

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA ISIL İŞLEM
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Esin DEMİR

Aralık, 2008

İZMİR

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA ISIL İŞLEM ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Bölümü, Enerji Anabilim Dalı**

Esin DEMİR

**Aralık, 2008
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ESİN DEMİR, tarafından **DOÇ.DR.DİLEK KUMLUTAŞ** yönetiminde hazırlanan
**“ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA ISIL İŞLEM ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından
bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Yönetici

.....

Jüri Üyesi

.....

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr.Dilek KUMLUTAŞ a ve hayatımın her devresinde daima yanımda olup beni destekleyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Esin AYYILMAZ DEMİR

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA ISIL İŞLEM ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, ilk olarak ısıtıl işlem uygulanacak plakalar için kalıp dizaynı yapılmıştır. Kalıp dizaynı oluşturmak için Catia V5 dizayn programı kullanılmıştır. Kalıp oluşturulduktan sonra standartlarda yer alan alan A356 Alüminyum alaşımı kullanılarak ısıtıl işleme tabi tutulacak 36 tane plaka dökülmüştür. Plakaların dökümünde farklı magnezyum oranları kullanıldığı için döküm 2 süreçte gerçekleşmiştir. Döküm için 5M indüksiyon ocağı kullanılmıştır. Döküm yapıldıktan sonra plakaların besleyici ve yollukları kesilmiştir. Plakalar 3D ölçüm cihazı ile 20 noktadan ölçülmüştür. 20 nokta ölçüm cihazına kaydedilmiş ve diğer ölçümler yine aynı 20 noktadan yapılmıştır. Plakalar için Minitab R14 programı kullanılarak deney kriterleri belirlenmiştir.

Belirlenen deney kriterlerine göre yapılan deneyler sonucunda; Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan A356 alüminyum alaşımının ısıtıl işlem sırasında (çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma süreçleri) düzlemselliğinin ne kadar etkilendiği ve en az düzlemsellik değişiminin hangi koşullarda olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, ansys analiz programı kullanılarak 4 adet plaka ve 4 adet oluk açılmış plaka üzerinde Steady-State Thermal, Transient Thermal ve Flexible Dynamic ile analizler gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, 30 adet jant kullanılarak yapılan deney sonuçları ile mevcut plakalarla yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar sözcükler : Isıl işlem, A356, AlSi7, Jant

INVESTIGATION OF THE HEAT TREATMENT EFFECTS ON ALUMINIUM ALLOYS

ABSTRACT

In this Project, first designed mould of the plates on which heat treatment will be applied. Used CATIA V5 3D solid modelling programmes to constitute mould. Afterwards mould completes, casted 36 Plates on which heat treatment will be apply by using A356 Aluminyum alloy in standarts. Owing to different using ratios of the Mg element in casting process, realized two different kinds of casting process. Used 5M induction mine for casting. Afterwards casting process, separated nutritives from plate. Measured and controlled plane of the plates by using 3D measurement device at 20 point on each plate. Recorded each measurement result. Indicated experiment criterias by using Minitab R14 program for each plate.

According to indicated experiment criterias, as a result, it is found how to be influenced of plane A356 alloy which is used large wide in automative sector, by heat treatment proceses (solution heat treating, quenching, age hardening) indicated condutions giving us least plane deformation

Nevertheless, realized steady-state thermal, transient thermal and flexible dynamic analyses on 4 plates without grooves and 4 plates with grooves by using ansys programme; Experiment results made with 30 wheels and existing plates were compared with each other.

Keywords: Heat treatment, A356, AlSi7, wheel

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Jantın Tarihsel Gelişimi	1
1.2 Jant İçin Farklı Üretim Yöntemleri	2
1.2.1 Dövme Yöntemi	2
1.2.2 Döküm Yöntemi	3

BÖLÜM İKİ - DÖKÜM ALAŞIMLARI 6

2.1. Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması	7
2.2 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Özellikleri	7
2.3 Yaygın Alaşım Sistemleri	8
2.4 Alüminyum – Silisyum – Magnezyum Döküm Alaşımları ve Parametreleri	8
2.5 Mikroyapı	11
2.5.1. Tane İnceltme Prosesi	12
2.5.1.1 Tane Yapısı	12
2.5.1.2 Tane İnceltme Prensipleri	13
2.5.1.3 Kimyasal Tane İnceltme	14

BÖLÜM ÜÇ - JANTIN YAPIM AŞAMALARI 16

3.1 Jantin Yapım Aşamaları.....	16
3.1.1 Kalıp Tasarımı.....	16
3.1.1.1 Giriş Kalite Kontrol	18
3.1.3 Döküm Süreci.....	18
3.1.4 Talaşlı İmalat Süreci	20
3.1.5 Boya Süreci	21
3.1.6 Final Kontrol	22
3.1.7 Ambalajlama	22

BÖLÜM DÖRT - ISIL İŞLEM..... 23

4.1 Isıl İşlem.....	23
4.1.1 Çözeltiliye Alma İşlemi	27
4.1.2. Su Verme İşlemi.....	28
4.1.3. Yaşlandırma İşlemi	30

BÖLÜM BEŞ - DENEYSEL ÇALIŞMA 34

5.1 Numuların Üretilmesi	34
5.1.1 Hammadde	34
5.1.2 Kalıp Hazırlama	35
5.1.3 Sıvı Metal Hazırlama	37
5.1.4 Döküm.....	38
5.1.5 Numune Dökümü	39
5.1.6 3D Ölçüm Cihazı ile Ölçüm.....	41
5.1.7 Mikroyapı ve Makrografik Yapı	43
5.2 Isıl İşlem.....	46
5.2.1. Isıl işlem Çalışmaları.....	46
5.2.2 Deney Parametrelerinin Belirlenmesi	47

5.2.3 Isıl İşlem Fırının Kalibre Edilmesi.....	52
BÖLÜM ALTI - ANSYS ANALİZİ	53
6.1 Düz Plakaların Ansys Analizleri.....	53
6.2 Yüzeyinde Oluk Açılan Plakanın Ansys Analizleri.....	61
BÖLÜM YEDİ - SONUÇLAR.....	68
7.1 Isıl İşlem Ölçüm Sonuçları.....	68
7.2 Ansys Ölçüm Sonuçları.....	77
7.3 Sonuçlar	77
KAYNAKLAR	80

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Jantın Tarihsel Gelişimi

Alüminyum ilk çağlardan itibaren endüstri içerisinde önemli yer almaktadır. Alüminyum yeryüzünde bol miktarda bulunmasına rağmen serbest halde çok nadir bulunur. 20. yüzyılın başlarına kadar alüminyum dökümün uygulama alanları sadece dekoratif ürünler ve mutfak gereçleri ile sınırlıydı. Fakat 2. Dünya Savaşı'ndan sonra alüminyum döküm endüstrisi gelişmeye başlamıştır. Döküm endüstrisinin çarpıcı bir şekilde büyümesinin sebebi, genişleyen üretim ve taşıma sektöründeki çok farklı ve çeşitli tipteki malzemelere ihtiyaç duyulmasıdır (Ammar ve Samuel, bt).

Alüminyum ilk keşfedildiğinde rafine edilmesi çok zordu. Bunun nedeni, çok hızlı oksitlenmesi, oluşan bu oksit tabakasının çok kararlı oluşu ve demirdeki pasın aksine yüzeyden sıyrılmayıdır. Alüminyumun hurdalardan geri kazanımı, günümüz alüminyum endüstrisinin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Geri kazanım prosesi, metalin basitçe tekrar ergitilmesi esasına dayanır, ki bu yöntem metalin cevherinden üretimine nazaran çok daha ekonomiktir.

Alüminyuma çinko, magnezyum, silis, bakır, titanyum ve lityum gibi elementler eklenerek alaşım elde edilebilir. Makina elemanları uygulamalarında, yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona dayanımı ve işleme kolaylığı, alüminyumun üstün özellikleridir. Hafifliği nedeniyle, büyük ve tek parçaların üretimi mümkün olur. Hassas toleranslarda işleme kolaylığı sayesinde, standart birimlerden büyük parçaların yapılması mümkün olur. Son yıllarda otomotiv piyasasında yanlışlıkla "çelik jant" denilen gösterişli, parlak, boya ve bakım gerektirmeyen "hafif alaşımlı" jantlar "alüminyum"dur. Bu çalışmada literatürde AlSi7Mg, ticari olarak A356 alaşımı olarak bilinen ve otomotiv endüstrisinde yaygın kullanım alanı bulan Alüminyum – Silisyum – Magnezyum alaşımının genel döküm özelliklerinin alüminyum döküm örnekleri mevcuttur.



Şekil 1.1 Alüminyum döküm örnekleri (Ammar ve Samuel, bt).

1.2 Jant İçin Farklı Üretim Yöntemleri

1.2.1 Dövme Yöntemi

Dövme işlemi, alüminyumun moleküler dokusunu jantın geometrisine göre şekillendirir. Kamyon, treyler ve kamyonlar için çoğu zaman dövme alüminyum jantlar kullanılır (Alcoa, bt, www.noregt.com).



Şekil 1.2 Dövme jant yapım aşaması (Alcoa, bt, www.noregt.com).

Her bir jant, tek bir alüminyum bloğu halindedir. Bu şekilde üretim sürecine girerler. Daha sonra ortalama 7000 tonluk dövme presi ile blok jant şekline dönüştürülürler. Dövme işleminden sonra, jantlar mekanik mukavemetlerinin artırılması için ısıya tabi tutulurlar. Hassas üretim hattında her bir jant dairesel yapı bütünlüğünü sağlamak amacıyla işleme tabi tutulurlar. Bu da sürüş esnasında oluşabilecek balans bozukluklarını ortadan kaldırır (Şekil 1.2).



Şekil 1.3 Dövme jant delik açımı ve parlatma (Alcoa, bt, www.noregt.com).

Havalandırma ve montaj delikleri açılır. Daha sonra janta farklı yöntemler ile parlaklık verilir (Şekil 1.3).

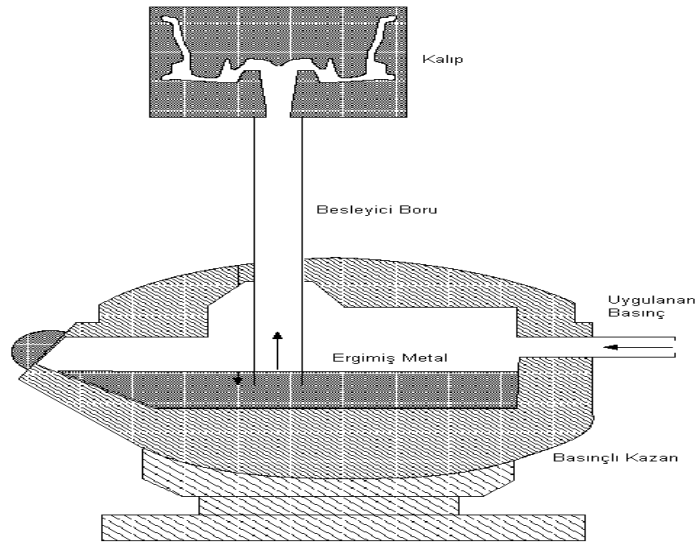
1.2.2 Döküm Yöntemi

Endüstride yaygın olarak tercih edilen döküm yöntemleri, kum kalıba döküm, sabit kalıba döküm ve yüksek basınçlı dökümdür. Yüksek basınçlı döküm yöntemi küçük ebatlı parçalar için yaygın olarak kullanılır. Kum kalıba döküm, büyük parçalar için kullanılmaktadır. Sabit kalıba döküm ise, gravite ve alçak basınçlı dökümlerde orta büyüklükteki parçalar içindir. Gravite döküm, kokil döküm kalıplarına sıvı metalin yerçekimi kuvveti yardımıyla dökülmesi prensibine dayanan döküm yöntemidir (Youn ve Kang, 2005).

İlk başta bağlanan kalıp temizlenir. Robot yardımı ile metal alınır. Kalıba tel filtre yerleştirilir ve döküm yapılır. Daha sonra, kalıp ayarlanan zaman sonunda açılır ve parça kalıptan çıkarılır.

Alçak basınçlı döküm, kokil döküm kalıplarına sıvı metalin hava basıncı yardımıyla dökülmesi prensibine dayanan döküm yöntemidir.

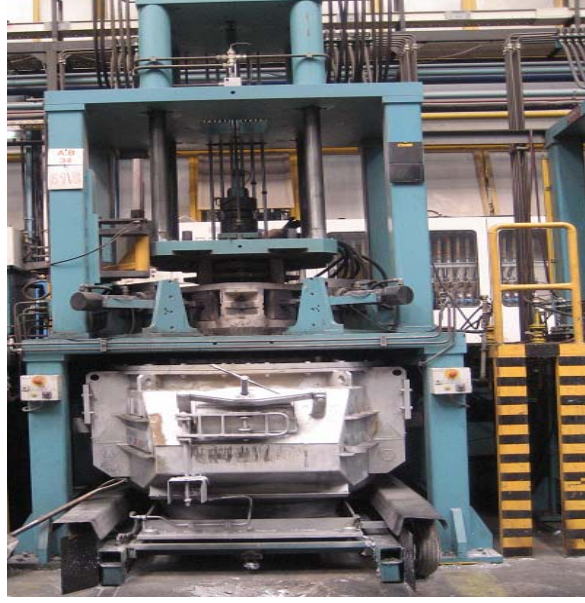
Alçak basınç döküm yöntemi, otomotiv endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Jant ve motor bloğu imalatında tercih edilmektedir. Şekil 1.4’de şematik olarak alçak basınç döküm tezgahı görülmektedir. Dolum işlemi, basınçlı kazanda oluşan basınç sebebiyle ergimiş metalin besleyici boruya doğru hareket etmesi, oradan da kalıptaki malzemeye eklenmesi sonucunda gerçekleşmektedir. Uygulanan basınç 1-2 Bar arasındadır. Böylece kalıpta ileri doğru bir dolum gerçekleşmekte ve yukardan aşağıya doğru azalan sıcaklık gradyanları oluşmaktadır. Bu da yönlendirilmiş katılaşmayı sağlamaktadır (Duff, 1999).



Şekil 1.4 Alçak basınç tezgahının şematik görünümü (Duff,1999)

Basıncın uygulanması ile birlikte, besleyici borudan yukarı doğru hareket eden ergimiş metal, kalıptaki hava ventillerinden dışarı atılan hava oranıyla orantılı olarak kalıba doğru ilerleyebilmektedir. Daha sonra kalıbı beslemek için, uygulanan basınç artırılır, bu da besleme basıncı olarak isimlendirilir. Katılaşmanın gerçekleşmesiyle birlikte basınç serbest bırakılır ve girişteki fazla sıvı besleyici borudan aşağıya doğru hareket eder. Döküm işlemi başlamadan önce basınçlı kaptaki basınç için basınç

zaman ($P - t$) grafiği oluşturularak tezgah programlanır. şekil 1.5’de jant imalatında kullanılan bir alçak basınç döküm tezgahı görölmektedir.



şekil 1. 5 Alçak basınç döküm tezgahı (Demir, 2007)

BÖLÜM İKİ

DÖKÜM ALAŞIMLARI

2.1. Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması

Döküm alaşımlarının sınıflandırılması ve isimlendirilmesi kimyasal kompozisyonlarına göre yapılmaktadır. Alüminyum alaşımların sınıflandırılmasında uluslararası olarak kabul edilen isimlendirme U.S. Aluminium Association tarafından 2 yöntemde kullanılarak yapılıyor. Döküme göre isimlendirme, 3 tane rakam ve virgülden sonra 1 tane daha rakamla, işlenecek alüminyum külçesi için de 4 haneli rakam sistemi kullanılarak nümerik dizilim ile yapılmaktadır. Bu dizilime göre Tablo 2.1’de görülebileceği üzere ilk rakam grup içerisindeki ana alaşımlandırma elementini ifade etmektedir (The Aluminium Association [AA], 1988). Örnek; A356.0 3.seride demektir.

Tablo 2.1: Alüminyum döküm alaşımlarının ticari sınıflandırması (AA,1988)

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi
1xx.x	Alaşımlandırılmamış Alüminyum (% 99,0 veya daha yüksek safiyet)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan seri
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer elementler

2xx.x, 3xx.x, 4xx.x ve 7xx.x serileri ısıtılma işlemine tabi tutuluyor. Sınıflandırma sisteminde 1xx.x grubunda noktanın solundaki iki rakam alaşım içerisindeki en az alüminyum içeriğini belirtmektedir. 2xx.x’den 9xx.x grubuna kadar olan aralıkta noktanın solundaki iki rakam sadece grup içerisindeki alaşımları ayırt etmek için

kullanılmakta olup özel bir anlam taşımamaktadır. Örneğin 190.x dizilimi %99.90 saflığındaki alüminyumı ifade etmektedir. Aynı grupta noktadan sonraki hane ürün şeklini nitelendirmektedir. Bu dizilimde 0 dökümler için 1.ve 2. külçeler içindir.

Tablo 2.2 de belirtildiği gibi işlenmiş alüminyum alaşım dizaynına göre 8 gruba ayrılmıştır. 4 rakam içermektedir. Örneğin; Xxxx olarak 1000 serisi,2000 serisi...

Tablo 2.2 İşlenmiş alüminyum alaşım belirleme sistemi (AA,1988)

Alaşım serisi	Başlıca alaşım elementleri
1xxx	99.000% Min.alüminyum
2xxx	Bakır
3xxx	Mangenez
4xxx	Silisyum
5xxx	Magnezyum
6xxx	Magnezyum ve Silisyum
7xxx	Çinko
8xxx	Diğer elementler

Bu dizilime göre, 1xxx,3xxx ve 5xxx serileri ısıtılma işlemine tabi tutulmuyor. 2xxx,6xxx ve 7xxx serileri ısıtılma işlemine tabi tutulabiliyor. 4xxx serisi ise, ısıtılma işlemi ve ısıtılma işlemli olabiliyor.

2.2 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Özellikleri

Alüminyum gümüş renkte sünek bir metaldir. Alüminyum genel özellikleri içerisinde iyi işlenebilirlik, iyi yüzey kalitesi, düşük özgül ağırlık, mükemmel dökünebilirlik, düşük gaz çözünürlüğü vardır. Kalıp tasarımında, alüminyumdaki katılaşma sırasındaki % 3,5 ile % 8,5 arasındaki hacimsel çekme oranı göz önüne alınmalıdır. Alüminyum döküm alaşımlarının dövme alaşımlara kıyasla mekanik özellikleri çok daha iyi olduğu bilinmekle birlikte grup içerisinde yer alan

alaşımlarının bazıları ısıtılma tabi tutularak daha üstün mekanik özelliklere kavuşturulabilmektedir (Polmear,1981)

Alüminyum alaşımların dökülebilirlik özellikleri akışkanlığın, sıcak yırtılma eğiliminin ve hacimsel çekme özelliklerinin değerlendirilebildiği özel numune kalıpları kullanılarak belirlenmektedir.

Mekanik özellikler ise, genellikle en iyi ısıtılma işlem uygulanabilen ötektik kompozisyonları içeren alaşımlardan elde edilmektedir. Ayrıca döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ergitme ve döküm pratiklerinin sıkı kontrolü, empürite seviyesinin kontrolü, tane boyutu kontrolü - inceltme, ötektik modifikasyon ile çok daha iyi karakterize edilmektedir.

Kullanım alanı olarak bakıldığında ise genel kullanım amacıyla üretilen alüminyum döküm parçalarında alaşım seçimi işlenebilirlik, korozyon direnci, sertlik ve mekanik değerler gibi karakteristiklere göre yapılmaktadır.

2.3 Yaygın Alaşım Sistemleri

Alaşımlar belirtildiği gibi uluslararası olarak kabul edilen şekilde, 9 seride tanımlanmış ve sınıflandırılmış olup 200'ün üzerinde kompozisyonu kapsamaktadır (AA,1988). Kapsamın geniş olması bireysel ihtiyaçlardan doğmaktadır; bazen harf konularak çeşitlendirme arttırılmaktadır. (örneğin 356.0 ve A356.0 gibi).

Alüminyumda ısıtılma işlem uygulanmıyorsa alaşım numarasını sonuna F harfi konularak belirtilir. Detaylı bilgiler 4.bölümde anlatılmıştır. Isıtılma işlem tanımlamaları 0, T4, T5 , T6 gibi sınıflandırmalar yapılmaktadır.

2.4 Alüminyum – Silisyum – Magnezyum Döküm Alaşımları ve Parametreleri

Alüminyum-Silisyum alaşımları hafiflik, yüksek mukavemet, yüksek ısı iletkenliği ve düşük ısıtılma genleşme özelliklerinden dolayı genellikle otomotiv

parçalarının dökümünde kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründeki gelişmeler ve enerji sıkıntısı nedeni ile, artık daha hafif malzeme seçimine gidilmiştir. Hafif ve istenilen mekanik özellikleri sağlayan alaşımlar tercih edilmektedir. Mekanik özelliklerde gerilme mukavemet özellikleri, yorulma özellikleri, darbe dayanımı ve işlenebilirlik önemlidir. Mekanik özellikleri etkileyen parametrelerden biride, mikro yapıdır.

Ana elementlerden silisyum elementi; silisyum, oda sıcaklığında katı haldedir. Camın hammaddesi kum olarak bilinir. Bunun nedeni, kum içerisinde silisyum oranının fazla olmasıdır. Alüminyuma silisyum ilavesi döküm karakteristiğini geliştirdiği gibi mekanik özellikler ve korozyon dayanımını da iyileştirir. (Kolay işlenebilirlik, korozyon dayanımı ve dayanım). Genel olarak kum, hassas döküm gibi yavaş katılaşma şartları sağlayan döküm yöntemlerinde %5–7, kokil dökümlerde %7–9 ve basınçlı dökümlerde %7–12 silisyum oranları kullanılmaktadır. Magnezyum, alaşımın akma ve kopma mukavemet değerleri üzerinde önemli rol oynar.

En yaygın döküm alaşımları ve özellikleri Tablo 2.3 ve 2.4’de verilmiştir. Özellikle ikili ötektik veya hipoötektik Al-Si alaşımları iyi dökülebilirlik ve korozyon dayanımı ile karakterize edilmektedirler (The American society for testing and Metarials [ASTM], 1989).

Al – Si alaşımlarının yapılarının güçlendirilmesi az miktarda bakır, magnezyum veya nikel eklenmesi ile sağlanabilmektedir. Bu yapılar içerisinde, silisyum iyi döküm özelliklerini sağlarken, magnezyum akma ve kopma mukavemetleri üzerinde rol oynamaktadır.

Tablo 2.3 Al – Si alaşımlarının bileşimleri (ASTM,1989)

(K: Kum Döküm, S: Sabit Kalıba Döküm, Y: Yüksek Basıncılı Döküm)

Alaşım	Elementler						
	Yöntem	Si	Cu	Mg	Fe	Zn	Diğer
319.0	K, S	5,5-6,0	3,0-4,0	0,10	1,0	1,0	
332.0	S	8,5-10,5	2,0-4,0	0,5-1,5	1,2	1,0	
355.0	K, S	4,5-5,5	1,0-1,5	0,40-0,6	0,06	0,35	
A356.0	K, S	6,5-7,6	<0,20	0,25-0,45	<0,2	<0,1	
A357.0	K, S	6,5-7,5	0,05	0,45-0,6	0,15	0,05	0,05 Be
359.0	Y	8,5-9,5	0,20	0,50-0,7	0,20	0,10	0,05
383.0	Y	10,0	2,5	0,10	1,3	3,0	0,15 Sn
443.0	K, S	4,5-6,0	0,6	0,05	0,8	0,5	
707.0	Y	0,20	0,20	1,8-2,4	0,20	<0,1	0,40 mn
850	Y	0,70	0,7-1,3	0,10	0,7		
852.0	Y	0,40	1,7-2,3	0,6-0,9	0,7		5,5 tin

Yaşlandırma ile sertleştirilebilen ve magnezyum içeren Al – Si alaşımları önemli bir alaşım grubunu oluşturmaktadır. Ancak bu alaşımlar, döküm parçasında çekme mukavemetine etkiyen Mg_2Si (magnezyum2silisyum fazı) fazının oluşması sebebiyle % 0,45 civarında magnezyum oranı ile sınırlanmaktadır. Çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma aşamalarını içeren ısıtıl işlem prosesi Mg_2Si fazının düzenli bir şekilde alüminyum dendritleri arasında çökmesini sağlayarak bu sorunun çözülmesini sağlamaktadır

Tablo 2.4 Al – Si Alaşımlarının karakteristik özellikleri (ASTM,1989)

(Değerlendirme : 1, en iyi ; 5, en kötü) (K: Kum Döküm, S: Sabit Kalıba Döküm, Y: Yüksek Basınçlı Döküm)

Alaşım	Yırtılma Direnci	Basınç Dayanımı	Akışkanlık	Çekinti Eğilimi	Korozyon Direnci	İşlenebilirlik
319.0	2	2	2	2	3	3
332.0	1	2	1	2	3	4
355.0	1	1	1	1	3	3
A356.0	1	1	2	1	2	3
A357.0	1	1	1	1	2	3
359.0	2	1	2	-	5	3
443.0	1	1	2	1	2	5

Al – Si – Mg alaşımları, otomotiv sektörü ve denizcilik sektöründe özellikle, deniz atmosferine maruz kalan parçaların üretiminde hafiflik ve dayanım özellikleri ile oldukça kabul gören bir malzemedir. Özellikle otomotiv için, önemli bir fonksiyonelliğe sahip emniyet parçası olan jant üretimi için tüm dünya genelinde kabul görmektedir.

2.5 Mikroyapı

Mikroyapının çalışmalar ve deneyimler sonucunda, birçok faktörlerden etkilendiği tespit edilmiştir. Dökümde kullanılacak alaşımın mikroyapı kontrolü ise kontrollü katılaşmanın yanı sıra temel olarak pratikleri ile sağlanabilmektedir.

Alüminyum – Silisyum alaşım sistemlerinde mikroyapı kimyasal kompozisyon ve döküm prosesinin özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, ince şekilli ötektik yapı basınçlı dökümde hızlı soğutulma ile elde edilirken, aynı zamanda dendrit kol uzunluklarının ve dolayısıyla dendritik hücrelerin daha kısa oluşmasına sebep olmakta, bununla birlikte tane boyutunun küçülmesine yardımcı olmaktadır (Shivukmar, Ricci, Steenhoff ve Sigworth, 1989). Öncelikli olarak tane inceltme ve modifikasyon gibi iki önemli süreç ve etkileşim mekanizmaları iyi şekilde anlaşılmalıdır.

2.5.1. Tane İnceltme Prosesi

Döküm alaşımının yapısal özelliklerini belirleyen faktörlerin başında gelen tane inceltme prosesi; sıcak yırtılma eğilimi, porozitenin dağılımı ve beslemenin iyileştirilmesi açısından büyük bir önem arz etmektedir (Kashyap ve Chandroshekar, 2001). Tane inceltme işlemi sonucu, parçada daha az yapısal döküm kusuru görülürken buna mukabil olarak, çok daha iyi mekanik değerler elde edilebilecektir.

Tane inceltme işleminin alaşımın yapısında nasıl gerçekleştiğinin anlaşılabilmesi için, öncelikle döküm parçasının temel yapı taşı olan çekirdek teorileri ve tane oluşumu incelenmelidir. Bu sayede, tane inceltme mekanizmaları kolayca görülebilecektir.

2.5.1.1 Tane Yapısı

Tane boyutunun yapısal ve mekanik değerler üzerindeki etkisi çoklu fazlarda tam olarak bilinmemesine rağmen, tekli fazların özellikleri bilinmektedir. Sektörde yaygın bilgi ve deneyimlere göre, ince tane yapısı iri tanelere göre tercih edilir. Ancak Al – Si alaşımlarında bu durum esas yapısal özellikleri belirleyen ötektik silisyum fazı dolayısıyla özellikle modifikasyon ve tane inceltme terimlerinin birbirleriyle karıştırılmaması gerekliliğini doğurmaktadır. Shivukmar ve diğer.(1989)

Pratik uygulamaların kazandırdığı deneyimler ışığında, Al – Si döküm alaşımlarının yapısına etki eden faktörlerin başında gelen ötektik silis morfolojisi, boyutları ve dendrit kol uzunluğu (DAS) gelmektedir. Ancak, bu faktörler incelenirken birbirinden ayrı ele alınması gerekmektedir. Örneğin, bir döküm alaşımında ince ya da iri taneler modifiye edilmiş ve yahut edilmemiş, daha geniş veya daha kısa dendrit kol uzunluklarında görülebilirler.

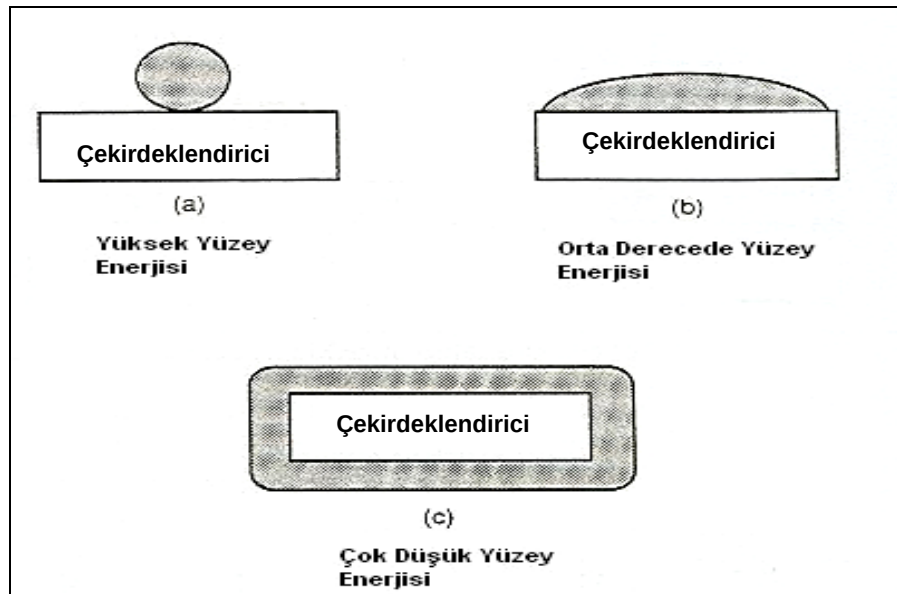
Alaşımın yapısında bulunan ve tane olarak adlandırılan yapıda, aynı çekirdekten oluşan alüminyum dendritleri bulunmaktadır. Bu dendritlerin uzunluğu ise en başta katılma hızı ile belirlenmekte, katılma hızı yavaşladıkça dendritlerin uzunluğu

artmaktadır. Bahsi geçen dendrit kollarının arasında ise, modifiye edilebilir ötektik silisyum fazı yer almaktadır (Kashyap ve Chandroshekar,2001).

2.5.1.2 Tane İnceltme Prensipleri

Tane inceltme, alüminyum alaşımlarında ki çekirdek oluşumu ve büyümesi ile doğrudan ilişkilidir. Bunu daha iyi anlamak için öncelikle, tane oluşumunu yani çekirdeklenme prensiplerini anlamak gerekir.

Volmer ve Weber tarafından 1925'te geliştirilen ve 1983 yılında Mondolfo tarafından revize edilen çekirdeklenme teorisine göre, sıvı içerisindeki her bir tane yabancı bir partikül veya çekirdeklendirici tarafından çekirdeklenmeye başlatılırlar. Bu teori aynı zamanda, heterojen çekirdeklenme teorisi olarak da bilinmektedir ve çekirdeklendirici ile çekirdek (katılaştıran malzeme) arasındaki yüzey enerjisinin süreç içerisinde en önemli etmen olduğunu söylemektedir. Teoriye göre, çekirdeklendirici ve çekirdek arasında üç çeşit olasılık mevcuttur (Mondolfo,1983). Bu olasılıklar Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Yüzey enerjisinin çekirdeklendirici üzerindeki çekirdek geometrisine etkisi (Mondolfo,1983).

Teoriye göre, şekil 2.1’de (c) ile gösterilen durum, çekirdeklendirici ve çekirdek arasındaki yüzey enerjisinin en az olmasından dolayı optimum olarak ifade edilmektedir. Bu sayede çekirdek, çekirdeklendiriciyi tam olarak sararak entropi kanunları dolayısıyla en az enerjiyi harcayarak büyük çaplı bir film oluşturur. Bu durum ise, genellikle çekirdeklendirici ve çekirdek kristal yapılarının benzerliği sayesinde yüzey enerjisinin en az olduğu durumlarda gerçekleşir (Mondolfo,1983).

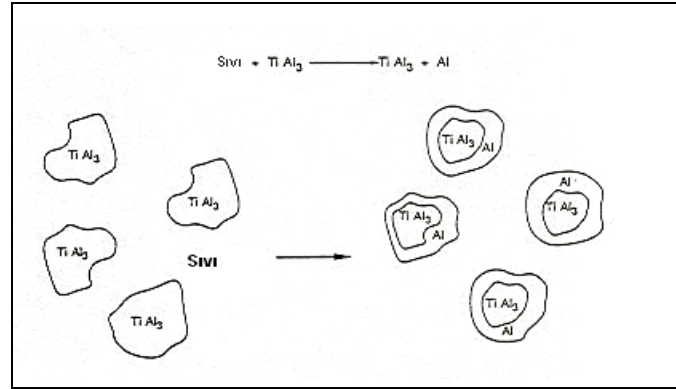
Heterojen çekirdeklenme bu şekilde basit bir şekilde özetlenecek olursa; alüminyum söz konusu olduğunda uygun bir çekirdeğin kristal latisindeki atomik düzlemler, üzerinde çekirdekleneceği malzemenin latisindeki atomik düzlemlerle benzer olmalıdır. Bu sebepten ötürü, alüminyum ve çekirdeklendiricinin arasında belirgin bir kristalografik ilişki bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar ise, bunun için en uygun bileşimin $TiAl_3$ şeklinde olduğunu göstermektedir (Guzowski, Sigwort ve Senter, 1987).

Sıvı alüminyum döküm alaşımları genellikle, yapılarında temel olarak oksitlerden oluşan bir çok yabancı partikül bulundurlar. Alaşımın ergime noktasının altında sıcaklıklarda bu tarz partiküllerin etkili birer çekirdeklendirici olmaları temel olarak kristal yapılarının ne kadar benzer oldukları ile ilişkilendirilmektedir. Örneğin, alaşımın likidüs sıcaklığının hemen altında ve oldukça yakınında benzer kristal yapıdaki çekirdeklendiriciler daha iyi çekirdeklenme sağlarken, benzerliği az olan partiküller daha fazla bir soğuma oranına ihtiyaç göstereceklerdir. Bu durum ise, çil etkisi olarak adlandırılmakta ve bu sayede heterojen çekirdeklenme gerçekleşerek oldukça ince yapılı taneler katılaşma sırasında oluşacaktır. Ancak çil etkisinin, seri üretim gibi şartlarda uygulamasının pratik olmaması sebebiyle yapıya çekirdeklenme ajanları ilave edilmekte ve kimyasal tane inceltme olarak adlandırılmaktadır.

2.5.1.3 Kimyasal Tane İnceltme

Kimyasal tane inceltme metodu; katılaşma hızının önemli olduğu durumlarda uygulanan yöntemdir.

Genellikle alüminyum alaşımları için, döküm sektöründe tane inceltici olarak % 0,02 – 0,15 titanyumun alaşıma eklenmesi veya tipik olarak % 0,01 – 0,03 oranında titanyum ve % 0,01 oranında bor içeren çubuk, plaka, tablet ve kapsül formundaki master alaşım ya da tuz karışımları tercih edilmektedir. Titanyumun tane inceltici olarak tek başına kullanılması, kristal yapılarının benzer olması ve özellikle efektif bir çekirdeklendirici olan $TiAl_3$ fazı oluşturması sebebiyle net bir şekilde biliniyor olmasına rağmen, bor ile birlikte kullanımı, borun etkisi ve özellikle borun yarattığı etkinin sebepleri üzerine tartışmalar hala sürmektedir. Şekil 2.2’de Al – Ti sisteminde gerçekleşen peritektik reaksiyon ile çekirdeklenme gösterilmektedir



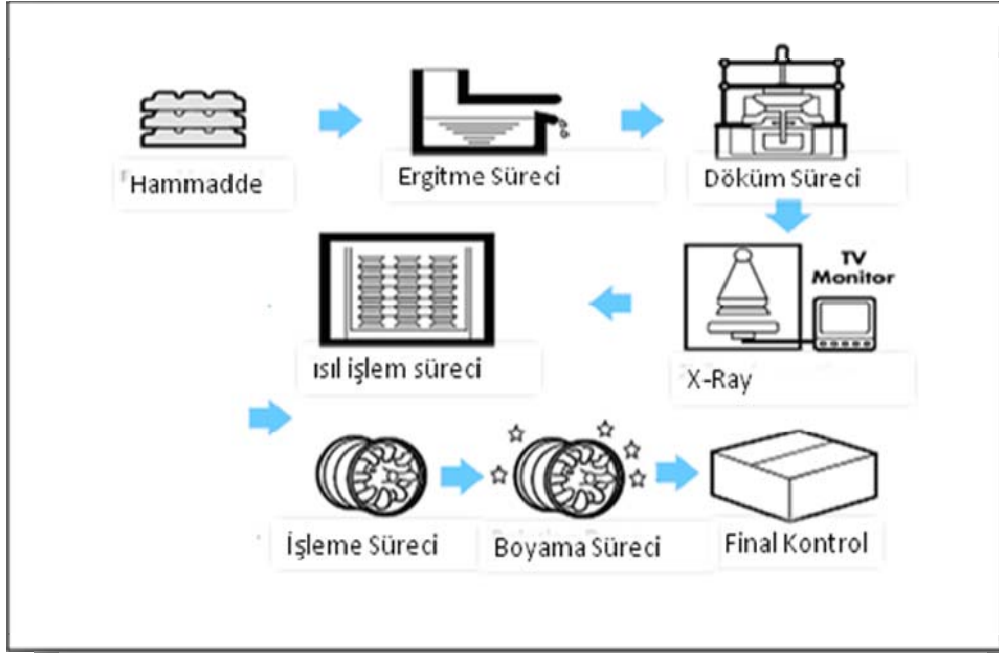
Şekil 2.2 Al – Ti sisteminde gerçekleşen çekirdeklenme (Mondolfo, 1983).

Alüminyum döküm sektöründe, yapısında daha büyük ve daha az $TiAl_3$ fazı bulunduran master alaşımının; içinde daha küçük ve çok $TiAl_3$ fazı içeren master alaşımına göre tane inceltmede daha az başarılı olduğu bilinmektedir. Ancak yine alüminyum döküm sektöründe kullanılan ve yoğun olarak kabul gören alaşımlara bakıldığında, Al – Ti – B master alaşımlar olduğu görülmektedir. Pratik kullanımdaki tercihin bu yönde olmasını belirleyen en önemli sebebin inceltici olarak sadece titanyum kullanıldığı durumlarda uzun bekleme sürelerinde inceltme etkisinin kaybolduğunu işaret eden deneyimlere dayanmaktadır. Al – Ti faz diyagramı incelendiğinde tane incelticiden gelen $TiAl_3$ partiküllerinin çözülmesi ve dolayısıyla inceltme etkisinin zamanla azaldığı açıkça gözlemlenmektedir (Kashyap ve Chandroshekar, 2001). Literatürde bu durum yanma kaybı (fading) olarak ifade edilmektedir.

BÖLÜM ÜÇ

JANTIN YAPIM AŞAMALARI

3.1 Jantın Yapım Aşamaları



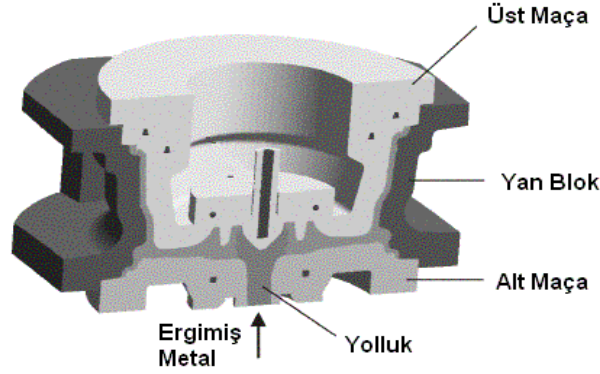
Şekil 3.1 Jant yapım aşaması örneği

Jant, şişirme lastikle dingil aks sistemi arasında, yük taşıyan ve jant çemberi ile göbekten dönen elemandır. Şekil 3.1 de jantın aşamaları görülmektedir.

3.1.1 Kalıp Tasarımı

Poteyaj, kalıp boşluğu yüzeylerine tatbik edilen ve döküm parçanın bu yüzeylere yapışmasını önleyen, aynı zamanda sıvı metalin yönsel katılaşmasına yardımcı olan refrakter esaslı sodyum silikat solüsyonudur (Demir, 2007).

Alçak basınç döküm yönteminde kullanılan bir jant kalıbının ana elemanları, Şekil 3.2 'de görüldüğü gibi, alt maça, üst maça, yan bloklar ve yolluktur.



Şekil 3.2 Kalıbın ana elemanları

Yolluk malzemesi ise seramiktir. Alt maça ve üst maça malzemesinde genellikle kalıp çelikleri kullanılırken, yan blok da ise dökme demir tercih edilmektedir.

Bu karmaşık geometrilerin tasarlanması için, 3 boyutlu yazılımlar kullanılmaktadır (Catia, Unigraphics, Solidworks vs.). Kalıp tasarımlarının da yine bu yazılımlarla yapılması zorunluluğu vardır. Bu parçaların imalatında bilgisayar destekli imalat (Computer Aided Manufacturing) yöntemleri kullanılmaktadır. Şekil 3.3'de bir jantın kalıptan çıkmış ve işlenmemiş hali görülmektedir.



Şekil 3.3 Alçak basınç döküm tekniğiyle dökülmüş bir jant (Demir, 2007)

3.1.1 Giriş Kalite Kontrol



Şekil 3.4 Külçe örnekleri (Demir, 2007)

Şekil 3.4 de verilen şekilde alüminyum külçeleri bloklar halinde gelir. Ürünlerde kullanılan ve tedarikçilerden alınan alüminyum külçe, yağ boya, yağ vernik, toz boya, toz vernik giriş kalite kontrolünden geçirilir. Alüminyum külçelere, görsel kontrol kimyasal analiz, yoğunluk ve termal analiz yapılır. Yağ boya ve yağ verneğe renk kontrolü yoğunluk, viskozite ve katı madde analizi yapılır (Demir, 2007).

3.1.3 Döküm Süreci

Bu operasyon ergimiş metalin transfer potasına alınması ile başlar (Şekil 3.6). Daha sonra ısıtma cihazı ile 10-15 dakika ısıtılmış ön transfer potasına aktarır ve gaz giderme operasyonu yapılır. Hazırlanarak ergitilmiş sıvı metalin ilk şarjından (Şarj: Ergitme ocaklarından bir veya birden fazla bekletme ocağına götürülmek üzere bir seferde transfer potasına aktarılan ergimiş metaldir) alınan numune, üzerinde termal analiz yapılarak modifikasyon derecesi ve tane iriliği değerleri tespit edilir.

Transfer ve hazırlık işlemleri ergitme operasyonu esnasında yapılan muayene ve kontroller şunlardır:

- 1-Kimyasal analiz
- 2-Gazlılık analizi
- 3-Termal analiz
- 4-Sıcaklık kontrolü

Transfer potası içindeki ergimiş metal, yukarıda tariflenen tüm muayene ve kontroller sonra, metal ihtiyacı daha önce bildirilmiş olan bekletme ocağına transfer edilecek durumdadır. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile ilgili daha önce bilgi verilmişti. Döküm yapıldıktan sonra, X-Ray ile jant içinde çekinti gaz boşluğu porozite ve yabancı madde incelenir. %100 kontrol yapılır ve bu hatalardan biri müşteri isteğinin dışındaki bir kriterde ise jantlar hurdaya ayrılır. Hataların büyüklükleri ASTM 155 E standardında belirtilen büyüklükler ile tanımlanır. Red kararı verilen jant için red diye ayrılır ve hurdaya atılır. Sağlam jantlar daha sonra ısıt işleme tabii tutulurlar.



Şekil 3.5 Isıl işlem tesisi (Demir, 2007)

Isıl işlem fırınında çözeltiye alma alanı 7 adet bölgeden oluşur. Bölgelerin sıcaklıkları ortalama 500°C civarındadır. Çevrim süresi 6 saat civarındadır. Çözeltiye alma işleminden sonra soğutma havuzuna daldırılır. Burada suya giriş süresi, suda bekletme süresi ve süzülme süreleri önemli rol oynar. Çevrim süresi de ortalama olarak 5 saat civarındadır. Daha sonra yaşlandırma işlemi için ikinci fırına girmektedir. Burası da toplamda 5 bölgeden oluşur. Ortalama sıcaklığı 150°C dir. Burada ise 4-5 saat civarında kalması gerekiyor. Şekil 3.5 de ısıt işlem fırını örneği mevcuttur (Demir, 2007).



Şekil 3.6 Ergitme Ocağı (Demir, 2007)

3.1.4 Talaşlı İmalat Süreci

Dökümhane bölümünde dökümü yapılmış yarı ürünler, talaşlı imalat bölümüne gelir. Talaşlı imalat bölümünde söz konusu ürünün imalatı için gerekli olan şu çalışmalar gerçekleştirilir.

- 1-Gerekli takım ve aparatların sağlanması
- 2-Tezgah işleme (CNC) programların hazırlanması
- 3-Operasyon Talimatları ve operasyon kontrol planı dokümanların hazırlanması

Kaba olarak gelen jant CNC tezgahlarında işlemeye alınırlar. Göbek boşaltma yapıldıktan sonra, ilk talaş operasyonu olarak adlandırılan jantın iç çapı, dış çapı, delik ve offset kenarları işlenir. Daha sonra, son talaş işlemi diye adlandırılan kapak, stil damak ve ilk talaş operasyonundan kalan dış çap işlenir. Bijon ve sübap delikleri açılır ve tesviyesi (tesviye : Bu operasyona gelinceye kadar jantın üzerinde kalan çapaklar, yüzey bozuklukları ve keskin köşeler giderilir) yapıldıktan sonra helyum sızdırmazlık için banyoya alınırlar ve sızdırmazlık testine tabii tutulurlar. Sızdırmazlık testinden sağlam çıkan jantlar (Test sırasında $3.2E-4$ değeri limit değerinin altındaki jantlar sağlam) boyanmak için boyahaneye gönderilirler. İşlemede kullanılan tezgahlar Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 de görülmektedir.



Şekil 3.7 Sızdırmazlık cihazı (Demir, 2007)



Şekil 3.8 CNC tezgahı (Demir, 2007)

3.1.5 Boya Süreci

Talaşlı imalattan çıkan jantlar boya atımından önce temizlenir. Bu yüzden ürün üzerindeki önceki işlemlerden veya ortamdan gelen yağ, toz, çapak vb. maddeleri kimyasal yöntemle temizlenmelidir. Bu işlemler, ürün üzerine püskürtme banyoları aracılığı ile yapılır. Ürün ilk başta 7 adet banyodan geçer. Boya işleminden önce bunların asıl amacı, jant üzerindeki toz, çapak, oksit tabakasını engellemek ve boyanın daha etkin tutmasını sağlamaktır. Artık bu banyolardan çıkan ürünlerin yüzeyleri boya atımına hazırlanmıştır. Banyolardan çıkan ürünlerin üzerinde kalan su

birikintileri, basınçlı hava ile kurutulur. Ürünlerin üzerinde kalan nem, sıcak hava uygulaması yapılarak tamamen kurutulur.

Temizleme işleminden sonra jantlar, ilk başta toz boya-vernük işleme tabi tutulurlar. Burada boya ve vernük uygulaması, manuel ve robot boyama tabancaları ile atılır. Toz boya uygulaması yapılırken, sadece toz boya kabini, toz vernük uygulaması yapılırken sadece toz vernük kabini çalıştırılır. Toz boya sonrası jantlar soğutma fırınında soğutulur.

Sıvı boya öncesi jantlarda zımparalama işlemi yapılmaktadır. Zımparalama sonrası, sıvı boya uygulaması yapılır. Ürün üzerine atılan sıvı boya ve vernük, pişirme fırınında sıcak hava etkisiyle ürün yüzeylerini kaplar. Pişirme fırınından çıkan sıcak ürünlerin, üzerlerine hava üflenerek soğutulurlar. Boya işlemi yaklaşık olarak 5 saat sürmektedir.

3.1.6 Final Kontrol

Görüntü hata katoloğuna ve müşteri kriterlerine göre jantlar göz kontrolünden geçirilir.

3.1.7 Ambalajlama

Tüm işlemler bittikten sonra, tüm jantlar müşteri isteklerine göre ambalajlanıp ambara teslim edilir. Daha sonra jantlar gönderilir.

BÖLÜM DÖRT

ISIL İŞLEM

4.1 Isıl İşlem

Isıl işlem döküm parçası üzerinde uygulanan ısıtma ve soğutma sonucunda parçasının fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişmesine neden olur. Bu ısıtma ve soğutma işlemleri temel olarak tavlama, çözeltiye alma, yaşlandırma ve soğuk işlem gibi kademeleri içermekte olup, alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenilen nihai özelliklere göre çeşitlilik göstermektedir.

Alüminyum alaşımlarında uygulanan işlemler genellikle yaşlandırma işlemine göre değerlendirilmekte ve sadece mekanik özellikler için değil, elektriksel iletkenlik ve korozyon özelliklerini de belirleyici rol oynamaktadır. Bölüm 2’de sınıflandırması yapılan alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemi uygulanabilirliği Tablo 4.1’de verilmiştir (Askeland,1990).

Tablo 4.1 Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma uygunluğu (Askeland,1990).

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi	Isıl işlem
1xx.x	Alaşımlandırılmamış Alüminyum (% 99,0 veya daha yüksek saflık)	Olur
2xx.x	Bakır	Olur
3xx.x	Silisyum ile Magnezyum ve/veya Bakır	Bazıları olur
4xx.x	Silisyum	Olmaz
5xx.x	Magnezyum	Olmaz
6 xx.x	Kullanılmıyor	-
7 xx.x	Çinko	Olur
8 xx.x	Kalay (Tin)	Olur
9 xx.x	Kullanılmıyor	-

Isıl İşlemin meydana gelebilmesi için temel olarak üç kademe mevcuttur, bunlar sırasıyla; çözeltiye alma, su verme ve çökelme (yaşlandırma) işlemidir. Aşırı doymuş

katı fazdan yaşlanma işlemi sonucunda yapıda çok ince çökelti fazının dağılımı mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için temel kuraldır. Bu çökelti fazının oluşumu, doğal olarak gerçekleşebileceği gibi yapay olarak da yapılabilir. Ancak, genellikle alüminyum alaşımlarında doğal yaşlanma ile mekanik özelliklerde çok etkili bir değişim elde edilemez.

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıtma işlem prosedurlerinin kodlaması ve açıklamaları Tablo 4.2’de verilmiştir (Geçkinli,1990).

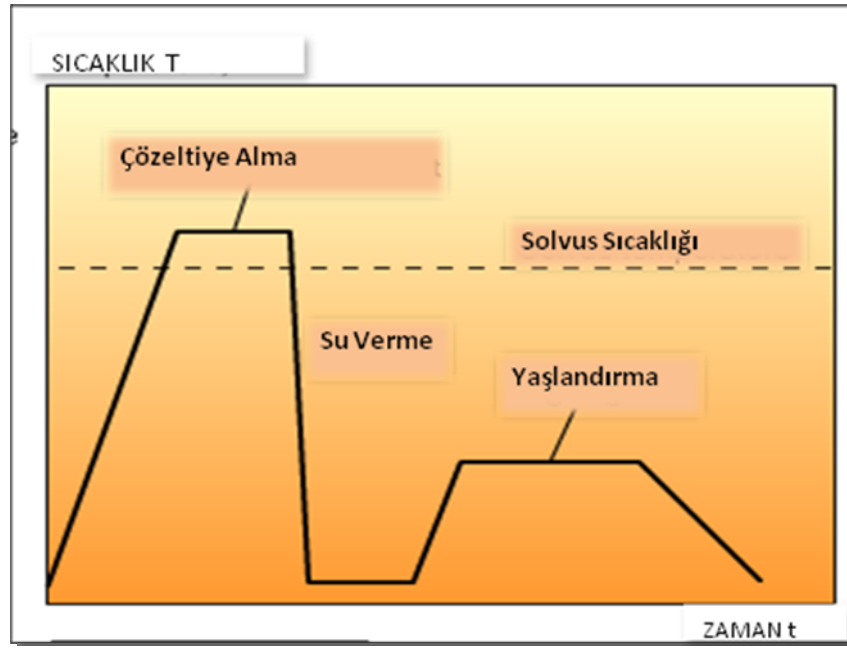
Tablo 4.2 Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması (Geçkinli,1990)

Temper	Temper Kodu	Açıklama
F		Mekanik veya ısıt işlem görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
O		Tavlanmış ve yeniden kristalleşmiş
H	H1x	Soğuk işlem uygulanmış
	H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlanmış (x, farklı sertlikleri ifade etmektedir.)
	H3x	Sadece soğuk işlem uygulanmış ve kararlı
	H4x	Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısıt işlemle stabilize edilmiş (x, stabilizasyon sonrası sertleşme işlemini ifade eder.)
W		Çözeltiye alınmış
T		Yaşlandırma işlemini göstermektedir
	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
	T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
	T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
	T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
	T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
	T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş, yapay yaşlandırılmış
	T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
	T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış yapay yaşlanmış

Alüminyum döküm alaşımlarına uygulanan ısıt işlem proseslerinde etken olan parametreler; çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi, su verme hızı, yaşlandırma sıcaklığı

ve süresidir. Ticari Al – Si – Mg alaşımları (6xx.x grubu) döküm parçasında, arzu edilen mukavemet değerlerine ulaşmak için genellikle T6 ısıtılma işlemi tabii tutulurlar. Döküm parçaları temel olarak, T6 işleminde sırasıyla katı çözelti içerisinde çökelti fazının oluşturulması için, uzun müddet ötektik altı sıcaklık olan 545 °C’de çözeltiye alma, ardından yüksek sıcaklıkta su verme ve sonrasında da 150 – 200 °C civarlarında yapay yaşlandırmaya alınırlar. Çözeltiye alma sırasında, magnezyum ve bir miktar silisyum çözünerek homojen bir katı çözelti oluşturur. Yaşlandırma ise, magnezyum ve silisyum alüminyum dendritleri içerisinde Mg_2Si olarak çökmesine sebep olur (ASTM,1982).

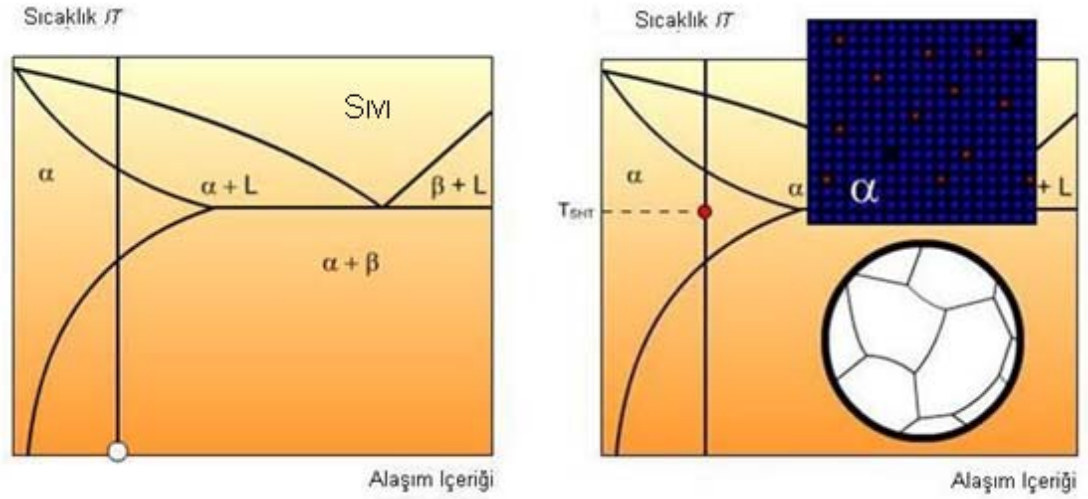
Bahsedilen sıvı metal tretmanları, ısıtılma sırasında meydana gelen mikroyapı değişiklikleri üzerinde önemli etkilere sahiptirler. Örneğin; sıvı metalin sodyum veya stronsiyumla modifikasyonu tanelerin küreselleşmesini ve büyüme kinetiklerini değiştirmekte olduğu bilinmektedir. Bu sayede, çözeltiye alma sürelerinde ciddi bir şekilde düşüş sağlanması mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, sıvı metal içerisine tane inceltici olarak eklenen $TiAl_3$ partikülleri Mg_2Si fazının yaşlandırma sırasında çökme kinetiğini geciktirebilmektedir. Araştırmalar sonucunda ortaya çıkan ve bahsi geçen bu gözlemlerin, yıllar önceden standartları belirlenmiş olan ısıtılma işlem uygulamaları üzerine etkileri gözden geçirilmeli ve mevcut dökümhane pratikleri ile entegre edilerek uygulanmalıdır. Şekil 4.1 de ısıtılma işlem süreçleri görülmektedir.



Şekil 4.1 Isıl işlem prosesi (alummer, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>)

4.1.1 Çözeltiye Alma İşlemi

Çözeltiye alma işleminin amacı, tek fazlı katı çözelti elde etmektir. İlk sıcaklıkta β ve α fazı denge halinde değildir. Alaşım solvüs eğrisinin üzerindeki sıcaklığı çıkarılır ve bu sıcaklıkta β fazı (Şekil 4.2), α fazı (Şekil 4.2) içerisinde tamamen çözününceye kadar işleme tabi tutulur (Askeland,1990). Yapının tümü tamamen α fazına dönüştükten sonra ani olarak soğutulur. Çözeltiye alma sıcaklığı, alaşımın ergimesine sebep olmayacak şekilde seçilmelidir. Alüminyum ergime sıcaklığı 560 °C civarında olması nedeni ile işlem sıcaklığı 525 – 545 °C arasında olmalıdır. Bu sıcaklık Şekil 4.2 'de T_{SHT} ile ifade edilmektedir. T_{SHT} sıcaklığında bütün bileşenler katı çözültide tek bir faz halindedir.

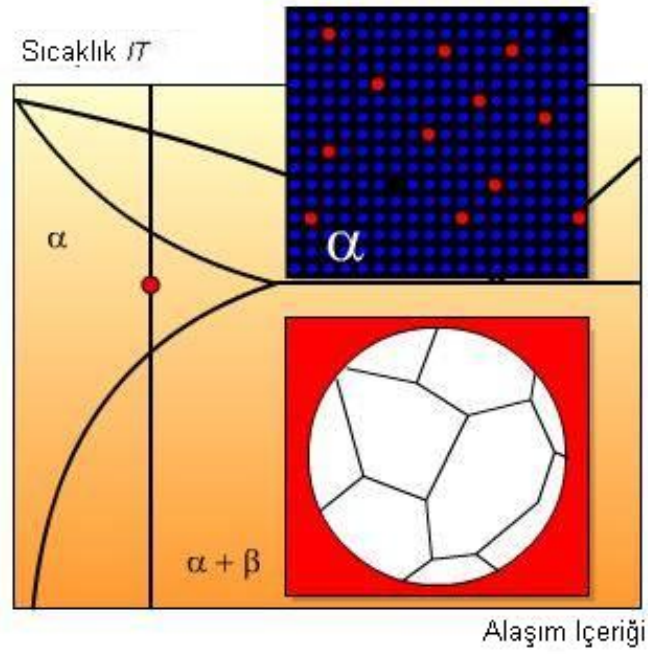


Şekil 4.2 Çözeltiye alma işlemi (alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>)

Çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi mikroyapıya, parçanın kalınlığına ve fırın kapasitesine/yüküne göre değişiklik göstermektedir. Bu süre ince levhalar için, dakikalar ile ifade edilirken kesit kalınlığı arttıkça saatler ile belirtilmektedir.

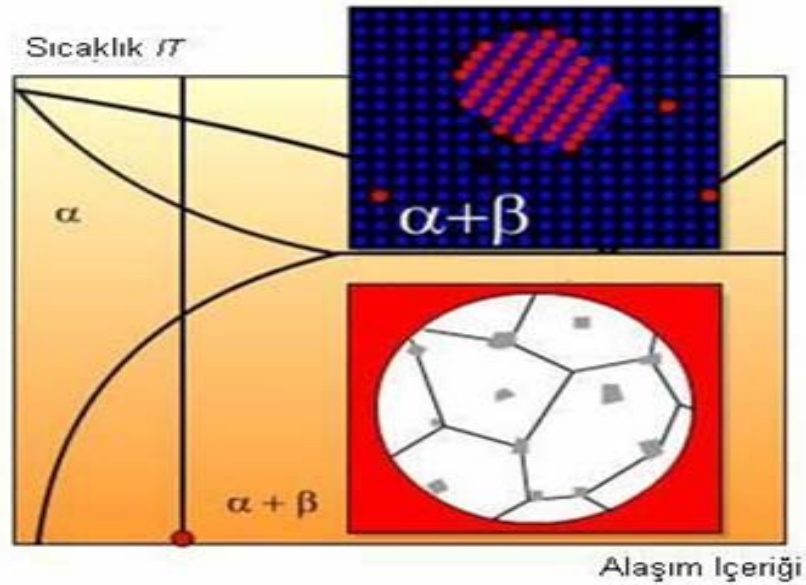
4.1.2. Su Verme İşlemi

Su verme işleminin amacı, çözeltiye almada tek faz haline alüminyum içerisindeki alaşımlandırma elementlerinden oluşan aşırı doymuş bir çözelti oluşturmak (Şekil 4.3) ve alaşımın çözeltiye alma sıcaklığından hızlı bir şekilde soğutulmasıdır.



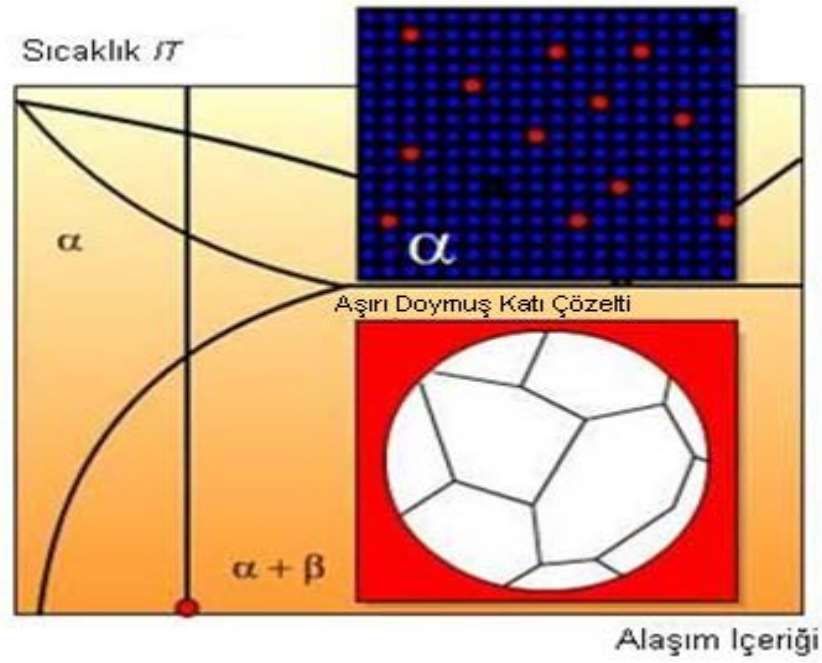
Şekil 4.3 Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti (alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>)

Eğer alaşım kendiliğinden (yavaş soğuma) soğumaya bırakılırsa, Beta fazı çekirdeklenerek denge halinde bir $\alpha + \beta$ fazı oluşturmak için heterojen olarak çökler (Şekil 4.4). Ani soğuma α içerisindeki Beta fazının çökmesine imkan vermez ve bu nedenle α fazı artık denge halinden daha fazla katı (aşırı doymuş) içermektedir



Şekil 4.4 Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen Çekirdeklenme (alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>)

Bunun yanı sıra su verme difüzyon süresini düşürür ve dengede olmayan alfa faz yapısının “donmasını” sağlar. Çünkü alfa fazı denge durumundakinden daha fazla katı içerir. Bu katı çözelti aşırı doymuş olarak adlandırılır. (Şekil 4.5)



Şekil 4.5 Aşırı doymuş katı çözelti (alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>)

Su verme işleminde genellikle su kullanılmaktadır. Ancak suyun yanı sıra, su verme ortamı olarak glikol – su karışımları, suda çözülebilen polimerik yağlar veya madeni yağlar da kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle, aynı parça ince ve kalın kısımlarda soğuma karakteristikleri farklı olduğu için deformasyonlar görülebilmektedir. Dolayısıyla, bu tür deformasyonları önleyebilmek için, su verme ortamı, bu ortamın sıcaklığı dikkatle seçilmeli gerekli durumlarda ya su verme ortamı karıştırılmalı ya da parça ortam içerisinde hareket ettirilmelidir.

4.1.3. Yaşlandırma İşlemi

Aşırı doymuş katı çözelti içerisinde çözünmüş halde bulunan Beta fazı, denklem 4.1’de gösterildiği gibi sıcaklık ve zamanın etkisi ile kararlı bir faz olarak çöker.

$$\alpha_{\text{Aşırı Doymuş}} \rightarrow \alpha + \beta_{\text{Çökeltisi}} \quad (4.1)$$

Bu dönüşüm için, önce β fazının çekirdeklenmesi ve sonra difüzyon ile büyümesi gereklidir. Alaşım eğer ani soğutmadan sonra oda sıcaklığında tutulursa, difüzyon hızı çok yavaş olduğundan β fazı genellikle oluşmaz veya çok uzun sürede oluşur (Geçkinli,1990). Çökelme, eğer oda sıcaklığında meydana geliyorsa yaşlanma işlemi “doğal”, eğer alaşım yayınma hızını arttırmak için oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa tabi tutuluyorsa “yapay” yaşlandırma olarak adlandırılır.

Çökelti fazının oluşumunun anlaşılabilmesi için,1938’de Guinier ve Preston isimli iki araştırmacı tarafından keşfedilen ve isimlerinin baş harfleri ile adlandırılan GP bölgeleri incelenmelidir. Kompleks reaksiyonlar olan alüminyum alaşımlarındaki yer alan çökelme reaksiyonları ve GP bölgeleri dönüşümleri teorik olarak, denklem 4.2’ deki gibi ifade edilebilir;

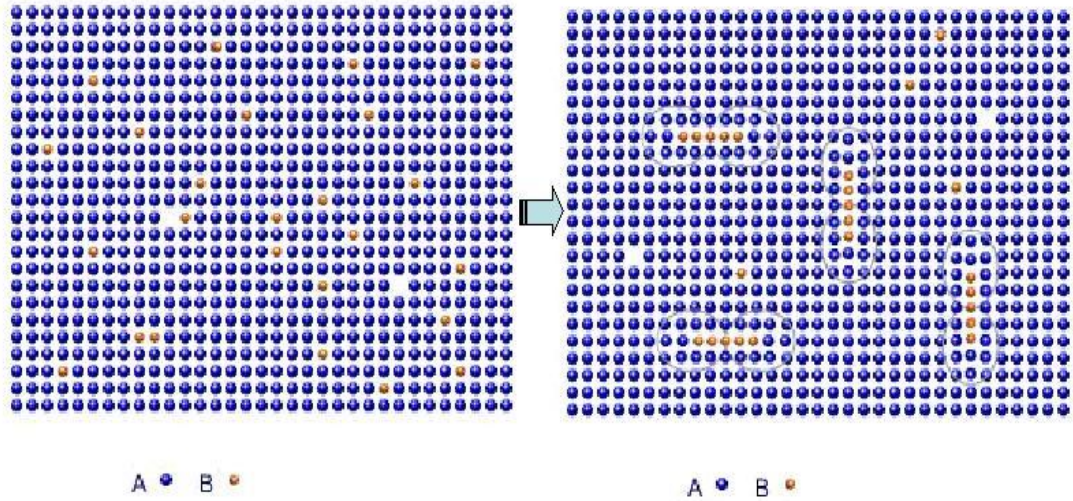
$$\alpha_{\text{Aşırı Doymuş}} \rightarrow GP - 1 \rightarrow GP - 2(\theta'') \rightarrow \theta' \rightarrow \theta \quad (4.2)$$

Bu teorik dönüşüm formülüne göre, yaşlanma sırasında aşırı doymuş katı çözültiden çökelti fazının oluşum aşamaları özetlenecek olursa sırasıyla;

$$\text{Çekirdek} \rightarrow \text{Ara Çökelti} \rightarrow \text{Kararlı Çökelti}$$

şeklinde dir. Çökelti oluşumunun ara kademeleri temel olarak alaşımın bileşimine, su verme ve yaşlandırma koşullarına bağlıdır.

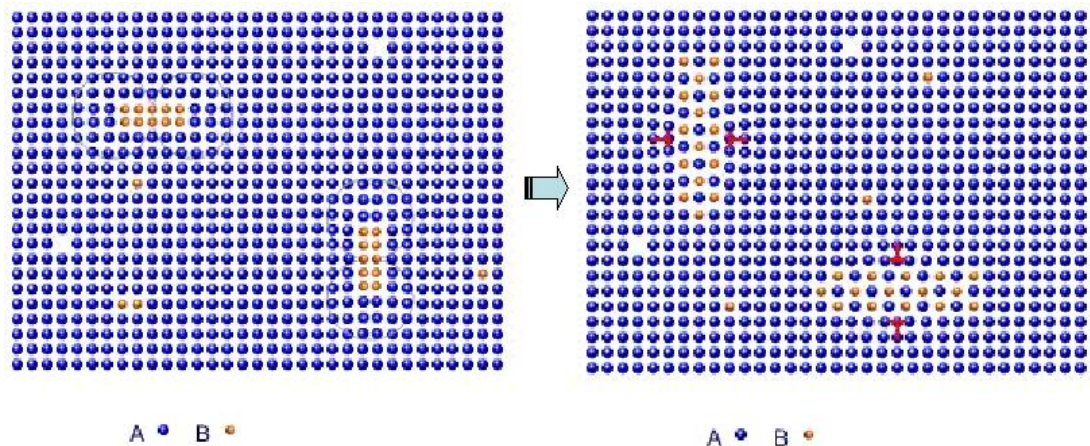
Çözelti aşaması sonucunda aşırı doymuş yapı, denge yapısına dönmeye eğilimlidir. Şekil 4.6’da sol tarafta görülen yapı, su verme sonucu A (Al) içerisinde aşırı doymuş B (Mg-Si) katı çözeltisi fazını temsil etmektedir (Askelnd,1990). Yaşlandırma işlemi sırasında gerçekleşen difüzyon sonucu B atomları, A latisi içerisindeki spesifik düzlemler üzerinde bölgesel konsantrasyonlar oluşturur (Şekil 4.6’da sağ tarafta görülen yapı). Bu bölgeler GP (Guinier – Preston) bölgeleri olarak adlandırılır. Bazı sistemlerde GP bölgeleri disk, küre veya çubuk şekilli olabilir



Şekil 4.6 Yaşlandırma işleminde ilk kademe değişimi (alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>)

Daha sonra GP bölgeleri tutarlı bir ara faz oluşturmak için, çekirdeklenme siteleri oluştururlar. Bu düzlemin etrafındaki A atomları oluşan bu ara fazın ilerlemesi ve yerleşmesi için bozularak bu birleşme işleminden doğan kuvvetin etkisiyle, deformasyona uğrar ve bir yapışma baskısı oluştururlar (Şekil 4.7’te sol tarafta 2. ara kademe) .

Çökeltiler büyüdükçe, büyümeden kaynaklanan sıkışmanın (coherency strain) bir kısmı, ara yüzdeki dislokasyon oluşumları tarafından giderilir. (Sağ Taraf – yapı: Ara Kademe 3)



Şekil 4.7 İkinci kademe değişimi (alumatter, bt, <http://aluminium.matter.org.uk>)

Yaşlandırma işleminin son kademesi denge aşamasıdır. Yeterli yaşlandırma işlemi sonucu en son aşama olarak denge fazı oluşur. Bu faz, ana matristen (A atomları) farklı bir kristal yapısına sahip olup bu faz içerisinde yapışık değildir. Böylece büyümeden kaynaklanan sıkışma elimine edilmiştir. Ancak, matris ve çökelti arasında yeni bir ara faz sınırı vardır. (Şekil 4.8)



Şekil 4.8 Yaşlandırma işleminde son kademe yapı değişimi
(alumatter,bt,<http://aluminium.matter.org.uk>)

BÖLÜM BEŞ

DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Numuların Üretilmesi

Tez kapsamında Al – Si – Mg döküm alaşım sisteminin mekanik özelliklerini belirleyen önemli parametreler olan ısıtılma kademeleri üzerinde yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Çalışma için ilk kademe olarak ısıtılma işlemde kullanılacak plaka için kalıp yapılmasıdır. Catia V5 de, kalıp dizaynı yapılarak kalıp üretilmiştir. Daha sonra ısıtılma işlemine maruz kalacak plakaların dökümü gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmalar çeşitli dökümhane pratikleri ve istatistiksel yöntemler kullanılarak yürütülmüş olup, deneysel tasarımlar, parametreler, sayısal değerler ve miktarlar profesyonel deneyimler ışığında belirlenerek incelenmiştir. Proje için yürütülen deneysel çalışmalarda ısıtılma işleminin malzemenin yapısına ve olan çarpılmasına etkisi incelenmiştir.

5.1.1. Hammaddeler

Hazır alaşımlı % 100 orijinal A356.0 külçeleri Dubai alüminyum üreticisi Dubal firması tarafından tedarik edilmiştir. Külçeler deneyde kullanılmadan önce spektrometre ile incelenmiştir. Sonuçlar 5.2 nolu tabloda belirtilmiştir.

Tane inceltme çalışmalarında kullanılan ticari olarak Ti5B1 tanımlaması ile bilinen 100 gramlık Al – Ti – B alaşımlı çubukların kimyasal kompozisyonları ise Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 Ti5B1 tane inceltici alaşımın kimyasal kompozisyonu

Element %	Ti	B	Si	Fe	V (vanadium)	Diğerleri
Maksimum	5,5	1,1	0,3	0,3	0,2	0,04
Minimum	4,5	0,9	0,02	0,04	0,04	

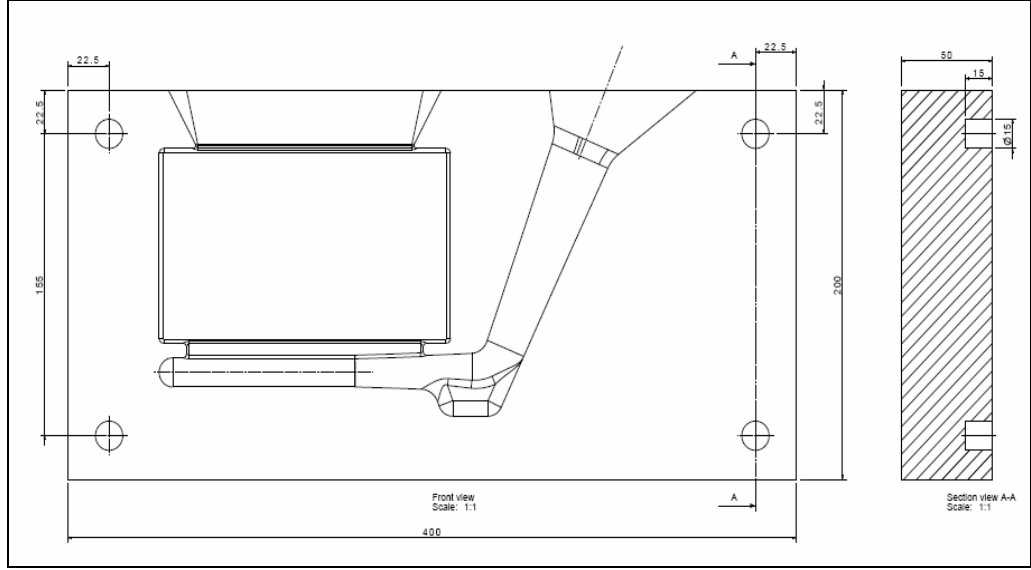
Tablo 5.2 Hammadde spektrometre analiz çıktışı

Element	Si	Fe	Mg	Ti	Sr	Sb	P	B	Cu
Ortalama%	7,1786	0,0755	0,2967	0,0962	0,0322	0,0005	0,0003	0,0003	0,0017
Standart Sapma %	1,7316	0,0601	1,1749	0,1752	2,9139	26,704	17,648	4,3921	0,0944

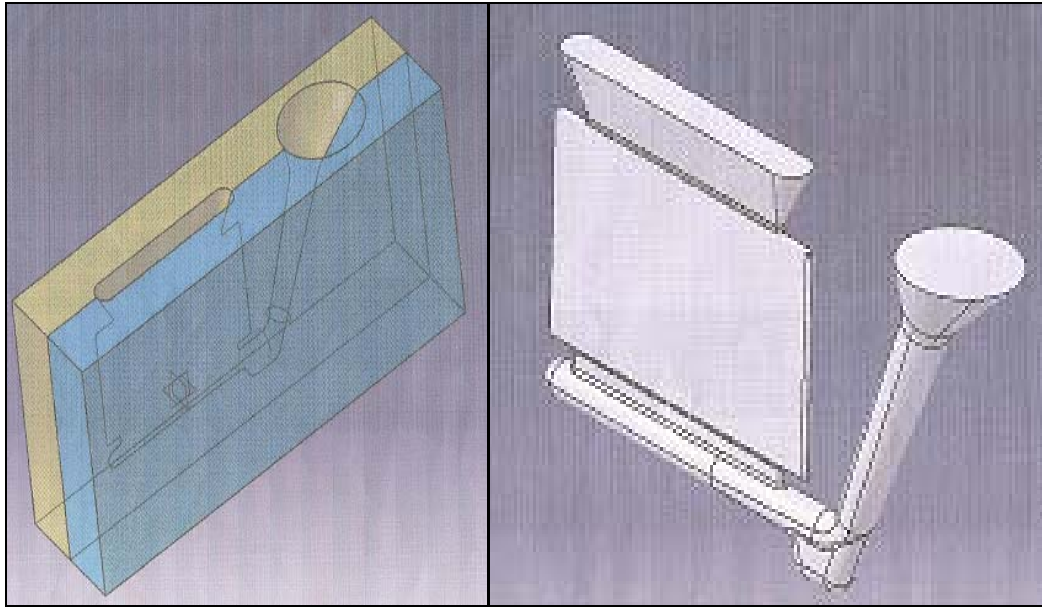
Element	Mn	Zn	Cr	Zr	V	Ca	Na	Ni	Al
Ortalama %	0,003	0,0032	0,0024	0,001	0,0099	0,0015	0,0009	0,0054	92,2794
Standart Sapma %	2,5222	4,8783	3,6416	1,9021	0,4582	3,5157	144,81	1,1078	0,1312

5.1.2 Kalıp Hazırlama

Isıl işlemde çarpılmaların daha net bir şekilde görölmesi ve doğru alaşımaların oluşturabilinmesi için, CATIA V5 de kalıp dizaynı yapılmıştır. Kalıptan 4 cm lik plakalar elde edilmiştir. şekil 5.1 ve şekil 5.2 de kalıp dizaynları görölmektedir.



Şekil 5.1 Kalıp resmi



Şekil 5.2 Boyutlu görüntüleri

Kalıp hazırlama aşamaları ise, kalıp yüzeyinin temizlenmesi ile başlamıştır. Daha sonra kalıbın kaplama için ısıtılması, kalıp yüzeyinin sıvı metal akışkanlığını iyileştirmek ve yapışmayı önlemek için kaplanması ve kalıbın tekrar ısıtılarak döküme hazır hale getirilmesi adımları izlenmiştir. Bu aşamalardan sırasıyla, yüzey temizleme 200- 300 μ tane büyüklüğündeki ticari standartlarda cam tozunun 5 dakika süre ile yüzeylere 6 barlık basınçla püskürtülmesi ile sağlanmıştır. Kalıp yüzey işlemlerinin ardından LPG ile 300 °C ye ısıtılmıştır, sıcaklık lazer sıcaklık

ölçüm tabancası ile ölçülmüş ve akabinde 10 Bomé konsantrasyonunda 300 gr DYCOTE 34 yüzey kaplaması olarak spreyci boya tabancası ile tüm kalıp iç yüzeyine kalınlığı $200 \pm 20 \mu\text{m}$ olacak şekilde uygulanmıştır. Söz konusu yüzey tretmanı $200 \pm 20 \mu\text{m}$ kalınlığında kaplama sonrası ısı iletim katsayısı $725 - 750 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'dir. Kaplama işleminin ardından, kalıbın birbirlerine bakan iç yüzeylerinde (öpüşme yüzeyleri) bulunan ve tam olarak birleşmeyi engelleyebilecek artık kaplama kalıntıları tel fırça yardımıyla temizlenmiştir. Bu işlemin ardından, kalıp kapatılarak döküme hazır hale gelmesi için tekrar LPG alevi ile doğrudan 500°C 'ye ısıtılmıştır. Şekil 5.3 de görülen kalıp döküm için hazırdır.



Şekil 5. 3 Poteyajlı kalıp (Demir, 2007)

5.1.3 Sıvı Metal Hazırlama

Sıvı metal hazırlama, 100 kg kapasiteli 5M indüksiyon ocağında, 9 adet külçenin ergitilmesi ile başlanmıştır. Külçeler ergitme sıcaklığı $750 \pm 30^\circ\text{C}$ arasında tutulmuştur. Kullanılan 5M indüksiyon ocağı 750°C de saatte 94 kg alüminyum ergitme kapasitesine sahiptir. Güç ünitesi 100 KW dır. Şekil 5.4 de kullanılan indüksiyon ocağı görülmektedir.



Şekil 5.4 İndüksiyon Ocağı (Demir, 2007)

5.1.4 Döküm

Sıvı metal ve kalıp hazırlama işlemlerinin ardından döküm safhasına geçilmiş olup, numune kalıbının yolluk ve besleme dizaynından da anlaşılabacağı üzere, gravite döküm yöntemi prensibine göre, bir kepçe yardımı ile sıvı metal kalıp içerisine doğrudan boşaltılmıştır. Şekil 5.5 de görüldüğü gibi kalıbın doldurulması için, yaklaşık 1,2 kg sıvı metal kapasiteli ST 37 standardında çelik kepçe kullanılmış olup kalıba benzer şekilde yapışmayı önlemek adına DYCOTE 34 ile kaplanmışır.

Kalıp 500 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış döküm için, 400 °C ve 750 ± 15 °C aralığındaki sıvı metal sıcaklığı tercih edilmiştir. Metal sıcaklığı, her parça dökümü öncesi el pirometresi ile, kalıp sıcaklığı ise lazer pirometre ile ölçülmüştür. Numune dökümlerinde kalıp 400 ± 30 °C tutulmuştur. Katılaşma işlemi için ayrıca, bir soğutma uygulaması yapılmamış olup, parçanın kalıp içerisinde kendiliğinden katılaşması sağlanmıştır. Daha sonra çıkan parçalar, ortamda soğutuldu ve yollukların kesimi için atölyeye gönderildi.



Şekil 5.5 Parçanın kalıp içerisindeki durumu

5.1.5 Numune Dökümü

Döküm sonrasında yolluklar ve besleyiciler kesildikten sonra, 27 tanesi % 0,30 Mg'lu ve 27 tanesi % 0,45 Mg'lu olarak 54 adet plaka dökümü yapılmıştır. Ergitme ocağında, 9 adet saf külçe alüminyum eritilmiş ve içerisine silisyum, titanyum ve bor eklenmiştir. Kalıba, gravite döküm yöntemi ile alaşım dökülmüştür. Birkaç dakika bekletildikten sonra, kalıp açılmış ve numune plakalar doğal ortamda soğutulmak üzere bırakılmışlardır.(Şekil 5.6)



Şekil 5.6 Parçaların kalıptan sonraki durumu ve külçe ergitilmesi

Tablo 5.3 Deneyisel tasarımın % 0,30 Mg içerikli numunelerin dökümü için spektrometre uygunluk raporu

Element	Si	Fe	Mg	Ti	Sr	Sb	P	B	Cu
Ortalama %	7,6	0,094	0,307	0,104	0,014	0,002	0,001	0,0004	0,0006

Element	Cr	Ba	Be	Bi	Li	Sn	Co	Ce	Ag
Ortalama %	0,0016	0,0002	0,0001	0,001	0,0001	0,001	0,0005	0,0015	0,00015

Element	Mn	Zn	Cr	Zr	V	Ca	Na	Ni	Al
Ortalama %	0,0019	0,001	0,0011	0,0016	0,0094	0,0015	0,0005	0,013	92,20

Tablo 5.3 de alaşımdaki magnezyum içeriği, % 0,30 Mg’lu olan deneyisel tasarım kademesine ait numunelerin dökümü toplam 27 dir. %0,30 Mg döküldükten sonra, içerisindeki magnezyum oranı tekrar kontrol edilip, analiz sonucuna göre sıvı metal içerisine saf magnezyum eklenerek içeriğin % 0,45 Mg’lu olması sağlanmış. Tablo 5.4 spektrometre sonuçları mevcuttur.

Tablo 5.4 Deneyisel tasarımın % 0,45 Mg içerikli numunelerin dökümü için spektrometre uygunluk raporu

Element	Si	Fe	Mg	Ti	Sr	Sb	P	B	Cu
Ortalama %	7,4007	0,085	0,4449	0,1022	0,0086	0,0005	0,0007	0,0005	0,0009

Element	Cr	Ba	Be	Bi	Li	Sn	Co	Ce	Ag
Ortalama %	0,0016	0,0002	0	0	0	0,001	0,0007	0,0015	0,00015

Element	Mn	Zn	Cr	Zr	V	Ca	Na	Ni	Al
Ortalama %	0,003	0,0029	0,0015	0,001	0,0092	0,0002	0,0005	0,0063	91,8917

Toplam 54 adet numune dökümü yapıldıktan sonra, % 0,45 Mg içerikli plakalar da tamamlanarak deneysel çalışmaların döküm safhası tamamlanmıştır.



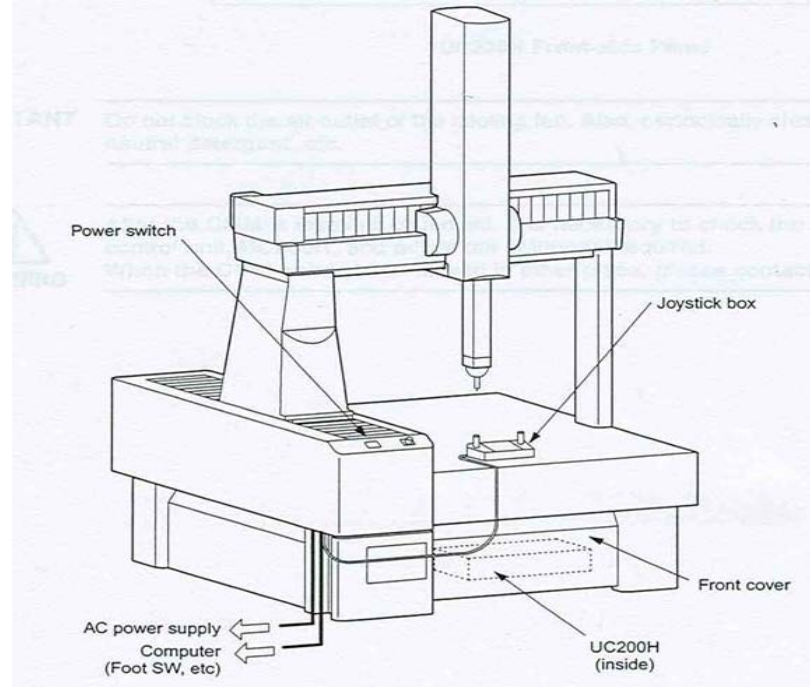
Şekil 5.7 Deney plakaları

5.1.6 3D Ölçüm Cihazı ile Ölçüm

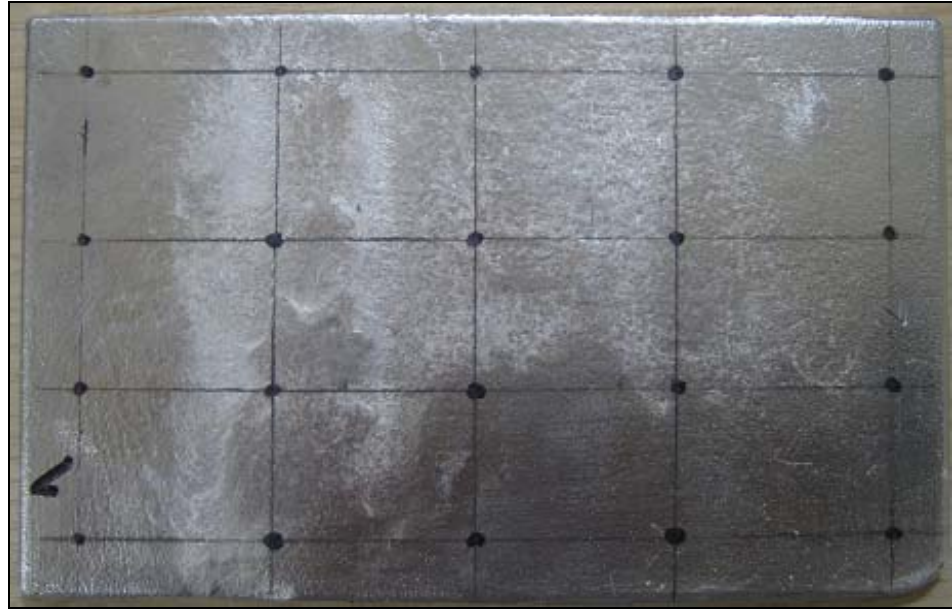
Numune plaka dökümleri yapıldıktan sonra plaka üzerinde 20 nokta belirlenmiştir. Bu belirtilen noktalar üzerinden ölçüm yapılacak ve 3D ölçüm cihazı tüm plakaları bu noktalara göre ölçecektir. Plaka ölçümleri döküm, suya daldırma (su verme) ve yaşlandırma sonrası yapılmaktadır.

Tablo 5.5 Tez sonucundan 5 adet örnek

No	Mg Oranı	Döküm sonrası ölçüm sonuçları (ısıt işlem öncesi ölçüm)	Suya daldırma sonrası ölçüm sonuçları	Yaşlandırma sonrası ölçüm sonuçları
1	0,3	0,2306	0,2551	0,2383
2	0,3	0,1973	0,3898	0,3877
3	0,3	0,1572	0,4298	0,4259
4	0,3	0,2085	0,7122	0,6922
5	0,3	0,3435	0,4783	0,4769



Şekil 5.8 3D tezgah modeli



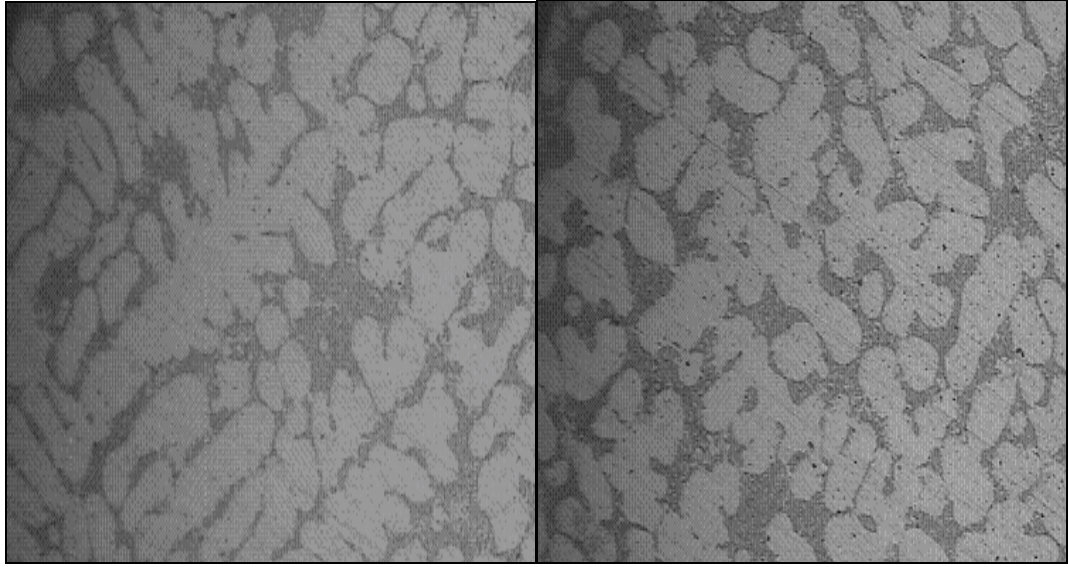
Şekil 5.9 Deney plakası üzerinde ölçüm yapılan noktalar

5.1.7 Mikroyapı ve Makrografik Yapı

Alüminyum döküm alaşımlarında mikroyapı ve makroyapı, soğuma hızına ve alaşıma eklenen elementlere bağlıdır. Bununla birlikte, döküm parçalarındaki hatalar birçok nedenden de kaynaklanmaktadır. Örneğin; Hidrojen alüminyum içerisinde poroziteyi arttırmaktadır. Ergitme sırasında herhangi bir nemli komponentin kullanılması porozite artışına sebep olmaktadır. Çekinti, katılaşma sırasında besleme yetersizliğinden dolayı meydana gelen yaygın bir döküm hatasıdır. Çekinti, özellikle besleme noktasına doğru kalın kesitlerden ince kesitlere geçildiği noktalarda meydana gelir.

Şekil 5.10 ve şekil 5.11 de görülen beyaz renkli kısımlar içersinde Mg, Si olduğu alüminyum fazıdır. Koyu renkli yapılar primer silisyum kristalleridir. %0,30 Mg’lu ve %0,45 Mg’lu alaşımın en büyük farklılığı alüminyum taneciklerinin büyüklüğüdür. Alüminyum taneleri ne kadar büyük olursa, alaşım o kadar kırılğanlaşır. %0,45 Mg’ un taneleri % 0,30 Mg ‘a göre daha büyüktür.

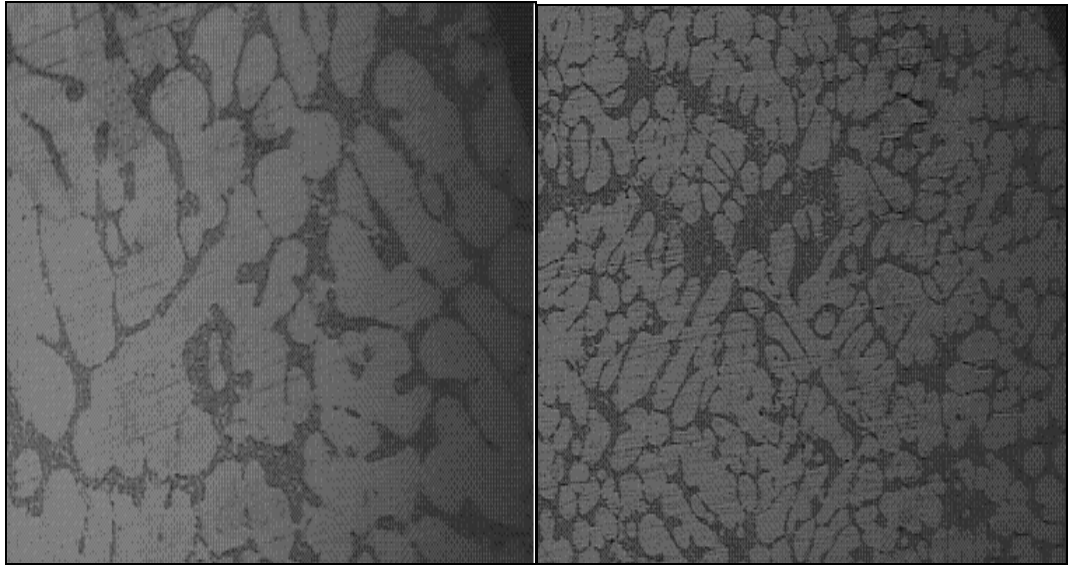
Alüminyum alaşımında üstün mekanik özellikler için hızlı bir soğuma gereklidir. Fakat kalıp içerisindeki soğumada, çeşitli döküm hatalarının oluşmaması için hızlı soğutma yapılamamaktadır. Düşük soğutmada da üstün mekanik özellikler için yani fizyon yapının korunması için sodyum ve stronsiyum modifikatörleri kullanılır. Hammadde alüminyum içerisinde yeterli miktarda sodyum ve stronsiyum mevcuttur (Atlas Metallographique del’a ,(bt)).



(a)

(b)

Şekil 5.10 % 0,30 Mg lu alaşımanın mikroyapısı (200 x)



(a)

(b)

Şekil 5.11 % 0,45 Mg lu alaşımanın mikroyapısı (200x ve 100x görünümüleri)

Bir kesit üzerine uygulanan makrografik işlem, alaşımanın tane yapısını ayırt etmekte etkilidir. Tane büyüklüğü, daha öncede belirtildiği gibi dökümün özellikleri üzerinde etkilidir.

%0,30 Mg'lu numunenin makroyapısı incelendiği zaman, kaba tanelerden oluştuğu gözlemlenmektedir. Yapı incelendiği zaman sıcak noktaların bulunmadığı

gözlemlenmiştir. Yani katılaşma hızı ve tanenin homojen dağılımı uygundur. Daha sünek bir yapıya sahiptir. Makrografik yapıda magnezyum üzerinde yorum yapılamaz. (Şekil 5.12 ve 5.13)

Makrografik yapının incelenmesi dökümün kalitesini iyileştirmek için basit ve hızlı bir kontrol aracıdır.



Şekil 5.12 %0,30 Mg lu alaşımın makrografik yapısı (200x)



Şekil 5.13 %0,45 Mg lu alaşımın makrografik yapısı

5. 2 Isıl İşlem

5.2.1. Isıl işlem Çalışmaları

Şekil 5. 14 de görülen ısı fırını kullanılmıştır. Plakalar yerleşimi için, 3 katlı bir ızgara sistemi yaptırılmış ve bu şekilde fırın içerisine yerleştirilmiştir. Fırın içerisinde 50 °C ile 1200 °C arasında çalışmalar yapılabilir. Fırın, dijital göstergeli termostat yapıya sahip olup termostat ayar ve çalışma hassasiyeti 1°C dir. Kullanılabilir hacmi 7 dm³ dür. Ağırlığı 60,3 kg dır.



Şekil 5.14 Etüv fırını (Demir, 2007)

5.2.2 Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Oldukça yaygın kullanılan “Taguchi Deneysel Tasarım” (Taguchi DOE) tekniği kullanılmış olup, deney tablosunun detaylandırılmasında Minitab R14 yazılımı kullanılmıştır. Parametrelerde de öncede belirtilen ısıtma işlemi literatür verileri ve dökümhane pratiğinden gelen tecrübelerle dayanarak belirlenmiştir. Buna göre, 9 parametre belirlenmiştir.

- Mg yüzdesi
- Solüsyona Alma Sıcaklığı (°C)
- Solüsyona Alma Süresi (saat)
- Su Verme Öncesi Bekleme Süresi (sn)
- Su Verme Suyu Sıcaklığı (°C)
- Su Verme Süresi (dk)
- Yaşlandırma Öncesi Bekleme Süresi (saat)
- Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)
- Yaşlandırma Süresi (saat)

Plakaların deney koşulları, A356 alüminyum alaşım için Annual Book of ASTM standartlarına göre belirlenmiştir. Alaşım elementlerinin standart değerleri ve karakteristik değerleri daha önceki konularda belirtilmiştir. Mg yüzdesi değeri ASTM standartlarında belirtilen % 0,25-% 0,45, çözeltiye alma sıcaklığı ASTM de belirtilen 525 °C ile 545 °C ve çözeltiye alma süresi 4-12 saat arasında tutulmuştur. Su verme öncesi bekleme süresi, ASTM de belirtildiği gibi 20 sn altında olmalıdır. Yaşlandırma standartları, uzun süre alan endüstriyel deneyimler sonucunda elde edilmiştir.

Deneyler için etkisi incelenilmek istenen parametrelerin çokluğundan dolayı, aynı oranda (faktöriyel olarak) artan deney sayısının fazlalığından dolayı endüstride oldukça yaygın kullanım alanı bulan “Taguchi Deneysel Tasarım” (Taguchi DOE) kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen 8 parametre için üç farklı seviye belirlenmiş olup, sadece magnezyum 2 seviye tutulmuştur. Buna göre; tablo 5.15’teki dizilim hazırlanmıştır.

Tablo 5.15 9 adet parametre için belirlenen seviye tablosu

Parametre		Seviye		
		1	2	3
1	Magnezyum Yüzdesi (% Mg)	0,3		0,45
2	Solüsyona Alma Sıcaklığı (T_{sol}), °C	525	535	545
3	Solüsyona Alma Süresi (t_{sol}), saat	4	6	8
4	Su Verme Öncesi Bekleme Süresi (t_{wait}), sn	10	15	20
5	Su Verme Suyu Sıcaklığı (T_{water}), °C	40	60	80
6	Su Verme Süresi (t_{quench}), dakika	3	5	7
7	Yaşlandırma Öncesi Bekleme Süresi (t_{wait2}), saat	2	13	24
8	Yaşlandırma Sıcaklığı (T_{ageing}), °C	140	160	180
9	Yaşlandırma Süresi (t_{ageing}), saat	2	4	6

Dizilim oluşturulduktan sonra, mühendislik anlayışında klasik bir yöntem olan her seferinde bir faktörün değiştirilip, diğerlerinin sabit tutulması mantığına dayanan Minitab programı kullanılmıştır. 9 parametre ele alınmıştır ve 36 adet deney programlandırılmıştır. 36 deney ile bu parametrelerin birbiri ile etkileşimleri ve nihai ürün üzerindeki etki ağırlıkları tespit edilebilir duruma gelmiştir. Buna göre, yazılım yüklemesi sonucunda Tablo 5.16'daki gibi bir dizilim elde edilmiştir.

Tablo 5.16 Minitab da hazırlanan deneysel tasarım tablosu

No	% Mg	Tsol	t_sol	twait	Tsu	t_su	twait2	Tage	t_age
1	0,3	525	4	10	40	3	2	140	2
2	0,3	535	6	15	60	5	10	160	4
3	0,3	545	8	20	80	7	24	180	6
4	0,3	525	4	10	40	5	10	160	4
5	0,3	535	6	15	60	7	24	180	6
6	0,3	545	8	20	80	3	2	140	2
7	0,3	525	4	15	80	3	10	180	6
8	0,3	535	6	20	40	5	24	140	2
9	0,3	545	8	10	60	7	2	160	4
10	0,3	525	4	20	60	3	24	160	6
11	0,3	535	6	10	80	5	2	180	2
12	0,3	545	8	15	40	7	10	140	4
13	0,3	525	6	20	40	7	10	140	6
14	0,3	535	8	10	60	3	24	160	2
15	0,3	545	4	15	80	5	2	180	4
16	0,3	525	6	20	60	3	2	180	4
17	0,3	535	8	10	80	5	10	140	6
18	0,3	545	4	15	40	7	24	160	2
19	0,45	525	6	10	80	7	24	140	4
20	0,45	535	8	15	40	3	2	160	6
21	0,45	545	4	20	60	5	10	180	2
22	0,45	525	6	15	80	7	2	160	2
23	0,45	535	8	20	40	3	10	180	4
24	0,45	545	4	10	60	5	24	140	6
25	0,45	525	8	15	40	5	24	180	2
26	0,45	535	4	20	60	7	2	140	4
27	0,45	545	6	10	80	3	10	160	6
28	0,45	525	8	15	60	5	2	140	6
29	0,45	535	4	20	80	7	10	160	2
30	0,45	545	6	10	40	3	24	180	4
31	0,45	525	8	20	80	5	24	160	4
32	0,45	535	4	10	40	7	2	180	6
33	0,45	545	6	15	60	3	10	140	2
34	0,45	525	8	10	60	7	10	180	2
35	0,45	535	4	15	80	3	24	140	4
36	0,45	545	6	20	40	5	2	160	6

Örneğin tabloda 10. deneyde numunelerin şartları sırasıyla;

- % 0,30 Magnezyum içeren A356.0 alaşımından dökülmüş deney numunesi
- 525 °C’de 4 saat çözeltiye alma safhası
- Çözeltiye alma işleminden çıktıktan sonra 20 saniye ortam sıcaklığında bekletilmesi,
- Bu bekleme süresi sonunda 60 °C’de 3 dakika boyunca su verilmesi,
- Su verme işleminden sonra 24 saat bekletilerek, 160 °C’de 6 saat boyunca yapay yaşlandırma işlemine tabii tutulması olarak belirlenmiştir.

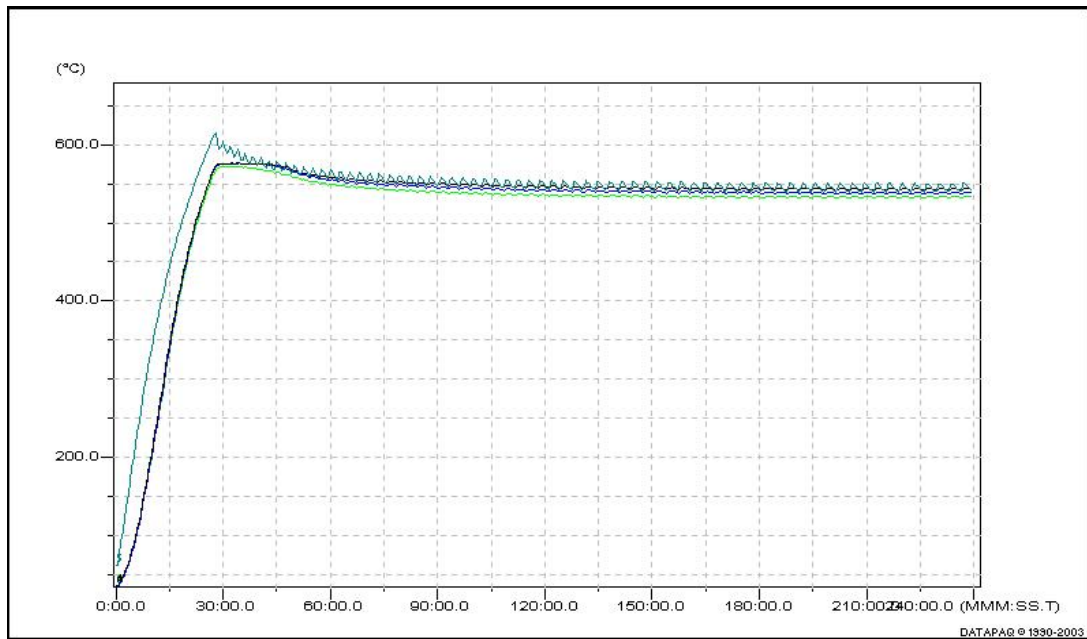
Tablo 5.17 Mg oranlarına göre ayrılmış deneysel tasarım tablosu

No	%Mg	Tsol	t_sol	twait	Tsu	t_su	twait2	Tage	t_age
1	0,3	525	4	10	40	3	2	140	2
2		535	6	15	60	5	10	160	4
3		545	8	20	80	7	24	180	6
4		525	4	10	40	5	10	160	4
5		535	6	15	60	7	24	180	6
6		545	8	20	80	3	2	140	2
7		525	4	15	80	3	10	180	6
8		535	6	20	40	5	24	140	2
9		545	8	10	60	7	2	160	4
10		525	4	20	60	3	24	160	6
11		535	6	10	80	5	2	180	2
12		545	8	15	40	7	10	140	4
13		525	6	20	40	7	10	140	6
14		535	8	10	60	3	24	160	2
15		545	4	15	80	5	2	180	4
16		525	6	20	60	3	2	180	4
17		535	8	10	80	5	10	140	6
18		545	4	15	40	7	24	160	2
19	0,45	525	6	10	80	7	24	140	4
20		535	8	15	40	3	2	160	6
21		545	4	20	60	5	10	180	2
22		525	6	15	80	7	2	160	2
23		535	8	20	40	3	10	180	4
24		545	4	10	60	5	24	140	6
25		525	8	15	40	5	24	180	2
26		535	4	20	60	7	2	140	4
27		545	6	10	80	3	10	160	6
28		525	8	15	60	5	2	140	6
29		535	4	20	80	7	10	160	2
30		545	6	10	40	3	24	180	4
31		525	8	20	80	5	24	160	4
32		535	4	10	40	7	2	180	6
33		545	6	15	60	3	10	140	2
34		525	8	10	60	7	10	180	2
35		535	4	15	80	3	24	140	4
36		545	6	20	40	5	2	160	6

Deneysel tasarım tamamlandıktan ve deney şartları tam olarak ortaya konduktan sonra, şekil 5.17 de belirtilen şartlara göre, plakalar ayrılmış ve daha sonra ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur.

5.2.3 Isıl İşlem Fırınının Kalibre Edilmesi

Dökümü tamamlanan parçalar besleyici ve yollukları kesildikten sonra ısıtılma işlemine tabi tutulacaktır.



Şekil 5.18 Etüv termograf çıktısı

Isıl işlem deneylerine geçilmeden önce, kullanılan kül ocağının set değeri ve gerçek sıcaklık değerlerinin doğrulanması için plakaların üzerine NiCr- Cr termokupl teli bağlanarak termograf ile, 4 saat süre ile 540 °C'de ölçüm yapılmıştır. Doğrulama işlemine ait Şekil 5.14'deki termograf grafiğine göre, 540 °C'ye set edilmiş ocağın boş iken atmosfer sıcaklığının 600 °C civarına ulaştığı görülmektedir. Ancak, parçaların şarjı ile birlikte set sıcaklığına geldiği ve geri kalan süre boyunca parçaların ve atmosfer sıcaklığının set sıcaklığı ± 5 °C seviyesinde seyrettiği görülmüş, böylece ocak ve set panelindeki değer doğrulanmıştır. Doğrulamanın ardından deneylere başlanmıştır.

BÖLÜM ALTI

ANSYS ANALİZİ

6.1 Düz Plakaların Ansys Analizleri

Yapılan deneyler sonucunda en kritik değerlere sahip olan deney parametreleri (4,15 ve 26) ve en az yüzeysel değişimin görüleceği deney parametreleri ele alınmıştır. Tablo 6.1 de deney girdileri ve tablo 6.2 de deney koşulları belirtilmiştir.

Tablo 6.1 Özellikleri

Özellikler	
Elastise Modülü	72400 MPa
Poisson Oranı	0,33
Yoğunluk	2,67e-006 kg/mm ³
Çeki Akma Gerilmesi	280, MPa
Çeki Bası Gerilmesi	280, MPa
Çeki Kopma Gerilmesi	310, MPa
Termal	
Özgül ısı	963, J/kg.°C

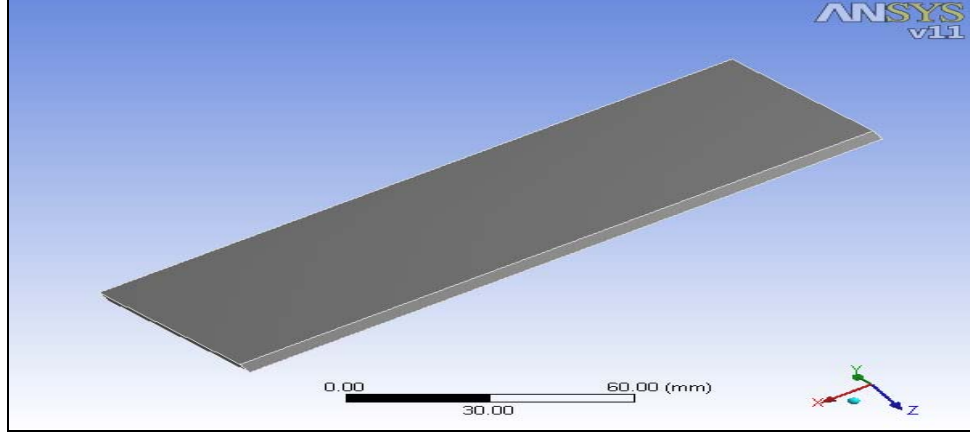
Tablo 6.2 Deney 2, 3 ve 4 koşulları

Plaka No	Tsol	t_sol	twait	Tsu	t_su	twait2	Tage	t_age
4	525	4	10	40	5	10	160	4
15	545	4	15	80	5	2	180	4
26	535	4	20	60	7	2	140	4

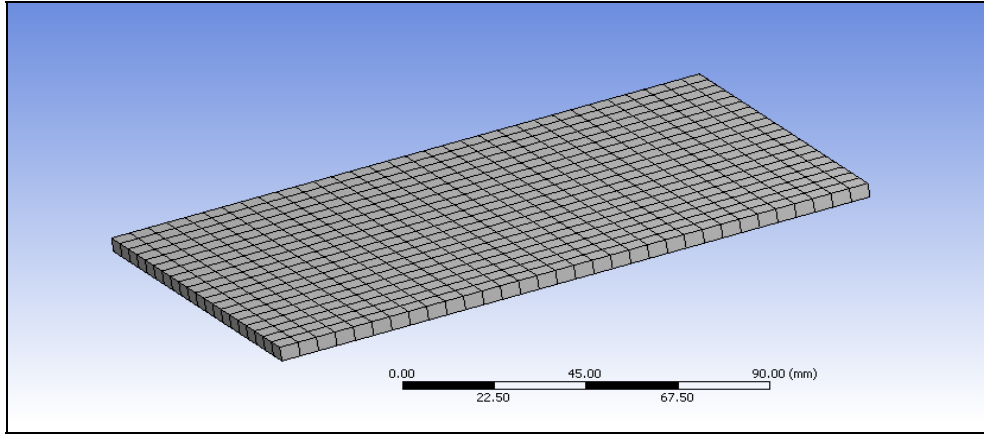
İlk analiz, testler sonucunda bulduğumuz en az yüzeysel değişimi verecek deney parametrelerine göre yapılmıştır. 545 °C 6 saat çözeltiye alma, 15 sn dışarıda bekletme daha sonra 80 °C lik suda 3 dakika su verme ve yaşlandırma öncesi 10 saat dışarıda bekletilip ve 160 °C de 4 saat yaşlandırma uygulanacak. Bu parametrelerin uygulanabilmesi için ilk kademe de ansys 11 de model oluşturuldu. Deneylerde kullanılan plakanın gerçek ölçülerinde modelleme gerçekleştirildi. Modelleme sonrasında meshleme yapıldı. Tablo 6.3 de plaka boyutları mevcuttur. Ansys ile oluşturulmuş modeli şekil 6.1 de belirtilmiştir.

Tablo 6.3 Plaka en, boy ve genişlik boyutları

Şekil ölçüleri	160 mm	100 mm	4 mm
-----------------------	--------	--------	------

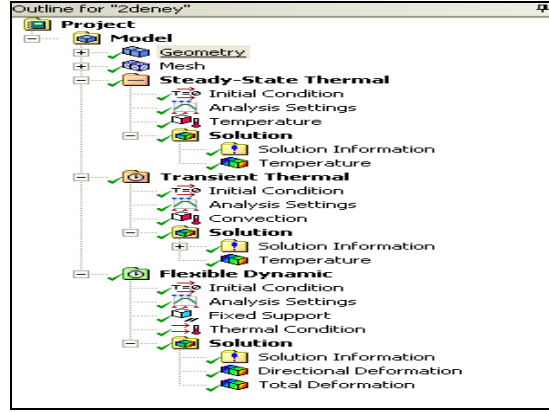


Şekil 6.1 Ansys de çizilen plaka modellemesi



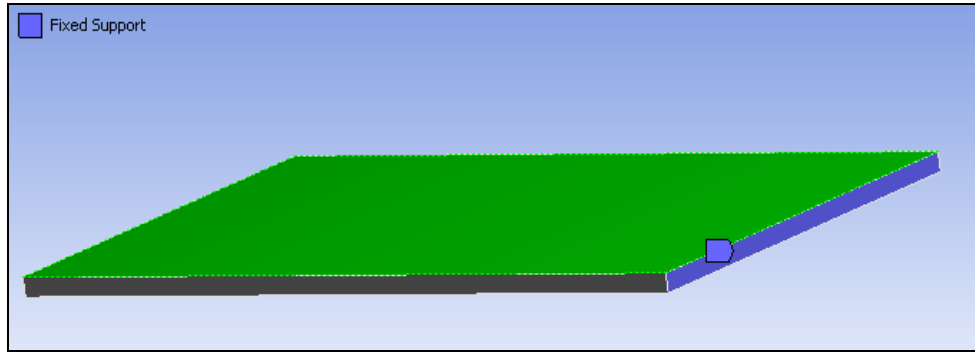
Şekil 6.2 Meshlenmiş model

Şekil 6.2 de görülen model meshlemesi yapıldıktan sonra, şekil 6.3 de olan Steady-State Thermal, Transient Thermal ve Flexible Dynamic bölümleri uygulandı.



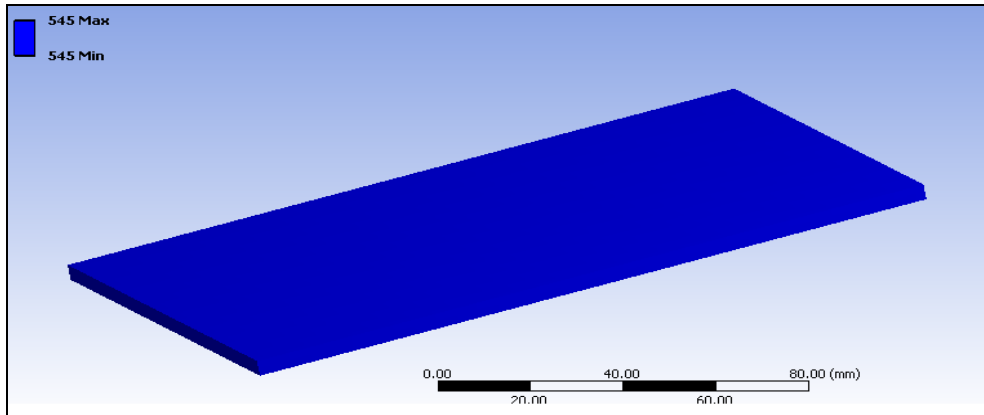
Şekil 6.3 Ansys analiz aşamaları

Şekil 6.4 görülen plaka tek bir yüzeyden sabitlenmiştir. Belirtilen yüzeye bağlı olarak yüzeydeki çarpılmalar görülebilecektir.



Şekil 6.4 Tek bir yüzeyden sabitlenmiş plaka

1.deney için Steady-State Thermal da plaka sabit bir sıcaklığa getirilmiştir. 545 °C sıcaklığa ulaştı (Şekil 6.5). Tüm yüzey aynı sıcaklıktadır.



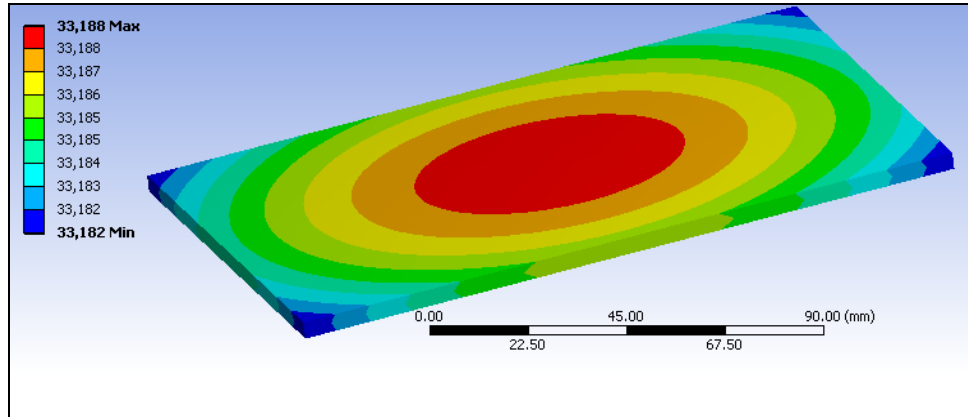
Şekil 6.5 1.deneyde çözeltiye alma sıcaklığı

Transient thermal aşamasında ise, sürekli değişim gösteren ısı değişimleri ele alınmıştır. Transient thermal convection da ısı yayılımı için belirtilen deney koşulları uygulandı. Initial temperature değişken yani tek düze olmayan koşullar nedeni ile Non-Uniform temperature sıcaklığından alındı. Initial condition environment değerleri yani ilk koşul değerleri Steady-state thermal değerlerinden alınmıştır. Convection ambient temperature yani ortam koşulları tabular data'lara girilmiştir ve sonucunda tabular data'lardan tüm veriler çekilmiştir.

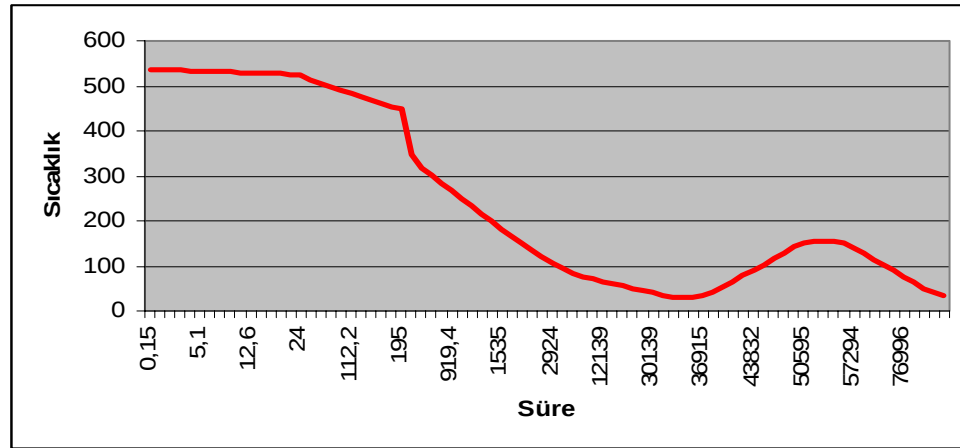
Tablo 6.4 1.deney için zamana bağlı sıcaklık girdileri

Adım	zaman [s]	sıcaklık [°C]
1	0	30
	15	
2	195	80
3	36195	30
4	50595	160
5	90000	30

Şekil 6.6 da süre sonunda yani 90000 sn sonundaki son sıcaklık 33,183 °C olarak görülmektedir. Zaman bağlı sıcaklık değişimlerini şekil 6.7 de grafiksel olarak görülmektedir.

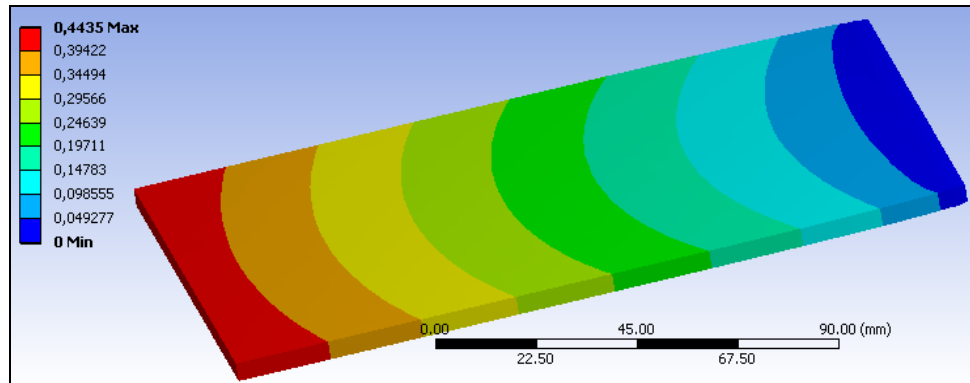


Şekil 6.6 1.deney sıcaklık dağılımı



Şekil 6.7 Sıcaklığın zamana bağlı dağılımı

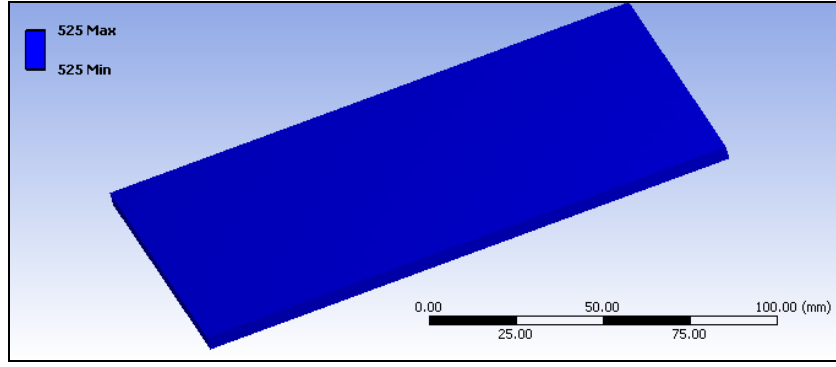
Flexible Dynamic de plakanın sıcaklığa bağlı kalıcı deformasyon değişimi görülmektedir.



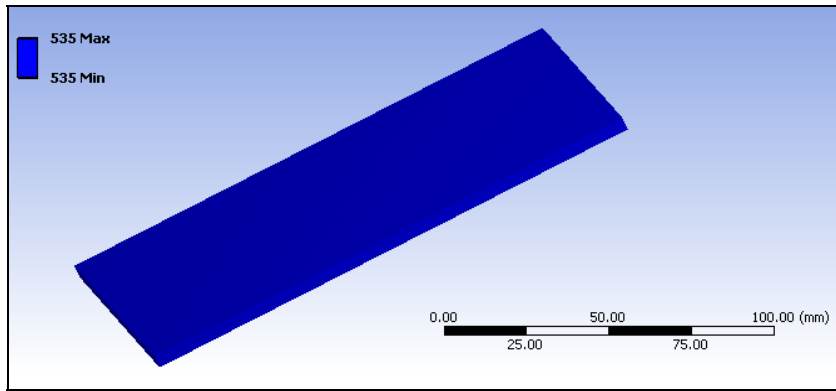
Şekil 6.8 Deney 1 yaşlandırma sonrası deformasyon

Şekil 6.8 de Flexible Dynamic de deformasyon görülmektedir. 0,4435 mm maksimum deformasyonu göstermektedir.

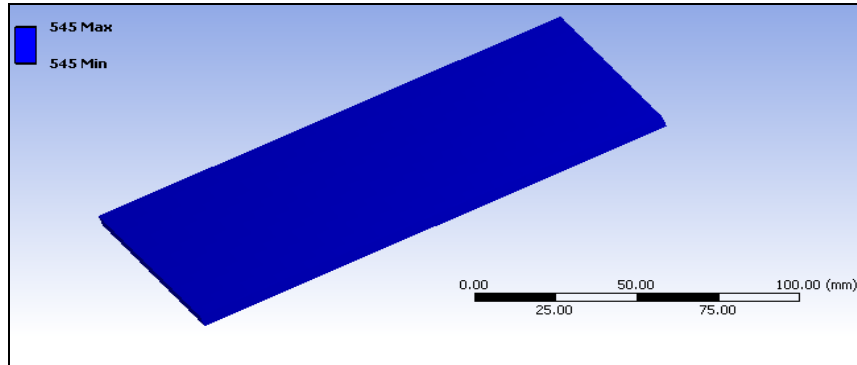
Yukarıda anlatılan koşullar, diğer parametler içinde uygulanmıştır. İlk aşamada plakalar belli bir sıcaklığa ulaşmıştır.(Şekil 6.9, 6.10 ve 6.11)



Şekil 6.9 Deney 2 çözeltiye alma sıcaklığı

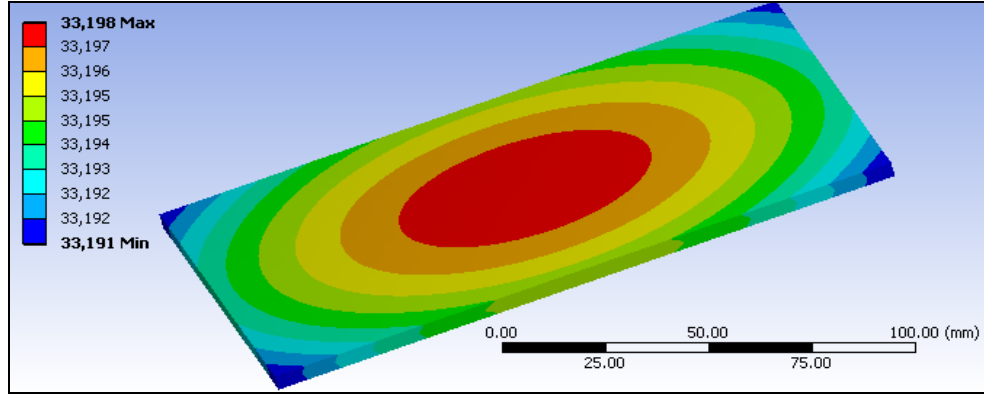


Şekil 6.10 Deney 3 çözeltiye alma sıcaklığı

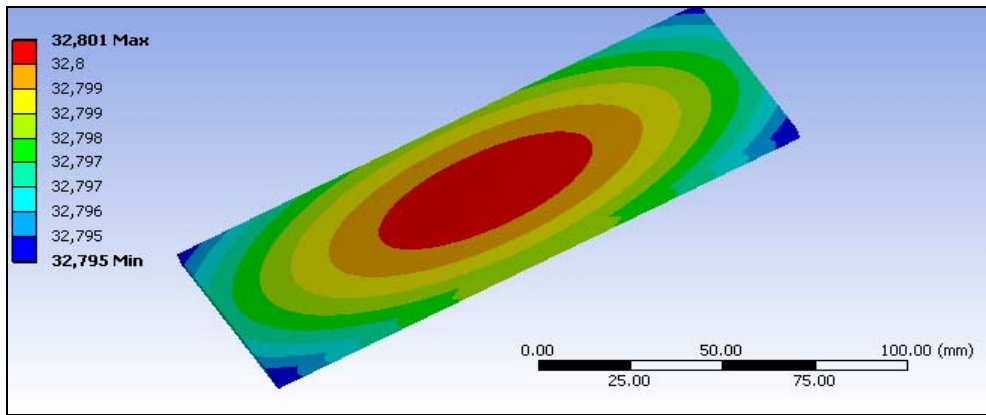


Şekil 6.11 Deney 4 çözeltiye alma sıcaklığı

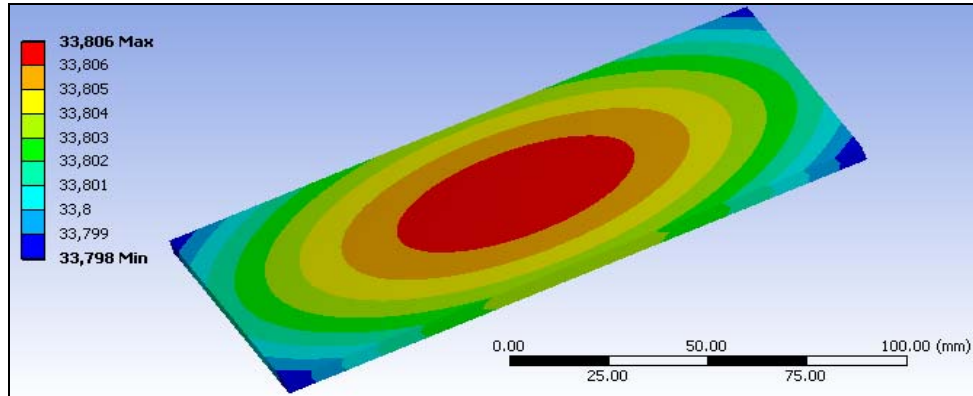
İkinci aşamada, ilk analizde belirtilen aşamalar uygulanmış ve sadece parametreler değiştirilmiştir. Sıcaklık değişimleri incelendiğinde; şekil 6.12, 2.analizde (4 nolu plaka) 90000 sn sonucunda 33,198 °C ye düşmüştür. Şekil 6.13, 3 analizde (26 nolu plaka) 32,801 °C ve şekil 6.14, 4.analizde (15 nolu plaka) 33,806 °C ye düşmüştür.



Şekil 6.12 Deney 2 sıcaklık dağılımı



Şekil 6.13 Deney 3 sıcaklık dağılımı



Şekil 6.14 Deney 4 sıcaklık dağılımı

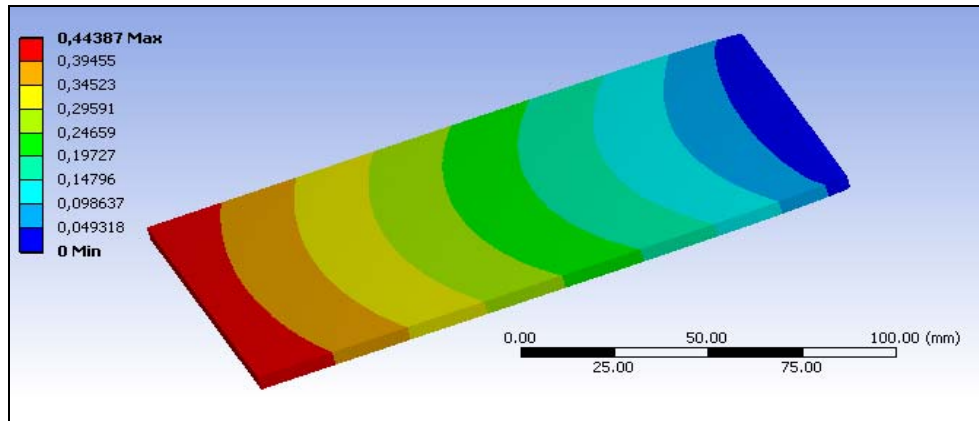
Tüm plakalar incelendiğinde sıcaklıkları 32 °C- 33 °C civarında olduğu tespit edilmiştir.

Bir önceki deneyde de belirtildiği gibi Flexible Dynamic de plakanın sıcaklığa bağlı kalıcı deformasyon değişimi görülmektedir. Tablo 6.5 de deney yapılan plakaların ölçüm sonuçları görülmektedir.

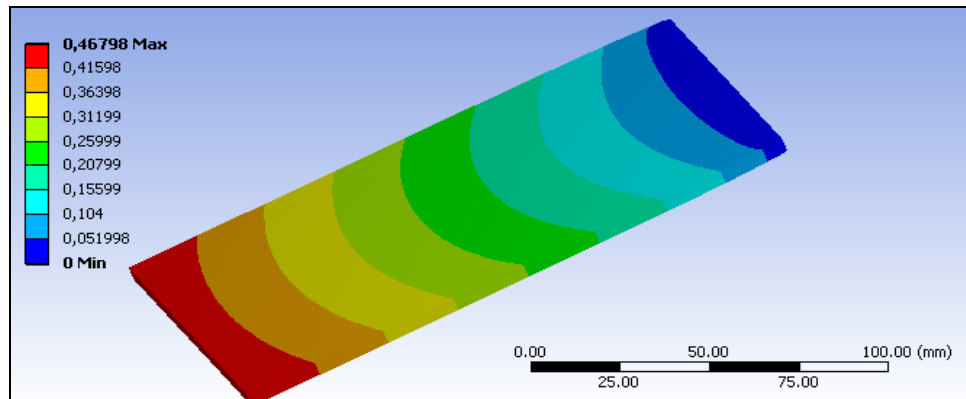
Tablo 6.5 Deney sırasında elde edilen sonuçlar

Dny/Plaka No	Döküm sonrası	Su verme sonrası	Yaşlandırma sonrası
Deney 2 / 4	0,2085	0,7122	0,6922
Deney 3 / 26	0,1952	1,1047	1,1284
Deney 4 / 15	0,2393	0,5856	0,5863

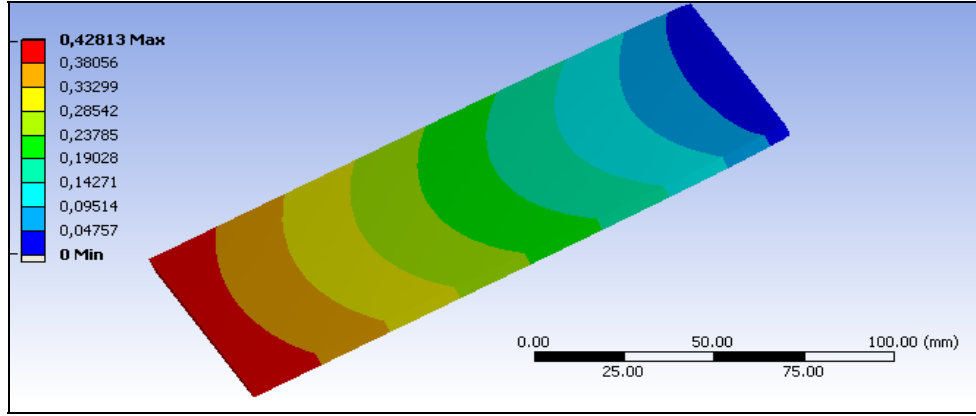
Şekil 6.15, şekil 6.16 ve şekil 6.17 de yapılan analizlerin plakalardaki yüzeysel değişime etkisi görülmektedir.



Şekil 6.15 Deney 2 yaşlandırma sonrası deformasyon



Şekil 6.16 Deney 3 yaşlandırma sonrası deformasyon

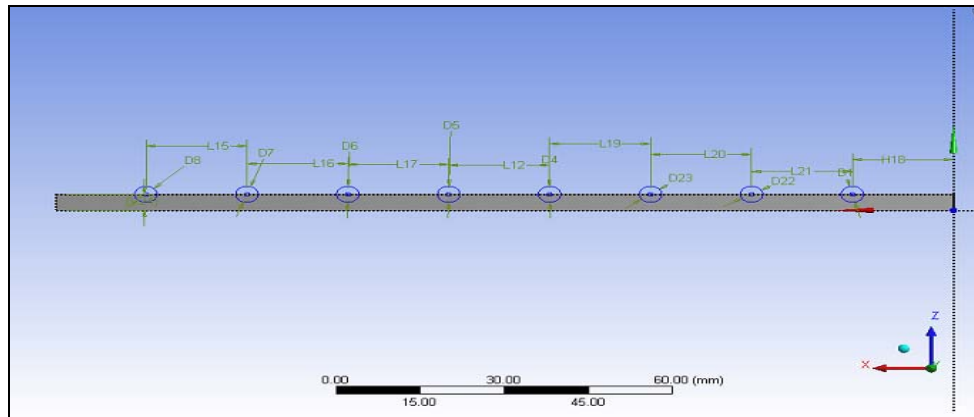


Şekil 6.17 Deney 4 yaşlandırma sonrası deformasyon

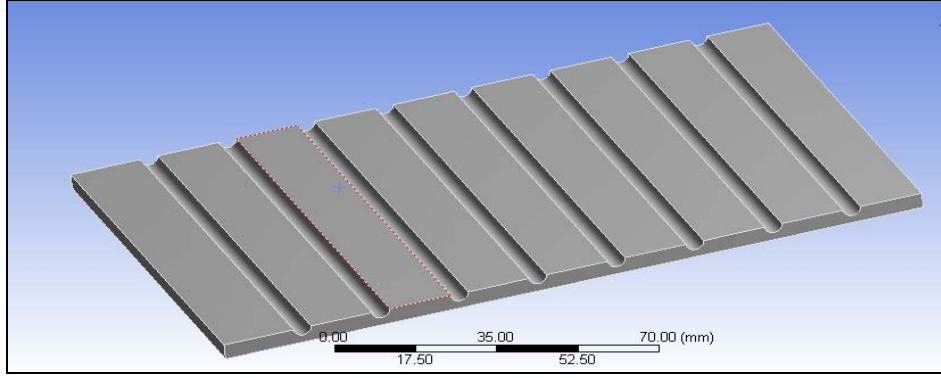
Deneyler sonucunda 2.deneyde 0,44387 mm, 3.deneyde 0,46798 mm ve 4.deneyde 0,42813 mm deformasyonlar meydana gelmiştir. Analiz sonuçları, diğer modellerin plaka analizinden sonra ortak olarak değerlendirilecektir.

6.2 Yüzeyinde Oluk Açılan Plakanın Ansys Analizleri

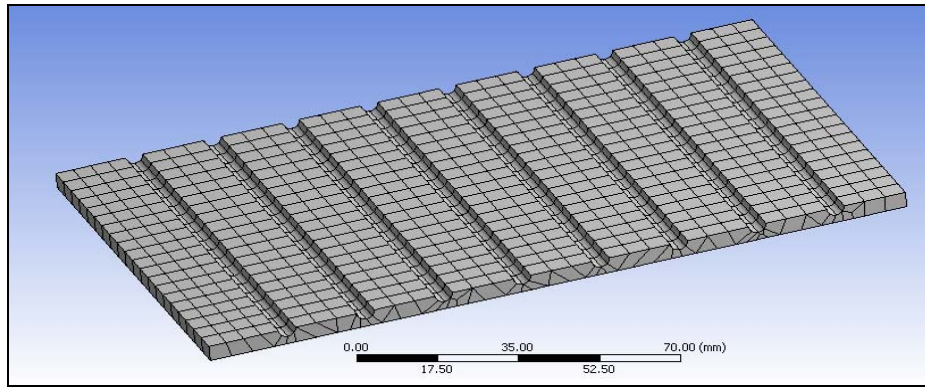
Farklı yüzeylerde meydana gelecek değişiklikleri görebilmek için plaka üzerinde 2 cm çapında 8 adet oluk açılmıştır. Daha sonra meshlemesi yapılmıştır.(Şekil 6.18,6.19 ve 6.20)



Şekil 6.18 Plaka üzerinde oluk açılması

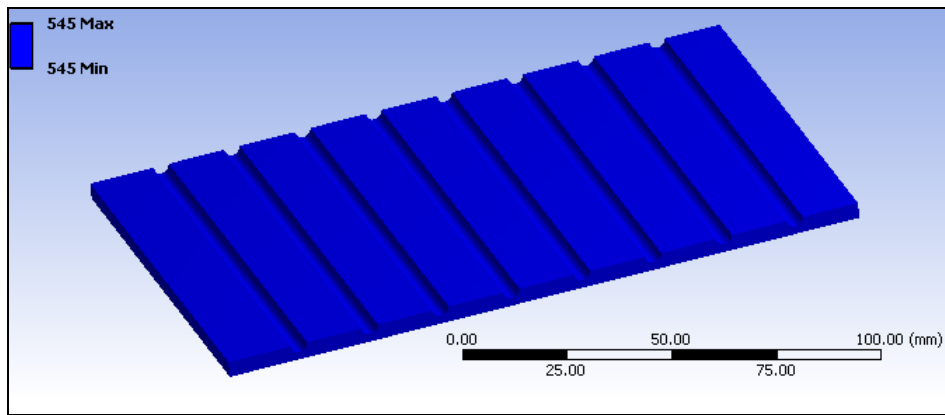


Şekil 6.19 Ansys de çizilen oluklu plaka modellemesi



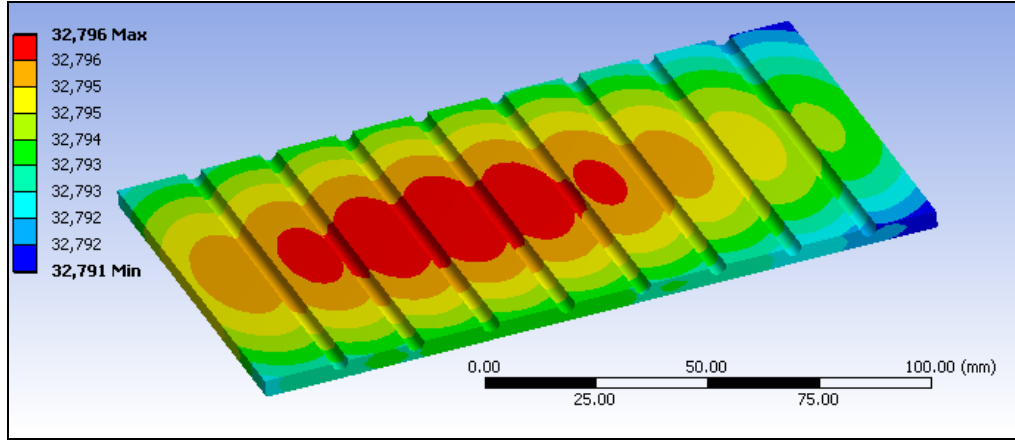
Şekil 6.20 Plakanın meshlenmesi

Meshleme sonrasında ilk aşama olan çözeltiye alma süreci yani plakanın 545 °C sıcaklığa ulaşması sağlanmıştır (Şekil 6.21).



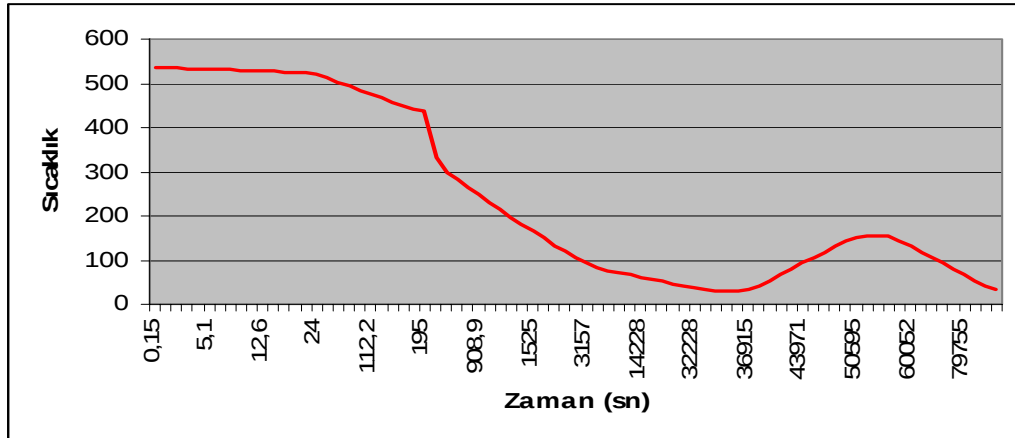
Şekil 6.21 1.deneyde çözeltiye alma sıcaklığı

Daha sonraki aşamalarda, su verme ve yaşlandırma süreci uygulanmıştır. Şekil 6.22 de görüldüğü gibi 90000 saniye sonra plaka ortalama 32,796 °C olmuştur.



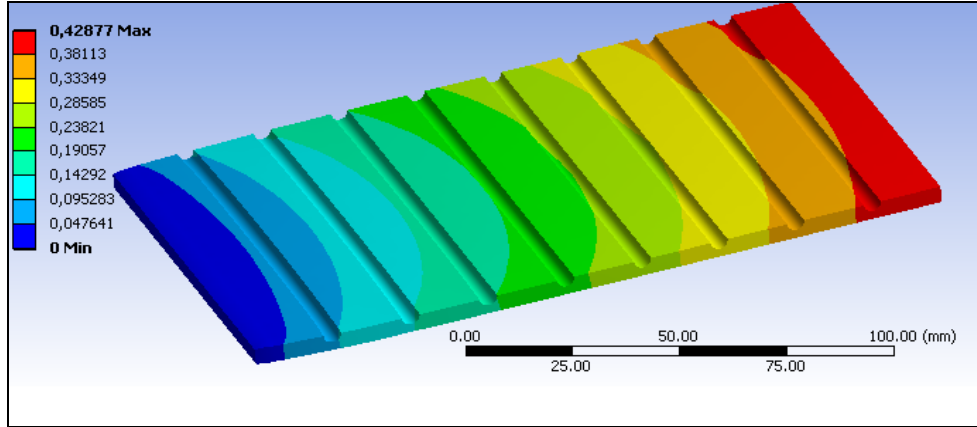
Şekil 6.22 Deney 1 sıcaklık dağılımı

Sıcaklığın zamana bağlı değişimi incelendiğinde, sıcaklığın çözeltiye alma sonrasında düşüş yaşadığı, yaşılandırma sırasında tekrar yükseldiği ve dış ortamda beklemede son sıcaklığı ulaştığı şekil 6.23 görülmektedir.



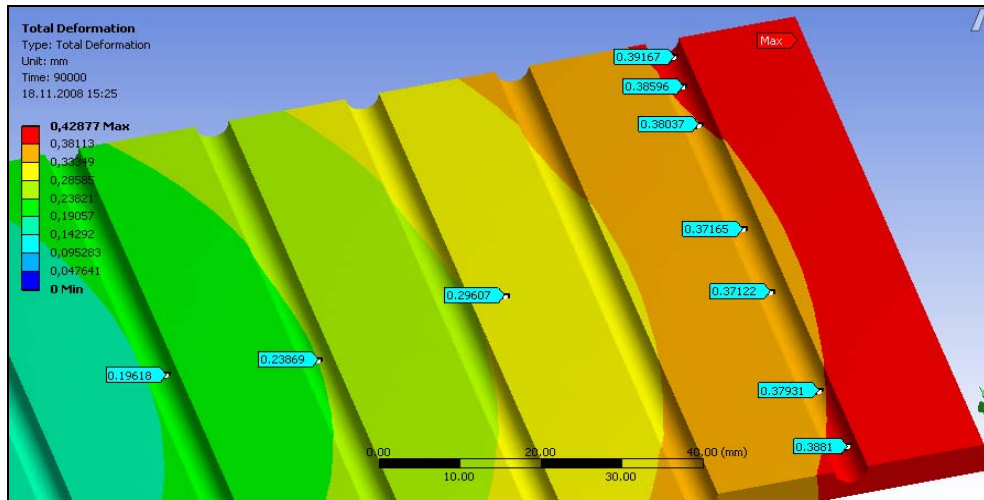
Şekil 6.23 Sıcaklığın zamana bağlı dağılımı

Flexible dynamic aşamasında ise, daha öncede belirtildiği gibi deformasyon değişimleri görülmektedir. Şekil 6.24 de görüldüğü gibi deformasyon 0,42877 mm olmuştur.



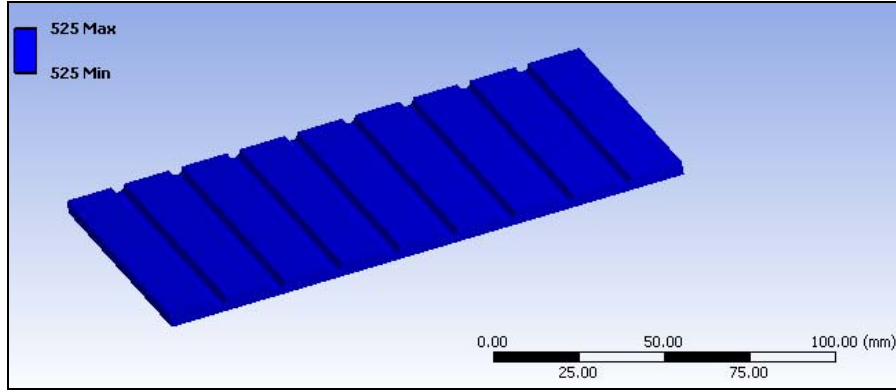
Şekil 6.24 Deney 1 yaşlandırma sonrası deformasyon

Plaka değerleri daha yakından incelendiğinde, maksimum deformasyonun en uç noktada olduğu görülmektedir. Diğer yerlerdeki deformasyonlarda şekil 6.25 üzerinde gösterilmiştir.

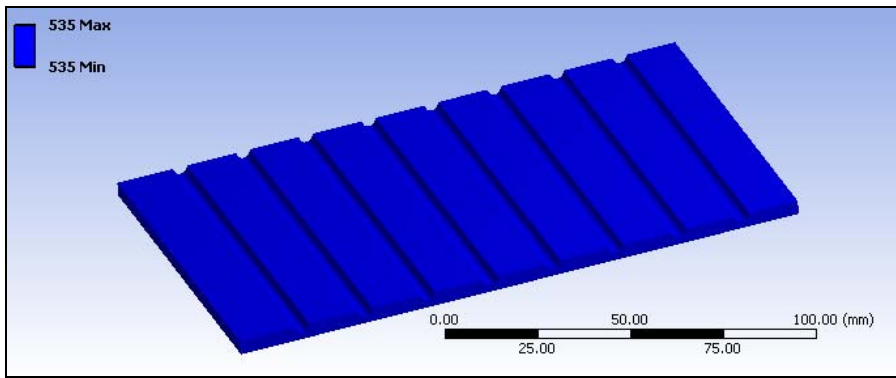


Şekil 6.25 Deney 1 yaşlandırma sonrası deformasyonun farklı yerlerde gösterimi

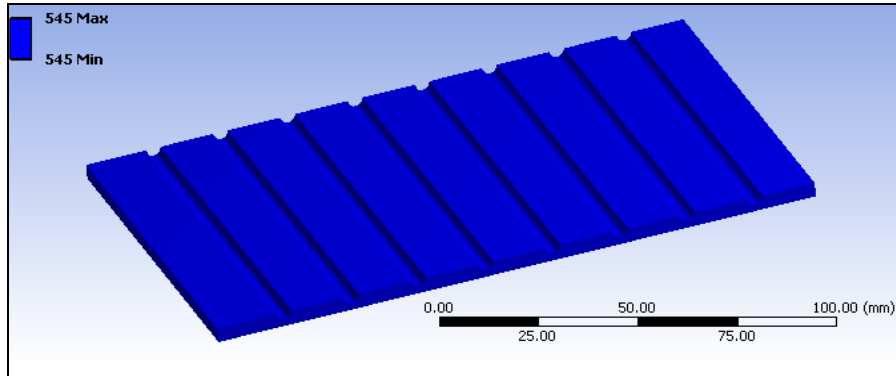
Diğer 3 deney plakası içinde daha önce belirtilen tüm aşamalar uygulanmıştır. Şekil 6.26, şekil 6.27 ve şekil 6.28 de ilk aşama olan çözeltiye alma sonucunda plakaların ulaşacağı sıcaklıklar belirtiliyor.



Şekil 6.26 Deney 2 çözeltiye alma sıcaklığı

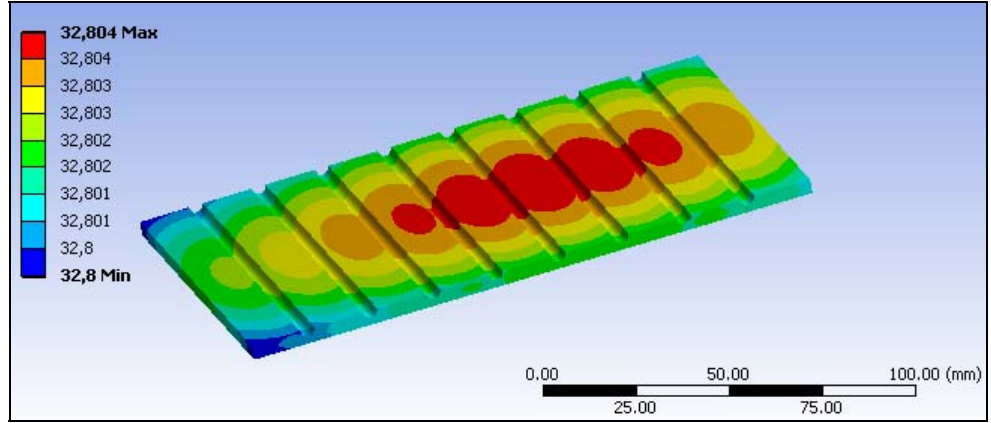


Şekil 6.27 Deney 3 çözeltiye alma sıcaklığı

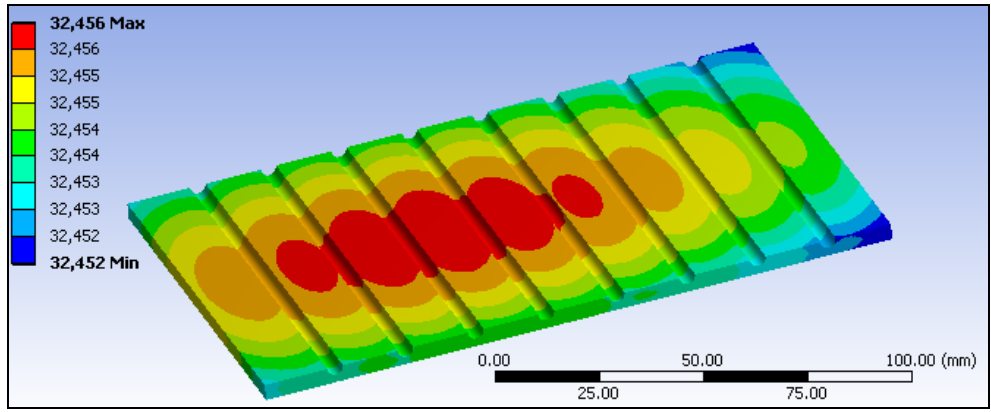


Şekil 6.28 Deney 4 çözeltiye alma sıcaklığı

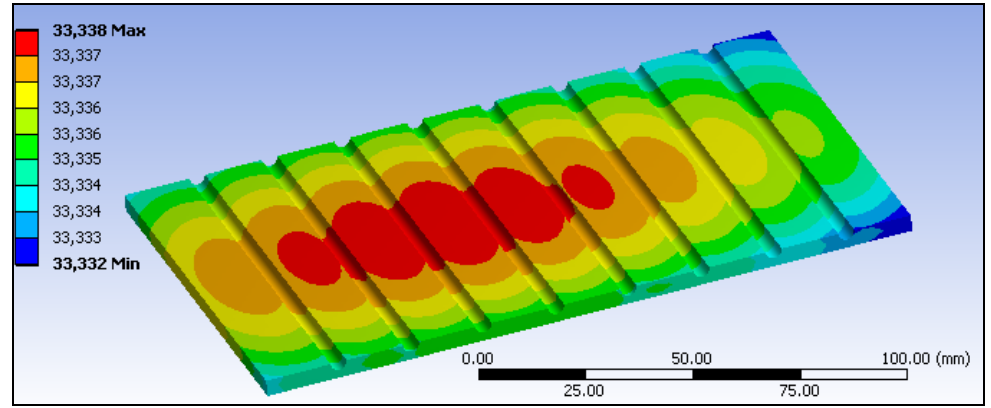
Tüm etaplar tamamlandıktan ve plaka belli bir süre dışarıda bekledikten sonra şekil 6.29, şekil 6.30 ve şekil 6.31 de belirtildiği gibi plaka sıcaklıklarının 32 °C- 33 °C civarındadır.



Şekil 6.29 Deney 2 sıcaklık dağılımı

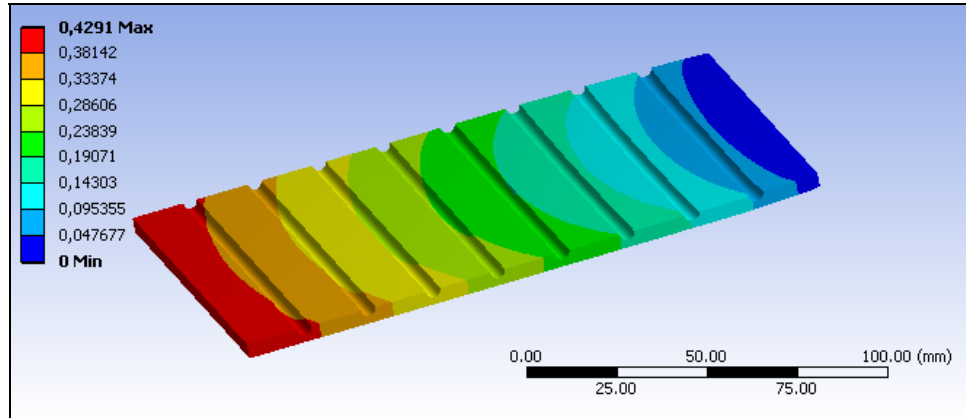


Şekil 6.30 Deney 3 sıcaklık dağılımı

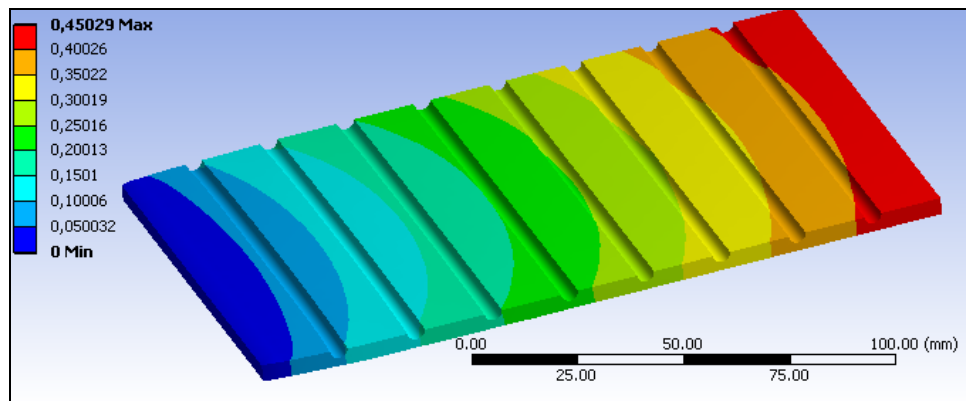


Şekil 6.31 Deney 4 sıcaklık dağılımı

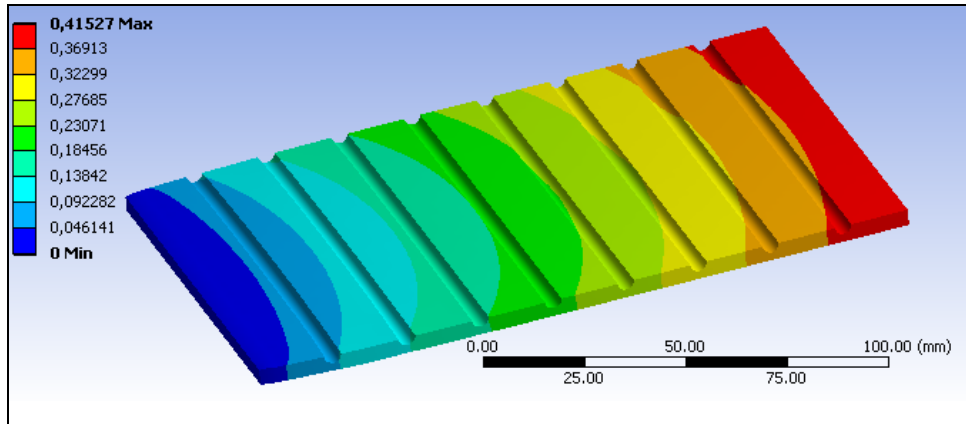
Şekil 6.15, şekil 6.16 ve şekil 6.17 de yapılan analizlerin plakalardaki yüzeysel değişime etkisi görülmektedir.



Şekil 6.32 Deney 2 yaşlandırma sonrası deformasyon



Şekil 6.33 Deney 3 yaşlandırma sonrası deformasyon



Şekil 6.34 Deney 4 yaşlandırma sonrası deformasyon

Değişimler 2.deneyde 0,4291 mm, 3.deneyde 0,45029 mm ve 4 deneyde 0,41527 mm olarak görülmektedir.

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR

7.1. Isıl işlem Ölçüm Sonuçları

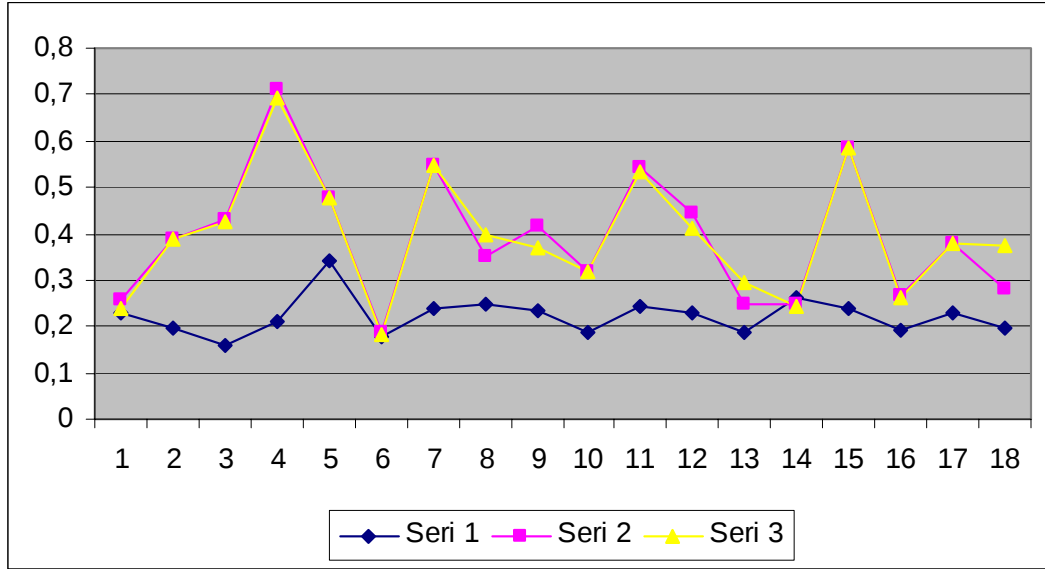
Üretim kalitesinin arttırılması ve müşteri isteklerinin karşılanabilmesi için T6 ısıtım işlemi prosesinde meydana gelecek değişikliklerin iyileştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Çalışmada deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler verilmiştir. Bu veriler ısıtım işlemi tabii tutulan plakaların yüzeylerinde meydana gelen düzlemsellik değişiklikleri içermektedir. 36 adet deney yapılarak plakaların yüzeyindeki değişimler ele alınmıştır.

Isıtım işlemi plakaları deneyler öncesi ve deneyler sırasında olmak üzere toplamda 3 aşamada ölçülmüşlerdir. İlk ölçüm döküm sonrası yapılmıştır. Çünkü plakalar kalıptan çıktığı gibi ısıtım işlemi maruz kalacaktı ve yüzey pürüzlülüğüne bu nedenle dikkat edilmiştir. İkinci ölçüm çözeltiye alma işleminden sonra gerçekleşmiştir. Üçüncü plaka ölçümü ise yaşlandırma sürecinden sonra yapılmıştır. İkinci ve üçüncü ölçümün farkı ile yaşlandırma sürecinin yüzeydeki çarpımalara etkisinin oranı araştırılmıştır. Şekil 6.1 de ölçüm sonuçları milimetre olarak belirtilmiştir.

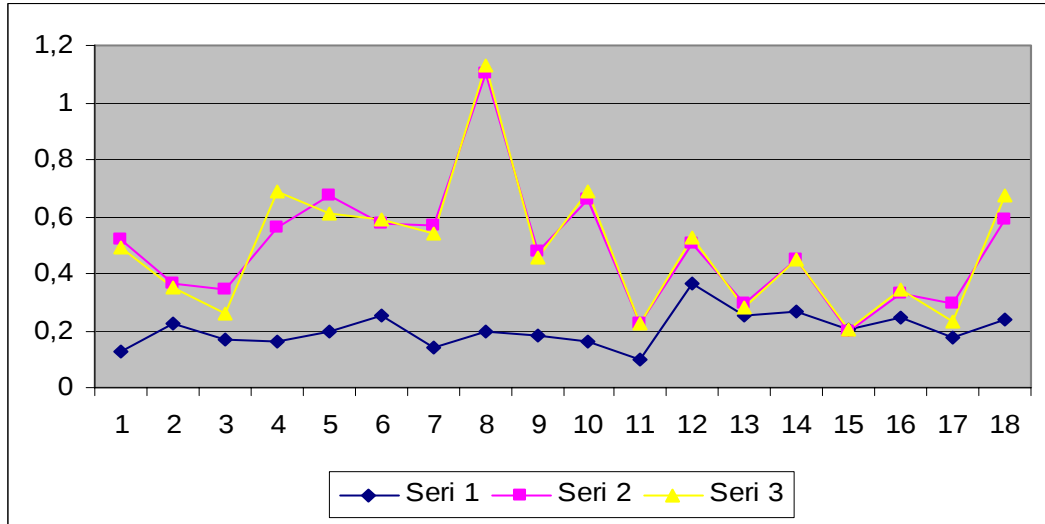
Tablo 7.1 Isıl işlem 3D ölçüm sonuçları

Deney No	%Mg	1.durum(mm)	2.durum(mm)	3.durum(mm)
1	0,3	0,2306	0,2551	0,2383
2		0,1973	0,3898	0,3877
3		0,1572	0,4298	0,4259
4		0,2085	0,7122	0,6922
5		0,3435	0,4783	0,4769
6		0,1788	0,1882	0,1829
7		0,2389	0,5456	0,5471
8		0,2468	0,35	0,3978
9		0,2329	0,4157	0,3715
10		0,1893	0,3172	0,316
11		0,2435	0,5441	0,5356
12		0,2276	0,4426	0,4123
13		0,185	0,2492	0,2935
14		0,2626	0,2493	0,2413
15		0,2393	0,5856	0,5863
16		0,1927	0,2644	0,2643
17		0,228	0,3768	0,3773
18		0,1959	0,2803	0,3752
19	0,45	0,1261	0,5219	0,4933
20		0,2237	0,3652	0,3518
21		0,165	0,3448	0,2591
22		0,163	0,5624	0,6851
23		0,1974	0,677	0,612
24		0,2558	0,576	0,5872
25		0,1438	0,5654	0,5427
26		0,1952	1,1047	1,1284
27		0,1826	0,4755	0,4558
28		0,1637	0,658	0,6852
29		0,1008	0,2226	0,2266
30		0,3622	0,5073	0,5245
31		0,2526	0,2975	0,2795
32		0,2695	0,4463	0,4489
33		0,2038	0,1989	0,2022
34		0,2434	0,3301	0,3434
35		0,1768	0,2968	0,2314
36		0,2382	0,586	0,6709

Şekil 7.1 de % 0,30 Mg'lu ve Şekil 6.2 de % 0,45 Mg'lu plakalardaki çarpılmalar mevcuttur. Su verme ve yaşlandırma sonucunda yüzeydeki değişimler yakın değerler içermektedir. Seri 1 döküm sonrası, seri 2 suya daldırma sonrası ve sıra 3 de yaşlandırma sonrası değerleri göstermektedir.



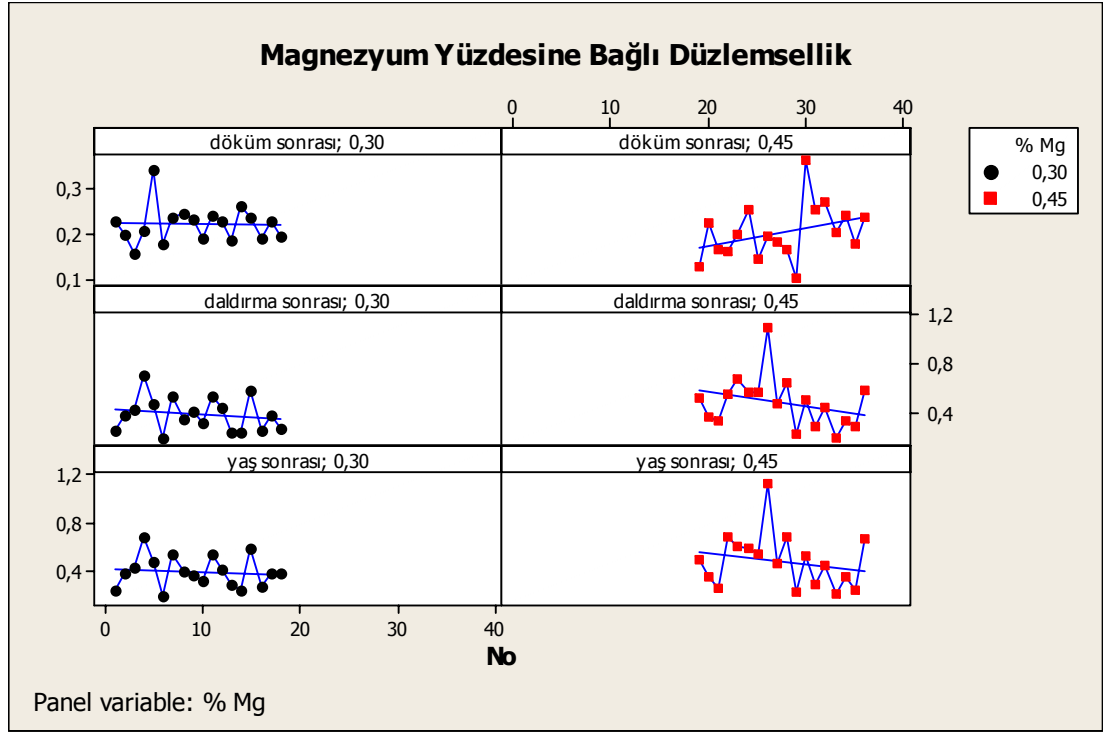
Şekil 7.1 %0,30 Mg plakaların düzlemsellik sonuçları



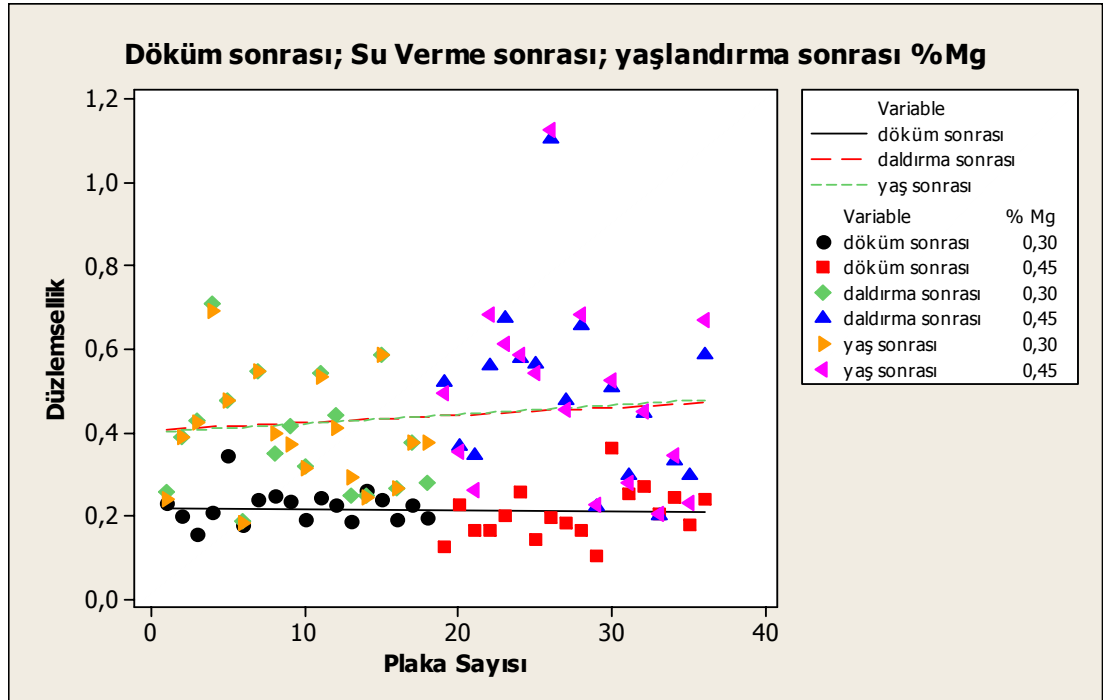
Şekil 7.2 %0,45 Mg plakaların düzlemsellik sonuçları

Şekil 7.3 ve şekil 7.4 de magnezyum yüzdelerine göre döküm sonrası, su verme sonrası ve yaşlandırma sonrası, ayrı ayrı düzlemsellik sonuçları dağılımı

görülmektedir. % 0,30 Mg 'un % 0,45 Mg ' a göre daha kararlı bir yapıya sahiptir. Buna bağlı olarak daha düzlemseldir.



Şekil 7.3 Magnezyum yüzdesine bağlı düzlemsellik



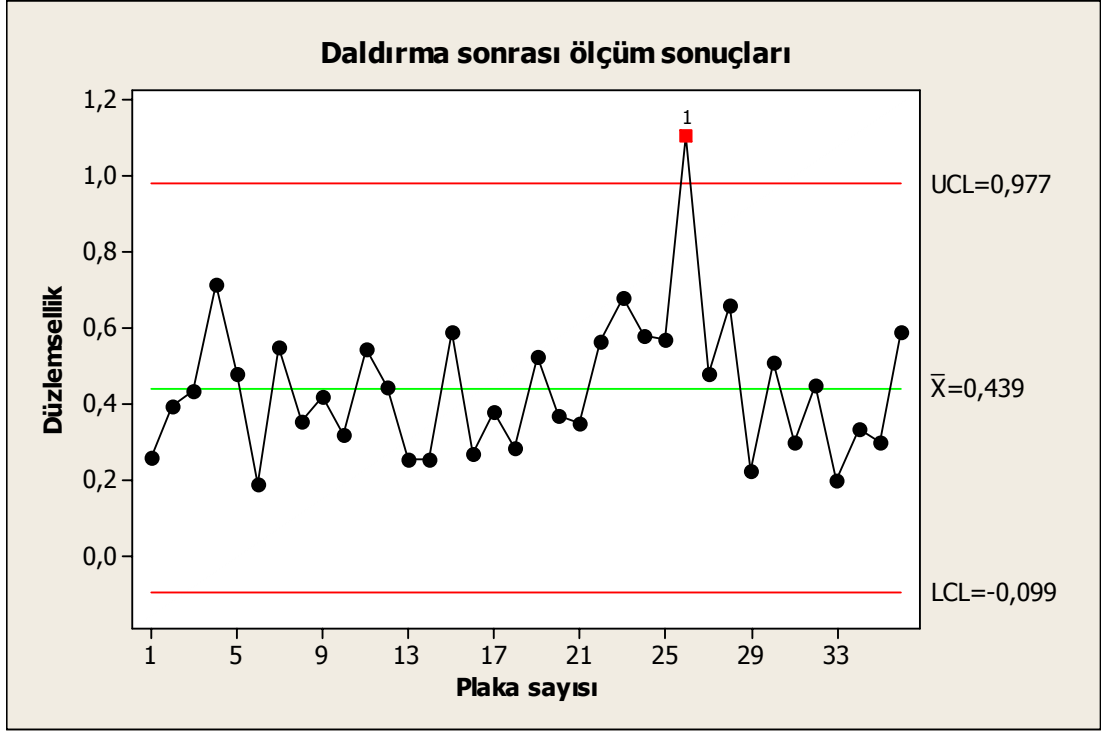
Şekil 7.4 Magnezyum yüzdesine bağlı düzlemsellik dağılımı

Şekil 7.5 de düzlemsellik ölçümleri incelendiğinde, 36 adet plakanın stabil bir şekilde döküldüğü görülmektedir. Grafikte 2 nokta dikkat çekmektedir. Biri 5 nolu plakanın ölçümü 0,344 mm ve diğeri 30 nolu plakanın ölçümü 0,371 mm 'dir. 2 noktada dökümden kaynaklanan yüksek düzlemsellik mevcuttur.



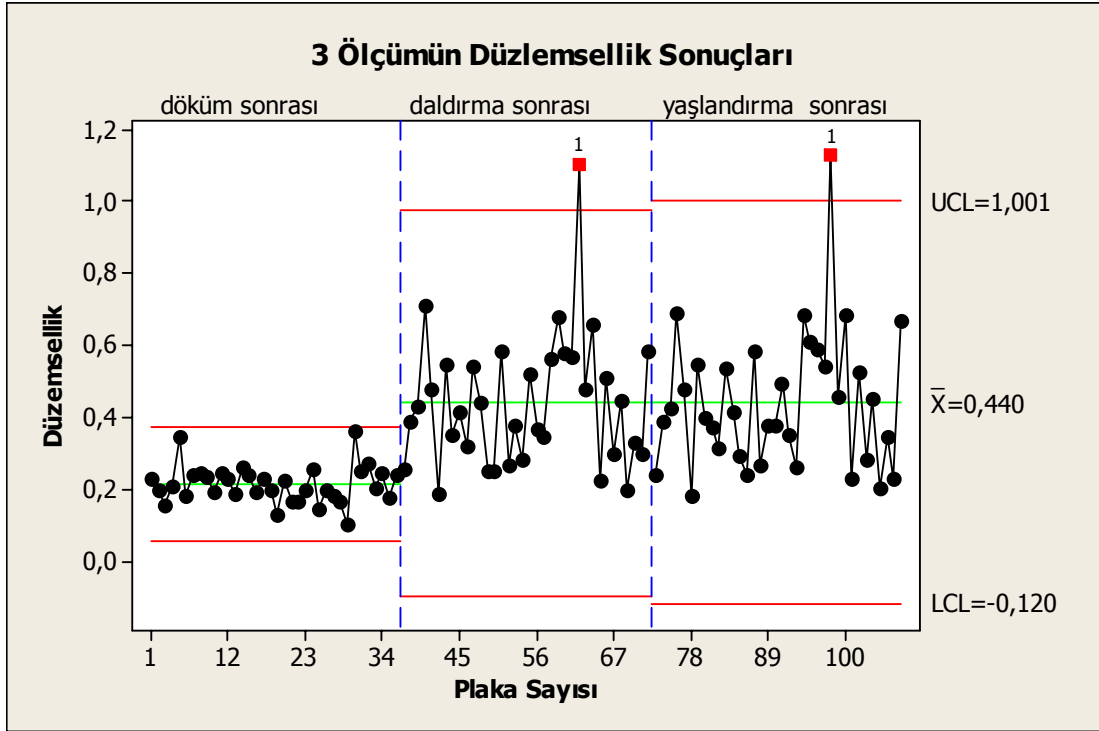
Şekil 7.5 Döküm sonrası düzlemsellik (mm)

Şekil 6.6 su verme işlemi sonrasında yüzeydeki düzlemsellikleri göstermektedir. 30 ve 5 nolu plakalara bakıldığında, düzlemsellikleri 0,507 mm ve 0,478 mm 'dir. Fakat 26 nolu plakayı incelediğimizde düzlemselliğinin 1,105 mm olduğu görülüyor. 26 nolu plakada, döküm öncesinde 0,195 mm olan düzlemsellik 60 °C de 7 dakika suya daldırıldıktan sonra 1,105 mm olmuştur. Ortam koşulları ve su verme metodundaki değişikliklerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 7.6 Su verme sonrası düzlemsellik (mm)

Ölçümlerinin tümüne bakıldığında, dökümden ve su vermeden sonraki düzlemselliklerde fark edilir bir değişim gözükmemektedir. Su verme ve yaşlandırma süreci sonraki ölçümler ele alındığında düzlemsellik de büyük değişimler oluşmamıştır (Şekil 7.7).



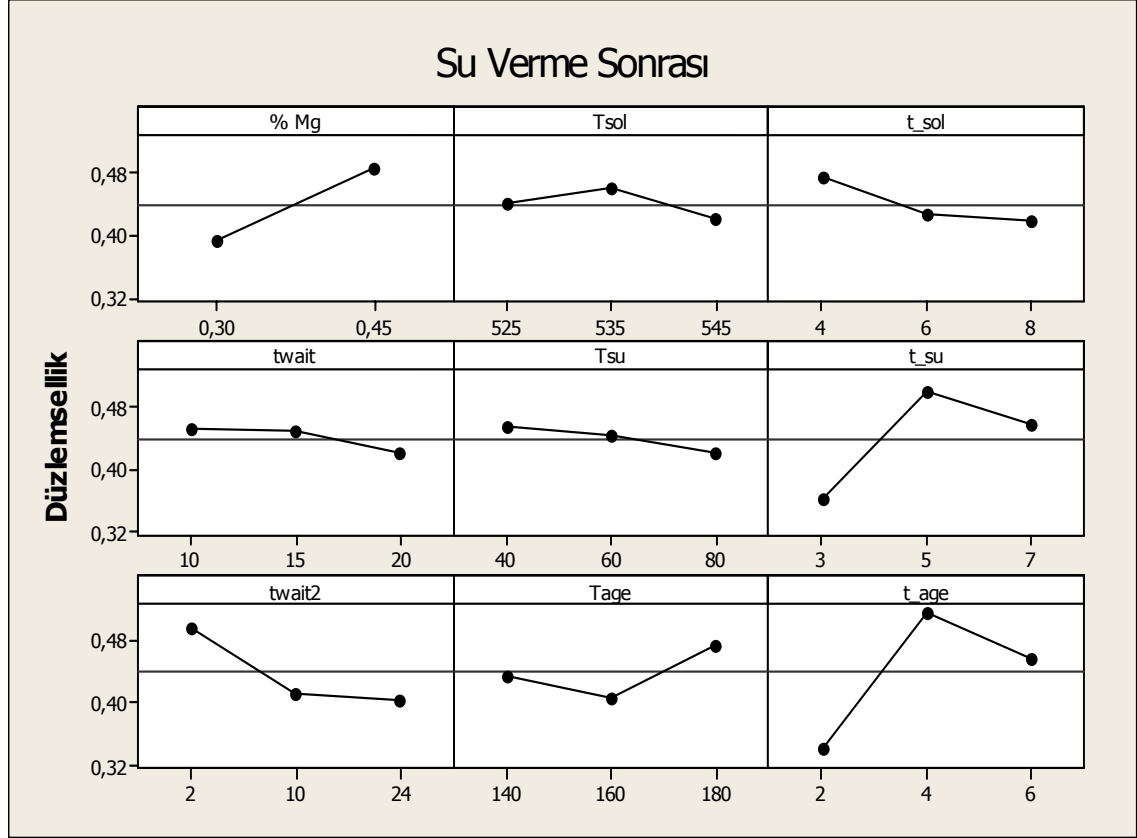
Şekil 7.7 Plaka ölçüm sonuçları (mm)

Yaşlandırma sürecinin düzlemsellik üzerinde çok etkin olmaması nedeni ile su verme sonrası değerleri incelenmiştir. Şekil 7.8 de görüldüğü gibi 9 parametrenin düzlemsellik üzerinde etkileri tek tek ele alınmıştır.

- Mg yüzdesi
- Solüsyona Alma Sıcaklığı (°C)
- Solüsyona Alma Süresi (saat)
- Su Verme Öncesi Bekleme Süresi (sn)
- Su Verme Suyu Sıcaklığı (°C)
- Su Verme Süresi (dk)
- Yaşlandırma Öncesi Bekleme Süresi (saat)
- Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)
- Yaşlandırma Süresi (saat)

% 0,30 luk Magnezyum oranın, %0,45 lık magnezyum oranına göre düzlemsellikte daha etkili olduğu görülüyor. Solusyona alma sıcaklığı 535 °C,

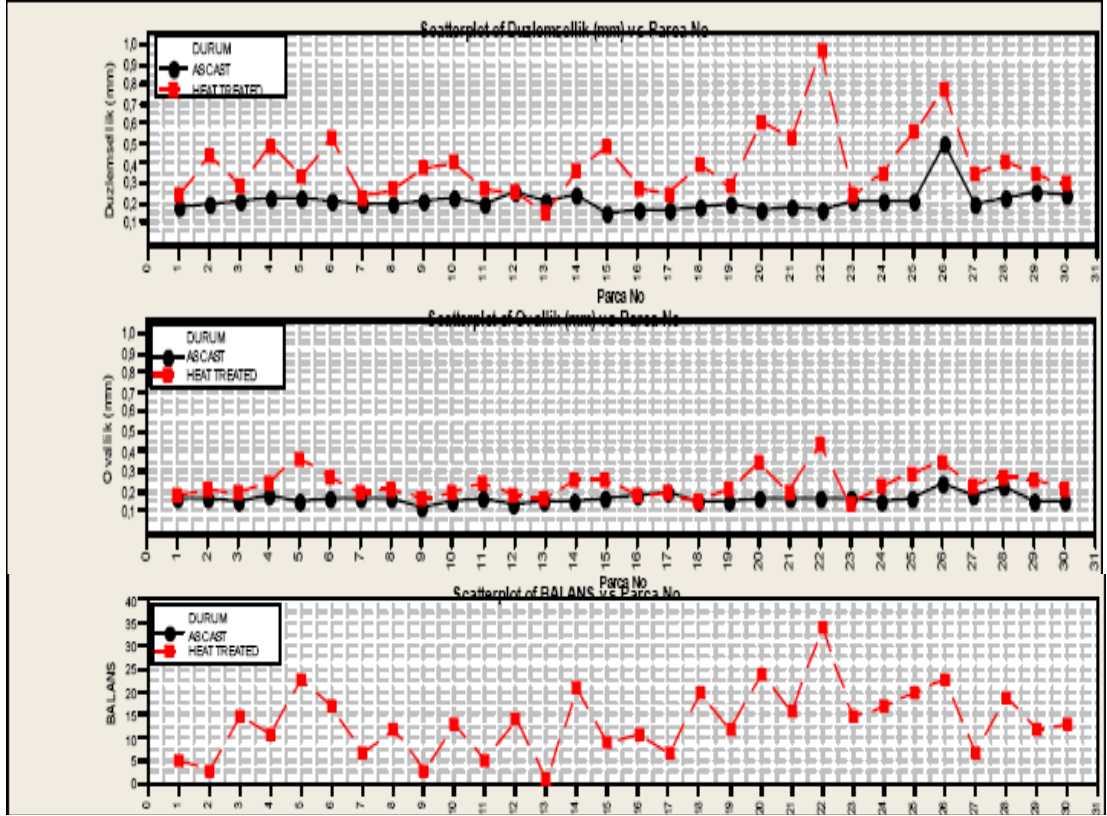
solusyona alma süresi 6 ile 8 saat arasında , su verme öncesi 20 sn , su sıcaklığı 80 °C , suda kalma süresi 3 dakika tutulmalıdır.



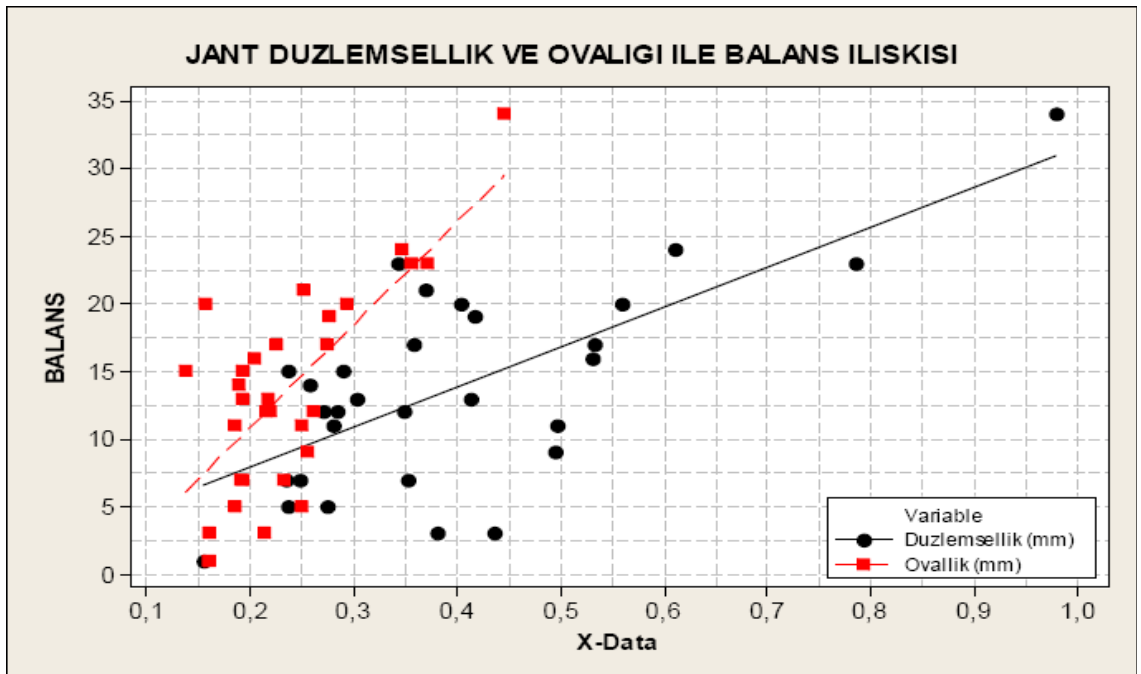
Şekil 7.8 9 Parametrenin koşullara bağlı değişimi

Bu ölçümler jant üzerinde yapıldığında; 30 adet jantın çekme düzlemsellik ve ovallık oranları 3D cihazında ölçülmüştür. Isıl işlem öncesi numaralandırılan jantlar ısıtılma işlem arabasına sıra ile konulmuştur.

Döküm ve ısıtılma işlem sonrası düzlemsellik, ovallık ve balans değişimleri şekil 7.9 da verilmiştir. 26 nolu jant incelendiğinde döküm sonrası ovallık ve düzlemselikte, en yüksek değerlere sahiptir. Ancak ısıtılma işlem sonrasında bu durum değişmiştir. 22 nolu jantta ısıtılma işlem sonrası düzlemsellik ve ovallık 26 nolu janta göre daha fazladır.



Şekil 7.9 30 jantın düzlemsellik, ovallık ve balans değerleri (mm) D. Aldoruk (kişisel iletişim , 2008)



Şekil 7.10 Jantın düzlemsellik, ovallık ve balans ilişkisi D. Aldoruk (kişisel iletişim , 2008)

Şekil 7.10 da düzlemsellik değeriindeki değişim, ovallık değişimine göre çok daha geniş aralık meydana gelmektedir. Yukarıda belirtilen grafikler incelendiğinde, artan düzlemsellik ve ovallık değerleri ile balansı arttığı görülmüştür.

Balansı yüksek çıkan jantların, arabadaki yerleşim yerleri incelendiğinde suya ilk giren yerde ve fırın duvarına en yakın yerde olan en sıcak jantlar olduğu görülmüştür.

7.2 Ansys Ölçüm Sonuçları

Plakada deneyler sonucunda 1.deneyde 0,4435 mm, 2.deneyde 0,44387 mm, 3.deneyde 0,46798 mm ve 4.deneyde 0,42813 mm deformasyon meydana gelmiştir.

Oluklu plakada 1.deneyde deformasyon 0,42877 mm olmuştur. Diğer 3 plakadaki yüzeysel değişimlerde 2.deneyde 0,4291 mm, 3.deneyde 0,45029 mm ve 4 deneyde 0,41527 mm olarak görülmektedir.

Plakaların sıcaklıkları deney sonuçlarında ortalama 32-33 °C civarında oldu. Ansys analiz sonuçlarında ise, deneyler sonuçları ile birlikte incelendiğinde birbirlerine yakın değerlere sahip oldukları görülmüştür.

7.3 Sonuçlar

Bu çalışmada kalıp dizaynı tasarlanıp kalıp yapımından sonra ısıtılma işlemde düzlemsellik değişimlerini tam olarak gösterebilecek. 4 mm plakalar dökülmüştür. 54 adet plakadan 36 tanesi Minitab 14 de tasarlanan 36 deney şartına göre testlere tabi tutulmuştur. Isıl işleme girmeden önce, su verme sürecinden sonra ve yaşlandırma sürecinden sonra her plakanın düzlemselliği, 3D tezgahlarında belirlenen 20 nokta üzerinden ölçülmüştür. Düzlemsellik sonuçlarının incelenmesi sonrası;

- Magnezyum yüzdeleri % 0,30 ve % 0,45 belirlenmişti. Sonuçlara bakıldığında % 0,30 Mg nun % 0,45 Mg a göre daha stabil bir yol izlediği görülmektedir.

- Solüsyona alma sıcaklıkları 525 °C, 535 °C ve 545 °C olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda 545 °C de en az çarpılma görülmüştür.
- Solüsyona alma süresi 4,6 ve 8 saat olarak tutulmuş ve deneyler sonucunda 6 yada 8 saat bize en az düzlemsel değişikliği vermiştir.
- Su verme öncesi bekleme süresi 10,15 ve 20 sn olarak belirlenmiş ve deneyler yapılmıştır. 15 ve 20 sn de en az düzlemsellik değişim olmuştur.
- Su verme sürecindeki su sıcaklığı 40°C, 60°C ve 80°C olarak belirlendi. Deneylerde 80 °C suda en az çarpılma oluşmuştur.
- Su verme sürecinde plakanın suda kalma süresi 3,5 ve 7 dakika olarak planlanmıştır. 3 dakika su vermede en az düzlemsellik değişim görülmüştür.

Yaşlandırma süreci deney sonuçları incelendiğinde, yaşlandırma sürecinin plakalar üzerindeki düzlemselliğe etkisinin çok etkin olmadığı gözlemlenmiştir.

Fakat deney sonuçları incelendiğinde, en iyi parametrelerin 10 ile 24 saat arasındaki yaşlandırma öncesi beklemede, 160 °C yaşlandırma sıcaklığında ve 2 saat yaşlandırmada alındığı gözlemlenmiştir.

Şekil 7.9 da yapılan çalışmada incelendiğinde, su verme sürecinde suya ilk giren ve fırına en yakın olan jantlarda en yüksek çarpılma olduğu gözlemlenmiştir. Nedeni ise, fırın duvarına yakın olan jantlar diğer jantlara göre daha yüksek ısıya sahiptir. Suyu ilk giren jantlar ise diğer jantlara göre daha düşük sıcaklıktaki suya girmektedirler. Çünkü jantlar suya girdikçe suyun sıcaklığı artmaktadır. Bu sonuçlara göre, çarpılmada çözeltiye almadan çok, su verme işleminin etkili olduğu ve kritik parametrelerin bunlar olduğu görülmüştür.

Ansys analizlerinde, düz plaka ve belli aralıkla oluk açılmış plakalar karşılaştırıldığında, oluklu plakların düz plakalara göre daha az yüzeysel değişim gösterdiği görülmektedir. İdeal parametrelerde yapılan deneyde yüzeysel değişim plakada 0,4435 mm ve oluklu plakada 0,42877 mm olarak oluşmuştur.

Tüm analizler incelendiğinde 4 nolu plakanın deneyler sırasında yüzeysel değişimi 0,4837 mm civarında olmuştur. Analizler sonucunda, 0,44387 mm ve diğer analizde 0,4291 mm değişim saptanmıştır. 26 nolu plaka ortam koşullarından dolayı büyük bir çarpılmaya maruz kalmıştı. Fakat analizler yapıldığında uygun bir ortamda 0,46798 mm ve 0,45029 mm olarak yüzeysel değişim gerçekleştirilmiştir. 15 nolu plakada deneyler sırasında minimum miktarda yüzeysel değişim gözlenmiştir. Analizler sonucunda 0,42813 mm ve 0,41527 mm değişimler görülmektedir.

Çalışmalar sonucunda sayısal çalışmaların fikir verebileceği fakat iç yapıda değişiklikleri analiz edememesi nedeniyle deneysel çalışmaların, sayısal çalışmalara göre öncelik taşıdığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Akhter, R., Ivanchev, L. ve Burger H.P. (October 26, 2006). Effect of pre/post T6 heat treatment on the mechanical properties of laser welded SSM cast A356 aluminium alloy. *Materials Science and Engineering A447* (2007) 192 - 196. Retrieved October 2007, [www.sciencedirect.com /](http://www.sciencedirect.com/)

Atlas Metallographique del'a ,(bt), S13/4

Askeland, D. R. , (1990). *The science and engineering of metarials*, 2. Edition, İstanbul, Chapman&Hall s.423.

Ammar, H. R. ve Samuel, A.M. (b.t). *Porasity and fatigue behavior of hypceuectic and hypereutectic aluminium – silicon casting alloys*.

Ammar, H. R. ve Samuel, A.M. (b.t). *Porasity and fatigue behavior of hypceuectic and hypereutectic aluminium – silicon casting alloys*.

Cavaliere, P., Cerri, E. ve Leo, P. (February 24, 2005). Effect of heat treatments on mechanical properties and damage evolution of thixoformed aluminium alloys. *Materials Characterization* 55 (2005) 35 -42. Retrieved November 2007, [www.sciencedirect.com /](http://www.sciencedirect.com/)

Chain, K., S., Jones, P. ve Wang, Q. (June 18, 2001). Fatigue crack growth and fracture paths in sand cast B319 and A356 aluminium alloys. *Materials Science and Engineering A341* (2003) 18 - 34. Retrieved November 2007, [www.sciencedirect.com /](http://www.sciencedirect.com/)

Demir, E. (2007) Jant üretim tezgahları ve araçları

Dövme alüminyum kamyon jantları, (b.t),

http://www.noregt.com/ee/images/uploads_noregt/Alcoa_gen_brochure_turkish02.pdf

European aluminium association and the university of liverpool partnership program, (n.d). [http:// aluminium.matter.org.uk](http://aluminium.matter.org.uk)

Estey, C., M., Cockcroft, S. I., Maijer D.M. ve Hermesmann C. (March 2, 2004). Constitutive behaviour of A356 during the quenching operation . *Materials Science and Engineering A383* (2004) 245 - 251. Retrieved September 2007, [www.sciencedirect.com /](http://www.sciencedirect.com/)

Geçkinli, L. F. (2002). *Alüminyum ve alaşımlarının ısıtıl işlemleri*, 2.ısıtıl işlem sempozyumu, İstanbul, TÜRKİYE, Şubat 07 - 08

Guzowski, M. M., Sigworth, G.K. ve Senter, D.A.(1987). *The role of Boron in the grain Refinement of aliminium with titanium*, metal transactions, 18A, 603-19.

Haghighi, R., Zoqui, E.J., Halvae, A. ve Emamy, M. (April 12, 2005). An investigation semi solid Al-7Si-0.3 Mg alloy produced by mechanical stirring. *Journal of materials processing technology* 169 (2005) 382-387. Retrieved October 2007, [www.sciencedirect.com /](http://www.sciencedirect.com/)

Kashap, K. T. ve Chandrashekar, T.(2001). *Effect and machanisms of grain refinement in aluminium Alloys*. Bull mater Indian Academy of Science Bangalore 24 / 4, 345-353.

Mondolfo, L. F. (1983). *Grain Rfinement in the casting of Non Ferrous Alloys, Garain Rfinement in casting and welds*. Metallurgical society of AIME 3-5.

Polmear, I. J. (1981). *Light metals*. E. Arnorld Publishers ,LONDON.

Shivukmar, S., Ricci, S., Steenhoff, B. ve Sigwort, G. (1989) *An Experimental study to optimize the heat treatment of A356 Alloy*, 93rd AFS Casting Congressi. AFS Texas 7-11 mayıs S 13-14.

Tash, M., W., Samuel, F. H., Doty H.W. ve Valtierra S. (June 26, 2006). Effect of metallurgical parameters on the machinability of heat-treated 356 and 319 aluminum alloys. *Materials Science and Engineering A434* (2006) 207 - 217. Retrieved September 2007, [www.sciencedirect.com /](http://www.sciencedirect.com/)

The Aluminium Association, (1988). *Aluminium Statistical Review*

The American Society for Testing and Materials (ASTM). B618-B108, ASTM B108.

Youn, S., W. ve Kang, C. G. (December 6, 2005). Characterization of age – hardening behavior of eutectic surface on rheo–cast A356-T5 alloy by using nano/micro-indentation, scratching and atomic force microscopy. *Materials Chemistry and Physics* 100 (2006) 117 - 123. Retrieved November 2007, [www.sciencedirect.com /](http://www.sciencedirect.com/)