

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ETİAL 110 ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE MAKRO VE
MİKRO POROZİTE OLUŞUMUNUN
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykan KARAYAZI

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ramazan KAYIKCI

OCAK 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİAL 110 ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE MAKRO VE
MİKRO POROZİTE OLUŞUMUNUN
MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

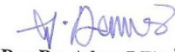
Aykan KARAYAZI

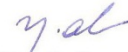
Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Enstitü Bilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 23/01/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. Ramazan KAYIKCI
Jüri Başkanı


Doç.Dr. Adem DEMİR
Üye


Yrd.Doç.Dr. Neşet AKAR
Üye

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında bana yardımcı olan danışmanım Yrd.Doç.Dr. Ramazan KAYIKCI'ya teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım süresince yardımlarını benden esirgemeyen Arş.Gör. Murat ÇOLAK'a ve Ömer SAVAŞ'a, ayrıca bölümdeki mikroskobu kullanma imkanı sağlayan Doç.Dr. Ramazan YILMAZ'a ve bölüm hocalarıma, deneysel çalışmalarda döküm kumu ve reçine sağlayan Daloğlu Döküm ve Yıldız Makine'ye teşekkür ederim.

Bu yoğun çalışma günlerimde maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen canım aileme, ev ve tez arkadaşım 6.5 yıl boyunca bana yoldaş olan Yalçın YURTSEVEN kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| TEŞEKKÜR..... | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | vi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vii |
| TABLolar LİSTESİ..... | xi |
| ÖZET..... | xii |
| SUMMARY..... | xiii |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| BÖLÜM 2. | |
| LİTERATÜR TARAMASI..... | 5 |
| 2.1. Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri..... | 5 |
| 2.1.1. Alüminyumun mekanik özellikleri..... | 5 |
| 2.1.2. Alüminyumun kimyasal özellikleri..... | 5 |
| 2.2. Alüminyum Döküm Alaşımları..... | 6 |
| 2.2.1. Al - Cu Alaşımları..... | 7 |
| 2.2.2. Al - Si alaşımları..... | 8 |
| 2.2.3. Al - Ti alaşımları..... | 9 |
| 2.3. Alüminyumun Ergitme Pratiği..... | 9 |
| 2.4. Alüminyum Alaşımlarının Hazırlanması..... | 10 |
| 2.4.1. Curuflatıcılar..... | 11 |
| 2.4.2. Tane küçültücüler..... | 11 |
| 2.4.3. Modifiye ediciler..... | 11 |
| 2.5. Alüminyum Alaşımlarında Tane İnceltme | 12 |

| | |
|--|----|
| 2.6. Tane Boyutunun Ölçülmesi..... | 13 |
| 2.7. Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme Mekanizmaları..... | 14 |
| 2.8. Alüminyumda Tane inceltmede Borun Etkisi..... | 18 |
| 2.9. Dökümlerde Besleme Mekanizmaları..... | 21 |
| 2.9.1. Sıvı besleme..... | 22 |
| 2.9.2. Kütle besleme..... | 22 |
| 2.9.3. İnterdendritik besleme..... | 23 |
| 2.9.4. Zor besleme (Burst feeding) | 23 |
| 2.9.5. Katı besleme..... | 23 |
| 2.10. Tane İnceltmenin Besleme Üzerine Etkisi..... | 24 |
| | |
| BÖLÜM 3. | |
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... | 25 |
| 3.1. Tane İnceltme Deneylelerinin Yapılışı..... | 27 |
| 3.1.1. Kullanılan alaşımın kimyasal bileşimi..... | 27 |
| 3.1.2. Ergitme işleminin yapılışı..... | 27 |
| 3.1.3. Sıvı metalde gaz giderme ve gazlılık ölçümleri..... | 28 |
| 3.1.4. Tane inceltme işlemlerinin yapılışı..... | 29 |
| 3.1.5. Yüzeylerin tane ölçümü için hazırlanması..... | 31 |
| 3.1.6. Tane inceltme test konilerinin değerlendirilmesi..... | 32 |
| 3.1.7. Bekletme zamanının tane inceltmeye etkisinin incelenmesi..... | 32 |
| 3.2. Dökümlerin Yapılışı..... | 33 |
| 3.2.1. Döküm geometrisinin seçimi..... | 33 |
| 3.2.2. Kalıplama işleminin yapılışı..... | 35 |
| 3.2.3. Termokapıl yerleştirilmesi ve kalıbın kapatılması..... | 36 |
| 3.2.4. Alaşımın ergitilmesi ve döküm işlemi..... | 37 |
| 3.2.5. Numunelerin hazırlanması..... | 40 |
| 3.2.6. Numunelerin incelenmesi..... | 42 |
| 3.2.7. Mikro yapı resimlerinin imaj analiz programında değerlendirilmesi..... | 43 |
| 3.3. Simülasyon (Modelleme) | 44 |
| 3.3.1. Döküm-kalıp geometrisinin ve malzeme özelliklerinin simülasyon programına girilmesi..... | 45 |

| | |
|--|----|
| 3.3.2. Simülasyon programında kalıbın doldurulması ve dökümün katılaşması..... | 47 |
| BÖLÜM 4. | |
| SONUÇLAR..... | 50 |
| 4.1. Tane İnceltme Deney Sonuçları..... | 50 |
| 4.1.1. Tane yapıları ve boyutları..... | 50 |
| 4.1.2. Bekletme zamanının tane boyutuna etkisi..... | 63 |
| 4.2. Döküm Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar ve Değerlendirmesi..... | 64 |
| 4.2.1. Soğuma eğrileri..... | 65 |
| 4.2.2. Döküm mikroyapıları..... | 67 |
| 4.2.3. Porozite ölçüm sonuçları..... | 68 |
| 4.2.3.1. Tane incelticisiz makro porozite haritası..... | 69 |
| 4.2.3.2. Tane incelticili makro porozite haritası..... | 71 |
| 4.3. Bilgisayar Modellemelerinden Elde Edilen Sonuçlar ve değerlendirilmesi..... | 72 |
| BÖLÜM 5. | |
| TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER..... | 81 |
| KAYNAKLAR..... | 84 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 86 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|---------|--|
| AFS | : American Fondryman Society |
| ALCAN | : Aliminium Canada |
| Al5Ti1B | : %94 Alüminyum, %5 Titanyum, %1 Bor |
| BN | : Bor Nitrür |
| CFS | : Kritik Katı Oranı |
| ETİAL | : ETİ Alüminyum |
| K Tip | : Termokapıl |
| RPT | : Düşürülmüş Basınç Testi |
| SiC | : Silisyum Karbür |
| STL | : Üç Boyutlu Model Dosya Transfer Biçimi |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. Al - Cu denge diyagramı korozyon direnci düşüktür. | 8 |
| Şekil 2.2a. Tane inceltilmemiş..... | 12 |
| b. Al ₅ Ti ₁ B bileşiminde 10 ppm bor ilave edilmiş 3004 alaşımının tane yapıları..... | 12 |
| Şekil 2.3. Al-Ti Faz diyagramının alüminyum tarafı..... | 15 |
| Şekil 2.4a. Alüminyumun TiAl ₃ partikülleri üzerinde çekirdeklenecek büyümesi sırasında geçirdiği aşamaların şematik gösterimi | 16 |
| b. Tane inceltilmemiş ve tane inceltilmiş sıvı alüminyumun soğuma eğrilerinin şematik gösterimi | 16 |
| Şekil 2.5. % 99,7 safiyette alüminyumda titanyum ilavesi ile tane inceltme sonuçları..... | 18 |
| Şekil 2.6. A356 alüminyum alaşımında üç farklı mastır alaşımı ile tane inceltme sonuçları..... | 19 |
| Şekil 2.7. Alüminyum 319 alaşımında tane inceltme sonuçları..... | 20 |
| Şekil 2.8. Katılaştıran bir dökümde beş besleme mekanizmasının gösterimi..... | 22 |
| Şekil 2.9. Al-%4Cu alaşımında tane inceltici ilavesinin dendrit blokajına etkisi.... | 24 |
| Şekil 3.1. Elektrik direnç ergitme ocağı..... | 27 |
| Şekil 3.2. SiC potalar..... | 27 |
| Şekil 3.3a. Sıvı metalin azot gazı ile yıkanması..... | 28 |
| b. Gaz giderme işleminin şematik görünüşü..... | 28 |
| Şekil 3.4. RPT gazlılık ölçüm cihazı | 29 |
| Şekil 3.5. Koni dökümü | 30 |
| Şekil 3.6. Koninin soğutulması | 30 |
| Şekil 3.7. Tane inceltme numunesinin boyutları | 31 |
| Şekil 3.8. Kesilmiş tane inceltme külçesi..... | 31 |
| Şekil 3.9. Kullanılan modeller..... | 34 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.10. Sanal ortamdaki parça tasarımı..... | 34 |
| Şekil 3.11. Model ve açma derece | 35 |
| Şekil 3.12. Karıştırma mikserinde kumun hazırlanması..... | 36 |
| Şekil 3.13. Kumun CO ₂ gazı ile serleştirilmesi | 36 |
| Şekil 3.14. Kapatılmış kalıbın görünüşü..... | 37 |
| Şekil 3.15. Ocağın Yüklenmesi..... | 37 |
| Şekil 3.16. Sıvı metale curuflaştırıcı toz atılması | 38 |
| Şekil 3.17. Curuf alma..... | 38 |
| Şekil 3.18. Dökülmüş bir kalıbın görünüşü..... | 39 |
| Şekil 3.19. Kalıbın Bozulması..... | 39 |
| Şekil 3.20. Numunenin döküm parçadan kesilerek çıkarılmasını gösteren model.. | 41 |
| Şekil 3.21. Fotoğrafların çekildiği bölgeler..... | 42 |
| Şekil 3.22. Bilgisayar ortamındaki yüklenmiş fotoğraf görüntüsü..... | 43 |
| Şekil 3.23. Porozitlerin renklendirildiği görüntü resmi..... | 44 |
| Şekil 3.24. Etial 110 alaşımı için girilen soğuma eğrisi..... | 46 |
| Şekil 3.25. Mesh görüntüsü..... | 47 |
| Şekil 3.26. FlowCast programında kalıbın doldurulması..... | 48 |
| Şekil 3.27. Simülayondan alınan soğuma görüntüsü..... | 49 |
| Şekil 4.1a. Tane inceltmesiz mikro yapı resmi..... | 51 |
| b. Tane inceltmesiz mikro yapı resmi ölçülü..... | 51 |
| Şekil 4.2a. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 5 dakika sonra..... | 53 |
| b. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 5 dakika sonra ölçülü..... | 53 |
| Şekil 4.3a. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 10 dakika sonra..... | 54 |
| b. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 10 dakika sonra ölçülü..... | 54 |
| Şekil 4.4a. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 15 dakika sonra..... | 55 |
| b. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 15 dakika sonra ölçülü..... | 55 |
| Şekil 4.5a. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 20 dakika sonra..... | 56 |
| b. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 20 dakika sonra ölçülü..... | 56 |
| Şekil 4.6a. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 25 dakika sonra..... | 57 |
| b. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 25 dakika sonra ölçülü..... | 57 |
| Şekil 4.7a. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 30 dakika sonra..... | 58 |
| b. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 30 dakika sonra ölçülü..... | 58 |
| Şekil 4.8a. Al ₅ Ti ₁ B ilavesinden 35 dakika sonra..... | 59 |

| | |
|---|----|
| b. Al5Ti1B ilavesinden 35 dakika sonra ölçülü..... | 59 |
| Şekil 4.9a. Al5Ti1B ilavesinden 40 dakika sonra..... | 60 |
| b. Al5Ti1B ilavesinden 40 dakika sonra ölçülü..... | 60 |
| Şekil 4.10a. Al5Ti1B ilavesinden 45 dakika sonra..... | 61 |
| b. Al5Ti1B ilavesinden 45 dakika sonra ölçülü..... | 61 |
| Şekil 4.11a. Al5Ti1B ilavesinden 50 dakika sonra..... | 62 |
| b. Al5Ti1B ilavesinden 50 dakika sonra ölçülü..... | 62 |
| Şekil 4.12. Tane incelticinin zamanla malzemenin tane büyüklüğüne etkisi..... | 63 |
| Şekil 4.13. Döküm parçanın kalıptan çıkmış hali..... | 64 |
| Şekil 4.14. Dökümlerden alınan soğuma eğrileri..... | 66 |
| Şekil 4.15. Simülasyon modellemelerinden alınan soğuma eğrileri..... | 67 |
| Şekil 4.16a. Tane inceltilmemiş mikroyapı..... | 68 |
| b. Tane inceltilmiş mikroyapı..... | 68 |
| Şekil 4.17a. Tipik makroyapı görüntüsü..... | 69 |
| b. Renklendirilmiş makroyapı görüntüsü..... | 69 |
| Şekil 4.18. Tane incelticisiz makro porozite haritası..... | 70 |
| Şekil 4.19. Tane incelticisiz makro porozite haritası uzak..... | 70 |
| Şekil 4.20. Tane incelticisiz makro porozite haritası..... | 71 |
| Şekil 4.21. Tane incelticisiz makro porozite haritası..... | 72 |
| Şekil 4.22. CFS oranı %33 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)..... | 74 |
| Şekil 4.23. CFS oranı %35'e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.) | 75 |
| Şekil 4.24. CFS oranı %40'e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.) | 76 |
| Şekil 4.25. CFS oranı %45 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.) | 77 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.26. CFS oranı %50 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.) | 78 |
| Şekil 4.27. CFS oranı %55 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.) | 79 |
| Şekil 4.28. CFS oranı %57 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)..... | 80 |

TABLULAR LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 2.1. ASTM E112 Standardına göre tane boyutlarının karşılaştırılması.. | 14 |
| Tablo 3.1. Deneysel çalışma aşamaları..... | 26 |
| Tablo 3.2. Primer ETİAL 110 alaşımının kimyasal bileşimi..... | 27 |
| Tablo 3.3. PAULTON dağlama çözeltisinin yüzde bileşimi..... | 31 |
| Tablo 3.4. Simülasyonda kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri.... | 45 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ergitme, döküm, Etial 110, alaşım, besleme, katılaşma

Bu çalışmada kuma dökülen Etial 110 alüminyum döküm alaşımının katılaşması sırasında hacimsel küçülmeye bağlı çekme ile oluşan makro ve mikro porozitenin modellenmesi ticari bir döküm simülasyon yazılımı kullanılarak incelenmiştir.

Etial 110 alaşımı ergitildikten sonra makro ve mikro porozite oluşturmak üzere özel olarak hazırlanan kum kalıplara dökülmüştür. Katılaşan ve soğuyan dökümlerin iç kesitlerinde oluşan makro ve mikro porozite değerleri ölçülerek döküm simülasyon programından aynı şartlarda modellenen dökümlerden ölçülen porozite değerleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon modellemeleri için programa girilen soğuma eğrileri gerçek dökümlerin katılaşması sırasında ölçülen zaman-sıcaklık değerleri ile tanımlanmış ve böylece gerçek dökümler ile modellenen dökümler arasında bire birlik sağlanmıştır. Porozite oluşumunun modellenmesi sırasında sıvı-katı bölgesinin (maşi bölgesi) geçirgenlik sınırını tanımlayabilmek açısından dökümlerde ve modellemelerde hiç tane inceltilmemiş ve çok iyi tane inceltilmiş dökümler kullanılmıştır.

Çalışmada, metal ergitme, tane inceltme, kuma döküm, modelleme, metalografi, optik mikroskop, mikro yapı görüntüleme ve görüntü analizi teknikleri kullanılmıştır.

Sonuçlar, bu çalışmada kullanılan Etial 110 alaşımının dökümünün simülasyon programında modellenmesi ile elde edilen porozite dağılımı ile kuma dökülen gerçek dökümlerden ölçülen porozite dağılımı arasında bire bir benzerlik bulunduğunu göstermiştir. Sonuçlar ayrıca dökümlerin bilgisayar modellemelerinde en önemli sınır şartlarından birisi olan ve "kritik katı oranı" olarak tanımlanan maşi bölgesi geçirgenlik sınırının kaba taneli dökümlerde %33 sınırlarında olduğunu, buna karşılık iyi tane inceltilmiş dökümlerde bu değer %57 seviyelerine yükseldiğini göstermiştir.

MODELLING OF MICRO AND MACRO POROSITY FORMATION IN CAST ETIAL 110 ALLOY

SUMMARY

Key Words: Etial 110, porosity, feeding, solidification, casting.

In this study, using a commercial casting simulation software and sand cast Etial 110 casting alloy micro and macro porosity which occurs due to the volumetric shrinkage during solidification, have been investigated.

After being melted the Etial 110 alloy was sand cast into moulds which has a special geometrical design to produce micro and macro shrinkage. Following solidification and cooling of reel castings the measured micro and macro porosity values were compared with the porosity values obtained from computer simulation model. The cooling curve of the alloy in the computer model was defined using the time-temperature data measured from the sand castings so that a good match between the reel castings and the computer modeling was achieved. During modeling of porosity formation for precise definition of the permeability limits of the mushy zone none grain refined and well grain refined castings were used.

During this study, melting, grain refining, sand casting, casting simulation, metallography, optical microscopy, microstructure presentation and image analysis techniques have been employed.

Results showed good similarity between porosity obtained from simulation model of sand cast Etial 110 alloy and the porosity measured from reel castings. Results also showed one of the most important boundary condition in modeling casting the mushy zone permeability, which is defined by so called “critical solid fraction” ratio was as low as 33% in non grain refined alloy but it increased to 57 % in well grain refined alloy.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmeler her alanda olduğu gibi metalürji ve malzeme bilimi alanlarında da bu teknolojilerin kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Son zamanlarda gelişen teknoloji ile birlikte metal dökümlerinde soğuma ve katılaşmayı üç boyutlu olarak modelleyebilen, yapısal fazların oluşumu yanında hacimsel ve boyutsal değişimleri de hesaplayarak döküm iç yapılarında olası kusurların yerlerini ve boyutlarını tahmin edebilen simülasyon programları geliştirilmiştir. Bu programlar genellikle Windows tabanlı programlar olup, kişisel bilgisayarlara da kurulum imkanı olması nedeniyle gerek döküm sektörü tarafından gerekse eğitim amaçlı ortamlarda kolayca kullanılabilir.

Magma Soft, SolidCast, Nova Solid, ProCast ve Vulcan isimleri ile bilinen başlıca ticari döküm simülasyon yazılımları günümüz sektöründe yer almışlardır. Bu programlar genellikle sonlu fark veya sonlu elamanlar teknikleri ile hesaplama yaparak verilen döküm geometrisini farklı döküm ve kalıp malzemeleri için kendi veri tabanlarında bulunan veya kullanıcı tarafından da girilebilen malzeme termofiziksel özellikler ve sınır şartları ile modelleyebilme yeteneğine sahiptirler.

Bir döküm simülasyon programı ile modellenebilen başlıca döküm özellikleri şunlardır:

- Döküm ve kalıpta sıcaklığın zamana göre dağılımı,
- Döküm kesitlerinin katılaşma zamanının tespiti,
- Döküm kesitlerinde soğuma sırasında oluşan sıcak noktaların yeri ve modülse büyüklüğü,
- Döküm kesitlerinde oluşan makro ve mikro porozitenin yeri ve yüzdesel dağılımı,
- Döküm kesitlerinde oluşan sıcak yırtılma riskleri,
- Döküm ve kalıp kesitlerinde soğuma sırasında oluşan gerilmeler ve deformasyonlar,

Döküm simülasyonu kullanıcılarının, zaman ve maliyet açısından avantaj sağlayabilmesi için yukarıda belirtilen döküm özelliklerini etkili ve doğru şekilde kullanması gerekmektedir. Örneğin; henüz döküm yapmadan verilen bir kalıplama tasarımı ile eldeki dökümün sağlam veya kusurlu sonuçlanabileceği hakkında bilgiye sahip olunabilmektedir. Henüz CAD tasarımı aşamasında bile model-kalıp-metal gibi yüksek maliyetli deneme yanılma pratiklerine girmeden bir döküm parçanın kalıplama yöntemini seçebilmekte ve ilk dökümde doğru sonuçlar alınabilmektedir.

Yapılan dökümlerden avantaj sağlanabilmesi, döküm simülasyonları için hazırlanan veri tabanlarının ve çoğunlukla dökümhane operatörleri ve diğer kullanıcılar tarafından girilen sınır şartlarının mümkün olduğunca doğru ve yaklaşık değerlerinde girilmesine bağlıdır. Bu değerlerin yanlış girilmesi simülasyondan alınan sonuçların gerçek dökümlerden alınan sonuçlardan farklı olmasına ve modelleme ile hedeflenen avantajların dezavantaja dönüşmesine sebep olacaktır.

Kullanılan kalıp ve döküm alaşımının termofiziksel özellikleri ile döküm-kalıp ve atmosfer arasında gerçekleşen ısı transfer katsayıları bir döküm simülasyonu için eldeki yazılıma girilmesi gereken sınır şartlarıdır. Günümüzde döküm modellemeleri için kullanılan sınır şartları değerlerinin birçoğu halen araştırma konusu olup kesin değerleri veya zamana ve sıcaklığa bağlı olarak değişen değerleri henüz tam olarak bilinmemektedir.

Döküm-kalıp sisteminin termofiziksel özellikleri genel olarak aşağıdaki maddeleri kapsamaktadır;

- Döküm alaşımının ve kalıbın özgül ağırlığı, özgül ısısı, ısı iletkenlik katsayıları,
- Döküm alaşımının katılaşması ve faz dönüşümleri sırasında ortaya çıkan enerji değerleri (örn. ergime gizli ısısı),
- Döküm ve kalıp malzemelerinin ısıl genleşme değerleri,
- Döküm alaşımının soğuma eğrisi,
- Döküm alaşımının soğuma eğrisine bağlı olarak değişen hacimsel çekme oranı,
- Döküm alaşımının katılaşması sırasında besleme metalinin akışına karşı gösterdiği direnç (maşi bölgesi geçirgenliği),

Döküm-kalıp sisteminin termofiziksel özelliklerinden olan maşi bölgesi geçirgenliği dökümlerin katılaşması sırasında oluşan hacimsel çekmenin besleyicilerden gelen sıvı metal ile beslenebilmesi sırasında yarı katı hale gelmiş döküm kesitlerinden ne derece akabileceği konusunda bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Üzerinden besleme yapılan bir döküm kesitinin belirli bir yüzdesi katı dendrit örgüsü ile bloke edildiğinde dendritler arası bölgelerden sıvı akıntıları gerçekleşebilmekte ve hacimsel olarak beslenmesi gereken ve çoğunlukla negatif basınç altında bulunan bölgelere emilmektedir. Ancak bu tür bir sıvı akışı dendrit örgüsünün artarak belirli bir seviyeye gelmesi ile duracak ve sıvı akışı tamamen bloke edilecektir. Bloke olan bölgenin soğuk kısmında (besleyiciler uzak olan tarafında) hala beslenmesi gereken bir sıcak nokta kalmış ise artık o bölge beslenemeyecek ve muhtemelen o bölgede yetersiz beslemeye bağlı olarak porozite oluşacaktır.

Yapılan modellemede yukarıda fiziksel olarak tanımlanan maşi bölgesi geçirgenliğinin sayısal olarak tanımlanması gerekmektedir. Başka bir deyişle verilen bir döküm alaşımı için katı-sıvı ara bölgesinin hangi katılaşma oranında tamamen kapanması gerektiği bilgisayar modelinde tanımlanmalıdır. Aksi halde program katı – sıvı ara bölgesini olması gerekenden önce kapatırsa simülasyondan elde edilen sonuçlar yüksek porozite gösterecek, buna karşılık program katı-sıvı ara bölgesini olması gerekenden daha geç kapatırsa bu kez simülasyondan elde edilen sonuçlar gerçek dökümden elde edilen sonuçlara göre daha az porozite gösterecek ve simülasyon ile gerçek dökümler arasındaki tutarlılık azalacaktır.

Alüminyum esaslı döküm alaşımlarında katılaşma genellikle dendritik alfa yapısı ile başladığından katı-sıvı ara bölgesinin geçirgenliği sabit olmayıp özellikle tane büyüklüğü ve soğuma hızına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Yapılan araştırmalar tane inceltme uygulanmış küçük taneli alüminyum dökümlerinin tane inceltilmemiş kaba taneli alüminyum dökümlerine göre daha iyi beslenebildiğini ve bu dökümlerde diğerlerine göre daha az makro ve mikroporozite oluştuğunu göstermektedir. Simülasyon programları ile döküm modellemesi yapılacak alüminyum alaşımları için maşi bölgesi geçirgenliğini tanımlamak üzere sınır değeri olarak bir değer girilmesi gerekmektedir. Buna karşılık, alüminyum alaşımlarının maşi bölgesi geçirgenlik değerleri için bu programların veri tabanlarında tanımlanmış

net değerler bulunmamaktadır. Bu yüzden bu değerler genellikle kullanıcılar tarafından tahmini olarak girilmekte ve genellikle uyumsuz ve tekrarlanamayan sonuçlar üretmektedir. Bir alüminyum alaşıminın maşı bölgesi geçirgenlik değeri ancak geręek bir dökümden alınan sonuçlar ile o döküm için farklı maşı bölgesi geçirgenlik değerleri uygulanan çok sayıda simülasyondan alınan sonuçların karşılaştırılması ile bulunabilir.

Yapılan bu çalışmada Etial 110 alaşıminın kuma döküm koşullarında maşı bölgesi geçirgenlik değerleri hem simülasyon ile modellenmiş hem de geręek dökümlerden elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı, kaba taneli ve ince taneli dökümler yaparak döküm tane boyutunun maşı bölgesi geğirgenliğini ne derecede etkilediğinin incelenmesidir. Dökümlerden elde edilen sonuçlar simülasyon programı ile modellenen dökümlerden elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve Etial 110 alaşıminın dökümünde simülasyon programına girilmesi gereken sınır değerlerinin geręeęe en yakın şekilde girilebilmesini sağlamıştır.

Çalışma modelleme içeren deneysel ağırlıklı bir çalışmadır. Bölüm 2’de konu ile ilgili literatür çalışması özetlenmiştir. Bölüm 3’te deneysel metot ve çalışmalar verildikten sonra Bölüm 4’te sonuçlar sunulmuş ve bu sonuçların irdelenmesi yapılmıştır. Bölüm 5’te bu çalışmadan çıkarılan genel sonuçlar sıralandıktan sonra ileri çalışmalar için tavsiyeler sıralanmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

2.1.1. Alüminyumun mekanik özellikleri

Mekanik özellikler büyük ölçüde saflık derecesine bağlıdır. Yüksek saflıktaki alüminyum teknik saflıktaki metale nazaran çok daha yumuşak ve plastiktir. Mekanik mukavemeti ise çok daha düşüktür. %99,25 Al' lu bir metalin elastisite modülü 7100 kg/mm^2 iken çok saf alüminyum elastisite modülü 6700 kg/mm^2 dir.

Dövülmüş ve tavllanmış %99,2'lik alüminyumun Brinell sertliği 24 civarındadır. %99,9'luk alüminyumun ki 15 kg/mm^2 dir. %99,996 saflıktaki soğuk haddelenmiş alüminyum %75'lik bir inceledikten sonra takriben 27, yumuşatılmış halde 12 - 15 kg/mm^2 Brinell sertliğe sahiptir [1].

2.1.2. Alüminyumun kimyasal özellikleri

Alüminyum yüksek bir kimyasal aktiviteye sahiptir. Oksijen, halojenler, kükürt ve karbon ile bileşiklerinin teşekkül enerjisi çok yüksektir. Elektromotif kuvvet serisinde en kuvvetli elektronegatif elementlere dahildir. Alüminyum havada ince fakat çok sıkı bir alüminyum oksit kabuğu ile kaplanır. Elektron mikroskobu ile yapılan araştırmalar bu örtünün çok sık ve gözeneksiz olduğunu göstermektedir. Bu örtü, metali oksitlenmenin devam etmesine karşı korur. Yüksek bir korozyon mukavemeti kazandırır.

Metalik parlak alüminyum yüzeyindeki koruyucu oksit tabakası takriben 0,2 mm kalınlığındadır. Alüminyum havada, ergime noktasının (650 °C) hemen altına kadar ısıtılırsa oksitlenme devam eder.

Etial 110 alaşımının özellikleri

Alaşımsız Külçe Etial-110

Etinorm : ETIAL-110

Özgül Ağırlık 2,76(gr/cm³)

Ergime Aralığı 525-625(°C)

Isısal İletkenlik 0,32(Cal/cm.s C)

Korozyon Dayanımı Orta

Dökülebilirlik Çok İyi

İşlenebilme İyi

Anodik Oksidasyon Sadece Yüzey Korumada

Kullanım Alanları

İyi döküm kaynaklanabilme karakteristiği. Silindir başları, yanmalı motorların krank kapakları

2.2. Alüminyum Döküm Alaşımları

Döküm alaşımları başlıca iki kısımda mütalaa edilebilir. Birinci kısımda ıslah edilen özellikler yalnız alaşımlandırma neticesi elde edilmiştir. İkinci grupta ise, özelliklerin daha fazla ıslah edilmesi için ısı işlemler tatbik edilmiştir. Dökümlerde kullanılan alaşımlandırıcı metaller genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demirdir. Bu elementlerin uygun miktarlarda ilave edilmesi ile alüminyumun mukavemeti ve sertliği büyük ölçüde artırılabilir. Bununla beraber süreklilik azalır. Alüminyum alaşımlarının dökümü yalnız kum kalıplarında değil fakat metal kalıplarında da (kokil' leb de) yapılabilir. Buna ilaveten alaşımlardan bazıları püskürtme döküm makinelerinde dökülür. Metal kalıplarda istihsal edilen dökümlerin yüzeyleri, kum kalıplarda edilene nazaran daha düzgün ve boyut toleransları daha azdır. Bunun neticesi olarak da döküm parçasını işleme veya nihai şekillendirme maliyetlerinde önemli miktarda tasarruf sağlanmış olur.

2.2.1. Al - Cu Alaşımları

Al' un yanında alaşım elementi olarak kullanılan en eski element bakırdır. Al' un endüstride ilk kullanıldığı yıllarda döküm alaşımı olarak % 8 Cu içeren Al - Cu alaşımı kullanılıyordu. Ticari saflıktaki alüminyuma Cu ilavesi ile yapılan bu kum kalıba döküm alaşımı olarak uzun yıllar dökülebilirliğinin zorluğuna rağmen kullanılmıştır. Daha sonraları bakırın miktarı %1,5 civarına indirildi ve silisyum ilave edildi. Bu şekilde kolay dökülebilir, iyi akışkanlığa sahip ve ısı ile sertleşebilen bir alaşım geliştirilmiş oldu ve de geniş kullanım sahası buldu.

Bakır, alaşım elementi olarak % 3-12 oranında kullanılır. Alaşımlara sertlik kazandıran başlıca elementtir. Isıl işleme tabi tutulmuş veya tutulmamış halde iken alaşımın kopma mukavemetini artırır.

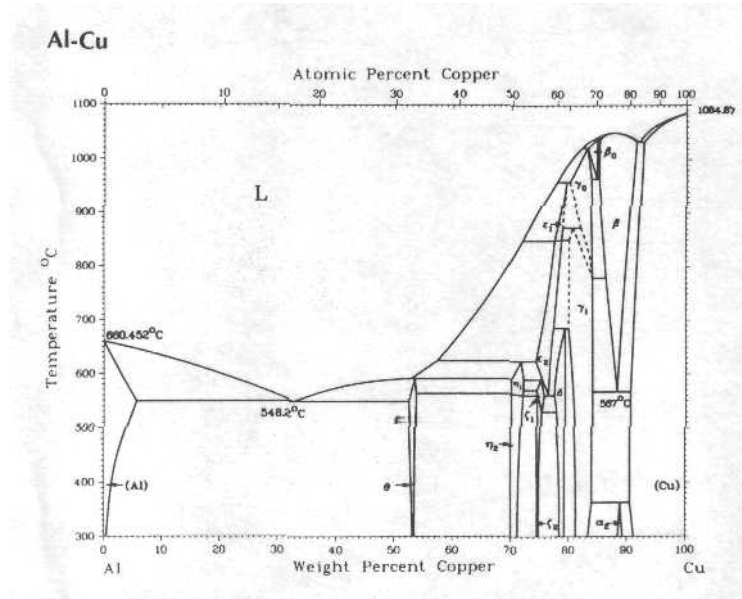
Dövme alaşımlarında % 3 - 5 arasında kullanılır. % 5' den fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlüğü ortaya çıkar, ayrıca elektrik iletkenliğini ve korozyon direncini düşürür.

Al - % 4,7 Cu - % 0,3 Mg alaşımına az oranda gümüş ilavesi yaşlanma sertleşmesini çok artırır. Döküm alaşımlarında %12' ye kadar kullanılır, %10' dan fazla Cu bulunan alaşım gevrek yapıdadır. %12 Cu' lu bir alaşımın çekme mukavemeti 9,1 kg/mm² den 14 kg/mm² ye çıkar.

Bakırın, alüminyum içinde katı fazlı çözünürlüğü artan sıcaklıkla beraber artar. Böylece çökme sertleşmesi mümkün olur. Çökme için gerekli zaman, alaşımın birleşimine ve sıcaklığına bağlıdır. Çökmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökelen faz miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır.

Oda sıcaklığında % 0,5 olan bakırın çözünürlüğü 548 °C' de % 5,65'e ulaşmaktadır. Bu çözünürlük sınırları içinde Al' la katı eriyik yapan bakır %54 oranında bulunduğu

zaman CuAl_2 (Bakır alüminat) şeklinde bir ara kimyasal bileşik yapar.



Şekil 2.1. Al - Cu denge diyagramı korozyon direnci düşüktür.

Hızlı su verme ile yarı kararlı olan B fazı oluşur. Bu faz içinde bakır şeklinde CuAl_2 kalır. CuAl_2 çok sert ve kırılgan bir bileşiktir, malzemenin gevrekleşmesine yol açtığı için, döküm tekniği bakımından ötektik bileşime yakın olması gereken Al - Cu alaşımlarının pratikte kullanılmasını engeller. Ötektik sıcaklığının altında bakır alüminyum kafesindeki çözünürlüğü azaldığından çökelme sertleşmesi için gerekli ön koşullardan biri yerine gelmiş olur. Böylece malzemeyi gevrekleştirmeden dayanım artışı sağlayan çökelme sertleşmesi uygulanır. Ortamda Mg varlığı çökelmeyi hızlandırır. Çökelme tamamlanmış durumdaki Al - Cu alaşımlarının korozyon direnci düşüktür. Al - Cu alaşımları vida, cıvata, uçak konstrüksiyon, perçin, yüksek sıcaklıklarda çalışan dövme silindir kafa ve pistonları v.s. gibi yerlerde kullanılırlar.

2.2.2. Al - Si alaşımları

Silisyum, sıvı alüminyumun akışkanlığını artırır. Özellikle Cu, Ni ve Mg ile karıştırıldığında yaşlanma ile sertleştirilebilir alaşımlar yapar. Fakat bu alaşımların çekme mukavemetleri çok yüksek değildir ve 13,6-15,4 kg/mm^2 arasında değişmektedir. Mukavemet artışı silisyum artışı ile orantılıdır.

Silisyum ilavesi ile akışkanlık, kaynak kabiliyeti artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme sağlanır. Ayrıca sıcak yırtılma da düşürülür.

Mekanik özellikler, alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekli ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve yuvarlak primer faz (veya ötektik yapı) yüksek mukavemet ve süneklik verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini artırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür.

2.2.3. Al - Ti alaşımları

Tane küçültücü etkisi vardır. Mekanik özelliklerin artmasını sağlar. Kum ve metal kalıba dökülecek alaşımlarda % 0,05-0,02 arasında bulunması istenir. Alüminyum içinde en çok %20 seviyesinde bulunabilir. En iyi etkisi bor ile kullanıldığı zaman görülür. Titanyum çekme mukavemetini ve sünekliği artırır, ısı iletkenliğini düşürür.

2.3. Alüminyumun Ergitme Pratiği

Alüminyum, en basit ve en yaygın şekli ile pota ocaklarında eritilmektedir. Bu ocaklarda kullanılan potalar genellikle dökme demir, grafit, veya karbon ile bağlanmış silisyum karbürden yapılmaktadır. Bunların içinde en fazla kullanılan dökme demirden imal edilen potalardır, aynı zamanda eritilmiş metali tutmak amacı ile tutma ocaklarında da kullanılırlar. Isı geçirgenliği ve mekanik dayanımları fazla olmasına karşılık eritilen alüminyum alaşımının pota malzemesinden demir kapması ihtimali vardır. Bunu önlemek için potayı refrakter bir malzeme ile kaplamalı ve haftada bir potayı çevirmek sureti ile yakıcının karşısına gelen bölgeyi değiştirmelidir. Kaplama için toz haline getirilmiş talk veya sodyum silikat ihtiva eden mika, potaya sıcak halde iken sıvanır.

Refrakter malzemedan yapılan potaların ısı geçirgenliği daha fazladır fakat silisyum karbürden yapılmış olanlarda magnezyumu yüksek olan bir alüminyum alaşımı eritildiğinde alaşımın pota malzemesinden silisyum kapması ve mekanik özellikleri

bozması ihtimali vardır. Ayrıca bu tip potalar yükleme ve döküme taşınma esnasında bir çarpma sonucu kırılabilmektedir.

Aşağıda iyi bir döküm elde etmek için eritme esnasında dikkat edilmesi gerekli hususlar belirtilmiştir;

- Eritmeye kompozisyonu bilinen ve temiz malzemeler ile başlamalıdır.
- Eritme işlemi temiz sonuçlandırılmalı ve banyo sıcaklığı döküm anına kadar düşük tutulmalıdır.
- Ortamda su buharı ve hidrojen taşıyan gazlardan kaçınılmalıdır.
- Metal banyosu gerekenden fazla karıştırılmamalıdır.
- Uygun eritken ilavesi ve çalkalama pratiği seçilmelidir.
- Yüzeydeki curuf tabakası dökümden hemen önce temizlenmelidir, daha önceki işlemler sırasında temizlemeye gerek yoktur.
- Erimiş metali dökerken türbülans ve kesikli dökümden kaçınılmalıdır

2.4. Alüminyum Alaşımlarının Hazırlanması

Alüminyum sıvı halde iken serbest atomlar sebebiyle atmosferik oksijen ile etkileşimi sonucu, Al_2O_3 ve metal oksitler şeklinde curuf oluşmaktadır. Oluşan bu metal oksitler döküm yapıncaya kadar metalle atmosferin etkileşimini önler ve döküm yapılmadan önce temizlenir. Yüzeydeki oksit tabakasının kalınlığı, oksitlenmiş ve korozyona uğramış hurdaların kullanılması, fırındaki sıvı metalin aşırı türbülansı, Mg elementinin varlığı ve ortamın sıcaklığı ile artmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının üretilmesi sırasında temiz ve homojen sıvı metal eldesi için, dökümden önce sıvı metale birtakım ilaveler yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla;

- a)Curuflaştırıcılar
- b)Tane küçültücüler ve
- c)Yapıyı modifiye edici ilaveler

2.4.1. Curuflaticılar

Metalin fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla ilave edilen curuflaticıların kullanımının ana nedenleri; metalin ergimesi sırasında oluşan kayıpları, sıvı metal tarafından gazların absorblanmasını önlemek ve metaldeki istenmeyen impuriteyi gidermektir. Curuflaticı olarak çeşitli gaz ve katı ilaveler kullanılmaktadır. Bunlar;

- Sıvı metali korumak için kullanılan ilaveler,
- Sıvı metali temizlemek için kullanılan ilaveler,
- Curufa karışan metali kazanmak için kullanılan ilaveler ve
- Gaz gidermek için kullanılan ilavelerdir.

2.4.2. Tane küçültücüler

Metallerin mekanik özellikleri, tane boyutu ve mikroyapı morfolojisinden etkilenmektedir. Alüminyum alaşımlarında tane boyutunu küçültmek amacıyla, aşılaiıcı olarak K_2TiF_6 ve KBF_4 tuzlarından oluşan karışım, döküm öncesinde sıvı metale doğrudan katılır. Al-Ti ve Al-Ti-B gibi alaşımlardan bir tanesi ile oluşturulan aşılaiıcılar (Al_3Ti , AlB_2 , TiB_2 gibi) ilave edilir. Alüminyum alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılan ilaveler;

- Alüminyum - Titanyum (Al – Ti); % 5-10 içerir.
- Alüminyum - Bor (Al – B);
- Alüminyum – Titanyum - Bor (Al-Ti-B); % 5 Ti ve % 0,1 – 2,5 B içerir.

2.4.3. Modifiye ediciler

Alüminyum alaşımları içerisinde yapıyı modifiye edici elementler daha çok Al – Si alaşımlarında kullanılır. Ötektik altı Al - Si alaşımlarında kum döküm yöntemi ile üretilen parçalarda Si oldukça kaba ikiz levhalar halinde kristalleşir. Bu tür yapılar alaşımların mekanik özelliklerini düşürücü rol oynar. Bu kaba yapıyı değiştirmek amacıyla ötektik altı Al - Si alaşımlarına modifiye edici olarak Na ilavesi yapılmaktadır. Na uygulamalarda genellikle sodyum tuzları şeklinde kullanılmaktadır. Al-Si

alaşımlarının modifikasyonu sonucunda elde edilen ince yapı kararsız bir yapı olup, modifiye olmuş yapının korunması sıvı metal sıcaklığına, bekletme süresi ve sıvı metal miktarına bağlıdır.

2.5. Alüminyum Alaşımlarında Tane İnceltme

Tane inceltme uygulamalarının alüminyum alaşımlarında kullanıldığı uzun yıllardır bilinmektedir. Sıvı metale yapılan bir miktar titanyum ilavesi tane yapısında önemli ölçüde küçülme sağlamakta ve alaşımın dökülebilirliğini artırmaktadır. Tane inceltici olarak kabul gören titanyum (Ti) ve bor (B) elementleri az miktarda birlikte alüminyuma ilave edildiğinde hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi göstermektedir. Bu etki her hangi bir şekilde Ti ve B ilave edilmemiş ve bir miktar Ti ve B ilave edilmiş iki alüminyum külçenin kesilmesi ve yüzeylerinin parlatılmasından sonra uygun şekilde dağlanması ile ortaya çıkan tane yapısı basitçe ve net olarak gösterebilmektedir. Ti ve B ilave edilmiş bir alüminyum alaşımının tane yapısında ortaya çıkan değişime bir örnek Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2a-Tane inceltilmemiş, b-Al5Ti1B bileşiminde 10 ppm bor ilave edilmiş 3004 alaşımının tane yapıları[1].

Tane inceltme döküm parçaların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bunun sebebi ikinci faz partiküllerinin dağılımı değiştirmesidir. Bu durum Şekil 2.2'de gösterilen tane inceltilmemiş ve tane inceltilmiş yapıların karşılaştırılması ile daha net görülebilir. Şekil 2.2a'da görülen tane inceltilmemiş yapıda uzun kanat şeklinde alüminyum tanelerinin olduğu görülmektedir. Sıvı metalde bulunan veya katılma sırasında oluşan gevrek intermetalik bileşikler ve porozite bu iri tanelerin aralarına dizilerek bu tanelere dik gelen uzama kabiliyetini zayıflatacaktır [1]. Şekil 2.2b'deki yapı ise tane inceltilmiş bir yapı olup küçük, düzeli ve eşksenli bir tane yapısına sahiptir. Bu yüzden mekanik özellikler izotropiktir ve alaşım daha mukavemetlidir.

Tane inceltme işlemi alüminyum döküm alaşımlarında porozite miktarını azaltmakta ve porozite boyutunu küçültmektedir. Aynı zamanda besleme kabiliyetini arttırmakta olduğundan alüminyum alaşımları çoğunlukla tane inceltme işlemine tabi tutulmaktadır.

2.6. Tane Boyutunun Ölçülmesi

Tane boyutu ölçme işlemi alüminyum dökümlerde numune alma ile başlar. Numunenin bir yüzeyinin zımpara ile düzeltilmesi ve parlatılması gerekir. Bazen numune yüzeyi bir frezede düzlenebilir. Eğer frezede düzeltme işlemi hafif talaş kaldırılarak ve keskin bir çakı ile yapılmışsa numune parlatmaya gerek kalmaksızın direkt olarak dağlanabilir.

Bakır oranı düşük alüminyum numuneler dağlanmadan hemen önce parlatılmış numune kaynar derecede sıcak bir suda bir süre bekletilerek ısıtılır. Bu aşamadan sonra numune oda sıcaklığındaki Poulton dağlama ajanı içersine bir süre daldırılarak veya dağlayıcı emdirilmiş bir parça pamuk veya bez ile ovalanarak dağlama işlemi gerçekleştirilir. Poulton dağlama ajanı %60 hidroklorik asit (HCl), %30 nitrik asit (HNO₃), %5 hidroflorik asit (HF) ve %5H₂O bileşimine sahiptir[14]. Bakır içeren alüminyum alaşımlarında tane yapısını ortaya çıkarmak daha zordur. Bu tür alaşımlar için genellikle iyi sonuç veren bir uygulama numunenin oda sıcaklığında %10 hidroflorik asit (HF) çözeltisi ile dağlanmasıdır.

Dağlanmış numunelerin üzerinden tane boyutu ölçümüne ilişkin birden fazla yöntem mevcuttur. Bu yöntemler ASTM E112 de tanımlanmıştır. Buna göre tane boyutu bu yöntemlerden herhangi biri ile ölçülebilir. Bu yöntemler şunlardır;

- ortalama kesişim mesafesi
- hesaplanmış ortalama tane çapı
- ASTM tane boyutu numarası
- birim cm² ye düşen tane sayısı

Tablo 2.1’de bu yöntemlere göre tane boyutu sınıflandırılması karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bununla birlikte tane boyutu ölçümünde en kolay yöntem ortalama kesişim mesafesinin ölçülmesidir. Bu yöntemde ortalama tane boyutu parlatılmış ve dağlanmış numune üzerinde çizilen bir doğrunun kaç adet taneyi kestiği sayılarak bulunmaktadır.

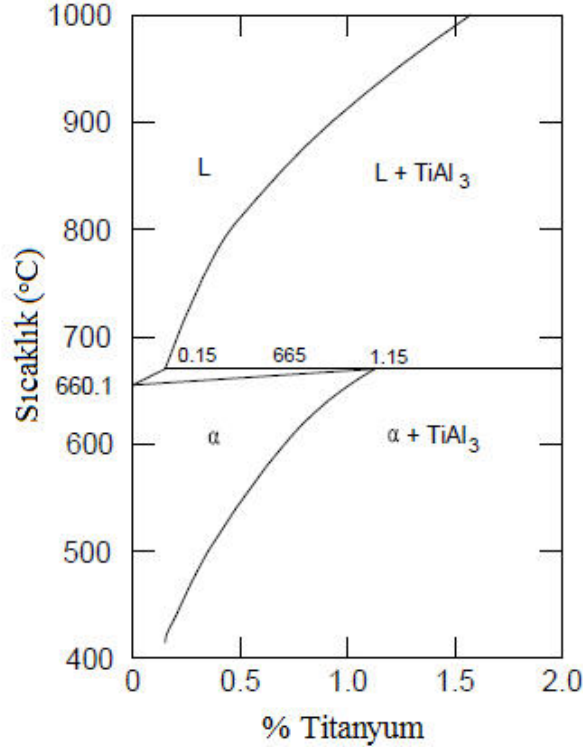
Tablo 2.1. ASTM E112 Standardına göre tane boyutlarının karşılaştırılması.

| Ortalama Tane Boyutu | | Ortalama TaneÇapı μm | ASTM Tane No. | cm ² ‘ye Düşen Tane Sayısı |
|----------------------|---------------|------------------------------------|------------------|--|
| mm | μm | | | |
| 0,2 | 200 | 252 | 14,5 | 12200 |
| 0,4 | 400 | 504 | 12,5 | 3200 |
| 0,8 | 800 | 1008 | 10,5 | 724 |
| 1,2 | 1200 | 1512 | 9,5 | 362 |
| 2,0 | 2000 | 2520 | 8 | 128 |

2.7. Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme Mekanizmaları

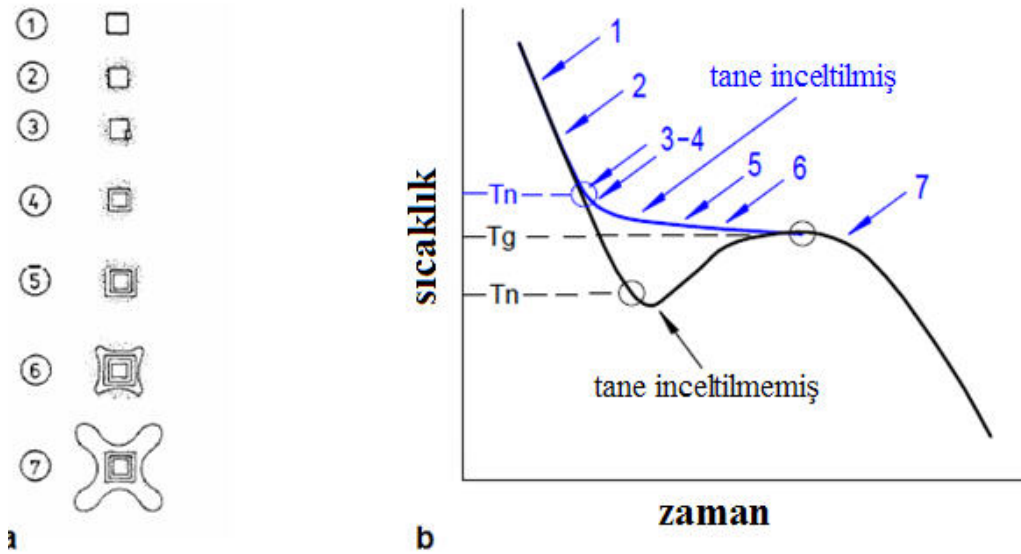
Alüminyum dökümlerinde titanyum ilavesinin tane inceltme etkisi oluşturduğu 1930’ lu yıllardan bu güne bilinmektedir. Titanyumun bu etkiyi nasıl gösterdiği konusunda en yaygın görüş ise titanyumun alüminyum ile TiAl₃ bileşiği oluşturarak bu bileşiklerin sıvı alüminyumda heterojen çekirdeklenme noktaları oluşturduğu şeklindedir. Şekil 2.3’de Al-Ti Faz diyagramının alüminyumca zengin tarafı verilmiştir. Faz diyagramından gibi Ti ilavesinin alüminyumun ergime derecesini 660 °C’den 665 °C’ye yükselttiği görülmektedir. Diğer bir nokta ise alüminyum

içerisinde Ti oranı %0,15'i geçtiği anda sıvı içerisinde heterojen çekirdeklenme altlıklarını oluşturduğu var sayılan katı $TiAl_3$ bileşiklerinin oluşmasıdır.



Şekil 2.3. Al-Ti Faz diyagramının alüminyum tarafı [2]

Backerud [3] katı $TiAl_3$ partikülleri üzerinde alüminyumun çekirdeklenerek büyümesini Şekil 2.4a'da gösterilen şema ile açıklamıştır. Sigworth ve Kuhn [1] bu şemayı Şekil 2.4b'de gösterilen başka bir şematik soğuma eğrisi ile ilişkilendirerek açıklamışlardır.



Şekil 2.4a. Alüminyumun $TiAl_3$ partikülleri üzerinde çekirdeklenecek büyümesi sırasında geçirdiği aşamaların şematik gösterimi [3], b Tane inceltilmemiş ve tane inceltilmiş sıvı alüminyumun soğuma eğrilerinin gösterimi [1].

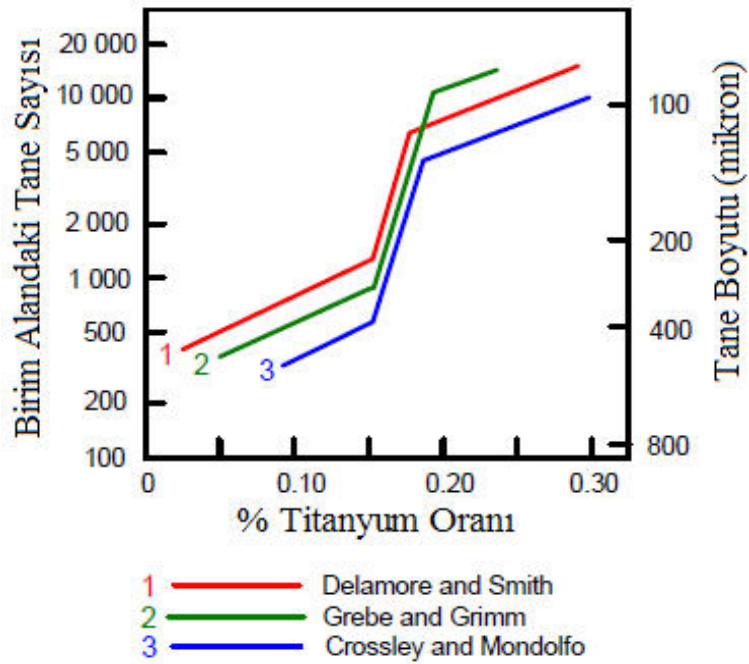
$TiAl_3$ intermetalik bileşiği tane inceltici olarak ilave edilen titanyum içeren mastır alaşımı içerisinde çok sayıda bulunmaktadır. Dökümden birkaç dakika önce tane inceltici mastır alaşımı ilave edildiğinde milyonlarca mikroskobik $TiAl_3$ partikül sıvı metal içersine dağılmaktadır. Bunlardan bir tanesinin Şekil 2.4a'da şematik olarak 1 ile gösterilen parçacık olduğunu varsayabiliriz. $TiAl_3$ sıvı alüminyum ile temas ettikten sonra çözülmeye başlar. Bunun sonucu partikül çevresinde partikül ile temas eden alüminyum titanyumca zenginleşmeye başlayacaktır. Bu olay Şekil 2.4a da 2 no lu skeç ile temsil edilmektedir. Bu anda Şekil 2.3'de verilen faz diyagramından görüleceği gibi ilk önce partikül etrafında titanyumca zengin sıvı ana metale göre daha yüksek likidüs sıcaklığına sahip olması nedeni ile katılaşmaya başlayacaktır. Böylece Şekil 2.4a'da 3 nolu skeç ile gösterildiği gibi partikül yüzeylerinde ilk katı çekirdeklenme başlamış olacaktır. Aynı şekilde 4 ve 5 ile işaretlenen skeçlerde gösterildiği gibi partikül etrafındaki çözülmüş titanyumca zengin alüminyumu tüketerek büyümeye devam edecek ve büyüme bu sıvı tükenince duracaktır. Metal soğumaya devam ederken bu kez çekirdekler etrafında dendritik büyüme başlayacak ve 6-7 de gösterildiği gibi devam edecektir.

Şekil 2.4b'de ayrıca $TiAl_3$ partiküllerinin tane inceltme etkisini soğuma eğrisine yansıtması açısından da önemlidir. Tane inceltici ilave edilmemiş bir dökümün

soğuma eğrisi incelendiğinde çekirdekleşmenin kendiliğinden oluşabilmesi için sıvının Tg (büyüme) sıcaklığı altında bir Tn sıcaklığına kadar birkaç derecelik alt soğuma gerçekleştirmesi gerekmektedir. Buna karşılık mavi çizgi ile görüntülenen tane inceltici ilave edilmiş bir dökümün soğuma eğrisi ise Tg sıcaklığının hemen üzerinde 3-4 noktalarında alüminyumun çekirdeklenebildiğini göstermektedir. Buna göre basit bir termal analiz yöntemi ile bir alüminyum dökümünde etkili bir tane inceltme gerçekleşip gerçekleşmediği kolayca anlaşılabilir.

Titanyumun alüminyumda tane inceltme etkisini teyid eden diğer bir faktör ise bazı araştırmacıların [4] Al tane merkezlerinde titanyumca zengin bölgelerin varlığını göstermiş olmasıdır. Bununla birlikte titanyum ile tane inceltmede dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli nokta titanyumun alüminyum içerisinde çözünübelmesidir. Genellikle dökümhane uygulamalarında Ti ilave oranı 100 ppm (% 0,01 Ti) oranı civarındadır. Bu oranda Ti ticari saflıkta bir alüminyuma ilave edildiğinde $TiAl_3$ kümeleşmeleri faz diyagramında da görülebileceği gibi belirli bir süre içerisinde tamamen çözünerek tane inceltme etkisini kaybedecektir. Bu olay uzun bekletme süreleri ile dökülen tane inceltici ilave edilmiş alüminyum alaşımlarında tane inceltme etkisinin zamanla azalarak yok olmasına neden olmaktadır.

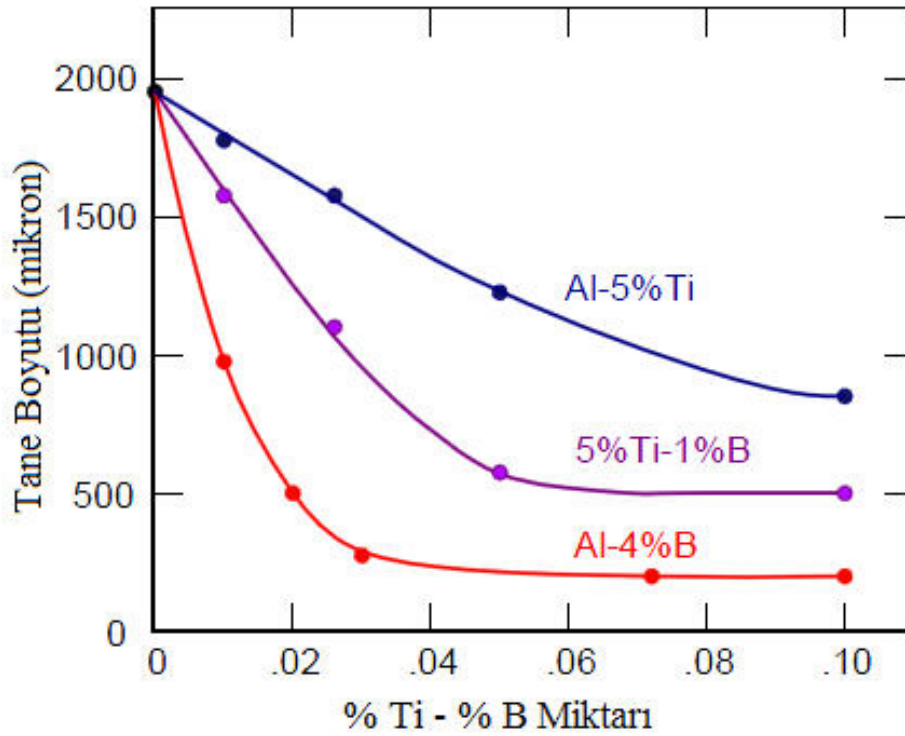
Tane inceltici Ti içeren master alaşımlarının tane inceltme etkilerinin zayıflama süreleri bir çok faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlisi mastır alaşımı içerisinde bulunan $TiAl_3$ partiküllerinin boyut dağılımıdır. Daha büyük boyuta sahip $TiAl_3$ partikülleri içeren mastır alaşımlarında tane incelticilerde etki geç başlamakta ve geç bitmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak günümüz modern dökümhane uygulamalarında benimsenen yaklaşıma göre ilave Ti oranının genel alüminyuma oranı en az % 0,15 olacak şekilde yapılmasıdır. Aksi takdirde master alaşımı çok hızlı bir şekilde tane inceltme etkisini kaybedecektir. Bu konuda Cole ve arkadaşları [5] tarafından bir araya getirilen üç farklı çalışmadan alınan sonuçlar Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Şekil 2.5'te verilen deneysel sonuçlardan % 0,15 ten daha az oranlarda Ti ilavesi ile düzgün bir tane inceltmenin mümkün olmadığı görülmektedir. Tutarlı bir tane inceltme yapılabilmesi için Ti oranının mutlaka % 0,15'in üzerinde bir değerde olması gerekmektedir. Bu değer aynı zamanda alüminyum içinde çözünebilen maksimum titanyum sınırıdır.



Şekil 2.5. % 99,7 safiyette alüminyumda titanyum ilavesi ile tane inceltme sonuçları[5].

2.8. Alüminyumda Tane inceltmede Borun Etkisi

Lu, Wang ve Kung[6] tarafından ötektik altı bir Al-Si alaşımı olan A356 alaşımında üç farklı tane inceltici mastır alaşımı ile yapılan tane inceltme çalışmasına ait bir sonuç Şekil 2.6'de verilmiştir. Bunlar Al-%5Ti, Al-%5Ti-%1B ve Al-%4B alaşımlarıdır. Şekil 2.6'den net bir şekilde borun tane inceltici olarak titanyumdan daha etkili olduğu görülmektedir. Benzer bir çalışmada Sigworth ve Guzowski [7] AlB_2 partikül içeren Al-B mastır alaşımının çok daha mükemmel tane inceltme etkisi gösterdiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 2.6. A356 alüminyum alaşımında üç farklı mastır alaşımı ile tane inceltme sonuçları[6].

Titanyum ve borun tane inceltme etkisi hakkında yapılan çalışmaları Sigworth[1], aşağıdaki şekilde özetlemiştir.

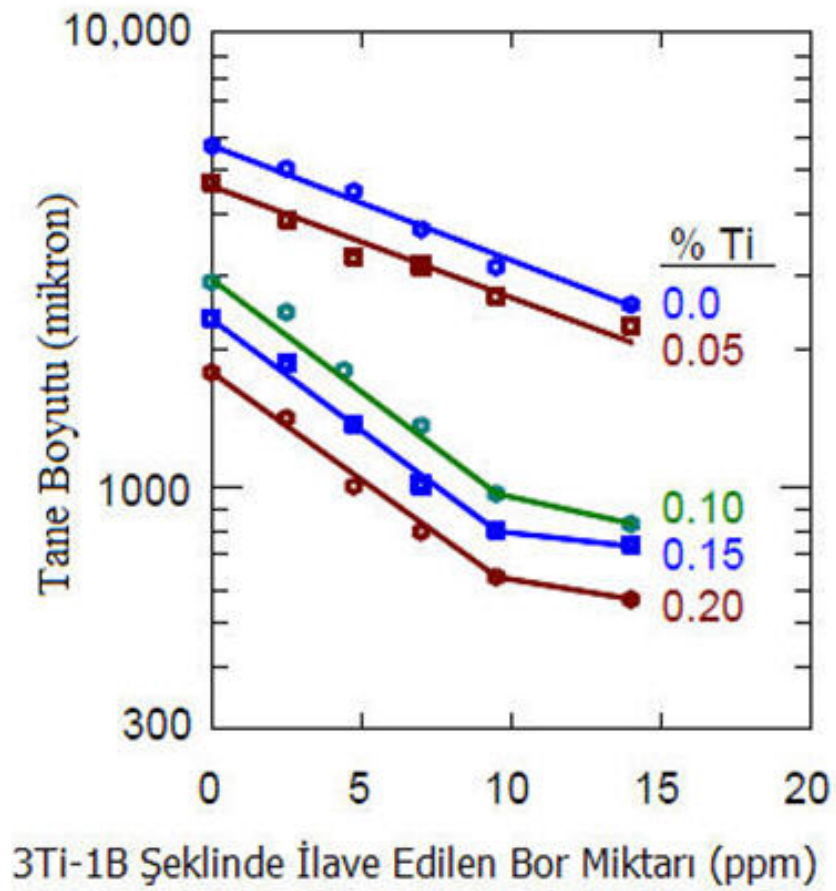
1. $TiAl_3$ zayıf bir çekirdekleyicidir. Aynı zamanda $TiAl_3$ kristalleri alüminyum içinde yüksek oranda çözünürlüğe sahiptir. Bu iki nedenle sadece titanyumla inceltme yapıldığında çok ince tane elde etmek için oldukça fazla miktarda titanyum ilavesi gerekmektedir.

2. TiB_2 partikülleri mükemmel çekirdekleyicilerdir. TiB_2 sıvı alüminyumda neredeyse hiç çözünmemektedir. Bu nedenle TiB_2 partikülleri düşük ilave oranlarında bile mükemmel tane inceltme sağlamaktadır. TiB_2 partiküllerinin sıvı Al içinde katı kalmaları daha uzun bekletme süreleri için inceltme etkisinin devam etmesini sağlamaktadır.

3. AlB_2 alüminyumda en mükemmel çekirdeklenme yeteneği olan bileşiktir. Ancak alüminyumda hızlı bir şekilde çözünüyor olması tane inceltme etkisini zayıflatmaktadır. Alüminyumda serbest kalan bor titanyum ve stronsiyum ile

reaksiyona girerek bileşikler oluşturmakta ve uzun dönemde bekletme fırınlarında topaklanmalara neden olmaktadır. Bu yüzden çekirdekleme potansiyeli olmasına rağmen AlB_2 tane inceltici olarak kullanılamaz.

Pasciak ve Sigworth[8] tarafından Al 319 alaşımı ile yapılan tane inceltme çalışmalarından alınan bir sonuç Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Buna göre tane inceltici olarak bor miktarı artırılrsa bile titanyum ilave etmeksizin etkili bir tane inceltme yapmanın mümkün olmadığı görülmektedir.

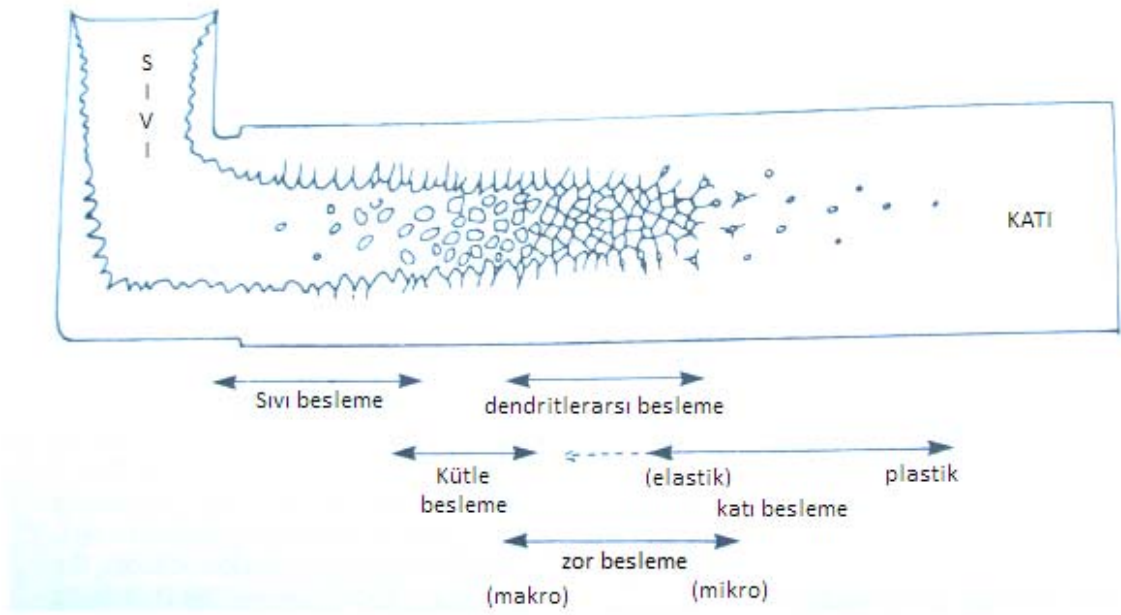


Şekil 2.7. Alüminyum 319 alaşımında tane inceltme sonuçları[8].

2.9. Dökümlerde Besleme Mekanizmaları

Birkaç metal ve alaşım hariç metal ve alaşımların neredeyse tamamı katılaşma sırasında negatif hacim değişimine uğramaktadır. Bakır ve alüminyum temelli alaşımlarda termal iletkenliğin yüksek olması düşük termal gradyana neden olmakta ve özellikle geniş sıvı-katı aralığına sahip alaşımlarda katı bir kabuk oluşumu gecikmektedir. Bu gibi alaşımlarda döküm neredeyse katılaşmanın sonuna kadar sıvı ve sıvı içersinde oluşmuş olan katı dendritlerin bir arada bulunduğu yarı katı (maşi) durumunda soğumaktadır. Bu gibi alaşımlarda porozite veya yüzey çökmesi gibi kusurlardan arındırılmış bir döküm istenmesi halinde sıvını beslenmesi tamamen bu yarı katı ortamda dendritler arasından sağlanmak zorundadır[10].

Belirli bir sıcaklık gradyanı ile katılaşan saf alüminyum katı – sıvı arayüzeyi düzlemsel bir şekilde ilerleyerek katılaşmaktadır. Bu gibi bir katılaşmada katı-sıvı ara yüzündeki sıvı direkt sıvı ile beslenebilir. Buna karşılık alüminyuma alaşım elementi ilave edildiğinde bir katılaşma belirli bir aralıkta gerçekleşmekte ve katı-sıvı ara yüzeyi dendritik karakteristiğe bürünmektedir. Dendritik karakterli katı-sıvı genişlemekte ve neredeyse bazen dökümün tamamını kaplayabilmektedir[11]. Geniş katılaşma aralığına sahip alaşımlarda sıkça görülen karakteristik besleme mekanizmaları Campbell[12] tarafından açıklanmıştır. Buna göre Şekil 2.8'de şematik olarak gösterilen katılaşan bir dökümde beş besleme mekanizması aşağıda Campbell'den alınarak özetlenmiştir.



Şekil 2.8. Katılaştan bir dökümde beş besleme mekanizmasının şematik gösterimi [12].

2.9.1. Sıvı besleme

Sıvı besleme en açık ve en kolay olan besleme mekanizmasıdır ve genellikle diğer besleme mekanizmaları sıvı beslemeyi takip eder. Bu mekanizması kabuk yaparak katılaştan veya ötektik katılaştan ortamlarda tek besleme mekanizmasıdır. Sıvı besleme mekanizması iyi araştırılmış ve diğer besleme mekanizmalarına göre en iyi anlaşılmiş bir besleme mekanizmasıdır[13]. Yetersiz sıvı besleme doğrudan makro porozite (çekinti boşluğu) oluşumu ile sonuçlanmaktadır.

2.9.2. Kütle besleme

Kütle besleme terimi sıvı ile birlikte bir miktar katı kütlenin de besleme sıvısı ile birlikte hareket ederek interdendritik bölgede besleme yapmasıdır. Çekirdeklenme sıcaklığının altına düşmesi ile sıvı içerisinde katı dendritler çekirdeklenerek büyümeye başladığı sırada etrafından akan sıvı ile birlikte beslenen bölgeye hareket eder.

2.9.3. İnterdendritik besleme

Katı kristaller genellikle dendritik formda büyümeye devam ederken sıvı ile birlikte besleme bölgesine hareket etmeye devam ederler. Bu iki fazlı akış bulamaç (slurry) olarak tanımlanabilir ve katı dendritlerin iyice büyümesi ile besleme kanalını katı ve sağlam bir ağ ile tamamen kapatmasına kadar besleme aktivitesine katkıda bulunurlar. Dendrit blokajı (dendrite coherency) tabir edilen kritik bir katı oranına erişildiğinde dendritler bir birine tutunarak rijit bir ağ oluşturur. Bu noktaya ulaşıldığında dendrit blokajı daha fazla kütle beslemeye izin vermez. Bunun yerine sıvı katılma çekmesini hala telafi edebilmek için dendrit örgüsü aralarından sızarak besleme aktivitesine bir süre daha devam eder. Düşük katı oranlarında dendrit örgüsünün geçirgenliği henüz yüksek olduğundan sıvı sızıntısına tamamen karşı koyamaz.

2.9.4. Zor besleme (Burst feeding)

Katı oranı giderek artarken dendrit örgüsü de giderek güçlenmektedir, ancak geçirgenlikte azalmaktadır. Bu noktada dendrit örgüsü daha fazla artan besleme sıvısı basıncına ve zorlamasına dayanamamakta ve sıvı dendrit örgüsünü kırarak zorlamalı olarak bir süre daha besleme bölgesine sızmaya devam etmektedir. Campbell[12] bu noktada kritik katı oranının %68 civarında olduğunu bildirmiştir. Ancak, alaşımın türü ve alaşım içinde bulunan katkı elementleri ve döküm şartları bu oran üzerinde önemli etkilere sahiptir. Zor besleme noktasının tahmin edilmesinde hem kritik katı oranının bilinmesine hemde maşi bölgesindeki dendrit örgüsünün çekme dayanımı bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır.

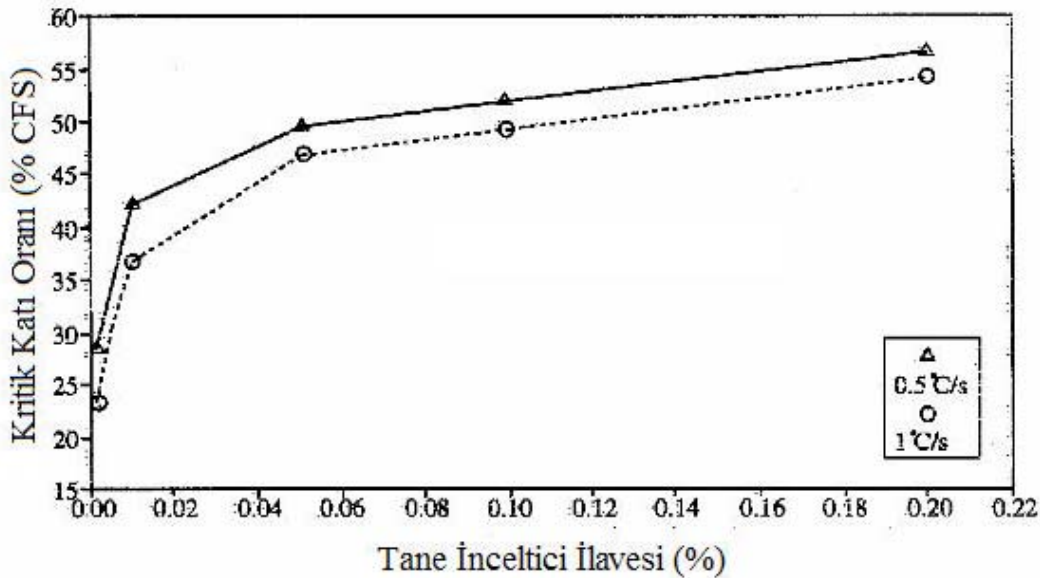
2.9.5. Katı besleme

Büyüyen katı oranı ile birlikte dendrit örgüsü arasından sıvı geçirgenliği giderek azalırken dendritler üzerindeki gerilmede giderek artmaktadır. Artan gerilme ile bazen dendrit örgüsü dağılmakta ve katı dendrit parçaları bir miktar sıvı beraberinde besleme bölgesine taşınabilmektedir. Katı besleme terimi besleme işleminin henüz katılaşmış ve yeterince güçlenmemiş katının deformasyonu ile oluşan bir beslemedir.

Bununla birlikte besleme işleminin katı besleme mekanizmasına gerek duyulmadan diğer besleme mekanizmalarından birisi ile gerçekleşmesi daha istenen bir durumdur. Hatasız bir dökümün üretilebilmesi için katılaşma sırasında yeterli miktarda sıvı metalin sağlanabilmesi zorunludur. Eğer besleme metali yetersiz kalırsa dökümde makro ve mikroporozite, yüzey çökmesi gibi bir çok kusur oluşabilir.

2.10. Tane İnceltmenin Besleme Üzerine Etkisi

Tane inceltmiş dökümlerde maşi bölgesi boyunca beslenebilirliğin arttığı bilinmektedir [10]. Chai, yavaş hızda dönerek soğuyan silindirik bir dökümün içine yerleştirdiği kanat ile katılaşma sürecinde büyüyen dendritlerin kanata uyguladığı yükteki değişimi ölçmüştür. Al-%4 Cu alaşımı ile yapılan bu ölçümlerin sonuçları Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi tane inceltici ilavesine bağlı olarak dendrit blokajı (dendrite coherency) gecikmektedir. Tane inceltilmemiş bir dökümde dendrit blokajı yaklaşık %25 katı oranı seviyesinde iken %0,20 oranında tane inceltici ilave edilmiş dökümde bu oran %50 seviyesine çıkmaktadır. Şekil 2.9'da ayrıca soğuma hızının da dendrit blokajı üzerinde bir miktar etkisinin olduğu görülmektedir. Soğuma hızı 0,5 °C/s' den 1 °C/s ye çıktığında dendrit blokajı bir miktar erken başlamaktadır.



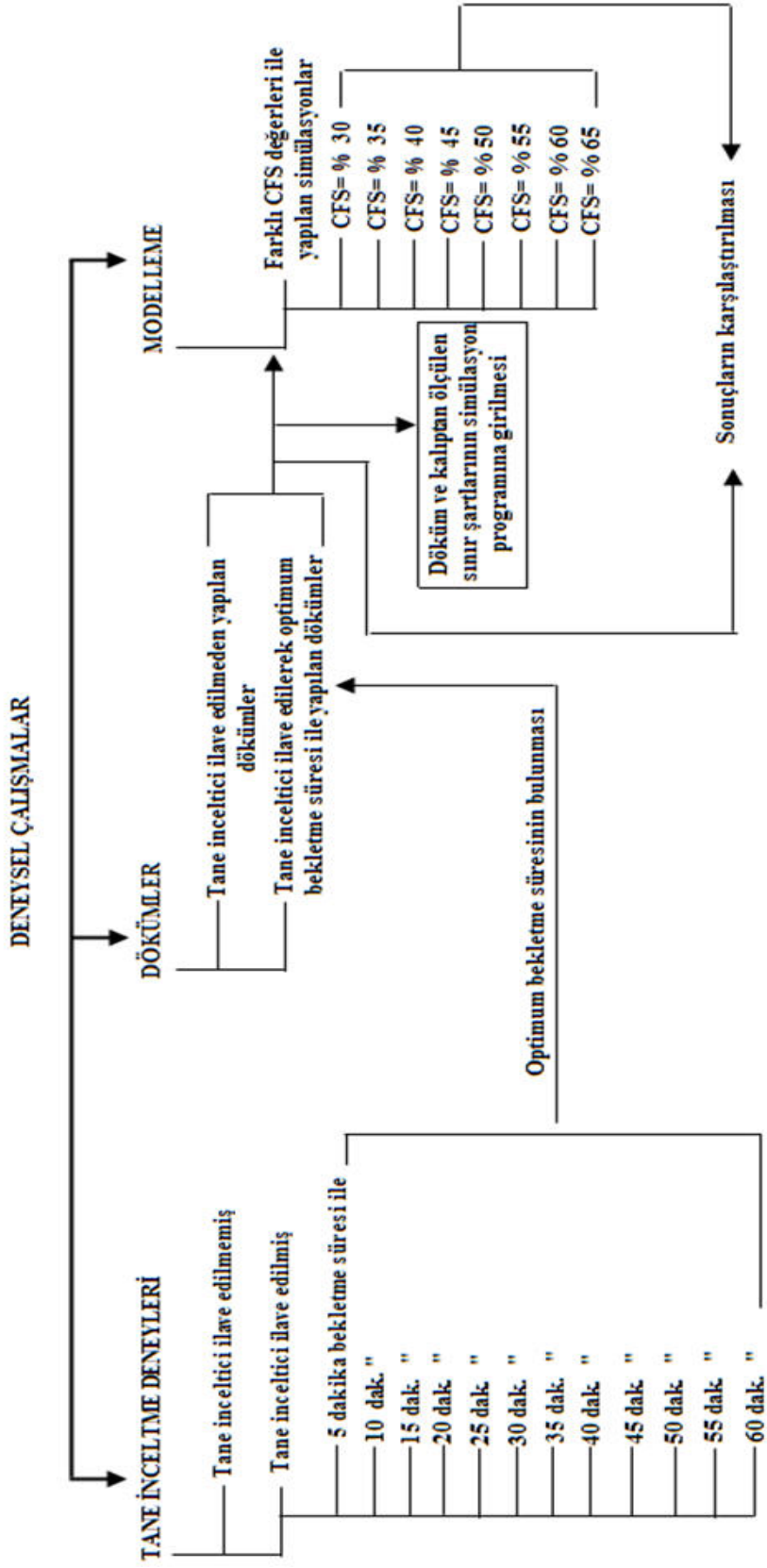
Şekil 2.9. Al-%4Cu alaşımında tane inceltici ilavesinin dendrit blokajına etkisi [9].

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan bu tezde verilen deneysel çalışmalar üç ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların aşamaları genel bir akış çizelgesi ile Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Tablo 3.1’de de görüldüğü gibi birinci aşamada döküm alaşımı olarak kullanılan Etial 110 alaşımı ile tane inceltme deneyleri yapılmıştır. Tane inceltme deneylerinin amacı alaşıma ilave edilen tane inceltici mastır alaşımı ile tane inceltme etkisinin zamana göre değişimini ölçerek optimum bekletme süresinin tespit edilmesidir. Bu aşamadan elde edilen veriler, ikinci aşamada yapılan gerçek dökümlerde kullanıldı. İkinci aşamada yapılan döküm deneylerinin amacı ise sıvı metalin katılaşma esnasında katı-sıvı aralığından (maşi bölgesi) sıvı beslemeye gösterdiği direncin ölçülmesidir. İkinci aşamadan elde edilen bazı verilerin ışığı altında üçüncü aşamada modelleme çalışmaları gerçekleştirildi.

Yapılan modelleme çalışmalarında hedeflenen amaç ise kullanılan döküm simülasyon yazılımında bir modelleme parametresi olan kritik katı oranı (CFS) değerinin dökümlerin tane boyutuna göre nasıl değiştiğinin tespit edilmesidir. Yukarıda özetlenen deneysel çalışmalar aşağıdaki alt bölümlerde ayrıntılı biçimde verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneysel çalışma aşamaları



3.1. Tane İnceltme DeneYlerinin Yapılışı

3.1.1. Kullanılan alaşımin kimyasal bileşimi

Yapmış olduğumuz döküm ve tane inceltme deneylerinde kullanılan Etial 110 alaşımı birincil (premier) külçeler halinde Eti Alüminyum Seydişehir Fabrikalarından satın alınmıştır. Kullanılan külçelerin kimyasal analizleri Spectromax X spektral analiz cihazı ile belirlenmiştir. Tablo 3.2'de ölçülen analiz değerleri verilmektedir.

Tablo 3.2. Primer Etial 110 alaşımının kimyasal bileşimi

| Elementler | Si | Fe | Cu | Mn | Ti | Al |
|-------------|------|------|-----|------|------|-------|
| Ağırlıkça % | 5.24 | 0.32 | 2,7 | 0,38 | 0,01 | Kalan |

3.1.2. Ergitme işleminin yapılışı

Şekil 3.1'de gösterilen elektrik direnç ocağında Şekil 3.2'de gösterilen 8 kg. ergitme kapasitesine sahip SiC pota içerisinde Etial 110 alüminyum alaşımı ergitilmiştir. Elektrik direnç ocağı 2 kW gücündedir. Azami 1000 °C sıcaklığa çıkma kabiliyetine sahiptir ve K tip termokapıl ve elektronik kontaktör termostat donanımı ile sıcaklığı kontrol edilebilmektedir. Ocak astarı kalsiyum oksit türü plakalar ile yapılmıştır ve yüksek termal ızalasyon özelliğine sahiptir.



Şekil 3.1. Elektrik direnç ergitme ocağı



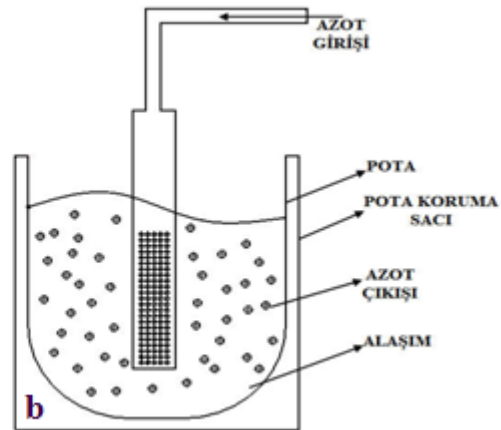
Şekil 3.2. SiC potalar

Birincil (Primer) külçeden kesilerek yaklaşık 100'er gramlık parçalar halinde potaya doldurulan Etial 110 alaşımının sıcaklığı önce 750 °C'ye çıkartılarak üzerine curuf yapıcı örtü tozu ilave edildi.

Kullanılan örtü tozu ticari bir toz flaks olup içerisinde farklı oranlarda sodyum ve kalsiyum tuzları bulunmaktadır. Bu flaksın alüminyuma ilave edilmesindeki amaç sıvı metal içerisinde bulunması muhtemel bazı katışık maddelerin kolayca curuf haline getirilerek metal içersinden uzaklaştırılmasıdır. Örtü tozunun ilavesinden 10 dakika sonra sıvı metal üzerinde biriken curuf ve oksitler bir temizleme laması ile sıyrılarak kabaca temizlendi.

3.1.3. Sıvı metalde gaz giderme ve gazlılık ölçümleri

Sıvı metal içerisinde çözülmüş olan hidrojenin metal dışına alınabilmesi amacıyla kuru azot gazı ile yıkama işlemi gerçekleştirildi. Şekil 3.3a'da gösterilen azotla yıkama işlemi için dış yüzeyleri bor nitrür (BN) kaplı sabit grafit bir lans kullanıldı. Şekil 3.3b'de azot gazı ile sıvı metalde gaz giderme işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Azot gazı, sıvı alüminyum içerisine yaklaşık 670-700 °C aralığında ince delikleri bulunan bir grafit lans ile verilmektedir. Yapılan bu işlemdeki amaç ise çok sayıda küçük gaz baloncuğunu sıvı içerisinden geçirmektir. Azot gazının sıvı içerisinden geçmesi esnasında metal içerisinde çözülmüş bulunan hidrojen atomları bu baloncuklar içerisine difüz ederek baloncuklarla beraber atmosfere atılmaktadır.



Şekil 3.3a. Sıvı metalin azot gazı ile yıkanması,

b. Gaz giderme işleminin şematik görünüşü

Sıvı metalin gazlılık durumunu test etmek amacıyla RPT (Düşürülmüş Basınç Testi) gaz ölçüm testi gaz giderme işlemine yaklaşık 8 dakika devam edildikten sonra uygulandı. Şekil 3.4'te bu çalışmada kullanılan RPT cihazının fotoğrafı verilmiştir. RPT testi prensip olarak yaklaşık 70 gram ağırlığında bir sıvı metalin metal bir kroze içinde -1 atmosferlik (yaklaşık -760 Hg/cm^2) basınç altında katılaştırılmasını ve sıvı metal içerisinde çözülmüş hidrojenin katılaşma sırasında gaz kabarcıkları haline geçmesini esas almaktadır. Test numunesinde çok gaz boşluğu çıkarsa sıvı alaşımda yüksek oranda hidrojen çözüldüğü, buna karşılık numunede az sayıda gaz boşluğu var ise sıvı metalde o derece az çözülmüş hidrojen bulunduğu kabul edilmektedir.



Şekil 3.4. RPT gazlılık ölçüm cihazı

Bu çalışmada, gaz alma işleminden hemen sonra RPT testi yapılarak sıvı içerisinde çözülmüş hidrojen oranının seviyesine bakıldı. Gazlılık oranının yüksek çıktığı durumlarda azotla yıkama işleminin süresini arttırılarak gaz seviyesinin kabul edilebilir seviyelere kadar düşmesi sağlandı.

3.1.4. Tane inceltme işlemlerinin yapılışı

RPT ve gaz alma işlemlerinden sonra sıvı metalin sıcaklığı $750 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkartıldı. $750 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıvı metalin yüzeyinden birikmiş olan oksit ve curuf sıyrılarak temizlendi. Tane inceltici ilavesi yapılmadan önce tane inceltmesiz döküm tane yapısını görebilmek amacıyla ilk numune alındı. Tane inceltmesiz döküm numunesi de tane inceltme deneylerinde olduğu gibi standart ALCAN [15] tane inceltme kabında soğutuldu.

Sıcaklık 750 °C’de sabitlenerek önceden çubuktan kesilerek tartılmış ve kurutulmuş Al5Ti1B mastır alaşımı daldırma yöntemi ile sıvı metal içerisine ilave edildi. Olabilecek oksitlenme kayıpları da göz önüne alınarak sıvı metal içerisine nominal olarak % 0,20 oranında titanyum ilavesi sağlamak üzere ağırlıkça % 0,25 oranında titanyum içeren Al5Ti1B mastır alaşımı ilave edildi. Tane inceltici mastır alaşımı ilave edildikten sonra ilk beş dakikadan itibaren düzenli olarak beşer dakikalık periyotlar halinde numune alınarak bekletme süresinin tane boyutu üzerine etkisi araştırıldı.

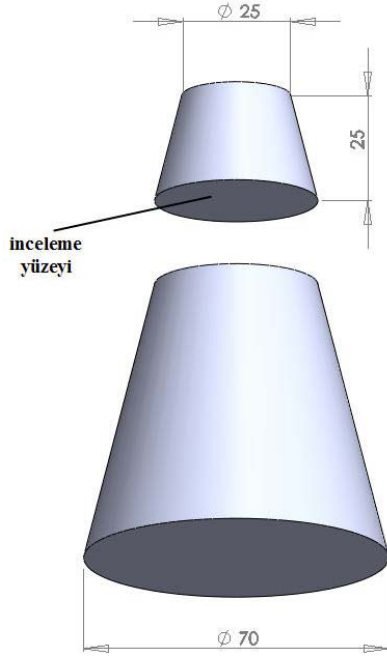


Şekil 3.5. Koni dökümü



Şekil 3.6. Koninin soğutulması

Koni şeklindeki ALCAN standart tane inceltme potasının sıvı alaşım ile doldurulmuş hali Şekil 3.5’te gösterilmiştir. Pota 2 mm kalınlığında çelikten yapılmış olup iç kısmı ince bir bor nitrür (BN) tabakasıyla kaplanmıştır. Pota Şekil 3.6’da gösterildiği şekilde aynı anda hem su girişi ve su çıkışı sağlanan bir su kabına alttan 1/3’lük kısmı su içinde kalacak şekilde daldırılarak soğutulur. Şekil 3.7’de tane inceltme numunesinin boyutları gösterilmiştir. Soğutulan külçe potadan çıkarıldıktan sonra tane yapısı incelemek üzere Şekil 3.8’de gösterildiği gibi kesilir.



Şekil 3.7. Tane inceltme numunesinin boyutları



Şekil 3.8. Kesilmiş tane inceltme külçesi

3.1.5. Yüzeylerin tane ölçümü için hazırlanması

Tane inceltme test konilerinin ince ucundan 25 mm mesafede tane boyutu ölçümü yapabilmek için kesilen küçük konilerin yüzeyleri 600 gritten başlayarak 1200 grite kadar giderek incelen zımparalar ile döner disk üzerinde su ile zımparalandı. Bu aşamadan sonra 1 mikronluk alümina solüsyonu emdirilmiş keçe ile numune yüzeyleri ayna parlaklığında parlatıldı. Parlatılan yüzeyler yıkanarak kurutuldu. Tane yapısının orta çıkarmak üzere yüzeyler PAULTON [14] dağlama ajanı ile 20 saniye süre ile dağlandı. Dağlama işleminden önce numuneler sıcak su içerisinde yaklaşık 80 °C'ye ısıtılarak reaksiyonun hızı ve etkinliği artırıldı. PAULTON dağlama çözeltisinin bileşimi Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo3.3. PAULTON dağlama çözeltisinin yüzde bileşimi

| Bileşikler | HCl | HNO ₃ | HF | H ₂ O |
|-------------|-----|------------------|----|------------------|
| Ağırlıkça % | 60 | 30 | 5 | 5 |

3.1.6. Tane inceltme test konilerinin değerlendirilmesi

Tane boyutu değerlendirmesi parlatılan ve dağlanan yüzeylerde şu şekilde yapılmıştır. Clemex Vision Lite görüntüleme yazılımıyla her bir koni yüzeyinin NİKON SMZ 800 stereoskopa bağlı Clemex dijital kamera yardımıyla görüntüsü alındı. Stereoskopik mikroskop kullanmadaki amaç tane boyutlarının normal ışık mikroskobu altında görüntülenmesi en küçük büyütmelemlerde bile ancak 1 veya 2 taneyi kapsadığından stereoskopik görüntüde çok sayıda taneyi bir defada görüntüleyip ölçme imkanı sağlamasından dolayıdır. Böylece her bir görüntüleme karesinde yaklaşık 1,5 mm²'lik bir alanın değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Bu boyuta bir alan yaklaşık 30-40 tane içermekte dolayısıyla her bir kare mikro yapı fotoğrafından bu sayıda tanenin boyutları ölçülebilmektedir.

Tane ölçümünde kullanılan yazılımdan gelen bir özellik sayesinde ölçülmesi istenen tane üzerinde bir uçtan diğer uca düz bir çizgi çekilmesi yeterli olmaktadır. Program önceden kalibre edilmek koşuluyla çekilen bu çizgilerin boylarını otomatik olarak ölçmekte ve ortalamaları hesaplamaktadır. Bu şekilde her bir koni yüzeyini tamamen kapsayacak şekilde görüntü alınarak tane ölçümü ve ortalama tane boyutu hesaplaması yapılmıştır.

3.1.7. Bekletme zamanının tane inceltmeye etkisinin incelenmesi

Tane inceltmesiz külçeden ve tane inceltici ilavesini takiben 5'er dakikalık periyotlarla alınan tane inceltme test konilerinden ölçülen ortalama tane boyutları değerlendirilerek en küçük ortalama tane boyutunu veren bekletme süresi bulundu. Bu bekletme süresi kullanılan Etial 110 primer alaşımı ve AL5Ti1B tane inceltici mastır alaşım için optimum bekletme süresi olarak kabul edildi. Bölüm 3.2'de ayrıntılı şekilde verilen tane inceltmeli döküm deneyleri bu optimum bekletme süresi baz alınarak gerçekleştirildi.

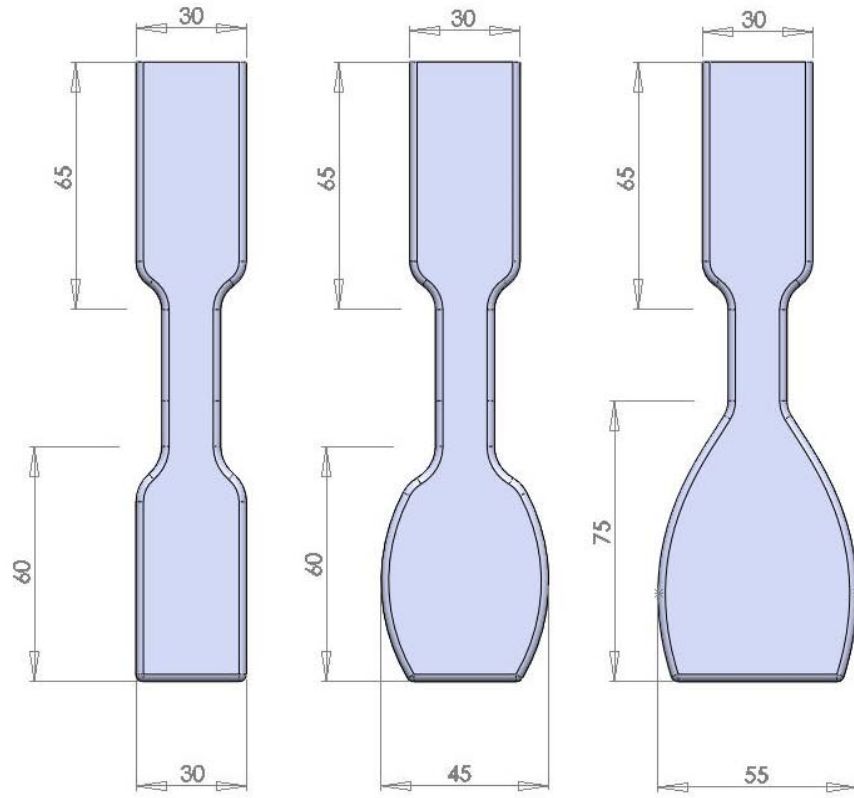
3.2. Dökümlerin Yapılışı

Yapılan bu tez çalışmasında gerçekleştirilen döküm deneylerinin amacı, Etial 110 alaşımının hacimsel beslenmesi sırasında katı sıvı aralığının (maşi bölgesinin) sıvı akışına karşı gösterdiği direncin o bölgedeki yüzde katı oranıyla olan ilişkisini belirlemektir.

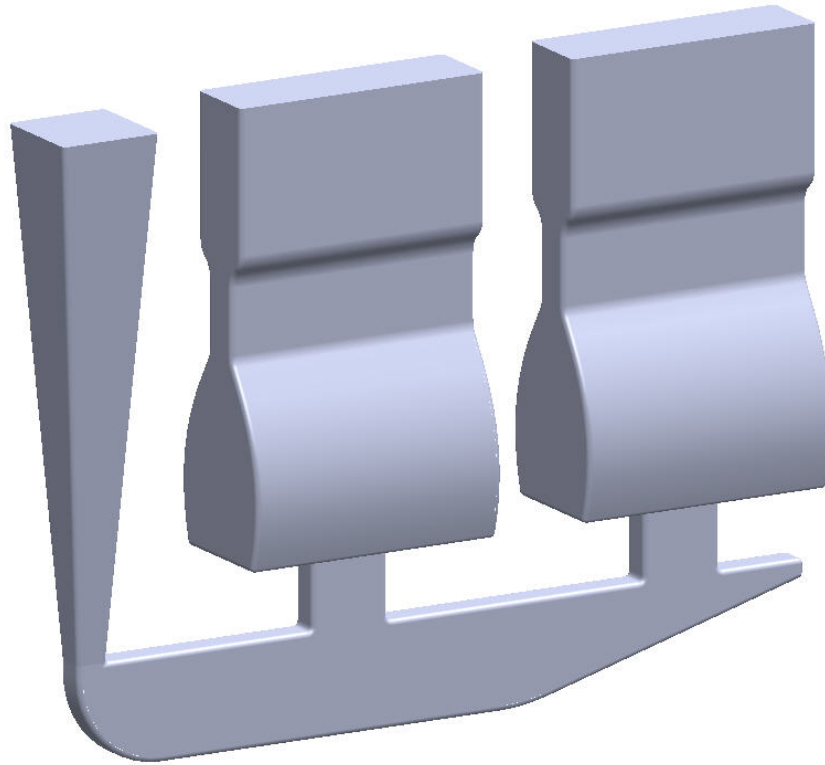
3.2.1. Döküm geometrisinin seçimi

Kullanılan döküm geometrileri seçiminde rol oynayan en önemli etken dökümün herhangi bir bölgesinde beslenmesi imkansız bir sıcak nokta oluşturmaktır. Seçilen döküm geometrilerinde yapılan tane inceltilmemiş (kaba taneli) ve iyi derecede tane inceltilmiş (ince taneli) döküm deneylerinde bu sıcak noktanın ne derece beslenebildiği ölçülebilecektir. Beslenebilirlik ölçütü olarak dökümlerin sıcak noktalarında oluşan mikro ve makro porozitelerin yüzde oranları ve dağılımları esas alınmıştır. Bu nedenle seçilecek geometri öyle bir geometri olmalıdır ki döküm kesitlerinde en azından bir miktar yetersiz beslemeye bağlı porozite oluşumu gerçekleşsin. Buna karşılık oluşan tüm çekme kusurlarının iç kesitlerde oluşması ölçme ve değerlendirme kolaylığı açısından gereklidir. Yüzey çökmesi şeklinde oluşan kusurların boyutları tam olarak ölçülemediğinden seçilen geometride yüzey çökmesi şeklinde bir besleme kusuru da istenmemiştir.

Şekil 3.9'da yapılan bu çalışma için belirlenen üç farklı döküm geometrisi gösterilmiştir. Hazırlık aşamasında her üç geometri ile yapılan deneme dökümleri değerlendirilmiş ve Şekil 3.10'da gösterilen geometrinin en uygun geometri olduğuna karar verilmiş ve döküm deneyleri ve modellemeler tamamen bu geometri kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.9. Kullanılan modeller



Şekil 3.10. Sanal ortamdaki parça tasarımı

Seçilen döküm geometrileri Şekil 3.9 ve 3.10’da görüldüğü gibi üst ve alt kısımları orta kısma göre daha kalın kesitli olacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun sebebi kalıp içerisinde katılaştıran sıvı metalin katılaşması esnasında üst kısımda alt bölgeyi besleyecek sıvı metal olmasına rağmen orta kısımların ince kesitli olmasından dolayı kritik bir katı oranından sonra besleme yolunu kapatmasıdır. Kullanılan bu döküm geometrisi sayesinde isteyerek alt kısımda yetersiz beslemeye bağlı bir miktar hata oluşması sağlanmış ve bu hata boyutu incelenerek katı sıvı aralığının hangi kritik katı oranında tamamen geçirgenliğini kaybettiği (bloke olduğu) bulunmaya çalışılmıştır.

3.2.2. Kalıplama işleminin yapılışı

Şekil 3.10’da gösterilen geometri çift taraflı bir kalıplama plakasına figür olarak işlenerek kalıplama modeli oluşturuldu. Şekil 3.11’de modelin kum kalıbın yarısını oluşturmak üzere bir açma dereceye bağlanmış hali görülmektedir.



Şekil 3.11. Model ve açma derece

Sodyum silikat (camsuyu) reçine bağlayıcılı ve AFS 50 tane iriliğine sahip yıkanmış silis kumu ile kalıplama işlemi yapılmıştır. Şekil 3.12’de gösterilen 60 kg kapasiteli kum mikseri ile kumun hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça % 3 oranındaki reçine silis kumu içerisine eklenip 5 dakika karıştırılarak reçinenin kum içerisinde homojen bir şekilde dağılması sağlandı.



Şekil 3.12. Karıştırma mikserinde kumun hazırlanması

Homojen olarak hazırlanan silis+reçine karışımı kum mikserden alınarak bekletilmeden modelin üzerine konuldu ve model figürünü tamamen alabilmesi için bir lastik tokmakla sıkıştırıldı. Daha sonra kum kalıba şiş yardımıyla açılan kanallardan CO₂ gazı verilerek kalıbın sertleşmesi sağlandı. Son olarak, her iki kalıp parçası bu şekilde üretilerek kalıp boşluğunun düşey döküme uygun şekilde oluşması sağlandı.

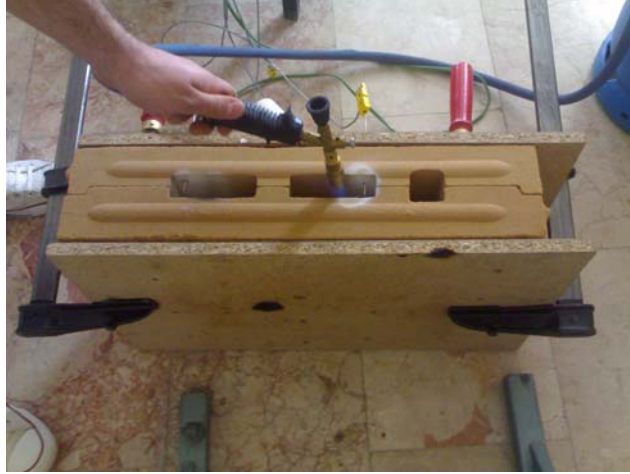


Şekil 3.13. Kumun CO₂ gazı ile sertleştirilmesi

3.2.3. Termokapıl yerleştirilmesi ve kalıbın kapatılması

Dökümün soğuması ve katılaşması sırasında zaman – sıcaklık verileri elde etmek ve bu verilerle oluşturulacak soğuma eğrilerinin simülasyon programında kullanılmasını sağlamak açısından kalıp boşluğunda belirlenen noktalara iki adet K tipi termokapıl

yerleştirildi. Termokapıl uçları özel termokapıl kabloları ile bir Agilent HP34970A entegreli veri toplama ve anahtar birimine bağlanarak birer saniye aralıklarla veri toplama işlemi gerçekleştirildi. Şekil 3.14’de görüldüğü gibi kalıp kapatılarak nemini almak üzere LPG aleviyle yüzeyleri ısıtıldı ve döküme hazır hale getirildi.



Şekil 3.14. Kapatılmış kalıbın görünüşü

3.2.4. Alaşımın ergitilmesi ve döküm işlemi

Etial 110 alaşımı primer külçelerden yaklaşık 100-200 gramlık parçalar halinde kesildi. Parçalar yağ vs. maddelerden arındırılmak üzere sıcak suyla yıkanarak arındırıldı. Parçalar Şekil 3.15’de görüldüğü gibi ocak içerisinde bulunan 8 kg kapasiteli SiC pota içerisinde düzgün bir şekilde yerleştirildi.



Şekil 3.15. Ocağın yüklenmesi

Alaşımın tamamen ergimesi için ocak sıcaklığı 750 °C'ye yükseltildi. Daha sonra alaşımın döküme hazır hale getirilmesi, curuf ve gazdan arındırılabilmesi için sırasıyla curuf temizleme ve gaz giderme işlemleri yapıldı. Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de yapılan işlemlere ait fotoğraf görüntüleri verilmektedir. Bölüm 3.1.2 ve 3.1.3'te curuf temizleme ve gaz giderme işlemleri detaylıca anlatılıp benzer Şekilde yapıldığından burada tekrar verilmemiştir.



Şekil 3.16. Sıvı metale curuflaştırıcı toz atılması



Şekil 3.17. Curuf alma

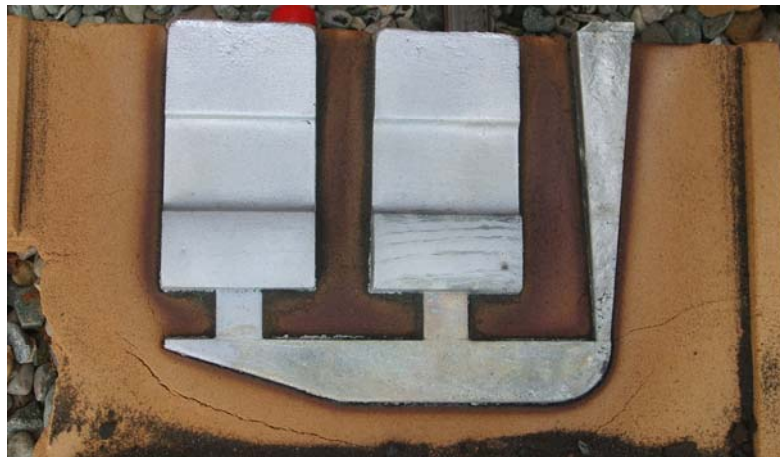
Döküm işlemi tane inceltme ilavesi yapılmadan ve tane inceltme ilavesi yapıldıktan sonra iki farklı kalıba yapılmıştır. İlkinde (tane inceltme ilavesi yapılmadan) alaşımın sıcaklığı pota içinde 700 °C'ye düşürülerek bu sıcaklıkta kalıba dökülmüştür. Şekil 3.18'de dökülmüş bir kalıbın fotoğraf görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.18. Dökülmüş bir kalıbın görünüşü

Alaşımın sıcaklığı tane inceltmeli döküm için tekrar 750 °C'ye çıkartıldı. Bu sıcaklıkta sıvı metale ağırlıkça % 0,25 Al5Ti1B mastır alaşımı ilave edildi. Bir önceki bölümde tanımlanan koni şeklindeki tane inceltme deneylerinden alınan sonuçlar minimum tane boyutunun 25 dakikalık bekleme süresiyle elde edildiğini göstermiştir. Buna göre tane inceltmeli döküm için Al5Ti1B tane inceltici potaya ilave edildikten sonra 25 dakika beklenecek tane inceltmeli döküm yapıldı.

Dökümler kalıp içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra Şekil 3.19'da görüldüğü gibi kalıp açılarak parça çıkartıldı. Döküm parçaları uygun biçimde kesilerek üzerinde gerekli incelemelerin yapılabilmesi için numuneler alındı.

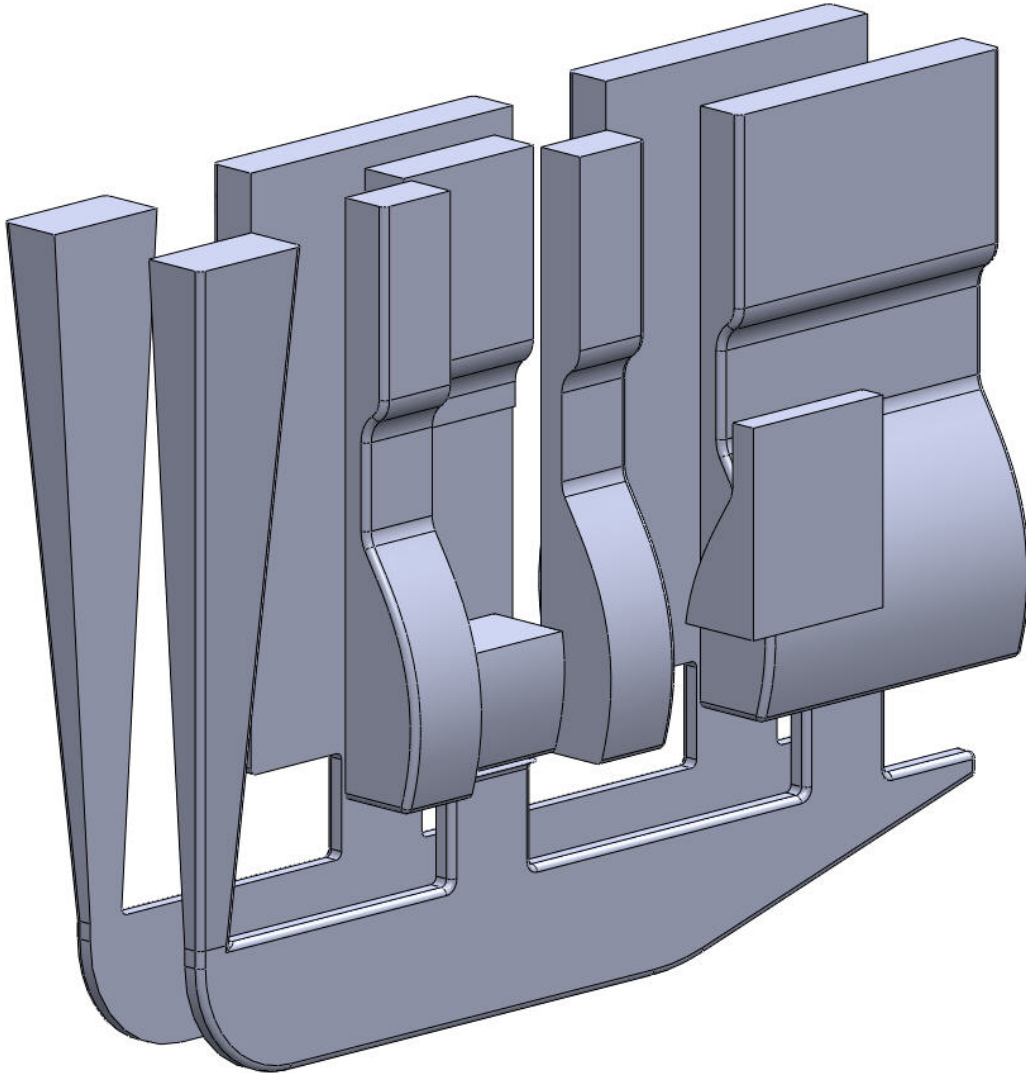


Şekil 3.19. Kalıbın bozulması

3.2.5. Numunelerin hazırlanması

Dökümler oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra önce yolluk bağlantıları kesilerek her bir yolluğa bağlı iki döküm parça serbest hale getirildi. Elektrikli şerit testere ile her bir döküm parça düşey ekseninde geniş yüzeyi ortadan simetrik olarak ikiye ayrılacak şekilde kesildi. Porozite içeren bölgeler, yüzeylerde göz ve büyüteç ile yapılan kaba incelemeler sonucunda belirlendi. Şekil 3.20'de görüldüğü gibi porozite ölçümleri için bu bölgeyi kapsayacak şekilde her bir dökümden iki numune kesilerek çıkartıldı.

Kesilerek çıkartılan numunenin boyutları $60 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} = 3000 \text{ mm}^2 = 30 \text{ cm}^2$ 'lik bir yüzeyi incelenmesine olanak vermektedir. 100 grit zımpara ile inceleme yüzeyi tesviye edildi. Daha sonra sırası ile incelen zımparalar kullanılarak döner disk üzerinde yüzey 1200 grit zımparaya kadar zımparalandı. Bu aşamadan sonra alümina emdirilmiş keçe kullanılarak yüzey parlatıldı. Son olarak parlatılan yüzeyler incelemeye alındı.

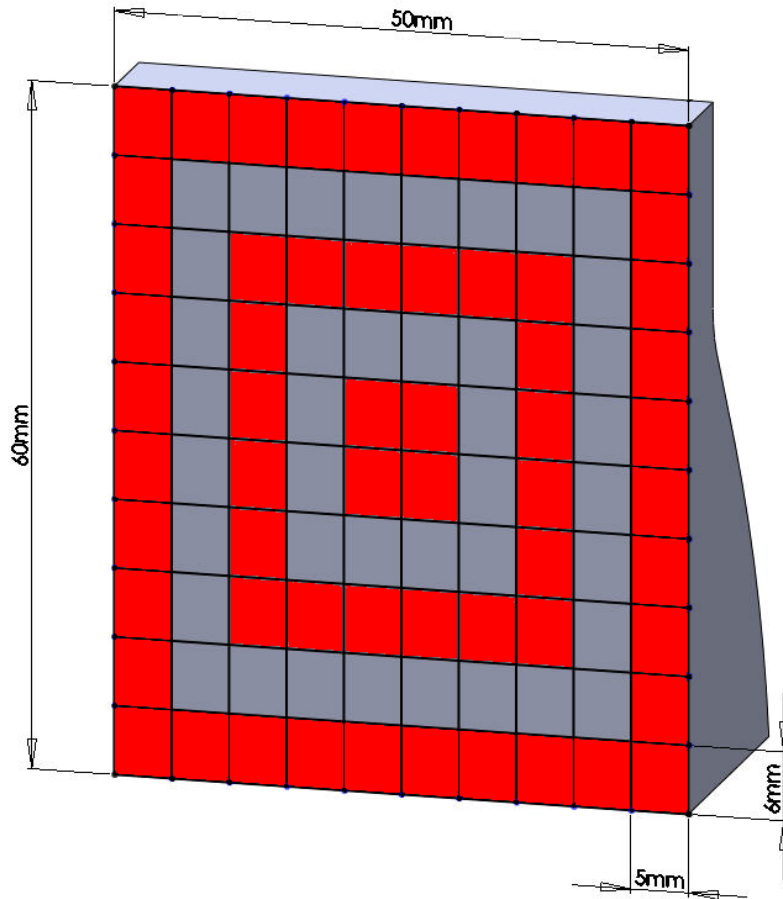


Şekil 3.20. Numunenin döküm parçadan kesilerek çıkarılmasını gösteren model

3.2.6. Numunelerin incelenmesi

Döküm yüzeylerinin incelenmesinde hedeflenen amaç o yüzeyin temsil ettiği döküm kesitinde (bu kesit dökümün tam merkezinden geçen bir düzlemdir) yetersiz beslemeye bağlı olarak oluşan porozite oranının ölçülebilmesidir. Bu ölçüm bir görüntü analiz programı yardımı ile otomatik olarak yapıldığından öncelikle yüzeylerin uygun büyütmeyle fotoğraflanması gerekmektedir.

Şekil 3.21’de gösterildiği gibi yapılan bu çalışmadaki her bir inceleme yüzeyi 100 adet fotoğraf karesi ile görüntülenerek imaj analiz programına aktarıldı.



Şekil 3.21. Fotoğrafların çekildiği bölgeler

NIKON SMZ 800 stereoskop, fotoğraf çekiminde her bir kareden daha fazla bir alan tarayabilmek için normal ışık mikroskobu yerine kullanılmıştır. Bu stereoskopa bağlı bir Clemex dijital kamera yardımıyla alınan görüntüler Clemex Vision Lite görüntü

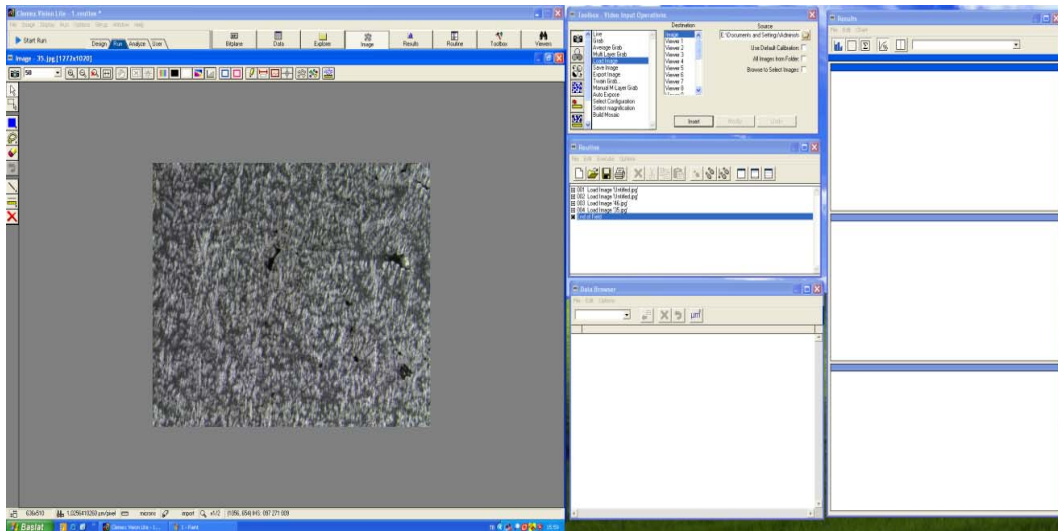
analiz programına aktarıldı ve bu program yardımı ile her bir fotoğraf karesindeki yüzde porozite oranı belirlenerek Şekil 3.21’de görülen numune yüzeyinde bir porozite haritası çıkartıldı.

Yüzeylerdeki makro porozite dağılımının bir bütün halinde tek bir karede gözümüzle gördüğümüz gibi görüntülenebilmesi için detaylı olarak mikroskopta incelenen tüm döküm yüzeyleri bir tarayıcıda taranarak görüntülendi.

3.2.7. Mikro yapı resimlerinin imaj analiz programında değerlendirilmesi

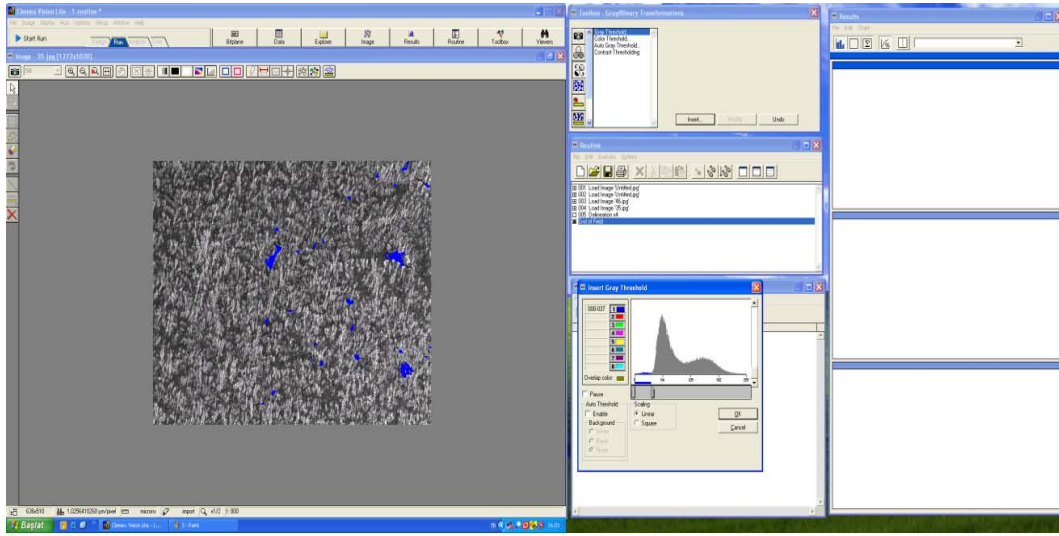
Clemex İmaj Analiz programı; çekilen makro veya mikro yapı resimlerini renk tonlamasına göre ayırt ederek ölçüm yapmaktadır. Porozite bölgesi mikro yapı resmi üzerinde siyah renkte görüleceğinden program bu bölgeyi algılayarak mavi renk tonuyla otomatik olarak boyamaktadır. Program yüzde poroziteyi, mavi boyalı alanların toplamını toplam alana oranlayarak belirlemektedir.

Görüntü analiz programı ile mikro yapı fotoğrafı üzerinden porozite ölçümü genel olarak iki aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada Şekil 3.22’de görüldüğü gibi porozite oranı ölçülecek mikroyapı resmi Clemex İmaj analiz programına yüklenir.



Şekil 3.22. Bilgisayar ortamındaki yüklenmiş fotoğraf görüntüsü

İkinci aşamada ise Şekil 3.23'te görüldüğü gibi Sharpen seçeneğiyle renk karışıklığı daha da belirginleştirilen mikroyapı resmi gray threshold seçeneğiyle renk farklılıklarına göre ayırır. Şekil 3.23'te görüldüğü gibi poroziteli bölge mavi renge boyayarak belirlenir. Bu işlemin sonunda resim toolbox menüsündeki area percent seçeneğine tıklanarak porozitesinin yüzde kaç olduğu results menüsünden görülmektedir.



Şekil 3.23. Porozitlerin renklendirildiği görüntü resmi

3.3. Simülasyon (Modelleme)

Yapılan bu tez çalışmasında 3 boyutlu bir ticari döküm simülasyon programı olan SolidCast yazılımı kullanılmıştır. Program sonlu fark(Finite Difference) metodu ile ısı transfer ve faz dönüşüm hesaplamalarını üç boyutlu döküm ve kalıp kesitlerinde yaparak bir döküm parçanın katılaşmasını modelleyebilmektedir.

Çalışmada fiziksel olarak gerçek döküm şartlarında yapılan dökümlerin simülasyon ortamında sayısal olarak birebir modellenebilmesini sağlamak simülasyon kullanımının en temel amacıdır. Böylece gerçek dökümlerde ortaya çıkan yetersiz beslemeye bağlı porozite kusurlarının simülasyon programında CFS olarak tanımlanan maşi bölgesi geçirgenlik değerini değiştirmek suretiyle simülasyon programında bu değer gerçek karşılığı bulunabilecektir.

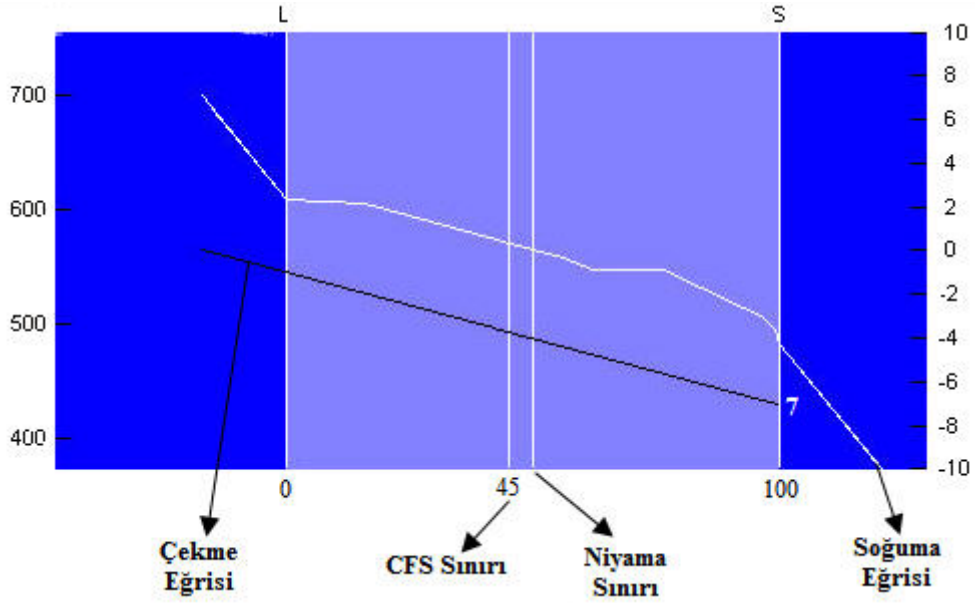
3.3.1. Döküm-kalıp geometrisinin ve malzeme özelliklerinin simülasyon programına girilmesi

Bölüm 3.2.1'deki Şekil 3.10'da görülen döküm geometrisi SolidWorks programında katı model olarak oluşturulduktan sonra STL formatına çevrilerek döküm simülasyon programına aktarıldı. Bu aşamadan sonra döküm alaşımı ve kalıp malzemesinin türü ve termo fiziksel özelliklerinin tanımlanması yapıldı. Döküm alaşımının termo fiziksel değerleri simülasyon programının veri tabanında Etial 110 alaşımına karşılık gelen ISO A 319 alaşımı için verilen değer Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Simülasyonda kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri

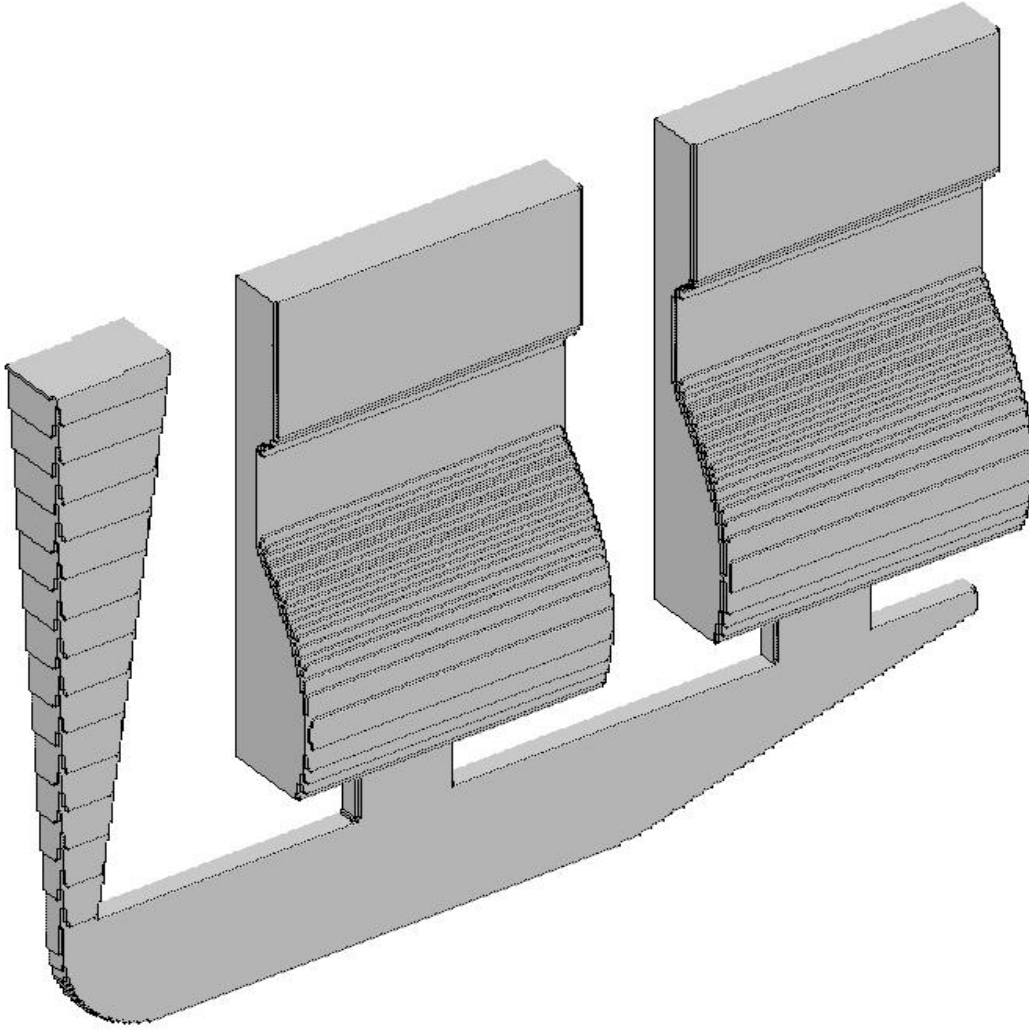
| Döküm Modelindeki Malzemenin Cinsi | Isıl iletkenlik (W/m.K) | Özgül ısı J/kg.K | Yoğunluk kg/m ³ | Başlangıç Sıcaklığı (°C) |
|------------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|
| ETİAL 110 | 108,8 | 962,3 | 2768 | 700 |
| Silis Kumu | 0,59 | 1075,28 | 1521,71 | 26,6 |

Alaşımın soğuma eğrisi, alaşımın CFS değeri ve alaşımın yüzde hacimsel çekme oranı simülasyon programına girilmesi gereken sınır şartlarıdır. Bunlardan soğuma eğrisi dökümlere yerleştirilen temokapılar yardımıyla ölçülen zaman-sıcaklık verilerinden yararlanılarak çizilmiş ve programa girilmiştir. Şekil 3.24'de Etial 110 alaşımı için programa girilen soğuma eğrisi gösterilmiştir. Ayrıca diğer bir sınır şartı olan CFS sınırı Şekil 3.24'de görülmektedir. Örneğin bu çalışmada CFS sınırının 45 olarak seçildiği varsayılmıştır. Son olarak sıvı alaşımın hacimsel çekme oranını belirleyen çekme eğrisi de şekil üzerinde görülmekte ve alaşımın % 100 oranında katılaştığı noktada yüzde çekme oranı bu alaşım için % 7 olarak belirtilmektedir.



Şekil 3.24. Etial 110 alaşımı için girilen soğuma eğrisi

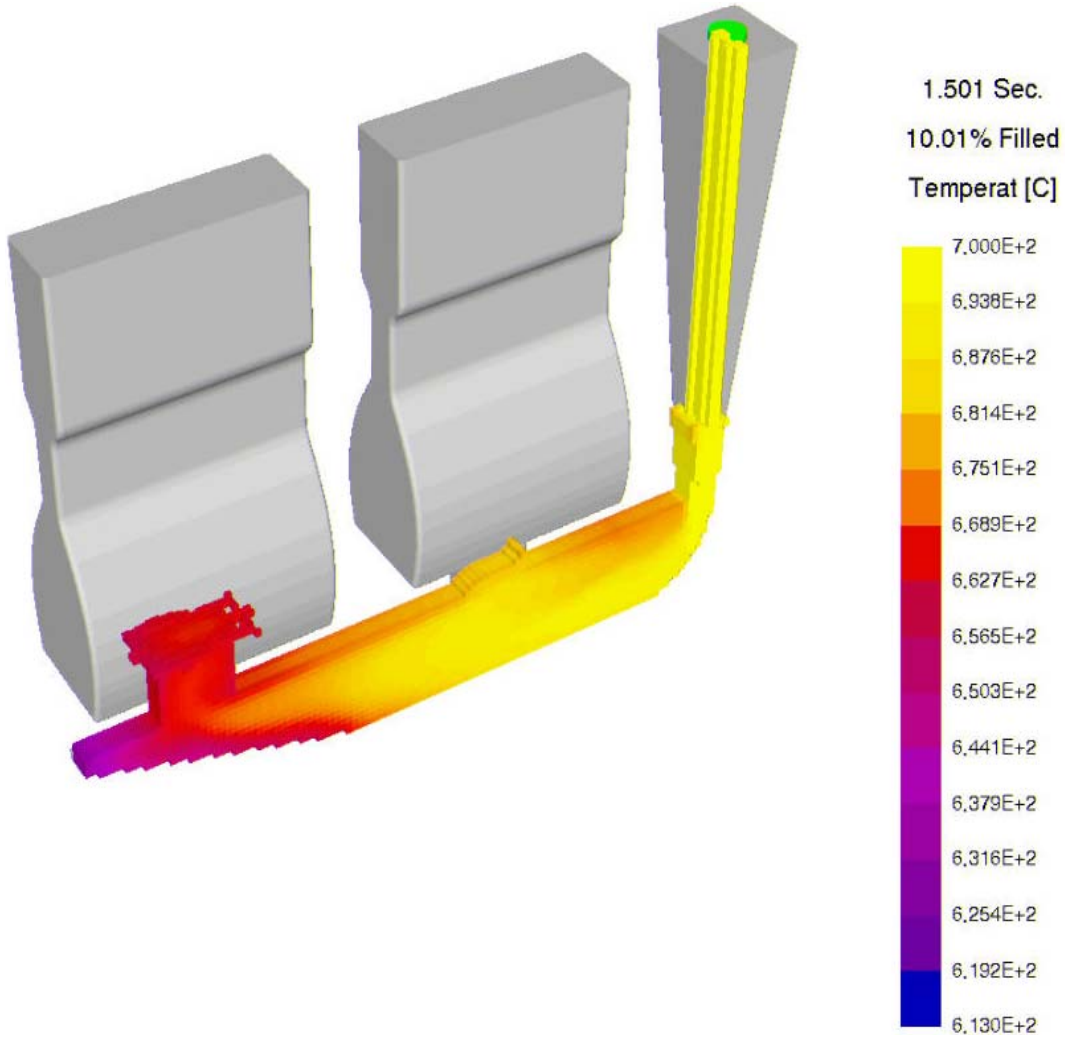
Bu aşamadan sonra katı model geometrisinin meş edilerek girilen sınır şartlarının her bir meş elemanı için simülasyon programında çözümlenmesi sağlandı. Şekil 3.25’de döküm katı modelinin meş edilmiş hali gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bilgisayarda daha az hafıza kullanmak ve daha hızlı çözüme ulaşmak için döküm modelinin simetri düzleminde kesilmiş bir yarısı meş edilmiştir.



Şekil 3.25. Meş görüntüsü

3.3.2. Simülasyon programında kalıbın doldurulması ve dökümün katılaşması

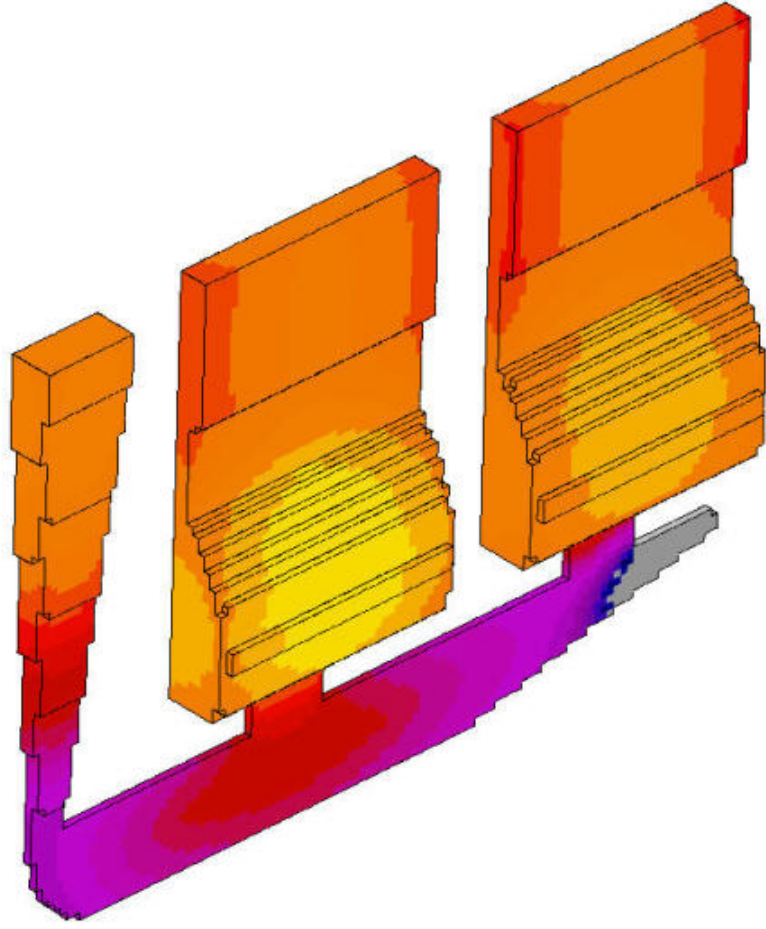
SolidCast simülasyon programında kalıp doldurma işlemi için ayrı bir yazılım olan FlowCast modülü kullanılmaktadır. FlowCast akışkanlar dinamiği kıstaslarına göre sıvı metali kalıp boşluğuna doldururken türbülans, eksik doldurma, soğuk birleşme ve basınç vb. gibi faktörleri de hesaplamaktadır. Şekil 3.26'da simülasyon programında kalıbın doldurulmasını gösteren bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.26. FlowCast programında kalıbın doldurulması

SolidCast programı dökümü soğutmaya kalıp doldurulduktan sonra geçer ve tüm döküm kesitleri katılaşıncaya kadar soğutma işlemine devam eder. Program katılaşma tamamlandığı anda otomatik olarak sonlanır ve döküm parça üzerinde simülasyon sonrası analizlere geçilir. Dökümün soğumasına ait bir görüntü Şekil 3.27’de verilmiştir.

Time: 2.425 Min. Max Cast Temp: 595.185C Min Cast Temp: 425.351C
Time Step: 4440 Max Mold Temp: 579.817C Min Mold Temp: 26.679C
Calculating volumetric feeding



Şekil 3.27. Simülayondan alınan soğuma görüntüsü

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

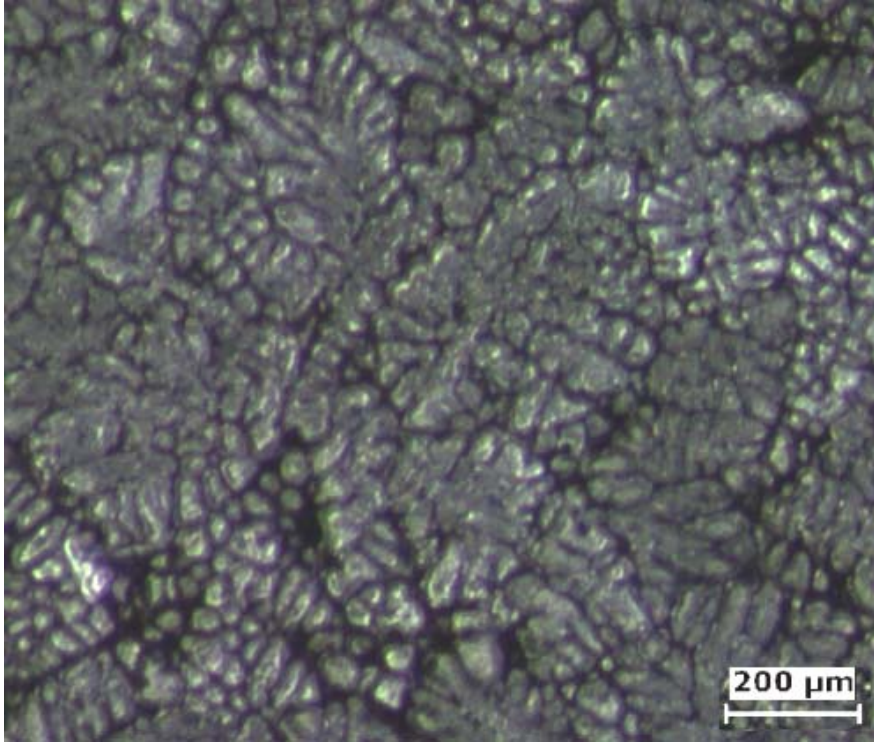
Yapılan bilgisayar modellemelerinden ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar üç alt başlık altında toplanmıştır. Tane inceltme deneylerinden elde edilen sonuçlar ve değerlendirmesi ilk olarak verilmiştir. Daha sonra tane inceltme deney sonuçlarının bir kısmının da kullanıldığı normal dökümlerden alınan sonuçlar ve değerlendirmeleri sunulmuştur. Döküm simülasyon programı ile yapılan modelleme sonuçları ve bu sonuçların gerçek dökümlerle karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlar ve bunların değerlendirmeleri son olarak verilmiştir.

4.1. Tane İnceltme Deney Sonuçları

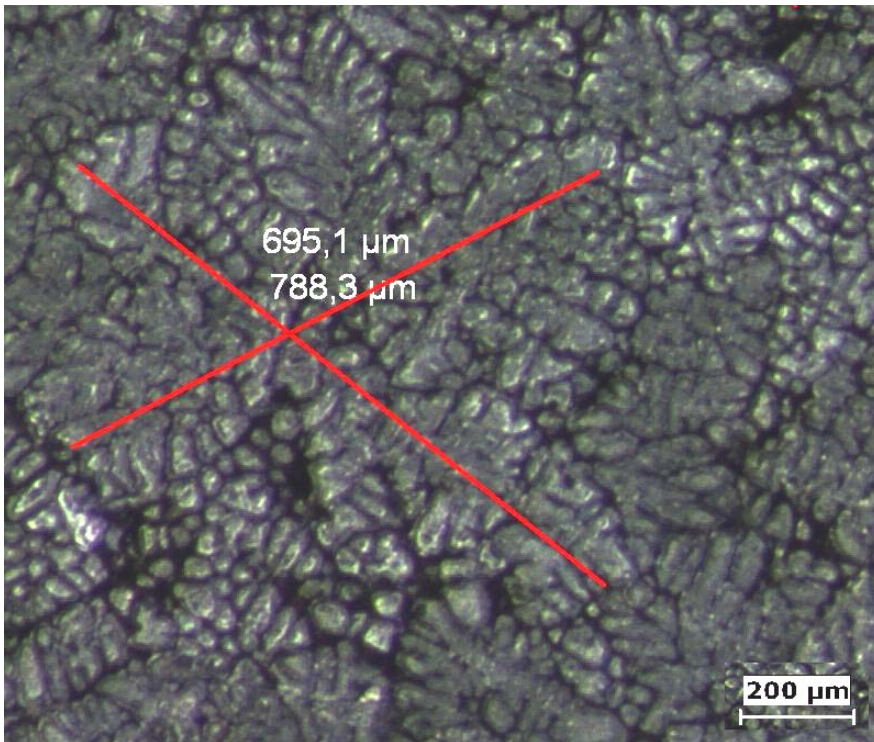
4.1.1. Tane yapıları ve boyutları

Koni şeklinde dökülen standart ALCAN tane inceltme numunelerinin yüzeyleri Bölüm 3'te verilen tekniklerle incelenerek ortalama tane boyutu dağılımı her bir numune için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Etial 110 alaşımına tane inceltici mastır alaşımı ilave edilmeden alınan sıvı alaşım ile elde edilen döküm numunesinin tane yapısı Şekil 4.1a'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tane yapısı dendritik bir görünüme sahip olup dendritlerin boyları yaklaşık 1 mm uzunluğa kadar çıkabilmektedir. Şekil 4.1b'de ise bazı tanelerin görüntü analiz programında ölçülmesini gösteren ölçü çizgileri ile görüntülenmiş hali verilmiştir. Her bir resim karesinde bulunan taneler bu yöntem ile ölçülerek o resmin temsil ettiği bölgedeki ortalama tane boyutu bulunmuştur. Tane inceltici ilave edilmemiş olan bu test numunesinde ortalama tane boyutu 260 µm olarak hesaplanmıştır.



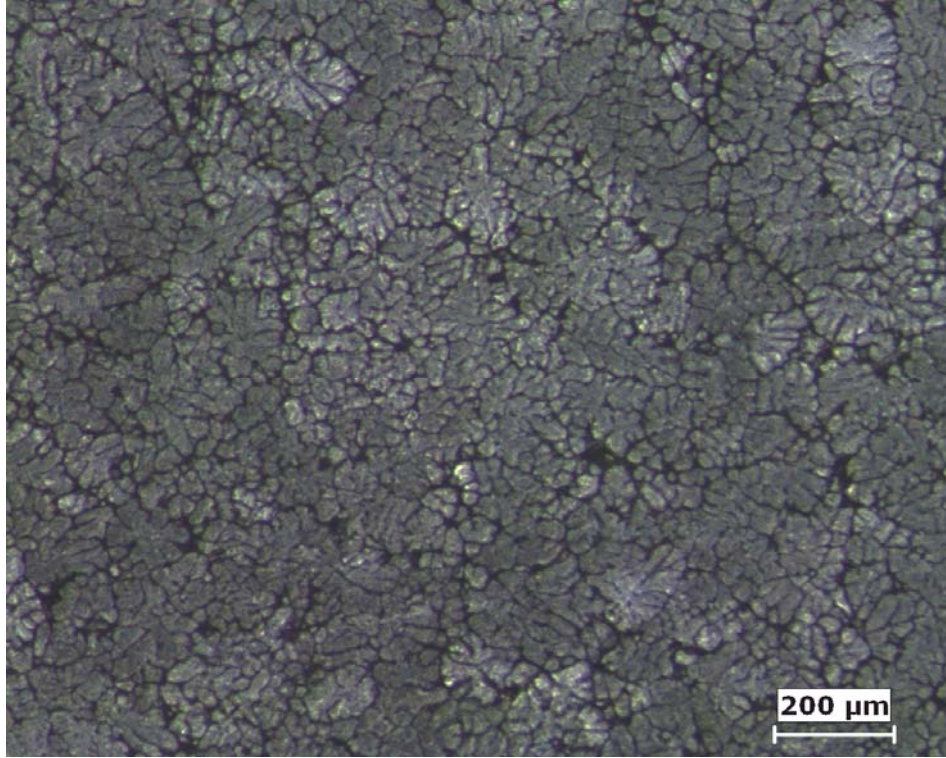
Şekil 4.1a. Tane inceltmesiz mikro yapı resmi



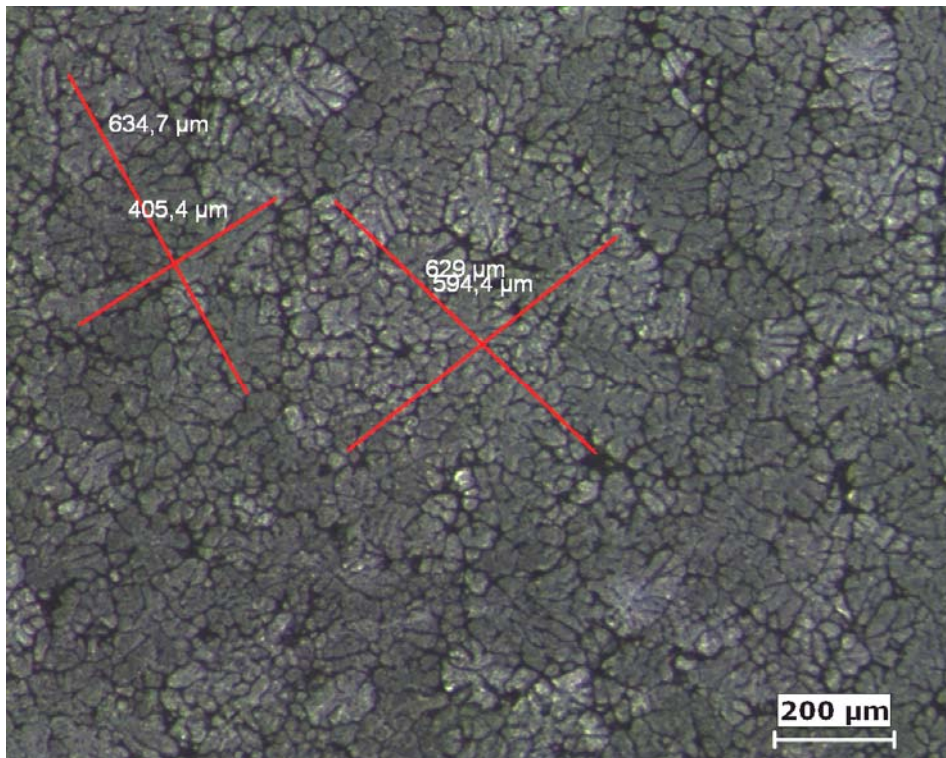
Şekil 4.1b. Tane inceltmesiz mikro yapı resmi ölçülü

Şekil 4.2a–b’de tane inceltici olarak AL5Ti1B mastır alaşımının ilave edilmesinden 5 dakika sonra alınan en düşük bekletme süreli tane inceltme numunesine ait tane yapısının görüntüsü verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi tane inceltici mastır alaşımı ilave edildikten 5 dakika gibi kısa bir süreden sonra bile tane yapısı önemli ölçüde değişikliğe uğramıştır. Bir önceki şekilde gösterilen normal döküm Etial 110 tane yapısına göre tane inceltmeli Etial 110 tane yapısı daha yuvarlak (global) ve daha küçüktür. Yapılan tane boyutu ölçümleri Şekil 4.2b’de görüldüğü gibi tane boyutlarının 400-600 μm arasında değiştiğini göstermektedir. Numune yüzeyinden görüntülenen tüm tanelerin ortalama tane boyutu ise 570 μm olarak hesaplanmıştır.

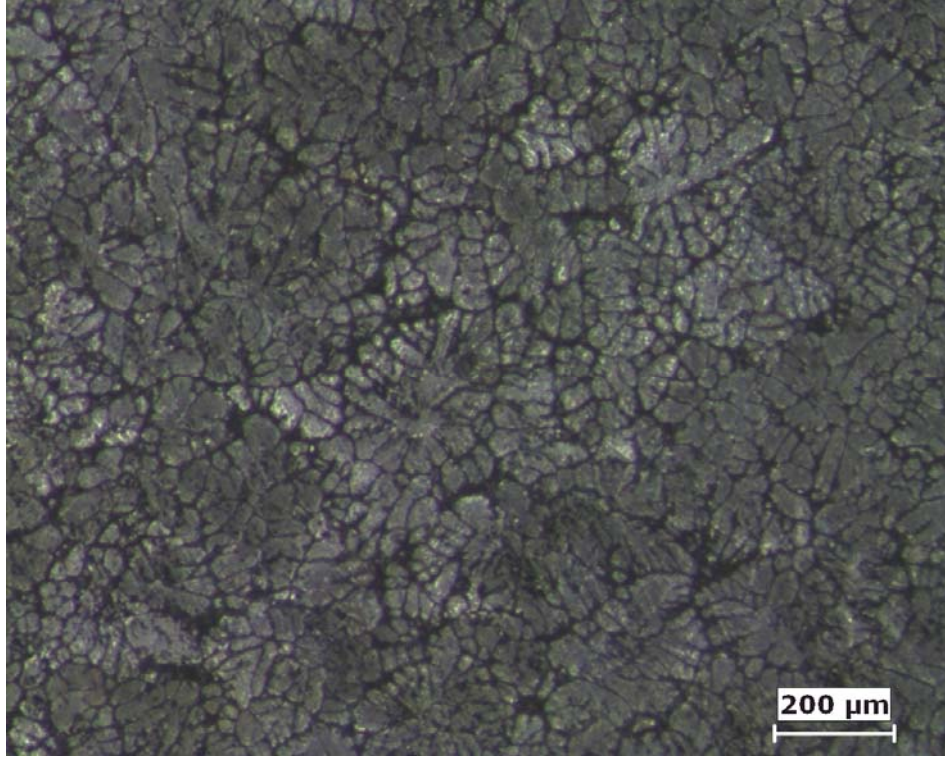
Şekil 4.3a ile Şekil 4.11b arasında sırası ile 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 dakikalık bekletme süreleriyle alınan tane inceltme numunelerine ait tane yapıları ve tane boyutları gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi bekletme süresi arttıkça tane boyutu belirli bir süreye kadar küçülmekte ve süre uzadıkça tane boyutu tekrar büyüme eğilimine girmektedir.



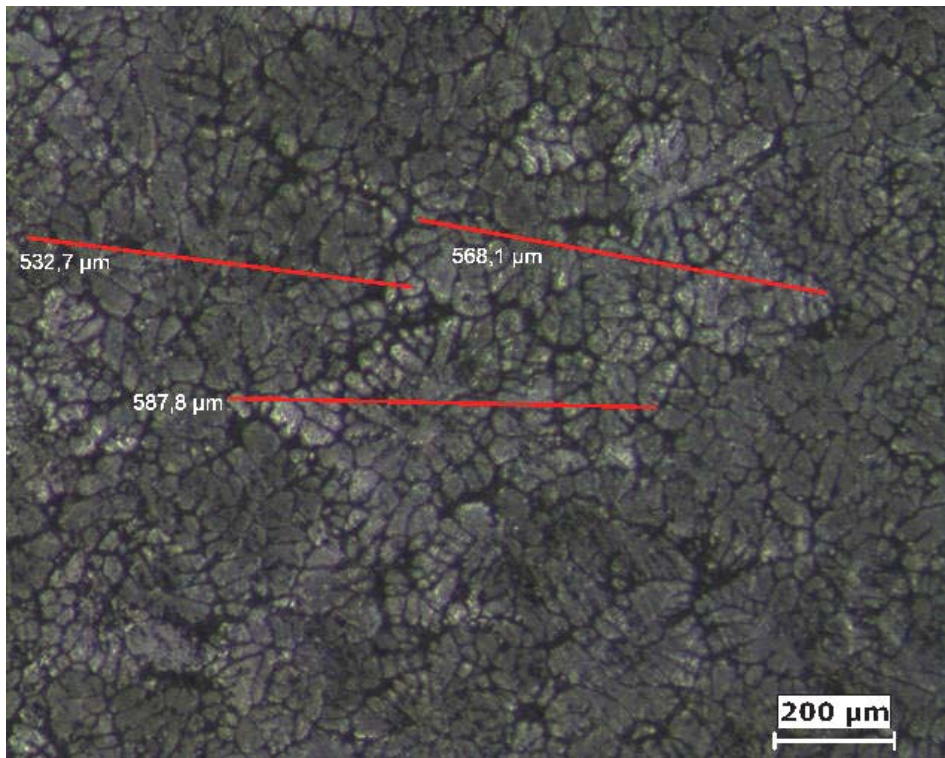
Şekil 4.2a. Al5Ti1B ilavesinden 5 dakika sonra



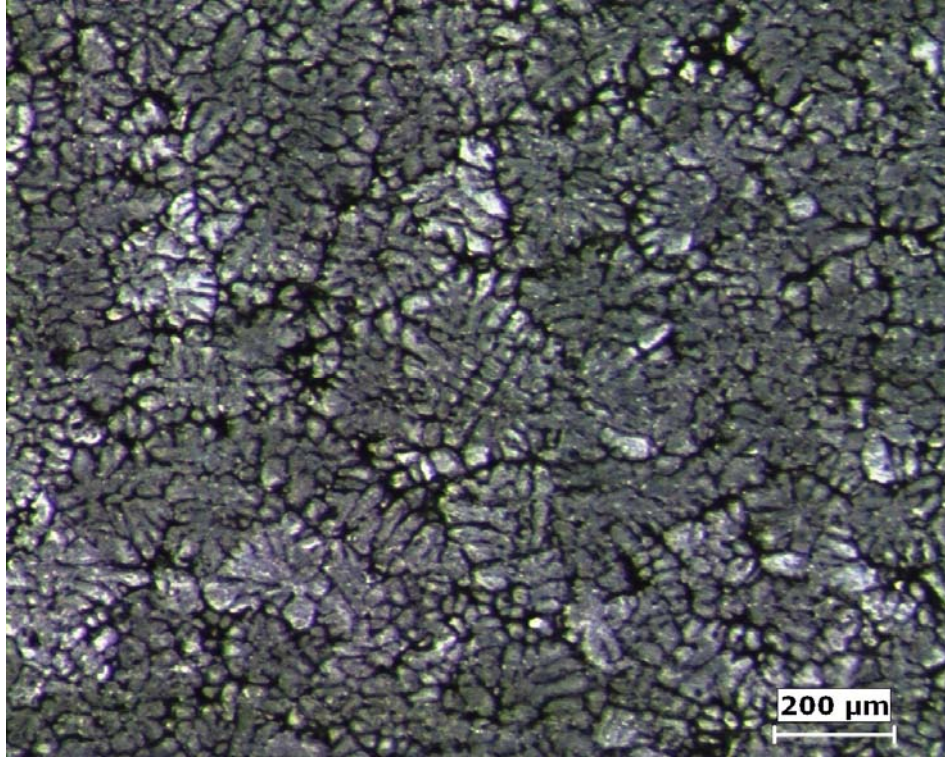
Şekil 4.2b. Al5Ti1B ilavesinden 5 dakika sonra ölçülü



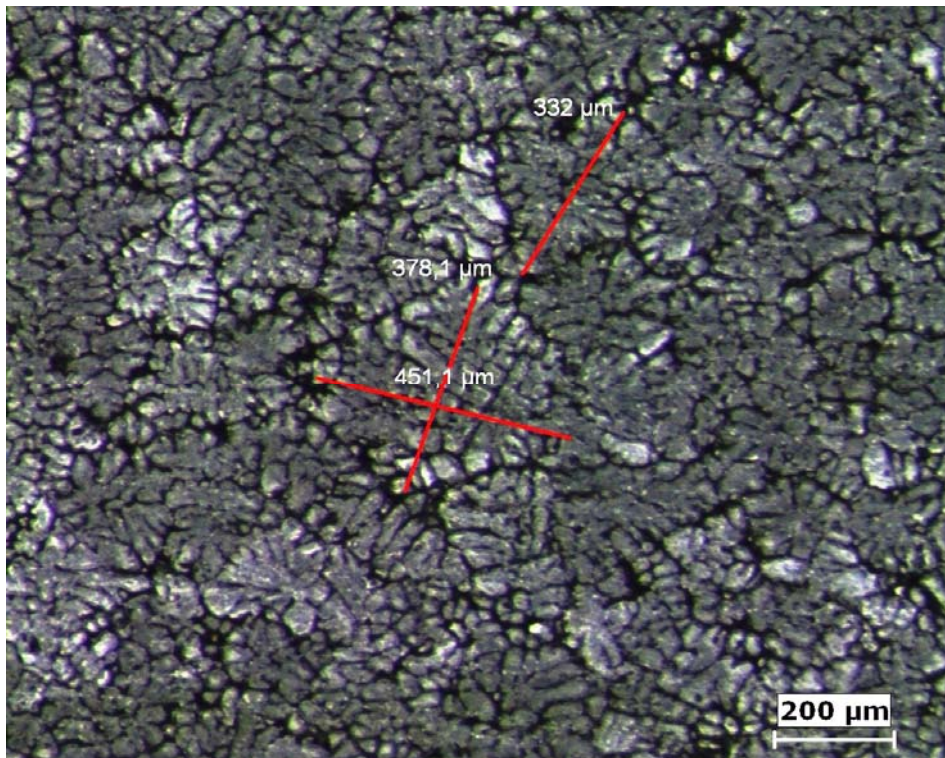
Şekil 4.3a. Al5Ti1B ilavesinden 10 dakika sonra



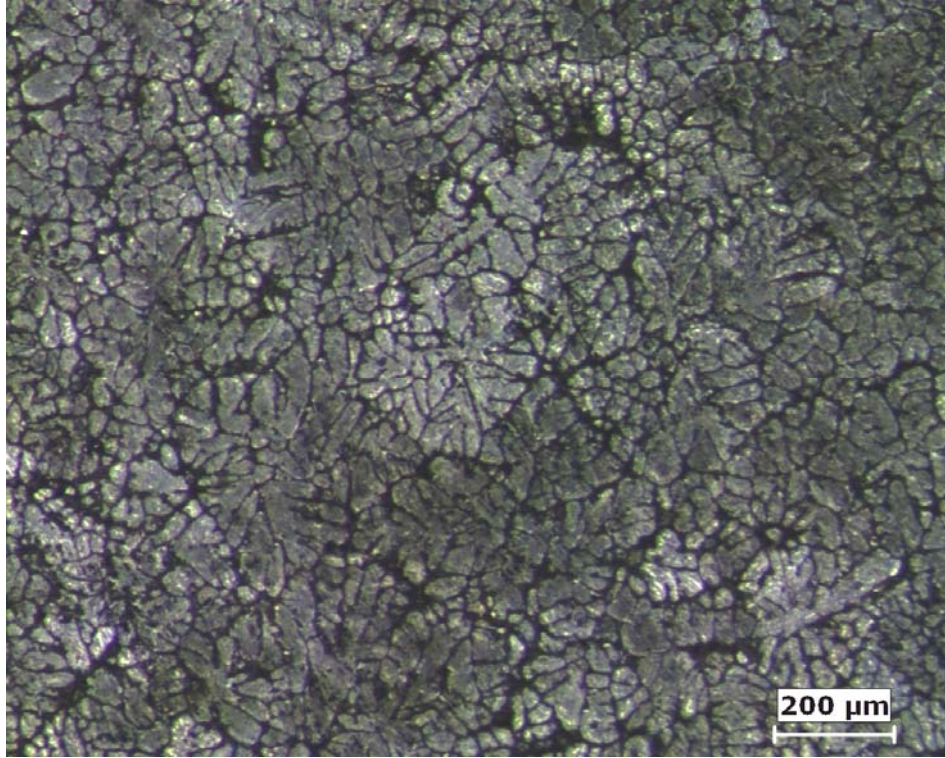
Şekil 4.3b. Al5Ti1B ilavesinden 10 dakika sonra ölçülü



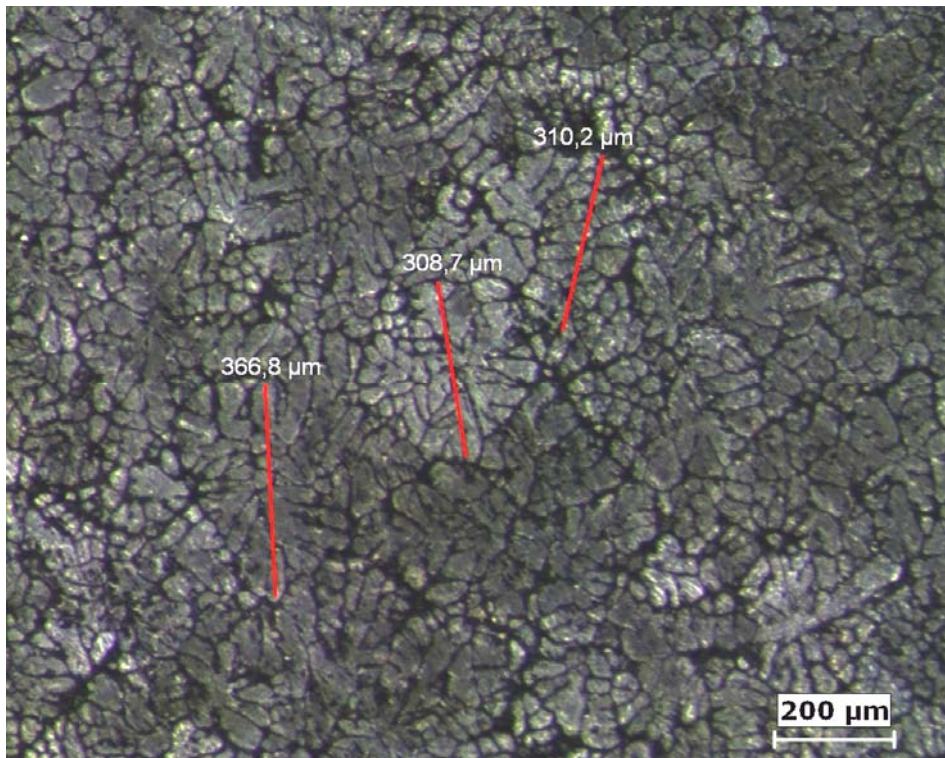
Şekil 4.4a. Al5Ti1B ilavesinden 15 dakika sonra



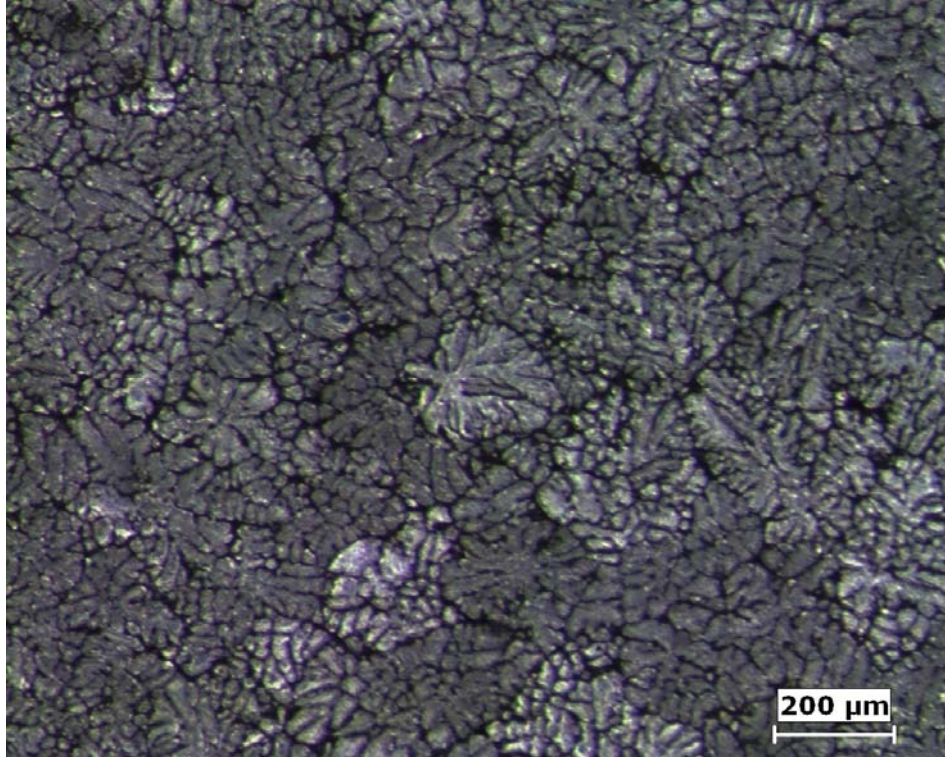
Şekil 4.4b. Al5Ti1B ilavesinden 15 dakika sonra ölçülü



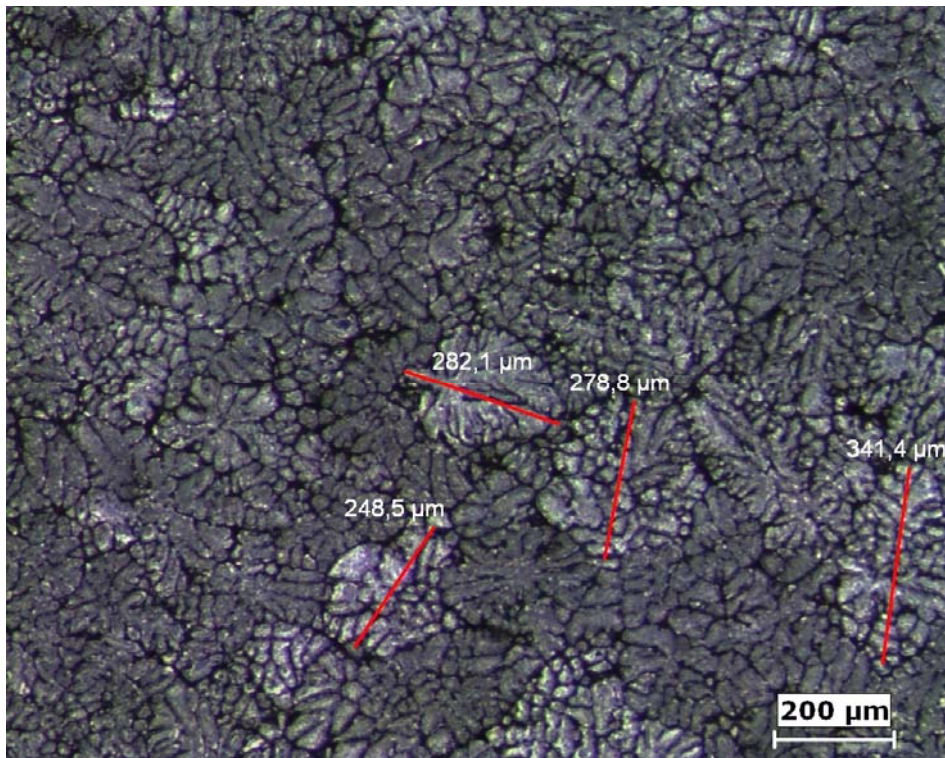
Şekil 4.5a. Al5Ti1B ilavesinden 20 dakika sonra



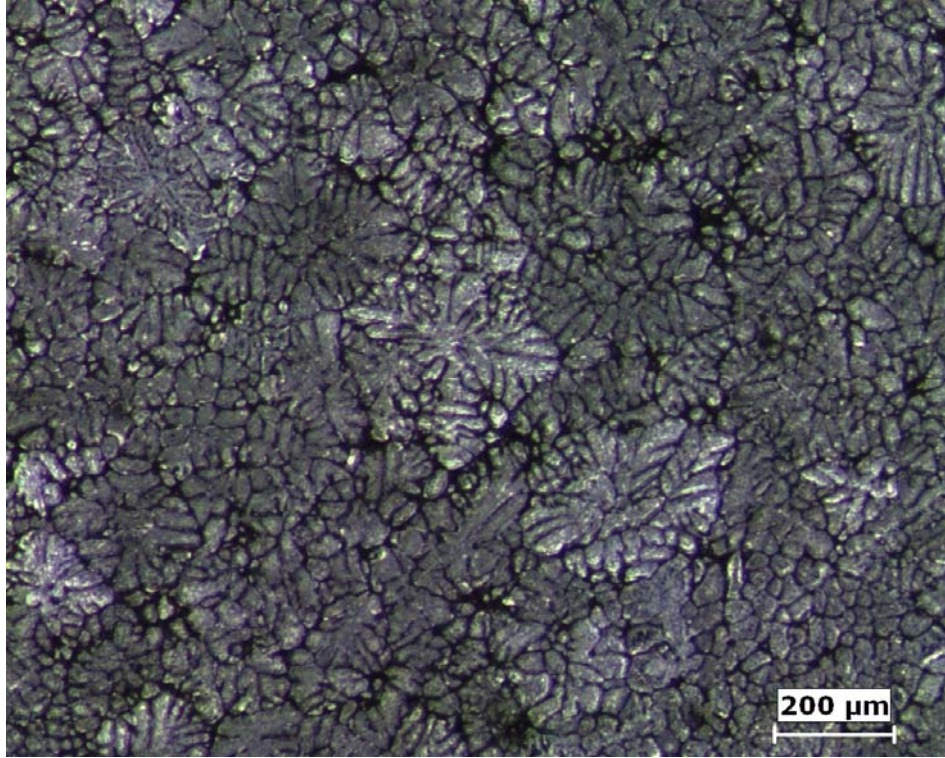
Şekil 4.5b. Al5Ti1B ilavesinden 20 dakika sonra ölçülü



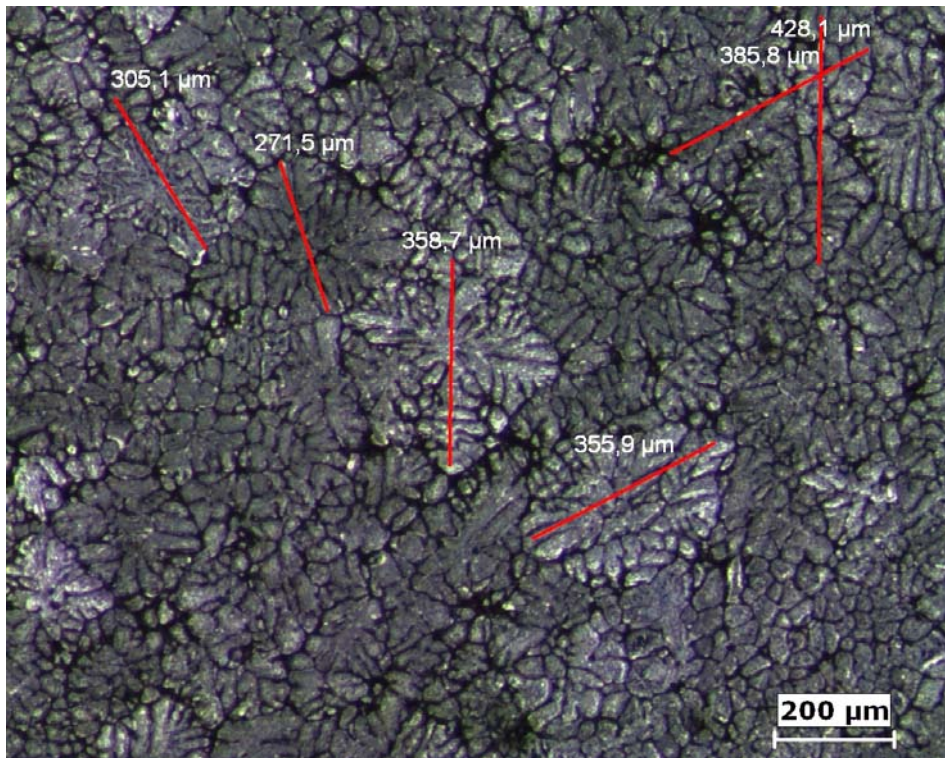
Şekil 4.6a. Al5Ti1B ilavesinden 25 dakika sonra



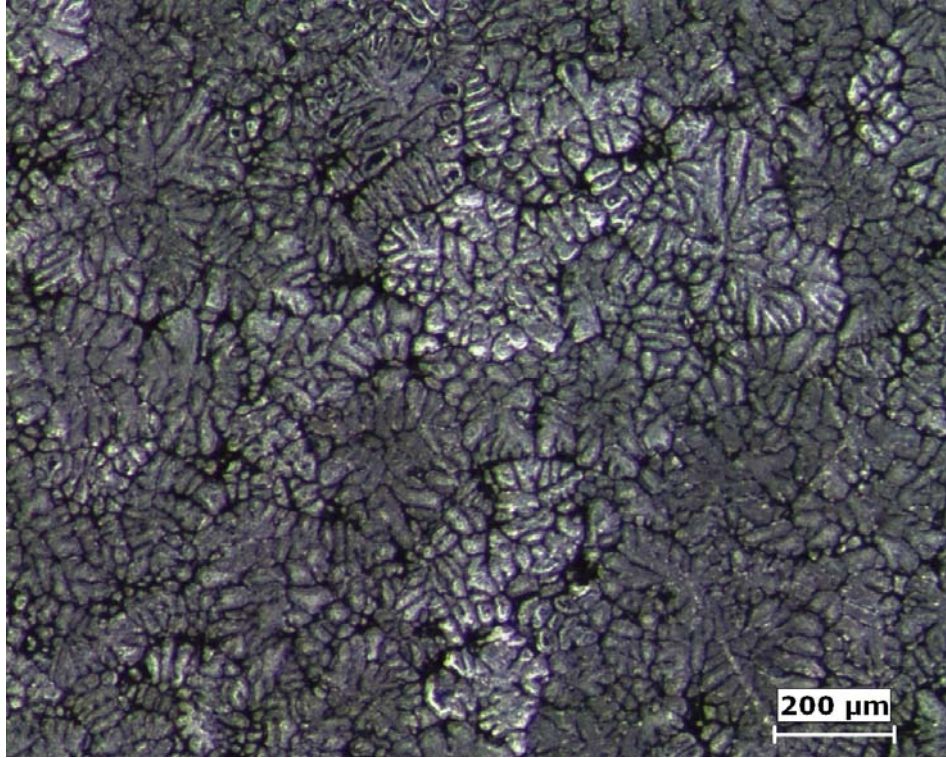
Şekil 4.6b. Al5Ti1B ilavesinden 25 dakika sonra ölçülü



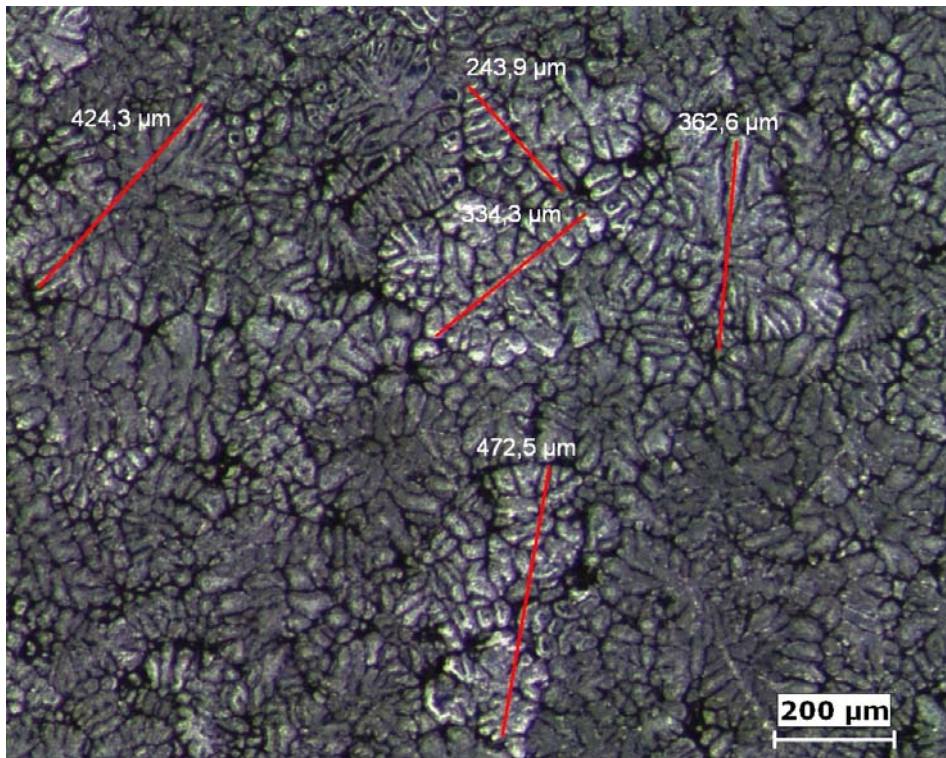
Şekil 4.7a. Al5Ti1B ilavesinden 30 dakika sonra



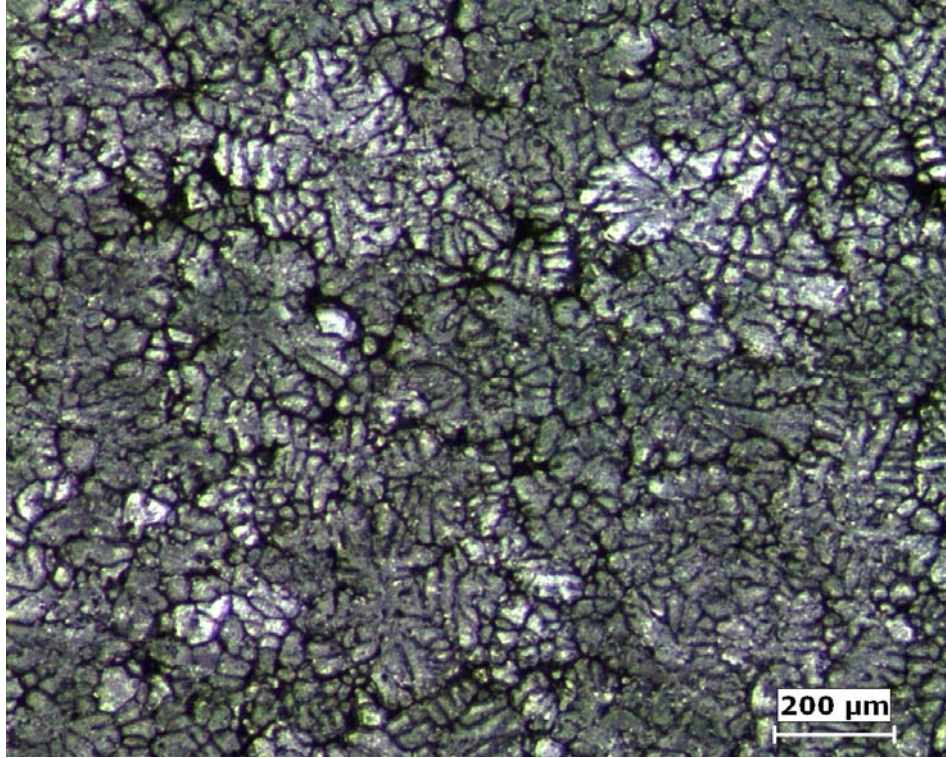
Şekil 4.7b. Al5Ti1B ilavesinden 30 dakika sonra ölçülü



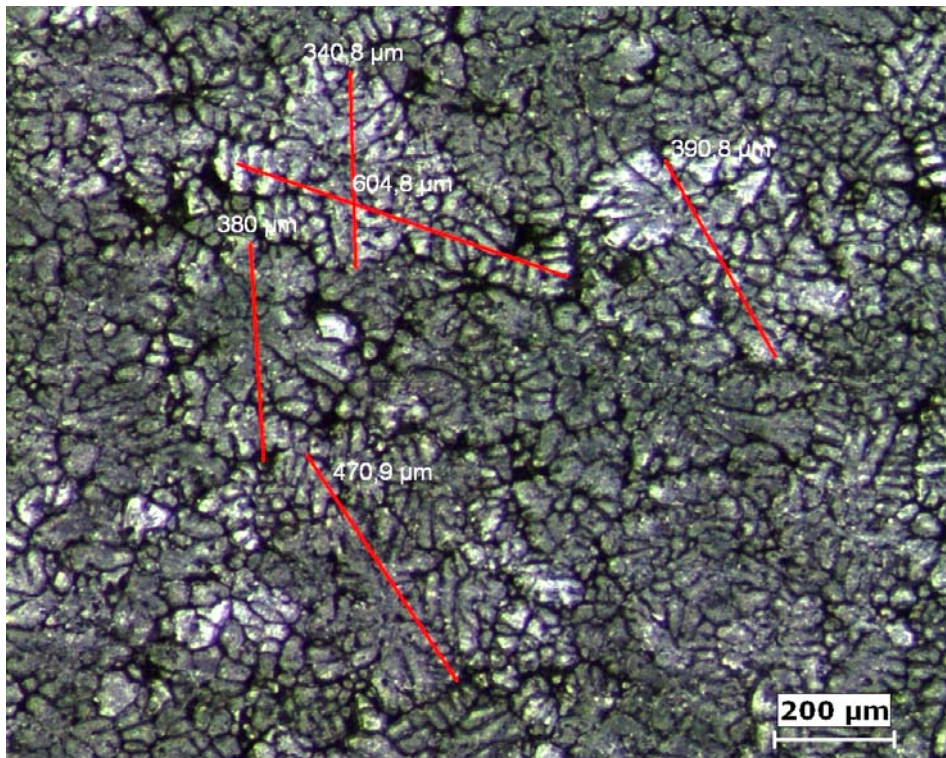
Şekil 4.8a. Al5Ti1B ilavesinden 35 dakika sonra



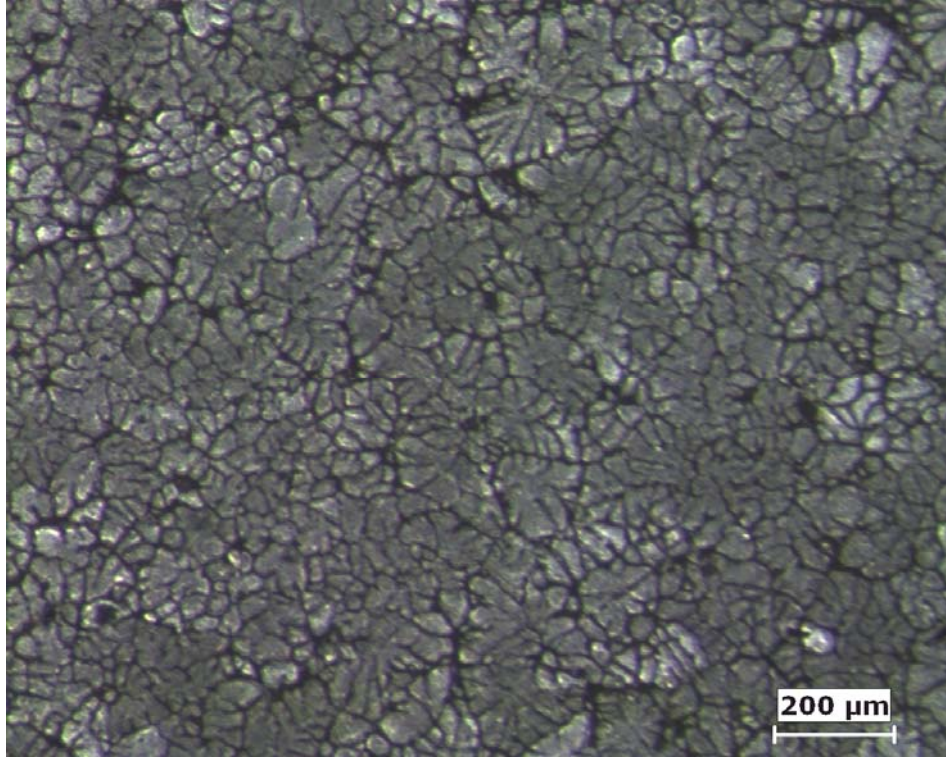
Şekil 4.8b. Al5Ti1B ilavesinden 35 dakika sonra ölçülü



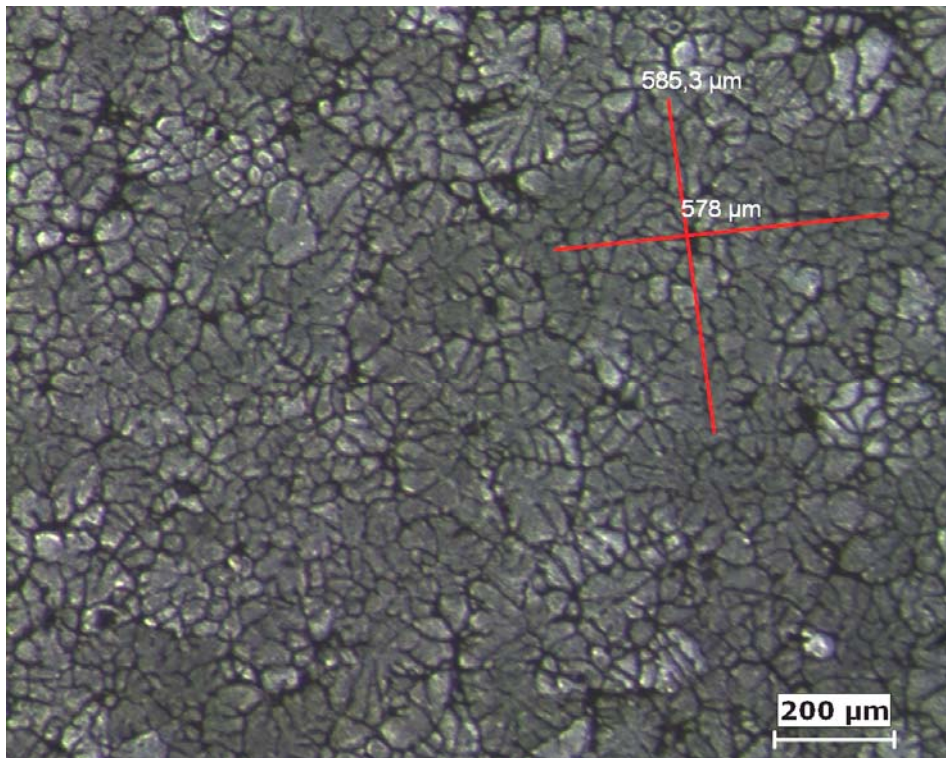
Şekil 4.9a. Al5Ti1B ilavesinden 40 dakika sonra



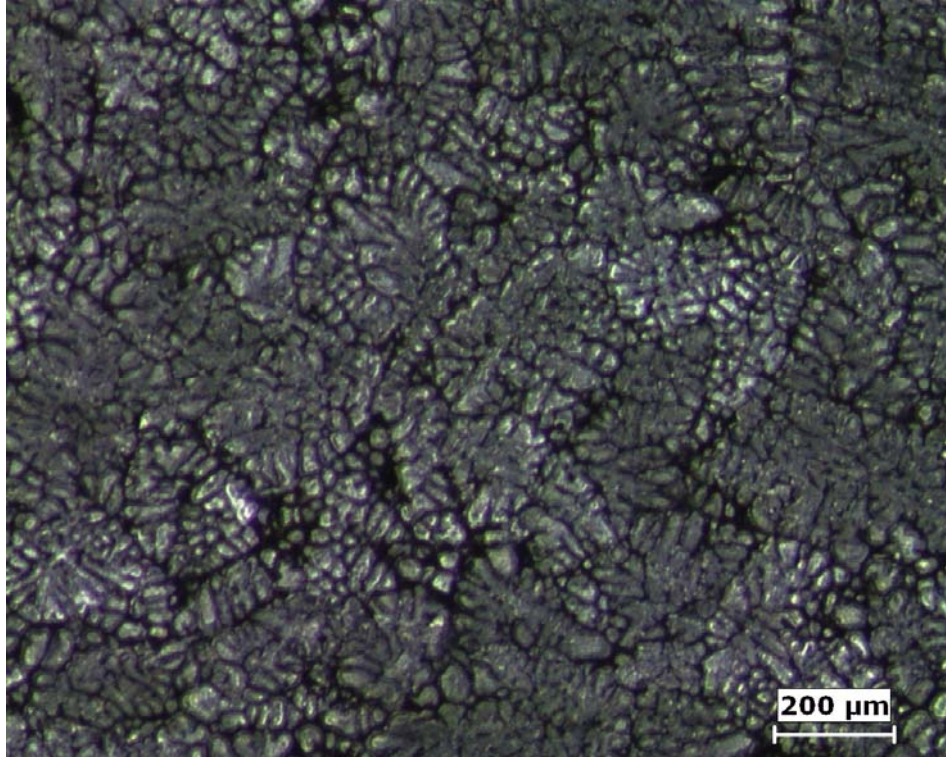
Şekil 4.9b. Al5Ti1B ilavesinden 40 dakika sonra ölçülü



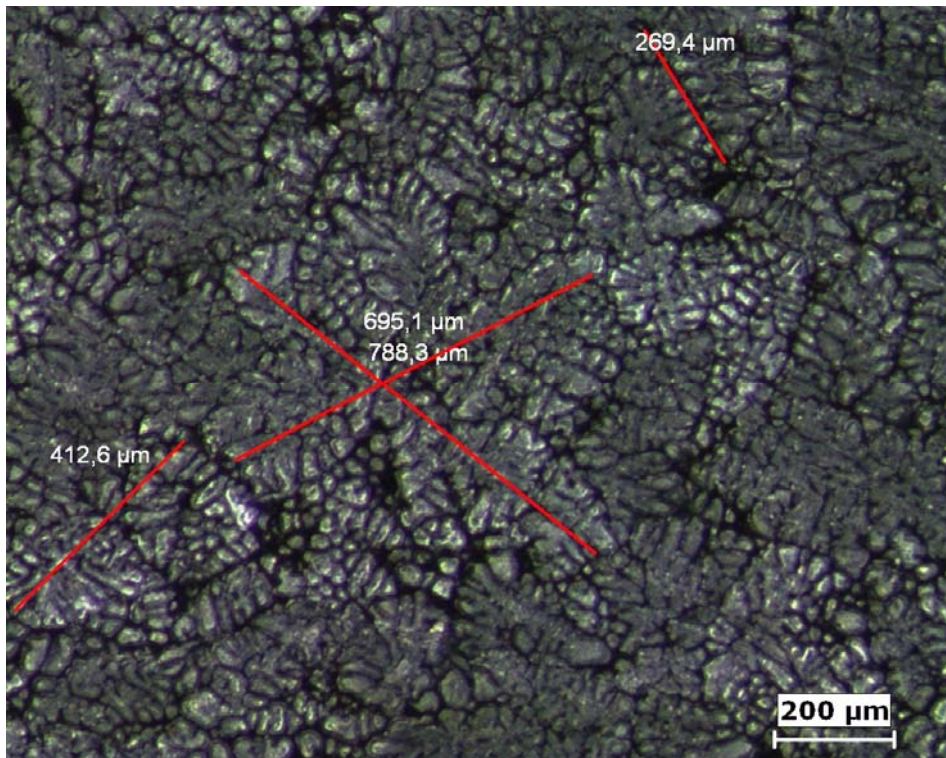
Şekil 4.10a. Al5Ti1B ilavesinden 45 dakika sonra



Şekil 4.10b. Al5Ti1B ilavesinden 45 dakika sonra ölçülü



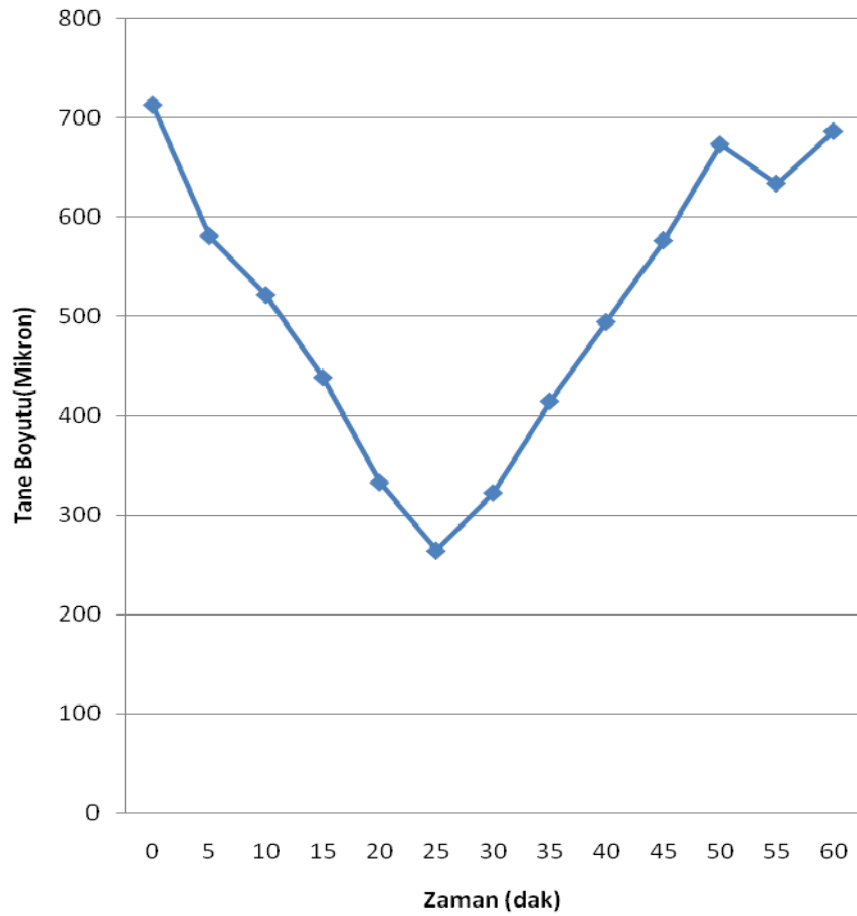
Şekil 4.11a. Al5Ti1B ilavesinden 50 dakika sonra



Şekil 4.11b. Al5Ti1B ilavesinden 50 dakika sonra ölçülü

4.1.2. Bekletme zamanının tane boyutuna etkisi

Etial 110 döküm alaşımında Al5Ti1B tane inceltici mastır alaşımının bekletme süresi boyunca göstermiş olduğu inceltme etkisi standart ALCAN tane inceltme testiyle incelenmiş olup tane yapıları bir önceki bölümde gösterilmiştir. Şekil 4.12'de ortalama tane boyutlarının bekletme süresine karşı değişimini gösteren bir grafik gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ortalama tane boyutu bekletme süresiyle küçülerek 25. dakikada 260 μm seviyesine düşmektedir. 25. dakikadan sonra tane boyutu düzenli olarak zaman arttıkça artmakta ve 60. dakikada 700 μm seviyelerine yükselmektedir.



Şekil 4.12. Tane incelticinin zamanla malzemenin tane büyüklüğüne etkisi

4.2. Döküm Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar ve Değerlendirmesi

Tane inceltici ilave edilerek 25 dakika bekletme süresi ile dökülen döküm parçalar ile tane inceltici ilavesi yapılmadan yapılan dökümlerin iç kesitlerinde oluşan porozitelerin incelenmesi ve değerlendirilmesi için Bölüm 3'te anlatıldığı biçimde kesildi ve hazırlandı. Şekil 4.13'te kalıptan çıkmış bir döküm parçanın kesilmeden önceki fotoğraf görüntüsü verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bir yolluktan iki ayrı döküm parça üretilmiştir. Aynı döküm şartlarından iki numune ve iki sonuç üreterek sonuçların daha tekrarlanabilir olmasını sağlamak bunun bir avantajıdır. Bir diğer avantaj ise farklı soğuma hızları oluşturarak soğuma hızının diğer ölçülen faktörler üzerine etkisinin olup olmadığının görülmesidir. Şekilde görüldüğü gibi yolluğa daha yakın olan döküm parça diğer döküm parça ile yolluk arasında kısmen izole olmuş bir şekilde soğuyacağından yolluğa uzak olan döküme göre daha yavaş bir soğuma hızı ile soğumaktadır.



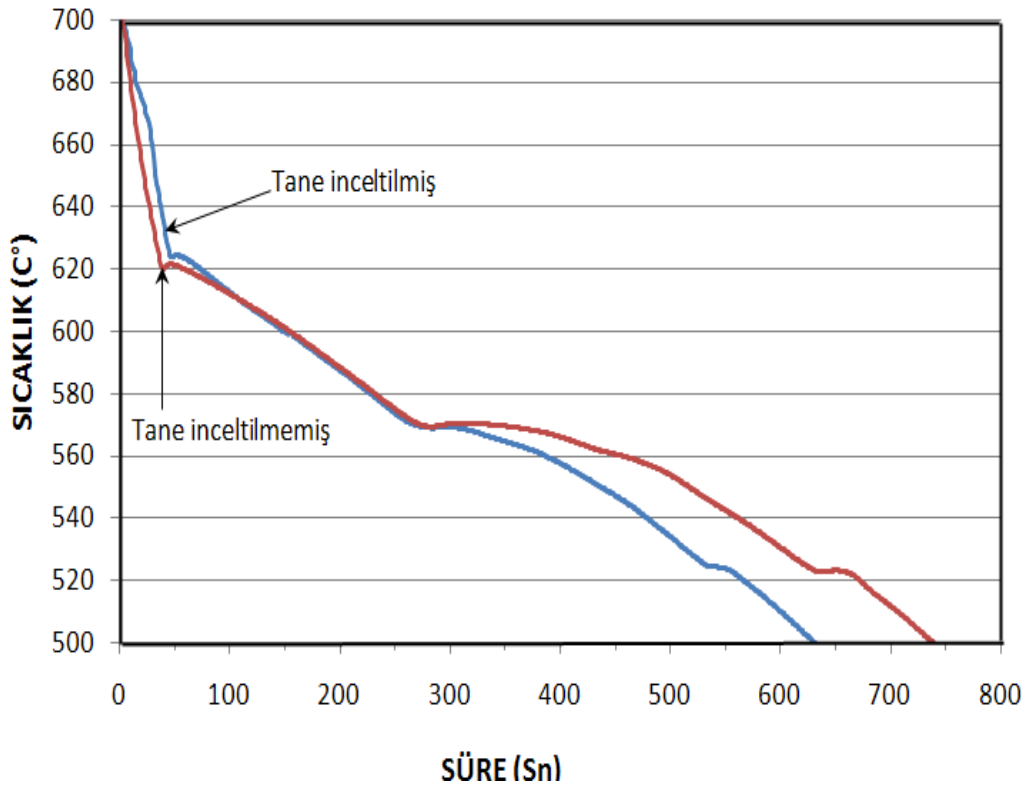
Şekil 4.13. Döküm parçanın kalıptan çıkmış hali

4.2.1. Soğuma eğrileri

K tip termokapıl döküm parçalardan sıcaklık-zaman verileri almak üzere her bir döküme yerleştirilmiştir. Soğuma ve katılaşma süresince verilerin alınması termokapılların döküm içerisinde kalmalarına izin verilerek sağlanmıştır. Alınan zaman-sıcaklık verileri daha sonra grafik programına aktarılarak soğuma eğrilerine dönüştürülmüştür. Şekil 4.14'te Etial 110 alaşımı için tane inceltici ilave edilmemiş ve tane inceltici ilave edilmiş iki ayrı dökümden alınan verilerle çizilmiş soğuma eğrileri gösterilmiştir.

Etial 110 alaşımı soğuma eğrilerinden görüldüğü gibi yaklaşık 622 °C'de alfa alüminyumun çekirdeklenmesi ile katılaşmaya başlamaktadır. Burada dikkat çeken nokta ise tane inceltilmiş alaşımda alfa alüminyumun tane inceltilmemiş olan alaşıma göre yaklaşık 2 °C daha yukardan çekirdeklenmiş olmasıdır. Bu durum Al5Ti1B tane inceltici ilavesinin dökümde etkili bir tane inceltme etkisi gösterdiğini teyit etmektedir.

Alfa alüminyum fazının katılaşmasından hemen sonra alaşım yaklaşık 564 °C'de bir ötektik katılaşma göstermektedir. Bunu takip eden aşamada zamana bağlı olarak alaşım tekrar soğumaya devam etmekte ve yaklaşık 522 °C'de tekrar bir ötektik katılaşma ile alaşım katılaşmasını tamamlamaktadır.

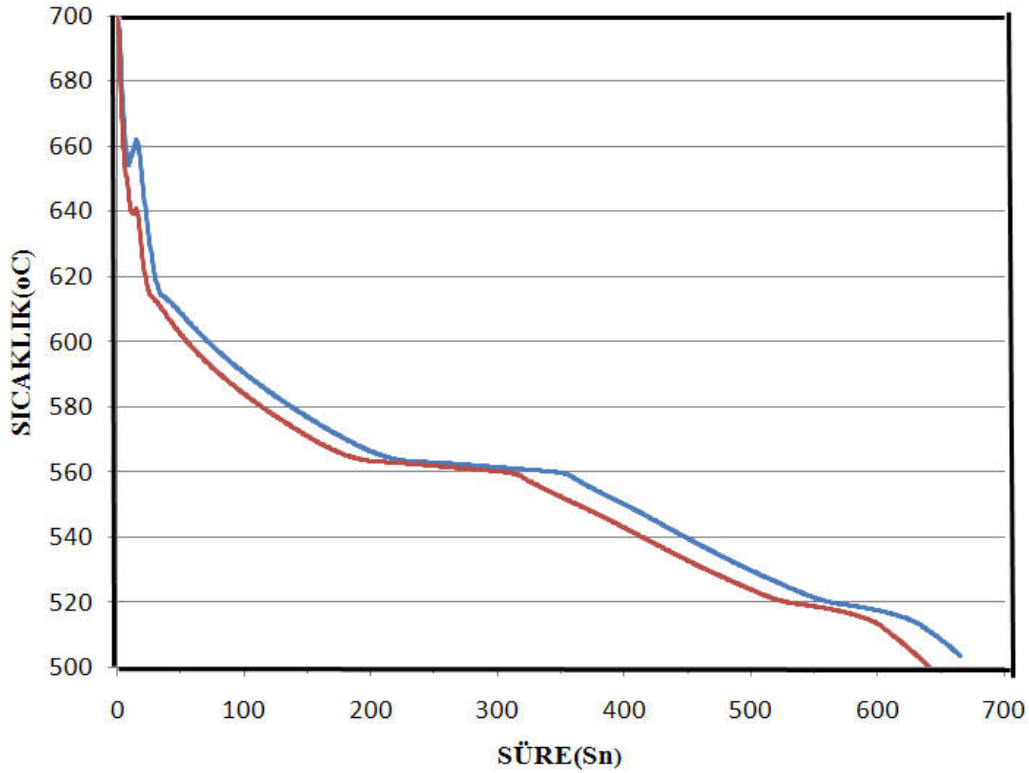


Şekil 4.14. Dökümlerden alınan soğuma eğrileri

Zaman-sıcaklık verileri gerçek dökümlerde kullanılan termokapılara benzer şekilde simülasyon programında da aynı noktalara gelen meş noktalarına sanal olarak termokapıl yerleştirilerek simülasyon süresince veriler alınmıştır. Elde edilen bu verilerde aynı şekilde soğuma eğrilerinin çizilmesinde kullanılmıştır. Şekil 4.15'te bir simülasyondan elde edilen tipik soğuma eğrileri gösterilmiştir. Simülasyon programından elde edilen zaman sıcaklık verileri ile gerçek dökümden elde edilen veriler arasında hemen hemen hiç fark bulunmadığı şekilde de görülmektedir. Bu durum bu çalışmada modelleme için simülasyon programına girilen verilerin ve sınır şartlarının gerçeğe oldukça yakın olduğunu göstermektedir.

Soğuma eğrilerinden görülen katılma zamanına ilişkin farklar yolluğa yakın olan döküm parçanın diğerine göre daha geç soğumasından kaynaklanmaktadır. Bu durum hem termokapıl ile ölçülen gerçek döküm soğuma eğrilerinde hem de simülasyondan elde edilen sanal soğuma eğrilerinde net bir şekilde görülmektedir.

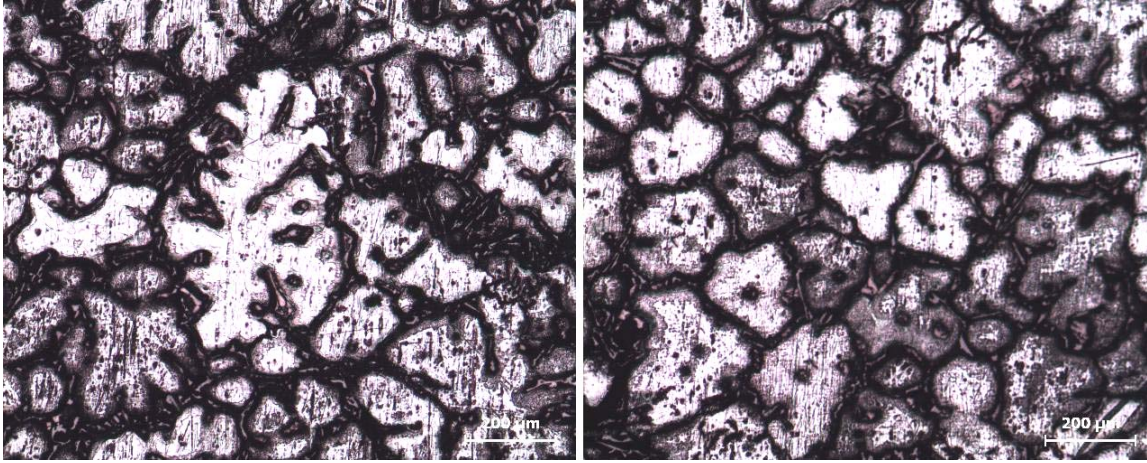
Simülasyon programı tane inceltme etkisini soğuma eğrisine yansıtmadığından Şekil 4.15'te verilen soğuma eğrilerinde alfa alüminyum fazının çekirdeklenme sıcaklığı ile ilgili herhangi bir yorum yapılamamaktadır.



Şekil 4.15. Simülasyon modellemelerinden alınan soğuma eğrileri

4.2.2. Döküm mikroyapıları

Tane inceltilmemiş ve tane inceltici ilave edilmiş döküm parçalardan alınmış mikro yapı resimleri Şekil 4.16a ve Şekil 4.16b'de sırası ile görülmektedir. Tane inceltilmemiş yapının kanat şekilli dendiritik yapıda olduğu görülmektedir. Dendirit boyunun yaklaşık 800 mikron (0,8 mm) civarında olduğu buna karşılık tane inceltilmiş döküm mikro yapısında ise tanelerin daha yuvarlak şekilli olduğu ve ortalama tane boyutunun yaklaşık 250 mikron (0,25 mm) civarında olduğu görülmektedir. Bu durum tane inceltme konilerine benzer şekilde normal döküm tane yapısında da tane incelticinin yeterince inceltme etkisi gösterdiği anlamına gelmektedir. Buna göre bu çalışmanın temel amacı olan tane boyutunun besleme ve porozite oluşumuna etkisinin araştırılması deneysel olarak gerçekleşmiş olmaktadır.



Şekil 4.16a. Tane inceltilmemiş mikroyapı

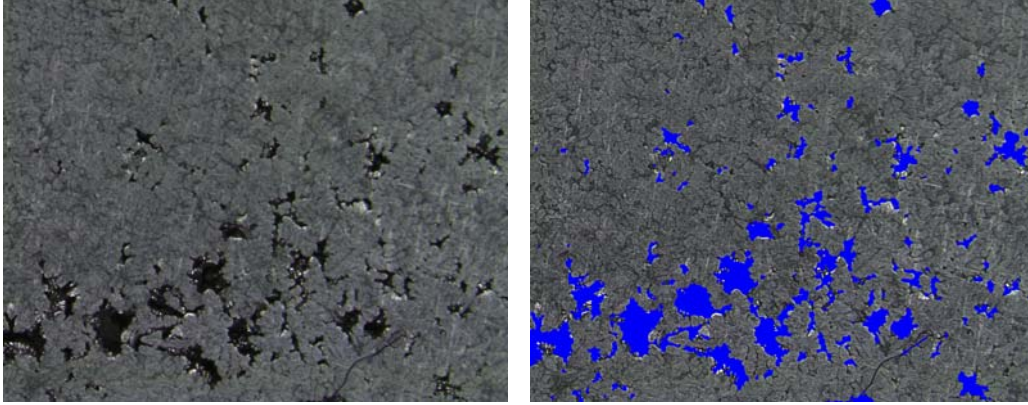
Şekil 4.16b. Tane inceltilmiş mikroyapı

4.2.3. Porozite ölçüm sonuçları

Al5Ti1B mastır alaşımı ilavesi ile tane inceltilmiş ve tane inceltilmemiş dökümlerin merkezinden geçen kesit düzleminde makro ve mikro porozite ölçümleri yapılarak döküm parçalara ait genel bir porozite haritası çıkartılmıştır. Porozite ölçümünde amaç sadece yapılan dökümlerdeki porozite miktarlarının belirlenmesi değildir. Önceki bölümlerde de değinildiği gibi seçilen döküm geometrisi zaten iç kısımlarda belirli oranda bir makro porozite oluşturmak üzere seçilmiştir. Bu bağlamda hedeflenen amaç gerçek dökümlerden ölçülen porozite oranı ile modellenen dökümlerden elde edilen porozitenin birbirine eşleştirilmesidir. Bu eşleştirmeyi sağlamak üzere maşi bölgesi geçirgenlik limitini belirleyen kritik katı oranı değerinin tane boyutu ile nasıl bir ilişki gösterdiği araştırılmaktadır. Bu yüzden porozite haritası çıkarılırken simülasyon programı ile modellenen dökümlerin porozite haritası ile uyumlu olması için yüzde porozite oranları yerine yüzde yoğunluk oranlarının kullanılması tercih edilmiştir. Buna göre örneğin porozite haritasında % 90 ile markalanmış bir bölgenin yoğunluğu %90 porozite oranı ise %10 dur.

Şekil 4.17a'da tipik bir makro porozite bölgesi görülmektedir. Çoğunlukla şekilsiz ve girinti-çıkıntı görüntüsü veren bir porozite dağılımı olduğu porozite şekillerine dikkatlice bakıldığında anlaşılmaktadır. Buradan porozite oluşumunun gaz porozitesi şeklinde oluşmadığı yetersiz beslemeye bağlı çekinti porozitesi şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. Gaz porozitesinin olmaması veya minimum seviyede kalması döküm metalinde yeterli derecede gaz giderme işleminin başarılı bir şekilde

gerçekleştirildiğini göstermektedir. Daha da önemlisi simülasyondan elde edilen porozite haritasında da gaz etkisinin hesaba katılmadığı göz önüne alındığında gerçek dökümler ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılmasının daha anlamlı olduğu burada görülmektedir.



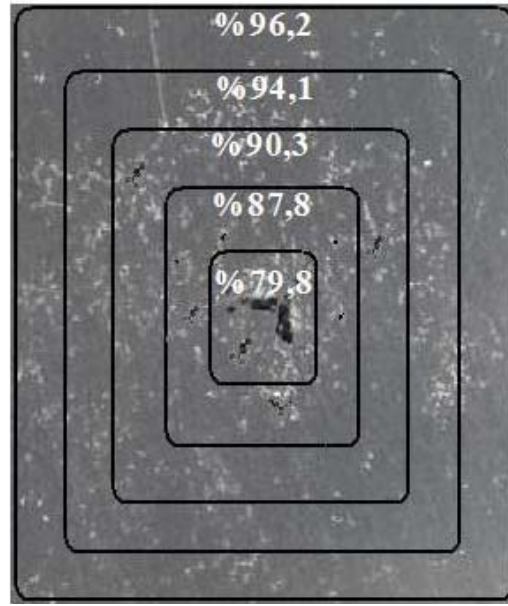
Şekil 4.17a. Tipik makroyapı görüntüsü

Şekil 4.17b. Renklendirilmiş makroyapı görüntüsü

Aynı porozite bölgesinin bilgisayarlı görüntü analiz programında farklı renk tonu ile tanımlanması ise Şekil 4.17b’de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi herhangi bir kayıp veya ilave olmaksızın porozite alanlarının bu yöntem ile bire bir ölçülerek tüm dökümlerin yüzeyinde bir porozite haritası oluşturulabilmiştir.

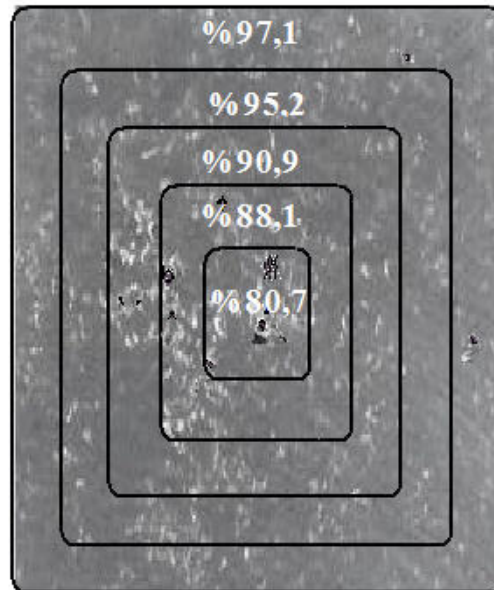
4.2.3.1. Tane incelticisiz dökümde makro porozite-yoğunluk haritası

Şekil 4.18’de gösterildiği gibi tane inceltici ilave edilmemiş bir dökümün yolluğa yakın olan parçasından alınan numune üzerinde ölçülen porozite oranları yüzde yoğunluk şeklinde ifade edilerek bir porozite-yoğunluk haritası oluşturulmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi dökümün sıcak noktası olan merkezi bölgede malzeme yoğunluğu % 79,8 olarak ölçülmüştür. Bu oran porozite olarak % 20,2’ye karşılık gelmektedir. Dökümün dış bölgelerine doğru gittikçe yüzde porozite oranı azalmakta buna karşılık yüzde yoğunluk oranı maksimum % 96,2 seviyesine yükselmektedir.



Şekil 4.18. Tane incelticisiz makro porozite haritası

Şekil 4.19'da aynı dökümün yolluğa uzak olan ikinci parçasından alınan numune üzerinde ölçülen porozite değerleri ile oluşturulan porozite-yoğunluk haritası gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi yoğunluk oranları bir önceki döküm (yolluğa uzak olan) ile karşılaştırıldığında çok az bir düşüş göstermiştir. Bunun nedeni yolluğa uzak olan dökümün yolluğa yakın olan döküme göre daha yüksek bir soğuma hızı ile soğumuş olmasından kaynaklanmıştır.



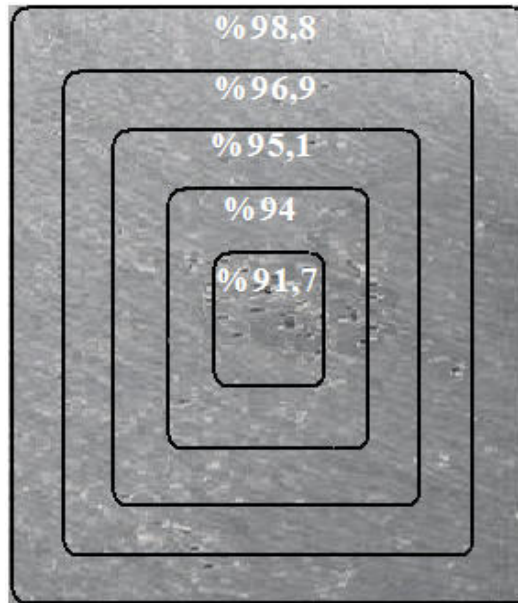
Şekil 4.19. Tane incelticisiz makro porozite haritası uzak

4.2.3.2. Tane incelticili dökümde makro porozite-yoğunluk haritası

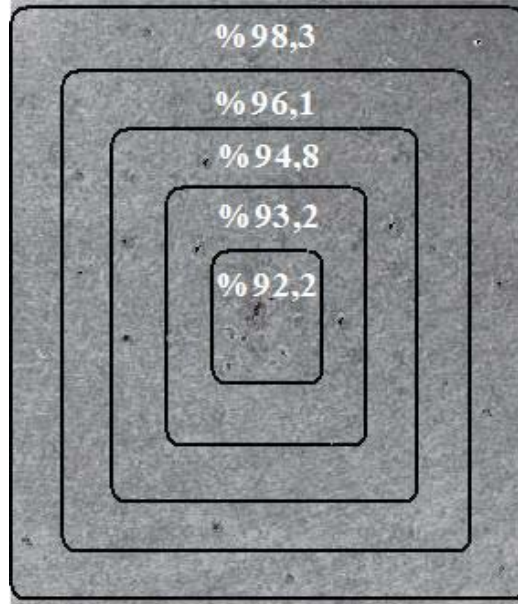
Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de tane inceltici ilave edilerek dökülmüş bir dökümün yolluğa yakın parçası ve yolluğa uzak olan parçası üzerinden ölçülen porozite-yoğunluk haritası sırası ile gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi sıcak nokta olarak tabir edilen merkezi bölgede tane inceltilmemiş dökümlerin aynı bölgesiyle karşılaştırıldığında önemli ölçüde bir yoğunluk artışı gözlenmiştir. Tane inceltmesiz dökümlerin sıcak noktalarında ortalama malzeme yoğunluğu % 80 civarında iken tane inceltmiş dökümlerin aynı bölgelerinde malzeme yoğunluğunun % 90 seviyelerine yükseldiği görülmektedir.

Bu karşılaştırmalardan açıkça görüldüğü gibi tane inceltme Etial 110 alaşımının besleme özelliğini iyileştirmiştir. Bunun en temel nedeni katı sıvı aralığında (maşi bölgesi) dendirit örgüsünün tane inceltmiş dökümlerde besleme yolunu daha geç bloke ederek besleyicinin daha fazla besleme yapabilmesine olanak sağlamasıdır.

Bir sonraki bölümde bu olgu değişik değerler girilerek modellenmiş ve gerçek dökümlerden elde edilen değerler ile modelleme sonuçlarından elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.20. Tane incelticisiz makro porozite haritası



Şekil 4.21. Tane incelticisiz makro porozite haritası

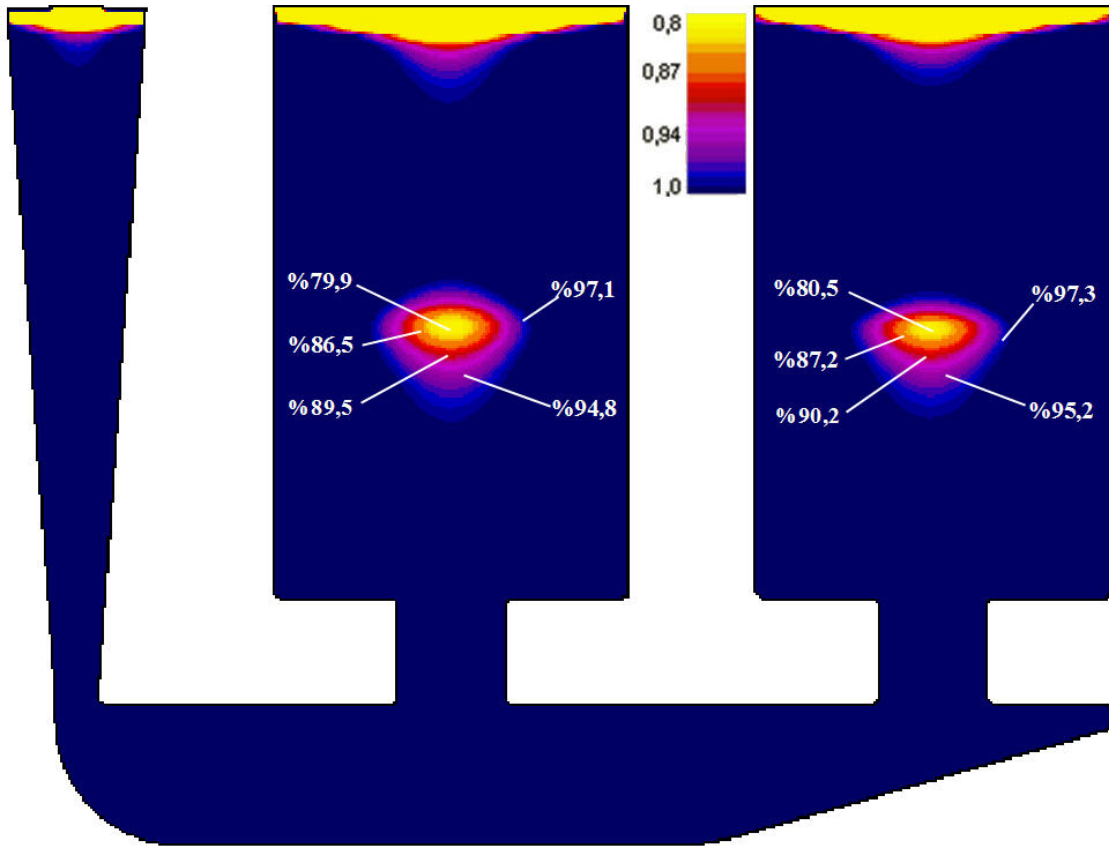
4.3. Bilgisayar Modellemelerinden Elde Edilen Sonuçlar ve Değerlendirilmesi

Bu çalışmada kullanılan döküm simülasyon programı üç boyutlu döküm-kalıp geometrisini kübik meşler yardımıyla verilen sınır şartlarına göre sonlu fark yöntemi ile çözümleyen bir yazılımdır. Yazılım soğuma modellemesini ısı transfer formülleri yardımıyla gerçekleştirmektedir. Döküm alaşımının soğuma ve soğuma sırasında oluşan sıcaklığa bağlı hacim değişimi ile ilgili sınır şartları gerçek dökümden alınan veriler doğrultusunda programa girilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Etial 110 alaşımı ve kullanılan döküm geometrisi için CFS olarak tabir edilen kritik katı oranı dışındaki tüm başlangıç ve sınır şartları her bir döküm için sabit alınmıştır. Ancak tane inceltmenin kritik katı oranı üzerindeki etkisini görebilmek ve hem tane inceltmemiş hem de iyi derecede tane inceltmiş bir dökümden CFS oranının hangi değerlerde olacağı araştırılmak üzere farklı CFS oranları kullanılmıştır.

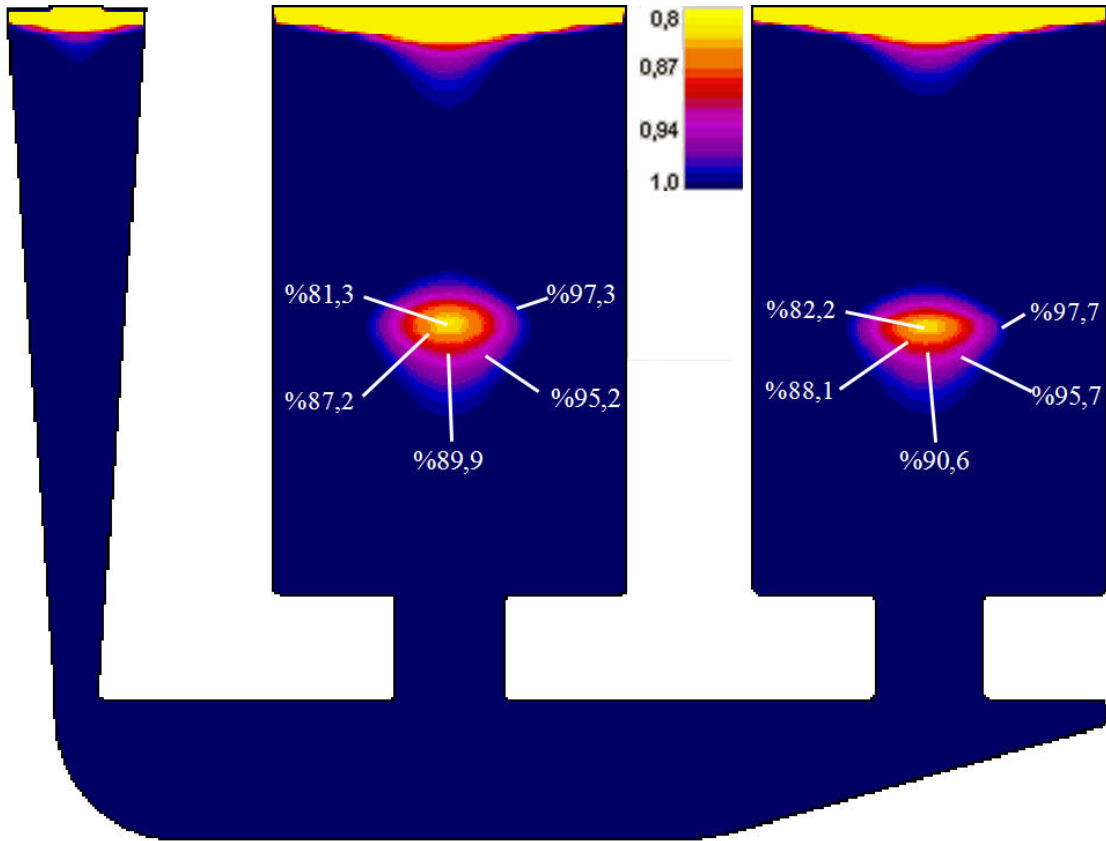
Modellemelerde % 30'dan başlayarak, %5' lik artışlarla % 60'a kadar değişen oranlarda CFS değeri kullanılmış ve bu CFS değerlerine göre simülasyon programından elde edilen porozite-yoğunluk değerleri gerçek dökümlerden ölçülen porozite-yoğunluk değerleri ile karşılaştırılmıştır. Gerçek dökümden ölçülen porozite yoğunluk değeri ile modellenen dökümden elde edilen porozite-yoğunluk oranı karşılaştırıldığında o modelleme için kullanılan % CFS oranı o döküm şartları için geçerli

CFS oranı olarak kabul edilmiştir. Tane inceltilmemiş dökümler için minimum CFS oranı ve tane inceltilmiş dökümler için maksimum CFS oranı mümkün olduğunca birebir eşleştirebilmek için ara değerlerde CFS oranları da kullanılarak sonuçların daha hassas bir şekilde karşılaştırılması sağlanmıştır.

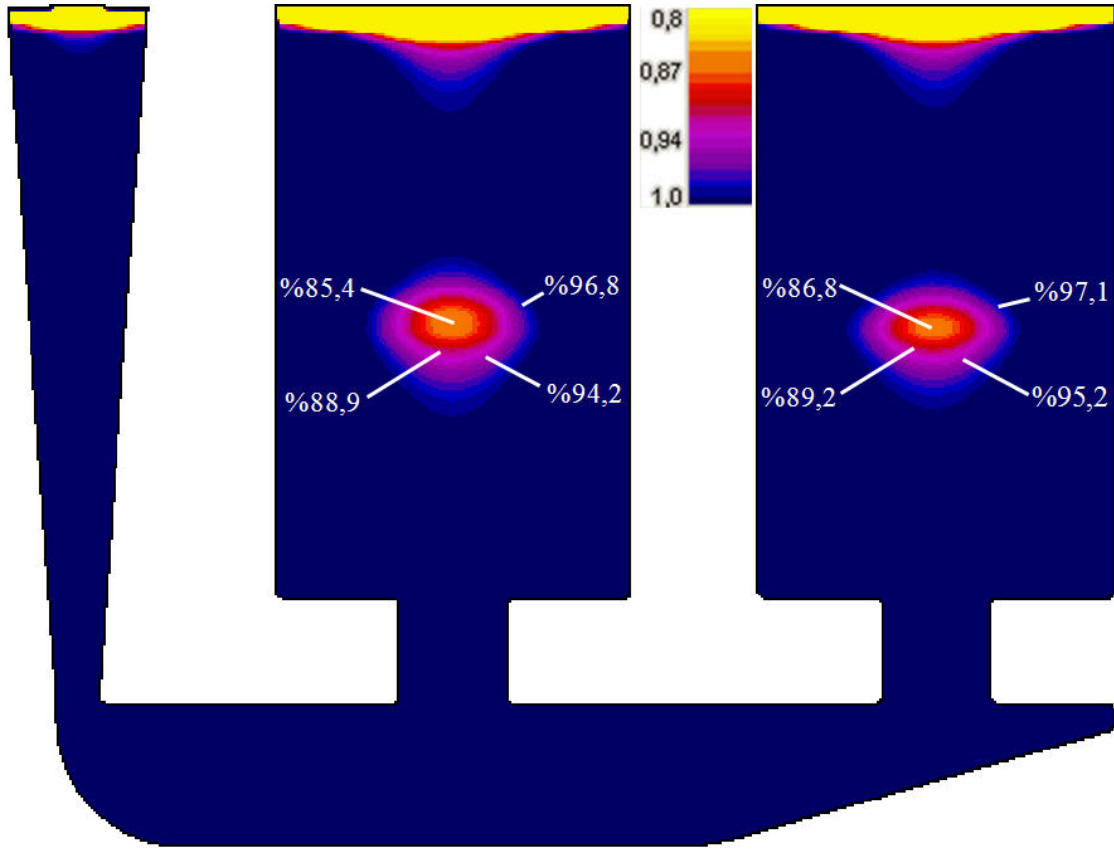
Modellenen dökümlerden farklı CFS oranları kullanılarak elde edilen porozite-yoğunluk oranları Şekil 4.22-4.28'de gösterilmiştir. Şekil 4.22'de tane inceltmesiz dökümlerin porozite-yoğunluk değerine karşılık gelen %33 CFS oranı kullanılırken Şekil 4.28'de iyi tane inceltilmiş dökümün porozite-yoğunluk değerine karşılık gelen %57 CFS oranı kullanılmıştır.



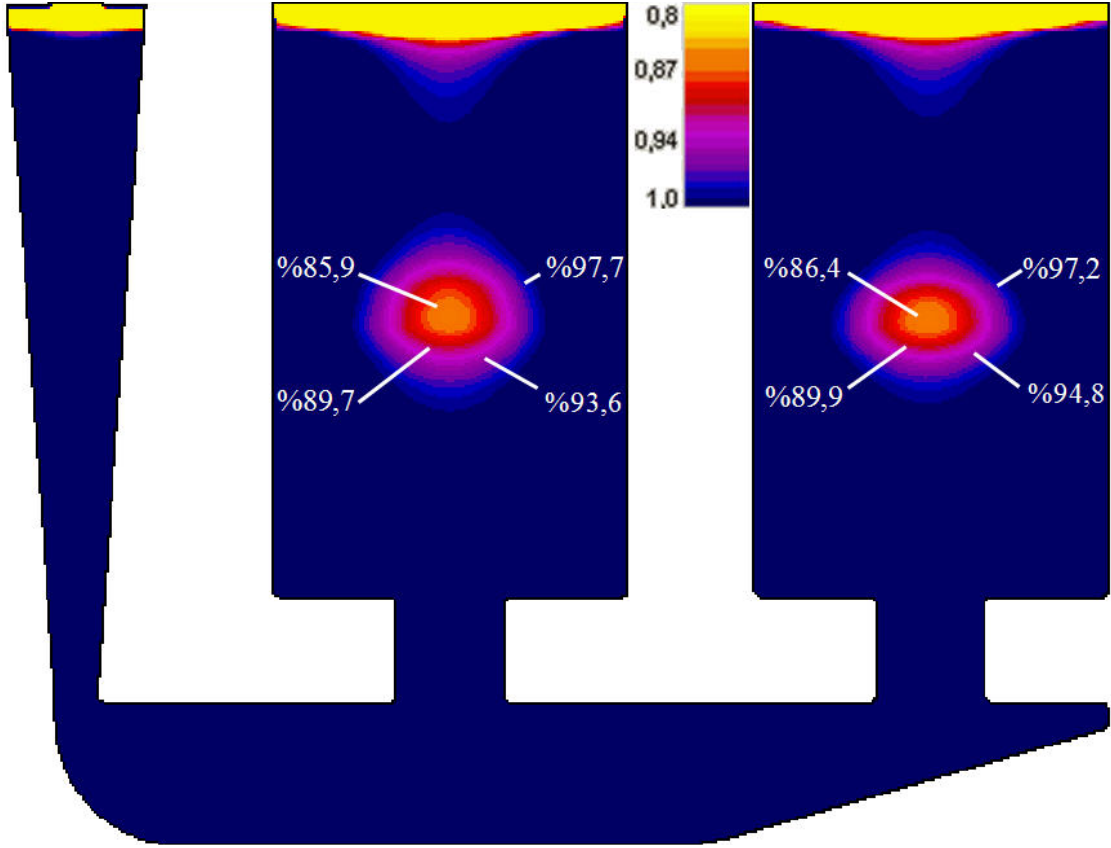
Şekil 4.22. CFS oranı %33 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)



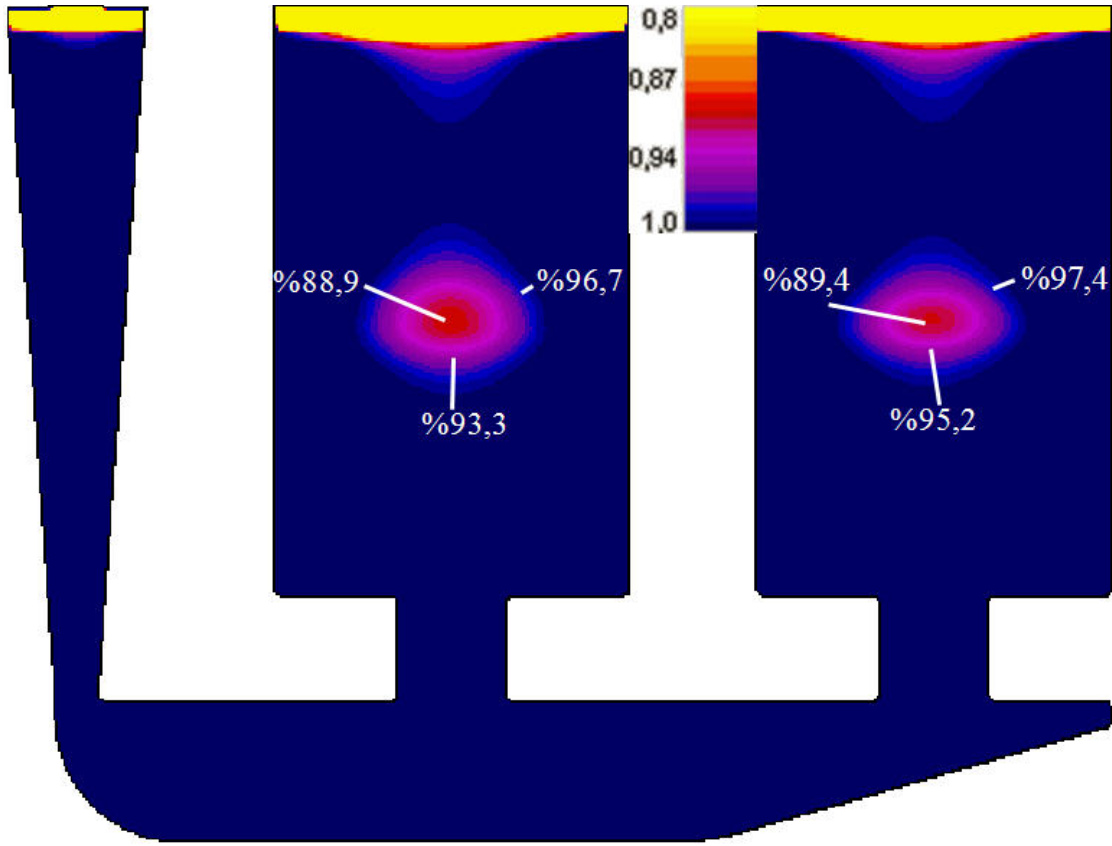
Şekil 4.23. CFS oranı %35'e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)



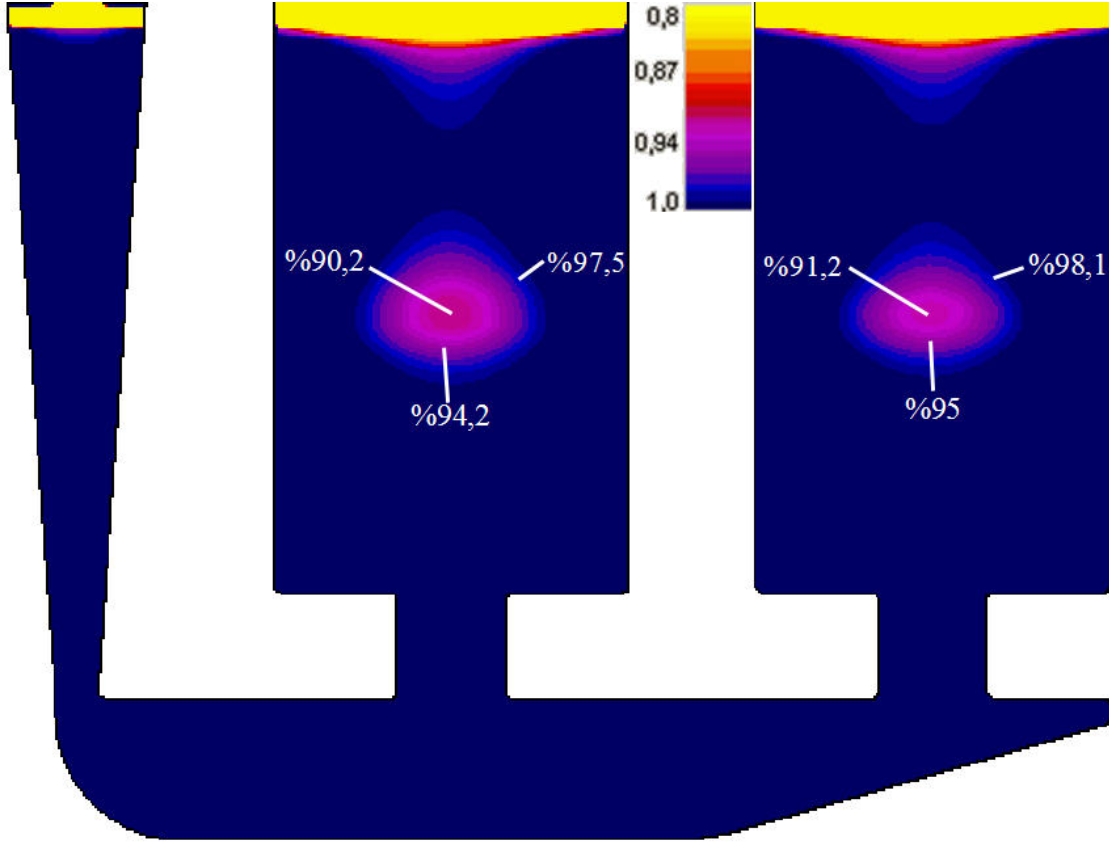
Şekil 4.24. CFS oranı %40'e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)



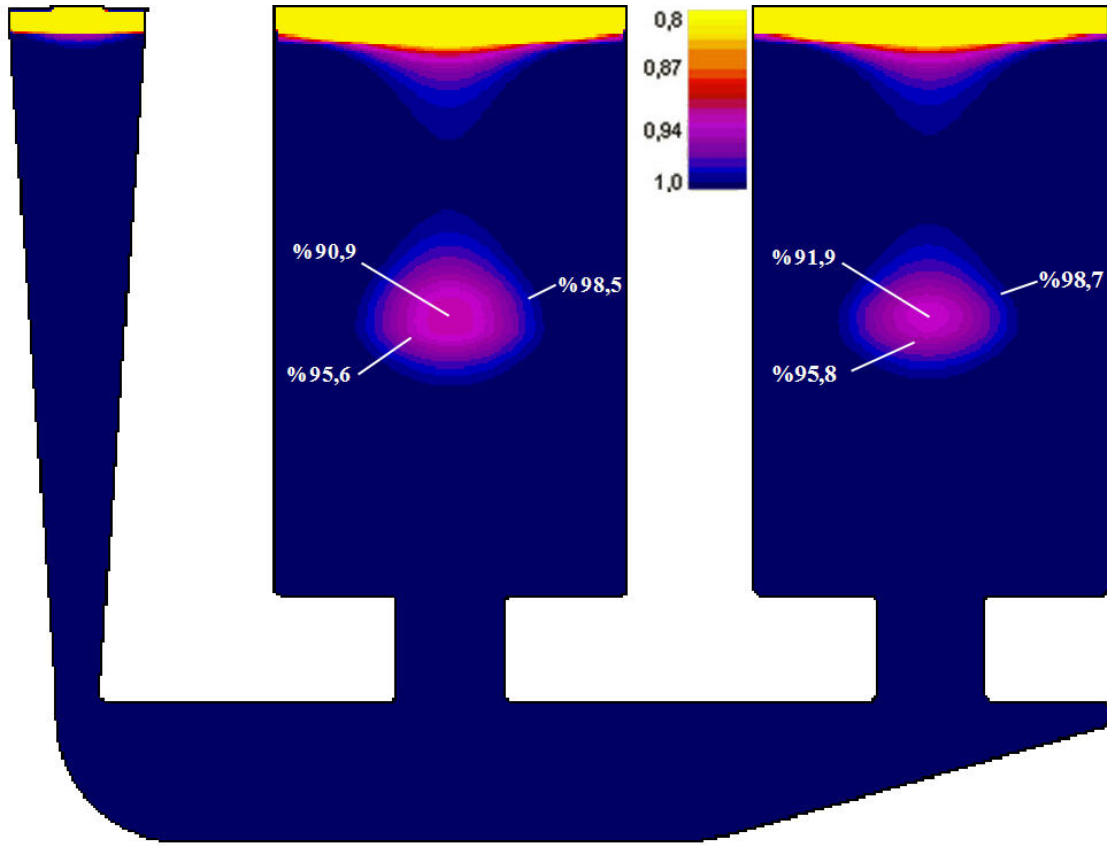
Şekil 4.25. CFS oranı %45 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)



Şekil 4.26. CFS oranı %50 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)



Şekil 4.27. CFS oranı %55 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)



Şekil 4.28. CFS oranı %57 e göre yapılan simülasyon sonucunun parça merkezinden geçen kesit düzlemindeki görünüşü (0,8 %80 ve altı yoğunluğu göstermektedir - 1 %100 yoğunluğu göstermektedir.)

Şekil 4.22-4.28 de görülen modelleme sonuçları bu çalışmadaki gibi kuma dökülen bir Etial 110 alaşımında tane inceltmiş bir dökümde tane inceltilmemiş olana göre %24 oranında daha uzun süre bir besleme sağlanabildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar belirtilen koşullarda yapılmış olan dökümlerden ölçülen porozite-yoğunluk değerleri ile de birebir uyumludur. Buna göre bundan sonraki çalışmalarda hem döküm öncesi tane inceltme işlemlerinde hem de simülasyon uygulamalarında bu çalışmadan elde edilen sonuçların kullanılması kusursuz döküm ve daha doğru modelleme yapabilme açısından önemlidir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER

1. ALCAN standart tane inceltme deneyleri Etial 110 alaşımına Al5Ti1B master alaşımı şeklinde % 0,20 oranında Ti ilave edilerek 5'er dakikalık aralıklarla yapılmıştır. Tane inceltme deneylerinin amacı alaşıma ilave edilen tane inceltici master alaşımı ile tane inceltme etkisinin zamana göre değişimini ölçerek optimum bekletme süresinin tespit edilmesidir. Sonuçlar kullanılan Al5Ti1B master alaşımı ve Etial 110 alaşımı ile azami tane inceltme etkisinin 25 dakika bekletme süresi ile alındığını göstermiştir.

2. ALCAN tane inceltme deneyleri sonuçları numunelerin kesit düzleminde ortalama tane boyutları tane inceltici ilave edilmemiş deneyde 720 μm ' dan tane inceltici ilave edilerek 25 dakika bekletilmiş sıvı metal ile yapılan deneyde 260 μm seviyesine küçüldüğünü daha uzun bekletme sürelerinde yapılan deneylerde ise tane boyutunun süre ile tekrar büyümeye başladığını göstermiştir.

3. Tane inceltmesiz ve tane inceltici ilave edilmiş Etial 110 alaşımı özel olarak hazırlanmış bir geometriye sahip kum kalıplara döküldü. Kullanılan bu döküm geometrisi, döküm içinde %100 beslenmesi imkansız bir sıcak nokta oluşturarak tane boyutunun bu sıcak noktanın beslenebilme derecesi üzerindeki etkisini araştırmak üzere seçildi. Yapılmış olan dökümlerden, zaman-sıcaklık verileri (soğuma eğrileri), tane boyutu ve % porozite ve yoğunluk ölçümleri yapıldı.

4. Döküm numunelerinden alınan tane boyutu ölçümleri tane incelticinin kum dökümde de iyi bir inceltme etkisi sahip olduğunu göstermiştir. Ortalama tane boyutu tane inceltilmemiş bir dökümde 800 μm iken tane inceltilmiş bir dökümde bu değer 260 μm olarak ölçülmüştür. Buna göre yapılan dökümlerde amaçlanan kaba ve ince taneli yapılar elde edilerek tane boyutunun kritik katı oranı (CFS) değerleri üzerindeki etkileri incelenebilmiştir.

5. Kum kalıba yapılan döküm deneylerinden alınan sonuçlara göre tane incelticinin dökümlerin beslenebilirliğini önemli ölçüde artırdığını ve buna karşılık porozite oranlarını da aynı derecede azalttığını göstermiştir. Tane incelticisiz dökümlerin sıcak noktalarında ortalama malzeme yoğunluğu % 80 civarında iken tane inceltilmiş dökümlerin aynı bölgelerinde malzeme yoğunluğunun % 90 seviyelerine yükseldiği görülmektedir. Bu oranlar sırasıyla %20 ve %10 porozite oranlarına karşılık gelmektedir.

6. Termokapıl yardımı ile dökümlerden alınan sıcaklık-zaman verileri dökümlerin modellenmesi için sınır şartı olarak simülasyon programına aktarılmıştır. 3 Boyutlu bir döküm simülasyon programı ile yapılan dökümlerden alınan sonuçlar gerçek dökümlerden alınan sonuçlar ile karşılaştırmış ve her iki sonucun mükemmel derecede uym sağladığı görülmüştür.

7. Yapılan modelleme çalışmalarında hedeflenen amaç kullanılan döküm simülasyon yazılımında bir modelleme parametresi olan kritik katı oranı (CFS) değerinin dökümlerin tane boyutuna göre nasıl değiştiğinin tespit edilmesidir. Modellemelerde % 30'dan başlayarak, %5' lik artışlarla % 60'a kadar değişen oranlarda CFS değeri kullanılmış ve bu CFS değerlerine göre simülasyon programından elde edilen porozite-yoğunluk değerleri gerçek dökümlerden ölçülen porozite-yoğunluk değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tane inceltici ilave edilmemiş dökümlerde CFS oranının %33 civarında olduğunu buna karşılık iyi tane inceltilmiş dökümlerde ise bu oranın % 57 seviyesine çıkararak daha uzun bir besleme zamanı sağladığını göstermiştir.

8. Bu çalışmadan alınan sonuçlar ışığında ileriki çalışmalar için aşağıdaki tavsiyeler yapılabilir.

a- Bu çalışmada kullanılan Al5Ti1B tane inceltici mastır alaşımı ile en iyi inceltme için elde edilen bekletme süresi 25 dakika dökümhane uygulamaları için uzunca bir süredir. Bu yüzden alüminyum içinde daha hızlı çözünebilme yeteneği olan başka bileşimlerde veya başka firmalardan temin edilmiş AlTiB türü mastır alaşımları kullanımı ile yeni çalışmalar yapılmalıdır.

b- Bu tür tane inceltme ve besleme yeteneğine yönelik deneysel çalışmalarda birden fazla farklı soğuma hızları kullanılarak soğuma hızının da bu faktörler üzerindeki etkileri incelenmelidir. Örneğin hem kum kalıp hem de kokil kalıptaki tipik soğuma hızları ile yeni tane inceltme ve besleme etkinliği deneyleri yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] SIGWORTH, G.K., KUHN, T.A., "Refinement of Aluminium casting Alloys", AFS Transactions, Vol.115, pp.1-12, 2007.
- [2] SIGWORTH, G.K., "The Grain Refining of Aluminum and Phase Relationships in the Al-Ti-B System," Metallurgical Transactions, Vol. 15A, pp. 277-282, 1984.
- [3] BACKERUD, L., "How Does a Good Grain Refiner Work?'," Light Metal Age, pp. 6-12 (October, 1983).
- [4] EASTON, M.A. and STJOHN, D.H., "The Partitioning of Titanium During Solidification of Aluminum Alloys," Mater. Sci.Technol., Vol. 16(9), pp. 993-1000,2000.
- [5] COLE, G.S., CISSÉ, J., KERR, H.W. and BOLLING, G.F., "Grain Refinement in Aluminum and Aluminum Alloys", *AFS Trans*, Vol.80, pp. 211-218 (1972).
- [6] LU, H.T., WANG, L.C. and KUNG, S.K., "Grain Refining in A356 Alloys, J. Chinese Foundrymen's Association", Vol. 29, pp. 10-18 (June, 1981).
- [7] SIGWORTH, G.K. and GUZOWSKI, M.M., "Grain refining of Hypo-eutectic Al-Si Alloys," AFS Transactions, Vol 93, pp. 907-12,(1985).
- [8] PASCIAK, K. and SIGWORTH, G.K., Role of Alloy Composition in Grain Refining of 319 Alloy, AFS Transactions, Vol. 109, pp. 567-577, 2001.
- [9] GUOCAI, C., "Dendrite Coherency During Equiaxed Solidification in Aluminum Alloys," Chemical Communications,Stockholm University, 83 pages (1994, No. 1)
- [10] Metals Handbook, Vol.15. casting, Ed. ASM International Handbook Committee, 743-770, 1989, Metals Park, OH, ASM International.
- [11] DASH, M. and MAKHLOUF, M., "Effect of key alloying elements on the feeding characteristics of aluminum–silicon casting alloys" Journal of Light Metals 1 (2001) pp. 251–265.

- [12] CAMPBELL, J., Casting, Heinemann Ltd, Oxford, 1991.
- [13] CAMPBELL, J., "Feeding mechanisms in casting", AFS Cast Metals, Research Journal 5 (1969) pp.1-8.
- [14] SIGWORTH, G.K. and KUHN, T.A., Grain Refinement of Aluminum Casting Alloys, American Foundry Society, Schaumburg, IL USA, 07-067(02), 2007.
- [15] Aluminium Association Standard Test Procedure for Aluminium Grain Refiners, TP-1, The Aluminium Association, Washington, D.C, 1990.

ÖZGEÇMİŞ

1983 Eskişehir doğumluyum. İlköğrenimimi Barbaros ilkokulunda, orta öğrenimimi Mehmet Akif Ersoy ilköğretim okulunda ve lise öğrenimimi de Yunusemre endüstri meslek lisesi elektronik bölümünde tamamladım. 2002–2006 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri öğretmenliği bölümünü bitirdim.

| | | |
|--------------------|---|------------------|
| A. KARAYAZI | ETİAL 110 ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE MAKRO VE MİKRO POROZİTE OLUŞUMUNUN MODELLENMESİ | OCAK 2009 |
|--------------------|---|------------------|