gr MMK' in 0.1 Hz' teki sönümleme kapasitesi.



Şekil 2.22 6061-T6 Al-Alaşıımı ve ekstrüde edilmiş 6061/Gr MMK' in 0.1 Hz' teki sönümleme kapasitesi.

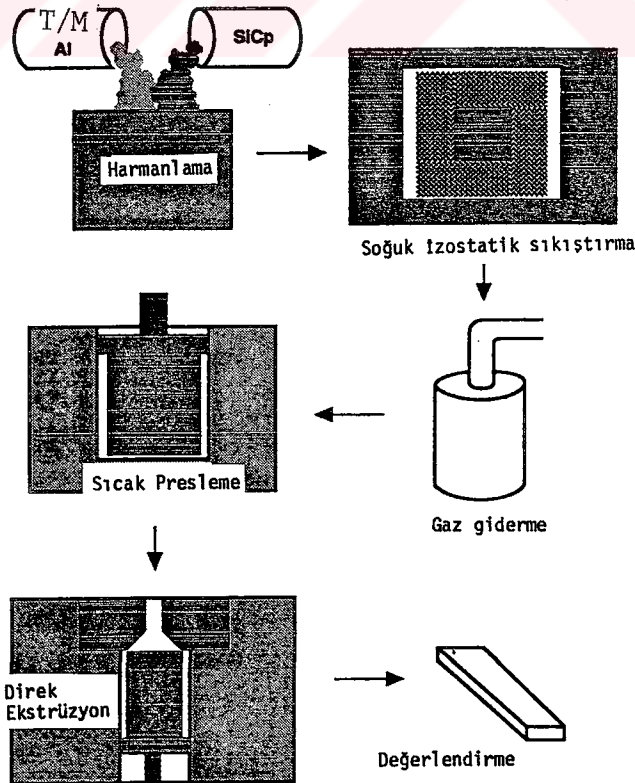
3. METAL MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Sürekli fiber takviyeli MMK'lerin başlıca üretim yöntemleri :

1. Toz-metalurjik yöntemi (PM)
2. Ergiyik-metal metodu (Molten-metal)
3. Karıştırma metodu (Mixing)
4. Basıncılı infiltrasyon yöntemi (Pressure infiltration)
5. Basıncsız (düşük basınçlı) infiltrasyon yöntemi (pressureless infiltration)
6. Sprey çöktürme yöntemi (spray deposition)
7. Kompozitin tabii yoldan üretimi (in-situ)

3.1. Toz-Metalurjik Yöntem

Şekil 3.1, toz metalurjik yöntem ile MMK malzeme üretimi görülmektedir.



Şekil 3.1. Toz metalurjik yöntem ile üretim aşamaları.

Toz metalurjik yöntemin başlıca avantajları; matris olarak herhangi bir alaşım rahatlıkla kullanılabilir, herhangi bir fiber takviyesi yine rahatlıkla kullanılabilir, çünkü matriks ile takviye arasındaki reaksiyon, katı hal prosesinin kullanımı ile minimum seviyeye indirilebilir. Dengesiz (non-equilibrium) alaşımlar matris 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 arasında takviye kullanımı mümkündür, bu da elastik modülünü arttırmakta ısıl-genleşme katsayısını düşürmektedir.

Fakat toz-metalurjik yöntem oldukça pahalı bir metottur ve genel olarak U.S.\$ 100/kg gibi rakamlara ulaşır. Bu rakam diğer ekonomik yöntemlerde ise yaklaşık U.S.\$ 5/kg'dır.

3.1.1. Al-Zn-Mg-Cu/SiC Takviyeli MMK'in Toz Metalurjik Yöntem ile Üretimi

İnert gaz altında atomize edilmiş ve Zn % 8,99, Mg % 2,47, Cu % 1,47, Zr % 0,1, Fe,Ni,Si % 0,1 oranında elementler içeren Alüminyum alaşımı, SiC % 10-25 hacim oranında ve ortalama 5 µm partikül boyutundaki takviye ile MMK üretimi toz metalurjik yöntem ile imal edilmiştir.

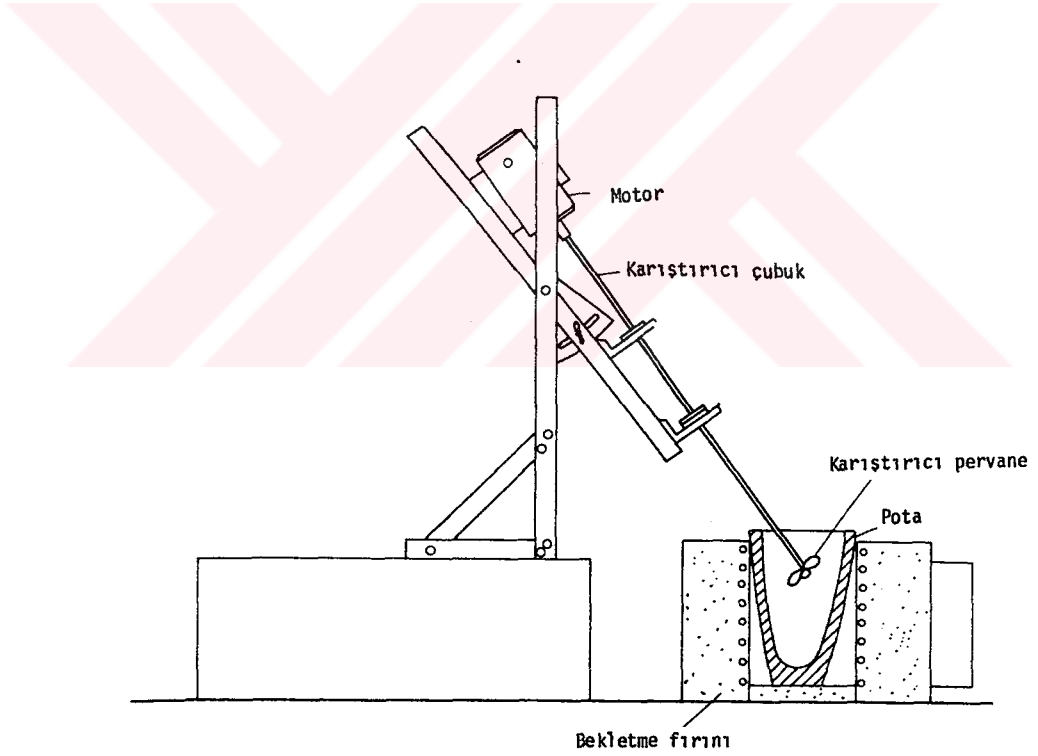
İlk olarak iki bileşen kuru olarak bir mixerde karıştırılır ve soğuk olarak sıkıştırılır (compaction). Sıcak sıkıştırma işleminden önce 500°C'de gaz giderme işlemi yapılır. Sıcak sıkıştırma ve ekstrüzyon işlemi birlikte bir hidrolik pres yardımı ile yapılır. Malzeme 425°C'de ekstrüde edilir. Ekstrüde ürün kalıp sonunda su verme işlemine tabi tutulur. Daha sonra malzeme 450°C'de 1,5 saat temperlenerek, yaşlandırma sertleşmesi uygulanır. Elde edilen fiziksel/mekanik özellikler MMK'lerin mekanik özellikleri kısmında belirtilmiştir.

3.2. Ergiyik Metal Metodu

Bu yöntem, metalik ergiyik içersine seramik partiküllerinin katılması sonucu MMK malzeme üretimini içerir. Fakat burada karşılaşılan başlıca problem, metallerin çoğu seramik partikülleri ıslatmaması ve sonuçta dışarıya itilmesine sebep olmasıdır. Genelde de ergiyik alüminyum, 800°C 'nin altındaki tipik döküm sıcaklıklarında birçok seramik partikül ıslatmamaktadır. Çalışmalar ıslatma özelliğinin geliştirilmesi yönünde devam etmektedir.

3.3. Karıştırma Metodu

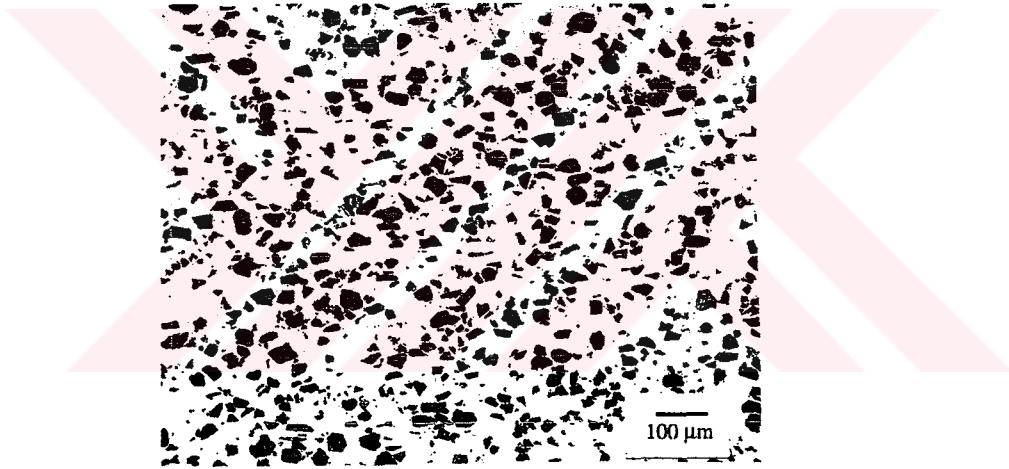
Şekil 3.2'de vortex-karıştırma metodu görülmektedir.



Şekil 3.2. Vortex metodunda kullanılan mekanik karıştırma sistemi.

Şekildeki metod Surappa ve Rohatgi tarafından geliştirilmiştir. Mekanik bir karıştırıcı ile seramik partiküllerin ergiyik üzerinde karıştırılması ile MMK malzeme üretilir. Bu proses, 50 µm üzerindeki kaba taneli seramik partiküller için sınırlıdır. Ayrıca % 10'un altında düşük takviye hacim oranları elde etmek de güçtür.

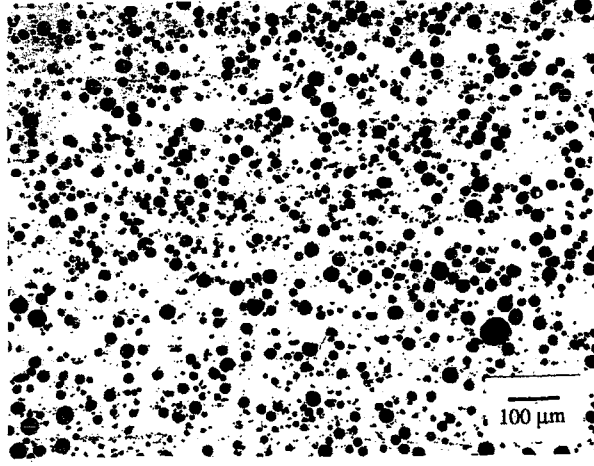
Skibo ve Schuster, Duralcan Corp. tarafından geliştirilen diğer bir karıştırma yöntemi ile kaplamasız 10 µm ve büyük boyutta seramik partimüller kullanılarak % 25 takviye hacim oranlarına kadar MMK malzeme üretmeyi başarmışlardır. Bunun bir örneği de 6061/Al₂O₃/20p MMK'tir. Şekil 3.3'te mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 3.3. Duralcan 6061/Al₂O₃/20P kompozitin ekstrüzyon sonraki mikroyapısı.

Bu Duralcan malzemesi 6800 kg'a kadar ingot ve külçe (pig) olarak üretilmekte ve satılmaktadır.

Yine Comalco firması tarafından karıştırma yöntemi ile Comral, 6061/Al₂O₃-SiO₂ takviyeli ticari kompozit üretilmiştir. (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Comalco 6061/ Al_2O_3 - SiO_2 /20 kompozit, ekstrüzyondan sonraki küresel oksitli mikroyapı görülmektedir.

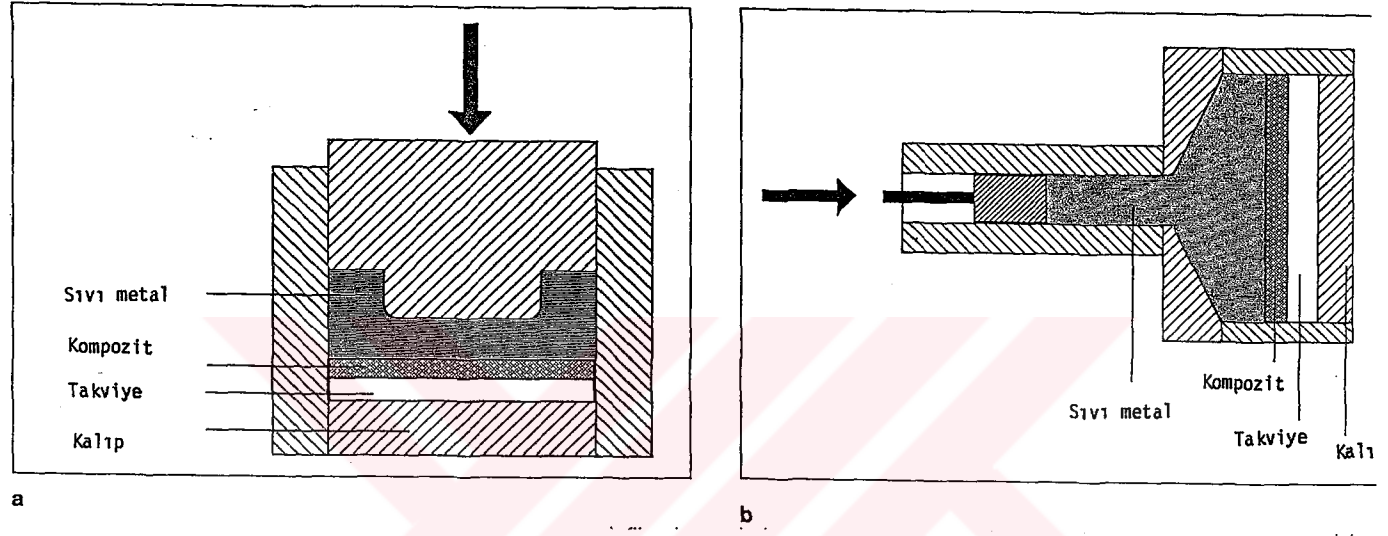
Bu yöntem oldukça çekicidir, çünkü, U.S. \$ 6/kg gibi düşük maliyette kompozit üretimi mümkündür. Şu anda bu fiyatta Duralcan firması satış yapmaktadır.

3.3.1. Karıştırma Yöntemi ile İmal Edilen Al-Si-Mg/Grafit Metal Matriksli Kompozit Uygulaması

Matris olarak seçilen LM 25/356 Al alaşımı, Si % 7,5 ve Mg % 0,4 içeriklidir. Takviye olarak kullanılan grafit (Gr) partiküllerinin ortalama boyu ise 20-50 μm 'dir. İlk olarak % 15 Gr içerikli bir master alaşım, ön dökümde kullanmak için hazırlanır. % 3-5 Gr-partikül içerikli bir kompozit eldesi için, ana alaşım ayrı olarak ergitilir ve gerekli miktarda master alaşım, % 3-5 Gr oranını elde etmek için ergiye katılır. İngot olarak dökülen bu kompozit malzeme daha sonra tekrar ergitilerek, enjeksiyon pres döküm makinesi ile 120 x 100 x 12 mm³'lük plakalar haline getirilir. Elde edilen mekanik değerler, mekanik özellikler kısmında verilmiştir (Al/Gr/% 5 p kompozit).

3.4. Basınçlı infiltrasyon Yöntemi (Pres döküm)

Bu yöntem, seramik partiküllerden (takviyeden) hazırlanıp şekillendirilmiş preforma basınçlı metal infiltrasyonu sonucu MMK malzeme üretimine dayanır, Şekil 3.5.



Şekil 3.5. Basınçlı infiltrasyon yönteminin şematik görünümü;

a) Pres döküm, piston kalıbın şeklini vermekte

b) Pres enjeksiyon döküm, piston ergiyik metal kalıbın içindeki preforma itmekte.

Bu yöntemin en büyük avantajı % 50 gibi yüksek takviye hacim oranına sahip MMK üretilebilmesidir. Bu yöntemle üretilen kompozitin maliyet tahmini güçtür ve bugüne kadar kesin rakamlar elde edilememiştir.

3.4.1. Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilen Al/TiC MMK.

% 99,99 saflıkta Alüminyum ile takviye olarak ortalama 0,8 µm boyutlu TiC toz MMK üretimi için kullanılmıştır. İlk olarak TiC tozlar, 60 x 9 x 9 mm boyutta tek eksenli olarak preslenmiştir. Yeşil yoğunluğu arttırmak için bazı tozlar 70 MN/m² basınçlarda izostatik olarak preslenmişlerdir. Bunun sonucunda yeşil yoğunluk % 58-60 değerlerine arttırılmıştır. Preslenen tozlanan argon atmosfer altında grafit dirençli bir fırında 1200 ila 1500°C'de 90 dak. süreyle sinterlenmişlerdir. Sonuçta teorik yoğunluğun % 60-85'ine ulaşılmıştır. Bu elde edilen ön şekillendirilmiş parçalar daha sonra alüminyum infiltrasyonu için 850 ile 1350°C arasındaki sıcaklıklara ısıtılıp ve 5 dakika süreyle ergiyik-Al preforma infiltre edilir. Sonuçta teorik yoğunluğun % 98'ine eşit Al/TiC kompozit malzeme elde edilir.

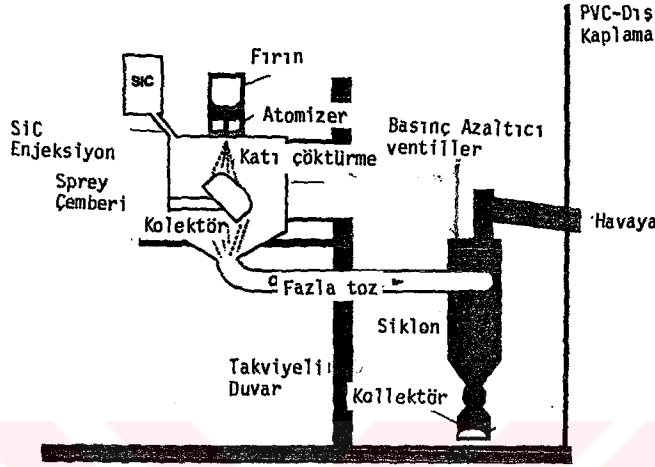
950° - 1100°C'de Al-ergiyik infiltrasyonu yapılan ve % 67-78 TiC hacim oranına sahip MMK'te 480 MN/m²'lik çekme dayanımı elde edilmiştir. Elastiklik modülü de hacim oranı artışı ile 120 ile 290 GN/m² olarak gerçekleşmiştir. Sertlik değerleri % TiC oranının artışı ile yükselmiş ve infiltrasyon sıcaklığının yükselmesi ile düşmüştür. % 84 TiC oranlı MMK'te 800 Hy değeri elde edilmiştir.

3.5. Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemi

Lanxide Corp. tarafından geliştirilen ve PRIMEX adıyla anılan bu yöntem, önceden hazırlanıp şekillendirilmiş seramik partiküller ergiyik metalin düşük basınçlı olarak azot atmosferi altında infiltrasyonuna dayanır. % 55 gibi seramik takviye oranına ulaşılmaktadır.

3.6. Sprey Çöktürme Yöntemi

Şekil 3.6, sprej sistemi görölmektedir.

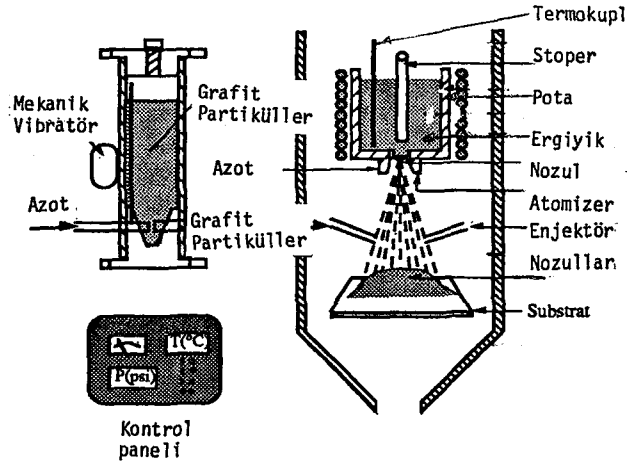


Şekil 3.6. Sprej çöktürme yöntemi.

Bu yöntemde atomize edilen metal takviye ile birlikte çöktürme yapılan yüzey üzerine sprey edilerek MMK yüzey oluşturulmaktadır. Bu oldukça hızlı katılaşılan bir prosestir. Çöktürme oranı, 6-10 kg/dak. dır ve ALCAN firması bu metod ile 200 kg'lık ingotları ticari amaçlı üretmektedir. Bu kompozitin maliyeti karıştırma yöntemi ve toz metalurjisi metodu ile üretilen kompozit fiyatları arasında olmaktadır.

3.6.1. Sprej Çöktürme yöntemi ile Üretilen 6061 Al/Gr MMK.

6061 Al-alaşımı, Mg % 1,0, Si % 0,6 , Cu % 0,28 ve Cr % 0,2 elementel analizde olup, yaprakçık (flake) grafit, ortalama 7 μ m boyutunda partikül takviye olarak kullanılmıştır. Deneysel aparat Şekil 3.7'de görölmektedir.



Şekil 3.7. Sprey atomizasyon ve çöktürme metodu.

Yüksek hızlı (basıncılı) N_2 gazı Al-alaşımını, mikrometre boyunda Al-damlacıkları haline getirmektedir. Diğer taraftan da grafit partiküller yine N_2 gazı ile birlikte, nozullardan atomize olan alüminyum ile birlikte püskürtülür. Atomize Al ve grafit partikül su-soğutmalı bakır levha üzerine yerçekiminin etkisi ile toplanırlar. Bu arada sistem, alüminyum oksidasyonunu önlemek için nötr atmosfer altındadır. Böylece % 5, % 7 ve % 10 grafit hacim oranlarına ulaşılmaktadır. İşlem sıcaklığı $800^{\circ}C$ 'dir. Bakır levha üzerinden alınan malzeme $400^{\circ}C$ 'de ekstrüde edilir.

Üretilen 6061 Al/65 MMK'in, sönümlene kapasitesinde iyi bir artış kaydedilmiştir.

3.7. Tabii Yoldan Üretim (in-situ)

in-situ metodu diğer yöntemlerden farklı bir tarza sahiptir. Yöntem takviye olarak kullanılan seramik partiküllerin ergiyik-matris içersinde doğal olarak anında üretilmesine dayanır. Birkaç in-situ üretim metodu geliştirilmiştir; XD -prosesi, Reaktif-gaz-infiltrasyonu, Karıştırılmış Tuz yöntemi, DIMOX (Direct metal oxidation/nitridation) SHS (Self-Propagating-high-Temperature synthesis), Mixalloy, Reaktif sprej metodu ve VLS (Termal Plazma enhanced vapor

liquid-solid). Bunlar arasında en kayda değer iki yöntem, XD-prosesi ve Reaktif-gaz-infiltrasyon metodudur.

3.7.1. Kompozit Malzemenin Tabii Yoldan IN-SITU Metodu ile Üretimi

Son yıllarda, uçak ve otomotiv sanayiinde kullanılan konvansiyonel alaşım sistemlerinin uzun süreli kullanımlara uygun olmadığı görülmüş ve malzemeden daha spesifik özelliklerin gereksinimi, yeni bir arayışa yol açmıştır. Bu yüzden, teşebbüsler malzeme özelliklerinin yüksek dayanımlı bir seramik ikincil fazın takviyesi ile geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Bazı metal, fiber ve MMK'lerin dayanım ve elastik modül değerleri.

Malzeme	Fiber takviye oranı, %	* Dayanım N.m/kg	* Modül N.m/kg
Al-Li/Al ₂ O ₃			
0°	60	20 000	7.59 × 10 ⁷
90°	60	4986-6000	4.406 × 10 ⁷
Ti-6Al-4V/SiC			
0°	35	45 337	7.77 × 10 ⁷
90°	35	10 622	...
Mg/carbon	38	28 333	...
(Thornel)			
Al/carbon	30	28 163	6.53 × 10 ⁷
6061 Al	...	11 481	2.53 × 10 ⁷
2014 Al	...	17 143	2.59 × 10 ⁷
SiC(f)	100	78 431	1.567 × 10 ⁸
SiC(w)	100	6.67 × 10 ⁵	2.19 × 10 ⁸ to 3.29 × 10 ⁸
Al ₂ O ₃ (f)	100	50 000	1.175 × 10 ⁸
B(f)	100	1.538 × 10 ⁵	1.62 × 10 ⁸
C(f)	100	1.618 × 10 ⁵	1.35 × 10 ⁸
Be(f)	100	59 459	1.68 × 10 ⁸
W(f)	100	14 974	1.79 × 10 ⁷
Al/boron			
0°	50	56 604	7.92 × 10 ⁷
90°	50	5 283	5.66 × 10 ⁷
Al/SiC			
0°	50	8 803	1.092 × 10 ⁸
90°	50	3 697	...

* Dayanım ve Modül değerleri kütleleseldir.

Oksitler, karbürler ve nitrürler gibi çeşitli takviyeler kullanımı ile monolitik metallerin özelliklerini geliştirmek için araştırmalara girişilmiştir. MMK malzeme, biraz önce bahsettiğimiz toz metalurjisi, basınçlı infiltrasyon, karıştırma gibi yöntemlerle üretilmeye çalışılmaktadır. Fakat bu yöntemler ile üretilen suni kompozitlerin sadece bir kısmının uygulanabilir ve ekonomik olduğu görülmüştür. Ayrıca bu üretim yöntemlerinin doğurduğu bazı problemler vardır. Örneğin; yüzeylerarası reaksiyonların istenmeyen ürünler doğurması, termodinamik ve mekanik olarak tam bir karışımın olmaması, değişik fazlarda ısı-genleşme değerlerinin bozulması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Tabii yöntem, termodinamik olarak stabil bir seramik takviye fazının oluşumu ile sonuçlanan bir kimyasal reaksiyondan ibarettir. Böylece doğal olarak stabil yeni bir sınıf malzeme üretilebilir. Takviye ile matris arayüzeyinin karışmazlığı engellenerek, termodinamik olarak daha stabil bir yapı elde edilir. Ergiyiğin ve gaz reaksiyonlarının kontrolü ile birçok karbür, nitrür, oksit, borid ve hatta silikat bazlı takviyeler üretilebilir. İki reaksiyon fazının uygun bir şekilde reaktiviteleri ayarlanarak, takviyenin boyutları, dağılımları ve hacim oranları kontrol edilebilir. Çift-faz takviyesi ve dereceli takviye işlemi, çok-bileşenli gaz sistemi ile elde etmek mümkündür.

Tabii yoldan üretilen takviyelerin sunduğu avantajların başında, ana-metal alaşımın dayanımını ve elastik modülünü düşük takviye hacim oranlarına rağmen arttırması ve bu esnada kırılma tokluğu ile sürünme değerlerini muhafaza etmesidir. Bir diğer avantaj ise yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans göstermesidir. Aşağıda tabii yoldan üretilen kompozitlerin potansiyel vaad eden uygulama alanları ile avantajlı ve dezavantajlı yönleri belirtilmektedir :

Uygulama Alanları

- Yüksek dayanımlı alaşımlar
- Yüksek elastik modüllü alaşımlar
- Yüksek ısı-iletkenlikli alaşımlar
- Enjeksiyon pres-döküm/kalıp pres döküm Al alaşımları
- Kısmi takviye edilmiş döküm ürünler (savurma döküm)
- Otomotiv endüstrisi için işlenebilir kompozitler
- Aşınmaya-dirençli ve termal olarak stabil Al alaşımları
- Hasara -tolere balistik uygulamalar
- Akustik sönüm özellikli alaşımlar

Avantajlar

- İnce takviye boyutu (0,1 - 5 μ m gibi)
- Doğal arayüzey (takviye ile matris arasında)
- Ekonomik işlem
- Termodinamik stabilite
- Sürekli üretim
- Kimyasal olarak temiz yapı
- Hızlı oluşma kinetiği
- Net şekle yakın malzeme üretimi

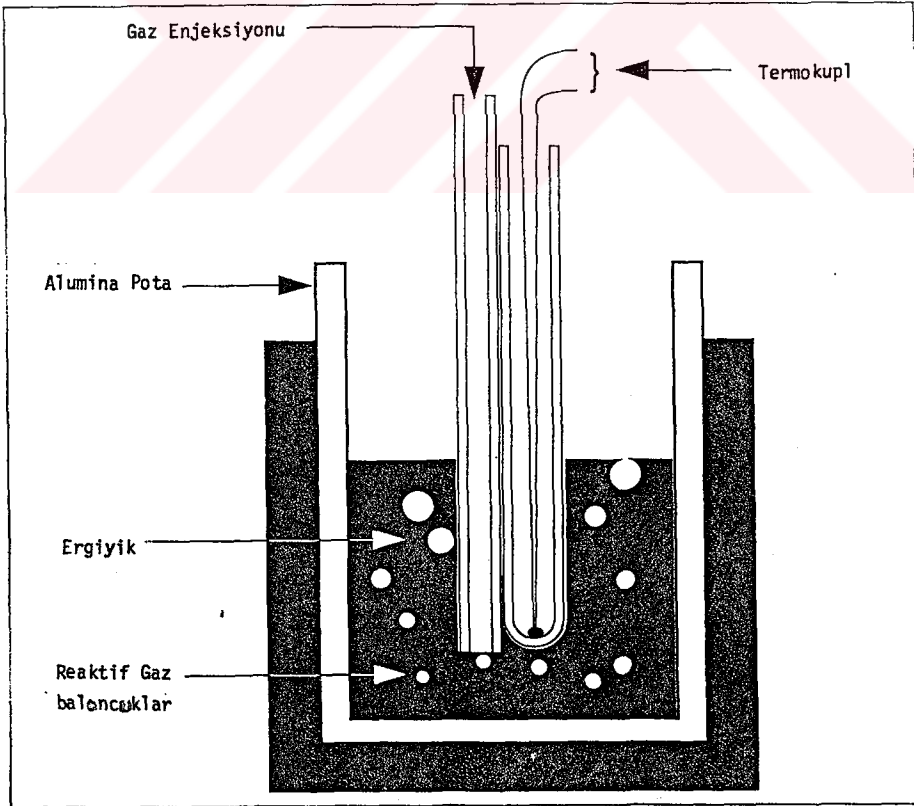
Dezavantajları

- Sınırlı takviye oranı, düşük hacim oranları
- Yüksek çalışma sıcaklığı
- Yüksek ergiyik viskozitesi
- Takviye Segregasyonu

Yine LSM (London Scandinavian Metallurgical Company) firması tarafından üretilen, 1-2 μm TiB_2 takviye boyutlu, kompozit, (2014/ TiB_2), 500 MPa ılık. akma dayanımına, % 5'lik süneklik değerine ve 90 GPa elastik modülü değerine sahip olduğu belirtilmiştir.

3.7.1.2. Reaktif-Gaz Infiltrasyon Yöntemi

Yeni bir teknik olarak 1989 yılında geliştirilen bu yöntem Al-bazlı alaşımlarda TiC gibi takviye fazını ergiyik içinde oluşturarak, kompozit malzeme üretimine dayanır. CH_4 , NH_3 , CCl_4 gibi gazlarla yüksek sıcaklıklarda (1200-1400°C) Al-ergiyik içersine infiltrasyonu ile ana matris içersinde karbür veya nitrür partikül oluşumuna dayanır. Takviye fazının oluşumu gaz-sıvı-katı hal reaksiyonlar veya sadece gaz-sıvı hal reaksiyonları ile olur. Aşağıda en çok üzerine çalışılan gaz-sıvı reaksiyonlar ile takviye fazının oluşumu görülmektedir.



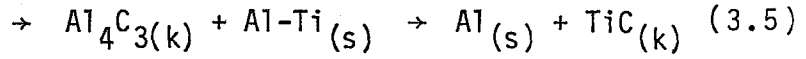
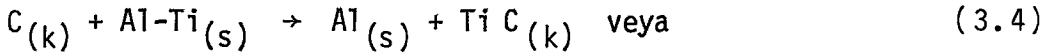
Şekil 3.8. Reaktif gaz infiltrasyon yönteminin şematik görünümü.

- Termodinamik olarak stabil karbür oluşumu :

Gaz parçalanma reaksiyonu :

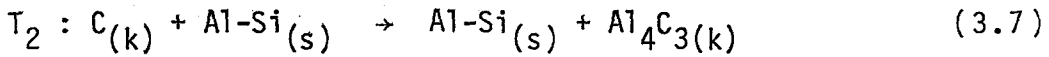
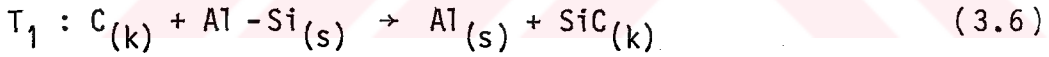


Karbon reaksiyonu ve karbür oluşumu :

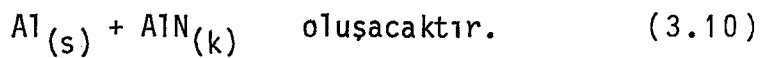
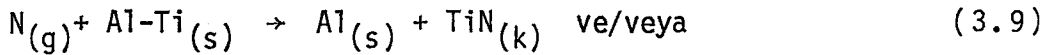


- Termodinamik olarak stabil olmayan karbür oluşumu :

Birbiriyle yarışan iki reaksiyonun bulunduğu durumlarda, işlem sıcaklığının seçimi, reaksiyon tipini de etkileyecektir. Al-Si ergiyiğinde aktif olan C hem SiC hem de Al_4C_3 oluşturacaktır. Baskın olan reaksiyon tamamen sıcaklığın fonksiyonu olarak gerçekleşecektir.

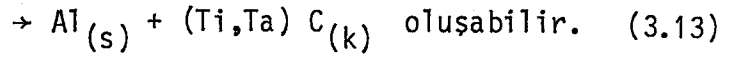
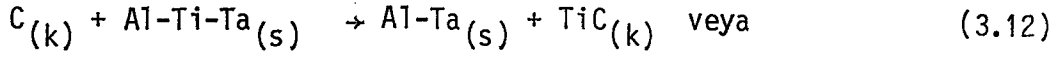
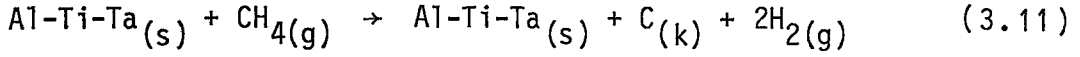


- Çift-takviyeli formasyon :



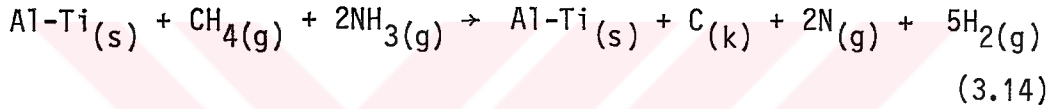
Genelde TiN, AlN'den daha stabildir. Fakat her ikisi de Al-MMK üretimi için elverişli ve yeterlidir.

- Dupleks karbür formasyonu :

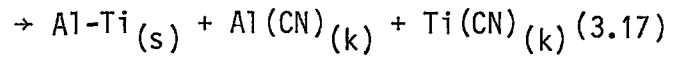
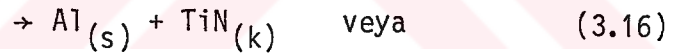
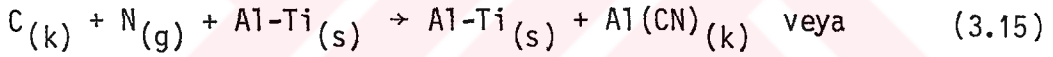


- Karbür-Nitrür takviyeli formasyon :

Gaz parçalanma reaksiyonu :



Karbür ve nitrür reaksiyonu :



4. ALÜMİNYUM MATRİKSİLİ KOMPOZİTLERİN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE UYGULAMA İMKANLARI

MMK'lerin mükemmel özellikleri, otomotiv mühendislerini bu malzemeleri kullanmak için birçok yeni uygulama alanları bulmaya yöneltmiştir. Bazı anahtar uygulamalar aşağıda tanımlanmıştır. Diğer başlıca uygulamalar ise; fren aksam ve parçaları, pompa gövdeleri, dişliler, valfler, destek parçaları, kasnaklar, elektronik paket kutular, turboşarj, supersarj, kompresörler ve süspansiyon parçalarıdır. Tüm bu parçalar MMK'lerin önemli özelliklerini ortaya çıkarmakta ve otomotiv endüstrisine olan yararlarını göstermektedir.

4.1. Aktarma Şaftı

Kamyonlarda ve büyük çekici araçlarda aktarma şaftı, MMK'ler için en ilgi çekici uygulamalardan biridir. Normalde çelik malzemeden imal edilen şaft yerine Al-MMK kullanımının başlıca sebebi düşük ağırlıktır.

$$N_c = \frac{15 \pi}{L^2} \sqrt{\left(\frac{E}{\rho}\right) \cdot g \cdot (R_o + R_i)^2} \quad (4.1)$$

N_c : Kritik devir sayısı

L : Şaft boyu

R_o : Dış çap

R_i : İç çap

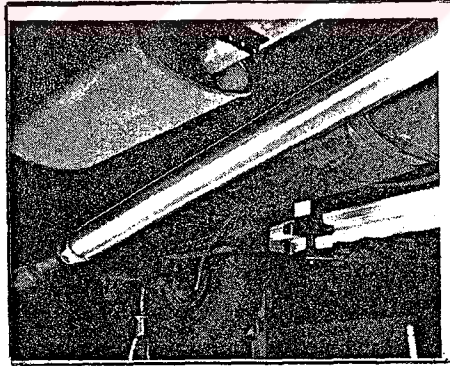
E : Elastiklik modülü

g : Yerçekimi ivmesi

ρ : Yoğunluk

Formülde görüldüğü gibi ($E/$) oranı, kritik devri etkileyebilecek tek malzeme özelliğidir. Kritik devri kontrol eden diğer bir etken ise L ve R 'dir. Bazı araçlar bazen daha uzun boylu şaft gerektirmektedirler. Fakat bazı zorlamalar (ağırlık ve hacim) şaft çapının arttırılmasına izin vermemektedir. Çelik ve alüminyum malzemeler düşük elastik modüle sahip olduklarından, kritik devir değerleri sınırlıdır ve aktarma şaftı boyunun arttırmasını kısıtlamaktadır.

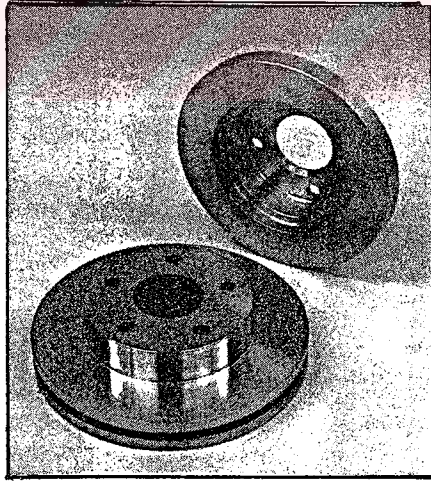
Partikül takviyeli alüminyum aktarma şaftları bu probleme ekonomik bir çözüm getirmektedir. Çünkü bu malzemelerin elastik modülü çelik ve alüminyum malzemeye nazaran belirgin bir şekilde yüksektir. (1040-çelik = 72 GPa 6061 Al, 72 GPa ve 6061/Al₂O₃/20 p, MMK, 103 GPa). Böylece MMK kullanımı ile hacim ve ağırlığı sabit tutarak, şaft boyu arttırılabilir. Örnek olarak; 6161/Al₂O₃/20 p Al-MMK şaft boyunu % 8 kadar arttırma imkanı tanımaktadır (Kesit alanı sabit kalmak şartıyla). Alternatif olarak da Al-MMK şaftın sapı azaltılabilir ki bu da hacimde ve ağırlıkta azalma demektir.



Şekil 4.1- Duralcan, 6061/Al₂O₃/20P, kompozit malzemeden imal edilen aktarma şaftı.

4.2. Fren Diskleri

Aluminyum-MMK'ten imal edilen fren disklerinin başlıca avantajı ağırlığının azaltılmasıdır. Bu azalış % 50 -60 değerlerindedir. Dökme demirden imal edilen ve 5,4 kg çeken disk böylece 2,5 kg'a düşmektedir. Bu aynı zamanda atalet kuvvetini azaltmakta ve yakıt tüketimini düşürmektedir. Hafif olan MMK disk ayrıca ivmeyi arttırarak frenleme-mesafesini (durma mesafesini) azaltmaktadır. Fren ses seviyesi azalmakta, aşınmalar minimum değere düşmekte ve dökme demir diske nazaran daha düzgün bir sürtünme yüzeyi göstermektedir. Bu sonuçlar 50.000 km'lik bir fren-dinamometre testinden sonra elde edilmiştir. Fren disklerinde iyi bir aşınma direnci en gerekli özelliklerden biridir, bu da yeteri kadar takviye oranı gerektirmektedir. Diskin fonksiyonunu etkileyen diğer önemli bir faktör de ısıl-difizyondur. MMK'lerde, dökme demire nazaran yaklaşık 5 ila 7 kat daha yüksektir. Bu da ortaya çıkan ısıнын bir an önce diskten geçerek dışarı çıkmasını sağlamaktadır. Şekil 4.2, 359 Al/SiC/20p malzemeden üretilen MMK fren diskleri görülmektedir.

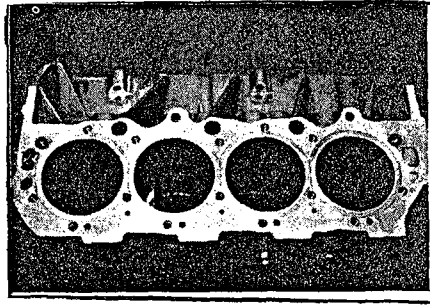


Şekil 4.2. 359 Al/SiC/20p kompozit malzemeden üretilen fren diskleri.

4.3. Motor Bloğu ve Silindir G  mleği

Aracın toplam ağırlılığını azaltmak için, bütün otomotiv üreticileri dökme-demir motor bloğun yerine alüminyum malzemeden blok teknolojisi geliştirmeye çalışmaktadırlar. Tipik olarak ağırlık azalması yaklaşık 15-35 kg arasındadır. Yüksek Si-oranlı Al-alaşımları (319 veya 356 gibi) motor bloğu üretiminde kullanılmaktadır. Ancak bu alaşımlar silindir bölgesinde oldukça yüksek sıcaklıklara dayanamamaktadırlar ve aşınma dirençleri düşüktür. Süreksiz takviyeli Al-MMK ek olarak 3-4,5 kg bir ağırlıkta azalma avantajı sağlamaktadır. Buna ek olarak da, bu hafiflik, motorun çalışma verimini, ısı iletkenliğini arttırmakta, boyut sabitliğinin ve rijitliğinin daha iyi olması sonucu motor sürtünmesi azalmaktadır.

Silindir alanı oldukça yüksek sıcaklıklara ve yanmış gazlara mağruz kaldığından, burada aşınma, yorulma ve sürünme gibi özellikler önem kazanır. Zor koşullarda 200 C değerlerine ulaşmak mümkündür. % 10-20 Al₂O₃ ve SiC takviyeli Al-MMK'ler dökme demir ile karşılaştırıldıklarında yeteri kadar çizilme (scuffing) direncine sahiptir.  rnek olarak, Honda-Prelude modelinde, 2,3 litrelik motor bloğu basıncılı infiltrasyon yöntemi ile Al-MMK'ten imal edilmiş ve halen kullanılmaktadır. Bu kompozit Alumina + karbon fiber karışımından elde edilen preform ( n şekillendirilmiş malzeme)  zerine orta-basıncılı Al-ergiyik infiltre edilerek üretilmiştir (pres döküm).

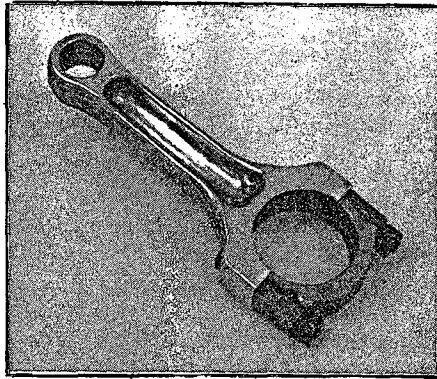


şekil 4.3. Partikül takviyeli Al-silindir g  mleği ve Al-motor bloğu.

4.4. Biyel Kolu ve Pistonlar

Biyel ve pistonun MMK'ten imalinin en büyük yararı yine ağırlığın azaltılmasıdır. Bunun birçok avantajı vardır. Ekonomik yakıt tüketimi açısından dört silindirli motorlar oldukça arzu edilirler. Fakat 2.0 litrenin üzerine çıkılmak istendiğinde biyel/piston karşıt kütleleri (reciprocating masses) dengesiz (unbalanced) ve sakıncalı ikincil silkme (shaking) kuvvetleri doğurur. Hafif biyel/pistonun başlıca yararı, bu ikincil kuvvetlerin azaltılmasıdır. Karşıt kuvvetler yüksek devirlerde sakıncalı olabilir. Biyel kolunun kütlesini azaltarak bu sorun ortadan kaldırılabilir ve daha yüksek devirli motorlar imal edilebilir. Karşıt yüklerin azalması krank miline düşen ağırlıkları ve sürtünme kayıplarını azaltacaktır. Bu da motorun performansını arttıracak ve yakıt tüketimini düşürecektir.

İlk başta biyel kolları için dikkate alınması gereken özellik, 150-180°C'de yüksek-devirli yorulma dayanımıdır. Toz metalurjisi yöntemi ile imal edilen bir örnek, 2080/SiC/15p MMK'tir (Şekil 4.4) görülmektedir.

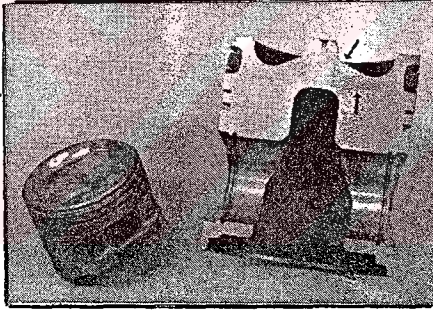


Şekil 4.4. Sıcak-dövme 2080/SiC/15p kompozit malzemeden imal biyel kolu.

Bu MMK, bu sıcaklıklar arasında 170 mPa'lık bir yorulma dayanımı değeri göstermektedir. Bu değer çeliğe nazaran düşük olmasına rağmen gelecek için umut verici görülmektedir.

Diğer önemli bir özellikleri de ısıl-genleşme katsayısı, elastiklik modülü ve aşınma direncidir.

MMK'lerin otomobillerde ilk ticari uygulaması, Toyota tarafından geliştirilen kısmi olarak takviye edilen dizel motor pistonlardır. Pistonun segman yatağı, alumina veya alumina + $NiAl_3$ takviyeli basınçlı infiltrasyon metodu ile üretilmiştir. Aynı zamanda tamamı MMK olan pistonlar da geliştirilerek deneme aşamaları sürdürülmektedir. Şekil 4.5, kısmi ve tamamı takviye edilmiş MMK-piston görülmektedir.



Şekil 4.5. Döküm Al-piston; sağda dizel motorlar için kısmi takviye edilmiş piston; solda düşük emisyonlu binek araçlar için tamamı takviyeli piston.

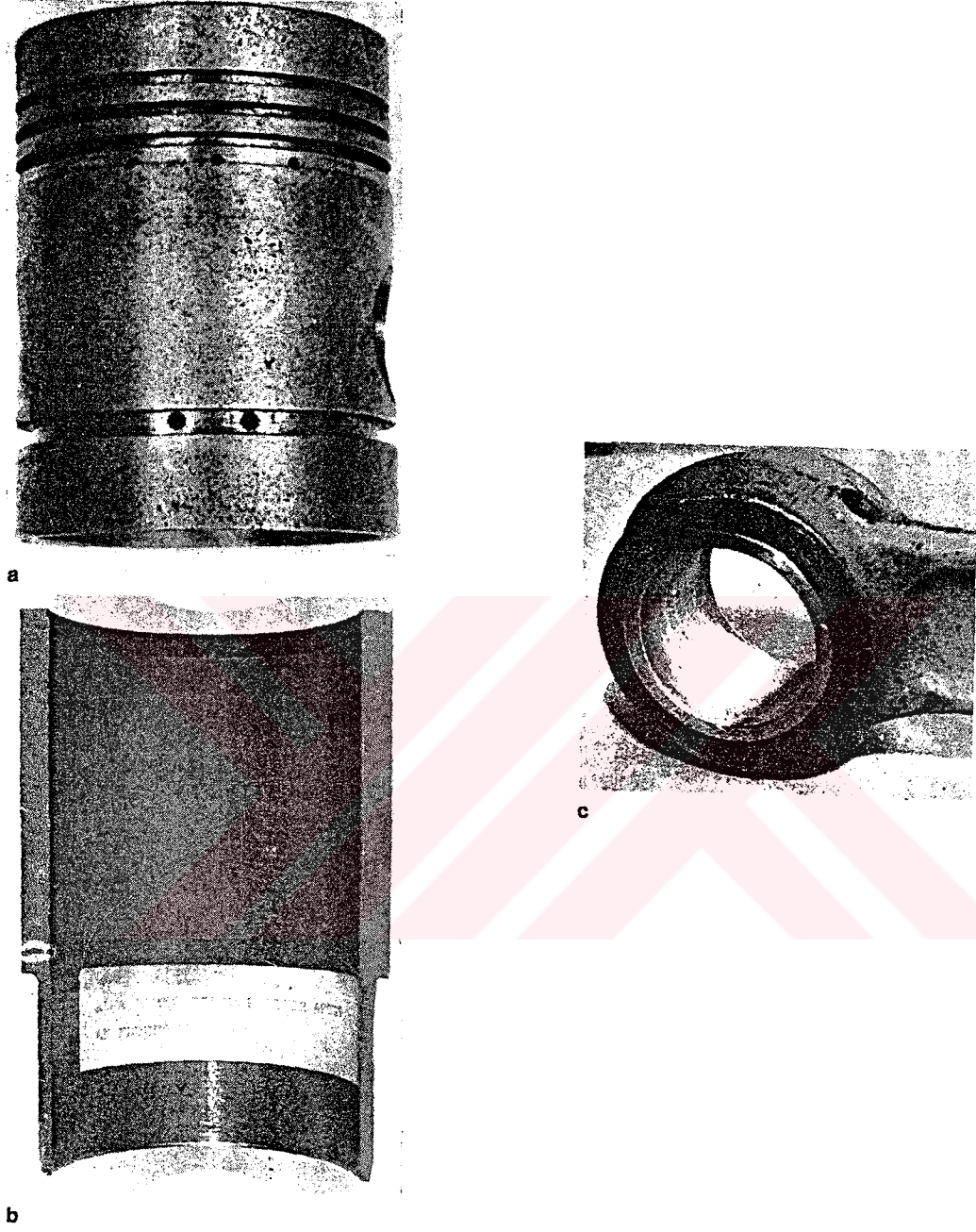
MMK'ler daha sıkı ölçü toleransına ve daha az çatlak miktarına sahiptirler ki bu da motor emisyonunun gelişmesini sağlamaktadır.

Yüksek devirli çalışma koşullarında, pistonun üst kısmı 250 - 300°C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşırken, pim bölgesi 120 - 150°C arasındadır. Piston yorulma yüklerine, ısıl-şoka ve yanmış gazlara dirençli olmalıdır. Ayrıca yeteri kadar aşınma direncine ve düşük ısıl-genleşme katsayısına sahip olmalıdır. Bu özellikleri karşılayacak birçok MMK-sistemi mevcuttur ve takviye tipi/oranının ayarlanması ile istenilen özellikler elde edilebilir.

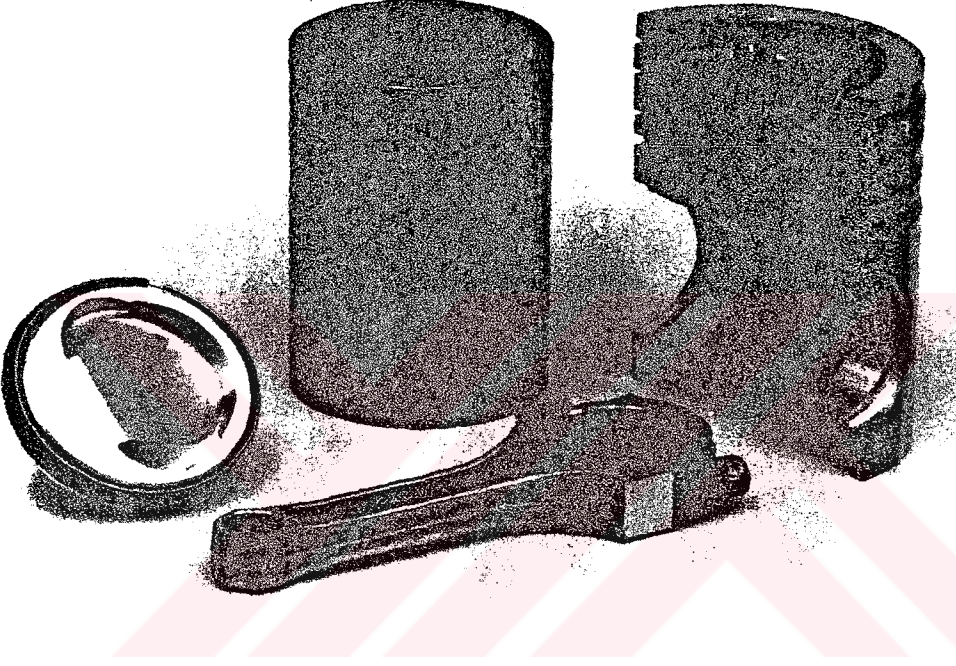


Tablo 4.1. Alüminyum-MMK'ten imal bazı otomotiv parça uygulamaları

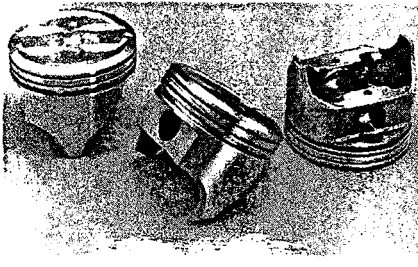
Takviye	Parça	Özellik	Yararı	Üretici
SiC (p)	Piston	Aşınma direnci	Ağırlıkta azalma	Dural, Martin Marietta, Lanxide
Al_2O_3 (f)	Segman yatağı Piston kapağı	Aşınma direnci Yorulma ve sürtünme	Yüksek çalışma sıcaklığı, Karşıt kütlelerin azalması	Toyota, T&N, JPL, Mahle
SiC (p)	Fren diski, kampana ve aksamı	Aşınma direnci	Ağırlıkta azalma	Dural, Lanxide
SiC (p)	Aktarma Şaftı	Özel rijitlik	Ağırlıkta azalma	GKN, Dural
SiC (w)	Biyel Kolu	Özel rijitlik ve dayanım ısıl-genleşme	Karşıt kütlelerin azalması	Nissan
Al_2O_3 (f)	Biyel kolu	Özel rijitlik ve dayanım ısıl-genleşme	Karşıt kütlelerin azalması	Du-Pont, Chrysler
$Al_2O_3-SiO_2-C$	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



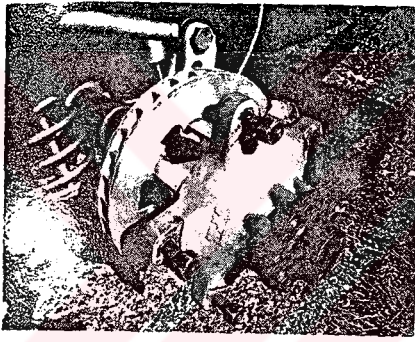
Şekil 4.6 Döküm Al-Gr MMK`ten imal otomotiv parçalar.(a) 5HP lik dizel motorda başarılı bir şekilde çalışan piston(b Alfa-Romeo yarış otomobillerinde kullanılan silindir(c) Biyel kolunda başarılı bir şekilde kullanılan yatak.



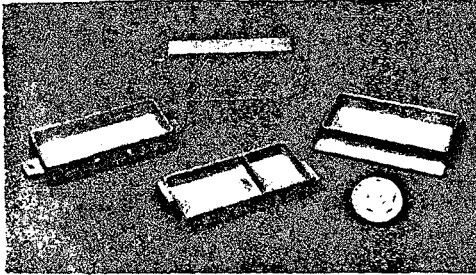
Şekil 4.7 FORD tarafından deneme amaçlı,MMK' ten imal edilen otomotiv parçalar.



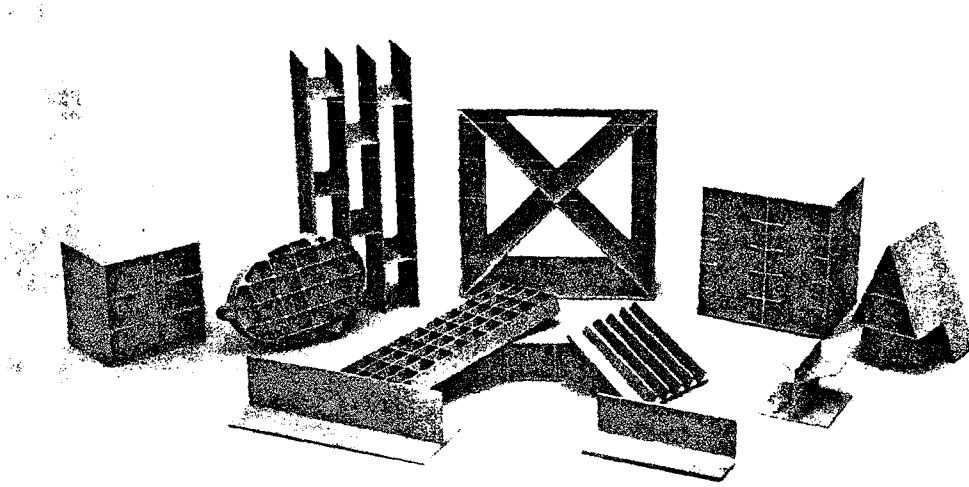
Şekil 4.8 Duralcan tarafından imal edilen MMK-pistonlar.



Şekil 4.9 Duralcan tarafından imal edilen MMK-fren diski.



Şekil 4.10 Al/SiC/60p K MMK ten imal edilen elektronik kutular.
(Lanxide Corp.)



Şekil 4.11 Primex prosesi ile imal edilen Al/SiC/60p MMK.
Net şekle yakın parçalar.



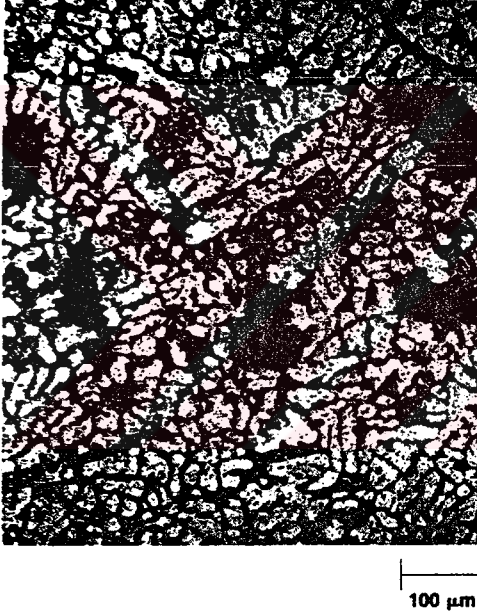
Şekil 4.12 Al/SiC den döküm çeşitli parçalar. Fren disk, üst kontrol çubuğu, piston, bisiklet zincir dişlisi (Enjeksiyon pres döküm), hidrolik manifold (uçak), (Duralcan).

5.DENEYSEL ÇALIŞMA

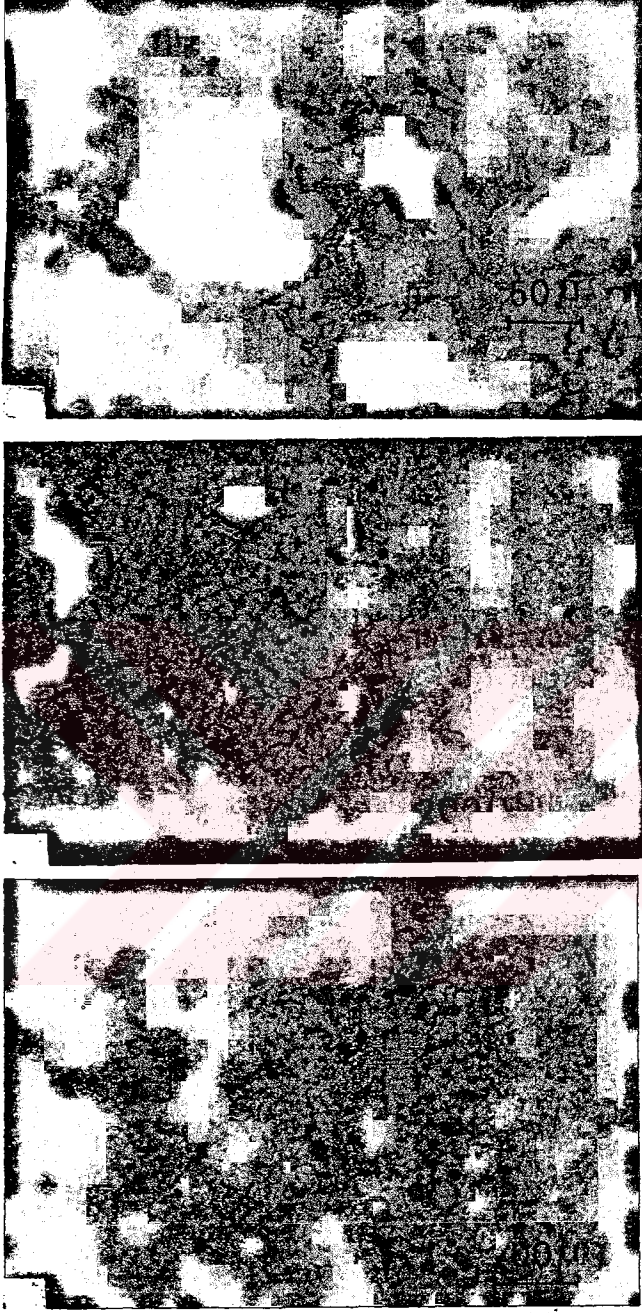
Alüminyum Metal Matriksli Kompozit malzeme,gaz-infiltrasyonu ve partikül karıştırma tekniği ile üretilmeye çalışılmıştır. Matriks malzeme olarak ETİAL 1400 (% 11,5-13,5 Si,% 0,10 Cu, % 0,60 Fe,% 0,10 Zn,% 0,40 Mn,% 0,10 Mg,% 0,10 Ni,kalan Al) analizli malzeme ile AlTi5B1 (% 13,5 Ti içerikli) alaşım kullanılmıştır.

Deneylerde infiltrasyon gazı olarak NH_3 (Amonyak) ve Argon, toz partikül olarak da mikron boyutlarda Al_2O_3 ile Gr(Grafit) kullanılmıştır.

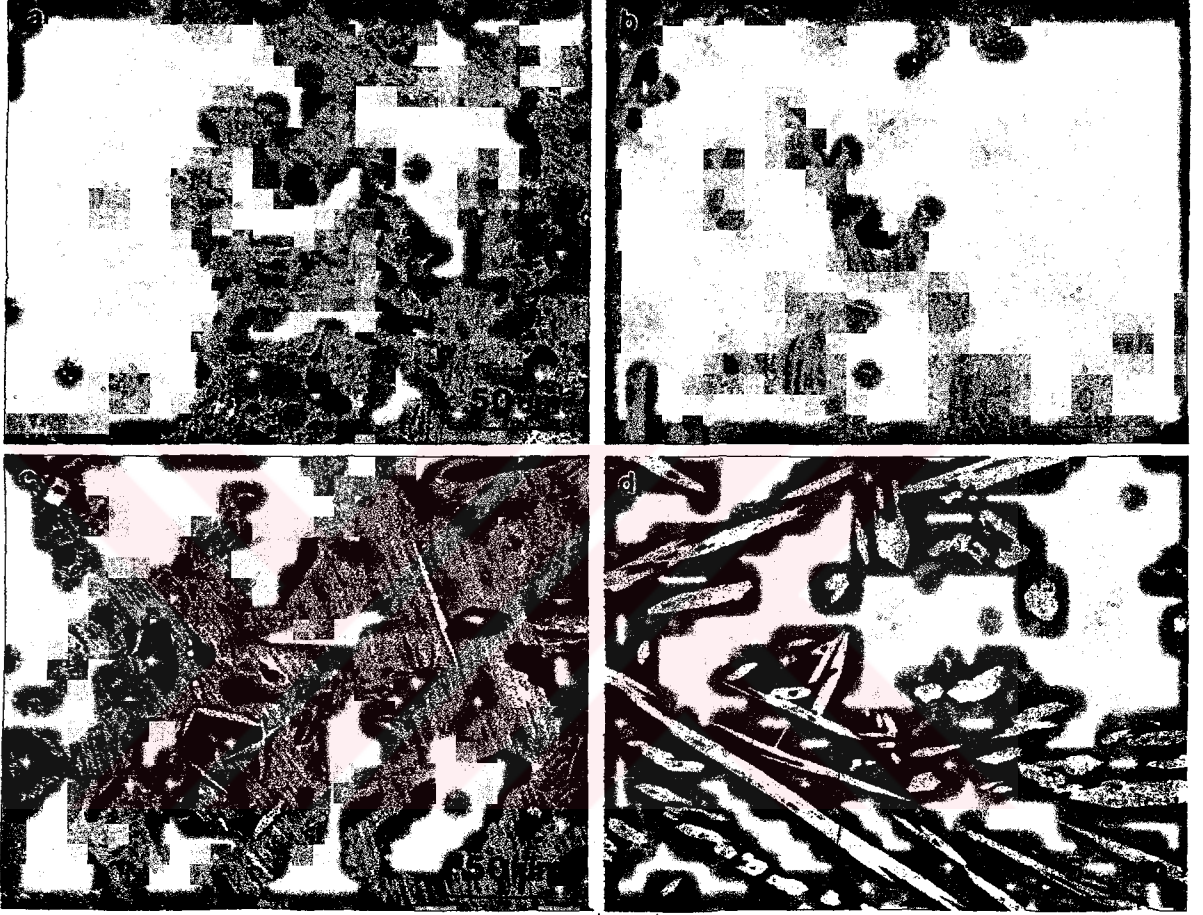
Gaz infiltrasyon tekniği ile ana matriks içersinde takviye olarak TiN ve Si_3N_4 oluşturularak ve yine partikül karıştırma metodu ile Al_2O_3 ve Gr takviyeli Al-MMK üretilmeye çalışılmıştır.Aşağıdaki şekillerde bu takviyeleri içeren mikroyapılar gösterilmiştir.



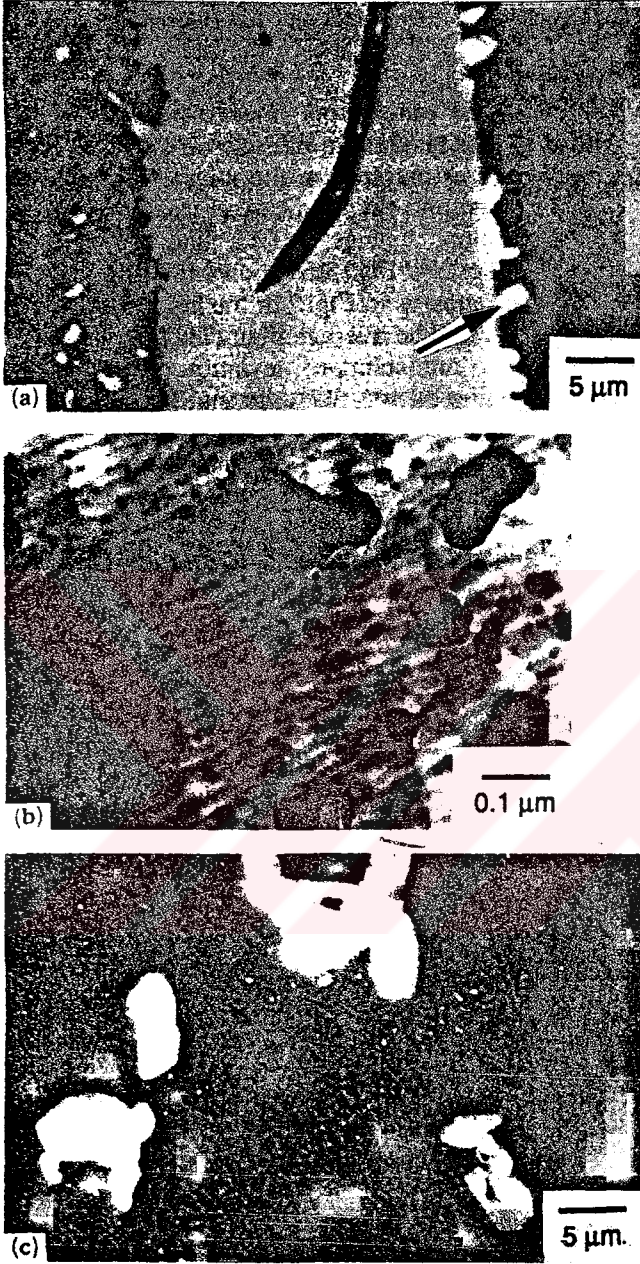
Şekil 5.1. Al-Si matriks içersinde Gr partiküllerinin görünümü.



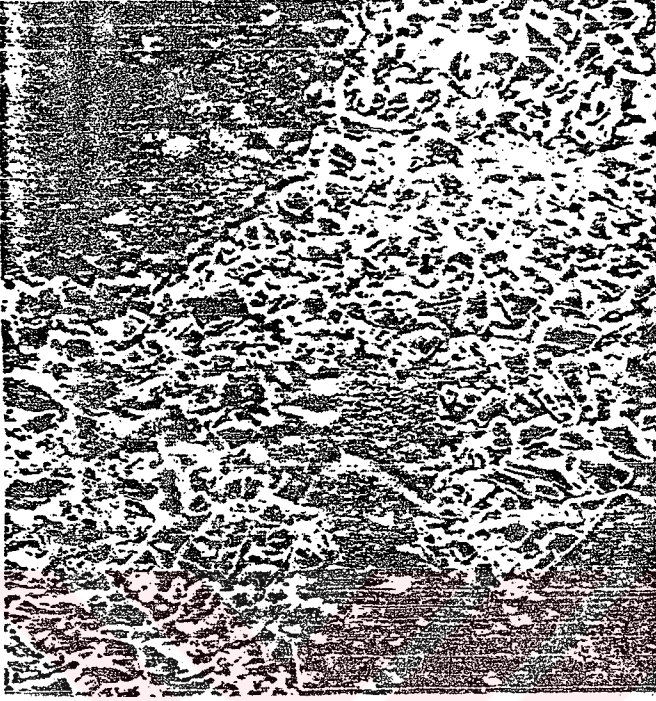
Şekil 5.2. Tipik Al-Gr MMK mikroyapıları



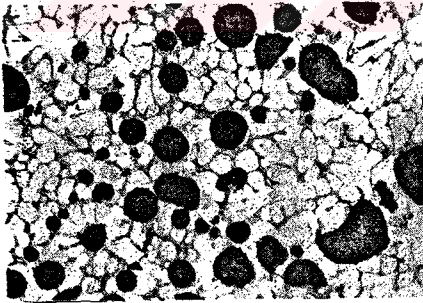
Şekil 5.3. Al-TiB mikroyapılar.(a) Ti-50 %Al-5 %B(b)Ti48.7 %Al- 5.6%B(c) Ti-50 %Al-5.1%B(d) Ti-50 %Al-3.5%B



Şekil 5.4. CH_4 ile gaz infiltrasyonu yapılan Al-Ti matriksli yapı. (a) TiAl -Al arayüzeyi (b) Karbon partiküller (c) TiC partiküller.

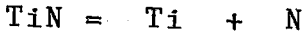


Şekil 5.5. Al-%5 Si matriksli yapıda %20 Al₂O₃ içeren yapı x200 büyütme.



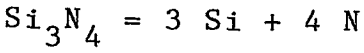
Şekil 5.6. Al-Si/%20 Al₂O₃ içeren MMK yapısı.

Gaz infiltrasyonu esnasında oluşan nitrürlerin termodinamik denklemleri aşağıda gösterilmiştir. 1000°C ila 1200°C çalışma sıcaklıkları için hesaplamalar yapılırsa nitrür oluşumunun meydana geldiği görülür.



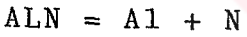
$$\Delta G^\circ = 160\,500 - 44.4\,T(^{\circ}\text{K}) \quad \text{Cal.} \quad (298-1155^{\circ}\text{K}) \quad (5.1)$$

$$\Delta G^\circ = 161\,700 - 45.54\,T(^{\circ}\text{K}) \quad \text{Cal} \quad (1155-1500^{\circ}\text{K}) \quad (5.2)$$



$$\Delta G^\circ = 177\,000 + 5.76\,T(^{\circ}\text{K}).\text{Log } T(^{\circ}\text{K}) - 96.3\,T(^{\circ}\text{K}) \quad \text{Cal.} \quad (5.3)$$

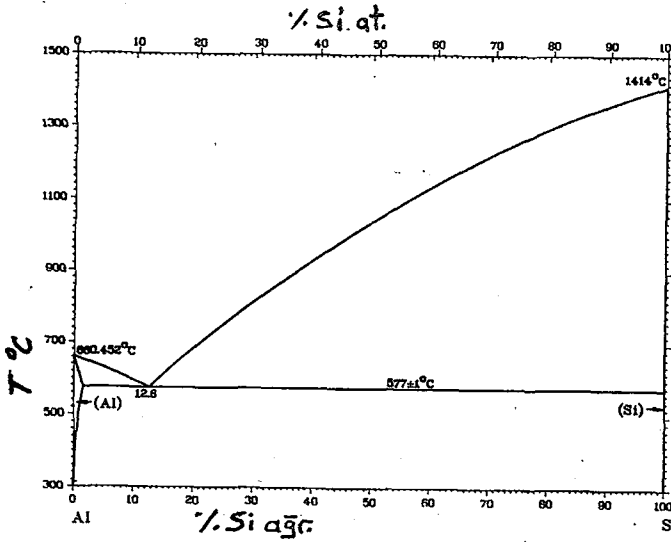
(298-1686°K)



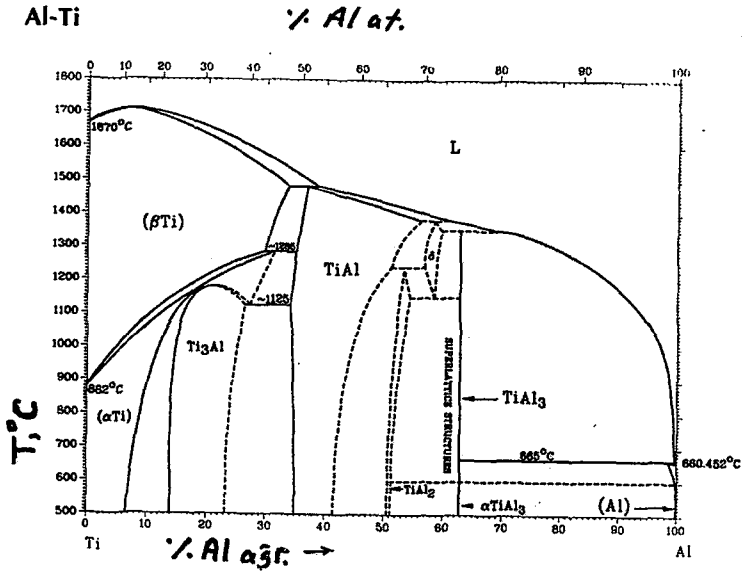
$$\Delta G^\circ = 154\,000 - 44.5\,T(^{\circ}\text{K}) \quad \text{Cal.} \quad (298-923^{\circ}\text{K}) \quad (5.4)$$

$$\Delta G_T = \Delta G^\circ + 4.575\,T(^{\circ}\text{K}).\text{Log } k_p \quad (5.5)$$

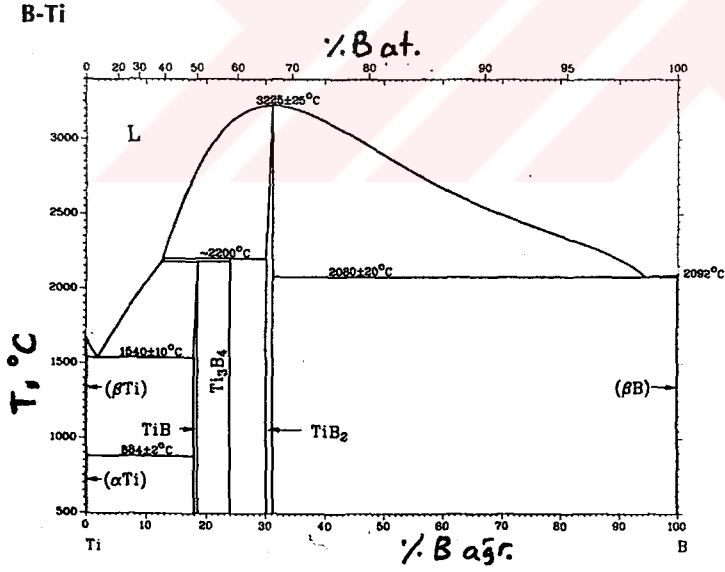
Aşağıda Al-Si, Al-Ti, B-Ti, N-Ti faz diyagramları verilmiştir.



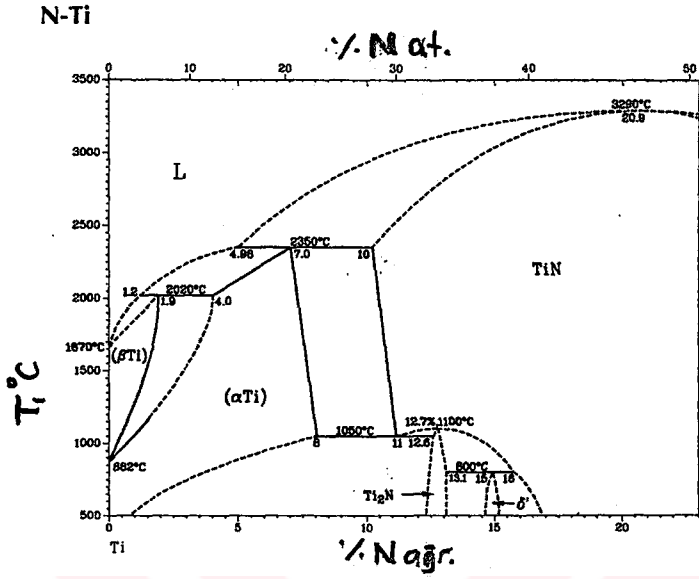
Şekil 5.7. Al-Si faz diyagramı



Şekil 5.8. Al-Ti faz diyagramı



Şekil 5.9. B-Ti faz diyagramı



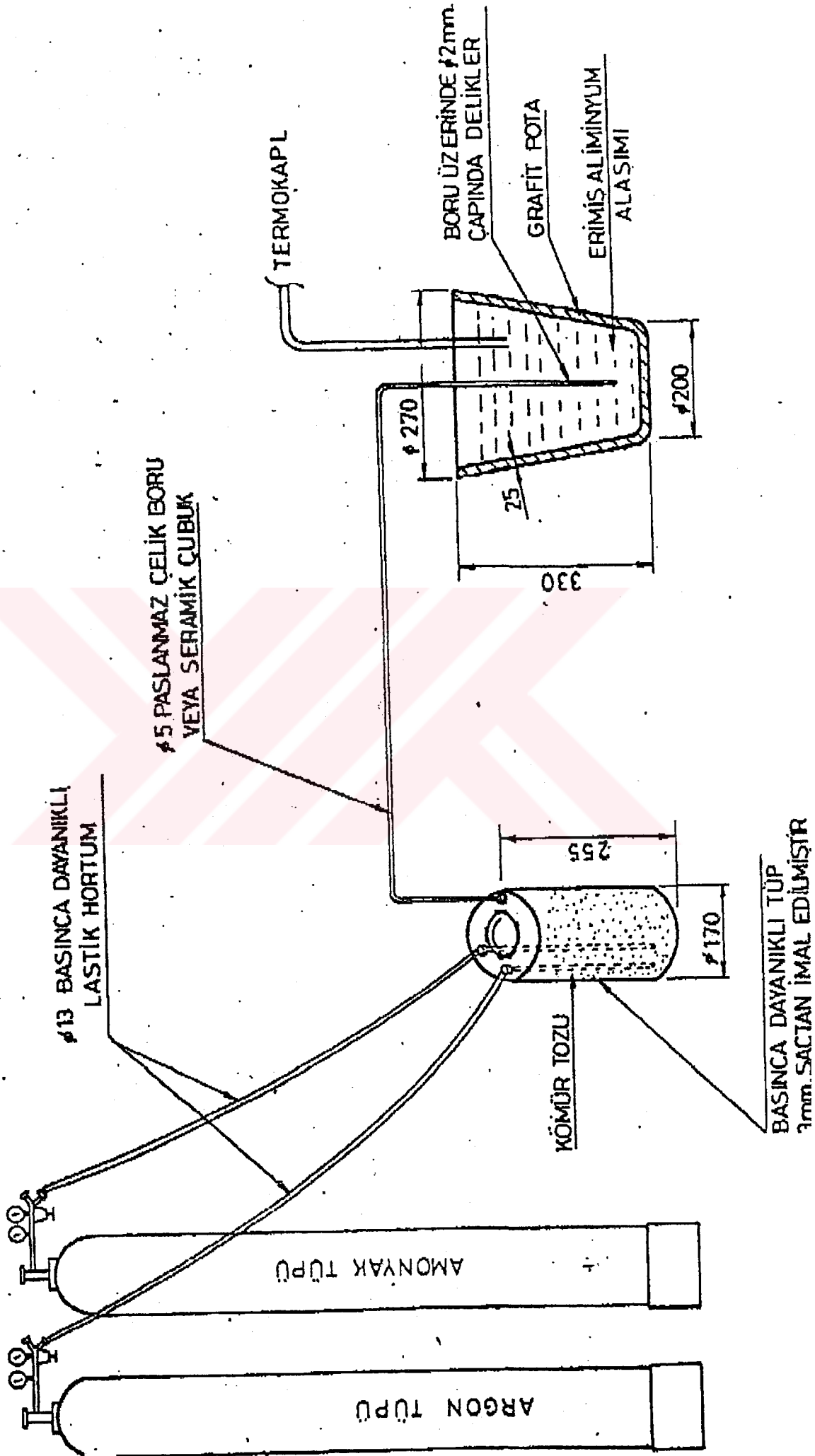
Şekil 5.10. N-Ti faz diyagramı

Gaz infiltrasyonu işleminde 1000 °C ila 1200 °C çalışma sıcaklıklarında 3.8 deki NH₃ parçalanma olayı % 90-100 oranlarında gerçekleşmektedir. Amonyak gazından elde edilen azot, Si veya Ti ile reaksiyona girerek nitrür oluşmaktadır.

5.1. Kompozit Malzemenin Üretimi

Al-MMK laboratuvar bazlı ön deneme çalışmalarından sonra endüstriyel bazda üretim sistemi kurularak imal edilmeye çalışılmıştır. (Şekil 5.11).

Bu çalışmada aşağıdaki işlemler yapılmıştır:
İlk olarak 15 kg. Etial 140 matriks olarak kullanılan alaşım 750 °C 'de ergitilerek Degasser 200 ile gaz giderme işlemine tabii tutuldu ve Coveral-11 örtü temizleme tozu ile curuf alındı.



Tane inceltme işlemi için 40 gr. AlTi5B1 ilave edildi. 1000°C de 500 gr. Modifikasyon işlemi için 40 gr. Al-Sr(stronsiyum) ilavesi yapıldı ve aşağıdaki özelliklerde döküm alındı:

- 1- 750°C de döküm
- 2- 1 nolu döküme 500 gr. AlTi5B1 ilave edilerek döküm alındı
- 3- 2 nolu döküme 750°C de NH₃ gazı 2-3 dak. 0,5 lt/dak. debi ile gaz infiltrasyonu yapıldı.
- 4- 2 nolu döküme 1060°C de NH₃ gazı 2-3 dak. 0,5 lt/dak. debi ile gaz infiltrasyonu yapıldı.
- 5- 2 nolu 500 gr. daha AlTi5B1 ilavesi yapıldı ve Ar gazı ile birlikte Gr tozu karıştırıldı.

Bu işlemler sonucu elde edilen mekanik mukavemet değerleri aşağıda gösterilmiştir:

İŞLEM NO.	ÇEKME DAYANIMI, N/mm ²	KOPMA UZAMASI, %	SERTLİK, HV
1	178	5,0	88
2	125	5,0	90
3	126	5,0	76
4	218	3,5	96
5	152	5,0	96

Yine endüstriyel bazlı ikinci bir çalışmada aşağıdaki işlemler yapılarak Al-MMK imaline çalışılmıştır:

- A- Etial 140 alaşımı 1050 - 1200°C'de ergitilerek döküm alındı
- B- AlTi5B1 matriks malzeme 1050 - 1200°C'de ergitilerek döküm alındı
- C- 10 kg. Etial 140 alaşımı 1050 - 1200°C'de Ar+NH₃ gaz karışımı 1 lt./dak. debi ile 10 dak. infiltre edildi
- D- 10 kg. Etial 140 alaşımına, 1050 - 1200°C'de Ar gazı ile birlikte 1 kg. grafit tozu karıştırıldı
- E- 10 kg. AlTi5B1 alaşımına 1050 - 1200°C'de Ar+NH₃ gaz karışımı 1 lt/dak debi ile 10 dak infiltre edildi
- F- 10 kg. AlTi5B1 alaşımına 1050-1200°C'de Ar gazı ile birlikte 1 kg Gr tozu karıştırıldı.
- G- 10 kg. Etial 140 alaşımına 800°C'de Ar gazı ile birlikte yaklaşık 250 gr Al₂O₃ tozu karıştırıldı.

Elde edilen mekanik mukavemet değerleri aşağıdaki gibidir:

İŞLEM NO.	ÇEKME DAYANIMI, N/mm ²	KOPMA UZAMASI, %	SERTLİK, HVA
A	180	6,6	74
B	86	1,0	34
C	113	1,0	64
D	105	2,5	74
E	82	3,3	37
F	106	6,6	52
G	74	1,6	74

5.2. Metalografik Çalışma

Üretimi yapılan malzemelerin optik metalografik incelemeleri için standart numune hazırlama,parlatma ve dağlama işlemleri yapılarak x200 büyütmede mikroyapı filimleri çekilmiştir.





Şekil 5.12. Etial 140(Al-Si) mikroyapısı. x200 büyütme.
A-işlemi.



Şekil 5.13. AlTi5B1 mikroyapısı. x200 büyütme.

B-işlemi.



Şekil 5.14. C-İŞLEMİ görmüş(NH_3 gaz infiltrasyonu)
Etial 140 alaşımının mikroyapısı.x200
büyütme.



Şekil 5.15. Al-Si/ % 10 Gr'li MMK. x200 büyütme.

D-işlemi.



Şekil 5.16. E-İŞLEMİ görmüş(NH_3 gaz infiltrasyonu)
AlTi5B1 alaşımının mikroyapısı.x200
büyütme.



Şekil 5.17. AlTi5B1 / % 10 Gr'li MMK.x200 büyütme.

F-işlemi.



Şekil 5.18. Al-Si/ % 2.5 Al_2O_3 pMMK mikroyapısı.
X200 büyütme.G-işlemi.

5.3. Sonuç ve İrdeleme

Etial 140 alaşımına Gr partikülü karıştırılması sonucu %10 Gr takviyeli Al-MMK elde edilmiştir. Şekil 5.15 te grafitin yapı içinde düzenli olarak dağıldığı gözlenmektedir. Sertlik değerlerine bakıldığında yükselme olduğu (işlem 5) çekme dayanımında ise düşüş görülmektedir (işlem 5 ve D). Genelde grafit takviyeli kompozitlerden istenileni bir aşınma ve sürtünme direnci ile iyi bir sönümlene özelliğidir. Bunların otomotiv endüstrisinde en çok potansiyel gözteren uygulamaları da yatak malzemesi olarak kullanımıdır. Al-Gr kompozite basınçlı pres döküm yapılarak çekme mukavemeti artırılabilir. (Tablo 2.5).

Yine aynı şekilde AlTi5B1 alaşımına % 10 Gr takviyesi yapıldığında (F-işlemi) grafitin yapıda düzenli olarak dağıldığı görülmektedir. Burda hem sertlikte hem de çekme dayanımında bir artış sağlanmıştır.

Sertlik değerleri mikro sertlik olmayıp yapı sertliğidir.

Etial 140 alaşımına tıbbi yoldan üretimle NH_3 gaz infiltrasyonu yapıldığında (işlem 3., 4. ve C.), 4. işlemde çekme dayanımında ve sertlikte iyi bir yükselme olduğu görülmektedir. 3. işlemde değerlerin düşük oluşunun sebebi sıcaklığın düşük oluşudur. Bu sıcaklıklarda amonyak gazının parçalanma oranı 1050 ila 1200°C ye göre az olması

ve nitrür oluşumu için yeterli azotun elde edilememesine sebep olmaktadır.C-işleminde AlTi5B1 yapıda NH₃ gazı infiltrasyonu sonucu çekme dayanımındaki düşüş ise gazın yüksek debi ile verilmesi ve gaz giderme işleminin yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Normalde gaz infiltrasyon tekniği ile çalışıldığında düşük gaz enjeksiyon hızları kullanılmakta ve çok uzun (4-6 saat gibi) gaz giderme işlemi yapılmaktadır. (Kay. 9,20).Bizim burda göztermek istediğimiz olay Gr ve Al₂O₃ partikül takviyeli yapılarda partikül ilâ ana matriks arayüzeyinde iyi bir bağlantı sağlanamaması sonucu mukavemetin gaz infiltrasyonu yapılan malzemelere nazaran düşük olduğudur.

G-işleminde Al₂O₃ takviyesi yapılan Etial 140 alaşımında da görüldüğü gibi çekme dayanımında düşüş olmuştur.

Genelde MMK'lerin kopma uzamaları takviyesiz alaşımlara nazaran düşüş göztermekte, bu da yapılan işlemlerde görülmektedir.

6. SONUÇ

Metal Matriksli kompozitlerin kullanımı için oldukça fazla imkanlar olduğu gerçektir. Araştırmalarda da görüldüğü gibi MMK'ler yüksek elastik modülleri dolayısıyla yüksek dayanım ve rijitliğe sahiptirler. Bunun yanında malzemenin ısı-iletkenlik değerini bozmadan düşük ısı genleşme katsayılı kompozit eldesi mümkün olmakta ki bu yüksek boyut stabilitesi gerektiren uygulamalar için çok değerli bir özelliktir.

MMK'ler sert seramik partiküller içerirler ve dolayısıyla yüksek aşınma direncine sahiptirler. Bu da, MMK'leri yatak silindir gömleği ve fren diski uygulamaları için çekici kılmaktadır.

Bunun yanında yüksek elastik modülü, parça ağırlıklarında önemli bir azalma sağlamakta bu da aracın performansını geliştirmekte ve yakıt tüketimini azaltmaktadır.

Dayanım ve rijitlik için üretilen MMK'lerin bundan böyle yorulma, süneklik, sürtünme, sürünme, sönümleme gibi özelliklerin çok iyi araştırılması gerekir. Yapılan araştırmalarda takviyesiz alaşımlara nazaran MMK'lerin yorulma, sürünme, sönümleme özelliklerinin bir miktar az da olsa daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bunun yanında doğal olarak uzama oranları daha düşüktür. Bu özelliklerde belirsizliklerin sürdüğü ortadadır ve araştırmalar bu yönde yoğunlaştırılarak istenilen özelliği elde edecek en iyi kompozit yapısı (takviye türü, oranı, üretim şekli gibi) belirlenmelidir.

Yapı-işlem-özellik arasındaki ilişkiyi partikül takviyeli kompozitler için çok iyi anlamak ve irdelemek gerekir. Özellikle üretim yönteminin seçimi önemlidir. Kompozitte istenilen özelliğin, hangi üretim yönteminde ve hangi takviye tipi ve oranında elde edildiğini çok iyi tespit etmek gerekir.

Ayrıca matriks ile partikül ara yüzeyinde daha kuvvetli bir bağlantının sağlanma yolları araştırılmalıdır. Tabii yoldan üretilen MMK'ler bu soruna çok iyi bir çözüm getireceğini göstermektedir.

Otomotiv parçalarında, uygulama tipine göre, en iyi kompozit türünün hangisi olması gerektiğine iyi karar verilmelidir.

MMK'ler şu anda ticari olarak üretim aşamalarında ve maliyet olarak rekabetelebilir bir ürün için tüm faktörler dikkatle ele alınıp incelenmelidir (malzeme maliyeti, talaşlı işleme, takım maliyetleri vs.)

MMK'lerin yüksek aşınma dirençlerine ve sınırlı sürenme değerlerine sahiptirler. Bu yüzden talaşlı işleme, ekstrüzyon, kesme gibi işlemler için takımlar yeniden ayarlanmalıdır. Pratikte de denemelere başlanmıştır. Genelde MMK'ler düşük kesme hızlarında ve derin pasolar da işlenirler. Grafit takviyeli kompoziti, Al_2O_3 takviyeliye nazaran işlemek daha kolaydır. Net (son) şekle yakın parça üretimi de mümkün olduğundan işleme özellikleri bertaraf edilerek maliyetleri düşürmek de mümkündür.

MMK'lerde bir diğer önemli anahtar faktör de kompozitin hurdasını ve yararlı ömürden sonra malzemeyi tekrar kullanabilmektir (recycling). Hurdanın tekrar ergitilmesi ve flaks + gaz giderme işlemi ile kullanımı mümkündür. Kompoziti de ergiyik hale getirip tuz-ergiyik işlemi ile matriks içersinden partikülleri ayırarak tekrar kullanım mümkündür.

Ticari başarı için, büyük tonajda son parça uygulamalarına başlamak gerekmektedir. Bunun da en çok otomotiv endüstrisinde olacağı görülmektedir. Şu anda ancak sportif ve bisiklet ekipmanlarında ticari başarılar elde edilmiş, küçük miktarlardaki kullanım da uzay ve uçak endüstrisinde devam etmektedir. Ancak otomotiv endüstrisindeki ana uygulamalar olan fren diskleri, aktarma şaftları, silindir gömleği ve motor bloğu üretimi, son aşamasına gelmiştir ve diğer mühendislik uygulamaları üzerindeki araştırmalar da devam etmektedir.

Şu anda maliyetlerde rekabet edebilecek teknoloji mevcuttur,
ve gelecek beş yılda MMK'lerin genel bir mühendislik malzemesi olup
olmayacağını hep birlikte göreceğiz.



KAYNAKLAR

1. Allison J.E, Cole G.S., January, 1993, Metal Matrix Composites in The Automotive Industry: Opportunities and Challenges, JOM (19-24).
2. Close C.M.W. Froes F.H., January, 1994, Developments in the Synthesis of Lightweight Metals, JOM (28-30).
3. Dekock J.A, Chang Y.A., March-1994, The Stability of Interfaces in High-Temperature Metal-Matrix Composites, JOM (21-23).
4. Davies C.H.J., Raghunathan N., Sheppard T., November 1992, Structure-property relationships of SiC reinforced advanced Al-Zn-Mg-Cu Alloy, MST, V8 (977-984).
5. Foltz J.V., Blackman C.M., Metal-Matrix Composites, Metals Handbook, Vol.2, 10 th Edt (903-912).
6. Friler J.B., Argon A.S., Cornie J.A., 1993, Strength and toughness of carbon fiber reinforced aluminum matrix composites, MTS, A162 (143-152).
7. Jansson S., Deve H.E, Evans A.G., 1991, Anisotropic Mechanical Properties of a Ti-alloy composite Reinforced with SiC Fibers Metalurgical Transactions A, V22A (2975-2983).
8. Koczak M.J. Premkumar M.K., January-1993, Emerging Technologies for the In-situ Production of MMCS, JOM (44-48).
9. Koczak M., Khatri S., 1993, Formation of TiC in in-situ processed composites via solid-gas, solid-liquid and liquid-gas reaction in molten Al-Ti, MSE (153-162).
10. Lloyd, A.J., 1994, Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites, FMR, V39, No.1.

11. Muscat D., Shenker K, Drew A.L., 1992, Al/TiC composites produced by melt infiltration, MST, Vol.8, (971-976).
12. Mortensen A., Michaud V.J., Flemings M.C., 1993, Researching MMCS at MIT's Dept. of MSE, SOM (62-63).
13. Mortensen A., Micheud V.J., Flemings M.C., 1993, Pressure-infiltration processing of Reinforced Aluminum, JOM (36-43).
14. Premkumar M.K., Chu M.G., 1993, Synthesis of TiC Particulates and Their Segregation during solidification in In-situ processed Al-TiC composites, Metallurgical Transactions A, V24A (2358-2361).
15. Pillai U.T.S., Pai B.C., 1993, Pressure die cast graphite dispersed Al-Si-Mg alloy matrix composites, MSE, A169 (93-98).
16. Perez, R.J., Zhang J., Güngör M.N., Lavernia E.J., 1993, Damping Behavior of 6061 Al/Gr MMCS, Metallurgical Transactions A, V24A, (701-711).
17. Rohatgi P., 1992, Cast MMCS, Metals Handbook, 9th Ed., Vol.15, Casting (840-854).
18. Rohatgi P., 1991, Cast Al-MMCS for Automotive Applications, JOM (10-15).
19. Rohatgi P., Liu Y., Ray S., 1993, Tribological Characteristics of Aluminum-50 Vol.Pct. Graphite Composites, Metallurgical Transactions A, V24A (151-159).
20. Koczak M.J., Sahoo P., 1991, Microstructure-Property Relationships of In-situ Reacted TiC/Al-Cu MMCS, MSE, A131 (69-76).
21. Koczak M.J., Sahoo P., 1991, Analysis of in-situ formation of titanium carbide in Al-Alloys, MSE A144 (37-44).
22. Svendsen L., Jarfers A., 1993, Al-Ti-C Phase diagram, MST Vol.9 (948-956).

23. Urquhart A.W., 1991, Novel reinforced ceramic and metals: a review of Lanxide's composite technologies MSE A144 (75-82).
24. Valencia J.J., Löfvander J.P.A, 1991, In-situ-grown reinforcements of Ti-alumina des MSE A144 (25-36).
25. Warriier S.G., Lin Y.R., 1993, Using Rapid Infrared Forming to Control interfaces in Ti-MCS, JOM (24-27).
26. Yokokawa, Natsuko, Kawado, Dokiya, 1991, Chemical Potential Diagram of Al-Ti-C System, Metallurgical Transactions A, 22A, 3075-3076.
27. Zheng X., Rapp, R., 1991, Thermodynamic Consideration of Grain Refinement of Al-Alloys by Ti and Carbon, Metallurgical Transaction A, V22A, 3071-3075.
28. Prf. Bargel H.J., Prf. Schulze G., Çeviri Prf. Güleç Ş., Doç. Aran A., Malzeme Bilgisi, Cilt 2, Gebze-1987, Tübitak.
29. 7th. International Metallurgy and Materials Congress Proceedings Book, Vol.1, Vol. 2, 4-8. May. 1993, Ankara.
30. DURALCAN, USA-Corp., Metal Matrix Composites, Technical details, 1993.
31. Doç. Dikeç F., Metalurji Termodinamigi, İTÜ Met. Fak., 1982.
32. Prf. AYTEKİN V., Metalurji Termodinamigi, İTÜ Met. Fak., 1980
33. Helvacıoğlu İ., Sıvı Al-Rafinasyonu, Metalurji Deg., Ekim Ekim 1994.
34. Bayraktar Y., Al-Si alaşımlarının Modifikasyonu ve Tasfiyesi, Metalurji Dergisi, Ekim 1994.
35. Sato A., Mehrabian R., Al-MMCs: Fabrication and Properties Met. Tran., B, V 78, Sept., 1976-463.
36. Mehrabian R., Rick R.G., Flemings M.C., Preparation and Casting of Metal particulate Non-Metal Composites, Met. Tran., V 5 Aug. 1974-1899.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 01.11.1967
Doğum Yeri : Şumnu
Mezun olduğu okullar : 1982-1986 Maçka Teknik Lisesi
(Makina Bölümü)
1986-1990 Yıldız Üniversitesi
(Metalurji Müh.Böl.)
Bitirme tez konusu : Korozyona Dayanıklı Mikro-Alaşımlı
Çelikler
Yabancı Dil : İngilizce

