

168036

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM-SİLİSYUM DÖKÜM ALAŞIMLARINDA
MİKRO POROZİTE OLUŞUMUNA ETKİ EDEN
FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer SAVAŞ

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

TEMMUZ 2005

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM-SİLİSYUM DÖKÜM
ALAŞIMLARINDA MİKRO POROZİTE
OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer SAVAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 27.6 / 2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr.Ramazan KAYIKCI
Jüri Başkanı


Prof.Dr.Fehim FINDIK
Jüri Üyesi


Yrd.Doç.Dr.Semra BORAN
Jüri Üyesi

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda bana yardımcı olan danıőmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Ramazan KAYIKCI'ya, deneysel çalışmalarda bana yardımlarını esirgemeyen ER DÖKÜM Makine Sanayi ve Ticaret A.Ő. ailesine, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ramazan YILMAZ'a bana katlanmak zorunda kalan ev arkadaşlarım Faruk VAROL, İbrahim KARATEPE ve Özman KON'a, komőularım Sabri ÖZBİLGİÇ ve Fatih YÜKSEL'e, sevgili arkadaşım İbrahim ARDA'ya teşekkür ederim.

Sonsuz őefkatini ve emeğini hiçbir zaman üzerimden eksik etmeyen canımdan çok sevdiğim aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER İSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....	3
2.1.1. Dövme alüminyum ve alüminyum alaşımları.....	5
2.1.2. Döküm alüminyum alaşımları.....	6
2.1.3. A360 döküm alaşım özellikleri.....	9
2.2. Al-Si Döküm Alaşımlarında Porozite.....	10
2.2.1. Al-Si alaşımlarının dökümünde porozite formları.....	10
2.2.1.1. Gaz porozitesi.....	11
2.2.1.2. Çekmeye bağlı porozite.....	12
2.2.1.3. Her ikisinin de etkili olduğu porozite.....	12
2.2.2. Al-Si alaşımlarının dökümünde porozite oluşumu etkileyen parametreler.....	13
2.2.2.1. Sıvı alaşım içerisinde çözülmüş hidrojen oranı.....	13
2.2.2.2. Isıl koşullar.....	15
2.2.2.3. Sıvı metalin temizliği, kimyasal bileşimi ve sıvı metale yapılan işlemler.....	15

2.3. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu.....	18
2.3.1. Ortogonal diziler.....	20
2.3.2. Sinyal / gürültü oranı.....	21
2.3.3. Etkileşimler.....	22
2.3.4. Varyans analizi.....	23
2.3.4.1. Kareler toplamı (varyasyon).....	24
2.3.4.2. Serbestlik derecesi.....	24
2.3.4.3. Varyans.....	25
2.3.4.4. F testi.....	26
2.3.4.5. Faktörlerin toplam değişime etkilerinin yüzdesi.....	27

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28
3.1. Dökümlerin Yapılması.....	28
3.1.1. Döküm resmi ve deney tasarımı.....	28
3.1.2. Ergitme ve döküm.....	30
3.2. Döküm Parçalarda Mikro Porozite Ölçümü.....	34
3.2.1. Arşimet metoduna göre porozite ölçümü.....	34
3.2.2. Mikro yapı üzerinden porozite ölçümü.....	35

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR.....	42
4.1. Dökümlerin Porozite Oranları.....	42
4.2. Faktörlerin Etkilerinin Ortaya Konulması.....	44
4.2.1. Deneylerin sinyal / gürültü oranları.....	44
4.2.2. Deneylerin sinyal / gürültü oranlarının varyans analizleri.....	46
4.2.3. Doğrulama Deneyi.....	47
4.2.4. Faktörlerin toplam değişime etkileri.....	48
4.3. Sonuçların Karşılaştırılması.....	49
4.4. Ölçme İşleminin Kontrolü	53
4.4.1. Aynı yüzeyden alınan mikro yapı resimlerinin karşılaştırılması.....	53
4.4.2. Gözlem değerinin mikro yapı üzerinden tekrar ölçülmesi.....	54
4.4.3. Gözlem değerlerinin karşılaştırılması.....	55

BÖLÜM 5.	
GENEL SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	62



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A_i	: A_i seviyesindeki gözlemlerin toplamı
\bar{A}_i	: A_i seviyesi altındaki gözlemlerin ortalaması
ASL	: Alt spesifikasyon limiti
ANOVA	: Varyans Analizi
FA	: A değerine ait F değeri
K	: Spesifikasyon limitlerine ve genişliğine bağlı bir katsayı
k_A	: A faktörünün seviyelerinin sayısı
k_1	: Kalite kayıp katsayıları
L	: Belirli bir y değeri için oluşan kayıp
m	: Spesifikasyonun nominal değeri
n	: Gözlem sayısı
T	: Tüm gözlemlerin toplamı
n_e	: Eski değerlerin ölçülen örnek sayısı
n_y	: Yeni değerlerin ölçülen örnek sayısı
N	: Gözlemlerin toplam sayısı
n_A	: A_i seviyesi altındaki gözlem sayısı
n_i	: i. yanıtın tekrar sayısı
SS	: Kareler toplamı
SS_A	: A faktörüne ait kareler toplamı
SS_e	: Hata kareler toplamı
SS_T	: Toplam kareler toplamı
SIN	: Sinyal Gürültü oranı
S^2	: Gözlem değerlerinin varansı
s_y^2	: Yeni değerlerin varyansı
ÜSL	: Üst spesifikasyon limiti
v	: Serbestlik derecesi
v_A	: A faktörünün serbestlik derecesi

v_e	: Hata serbestlik derecesi
v_T	: Toplam serbestlik derecesi
V	: Varyans
V_A	: A faktörünün varyansı
V_e	: Hata varyansı
y_i	: Performans karakteristiğinin i. gözlem değeri
\bar{y}	: Gözlem değerlerinin ortalaması
y	: Gözlem, sonuç
P	: Faktörün toplam değişime etkisi
SS_{ep}	: Pooling varyasyonu
v_{ep}	: Pooling serbestlik derecesi
V_{ep}	: Pooling varyansı



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Tipik bir gaz porozitesi	11
Şekil 2.2 Tipik bir çekme porozitesi.....	11
Şekil 2.3 Salkımlı yapı ve iki boyutlu görünüşü	12
Şekil 2.4 a-Azot gazı ile yıkanmamış sıvı Al b- Azot gazı ile yıkanmış sıvı Al.....	14
Şekil 2.5 a-Yüzey türbülansı ile çift film oluşum mekanizmasının şematik gösterimi b-çift film çevresinde dendritlerin oluşması, c- çift film içersine hidrojen dolması ile yanlara açılma ve d-oluşan porozitenin katılaşma süresince üç boyutlu büyümesi.....	16
Şekil 2.6 Tipik mikro yapı a- Modifiye edilmemiş b- Sr ile modifiye edilmiş c- Sb ile modifiye edilmiş.....	17
Şekil 2.7 Kayıp Fonksiyon Eğrisi.....	18
Şekil 2.8 a- En küçük en iyi b- En büyük en iyi.....	19
Şekil 2.9 a- Etkileşimli Durum Grafiği b- Etkileşimsiz Durum Grafiği.....	23
Şekil 3.1. Döküm modelinin görünüş resimleri.....	28
Şekil 3.2 Yolluk sisteminin teknik resmi a- laminer akış rejimi için b- türbülanslı akış rejimi için yolluk sistemi.....	29
Şekil 3.4 Döküm resmi.....	32
Şekil 3.5 10 ppi'lik alümina seramik köpük filtreler	33
Şekil 3.6 RPT testi a- yüksek gazlı sıvı metal b- gazı giderilmiş sıvı metal	

c- modifiye edici ilave edilmiş sıvı metal	
d-tekrar gazlandırılmış sıvı metal örneği.....	34
Şekil 3.7 Döküm üzerinde numunelerin alındığı bölgeler.....	35
Şekil 3.8 38x46 hücreden oluşan Excel çalışma sayfası.....	36
Şekil 3.9 Resmin ölçeğe yerleştirilmesi.....	37
Şekil 3.10 Resim üzerindeki porozitelerin saydamlaştırılması.....	38
Şekil 3.11 % Porozite hesaplama sayfası.....	39
Şekil 3.12 Kare sayım yöntemi ile porozite ölçümüne bir örnek.....	40
Şekil 3.13 Photoshop programı ile porozite ölçümüne bir örnek.....	41
Şekil 4.1 Deney numunelerinin farklı seviyelerinden ölçülen % porozite oranları (gözlem değerleri).....	44
Şekil 4.2 Faktörlerin seviyeleri ve S/N oranlarına.....	46
Şekil 4.3 Faktörlerin toplam değişimdeki katkı payı.....	49
Şekil 4.4 Faktör seviyelerine göre dökümlerin farklı kesitlerinden ölçülen ortalama porozite oranları.....	50
Şekil 4.5 Deneylerden ve bilgisayardan alınana sıcaklık eğrileri.....	51
Şekil 4.6 Yoğunluktan faydalanılarak ölçülen % porozite değerlerinin kademelere göre ortalamaları.....	51
Şekil 4.7 Modifiye edilmemiş alaşımdan dökülen bir numuneden alınmış tipik bir mikro yapı.....	52
Şekil 4.8 % 0,2 Sr ilavesi ile modifiye edilmiş alaşımdan dökülen bir numuneden alınmış tipik bir mikro yapı.....	53

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Alüminyumun diğer metallerle karşılaştırılması.....	4
Tablo 2.2 Alüminyum Birliği standartlarına göre dövme alüminyum alaşımının simgelendirilmesi.....	5
Tablo 2.3 Alüminyum Birliği standartlarına göre döküm alüminyum alaşımının simgelendirilmesi.....	6
Tablo 2.4 Alüminyum döküm alaşımının kimyasal analizleri.....	7
Tablo 2.5 Alüminyum döküm alaşım standartlarının uluslararası karşılığı.....	8
Tablo 2.6 A360 alaşımının mekanik özellikleri.....	9
Tablo 2.7 A360 alaşımının termal özellikleri.....	9
Tablo 2.8 Alüminyum dökümlerde kullanılan seramik filtrelerin ebatları.....	16
Tablo 2.9 Kayıp Fonksiyonu Tipleri.....	19
Tablo 2.10 Ortogonal dizilerden L ₄ ve L ₉	20
Tablo 2.11 a- Etkileşimli Durum b- Etkileşimsiz Durum.....	23
Tablo 3.1 Faktörler ve seviyeleri.....	30
Tablo 3.2 Döküm deney planına göre faktörler ve seviyeleri.....	30
Tablo 3.3 Modifiye edilmemiş A360 alaşımının kimyasal bileşimi.....	31
Tablo 3.4 Modifiye edilmiş A360 alaşımının kimyasal bileşimi.....	31
Tablo 4.1 Arşimet metodu ve mikro yapı üzerinden ölçülen % porozite.....	43
Tablo 4.2 Deneylerin gözlem değerleri, ortalama ve Sinyal/Gürültü (S/N) Oranları.....	45
Tablo 4.3 Faktör seviyelerinin ortalama S/N değerleri.....	45
Tablo 4.4 S/G – değerleri ANOVA Tablosu.....	47
Tablo 4.5 Resimlerin gözlem değerleri ve ANOVA Tablosu.....	54
Tablo 4.6 Excel yardımı ile tekrarlanan ölçümlerin gözlem değerleri ve ANOVA Tablosu.....	55
Tablo 4.7 Gözlem değerleri ve ANOVA Tablosu verilmiştir.....	56

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Alaşımaları, Alüminyum Dökümleri, Mikro Porozite.

Alüminyum-Silisyum alaşımaları hafiflik, yüksek korozyon direnci, yüksek mukavemet, yüksek ısı iletkenliği ve düşük ısıl genleşme özelliklerinden dolayı genellikle otomotiv parçalarının dökümünde kullanılmaktadır. Bu alaşımların dökümünde karşılaşılan en büyük problem mikro porozite oluşumudur. Mikro porozite Al-Si alaşımlarının sünekliği ve yorulma direnci üzerinde kötü etkilere sahiptir.

Bu çalışmada Al-Si alaşımlarının dökümünde mikro porozite oluşumu incelenmiştir. Etial 171 (A360) alaşımı ile kum kalıba yapılan dökümlerde beş ayrı faktörün mikro porozite oluşumu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Döküm deneylerinin tasarımında “Taguchi Tekniği” kullanılmıştır. Metalografi, görüntü analizleri ve bilgisayar ortamında mikro porozite modellemesi kullanılan diğer önemli tekniklerdir.

Sonuçlar kullanılan Al-Si alaşımında mikro porozite oluşumunun dökümlerin katılaşma hızına ve sıvı metaldeki çözünmüş hidrojen oranına bağlı olduğunu ve bu parametrelerin bilgisayar modellemelerinde doğru kullanılması durumunda büyük ölçüde doğru bir şekilde mikro porozite dağılımı tahminlerinin mümkün olduğunu göstermiştir.

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING MICROPOROSITY IN ALUMINIUM-SILICON CASTING ALLOYS

SUMMARY

Keywords: Aluminum Allays, Aluminum Casting, Micro Porosity.

Aluminum-Silicon alloys, due to their low weights, high corrosion resistance, high strength, high thermal conductivity and low thermal expansion, are known as automotive parts casting alloys. One of the major problem in casting these alloys is the microporosity formation. Microporosity has detrimental effects on fatigue resistance and ductility of Al-Si casting alloys.

In this study the effects of five different factors on the formation of microporosity is examined by sand casting an A360 alloy. Taguchi's experimental design techniques are used in designing casting experiments. Metallography, image analysis techniques and computer modelling of microporosity are also employed.

Results showed that for the A360 alloy investigated in the present work, microporosity formation is dependent on the cooling rate of the castings and the initial hydrogen level of the liquid alloy which imply that correct use of these parameters in computer modellings can provide highly accurate porosity estimations in the castings.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İçerisinde ana alaşım elementi olarak % 6-10 oranında silisyum ve az miktarlarda bakır, magnezyum ve demir bulunduran 3xx serisi alaşımlar endüstride genellikle otomotiv parçalarının döküm alaşımları olarak bilinmektedir. Bu alaşımlarının dökümünde kaçınılmaz bir problem olan mikro porozite oluşumu; çekme mukavemeti, süneklik (% uzama) ve basınç altında sızdırmazlık gibi önemli döküm parametreleri üzerinde kötü etkilere sahiptir.

Bilgisayar teknolojilerindeki hızlı ilerlemelere paralel olarak döküm mikro yapılarının modellenmesi günümüzde dökümhane şartlarında artan bir oranda kullanılmaktadır. Ne var ki bilgisayar modellemeleri ile tahmin edilen döküm mikro yapılarının özellikle mikro gözeneklilik açısından gerçek döküm koşulları ile tutarlı bir şekilde benzeştirilmesi zorunluluğu döküm parça tasarımcıları ve yüksek performanslı döküm üretimi yapma durumunda olan sektör sorumluları açısından konuyu daha da önemli hale getirmektedir.

Alüminyum-silisyum döküm alaşımlarında mikro porozite oluşumunu inceleyen bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen porozite oluşumunda etkili olan faktörler üzerinde tam bir mutabakat sağlanamadığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları mikro porozite oluşumu üzerinde sadece döküm ortamında ortaya çıkan soğuma şartların (katılaşma zamanı, soğuma hızı, alaşımın katılaşma aralığı vb.) etkili olduğunu öne sürerken bazıları hem ısıl şartların hem de sıvı metalin içinde çözünmüş olarak bulunan hidrojen (H) miktarının etkili olduğunu rapor etmektedir. Son zamanlarda bazı araştırmacılar ise alüminyum alaşımlarında porozite oluşumunu döküm sırasında türbilansların etkisi ile oluşan yüzey filmlerinin katlanması sonucunda ortaya çıkan ve çift film (bi-film) olarak isimlendirilen oksit filmlerinin neden olduğunu iddia etmektedir.

Bu çalışmada bütün bu faktörlerin mikro porozite oluşumuna olan etkileri deney tasarımında etkili ve ekonomik bir yöntem olan Taguchi deney tasarım metodu kullanılarak incelendi. Bölüm 2’de konu ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması verilerek Bölüm 3’te deneysel çalışmalar ve kullanılan teknikler detaylandırıldı. Elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ilişkin tartışma Bölüm 4’ te genel sonuçlar ise Bölüm 5’ te verildi.



BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum ve alüminyum alaşımları yoğunluğunun düşük olması, korozyon direncinin yüksek olması, mukavemetinin artırılabilir olması, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması, kolay biçimlendirilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı günümüz endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmuş metalik malzemelerdir. Alüminyum ve alüminyum alaşımları günlük yaşamımıza kadar girmiş ve ayrılmaz bir parçası olmuştur [10].

Alüminyum ve alüminyum alaşımları yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı kimya, otomotiv, gemi yapımı, gıda, taşıt yapımı, uçak yapım endüstrisi, makine ve cihaz yapımı alanlarında geniş kullanım alanına sahiptir [10].

Alüminyumun diğer metallerden ayıran en önemli özelliğinin özgül ağırlığının düşük olması, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olmasıdır. Tablo 2.1’de saf alüminyumun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve diğer metallerle karşılaştırılması gösterilmiştir [12].

Tablo 2.1 Alüminyumun diğer metallerle karşılaştırılması [12]

Özellik	Alüminyum	Demir	Nikel	Bakır	Titanyum
Kristal Kafes Yapısı	YMK	HMK	YMK	YMK	SPH
Yoğunluk (g/cm ³)	2,7	7,85	8,9	8,93	4,5
Ergime sıcaklığı (°C)	660	1536	1455	1083	1670
Özgül ısısı (J/kg K)	930	448	440	385	470
Isı iletkenliği (W/m K)	235	79,6	92,1	389,4	15,5
Isı genişleme katsayısı ($\Delta l/l \text{ } ^\circ\text{C}$)	$33,9 \times 10^{-6}$	12×10^{-6}	1×10^{-6}	$16,5 \times 10^{-6}$	$8,2 \times 10^{-6}$
Elektrik direnci ($\mu\Omega \text{ cm}$)	2,65	9,7	6,8	1,67	55
Elastik modülü E (N/mm ²)	$6,7 \times 10^6$	21×10^6	21×10^6	$12,4 \times 10^6$	$10,8 \times 10^6$
Maksimum çekme mukavemeti (N/mm ²)	65	235	300	210	245

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının mukavemet/yoğunluk oranının yüksek olması hafifliğe önem verilen yapılarda kullanımını artırmıştır. Elektrik iletkenliği/yoğunluk oranının tüm metallere göre yüksek olması yüksek gerilim hatlarında kullanımını artırmıştır [12].

Alüminyumun oksijene karşı ilgisi çok yüksektir alüminyum oksijenle karşılaştığında çok kısa sürede reaksiyona girerek Al₂O₃ bileşiği oluşturur. Al₂O₃ bileşiği Alüminyumun yüzeyinde ince, sert, mukavim ve yoğun bir film tabakası oluşturarak alüminyumun korozyon direncini artırmaktadır [10]. Bu özellik alüminyumun kullanım alanını genişletmiştir.

Alüminyum alaşımları saflık derecelerine göre sınıflandırılırlar. Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri içerisindeki Cu, Zn, Si, Mg, Fe ve Ti gibi alaşım elementlerinin etkisi ile yükselir. Alüminyuma çok az miktarda katılan bu alaşım elementleri alüminyumun yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısında yer alarak katı eriyik oluşturarak mukavemetini artırır. Alaşım elementinin yapı içerisinde miktarının artması ile mukavemet de artar fakat malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Bunun yanda alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri uygulanan şekil verme işlemi ile de büyük ölçüde artırılabilir. [10]

Endüstride kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılmaktadır[12].

2.1.1. Dövme alüminyum ve alüminyum alaşımları

Bu gruba giren alüminyum alaşımları Cu, Mg, Mn, S, ve Ni gibi elementler içerirler. Çoğu kez sürekli döküm yöntemi ile blok halinde elde edildikten sonra, homojenleştirme tavına tabi tutulurlar ve sonra haddeleme veya ekstrüzyon ile şekillendirilirler. Dövme alüminyum alaşımları 1954'te Alüminyum Birliği tarafından standartlaştırılmıştır. Tablo 2.2'de Alüminyum Birliği tarafından geliştirilen standardizasyona göre dövme alüminyum alaşımlarının simgesi ve ana alaşım elementleri gösterilmiştir [9].

Tablo 2.2. Alüminyum Birliği standartlarına göre dövme alüminyum alaşımlarının simgelendirilmesi

Alüminyum Birliği No.	Başlıca Alaşım Elementi
1 xxx	Min. %99,0 veya daha fazla alüminyum
2 xxx	Bakır
3 xxx	mangan
4 xxx	Silisyum
5 xxx	Magnezyum
6 xxx	Magnezyum ve Silisyum
7 xxx	Çinko
8 xxx	Diğer elementler
9 xxx	kullanılmayan seriler

1xxx, 3xxx ve 5xxx serisi dövme alüminyum alaşımları ısı işlem uygulanmayan türdedir ve yalnızca şekil değiştirme ile sertleştirilir. 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi dövme alüminyum alaşımları ısı işlemine tabi tutulabilir. 4xxx serisi alaşımlar hem ısı işlem hem de ısı işlemine tabi tutulmaz alaşımlardır. Isı işlemine tabi tutulan alaşımlarda en iyi mekanik özellik çökeltiye alma veya yapay yaşlandırma ısı işlemi ile elde edilmektedir [12].

2.1.2. Döküm alüminyum alaşımları

Alüminyum döküm alaşımlarının büyük çoğunluğunun alaşım elementi silisyumdur. % 11.7 Si içeren alaşım ötektik bileşimde olduğu için döküm özelliği oldukça iyidir. Kaynak kabiliyeti ve korozyon direnci oldukça iyidir. 1xxx serisi döküm alaşımının talaş kaldırma kabiliyeti iyidir. 5xxx serisi döküm alaşımının çökelme sertleşmesi ile sertleşme kabiliyeti ve deniz suyunda korozyon direncini iyidir. 2xxx, 3xxx, 4xxx ve 7xxx serisi döküm alaşımının ise ısıl işleme tabi tutulabilir alaşımlardır. Alüminyum döküm alaşımları genellikle şekil değiştirme ile sertleştirilmezler[12]. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi; 540 °C'de 6 saat, çözelti ısıl işlemi, 60 °C'lik su içerisinde su verme ve 155 °C'de 4 saat yaşlandırma ısıl işlemi ile gerçekleştirilir [4].

Tablo 2.3'de Alüminyum Birliği standartlarına göre döküm alüminyum alaşımlarının görülmektedir [12].

Tablo 2.3. Alüminyum Birliği standartlarına göre döküm alüminyum alaşımlarının simgelendirilmesi

Alüminyum Birliği No.	Başlıca Alaşım Elementi
1 xxx	Saf alüminyum (%99'dan daha fazla)
2 xxx	Bakır
3 xxx	Silisyum+bakır ve/veya Magnezyum
4 xxx	Silisyum
5 xxx	Magnezyum
6 xxx	Kullanılmayan seriler
7 xxx	Çinko
8 xxx	Kalay
9 xxx	Diğer elementler

Tablo 2.4'de Alüminyum döküm alaşımlarının kimyasal analizleri verilmiştir [23].

Tablo 2.4 Alüminyum döküm alaşımlarının kimyasal analizleri

	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Ni	Ti	Cr	Herbiri	Toplam
ETİAL-F1	0,15	0.66-0.99	0,35	-	-	-	-	-	-	0,05	0,66
ETİAL-0	0.05-0.15	0,7	0,25	0,06	-	-	-	0,05	-	0,05	0,15
ETİAL-3	0,05	0,6	0,35	0,06	0,05	-	-	-	-	0,05	0,15
ETİAL-5	0,05	0,4	0,25	0,05	-	-	-	0,05	-	0,03	0,1
ETİAL-6	0,04	0,3	0,2	0,05	-	-	-	0,04	-	0,03	0,1
ETİAL-7	0,03	0,25	0,15	0,04	-	-	-	0,03	-	0,03	0,1
ETİAL-8	0,03	0-15	0,1	0,03	-	-	-	0,02	-	0,02	
ETİAL-SE	-	0,4	0,15	-	-	-	-	-	-	0,02	0,1
ETİAL-GE	-	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	0,02	0,1
ETİAL-7E	-	0,25	0,1	-	-	-	-	-	-	0,02	0,1
ETİAL-20	5.0-6.0	0-70	0,4	0,3	-	-	-	-	-	0,05	0,15
ETİAL-21	3.9-5.0	0-70	0.5-1.0	0,25	0.4-1.2	0.2-0.8	-	0,15	-	0,05	0,15
ETİAL-22	3.5-1.5	0,7	0.2-0.8	0,25	0.4-1.0	0.40-0.8	-	0,15	0,1	0,05	0,15
ETİAL-24	3.8-4.9	0,5	0,5	0,25	0.30-0.9	1.2-1.8	-	-	0,1	0,05	0,15
ETİAL-30	0.05-0.20	0,7	0,6	0,1	1-0-1.5	0,1	-	-	-	0,05	0-15
ETİAL-31	0,25	0,7	0,3	0,25	1.0-1.5	1.8-1.3	-	-	-	0,05	0,15
ETİAL-33	0,1	0,7	0,5	0,2	0-9-1.5	0,3	-	0,1	0,1	0,05	0,15
ETİAL-35	0,3	0,7	0,6	0,4	0-3-0.8	0.2-0.8	-	0-10	0,2	0,05	0,15
ETİAL-43	1.6-2.6	0,5	0,4	6.8.8.0	0,2	2.6.3.4	-	0,2	0.18-0.35	0,05	0,15
ETİAL-44	1.2-2.0	0,5	0,4	5.1-6.1	0,3	2.1-2.9	-	0,2	0.18-0.25	0,05	0,15
ETİAL-50	0,2	0,7	0,3	0,25	0-2-0.7	0.5-1.1	-	-	0,1	0,05	0,25
ETİAL-51	0,2	0,7	0,3	0,25	0,1	1.1-1.8	-	-	0,1	0,05	0-15
ETİAL-52	0,1	0,3	0,2	-	0,1	2.2-2.8	-	-	0.15-0.35	0,05	0,15
ETİAL-53	0,05	0,4	0,3	0.2-0.6	0,05	2.7-3.7	-	0,2	0,3	0,05	0,15
ETİAL-54	0,15	0,5	0,4	0,15	0.10-0.50	1.7.2.4	-	0,15	0,15	0,05	0,15
ETİAL-60	0,1	0,3	0.3-0.7	0,1	0,2	0-4-0.9	-	0,1	0,05	0,05	0,15
ETİAL-61	0,1	0,4	0.7-1.3	0,1	0.4-0.8	0.4-0.8	-	0,1	0,2	0,05	0,15
ETİAL-64	0,03	0,2	0,65	0,05	-	0.55-0.65	-	-	0,5	0,05	0,15
ETİAL-65	0.15-0.40	0,7	0.40-0.80	0,25	0,15	0.80-1.20	-	0,15	0.04-0.35	0,05	0,15
ETİAL-98	0,1	0.6-1.0	0.5-0.9	0-10	0 10	0-05	-	0,08	0,05	0,05	0,15
ETİAL-110	2.0-4.0	0,8	4.0-6.0	0,2	0.2-0.6	0,15	0,3	0,2	-	0,05	0,15
ETİAL-120	0,1	0,5	4.5-6.0	0,1	0,2	0-10	0,1	0,2	-	0,05	0,15
ETİAL-140	0,1	0,6	11.5-13.5	0-10	0,4	0,1	0,1	-	-	0,05	0,15
ETİAL-141	0,2	1,1	11.5-13.5	0,1	0,3	0,2	0,1	0,15	Sn:0.05-Pb:0.1	0,05	0,15
ETİAL-145	0.8-1.5	0,6	11.0-13.0	0-2	0,2	0.8-1.3	0.8-1.3	0,1	-	0,05	0,15
ETİAL-150	1.75-2.50	1	11.0-13.0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,15	Sn:0.10-Pb:0-1	0,05	0,15
ETİAL-160	3.0-4.0	1	7.5-9.00	1	0.50	0,3	0,2	0,2	-	0,05	0,15
ETİAL-171	0-1	0,5	9.0-10-0	0,1	0.4-0.6	0.3-0.45	0,1	0,15	-	0,05	0,15
ETİAL-175	2-5-3-5	0,6	9.0-10.5	0,5	0,3	0.7-1.2	0,3	0,15	-	0,05	0,15
ETİAL-177	0,02	0,15	6.60-7.40	0,04	0,03	0.30-0.45	0,02	0.08-0.14	Sb:0.08-0.17	Pb:0.05, Sn:0.05	
ETİAL-178	2.80-3.20	0,4	5.0-5.5	0,5	0.10-0.20	0.05-0.10	0,3	0,15	Pb:0.10, Sn:0.05	-	
ETİAL-180	0.7-2-5	1	9.0-11.5	2	0,5	0,3	0,5	0,2	-	0,05	0,15
ETİAL-195	0,8	0,6	17.0-19.0	0,2	0-2	0,8	0.8-1.3	0,1	-	-	-
ETİAL-220	4.0-5.0	0,3	0,35	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	0,05	0-15
ETİAL-221	4.0-5.0	0,3	0,3	0,1	0,1	0,05	0,1	0.15-0.3	-	0,05	0-15

Tablo 2.5’de Alüminyum döküm alaşım standartlarının uluslar arası karşılığı verilmiştir [23].

Tablo 2.5 Alüminyum döküm alaşım standartlarının uluslar arası karşılığı

T.S.E	DIN	AA	N.F	ALCAN	UNI	B.S	C.S.A	ASTM	ISO	GOST
ETIAL-FI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETIAL-0	A199.0	AI99.0	1100	A45	D25	3567	1C	9900	1100	-
ETIAL-3	-	-	1030	A4	-	-	-	-	-	AD1
ETIAL-5	AI99.5	AI99.5	1050	A5	IS(15010)	4507	1B	9950	-	A1.A5
ETIAL-6	-	-	1060	A6	9950(16020)	-	-	9970	ER1060	A0,A6
ETIAL-7	AI99.7	AI99.7	1070	A7	99.70(99700)	P-AIP-99.7	L48	-	-	A7
ETIAL-8	AI99.8	AI99.8	1080	A8	99.8	P-AIP-99.8	1A	-	-	-
ETIAL-6E	-	E-AI99.5	EC	A5/L	C1S(15040)	-	1E	-	-	A1M
ETIAL-6E	-	E-AI99.6	EC	A6/L	B1S(16040)	-	1E	-	-	-
ETIAL-7E	-	E-AI99.7	EC	A6/L	16040	-	1E	-	-	-
ETIAL-20	-	AlCuSiPb	2011	A-U5PbBi	28S	PAICu5.5Pb	FC1	CB60	CB60A	-
ETIAL-21	AlCuSiMn	AlCuSiMn	2014	A-U4SG	26S	PAICu4.4SiMnMg	H15	-	2014	AK8
ETIAL-22	AlCuSiMn	AlCuMg	2017	A-U4G	17S	PAICu4MgMn	-	CM41	CM41A	1100
ETIAL-24	AlCuMg2	AlCuMg2	2024	A-U4G1	24S	PAICu4.5MgMn	L-97	CG42	2024	1160
ETIAL-30	AlMnCu	AlMnCu	3003	A-MI	D35	P-AIMn1.2Cu	N3	MC10	3003	AMts
ETIAL-31	AlMn1Mg1	AlMn1Mg1	3004	A-MIG	4S	P-AIMn1.2Mg	-	-	3004	Amts-2
ETIAL-33	AlMn	AlMn	3103	A-M	-	3568	N3	-	-	-
ETIAL-35	AlMn0.5Mg0.5	AlMn0.5Mg0.5	3105	N31	-	-	-	-	-	-
ETIAL-43	-	-	7178	-	6227	-	-	-	-	W96
ETIAL-44	AlZnMnCu1.5	AlZnMgCu1.5	7075	A-Z5Gu	76S	P-AlZn5.8MgCu	DDT5074A	ZG62	7075	W95A
ETIAL-50	-	AlMg	5005	A-G0.6	B57S	P-AlMg0.8	N41	B57S	G1B	AM91
ETIAL-51	-	-	5050	A-G1.5	A57S	P-AlMg1.5	-	A57S	ER50	-
ETIAL-52	Al-Mg2	AlMg2.5Cr	5052	A-G2.5C	57S	P-AlMg2.5	N4	GAZO	5052	1520
ETIAL-53	Al-Mg3	Al-Mg3	5154A	A-G3	C54S	P-AlMg3.5	N5	-	5154	1530
ETIAL-54	AlMg2Mn0.3	AlMg2Mn	5251	A-G2M	-	p-AlMg2Mn	L80	M57S	-	-
ETIAL-60	Al-MgSi	AlMgSi0.5	6063	A-GS	50S	P-AISi0.4Mg	H9	GS19	6063	1310
ETIAL-61	AlZiMg	AlMgSi	6351	A-SGM	B51S	P-AISi1MgMn	H30	SIG1L1P	-	1350
ETIAL-64	E-AlMgSi	E-AlMgSi	6463	A-GS/L	C50S	P-AISi0.5Wg	91-E	-	-	AI31
ETIAL-65	AlMgSiCu	AlMgSiCu	6061	6061	65S	P-AlMgSi1Cu	H-20	-	-	-
ETIAL-98	AlFeSi	AlFeSi	8011	-	-	-	-	-	-	-
ETIAL-110	Al-Si5Cu3	-	319	A-S5U3	117(42220)	-	LM4	SC53	BC640	AI6
ETIAL-120	Al-Si	Al-Si5	B443	-	123	GD-AISi5Fe	LM18	S5	S5A	AK
ETIAL-140	Al-Si12	G-AISM2	A413	A-Si13	160x	G-AISi13	LM6	-	A13	AKI2
ETIAL-141	Al-Si12Fe	GD-AISi12	413	A-S12	B160	A-S10G	LM20	S12P	S12C	AI2
ETIAL-145	-	-	A332	A-412UN	162	-	LM13	L2551	SN122A	AI30
ETIAL-150	-	-	-	-	-	GDAISM2Cu2Fe	-	-	-	-
ETIAL-160	Al-Si8Cu3Fe	G-AISi8Cu3	A380	A-S9U3A	C143	GAISi8Cu3Fe	LM24	L2630	380	-
ETIAL-171	Al-Si10Mg	G-AISi10Mg	A360	AS9GU	B150	GAISi9MnMg	-	-	360	AI4
ETIAL-175	-	-	Fe332	-	B143	-	LM26	-	SC103A	-
ETIAL-177	-	-	A357	-	-	-	-	C135	-	-
ETIAL-178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ETIAL-180	-	-	-	-	-	-	LM2	-	A03831	-
ETIAL-195	-	-	392,1	-	-	-	-	-	392	AKMN
ETIAL-220	G-AlCu4Si	G-AlCu4.5	-	-	225	GAICu4.5	L91	225	-	AI7
ETIAL-221	AlCu4Ti	G-AlCu4Ti	-	A-U50-T	226	G-AICu ii	LM11	226	-	-

Alüminyum döküm alaşımları modifiye edilmek sureti ile mekanik özellikleri artırılmaktadır. Modifiye edici olarak Na, Sb ve Sr elementleri kullanılmaktadır. Modifiye edici elementler döküm alaşımının mikro yapısında bulunan lamelli ötektik

silisyum yapısını fiber yapıya dönüştürerek alaşımın mukavemet ve % uzama değerini artırmaktadır [4], [22].

2.1.3. A360 döküm alaşım özellikleri

TSE standartlarında ETİAL 171 ve uluslar arası standartlarda (Aluminum Association) A360 alaşımına karşılık gelen günümüz endüstrisinde çok kullanılan bir döküm alaşımıdır. A360 alaşımının diğer bazı ulusal ve uluslar arası standartlarda UNS A1360; ISO R2147 AlSi10Mg; AAA360,0-F karşılık gelmektedir. A360 alaşımı esas alaşım elementi silisyumdur ve alaşım içerisinde % 9 ile % 10 arasında bulunur. İkinci olarak bulunan alaşım elementi magnezyumdur ve % 0,4 ile % 0,6 arasındadır[23], [24].

A360 döküm alaşımın yoğunluğu $2,68 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Elektrik direnci $4,6e-006 \text{ ohm-cm}$ 'dir. Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de A360 döküm alaşımının mekanik ve termal özellikleri verilmiştir [23] .

Tablo 2.6 A360 alaşımının mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	
Çekme Mukavemeti	317 Mpa
Akma Mukavemeti	165 Mpa
% Uzama	3,50%
Elastik Modul	71 Gpa

Tablo 2.7'A360 alaşımının termal özellikleri

Termal Özellikler	
Ergime Isısı	389 J/g
Isı Kapastesi	,963 J/g-°C
Termel İletkenlik	146 W/m-K
Solidus	557 °C
Liquidus	596 °C

A360 alaşımı ötektik alaşıma çok yakın olduğu için ergime sıcaklığı düşüktür ve dökümle şekillendirilmesi kolaydır [24], [23]

2.2. Al-Si Döküm Alaşımlarında Porozite

Yukarıdaki sayılan özellikler alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kullanım alanını genişletmiştir. Alüminyum dökümlerinde başlıca problemlerden biri olan porozite; mukavemet, % uzama (süneklik), yüksek basınç altında sızdırmazlık gibi alaşımın mekanik özelliklerini azaltmaktadır. Porozite bir çok dökümün hurdaya ayrılmasına neden olmakta ve alaşımın kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Kaliteli bir döküm oluşturabilmek için malzeme içerisinde boşluk ve oyuk olarak da tanımlanan mikro porozitenin mutlaka kontrol altına alınması gereklidir. Bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişme dökümlerde oluşan mikro porozitelerin modellenmesine imkan sağlamış ve her dökümcü için ortak problem olarak bilinen mikro porozite probleminin çözümüne katkıda bulunmaktadır. Bilgisayar ortamında mikro porozitenin modellenmesi ile oluşabilecek mikro porozite oranları önceden tahmin edilmekte ve dökümün üretim maliyeti azaltılmaktadır. Bilgisayar ortamında yapılan mikro porozite modellemesi ile tahmin edilen mikro porozite oranlarının tutarlılığı gerçek döküm koşullarının bilgisayar ortamına taşınması ile mümkün olmaktadır.

2.2.1. Al-Si alaşımlarının dökümünde porozite formları

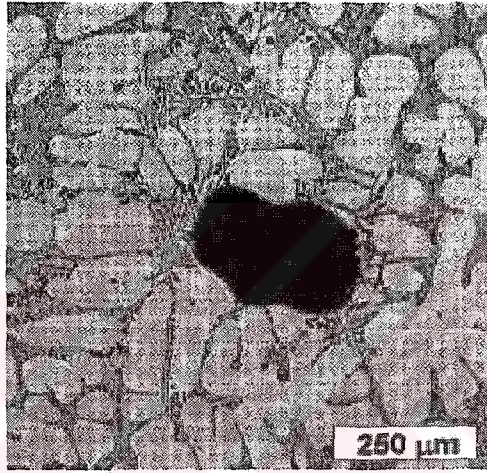
Dökümlerde ortak problem olarak bilinen mikro porozite; katılaşma sırasında yetersiz besleme nedeni ile oluşan çekme, sıvı metal içerisinde çözünmüş olan fazla hidrojen veya hem çekme hem de hidrojen gazının etkisi ile olmaktadır [2].

Bir çok araştırmacı alüminyum–silisyum döküm alaşımlarında üç tip mikro porozite formunun mevcut olduğunu rapor etmişlerdir [1], [11], [18], [19].

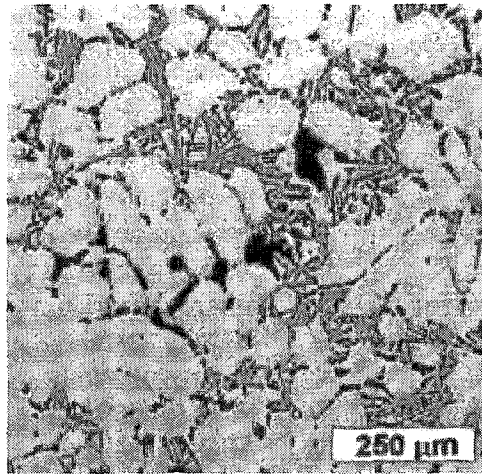
- i. Sıvı metal içersin de çözünmüş fazla hidrojenin neden olduğu gaz porozitesi.
- ii. Katılaşma sırasında dentiritik kollar arasında kalan sıvı bölgenin yeterince beslenememesinden kaynaklanan çekme porozitesi.
- iii. Her ikisinin de etkisi ile oluşan poroziteler.

2.2.1.1. Gaz porozitesi

Sıvı alüminyumun katı alüminyuma göre hidrojen çözünürlüğün fazla olmasına bağlı olarak katılaşma sırasında kararsız hale gelen elemental hidrojen gaz haline geçerek dentiritik kollar arasında kalan en son katılan bölgede hidrojen gaz boşluğu oluşturabilmektedir. Shabestari ve Shahri [4] gaz porozitesinin yuvarlak ve düzenli bir görünüme sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Şekil 2.1’de tipik gaz porozitesi gösterilmiştir [4].



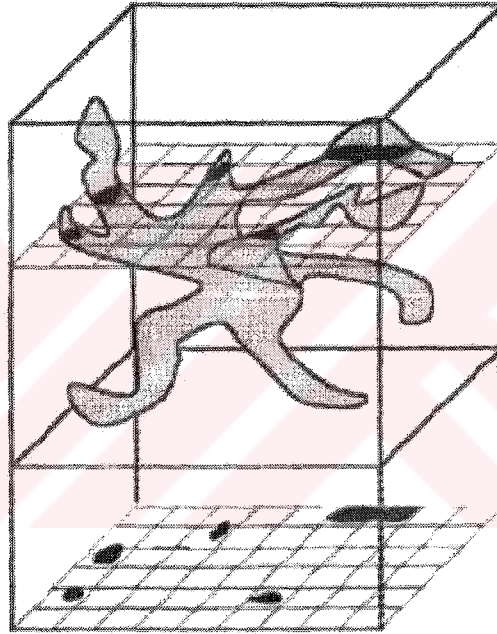
Şekil 2.1 Tipik bir gaz porozitesi [21]



Şekil 2.2 Tipik bir çekme porozitesi [21]

2.2.1.2. Çekmeye bağılı porozite

Geniş donma alanına sahip alaşımların katılaşma sırasında dendritik kollar arasında kalan sıvı fazın beslenememesi sonucunda oluşan çekmenin neden olduğu porozitedir. Shabestari ve Shahrı [21] çekme porozitesinin salkımlı bir yapıya sahip olduğunu dendritik kollar arasında düzensiz bir görünüme sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Şekil 2.3’de salkımlı yapının üç boyutlu görünüşü gösterilmiş şekil 2.2’te dendritik kollar arasında oluşan çekme porozitesine bir örnek gösterilmiştir [21].



Şekil 2.3 Salkımlı yapı ve iki boyutlu görünüşü [21]

2.2.1.3. Her ikisinde etkili olduğu porozite

Al-Si döküm alaşımlarında porozite çoğunlukla gaz ve çekme porozitelerinin etkisi ile olmaktadır. Dendritik kollar arasında porozite çekirdeklenmesi ve sonrada çekmenin bu çekirdeklenmeye etkisi ile olmaktadır [1].

Chiesa ve diğeri Chiesa ve Mammen [15], [5] Al-Si döküm alaşımların da mikro porozite oluşumuna sıvı metalin kalitesi ve dökümüm lokal ısıl şartların etkili olduğunu söylemişlerdir[15], [5].

2.2.2. Al-Si alaşımlarının dökümünde porozite oluşumu etkileyen parametreler

Al-Si döküm alaşımlarında porozite oluşumunun nedenlerini üç başlık altında toplamıştır bunlar; sıvı metal içerisinde çözünmüş hidrojen oranı, ısıl koşullar ve sıvı metalin temizliği, kimyasal bileşimi ve sıvı metale yapılan işlemlerdir.

2.2.2.1. Sıvı alaşım içerisinde çözünmüş hidrojen oranı

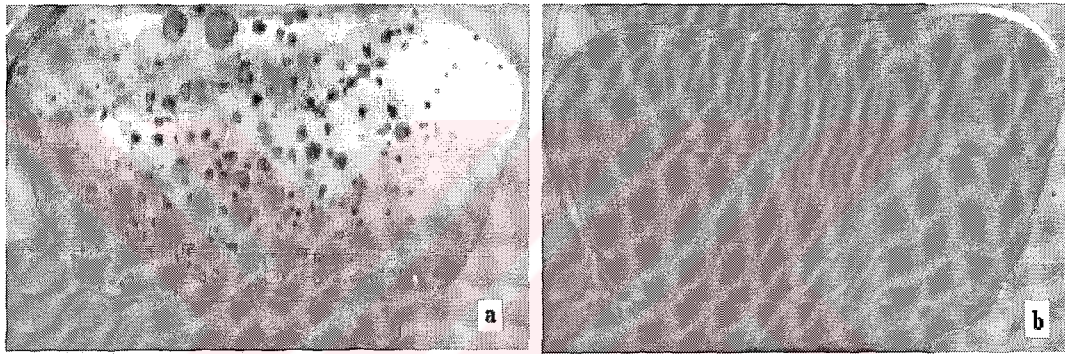
Sıvı metal içerisinde çözünmüş hidrojenin porozite oluşumuna neden olduğunu Mulazımoğlu, Handiak ve Gruzleski [13] rapor etmiştir. Sıvı metal içerisinde çözünmüş fazla hidrojen katılma sırasında bir araya gelerek ($2H \rightarrow H_2$) reaksiyonu sonucunda H_2 gazı oluşturmaktadır [13]. Sıvı metal içerisinde bulunan hidrojenin kaynağı dökümhane ortamında bulunan nem ve nem içeren takımların kullanımınıdır. Sıvı metal içerisindeki hidrojen oranını tespit etmeye yönelik birkaç test yöntemi mevcuttur. Bunlar içerisinde en meşhur olanı “düşürülmüş basınç testi” PRT (the reduced pressure test) veya “straube pfeiffer test” yöntemidir. RPT testi basit, hızlı ve ekonomik bir test yöntemidir. RPT yönteminde yaklaşık 70g’lık bir sıvı alaşım demir bir potaya alındıktan sonra -76 Hg basınç altında (vakum altında) katılaştırılıp, yoğunluğu bulunduktan sonra aşağıdaki denklem uygulanarak hidrojen oranı hesaplanmaktadır [13].

$$Ml \ H_2 / 100 \ gr \ Al = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_2}{T_1} \times \left(\frac{1}{D_s} - \frac{1}{D_t} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Burada D_t ve D_s teorik ve gerçek yoğunluk, P_1 ve P_2 katılma basıncı (75 mm Hg) ve atmosfer basıncı (760 mm Hg), T_1 ve T_2 alaşımın solidus sıcaklığı (K) ve 273 °K [22].

Bir diğerk yöntem ise ‘‘Telegas Hidrojen Determinatörü’’ yöntemidir. Bu yöntem Sıvı metal içerisinde seramik problemler yardımı ile gönderilen azot gazının ısı iletkenliğinin ölçülmesi ile sıvı metal içerisindeki hidrojen miktarı belirlenmektedir. Mulazımoğlu, Handiak ve Gruzleski RPT ve Telegas yönteminin bir biri ile uyumlu olduğunu rapor etmişlerdir [13].

Dökümhane şartlarında sıvı metal içerisindeki hidrojen yüksek saflıktaki azot gazı ile uzaklaştırılabilmektedir. Şekil 2.4a ve Şekil 2.4b’de yüksek saflıktaki azot gazı ile yıkanmadan önce ve yıkanıldıktan sonra alınan RPT örnekleri gösterilmiştir [22].



Şekil 2.4a Azot gazı ile yıkanmamış sıvı Al alaşımından RPT test örneği

Şekil 2.4b Azot gazı ile yıkanmış sıvı Al alaşımından RPT test örneği

2.2.2.2. Isıl koşullar

Alüminyum silisyum döküm alaşımlarının termal parametrelerinin porozite oluşumuna etkisi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. En çok bilinen katılaşma parametreleri termal gradyan G , soğuma hızı R , local katılaşma zamanı t_s ve local katılaşma hızı V_s gelmektedir. Yaygın olarak bilinen kriter fonksiyonları çalışmaları yapan araştırmacıların baş harfleri ile aşağıda özetlenmiştir [2], [5], [11], [6], [8].

$$i. \quad NUS = G.R^{0.5} \quad (2.2)$$

$$ii. \quad LCC = G.T_s^{2/3}.V_s \quad (2.3)$$

$$iii. \quad KCC = G^{0.38}.V_s^{1.62} \quad (2.4)$$

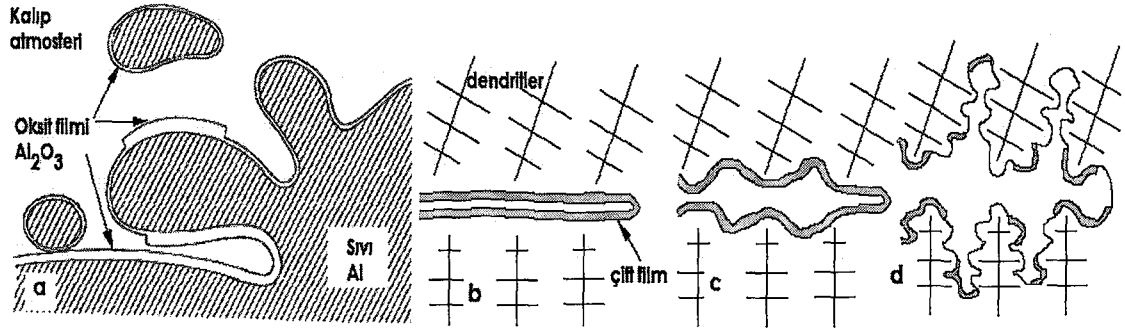
$$iv. \quad FCC = K . T_s^m . V_s^n \quad (2.5)$$

Döküm mikro yapılarını modellemek üzere kullanılan simülasyon programlarında yukarıdaki bazı kriterler kullanılmaktadır. Örneğin soldcast programında FCC kriteri dikkate alınarak porozite modellemesi yapılmaktadır [2].

2.2.2.3. Sıvı metalin temizliği, kimyasal bileşimi ve sıvı metale yapılan işlemler

Laslaz ve Laty [14] Alüminyum-Silisyum döküm alaşımlarında inklüzyonlar alaşımın mekanik özelliklerine olumsuz yönde etki ettiklerini rapor etmişlerdir[14]. Alüminyum alaşımlarının ergitilmesinde, döküm öncesi pota işlemlerinde ve bekletme sırasında oluşan başlıca inklüzyonlar şunlardır; alüminyum oksit (Al_2O_3 çökelmiş partiküller veya oksit filmleri şeklinde), alüminyum karbür (Al_4C_3), magnezyum oksit (MgO), spinel ($MgAl_2O_4$), titanyum diborat (TiB_2) alüminyum borat (AlB) ve titanyum alüminat ($TiAl_3$) [20].

Fuoco ve Correa [7] Alüminyum alaşımlarının dökümünde yanlış yolluk tasarımı sonucunda oluşan türbülansın (Şekil 2.5) döküm sırasında sıvı Al'nin atmosferle temasını artırarak oksitlenmeyi çoğalttığını ve oluşan oksitlerin sıvı Al'nin içerisine girmesine neden olduğunu rapor etmiştir [7]. Metal içerisine giren ince, asal, yoğun seramik esaslı oksit filmleri bi-filmlere neden olmaktadır. Inklüzyonların katılma sırasında porozitenin çekirdeklenebilmesi için uygun ortam sağladığına dair bulgular da rapor edilmiştir. Campbell döküm içersine giren oksit filmlerinin katlanması halinde bir birini ıslatmayan çift film (bi-film) tabakaları oluşturduğunu ve porozite çekirdeklenebilmesi ve büyümesinin ancak bu filmler arasında mümkün olabileceğini öne sürmektedir [16].



Şekil 2.5. a-Yüzey türbülansı ile çift film oluşum mekanizmasının şematik gösterimi, b-çift film çevresinde dendritlerin oluşması, c- çift film içersine hidrojen dolması ile yanlara açılma ve d-oluşan porozitenin katılaşma süresince üç boyutlu büyümesi [16].

Laslaz ve Laty [14] Dökümde filtre kullanımı ile porozite miktarının azaltılabileceğini rapor etmişlerdir[14]. Piyasada Filtreler üç farklı ebatta bulunmaktadır bunlar Tablo 2.8’de gösterilmiştir [22], [31].

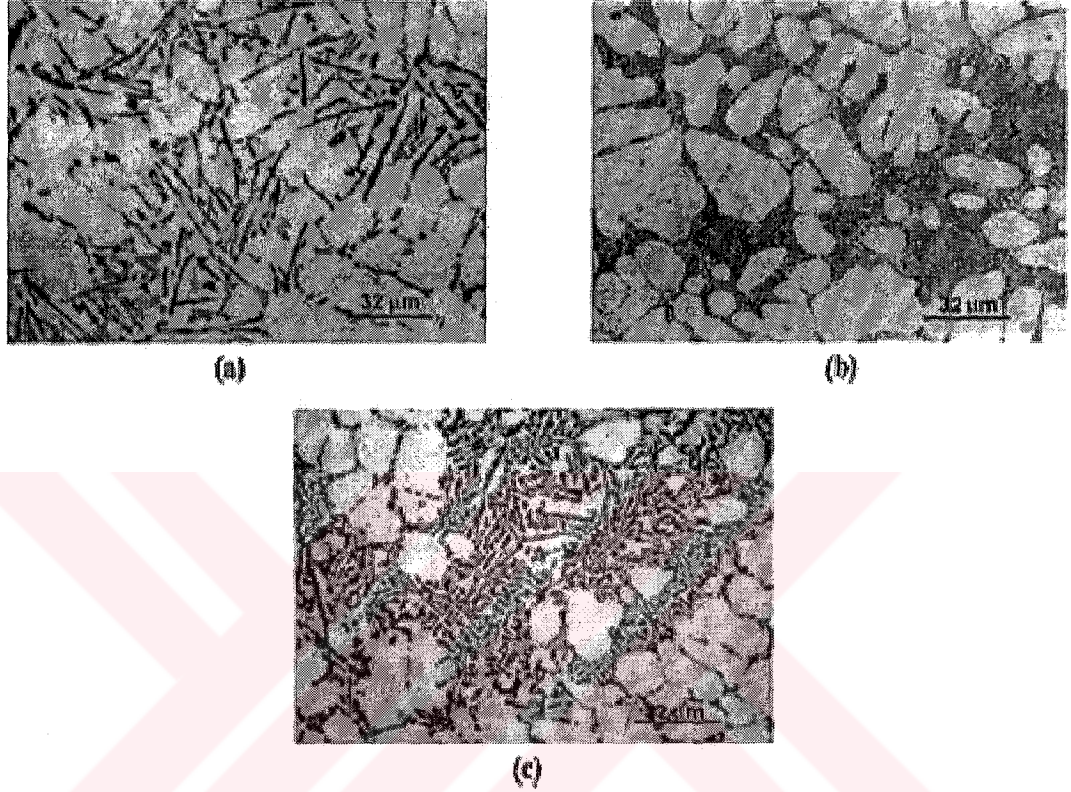
Tablo 2.8 Alüminyum dökümlerde kullanılan seramik filtrelerin ebatları

Filtre Boyutu		
(ppi)	(lb/in ²)	(kg/cm ²)
10	15	1,1
15	10	0,7
25	5	0,35

Filtreler, düşey yolluğun altına konulduğu gibi yatay yolluk üzerinde bir yere de konulabilir. Düşey yollukta laminer akımı sağlar, cürufun tutulmasına yardımcı olur. Filtre kesit alanı yolluk hesabındaki boyun kesit alanına eşit olmalıdır.

Jeong-Ho [3] Modifiye edicilerin dökümün mekanik özelliklerini artırdığını rapor etmiştir. Al-Si döküm alaşımlarında modifiye edici element olarak Sr, Na ve Sb elementleri kullanılmaktadır[3], [4], [18]. Shabesteri ve Shahrı [4] modifiye edicilerin alaşımın ötektik silisyum tanelerinin lamelli yapıdan fiberimsi hale

getirdiğini rapor etmişlerdir. Şekil 2.6a'da modifiye edilmemiş alaşımın Şekil 2.6b'de % 0,2 Sr ile modifiye edilmiş alaşımın, Şekil 2.6c'de % 0.2 Sb ile modifiye edilmiş alaşımın mikro yapı resmi görülmektedir [4].



Şekil 2.6 Tipik mikro yapı (a) Modifiye edilmemiş, (b) Sr ile modifiye edilmiş, (c) Sb ile modifiye edilmiş [4]

Şekil 2.6'de modifiye edicinin alaşımın mikro yapısına olan etkisi görülmektedir. Alaşımın Sr ile modifiye edilmesi lamalli ötektik silisyum tanelerini fiborumsu hale getirmiştir [4].

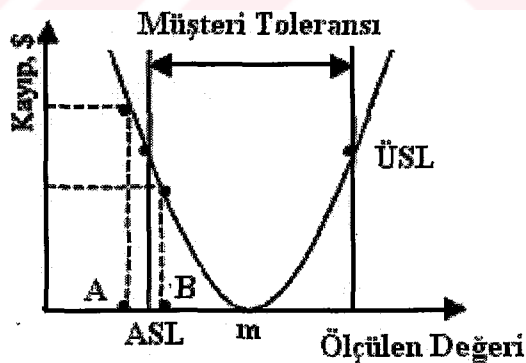
Birçok çalışma modifiye edicilerin alaşımın içerisindeki mikroporozitenin büyüklüğüne, dağılımına ve şekline etkide bulunduğunu rapor etmişlerdir. Modifiye edilmemiş yapılarda poroziteler küçük düzensiz ve interdentiritik bölgelerde salkımlı şekilde iken modifiye edilmiş yapıda porozite daha çok yuvarlak ve interdentiritik bölgelerde olduğunu rapor etmişlerdir [18], [17].

2.3. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu

Taguchi metodu ürün ve üretim performansını geliştirmek için kullanılan bir tekniktir. Deneyin optimizasyonu için güçlü bir araçtır. Taguchi deney metodu sisteme etki eden proseslerin saptanmasını ve bunların optimize edilmesini sağlamaktadır. Sistemin kalite kaybına neden olan etkenleri ortaya konmaktadır. Taguchi, kalite kaybını kayıp fonksiyon olarak tanımlamış ve aşağıdaki formülle açıklamıştır [26].

$$L = k(y-m)^2 \quad (2.6)$$

Yukarıdaki formül, en kolay bir kayıp fonksiyon hesap edilmesine yarayan bir formüldür. Taguchi kayıp fonksiyonu proseste görülen değişkenliği ölçmektedir. Şekil 2.7’de görülen kayıp fonksiyonunun da ASL, alt spesifikasyon limiti ve ÜSL’de üst spesifikasyon limitini göstermektedir. Değerler nominal değere yakın olduğu sürece bir maliyet oluşturmaz. Nominal değerden uzaklaştıkça maliyetler artar ve limit değere gelindiğinde ayarlama maliyetine eşit olur [26].



Şekil 2.7 Kayıp Fonksiyon Eğrisi [28], [26]

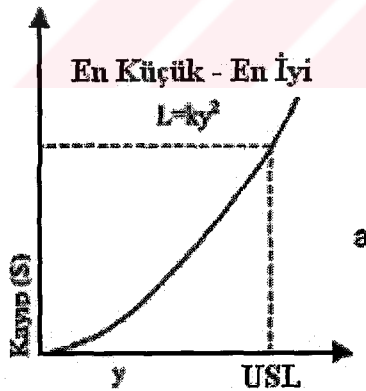
Toplam maliyetin azaltılabilmesi için performans karakteristiğinin nominal değer etrafında tutulması gerekir [26].

Taguchi kayıp fonksiyonunu üçe ayırmaktadır. Tablo 2.9' kayıp fonksiyonlarının denklemleri verilmiştir. Şekil 2.8a ve Şekil 2.8b'de ise kayıp fonksiyonlarının grafikleri verilmiştir [25].

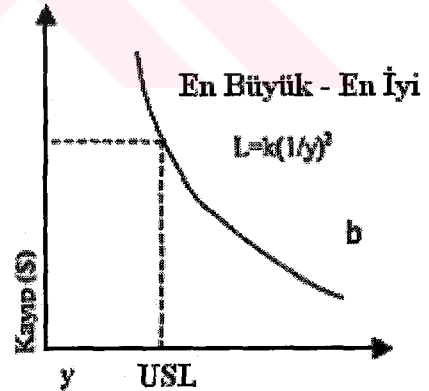
Tablo 2.9 Kayıp Fonksiyonu Tipleri [28], [27], [29], [25], [26]

Karakteristik Tipi	Kayıp
En yüksek - en iyi	$k (1 / y)^2$
Nominal - en iyi	$k (y - m)^2$
En düşük - en iyi	$k (y)^2$

En küçük - en iyi karakteristiğine iyi bir örnek, bir lokantada siparişinizin teslim edilmesi için beklenen zamandır. İşlenmiş bir yüzeyin cilası, sürtünme kaybı veya eskitme de en küçük - en iyinin örnekleridir. Etkinlik, en büyük direnç veya yakıt tasarrufu da en yüksek - en iyinin örnekleridir. En küçük - en iyi karakteristiği için kayıp fonksiyonu Şekil 3.2a' da gösterilmiştir. En büyük - en iyi karakteristiği için kayıp fonksiyonu da Şekil 3.2b' de gösterilmiştir [26],[25].



Şekil 2.8a En küçük en iyi



Şekil 2.8b En büyük en iyi

2.3.1. Ortogonal diziler

Taguchi çok sayıda deneysel durumu ifade etmek için otogonal diziler oluşturmuştur. Otogonal deney planının da faktörleri teker teker değiştirerek deney yapmak yerine faktörlerin eşzamanlı değiştirerek deney yapma imkanı sağlamıştır. Örneğin 5 faktörlü 2 seviyeli bir deney için $2^5=32$ tane deney yapılması gerekli iken Taguchi'nin geliştirdiği otogonal deney planında 8 tane yeterlidir. Otogonal deney planında karşılıklı etkileşimlerde ifade edile bilmektedir [26].

Taguchi'nin geliştirmiş olduğu otogonal dizilerden en çok 2, 3 ve 4 faktör seviyeleri için geliştirdiği otogonal diziler kullanılmaktadır. Bir takım metotlar kullanılarak daha fazla seviye faktöre sahip otogonal diziler kullanmak mümkündür [26], [25].

Tablo 2.10 Ortogonal dizilerden L_4 ve L_9 [26]

Deneme No	Sütun No			Deneme No	Sütun No			
	1	2	3		1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	1	2	2	2
3	2	1	2	3	1	3	3	3
4	2	2	1	4	2	1	2	3
				5	2	2	3	1
				6	2	3	1	2
				7	3	1	3	2
				8	3	2	1	3
				9	3	3	2	1

L_4 L_9

L_4 , L_8 , L_{16} ve en çok kullanılan 2 seviyeli otogonal dizilere örnektir. Burada 4, 8, 16 ve 32 sayılan deneme sayısını göstermektedir. Tablo 2.10' de 4 denemeden oluşan 2 seviyeli L_4 ve 9 denemeden oluşan 3 seviyeli L_9 dizileri görülmektedir. L_9 , L_{18} ve L_{27} otogonal dizileri üç seviyeli otogonal dizilere örnektir [26].

2.3.2. Sinyal / gürültü oranı

Kontrol altına alınamayan faktörlerin performans karakteristiği üzerine etkisi olarak tarif edilmektedir. S/N oranına performans ölçütü olarak düşümlülebilir. Ürün veya prosesin kalitesi tanımlanabilir. Kayıp fonksiyonu içeriğinde olduğu gibi, S/N-oranı kalitenin ortalama değer ve varyansın göz önünde tutularak objektif bir değerlendirme ölçütüdür [25]. Taguchi, kayıp fonksiyonun daha önce belirtilen tipleri ile ilişkili olarak 3 tane S/N oranı geliştirmiştir [27], [29], [25], [26], [32]

- 1- En büyük en iyi (Larger the better)
- 2- En küçük en iyi (Smaller the better)
- 3- Nominal en iyisi (Nominal the best)

Performans karakteristiğinin en düşük - en iyi olduğu durumda

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (2.7)$$

En yüksek - en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (2.8)$$

Nominal - en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{y_i - \bar{y}}{s^2}\right) \quad (2.9)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.10)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.11)$$

S/N oranı çok sayıda tekrarı tek bir değerde ifade etmeye yaramaktadır. Örneğin bir deney için bir yüzeyden 10 tane sertlik değeri alınmış ise yapılan bu ölçüm tek bir S/N oranı ile ifade edilmektedir. Daha güvenilir bilgi vermektedir Taguchi deneylerinde S/N oranlarının kullanılması tavsiye etmiştir[26], [25].

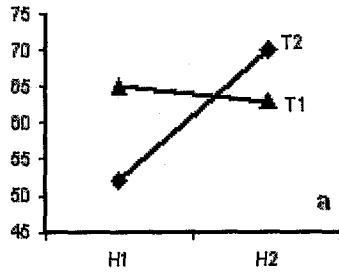
S/N oranları gürültü faktörleriyle neden olunan sistem yanıtındaki değişkenliği gösterir, S/N oranı ortalamanın düzeltilmesinden bağımsızdır, S/N oranı nispi kaliteyi ölçer, ürün kalitesinde pek çok faktörün etkileri analiz edildiği zaman kontrol faktörleri etkileşimi gibi gereksiz karmaşıklıklara neden olmaz [26].

2.3.3. Etkileşimler

İki faktörün etkileşimli olması. Faktörlerin birinin etkisinin diğerine bağlı olmasıdır. Sistemde A faktörünün etkisini B faktörünün azaltması durumu olarak düşünülebilir. Taguchi deney planında A x B karşılıklı ilişkisi olarak ifade edilir. Örneğin havanın sıcak olması insan rahatlığı açısından fazla etki göstermez fakat havanın hem sıcak ve hem de nemli olması insan rahatlığı açısından önemli etkiye sahip olur. yani havadaki nem sıcaklığın etkisini artırmıştır [26].

Tablo 2.11a Etkileşimli Durum

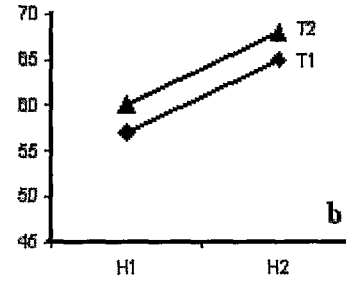
	T1	T2	Toplam
H1	57	65	122
H2	60	68	128
Toplam	117	133	250



Şekil 2.9a Etkileşimli Durum Grafiği

Tablo 2.11b Etkileşimsiz Durum

	T1	T2	Toplam
H1	52	70	122
H2	65	63	128
Toplam	117	133	250



Şekil 2.9b Etkileşimsiz Durum Grafiği [26]

Karşılıklı etkileşimleri önceden görmek imkansızdır. Önceden yapılan deneyler anlaşılabilir. Eğer sistemde karşılıklı etkileşimlere yer verilecekse faktörlerin yanında karşılıklı etkileşimler içinde deney planında bir sütun atanmalıdır ve bu sütun bir faktör gibi hesaplara dahil edilmelidir [26].

2.3.4. Varyans analizi

Kaliteli bir ürün veya proses geliştirilmesi için ürünün veya prosesin performansına etkiyen faktörlerin belirlenmesi ve kontrol altına alınması gerekir. Deneylerin asıl amacı bu faktörlerin zararlı etkilerinin azaltılmasıdır. Deneysel verilerin yorumlanması varyans (ANOVA) analizleri istatistiksel metodu ile yapılmaktadır. Varyans analizi kareleri toplamı, serbestlik derecesi, karelerin ortalaması gibi matematiksel nicelikler kullanılmaktadır. Phillip J. Ross'a göre varyans analizi aşağıdaki gibi yapılmaktadır [27].

2.3.4.1. Kareler toplamı (varyasyon)

A ve B faktörleri arasında bir etkileşim mevcutsa Toplam varyasyon Denklem (2.12) gibi yazılır.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AXB} + SS_e \quad (2.12)$$

AxB, A ve B faktörlerinin karşılıklı etkileşimini gösterir.

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.13)$$

$$SS_A = \left[\sum_{l=1}^{K_A} \left(\frac{A_l^2}{n_{A_l}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.14)$$

hata varyasyonu tüm kareler toplamından faktörlerin ve karşılıklı etkileşimlerin çıkarılması ile hesaplanır.

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} \quad (2.15)$$

Ortogonal düzende sütunların toplam kareler toplamı SS_T 'yi verir.

$$SS_T = \sum SS_{SÖTUN} \quad (2.16)$$

2.3.4.2. Serbestlik derecesi

ANOVA hesaplarında bir diğer nicelikte serbestlik dereceleridir. Serbestlik dereceleri her faktörün seviye sayısının bir eksiğidir.

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğine eşittir.

$$v_T = N - 1 \quad (2.17)$$

Bir faktörün serbestlik derecesi faktörün seviye sayısının bir eksiğidir.

$$v_A = k_A - 1 \quad , \quad v_B = k_B - 1 \quad (2.18)$$

etkileşimlerin serbestlik dereceleri ise karşılıklı etkileşim içerisinde olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$v_{AXB} = (v_A)(v_B) \quad (2.19)$$

Hata serbestlik derecesi; toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri çıkartılması ile elde edilir.

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_{AXB} \quad (2.20)$$

2.3.4.3. Varyans

ANOVA tabloların da bir diğer nicelik ise varyanstır. Varyans; varyasyonun serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur. Hata varyansı ise hara varyasyonunu hata serbestlik derecesinin bölünmesi ile bulunur.

$$V_e = \frac{SS_e}{v_e} \quad (2.21)$$

faktörlerin varyansı ise faktörün varyasyonunu serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur. Aşağıda A faktörünün varyansı verilmiştir.

$$V_A = \frac{SS_A}{v_A} \quad (2.22)$$

2.3.4.4. F testi

F Test ile faktörlerin etkileri ortaya konmaktadır. F Test; değeri faktörün varyansının hata varyansına orandır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (2.23)$$

Her faktör için bulunan F test değerleri tablolardaki F tablo değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Eğer hesaplanan $F_{(test)}$ değeri tablolardaki $F_{(tablo)}$ değerinden büyük ise faktör proses ve ürün üzerinde etkiye sahiptir sonucu çıkarılır. Eğer hesaplanan F test değeri tablolardan alınan $F_{(tablo)}$ değerinden küçük olduğunda faktörün proses ve ürün üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varılır. Tablolarda ki $F_{(tablo)}$ değeri tablo üzerinde hatanın serbestlik derecesi ile faktörün serbestlik derecelerinin kesiştiği değerdir [27], [25].

Varyasyon analizlerinde kullanılan Pooling işlemi; etkisi az olan faktörlerin hata olarak kabul edilmesidir. Pooling olarak kabul edilen faktörlerin varyasyonu ve hata varyasyonunun toplanması ile V_{ep} (pooling varyasyonu) bulunur. Hata ve pooling yapılan faktörlerin serbestlik dereceleri toplanarak v_{ep} (pooling serbestlik) derecesi bulunur. Pooling varyasyonu ve pooling serbestlik derecesi oranlanarak V_{ep} (pooling varyansı) bulunur. Pooling varyansı; pooling yapılmayan faktörlerin varyansı ile oranlanarak her faktörün F test değeri hesaplanır. F test değerleri F tablo değerleri ile

karşılaştırılarak faktörlerin ürün veya ürün prosesine etkisinin olup olmadığına karar verilir [27], [25].

2.3.4.5. Faktörlerin toplam değişime etkilerinin yüzdesi

Faktörlerin toplam değişime olan etkilerinin hesaplanması için faktörlerin karelerinin sadeleştirilmesi gereklidir. Aşağıda A faktörü için kareleri toplamının sadeleştirme denklemi verilmiştir[27], [25].

$$SS'_A = SS_A - (V_e) (v_A) \text{ (A faktörü için)} \quad (2.24)$$

Faktörlerin toplam değişime yüzde olarak etkisi ise aşağıdaki denklem kullanılarak bulunmaktadır.

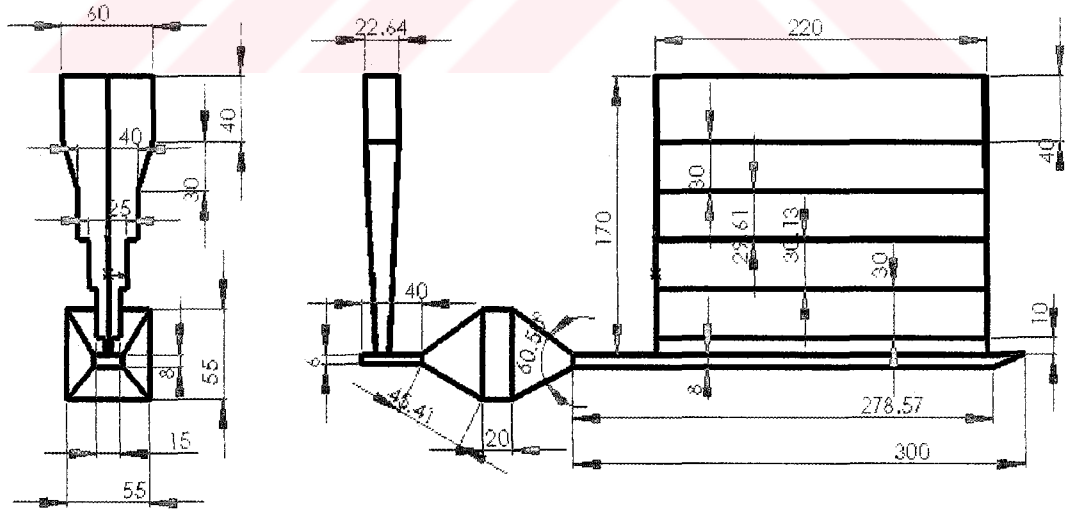
$$P = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \text{ (A faktörü için)} \quad (2.25)$$

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Dökümlerin Yapılması

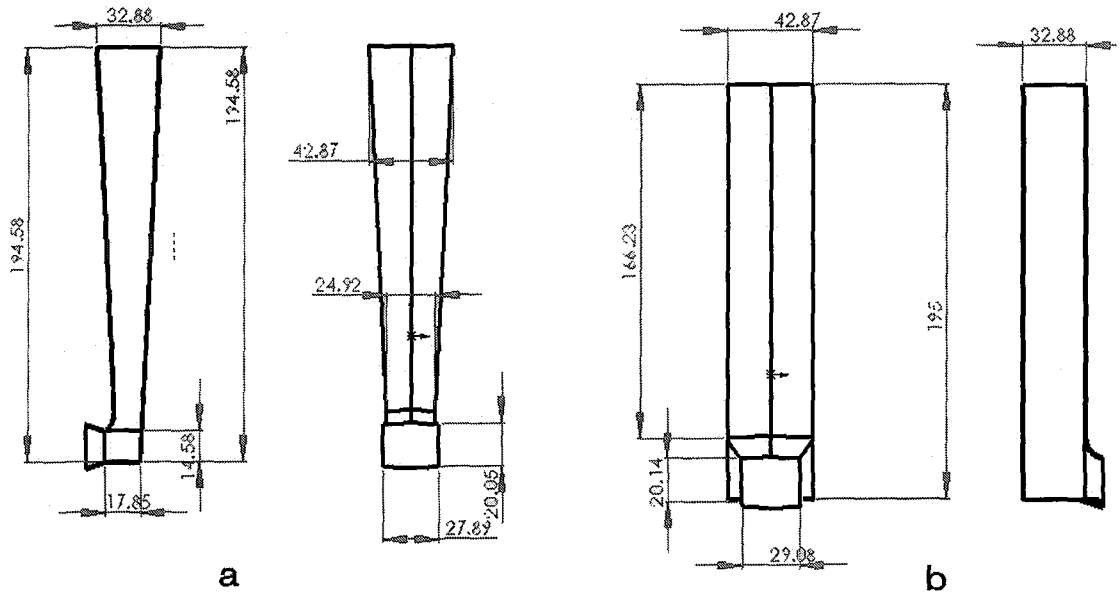
3.1.1. Döküm resmi ve deney tasarımı

Dökümler de kullanılan modelin ölçüleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Resmi verilen model farklı soğuma hızları oluşturabilmek için dört farklı kademeden oluşan kesitler içermektedir. Kalıp malzemesi olarak soydum silikat bağlayıcılı silis kumu kullanıldı ve CO₂ gazı ile sertleştirildi. Kalıbın en kalın kesite sahip olan üst kısmı atmosfere açık olarak dökülerek dökümün yeterli derecede beslenmesi sağlandı. Ayrıca bazı durumlarda düşey gidicinin hemen ön kısmına alümina seramik köpük filtre konmasını sağlamak üzere kalıpta uygun kesit ilave edildi.



Şekil 3.1. Döküm modelinin görüntü resimleri

Yolluk sistemi laminar ve türbilanslı akış rejimi sağlayabilmek üzere iki farklı şekilde hazırlandı. Yolluk sistemlerinin teknik resimleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Yolluk sisteminin teknik resmi a) laminer akış rejimi için b) türbülanslı akış rejimi için yolluk sistemi

Dökümlerden önce döküm içerisinde katılaşma sırasında beslemenin tam yapılabildiğinden emin olmak için (her hangi bir çekinti boşluğu oluşmaması için) SolidCast simülasyon programı ile gerekli analizler yapıldı. Ayrıca yolluk sisteminde laminer ve türbilanslı akış rejimleri de aynı simülasyon programının bir parçası olan FlowCast programı ile test edildi.

Yapılan literatür çalışmalarında porozite oluşumu üzerine etken faktörler araştırıldı. Bunlar içerisinde porozite oluşumuna en fazla etki ettiği düşünülen dökümün katılaşma hızı, sıvı metal içerisinde çözülmüş hidrojen oranı, döküş şekli, dökümde modifiye edici kullanımı ve dökümde filtre kullanımı deney tasarım faktörleri olarak alındı.

Porozite oluşumu üzerinde beş ayrı faktörün etkinlik derecelerinin ayrı ayrı incelenebilmesi için normal şartlarda en az 32 adet döküm yapılması gerekmektedir. Bunun çok fazla zaman kaybı ve maliyet oluşturmasından dolayı “Taguchi Deney Tasarım Yöntemi” olarak bilinen bir metot [8] ile yalnızca sekiz adet döküm yapmak

üzere deney tasarımı yapıldı. Buna göre beş ayrı faktör Tablo 3.1' de görüldüğü gibi iki farklı seviyede incelendi.

Tablo 3.1. Faktörler ve seviyeleri

FAKTÖRLER	SEVİYELER	
	1	2
A- MODİFİYE EDİCİ	YOK	VAR
B- HİDROJEN MİKTARI	DÜŞÜK	YÜKSEK
C- KATILAŞMA HIZI	YAVAŞ	HIZLI
D- FİLTRE	YOK	VAR
E- DÖKÜŞ ŞEKLİ	SAKİN	TÜRBÜLANSLI

Tablo 3.2. Döküm deney planına göre faktörler ve seviyeleri

Deney Nr.	FAKTÖRLER				
	A	B	C	D	E
1	1	2	1	1	2
2	1	2	2	2	1
3	1	1	1	1	1
4	1	1	2	2	2
5	2	1	2	1	2
6	2	1	1	2	1
7	2	2	2	1	1
8	2	2	1	2	2

Tablo 3.2' de ise dökümlerin yapılış sırası ve her bir dökümde bulunması gereken faktör seviyeleri gösterilmektedir.

3.1.2. Ergitme ve döküm

Döküm alaşımı olarak seçilen Etial 171 (A360) alaşımının kimyasal analizleri Tablo 3.3 (modifiye edilmemiş) ve Tablo 3.4 (modifiye edilmiş)'de verilmiştir. Döküm Alaşımı 100 Kg kapasiteli elektrik rezistanslı pota ocağında ergitildi. Ergiyik, Tablo 3.2'de verilen faktör seviyeleri sağlandıktan sonra 700 °C de 10 Kg lık potalar

yardımı ile kalıplara döküldü. Yapılan dökümlerin resmi Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Sıvı metal içerisindeki hidrojen oranını artırmak için sıvı metal üzerinde su buharı geçirildi (hidrojenin kısmi basıncını artırmak için). Gaz giderme işlemi ergitme potasında yüksek saflıkta azot gazı kullanımı ile gerçekleştirildi. Modifiye edilmemiş dökümlerde Tablo 3.3'de kimyasal bileşimi verilen alaşım kullanıldı. Modifiye edilmiş dökümlerde Tablo 3.4'da kimyasal yapısı verilen % 0.185 Sr ile modifiye edilmiş alaşım kullanıldı.

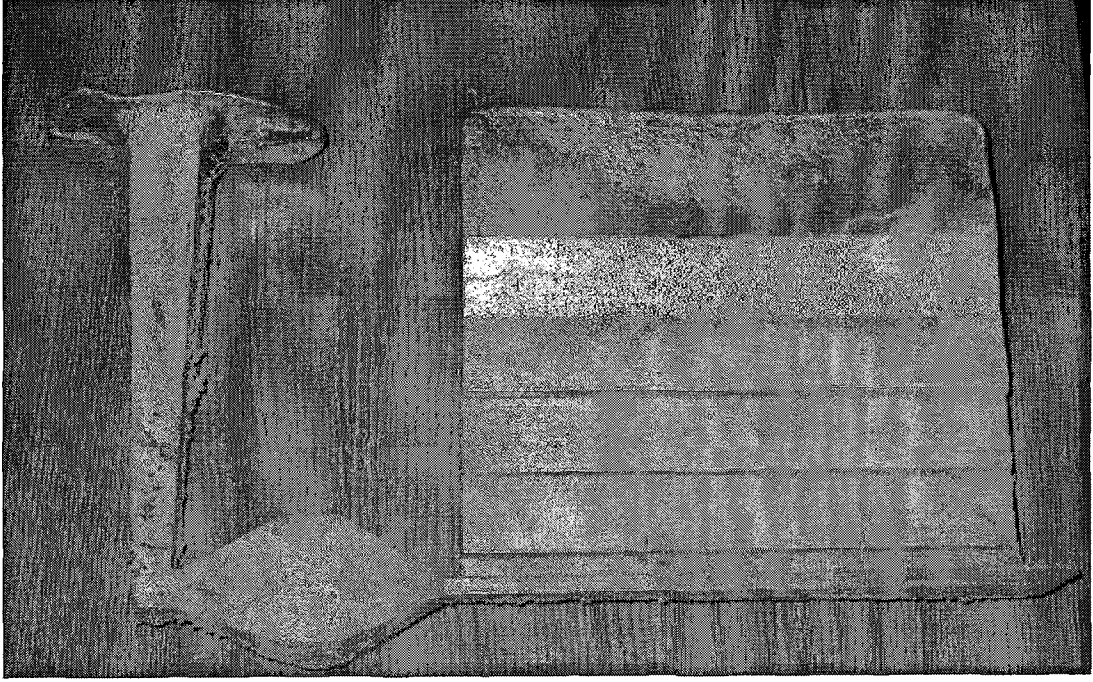
Tablo 3.3 Modifiye edilmemiş A360 alaşımının kimyasal bileşimi

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Ti	Sr	V	Zr	Al
% Mikter	8,85	0,152	0,0006	0,468	0,229	0,0047	0,0109	0,0034	0,0137	0,0006	90,26

Tablo 3.4 Modifiye edilmiş A360 alaşımının kimyasal bileşimi

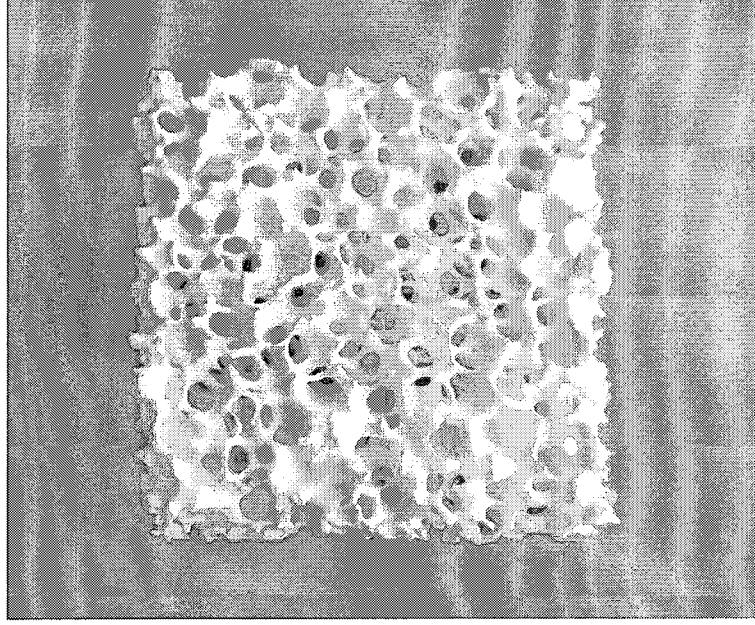
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Ti	Sr	V	Zr	Al
% Mikter	8,68	0,1401	<0,0002	0,4363	0,1717	0,0047	0,011	0,0185	0,0131	0,0004	88,66

Sıvı metalin içersinde bulunan hidrojen oranı “Düşürülmüş Basınç Testi (RPT)” ile belirlendi. Döküm sırasında kritik noktalarda dört defa RPT testi yapıldı. Şekil 3.6a ve Şekil 3.6d'de sıvı metal gazlandırıldıktan sonra, Şekil 3.6b'de sıvı metalin gazı giderildikten sonra, Şekil 3.6c'de sıvı metal % 0.185 Sr ile modifiye edildikten sonra alınan RPT testi görülmektedir.



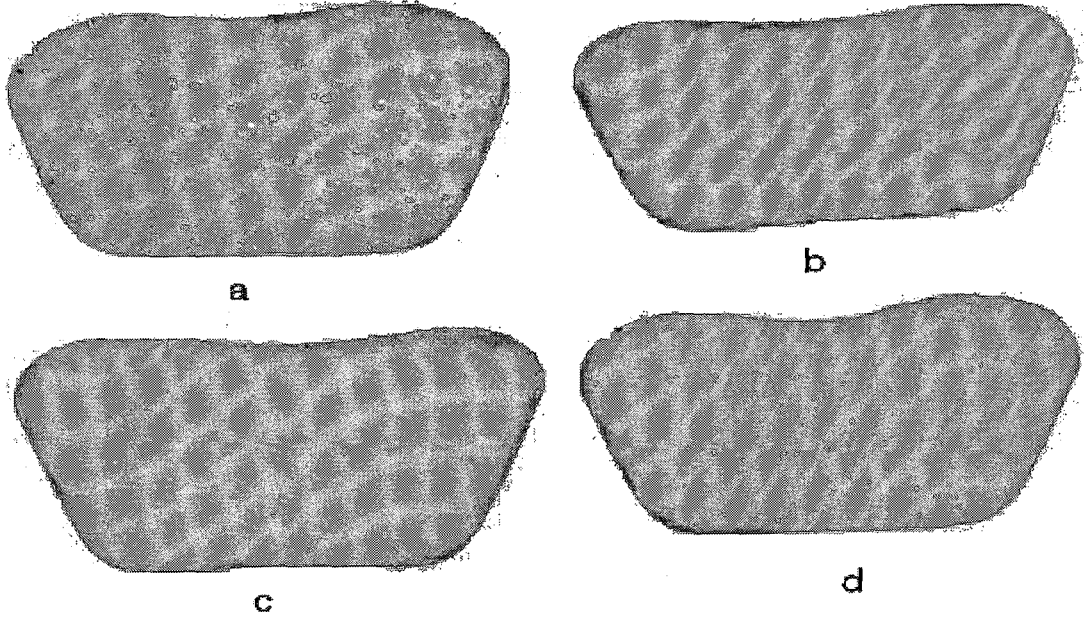
Şekil 3.4 Döküm resmi

Filtreli dökümlerde 40mm x 40mm x 20 mm boyutlarında 10 ppi'lik alümina seramik köpük filtreler kullanıldı. Şekil 3.5'te dökümlerde kullanılan 10 ppi'lik alümina seramik köpük filtre görülmektedir.



Şekil 3.5 10 ppi'lik alümina seramik köpük filtreler

Dökümün soğuma hızını ölçmek için 1. deney kalıbına Şekil 4'de belirtilen bölgelere 2 tane ısı çifti yerleştirildi ve döküm sırasında HP34970A entegreli data takip ve anahtar birimi ile sıcaklık dataları alındı.



Şekil 3.6 RPT testi a)yüksek gazlı sıvı metal b)gazı giderilmiş sıvı metal c)modifiye edici ilave edilmiş sıvı metal d)tekrar gazlandırılmış sıvı metal örneği

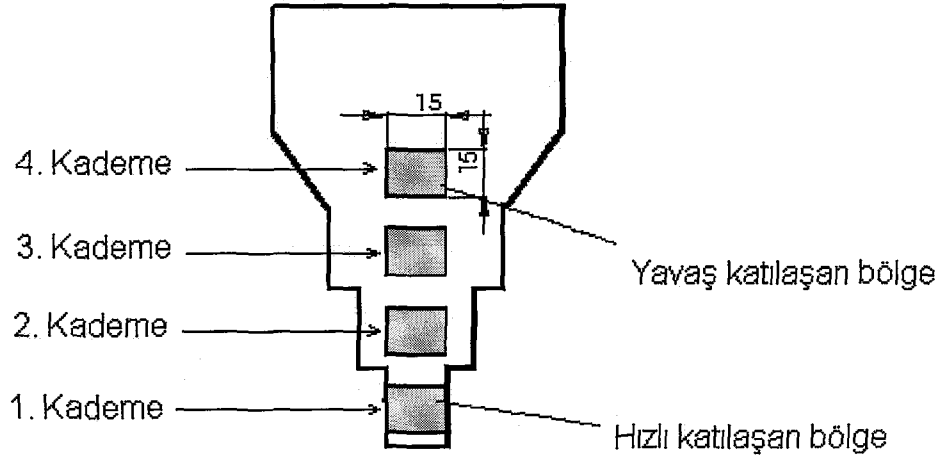
3.2. Döküm Parçalarda Mikro Porozite Ölçümü

3.2.1. Arşimet metoduna göre porozite ölçümü

Yoğunluk ölçümleri için Şekil 3.5’de belirtilen bölgelerden her bir dökümden dörder tane olmak üzere 32 tane yaklaşık 225mm^3 hacim içeren numuneler şerit testere yardımı ile alındı ve numunelerin her tarafı sırayla 80, 150, 400, 600, 1000 ve 1200 grit zımparalarla zımparalandı. Arşimet düzeneği kullanılarak numunelerin suda ve havada ağırlıkları ölçüldü. (3.1) eşitliği kullanılarak numunelerin yoğunlukları bulundu. Bulunan yoğunluklar (3.2) eşitliği yardımı ile numunelerin % porozite oranları hesaplandı. Deneysel çalışmalarda kullanılan saf suyun yoğunluğu $0,978\text{ kg/mm}^3$ ve oksijenli suyun yoğunluğu $0,991\text{ kg/mm}^3$ bulundu. Oksijenli suyun yoğunluğu bire çok yakın olduğu için yoğunluk ölçümünde oksijenli su kullanıldı.

$$\text{Yoğunluk}(d) = \text{Kuru Ağırlık} / (\text{Kuru Ağırlık} - \text{Yaş Ağırlık}) \quad (3.1)$$

$$\% \text{ Porozite} = 1 - (\text{Yoğunluk} / \text{teorik Yoğunluk}(2,68)) \quad (3.2)$$



Şekil 3.7 Döküm üzerinde numunelerin alındığı bölgeler

3.2.2. Mikro yapı üzerinden porozite ölçümü

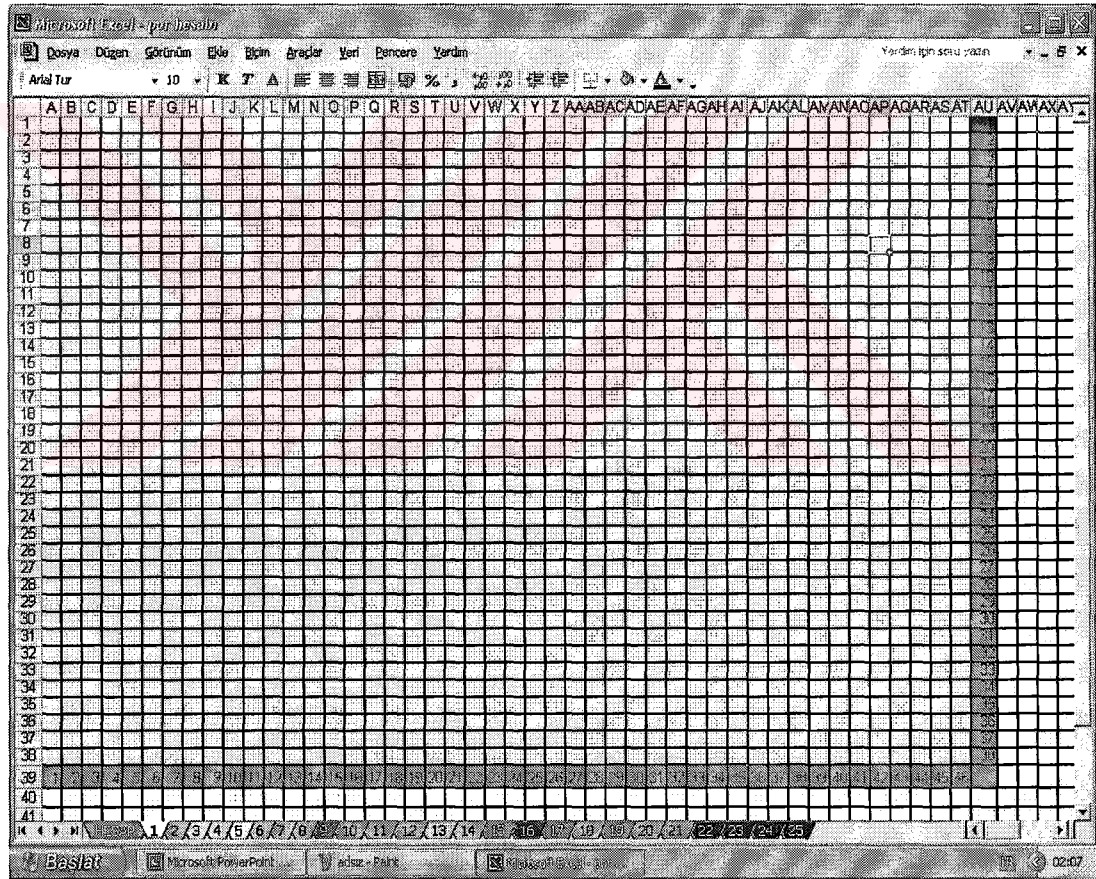
Şekil 3.7’de gösterilen bölgelerden yoğunluk ölçümü için alınan numuneler reçineye alındı. Reçineye alınan numuneler önce sırayla 80, 150, 400, 600, 1000 ve 1200 grit zımparalarla zımparalandı sonra 1µ alüminalı keçe ile parlatıldı, belirli numuneler Kellers asidi ile 4 dakika dağlandı (2.5 ml HNO₃, 1.5 ml HCl, 1 ml HF, 95 ml su) [30]. Metalografik olarak hazırlanan yüzeyin tamamı taranacak şekilde her numuneden yaklaşık 25’er adet Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskop yardımı ile 5x (50 büyütme)’de mikro yapı fotoğrafları çekildi.

Çekilen mikro yapı fotoğrafları Excel programında kare sayma yöntemi ile incelenerek her bir numunenin ortalama % porozite miktarı hesaplandı.

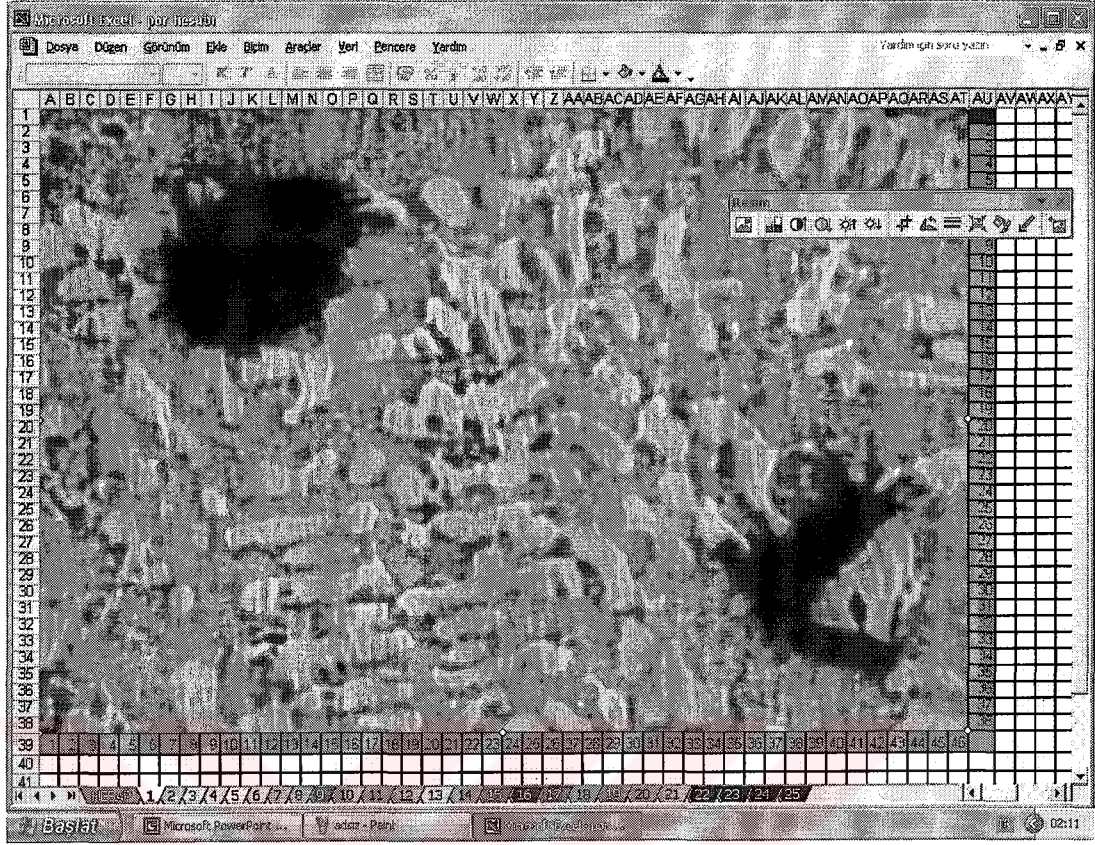
Sistemin güvenilirliğini artırmak amacı ile reçineye alınan numuneler 2’şer milimetre aralıklarla 3 defa zımparalanıp metalografik işlemlerden sonra tekrar mikro yapı fotoğrafları çekildi.

Excel programı ile kare sayım işlemi; Excel programında $38 \times 46 = 1748$ hücreden oluşan Excel çalışma sayfası hazırlandı (Şekil 3.8) hazırlanan sayfaya resimler Şekil

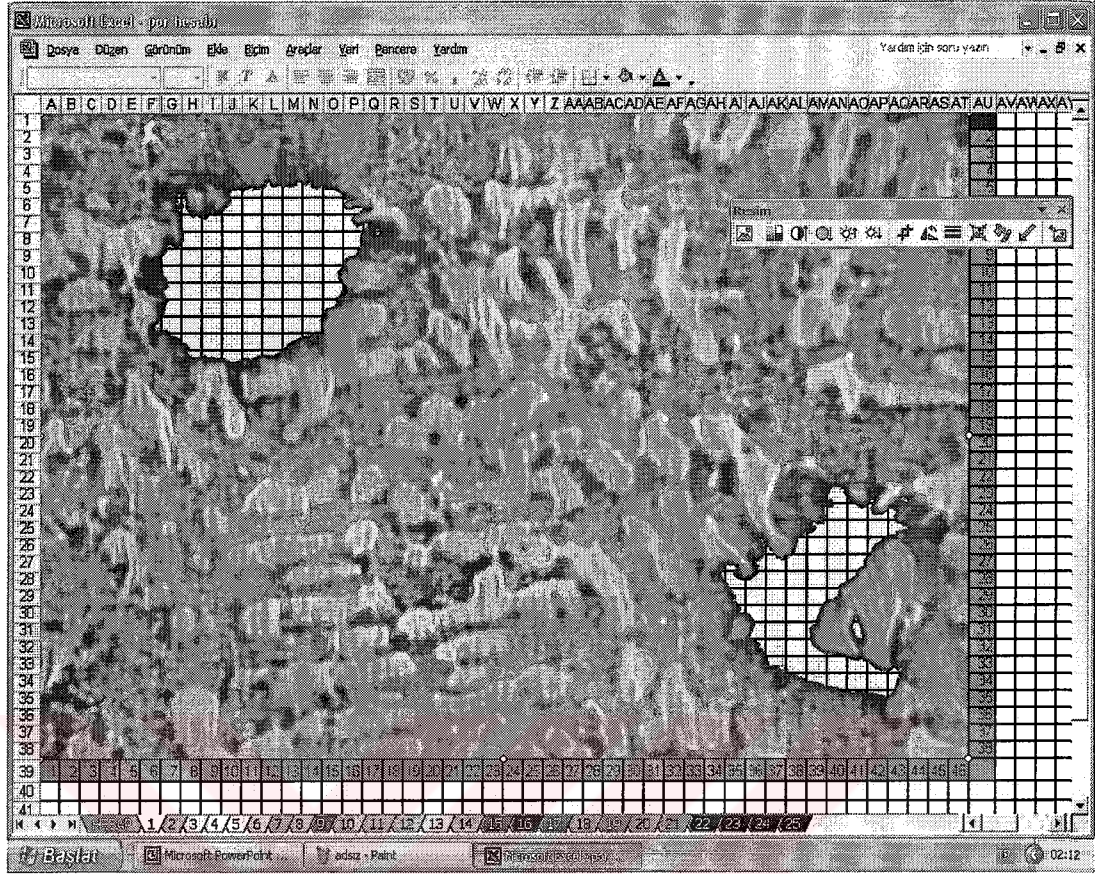
3.9'de görüldüğü gibi yerleştirildi, mikro yapı resmi üzerinden poroziteler Excel programının yardımı ile saydamlaştırıldı (Şekil 3.10). Saydamlaşan bölgeler içerisinde kalan kareler sayıldı. Sayılan kare sayısı hesap sayfasına kaydedildi. Bir yüzeyden alınan resimlerin her biri bu şekilde işleme tabi tutularak porozitelerin kapladığı kare sayısı hesap sayfasın Şekil 3.11'da görüldüğü gibi kaydedildi. Hesap sayfasında porozitelerin ihtiva ettiği kare sayıları toplandı. Hesap sayfasında yazılan basit matematiksel işlemler yardımı ile toplam porozitelerin ihtiva ettiği kare sayısı, mikro yapı resimlerin toplam kaplamış olduğu kare sayısına (1748 (bir resmin kare sayısı) x 25 (mikro yapı resmi sayısı) = 43700) oranlanarak bir yüzeyden alınan mikro yapı resimlerinin ortalama % porozite değeri bulundu.



Şekil 3.8 38x46 hücreden oluşan Excel çalışma sayfası



Şekil 3.9 Resmin ölçeğe yerleştirilmesi

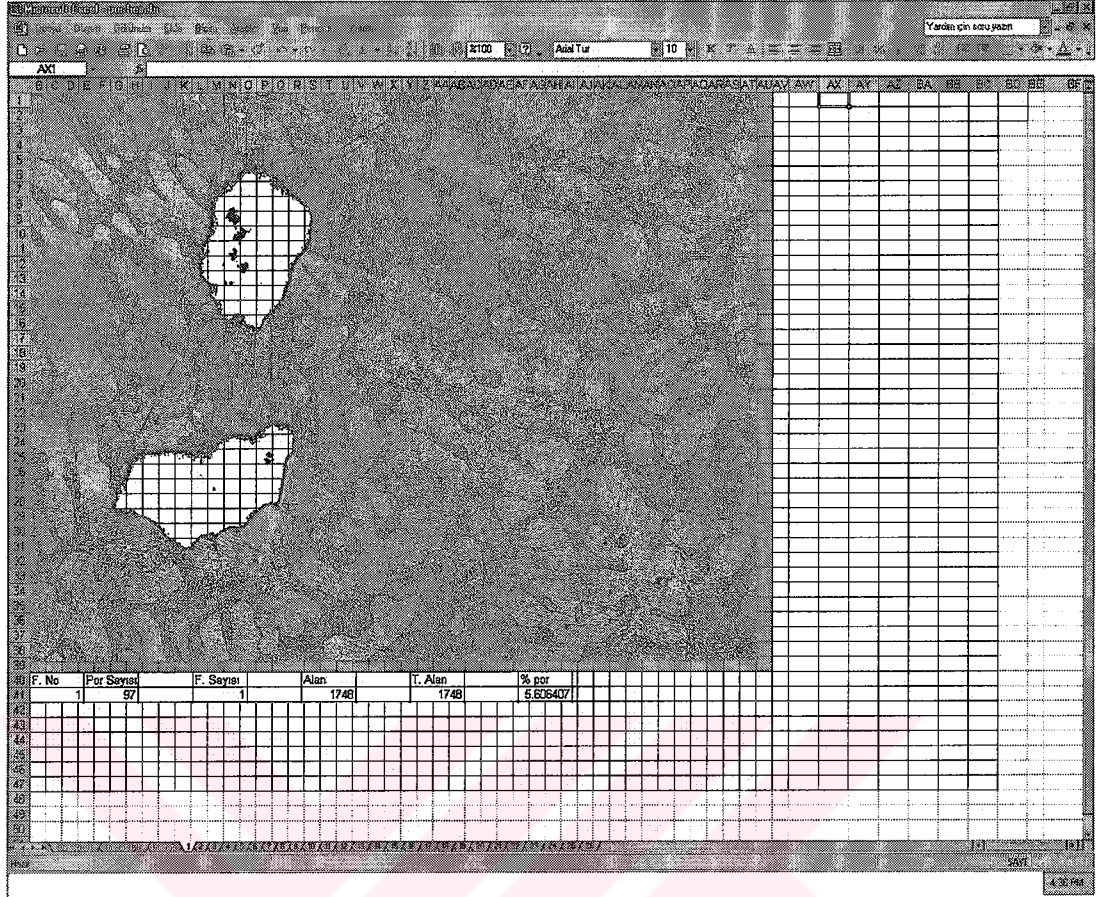


Şekil 3.10 Resim üzerindeki porozitelerin saydamlaştırılması.

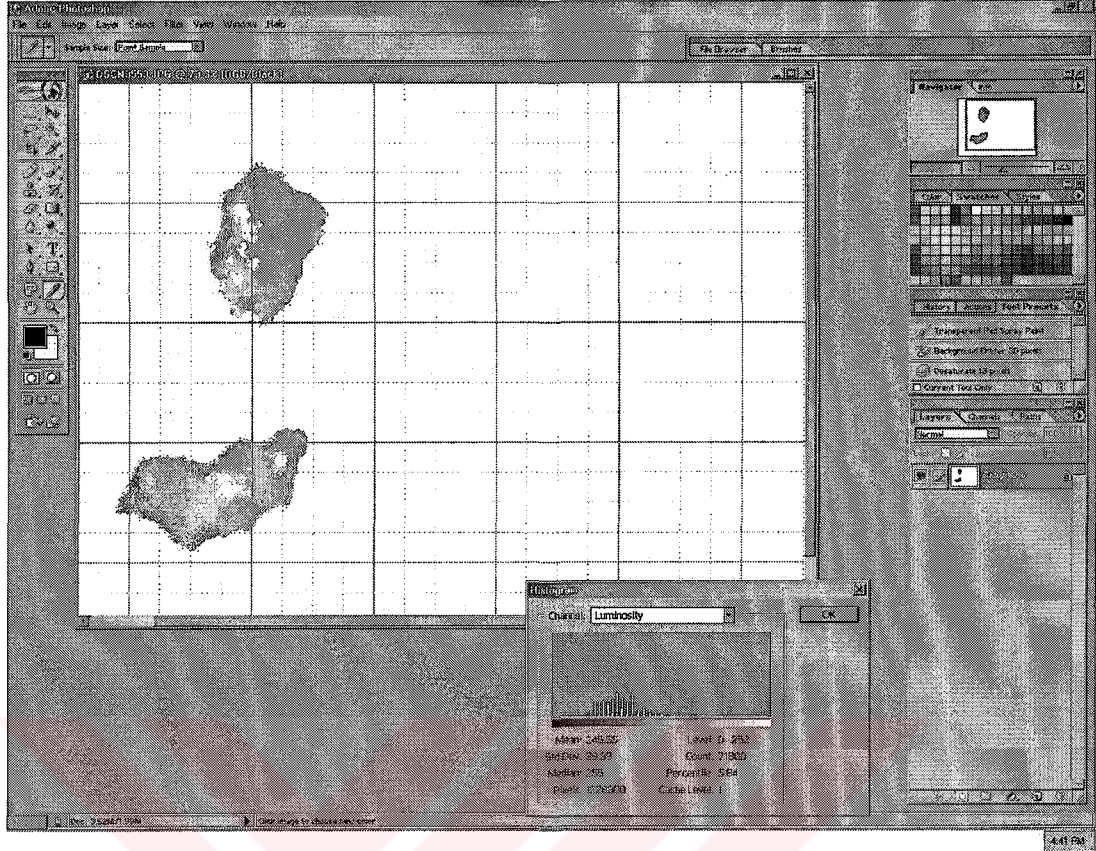
tesim no	Porozite Sayısı	isim sayisi	birim Alan	toplanan tesim Alan	% Porozite
1	39	25	1748	43700	0.55635
2	40				
3	0				
4	0				
5	0				
6	0				
7	3				
8	80				
9	9				
10	0				
11	7				
12	0				
13	0				
14	0				
15	0				
16	0				
17	28				
18	0				
19	0				
20	20				
21	23				
22	0				
23	0				
24	0				
25	0				
26	0				
27	223				
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					

Şekil 3.11 % Porozite hesaplama sayfası.

Kare sayım işleminde ne kadar tutarlı olduğumuzu anlamak amacı ile bazı mikro yapı fotoğraflarının porozite oranları photoshop programı ile ölçüldü ve kare sayım yöntemi ile bulunan % porozite oranlarını karşılaştırıldı. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te aynı mikro yapı fotoğrafının kare sayım yöntemi ve photoshop programı ile ölçülen % porozite oranları gösterilmiştir. % porozite kare sayım yöntemi ile 5.60, photoshop programı ile 5.84 bulundu.



Şekil 3.12 Kare sayım yöntemi ile porozite ölçümüne bir örnek



Şekil 3.13 Photoshop programı ile porozite ölçümüne bir örnek

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

4.1. Dökümlerin Porozite Oranları

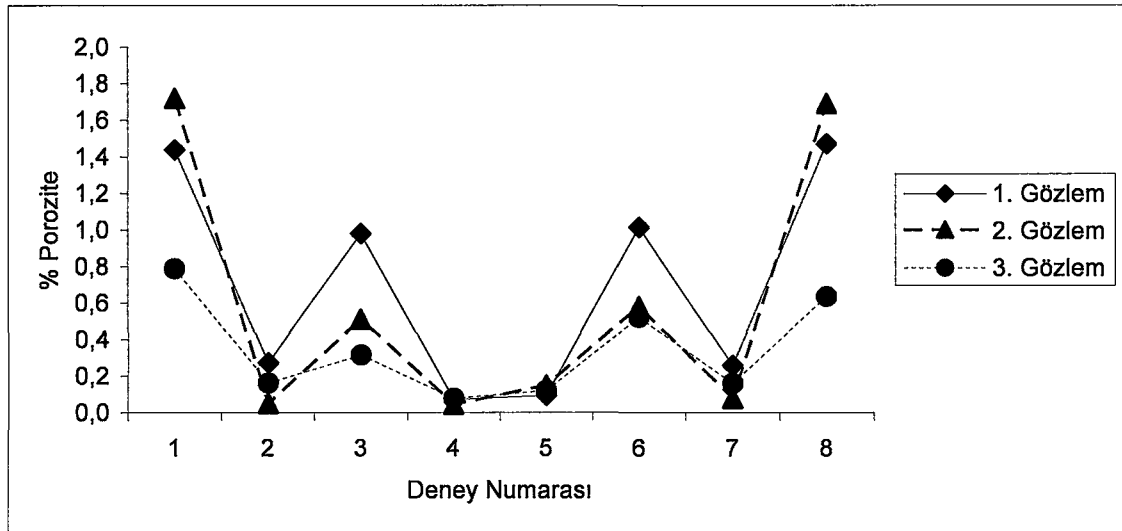
Döküm parçaların belirli bölgelerinden alınan numunelerin porozite değerleri hem Arşimet metodu hem de mikro yapı incelemeleri ile ölçüldükten sonra elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de listelenmiştir.

Tablo 4.1’den görüldüğü gibi porozite oranları % 0,07 ile % 1,51 arasında değişmektedir. Sekiz ayrı deneyden alınan sonuçlara toplu olarak baktığımızda en düşük porozite oranlarının düşük hidrojen içeren 3, 4, 5 ve 6 numaralı dökümlerden ölçüldüğü buna karşılık yüksek hidrojen içeren sıvıdan dökülen 1, 2, 7 ve 8 numaralı dökümlerden ölçülen porozite oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1 Arşimet metodu ve mikro yapı üzerinden ölçülen % porozite

Deney Numarası	Kademe	Arşimet metoduna göre porozite ölçümü	Mikro yapı üzerinden porozite ölçümü
1	1,1	1,09	0,49
	1,2	1,11	0,38
	1,3	1,23	0,72
	1,4	1,34	1,44
2	2,1	1,07	0,27
	2,2	1,07	0,28
	2,3	1,10	0,75
	2,4	1,28	0,91
3	3,1	0,77	0,06
	3,2	0,77	0,12
	3,3	0,81	0,51
	3,4	1,03	0,98
4	4,1	0,76	0,07
	4,2	0,79	0,13
	4,3	0,84	0,27
	4,4	0,94	0,55
5	5,1	0,82	0,09
	5,2	0,84	0,07
	5,3	0,94	0,09
	5,4	1,06	0,41
6	6,1	0,81	0,17
	6,2	0,81	0,24
	6,3	0,84	0,26
	6,4	1,03	0,41
7	7,1	0,83	0,37
	7,2	0,83	0,26
	7,3	0,90	0,18
	7,4	1,09	1,41
8	8,1	0,90	0,43
	8,2	0,93	0,45
	8,3	1,00	1,51
	8,4	1,05	1,25

Taguchi metoduna göre değerlendirmelerin yapılabilmesi için her bir numuneden üç ayrı parlatma yaparak mikro yapı resimleri üzerinden ölçülen 3 gözlem değeri (% porozite oranları) Şekil 4.1’de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.1 Deney numunelerinin farklı seviyelerinden ölçülen % porozite oranları (gözlem değerleri)

Alınan sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu da mikro yapı üzerinden porozite ölçümü için kullanılan tekniğin kendi içinde tutarlı olduğunu göstermektedir.

4.2. Faktörlerin Etkilerinin Ortaya Konulması

2.2.1. Deneylerin sinyal / gürültü oranları

Faktörlerin etkisini ortaya koymak için her bir deney sinyal/gürültü (S/N) oranları “smaller the better” (daha küçük daha iyidir) için;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.1)$$

Formülü ile hesaplandı. Tablo 4.2’de Taguchi deney metodu için alınan numunelerin % porozite değerleri (gözlem değerleri), gözlem değerlerinin ortalaması ve sinyal/gürültü oranları verilmiştir.

Tablo 4.2 Deneylerin gözlem değerleri, ortalama ve Sinyal/Gürültü (S/N) oranları

Deney No.	1. Gözlem	2. Gözlem	3. Gözlem	Ortalama	S/N Oranı
1	1,44	1,72	0,79	1,32	-2,75
2	0,27	0,05	0,16	0,16	14,67
3	0,98	0,51	0,31	0,60	3,58
4	0,07	0,05	0,08	0,07	23,23
5	0,09	0,15	0,12	0,12	18,20
6	1,01	0,58	0,52	0,70	2,63
7	0,26	0,08	0,16	0,17	14,82
8	1,47	1,69	0,63	1,26	-2,57

Aşağıdaki formül yardımı ile S/N oranlarına göre her bir faktör seviyesinin ortalama değerleri bulundu. Her bir faktör seviyesi için ortalama S/N oranlarını Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Faktör seviyelerinin ortalama S/N değerleri

Faktörler	Seviler	
	1	2
A	9,79	8,27
B	12,02	6,04
C	0,23	17,84
D	8,46	9,60
E	8,93	9,13

faktörlerin etkileri hakkında daha iyi bir fikir edinmek için faktör seviyeleri S/N oranlarına göre grafikleri çizildi (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Faktörlerin seviyeleri ve S/N oranlarına

Şekil 4.2’de gösterilen grafik bize dökümde porozite oluşumuna etki eden temel faktörlerin katılma hızı ve sıvı metal içerisindeki hidrojen oranı olduğunu ve optimum faktör seviyesinin A1B1C2D2E2 (grafik’in üst tarafında olan seviyeler) faktör seviyelerinde sağlanacağını göstermektedir. Bu grafik aynı zamanda optimum noktada bize % porozite miktarı az bir döküm elde edebilmek için sıvı metalin modifiye edilmesi ve içerisindeki hidrojen miktarının düşük olması, katılmanın hızlı olması, dökümde filtre kullanılması ve türbülanslı bir döküm yapılması gerektiğini söylemektedir.

4.2.2. Deneylerin sinyal / gürültü oranlarının varyans analizleri

Numunelerin daha önceden hesaplanan S/N oranlarının varyasyon ve varyans analizleri yapıldı ve ANOVA Tablosuna yerleştirildi (Tablo 4.4).

ANOVA Tablosunda A (modifikasyon), D (filtre kullanımı), ve E (döküş şekli) Pooling (hata) olarak tanımlandı ve etkisi olduğu düşünülen B (Hidrojen oranı), C (katılma hızı) $F_{(hesap)}$ değerleri hesaplandı. ANOVA Tablosundan $F_{(hesap)}$ B (Hidrojen oranı) faktörü için 26,51, C (katılma hızı) için 236,51 bulundu.

Faktörlerin $F_{(hesap)}$ değeri $F^1_5(95)=6,61$ (F Dağılım değerleri Tablosundan) değeri ile karşılaştırıldı ve B ve C faktörlerinin alüminyum silisyum döküm alaşımlarında porozite oluşumunu önemli düzeyde etkiledikleri diğer faktörlerin ise (A,D ve E) porozite oluşumunda önemli bir etkiye sahip olmadıkları görüldü.

Tablo 4.4 S/G – değerleri ANOVA Tablosu

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı S	Serbeslik Derecesi f	Karalar Ortalaması	Teorik $F_{(hesap)}$	P (%)
A* (Modifihasyc	3,94	1	3,94		pooled
B (Hidrojen ora	68,59	1	68,59	26,51	10
C (Katılma hı	611,92	1	611,92	236,51	89
D* (Filtre)	2,07	1	2,07		pooled
E* (Döküş şekli	0,02	1	0,02		pooled
e	6,91	2	3,45		1
toplam	693,46	7	99,07		100
ep	12,94	5,00	2,59		

*pooling, ep

4.2.3. Doğrulama Deneyi

Optimum faktör seviyelerini tespit edilmesi için Tablo 4.3'de her bir faktör seviyesi ile elde edilen S\N oranları değerlerinin ortalamaları saptandı. Her faktörün yüksek seviyelerinin oluşturduğu (Şekil 4.2'de grafiğin üst kısmında kalan seviyeler) A1B1C2D2E2 faktör seviyeleri optimum faktör seviyesi olarak belirlendi. Bu şartlarda tahmin edilen ortalama kalite karakteristiği değeri de;

$$\mu = \bar{T} + (\bar{B}1 - \bar{T}) + (\bar{C}2 - \bar{T})$$

$$\mu = \bar{B}1 + \bar{C}2 - \bar{T}$$

$$\mu = 12,02 + 17,84 - 9,03$$

$$\mu_0 = 20,82$$

Saptanılan bu ortalama değerin bulunacağı güven aralığı da;

$$\mu \pm \sqrt{\frac{(fe(p))xVe}{n}}$$

$$n = \frac{\text{Toplam gözlem sayıay } N}{\text{Ortalama değer saptanılmasında alılan serbestlik} + 1}$$

$$n = \frac{N}{f_b + f_c + 1}$$

$$n = \frac{8}{3} = 2,67$$

$$\mu \pm \sqrt{\frac{6,61x2,59}{2,67}} = \mu \pm 2,8$$

böylece optimum faktör seviyesi

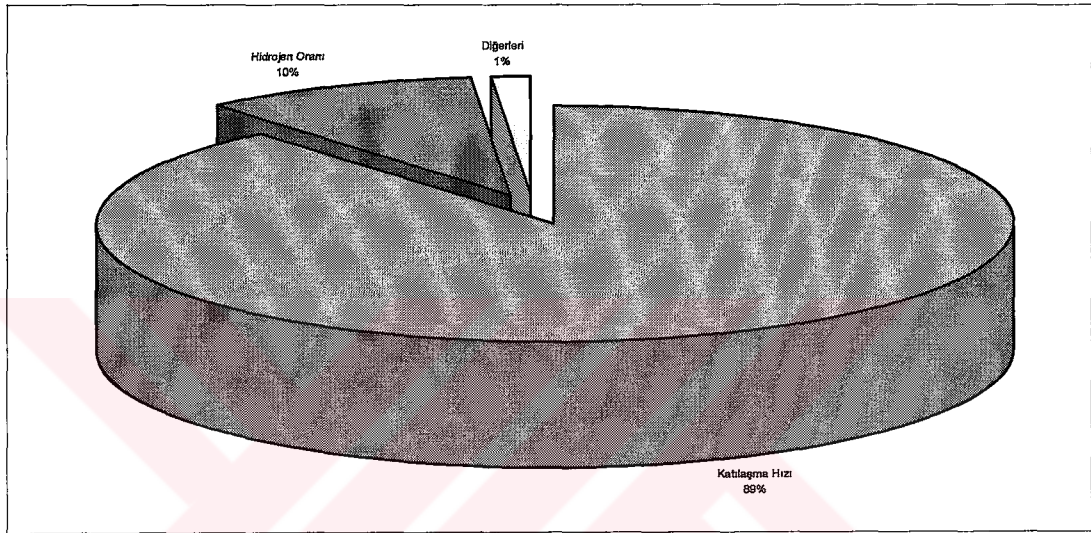
$$19,12 < \mu < 24,74$$

arasında bulundu. Yapılan deneylerde 4. deney optimum faktör seviyesini sağlamaktadır ve 4. deneyin S/N oranı 23,23'dur bu değer hesaplanan güven aralığında olduğu görülmektedir.

4.2.4. Faktörlerin toplam değişime etkileri

Her bir faktörün toplam değişime olan etkilerinin hesaplanması için ANOVA Tablosunda verilen her faktörün kareleri toplamı kullanılarak faktörlerin değişimleri

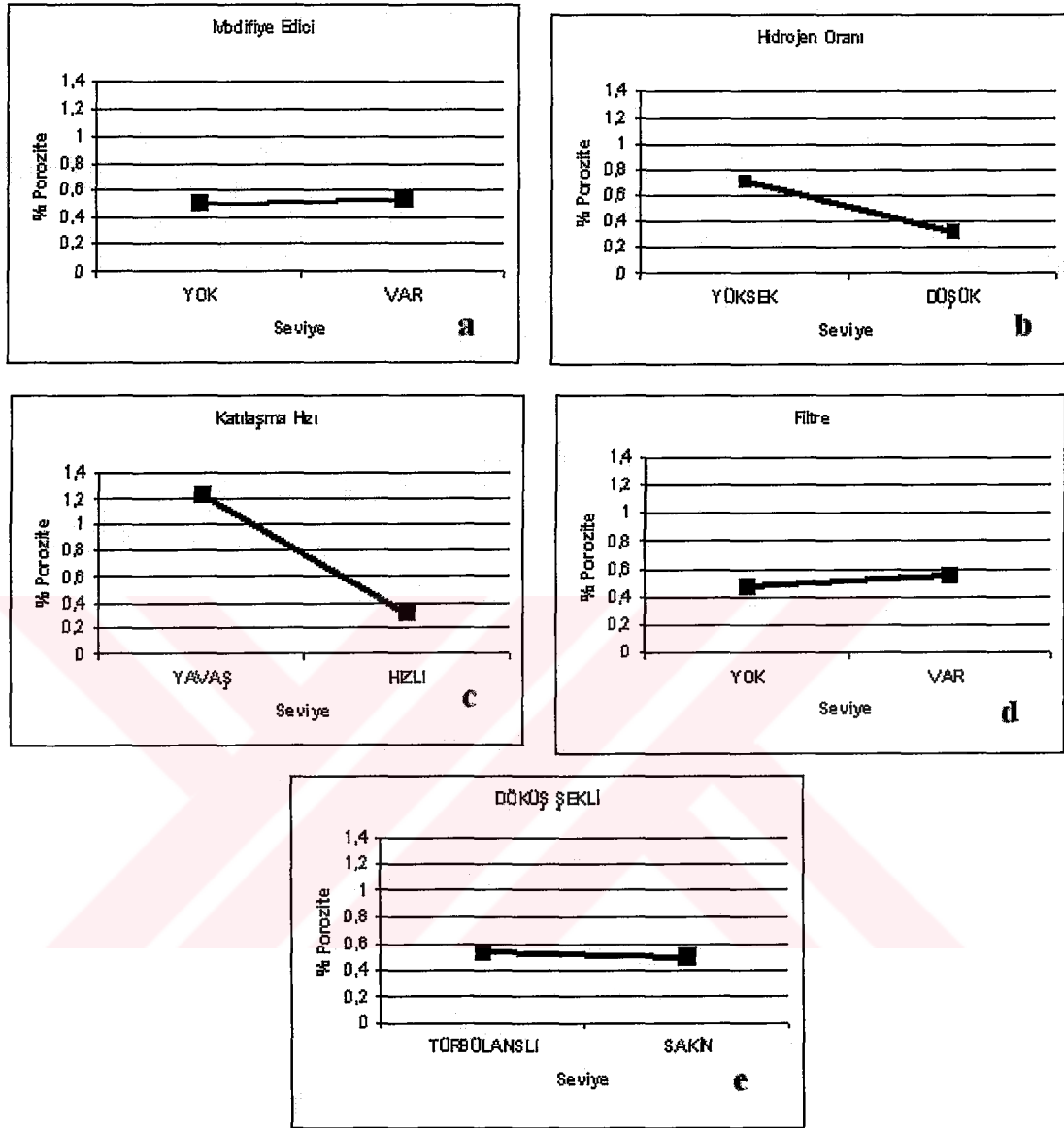
sadeleştirildi ve her faktörün toplam değişimdeki payları yüzde olarak ifade edildi. C (katılma hızı) faktörünün toplam değişimdeki payı % 89, B (hidrojen oranı) faktörü % 10, ve diğer faktörlerin toplamının etkisi % 1'dir. Buradan katılma hızının toplam değişimdeki payının önemli düzeyde olduğu görülmektedir ve bunu A faktörü olan sıvı metal içerisindeki hidrojen oranı takip etmiştir. Diğer faktörlerin toplam değişimdeki payları önemsiz derecededir.



Şekil 4.3 Faktörlerin toplam değişimdeki katkı payı

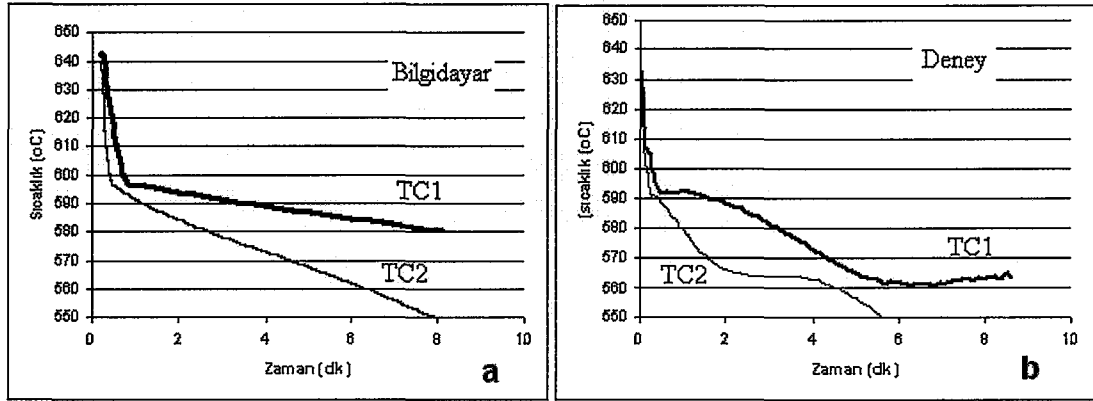
4.3. Sonuçların Karşılaştırılması

Şekil 3.4'te tüm dökümlerin dört farklı kesit kademesinden alınan numunelerin mikro yapı resimleri üzerinden ölçülen porozite oranlarının bu dökümlerin faktör seviyelerine göre çizilen grafikleri gösterilmiştir. Bu grafiklerden görüleceği gibi sırası ile dökümlerin katılma hızı ve sıvı metalin hidrojen oranı porozite oluşumu üzerinde baskın bir etkiye sahiptir. Bu grafikte katılma hızı seviyeleri dökümlerin en kalın kesitine karşılık gelen "yavaş" ve en ince kesitine karşılık gelen "hızlı" katılma için sadece iki seviyede değerlendirilmiştir. Buna göre katılma hızı arttıkça porozite azalmakta ve hidrojen oranı azaldıkça porozite azalmaktadır. Diğer faktörlerin ise porozite oranları üzerinde çok az veya hiç yok derecede etkisi olduğu görülmektedir.



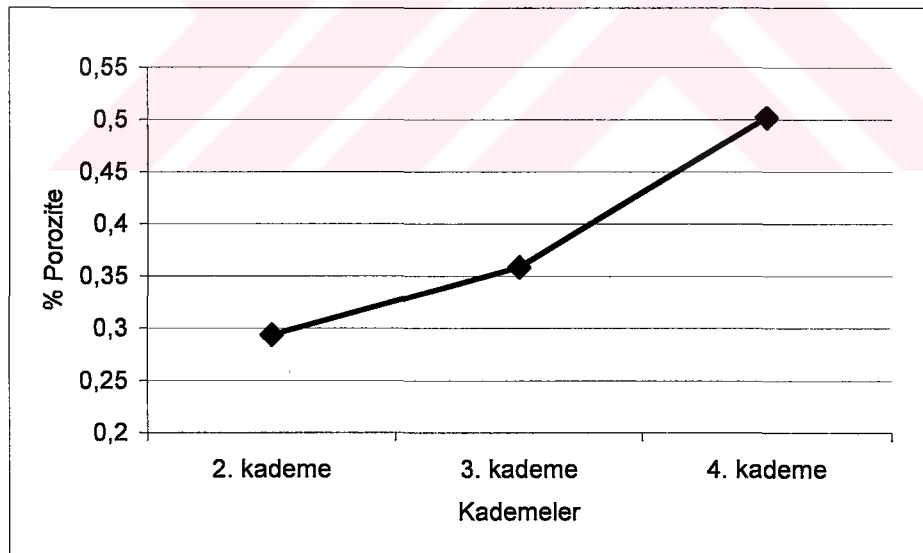
Şekil 4.4 Faktör seviyelerine göre dökümlerin farklı kesitlerinden ölçülen ortalama porozite oranları

Şekil 4.5b'de data takip anahtar birimi ile dökümlerin iki farklı bölgesinden alınana sıcaklık eğrileri görülmektedir. Şekil 4.5a'da ise dökümün aynı bölgelerinden döküm simülasyonu yardımı ile alınana sıcaklık eğrileri görülmektedir. Şekillerden görüleceği gibi döküm simülasyonu yardımı ile bilgisayar ortamından alınan sıcaklık eğrileri, data takip anahtar birimi ile dökümlerin üzerinden alınana sıcaklık eğrileri birbirine benzemektedir.



Şekil 4.5 Deneylemlerden ve bilgisayardan alınana sıcaklık eğrileri

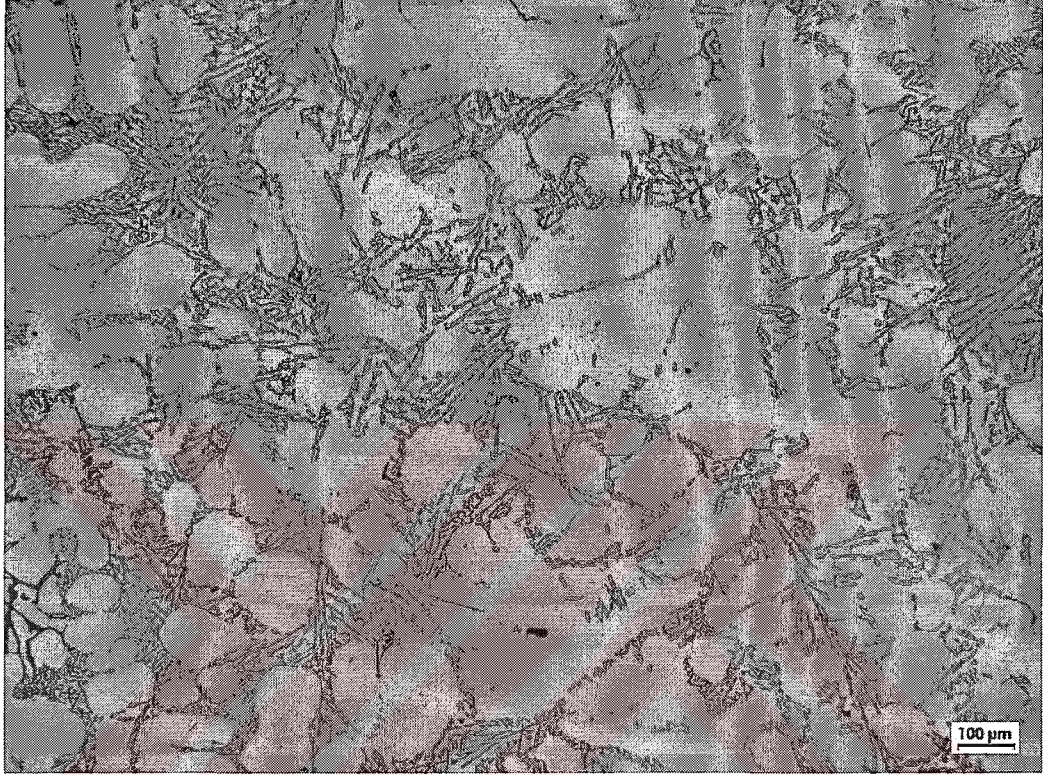
Numune yoğunluklarından Arşimet metoduna göre dökümlerin değişik kesit kademelerinden ölçülen porozite oranlarının ortalama değerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere katılaşma hızının artması ile numunelerde % porozite oranı da artmıştır.



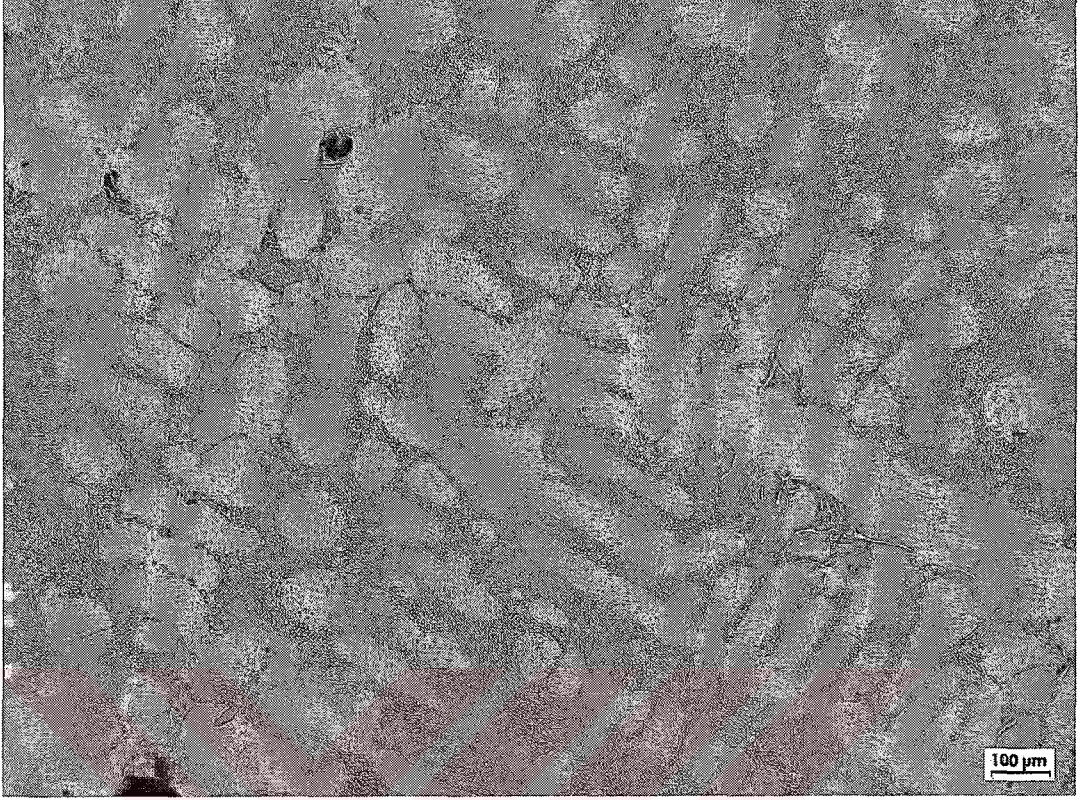
Şekil 4.6 Yoğunluktan faydalanılarak ölçülen % porozite değerlerinin kademelere göre ortalamaları

Dökümlerden alınan tipik mikro yapılar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'da gösterilmiştir. Şekil 4.7 de gösterilen mikro yapı modifiye edilmiş alaşıma Şekil 4.8 de gösterilen mikro yapı ise sıvı alaşıma potada % 0,2 oranında Sr ilavesi ile modifiye edilmiş döküm

mikro yapısını göstermektedir. Modifiye edilmemiş mikro yapıda ötektik silisyum kristalleri keskin lamel görünüme sahiptir. Şekil 4.8’de görülen Sr ilavesi ile modifiye edilmiş mikro yapıda ise ötektik silisyum kristalleri fiberimsi bir yapıya dönüşmüştür.



Şekil 4.7 Modifiye edilmemiş alaşımdan dökülen bir numuneden alınmış tipik bir mikro yapı.



Şekil 4.8 % 0,2 Sr ilavesi ile modifiye edilmiş alaşımdan dökülen bir numuneden alınmış tipik bir mikro yapı

4.4. Ölçme İşleminin Kontrolü

4.4.1. Aynı yüzeyden alınan mikro yapı resimlerinin karşılaştırılması

Mikro yapı üzerinde yapılan % porozite ölçümlerinin tutarlılığını test etmek amacı ile seçilen numunelerin yüzeylerinden tekrar görüntü alınarak % porozite değerleri ölçüldü. Tekrar ölçülen % porozite değerleri ile önceki ölçülen değerlerin varyans analizleri yapılarak ortalama değerler arasında önemli bir fark olup olmadığına bakıldı.

Tablo 4.5’de aynı yüzeyden farklı aralıklarla alınan mikro yapı resimlerinin kare sayım yöntemi ile ölçülen % porozite değerleri (gözlem değerleri) ve gözlem değerlerinin varyans analizleri verilmiştir.

Tablo 4.5 Resimlerin gözlem değerleri ve ANOVA Tablosu

1. Gözlem	2	11	2	20	1	2	4	3	5	4	7	3	4	8	25	21	33
2. Gözlem	1	2	8	5	7	3	11	0	1	7	4	5	3	24	22	33	0

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı SS	Serbeslik Derecesi v	Varyans Ve	Teorik F F(hesap)	İstatiksel F F(tablo)
G. Arası	6,57	1,00	6,57	0,08	4,03
G. İçi	3510,23	42,00	83,58		
Toplam	0,00	0,00			

Tablo 4.5’ten anlaşılacağı gibi $F_{(hesap)}$ değeri $F_{(Tablo)}$ değerinden çok küçük olduğu için gözlemlerin ortalama değerleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir. Yapılan varyasyon analizi yüzeylerden alınan mikro yapı resim guruplarının ortalama % porozite açısından bir birleri ile tutarlı olduğunu göstermiştir.

4.4.2. Gözlem değerinin mikro yapı üzerinden tekrar ölçülmesi

Mikro yapı resimleri üzerinden % porozite ölçümlerinde kare sayım işleminde tutarlılığımızı ölçmek amacı ile mikro yapı resimleri üzerinden kare sayım yöntemi ile ölçülen % porozite değerleri aynı mikro yapı resimleri için tekrar kare sayım yöntemi ile ölçüldü.

Tablo 4.6’da Taguchi deney metodu da 1. gözlem değerleri için alınan mikro yapı resimlerinin kare sayım yöntemi ile iki defa ölçülen % porozite değerleri ve ölçülen % porozite değerlerinin varyasyon analizi verilmiştir.

Tablo 4.6 Excel yardımı ile tekrarlanan ölçümlerin gözlem değerleri ve ANOVA Tablosu

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı SS	Serbeslik Derecesi ν	Varyans V_e	Teorik F $F_{(hesap)}$	İstatiksel F $F_{(tablo)}$	1. sayma	2. sayma
G. Arası	0,000079	1,00	0,00	0,000233	4,35	1,44	1,43
G. İçi	4,75	14,00	0,34			0,27	0,26
Toplam	4,75	15,00				0,98	0,98
						0,07	0,07
						0,09	0,10
						1,01	1,05
						0,26	0,35
						1,47	1,39

Tablo 4.6’da görüleceği gibi $F_{(hesap)}$ değeri $F_{(Tablo)}$ değerinden çok küçük olduğu için gözlemlerin ortalama değerleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir. Yapılan varyasyon analizi Excel çalışma sayfası ile porozitelerin kapladığı karelerin sayılması işleminde tutarlı olduğumuzu göstermiştir.

4.4.3. Gözlem değerlerinin karşılaştırılması

Taguchi deney metodu için alınan 3 farkı gözlem değerlerinin tutarlı olduğunu ölçmek amacı ile gözlem değerlerinin varyans analizleri yapıldı.

Tablo 4.7’de Taguchi tekniği için ölçülen gözlem değerleri ve varyans analizi verilmiştir. Varyans analizlerinde $F_{(hesap)}$ değerin 0.852 bulundu. Hesaplanan bu değer F-Dağılım değerleri Tablosundan alınan $F_{(Tablo)}=5.85$ değerinden küçük olduğu için gözlemlerin ortalama değerleri arasında önemli bir fark olmadığı sonucuna varıldı.

Tablo 4.7 Gözlem değerleri ve ANOVA Tablosu

	1	2	3
1. Gözlem			
1,44			
0,27			
0,98			
0,07			
0,09			
1,01			
0,26			
1,47			
2. Gözlem			
1,72			
0,05			
0,51			
0,04			
0,15			
0,58			
0,08			
1,69			
3. Gözlem			
0,79			
0,16			
0,31			
0,08			
0,12			
0,52			
0,16			
0,63			
Ortalama değere	0,70	0,60	0,35
Standart sapma	0,59	0,71	0,27
S^2 (G. İçi)	0,309		
S_A^2 (G. Arası)	0,033		
v_1	2		
v_2	21		
$F_{(hesap)}$	0,856		
$F_{(tablo)}$	5,85		

BÖLÜM 5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Etial 171 alaşımında (A360) mikroporozite oluşumuna etki eden faktörler Taguchi deney tasarım teknikleri kullanılarak incelendi. Bu çalışmanın genel sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Bir Etial 171 alaşımı beş ayrı tasarım faktörü ve iki seviyeli değişken şartları altında kum kalıba dökülerek katılaştırıldı ve döküm parça kesitlerinde oluşan mikroporozite oranları incelendi. Sonuçlar porozite oluşumunun % 0,04 ile %1,72 arasında değiştiğini ve porozite oluşumu üzerinde ölçüm yapılan döküm kesitlerinin lokal katılma zamanı ile dökümün yapıldığı sıvı metalin içerisinde bulunan çözünmüş hidrojen miktarının etkili olduğunu gösterdi.

2. Taguchi tasarım yöntemi porozite oluşumu üzerindeki en etkili döküm parametresinin lokal katılma zamanı (soğuma hızı) olduğunu, dökümün yapıldığı sıvı metalin içerisinde bulunan çözünmüş hidrojen miktarının (oranının) ise porozite oluşumu üzerinde ikinci en etkili faktör olduğunu gösterdi.

3. ANOVA sonuçları ötektik silisyumu modifiye etmek üzere sıvı alaşım içersine ilave edilen Sr elementinin, döküş hızının ve sıvı metalin filtrelenmesinin porozite oluşumu üzerinde çok az etkili olduğu veya hiç etkili olmadığını göstermiştir.

4. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların diğer bazı alüminyum döküm alaşımlarında da tekrarlanabilirliğinin ölçülmesi ve endüstriyel dökümlerde karşılaştırılması amacı ile değişik hidrojen seviyelerine sahip sıvı alaşımlar kullanarak değişik katılaştırma zamanlarına sahip kesitlerde porozite ölçümü yapılması faydalı olabilir.

5. Bu çalışmada kullanılan beş parametreye ek olarak yeni bir deney tasarımı yapılarak dökümhane ortamının nem oranını da deney parametrelerine eklemek ve

dökümhane atmosferinin dökümde porozite oluşumu üzerinde ne derece etkilere sahip olduğu incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] SAMUEL, A.M., SAMUEL, F.H., Porosity Factor in Quality Aluminum Castings, AFS Transactions, Vol.100, pp657-666, 1992.
- [2] KAYIKCI, R., Use of Computer Modelling In Predicting Microporosity In A Commercial Aluminum Casting, 66.World Foundr Congress, 7-9 September 2004, İstanbul.
- [3] KIM, J., CHOI, J., CHOI, J., LEE, C., YOON, E., A Study on The Variation of Solidification of A356 Aluminum Alloys with Sr Addition, Kluwer Academic Publishers, Pp 1395-1397, 2000
- [4] SHABESTARI, S.G., SHAHRI, F., Influence of Modification, Solidification Conditions and Heat Treatment on The Microstructure and Hechanical Properties of A356 Aluminum alloy, Kluwer Academic Publishers, pp 2023-12032,2004
- [5] CHIESA, F., MAMMEN, J., Correlating Microporosity to Local Solidification Conditions and RPT in Aluminum A356 Castings, AFS Transactions, Vol.107, pp103-111, 1999.
- [6] CHIESA, F., REGIMBAL, P., Predicting Local Microporosity and Tensile Elongation in Al-Si7Mg03 (A356) Industrial Castings, (unpublished paper, Private correspondence) 2004
- [7] FUOCO, R., CORREA, R., The Efect of Gating System Design on The Quality of Aluminum Gravity Castings, IPT – Technological Research Institue, Sao paulo, Brasil
- [8] KAO, S.T., CHANG E. , CHAN L.C. , Effect of Hydrogen Content on Soundness of A356 Alloy Plate Castings, AFS Transactions Vol.103, pp531-536, 1995.
- [9] OĞUZ, B., 2000 Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, Nobel Yayınları, 2000
- [10] ANIK, S., ANIK, E.S., VAROL, M., 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000
- [11] KSURI, V., PAUL, A.J., EL-KADDAH, N., BERY, J.T., Determination of Correlation Factors for Prediction of Shrinkage in Castings; A Generalized Criterion, AFS Transactions, Vol.102, pp.138, 1994

- [12] TABAN, E., KALUÇ, E., Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının – Endüstriyel Kullanım Alanlar, Metal Dünyası, Şubat 2005
- [13] MULAZIMOGLU, M.H., HANDIAK, N., GRUZLESKI, J.E., Some Observations on the Reduced Pressure Test and Hydrogen Concentration of Modified A356 Alloy, AFS Transactions, Vol. pp225-232,1989.
- [14] LASLAZ, G., LATY, P., Gas Porosity and metal Cleanliness in Aluminum Casting Alloys, AFS Transactions, Vol.99, pp83-90, 1991.
- [15] CHIESA, F., MAMMEN, J., SMILEY, L., Use of Solidification Modeling to Predict Porosity Distribution in Al A356 Industrial Castings, AFS Transactions, Vol.106, pp149-153, 1998.
- [16] Dispinar, D., Campbell, J., Determining Aluminium Melt Quality, Proc. , 66. World Foundry Congress, 6-9 September 2004, Istanbul, Vol.1, pp 45-58.
- [17] PAN, E.N., CHIOU, H.S., LIAO,G.J., Effects of Modification and Solidification Conditions on the Feeding Behaviour of A356 Al Alloy, AFS Transactions, Vol.99, pp605-621, 1991
- [18] FUOCO, R., GOLDENSTEIN, H., GRUZLESKI, J.E., Evaluation of Effect of Modification Induced Eutectic Undercooling on Microporosity Formation in A356 Al Alloy, AFS Transactions, Vol.102, pp297-306, 1994.
- [19] FANG, Q.T., GRANGER, D.A., Porosity Formation in Modified and Unmodified A356 Al Castings, AFS Transactions, Vol.87, pp989-1000, 1989.
- [20] LIU, L., SAMUEL, F.H., Effects of Inclusions on The Tensile Properties of Al-7% Si-0.35%Mg (A356.2) Aluminum Casting Alloy, J. Materials Science, Vol.33, pp 2269-2281, 1998.
- [21] ANSON, J.P., GRUZLESKI, J.E., Effect of Hidrojen Content on Relative Shrinkege and Gas Microporosity in Al-7% Si Casting, AFS Transactions, pp 135-140, 1999
- [22] “The Liquid Treatments of Aluminum Silicon Alloys, American Foundrymen’s Society Inc.”, U.S.A. , 1990
- [23] <http://www.matwab.com/search/specifical/print.asp?bossnus=MAC3600AF>
- [24] Edited by ZALENSAS, D.L., AFS American Foundrymen’s Society Inc Des Planines, Illinois, 1993
- [25] İDİZ, S., Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu Ürün ve Proseslerinin Optimizasyonu, Federal Mogul Yayınlar, Maşukiye, Şubat 1999

- [26] FERHAN, M., Çok Yanıtlı Taguchi Tasarım metodu ve Alüminyum Sanayinde Bir Uygulama, Sakarya Üniversitesi, Haziran 2003
- [27] ROSS, P.J., Taguchi Techniques for Quality Engineerin, McGraw – Hill, Newyork, 1988
- [28] TAGUCHI, T., ELSAYED, E., HSIANG, T., Quality Engineering In Production Systems, McGraw-Hill International Editions,Engineering Series,1989
- [29] LOCHNER, R.H., MATAR J. E. , Designing For Quality “ An Introduction To The Best Of Taguchi And Western Methods Of Statistical Experimental Design, Chapman And Hall, London, Newyork, Tokyo, Melbourne, Madras, 1990
- [30] GEÇKİNLİ, E., Metalografi 1. kısım, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbası, Gümüşsuyu, 1989
- [31] RCHMAHL J. R., DEVIDSON J. N., Ceramic Foam Filtler Technology for Aluminum Foundries, Modern Casting, july 1993
- [32] WU H. D., CHANG M. S., Use of Taguchi method to develop a robust design for the magnesium alloy die casting process, Materials Science and Engineering , pp 366–371, 2004

ÖZGEÇMİŞ

1976 Yozgat doğumluyum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Yozgat'ta tamamladım. 1995-1997 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Meslek Yüksekokulu, Endüstriyel Elektronik bölümünü bitirdim. 1998-2002 yılları arasında Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal öğretmenliği bölümüm derece ile bitirdim. Şu anda Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Öğrenimimi sürdürmekteyim.

