

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA
TANE KÜÇÜLTÜCÜLER**

1062 59

Metalurji Müh. Emrah ÇELEBİ

**FBE Metalurji Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

106259

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Prof. Dr. Mustafa Çiğdem

Prof. Dr. Nilson Sönmez

Prof. Dr. Aysegül Akdoğan

İSTANBUL, 2001

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. Al-Ti-B ALAŞIMLARININ TANE KÜÇÜLTÜCÜ ETKİSİ.....	5
2.1. Peritektik Ötesi Kompozisyonlarda Tane Küçültücü Mekanizma.....	5
2.2. Peritektik Öncesi Kompozisyonlarda Tane Küçültücü Mekanizma.....	5
2.2.1 Teori 1.....	5
2.2.1.1 Al ₃ Ti Parçacıkları.....	7
2.2.1.2 TiB ₂ Parçacıkları.....	8
2.2.2 Teori 2.....	9
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	14
4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	17
5. SONUÇLAR.....	30
KAYNAKLAR.....	32
ÖZGEÇMİŞ	33

SİMGE LİSTESİ

σ_0	Akma gerilimi
σ_I	Sürtünme gerilimi: kristal kafesin dislokasyon hareketine direnci
K	Kilitleme parametresi: tane sınırlarının sertleşmeye katkı parametresi
D	Tane çapı
M	liquidus eğrisinin gradyanı
C_0	Alaşım elementinin sıvıdaki ilk kompozisyonu
k	Bölünme katsayısı
ΔG	Serbest enerji değişimi
r	tane yarıçapı
r_{kritik}	kritik tane yarıçapı
σ	Yeni tanenin yüzeyini koruması için gerekli serbest enerji
Δg_v	Sıvı fazdan katı faza geçiş dolayısıyla gerçekleşen serbest enerji değişimi

KISALTMA LİSTESİ

EAA European Aluminium Association



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Al tüketiminin 20 yıldaki değişimi 1
Şekil 1.2	Avrupa ülkelerinde Al tüketimi 1
Şekil 1.3	Çekirdek çapına bağlı serbest enerji değişimi 3
Şekil 2.1	Gaz enjeksiyon tekniği 6
Şekil 2.2	Ti alaşımı içermeyen sıvı metalde TiB_2 6
Şekil 2.3	Ti alaşımı içeren sıvı metalde TiB_2 6
Şekil 2.4	TiB_2 yüzeyinde oluşan Al_3Ti tabakası 7
Şekil 2.5	Sıvı alüminyumda, Al_3Ti parçacık morfolojileri: 8
Şekil 2.6	Sonraki oluşumlarda korunmuş tane küçültücü alaşımlardaki TiB_2 parçacıklarının morfolojisi 8
Şekil 2.7	TiB_2 parçacıklarının Al_3Ti 'in korunmasını sağlamasının olası mekanizmaları ve şematik gösterimi 9
Şekil 2.8	% 1 hac. TiB_2 eklenmiş saf alüminyumun tane yapısını gösteren optik mikrograf 11
Şekil 2.9	Cu, Si'nin TiB_2 eklenmiş saf alüminyumun tane yapısına etkisi 11
Şekil 2.10	TiB_2 eklenmemiş % 3,0 ve % 1,5 Cu alaşımlı alüminyumun mikroyapısı 12
Şekil 2.11	TiB_2 eklenmemiş, % 0,1 Ti alaşımlı alüminyumun mikroyapısı 12
Şekil 2.12	TiB_2 parçacıklı % 0,01 ve 0,025 Ti alaşımlı alüminyumun mikroyapısı 12
Şekil 3.1	Döküm şekil ve ebatı 14
Şekil 4.1	Döküm No: 1 Stereomikroskop fotoğrafı 17
Şekil 4.2	Döküm No: 3 Stereomikroskop fotoğrafı 17
Şekil 4.3	Döküm No: 4 Stereomikroskop fotoğrafı 18
Şekil 4.4	Döküm No: 5 Stereomikroskop fotoğrafı 18
Şekil 4.5	Döküm No: 7 Stereomikroskop fotoğrafı 19
Şekil 4.6	Döküm No: 8 Stereomikroskop fotoğrafı 19
Şekil 4.7	Döküm No: 9 Stereomikroskop fotoğrafı 20
Şekil 4.8	Döküm No: 10 Stereomikroskop fotoğrafı 20
Şekil 4.9	Döküm No: 11 Stereomikroskop fotoğrafı 21
Şekil 4.10	Döküm No: 12 Stereomikroskop fotoğrafı 21
Şekil 4.11	Döküm No: 1, 3, 4, 5 Stereomikroskop fotoğrafları 22
Şekil 4.12	Döküm No: 1, 7, 8, 9 Stereomikroskop fotoğrafları 22
Şekil 4.13	Döküm No: 1, 3, 4, 5 Stereomikroskop fotoğrafları 23
Şekil 4.14	Döküm No: 1 50 büyütme mikrografı 23
Şekil 4.15	Döküm No: 3 50 büyütme mikrografı 24
Şekil 4.16	Döküm No: 7 50 büyütme mikrografı 24
Şekil 4.17	Döküm No: 10 50 büyütme mikrografı 25
Şekil 4.18	Döküm No: 8 50 büyütme mikrografı 25

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 4.19 Döküm No: 11 50 büyütme mikrografi.....	26
Şekil 4.20 Döküm No: 5 50 büyütme mikrografi.....	26
Şekil 4.21 Döküm No: 9 50 büyütme mikrografi.....	27
Şekil 4.22 Döküm No: 12 50 büyütme mikrografi.....	27



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 TiB ₂ 'in Al-Cu, Al-Si, Al-Ti alaşımlarının tane yapısına etkisi...	10
Çizelge 2.2 Cu, Ti ve Si için büyüme engelleme faktörü, eşeksenli yapıya geçme için gerekli minimum alaşım oranları.....	13
Çizelge 3.1 Döküm deneme numaraları ve her bir döküm için kullanılan tane küçültücü tipi ve miktarı.....	15
Çizelge 3.2 Döküm deneme numaraları ve kimyasal kompozisyonları.....	16
Çizelge 4.1 Döküm deneme numaraları ve tane boyutları.....	28
Çizelge 4.2 Hadde aralığı ve giriş-çıkış kalınlıkları.....	29
Çizelge 4.3 Döküm deneme numaraları ve mukavemet değerleri.....	30

ÖNSÖZ

Gelecekte iş hayatımdaki başarımın temelini oluşturacak olan bu çalışmada desteklerinden dolayı Prof. Dr. Mustafa Çiğdem'e, tüm Assan Alüminyum çalışanlarına ve aileme teşekkür ederim.



ÖZET

Alüminyum yerkürede en çok bulunan üçüncü elementdir. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren, özellikle hafif ve yüksek mukavemetli malzemelere ihtiyacın artması ile beraber, alüminyum kullanımı yaygınlaşmıştır. Alüminyum kullanımının artışı, mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için yapılan çalışmaları da beraberinde getirmiştir. Bu çalışmalardan özellikle düşük alaşımlı alüminyum üzerine yapılmış olanlar, tane küçültücüler üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan araştırmalar Al-Ti-B ve Al-Ti-C gibi tane küçültücülerin endüstriyel kullanımını sağlamıştır. Endüstriyel üretimlerde bu tane küçültücüler yoğun bir şekilde kullanılmasına rağmen, etkileri ve işleyiş mekanizmaları hala tam anlaşılabilmiş değildir.

Bu çalışmanın amacı, alüminyum alaşımlarında kullanılan tane küçültücülerin işleyiş mekanizmalarının ve etkinliklerinin araştırılmasıdır. Ayrıca Al-Ti-B (5-1), Al-Ti-B (5-0,2) ve Al-Ti-C gibi tane küçültücülerin etkinliğinin ölçülebilmesi için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, tane küçültücüler, Al-Ti-B, Al-Ti-C

ABSTRACT

Aluminum, the third most abundant element on earth, began to be widely used in the second half of the 20th century due to the needs of light, high-strength materials. This wide usage of aluminum brought the need of further improvement of both mechanical and physical properties of aluminum. From those researches, especially the ones dealing with low alloy aluminum, were concentrated on the grain refinement. The result of those lead to grain refiners, such as Al-Ti-B and Al-Ti-C, and began to be used in industrial production. Even though those grain refiners are used in industrial production, the mechanism and optimal effectiveness of them remains unclear.

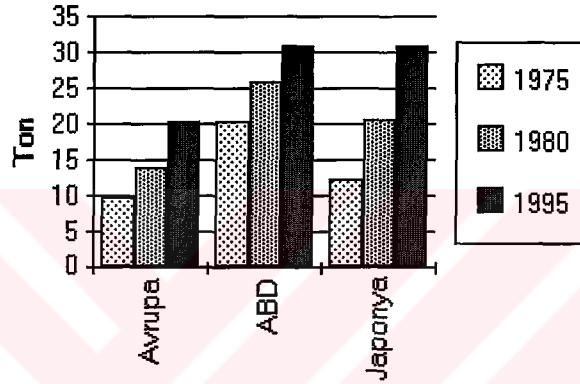
The aim of this study is to investigate the mechanism and effects of grain refiners used in aluminum alloys. Also some experiment are carried out in order to calculate effectiveness of industrial grain refiners such as Al-Ti-B (5-1), Al-Ti-B (5-0,2) and Al-Ti-C in order to measure influence of grain size in mechanical properties.

Keywords: Aluminium, grain refiners, Al-Ti-B, Al-Ti-C

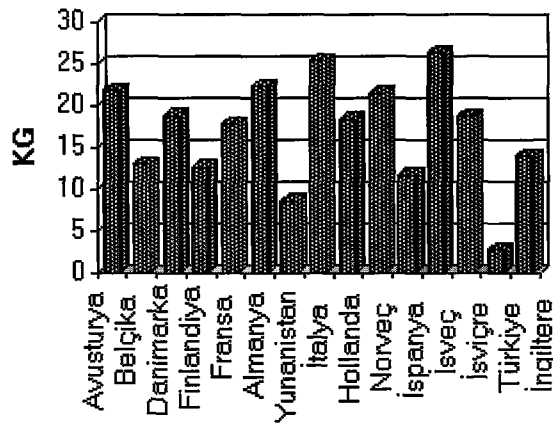


1. GİRİŞ

Alüminyum dünyamızda en bol bulunan (%7,9) üçüncü elementdir. Özellikle 20. Yüzyılın 2. yarısında yaşanan teknolojik gelişmeler doğrultusunda, endüstride hafif ancak yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyaç artmıştır. Bu ihtiyacın karşılanmasında alüminyum önemli bir yer almış ve bu dönemde tüm dünyada alüminyum tüketimi yaklaşık 2 kat artmıştır (Şekil 1.1, 1.2). Günümüzde ise birincil alüminyum kullanımı Batı Avrupa için yaklaşık 17 milyon tonlara ulaşmıştır. Avrupa endüstrisi her sene yaklaşık 3 milyon ton haddelenmiş alüminyum, 0.5 milyon ton alüminyum folyo kullanmaktadır.



Şekil 1.1 Al tüketiminin 20 yıldaki değişimi (EAA, 2000)



Şekil 1.2 Avrupa ülkelerinde Al tüketimi (EAA, 2000)

Alüminyum kullanımının bu derecede artması, alüminyumun mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirici araştırma çalışmalarını da beraberinde getirmiştir. Malzemelerin mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen faktörlerden birisi de tane boyutudur. Bu yüzden bu çalışmaların bir kısmı alüminyum alaşımlarında tane boyutu üzerine yoğunlaşmıştır. Tane boyutu ile mekanik özellikler arasındaki ilişki Hall ve Petch tarafından:

$$\sigma_0 = \sigma_I + k D^{-1/2} \quad (1.1)$$

olarak gösterilmiştir (Dieter, 1988).

Bu çalışmada endüstride alüminyum alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılan Al-Ti-B ve Al-Ti-C alaşımlarının çalışma prensipleri ve etkinliklerinden bahsedilecektir.

Alüminyum döküm yapısındaki tane boyutu, alaşıma ve döküm yöntemine bağlı olarak değişir. Alaşım miktarı ve katılaşma yani döküm hızı arttıkça döküm tane yapısı incelmektedir.

Sürekli döküm teknolojileriyle dökülen alaşımlar, geleneksel döküm alaşımlarına kıyasla saf (%Al>98) oldukları için alaşımın tane küçülmesine etkisi oldukça azdır. Ancak sürekli döküm teknolojisiyle yapılan dökümlerde gerçekleşen katılaşma hızları geleneksel dökümlerde gerçekleşen katılaşma hızlarından çok daha yüksek olduğundan, tane boyutuna alaşımın etkisi az bile olsa, sürekli döküm teknolojisiyle üretilen dökme levhalarda tane yapısı oldukça incedir. Bununla birlikte ince taneli yapı alüminyumun hem mekanik hem de fiziksel özelliklerini olumlu şekilde etkilediğinden alüminyum levha dökümünde istisnasız olarak aşılama yöntemi ile tane küçültme uygulanır.

Tane küçültme için genellikle Al-Ti-B ve Al-Ti-C alaşımlarından yararlanır. Genellikle çubuk şeklinde temin edilen bu alaşımlar döküme sevk edilen sıvı alüminyuma transfer sistemi üzerinde, döküm alaşımı ve döküm hızına bağlı olan bir hızda uygun noktadan ilave edilir.

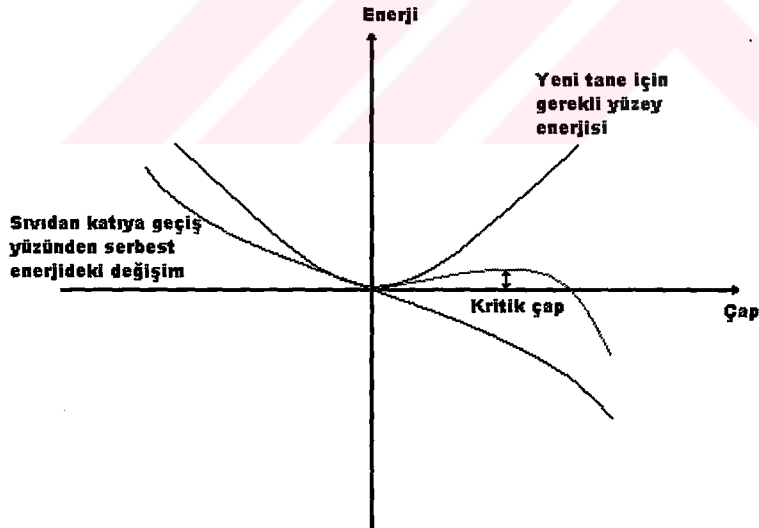
Tane küçültücülerin işleyiş mekanizmasının anlaşılabilmesi için önce katılaşmada çekirdeklenme mekanizmasının tam olarak anlaşılması gereklidir. Çekirdeklenme, homojen ve heterojen çekirdeklenme olarak farklı iki şekilde gerçekleşir.

Bunlardan ilki olan homojen çekirdeklenmeyi anlayabilmek için sonsuz büyüklükte potansiyel olduğu ve katılaşacak metalin katışıkları bakımından saf olduğu düşünülmelidir. Bu bağlamda

çekirdeklenmenin gerçekleşebilmesi için, çekirdekleşme sonrası serbest enerjinin çekirdekleşme öncesine göre azalması gereklidir. Çünkü doğada tüm malzemeler serbest enerjilerini azaltacak yönde hareket ederler. Çekirdeklenme sonrası eğer serbest enerji azalmıyorsa çekirdeklenme gerçekleşmeyecektir. Çekirdeklenme esnasındaki serbest enerji değişimini tespit etmek için çekirdeklenme ile oluşacak yeni tanenin yüzeyini korumak için gerekli serbest enerji miktarı ve oluşacak tanenin sıvıdan katıya geçmesiyle açığa çıkacak serbest enerji miktarı hesaplanmalıdır. Bu bağlamda çekirdeklenme esnasındaki serbest enerji değişimi şu şekilde bir denklem oluşturulabilir:

$$\Delta G = (4 \times \Pi \times r^2 \times \sigma) - (4/3 \times \Pi \times r^3 \times \Delta g_v) \quad (1.2)$$

Denklemin sağındaki ilk parantezde yeni tanenin yüzeyini korumak için gerekli enerji miktarı, ikinci parantezde ise oluşacak tanenin sıvıdan katıya geçmesiyle açığa çıkacak serbest enerji miktarı hesaplanmaktadır. Yukarıdaki denkleme bağlı kalarak, çekirdek çapına bağlı olarak serbest enerji değişimi çizilirse şekil 1.3'teki grafik elde edilir.



Şekil 1.3 Değişen çekirdek çapına göre serbest enerji değişimi

Grafikten de anlaşılabileceği gibi çekirdeklenme esnasında kritik çapa ulaşamayan taneler, serbest enerjilerini arttırmış olur. Ancak doğadaki tüm malzemeler serbest enerjisini azaltmaya çalışacağı için bu taneler ufalarak yok olacaktır. Kritik çap ise denklem 1.2 deki

serbest enerjinin sıfır olduğu durumdaki çaptır. Bu bağlamda bu denklemin kökü, kritik çapı verecektir.

$$r_{\text{kritik}} = (2 \times \sigma) / \Delta g_v \quad (1.3)$$

Katılaşmada çekirdeklenme tiplerinden diğeri olan heterojen çekirdeklenme de ise, potanın duvarları olduğu ve katılaşacak metalin içinde katışıklar olduğu düşünölmelidir. Bu durumda kafes türü ve parametresi katılaşacak olan metal ile aynı olan katışıklar, çekirdek görevi yaparlar. Bu sayede yeni tane için yüzeyini korumak için gereken serbest enerji ortadan kalktığı için, katılaşma esnasındaki serbest enerji değişimi sadece sıvı ile katı arasındaki hacimsel serbest enerji değişiminden ibaret hale gelecektir. Sıvıdan katıya geçişte serbest enerji azalacağı için çekirdeklenme her koşulda gerçekleşecektir. Oluşan hiçbir tane ufalıp kaybolmayacaktır.

Tane küçöltöcölerin mantığında heterojen çekirdeklenme yatmaktadır. Katılaşacak olan metalde heterojen çekirdeklenmeyi sağlayacak aynı kafes yapısı ve parametresine sahip katışıklara tane küçöltöcöler denir.

2. AL-Tİ-B ALAŞIMLARININ TANE KÜÇÜLTÜCÜ ETKİSİ

Al-Ti-B alaşımlarının tane küçültücü etkisinin arkasındaki mekanizma tam olarak bilinmemesine karşın, genel anlamda sıvı alüminyumda tane küçültücünün çözünmesi ile metalin içine, aktif oldukları zaman soğuma esnasında çekirdeklenme mevki olacak olan birçok metaller arası taneler verilmiş olmasıdır. Peritektik ötesi ($> a_0,15$) Ti miktarlarında oluşan mekanizma hakkında görüş birliği olmasına karşın, peritektik öncesi ($< a_0,15$) Ti miktarlarında oluşan mekanizma hakkında iki farklı teori bulunmaktadır. Tane küçültücülerin etkisinin arkasındaki mekanizmanın tam olarak bilinmemesi de bundan kaynaklanmaktadır. Teoriler arasındaki farklılık ise, çekirdeklenmeye yol açan tanelerin her bir teori için farklı olarak kabul edilmesidir.

2.1 Peritektik Ötesi Kompozisyonlarda Tane Küçültücü Mekanizma

Peritektik ötesi Ti miktarlarında Al_3Ti parçacıkları çevresindeki peritektik reaksiyonun alüminyumda çekirdeklenmeyi kolaylaştırdığı herkez tarafından kabul edilmektedir [3]. Yapılan çalışmalarda peritektik ötesi kompozisyonlarda $\alpha-Al$ tanelerinin merkezinde Al_3Ti bulunmasıyla kabul doğrulanmıştır. Bu mekanizmada boronun etkisinin $a_0,15$ olan peritektik kompozisyonunun boron ilavesiyle alüminyum tarafına kayarak Al_3Ti 'nin daha düşük Ti miktarlarında bile termodinamik olarak kararlı hale gelmesi olduğu düşünülmektedir.

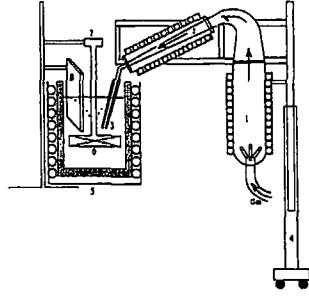
2.2 Peritektik Öncesi Kompozisyonlarda Tane Küçültücü Mekanizma

Yukarıda bahsedildiği gibi Al-Ti-B alaşımlarının peritektik öncesi kompozisyonlarda tane küçültücü olarak çalışma mekanizması hakkında iki farklı teori vardır. Bu teorilerden birincisi (teori 1) TiB_2 tanelerinin $\alpha-Al$ için çekirdeklenme oluşturmadığını ve çekirdeklenmenin TiB_2 tanelerini saran ince Al_3Ti tabakası tarafından gerçekleştirildiğini kabul eder. İkinci teori (teori 2) ise çekirdeklenmenin TiB_2 tanelerini saran ince Al_3Ti tabakası tarafından değil, büyüme engelleme faktörünü arttıran TiB_2 tarafından gerçekleştirildiğini kabul eder. Her iki teoride farklı uzmanlardan destek bulmuş ancak tam doğrululuğu ispat edilememiştir.

2.2.1 Teori 1

Tane küçültücüler ile sağlanan çekirdeklenmenin TiB_2 taneleri saran ince Al_3Ti tabakası tarafından gerçekleştirildiğini kabul eden P.S. Mohanty ve J. E. Gruzleski (Mohanty, 1995) teoriyi ispatlayabilmek için bazı deneyler gerçekleştirmiştir. Bu deneylerde sıvı alüminyuma

gas enjeksiyon tekniğiyle TiB_2 vermiştir. Deneylerde kullanılan gaz enjeksiyon tekniğinde, belirli ölçüde getirilmiş TiB_2 parçacıkları asal gaz ortamında ısıtılmış ve daha sonra asal gazla akışkanlaştırılarak sıvı metale üflenmiştir. Bir karıştırıcı sayesinde, üflenerek gönderilen TiB_2 parçacıklarının sıvı içinde düzgün olarak dağılması sağlanmıştır (Şekil 2.1).

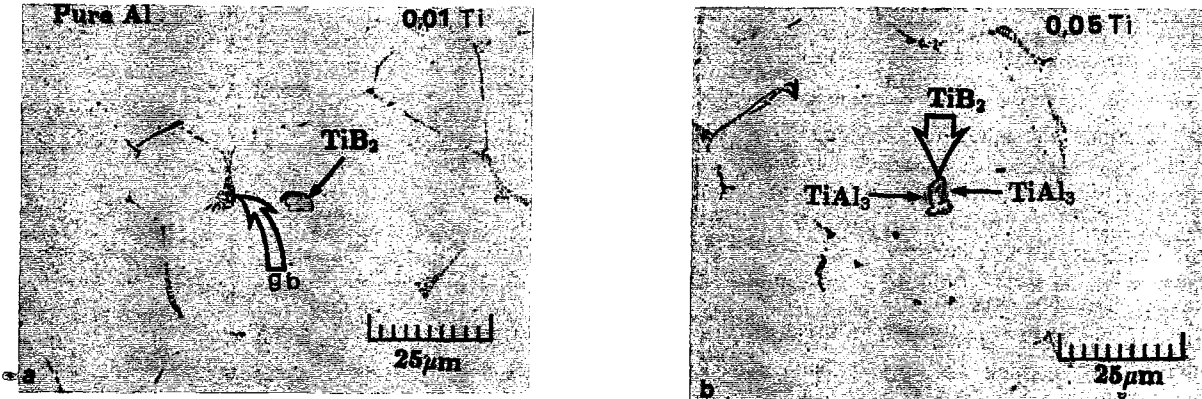


Şekil 2.1 Gaz enjeksiyon tekniği 1. Akışkanlaştırıcı, 2. Taşıyıcı tüp, 3. Ağzık, 4. Ayaklık, 5. Ergitme ünitesi, 6. Pervane, 7. Motor (Mohanty, 1995)

Deneyler sonucunda P.S. Mohanty ve J. E. Gruzleski, sıvı metalde çözünmüş Ti olmadığı zaman TiB_2 tanelerinin α -Al için çekirdeklenme oluşturmadığı (Şekil 2.2) ancak çözünmüş Ti miktarı %0,01 kadar az bile olsa TiB_2 tanelerinin α -Al için çekirdeklenme oluşturduğunu (Şekil 2.3) gözlemlemiştir.

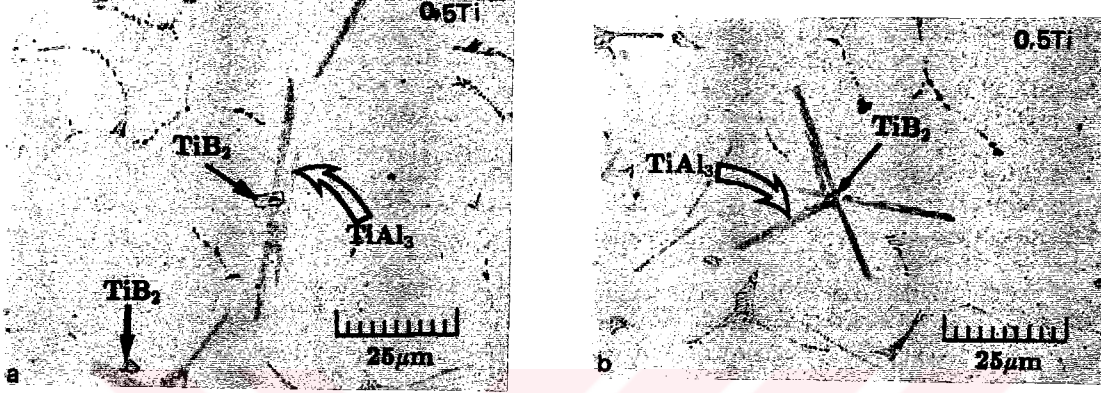


Şekil 2.2 Ti alaşımı içermeyen sıvı metalde TiB_2 a) tek parça b) parçacık kümesi (Mohanty, 1995)



Şekil 2.3 Ti alaşımı içeren sıvı metalde TiB_2 (Mohanty, 1995)

Bu gözlemler doğrultusunda TiB_2 tanelerinin tane küçültücü görevini sadece sıvı alüminyumda çözünmüş Ti bulunduğu zaman yaptığı sonucuna varılmıştır. P.S. Mohanty ve J. E. Gruzleski, Ti düzeyinin peritektik bileşim seviyesinden düşük olduğu durumlarda, Ti atomlarının TiB_2 tanelerine doğru yayıldığı ve yüzeyde ince Al_3Ti tabakası oluşturduğunu (Şekil 2.4) ve Al_3Ti tabakasının, peritektik tepkime mekanizması sayesinde, çekirdekleşmeyi canlandırdığını ifade etmiştir (Mohanty, 1995).



Şekil 2.4 TiB_2 yüzeyinde oluşan Al_3Ti tabakası a) tekli çekirdeklenme b) çoklu çekirdeklenme (Mohanty, 1995)

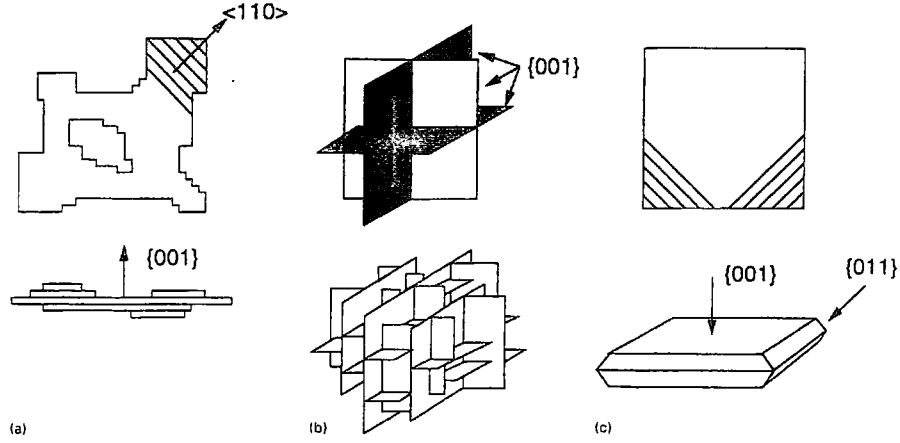
P.S. Mohanty ve J. E. Gruzleski'nin deneylerinde Al_3Ti parçacıklarının Ti'nin % 0.05' ten fazla olduğu sıvılarda TiB_2 tanelerinin yüzeylerinde büyüdüğü açıkça görülmüştür.

Tane küçültücülerin nasıl etkili olduğunun tam olarak anlaşılabilmesi için mikroyapıdaki parçacıkların detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

2.2.1.1 Al_3Ti Parçacıkları

Al_3Ti parçacıkları alaşımlarda ince, taç yaprağı ve blok şeklinde olmak üzere 3 değişik morfolojide bulunmaktadır (Şekil 2.5) (Schumacher, 1998). Bu parçacıklar potansiyel çekirdeklenme yüzeyleri $\{100\}$, $\{001\}$ ve blok parçacıklar için ek olarak $\{011\}$ dir. Parçacıkların morfolojisi proses koşullarına ve Ti içeriğine bağlıdır. Blok parçacıklar düşük üretim sıcaklıklarında, ince parçacıklar yüksek sıcaklıktan yavaş soğumalarda ve taç yaprağı parçacıkları ise yüksek sıcaklıktan hızlı soğumalarda oluşum eğilimi gösterirler. Ancak morfolojinin tane küçültücülerin etkinliği üzerine etkisi olduğuna dair bir kanıt bulunamamıştır. Al_3Ti parçacıkları, Al_3Ti ile sıvının peritektik tepkime aracılığı ile kuvvetli kimyasal tepkileşmesi sonucu α alüminyum oluşturduğu için, tane küçültülmesi olaylarında önemlidir. Ayrıca Al_3Ti ile alüminyum arasında belirli bir kafes uyuşması vardır. Ancak

Al_3Ti parçacıkları, Ti içeriği % 0,01 at.'den düşük olan sıvılar için kararlı bir yapıda değildir. Buna rağmen Al_3Ti parçacıkları yavaş olarak çözünse bile çekirdeklendirici olarak davranabilirler.



Şekil 2.5 Sıvı alüminyumda, Al_3Ti parçacık morfolojileri: her üç morfoloji için temel kristalografik yüzeyler a. ince; b. taç yaprağı; c. blok (Schumacher, 1998)

2.2.1.2 TiB_2 Parçacıkları

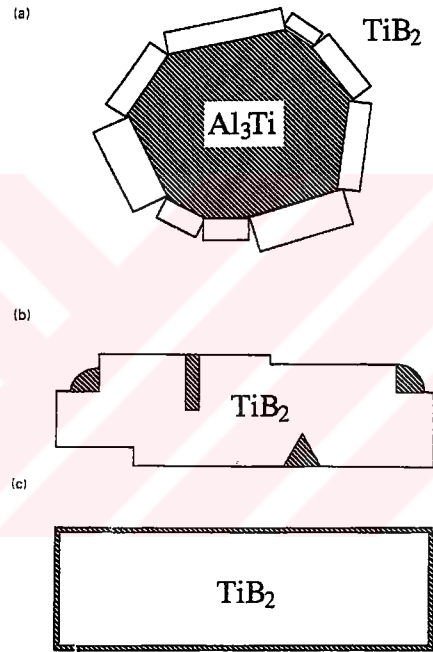
TiB_2 parçacıkları alaşımlarda, ana yüzeyleri $\{0001\}$ düzlemlerinde olmak üzere heksagonal plaka şeklindedir (Şekil 2.6) (Schumacher, 1998).



Şekil 2.6 Sonraki oluşumlarda korunmuş tane küçültücü alaşımlardaki TiB_2 parçacıklarının morfolojisi: a. heksagonal plaka şeklindeki taneciklerin şematik görünüşü, b. TiB_2 parçacıklarının TEM görüntüsü c. TiB_2 parçacıklarının $[0001]$ 'a dik TEM görüntüsü (Schumacher, 1998).

TiB₂ parçacıkları, Al₃Ti parçacıkları içerisinde izole edilmiş bir şekilde bulunabilmektedir. Parçacıkların kümelenme derecesi oldukça önemli bir noktadır; büyük topaklanmalar, son üründe problemlerin önlenmesi amacı ile, filtre edilip ayıklanmalıdır.

Tane küçültücüler hakkında yapılan birçok araştırma özetlendiğinde, tane küçültmenin Al₃Ti ve TiB₂'in beraber etkisinin sonucunda olduğu ortaya çıkmaktadır. TiB₂'in varlığında Ti'a doymuş saf sıvı alüminyumlarda bile Al₃Ti'in korunduğu gözlemlenmiştir. TiB₂'in Al₃Ti'in korunmasını nasıl sağladığı yönünde birçok yaklaşım vardır (Şekil 2.7) (Johnson, 1992). Bunlar: TiB₂ kabuğu içerisinde, TiB₂'de bulunan oyuklarda, TiB₂'in üzerinde dir.



Şekil 2.7 TiB₂ parçacıklarının Al₃Ti'ın korunmasını sağlamanın olası mekanizmaları ve şematik gösterimi; a) TiB₂ kabuğu içerisinde, b) TiB₂'de bulunan oyuklarda, c) TiB₂'in üzerinde (Johnson, 1992).

2.2.2 Teori 2

Tane küçültücüler ile sağlanan çekirdeklenmenin, büyümüyü engelleme faktörünü arttıran TiB₂'nin potansiyel çekirdeklenme noktası haline gelmesiyle olduğu teorisini savunan A. E. Karantzalis ve A. R. Kennedy'nin deneylerinde, metal matrisli kompozit üretim teknikleriyle üretilen 10µm çaplı TiB₂ parçacıkları sıvı alüminyuma aşılantıdır (Karantzalis, 1998). Bu çalışma esnasında TiB₂'in sıvıyla direk temasını sağlamak için sıvının yüzeyinden oksit tabakasını arındıracak fluxlar kullanılmıştır. Parçacıklar saf (%99,99) alüminyuma ve Al-Cu, Al-Si, Al-Ti gibi alaşımlara %1 hac. oranında verilmiştir (Çizelge 2.1). Fluxların kimyasal

analizinden, fluxların % 0,07'den az Ti, % 0,02'den az B ve K, F içerdiği anlaşılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda fluxların alüminyumun tane yapısına hiçbir etkisi olmadığı anlaşılmıştır.

Çizelge 2.1 TiB₂'in Al-Cu, Al-Si, Al-Ti alaşımlarının tane yapısına etkisi

Alaşım	% 1 hac. TiB ₂ 'lu	TiB ₂ 'sız
	Tane Yapısı	Tane Yapısı
Al-%0.5 Cu	Kolonsal	Kolonsal
Al-%1.5 Cu	Eş eksenli	Kolonsal
Al-%3.0 Cu	Eş eksenli	Kolonsal
Al-%0.2 Si	Kolonsal	Kolonsal
Al-%1.8 Si	Eş eksenli	Kolonsal
Al-%1.5 Si	Eş eksenli	Kolonsal
Al-%0.01 Ti	Kolonsal	Kolonsal
Al-%0.025 Ti	Eş eksenli	Kolonsal
Al-%0.05 Ti	Eş eksenli	Kolonsal
Al-%0.1 Ti	Eş eksenli	Kolonsal

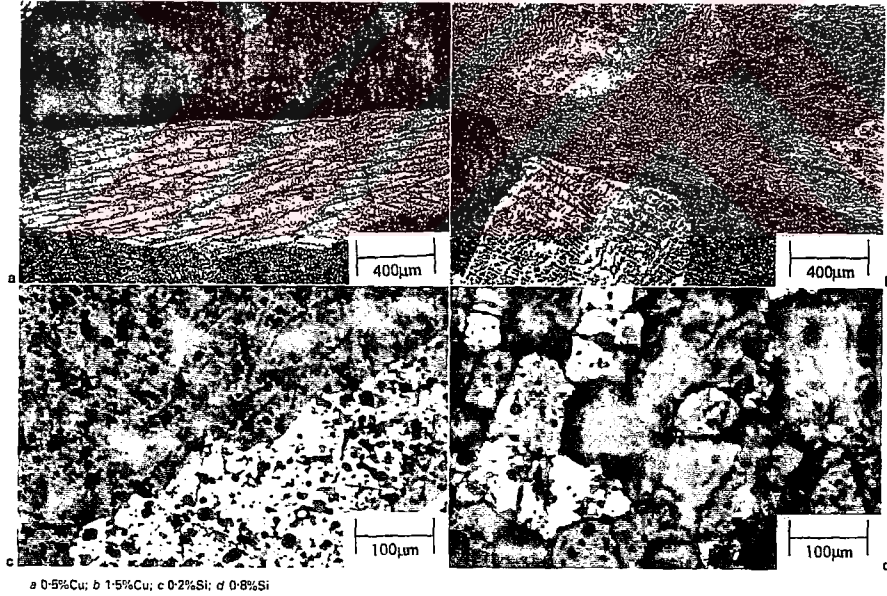
Tüm sıvılar, soğuma oranları kalıbın ucundan 85 mm içerde 60 K/s ile 0.5 K/s arasında değişen dökme demir kalıplara dökülmüşlerdir. Test örnekleri ise soğuma hızının yaklaşık 3 K/s olduğu bölgeden alınmıştır. Alınan örnekler parlatılmış ve tane büyüklüğünün tespiti için polarlaşmış ışık mikroskopunda incelenmiştir.

Eklenen % 1 hac. TiB₂'un saf alüminyum üzerinde testde uygulanan soğuma oranları aralığında (60 K/s – 0.5 K/s) hiçbir tane küçültücü etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 2.8'de 3 K/s soğuma oranına maruz kalmış bölgeden alınan saf alüminyumun mikro yapısı görülmektedir. Tane yapısı büyük ve uzamış ve TiB₂ parçacıkları soğuma cepheleri tarafından yutulmuş ve büyük metal tanelerinin içinde kalmışlardır.



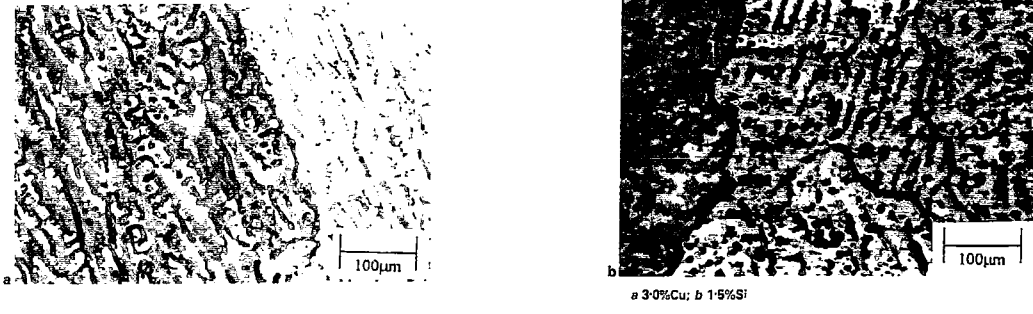
Şekil 2.8 % 1 hac. TiB_2 eklenmiş saf alüminyumun tane yapısını gösteren optik mikrograf (Karantzalis, 1998).

Çizelge 2.1’de % 1 hac. TiB_2 eklenmiş saf ve Al-Cu, Al-Ti, Al-Si alaşımlarının tane yapıları görülmektedir. Kolonsal yapıdan eş eksenli yapıya geçişin Al-Cu alaşımları için % 1,5 Cu’dan sonra olduğu gözlemlenmiştir. Cu miktarı artışıyla mikroyapıda gözlenen değişiklikler şekil 2.9a ve 2.9b’de görülmektedir. Aynı şekilde bir geçişin Al-Si alaşımları için % 0,8 Si miktarına ulaşıldığı zaman gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Si eklenmesiyle Al-Si alaşımlarında gözlenen tane yapısı değişiklikleri ise şekil 2.9c ve 2.9d’de görülmektedir.

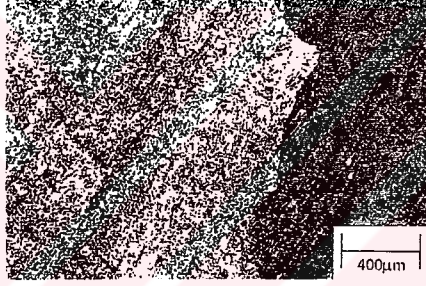


Şekil 2.9. Cu, Si’nin TiB_2 eklenmiş saf alüminyumun tane yapısına etkisi (Karantzalis, 1998).

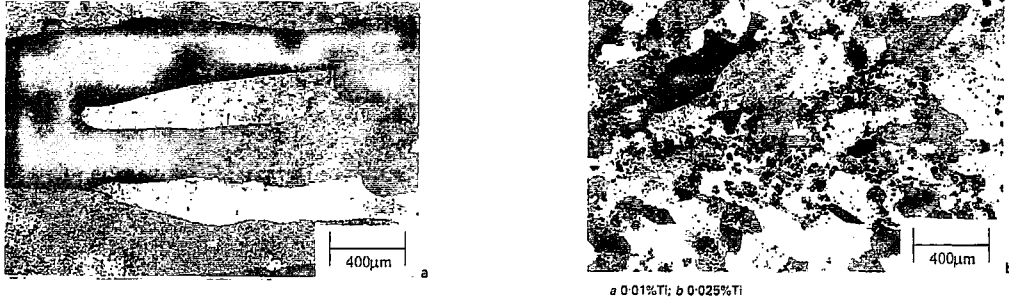
TiB_2 eklenmemiş, % 3,0 Cu (şekil 2.10a) ve % 1,5 Si (şekil 2.10b) alaşım elementli alüminyumun büyük taneli bir yapıda olduğu şekil 2.10’da görülmektedir. TiB_2 parçacıklarının bulunmadığı bütün alüminyum alaşımlarında (saf, Al-Cu, Al-Si, Al-Ti), tanelerin büyük yapıda olduğu gözlemlenmiştir (şekil 2.11). % 1 hac. TiB_2 eklenmiş Al-Ti alaşımında ise eş eksenli yapıya geçişin alaşımdaki Ti miktarının % 0,025 aştığında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu değişim şekil 2.12’de açıkça görülmektedir.



Şekil 2.10 TiB_2 eklenmemiş % 3,0 ve % 1,5 Cu alaşımlı alüminyumun mikroyapısı (Karantzalis, 1998).



Şekil 2.11 TiB_2 eklenmemiş, % 0,1 Ti alaşımlı alüminyumun mikroyapısı (Karantzalis, 1998).



Şekil 2.12 TiB_2 parçacıklı % 0,01 ve 0,025 Ti alaşımlı alüminyumun mikroyapısı (Karantzalis, 1998).

A. E. Karantzalis ve A. R. Kennedy yaptığı deneylerin sonucunda tane küçültücülerin etkin olabilmesi için yapıda bulunan alaşım elementlerinin (her alaşım elementi için farklı olmak üzere) bir miktarı aşması gerektiğini tespit etmişlerdir. Deneylerde kullanılan alaşım elementlerinden Cu için bu miktarın % 1,5'dan, Si için % 0,8'den, Ti için ise % 0,025'den fazla olması gerektiği anlaşılmıştır. A. E. Karantzalis ve A. R. Kennedy, Al-Si, Al-Cu, Al₃Ti ve Al-Ti sistemlerinde büyük Al₃Ti parçacıkları yokluğunda tane küçülmesi gözlemlenmesinin, TiB₂ tanelerinin çekirdeklenme oluşturduğunu ispat ettiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Ti bulunan yapılarda tane küçülmesinin Al₃Ti tabakasının peritektik tepkime girmesi sonucu değil, büyüme engelleme faktörünü arttıran ve aşırı soğumaya sebep olan TiB₂'nin potansiyel çekirdeklenme mevkii oluşturmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kafes büyüme hızı $mC_0(k-1)$ ile ters orantılıdır (Karantzalis, 1998, Johnson 1994). M liquidus eğrisinin gradyanını, C_0 alaşım elementinin sıvıdaki ilk kompozisyonu, k ise partition katsayısını göstermektedir. Cu, Ti ve Si için büyüme engelleme faktörü ve A. E. Karantzalis ve A. R. Kennedy deneylerinden elde edilen eş eksenli yapıya geçme için gerekli minimum alaşım oranları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Cu, Ti ve Si için büyüme engelleme faktörü, eş eksenli yapıya geçme için gerekli minimum alaşım oranları

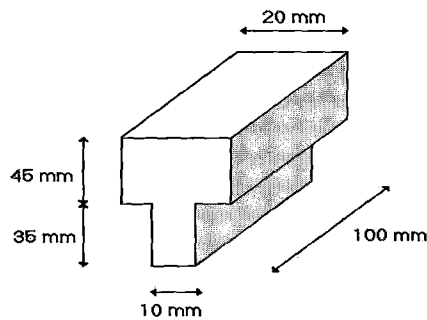
Alaşım	Büyüme engelleme faktörü	Min. Alaşım
Al-Cu	2,24	1,5
Al-Si	5,83	0,8
Al-Ti	210	0,025

Çizelge 2.2'den de anlaşılabacağı gibi, büyüme engelleme faktörü arttıkça eş eksenli yapıya geçiş için gereken alaşım miktarı azalmaktadır. A. E. Karantzalis ve A. R. Kennedy bu sonuçlardan yararlanarak TiB₂, Al₃Ti yokluğunda çekirdeklenme mevkii olabileceğini ortaya koymuşlardır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmada, günümüzde endüstrisinde ticari olarak kullanılan farklı bileşimde Al-Ti-B ve Al-Ti-C tane küçültücülerin etkinliğinin tespit edilmesi ve bu şekilde elde edilmiş farklı tane boyutlarına sahip malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan dökümlerde ergitilecek malzeme olarak 1 mm kalınlığında 30 x 100 mm ebatlarında 1050 alaşım alüminyum parçalar kullanılmıştır. İlk şarj olarak, 300 g ağırlığında malzeme 500 g lık potaya konarak, 750 °C'deki Herhause marka laboratuvar fırına yerleştirilmiştir. Kullanılan fırının sıcaklık toleransı 750 °C'de $\pm 2^\circ$ dir. 45 dakika fırında tutulan ilk şarj tamamen sıvı hale geldiğinde, 200 g'lık ikinci şarj içinde sıvı metal bulunan potaya yerleştirilerek fırına alınmıştır. 45 dakikalık zaman dilimi sonunda tamamen sıvı haldeki metal fırından çıkartılarak flakslama işlemi gerçekleştirilmiştir. Flakslamada 1.5 g $MnCl_2$, 1.0 g KF, 7.3 g KCl ve 0.2 g renklendirici karışımından oluşan 10 g flaks kullanılmıştır. Flaks hazırlanırken ± 0.001 g toleranslı laboratuvar terazisi kullanılmıştır. Fırından çıkan sıvı metalden bahsi geçen flaks ile muamele edilmiş ve toz halinde oluşan cüruf sıvı metalin yüzeyinden ayıklanmıştır. Bu aşamadan sonra, tane küçültücüsüz döküm yapılacak olan numune için pota hemen fırına alınmış, tane küçültücülü uygulamalar için ise daha önceden belirlenen miktarlarda 0.15 g'lık parçalardan oluşan tane küçültücü sıvı, metale katılmış ve homojen bir dağılım için sıvı bir çubuk yardımı ile 1 dakika boyunca karıştırılmıştır. Tane küçültücüsüz uygulamalarda direk fırına alınan, tane küçültücülü uygulamalarda ise tane küçültücü eklendikten sonra fırına alınan metal, 750 °C'lik 30 dakika boyunca fırında tutulmuştur. Burada amaç tüm dökümlerde döküm sıcaklığını sabit tutarak, farklı döküm sıcaklığının doğurabileceği tane büyüklüğü farklılığını ortadan kaldırmaktır. Son beklemenin ardından malzeme şekil 3.1'de görülen geometri ve ebatlarda döküm elde etmek üzere kalıba dökülmüştür.



Şekil 3.1 Döküm şekil ve ebatı

Farklı tane küçültücüler kullanılarak toplam 12 döküm denemesinden, 10 adet başarılı döküm numunesi hazırlanmıştır. 2 adet düşük döküm sıcaklığı sebebiyle başarılı olamamıştır. Döküm denemelerinin numaraları, kullanılan tane küçültücü tipi ve miktarı Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Döküm denemeleri numaraları ve her dökümde kullanılan tane küçültücü tipi ve miktarı

Döküm No	Tane Küçültücü Tip	Tane Küçültücü Miktarı (%)	Sonuç
1	-	0	Başarılı
2	Al-Ti-B (5-1)	0,1	Başarısız
3	Al-Ti-B (5-1)	0,1	Başarılı
4	Al-Ti-B (5-1)	0,2	Başarılı
5	Al-Ti-B (5-1)	0,4	Başarılı
6	Al-Ti-B (5-0.2)	0,1	Başarısız
7	Al-Ti-B (5-0.2)	0,1	Başarılı
8	Al-Ti-B (5-0.2)	0,2	Başarılı
9	Al-Ti-B (5-0.2)	0,4	Başarılı
10	Al-Ti-C	0,1	Başarılı
11	Al-Ti-C	0,2	Başarılı
12	Al-Ti-C	0,4	Başarılı

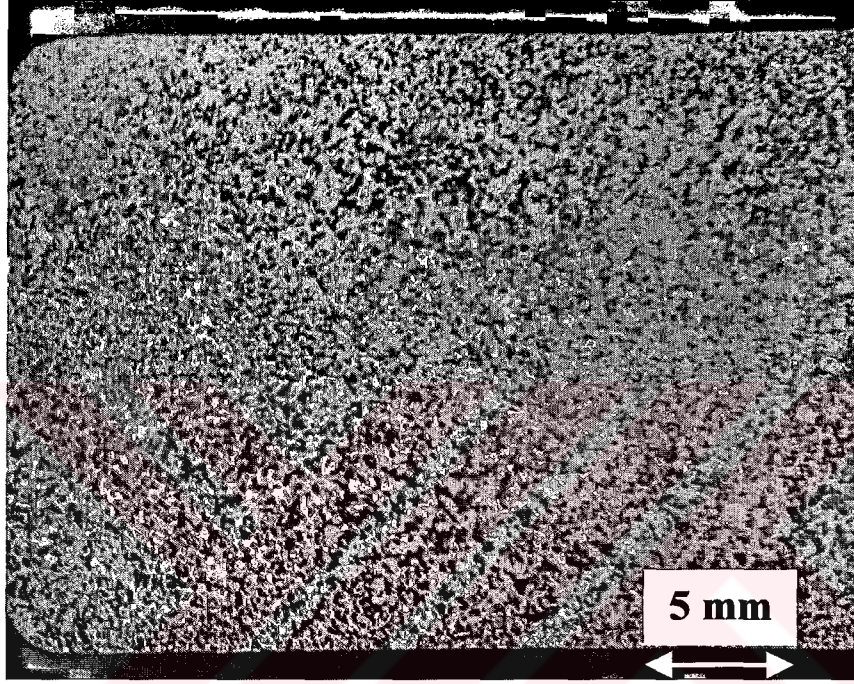
Elde edilen döküm numuneleri Assan laboratuvarında 3 parçaya kesilmiştir. Bu parçalardan ilkinin kimyasal kompozisyon tespiti, ikincisinin makro yapı incelemesi, sonuncusunun ise mekanik özelliklerin tespiti için kullanılması kararlaştırılmıştır. İlk olarak başarılı döküm numunelerinin aynı alaşımda olduğunu tespit etmek için Assan laboratuvarında spektrometre ile alaşım tespiti yapılmıştır. Çizelge 3.2’de 10 adet başarılı dökümün kimyasal kompozisyonları yer almaktadır. Kompozisyon tespiti sonucunda 10 adet başarılı döküm numunesinin tamamının 1050 alaşım sınırları içinde olduğu tespit edilmiştir. Alaşım tespiti sonrası, döküm numunelerinin ikinci parçası metalografik inceleme için hazırlanmıştır. Numunelere 500, 800, 1000 ve 2400 kumlu zımpara ile yüzey parlatması yapıldıktan sonra 0.5’lik HF acid çözeltisi ile dağlanma yapılmıştır. Assan laboratuvarında bulunan stereomikroskop ile numunelerin makro yapıları incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir.

Çizelge 3.2 Döküm denemeleri numaraları ve kimyasal kompozisyonları

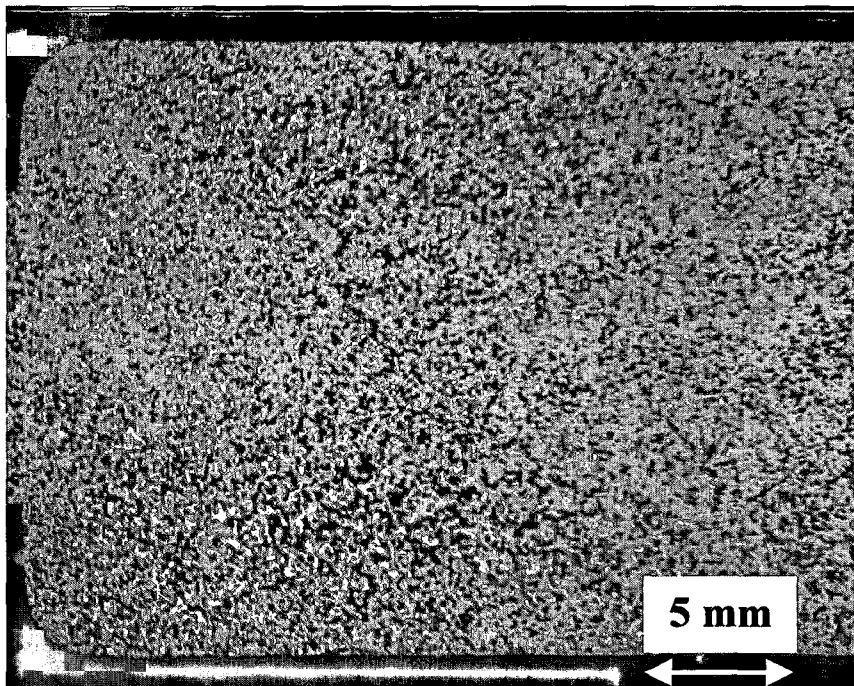
Döküm No	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ti	Al
1	0,073	0,264	0,001	0,003	0,007	0,029	99,60
3	0,072	0,262	0,001	0,003	0,009	0,029	99,60
4	0,075	0,265	0,001	0,003	0,005	0,031	99,60
5	0,070	0,260	0	0,003	0,006	0,027	99,60
7	0,072	0,261	0,001	0,002	0,006	0,030	99,60
8	0,074	0,261	0,001	0,003	0,006	0,030	99,60
9	0,076	0,266	0,001	0,002	0,007	0,028	99,60
10	0,073	0,268	0,001	0,002	0,007	0,028	99,60
11	0,072	0,263	0	0,002	0,007	0,029	99,60
12	0,074	0,263	0,001	0,001	0,007	0,029	99,60

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

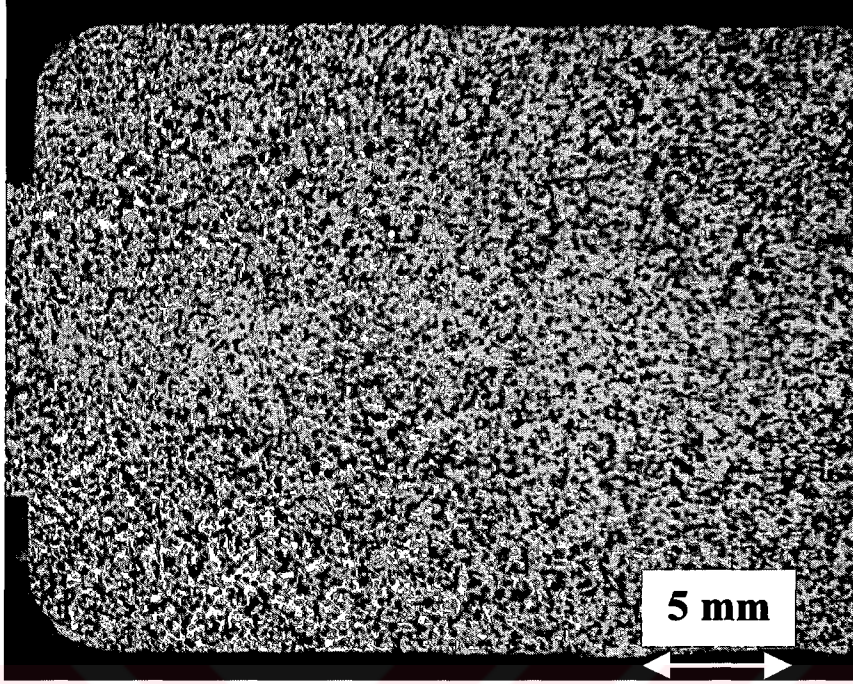
Hazırlanan 10 adet başarılı numunenin, Assan laboratuvarında bulunan stereomikroskop ile makro yapıları incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 4.1-4.13'de numenelerden alınan fotoğraflar görülmektedir.



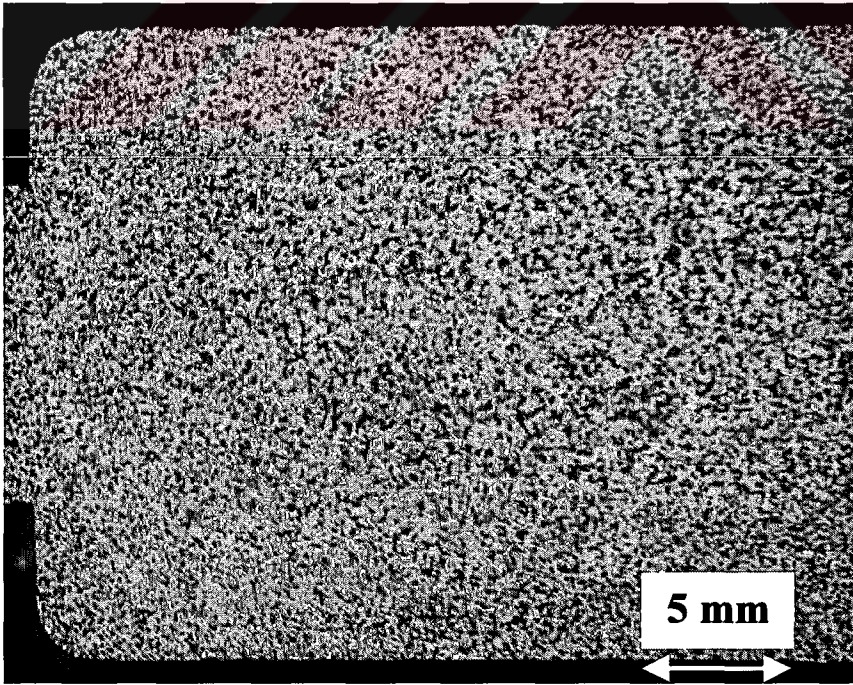
Şekil 4.1 Döküm no:1 Stereomikroskop fotoğrafı



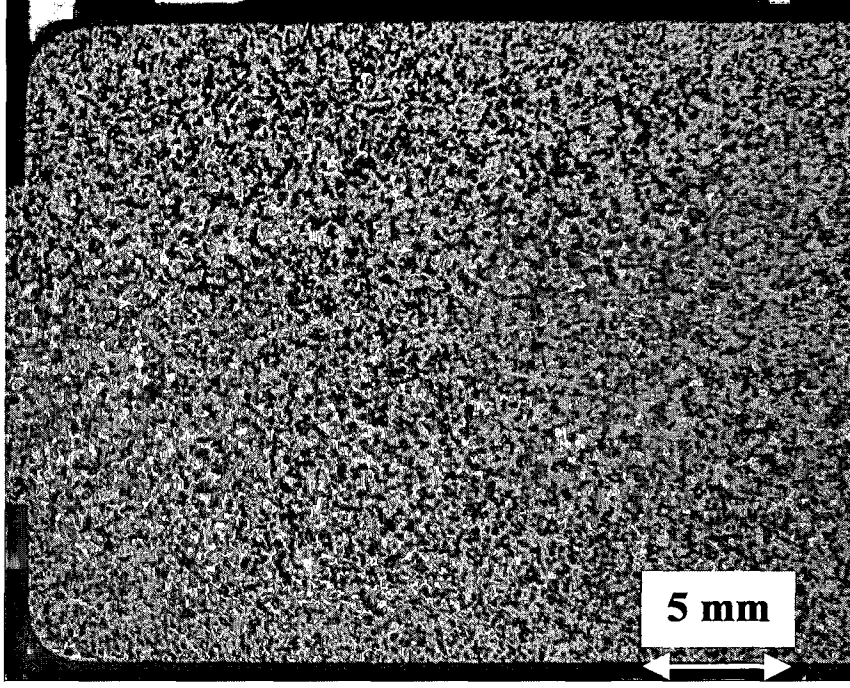
Şekil 4.2 Döküm no:3 Stereomikroskop fotoğrafı



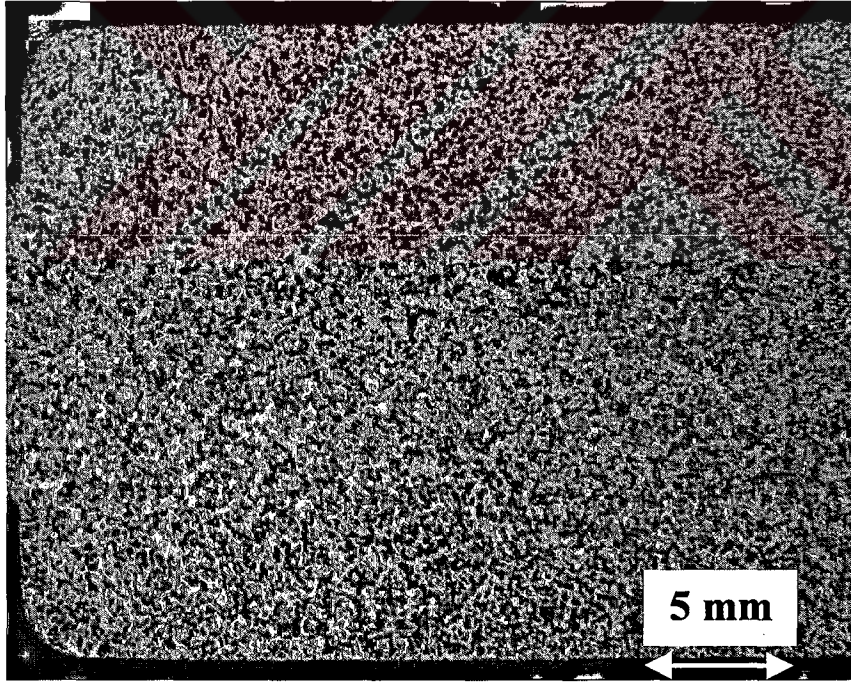
Şekil 4.3 Döküm no:4 Stereomikroskop fotoğrafı



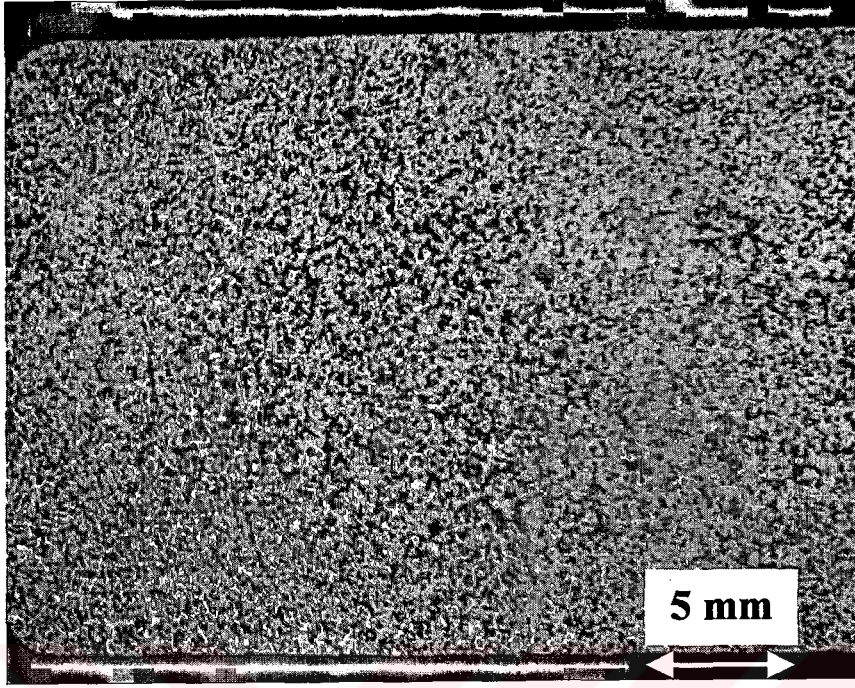
Şekil 4.4 Döküm no:5 Stereomikroskop fotoğrafı



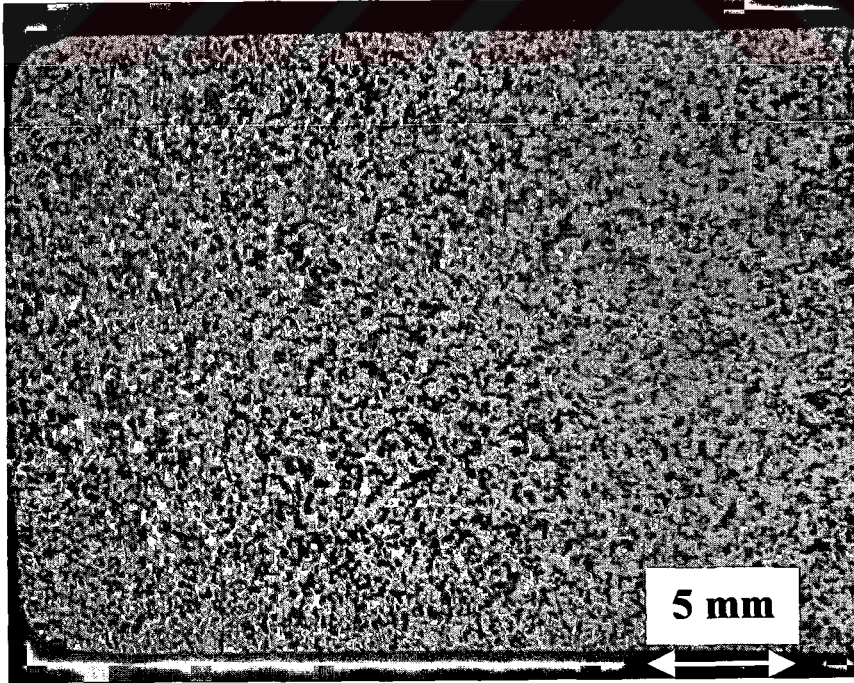
Şekil 4.5 Döküm no:7 Stereomikroskop fotoğrafı



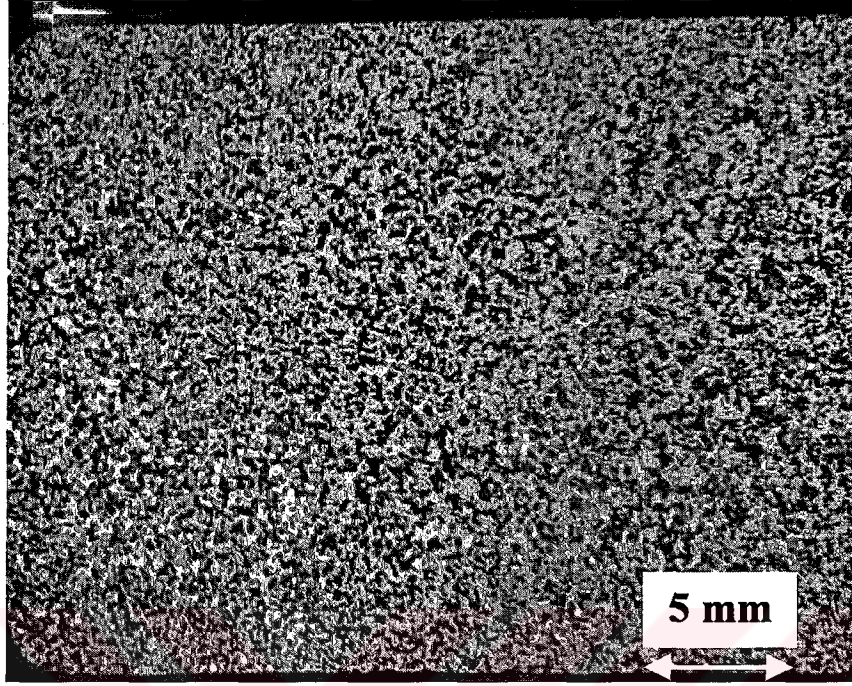
Şekil 4.6 Döküm no:8 Stereomikroskop fotoğrafı



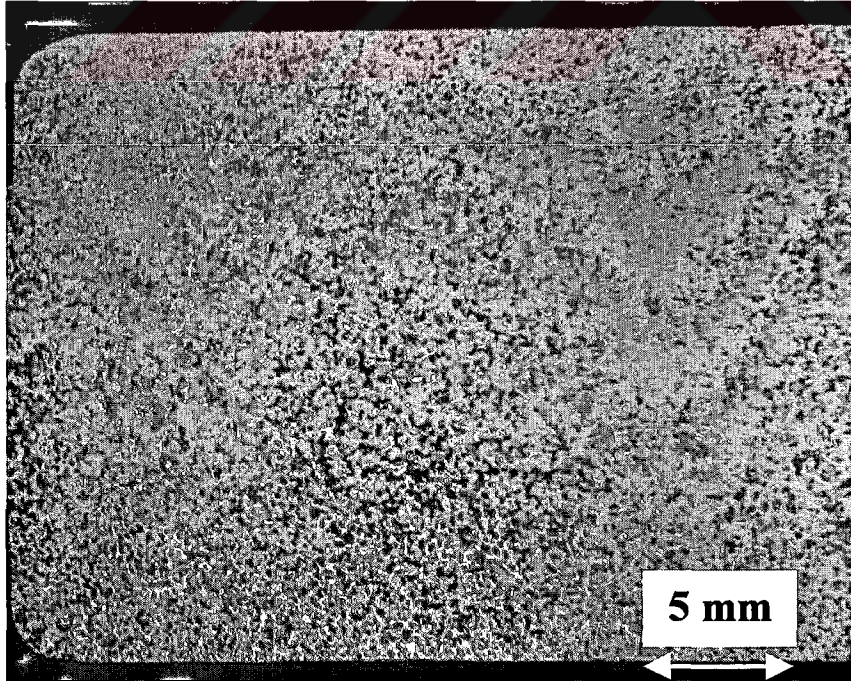
Şekil 4.7 Döküm no:9 Stereomikroskop fotoğrafı



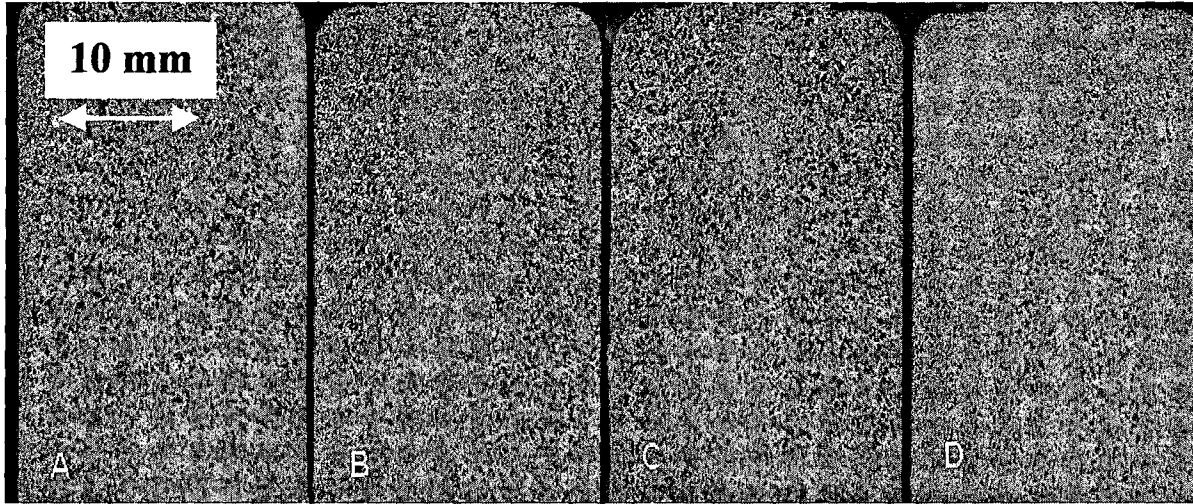
Şekil 4.8 Döküm no:10 Stereomikroskop fotoğrafı



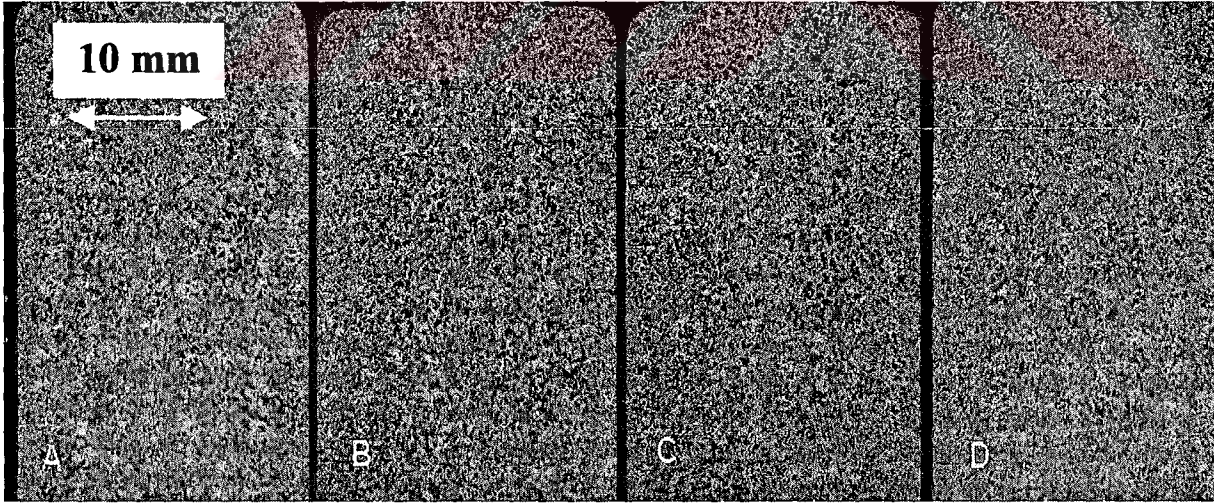
Şekil 4.9 Döküm no:11 Stereomikroskop fotoğrafı



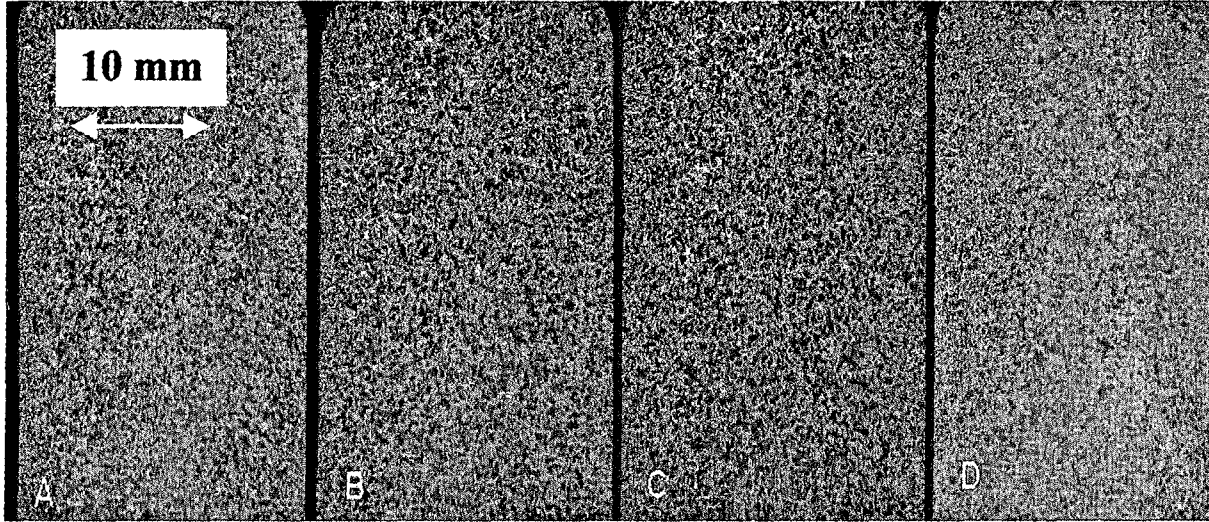
Şekil 4.10 Döküm no:12 Stereomikroskop fotoğrafı



Şekil 4.11 A) Döküm no 1, B) Döküm no 3, C) Döküm no 4, D) Döküm no 5 Stereomikroskop fotoğrafı

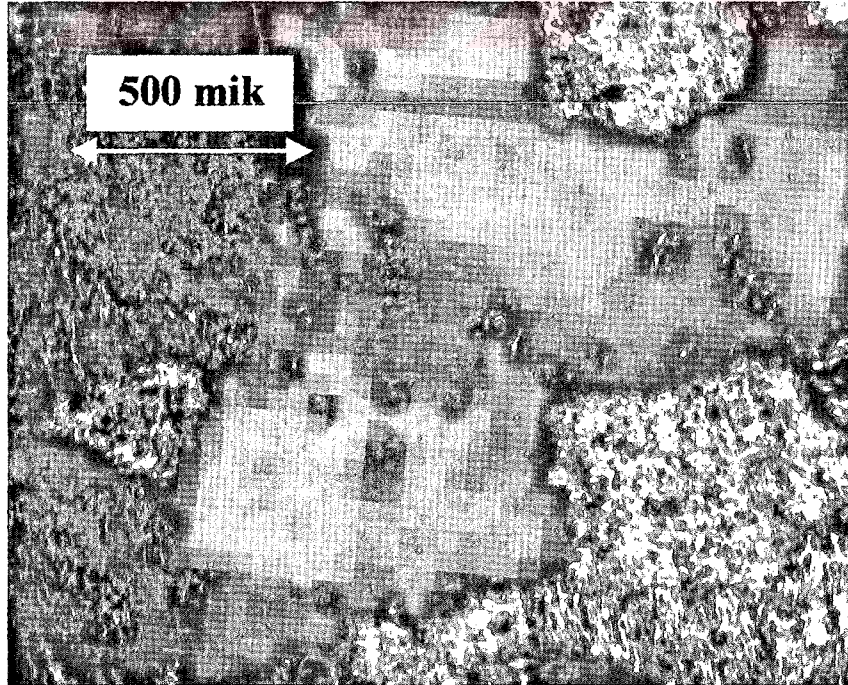


Şekil 4.12 A) Döküm no 1, B) Döküm no 7, C) Döküm no 8, D) Döküm no 9 Stereomikroskop fotoğrafı

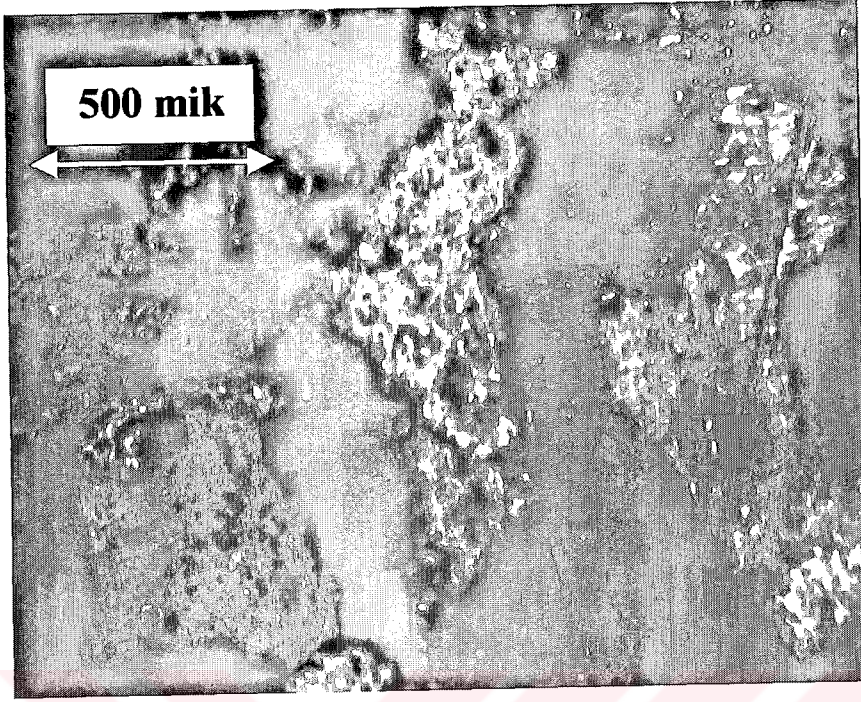


Şekil 4.13 A) Döküm no 1, B) Döküm no 10, C) Döküm no 11, D) Döküm no 12 Stereomikroskop fotoğrafı

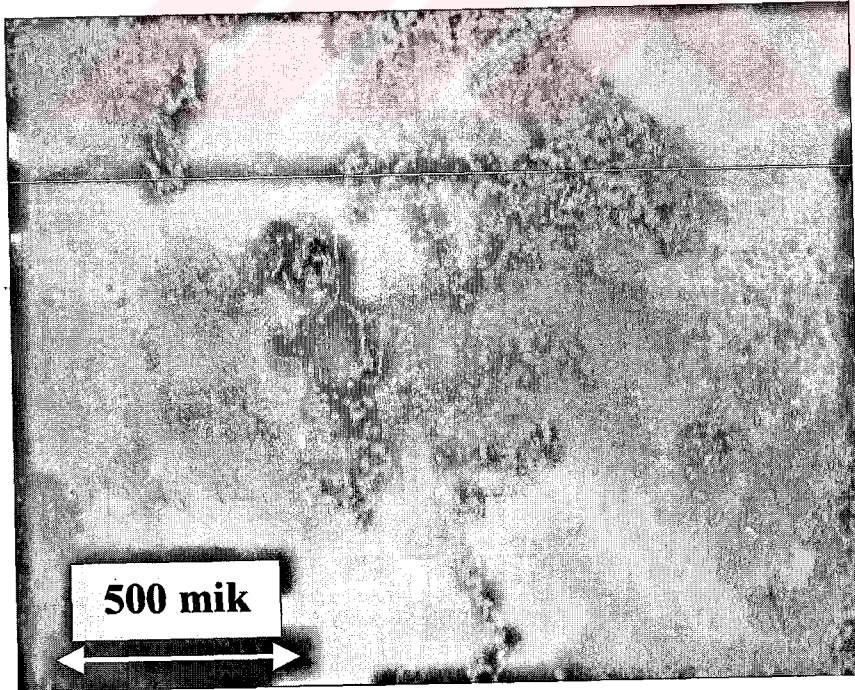
Numunelerin stereoskop fotoğraflarının çekilmesinden sonra tane boyutunun tespiti için mikroskopta inceleme yapılmaya ihtiyaç duyulmuştur. Assan Alüminyum laboratuvarlarında bulunan Olympos marka mikroskop ile 50 büyütmede numunelerin tane yapıları incelenmiştir (Şekil 4.14-4.22).



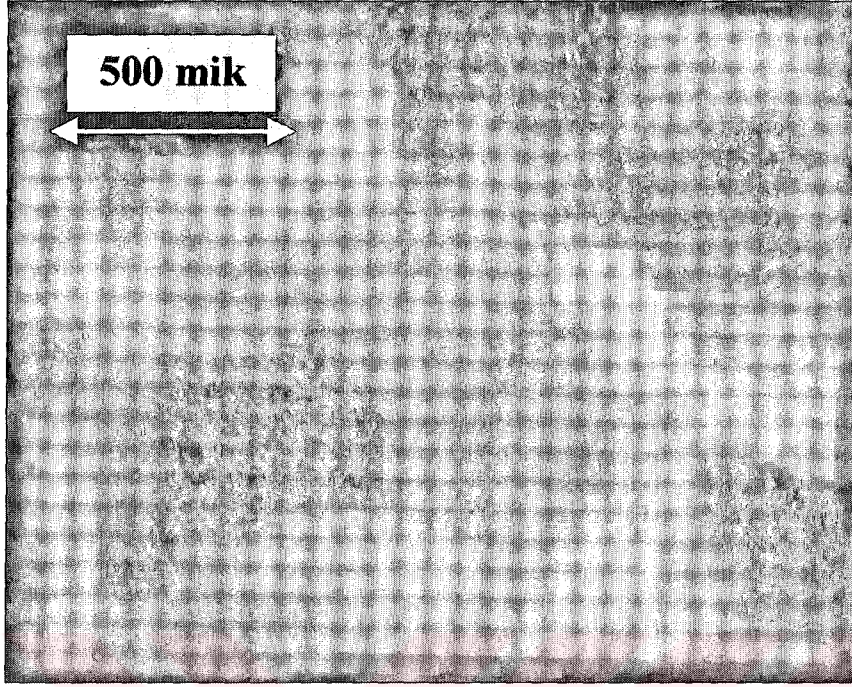
Şekil 4.14 Döküm no 1 (x 50 Büyütme)



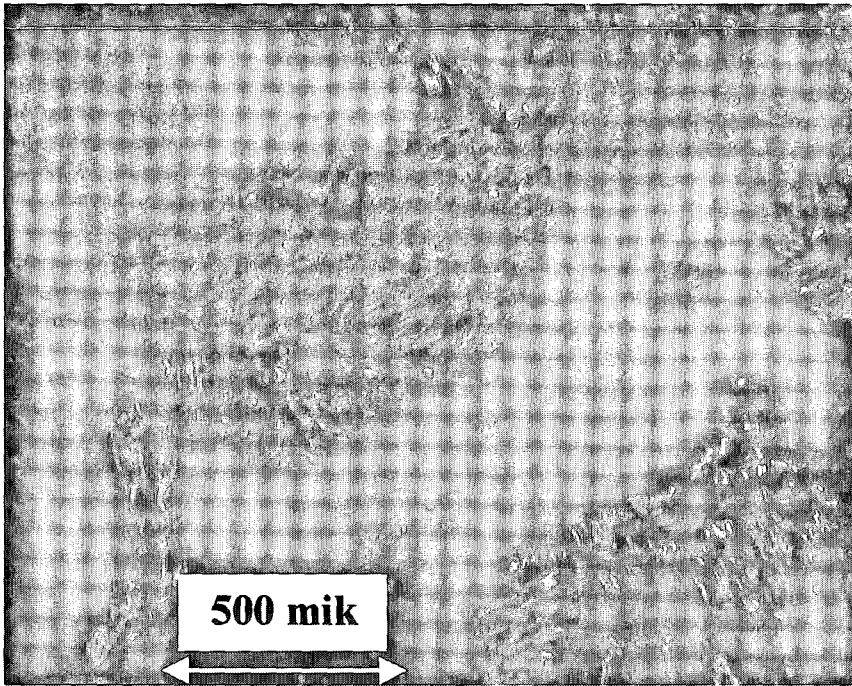
Şekil 4.15 Döküm no 3 (x 50 Büyütme)



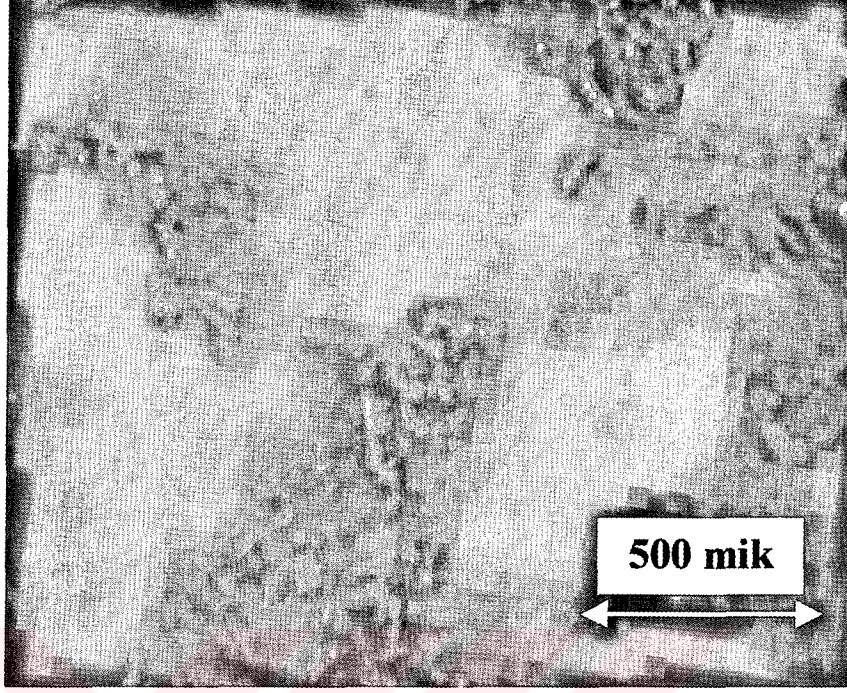
Şekil 4.16 Döküm no 7 (x 50 Büyütme)



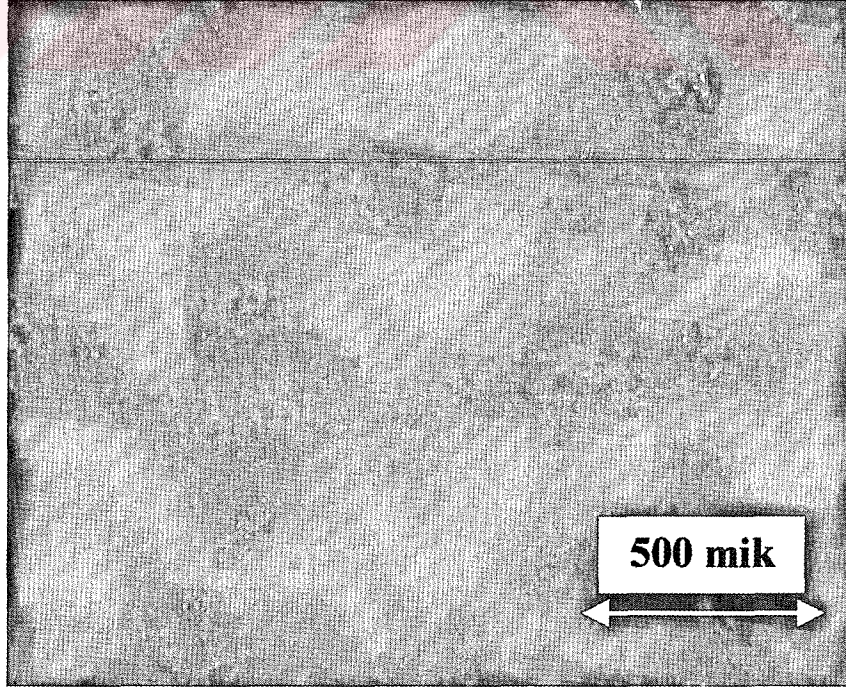
Şekil 4.17 Döküm no 10 (x 50 Büyütme)



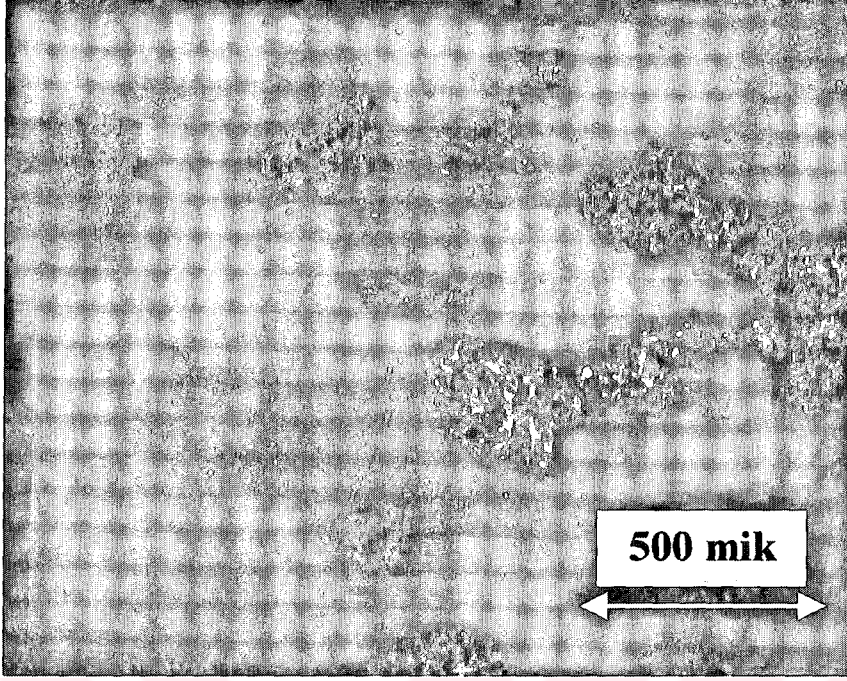
Şekil 4.18 Döküm no 8 (x 50 Büyütme)



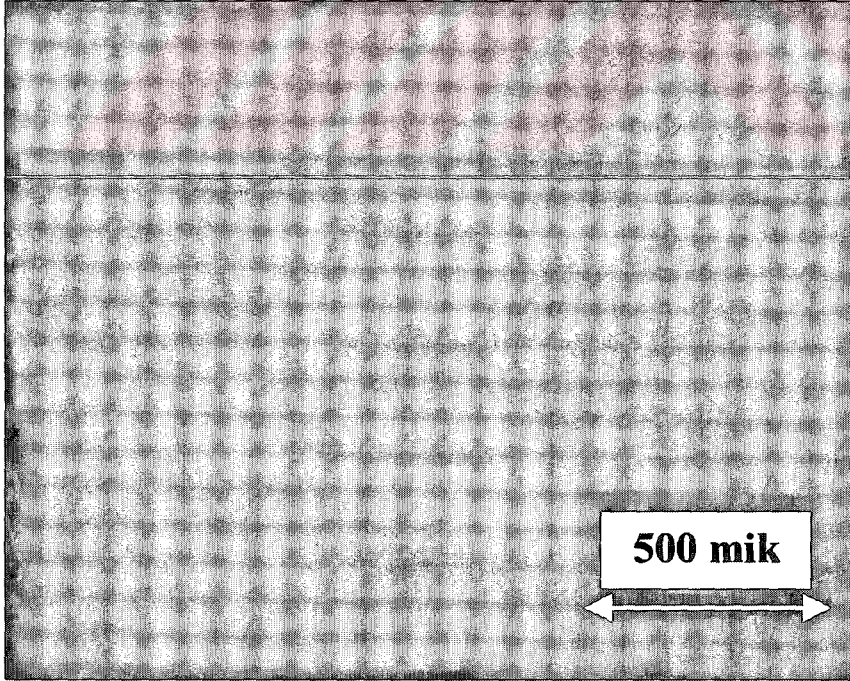
Şekil 4.19 Döküm no 11 (x 50 Büyütme)



Şekil 4.20 Döküm no 5 (x 50 Büyütme)



Şekil 4.21 Döküm no 9 (x 50 Büyütme)



Şekil 4.22 Döküm no 12 (x 50 Büyütme)

Numunelere ait tane boyutlarının tespiti için, mikroskopta çekilen 50 büyütme fotoğrafları kullanılmıştır. Her numunede soğuma hızı farklılıklarından dolayı bölgesel tane boyutu farklılıkları olduğu için, numunelerin bir bölgesi önceden tespit edilmiş ve tane boyutu incelemesi yapılacak fotoğraflar bu bölgeden çekilmiştir. Tane boyutu tespiti için bu bölgeden çekilen fotoğraflarda hepsi aynı uzunlukta olacak şekilde farklı çizgiler çekilmiştir. Daha sonra bu çizgilerin kestiği taneler sayılmıştır. Bu şekilde elde edilen tane sayılarının aritmetik ortalaması alınmış ve çıkan ortalama çekilen çizgilerin uzunluğuna bölünmüştür. Elde edilen sayının büyütme oranına bölünmesi ile her bir numune için ortalama tane boyutu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Döküm denemeleri numaraları ve tane boyutları

Döküm No	1. Çizgi Adet tane	2. Çizgi Adet tane	3. Çizgi Adet tane	Ort Adet tane	Çizgi Uz. (mm)	Tane Boyutu (Mikron)
1	2	3	3	2,66	90,3	675
3	6	4	6	5,33	90,3	337
4	7	7	7	7	90,3	257
5	8	9	7	8	90,3	230
7	4	4	4	4	90,3	450
8	5	4	6	5	90,3	360
9	7	6	6	6,33	90,3	280
10	5	3	4	4	90,3	450
11	5	5	4	4,66	90,3	380
12	7	8	7	7,33	90,3	245

Mekanik özellikleri incelemek üzere hazırlanan üçüncü ve son numunenin günümüz endüstrisinde ofis klimaları dış cepesinde kullanılan 1050 alaşım malzemeyi elde etmek üzere 1mm kalınlığa haddelenerek 350 °C’de 4 saat tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Haddelenme işlemi, Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Bölümü laboratuvarındaki, laboratuvar haddesinde gerçekleştirilmiştir. Malzemeler nihai kalınlığı olan 1 mm’ye 5 farklı hadde aralığında her bir malzemenin 3 paso verilmesiyle ulaşılmıştır. Hadde aralığı ve o hadde aralığındaki 3 paso sonucundaki malzeme kalınlıkları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Hadde aralığı ve giriş çıkış kalınlıkları

Hadde Aralığı No	Hadde Aralığı (mm)	Giriş Kalınlığı (mm)	Çıkış Kalınlığı (mm)
1	7	10	7,6
2	4	7,6	4,8
3	3	4,8	3
4	2	3	1,9
5	1	1,9	1

Laboratuvar haddesinde 1 mm kalınlığa indirilen 1050 alaşım malzemeler 1050 alaşım ofis kliması dış cephesi elde etmek üzere Assan Alüminyum laboratuvarındaki Herhause marka fırında 350 °C 4 saat tavına alınmıştır. Tav sonrası numuneler 50 mm'lik çekme numnesi boyutuna getirilmiş ve yine Assan Alüminyum'daki Zwick marka çekme cihazında 200 mm/dak test hızında çekme testleri yapılmıştır. Çizelge 4.3'de numunelerin çekme testi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.3 Çekme Testi Sonuçları

Döküm No	Kalınlık (mm)	E-Modülü (N/mm ²)	Akma % 0.2 (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	Ag (%)
1	1,090	34.220	35,5	77,8	26,6	24,8
3	1,220	25.942	39,0	78,5	32,4	26,9
4	1,015	21.817	37,5	82,9	27,2	24,3
5	1,100	11.588	37,6	78,7	31,3	24,5
7	1,115	11.156	37,1	75,8	30,2	23,5
8	1,076	12.357	36,4	76,4	28,4	24,7
9	1,030	23.394	33,6	76,6	35,5	26,2
10	1,015	31.195	34,2	76,7	24,5	23,1
11	0,920	34.900	36,5	80,2	33,2	25,3
12	1,000	9.575	36,8	78,2	31,1	25,1

5. SONUÇ

Al-Ti-B alaşımlarının tane küçültücü etkisinin arkasındaki mekanizma peritektik ötesi Ti miktarlarında Al_3Ti parçacıkları çevresindeki peritektik reaksiyonun alüminyumda çekirdeklenmeyi kolaylaştırması olarak tespit edilmesine rağmen, peritektik öncesi kompozisyonlarda henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır.

Al-Ti-B alaşımlarının peritektik öncesi kompozisyonlarda tane küçültücü olarak çalışma mekanizması hakkında iki farklı teori vardır. Bu teorilerden birincisi TiB_2 tanelerinin $\alpha-Al$ için çekirdeklenme oluşturmadığını ve çekirdeklenmenin TiB_2 tanelerini saran ince Al_3Ti tabakası tarafından gerçekleştirildiğini kabul eder. İkinci teori ise çekirdeklenmenin TiB_2 tanelerini saran ince Al_3Ti tabakası tarafından değil, büyüme engelleme faktörünü arttıran TiB_2 tarafından gerçekleştirildiğini kabul eder.

TiB_2 'u sıvı alüminyuma gas enjeksiyon tekniğiyle verildiğinde, TiB_2 tanelerinin $\alpha-Al$ için çekirdeklenme oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Bu gözlemler doğrultusunda TiB_2 tanelerinin tane küçültücü görevini sadece sıvı alüminyumda çözünmüş Ti bulunduğu zaman yaptığı sonucuna ortaya çıkmıştır. Ti düzeyinin peritektik bileşim seviyesinden düşük olduğu durumlarda, Ti atomlarının TiB_2 tanelerine doğru yayıldığı ve yüzeyde ince Al_3Ti tabakası oluşturduğunu ve Al_3Ti tabakasının, peritektik tepkime mekanizması sayesinde, çekirdeklenmeyi canlandırdığı tespit edilmiştir. Al_3Ti ara tabakasının tane küçültücülerin etkinliğinde önemli bir rol aldığı anlaşılmıştır. Al_3Ti tanelerinin yapıları incelenmiş ancak Al_3Ti tanelerinin morfolojisiyle alüminyumun tane boyutları arasında bir ilişki olmadığı anlaşılmıştır.

Al-Ti-B tane küçültücülerin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı alaşımlarda etkin gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, tane küçültücülerin etkin olabilmesi için yapıda bulunan alaşım elementlerinin (her alaşım elementi için farklı olmak üzere) bir miktarda aşması gerektiği anlaşılmıştır. Deneylerde kullanılan alaşım elementlerinden Cu için miktarın % 1,5'dan fazla, Si için % 0,8'den fazla, Ti için ise % 0,025'den fazla olması gerektiği anlaşılmıştır. Ti bulunan yapılarda tane küçülmesinin Al_3Ti tabakasının peritektik tepkime girmesi sonucu değil, büyüme engelleme faktörünü arttıran ve aşırı soğumaya olan TiB_2 'nin potansiyel çekirdeklenme mevkii oluşturmaktan kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda Al-Ti-B tane küçültücülerin Ti oranına bağlı olarak değişik mekanizmalarla etkili olduğu ancak bu etkinliğin sağlanmasında alaşım elementlerinin miktarı gibi bazı yan etkenlerinde rol oynadığı anlaşılmıştır.

DeneySEL çalışmaların sonucunda, aynı katılma şartlarında dökülen malzemelerden tane küçültücüsüz dökülen malzemenin diğer tüm tane küçültücülü malzemelerden daha kaba bir tane yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Her bir tane küçültücü tipi için tane küçültücü miktarı arttıkça tane yapısının incelendiği, deneyler sonucunda anlaşılmıştır. Tane küçültücü tipleri arasında ise Al-Ti-B (5-1)'in en ince, Al-Ti-B (5-0.2)'nin biraz daha kaba ve Al-Ti-C'nin ise en kaba tane yapısına sahip olduğu görülmüştür. Dolayısıyla en etkin tane küçültücü olarak Al-Ti-B (5-1) seçilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda, % 0.1 oranında tane küçültücü miktarının, tane yapısı üzerine çok az etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, daha önceden bu konuda yapılmış olan çalışmalardan elde edilen, alaşım elementi düşük malzemelerde % 0.1 tane küçültücü miktarının tane küçültmeye etkisinin az olacağı yönündeki bulgularla paralellik göstermektedir. Bu çalışmada araştırılan makalelerde de tespit edildiği üzere, B'un, Al-Ti faz diyagramındaki peritektik noktayı Al tarafına ötelemesi sonucu daha düşük Ti kompozisyonlarında bile peritektik reaksiyon ile α -Al çekirdeklenmesini canlandırması, Al-Ti-B (5-1) ve Al-Ti-B (5-0.2) arasındaki yapı farklılığını doğurmuştur. Farklı tane yapısına sahip döküm numunelerinin haddelenerek tavlanmasıyla ilgili çalışmaların sonucunda elde edilen mukavemet değerleri, tane yapısıyla bariz bir paralellik göstermemiştir. Böyle bir paralelliğin tespit edilememesinin altında tüm numuneler arasındaki tane boyutu farklarının mukavemete etki edecek kadar çok olmamasının yattığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

European Aluminium Association Web sayfası.

G. E. Dieter: Mechanical Metallurgy, 1988, 189.

M. Johnsson, L. Backerud: Z. Metallkd, 1992, 11, 774-780.

P. S. Mohanty, J. E. Gruzleski: Acta Metall. Mater., 1995, 2001-2012

P. Schumacher , A. L. Greer, J. Worth, P.V. Evans, M.A. Kearns, P. Fisher ve A.H. Green : Mater. Sci. Tech., 1998, 4, 394-404.

A. E. Karantzalis, A. R Kennedy: Mater. Sci. Tech., 1998, 11, 1092-1096.

M. Johnsson: Z. Metallkd, 1994, 11, 781-785.

M. Johnsson: Z. Metallkd, 1994, 11, 786-789.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	30.03.1973	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1984-1992	Galatasaray Lisesi
Lisans	1992-1997	ODTÜ Mühendislik Fak. Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

1998-Devam ediyor Assan Alüminyum



TC. YÜKSEKÖĞRETİM
DOKÜMANLARI
BİRLİĞİ