



TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

1997-1402  
SiC, TiC ve TiB<sub>2</sub> PARÇACIKLARI İLE  
KUVVETLENDİRİLMİŞ ALÜMİNYUM  
KOMPOZİTLERİN SIKIŞTIRMA DÖKÜM  
YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ

Proje No : MİSAG 59

**Makina, Kimyasal Teknolojiler, Malzeme ve İmalat Sistemleri  
Araştırma Grubu**

**Mechanical Engineering, Chemical Technologies, Material  
Sciences and Manufacturing Systems Research Grant  
Committee**

F

1995-00125

1997-1402

**SiC, TiC ve TiB<sub>2</sub> PARÇACIKLARI İLE  
KUVVETLENDİRİLMİŞ ALÜMİNYUM  
KOMPOZİTLERİN SIKIŞTIRMA DÖKÜM  
YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Proje No : MİSAG 59**

ODTÜ

Metallerji ve Malzeme  
Müh. B.

**Proje Yürütücüsü: Doç. Dr. Filiz SARIOĞLU** S-45

**Yardımcı Araştırmacı: Doç. Dr. Ali KALKANLI** R-8

Tu En

**MART 1997**

## İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	3
ABSTRACT.....	4
<b>BÖLÜM 1: METAL MATRİKS KOMPOZİTLER</b>	
1.1.Giriş.....	5
1.2. Metal Matriks Kompozitlerin Üretimi.....	6
1.3.Aluminyum Esaslı Kompozitlerin Üretiminde Karşılaşılan Zorluklar.....	7
1.4. Özellikler.....	10
<b>BÖLÜM 2: DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>	
2.1.Sıkıştırma Döküm Presi.....	11
2.2. Kompozitlerin Üretimi.....	12
2.2.1. Vorteks Yöntemi	
2.2.2. In-Situ Yöntemi	
2.3. Kompozitlerin Özelliklerinin Bulunması	
2.3.1.İç Yapı Çalışmaları.....	13
2.3.2. Çekme Testleri.....	14
2.3.3. Aşınma Deneyleri.....	14
<b>BÖLÜM 3: SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b>	
3.1. Termal Analiz.....	16
3.1.1. Isılçift Kalibrasyon Deneyleri	
3.1.2. Soğuma Eğrilerinin Elde Edilmesi	
3.2.İç Yapı Sonuçları.....	24
3.3. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	31
3.4. Çekme Deneyi Sonuçları.....	36
<b>BÖLÜM 4 : SONUÇLAMA</b>	
<b>KAYNAKÇA</b>	

## ÖZ

Bu çalışmada, SiC, TiC ve TiB<sub>2</sub> parçacıklar ile takviye edilmiş alüminyum esaslı kompozit malzemeler sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretildi. Bu yöntemle döküm parçadaki gözenekler yok edildi. Ayrıca hızlı katılma koşulları sağlanarak parçacık dağılımı iyileştirildi. Kompozitlerin döküm sonrası iç yapı ve mekanik özellikleri incelendi. İç yapı çalışmaları kompozit numunelerde ince çökeltilerin oluştuğunu gösterdi. Bunlar hızlı soğuma sırasında matris ve takviye parçacıkları arasındaki farklı genleşme katsayıları nedeniyle oluşan yersizmeler (dislokasyon) üzerinde yerleşen metaller arası (intermetallik) çökeltilerdi. Parçacık toplanması ve yer yer kümeleşme bölgeleri dövme işlemleri ile giderilemedi. Kompozitlerde gözlenen yüksek aşınma fakat düşük çekme özelliklerinden, seramik parçacıklarının yanı sıra metaller arası çökeltilerin varlığı sorumlu tutuldu.

Anahtar Kelimeler: Parçacık Takviyeli Metal Esaslı Kompozitler, Sıkıştırma Döküm

## ABSTRACT

In this study, production of SiC, TiC and TiB<sub>2</sub> particulate reinforced aluminum matrix composites were produced by squeeze casting method. Microstructures and mechanical properties of casted composites were investigated. The microstructural observations of composite samples revealed the presence of fine precipitates. These were intermetallics precipitated on dislocations formed during rapid cooling due to the difference in thermal expansion coefficients of matrix and reinforcements. High wear properties but low tensile properties were attributed to the presence of agglomerates and clusters of particles and also to precipitation of intermetallics during casting operation.

Key words: Particulate Reinforced Metal Matrix Composites, Squeeze Casting.

## BÖLÜM 1

### METAL MATRİS KOMPOZİTLER

#### 1. 1. Giriş

Metal matriks kompozitler, arzulanan özellikleri sağlamak üzere, birisi metalden oluşan iki veya daha fazla malzemenin uygun biçimde birleştirilmesi ile üretilen malzemelerdir. Bu tanıma giren birçok malzemelerin ortak özellikleri sürekli matriks fazının metal veya alaşım olması, kuvvetlendirici fazın ise genel olarak seramik veya daha az rastlanmakla birlikte refrakter metalden oluşmasıdır.

Böylece malzemelerden birinin tek başına kullanılmasıyla elde edilemeyecek özelliklere ulaşılır. Bu özelliklere örnek olarak yüksek dayanç/yoğunluk oranı, yüksek bükülmezlik/yoğunluk oranı, yüksek dayanç ve aşınma direnci verilebilir. Bu özelliklerle havacılık ve otomotiv endüstrisi uygulamaları için ilgi çekmektedirler. Örneğin otomotiv endüstrisinde uygulamaları ile yakıtta tasarruf, ağırlık, titreşim ve gürültüde azalma gibi avantajlar elde edilebilir. Diğer yanda matriksin süneklik ve kırılma tokluk değerlerinde düşmeye neden oldukları bilinmektedir.

Metal matriks kompozitler, sürekli veya süreksiz elyaflar veya parçacıklar yardımıyla matriksi kuvvetlendirirler. Bunlardan parçacıklar en ucuz kuvvetlendiriciler olarak dikkat çekerler. Parçacıklara örnek olarak karbürler ( $\text{SiC}$ ,  $\text{TiC}$ ,...), oksitler ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,...), borlar ( $\text{TiB}_2$ ,...), nitritler ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,...) veya element haldeki malzemeler (Grafit, Si, B,..) verilebilir. Bunlar içinde en çok kullanılanlar  $\text{SiC}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiB}_2$ 'dir.

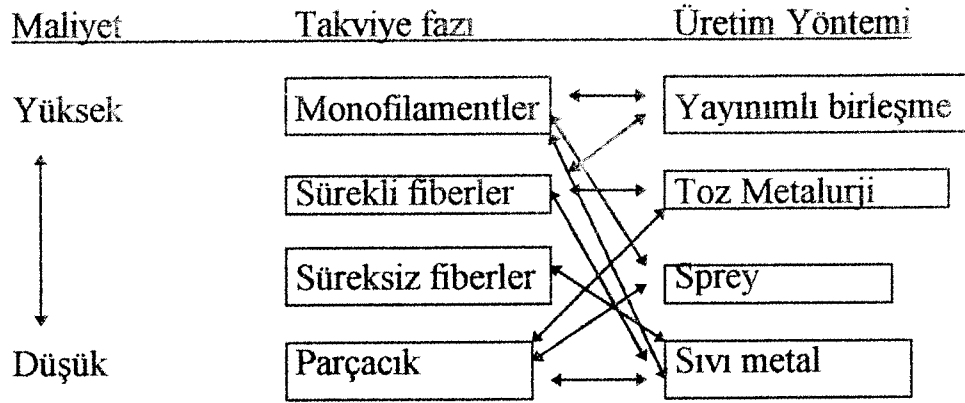
Matriks malzemesi olarak çeşitli metalik sistemler kullanılmaktadır. Demir dışı metaller sistemlerinden alüminyum bazlılar, ağırlığın kritik bir özellik olduğu havacılık ve taşıma endüstrisi için özellikle tercih edilmişlerdir. Bu nedenlerle alüminyum alaşımlarının baz olduğu

kompozitlerde seramik parçacık takviyesi endüstriyel uygulamalar için potansiyel oluşturmaktadırlar.

## 1. 2. Metal Matriks Kompozitlerin Üretimi:

Parçacık takviyeli kompozitlerin üretimi için döküm ve toz metalurjisi yöntemleri kullanılmaktadır. Döküm yöntemi, toz metalurjisine kıyasla daha karmaşık şekillerin üretiminde tercih edilmektedir. Ayrıca parçacıkların hacim yüzdesi ve büyüklükleri de seçilecek yöntemi belirler. Yüksek parçacık yüzdesi ve küçük parçacık boyutlarında toz metalurjisi uygundur. Diğer yanda, düşük miktar (%15 gibi) ve büyük parçacık boyutlarında döküm, üretim yöntemi olarak tercih edilir. Ayrıca, kullanılan ham maddenin ucuzluğu, üretimin kolaylığı sayesinde döküm yönteminin maliyet avantajı vardır.

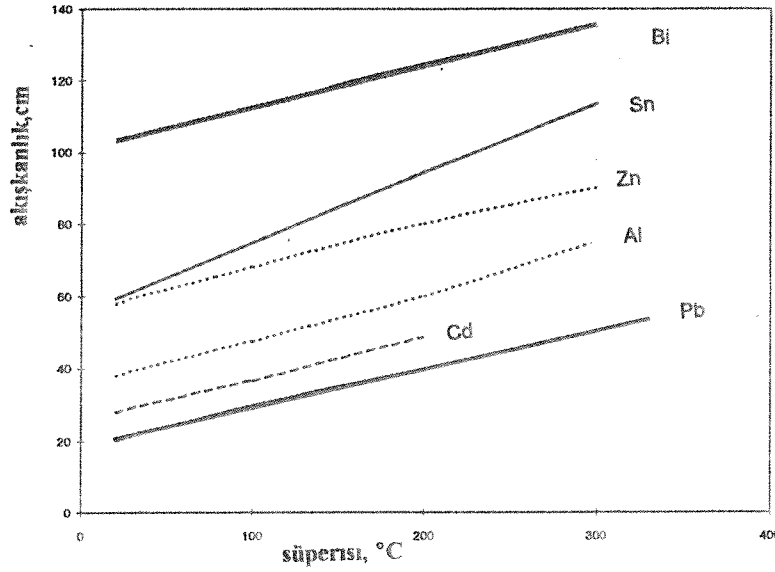
Metal matriks kompozitlerin üretimi için toz metalurjisi ve döküm gibi birincil işlemlerin yanı sıra, ekstrüzyon, haddeleme ve dövme gibi ikincil işlemler de kullanılır. Ürünün şekli, boyutu ve meydana gelen iç yapıya bağlı olarak her yöntemin kısıtları bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Metal matriks kompozitlerin takviye şekline bağlı olarak kullanılan üretim yöntemleri [1].

### 1.3 . Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Dökümünde Karşılaşılan Zorluklar:

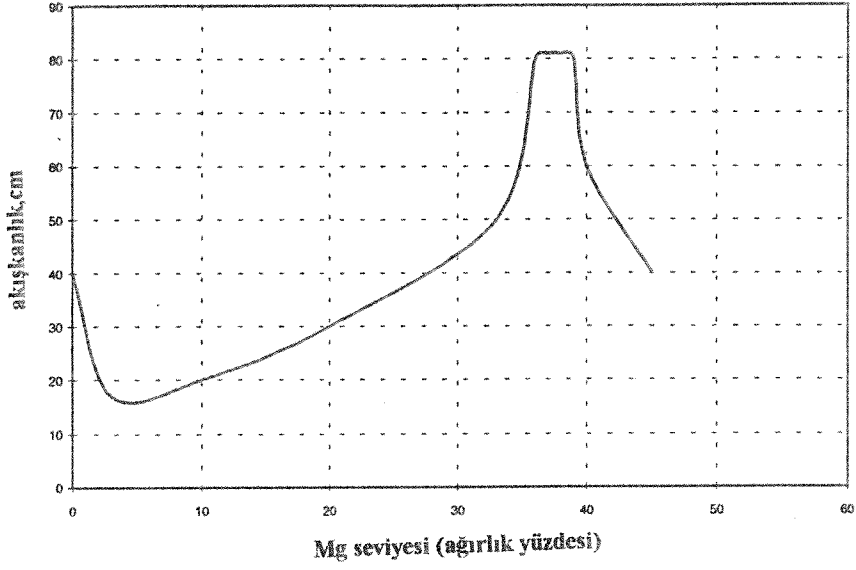
Alüminyum esaslı kompozitlerin döküm yöntemiyle üretiminde, ürünün kalitesini etkileyen faktörlerden ilki sıvı alüminyumun akışkanlığıdır. Akışkanlık sayesinde sıvı metal, ürün şeklinde veya kompozitlerde kuvvetlendirici ile matriks arasında bulunan çok dar kesitleri doldurabilir. Saf metaller içinde alüminyumun akışkanlığı aynı süperısı değerlerinde kadmiyum ve kurşundan daha fazla, çinko, kalay ve bismuttan daha azdır (Şekil 1.2).



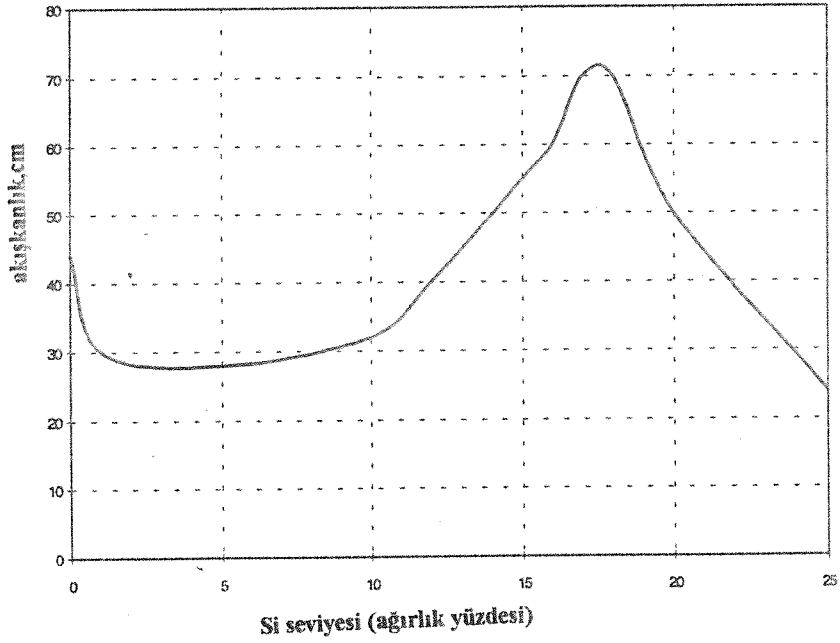
Şekil 1.2. Bazı demirdışı metallerin akışkanlığının süperısına bağlı olarak değişimi [2]

Ticari olarak en çok kullanılan alüminyum döküm alaşımları şunlardır: Al-Cu alaşımları (Cu % 4-5 civarında), Al-Si alaşımları; ötektik altı (Si ~%7), ötektik seviyelerinde (Si %12) veya ötektiküstü (Si %18) ve Al-Mg alaşımları (Mg ~%7). Alaşım elementlerinin varlığı akışkanlık derecesini etkiler. Bu alaşımlarda alaşım elementlerinin akışkanlığa etkisi Şekil 1.3-1.5'de verilmiştir.

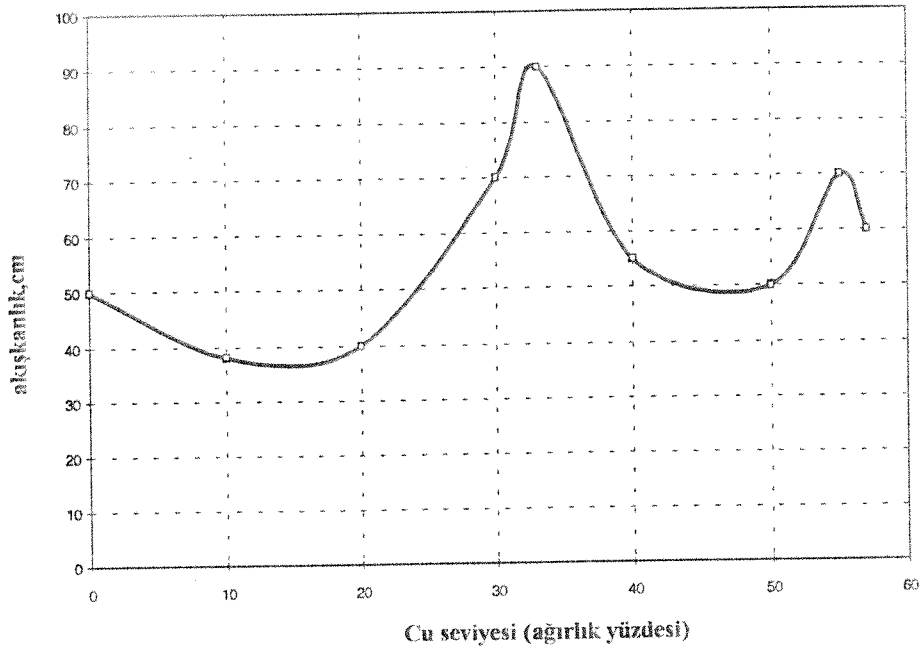




Şekil 1.3. Al-Mg alaşımlarının akışkanlığının magnezyum miktarı ile değişimi (Döküm sıcaklığı: 700°C) [2]



Şekil 1.4. Al-Si alaşımlarının silis miktarı ile değişimi (Döküm sıcaklığı: 700°C) [2]



Şekil 1.5. Bakır seviyesine bağlı olarak Al-Cu alaşımlarının akışkanlığı (Döküm sıcaklığı: 800°C) [2]

Metal matriks kompozitlerin döküm yöntemiyle üretimi sırasında karşılaşılan bir diğer zorluk seramik parçacık ile sıvı metal arasındaki ıslatma sorunudur. ıslatma, takviye ile matriksin ara bağının kalitesini ve dolayısıyla ürün özelliklerini etkiler.

Diğer bütün koşullar aynı olduğunda ıslatma, sıvı fazın yüzey gerilimine bağlıdır. Yüzey gerilimi arttıkça ıslatma azalır. Sıvı metal-seramik sistemlerinde, sıvı metallerin yüksek yüzey gerilimi nedeniyle ıslatma genellikle zayıftır. Pratikte bu sistemlerde ıslatmayı arttırmak için metal matriks Li, Mg, Ca, Ti, Zr, P gibi reaktif elementler ile alaşımlanır. Diğer bir yöntem ise seramik parçacıkların metal kaplanmasıdır.

Metal matriks kompozitlerde karşılaşılan sorunlardan biri de takviye fazının homojen dağılmamasıdır. Sıvı metalin içinde parçacık dağılımının homojen olması için öncelikle karıştırmanın çok iyi yapılması gerekir. Karıştırma işlemi durdurulduğu an yoğunluk farkından kaynaklanan sedimentasyon ve sıvı metalin yüzey gerilimi nedeniyle takviye fazının iyi dağılmayıp yer yer kümeleştiği görülür. Yuvarlak ve düzgün yüzeyli parçacıkların, sivri kenarlılara kıyasla kümeleşmeye daha az eğilimli oldukları bulunmuştur [3]. Sato ve Mehrabian kümelenmeyi, sıvı metalle kimyasal etkileşime girmeyen parçacıkların birbirlerini çekmesine bağlamıştır [4].

Parçacık dağılımını etkileyen bir diğer faktör soğuma hızıdır. Seramik parçacıklar, döküm sırasında ilerleyen sıvı-katı faz arayüzeyi ile itilirler. Bunu önlemek için yüksek soğutma hızları gereklidir [5]. Moitra ve arkadaşlarının çalışmasında dendritik arayüzeyin taneler arası segregasyona ve parçacıkların toplanmasına neden olduğu sonucuna varılmıştır [6].

#### 1. 4. Özellikler

Kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri, takviye fazının dağılım, boyutları ve doğrultularına bağlıdır. Örneğin, parçacık takviyeli kompozitlerin davranışları, parçacıkların şekli, dağılımı, yer yer kümelenmesinden etkilenirler.

Parçacık dağılımının homojen olduğu ve gözenek olmadığı varsayılırsa, kompozitin yoğunluk ve ısı kapasitesi gibi fiziksel özellikler yanısıra elastik modül karışım kuralından hesaplanabilir.

Seramik parçacık katkılı kompozitlerde sağlanan en önemli özellik aşınma ortamında elde edilen yüksek performansdır. Bu kompozitlerin hafif olmasının yanı sıra elastik modüldeki artış ve yüksek sürtünme direnci nedeniyle özellikle otomotiv sektöründe motor blokları, piston ve fren parçalarında diğer malzemelerin yerlerini almaktadırlar.

Bu çalışmada amaçlanan hafif, dayanıcı yüksek, aşınmaya dirençli alüminyum esaslı kompozit üretmektir. Yapıdaki boşlukları en aza indirmek amacıyla basıncın katılma başlamadan uygulanabilmesi gereklidir. Bu amaçla hidrolik basma mekanizmalı döküm makinası parçaları yurt içinden sağlanarak monte edilmiştir.

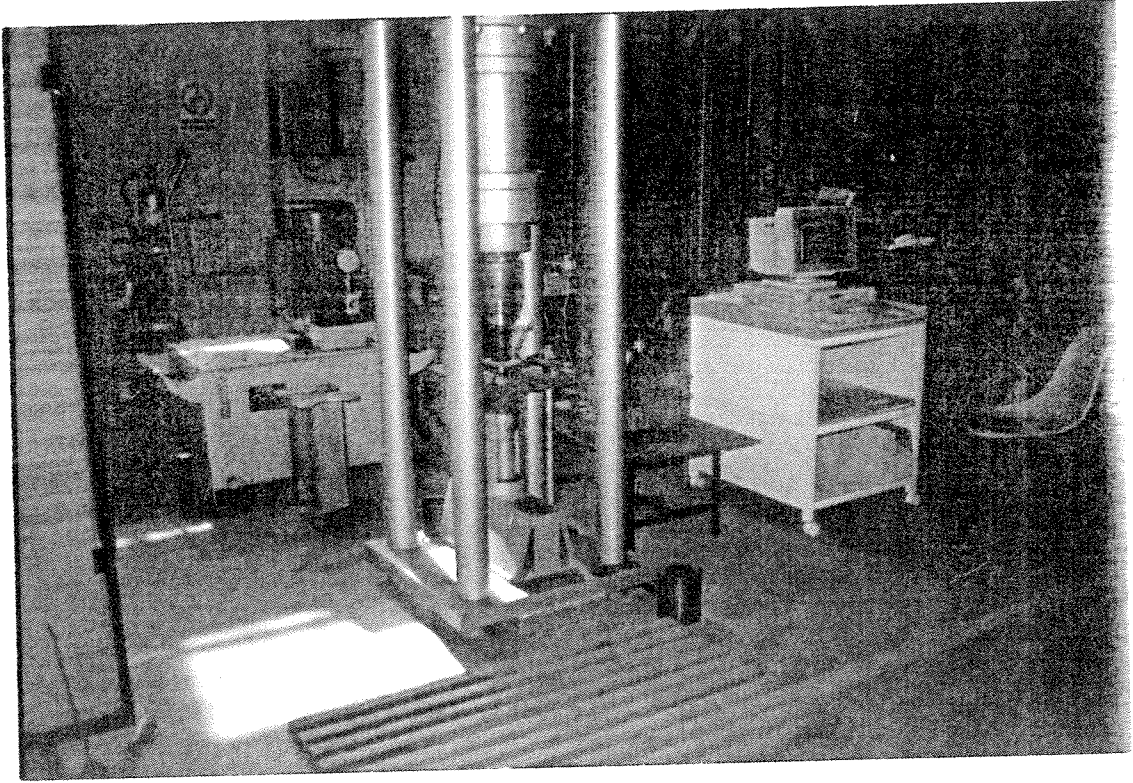
Çalışmalarda çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilecek alüminyum alaşımları esas alınmıştır. Bazı kompozitlerde parçacıklar döküm sırasında sıvı metale karıştırılmış, bazılarında ise literatürdeki gelişmelere paralel olarak parçacıklar sıvı metal içinde reaksiyon sonucu (in-situ) oluşturulmuştur. Elde edilen kompozitlerde optik ve elektron mikroskobu kullanılarak iç yapı araştırması yapılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla çekme deneyi ve aşınma deneyi uygulanmıştır. Ancak projenin başlangıcında hedeflenen yorulma deneyleri, parçaların çok sert olması nedeniyle ortaya çıkan işleme problemi nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

## BÖLÜM 2

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 2.1. Sıkıştırma Döküm Presi

Seramik parçacık takviyeli kompozitlerin döküm yöntemiyle üretiminde toz dağılımının homojen olması ve boşluk oluşumuna fırsat vermemek için katılma başlamadan basınç uygulamak hedeflenmişti. Bu amaçla sıkıştırma döküm düzeneğinin parçaları yurt içinden temin edilerek monte ettirilmiştir. Bu düzenek yatay veya dikey konumda kullanılabilir. Düzeneğin yanında kalıp sıcaklığının belirlenmesi için kullanılan ısı çiftlerinden veri toplama ve değerlendirme ünitesi bulunmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Sıkıştırma döküm deneylerinde kullanılan düzenek.

## 2. 2. Kompozitlerin Üretimi

### 2. 2. 1. Üretim Yöntemi 1 : Vorteks yöntemi ile sıvı alüminyum içine seramik toz ilavesi

Seramik karbür parçacıkların sıvı alüminyum alaşımına katılması vorteks oluşumu ile mümkün olmuştur. A356 alaşımı hazırlanırken Al-12 %Si alaşımı saf alüminyum ile birlikte eritildikten sonra eriğiye bakır ilave edilmiştir. Homojen bir sıvının olduğu aşamada (yaklaşık 800 °C'de) SiC %10 ağırlık oranında katılmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken alaşım için gerekli Mg, sıvı metal eriğe ilave edilip ıslatma en az Mg kaybı ile sağlanabilmiştir. ıslatma gerçekleşikten sonra, indüksiyon fırınının ısıtılması kesilmiştir. Bu işlemin amacı, sıvı alüminyum alaşımının viskozitesini yükseltip parçacıkların birbirlerine olan mesafelerini arttırmak ve homojen bir şekilde karışmalarını sağlamaktır. Yapılan deneyler sonucunda yüksek sıcaklıkta ve akışkanlıkta SiC tozlarının pota dibinde çökeldikleri ve bunu gidermek için karıştırmanın döküm anına kadar devam etmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Alaşım hazırlama sırasında sıvı sıcaklıkları belirli aralıklar ile K tipi ısı çiftleri sıvıya daldırılarak dijital ölçme cihazı ile okunmuştur.

Dökümden önce, yaklaşık 15 dakika, sıvı soğutulup yüksek viskoziteye ulaşılmış, ardından ısıtılıp karbür sıvı metal ıslanması ve karışması temin edilmiştir. Bu soğutma ve ısıtma işlemi birkaç defa tekrarlanmıştır. Bu arada, potanın dibinde toz kalıp kalmadığı, grafit çubuk ile sürekli karıştırılıp kontrol edilmiştir. SiC tozlarının tamamının karıştığından ve ıslandığından emin olduktan sonra, 730-750 °C'deki eriyik metal kalıba dökülmüştür. Kalıp içerisinde katılaşmakta olan metale yaklaşık 6 saniye süreyle 100 MPa basınç uygulanmıştır.

### 2. 2. 2. Üretim yöntemi 2: Alüminyum matriks titanyum karbür parçacık takviyeli kompozitlerin "in-situ" metodu ile üretimi

Bu yöntemde saf alüminyum sıvı halde iken %5 saf titanyum ilavesi yapılmıştır. Hemen sonra grafit kanatçık yardımı ile karıştırma başlatılmıştır.

Vorteks kontrollü olarak oluşunca, % 1 Mg ve ince grafit tozu vorteks içine ilave edilmiştir. Grafit tozunun tamamı karıştırıldıktan ve sıvı alaşım tarafından ısılandığı gözlemlendikten sonra,



reaksiyonu için karıştırmaya yaklaşık bir saat devam edilmiştir. Bu esnada indüksiyon fırını 750-800 °C de tutulmuştur. Daha sonra alaşım 1350 °C ye ısıtılmış ve oluşabilecek



reaksiyonunu tersine döndürmek ve oluşan  $\text{Al}_4\text{C}_3$ 'ü çözmek için yaklaşık yarım saat bu sıcaklıkta sadece indüksiyon yardımıyla karıştırma sağlanmıştır. Sıvı alaşım, daha sonra 250 -300 °C deki silindir metal kalıba dökülmüştür. Katılaşma sırasında pres yardımıyla kalıp içindeki alaşıma basınç uygulanmıştır

İki alaşım aşağıda kompozisyonları verildiği şekilde hazırlanıp sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiştir.

1 No'lu Alaşım: Al - 4.5 wt%Cu - 1.5 wt% Ti - 0.3 wt% B

2 No'lu Alaşım: Al - 4.5 wt% Cu - 8 wt%Ti

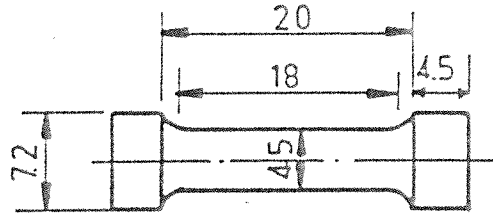
## 2. 3. Kompozitlerin Özelliklerinin Bulunması:

### 2.3.1. İç Yapı Çalışmaları:

İç yapı çalışmaları için optik ve elektron mikroskopi kullanılmıştır. Ayrıca çekme deneyi sonucunda elde edilen kırık yüzeyler Jeol JSM-6400 tarama elektron mikroskobunda incelenmiştir. Gerektiğinde EDS analizleri alınmıştır.

### 2. 3. 2. Çekme Testleri:

Çekme deneyleri Hounsfield marka tensometrede yapılmıştır. Numuneler ilgili TSE standardına uygun olarak işlenmiştir(Şekil 2.2). Makinanın çekme hızı, saniyede  $1.83 \times 10^{-3}$  gerilim verecek şekilde ayarlanmıştır. Kırılma sonrası yüzeyler tarama elektron mikroskopunda değerlendirilmiştir.

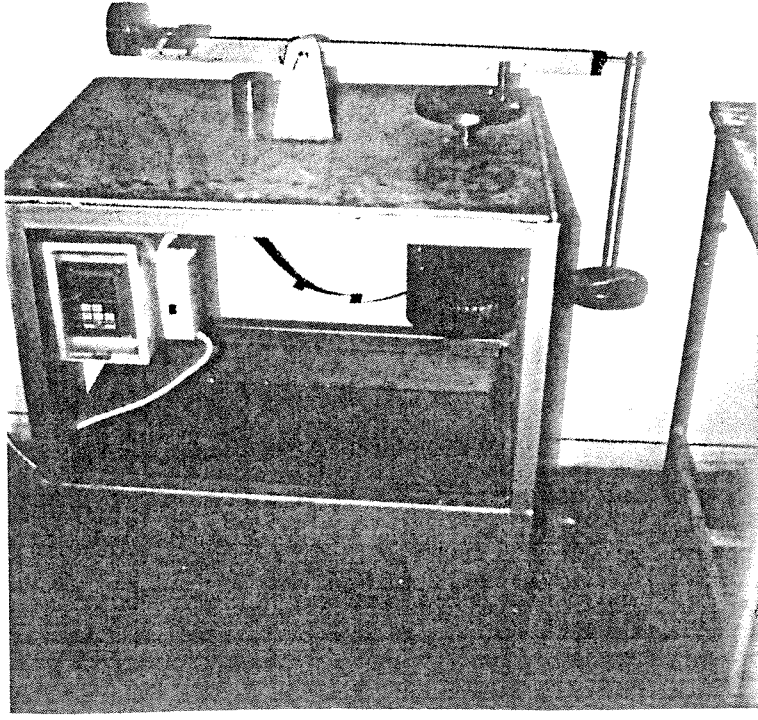


Şekil 2.2. Çekme deneylerinde kullanılan numune boyutları

### 2. 3. 3. Aşınma Deneyleri:

Kompozitlerin aşınma dayançlarını saptamak için ASTM G 99 standardında önerilen disk üzerinde iğne (pin-on-disc) metodu kullanılmıştır. Bu deneylerde küçük silindir şeklinde hazırlanan numuneler, dökme demirden üretilmiş bir disk üzerinde çevrilmiştir. Aynı zamanda bir kol yardımıyla takılan sabit yükler iğne numuneleri disk üzerine bastırılmıştır. Kullanılan deney düzeneği ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği atölyesinde bölüm olanakları ile üretilmiştir (Şekil 2.3).

Deneylerden önce numuneler aseton ile temizlenip kurutulduktan sonra hassas terazide tartılmıştır. Parça, disk üzerinde belirli yol katettikten sonra tekrar temizlenip tartılmış ve ağırlık kaybı bulunmuştur. Bu değerler daha sonra hacimsel kayıp olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.3. Aşınma deneylerinde kullanılan düzenek.



## BÖLÜM 3

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Termal Analiz

##### 3.1.1. Isılçift kalibrasyon deneyleri:

Projeden satın alınan sekiz kanallı sıcaklık taratıcısı, bir bilgisayara takılarak IOCALC spreadsheet programı ile çalıştırılmıştır. Sekiz kolon formatında her kanalın gösterdiği mikrovolt değerleri elde edilmiştir. K tipi sekiz ısılciftin bağlı olduğu sekiz kanaldan 25, 250, 350, 400 ve 500 ° C sıcaklıklarda elde edilen mikrovolt değerleri uluslararası ısılciftler referans tabloları yardımıyla sıcaklık değerlerine dönüştürülmüştür. Böylece bulunan mikrovolt ve sıcaklık karşılıkları 'Cricket Graph' programı kullanılarak sıcaklık-mikrovolt grafikleri haline getirilmiştir (Şekil 3.1.).

Programdan elde edilen doğrusal ilişkilerin genel denklemleri :

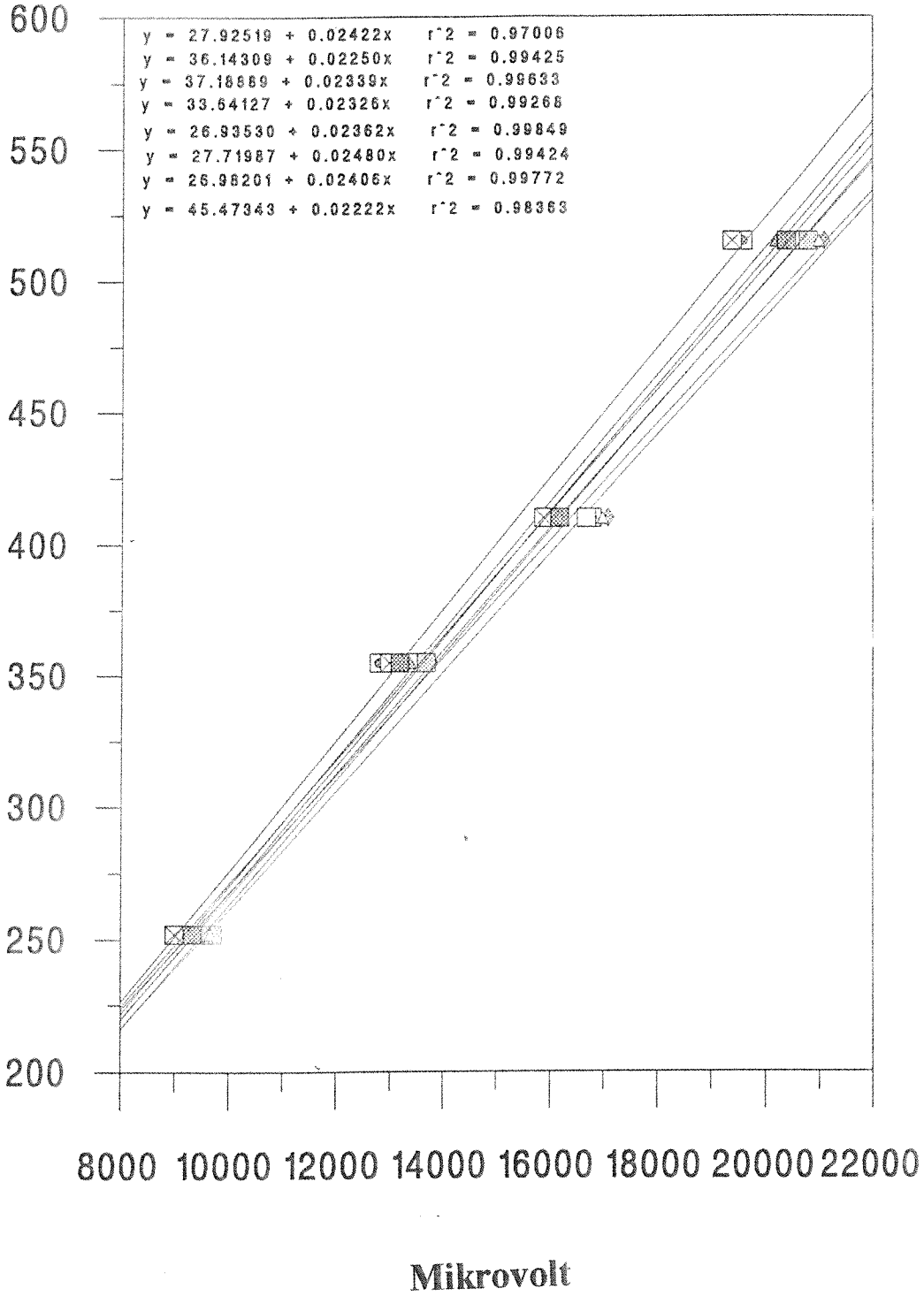
Sıcaklık(y) = 32.74+0.0234\*Mikrovolt(x) formülü olarak elde edilmiştir.

Daha sonra bu formül ve "IOCALC" veri değerlendirme programı ile kanalların sıcaklık değerleri yeniden sekiz kolon halinde programa ilave edilmiştir.

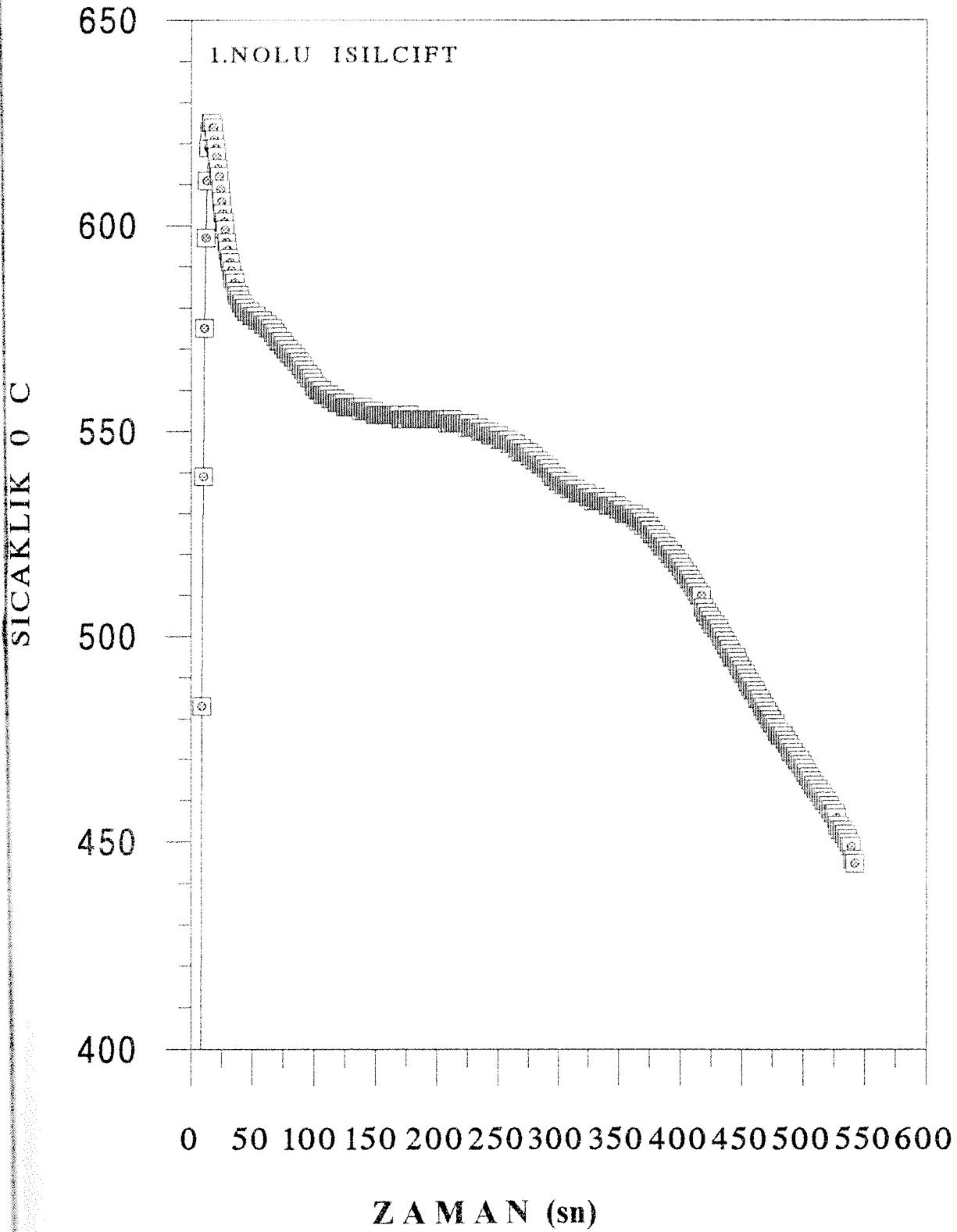
##### 3. 1. 2. Soğuma eğrilerinin elde edilmesi

Kompozit alaşımları, döküm boşluğuna açılacak şekilde kalıp duvarına yerleştirilen ısılciftlerin kullanıldığı kum ve metal kalıplara dökülmüştür. Kum kalıba dökülen A 356 + %10 SiC için elde edilen soğuma eğrileri Şekil 3.2 - Şekil 3.4 de verilmiştir. Metal kalıplara dökülen A 356 + %10 SiC kompozit alaşımının soğuma eğrileri ise Şekil 3.5 den Şekil 3.7 ye kadar verilmiştir.

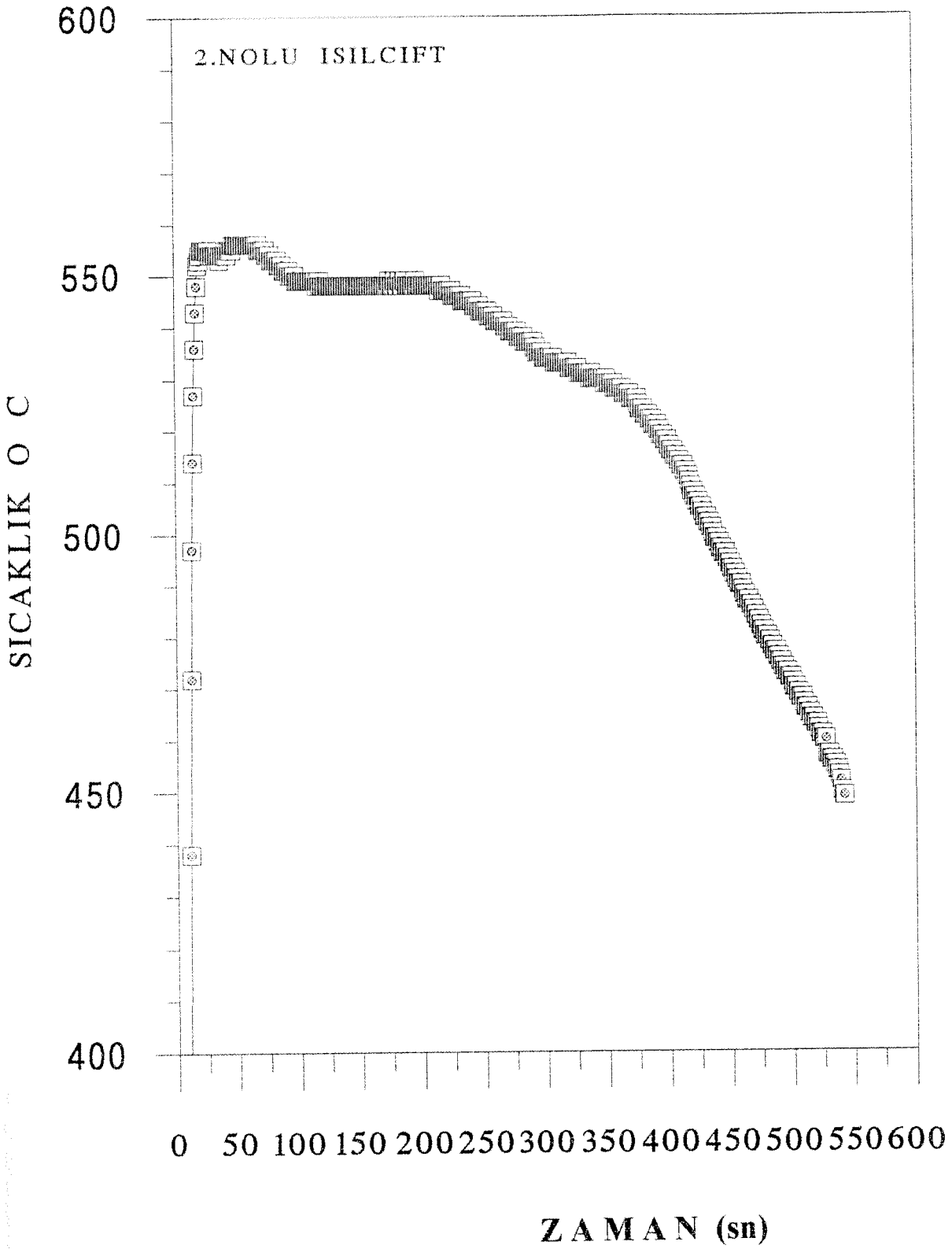
# Sıcaklık (°C)



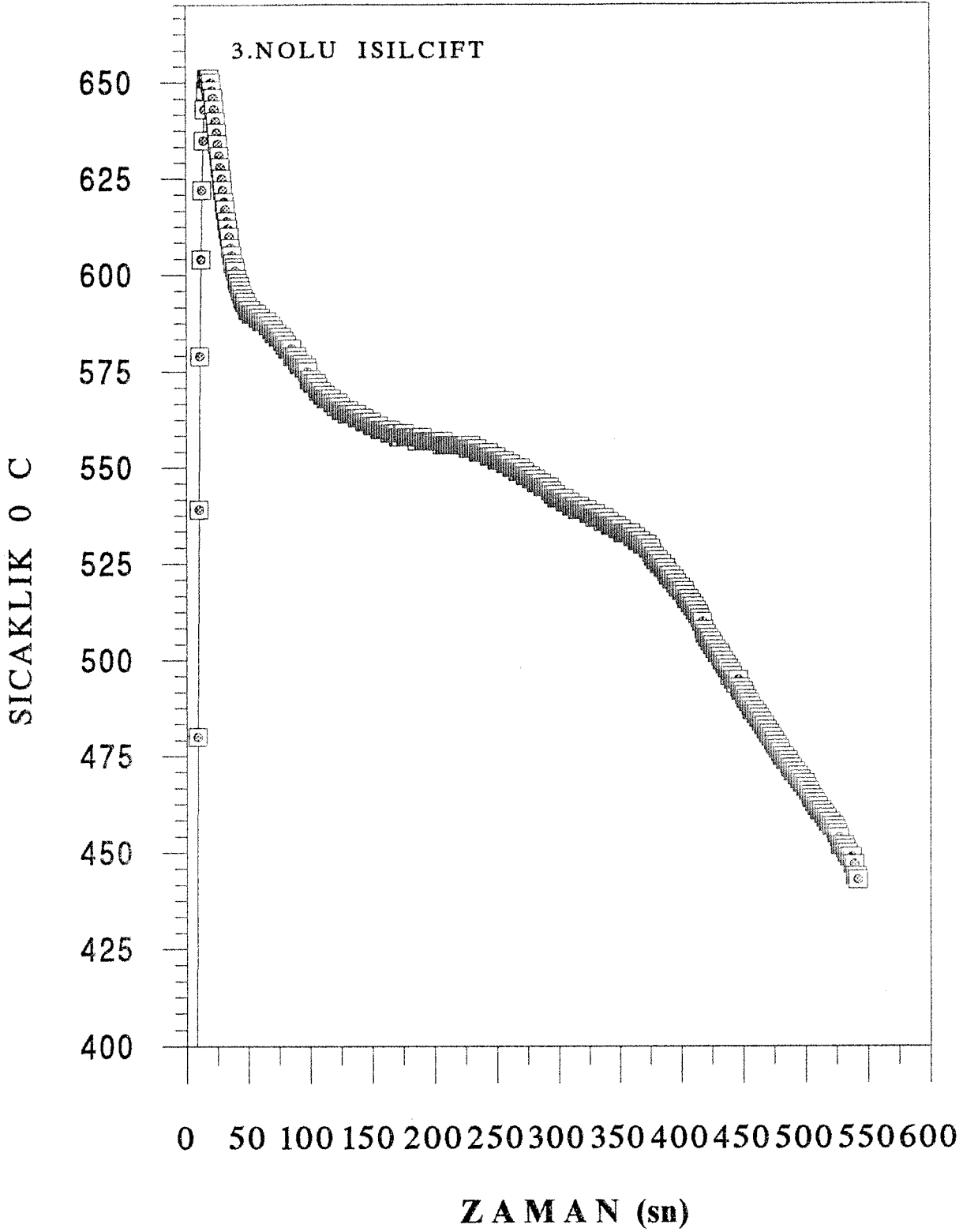
Şekil 3.1. Sıcaklık tarayıcısı kalibrasyonunda kullanılan grafik.



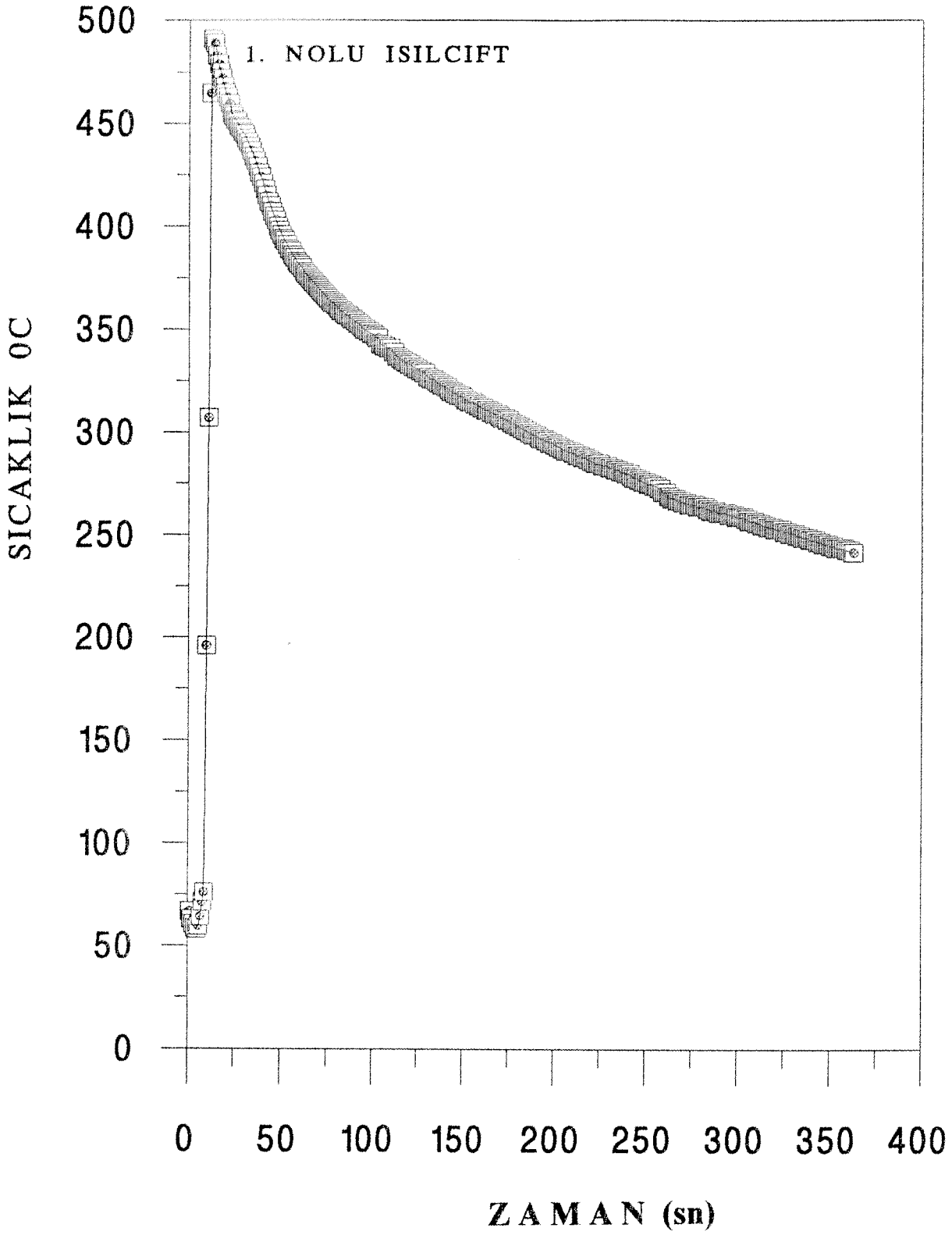
Şekil 3.2. Kum kalıba disk şeklinde dökülen A356+ %10 SiC kompozitinin 1 numaralı ısılcıftan elde edilen soğuma eğrisi.



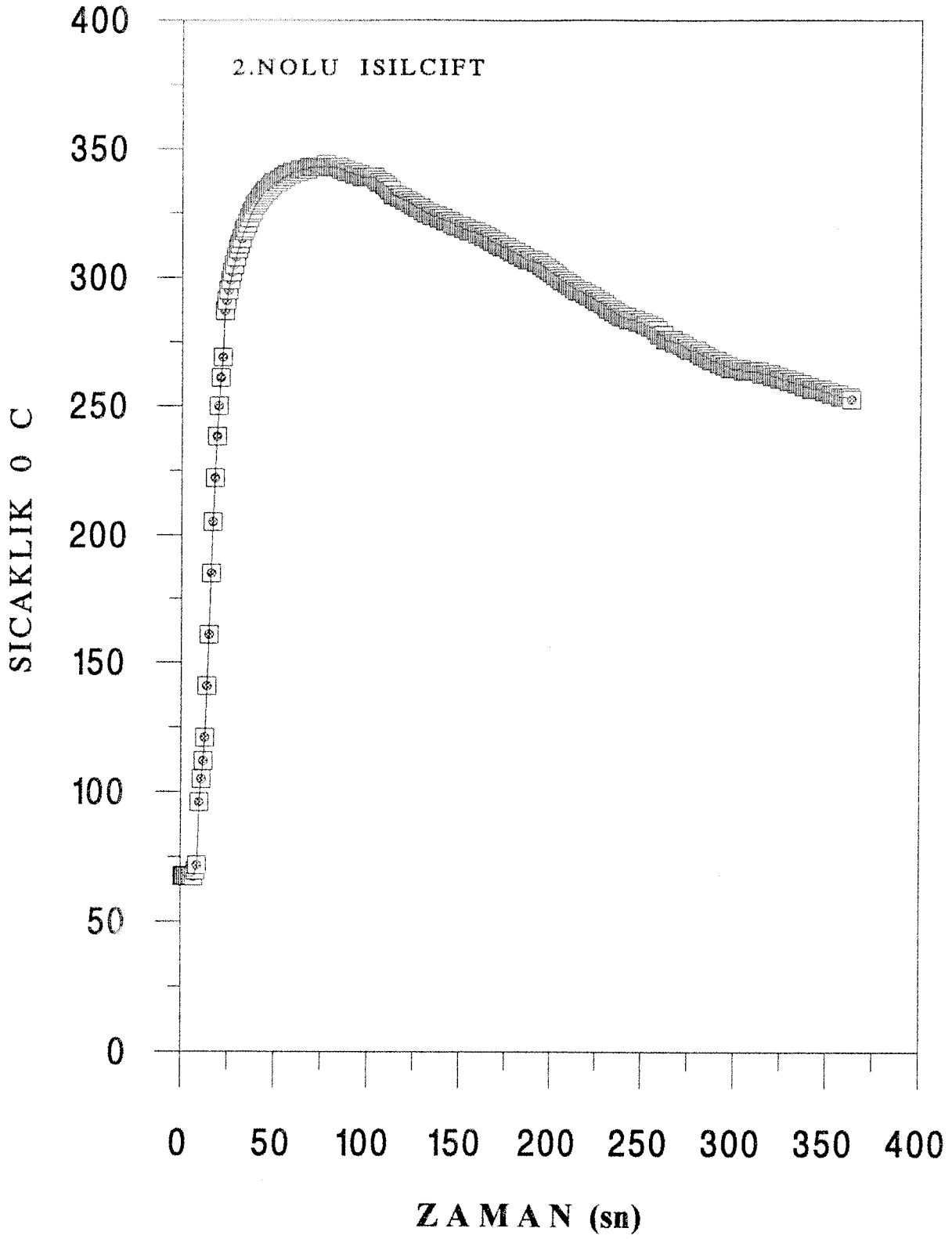
Şekil 3.3. Kum kalıba disk şeklinde dökülen A356+ %10 SiC kompozitinin 2 numaralı ısılcıftan elde edilen soğuma eğrisi.



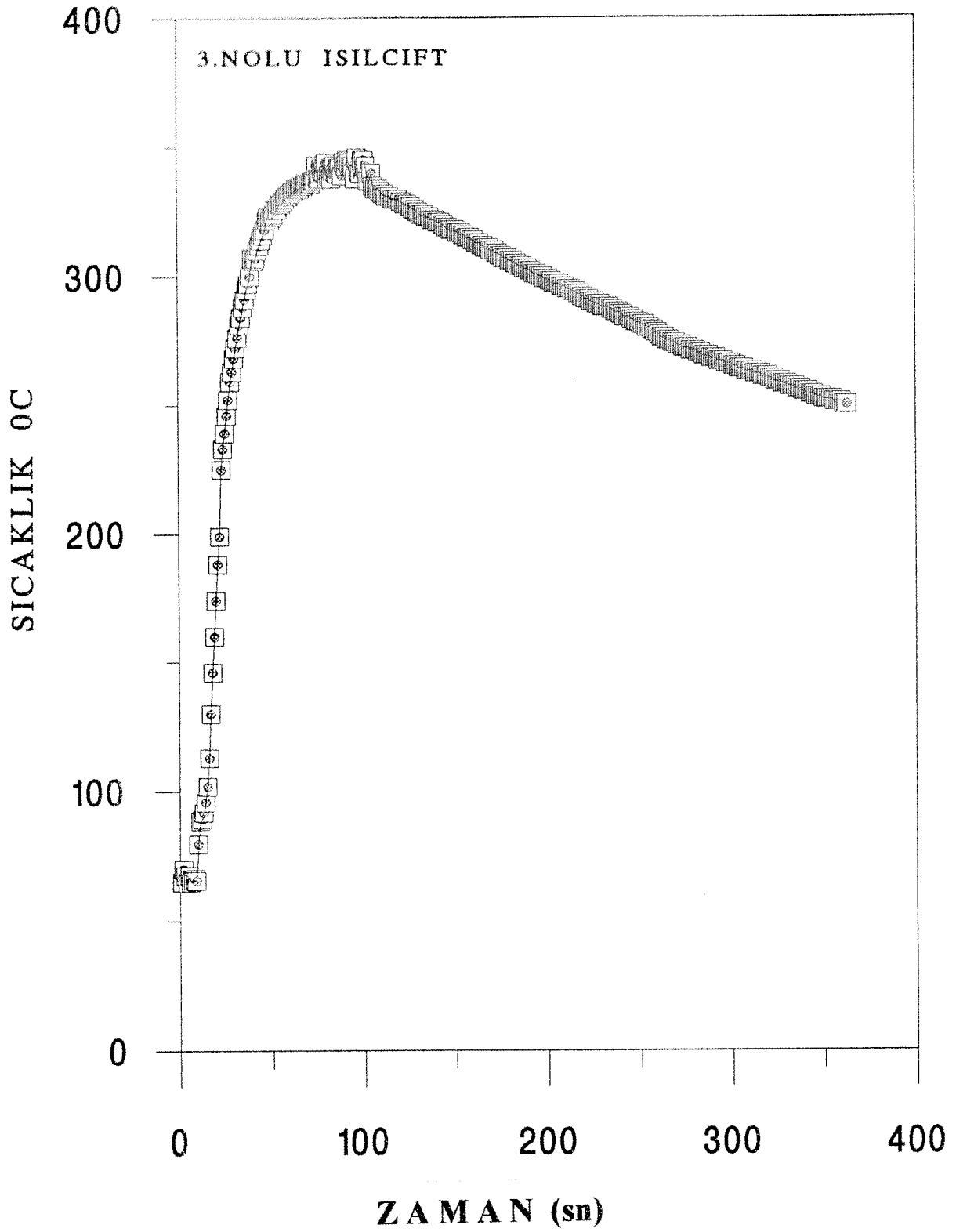
Şekil 3.4. Kum kalıba disk şeklinde dökülen A356+ %10 SiC kompozitinin 3 numaralı ısılcıftan elde edilen soğuma eğrisi.



Şekil 3.5. Metal kalıba disk şeklinde dökülen A356+ %10 SiC kompozitinin 1 numaralı ısılcıftan elde edilen soğuma eğrisi.



Şekil 3.6. Metal kalıba disk şeklinde dökülen A356+ %10 SiC kompozitinin 2 numaralı ısılcıftan elde edilen soğuma eğrisi.



Şekil 3.7. Metal kalıba disk şeklinde dökülmüş A356+ %10 SiC kompozitinin 3 numaralı ısılcıftan elde edilen soğuma eğrisi.



Şekil 3.7. Metal kalıba disk şeklinde dökülmüş A356+ %10 SiC kompozitinin 3 numaralı ısılcıftan elde edilen soğuma eğrisi.

Bu eğriler incelendiğinde, kum kalıplara dökülen alaşımların sıvıdan ilk dönüşüm noktasına kadar (580 °C) hızlı soğuma gösterdiği, bu noktadan sonra sıvı ve katının bir arada bulunduğu, daha sonra 560 °C ise ötektik faz dönüşümünü simgeleyen bir plato ve bu platonun altında, 540 °C'de son bir yavaşlama saptanmıştır.

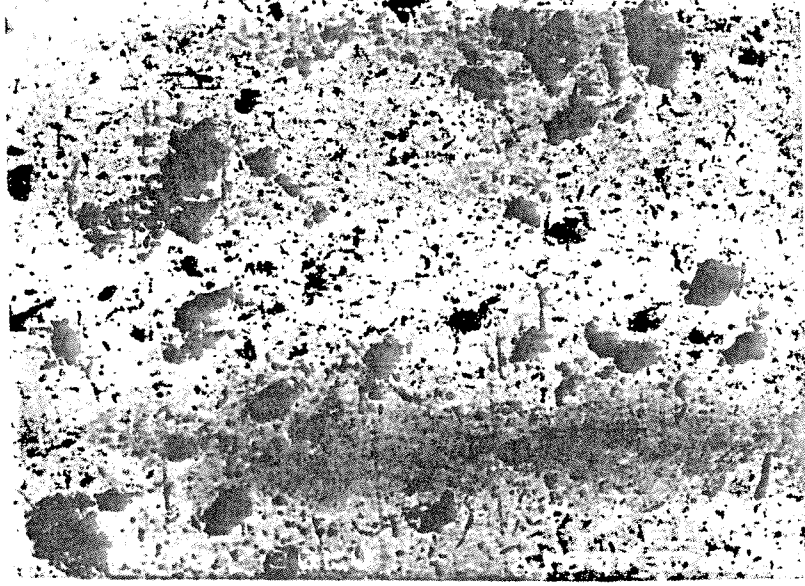
Kalıp sıcaklığı 250-300 °C olan metal kalıplara 750°C'de dökülen sıvı alaşımların soğuma eğrilerinde ise üstel (exponential) değişime benzer sürekli soğuma görülmektedir. Bu eğrilerde yavaşlamanın olmadığı görülmektedir. Bu ise geri ısınma (recoalescence) görülmeden sıvı-katı faz dönüşüm ısısının(latent heat) hızlıca yapıdan uzaklaştığının göstergesidir. Böylece, metal kalıplardaki dökümde, sıvıdaki aşırı soğuma ve hızlı ısı transferi sonucu, alaşım, parçacıklar tane sınırlarına itilmeden katılaştığından, homojen ve eşit parçacık dağılımı elde edilmiştir.

### 3. 2. İç Yapı Sonuçları:

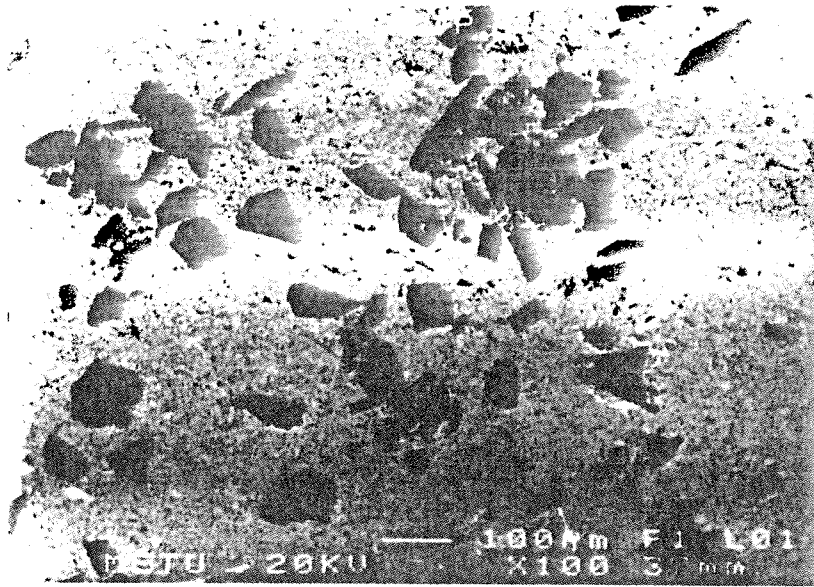
#### 3. 2. 1. A356-SiC

İç yapılar soğuma eğrileriyle birlikte incelendiğinde, kum kalıba dökülen kompozit alaşımlarda SiC parçacıklarının katılma sırasında tane sınırlarına toplandığı gözlenmektedir. Toplanma, soğuma sırasında katılmanın kenardan içeriye doğru belirli bir sıcaklık gradyantını koruması ve parçacıkların sıvı-katı arayüzeyine itilmesi sonucu oluşmaktadır. SiC parçacık dağılımını alaşımın her yanında eşit olarak sağlamak için soğuma hızı ve katılma koşulları oldukça kritik ve önemlidir. Metal kalıpların sağladığı aşırı soğuma miktarına bağlı olarak, sıvı içerisinde heterojen çekirdekleşmenin fazla olması, SiC parçacıkların kompozit yapı içinde dağılımını düzenli hale getirmektedir. (Şekil 3.8).

Kum kalıplardaki soğuma eğrilerinde görülen yavaşlama bölgeleri geri ısınma (recoalescence) evresinde sıvı-katı faz dönüşüm ısısının, katılan alaşımdan hızla atılamaması sonucu çekirdekleşmenin azalarak daha az merkezden başlaması ve bunun sonucu taneler arası sıvının daha uzun süre kalıp parçacıkların sıvıda yüzerek tane sınırlarına itilmesinden kaynaklanmaktadır.(Şekil 3.9).

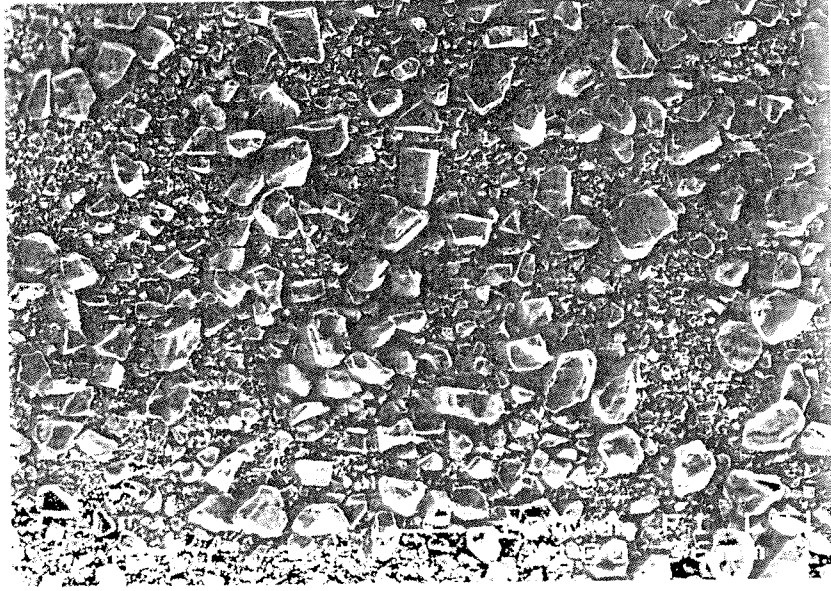


Şekil 3.8. Hızlı soğuma etkisiyle SiC parçacıklarının döküm sonrası metal kalıptaki kompozit içinde dengeli dağılımı (x 100)



Şekil 3.9. Kum kalıpta yapılan döküm sonrası SiC parçacıklarının kompozit içinde tane sınırlarına toplanması ( x 100)

A356-SiC kompozitinin üretiminde kullanılan SiC tozlarının elektron mikroskop görüntüsü Şekil 3.10'da verilmiştir. Tozların parçacık dağılımı yaklaşık 5µm ile 100 µm arasında değişmektedir.



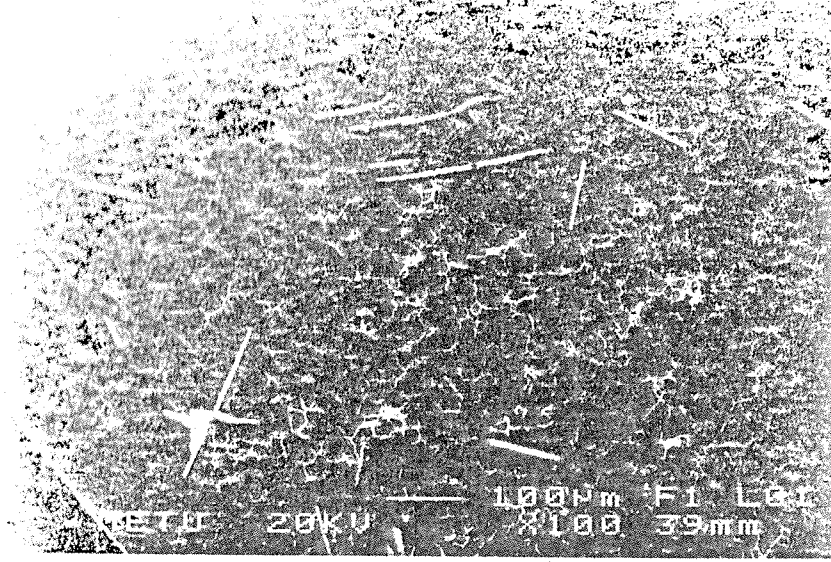
Şekil 3.10. Kompozitlerde kullanılan SiC tozlarının elektron mikroskop görüntüsü. ( x 100)

**Al-%4.5Cu-%1.5Ti-%0.3B (in-situ):**

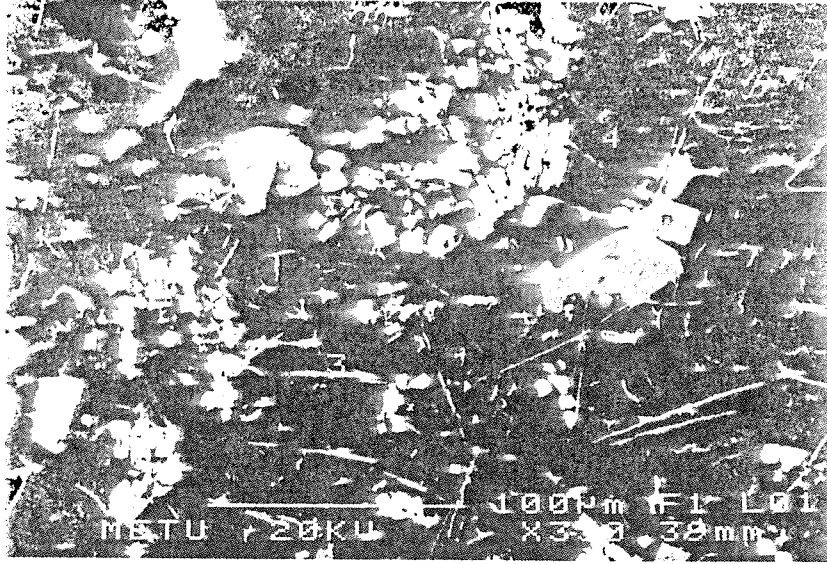
Mikroyapı, alüminyum içerisinde çubuksu ikinci bir faz içermektedir. Beyaz görünümlü bu faz  $Al_3Ti$ 'dir. TiC parçacıkları bu çubuksu fazların uç noktalarında tesbit edilmiştir. Matrikte ise alüminyum içerisine dağılmış TiC parçacıklarıyla birlikte bakır-alüminyum çökeltileri gözlenmiştir. (Şekil 3.11).

**Al-%4.5Cu-%8Ti (in-situ):**

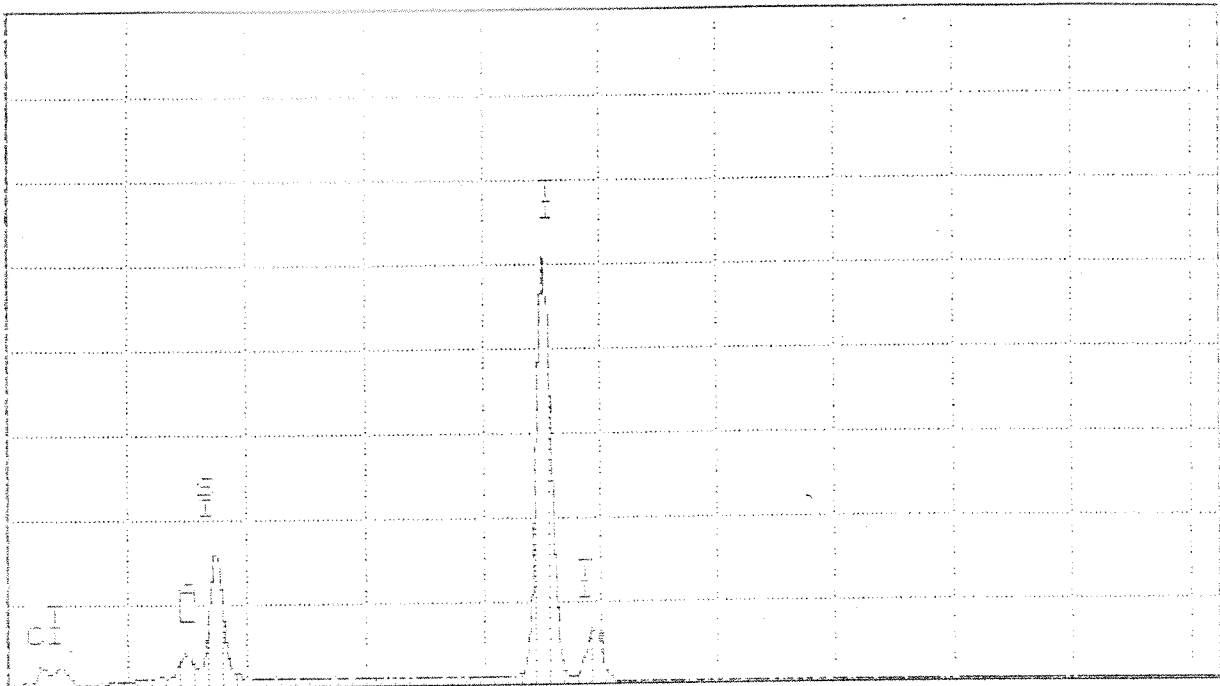
Bu alaşımın içyapında da çubuk görünümlü  $Al_3Ti$  fazı oluşmuştur. Bir önceki alaşımın yapısıyla kıyaslandığında en önemli farkın reaksiyona girmemiş grafit parçacıklarının varlığı görülmektedir( Şekil 3.12). Fazları tanımlamak için dört noktadan alınan EDS nokta analizi sonuçları Şekil 3.13' de verilmiştir.



Şekil 3.11. Al-%4.5Cu-%8Ti (in-situ)alaşımın elektron mikroskoptaki genel görüntüsü. (x 100)



Şekil 3.12. Al-%4.5Cu-%1.5Ti-%0.3B (in-situ) alaşımın elektron mikroskoptaki genel görüntüsü. (x 350)



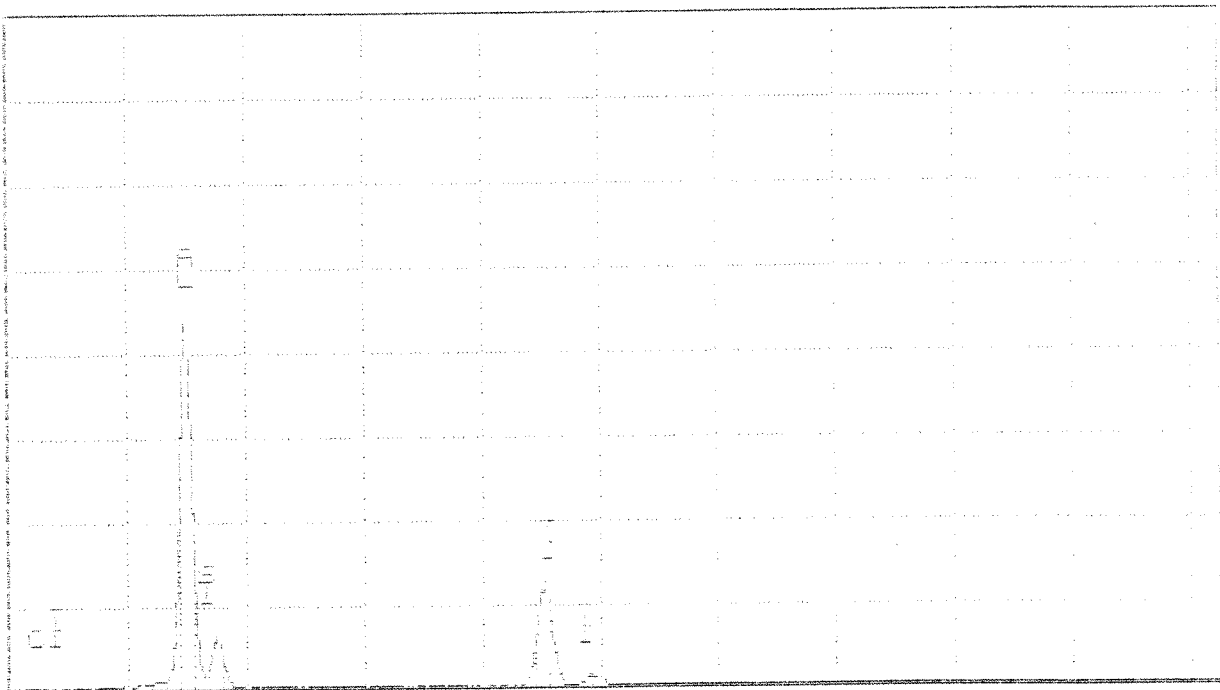
0.000

VFB = 4099 10.240

30

AL-TI- FB-1

(a)



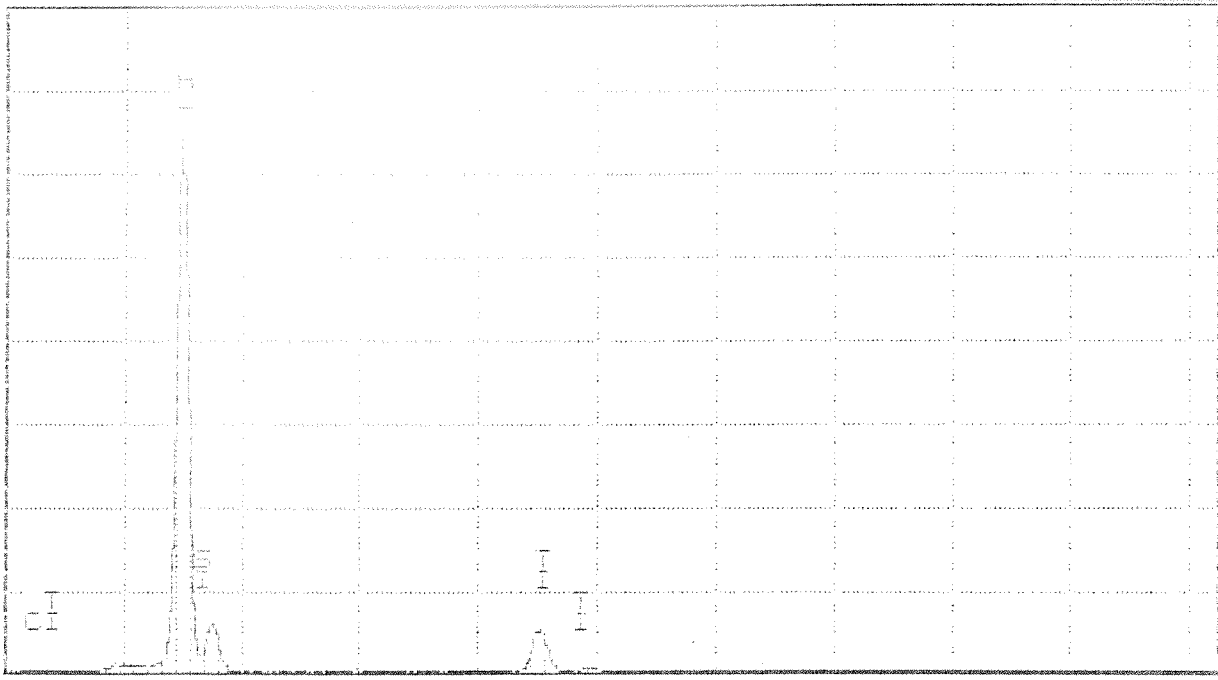
0.000

VFB = 5151 10.240

30

AL-TI- FB-2

(b)



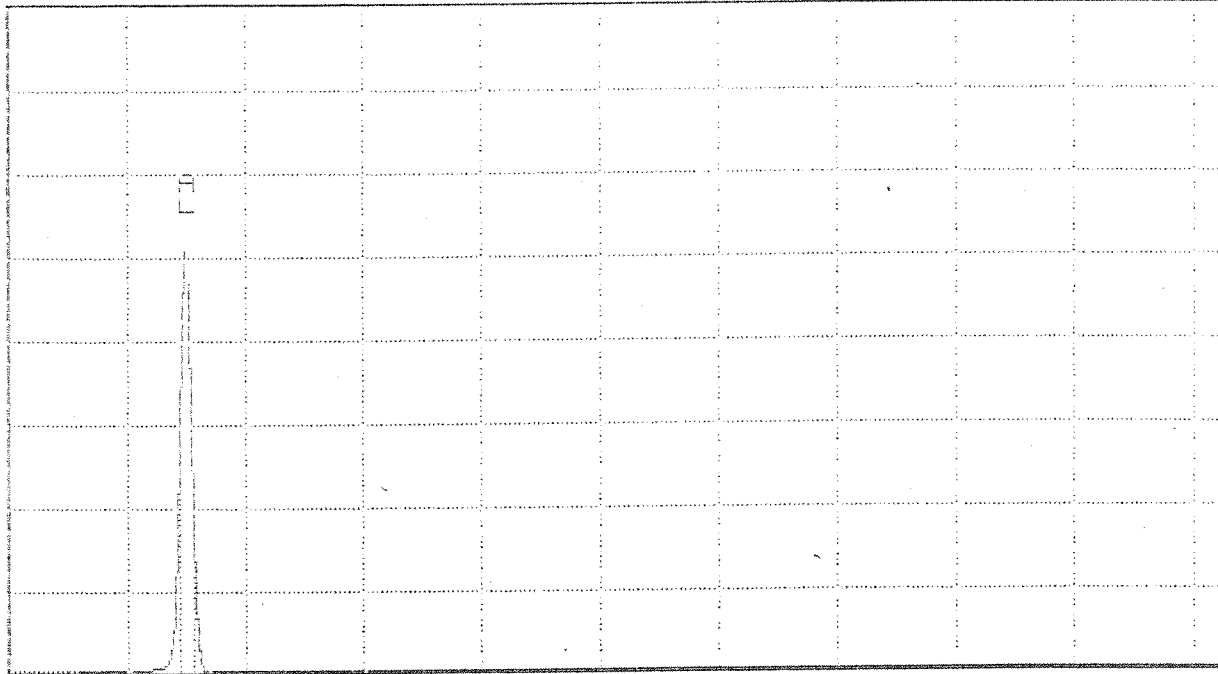
0.000

VPE = 8192 10.240

30

AL-TI-B

(c)



0.000

VPE = 15384 10.240

30

AL-TI-B

(d)

Şekil 3.13. Al-%4.5Cu-%1.5Ti-%0.3B (in-situ) alaşımının elektron mikroskoptan alınan nokta analizi (a) Şekil 3.12 de verilen 1. nokta, (b) 2. nokta, (c) 3.nokta, (d) 4. nokta.

### TiC ile Takviye Edilen 7075Al(Al-%5.5Zn-%2.5Mg-%1.5Cu) Alaşımın Alışımı:

7075 kompozisyonundaki alüminyum alaşımı ısılatma için yeterli magnezyum içermektedir. TiC yüksek sıcaklıkta kararlı, hafif ve sertlik özellikleriyle cazip parçacık özelliklerine sahiptir.

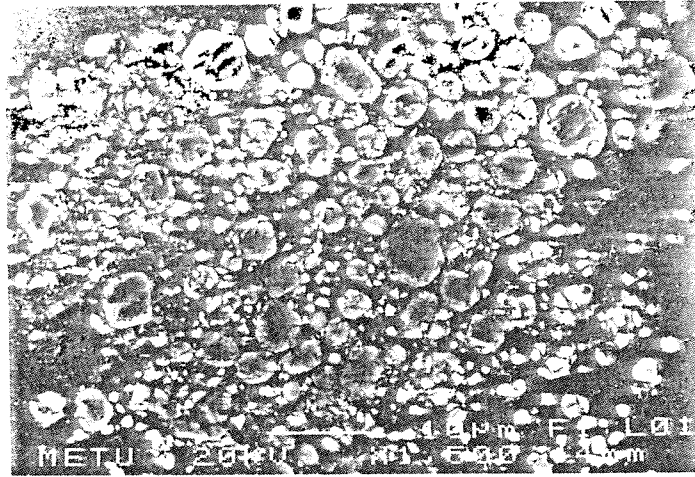
Kompozit 1: % 4.95 TiC (ağırlık olarak)

Kompozit 2: % 9.66 TiC

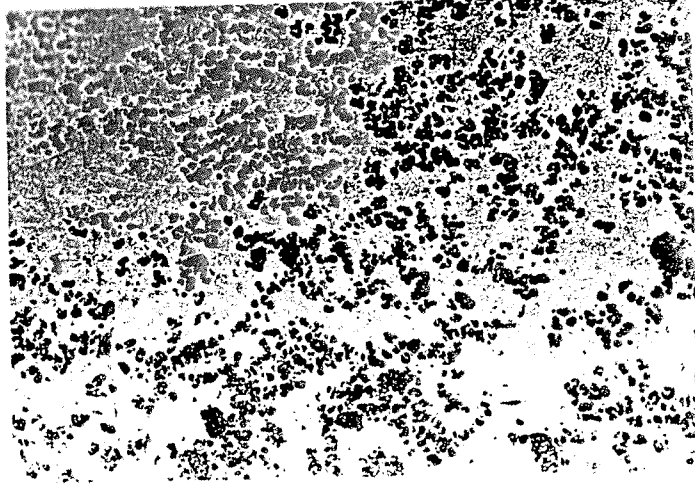
Kompozit 3: % 12.70 TiC

Kompozit 4: % 15.60 TiC

Yaklaşık 5-10µm boyutundaki TiC parçacıkları ile karıştırılarak üretilen 7075 Al esaslı kompozitlerde parçacık dağılımları, metal kalıp içinde basınç uygulanarak üretilmelerine rağmen, küçük olmaları nedeniyle dengeli olmamıştır. Bu durum bütün karbür takviyeli metal matriks kompozitlerde gözlenmiştir (Şekil 3.14 ve 3.15).



Şekil 3.14. %12.5 TiC içeren 7075 Al esaslı kompozitte parçacıkların gruplaşması (x 1500)



Şekil 3.15. %7.7 TiC içeren 7075 Al matriksli kompozit iç yapısının genel görünümü ( x50).

### 3. 3. Aşınma Deneyi Sonuçları

Üretilen çeşitli kompozisyonlardaki alaşımların aşınma deneylerinin sonuçları Çizelge 1.de verilmiştir. Aşınma direnci ağırlık ve hacimsel kayıp olarak ölçülmüştür. Ancak unutulmaması gereken, aşınma direnci hangi parametreyle tanımlanırsa tanımlansın, malzeme özelliği değildir. Örneğin, uygulanan yük, sürtünme hızıyla, sürtüldüğü malzemenin ve ortamın çeşidiyle farklılıklar gösterir. Bu nedenle aşınma deneyi sadece değişik kompozisyonların kıyaslanması amacıyla yapılmıştır.

A356 matriksli kompozitlerde SiC miktarı arttıkça aşınma direnci artmakla birlikte %15'e ulaşıldığında aşınma direncinin artması beklenirken düştüğü gözlenmiştir. Bu iki nedene bağlanabilir. Birincisi karbürlerin aşınma numunelerinin alındığı bölgelerde daha az yoğunlukta bulunması, ikincisi ise iri karbürlerin kopması olabilir. Genellikle parçacıkla kuvvetlendirilen kompozitler, değişik aşındırma hızlarında farklı davranış gösterebilirler. Bu nedenle aşınma deneylerinin farklı hızlarda tekrarlanması gerekir. Ancak aşınma düzenimizin bölüm olanaklarıyla bitirilmesi uzun süre aldığı için deneyler istenilen sayıda gerçekleştirilememiştir.



Çizelge 1. Aşınma Deneylerinin Sonuçları (P=21.6N)

A356					
<i>yoğunluk(gr/cm.3)</i>	2.60495				
<i>mesafe(m)</i>	0	400	800	1200	
<i>temas alanı(cm.2)</i>	0.40713				
<i>ağırlık(gr)</i>	1.01467	1.01086	1.00715	1.0034	
<i>ağırlık kaybı(gr)</i>	0	0.00381	0.00752	0.01127	
<i>düzeltilmiş kayıp (gr)</i>	0	0.00392	0.00773	0.01159	
<i>hacim kaybı(mm.3)</i>	0	1.50352	2.96757	4.44741	
4%SiCp - A356					
<i>yoğunluk(gr/cm.3)</i>	2.691				
<i>mesafe(m)</i>	0	400	800	1200	
<i>temas alanı(cm.2)</i>	0.43007				
<i>ağırlık(gr)</i>	1.22867	1.2256	1.22043	1.21434	
<i>ağırlık kaybı(gr)</i>	0	0.00307	0.00824	0.01433	
<i>düzeltilmiş kayıp (gr)</i>	0	0.00299	0.00802	0.01395	
<i>hacim kaybı(mm.3)</i>	0	1.11020	2.97982	5.18214	
6%SiCp - A356					
<i>yoğunluk(gr/cm.3)</i>	2.824				
<i>mesafe(m)</i>	0	400	800	1200	
<i>temas alanı(cm.2)</i>	0.41852				
<i>ağırlık(gr)</i>	1.20807	1.20673	1.20162	1.1978	
<i>ağırlık kaybı(gr)</i>	0	0.00134	0.00645	0.01027	
<i>düzeltilmiş kayıp (gr)</i>	0	0.00134	0.00645	0.01027	
<i>hacim kaybı(mm.3)</i>	0	0.47450	2.28399	3.63669	
15%SiCp - A356					
<i>yoğunluk(gr/cm.3)</i>	2.83568				
<i>mesafe(m)</i>	0	400	800	1200	
<i>temas alanı(cm.2)</i>	0.44174				
<i>ağırlık(gr)</i>	1.25581	1.2518	1.24761	1.24392	
<i>ağırlık kaybı(gr)</i>	0	0.00401	0.0082	0.01189	
<i>düzeltilmiş kayıp (gr)</i>	0	0.00380	0.00777	0.01127	
<i>hacim kaybı(mm.3)</i>	0	1.41412	2.89172	4.19300	

**Al - 4.5%Cu - 1.5%Ti - 0.3%B**

<i>yoğunluk(gr/cm<sup>3</sup>)</i>	2.76853			
<i>mesafe(m)</i>	0	400	800	1200
<i>temas alanı(cm<sup>2</sup>)</i>	0.40713			
<i>ağırlık(gr)</i>	1.53577	1.52956	1.52619	1.52333
<i>ağırlık kaybı(gr)</i>	0	0.00621	0.00958	0.01244
<i>düzeltilmiş kayıp (gr)</i>	0	0.00638	0.00985	0.01279
<i>hacim kaybı(mm<sup>3</sup>)</i>	0	2.30582	3.55713	4.61907

**Al - 4.5%Cu - 8%Ti**

<i>yoğunluk(gr/cm<sup>3</sup>)</i>	2.87365			
<i>mesafe(m)</i>	0	400	800	1200
<i>temas alanı(cm<sup>2</sup>)</i>	0.3959			
<i>ağırlık(gr)</i>	1.461	1.45643	1.45192	1.44558
<i>ağırlık kaybı(gr)</i>	0	0.00457	0.00908	0.01542
<i>düzeltilmiş kayıp (gr)</i>	0	0.00483	0.00960	0.01630
<i>hacim kaybı(mm<sup>3</sup>)</i>	0	1.68118	3.34028	5.67259

**Al - Zn - Mg - 14%TiC - 44 s**

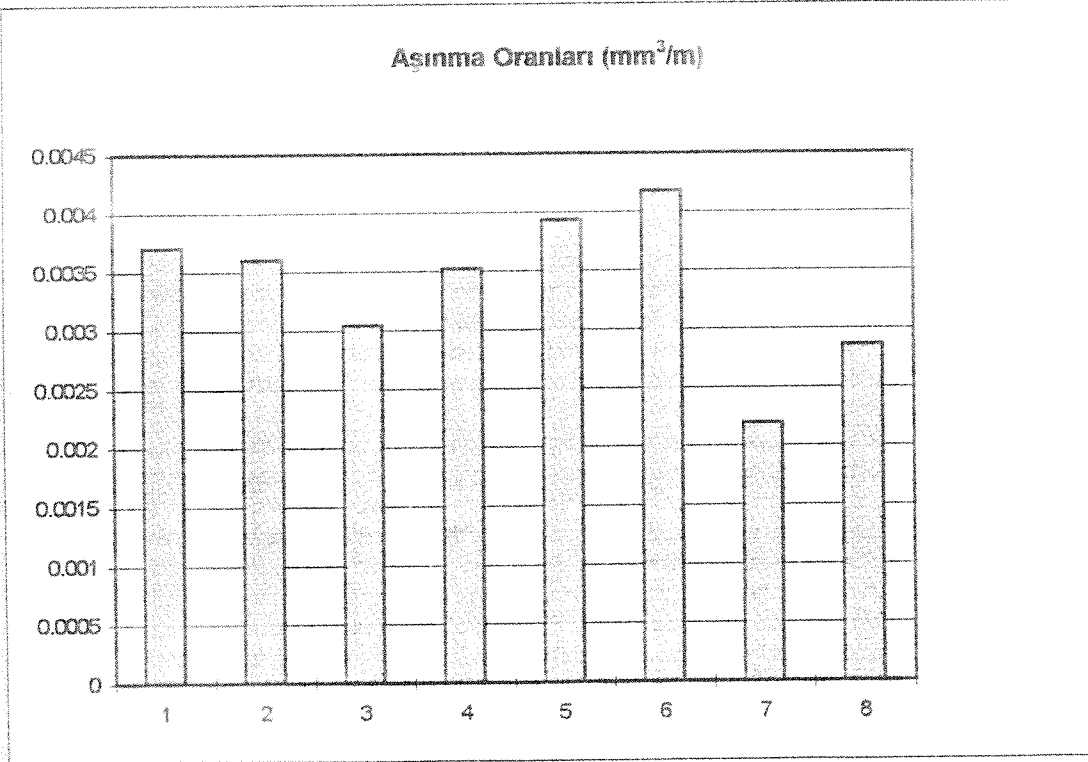
<i>yoğunluk(gr/cm<sup>3</sup>)</i>	2.9894			
<i>mesafe(m)</i>	0	400	800	1200
<i>temas alanı(cm<sup>2</sup>)</i>	0.45363			
<i>ağırlık(gr)</i>	1.61591	1.61306	1.61032	1.60732
<i>ağırlık kaybı(gr)</i>	0	0.00285	0.00559	0.00859
<i>düzeltilmiş kayıp (gr)</i>	0	0.00263	0.00516	0.00793
<i>hacim kaybı(mm<sup>3</sup>)</i>	0	0.87958	1.72521	2.65108

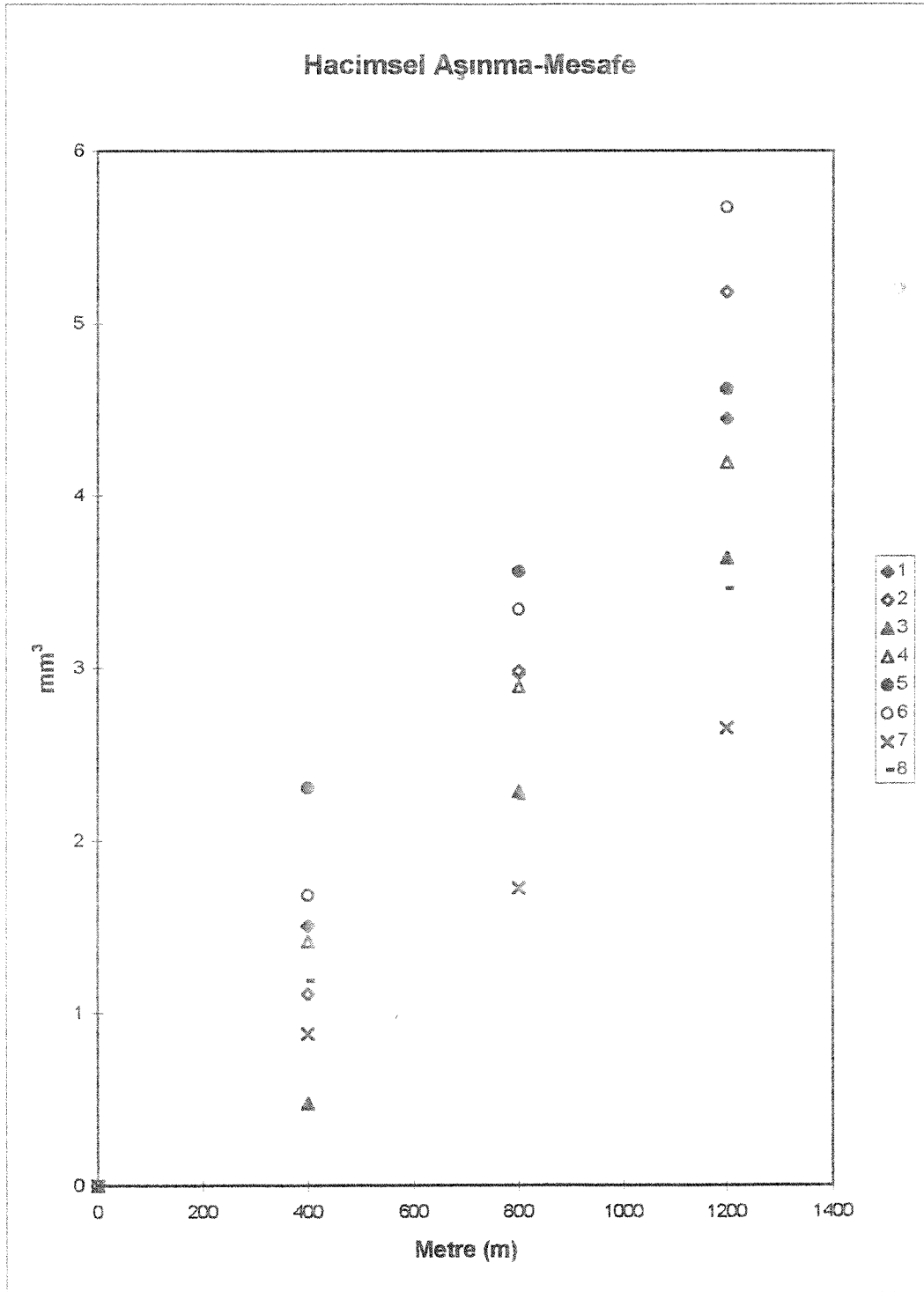
**Al - Zn - Mg - 14%TiC - ÇS**

<i>yoğunluk(gr/cm<sup>3</sup>)</i>	2.95509			
<i>mesafe(m)</i>	0	400	800	1200
<i>temas alanı(cm<sup>2</sup>)</i>	0.41852			
<i>ağırlık(gr)</i>	1.54449	1.54099	1.53786	1.53427
<i>ağırlık kaybı(gr)</i>	0	0.0035	0.00663	0.01022
<i>düzeltilmiş kayıp (gr)</i>	0	0.0035	0.00663	0.01022
<i>hacim kaybı(mm<sup>3</sup>)</i>	0	1.18440	2.24359	3.45844

ÇS =Çözündürme işlemi sonrası , 44 s = 44 saat yaşlandırılmış ,  
Ağırlık kayıpları 0.41852 cm<sup>2</sup> temas alanına düzeltilmiştir.

Malzeme	No	Aşınma Oranı (mm <sup>3</sup> /m)
A356	1	0.003705
A 356- % 4SiCp	2	0.003606
A356- % 6SiCp	3	0.003043
A356- % 15SiCp	4	0.003521
Al - % 4.5 Cu- % 1.5 Ti - % 0.3 B	5	0.003933
Al - % 4.5Cu- % 8 Ti	6	0.004178
7075 Al - % 14TiC 44 s	7	0.002197
7075 Al - %14 TiC- ÇS	8	0.002861



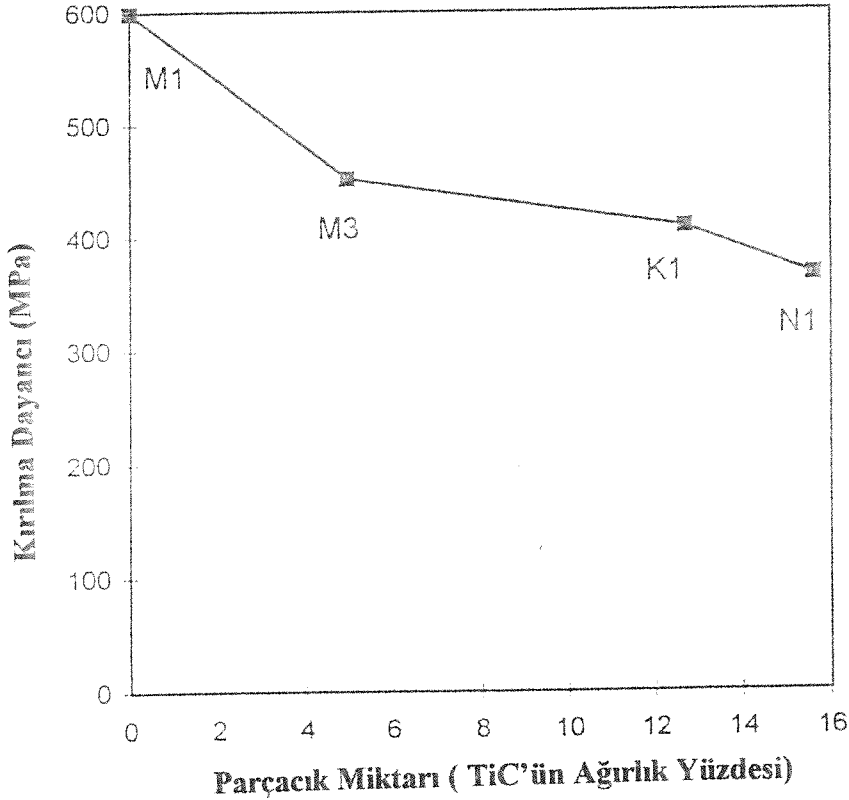


Şekil 3.16. Üretilen çeşitli kompozisyonlardaki kompozitlerin aşındırma mesafesi ile hacimsel aşınma değerlerinin değişimi

### 3. 4. Çekme Testlerinin Sonuçları:

Çekme deneyleri sonuçları Çizelge 2 ve 3'de verilmektedir. Kompozitlerde sünek davranış görülmediği için akma sınırı verilmemiştir.

Şekil 3.17'de 7075 Al-TiC kompoziti için parçacık miktarı ile kırılma dayanımının düşüşü verilmiştir. Parçacıkları seramik, matriksi metal olan kompozitlerde termal genleşme katsayı farklılıkları nedeniyle katılaşma esnasında iç gerilmeler oluşmaktadır[7, 8]. Bu çalışmalarda da parçacık miktarının artışı ile dayanımdaki azalma, iç gerilim yoğunlaşması ve metaller arası bileşiklerin oluşumuna bağlanmaktadır. Aynı yöndeki eğilim kopma uzanması için de geçerlidir (Çizelge 3).



Şekil 3.17. TiC parçacıkları içeren 7075 Al kompozitlerinde parçacık miktarının artışı ile kırılma dayanımının azalması

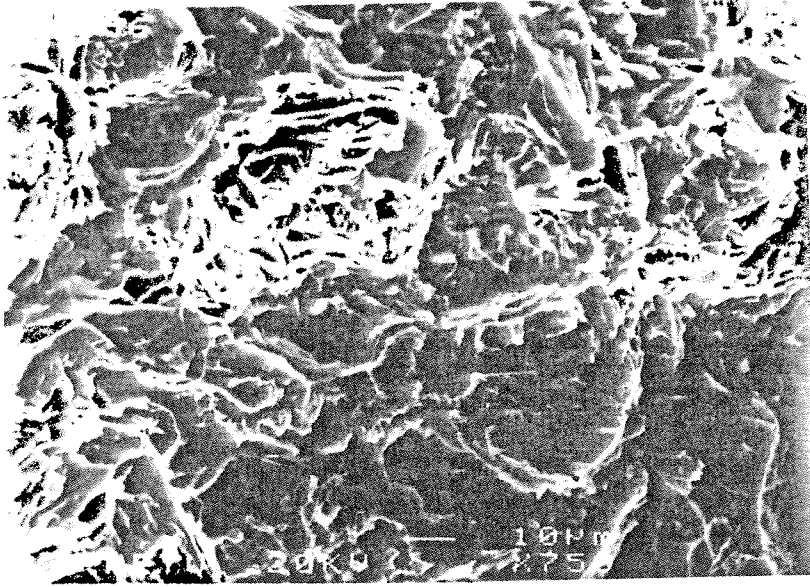
Çizelge 2. Çekme Deneyi Sonuçları

Isıl İşlem Uygulanmış Malzeme	Çekme Dayancı (MPa)	Çekme Dayancı (MPa)	Çözündürme Sonrası Yaşlandırma Sonrası
A 356- %0SiC	375		599
A 356- %4 SiC	183		452
A 356- %6 SiC	238		409
A356- %15 SiC	345		366
Al- %4.5Cu- %1.5Ti- %0.3B	202		
Al- %4.5 Cu- %8Ti	160		
Isıl İşlem Uygulanmış Malzeme	Çekme Dayancı (MPa)	Çözündürme Sonrası	Yaşlandırma Sonrası
7075 Al- %0 TiC	285	502	599
7075 Al- %5 TiC	183	290	452
7075 Al- %13 TiC	247		409
7079 Al- %15 TiC	224	267	366

Çizelge 3. Yaşlandırma işlemi uygulanmış 7075 Al- TiC kompozitlerinde mekanik özelliklerin değişimi.

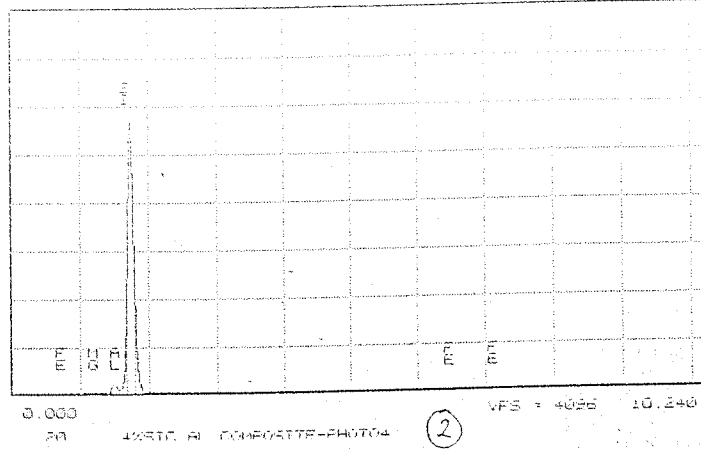
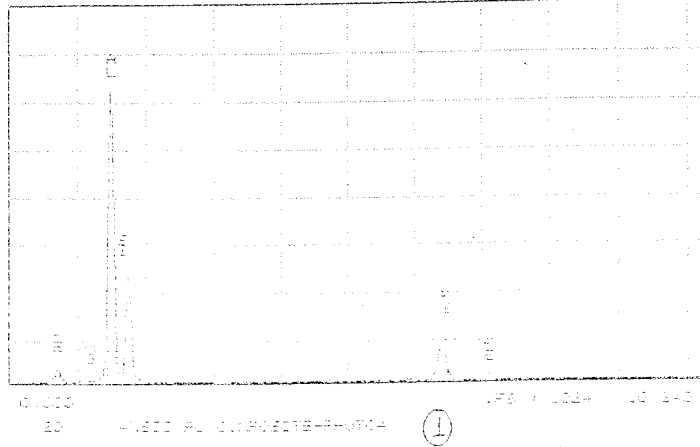
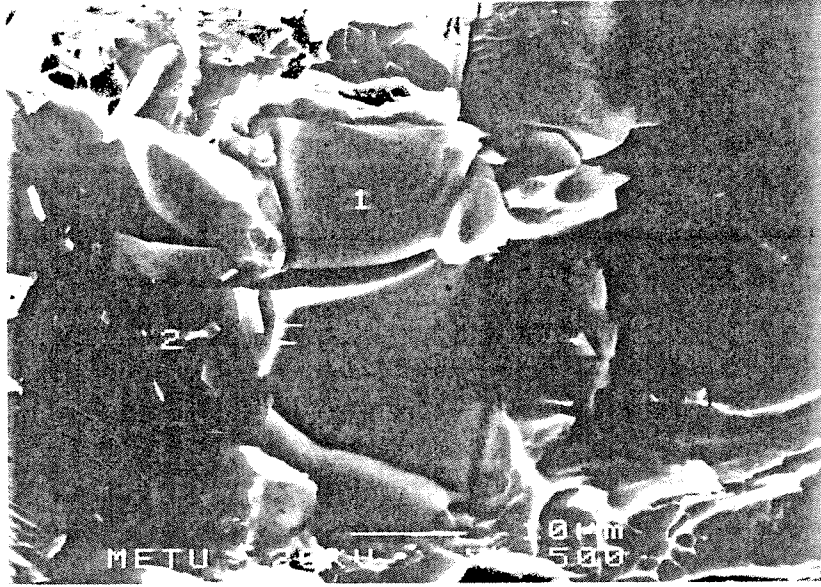
Kompozisyon	Isıl İşlem Öncesi			Çözündürme İşlemi Sonrası			Maks. Serliğe Yaşlandırılmış		
	Akma Dayancı	Kopma Dayancı	Uzama	Akma Dayancı	Kopma Dayancı	Uzama	Akma Dayancı	Kopma Dayancı	Uzama
	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)
7075(Döküm)	285	230	1.54	502	458	2.34	599	588	5.04
7075(Dövülmüş)	368	339	1.44	-	-	-	694	689	1.52
7075+12.7 wt% TiC	229	218	0.45	-	-	-	409	409	0
7075+3.7 wt% AlTiC	183	183	0	290	245	2.29	452	452	0
7075+20 wt% AlTiC	224	224	0	267	226	1.57	366	366	0

Çekme deneylerinden sonra kırılma yüzeyleri tarama elektron mikroskopunda incelenmiştir (Şekil 3.18- 3.25). Bu çalışmalar parçacık ve matriks arayüzlerinde ayrışma göstermemektedir. Bu ise parçacık-matriks bağının iyi olduğunun belirtisidir. Parçacık etrafındaki matriks lokal olarak sünek benzeri kırılma göstermektedir (Şekil 3.21). Plastik deformasyonun parçacık arasındaki bölgede sınırlı kalması, metal ve seramik parçacıkların termal genleşme katsayılarının farklılığı nedeniyle dislokasyonların bu bölgelerde yoğunlaşmasına bağlanabilir. Kompozitlerin mekanik özellikleri ayrıca ısıl işlem sonucunda matrikste ikinci fazların çökmesiyle yakından ilişkilidir (Şekil 3.19).

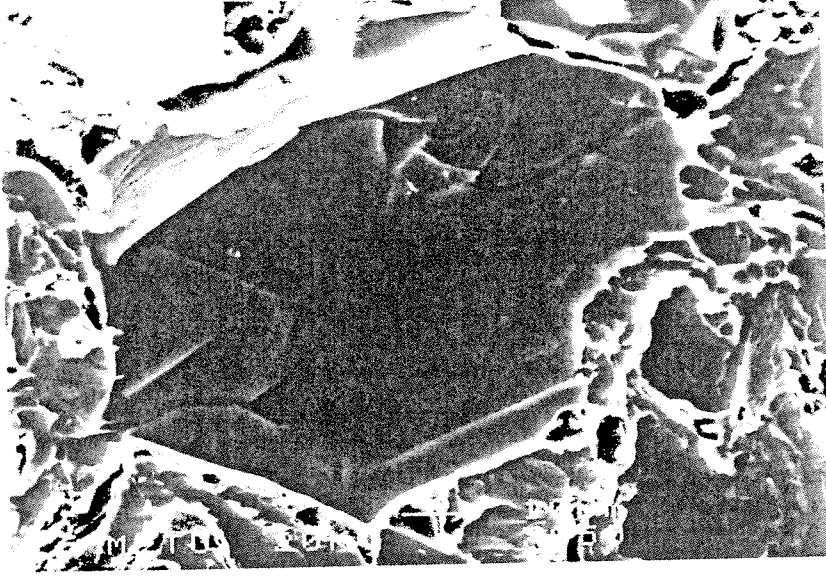


Şekil 3.18. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş parçacıksız A356 alaşımının çekme deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.  
(x 750)

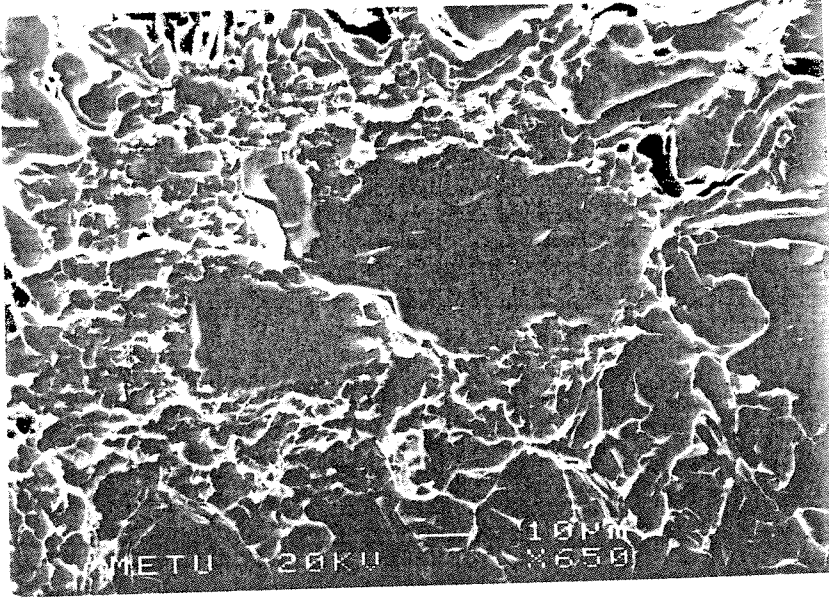




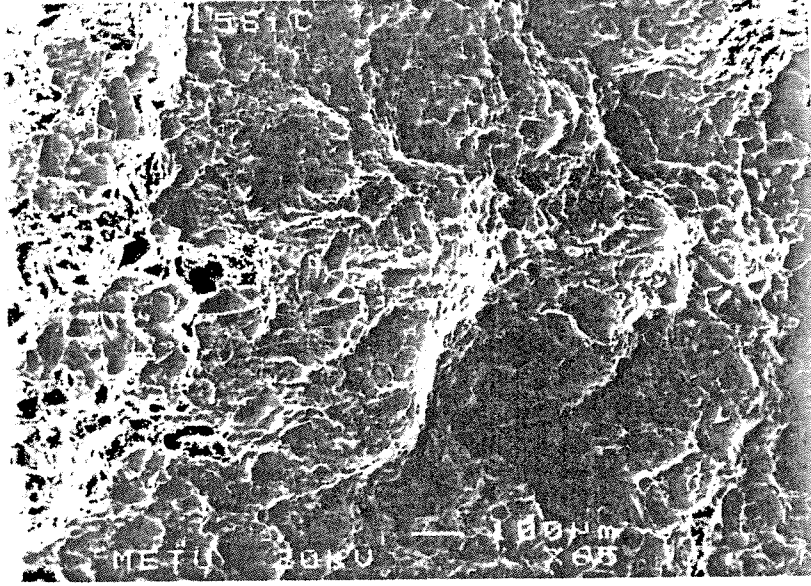
Şekil 3.19. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş A356- %4 SiC kompozitinin çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyi ( x 1500). EDS analizinden, 1 numaralı parçacığın Fe içeren metallerearası bir bileşik olduğu sonucu çıkarılmıştır.



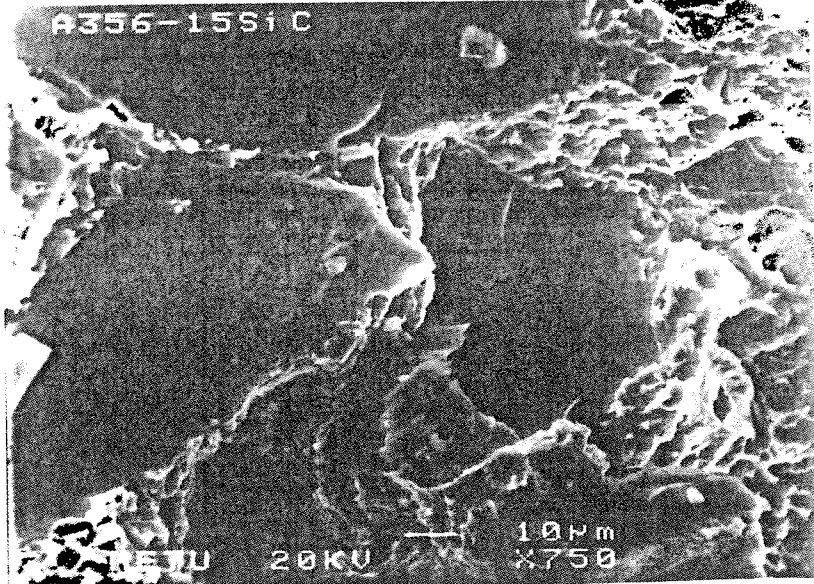
Şekil 3. 20. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş A356-%4SiC kompozitinin kırılma yüzeyinde kırılmış karbür parçacığı ( x 950).



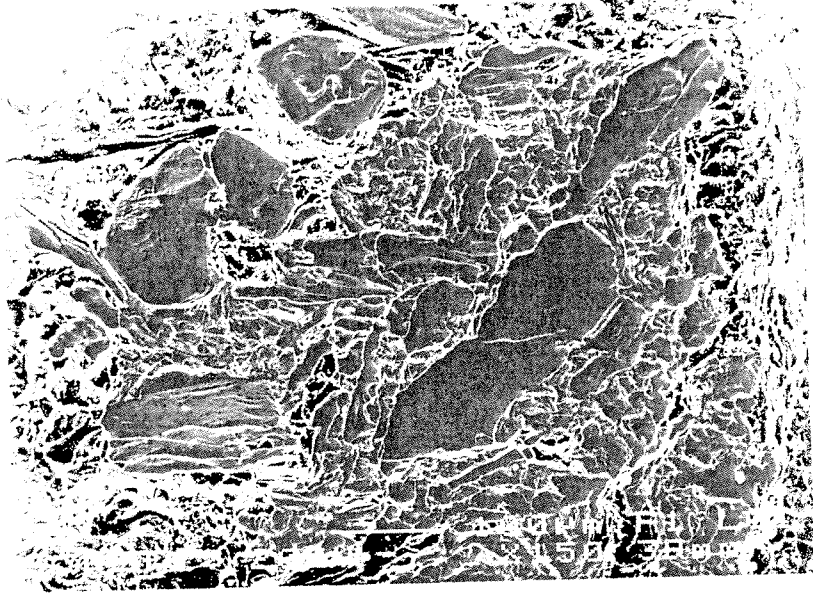
Şekil 3.21. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş A356-%6SiC'in çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyi ( x 1500). Parçacıklar arasındaki matriks lokal olarak sünek davranış göstermektedir.



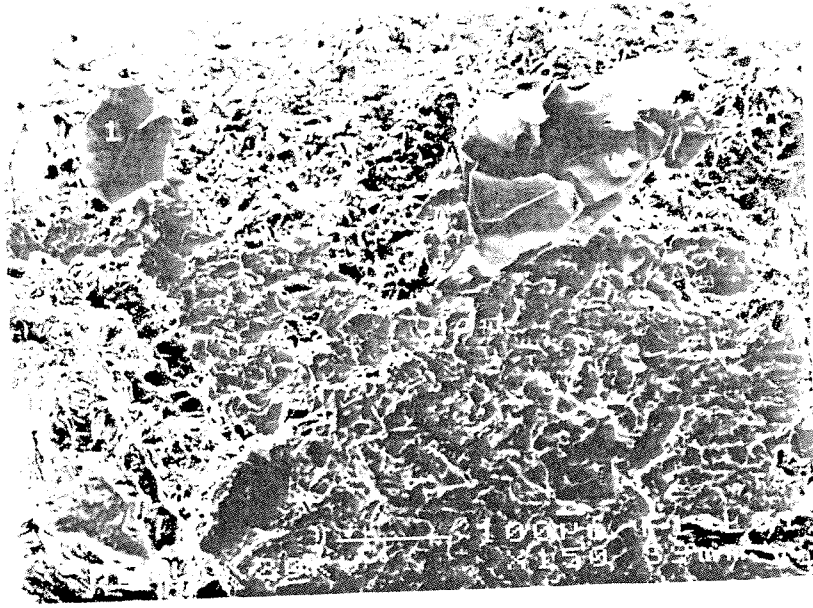
Şekil 3.22. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş A356-%15SiC'in çekme deneyi sonrası alınan kırılma yüzeyin görüntüsünde parçacıkların dağılımı ( x 65).



Şekil 3.23. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş A356-%15SiC'in çekme deneyi sonrası alınan kırılma yüzeyinin görüntüsü ( x 750).



Şekil 3.24. "In-situ" yöntemiyle üretilmiş Al-%4.5Cu-%1.5Ti-%0.3B alaşımının kırılma yüzeyi (x150).



Şekil 3.25. "In-situ" yöntemiyle üretilmiş Al-%4.5Cu-%8Ti alaşımının kırılma yüzeyi (x150). Burada numaralanmış parçacık, reaksiyona girmemiş grafitir.

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAMA

Bu çalışma ve varılan sonuçlar şöyle özetlenebilir:

1. İlk deneylerde yoğun olarak ıslatma problemi yaşanmıştır. Bunu aşmak için ilk etapta Mg miktarı A356'da olması gereken değer üzerine çıkarılmıştır. Daha sonra Mg miktarı A356'daki değere çekilebilmiştir. İncelenen tüm yüzeylerde parçacık-matriks arayüzeyinde ayrışma görülmemiştir.
2. Saf magnezyumun, parçacık ilavesinden hemen önce atılması, ıslatma için daha etkilidir.
3. Yapılan sıkıştırma presinin hızı ve uyguladığı basınç, döküm parçalarında gözenekleri yok edecek seviyededir.
4. Soğuma eğrileri-sıcaklık grafikleri metal kalıpta duraklamaksızın düşmektedir. Kum kalıpta ise, ötektik ve faz dönüşüm noktalarında duraklama görülmektedir.
5. A356-SiC kompozitlerinde aşınma direnci için literatürde en yüksek yüzde, 20 olarak verilmişse de bizim sonuçlarımızda bu limit 15 görülmüştür. Bu değer parçacık boyutuyla, aşındırma hızıyla, karşı malzemenin cinsine, uygulanan yüke bağlıdır. Ancak bu konuda daha fazla sayıda deney gereklidir.
6. Parçacık miktarının artmasıyla çekme dayanımı ve kopmaya kadar olan uzama düşmüştür. Bunun nedenlerinden birisi büyük boyulu karbürler kullanılmasıdır. Literatürden bilinen odur ki, takviye parçacıklarının boyutları, çekme dayanımının artırılması için küçük, aşınma direnci artırımı için büyük olmalıdır. Çekme özelliklerindeki düşüşe neden olan bir diğer etken, seramik parçacıkların yanısıra oluşan metallerarası bileşiklerin varlığı olabilir.

## KAYNAKÇA

1. P. Rohatgi, *Journal of Metals*, 10 (April 1991)
2. F. R. Mollard, *Journal of Metals*, 34 (1987)
3. B.C. Pai, S.G.K.Pillai, R.M.Pillai. K.G.Satyanarayana, *Solidification of Metal Matrix Composites*. Ed. P.Rohatgi, The Minerals, Metals & Materials Society, 191(1990)
4. A. Sato, R. Mehrabian, *Met. Trans.B*, 7B, 443 (1976)
5. D.M. Stefanescu, B. K. Dhindaw, S. A. Kacar, A. Moitra, *Met. Trans. A*, 19A, 2847 (1988)
6. A. Moitra, B.K. Dhindaw, D. M. Stefanescu, *Solidification of Metal Matrix Composites*, editör: P.Rohatgi, The Minerals, Metals & Materials Society, 91(1990)
7. F.J. Humphreys, *Pro. 9th Int. Sym. on Metallurgy and Materials Science*. Editörler: Anderson, Lillholt ve Pederson. Riso, Denmark, 51 (1988)
8. M. Manoharan, J.J.Lewandowski, *Mater. Sci. Eng.* 38, 89 (1990)

## BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU

1- Proje No: TÜBİTAK MİSAG 59

2- Rapor Tarihi: MART 1997

3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15.11.1994 - 15.11.1996

4- Projenin Adı: SiC, TiC ve TiB<sub>2</sub> Parçacıkları İle Kuvvetlendirilmiş Alüminyum Kompozitlerin Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi

5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar:

Doç. Dr. Filiz Sarıoğlu

Doç. Dr. Ali Kalkanlı

6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:

8- Öz (Abstract):

Bu çalışmada, SiC, TiC ve TiB<sub>2</sub> parçacıklar ile takviye edilmiş alüminyum esaslı kompozit malzemeler sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretildi. Bu yöntemle döküm parçadaki gözenekler yok edildi. Ayrıca hızlı katılma koşulları sağlanarak parçacık dağılımı iyileştirildi. Kompozitlerin döküm sonrası iç yapı ve mekanik özellikleri incelendi. İç yapı çalışmaları kompozit numunelerde ince çökeltilerin oluştuğunu gösterdi. Bunlar hızlı soğuma sırasında matriks ve takviye parçacıklar arasındaki farklı genleşme katsayıları nedeniyle oluşan yersizmeler (dislokasyon) üzerinde yerleşen metaller arası (intermetalliks) çökeltilerdi. Parçacık toplanması ve yer yer kümeleşme bölgeleri dövme işlemleri ile giderilemedi. Kompozitlerde gözlenen yüksek aşınma fakat düşük çekme özelliklerinden, seramik parçacıklarının yanı sıra metaller arası çökeltilerin varlığı sorumlu tutuldu.

Anahtar Kelimeler: Parçacık Takviyeli Metal Esaslı Kompozitler, Sıkıştırma Döküm

9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler

1. A. Şahin, F. Sarıoğlu, A. Kalkanlı, "Effect of Reinforcements on the Microstructure in Al 7075/TiC<sub>p</sub> Composite" *Materials Research Bulletin* (Yayınlanacak)
2. A. Şahin, F. Sarıoğlu, "Effect of Reinforcements on Precipitation Behaviour in Al 7075/TiC<sub>p</sub> Composite" *Scripta Metallurgica et Materialia* (Yayınlanacak)
3. F. Sarıoğlu, A. Kalkanlı, "Microstructural Characterisation of Squeeze Cast Al-TiC<sub>p</sub> Composite" *TÜBİTAK Turkish Journal of Medical Sciences* (Supplement 1995) 170.
4. A. Kalkanlı, F. Sarıoğlu, "Microstructural Assessment of Al-SiC<sub>p</sub> Composite Produced by Squeeze Casting" *TÜBİTAK Turkish Journal of Medical Sciences* (Supplement 1995) 168.

10- Bilim Dalı:

Doçentlik B. Dalı Kodu: 604.02.00

ISIC Kodu:

Uzmanlık Alanı Kodu: 604.02.07

11- Dağıtım (\*):  Sınırlı Sınırsız

12- Raporun Gizlilik Durumu :

 Gizli Gizli Değil

(\*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz