

66007

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİYLE
A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
DÖKÜM ŞARTLARININ OPTİMİZASYONU

HALİM TURGUT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

GEBZE

1997

TEK ÖĞRETİM KÜLTÜR
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİYLE
A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
DÖKÜM ŞARTLARININ OPTİMİZASYONU**

**HALİM TURGUT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
Yrd.Doç.Dr.ORHAN ŞAHİN**

**GEBZE
1997**

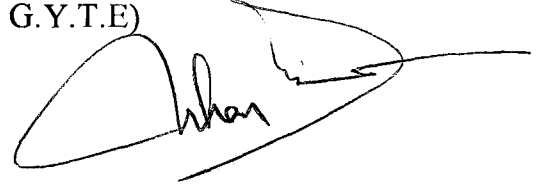
65002

Bu tez çalışması G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~01.01.1992~~ tarih ve~~01.7.21~~... sayılı kararıyla oluşturulan juri tarafından Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

Üye

(Tez Danışmanı): Yrd. Doç.Dr. Orhan ŞAHİN (G.Y.T.E)



Üye

:Prof.Dr. M. Alattin HASTAOĞLU (G.Y.T.E.)



Üye

:Yrd Doç. Dr. Ahmet ÇAPOĞLU (G.Y.T.E.)



ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

~~19.09.1992~~ tarih ve ~~92/23~~.sayılı kararı



ÖZET

Bu tez çalışmasında 1945'lerden sonra rağbet gören, Türkiye'de hassas döküm olarak bilinen Kabuk Kalıp Hassas Döküm yönteminin endüstriyel amaçlı olarak proses tanıtımı yapılmış olup, A356 alüminyum alaşımının döküm şartları optimize edilmeye çalışılmıştır. Kabuk kalıp hassas döküm tekniğine uygun olarak aynı şartlarda oluşturulan döküm kalıpları, kimyasal kompozisyonu, ergitme metodu ve işlemleri, ısı işlem rejimi sabit tutularak, döküm sıcaklığının, kabuk sıcaklığının, ve döküm hızının akıcılık, iç yapı ve mekanik özellikler üzerindeki tesiri araştırılmıştır. Ergimiş metal sıcaklıkları 670°C, 720°C, 770°C, kalıp sıcaklıkları 300°C, 400°C, 500°C ve döküm hızları, yavaş, orta ve hızlı olarak seçilmiştir. 10 adet çekme, 10 adet darbe ve akıcılık test plakası montajlanmış toplam 27 kabuk kalıbın dökümü yapılmıştır. Kalıp dizaynı, iki farklı tip salkım montajlanmasıyla (çerçevesiz - çerçevesiz), dökümler sağlamlığı ve ekonomikliğı üzerinde çok baskın olduğu gözlenmiştir. Kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve döküm hızının iç yapı ve mekanik özellikler üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir. Bu parametrelerin akıcılık ve döküm kalitesiyle çok yakın ilişkide olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: A356 Al-alaşımı, hassas döküm

SUMMARY

In this study, it was attempted to optimize the casting temperature, shell mold temperature and casting speed of Na- modified A356 aluminum alloy. Investment casting technique which is known since 1945 was used to cast Na-modified A356.

The effect of casting temperature, shell mold temperature and casting speed on quality fluidity microstructure and mechanical properties of the cast pieces had been investigated by keeping rest of the casting process same. The molten temperature and shell mold temperature were chosen on 670°C, 720°C, 770°C and 300°C, 720°C, 500°C respectively. The casting speed was qualitatively defined as slow medium and fast. Totally 27 investment casting each containing 10 tensile, 10 impact and 2 fluidity specimen were done by using various combination of casting temperature mould temperature and casting speed. It was clear from the inspection of these 27 cast pieces that although casting parameters (casting temperature mold temperature and casting speed) were strongly effective on the quality of cast pieces. They have almost no effect on final microstructure and mechanical properties.

Key Words: A356- Aluminium alloy, Investment casting

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında, tecrübelerinden ve bilgisinden istifade ettiğim tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Orhan ŞAHİN'e, deney çalışmalarının yapıldığı TÜBİTAK -MAM Malzeme Grubu çalışanlarına ve özellikle deneylerin gerçekleşmesinde büyük katkıları olan Hassas Döküm Laboratuvarı sorumlusu Batu BÜTÜN'e, teknisyen Rıdvan DOĞAN, Fethi ALTINTEPE ve Ahmet TUNA'ya teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ



ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1.Hassas Döküm	3
2.1.1.Tarihsel Gelişimi Ve Modern Döküm Endüstrisi	3
2.1.2.Geleneksel Üretim Süreçleri	6
2.1.3.Prosesin Avantajları Ve Sınırları	6
2.1.4.Proses Sınıflandırılması	7
2.1.5.Mum Modellerin Üretiminde Kullanılan Kalıplar	8
2.1.6.Model Malzemeleri	11
2.1.6.1.Polystren Malzemeler	11
2.1.6.2.Civa Paternler	11
2.1.7.Enjeksiyon Mumları	12
2.1.7.1 Sade Mumlar	14
2.1.7.2. Emülsüfiye Mumlar	14
2.1.7.3 Dolgulu Mumlar	14
2.1.7.4.Suda Çözülebilir Mumlar	15
2.1.8.Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi	16
2.1.8.1.Bağlayıcılar	17
2.1.8.2.Refrakter Malzemeler	18
2.1.8.2.1.Fused Silika	19
2.1.8.2.2.Zirkon	19
2.1.8.2.3.Alümina	19
2.1.8.2.4. Alümina Silikat	20

2.1.8.3.Kaplama Çamurları	20
2.1.8.3.1.Fused Silika Çamurlar	22
2.1.8.3.2.Zirkon Çamurları	23
2.1.8.4.Proses Kontrol	24
2.1.9.Dereceli Hassas Döküm	25
2.1.9.1.Non-Ferro Alaşımlar	25
2.1.9.2.Ferro Alaşımlar	26
2.1.9.2.1.Ön Kaplama	26
2.9.2.2.Çamur Malzemeleri	27
2.9.2.3.Karıştırma ve Vakumlama	28
2.1.10.Seramik Kabuk Kalıpların Mumdan Arındırılması	28
2.1.10.1.Dış Basınç Teknikleri	29
2.1.10.2.Solvent Metotlar	29
2.1.10.3.Flaş Metodu	30
2.1.10.4.Otoklav Metodu	31
2.1.11. Döküm Hataları	32
2.1.11.1.Misruns	32
2.1.11.2.Dizayn Anlayışı	33
2.1.11.3.Cold Shut	33
2.1.11.4.Sıcak Yırtılma Ve Çatlaklar	34
2.1.11.5.Porozite	34
2.1.11.6.Çekilme	35
2.1.11.7.İnkluzyonlar	36
3.DENEYSEL YÖNTEM	37
3.1..Kaplama	37
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri Mekanik Testler	40
3.3. Ergitme ve Döküm	41
3.4 Isıl İşlem	43
3.5. Mekanik Test Yöntemleri	44
3.5.1.Çekme Testi	44
3.5.2. Darbe Testi	45
3.6.Akıcılık Testi	46

4.DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	47
4.1.Gözlem	47
4.2. Akıcılık	54
4.3. Mikroyapı ve Test Sonuçları	59
5.SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	76



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
ŞEKİL 2.1. Coğrafi Bölgelere göre yıllık satış verimi	4
ŞEKİL 2.2. Dünya hassas döküm pazarının dağılımı	4
ŞEKİL 2.3. Ticari olmayan hassas döküm yüzdeleri	4
ŞEKİL 2.4. Seramik kabuk kalıp hassas döküm yöntemi akış diyagramı	9
ŞEKİL 2.5. Dereceli hassas döküm yöntemi akış diyagramı	10
ŞEKİL 3.1. Deneylerde takip edilen akım şeması	38
ŞEKİL 3.2. Kaplamalar yapılırken katmanlar arası tane boyutu düzenlenmesi	
a) Deneylerde kullandığımız kademeli tane boyutu içeren kaplama dizaynı (İdeal kaplama)	
b) Ara tane boyutu kademesi bulundurmayan kaplama dizaynı	39
ŞEKİL 3.3. Kullanılan silika bağlayıcının jellenmesi üzerinde pH'nın etkisi ve kullanım aralığı	40
ŞEKİL 3.4. Bağlayıcı miktarı ile kırma dayanımı arasındaki ilişki	40
ŞEKİL 3.5. Deneylerde kullanılan T6 ısıtma işlem çizelgesi	43
ŞEKİL 3.6. Deneylerde kullanılan çekme testi numunesinin ölçüleri	44
ŞEKİL 3.7. Deneylerde kullanılan Darbe testi numunesinin ölçüleri	45
ŞEKİL 3.8. Kendi oluşturduğumuz referans akıcılık test numunesi ölçüleri	46
ŞEKİL 4.1. a) Çerçevesiz ve çerçeveli fused silika refrakter seramik kaplanmış kalıplar b) Deney şartlarını temsil eden dökümlerin fotoğrafları	48
ŞEKİL 4.2. 670 °C Döküm sıcaklığı şartlarında akıcılık grafiği	56
ŞEKİL 4.3. 720 °C Döküm sıcaklığı şartlarında akıcılık grafiği	57
ŞEKİL 4.4. 770 °C Döküm sıcaklığı şartlarında akıcılık grafiği	57
ŞEKİL 4.5. 670°C, 720°C, 770°C döküm sıcaklıklarından alınan ortalama akıcılık grafiği	58
ŞEKİL 4.6. Al-Si alaşımı faz diyagramı	59
ŞEKİL 4.7. 670 °C Döküm sıcaklığında ısıtma işlem fotoğrafları	61
ŞEKİL 4.8. 720 °C Döküm sıcaklığında ısıtma işlem fotoğrafları	62
ŞEKİL 4.9. 770 °C Döküm sıcaklığında ısıtma işlem fotoğrafları	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	SAYFA
ÇİZELGE 2.1.1. Değişik mum bileşenlerinin fiziksel özellikleri	15
ÇİZELGE 2.1.2. Silika bağlayıcıları tipik fiziksel ve kimyasal özellikleri	17
ÇİZELGE 2.1.3. Silika sol bazlı birinci kaplama çamuru	20
ÇİZELGE 2.1.4. Etil silikat bazlı birinci kaplama çamuru	21
ÇİZELGE 2.1.5. Silika sol bazlı ikinci kaplama çamuru için refrakter oranı	21
ÇİZELGE 2.1.6. Etil silikat bazlı ikinci kaplama çamuru	21
ÇİZELGE 2.1.7. Fused silika ilk kaplama çamuru örneği	22
ÇİZELGE 2.1.8. Fused silika son kaplama çamuru örneği	23
ÇİZELGE 2.1.9. Tipik zirkon çamurları formülasyonu ve özellikleri	23
ÇİZELGE 3.1. Kullandığımız fused silika çamurlarının özellikleri	37
ÇİZELGE 3.2. A356 Alüminyum alaşımlarının kompozisyon limitleri	41
ÇİZELGE 3.3. A356 alüminyum alaşımının hurda kompozisyonu	41
ÇİZELGE 3.4. A356 Alüminyum alaşımlarının tipik mekaniksel özellikleri	41
ÇİZELGE 3.5. Dökümler süresince takip edilen ocak şarj düzeneği	42
ÇİZELGE 3.6. Ocaktan 30 dakika aralıklarla alınmış numunelerin spektral analizleri a) 670 °C b) 720 °C c) 770 °C	42
ÇİZELGE 4.1. Dökümlerin en sağlam çıktığı parçaların döküm şartları	47
ÇİZELGE 4.2. DeneySEL şartlar altında akıcılık testinde ergimiş metalin yürüme değerleri	55
ÇİZELGE 4.3. 670°C, 720°C, 770°C döküm sıcaklıklarında ortalama değerler	58
ÇİZELGE 4.4. Döküm ve ısıt işlemler şartlarında sertlik değerleri	65
ÇİZELGE 4.5. Döküm ve ısıt işlemler şartlarına bağlı olarak akma değerleri	66
ÇİZELGE 4.6. Döküm ve ısıt işlemler şartlarına bağlı olarak kopma değerleri	67
ÇİZELGE 4.7 Döküm ve ısıt işlemler şartlarına bağlı olarak uzama değerleri	68
ÇİZELGE 4.8. Döküm ve ısıt işlemler şartlarına bağlı olarak darbe değerleri	69
ÇİZELGE 4.9. Döküm sonrası test sonuçlarının ortalama değerleri	70
ÇİZELGE 4.10. Yaşlandırma sonrası test sonuçlarının ortalama değerleri	70

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Yurdumuzda "Hassas Döküm " adı ile bilinen döküm dalı, İngiliz dilinde "Investment Casting", "Precision Casting" yada "Lost Wax", Alman dilinde "Feinguss", Fransız dilinde ise "Cire Perdu" olarak anılmaktadır.

Hassas Döküm ile şekil karmaşıklığı veya metal sertliği açılarından talaşlı imalat metotlarıyla işlenmesi zor ya da imkansız olan parçaların üretimleri nihai şekle yakın "near net shape" olarak yapılabilir. Dökülmüş bir parçanın yüzeyi, torna veya freze ile iyi işlenmiş bir metal yüzeyi gibidir. Yüzeydeki pürüzlülük çeliklerde 3.2μ , hafif alaşımlarda ise 1.6μ civarındadır. Ancak talaşlı imalat gibi mutlak geometrik düzgünlük elde edilemez. Hassas dökümün boyut toleransları da düşük olup normal olarak $\pm 0.5\%$ civarındadır. İşlem kademeleri sıkı kontrol altında tutulursa bu değer $\pm 0.3\%$ ve hatta $\pm 0.1\%$ 'e kadar düşebilmektedir [2,5].

Yöntemde, üretilmesi istenen her parçanın öncelikle daha sonra kaybedilecek bir modeline ihtiyaç vardır. Bir kalıptan üretilen bu modellerin günümüzdeki malzemesi genellikle mumdur. Bir ana yoluk mumuna ısı yardımıyla yapıştırılan model mumları salkım yada ağaç tabir edilen bir yapı meydana getirir. Daha sonra seramik malzeme ile kaplanıp kurutulan salkımların üzerine seramikten bir kalıp inşa edilmiş olur. Şok ısıtma ile içindeki mumu boşalan kalıp pişirilir ve genellikle sıcak halde ve ya soğutulduktan sonra içine metal dökülür. Seramik kalıbın kırılması metal salkımın kumlanması ve parçaların ana yolluktan kesilmesiyle üretim tamamlanır [4,20].

Her çeşit hava araçları, elektrik ve elektronik sanayii parçaları, türbin -pompa-komperasör parçaları, bilgisayar parçaları, gıda endüstrisi parçaları, mekanik işleme takım ve aksesuarları, implant malzemeleri ve ameliyat gereçleri, diş hekimliğinde protez malzemeleri, hafif silah parçaları, tekstil endüstri parçaları, otomotiv sanayi parçaları ve kuyumculuk sektöründe kullanılan döküm parçaları gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Hassas döküm ayrıca geçmişten günümüze heykel ve sanat eserlerinin dökümünde sanatçılar tarafından başarıyla kullanılmış ve kullanılmaktadır.

Bugün Hassas döküm, CAD/CAM yardımıyla yapılan mum kalıpları lazer ışınlarıyla yapılan mum montajları, hızlı prototip oluşturma tekniğiyle kabuk üretimi (Direct Shell Production Casting), bilgisayar kontrolü ve robot kullanımıyla günümüz teknolojilerine uyarlanabilen bir tekniktir [15,16,17,21].

Bu çalışmada, A356 alüminyum alaşımlarının hassas döküm tekniği ile döküm karakterizasyonu yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ve döküm hızının tesirleri, döküm sonrası ve T6 ısıtma işlem şartlarında yapılan mekanik testler ve mikro yapı etüdüyle araştırılmıştır.



2.LİTERATÜR TARAMASI

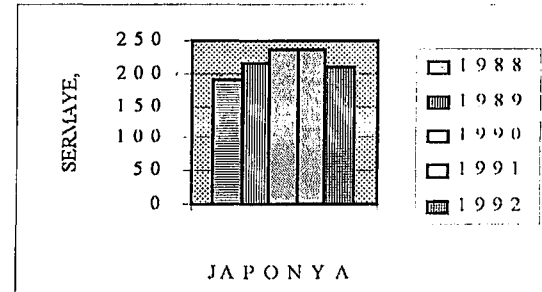
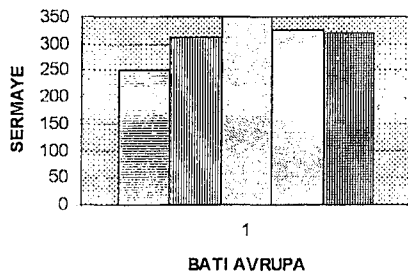
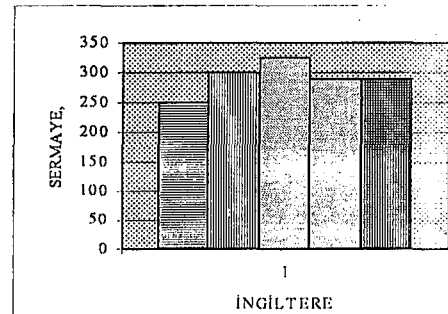
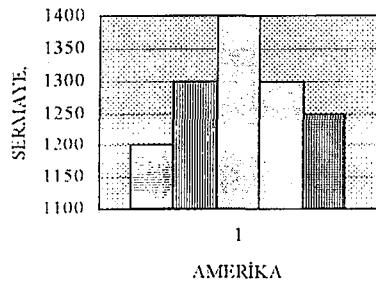
2.1.Hassas Döküm

2.1.1.Tarihsel Gelişimi ve Modern Döküm Endüstrisi

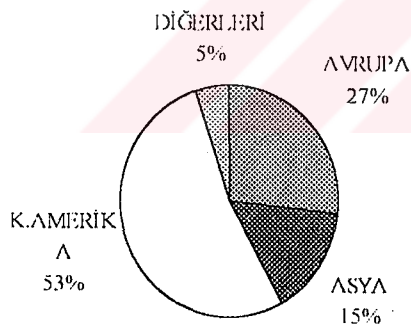
Çok eski bir döküm yöntemi olarak heykel, mücevherat, ziynet eşyası alet ve silah yapımında kullanılan metot belli bir duraklama döneminden sonra 1897 yılında B.F.Philbook, hassas dökümü dişçilikte protez yapımı için yeniden kullanarak adeta yeniden keşfetmiştir. 1930 yıllarda ise hassas döküm faydalı özel bir döküm metodu olarak kabul edildi. Fakat mühendisliğin temel akışıyla çok az ilişkiliydi. Bu durumu değiştiren tek neden II. Dünya Savaşı talepleriydi ve modern hassas döküm endüstrisinin temellerini ortaya koydu. Amerikan endüstrisi ordunun acil parça talebini karşılayacak talaşlı imalattan daha hızlı, yeni bir teknolojiye zorlanmıştı. Bu dönemde dişçilik ve kuyumculukta kullanılan teknikler geliştirilerek; talaşlı imalat, kaynak ve montaj kademelerinden arındırılmış tek parça halinde karmaşık şekilli düzgün yüzeyli ve dar boyut toleranslarında silah ve uçak parçalarının üretimleri hassas dökümle yapıldı. Savaş sonrası sivil havacılık için jet motorun başlangıcı investment döküm için iyi bir fırsat hazırladı ve yüksek kaliteli, kritik konponent ürünler aralarındaki bağlantıları güçlendirdi [1,2].

1950 'ler içerisinde genişlemenin devamı, uygulamaların gelişmesi ve genel ticari marketlerin oluşmasıyla gerçekleşti . Metal - alaşımların döküm aralığı çok farklılaştı, çelik, süper alaşım ve non -ferro marketlerin sayısı arttı. 50'li yılların ortalarında, seramik kabuk prosesi, dereceli kalıp hassas döküm yöntemiyle üretilmeyen çok büyük parçaların üretimine ve çok yönlü kullanımına olanak verdi[1,2].

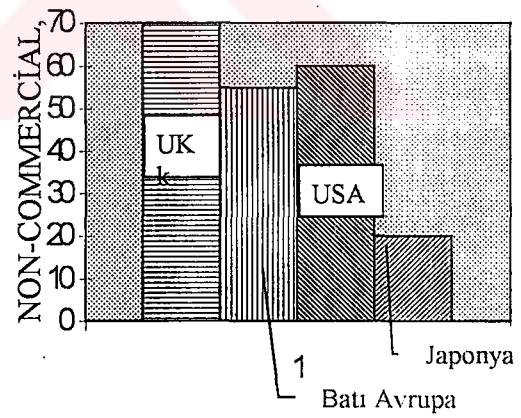
Hassas döküm endüstrisi başlangıçta yavaştı. 1958'de İngiltere 'deki verimi. yılda £5 milyon, 1972'de £29 milyon, 1982'de £100 milyona yükseldi ve 1986'da çelik döküm endüstrisi satış veriminin artmasına paralel olarak iki kat arttı. 1992 de verim £300 milyona yükseldi. 50 civarındaki döküm fabrikasında 6500 çalışan insan vardı İngiltere, demir dökümler dışında döküm endüstrisinin en büyük sektörü hassas dökümdür ve toplam dökümün %18'ni kapsar[1].



Şekil 1.1. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi



Şekil 1.2



Şekil 1.3

Şekil 1.2. Dünya hassas döküm pazarının dağılımı

Şekil 1.3. Ticari olmayan hassas döküm yüzdeleri

Amerikan Hassas Döküm Endüstrisi bir seri pik yaparak gelişmiştir. II. Dünya Savaşı sonlarında, yılda \$35milyondan 1958'de \$70 milyona ve 1970 'da \$1000 milyona yükseldi. 1980'lerin ikinci yarımında çok büyük gelişmeler oldu . Öyle ki satış grafiği \$2200 milyona yükseldi. Amerika'da 385, Kanada'da 30'dan fazla hassas döküm fabrikası vardı. Amerika ve İngiltere'ye ek olarak, Batı Avrupa ve Japonya hassas dökümün temel üreticileri olarak bilinirler. Şekil 2.1.'de 1988-92 yılları için onların verimleri karşılaştırıldı.

Hassas dökümün dünya pazar payı, geçen bir kaç yılda azaldı, genel ekonomik trentleri ve son oranları (1993) baz alındı. Yıl başına toplam \$3600M 'e yerleşti. Bununla beraber Doğu Avrupa Ülkeleri, Rusya, Çin ve diğer ülkelerdeki verim toplam verim üzerinde etkili değildir. Gerçekleşen üretim datalarının azalmasında stresli olunmalıdır. Şekil 2.2'de dünya hassas döküm marketlerinin dağılımı gösterilmektedir.

Hassas dökümler iki tip uygulama alanına ayrıştırılabilir. Biri uçak, uzay ve askeri uygulamalar içindir ve İngiltere'de "released dökümler" ve Amerika' da "dökümented castings" olarak bilinirler. Uygulamanın diğer alanı genel ticari pazar içindir. Şekil 2.3'de released/dökümented (ticari olmayan) ile, ticari olan dökümlerin karşılaştırılması dört coğrafi bölge için sunulmuştur. Bu oranlar oldukça fark eder ve işçi verimi gibi endüstrinin diğer parametrelerini etkiler. Amerika ve İngiltere'de ticari olmayan uygulamalar baskındır. Amerika'da ticari olmayan dökümler toplam verimin %60'ını kapsar, fakat üretici firma olarak %15'tir. Kalan %85 üretici %40 hisse sahibidir. Japonların havacılık ve savunma sanayinde hassas döküm kullanımı relatif olarak azdır, tercih en çok otomotiv endüstrisindedir.

Son yıllarda hassas döküm endüstrisinin performansı; fabrika kapanması, minimum büyüme veya verim düşmesi gibi olaylara maruz kalan diğer döküm fabrikalarıyla keskin bir aykırılık gösterir.

Bu performans hassas dökümün dizayn kabiliyetiyle, dizayncıların geliştirme ilgileri ve maharetleriyle artar. 1980'lerin ikinci yarısından sonra havacılık endüstrisindeki yükseliş büyümenin ana motorudur. 1985-1990 arası Amerika'nın uçak yapımı yeni siparişleri %59 arttı ve türbin kanatçıkları, nozullar, vanalar, pompalar,

elektronik parça aksamaları gibi kullanımı bulunan hassas dökümler için tek fırsatı hazırladı [1,4,5].

2.1.2.Geleneksel Üretim Süreçleri

Hassas döküm, mum veya plastik gibi harcanabilir bir modelin oda sıcaklığında hazırlanmış özel bir refrakter malzemeyle çevrelenmesi ve daha sonra modelin eritilerek ve ya vakıyarak dışarı alınması ile oluşan kalıp boşluğuna, ergimiş metalin dökülerek şekillendirildiği bir metottur.

Kum dökümde ağaç veya metal paternler model malzemesinde boşluk oluşturmak için kullanılır. Patern tekrar kullanılabilir, fakat kalıp harcanabilir. Hassas dökümde bir metal model kalıbı kullanılarak üretilen paternler, seramik modeller üretmek için tekrardan kullanılır. Her iki patern ve kalıp harcanabilir. Seramik maçalar isteğe göre kullanılır ve bunlar da harcanılabilir [2].

2.1.3.Prosesin Avantajları

1-) Proses, çoğu geleneksel döküm prosesleriyle veya tekniğiyle üretilmesi imkansız veya zor kompleks şekilli parçaların kitle üretiminde kullanılır.

2-) Kalıp malzemeleri veya kullanılan teknik, diğer döküm yöntemleriyle kıyaslandığında daha düzgün yüzeylere , iyi boyutsal doğruluğa ve ince detayların üretilmesine izin verir.

3-) Proses dökülen veya eritilen hemen hemen her metal için adapte edilebilir.

4-) Temel prosesin modifikasyonu ile 25kg üzerinde döküm üretimi yaygın değildir. Sık olmasada hassas dökümle 500kg kadar çok büyük dökümlerin üretimi de mümkündür.

5-) Dökümler az veya hiç son işlemlere gerek kalmadan kullanılabilir üretilirler ve kolay işlenebilir metal seçimini minimize eder.

6-) Proses, mekaniksel özelliklerin kontrolüne yakın sonuçlar veren tane boyutu, tane yönelmesi ve yönelmiş katılaşma gibi metalurjik özelliklerin sonuçlarına yakın ruhsatlar verir.

7-)Proses, alaşımların ergitilmesi ve dökümü, vakumda veya inert gaz atmosferi kontrolünde olduğunda, kolayca adapte edilebilir.

8-)Diğer döküm yöntemlerinde karşılaşılan ürün üzerindeki ayrılma hatlarıyla karşılaşamaz. Hassas dökümde kullanılan monolitik kalıplar sebebiyle ayrılma hatları normal olarak elimine edilir [2,3].

Proses İçeriğinin Sınırları :

1-)Prosesle üretilen dökümlerin boyut ve ağırlığı, kullanılır malzemenin kapasitesiyle iyi olduğu kadar fiziksel ve ekonomik değerlerle sınırlanan bir üretim şeklidir. Genellikle proses 5kg 'den daha ağır olmayan dökümlerde çok avantajlı olarak uygulanır.

2-)Büyük dökümler (5-25kg) için başlangıç işlem maliyeti genellikle yüksektir[2]

2.1.3.Proses Sınıflandırılması

Hassas döküm üretiminde kullanılan kalıp hazırlama metotlarının farklılığına göre Kabuk Kalıba Döküm ve Dereceli Kalıba Döküm şeklinde adlandırılan iki ayrı prosese ayrılır. Genelde bu iki proses, patern hazırlama ve patern montajı dışında, uygulamada birbirinden farklı değildir. kabuk proses için modellere her zaman ön kaplama uygulanır. Oysa ki dereceli kalıp prosesi için modellerin ön kaplanması istenmez.

Kabuk Hassas Döküm prosesinde, kaplamadan sonra mum model montajı tekrarlı olarak bir kaplama çamuruna daldırılır ve ya akışkan yataкта asılarak yada toz refrakterle püskürtülerek sıvanır. Kabuğun dayanabileceği mukavemete kadar bu işlem devam ettirilir. Genelde refrakter tanesi boyut aralığı -200, -1000 mesh arasındadır. İlk kaplama ince taneli, ilerleyen arka ki kaplamalar da iri taneli malzeme kullanılır. Çamur ve tanenin her bir kaplamasında havada kurutulur.

Karşıt olarak: dereceli kalıp proseste, model montajı bir döküm derecesi ile çevrelenir ve etrafı refrakter çamuruyla doldurulur. Kalıp çamuru "backup çamur" olarak adlandırılır, havada sertleşir, model montajında kabuk halinde bir kitle oluşur. Kabuk ve dereceli kalıp hassas döküm yöntemlerinin yapılışındaki adımlar, Şekil 2.1.4. ve Şekil 2.1.5.'de şematik olarak gösterildi. İki prosesle yapılan kalıplar denk değildir. Bu yüzden, hem ekonomik hem teknik faktörler iki proses arasında karar

vermede açıklanmalıdır. Ergitme, boşaltma ve bitirme operasyonları genellikle her iki kalıplama presesinde aynıdır [2].

2.1.5. Mum modellerin üretimin de kullanılan kalıplar

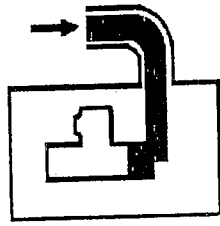
Hassas döküm mum modelleri üretimi için bir kaç tip kalıp malzemesi kullanılır. Bunlar çelik, bakır alaşımları, alüminyum, yumuşak metaller, epoksi, lastik ve alçıdır.

Çok uzun çalışmalar için çelik, bakır alaşımları ve alüminyum talaşlı imalat ile üretilir. Talaş kaldırma işleminin çok uzun süre gerektirmesi, bu kalıpların çok pahalı olmasını beraberinde getirmektedir. Mum üretimi 120000 ile 30000 arasında değişir. Patern üzerinde ek parçalara sahip kompleks şekilli kalıpların üretimi için tek yol bu mekanik işlemdir.

Prototip dökümler ve kısa çalışmalar için, düşük ergime noktalı alaşımlar mum enjeksiyon kalıpları olarak kullanılırlar. Kalıp ömrü yaklaşık 5000-7000 enjeksiyondur. Çekilme yapmazlar. %40 Sn ve %60 Bi alaşımı 190C' de erir ve 205C derecede dökülür. Bu amaç için önerilen diğer alaşım %25Pb, %50 Bi ve %25 Sn' dir.

Epoksi kalıplar, bir klavuz kalıbın kullanılarak dökülmesiyle elde edilen düşük maliyetli malzemelerdir. Klavuz kalıp olarak işleminin çok kolay, boşluk olarak işleminin çok zor olduğu karışık dökümlerin olduğu yerde epoksi ve yumuşak metaller kullanılır. epoksi kalıplar 50 model ömründedir.

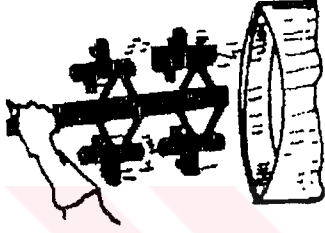
Lastik ve polivinil klorid kalıplar, esnektir ve hassaslığın çok istenmediği konponentlerde kullanılır. Modelleri kolayca kalıptan sıyırmak mümkündür. Metal kalıplardan zarar görmeden çıkarılması mümkün olmayacak modeller lastik modellerin hafif esnetilmesiyle kolayca çıkarılabilir. Bunların ömrü 200 model civarındadır. Kalıplar ısı ve basınç altında iyi sonuçlar verir. İki kalıp yarım arasındaki adhezyon, terzi sabunu uygulamasıyla önlenir.



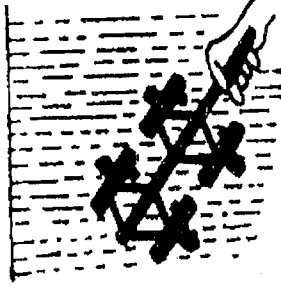
Model yapımı



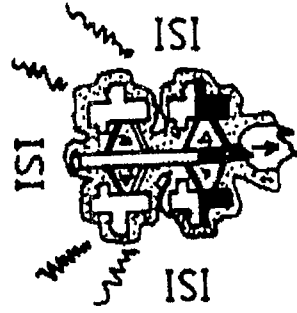
Model montaj



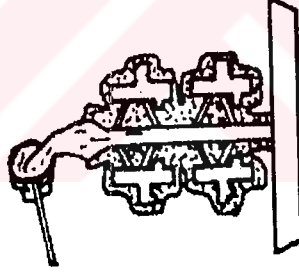
Seramik çamura daldırma



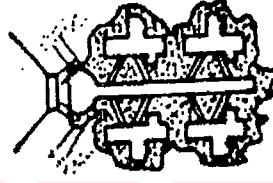
Tozlama işlemi



Mum giderme ve pişirme



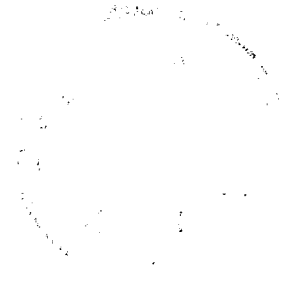
Sıvı metalin dökümü



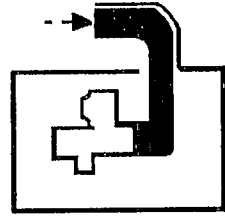
Kalıp bozma



Temizleme



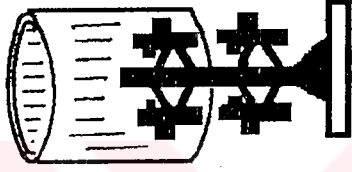
Çizelge 2.4. Seramik kabuklu hassas döküm işlemi



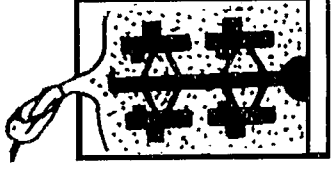
Model yapımı



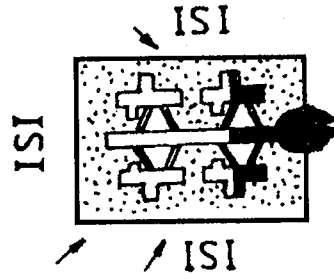
Salkım montajı



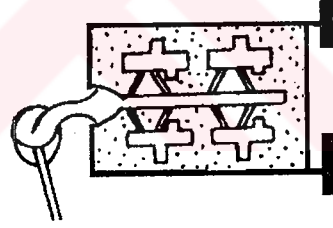
Derecenin yerleştirilmesi



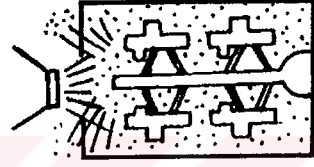
Kalıp malzemesinin
doldurulması



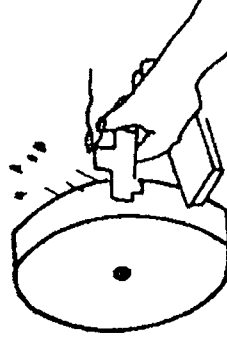
Mum giderme ve pişirme



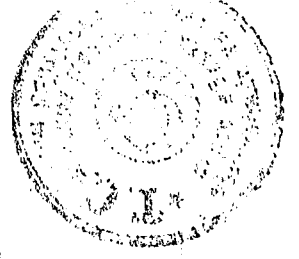
Ergitme ve döküm



Kalıp bozma



Temizleme



Çizelge 2.5 : Dereceli hassas döküm yöntemi

Alçı kalıplar çok zayıf kalıplardır ve klavuz kalıp kullanılarak yapılırlar. Bunların ömürleri bir kaç enjeksiyon basıncı kadardır [6].

2.1.6. Model Malzemeleri

Harcanabilir modeller, hassas döküm prosesinin en önemli kısmını oluşturur. Mum karışımları, yumuşak metaller, plastikler, cıva, plastik köpükler ve eriyebilen tuz karışımları gibi model malzemeleri çok olmasına rağmen, bugün kullanılan model malzemelerinin %95 mum bazlı %5'i polystyrenedir.

2.1.6.1 Polistren Malzemeler

Polistren, seramik shell üretiminde faydalı olarak kullanılabilir. Fakat yüksek kalıp maliyetleri kısa süreli çalışmalar için onların kullanımını sınırlar. Polistren bazı avantajlarından dolayı tercih edilir ve yalnızca uzun süreli çalışmalar için ekonomiktir.

Polistrenini özellikleri:

- 1-)Mumdan daha düşük çekilme ve ısısal genişleme katsayısına sahiptir.
- 2-) Çok sağlamdır ve bu yüzden kolayca kaldırılabilir.
- 3-)Oda sıcaklığı ve nemdeki değişmelerden etkilenmez
- 4-)Mumda mümkün olan şekillerin çoğu kalıplanabilir.
- 5-)İstenilen yüksek doğruluk sağlanır.
- 6-)Onların sıcaklık/viskozite karakteristiklerinden dolayı mumdan daha az yakılır [2,6]

2.1.5.2. Cıva Modeller:

-70F veya daha aşağı sıcaklıklara düşürülmüş model kalıplarına cıvanın boşaltılması ve bu sıcaklıklarda dondurulması şeklinde hazırlanırlar. Proses cıvanın donma sıcaklığının 37F altındaki kontrollü şartlarda seramik kalıplaması yapılır. Bu işlemden sonra cıva akıtılır ve kalıp %20 sulu nitrik asitte, %20 sulu sodyum hidroksitte ve asetonda başarılı olarak temizlenir.

Cıvanın model malzemesi olarak kullanılmasının en önemli avantajı katıdan sıvıya dönüşürken genişleme olmamasıdır. Böylece cıvanın kalıptan uzaklaştırılması

sırasında kalıbın şartlarına ve doğruluğuna karşı tesir etmez. Her hangi bir pres kapasitesiyle sınırlı olmadığı için büyük modellerin (3ft yukarısı gibi) üretimi mümkündür. Katı cıva modelin temas yüzeyine kaynak yapmak model inşasında bir avantajdır. En önemli dezavantajı düşük sıcaklıklarda prosesin kontrol edilir olmasıdır. Ek olarak ta, cıvanın yüksek maliyeti, toksit etkisi ve özel kaldırma problemleri içermesidir[2].

2.1.7.Enjeksiyon Mumları

Model yapımında kullanılan bu mumlar özel formülasyonlar şeklinde temini mümkündür. Fakat mum harmanı hazırlamada ölçülen yaygın özellikler şunlardır.

- 1- Kül miktarı (max %0.05 kabuldür)
- 2-Son yüzey
- 3-Taşıyıcı ve bağlayıcıların ilk kaplamaya direnci
- 4-Zamk uygulamasına direnç(zamk - çözünmez zamklar üretilirken bazı modeller enjeksiyon makinasında oksitlenmeye isteklidir.)
- 5-Viskozite
- 6-Mukavemet (çekme ve darbe)
- 7-Süneklik - kırılma geçiş sıcaklığı
- 8-Katılaşma sıcaklık aralığı
- 9-Oksidasyon direnci
- 10-İslatabilirlik
- 11-Kaynak direnci (modelin modele, modelin döküm deliğine ve kaynak modeline)
- 12-Termal genişleme,çekilme,yeme, kavitasyon, çökme katsayıları
- 13-sertlik
- 14-Yumuşama sıcaklığı
- 15-Özel çözücülerde model yüzeyinin çözülebilirliği
- 16 -Toksit

Mumlar karakteristiklerine bağlı olarak sıvı yapıda , katı-sıvı arası veya katı yapıda model dişileri içinde şekillendirilebilirler. Tipik bir sıvı enjeksiyon mumu, sert bitki mumu ve çekilmeyi gidermek için yüksek oranda içine reçine katılmış parafin dir.

140-150F arasında dondurulur ve 160 -170 F arası sıcaklıkta ve 150-50psi basınçta enjekte edilir. Tipik bir katı-sıvı enjeksiyon mumu, yüksek ergime noktalı mikrokristalin mum ve yüksek ergime noktalı doğal veya sentetik reçineleri içerir. 180-188F 'de katılaşma olur. Bu mum için, enjeksiyon sıcaklığı 140-150F ve enjeksiyon basıncı 180-350psi gerektirir .Tipik katı enjeksiyon mum toz halindeki polistren dolgular ile pekiştirilmiş hassaları içerir[2].

Mumun donma aralığı, model döküm dışisine (sıvı, katı, mushy) enjekte edileceği zaman önemlidir. Kısa donma aralığı ile karıştırmada hemen hemen her zaman sıvı yapıda enjekte edilir. Bu mumlar oda sıcaklığında kırılır, fakat ince ve uniform kesit üretimi için uygundur. Onlar yüksek enjeksiyon basıncı kullanıldığında ince oluşturulmuş seramik maçaların durumlarını korumalarının zor olduğu kullanımlar için değerlendirilebilirler.

Orta ve uzun donma aralığı ile karıştırma, sıvı enjeksiyondan daha yüksek basınçta enjekte edilimi istenirse sulsh aralığının üzerinde çok iyi enjekte edilirler. Çünkü küçük sıcaklık değişimleri, mum modellerde sık sık hatalara sebep olur. Uzun slush aralığına sahip mumlar tercih edilir. Benzeri mumlar ile uygulama, sıcaklık değişimleriyle küçük distorsiyonlara sebep olunur. Nitekim bu mum karışımlar ağır katı kesitler için genellikler mum astarlar veya çil uygulaması ister ve kavitasyona tabi tutulur.

Mum modelleri hazırlanırken, işlenebilen sıcaklık aralığının düşüklüğü ve oda sıcaklığı üzerinde model dışisi önemsizliğine yakın mumların sahip olması için ve yüksek enjeksiyon basıncına moderne edebilen kullanımlar için pratikte yaygındır. Pratik, model dışisi ve mum arasındaki sıcaklık farklılıklarını indirger. Böylece model çekilmesi minimize edilmiş olur. Çok yüksek enjeksiyon basıncı model çekilmelerini azaltır. Isıtılmış model döküm dışilerinin dezavantajı modelin kaldırılmasından sonra istenilen yerleşme zamanının çok uzun oluşudur.

Bugün hassas döküm endüstrisinde kullanılan değişik mum bileşenleri 4 sınıfta incelenebilir.

- a) Straight mumlar:
- b) Emulsified mumlar
- c) Filled mumlar
- d) Soluble mumlar

2.1.7.1 Sade Mumlar

Bunlar birçok mum ve bağlayıcının kompleks bileşimidir. Düz mumlar dolu kesitler, çiller üzerinde oluşabilen oyuklanmaları çözmek için kullanılırlar. Çi kullanımının arkasında yatan düşünce sıvı durumdan katı ya soğumada olabilecek mum çekilmesini indirmek ve kalın kesitlere eklenen çillerle modelin ince ve kalın kesitlerinin soğuma hızlarını eşitlemek içindir. Bu metotlarla %100 modelin üretim maliyetleri artabilir. Eğer aynı mumdan hem yolluk hem de model yapılırsa , otoklav edilmiş mumu kazanmak basit bir operasyondur. Mumun reklamasyonu neticesinde ideal bir yolluk mumudur, fakat model yapımı için kullanılmaz [6].

2.1.7.2. Emulsified Mumlar

Dökümhanelerin büyük çoğunluğu emilsüfiye edilmiş mumlar kullanır. Bunlar düz mumlarla benzer bazı malzemelerdir fakat su ile emilsüfiye edilmişlerdir. Yüzey düzgünlüğü son derece iyidir, çünkü su çekilmeyi karşılayıcı bir dolgu olarak etki eder. Emülsifiye edilmiş mumları kaldırmak çok basittir, 85°C üzeri sıcaklığın izin verilmediği ön ısıtma tanklarında hazırlanırlar. Eğer bu sıcaklık aşılsa su içeriği atmosfere gidecektir. Otoklav geri kazanımı başarılabılır ve yolluk mumu olarak kullanılabilir[6].

2.1.7.3. Dolgulu Mumlar

Bunlar bazı dökümhanelerce tercih edilir. Diğerlerine benzer bazı malzemelerdir. Katı formunda toz edilmiş dolgu ile harmanlanmış bir karışımdır. Özellikle kullanılan dolgu tipi yakma da tam olarak uzaklaşması için organiktir ve kül

içermez. Dolgular mumla yakın spesifik yoğunluğa sahiptir. Çünkü ön ısıtma tankında ve ya enjeksiyon makinesinde çökmeyi minimize veya yok etmek gerekir. Çoğu durumda ara sıra karıştırmak ayrılmayı önler. Bu mumların en büyük avantajı çekilme davranışı göstermezler. Bazı karışımlar ile, geri kazanımları ekonomiktir. Amaç, normal olarak dolguları, suyu, bütün ekstra partikülleri kaldırmak ve yolluk mumu amacıyla dökümhaneye sonuç mum karışımı olarak döndürmektir[6] .

2.1.7.4 Suda çözülebilir mumlar

Bunlar maça üretimi için kullanılırlar. Çözülebilir mumlar dolgulu mumlara tam olarak benzer karakteristikler gösterir. Mum bağlayıcı, dolgu ve asitli ortamda hızlı kaldırılmayı sağlayan köpüren karbonatın minimum bir katkısını içerir.

		Çekilme% (v)	Ergime noktası °C	Enjeksiyon sıcaklığı (°C)
Düz mumlar	20-60°C	6-9	66-72	58-67
Emülsüfiye mumlar	20-60°C 20-65°C	5.4 6.3	74-78	63-73
Dolgulu Mumlar	20-60°C 20-65°C	3.3 5.2	70-75	67-73

Çizelge 2.1.1. Değişik mum bileşenlerinin fiziksel özellikleri [6]

Çoğu model mumların enjeksiyon sıcaklığı ve oda sıcaklığı arasındaki ölçülen serbest çekilme %7.5 kübik veya %2.5 lineer şeklindedir. Bir kalıptaki mumun çekilmesi dilatometrede bulunandan az kabul edilir. Çünkü mumun katılaşması ve çekilmesi basınç altında olmaktadır. Mum enjeksiyonları için bir firma direktifi vermek imkansızdır. Bunun nedeni kullanılan makinaların değişikliği ve mumların çok farklı karakteristikler içermesidir. Enjeksiyon sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, akış hızı, enjeksiyon süresi gibi değişkenler mum model üretimine etki eden parametrelerdir[6].

2.1.8.Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi

Seramik kabuk hassas dökümler, ilk olarak karbon ve alaşım çelikleri, paslanmaz çelikler, ısı dirençli alaşımlar ve 1000°C üzerinde ergime noktasına sahip diğer alaşımlar için kullanılır. Seramik kabuk kalıplar bir sıvı içerisine süspanse edilmiş seramik toz çamurun içine model montajının daldırılmasıyla inşa edilir, fazlalıklar yıkanır, kuru refrakter taneleri ile ıslatılmış yüzey püskürtmeyle veya akışkan yatağa daldırma ile sıvanır. Sonra sonuçlanan kaplama kurutulur. Bu proses istenilen kalıp kalınlığına kadar tekrarlanarak bitirilir. İlk kaplama; düzgün bir yüzey hazırlamak için, ince taneli partiküllerden oluşmuş bir çamurla çalışılır bir ön kaplamayı gerektirir. Ön kaplamanın düzgünsüzlüğü büyük ölçüde döküm yüzeyinin düzgünsüzlüğünü belirler. Sonraki kaplamalar genellikle artan iri refrakter tanelerini içerir.

Seramik kabuğun kalınlığı genellikle 6mm'den 12mm'ye değişir, döküm ağırlığı ve şekline, salkım boyuna, seramik ve bağlayıcının tipine temelde bağlıdır. Bazı aşamalar için kabuk kalınlığı, sıcaklığa ve kabuğun yapıldığı ortamdaki neme bağlıdır. Optimum kalıp geçirgenliği sağlamak için fiyat ve daldırma zamanı tasarrufuna ek olarak, kabuk kalınlığı işlem yapılacak minimum kalınlıkta olmalıdır.

Seramik kabuklar her bir daldırma operasyonundan sonra kurutularak tabakaların bağlanması sağlanır. Kurutmada nem giderme; zaman, hava akışı, kurutma çanak sıcaklığı ve ıslaklığın kontroülüyle düzenlenir. Son kurutma ve kabuğun bağlanması dökümden önce kalıpların yakılması süresince ve mum giderme operasyonu süresince oluşur. Kurutma zamanı modelin şekline, hava sıcaklığına, nem ve sirkülasyona bağlıdır. Kabuklardan 8 saatte sonra tam olarak mum giderme yapılabilir. Bununla beraber genellikle tamamlanmış kabuklar mum giderme için minimum 24 saat öncesi kurumaya bırakılır. Kaplamalar arası hızlı kurutma amonyak atmosferinde jellenelebilen daldırma kaplama bağlayıcısı etil silikatın kullanımıyla mümkündür [1,2,3].

2.1.8.1. Bağlayıcılar

Hassas döküm için bağlayıcıların özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

a-) Kalıp refrakterliğini azaltıcı herhangi bir kirlilik içermemelidir ve operasyon sıcaklıklarında tam olarak inert olmalıdır.

b-) Dolgu ve bağlayıcı çamuru model etrafını etkili şekilde dolduracak yeterli akıcılıkta olmalıdır.

c-)Çamur, yüksek yaş mukavemet vermesi için kontrol edilebilir zaman aralığında düzenlenmelidir.

Hem etil silikat hemde silika sol bu şartları sağlar. Kalıp yapımında kullanılan kalıp alçı, magnezyum fosfat, sodyum silikat gibi diğer bağlayıcılarda vardır [7,9,10,11]

Silika sol içerisindeki silika su içinde süspanse edilmiş koloidal boyutta küçük partiküllerden oluşmuş halde bulunur. Silika sol silika içeriklerine göre N1030, Syton C, Syton 2X gibi ticari olarak temin edilir [6].

özellikler	Silester AR (1)	Silester OS (1)	N1030 (2)	Syton X30 (1)
Görünüş	Beyaz bulutlu sıvı	Renksiz transparent	Beyaz bulutlu sıvı	Hafif opal
Özgül ağırlık 15.5/15.5°C	0.92	1.02	1.208	1.2
Silika İçeiği Ağ/Ağ%	20	41.5	30	30
Viskozite (25°,cps) ferranti	2.6	4.3	5	5.5 (20°)
PH	-	-	10.2	9.8

Monsanto ürünü (1)

Nalco ürünü (2)

Çizelge 2.1.2.Silika bağlayıcıların tipik fiziksel ve kimyasal özellikleri [6].

Etil silikat bazlı bağlayıcılar Silika içerikleri 20,20 ve 30 olan sırasıyla Silester Ar, Silester XAR ve Silester X15 gibi ticari adlarla bulunabilir. Silester Ar etanol bazlı iken, Silester XAR ve X15 etanol/izopropanol esaslıdır. Bu çözeltiler hidrolize etil silikat yapılarıyla refrakter bağ oluşturmak için ön hidrolize yapılır. Hidrolize olmuş etil silikatın silika içeriği %40 'tır ve ticari olarak Silester OS olarak bulunabilir. Etil silikat 40 direkt olarak bir bağlayıcı gibi kullanılamaz. Refrakter baği oluşturacak yeterli aktif bir forma silikanın dönüştürülmesi için karşılıklı (mutual) bir çözücünün varlığında asit ve su karışımıyla hidrolize edilmelidir. Etanol veya izopropanol bağlayıcı çözeltinin silika içeriğini kontrol etmek için sulandırıcı etki yaparlar. Bağlayıcının reaktivitesi silika içeriği değişimiyle kontrol edilebilir. Silister OS'nin depolanma ömrü iki yıldan fazladır. Her bağlayıcıyla kullanılan prosesin detayları farklı olmasına rağmen, altında yatan sebepler benzerdir ve kolaylıkla beraberce alışveriş yapılabilir.

2.1.8.2. Refrakter Malzemeler

İlk kaplama dolgusu başlangıç şartı -200 mesh BSS partikül boyutunda olmalıdır. Kirliliği ve metal kalıp reaksiyonunu önleyecek temizlik ve saflıkta olmalıdır. Kabuğa çok iyi sıcaklık mukavemeti verecek refrakterliğe sahip olmalıdır. Kabuk kırılmasını mümkün olduğunca indirgeyecek düşük termal genleşmeye sahip olmalıdır.

Fused silika, tabular alumina, molokit ve zirkon bu amaçla yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Kalsine alumina, fused alumina, mullite, sillimanite kullanılan diğer malzemelerdir.

İlk iki kaplama için, yüksek refrakterlik ve temizlik çok önemlidir. Üçüncü ve sonraki kaplamaları daha düşük seviyeli malzemeler ile tamamlamak mümkündür. Birinci kaplamalar için partikül boyutu -60 +100 mesh olup üçüncü ve sonraki kaplamalar için daha iri tanelidir.

Refrakterliği artırıcı olarak, genelde kullanılan malzemeler şu şekildedir. Fused alumina, Calsine alimuna, Fused veya Kalsine boksit(Amerika'da) Zirkon,

Molokit, Mullite sillimanite ve andalusite, Silika kum, ateş kili az kullanılan refrakterlerdir [6].

2.1.8.2.1.Fused Silika

Seramik kabuk kalıplar için düşük termal genleşmeleri sebebiyle yaygın olarak kullanılan refrakter malzemedir. Havada ergitilen çoğu demir bazlı alaşımlar ve bazı kobalt bazlı alaşımların dökümü için iyidir. Vakum altında, silika metal ile direk temasta kırılır ve ciddi metal kalıp reaksiyonlarına sebep olabilir. Fused silikanın dönüşüm fazı 1150°C'de başlar. Fakat 1650°C üzeri döküm sıcaklıklarına karşı dayanıklıdır. Yaygın kimyasal bileşimi % 97,85-99 SiO₂, max. %1,00 kristabolit ve kuvars, max.% 0.5 alümina, max. %0.10 FeO, max. %0.15R₂O, max. %0.15 karbon ve max. %0.25 değerleri şeklindedir [2]

2.1.8.2.2 Zirkon

Zirkonyum ortosilikat) Seramik kabuk kalıplar için çok kullanılan refrakterlerdendir. Kimyasal bileşimi ; ZrO₂SiO₂ (67% ZrO₂, %33 SiO₂), ergime noktası 2202°C' dir. İyi yüzey kalitesi, düşük fiyat, yüksek sıcaklık kararlılığı, iyi refrakter özellikler ve metal etkilerine iyi direnç , hem hava hemde vakum dökümlere uygulanabilirlik hazırlar. Çünkü parçalar küreseldir , zirkon en küçük yüzey alanına ve en az temas noktasına sahiptir. Bunun için mum model kaplaması iyidir, fakat bağ mukavemeti nokta-nokta teması sebebiyle çok düşüktür. Zirkon kabuk dökümlerin, silika kabuk dökümlere göre temizlenmeleri çok zordur. Zirkonun yüksek ısı iletkenliği sebebiyle, ince kesitlerde bazen çabuk soğuma sonucu döküm hatalarına neden olur [2].

2.1.8.2.3.Alümina

Alumina termal şoklara karşı zayıf direncinden dolayı az kullanılır. Bununla beraber 1760°C üzerinde kullanılabil özellikleri sebebiyle tercih edilirler. Özellikle silika ile reaksiyon veren alaşımların dökümünde alumina başarıyla kullanılır. Alüminalı kalıplarda gerçekleşen dökümleri temizlemek zordur.

2.1.8.2.4. Alümina Silikatlar

Çeşitli oranlarda Al_2O_3/SiO_2 içeren alüminyum silikatlar, özellikle ilk kaplamadan sonraki çamurlarda ve tozlama işlemlerinde kullanılırlar. İçerdikleri FeO ve TiO_2 oranlarının, minimumda olması istenir. Düşük demir oksit ve titan oksit içeren ve “ molokit” adıyla bilinen bir tür ateş kili, Türkiye’deki hassas döküm fabrikalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ön kaplamada kullanılan refrakter malzemesi, -200-1000 mesh arasında değişir. Bundan daha ince malzemeler, fark edilir düşük sıcaklıklarda sinterlenmeleri sebebiyle yüksek yüzey enerjisine sahiptir. 325 mesh üzerinde değişen büyük toz taneleri son kaplama çamurunda kullanılır. Büyük tozlar, son kaplamaların istenilen yüksek porozitesini üretir [2].

2.1.8.3. Kaplama Çamurları

Seramik kabuk prosesinde iki tip çamur formülasyonu ve iki veya daha çok kaplama farklılığı kullanılır.

a-) Birinci çamur ve ince kaplama durumu

b-) İkinci çamur ve daha büyük kaplama durumu

Birincil kaplama

a-) Silika Sol Bazlı: Bağlayıcı olarak Syton X30 veya N1030 dolgu maddesi olarak fused silika veya zirkon önerilir. Fused alumina da uygun alternatif dolgudur. Islatma aracı Synperonic NX veya Lissapol N (%0.5 hacim) ve köpürtmeyen aracı (r-octanol %1 hacim), dolgular eklenmeden önce bağlayıcı içerisinde karıştırılmalıdır. İlk kaplama havada 2 saat kurutulduktan sonra, koloidal silikatlı veya etil silikatlı ikinci kaplama yapılır.

Syton X30	1000m	N1030	1000-
Zirkon (-200mesh BSS)	4500g	Fused silika (p1-w)	2500g
Viskozite 100sn (B.S B4 kabı)		Viskozite 180 -240 sn (B.S B5 kabı)	

Çizelge 2.1.3. Silika Sol bazlı birinci kaplama çamuru tipik formülasyon [6]

b-) Etil Silikat Bazlı : Silister Ar ilk kaplama çamuru için kullanılabilir. Silister Ar bağlı ilk kaplama çamurları uygun bir nemlendirici içerir, eğer gerekirse hızlı çevrimlerde otomatik düzenlenmiş operasyon uygulamaları için uygundur ve amonyum kurutma tekniği kullanılır. İnce detaylı modeller için alkol bazlı ilk kaplama tercih edilebilir.

Refrakter Dolgu	kg dolgu / lt Silister AR
Zircon (-200mesh)	4.0
Fused Alumina (-200mesh)	3.4
Sillimanite (-200 mesh)	2.8
Fused Mullite (-200 mesh)	3.2

Çizelge 2.1.4.Etil silikat bazlı(Silister AR) birinci kaplama çamuru için refrakterler[6].

Refrakter Dolgu	kg dolgu/lt Syton X30	kg dolgu/ Lt 1030
Zircon (-200mesh)	2.3	-
Fused Alumina (-200mesh)	1.1	1.9
Molokit (-200 mesh)	1.3	1.66

Çizelge 2.1.5. Silika sol bazlı ikinci kaplama çamuru için refrakter oranı [6]

Refrakter Dolgu	kg dolgu / lt Silister AR
Zircon (-200mesh)	2.8
Fused Silika (-200mesh)	1.2
Molokit (-200 mesh)	1.5
Fused Mullite (-200 mesh)	2.0

Çizelge 2.1.6. Etil silikat bazlı ikinci kaplama çamuru [6].

Katkı Malzemeleri: Ayarlanmış kaplama malzemesi spesifik fonksiyonlar gösterebilen diğer malzemeleri içerir. Bunlar aşağıdadır.

1-Bir film oluşturuucu (alginate gibi). Viskoziteyi kontrol etmek için

2-Bir ıslatma araçları (alkil arıl sodyum sülfanat gibi). Model ıslatılabilirliği ve akış karakteristiğini kontrol etmek için.

3- Köpük oluşturmeyan araçlar (sulu silikon emisyonu gibi) Kapılar (Entrappe) havayı kaldırmak için.

4-Aantidehidrat araçlar (jelatin gibi). Kuruma-çekilme kırıklarını indirmek ve kurutmayı kontrol etmek için .

2.1.8.3.1.Fused Silika Çamurları

Sıvıya, katı katışıkları yavaş olarak eklenmesiyle yapılır, sabitçe karıştırılarak alttan çökeltiden katılar kaldırılır. Yüksek kesme karıştırma aglomerasyonun kesilmesine yardım eder ve her bir partikülün ıslatılmasına yardımcı olur. Bütün katılar eklendikten sonra tam olarak homojenize olmuş karışım sağlamak için daha çok karıştırılır.

Özellik	İlk kaplama
Koloidal silika (20-30 %)	%29
Fused silika,(325 mesh)	%71
Islatıcı araçlar	%0.017-0.034
Özgül ağırlık	1.75-1.80
Viskozite (Zahn 5)	40 - 60 sn

Çizelge 2.1.8.Fused Silika ilk kaplama çamuru örneği [2]

Ön kaplama sıvaması için, refrakter çözeltinin viskozitesine bağlı olarak 60-200 mesh partikül boyutunda olmalıdır. Bu refrakter, ön kaplama çamurundaki refrakterle tamamlanabilmek zorundadır ve termal genleşme özellikleri benzer olmalıdır. Kalan kaplamalar için fused - silika çamurları 200-325 mesh seramik malzeme ile hazırlanır. Katı-sıvı oranı, yüksek geçirgenlik hazırlamak için, sıvının cm^3 'ü başına 2 gram katıya indirgenir.

Özellikler	Son kaplama
koloidal silika (%18-26 konsantre)	%38
Fused silika,(-200 mesh)	%62
Islatma aracı	genellikle daha çok kullanılır
Viskozite (Zahn4)	13-18sn

Çizelge 2.1.8. Fused silika son kaplama çamur örneği [6].

2.1.8.3.2.Zirkon Çamurları

Çizelge 2.1.9. 'te 3 tip zirkon çamuru formülasyonu verildi. Burda çamur 1. genel amaçlı çamurdur, çamur 2 yüksek mukavemetli çamurdur ve özellikle kalın kesitlerin dökümlerine uygundur; çamur 3 silika ile modifiye edilir ve küçük maça boşluklu dökümler için kullanılır. Maçaları kaldırmak için erimiş alkali metal tuzları kullanılır. Zirkon çamurları dikkatli hazırlıklar ister. Tozun %95' eklendiği zaman , viskozite ve yoğunluk kontrol edilmeli ve son eklemeler çözeltiyi, istenilen yoğunluk ve viskozite değişimlerine getirmek için yapılmalıdır. Bu çamurlar normal olarak he nı ıslatma hemde köpürtmeyen araçlar içerir. Bir zirkon çamuruyla kaplanmış modeller nı sıvanması, fused silika çamuruyla kaplanmış modellerin sıvanmasında kullanılanlarla aynı tane boyutlu refrakterler ile yapılır.

İçerikler ve özellik	1. çamur	2.çamur	3.çamur
Kolloidal silika (%30) , galon	2.5	3	2.5
su, galon	1.0	-	1.0
zirkon toz,lb	100	10	100
ıslatma araçları	10	10	10
silika	-	-	10
yoğunluk	2.70-2.75	2.90-2.95	2.65-2.70
viskozite	8-10	9-11	9.-11

Çizelge 2.1.9. Tipik zirkon çamurlarının formülasyonu ve özellikleri [2]

Her bir kaplama, arkalı daldırmalardan sonra tam kurutulur. Dökümhanelerin çoğunda ilk kaplama havada kurutulur. Fanlar , bazen nemi hızla uzaklaştırmada kullanılır. Fakat fanın dikkatsiz kullanımı eğer wet-bulb veya dry -bulb sıcaklıkları iyi ayarlanmazsa (20F kadar) daldırma kaplamasına ve mum montajı sıcaklığına baskı yapar. Özel tasarlanmış ekipmanlarla kuvvetlice kurutma yaygındır. Bu ekipmanla buhar eklenerek wet-bulb sıcaklığı kontrol edilir, dry-bulb sıcaklıkları 105F üzerine değişebilir ve daldırma arası kurutma zamanı 20 dakikadan 25 dakikaya artar.

2.1.8.4.Proses Kontrol

Seramik kabuk hassas dökümde, ön kaplamanın ve back-up malzemenin kontrolü, çözeltinin viskozitesi, model temizliği, sıvamanın ve kurutmanın son kontrolü sağlanmalıdır. Tipik bir çamurun viskozitesi etil silikat baz için 15 sn , kolloidal silikat bazlı sıvı malzemeler için 30 sn olarak değişir. No.4 Zahn viskometre ile ölçüm yapılır. Yüksek viskozite modelde daldırma anında hava kabarcıklarının oluşmasına sebep olur ve döküm hatalarıyla sonuçlanır. Düşük viskozitede daldırma kaplaması penetrasyonu için sıvama refrakteri ister, dökümün sağlam çıkmasına neden olur veya ön kaplama çamuru kapiler etkiyle refrakter taneleri bölgesi düzenlenemediğinden modelde ufak açık beneklere sebep olur, ön kaplama tabakasına metal penetre olur. Kuru refrakter tozu, bir sıvı bağlayıcı veya karıştırıcıya eklendiği zaman, belirtilen başlangıç çamuru kapılan havanın varlığı sebebiyle yüksek viskoziteye neden olur. Karıştırma zamanının uzunluğu, bir kaç değişebilirliğe bağlı olarak, hava kapılmasını önlemek için istenir. Bu değişkenler, refrakter tozu kompozisyonu, sıvı kompozisyonu, karıştırılan miktar, karıştırma ekipman tipi ve ilk karıştırmadan sonra vakumlu veya vakumsuz kullanımları içerir. Bir üretim operasyonunda refrakter tozların çözeltiye kaçmasını önlemek için çamur devamlı olarak karıştırılmalıdır.

Bütün modeller tam olarak temizlenmeli ve çamurla birlikte olunabilir yüzey gerilimlerinin ayarlanması için muamele edilmelidir. Kalıp dışısındaki yağ eseri, model yüzeyinde üniform ıslatmayı önleyerek, ön kaplama çatlaması veya kabuklanması gibi bir sonuca neden olabilir. Her hangi bir yüzeydeki sıvılar, wet-bulb veya nem-çiğlenme sıcaklık şartlarıyla sınırlanarak muamele edilmelidir. Nitekim, bir modele

uygulanmış çamurdaki bir sıvı uçmaya başladığı zaman, model düşük sıcaklığa ayarlanacaktır. Değişim oranı mumun yoğunluğuna ve kütlesine bağlıdır. Açıklanan çevre sıcaklıkları 82F(dry bulb) ve 65F(wet-bulb)dir. Düşük genleşen mum eritme veya oluşturulurken kırılma olmaksızın değişik kaplamalar süresince bu sıcaklıklar arası değişiklikler mükemmel bir dönüşüm yapacaktır. Yüksek başlangıç sıcaklıkları, düşük nemde sonuçlanacak büyük sıcaklık değişimine ve arkasından çok büyük mum genleşmesine sebep olur. Kabuğun çatlaması, kırılması, pul dökülmesi, hızlı yıkmayla veya aşırı sıcaklık dalgalanmalarıyla olur. Çünkü, nem kaldırılırken kabuk çekilir, model genişler.

2.1.9.Dereceli (Blok) Hassas Döküm Yöntemi

2.1.9.1. Non-ferro Alaşımlar

1000°C'nin altındaki döküm sıcaklıklarına sahip non-ferro alaşım dökümleri için dereceli hassas döküm pratiği, ilk olarak bağlayıcı malzemelere ve refrakterlere döküm sıcaklığının etkisi sebebiyle, ferro alaşımlardan farklıdır

Non-ferro dökümleri için kalıp malzemesi genellikle alfa alçı içerir. Bunlar hem bağlayıcı, hem de refrakter görevi yapar ve kalıp nemliliğini kontrol için diğer refrakterlerin bir harmanını içerirler. Kullanılan refrakterler ince tanelidir ve on kaplamada istenilmez.

Modeller metal derece ile çevrelenir. Kaplama çamuru, direkt olarak dereceye dökülür. Titreştirilir veya vakuma maruz bırakılır, her ikiside hava kabarcıklarını kaldırmak için yapılır. Çamur, kimyasal etkiyle katılaşmaya izin verilir.

Alfa alçı (kalsiyum sülfat hemi-hidrat) yüksek mukavemetlidir, düşük maliyet, çok az maliyeti olan sıvı araç (su) kullanılarak üretilen ticari olarak elde edilebilir üründür. Tipik alçı bağ malzemesi %35,5 kristabolit, % silikaflour, %33,5 kalsiyum sülfat ve %2 yüksek absorblayıcı toprak alkali içerir. (nemlilik kazanmak için) Termal genleşmeyi ve düzen kontrolü için hızlandırıcılar ve hız kesiciler küçük miktarlarda ilave edilir. Yaygın kullanılan hızlandırıcılar, sodyum klorat, potasyum sülfat ve tozlaşmış kalsiyum sülfat dihidrat . Hız kesici olarak da sitrik asit ve sodyum

sitrat, kullanılır. Hassas döküm için tavsiye edilmiş içerikler, toz su oranıyla saptanır. Tozun istenilen ağırlı için gereken suyun tam ağırlığı konteyner da işaretlenen sıvı-toz oranından hesaplanır. Su içeriğindeki küçük değişiklik çamurun özelliklerinde büyük değişiklikler üretir. bu yüzden suyun ve tozun özellikleri tam olarak ölçülür. Alçı- bağ karışımları, ısıtma ve soğutmadan sonra boyutlarda lineer olarak büzülür

2.1.9.2.Ferro Alaşımlar

Ferro alaşımların hassas dökümü için kalıp malzemeleri (ve yüksek döküm sıcaklığına sahip non ferrolar için) kötüleşmeksizin 2000F üzeri sıcaklıklara karşı dayanıklı olmalıdır. Alçı bu yüzden uygun bir bağlayıcı ve refrakter malzeme değildir. Ön kaplama ferro dökümler, için dereceli hassas dökümün hazırlanmasındaki standart pratiktir. İnce çamurlu ön kaplama yüzey sonucuna etkisiz kalan kaplamalarda kaba taneli çamuru kullanmayı mümkün kılar.

2.1.9.2.1. Önkaplama

Dereceli hassas döküm presesinde kullanılan çamur kabuk hassas döküm prosesin de kullanılan ön kaplama çamuruna benzerdir. Sodyum silikat etil silikat ve koloidal silika çok yaygın kullanılan bağlayıcılardır. Ön kaplamalar uygun olarak kurutulmalı ve pişirilmelidir. Fabrikasyon süresince yüksek nemlilik (%80 üzeri) düşük kurutma mukavemetine sahip ön kaplama verecektir. Yeteri derecede kurutulmayan kaplamalar zayıftır ve kalıp boşluğuna düşerler, kötü dökümlere neden olurlar. Ön kaplamanın kalitesi önemlidir. Çünkü döküm yüzeyinin kalitesini saptar. Ön kaplamanın arkasındaki sıvamaların kontrolü gereklidir. Kaba sıva 150 meshden veya incesinden daha az bozukluk verir. İri taneler arkalı tabakaların daha iyi adhezyonu için daha açık boşluğa izin verir. İnce tane daha uniform yüzey verir, fakat sonraki kaplamanın optimum kaplanmasını önler. Genellikle çamur kaplamanın ve sıvamanın iki tabakası uygulanır. Onların termal genleşmesi farklı oldukları zaman, ön kaplama genellikle sonraki kaplamalardan daha genişler ve çarpılır. Ön kaplamanın termal genleşmesi, ön kaplama çamurundaki silika tozun bir kısmı öğütülmüş zirkonla yer değiştirilerek üretilir. Bir parça zirkon 2 parça silika tozu karışımları tam çarpılda kullanılır.

2.1.9.2.3. Çamur Malzemeleri

Dereceli hassas döküm prosesinde backup çamurları, yaygın olarak ön kaplama çamurları iki temel katkı ile oluşturulmuştur. Refrakter ve bağlayıcı. Tozun büyük bir bileşimi refrakterdir. Genellikle refrakter tozların temel katkısı silika kumlardır. Kalanlar alümina ve silikatları kapsar. Bu sınıflandırılmış topluluklar istenilen kalıp mukavemeti ve nemliliği vererek gereken genleşme karakteristiklerini ve ani ergitmelere dayanıklılığı ucuz maliyetle sağlamak amacıyla dizayn edilir. Silika kumları seçilmiş farklı partikül boyutlarının bir karışımıdır.

Etil silikat yaygın kullanılan bir bağlayıcıdır. Örneğin kararlı çözelti veya koloidal içeren silika oluşturmak için sulu olmayan çözeltilerde silikatın hidrolizine güvenir. Etil silikat çözeltisinde (hidrolize) olmuş ph değişimi ile silika jel gibi çöker. Jellenme su ve hidrolik asit gibi kabaliz eklenerek etil silikat alkol karışımının hidroliziyle tayin edilir. Sonra eğer magnezyum oksit gibi bir alkali metal eklenirse ph, jele kadar artırılarak üretilir. Düzenleme zamanı magnezyum oksit gibi hafif alkalın malzemelerin yeterli eklenmesiyle artan ph oranındaki değişimlerle kontrol edilir.

Etil silikat bağlayıcı gibi kullanıldığı da son kontrol mecburidir. Karışımındaki empüriteler ve gereksiz hidrolizasyon vaktinden önce jellenmeye sebep olur. Karşın uçta, jel eksikliği tamamlanır. Karışım sıcaklığı $75 \pm 2F$ de olmalıdır. Karışım sıcaklığı çok önemlidir. Ki çoğu fabrika karıştırmadan hemen sonra her bir karışımın sıcaklığını ölçer. Bu sıcaklıklar proses kontrol enformasyonunun bir parçası olarak kaydedilir.

Kaplama çamuru malzemeleri magnezyum oksit mono amonyum fosfat ve mono magnezyum fosfatın bir karışımı ile bağlanabilir. Tipik bir karışımın 20lb monoamonyum fosfat, 20lb magnezyum oksit ve 8lb monomagnezyum fosfat içerir, 350lb refrakterle karıştırıldığında 20- 30 dakika su eklenerek düzenlenecektir. fosfat bağlı çamurlar, etil silikatlı bağlılardan daha az fiyatlıdır. Bağ malzemesi fosfat ile tesis kademeli ve devamlıdır, kuru katkılarla karıştırılan sudan başlar ve şekillenmiş bir katı malzemeye kadar devam eder. Etil silikat ile, malzeme kararsızlık noktasına varan ph'a kadar tam olarak sıvıdır, sonra hızlıca katılaşır. Fosfat bağlı malzemeler, 1200F'ye ısıtıldıklarında ve oda sıcaklığına soğutulduklarında büzülürler.

2.1.9.2.3 Karıştırma ve Vakumlama

Suyun uygun ekleri yapıldıktan sonra, hem alçı bağı hem fosfat bağı çamuru karışımları 3-4 dakika için mekaniksel olarak karıştırılır ve vakumlanır. Vakumlanmış çamur derecelere dökülür ve tekrar vakumlanır. Vakumlama hava kabarcıklarını ve boşlukları yok eder. Nitekim model etrafında iyi bir katı kalıp hazırlar.

30-45 sn. arası vibrasyonda bir güçlü kaynama saymak için hızlı vakum pompdown kapasitesine gerek vardır. Bu karıştırma etkisi üretir, çökmeyi önler, çamurda olabilecek herhangi bir köpüklenmeyi keser, (wax-investment veya önkaplama- investment arayüzeyinde), bir kabarcık- boşluk kalıp üretimine yardım eder. Vakum sistem, kurutulurken 29-30 sec. içinden veya 10mm cıva vakumu pompalama yeterliliğinde olmalıdır. Investing station 'a pompadan vakum hattı etkili pompalama için mümkün olduğunca kısa olmalıdır ve boru çapı pompalanan ürünün özelliklerine göre ayarlanmalıdır. Belli küçüklüklerdeki boru çapları gaz kesme eğimi gösterir ve pompalama etkinliğini indirir. Aşındırıcı kaplama çamur malzemelerinden pompayı korumak için hatta lastikli filtreler hazırlanmalıdır. İyi sonuçlar için, vakum servisine özellikle dizayn edilmiş vanalar tavsiye edilir ve kullanılmalıdır.

2.1.10.Seramik Kabukların Mumdan Arındırılması

Seramik kabuk kalıplardan mum modellerin kaldırılması, mumun erimeden önce kalıpla genleşme farklılığı nedeniyle, problem gösterir. Genleşme miktarı farklı mumlar arasında da değişmesine rağmen mum ergimesinden önce %10 kadar hacim artışı olabilmektedir. Mumun hacmindeki bu artışla üretilen basınç, kabuğu kırmak için yeterli olabilir. Kendini koruyabilir mum basıncı altında kırılmayı önlemek için, kabuk mukavemeti artırılmalıdır. Çünkü kalıp çökebilirliğinin zayıf olması ve ısı dağılımının azlığı sıcak yırtılmaya yol açar. Mumun kaldırılması sırasında kalıp kırılmasını önleyen pratik metotlar : a) kabuğun dış basıncının iç basınçla dengeli sağlanmalıdır. ve b). seramik kabuk yüzeyiyle temastaki mumun yüzey tabakasını hızlıca çözerek genleşmeyi karşılayacak boşluk oluşturup ertitilmeli.

2.1.10.1.Dış basınç teknikleri

Mum gidermek için uygulanan dış basınç tekniklerinden biride mum modeli seramik kabukl kalıplar için boş bir konteynırda boşaltma ağzı aşağı olacak şekilde yerleştirilir. Kalıp bu hole üzerindeki boşaltma kabına yerleştirilir. Kum veya bazı granül veya toz refrakterler, 600F ısıtılarak kabukl etrafına dökülür ve mümkün olduğunca hızlı refrakter ortası yüklenmesi için vibrote edilir. Bu üretimin temelinde prosesi kontrol etmek için devamlı sağlanan sıcak refrakter gereklidir. Bu döner tipli fırınlarda sağlanabilir. Eğer sonraki metotlar benimsenirse, kısa yakma zamanı gerekir. Kalıplardan sıyrılan mumlar filtre edilerek veya santrifüjle refrakter tozlardan arındırılarak tekrar kullanılabilir.

Kalıba uygulanan basıncın kuvveti, kalıp çevresindeki refrakter yoğunluğunun yerleşmesine ve gömülme derinliğine bağlıdır. Eğer paketlenme yavaşsa, çok yüksek sıcaklıklarda ısıtılmış refrakterle kalıba temas etmemelidir. Diğer bir istek kabuklar arasında iletilen ısı mum genişlemesini başlatmamalı. Tam dış basınç uygulamasından önce refrakterler için 750-500F sıcaklık aralığı, çoğu vibrasyon metotlarıyla yerleşme için uygundur ve çatlak-boşluk kabuk kalıplar üretir. Bu metotla mum kazanımı yüksektir, çünkü mum sadece modorete ısıtmaya maruz kalır ve refrakter partiküllerin eliminasyonuna dikkat edilerek tekrar kullanılabilirler.

Mum gidermek için kabuk kalıp etrafına yerleştirilen sıcak refraktere alternatif bir metotta ısıtılmış fludize yatakta çalışmaktır. Yatak fludize edilir, boşaltma kabı yukarı olacak şekilde kalıp yatağa yerleştirilir ve kalıbın çevresi refrakterle beslenerek hava uygulanır. Mum ergidiğinde, yatak fludize edilir kabuk kaldırılır ve mumu boşaltmak için hızlıca ters çevrilir.

2.1.10.2.Solvent Metotlar

Mum modelleri trikloretilen gibi organik sıcak buharın etkisiyle uzaklaştırılır. Buhar kabuğun gözeneklerinden nüfuz eder ve kabuğun bitişiğindeki mum yüzeyini, solvent buhar ısısının mumu genişletmesinde hemen önce çözer. Kalıplar döküm tarafı aşağı olacak şekilde bir tel sepetinde desteklenir. Mum giderme sonrası süreçlerde, mum modelleri erir ve solvent deposu içerisi atılır.

Mum gidermenin bu metodu yavaştır. Büyük modeller için yarım saat gerekir. Eğer seramik kabuk kalıpların penetrasyonu (solvent kullanılarak) çok yavaş ise, nüfuz ederken mum genişmesi oluşturur ve kabuğu kırar.

Bu proses için ekipman, buhar yağı gidermede kullanılan yaygın ti p olarak trikloretilen buharı içerir.

Zamanla çözeltideki mum tank altında birikir. Yeterli konsantre edildiği zaman, destilasyonla geri kazanılır. Bu mum giderme için kullanılan aynı ekipmanda yapılabilir, tetrakloretilen önlenmesiyle tankın üzerinde soğuk su borusunda kondanse olur.

Geri kazanılmış mumlar tekrar model üretimleri için kullanılabilir. Destilasyon süresince aşırı ısıtma yapılmaması sağlanır, model gibi aynı mumdan yolluk sistemi yapılması önerilir. Patent edilen proseste, geri kazanılan mum için soğuk solvent kullanılır. Seramik kabuk, seramik malzemenin üçüncü ve dördüncü kaplaması uygulandıktan ve kurutulduktan sonra, solventte daldırılır. Solvent, kabuğu penetre eder ve çözer. Mum -kalıp ara yüzeyindeki ince mum tabakasını kaldırır. Seramik kabuğun ilave kaplamaları uygulanır. Bu proses seramik kabuktan plastik modelleri kaldırmak için geliştirildi.

2.1.10.3.Flaş fırın

Mum giderme, seramik kabukdan mumu kaldırmak için yaygın olarak kullanılır. Bu prosedürle seramik kabuk -model ara yüzeyinde, yüksek sıcaklık gradyanı meydana gelir. Bu mum modeli ısıtılıp genişmeye başlamadan, mum - kalıp ara yüzeyinde erimeye sebep olur. Nitekim, düşük termal iletkenliğe sahip mum model malzemesi, flash mum gidermenin başarısı için önemlidir.

Mum giderme üstü açılan fırınlarda genellikle icra edilir. Çoğu fırınlar kabuk kalıpların desteklenmesi için fırın üzerinden ilaveler yapılır. Üst-açma kapaklarını içinden kabuk kalıplar asılır, fırın tabanındaki iç açıklıktan erimiş mum uzaklaştırılır. Erimiş mumlar su tablalarında geri kazanılır. Fırın sıcaklık aralığı 1800-2000F arasındadır.

Fırın içine yüklenen kalıplar için zaman aralığı, kalıpların çok yavaş ısıtılmasından kaçınmak için düzenlenir. Yavaş ısıtma oranında mum genişleyerek kabuğu kırabilir. Örneğin kontrollü şartlarda 80F de üretilen kabuk 100F de 10-15 dakikada kırılır. İş kabuk kalıp hassas döküm bölümünden mum giderme alanına hareket ettirilmeli, sıkı kontrolle zaman programlı fırınlara yüklenmelidir.

Flash mum giderme için gereken zamanı, kalıp boyutu, şekli, boşaltma sistemi, model kompozisyonuna bağlıdır. Genelde mum giderme zamanı 10-15 dak. dır. Mum giderme işleminden sonra kalıplar kaldırma fırınlarına sevk edilir veya muayene, tamir veya ek daldırmalar için soğutulur.

Favori şartlar altın da düzen, tam bacalama ve eksoz sistemlerinde önemli olduğu gibi açığa çıkacak duman miktarı üretimi benzerdir. Sık sık üstten erimiş mumları biriktirmek için yakına kutusu içerisine yerleştirilir. Kaynar su ve yanmış geri kazanılan mumla yangın tehlikesi ve duman üretimi flash mum gidermenin iki önemli dezavantajıdır.

2.1.10.4.Otoklav

Kullanılan ısı enerjisindeki metotlardan dolayı flash mum gidermeden ilk olarak farklıdır. Flaş Mum giderme gaz yakan fırın (2000F) gerektirir, otoklav mum giderme enerjisi buharlaşma gizli ısısına bağlıdır. Soğuk kabuk yüzeyine kondansec olan aşırı ısıtılmış buharı, su paundu başına 970btu (352cal) ani çıkış (212F de) oluşturur.

Nitekim kırılma olmaksızın mum giderme için gereken çok yüksek enerji miktarı sağlanmış olur. Bu enerji 320F operasyon sıcaklığında kullanılabilir yapılır. Temsili bir otoklav 90-100 psi ve 320-329F de kullanılır. Bu ünite yükleme ve boşaltma operasyonu süresince kap sıcaklığını sağlamak için ceketlendirilir.

Tipik bir mum giderme çevriminde, kabuk kalıplar kayma trayalrı üzerine yüklenirler. Emniyet kilidi ile donatılmış hızlı operasyon kapılarından otoklav içine geçirilir. Yükleme shelleri, kaplama sayısı ve 50psi ye kapı 10 dakikada boşalır. Sirkülasyonun tamamlanması için gereken ortalama proses zaman 10dk. dır. Normal şartlar altında, mumun %90'ı geri kazanılır.

Sıcak mum banyosunda mum gidermede, bir sıvı mum banyosu kullanılır, model kalıp ara yüzeyindeki mumun hızlıca eritilmesi için 425-450F ısıtılır. Mum giderme için seramik kabuk kalıplar tel ve ya geniş bir sepete döküm ağzı aşağı olacak şekilde ve sıvı mum banyosu içerisine kademeli veya aniden sarkıtılarak yerleştirilir. Mum gidermenin tamamlanması için gereken zaman 5-30 dak. arasında değişir. Sıvı mum banyosunun sıcaklık kontrolü çok önemlidir. Eğer banyo 425F'in altına düşerse, kabuğun kırılma oranı yüksek olur. Aşırı ısıtma yanmaya sebep olabilir.

2.1.11.Döküm Hataları

Hassas dökümde oluşan hatalar genellikle diğer prosesle üretilen dökümlerde karşılaşılanlarla aynıdır.

2.1.11.1.Misruns (kalıp boşluğunu dolduran bileşik olmayanlar)

Çok düşük dökme veya kalıp sıcaklığı, yavaş döküm hızı, yetersiz besleme, metal yükleme ağırlığının hesaplanmaması veya kalıbın bazı özel şartları sebep olabilir.

Düşük kalıp nemliliği bileşimi ve gaz gelişimi, ergimiş metal kalıpla kontak ederken bir misrun'a sebep olacak yeterince yüksek tersinir bir basınçla neticelenir. Kalıp yapımında büyük taneli sıvama kullanarak, sıvı çamur içerisindeki katıların veya çamur sıva bileşimindeki yanabilir içeriklerin azaltılması, kalıp yakılması sonrasında kalıp yapısında daha çok açılan geçitlerin geliştirilmesi bu problemin üstesinden gelinir. Kalıp yüzey reaksiyonlarını engelleyici (inhibitörler) kullanıldığı zaman özellikle dikkat etmek gerekir.

Genellikle misrunlar yüksek sıcaklıkta dökülen metallerde çok daha sık olur. Non-ferro alaşımların dökümü için kalıplar, döküm metalin ergime noktasından daha yüksek sıcaklığa ısıtılır. Ergime sıcaklığının çok yüksek olduğu diğer metaller veya çelik dökümlerde bu olay pratik olmaz. Buna rağmen kendine özgü kalıp ısıtıcılar kullanılabilir. Misrunlar döküm süresince metal sıcaklığı ve kalıp kontrolü yapılarak temelde elimine edilebilir. İlerki adımlar dökme hızının artırılması, besleme sistemindeki metal basıncının artırılmasını, kalıp boşluğu içinde akış hızının artırılması için ergimiş metal arkasından argon veya hava basıncı eklenmesini, gravity dökümden

vakum yardımlı veya basınçlı döner fırın kullanımına değişimi içerir hava ergitmeli nikel bazlı ve kobalt bazlı ısı dirençli alaşımlar ile kullanıldığı gibidir.

Besleme sisteminin modifikasyonu misrunların önlenmesinde faydalı olabilir. Gaz geçişine mücadele etmek ve zor dolan kesitlere sıcak metalin beslenmesini hazırlamakla ve dökümün çok ince kesitlerine hızlıca metalin yumuşak akışla direkt ulaşımının sağlanması misrunların elimine edilmesini sağlar[2.3.8].

2.1.11.2.Dizayn Anlayışları

Uniform ince kesitlerde problemler görülür. Kenardan 2° - 3° daralan ince kesitlerin üretebilirliği artacaktır. Bu daralma olayında metalin çok ince kesitlerden kalın kesitlere doğrudan katılaşması tehlikeli olacaktır. Bir alternatif metot ; damarlar oluşturarak akış yolları hazırlamaktır. Bu damarlar arta kalırsa, fiyata az katkıda bulunur. Eğer onların kaldırılması gerekirse, ek masraf kaybına uğranılır.

2.1.11.3.Cold Shut

Metal drop-letlerin yapısından veya beraber kaynamamış ergimiş metal akışlarının katmanlar halinde birleşmelerinden kaynaklanır. Cold shutlar, zayıf fırın uygulamaları, yarıda kesme veya çok yavaş dökme, amaca uygun olmayan besleme dizaynı gibi sebeplerle meydana gelir. Cold shutlar kalıp sıcaklığının artırılmasıyla önlenabilir, fakat daha çok kalıp boşluğunun çok hızlı doldurulmasıyla önlenir. Besleme sistemi yarıda kesilmeksizin mümkün olduğunca hızlı doldurulabilmelidir. Kalıp boşluğuna metal direkt ulaşmalıdır. Döküm akışlarının yarılmasından veya metal drop-letlerin kesilmesinden kaçınmak için fırın temizliği çok çok önemlidir Çünkü bunlar aşı şeklinde kalıba girerek bu olaylara sebep olabilirler. Cold shutların ince duvarlı döküm kesitlerinde oluşması ihtimali yüksektir[2,8].

2.1.11.4.Sıcak yırtılma ve çatlaklar

Sıcak yırtılma, katılaşma süresince oluşan bir çatlak hatasıdır. Metal, relatif olarak soğuk bir kalıp yüzeyine dokunursa kabuk şeklinde katılaşır ve kesitten ileriye doğru büzölmeye başlar. Bu kabuk gerilim oluşturur ve aşırı gerilim olursa yırtılma olur. Yırtılma veya kırılmanın döküm içerisinde ilerlemesi ihtimaldir. Sıcak yırtılmalar, bir kırığın relatif temiz yüzeyi ile karşılaştırıldığında ağır bir şekilde okside olmuş yüzeyle karakterize edilir.

Sıcak yırtılma oluşumu kalıbın mümkün olabildiğince hızlı doldurulmasıyla minimize edilir. Sıcak yırtılmalar, biraz büyük besleme girişlerinin yerlerine biraz küçük besleme girişleri kullanılarak çoğunlukla besleme dizaynındaki değişmelerle elimine edilir. Bir döküm, çoğunlukla katılaşma sonrası büzölme çekilmesi süresince kırılabilir. Bu kırıklara çok hızlı soğumalar veya düzensizlikler sebep olur[2.8].

2.1.11.5.Porozite

Poroziteye katılaşma sürecindeki çekilme veya metal içindeki gaz neden olur. Gazın üç temel kaynağı vardır. Birincisi: metaller sıcaklık artıka artan bir gaz çıkarabilirliğine sahiptir. Katılaşma sırasında, metal soğurken gaz çözültiden çıkar. Bu çıkışa müsaade edilmelidir. Aksi halde katı metal içerisindeki gaz poroziteye sebep olur. İkincisi: besleme dizaynının özelliğı ile veya kalıp boşluğuna metalin türbulansla akışıyla, özellikle düşük geçirgen kalıplarda kapılan gaz olabilir. Üçüncüsü: kalıp ile metalin reaksiyonu veya malzemenin özelliğı gaz üretebilir. Poroziteye sebep olabilen gaz çıkışına müsaade edilmezse veya ergimiş metal çok yüksek sıcaklıkta ısıtılırsa büyük gaz absorblanır. Yüksek sıcaklıkların kalıp ve maça reaksiyonlarına sebep olma ihtimali yüksektir ve daha çok gaz üretir. Genelde kalıp boşluğunu tam olarak dolması mümkünüğünü sağlayan en düşük sıcaklıkta metal dökümü tavsiye edilir.

Besleme sistemi kalıp boşluğunu uniform olarak hızlıca doldurması için dizayn edilmelidir, üretilen her hangi bir gaz için, bir gaz çıkışı tercih edilebilir.

Kalıp ve maçanın nemliliğı önemlidir. Ergimiş metal kalıp boşluğuna girerek katılaşmanın kalıbın sınırlarında başlayıp ve besleme girişinden ters yönde çalışır olması nedeniyle, basıncı azaltmanın en basit metodu, yeterli geçirgenliğe sahip bir

kalıp malzemesi seçilmesi şeklindedir. Genelde iri taneli kalıp malzemesi, üniform seramik partikül boyut dağılımı veya yuvarlak taneler büyük geçirgenlik verir. Çamurların nem içerikleri, kabuk yapım prosedürü ve kalıp yıkama süresi, kalıp nemliliğini etkiler. Çamur veya sıvanın birimi şeklindeki yanabilir organik inkülyasyonlar, yakılarak kalıp geçirgenliğini geliştiren gerekli kaçış alanları verir[2].

2.1.11.6.Çekilme

Ergimiş yapıdan oda sıcaklığına soğumada metaller çekilmenin üç yapıyla karşılaşılır. Sıvılar şeklindeki volumetrik çekilme, katıya dönüşümdeki katılaşma çekilmesi ve oda sıcaklığına soğumadaki büzülme. Büyük çekilmelerden mikroçekilme büyüklüklerdeki değişen katılaşma çekilmesine porozite sebep olur. Döküm yüzeyinde görülebilir, tam olarak içsel olabilir, spesifik bir bölgede aglomera olabilir veya dökümün geniş bir kesiti üzerinde dağılabilir.

Yönlenmiş katılaşmanın kontrolü çekilmeyi önlemek için çok yaygındır. Katılaşma metal beslenme kaynağına doğru katılaşır. Yönlenmiş katılaşma aşağıdaki değişkenlerin kontrolü ile başarılabilir.

1-) Besleme: katılaşmanın kalıbın sınırlarında başlayıp ve beslemeye ters yönde çalışır olması nedeniyle metalin kalıp boşluğunu doldurmasına izin vermelidir. Riserlar(döküm nefes delikleri), ikincil besleme ve çiller ağır kesitlerin ve uzak alanların beslenmesini ilerletmek için besleme dizaynına eklenirler.

2-)Sıcaklık: Hem kalıp hemde metal sıcaklığı çekilmenin kontrolünde önemlidir. Sık olarak kalıp sıcaklığını azaltmak ve yönleşmiş katılaşmanın ilerlemesi için boşaltma sıcaklığının artırılması mümkündür. Merkez boyunca çekilme veya çukur çok yüksek dökme sıcaklığı için ihtiyacı gösterir. Aşırı genel çekilme hem kalıp sıcaklığının hem de metal sıcaklığının çok yüksek olduğunun bir göstergesidir.

3-) Döküm hızı: Büyük hassas dökümler için kontrollü dökme hızı kalıp cidarlarındaki katılaşmanın başlamasını ilerletebilir. Sıcak metal veya egzotermik malzemelerin üstten sıcak eklenmeleriyle besleme sisteminde sıvının uzun süre parçalarda muhafazası olur ve döküm beslemesi ilerletilir.

4-)Soğuma hızı: Yönlenmiş katılaşma değişik soğuma hızları için kalıp

malzeme bölümlerinin modifiye edilmesiyle ilerletilebilir. Örneğin çok iletken alüminyum refrakterler az iletken zirkon veya silikanın yer aldığı bazı bazı bölgelerde iletken diğer bölgelerde yalıtkan bir backup progla paketlenabilir. Ağır çil kaplamaları, yalıtkanlar veya egzotermik kağıtlar yönlendirilmiş katılaşmayı ilerletmek için kullanılır [2].

2.1.11.7.İnkluzyonlar

İnkluzyonlara sebep olan kaynakların bazıları

1-) Mum ve plastik model malzemeleri: Yüksek kül içeren mum veya plastik modeller döküm metalde kirlenme kaynağı olabilir.

2-)Kalıplar ve maçalar: Seramik inkluzyonların en büyük kaynağı kalıptır. Kabuk kırılmalarından, pul pul dökülmelerden ve yıkanmalardan korunmak için sıkı kontrol altında üretilirler. Model montajlarının keskin iç köşeler, çatlaklar, kırıklar içermesinden kaçınılmalıdır. Çünkü ergimiş metal dökülürken yıkamayla kalıp duvarlarından ayrılan çapaklar halindeki kalıp malzemeleri bu detayları dolduracaktır.

3-)Fırın astarlarının çoğu partikülleri curuf içerisinde yer alacak ve bu yüzden döküm havuzu içinde veya besleme sisteminde, aşırı yüklenmiş astarların kırılması dökümde inkluzyon ihtimalini artırır.

4-)Metal Kirliliği :Ergitme veya döküm pratiğinin yetersizliğinden, döküm metalinde kirlilikler oluşur. Oksit oluşumunu minimize etmek için aşırı ısıtmalardan ve uzun süreli ocak tutmalarından kaçınılmalıdır [2,3,8].

3.DENEYSEL YÖNTEM

Seramik kabuk hassas döküm yöntemi kullanılarak yapılan tüm üretim prosesleri patern hazırlama, salkım montajı, seramik kabuk kaplama, mum giderme, pişirme ve döküm işlem kademelerini içermektedir. Deneysel çalışmalar Şekil 3.1. 'de gösterilen bu kademeler esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bütün malzemeler ve deneyler TÜBİTAK-MAM Hassas Döküm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin aynı şartlar altında kontrolüne önem verilmiştir.

3.1.Kaplama

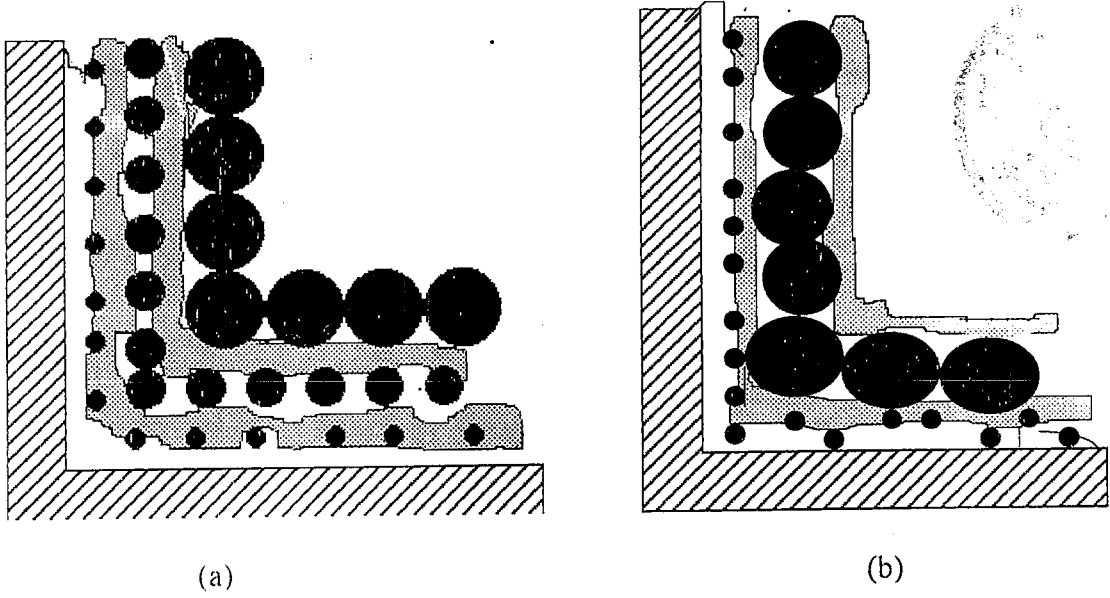
Deneylerde kullanılan kaplama çamuru fused silika çamurudur. S-1 diye adlandırılan tane boyutu -325 mesh birinci çamur ve S-2 diye adlandırılan tane boyutu -200 mesh olan ikinci çamur şeklinde iki tip çamur kullanıldı. İlk kaplamada birinci çamura daldırma tek sefer yapıldı. Sonraki işlemlerde ikinci çamura daldırma "sealing" le beraber dört kez yapıldı. Çizelge 3.1.' de kullanılan çamurların spesifik özellikleri göstermektedir. Şekil 3.2.' gösterildiği gibi ara tane boyutu içeren refrakter taneler kullanımıyla ergimiş metalin kalıba penetrasyonu ve metal kalıp reaksiyonları önlenmiş olur. Şekil 3.3.Silika bağlayıcının jellenme ve kullanma aralığı çizilmiştir. Bağlayıcı miktarı ile kırılma dayanımı arasındaki ilişki ise Şekil 3.4.'de gösterildi.

Ölçülen Değerler	1. Çamur	2. Çamur
Viskozite (sn)	38 (Zan5)	47 (Zan4)
Yoğunluk gr/cm ³	1.816	1.773
Sıcaklık (°C)	25	20
Ph	9.5	-

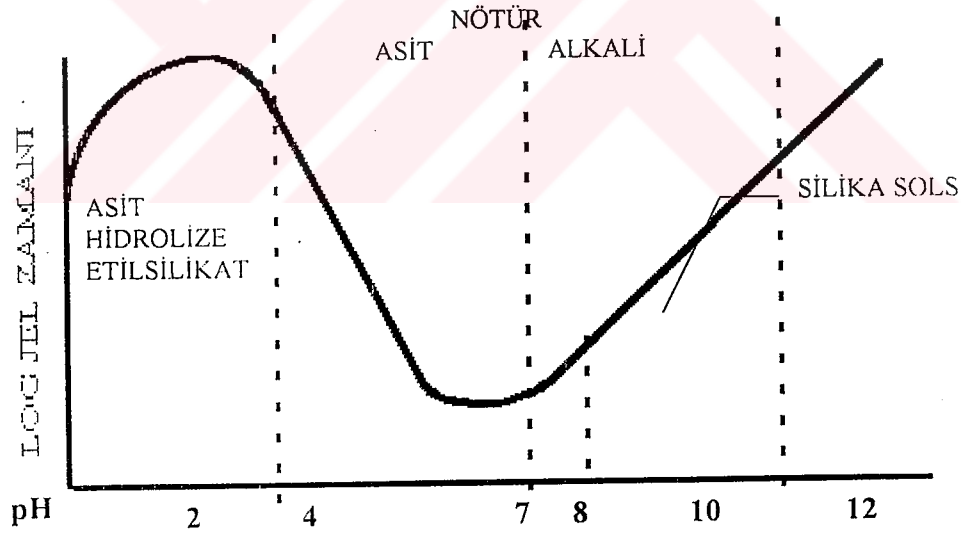
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan çamurların özellikleri



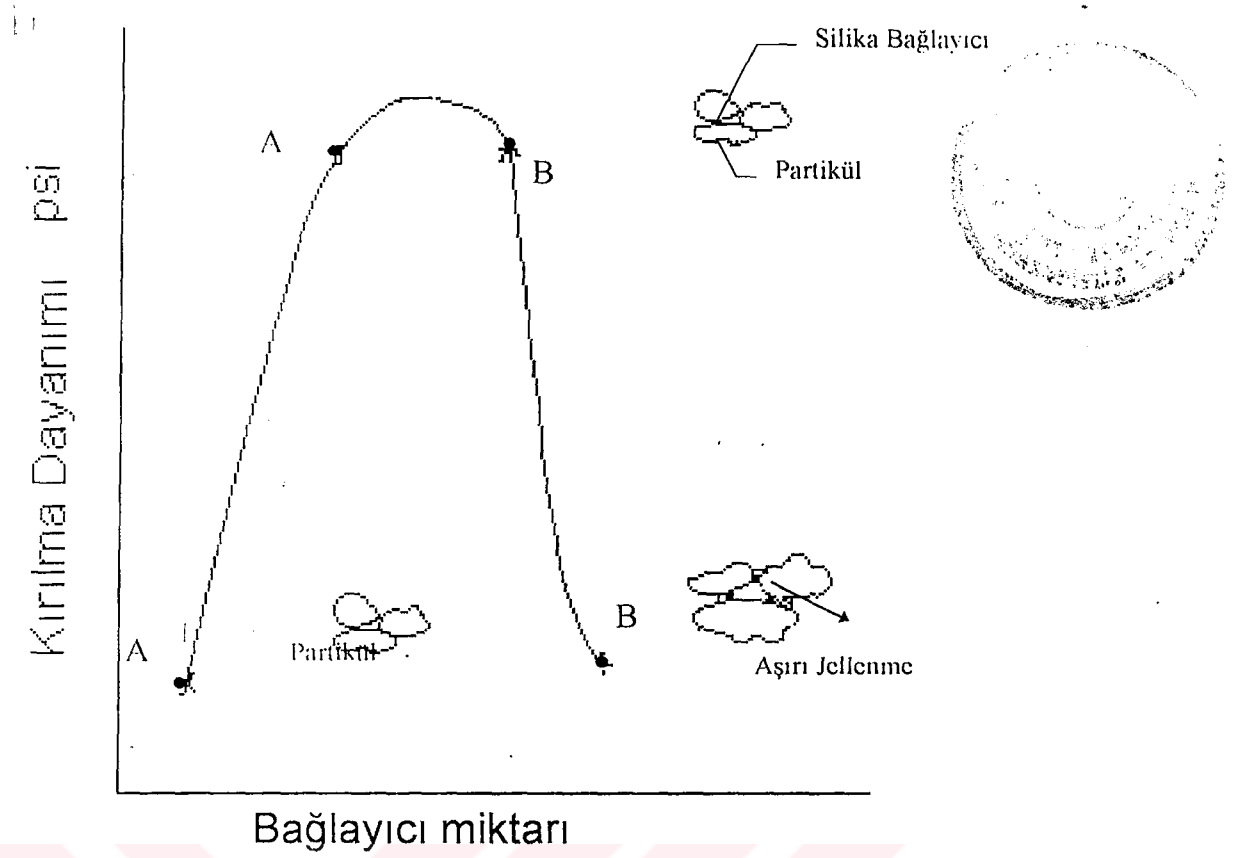
Şekil 3.1. Deneylerde takip edilen akım şeması



Şekil 3.2. Kaplamalar yapılırken katmanlar arası tane boyutu düzenlenmesi.
 a.) Deneylerde kullandığımız kademeli tane boyutu içeren kaplama dizaynı (İdeal kaplama dizaynı)
 b) Ara tane kademesi bulundurmamayan hatalı kaplama dizaynı [20].



Şekil 3.3. Kullanılan silika bağlayıcının jellenmesi üzerinde pH'ın etkisi [20]



Şekil 3.4. Bağlayıcı miktarıyla kırılma dayanımı arasındaki ilişki [9]

"AA" bölgesinde bağlayıcı miktarı artışıyla beraber kırılma mukavemetinde artma olur. "AB" bölgesinde optimum bir dayanım sağlanır. Bağlayıcı miktarının aşırı seviyelerde kullanımı kuruma ve yakma süresince aşırı jellenme sebebiyle dayanımı düşürecektir.

3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan A356 alüminyum alaşımının standart kimyasa kompozisyonu Çizelge 3.2.'de ve hurda malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge.3.3. de verilmiştir. A356 alaşımının tipik mekaniksel özellikleri Çizelge 3.4. de gösterilmiştir. Deneylerde %20 hurda %80 yeni metal kullanılmıştır. Hurda metalin kimyasal analizi yaptırılarak eksik olan Si ve Mg standart aralığına göre ilave edilmişlerdir. Teknolojik önemi fazla olan Al-Si alaşımlarının termal analiz ve metalografik incelemeler sonucunda ötektik noktanın %12.7 Si içerdiği ve Si

içerisinde alüminyumun %0.01, alüminyumun içerisinde ise silisyumun %1.59 oranında eridikleri belirlenmiştir.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Sn	Diğerleri
6.5-7.5	0.2	0.2	0.1	0.25-0.45	-	-	0.1	0.2	-	0.15

Çizelge 3.2. A356 Alüminyum Alaşımının kompozisyon limitleri

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ti	Zn	Al
6.672	0.2170	0.0093	0.0291	0.1616	0.0018	0.012	0.0144	92.88

Çizelge 3.3. A356 Alüminyum Alaşımı Hurda Kompozisyonu

Döküm Yöntemi	Çekme Mukavemeti (ksi)	Akma Mukavemeti (%0.2 ksi.)	Uzama (%cm/cm)
Kum Döküm -T6	40	30	6.0
Kalıp Döküm -T6	41	30	12
Hassas döküm-T6	34	24	3.5

Çizelge 3.4. A356 Alüminyum Alaşımının Tipik Mekanik Özellikleri [25,ASTM].

3.3.Ergitme ve Döküm

Ergitme işlemleri sıcaklık kontrollü elektrik fırınında yapıldı. %20 hurda ve %80 yeni metal karışımı kullanılarak şarj yapıldı. Ergitme işlemleri Tübitak-Mam Hassas Döküm Laboratuvarının alüminyum döküm işlemlerinde takip edilen teknik şartlara göre hazırlandı. Toplam 27 kabuk kalıp 9'arlı gruplar halinde birer gün ara ile döküldü. Her kabuk kalıp, ayrı bir şartı temsil ettiğinden, metal sıcaklığı ve kabuk kalıp sıcaklığı ayrı termokupullar aracılığıyla kontrollü şekilde ölçüldü. Ergimiş metalin ocakta kalma süresi göz önüne alınarak, her 30 dk. bir alınan numunelerle kimyasal kompozisyon tespiti yapıldı. Çizelge 3.5. de dökümler süresince takip edilen ocak yükleme düzeneği. Çizelge 3.6.a-b-c. de ise ocak sıcaklıkları 670°C, 720°C.

770°C olduğu durumda 30 dk. aralıklarla alınan numunelerin kimyasal değerleri gösterilmiştir. Her ocak yüklemesinde eksik Si ve Mg standart aralığına göre ilave edildi. Deneylerde kullanılan döküm kepçesinin sürekli sıcak tutulmasına dikkat edildi. Döküm ortam sıcaklığı 20°C ve rutubet %48 olarak ölçüldü.

	1.OCAK	2.OCAK	3.OCAK
HURDA (kg)	10	10	10
YENİ METAL(kg)	40	25	25
POTA DİBİ (kg)	YOK	15	15
OKSİT GİDERİCİ	110 gr ALUFLUX REFONTEL A		
CURUF SIYIRICI	220 gr ALUFLUX EVCO		
GAZ GİDERİCİ	1 TABLET ALUFLUX X		
MODİFİKATÖR	50 gr ALUFLUX BTK Na- MODİFİKATÖRÜ		
Mg İLAVESİ	30gr	40gr	40gr

Çizelge 3.5. Dökümler süresince takip edilen ocak şarj düzeneği

Zaman	Fe	Si	Mg	Cu	Zn	Mn	Cr	Ti	Al
İlk numune	.1512	7.372	.5383	0.0452	0.187	.0110	.0060	.0109	91.92
30 dk. Sonra	.1536	7.075	.3548	0.0353	.0181	.0101	.0067	.0120	92.27

Çizelge 3.6.a. 1.ocaktan alınan numunelerin kimyasal kompozisyonları

Zaman	Fe	Si	Mg	Cu	Zn	Mn	Cr	Ti	Al
İlk numune	.1213	7.202	.3942	.0348	.019	.0125	.0052	.0114	92.17
30 dk. Sonra	.1403	6.617	.3650	.035	.022	.0113	.0057	.0124	92.79

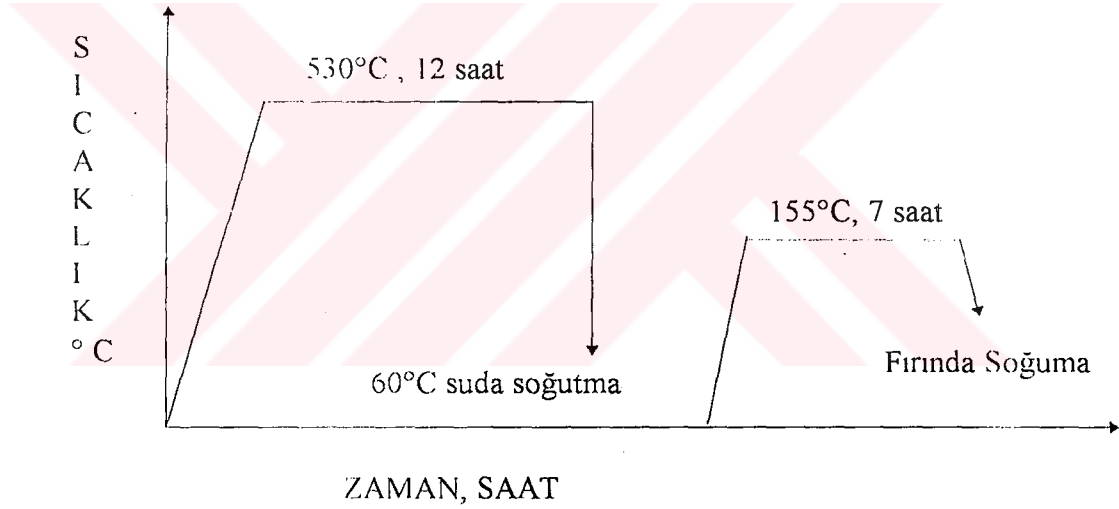
Çizelge 3.6.b. 2.Ocaktan alınan numunelerin kimyasal kompozisyonları

zaman	Fe	Si	Mg	Cu	Zn	Mn	Cr	Ti	Al
ilk numune	.1071	7.048	.4256	.043	.0215	.0113	.0065	.0107	92.33
30 dk. Sonra	.1120	6.722	.3468	.034	.0185	.0100	.0055	.0133	92.69

Çizelge 3.6.c. 3.Ocaktan alınan numunelerin kimyasal kompozisyonları

3.4. Isıl İşlem

Test numuneleri her salkımdan alınan 5'er adet alınarak sıcaklık ve zaman kontrollü fırınlarda T6 ısıl işlemine tabi tutulmuştur. 530°C'de 12 saat çözeltiye alma işleminden sonra 60°C'deki suda ani soğutma yapılmıştır. Daha sonra numuneler 155°C'de 7 saat yaşlandırma işlemine tabi tutularak fırında soğumaya bırakılmıştır. Şekil 3.5'de ısıl işlem uygulaması grafik edilmiştir.

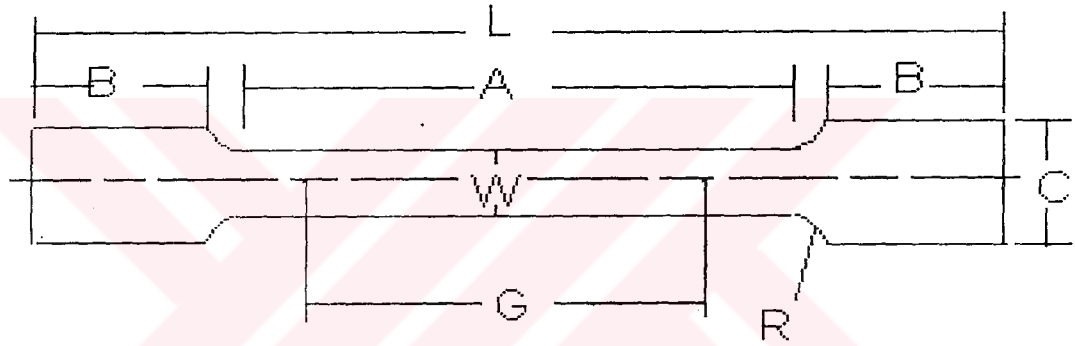


Şekil 3.5. Deneylerde uygulanan T6 ısıl işlem çizelgesi

3.5. Mekanik Test Yöntemleri

3.5.1.Çekme Testi

Çekme numuneleri ASTM B557M Standartına uygun olarak Şekil 3.6.'deki gibi hazırlanmıştır. Çekme deneylerinde INSTRON MODEL 1115 Universal Çekme/Basma Test Cihazı kullanılmıştır. Öncelikle standart ölçülere 0.2 işleme ve %2 çekilme payları verilerek model kalıbı hazırlanmıştır. Çekme numunesi modelleri 60°C de 3 atm. basınç altında düşük basınçlı mum presi vasıtasıyla model numlar olarak basılmıştır. Her döküm şartını karakterize etmek için bir salkıma 10 adet çekme numunesi paterni montaj edildi. Bunlardan 5 adeti döküm hali ve 5 adeti de T6 ısıt işleme şartlarını karakterize için kullanılmıştır.

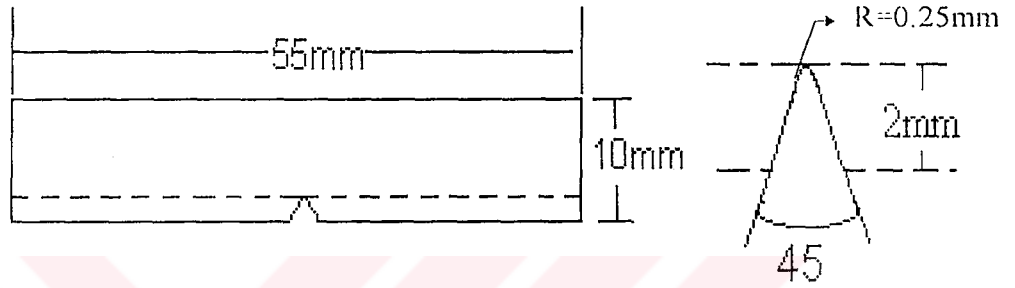


B=32mm A=30mm C= 10mm W= 6mm G=25mm R=12mm Kalınlık=6mm

Şekil 3.6. Deneylerde Kullanılan Çekme testi numunesinin ölçüleri (ASTM)

3.5.2. Darbe Deneyi

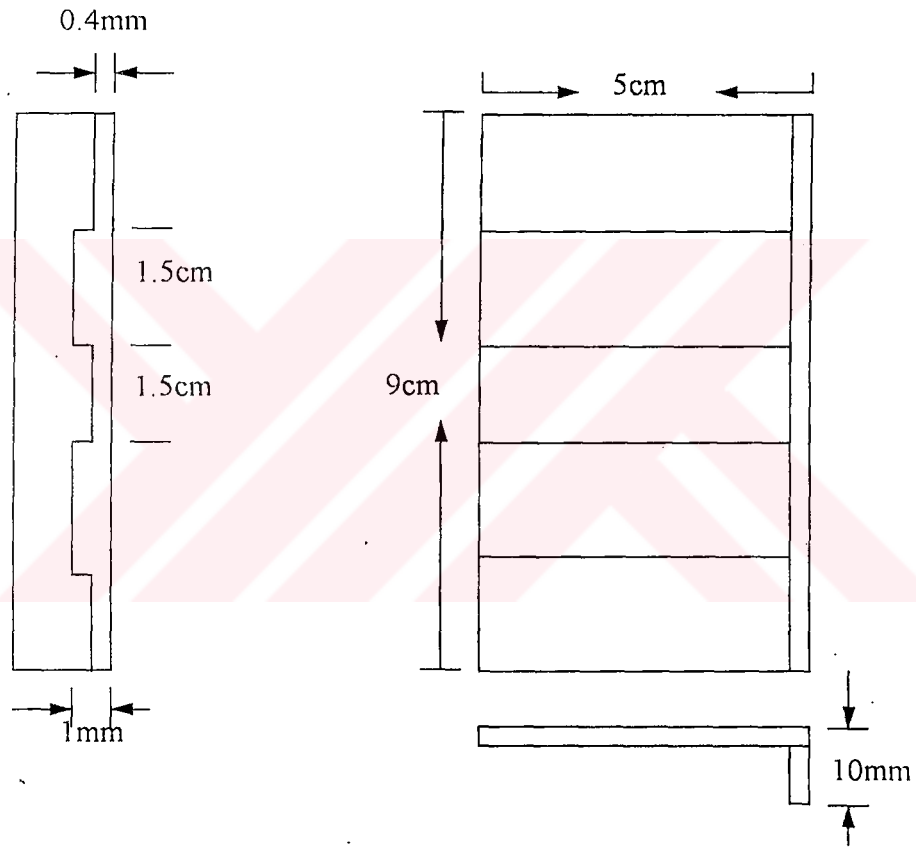
ASTM standartlarına uygun olarak Şekil 3.7..de . olduğu gibi hazırlandı. Direkt döküm numuneleri yüzey işleme yapmadan kullanıldı. Deneyler Zwick's Universal Test Darbe Cihazıyla yapıldı 10 adet darbe numunesi hazırlandı. 5 adeti T6 ısıt işlem etkisini gözlemek için kullanıldı. Her darbe değeri için 3 adet numune kullanılarak ortalamaları alındı. Mum modeller 60°C de 3 atm. basınçta basıldı.



Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan darbe test numunesi boyutları (ASTM).

3.6 Akıcılık Testi

Akıcılık test numunesi, elimizdeki mevcut kalıplardan birini revize ederek kendi oluşturduğumuz referanstır. Bu test plakası şekil 3.8. de gösterilmiştir. Bu testte, yöntem olarak ergimiş metalin akıcılık test plakasında yürüdüğü alanın toplam plaka alanına bölümüyle elde edilen yüzdelere değerlendirme olarak alındı. Döküm yüksekliğinin akıcılık üzerindeki etkisini tespit için, aralarında 20cm'lik bir mesafe ile altı - üstlü iki test numunesi montajlandı.



Şekil 3.8. Kendi oluşturduğumuz referans akıcılık test numunesi ölçüleri

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

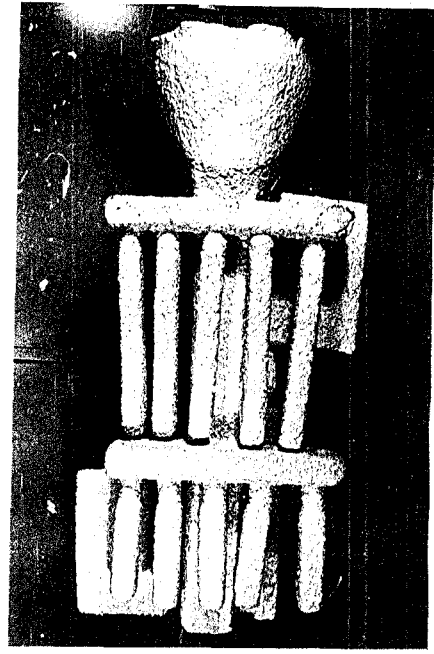
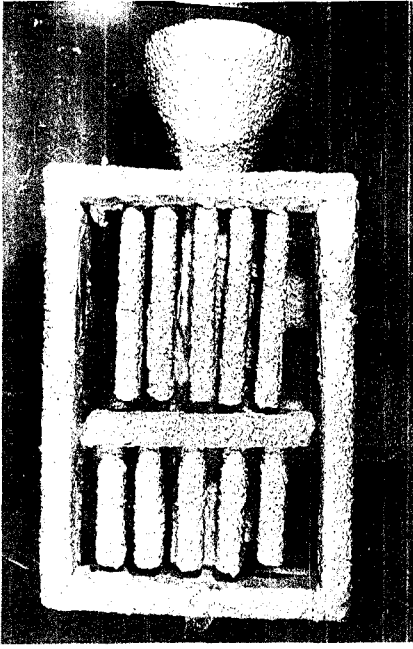
4.1. Gözlem

Herhangi bir döküm metodunda bir alaşım kalıba boşaltıldığı zaman soğuma ve sonraki katılaşmada hacimde çekilme ve büzölmeler başlar. Bu iki hacimsel çekilmeyi telafi etmek için kalıp dizaynının parçası olarak besleyiciler yerleştirilmelidir. Bu özellik dikkate alınarak, kabuk kalıbın döküm havzası geniş yapılmıştır. Ergimiş metal döküm havzası duvarlarından türbölans yaparak gaz kapmasını önlemek için, konik yapılmıştır. Başlangıçta yapılan kalıp dizaynı parçaların sağlam çıkması noktasında çok verimli olmuştur. Fakat getirdiği operasyon zorluğu nedeniyle iler ki aşamalarda rahat çalışma için çerçeveli yapılması gereği doğmuştur. Bu da, ergimiş metalin kalıbı doldurması için gereken potansiyel enerjiyi yetersiz kılmıştır ve dökümlerin tam olarak çıkmaması neticesiyle sonuçlanmıştır. Yapılan çalışmada, döküm hatalarından uzak en iyi neticeler aşağıda çizelge 4.1.'de gösterilmiştir. Şekil 4.1.'de çerçeveli ve çerçevesiz fused silika kaplanmış model salkımları ve deney şartlarını temsil eden dökümlerden görüntüler verilmiştir.

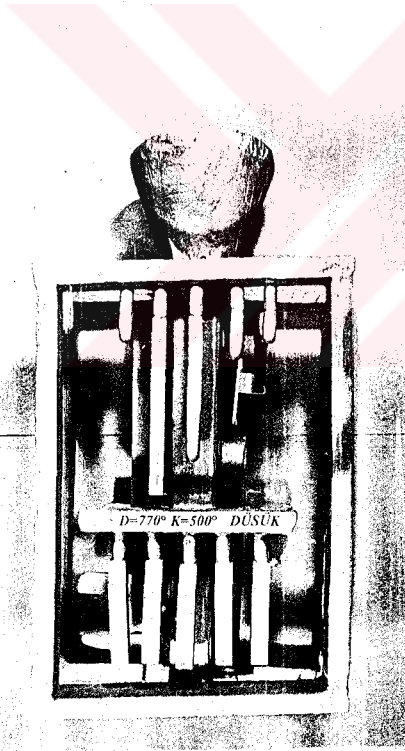
Döküm Sıcaklığı (°C)	Kalıp sıcaklığı (°C)	Döküm Hızı (kg/sn)	DİZAYN
670	300	Yüksek	Çerçeveli
670	400	Yüksek	Çerçevesiz
720	300	Düşük	Çerçeveli
720	300/400/500	Orta	Çerçevesiz
720	500	Düşük/Yüksek	Çerçeveli
770	300	Orta	Çerçeveli
770	300/400	Düşük /Orta	Çerçevesiz

Çizelge 4.1. Dökümlerde en iyi parçaların çıktığı şartlar.

Döküm sıcaklığının 670°C olduğu şartlarda, kalıp sıcaklığı 300°C iken en iyi şartların yüksek döküm hızında olduğu görülür.

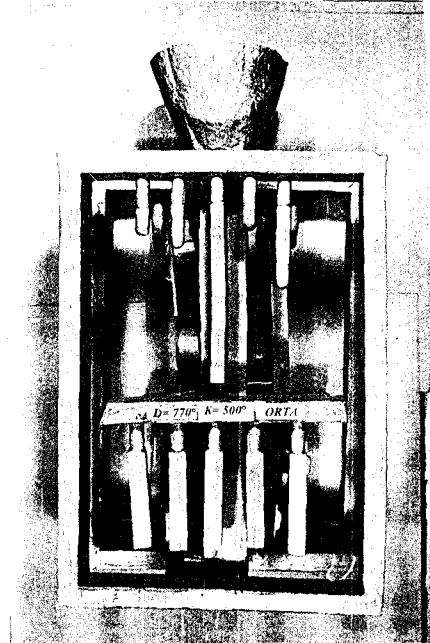
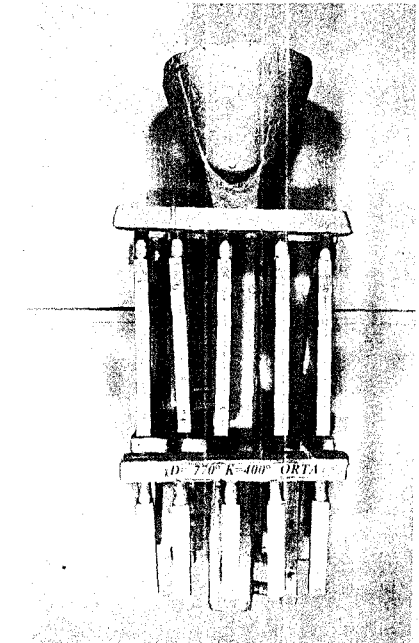
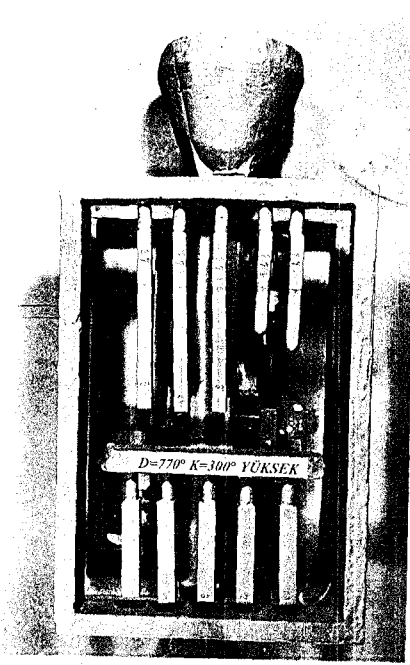


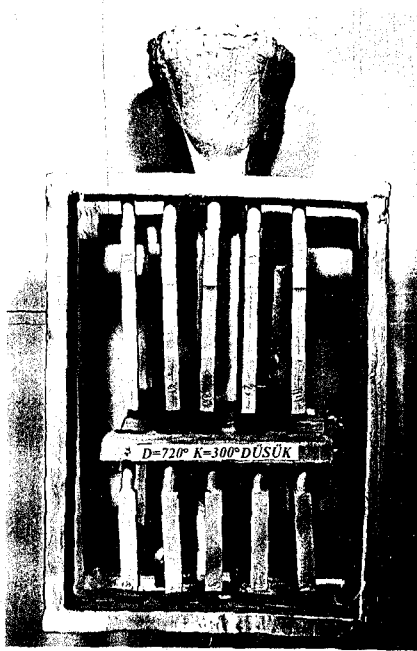
(a)

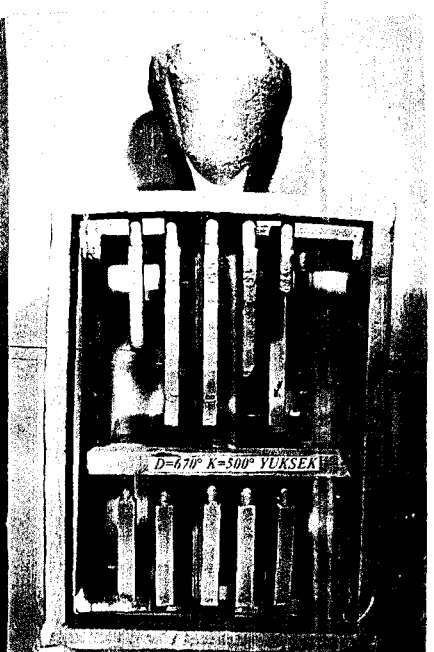
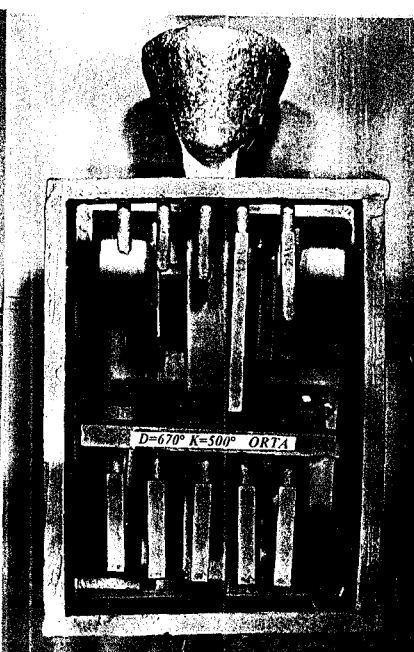
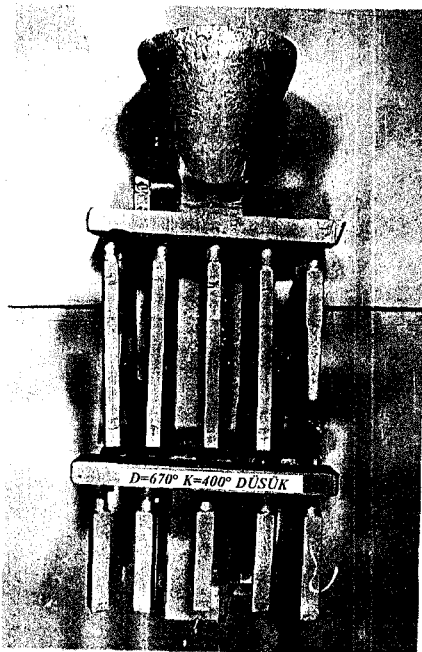
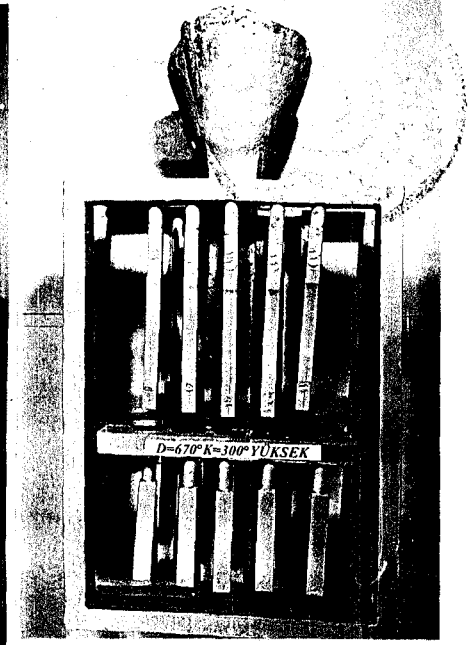
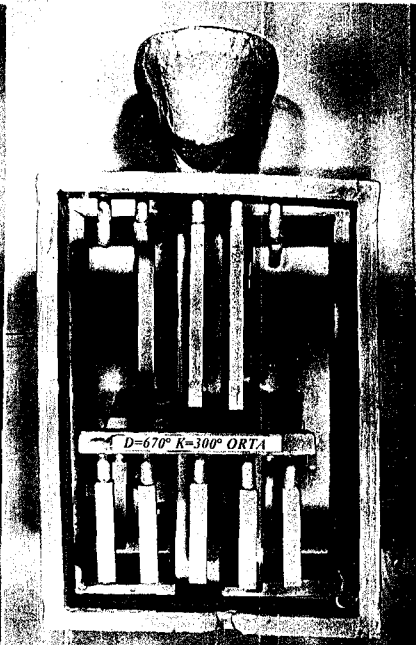
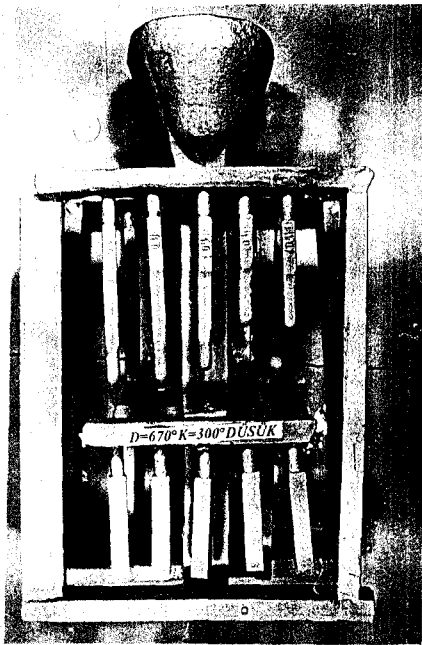


(b)

Şekil 4.1.a.) Çerçevesiz ve çerçevesiz fused silika refrakter seramik kaplanmış kalıplar. b) Değişik şartlarda dökülmüş salkımlar. (K : kalıp sıcaklığı, D: Döküm Sıcaklığı, Hız: düşük-orta-yüksek)







Kalıp sıcaklıklarının 300°C/400°C/500°C olduğu her şartta döküm hızı arttıkça parça yürümelerinde artmıştır. Ergimiş metalin ve kalıp sıcaklığının düşük olduğu şartlarda, yüksek hızla dökmek avantajlıdır.

Döküm sıcaklığının 720°C ve kalıp sıcaklığının 500°C olduğu çerçevesiz salkımlarda tüm hızlarda sağlam dökümler elde edilmiştir. Kalıp sıcaklığı 300°C iken döküm hızının artışına paralel olarak döküm hataları da artmıştır.

Döküm sıcaklığı 770°C kalıp sıcaklığının 500°C seçildiği tüm şartlarda dökümler sağlam çıkmamıştır. Ergimiş metalin yüksek olduğu sıcaklıklarda, kalıp sıcaklıkları ve döküm hızları aşağı seviyelerde olmalıdır.

Besleme konisinden ve kalıp boşluğundan sıvı metalin laminar akışı, besleme girişi ve kalıp boşluğu kenarlarından gazın kapılmaması (non-aspiration) ve içerde var olan gazın düzenli terki için önemlidir [23].

Sıvı metal döküldüğünde döküm yüksekliği akış hızını ve metal shell'e girerken pozisyon şartlarını etkiler. Genelde çok yüksek metal akışı çok yüksek gaz absorbe eder. Yüksek turbulans akış shell içerisine gaz çeker ve kapılan (entrapped) gaz hatalarının olasılığı çok yüksek olur. Sıvı metalin döküm ağzına taşınım şartları, "cold shotlar" için büyük bir potansiyel teşkilıyla kalmaz, laminar akış ve gaz absorpsiyonunu da etkiler. Etkili yüksek sıcaklığın istenildiği, durumlarda düşük yükseklik istenmediği durumlarda laminar akış şartlarında, iyi dizayn edilmiş kalıplar başarılı şekilde dökülebilir [23]. Bu çalışmada bütün dökümler süresince yüksekliği sabit tutmaya çalıştık

Gaz kapılmaması görüşü bakımından, her zaman yavaşça dökmek arzu edilir. Çünkü bu durum yerleşen gazın deliklerden, gözeneklerden ve gerekirse besleme ağzından düzenli olarak çıkışına müsaade eder. Bu nedenle sıvı metalin shell'e taşındığındaki gerçek hız, gaz kapılması düşüncesine ek olarak bir kaç faktörü bağlar. Bunlar, shell ve riser boyunca sıcaklığın uniform istenirliğini gerektirir. Bu şekilde sıcak yırtılmaya karşı direnç veya riserdan yönleşmiş katılaşma sergilenmesiyle oluşan yüksek termal gradyent döküm sağlamlığı için önemlidir. Bu nedenle tercih edilen döküm hızında alaşım tipi, besleme sistemi, venting, sıcak yırtılmaya karşı direnç,

çekilme ve parçanın kompleksliğine dikkat etmek gerekir. Eğer bu faktörler hızlı dökme şartını doğruluyorsa ve aynı zamanda gaz kapma hatalarına da katkı sağlayıcı sebep olarak da görülüyorsa potansiyel bir orta yol bulunmalıdır. Bu potansiyel gaz hatalarını minimize etmek, yavaş dökümü, akışkan yatak kullanımını ve termal gradyanlar için minimum kaplamayı ister [23].

Kalıp oryantasyonu/ besleme dizaynı: Çoğu hassas dökümcüler laminar akış sağlamak gaz kapma hatalarını azaltmak için 90°C den farklı kalıp eğimleri ve yavaş dönme hızı düzeneğinde set edilen eğilebilir fırınlar kullanırlar. Her iki pratikte çoğu kalıpların simetrik olmayan yapısı sebebiyle bulundu. Kabuk kalıbın belirli bir referans pozisyonu, sıvı metalin optimum girişini sağlar ve gaz kapması azaltılır [22,23].

Metal döküm sıcaklığı gaz kapılması için kritik bir etkidir. Mümkün olduğunca düşük sıcaklıkta kalıba metal iletmek esastır. Bunu ideal gaz kanunu kullanımıyla açıklayabiliriz.

$$P.V=n.R.T$$

P=Basınç V= Hacim n=Gazın kütlesi T=Mutlak sıcaklık R= Gaz sabiti

Bu kanundan görüldüğü üzere atmosfer basıncındaki gazın hacmi sıcaklıkla direkt orantılıdır. Kalıp ve kalıba giren ergimiş metal arası önemli sıcaklık farkı, dökümü süresince kalıptaki gaz hacmi özellikle bir “patlayıcı genleşmeye “ maruz kalır. Kalıp ve metal sıcaklığı arası 538°C farklılık kalıp gaz hacminde %44'lük ani bir artışı oluşturur. Buna karşın gaz kapmalarının elimine etmek için ergime sıcaklığının artırıldığı nadir durumlar vardır. Gaz kapma hatalarının ana sebebi laminar akış ve/veya kalıp geçirgenliği eksikliği ile alakalı olduğu zaman, gaz baloncukları için gereken yüzme zamanı yüksek aşırı ısıtmadan sağlanır. Böylece gazın besleme konisinde çıkışına müsaade edilir[23].

4.2. Akıcılık :

Eğer bir alaşım çok düşük sıcaklıkta dökülmüşse yolluk sisteminde katılaşma başlayabilir ve kalıp dolmaz. Eğer bir metal çok yüksek sıcaklıkta dökülmüşse kalıp yüzey reaksiyonları, gaz, sıvı, katı içerikler girebilir. Bu yüzden döküm sıcaklık aralığının iyi seçilmesi gerekir. Bu seçimi dökümü yapana bırakmak hatalı olur. Bu aralık ne kadar dar olursa, sağlamlık ve yüzey kalitesi yönünden en iyi dökümler elde edilir. Akışkanlık dataları ile sıcaklık, kimyasal bileşim arasında genel bir muhasebe verir. Likidüsün üzerine gereken aşırı ısıtmada döküldüğü takdirde sağlam dökümlerin elde edildiği ticari olarak ispatlanmıştır.

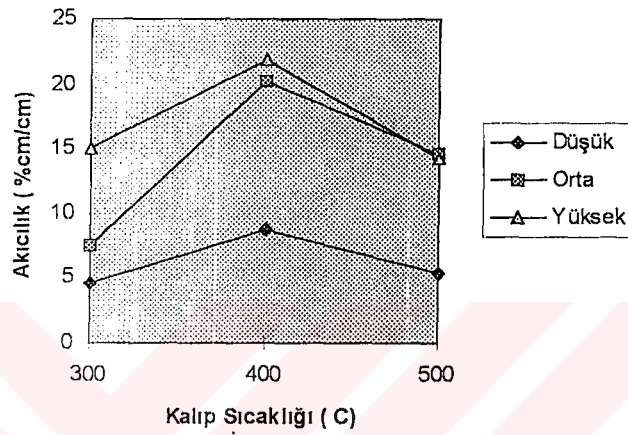
Akıcılık döküm sıcaklığı, döküm hızı ve kalıp sıcaklığı artışına paralel olarak artmaktadır. Fakat çizelge 4.2.'de akıcılık test numuneleri alt ve üst mesafelerde konan referanslar dikkate alındığında en iyi yürümlerin aynı şartlar altında aynı paralelliği vermediği gösterilmiştir. Çünkü ergimiş metalin ilerleyişi kalıp dizaynında varolabilecek hafif farklılıklar sebebiyle gaz hareketinin yönlenmesinde etkili olmakta ve sonuçları şaşırtıcı kılmaktadır. Buna karşın alt ve üst akıcılık numunelerinin çakışan değerlerinden hareketle en iyi akıcılık şartları sırasıyla 770°C/300°C/ORTA(çerçevesiz), 720°C/500°C/YÜKSEK (çerçevesiz), 720°C/500°C/ORTA (çerçevesiz), 720°C/500°C/DÜŞÜK (çerçevesiz) olarak tespit edilmiştir.

Ergimiş metalin metal sıcaklığının, kalıp sıcaklığının ve döküm hızının yüksek olduğu, gazın hapsedilmediği veya gaz absorbesinin engellendiği durumlarda daha çok hatasız dökümlerin yapılması beklenir. Çalışmanın bu kısmı bilimsel hassas ölçümlerden ziyade pratik, endüstriyel, dökümcü tecrübesine dayanan bir durumdur. Bu noktada dökümcünün el becerisi, göz ayarı ve döküm yapıldığı gün ki dikkati döküm sonucunu etkilemektedir. Çalışma, en az deneye en iyi döküm sonucunu ortaya çıkarmak içindi. Fakat döküm sonucunu etkileyen parametrelerin çokluğu ve bir dökümde birbirinden farklı çalışmayı gerektiren (hatasız döküm ve akıcılık testi) testleri aynı anda ölçmeye çalışmamız, aldığımız sonuçları yorumlamamızı zorlaştırmıştır. Döküm sonucu parametrelerin çokluğuna rağmen yinede aşağıdaki sonuçlara, mukayese edilerek ulaşılabilmektedir.

Döküm Sıc. °C	Kalıp Sıc. (°C)	Döküm Hızı(Kg/sn)	Üst-Akıcılık (%cm ² /cm ²)	Alt Akıcılık (%cm ² /cm ²)
670	300	Düşük	4.6	7.5
670	300	Orta	7.5	10
670	300	Yüksek	15	30.5
670	400	Düşük	8.7	9.3
670	400	Orta	20.3	22.47
670	400	Yüksek	22.7	27.69
670	500	Düşük	5.33	7
670	500	Orta	14.58	21.25
670	500	Yüksek	14.16	21.25
720	300	Düşük	7.87	9.12
720	300	Orta	12.85	29.47
720	300	Yüksek	19.07	33.17
720	400	Düşük	5.8	6.63
720	400	Orta	13.26	15.09
720	400	Yüksek	13.93	36.48
720	500	Düşük	20.31	42.70
720	500	Orta	28.25	67.58
720	500	Yüksek	32.75	56.47
770	300	Düşük	18.65	22.39
770	300	Orta	13.93	21.14
770	300	Yüksek	22.39	29.43
770	400	Düşük	17	17.41
770	400	Orta	28.85	67.58
770	400	Yüksek	20.72	42.28
770	500	Düşük	20.31	40.63
770	500	Orta	47.16	77.11
770	500	Yüksek	29.85	53.07

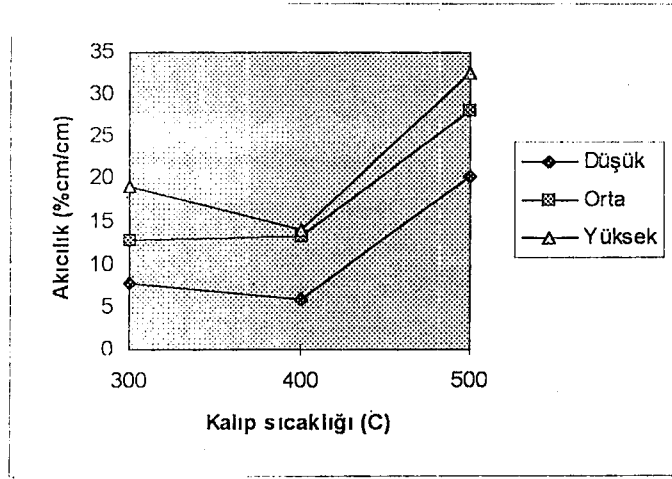
Çizelge 4.2 Akıcılık test numunelerin sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.2. de çizildiği gibi 670°C döküm sıcaklığında en iyi akıcılık değerleri 400°C kalıp sıcaklığı ve yüksek hızda dökümlerden alınmıştır. Bu değerler kalıp dizaynımıza bağlı olarak hatalardan uzak en iyi dökümlerin çıktığı çizelge 4.1. ile paralellik göstermiştir. Şekil 4.3. ve şekil 4.4. de sırasıyla 720°C ve 770°C döküm sıcaklıklarında kalıp sıcaklığı 500°C iken yüksek hızlarda dökmek akıcılık değerlerinin en yüksek olduğu şartları vermektedir. Buna karşın döküm sağlamlığı açısından olaya bakıldığında paralellik olmadığı görülmüştür.

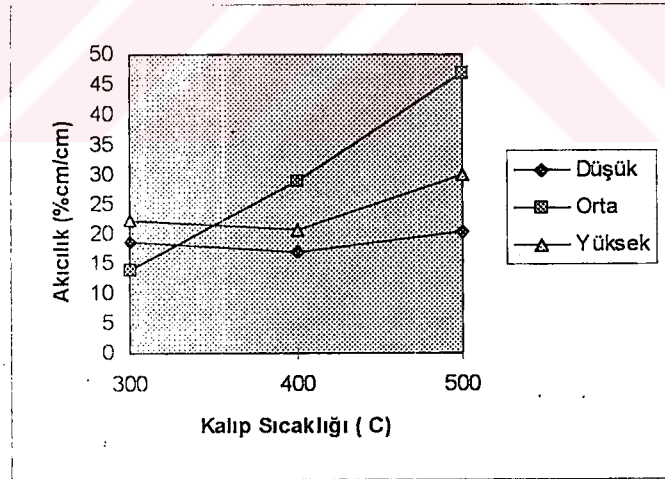


Şekil 4.1. 670°C döküm sıcaklığı şartlarında akıcılık grafiği

Akıcılık değerlerinin genelde en yüksek olduğu orta- yüksek hızlardaki ortalama değerler çizelge 4.3. de gösterildi ve şekil 4.5. de çizildi. Burada da görülmektedir ki en yüksek akıcılık değerleri 770°C/500°C/Orta-Yüksek döküm şartında gerçekleşmiştir. Bu durumun döküm sağlamlığı ile paralellik göstermediği değerlerimizden anlaşılmış ve bunun nedeninin şu sebeplerden olacağı tahmin edilmiştir. Yüksek hızlarda kalıp içerisindeki mevcut havanın sıkıştırılması veya türbülans olması, metal sıcaklığının yüksek oluşu nedeniyle gaz kapılmasının fazla olması ve kalıp dizaynıdır.



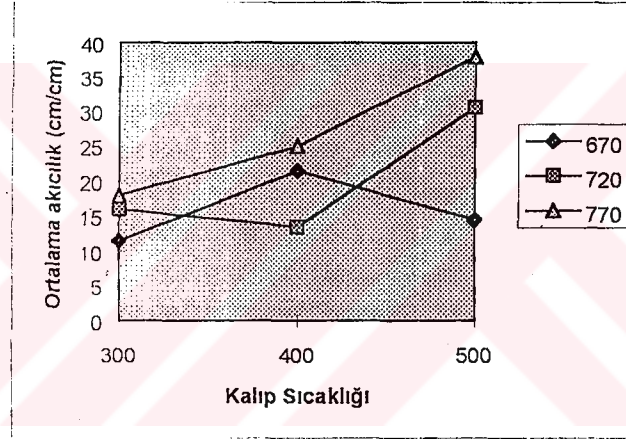
Şekil 4.3. 720°C döküm sıcaklığı şartlarında akıcılık grafiği



Şekil 4.4. 770°C döküm sıcaklığı şartlarında akıcılık grafiği

Döküm sıcaklığı	Orta -yüksek hızların ortalama akıcılık değerleri		
	300°C	400°C	500°C
670°C	11.15	21.5	14.5
720°C	16	13.5	30.5
770°C	18	25	38

Çizelge 4.3. 670°C, 720°C, 770°C döküm sıcaklıklarında ortalama değerler-

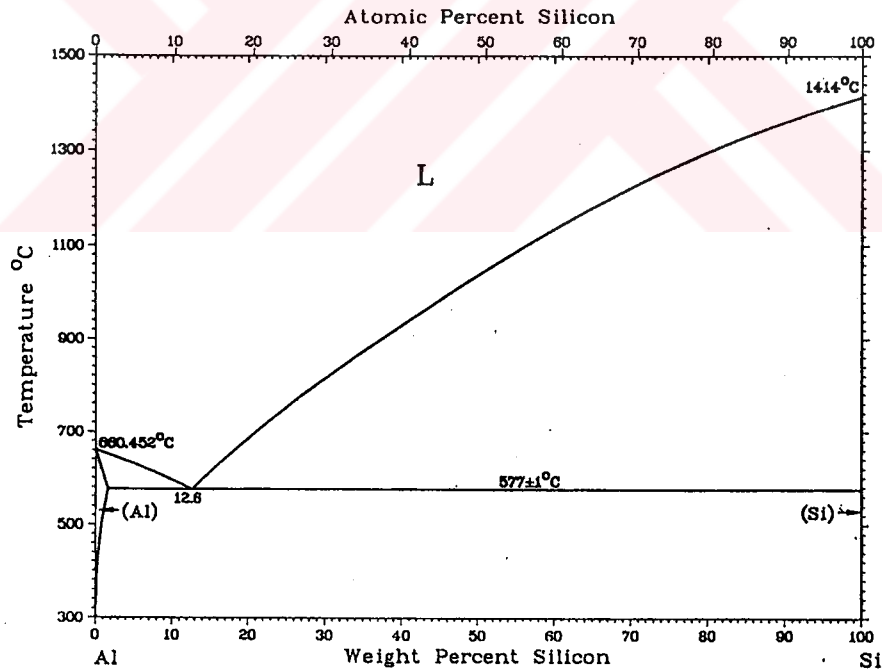


Şekil 4.5. 670°C, 720°C, 770°C döküm sıcaklıklarında alınan ortalama akıcılık grafiği

4.2. Mikroyapı ve Test Sonuçları

Şekil 4.6. 'da Al-Si faz diyagramından anlaşılacağı gibi Al-%6.5-7.5 Si alaşımının 577°C ötektik noktanın altında sahip olduğu mikroyapı α -Al ana fazı ile ötektik ncta altında oluşan ötektik karışımdan (α -Al + Si) oluşur. Ötektik karışım ataçıklar g bi dağılmış görünümü veren α -Al ana fazını çevreleyen bir ağ görünümündedir. Ana yapıyı oluşturan α -Al yumuşak ve sünektir. Her hangi bir çekme veya bükme durumunda kopmalar ötektik bölgede ötektik karışımı oluşturan α -Al ve kırılgan Si parçacıklarının sınırın da olmaktadır.

Phase	Composition, wt% Si	Pearson symbol	Space group
(Al)	0 to 1.6	<i>cF4</i>	<i>Fm$\bar{3}$m</i>
(Si)	99.985 to 100	<i>cF8</i>	<i>Fd$\bar{3}$m</i>



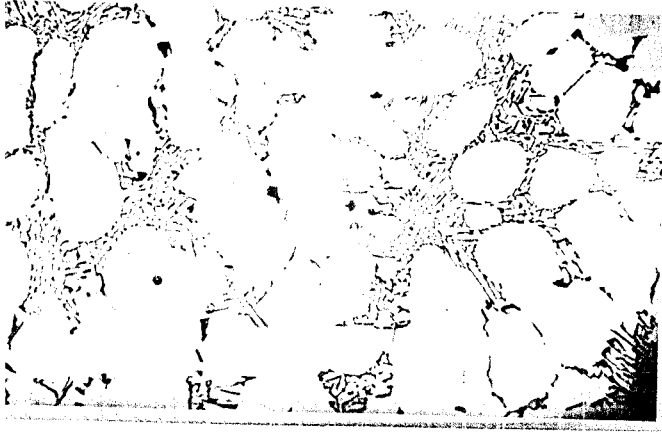
Şekil 4.6. Al-Si faz diyagramı

Na veya Sr ile modifiye edilmiş Al-Si alaşımlarının mikro yapısı ile yukarıdaki Al-Si (modifiye edilmemiş diye adlandırılan) alaşımlarının arasındaki mikro yapı farkı şöyledir. Ana α -Al fazı morfolojik olarak aynı olmakla beraber, ötektik karışımı oluşturan düzlemsel (plate) morfolojideki Si fazı ayrılarak daha küçük boyutlarda küresel Si parçalarına dönüşür. Bu nedenle modifiye Al-Si alaşımının daha iyi mekanik özelliklere sahip olacağı düşünülebilir.

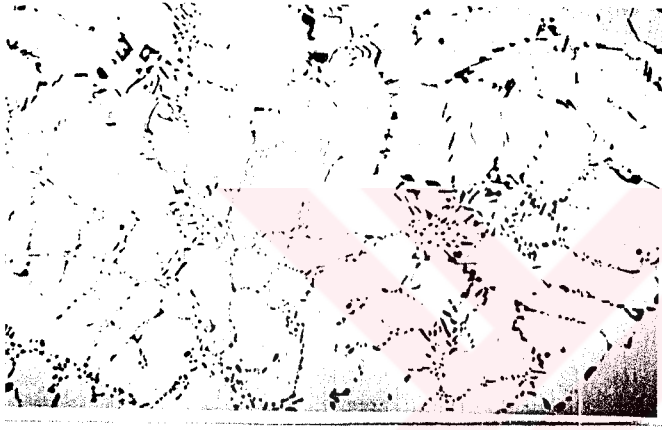
Bu tez çalışmasında Na ile modifiye edilmiş Al-Si alaşımının mikroyapı çalışmaları döküm sonrası, çözeltiye alma ve yaşlandırma aşamalarında incelenmiştir. Şekil 4.7.a., şekil 4.8.a., şekil 4.9.a.'da görüleceği üzere döküm sonrası mikroyapılarda Si fazı küresel değil düzlemsel şeklindedir. Yeterince modifiye olması için gereken Na miktarı katılaşma sonrası alaşım içerisinde mevcut değildir. Bu iki sebepten dolayı olabilir. Eritme esnasında yapıya yeterince Na ilavesi yapılmamıştır veya ergitme sırasında Na'nın buharlaşması meydana gelmiştir. Şekil 4.7.c., şekil 4.8.c., şekil 4.9.c.'de göstermektedir ki Si fazının küreselleşmesine sebep sadece döküme Na katmak değil aynı zamanda gerekli ısı işlem ile mevcut Na'nın modifikasyon etkisi göstermesine izin verilmelidir. Yaşlanma olmuş durumlarda Si fazı döküm sonrası durumlara göre çok daha küreseldir.

Optik mikroyapılarda görülmemekle beraber alaşım içerisinde bulunan Mg, Mg_2Si çökeltilerini ana α -Al fazı içerisinde oluşturmaya kuvvetle ihtimaldir. Literatürde bir çok çalışmada bu alaşımlarda döküm sonrası Mg_2Si çökeltilerinin oluştuğundan bahsedilmektedir.

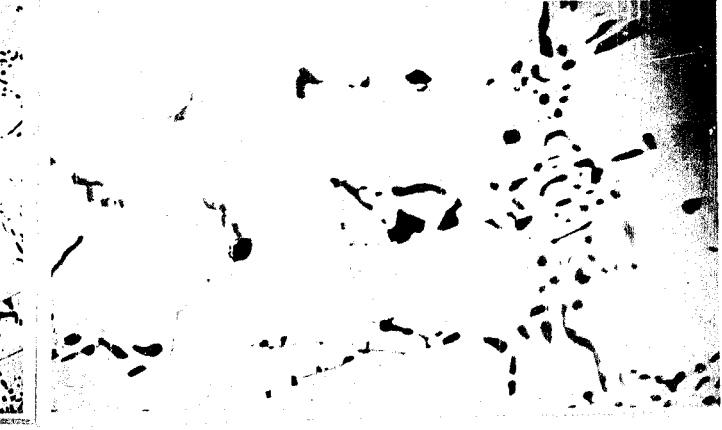
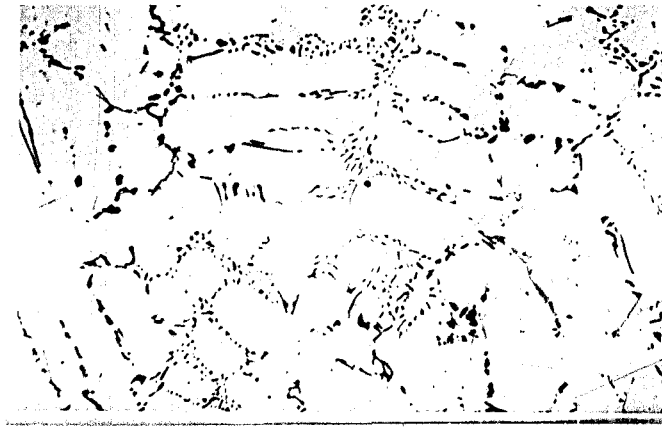
Çözeltiye alma işlemiyle döküm sonrasında oluşmuş Mg_2Si çökeltileri çözünür, döküm homojenizasyonu sağlanır ve ötektik Si morfolojisinde değişim meydana gelir. Bu alaşım için optimum homojenizasyon sıcaklığı $540^\circ C$ 'dir. Bu sıcaklıkta Mg_2Si partikülleri çok kısa zaman da maksimum oranda çözünürler. Si fleykleri yüksek oranda parçalanır ve küreselleşirler. Ötektik Si morfolojisinin partikül boyutu, partikül şekli, partiküller arası uzaklığın mekanik özellikler üzerine etkisi büyüktür. Eğer Si partikülleri küçük boyut ve küresel morfolojiye sahip olurlarsa mekanik özellikler artar [25,26,27,28].



(a)

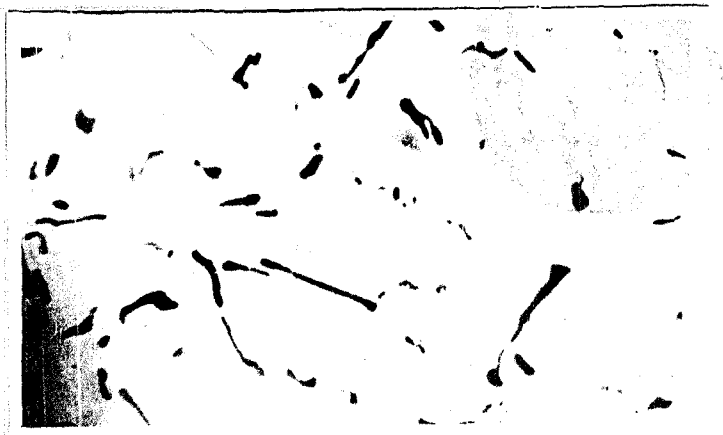


(b)

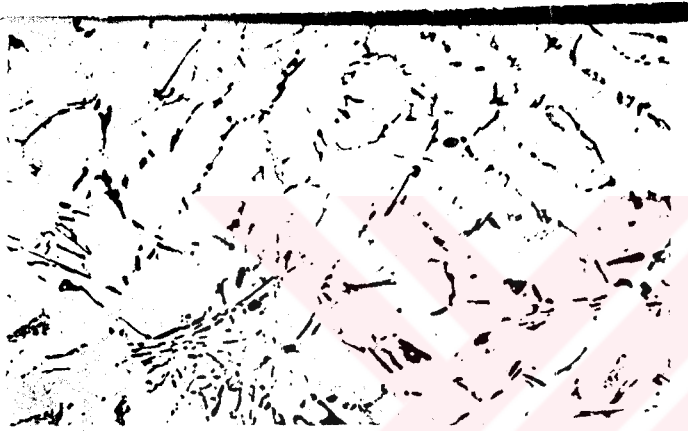


(c)

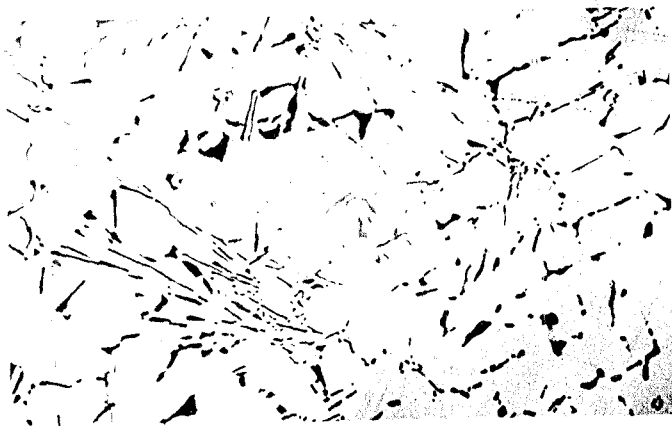
Şekil 4.7.100X ve 400X büyütmelerde $D=670^{\circ}\text{C}$, $K=500^{\circ}\text{C}$, $H=\text{yüksek}$ şartlarındaki dökümün ısıtım süreçleri a) Döküm sonrası b) Su verilmiş c) T6 ısıtım sonrası
K: Kalıp sıcaklığı, D: Döküm sıcaklığı, H: Döküm hızı



(a)



(b)



(c)

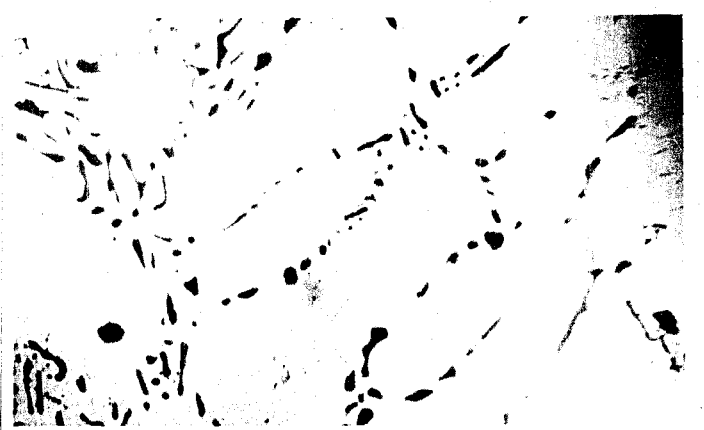
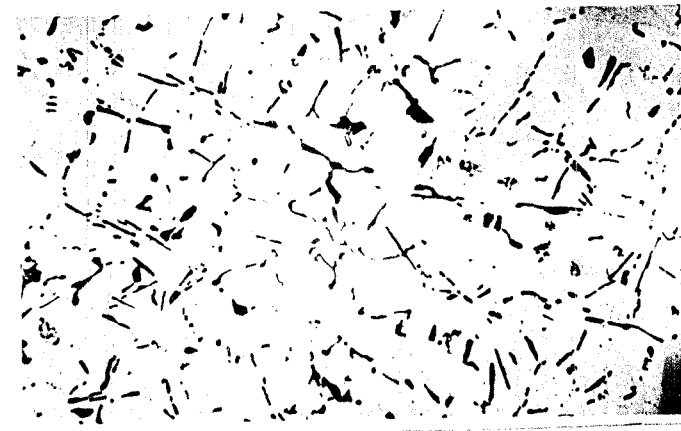
Şekil 4.8. $D=720^{\circ}\text{C}$, $K=300^{\circ}\text{C}$, $H=\text{yüksek}$ şartlarındaki dökümün ısıtım süreçleri
a) Döküm sonrası b) Su verilmiş c) T6 ısıtım sonrası
 K : kalıp sıcaklığı, D : Döküm Sıcaklığı, H =Hız



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.9. D=770°C, K=300°C, H=yüksek şartlarındaki dökümün ısıtım süreçleri
a)Döküm sonrası b) Su verilmiş c)T6 ısıtım sonrası
K : kalıp sıcaklığı, D: Döküm Sıcaklığı, H=Hız

Homojenizasyondan sonra su verilmiş alaşımlar 155°C yaşlanma işlemine tabi tutulmuşlardır. Yaşlanma esnasında aşağıda izah edilen durum meydana gelmektedir. Döküm esnasında oluşmuş Mg_2Si partikülleri homojenizasyonla tümüyle çözünmüş ve 155°C'de yaşlandırmayla kontrollü bir şekilde Mg_2Si çökeltiler uniform olarak oluşturulmuştur. Daha önceki yapılan çalışmalardan anlaşılabileceği gibi Mg_2Si parçacıkları GP zonları oluşmasıyla başlayıp $\alpha-Al$ matrisin (100) düzlemleri üzerinde ara aşamada iğne son aşamada düzlem şeklini alırlar. Bu çökelti Mg_2Si olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada TEM çalışması yapılamadığında Mg_2Si çökeltileri oluşumu görüntülenememiştir. Optik mikroskobun çözme gücü ise mikroskobik seviyede çok çok küçük bu partikülleri görmek için yetersizdir. TÜBİTAK-MAM'dan alınan müsaadeyle çok kısa süreli SEM çalışması yapılmış fakat β' Mg_2Si çökeltileri belki partiküllerin küçüklüğü belkide SEM'in çözme gücünün yetersizliğinden görüntülenememiştir.

670°C, 720°C ve 770°C 'lerde döküm sonrası çekme testi, darbe testi, sertlik testi sonuçları dökümü yapılmış ve yaşlandırmaya tabi tutulmuş çekme testi, darbe testi, sertlik testi çizelge 4.4., 4.5., 4.6., 4.7., 4.8.'de verilmiştir.

Döküm Sıc. °C	Kalıp Sıc. (°C)	Döküm Hızı (Kg/sn)	Isıl İşlem Önce Sertlik(kg/mm ²)	Isıl işlem sertliği (kg/mm ²)
670	300	Düşük	69.1	92.6
670	300	Orta	67.3	84.4
670	300	Yüksek	67.3	79.6
670	400	Düşük	71	105
670	400	Orta	67.3	109
670	400	Yüksek	69.1	102
670	500	Düşük	67.3	84.4
670	500	Orta	65.5	72.8
670	500	Yüksek	69.1	89.7
720	300	Düşük	-	102
720	300	Orta	71	89.7
720	300	Yüksek	67.3	98.6
720	400	Düşük	67.3	85.6
720	400	Orta	65.2	102
720	400	Yüksek	64.3	98.6
720	500	Düşük	69.1	98.6
720	500	Orta	65.1	102
720	500	Yüksek	67.3	89.7
770	300	Düşük	63.8	102
770	300	Orta	65.5	98.6
770	300	Yüksek	63.8	79.6
770	400	Düşük	63.8	103
770	400	Orta	66.2	85.6
770	400	Yüksek	-	102
770	500	Düşük	-	89.7
770	500	Orta	65.5	102
770	500	Yüksek	-	-

Çizelge 4.4. Döküm ve ısıtım şartlarında sertlik değeri

Döküm Sic. °C	Kalıp Sic. (°C)	Döküm Hızı(Kg/sn)	Isıl İşlem Öncesi akma (kg/mm ²)	Isıl işlem akma (kg/mm ²)
670	300	Düşük	9.782	24.8
670	300	Orta	9.811	23.5
670	300	Yüksek	9.851	23.5
670	400	Düşük	10.62	25.5
670	400	Orta	12.34	25.5
670	400	Yüksek	9.625	25.5
670	500	Düşük	10.435	-
670	500	Orta	9.603	23.6
670	500	Yüksek	10.308	25.14
720	300	Düşük	10.072	25
720	300	Orta	9.85	24.5
720	300	Yüksek	10.83	26
720	400	Düşük	10.313	26
720	400	Orta	10.57	25.60
720	400	Yüksek	11.20	26
720	500	Düşük	10.226	25.5
720	500	Orta	10.456	22.5
720	500	Yüksek	9.941	27
770	300	Düşük	9.960	24.25
770	300	Orta	10.10	24.30
770	300	Yüksek	10.5	25
770	400	Düşük	10.416	24.70
770	400	Orta	9.833	24
770	400	Yüksek	10.70	24.5
770	500	Düşük	10.93	-
770	500	Orta	9.409	25
770	500	Yüksek	-	-

Çizelge 4.5.Döküm ve ısıtım şartları altında akma değeri

Döküm Sic. °C	Kalıp Sic. (°C)	Döküm Hızı(Kg/sn)	Isıl İşlem Öncesi Kopma (kg/mm ²)	Isıl işlem Kopma (kg/mm ²)
670	300	Düşük	15.441	24.8
670	300	Orta	16.418	24.97
670	300	Yüksek	15.936	25.5
670	400	Düşük	17.842	28.406
670	400	Orta	21.684	27.10
670	400	Yüksek	18.536	28.73
670	500	Düşük	16.923	-
670	500	Orta	15.019	25.92
670	500	Yüksek	16.638	26.27
720	300	Düşük	18.308	29
720	300	Orta	18.530	28.450
720	300	Yüksek	16.25	28
720	400	Düşük	17.85	29.5
720	400	Orta	17.660	29.1
720	400	Yüksek	15.478	28.7
720	500	Düşük	16.21	27.6
720	500	Orta	19.073	27.6
720	500	Yüksek	17.85	28
770	300	Düşük	18.027	26.9
770	300	Orta	13.805	26.5
770	300	Yüksek	16.679	28.5
770	400	Düşük	16.12	29.30
770	400	Orta	17.472	27.3
770	400	Yüksek	15.892	29.30
770	500	Düşük	15.725	26
770	500	Orta	15.072	25
770	500	Yüksek	-	-

Çizelge 4.6 . Döküm ve ısıtım şartları altında kopma mukavemeti değerleri.

Döküm Sıc. °C	Kalıp Sıc. (°C)	Döküm Hızı(Kg/sn)	Isıl İşlem Öncesi Uzama %cm/cm	Isıl işlem Uzama (%cm/cm)
670	300	Düşük	3.66	3.66
670	300	Orta	-	3.66
670	300	Yüksek	3.33	3.8
670	400	Düşük	4.33	2.72
670	400	Orta	3.66	2.5
670	400	Yüksek	5.33	3.83
670	500	Düşük	4.33	-
670	500	Orta	3.33	1.66
670	500	Yüksek	4.66	2.66
720	300	Düşük	5.16	2.66
720	300	Orta	5.66	3.25
720	300	Yüksek	4.33	3.33
720	400	Düşük	5	3.6
720	400	Orta	5.33	3.66
720	400	Yüksek	4.16	3.33
720	500	Düşük	3.66	4.33
720	500	Orta	5	4.33
720	500	Yüksek	5.16	1.83
770	300	Düşük	3.66	4.33
770	300	Orta	-	4.33
770	300	Yüksek	5.75	4
770	400	Düşük	3.33	5
770	400	Orta	3.66	4.33
770	400	Yüksek	4.83	4.5
770	500	Düşük	4.16	-
770	500	Orta	2.83	-
770	500	Yüksek	-	-

Çizelge 4.7. Döküm ve ısıtım şartlarında % uzama değerleri.

Döküm Sıc. °C	Kalıp Sıc. (°C)	Döküm Hızı(Kg/sn)	Isıl İşlem Öncesi Darbe	Isıl işlem Darbe Joule
670	300	Düşük	1.9	1.43
670	300	Orta	2.20	1.7
670	300	Yüksek	2.10	1.8
670	400	Düşük	1.56	1.23
670	400	Orta	1.71	1.5
670	400	Yüksek	1.52	1.2
670	500	Düşük	1.83	1.80
670	500	Orta	2	-
670	500	Yüksek	2.10	1.7
720	300	Düşük	1.65	1.35
720	300	Orta	1.65	1.4
720	300	Yüksek	1.68	1.5
720	400	Düşük	1.55	1.37
720	400	Orta	1.53	1.43
720	400	Yüksek	1.52	1.27
720	500	Düşük	1.7	1.37
720	500	Orta	1.6	1.30
720	500	Yüksek	1.6	1.27
770	300	Düşük	1.65	1.63
770	300	Orta	1.5	1.3
770	300	Yüksek	1.6	1.35
770	400	Düşük	1.6	1.2
770	400	Orta	1.75	1.54
770	400	Yüksek	1.7	1.54
770	500	Düşük	-	1.4
770	500	Orta	1.67	1.5
770	500	Yüksek	-	-

Çizelge 4.8. Döküm ve ısıtım şartları altında darbe direnci.

Döküm ve yaşlandırma sonrası ortalama akma, çekme, uzama, darbe ve sertlik değerleri çizelge 4.9 ve çizelge 4.10.' da gösterilmiştir. Bu çizelgelerden anlaşılacağı gibi yaşlandırma sonrası çekme testi akma değerleri %140 civarlarında artma, çekme testi kopma mukavemeti değerlerinde %80 artma, uzama değerlerinde %25 azalma, sertlik değerlerinde %35 artma olduğu görülmektedir. Akma ve sertlik değerinde önemli bir artış, uzama ve darbe değerlerinde küçük bir düşüş vardır.

Ortalama Değerler	670°C	720°C	770°C
Akma	10.26	10.38	10.22
Kopma	14.75	15.43	16.10
Uzama	4.08	4.82	4.03
Darbe	1.65	1.6	1.63
Sertlik	68.11	67.07	64.74

Çizelge 4.9. Döküm sonrası test sonuçlarının ortalama değerleri

Ortalama Değerler	670°C	720°C	770°C
Akma	24.63	25.34	24.53
Kopma	26.46	28.44	27.35
Uzama	3.06	3.33	4.45
Darbe	1.54	1.36	1.43
Sertlik	91	96.31	95.31

Çizelge 4.10. Yaşlandırma sonrası test sonuçlarının ortalama değerleri.

Döküm sonrası mikroyapıyla yaşlandırma sonrası mikro yapı arasında belirgin iki fark aşağıdaki gibidir.

1-)Yaşlandırma sonrası Si fazı, döküm sonrası Si fazına göre daha çok küreseldir.

2-) Her ne kadar bu tez çalışmasıyla görüntülenememiş olsa bile yaşlandırma sonucu ile α -Al fazı içerisinde uniform olarak oluşmuş olan sert Mg_2Si ancak TEM ile görüntülenebilecek çok küçük boyutlu çökeltidir. Sertlik değerindeki artma açıkça

oluşan bu ikinci fazın α -Al fazına göre çok daha sert olduğunu göstermektedir. Çekme testi akma sonuçlarındaki artışta, oluşan bu ikinci fazın ancak TEM ile görüntülenebilecek çok küçük boyutta ve akma anında dislokasyon hareketini engelleyici olduğunu göstermektedir. Sertlik değerlerindeki artma oluşan bu ikinci fazı α -Al fazına göre çok daha sert ve çekme testi artma değerlerindeki artma da oluşan bu ikinci fazın α -Al fazı içerisinde uniform olarak dağılmış muhtemelen mikron metre altı boyutlarda olduğunu açıkça göstermektedir.

Ergimiş metalin döküm sıcaklığının, döküm hızının ve kalıp sıcaklığının mekanik özellikler üzerindeki tesiri çok belirgin farklar oluşturmamıştır. Bu durum gerek yapılan optik mikroskop incelemelerinde tane boyutları arasındaki farkın çok küçük olmasından, gerekse mekanik testlerdeki (çekme, darbe, sertlik) sonuçlardan görülmektedir.



5.SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Hassas Döküm tekniği kullanılarak döküm sıcaklığının (670°C , 720°C , 770°C), kalıp sıcaklığının (300°C , 400°C , 500°C) ve döküm hızının (düşük, orta, yüksek) A356 Alüminyum alaşımlarının dökümünde, dökümün kalitesine, ergimiş metalin kalıp içerisinde akıcılığına, mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir.

Dökümün kalitesinden ödün vermemek şartıyla en düşük döküm şartlarında dökmek tercihtir. Döküm kalitesi, döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve döküm hızından ziyade, kalıp dizaynı ve gazın hapsedilmesinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Her döküm sıcaklığında kaliteli dökümler elde edilmiş olsada, düşük döküm (670°C) ve kalıp sıcaklıklarında ($300-400^{\circ}\text{C}$) yüksek hızlarda, $720-770^{\circ}\text{C}$ döküm sıcaklıklarında düşük ve orta hızlarda dökmekle döküm kalitesi artırılmıştır. Kalıp dizaynı kompleksliğiyle alakalı olarak $720-770^{\circ}\text{C}$ döküm sıcaklıkları aralığı tercih edilmelidir.

Akıcılık, döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve döküm hızının artmasıyla lineer olarak artmaktadır. Her döküm sıcaklığında orta-yüksek hızlarda döküm en yüksek değerlerini vermiştir. 670°C /orta şartları da döküm kalitesiyle ilişkili olarak iyi akıcılık değerleri vermiştir. Yüksek akıcılık değerlerin bulunduğu $770^{\circ}\text{C}/500^{\circ}\text{C}$ /yüksekte aynı derece döküm kalitesi olmamıştır. Bu yüzden 720°C ve 770°C döküm sıcaklıkları arasında kalıp sıcaklığı 400°C olduğu orta hızlarda dökmek önerilebilir.

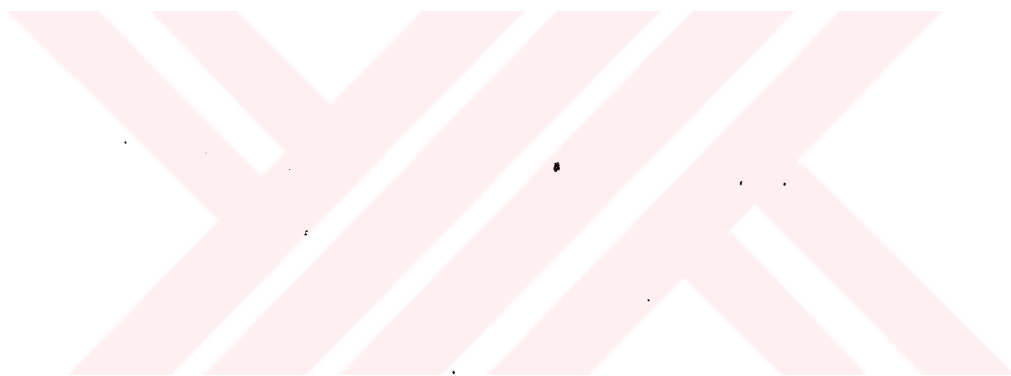
Kalıp parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde çok belirgin etkisi olmamıştır. Yinede küçük seviyelerde de olsa sertlik değerleri, 670°C 'de kalıp sıcaklığının 400°C olduğu tüm şartlarda yüksektir. Akma mukavemeti, ısıtılma sonrası en etkili parametre olarak döküm sıcaklığı 720°C olduğu zaman, kalıp ve döküm sıcaklığından bağımsız olarak, en iyi değerler alınmıştır. Kalıp sıcaklığı 500°C ve döküm hızı yüksek olduğunda akma en yüksektir. Çekme mukavemeti değerleri, ısıtılma sonrası, 720°C ve 770°C 'de 400°C kalıp sıcaklığında en iyi neticeler vermiştir. Döküm yapısı uzama değerleri ısıtılma sonrası değerlere göre daha yüksek olsa da, tokluk düşüktür.

KAYNAKLAR

1. P.R. Beeley and R.F. Smart, "Investment Casting" , The Institute of Materials, London, 1995
2. "Metals Handbook", Vol. 5, 8th edition, American Society for Metals, Metals Park - Ohio 44073, 237-261, [1970]
3. " Investment casting Handbook", Investment Casting Institute, 2535 Peterson Road, Chicago, Illinois 60645, [1968]
4. R.F. Smart and D.B. Critchley, "Developments in investment casting ", "The foundryman, April, 115-116, 1995
5. Batu Bütün, "Hassas döküm teknolojisi", 5. Denizli Sempozyumu, 7-9 Nisan , s.114-125, 1993
6. Batu BÜTÜN,vd, "Investment casting technical file", TÜBİTAK-MAM, April 1988
7. L.Fischman, " Techniques and binders for investment casting"; Ceramic Age, September, 24-30, 1967
8. D.L. Twarog,"Causes and cures for shell-related defects",Modern Casting, August, 28-30, 1990
9. A.M.Arzt, "Optimizing control of shell cracking in investment casting" , Modern Casting, February, 30-33 , 1987
10. M.J. Hendricks," Getting more from your ceramics shell slurry ", Modern Casting, August, 32-33, 1990
11. C.H. Schwarz,"Coated stucco solves ceramic shell drying problems", Modern Casting, June, 31-33, 1987

12. C.H.Waxman, "polystyrene, a material for patterns" , Foundry Trade Journal
December, 709-718, 1961
13. D.Draper, "Laser Welding of waxes Patterns for investment casting", Modern
Casting, October, 24-26, 1987
14. J.H.Jackson " Aluminum alloy investment casting aerospace industry", Foundry
Trade Journal, sep.2,
15. Y.Uziel, "An unconventional approach to producing investment casting ",
Modern Casting, August, 30-31,1993
16. A.L.Cohen, "New investment casting metod combines CAD and CNC", Moderr
Casting , Sep., 46, 1992
17. Precision Castparts Corp., " Where casting is a matter of quality", february, 32-
33, 1988
18. J.P.Arqueso, "Frequently encountered problems in a wax room", Modern
Casting, August , 32-33, 1993
19. W.A.Dubovick, "Investment casting can be economical in aluminum", Modern
Metal, August, 108-114, 1974
20. M.F.Burditt, "Investment casting's future soars", Modern Casting, October, 27-
30, 1988
21. T.V.Rama Prasad,V.Kondic, "Designing feedingsystems for investment casting",
Modern Casting, September, 28-30, 1994
22. T.Klemp, "A simplified approach to degassing of common investment casting
alloys, AFS Transactions, 1009-1024, 89-200, 1989
23. "Aluminum Casting Technology", AFS, Des Plaines, Illinois, 1993

24. B.Closset, D.Fay. " Strontium modification of aluminum investment castings alloys", AFS Transactions, 505-509, 90-90, 1990
25. S.Shivkumar and et al, "Experimental optimizing the heat treatment of A356 alloy", AFS Transactions, 791- 809, 89-138, 1989
- 26.D.Apelian and Shivkumar, "Fundamental aspects of heat treatment of cast Al-Si-Mg alloys", AFS Transactions, 7727- 74109, 89-137, 1989
27. S.shivkumar and et al." Aging Behavior in cast Al-Si-Mg alloys" AFS Transactions, 905-911, 90-179, 1990
28. P.Y.Zhu and et al, "Spheroidization of Eutectic Silicon in Al-Si " AFS Transactions, 609-613 85-95, 1985



ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Ardahan ilinde doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Gebze'de tamamladı. 1989 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 1994 yılında mezun olarak, Metalurji Mühendisliği ünvanı aldı. Aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

KÖĞRETİM GÖREVLİSİ
DOKUZ KASIM ÜNİVERSİTESİ
MÜHÜR