

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM DOLU KALIBA DÖKÜM UYGULAMALARINDA MODEL
YOĞUNLUĞUNUN POROZİTEYE ETKİSİ**

SEÇİL KARA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. KEREM ALTUĞ GÜLER**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM DOLU KALIBA DÖKÜM UYGULAMALARINDA MODEL
YOĞUNLUĞUNUN POROZİTEYE ETKİSİ**

Seçil KARA tarafından hazırlanan tez çalışması 06.07.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Üretim Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Kerem Altuğ GÜLER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Kerem Altuğ GÜLER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Derya DIŞPINAR
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Bitirme Projesi kapsamında gerçekleştirmiş olduğum çalışmamın her aşamasında bilgi ve önerileri ile beni destekleyen, yardımlarını hiç esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Kerem Altuğ GÜLER'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımları ve desteğinden dolayı Arş. Gör. Alptekin KISASÖZ'e şükranlarımı sunarım.

Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nün değerli öğretim kadrosuna yüksek lisans eğitimim boyunca verdikleri emek ve destekler için teşekkür ederim.

Son olarak, sonsuz destekleriyle her zaman yanımda olduklarını hissettiğim değerli aileme, arkadaşlarıma, özellikle arkadaşım Erdil ŞEHİDOĞLU'na ve değerli yöneticim Bülent DİŞÇİ'ye tez hazırlık dönemimde gösterdikleri hoşgörü ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Temmuz, 2015

Seçil KARA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
METAL DÖKÜMÜ VE KAYBOLAN KÖPÜK TEKNIĞİ	3
2.1 Geleneksel Kum Kalıba Döküm İşlemi.....	3
2.2 Kum Kalıp Yapımı	4
2.3 Kaybolan Köpük ile Döküm Tekniği.....	5
2.4 Kaybolan Köpük Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları.....	7
BÖLÜM 3	
KAYBOLAN KÖPÜK İLE DÖKÜM YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ.....	9
3.1 Köpük Modellerin Özellikleri.....	12
3.1.1 Kompozisyon	12
3.1.2 Yoğunluk ve Mekanik Özellikler.....	14
3.1.3 Bozunma	16
3.1.4 Diğer Özellikler	17

3.2 Köpük Model Malzemeleri.....	17
BÖLÜM 4	
MODEL VE KALIP YAPIMI	19
4.1 Polistiren Köpüklerin Önşişirilmesi	19
4.1.1 Polistiren Tanelerin Önşişirilmesi	19
4.1.2 Kullanılan Ekipmanlar	21
4.1.2.1 Vakum Kuru Ön şişirici	21
4.1.2.2 Direkt Buhar Ön şişirici.....	23
4.1.3 Tanelerin Islah Edilmesi	25
4.2 Köpük Modellerin Üretimi	26
4.2.1 Kalıp	26
4.2.2 Model Kalıplama	29
4.2.3 Ön Isıtma.....	29
4.2.4 Doldurma	30
4.2.5 Buhar Haznesi	31
4.2.6 Soğutma.....	32
4.2.7 Model Çıkarma	33
4.2.8 Model Olgunlaştırma	35
4.2.9 Polistiren Plakalardan Kesme ve İşleme Yoluyla Model Yapımı	37
4.3 Model Parçalarının Birleştirilmesi.....	38
4.3.1 Yapıştırma Bağlantısı	38
4.3.2 Yapıştırıcı Bileşimi	39
4.3.3 Yapıştırıcı Tankı	40
4.3.4 Bağlanma İşlemi.....	40
4.4 Model Salkımının Kaplanması	41
4.4.1 Özellikler	41
4.4.2 Formülasyonlar	42
4.4.3 Yoğunluk	43
4.4.4 Uygulama	43
4.5 Köpük Döküm Salkımının Kumla Desteklenmesi	44
BÖLÜM 5	
DOLU KALIBA DÖKÜM İŞLEMİ.....	46
BÖLÜM 6	
DOLU KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİNİN EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ.....	49
BÖLÜM 7	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
7.1 EPS Model Parçalarının Oluşturulması	53
7.2 EPS modellerin birleştirilmesi	53
7.3 EPS modellerin refrakterle kaplanması	54
7.4 Modellerin Derece İçerisinde Serbest Kumla Kalıplanması	54

7.5	Döküm İşlemi	55
7.6	Arşimet prensibi ile yoğunluğun belirlenmesi	59
7.7	Numune Hazırlama	59
7.8	Görüntü Alma.....	59
7.9	Brinell Sertlik Ölçümü	60

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGE LİSTESİ

P	Deney yükü (kgf)
y	İzin alanı
D	Bilya çapı
d	İz çapı

KISALTMA LİSTESİ

GM	General Motors Company
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
EPC	Expandable Pattern Casting
EPS	Genleşmiş Polistiren
PMMA	Polimetilmetakrilat
EPMMA	Genleşmiş Polimetil Metakrilat
EPAC	Genleşmiş Polialkilin karbonat

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Kum kalıba döküm yöntemi (a),Maça, kalıp boşluğunda maça destekleriyle tutulur (b), muhtemel maça tasarımı (c)	4
Şekil 2. 2	Seramik kaplama için hazır halde polistiren modeller [8]	6
Şekil 2. 3	Dolu kalıpla dökümün kum kalıba dökümle karşılaştırması [5]	8
Şekil 3. 1	Kaybolan köpük yönteminin şematik gösterimi [5]	10
Şekil 3. 2	Kaybolan köpük ile döküm yönteminin (dolu kalıba döküm) aşamaları [13]	12
Şekil 3. 3	Polistiren tanelerin üretim akış diyagramı [5]	13
Şekil 3. 4	Ön şişirilmiş tanelerin hücre yapısı [5]	13
Şekil 3. 5	Yoğunluğun çekme mukavemeti üzerine etkisi [14]	14
Şekil 3. 6	Yoğunluğun kırılma mukavemeti üzerine etkisi [14]	15
Şekil 3. 7	Yoğunluğun eğme mukavemeti üzerine etkisi [14]	15
Şekil 3. 8	Yoğunluğun basma dayanımına etkisi ve deformasyon değerleri [14]	16
Şekil 3. 9	Sabit “baskıda sürünme [16]	17
Şekil 4. 1	Kapalı bir taşıyıcıda polistiren tanelerden muhtemel pentan kaybı [5]	20
Şekil 4. 2	Proses akım şeması [19]	23
Şekil 4. 3	Direkt-buhar ön şişiricide EPS tanelerinin şişirilme adımları [19]	24
Şekil 4. 4	Kalıplanabilir minimum kesit kalınlığı [14]	28
Şekil 4. 5	Soğuk kalıptan kaynaklanan düşük yüzey kalitesi [5]	32
Şekil 4. 6	Model kesitinde fazla genişleme [5]	33
Şekil 4. 7	Model kesitinde çıkarıcı izi [5]	34
Şekil 5. 1	Döküm anında polistiren köpük ile sıvı metalin yer değiştirmesi [13]	46
Şekil 6. 1	Alüminyum için dolu kalıba döküm Pazar payı değişimi	50
Şekil 6. 2	Dökme Demir için dolu kalıba döküm pazar payı değişimi	50
Şekil 6. 3	Çelik için dolu kalıba döküm pazar payı değişimi	51
Şekil 7. 1	EPS model	54
Şekil 7. 2	Refrakterle kaplanmış model	54
Şekil 7. 3	Modellerin Derece İçerisinde Serbest Kumla Kalıplanması	55
Şekil 7. 4	DeneySEL çalışma kapsamında yapılan dolu kalıba döküm işleminin şematik gösterimi	56
Şekil 7. 5	Ergitme Fırını içerisinde ergitme işlemi	56
Şekil 7. 6	Döküm işlemi	57
Şekil 7. 7	720 °C’de yapılan dökümde elde edilen sırasıyla 26,2 kg/ m ³ ,16.3 kg/ m ³ , 8,4 kg/ m ³ yoğunluğa sahip parçalar	57

Şekil 7. 8	760 °C'de yapılan dökümde elde edilen edilen sırasıyla 26,2 kg/ m ³ ,16.3 kg/ m ³ , 8,4 kg/ m ³ yoğunluğa sahip parçalar	58
Şekil 7. 9	780 °C'de yapılan dökümde elde edilen edilen sırasıyla 26,2 kg/ m ³ ,16.3 kg/ m ³ , 8,4 kg/ m ³ yoğunluğa sahip parçalar	58
Şekil 7. 10	Görüntü ve mikroyapı analizi için numuneden alınan parça	59
Şekil 8. 1	a)680 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)680 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)680 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.	63
Şekil 8. 2	a)700 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)700 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)700 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.	63
Şekil 8. 3	a)720 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)720 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)720 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü	63
Şekil 8. 4	a)740 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)740 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)740 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.	64
Şekil 8. 5	a)760 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)760 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)760 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.	64
Şekil 8. 6	a)780 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)780 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)780 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.	64
Şekil 8. 7	a)800 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)800 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)800 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.	65
Şekil 8. 8	a)680 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)680 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)680 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.	65
Şekil 8. 9	a)700 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)700 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)700 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.	66
Şekil 8. 10	a)720 °C- 8.4 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)720 °C-16.3 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)720 °C-26.2 kg/m ³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.	66

- Şekil 8. 11 a)740 °C- 8.4 kg/m EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)740 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)740 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü. 67
- Şekil 8. 12 a)760 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)760 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)760 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü. 67
- Şekil 8. 13 a)780 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)780 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)780 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü. 68
- Şekil 8. 14 a)800 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)800 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)800 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü. 68

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 7. 1 A-380 Alüminyum alaşıımının kimyasal kompozisyonu	55
Çizelge 8. 1 Ölçülen Yoğunluk Değerleri	62
Çizelge 8. 2 Ölçülen Sertlik Değerleri	69

ALÜMİNYUM DOLU KALIBA DÖKÜM UYGULAMALARINDA FARKLI MODEL YOĞUNLUKLARININ DÖKÜM YOĞUNLUĞUNA VE POROZİTEYE ETKİSİ

Seçil KARA

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Üretim Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Kerem Altuğ Güler

Alüminyum ve magnezyum alaşımları gibi ergime sıcaklığı düşük hafif metallerin kaybolan köpük yöntemiyle ticari dökümleri uzun zamandır yapılmaktadır. Ancak dökümlerde porozite önemli bir sorun olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada farklı köpük model yoğunlukları ile değişen döküm sıcaklıklarının parça yoğunluğu ve porozite üzerine etkisi araştırılmıştır. Döküm deneyleri için iyi bilinen ve yaygın kullanılan A380 alüminyum döküm alaşımı tercih edilmiştir. Yoğunluk ölçümleri ve mikro yapı incelemeleri ile döküm parçaların porozite içeriği tespit edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Köpük model yoğunluğu ve döküm sıcaklığı ile döküm parça yoğunluğu arasındaki bağlantılar muhtemel sebepleri ile ortaya konmuştur. Bu çalışmada 8.4 kg/m^3 , 16.3 kg/m^3 ve 26.2 kg/m^3 yoğunluk değerine sahip 3 farklı köpük model için 680°C , 700°C , 720°C , 740°C , 760°C , 780°C ve 800°C sıcaklıklarında dökümler yapılmıştır. Döküm parçalardan elde edilen değerlerinde 680°C 'tan 780°C 'a kadar belirgin bir değişimin olmadığı, asıl yükselmenin 800°C 'ta olduğu görülmektedir. $680^\circ\text{C} - 780^\circ\text{C}$ arasındaki dökümlerin yoğunlukları aynı sıcaklık için karşılaştırıldığında orta (16 kg/m^3) yoğunluğa sahip köpük model kullanılarak gerçekleştirilen dökümlerde çoğunlukla metal yoğunluğunun diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Çalışmada yapılan deneyler ve değerlendirmeler sonucunda orta yoğunluktaki köpüklerin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dolu Kalıba Döküm, Alüminyum, Genleştirilmiş Polistiren Köpük

**EFFECT OF PATTERN DENSITY ON THE POROSITY OF ALUMINIUM
LOST FOAM CASTINGS**

Seçil KARA

Metallurgical and Material Engineering Department of Production

MSc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Kerem Altug GULER

Lost Foam Casting of light metals such as aluminum and magnesium alloys with low melting temperature commercial dumps a long time is made. However, the porosity in castings in reveal a significant problem. In this study, different densities of foam casting model with varying temperatures on the test pieces density and porosity the influence was investigated. A380 aluminum alloys casting well known and widely used for the experiments is preferred. The content of porosity is determined and compared through measurement of density and examination of microstructure. Casting porosity and density measurements with the microstructural examination of the content determined and were compared. Model casting at the casting temperature of the foam density and the density of the connections between the most likely reasons with the has been. In this study casts have been made at 680 °C, 700 °C, 720 °C, 740 °C, 760 °C, 780 °C ve 800 °C temperatures for three different EPS patterns which have 8.4 kg/m³, 16.3 kg/m³ and 26.2 kg/m³ density values. According to the cast parts it has been recorded that three are no distinct changes from 680 °C up to 780 °C and significant rise occurs at 800 °C. Between 680 °C-780 °C when the cast densities are compared for the same temperature, casts made with EPT pattern which has medium density (16.3 kg/m³), have higher metal density than the others.

Keywords: Lost foam casting (LFC), aluminium, EPS pattern

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Dolu kalıba döküm yöntemi 20.yy'da ortaya çıkmış bir döküm yöntemidir. Dolu kalıba döküm yöntemi ile ilgili ilk patent H.F. Shroyer tarafından 15 Nisan 1958 yılında alınmıştır. Dolu kalıba döküm yöntemi köpük malzemeden üretilmiş bir modelin ergiyik metal tarafından buharlaştırılması esasına dayanır. H.F. Shroyer'in yaptığı ilk denemelerde polistiren yalıtım plakalarından işlenerek köpük modeller yapılmış ve etrafı bağlayıcı kumla doldurularak dolu kalıba döküm yapılmıştır. Bu yöntem günümüzde halen büyük parçaların dökümünde kullanılmaktadır. H.F. Shroyer patentini sonradan Grunzweig & Hartmann Company firmasına satmış ve yöntem 1962'de A [1], [2]. Wittmoser tarafından geliştirilerek ticari kullanıma uygun hale getirilmiştir. Aynı yıl içinde M. Flemings bağlayıcı içermeyen serbest kumda polistiren modeller ile heykel dökümünü gerçekleştirmiştir. M. Flemings uzun süre yöntemin ticari kullanımına ilgi duyan kuruluş bulamamış sadece Ford ve Rockefeller şirketlerinin fonları heykel döküm uygulamaları amacıyla yöntemin araştırma geliştirme sürecine katkıda bulunmuşlardır. 1987 yılında M. Flemings AFS Silver Anniversary'de dolu kalıba döküm yönteminde geline noktaı şöyle ifade etmektedir; "1970'lerin sonunda otomotiv sanayisine parça üreten dökümhanelerde genel maliyetlerin azaltılması ve otomotiv parçalarının ağırlıklarının düşürölmesi gerektiğı için dolu kalıba döküm yöntemine olan ilgi çarpıcı biçimde artmıştır" [3], [4], [5]. Dolu kalıba döküm teknolojisinde öncü kuruluş General Motors Company'dir. GM, yöntemle ilgili ilk patentin alındığı 1958 yılında Warren Michigan'daki teknoloji geliştirme merkezinde dolu kalıba döküm teknolojisi üzerine çalışmalara başlamıştır. 1981'de firma 4.3 L V6

dizel otomobil motorlarındaki alüminyum silindir kafalarının üretiminde dolu kalıba döküm teknolojisini kullanıldığı dökümhanesini devreye almıştır. 1989 yılında ise GM silindir kafalarının üretimde tek yöntem olarak dolu kalıba döküm teknolojisine geçiş yapmıştır. 1994'e gelindiğinde ise GM 8 aylık araştırma sonunda ki bu çalışmada 70 uzman toplam 6000 saat görev almıştır; alüminyum motor blok ve silindir kafaların üretimde bütün olarak dolu kalıba döküm teknolojisini kullanımına karar vermiştir. GM sadece 1998–1999 yılları arasında toplam 280 milyon dolarlık bir yatırım programını devreye alarak yeni nesil kamyonlardaki silindir bloklarının ve kafalarının üretilmesinde dolu kalıba döküm teknolojisini kullanmaya başlamıştır [5]. Avrupa'da ise dolu kalıba döküm teknolojinin gelişmesi A.B.D'ye göre oldukça geçtir. 1993 yılında CAGIVA GROUP bünyesindeki "Ferriere e Fonderiedi Dongo" firması, Vulcan Engineering Company ile ortak olarak dökümhanesinin karlılığını ve verimini artırmak amacıyla 100 milyon dolarlık bir yatırım programı dâhilinde dolu kalıba döküm teknolojisini kullanarak otomotiv parçalarının üretimine başlamıştır [5], [6].

1.2 Tezin Amacı

Tezin amacı; Alüminyum alaşımları ile yapılan dolu kalıba döküm uygulamalarında kullanılan modelin yoğunluğunun elde edilen döküm parçasının porozite içeriğine olan etkisini ve dolu kalıba döküm uygulamalarında seçilen modelin döküm parçasının özelliklerine etkisinin önemini belirtmektir.

1.3 Hipotez

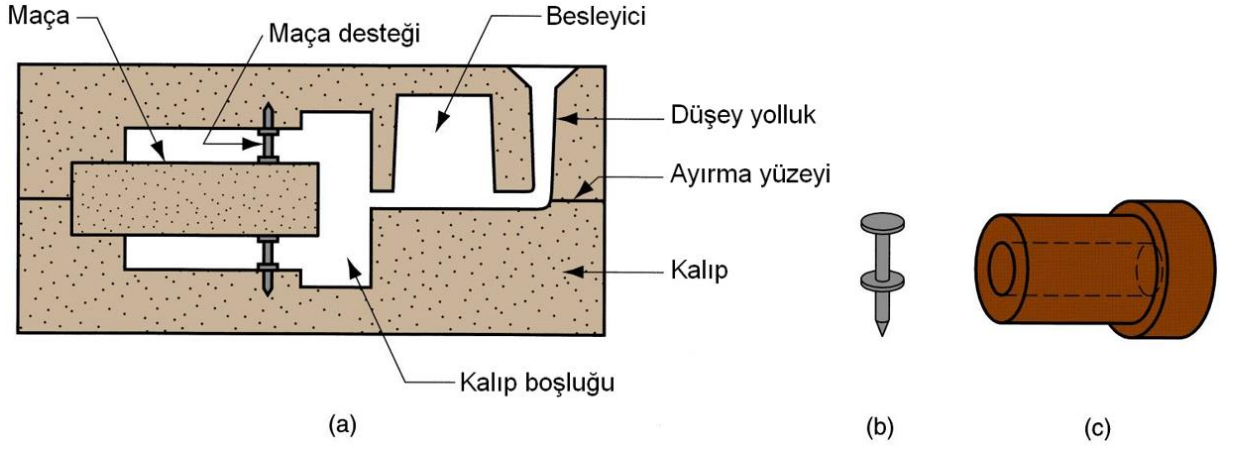
Tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalar düşük sıcaklıklarda dökülen alüminyum alaşımlarının dolu kalıba döküm uygulamalarında köpük model yoğunluğu ile döküm parçanın yoğunluğu ve porozite içeriği yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Alüminyum alaşımlarının dökümü söz konusu olduğunda porozite oranını azaltabilmek için çok düşük ve çok yüksek model yoğunluklarından kaçınılmalıdır. Orta yoğunluktaki köpük modellerin tercih edilmesi daha uygundur.

METAL DÖKÜMÜ VE KAYBOLAN KÖPÜK TEKNIĞİ

2.1 Geleneksel Kum Kalıba Döküm İşlemi

Ergimiş sıvı metal veya alaşım oluşturulmak istenen parçanın negatifi olan bir boşluğa dökülüp onu katılaştırmak suretiyle istenilen şekle sahip ürünü elde etme yöntemine döküm adı verilir. Metalin türü, ürünün şekli ve ekonomikliğe bağlı olarak çeşitli prosesler uygulanır. Klasik döküm yönteminde yapılan işlemler genellikle model yapmak, kalıp yapmak, maça yapmak, metal dökümü ve dökümün temizlenmesi işlemleridir.

Kalıp yapımı metodu genel olarak tüm metal döküm yöntemlerinde uygulanır. Kalıpların üretilebilirliği döküm prosesi için en önemli faktörlerdendir. Çoğu döküm yöntemi için iç boşluklar sebebiyle kalıba ek olarak bir de modele ihtiyaç duyulur. Klasik modelleme teknikleri tasarım, ekonomiklik ve dökümün kalitesi gibi hususlarda sınırlanmaktadır, çünkü birçok döküm yöntemi için kalıcı modeller kullanılır ve bu modellerin döküm öncesi kalıptan dışarı çıkarılması gerekir. Bu yüzden modelin kalıptan uzaklaştırılmasına yeniden kullanılan modellerin tasarımında dikkat edilmesi gerekir. Klasik metal dökümlerinden en yaygın olan kum kalıba döküm yöntemi Şekil 2.1' de görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. 1 Kum kalıba döküm yöntemi (a), Maça, kalıp boşluğunda maça destekleriyle tutulur (b), muhtemel maça tasarımı (c)

2.2 Kum Kalıp Yapımı

Kalıp, sıvı metalin katılaşmasıyla beraber parçaya istenen şekli verir. Bu nedenle, kalıp son parçanın boyutsal tamliğini ve yüzey kalitesini sağlayan en önemli etkindir. Kalıplarda genellikle iç boşlukları oluşturabilmek amacıyla maçaya ihtiyaç duyulur. Maçalar ayrıca boşluğun tamlığı ve yüzey kalitesinde en önemli etkindirler. Maça ve kalıplar döküm yüzeyini oluştururken, metal penetrasyonuna ve sıvı metal ile reaksiyona dayanmalıdır. Kalıp malzemelerinin seçimi ve kalitesi bu sebeple çok önemlidir [3].

Klasik döküm işleminde kalıp ve maçalar genellikle bağlayıcı ilaveli kumdan yapılır. Bağlayıcı ise genel olarak kil, su ve yağ kum içindeki SiO_2 gibi katkıların kombinasyonudur. Organik veya inorganik kimyasalların kumla karıştırılmasıyla kimyasal bağlı kum elde edilir. Bağlayıcı, kumun döküm ve katılaşma sonrasında boşluk şeklini sürdürmesini sağlar. Döküm katılaştıktan sonra, bağlayıcıdan istenen, en az dayanıma sahip olmasıdır. Bu durum kullanılan yağlayıcı katkı ile birlikte dökümün kalıptan rahatça çıkarılmasını ve maçayı oluşturan kumun basitçe alınmasına imkan verir [3].

Kum - bağlayıcı karışımının hazırlanması, kalıp ve maçanın oluşturulması için kumun kullanımı, dökümden kumun uzaklaştırılması ve kullanılmış kumun tekrar dönüşümü, elden çıkartılması klasik döküm işleminin kısımlarıdır. Bağlayıcının, dökümün

boyutlarının tutması ve yüzey pürüzsüzlüğü sağlanmasında etkisi vardır. Maça ve kalıpların yapımı ve birleştirilmesi mekanizması klasik kalıp yapım yöntemlerini sınırlamaktadır. Kalıp yapımının ilk aşaması kalıp ve maçaların şekillendirilmesinde kullanılacak aletlerin tasarımıdır. Alet yapımında katılma sıcaklığından soğuması esnasında dökümün çekmesine izin verecek biçimde çok az büyük boy yapılması gereklidir [5].

Normal olarak kalıbın üst ve alt kısmını oluşturmak için iki model yarısına ihtiyaç duyulur. Döküm parçası bu biçimde kesilmelidir ki her bir parça bir model ile yapılabilmesi ve bağlı kumdan çıkartılabilmelidir. Modelin kumdan bir düzlem olarak çıkartılmasına engel yüzeyler olmamalıdır. Döküm yarılarının ayrılması için seçilen düzleme “ ayırma çizgisi “ denir. Döküm duvarları tasarımı kalıp içindeki ayırma çizgisi ile yapılmalıdır. Özel şekiller ve iç boşluklar maça adlı parçalarla yapılır. Maçalar, maça kutusu denilen ayrı aletlerde yapılır.

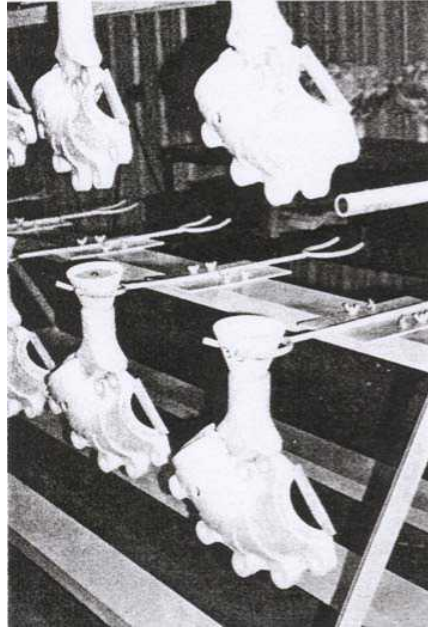
Kalıp modeli bir derece içine yerleştirilerek, derece bağlı kumla doldurulur. Bağlanmış kum derece içinde pakatlendikten sonra, model uzaklaştırılır ve kalıp içine maçalar yerleştirilir ve kalıp yarımları kapatılır. Kalıp, yolluk ve çıkıcı olarak adlandırılan kanallar içermektedir; dökümün kalitesini geliştirmek, çekmeyi karşılamak, sıvı metali dağıtmak için besleyici olarak adlandırılan fazla miktarda metal rezervi vardır.

Besleyici ve yollukların tasarımı yapılırken kalıp ve maçanın tasarımı göz önünde bulundurulmalıdır. Yolluklar ayırma çizgisinde yerleştirilir, bu durum kalıplamayı kolaylaştırır ve döküm üretiminin maliyetini azaltır [3].

2.3 Kaybolan Köpük ile Döküm Tekniği

Dolu kalıba döküm tekniği literatürde birçok farklı isimle karşımıza çıkar; bunların arasında kaybolan köpük, buharlaşan model dökümü, boşluksuz döküm, buharlaşan köpük dökümü, dolu kalıp, Styrocast™, Foamcast™, Styropur™ ve Policast™ örnek verilebilir. 1990’da AFS prosesi tanımlamak için “Harcanan Model Döküm” (Expendable Pattern Casting) adının kullanılmasına karar vermiştir [5]. Köpük modellerin kullanımı metal dökümlerinin üretiminde döküm işleminin ve son ürünün geliştirilmesi fırsatını yaratır. Kaybolan köpük yöntemi alüminyum, bronz, pirinç, dökme demir ve çelik

malzemelerinin dökümü için başarılı biçimde uygulanır. Yine de Kaybolan köpük tekniğinin avantajları dökümler sadece kaybolan köpük tekniği için tasarlandığında tamamen anlaşılır. Köpük modellerin en popüler kullanımı, modelin bağlı olmayan kumda yerleştirilmesidir. Döküm esnasında köpük sıvı metal ile doldurulur. Döküm sırasında köpük modelin tam olarak uzaklaştırılması başarının temelidir. Köpüğün boşaltılmasındaki başarısızlık, demir içinde karbon hatasına ve alüminyum içinde kıvrım, katlanma ve her ikisinde de gözeneklilik problemlerine yol açar. Dolu kalıba döküm yöntemindeki, karbon alma ve katmer hataları başarılı ticari uygulamaları için engel yaratabilmektedir. Alternatif yöntemler köpük modelin dökümden önce ortadan kaldırılmasıdır. Replicast CS yöntemi bu yöntemlerden biridir. Replicast CS yönteminde, köpük modeller seramiğin çok sayıda tabakası ile kaplanırlar daha sonra köpük modelin döküm boşluğundan atılması için seramik kabuk yakılır. Seramik kabuklar bağlayıcısız kumla sıkıştırılarak desteklenir ve döküm yapılabilir. Metal kalıpların basılamaması gibi sorunlardan ötürü sınırlı üretime sahip büyük dökümlerin yapımı ticari olarak bu yolla yapılır [7]. Şekil 2.2’de seramik kaplama için hazır hale gelmiş polistiren model örnekleri gösterilmektedir [8].



Şekil 2. 2 Seramik kaplama için hazır halde polistiren modeller [8]

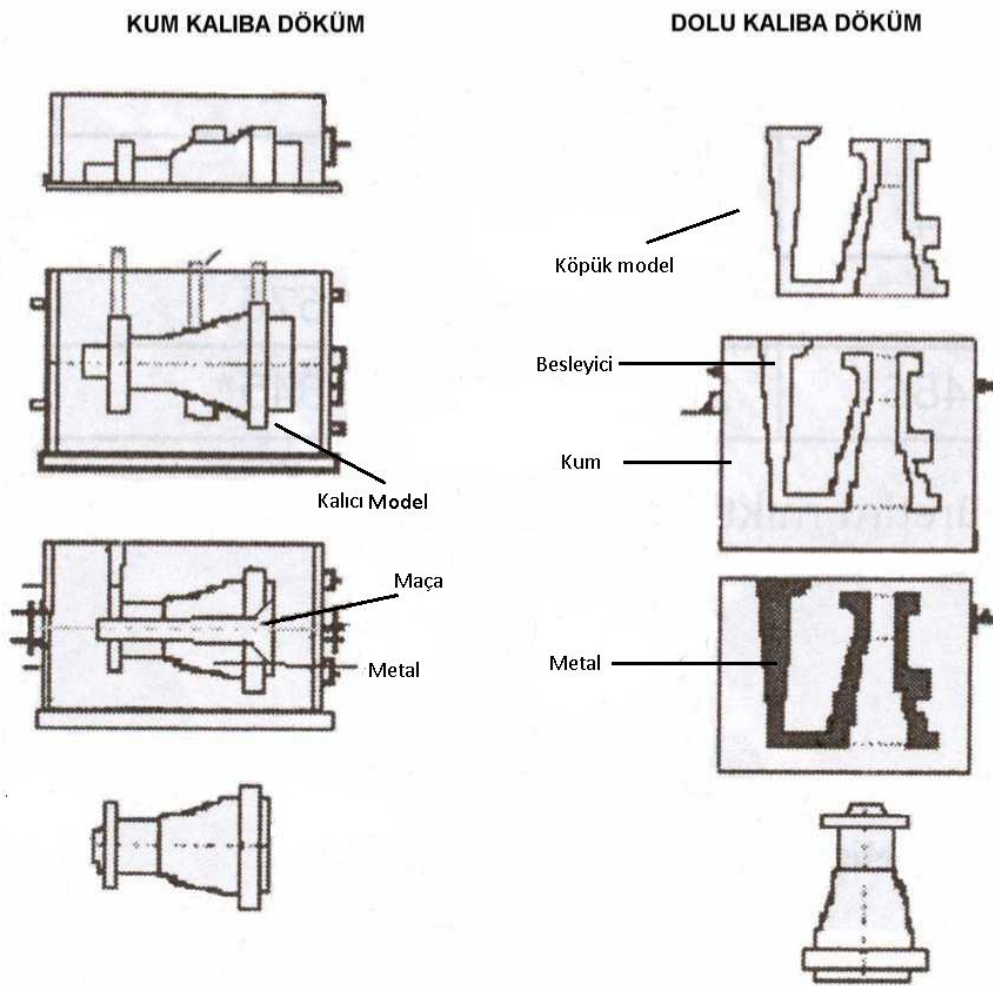
Replicast CS yöntemine göre köpük çevresinde kabuk inşa edilir ve seramik kabuk pişirildiğinde köpük yok edilir. Bu işlem hassas döküm için çok büyük olan parçaların üretimine olanak sağlar. Çelik dökümünde sık sık bu iki yöntemden biri kullanılır.

2.4 Kaybolan Köpük Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Kaybolan köpük yöntemi, dizayn yapan kişiye, klasik döküm yöntemleri ile imkanı olmayan esneklik ve fırsatlar sunar, döküm üreticisi için aynı zamanda çeşitli yararlar da sunmaktadır. Bu prosesin genel avantajları, maçaların ve ayırma çizgilerinin ortadan kaldırılması, geliştirilen kesinlik ve bağlı kum için pratik bir yer değişiminin sağlanmasıdır. Kaybolan köpük yöntemi ile maçaların ortadan kaldırılması başarılabilir çünkü bağlı olmayan kum köpük modelin iç boşluklarına akmakta ve dökümdeki boşluğu şekillendirmektedir. İç geçitlerin kum ile doldurulması küçük bir deliğe ihtiyaç duyar ama normal bir maçanın ihtiyacı kadar fazla miktarda kuma gerek duymaz. Bu karmaşık içsel geometrilerin kullanımına imkan verir. Ayrıca klasik maçalar, döküm üretimi sırasında içsel geçişlerde boyutsal farklılaşmalara ve et kalınlığında değişimlere neden olur. Ayrıca parça, maça kumlarının dökümden sonra uzaklaştırılması için geçit deliklerine sahip olmalıdır [8], [9], [10].

Bazı durumlarda; metal, maça çıkışındaki kalıp ve maça arasındaki açıklıktan dolacak ve dökümden sonra uzaklaştırılacak bir yüzgeç oluşturacaktır. Köpük modellerin uygunluğu döküm yapan kişiye maçaları elimine ederek karmaşık içsel geçişleri veya çoklu geçitlerin tamlığında dökümlerin yapılmasına imkan verir. Döküm duvarları eğri veya farklı kalınlıkta olabilir. Yüzgeç (çapak), maça kalınlığı, maça izleri veya maça uzaklaştırma problemleri en aza indirilir veya ortadan kaldırılır. Döküm üreticisi için, maça üretimi, kum karıştırma, kum dondurma veya uzaklaştırma için ayrı aletlerin kullanılması ihtiyacını ortadan kaldırır. Kaybolan köpük yönteminde maça kalabalığı, maça hasarları, maça ilişkili gözenekler veya maça kullanımından kaynaklanan problemler olmamaktadır. İçsel geçişlerdeki bağlı kumun ortadan kaldırılması ayrıca döküm için gerekli temizleme miktarını da azaltmaktadır. Son ürünlerdeki temizleme miktarının en aza indirilmesi maça işlerinin, maça telleri ve yüzgeçlerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bazı raporlara göre temizleme maliyetleri % 80 oranında azalmaktadır [11], [12].

Ayrıca köpük model dökümden evvel kalıptan uzaklaştırılmaz, bu durum Kaybolan köpük yöntemi tasarım mühendisine döküm işlemini geliştirmesi için ilave esneklik vermektedir. Bu yöntem her döküm uygulaması için uygun olmamasına karşın % 20-60 arasında maliyetlerde azalma sağlanır. Tüm bu avantajların yanında kaybolan köpük ile yöntemi ile yapılan dökümlerde her seferde yeni bir model ihtiyacı vardır ve ekonomiklik büyük ölçüde model ürün maliyetine bağlıdır. Şekil 2.3'te Dolu kalıpla dökümün kum kalıpla döküm ile karşılaştırması görülmektedir [5].



Şekil 2. 3 Dolu kalıpla dökümün kum kalıpla dökümle karşılaştırması [5]

KAYBOLAN KÖPÜK İLE DÖKÜM YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ

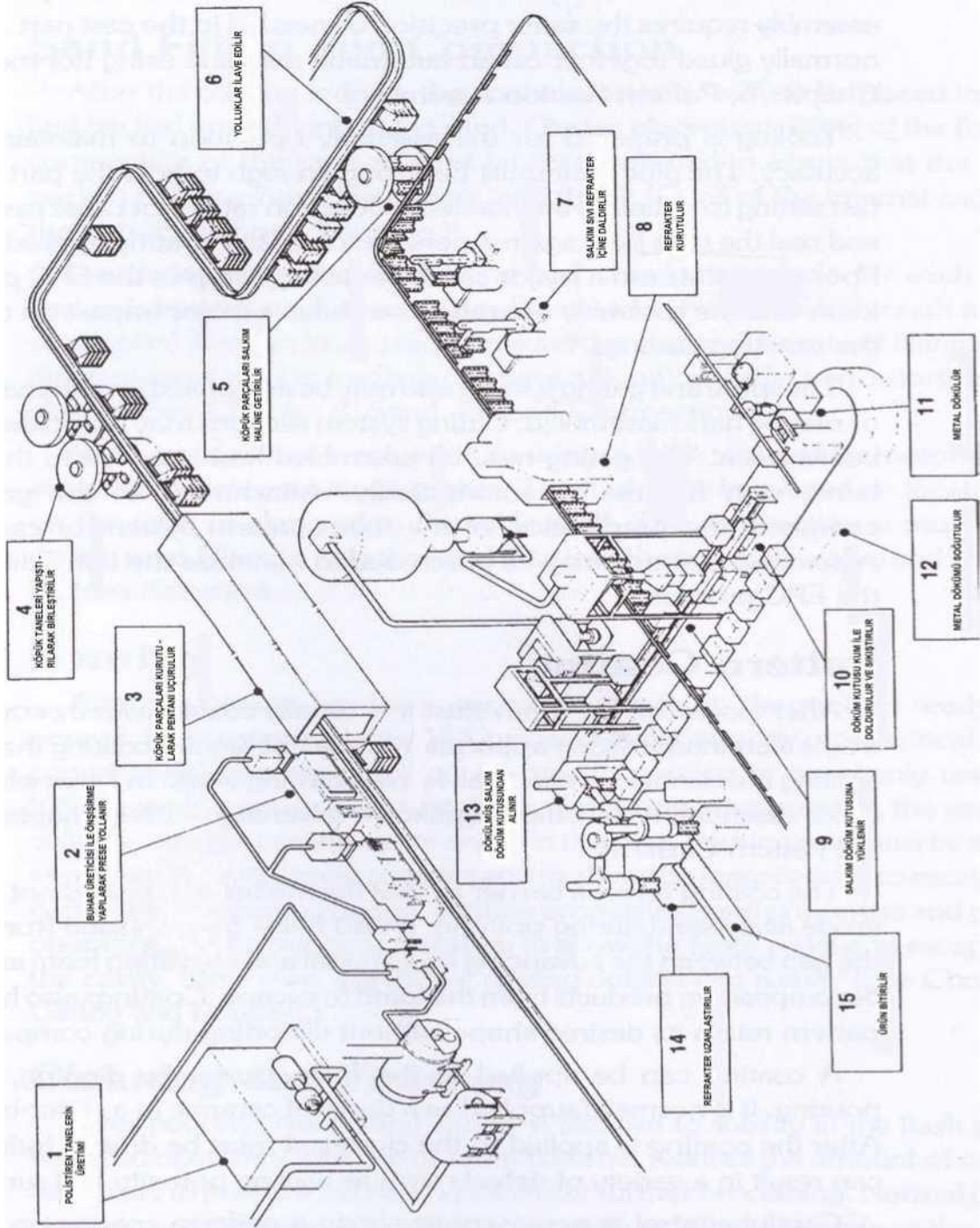
Bir parçanın kaybolan köpük yöntemi ile üretimine karar verildikten sonra köpük modelin kesitlerinin yapıldığı sistem ve ekipmanların tasarımı gerekir. Köpük modelin üretimi için alet önemlidir çünkü bu sistem;

Köpük model kalitesini,

Yüzey ve içsel olarak tanelerin kaynamasını,

Üretim çevrim süresini,

belirlemektedir. Kalıp (alet) tasarımı basit veya karmaşık olabilir. Köpük kesitinde büyük iç boşlukların yapımında katlanabilen maçalar bazen kullanılabilir. Ama karmaşık döküm tasarımında çeşitli köpük kesitlerin ayrı ayrı yapıp, birleştirmekle de (yapıştırma) modeli oluşturmak mümkündür. Kalıp (alet) tasarımı ve yapımı maliyetli ve uzun zaman alabilen sistemlerdir. Prototip veya az sayıda parça için köpük blokların kesilip işlenerek ve elle yapıştırma ile model yapılabilir. Bu yöntem oldukça kullanışlıdır ama üretilen dökümlerin yüzey kaliteleri ve tamlığı düşüktür ve elle yapılan yapıştırmalar hatalara neden olabilir [5]. Şekil 3.1’de Kaybolan köpük yönteminin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3. 1 Kaybolan köpük yönteminin şematik gösterimi [5]

Kaybolan köpük yönteminin şematik işlem akış diyagramı şöyle gerçekleşir:

Polistiren taneleri üretilir,

Buhar üreticisi ile EPS taneleri ön şişirme yapılarak, presleme kısmına yollanır,

Köpük parçalarının dilimlerini kurutarak içeriğindeki pentan uçurulur, (Bu işlem için konveyör bantlı kurutma fırını kullanılır.)

Köpük parçaları yapıştırıcı ile birleştirilir,

Köpük parçaları salkım haline getirilir,

Yolluklar ilave edilir,

Salkım, sıvı refrakter içine daldırılır ve kaplanır,

Refrakter kurutma fırınında kurutulur,

Salkım döküm kutusuna yüklenir,

Döküm kutusu kum ile doldurulur,

Ergiyik metal dökülür,

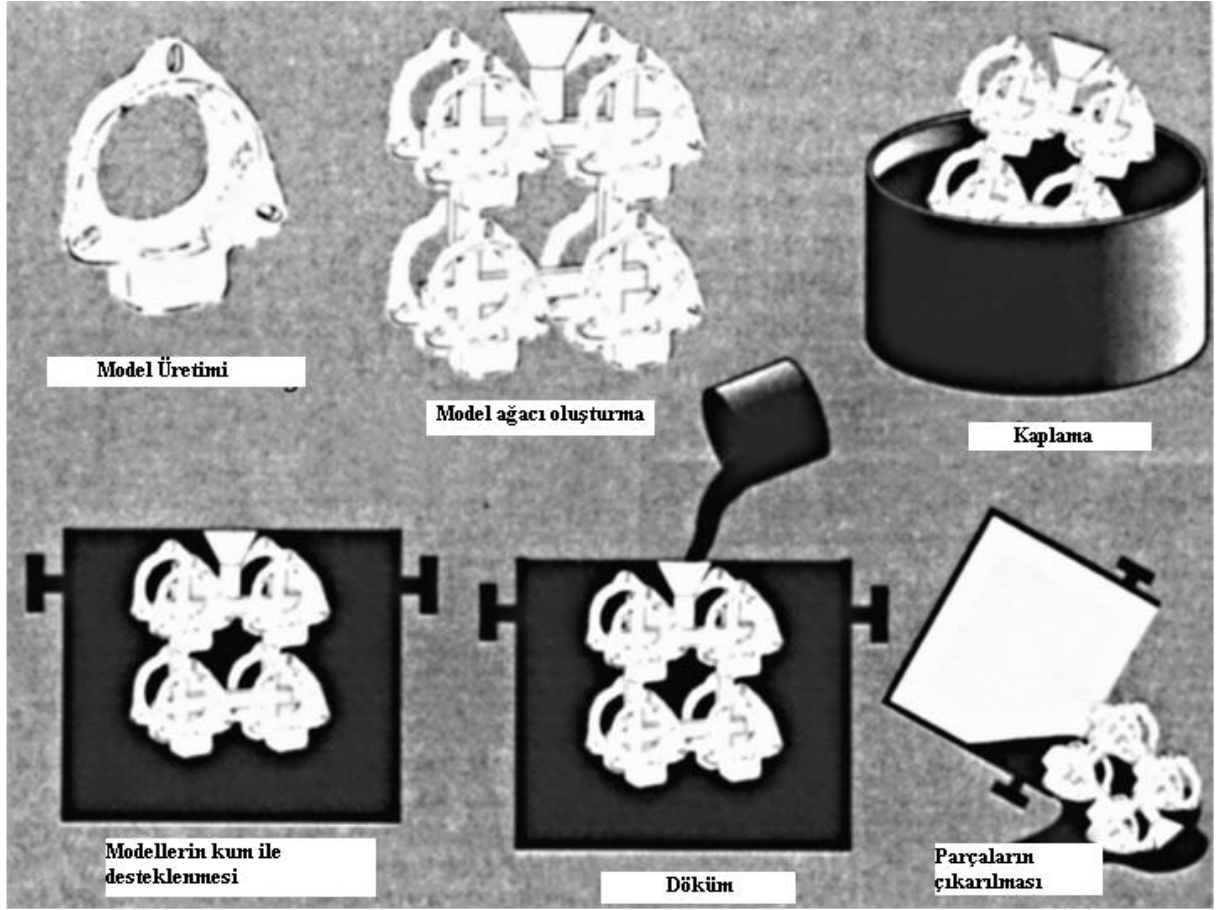
Metal dökümü soğutulur,

Dökülmüş salkım döküm kutusundan alınır,

Refrakter uzaklaştırılır, parça temizlenir,

Ürün bitirilir. [5]

Kaybolan köpük ile yapılan döküm işleminin bazı aşamaları Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

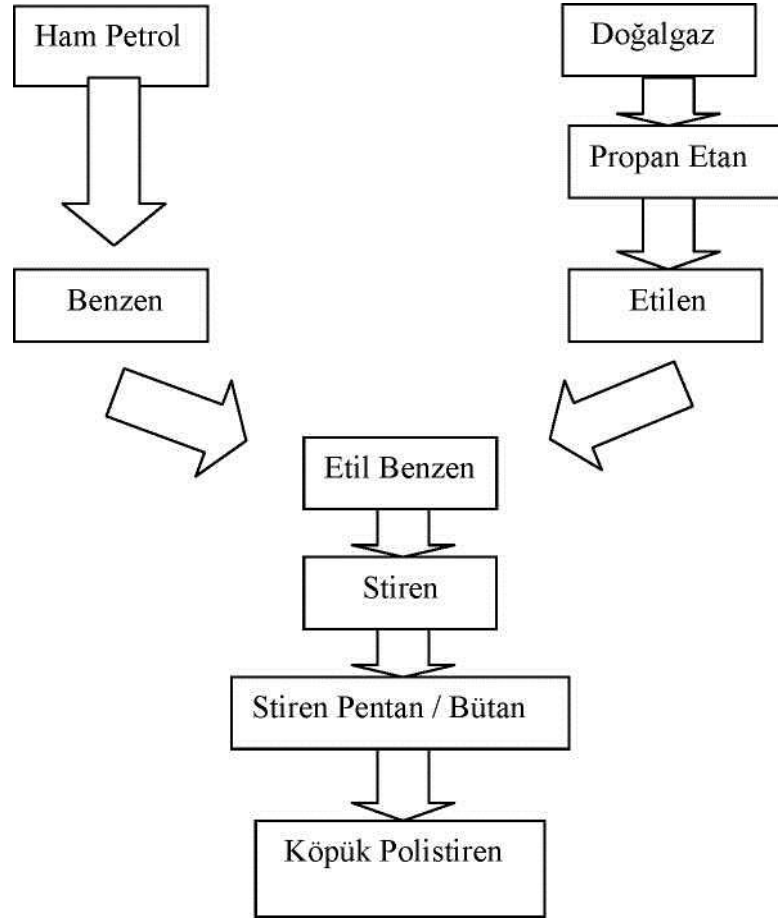


Şekil 3. 2 Kaybolan köpük ile döküm yönteminin (dolu kalıba döküm) aşamaları [13]

3.1 Köpük Modellerin Özellikleri

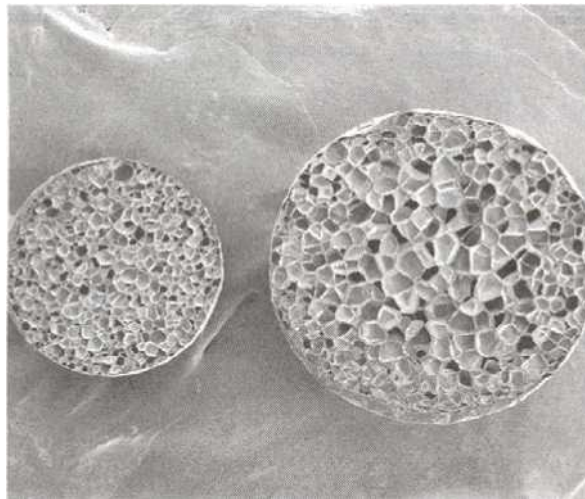
3.1.1 Kompozisyon

Polistiren petrol ve doğalgazdan yapılan % 92 karbon ve % 8 hidrojenle oluşmuş uzun zincirli bir hidrokarbon polimeridir. Şekil 3.3’de polistiren tanelerin üretim akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 3. 3 Polistiren tanelerin üretim akış diyagramı [5]

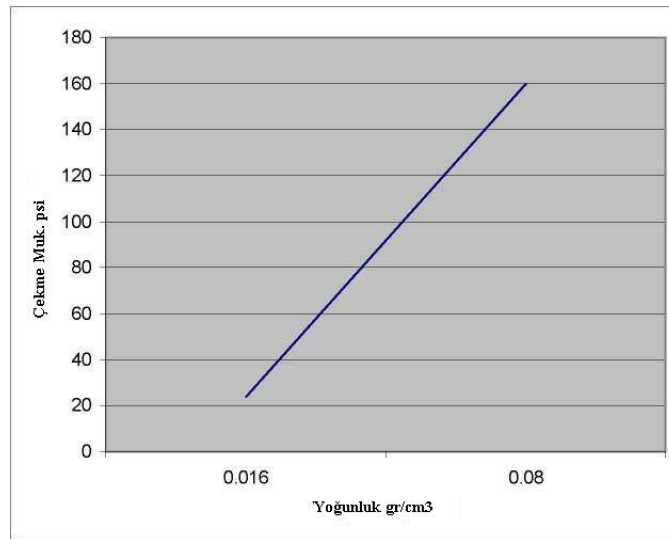
Polistiren, polimerizasyon sırasında genişletici olarak ağırlığını % 4-8 'i kadar pentan ilave edilir. Şekil 3.4'te ön şişirilmiş tanelerin hücre yapısı görülmektedir.



Şekil 3. 4 Ön şişirilmiş tanelerin hücre yapısı [5]

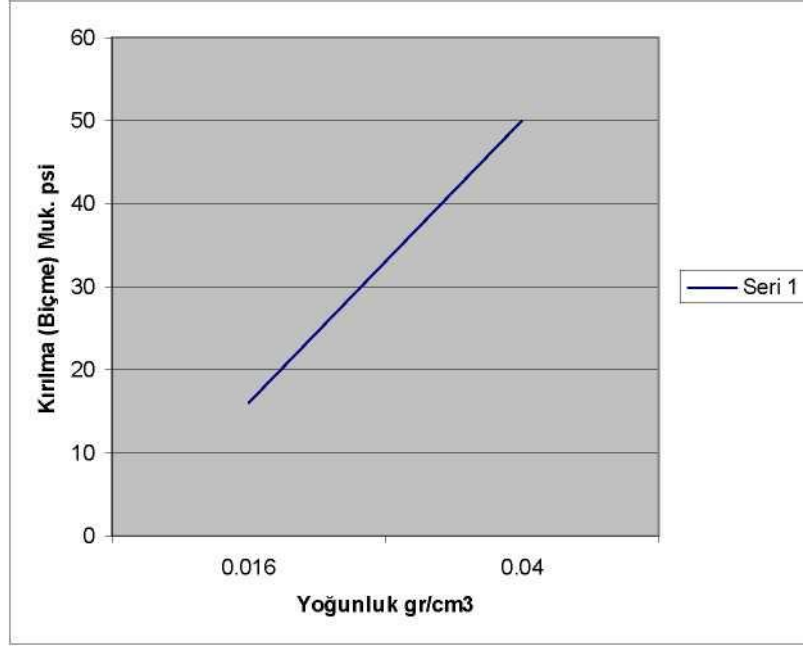
3.1.2 Yoğunluk ve Mekanik Özellikler

Köpüğün özelliklerinin kontrolü için ilk olarak yoğunluktan yararlanılır. Yoğunluk tam tespit edilmeden diğer özelliklerin ölçülmesi imkansızdır. Genel olarak döküm uygulamaları için düşük yoğunluklu köpükler tercih edilir. Özellikle plastik artıklarının döküm boşluğundan uzaklaştırılması kritik olduğu için, düşük yoğunluktaki köpükler en iyi sonuçları verir. Düşük yoğunluklu köpük katlanma ve katmer oluşumu hatalarını alüminyum döküm için azaltır; ayrıca demir asıllı alaşımların dökümündeki karbon parlaklığı (lustrous) hatası da azalmaktadır. En iyi döküm sonuçları düşük pratik yoğunlukla elde edilir. Düşük yoğunluklar köpüğün mekanik özelliklerinden kötüleşmesine sebep olur. Bununla birlikte model yoğunluğu önemli iken; mekanik davranışlar model tasarımı ve kaynama ile de etkilenir [14], [15]. Şekil 3.5’de yoğunluğun gerilme mukavemeti üzerine etkisi, Şekil 3.6’de yoğunluğun kırılma (biçme) mukavemeti üzerine etkisi ve Şekil 3.7’de yoğunluğun eğme mukavemeti üzerine etkisi görülmektedir.

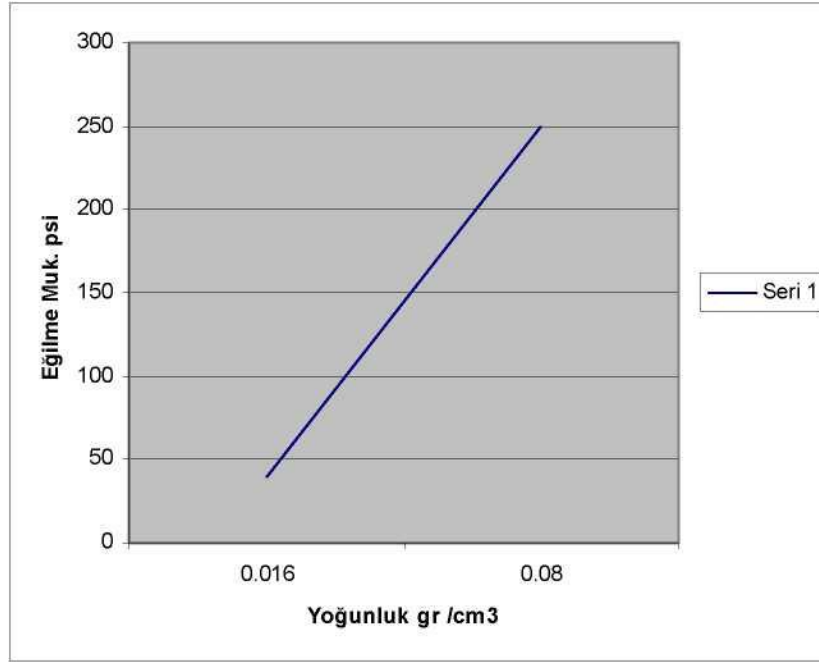


Şekil 3. 5 Yoğunluğun çekme mukavemeti üzerine etkisi [14]

Yukarıdaki şekil yoğunluğun çekme mukavemeti üzerindeki etkisini gösterir; dayanımdaki artış tamamen yoğunluk artışı ile ilgilidir. Yalnız çekme mukavemeti taşıma sırasındaki hasarlara karşı olan dayanımı yansıtır ve bozunma direnci ölçmede kullanılmaz.

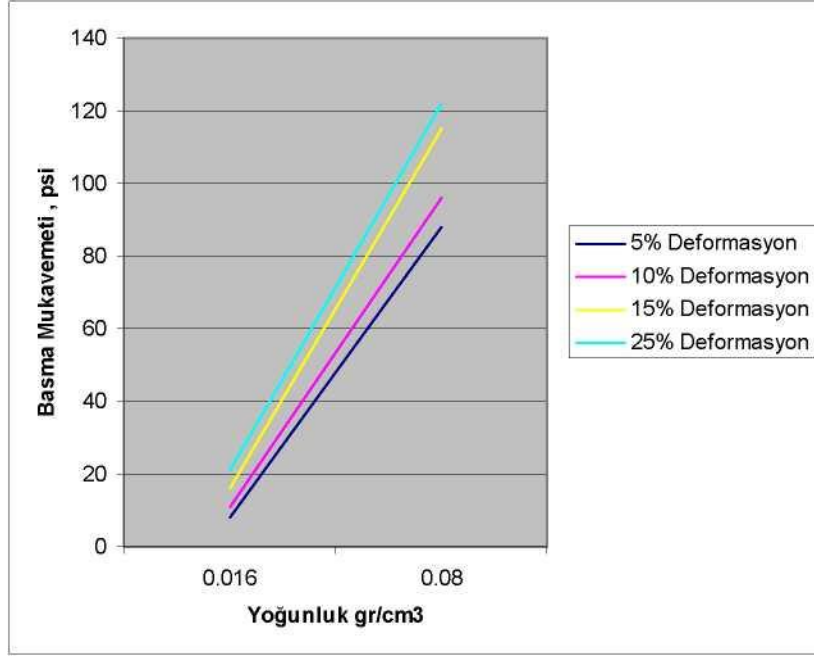


Şekil 3. 6 Yoğunluğun kırılma mukavemeti üzerine etkisi [14]



Şekil 3. 7 Yoğunluğun eğme mukavemeti üzerine etkisi [14]

Şekil 3.8’de yoğunluğun basma dayanımına etkisi ve deformasyon değerleri görülmektedir. Basma dayanımı köpük salkımının parçalanmaya karşı olan direncini ölçmek için yararlıdır.



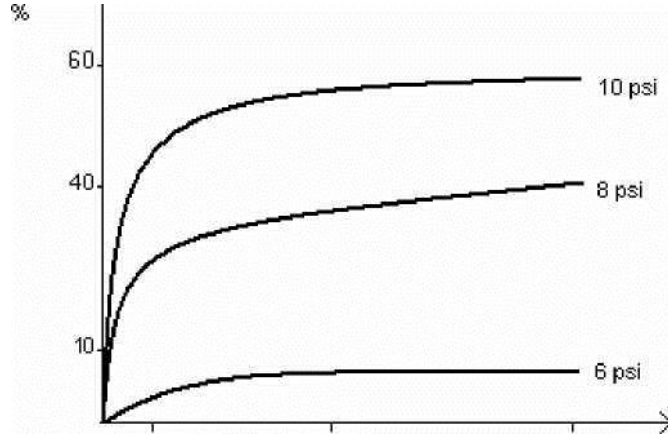
Şekil 3. 8 Yoğunluğun basma dayanımına etkisi ve deformasyon değerleri [14]

3.1.3 Bozunma

Kaybolan köpük yönteminde, deformasyon dayanımdan daha önemli bir kavramdır. Parçalanmış modeller hurda özelliğindedir. Modelin taşınmasında mukavemet, kırılma olmadan taşınması için önemlidir. Kaybolan köpük işleminde deformasyona direnç, bozunmanın azaltılmasında önemlidir. Bozunmaya karşı direnci belirlemede iki özellik önemlidir; sertlik ve sürünme direnci. Şekil 3.9'da 0.016 gr/cm³ lük köpük modelde sabit baskıda sürünme görülmektedir. Sertlik, mekanik yükleme ile kısa sürede malzemedeki deformasyon oluşumunun incelenmesidir. Dizayn yapılırken malzemenin limitlerinin % 20 altı, güvenlik faktörü olarak alınmalıdır [16].

Köpük: 0,016 gr/cm³

Deformasyon α -.



Şekil 3. 9 Sabit “baskıda sürünme [16]

3.1.4 Diğer Özellikler

Köpük polistiren tüm sıvılara direnç göstermez ama su ve suda çözünen maddelere dirençlidir. Ayrıca sulu asit ve alkalınler, metil alkol, propil alkol, çimento, kireç ve silisyum yağlarına da dayanıklıdır. Parafin yağı, bitkisel ve hayvansal yağlarla, dizel yakıtı ve vazelinle ise az miktarda tahrip olur. EPS organik çözücülere, aseton, gaz-yağı, ester veya benzer hidrokarbonlara karşı direnç göstermez. Susuz asitler örneğin asetik, nitrik veya sülfürik asit, EPS köpükleri tahrip eder [17].

3.2 Köpük Model Malzemeleri

Köpük modellerin yapımında kullanılan baskın polimer polistirendir (PS). Polistiren pentan ile işlenir ki; bu pentan bir şişirme malzemesi olup polistirendeki pentanın önşişirilmesi arzu edilen düşük yoğunluktaki köpüğün oluşmasını sağlar. Polistiren kullanımı yinede problemsiz değildir. Demir ve çelik dökümünde karbon hataları veya karbon alma sorununa neden olur.

Polistirendeki sınırlama model üretimi için alternatif polimerlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Poliüretan ve polietilen bu proste denemiş fakat başarı elde edilememiştir [14], [18].

PMMA ise polistiren için kullanılan en yaygın alternatif olup EPMMA’nın birçok başarılı uygulamaları dökümde elde edilmiştir. Döküm model uygulamaları için diğer alternatif polimerlerin kullanımı gelişme halinde olup buna bir örnek genişlemiş polialkalin

karbonat (EPAC) dır. Bu malzeme gelecekte döküm üretiminde önemli etkenlerden biri olabilir [5], [11].

EPMMA döküm üretiminde EPS'ye bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu, kalıplama ve şişirmede ayrıca döküm performansındada değişimlere neden olmuştur. EPMMA, pentan gibi bir şişirici gaz içermez. Bu özelliği ham taneciklerin raf ömrünü arttırmakta, önşişirilmiş tane yaşı ve modellerin küçülmesinin oluşturduğu boyutsal hassasiyeti de düşürmektedir. EPMMA önşişirme yapılabilir ve EPS ile aynı kalıp, makine sistemi kullanılabilir.

EPMMA 'in modelin küçülmesi EPS'den çok daha azdır. Toplam küçülme 0,004-0,006 % civarında keşfedilmiş ama model 0,002 %'den daha az küçülme gösterebilir. Modeller kalıplamadan sonra süratle kararlı hale getirilip toplanır ve kurutulabilir. EPS üretiminde kullanılan kalıplarda üretilecek EPMMA modelleri daha büyük olur ve EPS 'den beklenen küçülmeyi göstermez. Küçülmenin azalması EPMMA'nın döküm üretimi sırasındaki kullanımında tekrarlanabilirliği arttırmaktadır. EPMMA modelleri daha büyük boyutsal kararlılığa ve yoğunluğa sahiptir [11].

EPMMA 'nın demir dökümünde kullanımının en önemli avantajı karbon ile bağlantılı hataların azalmasıdır. Küresel ve gri dökme demirle düşük yüzey alanı-hacim oranında, iri dökümlerde ve 50 mm'den kalın duvar kesitli dökümlerde EPMMA modeline yapılan dökümlerde karbon-bağıntılı hata olmamıştır.

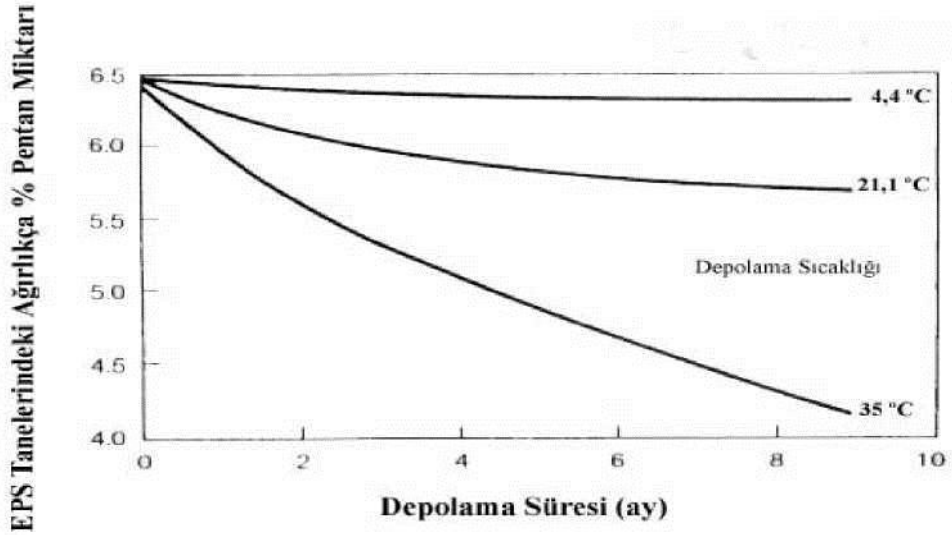
MODEL VE KALIP YAPIMI

4.1 Polistiren Köpüklerin Önşişirilmesi

4.1.1 Polistiren Tanelerin Önşişirilmesi

EPS 'de plastik polistiren ve şişirici madde ise pentandır. Ham taneler $0,6-0,7 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundadır. Ön şişirme başlangıcı için taneler yumuşayacakları sıcaklığa ısıtılır ve aynı zamanda ısı, şişirme maddesinin yumuşak plastik tanesi içinde genişlemesine sebep olur. Bu genişleyen gaz yumuşak plastik içinde kabarcıklar (baloncuk) oluşturur ve bu da tanelerin genişlemesine neden olur [5].

Ön şişirme, kalıplama ve olgunlaştırmanın uygun biçimde yapılması için şişirici madde olarak kullanılan pentanın kontrol edilmesi ve izlenmesi gereklidir. Ham taneler genel olarak % 4-8 pentan içerir. Düşük yoğunluktaki köpüklerin daha yüksek seviyede pentana ihtiyacı vardır. Normal olarak pentan miktarı % 4 'ten az ise ham tanecikler başarıyla ön şişirilmez ve kalıplanamaz [5]. Tanelerden muhtemel pentan kaybının kapalı taşıyıcı içindeki azalışı şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 Kapalı bir taşıyıcıda polistiren tanelerden muhtemel pentan kaybı [5]

Pentan kaybı taşıyıcı açıldıktan sonra daha da fazlalaşmaktadır. Sorunun çözümü; taneciklerin daha ufak ve ağzı sıkıca kapalı taşıyıcılarda açıldıktan sonra depolanmasıdır. 15 °C'nin altında pentan kaybı ihmal edilebilir düzeye iner, 15-30 °C arasında bu hammadde 3 ila 5 ay arasında kapalı kaplarda depolanabilmektedir. Yaklaşık olarak pentanın % 1'i ön şişirmede kaybolmaktadır, böylece bu işlem sonunda pentanın % 3'ü kalmaktadır. Kalıplanmış köpük parçaları %1,5 pentan ihtiva eder ve bu işlemden 30 gün sonra depolamada pentan miktarı % 0,5'e geriler, bu modelin depolama esnasında çekmesinin nedenidir.

Ham tane depolanan alan günde 8-10 kere havalandırılmalıdır. Havadaki pentan miktarı saat başı ölçülmelidir. Çünkü pentan patlamaya veya yangına neden olabilir. Eğer kap açılmış ise hammadde soğuk depolarda tutulmalıdır.

Ham veya ön şişirilmiş EPS taneleri çeşitli boyutlardadır. Büyük tanecikler daha yavaş pentan kaybeder ve genel olarak ön şişirilmesi ve kalıplanması daha basittir. Arzu edilen yüzey yapısı ve köpük modellerde daha ufak taneler kullanılır. Küçük taneler ince kesitlerin doldurulmasına izin verir. Bunların boyutları yoğunluklarına göre değişir ve boyutları 0,00254-0,00508 mm arasındadır. Yoğunlukları azaldıkça boyutları artmaktadır. Taneler normal olarak orijinal hacimlerinin 20-50 katı arasında genişletilebilirler ki bu da 0,01920,0272 gr/cm³ 'dür [5], [16].

Polistiren buhar ile ısıtıldığında 80 °C 'ta pentan baloncukları çekirdeklenmekte ve 100 °C 'ta, pentanın buharlaşma noktasındır ve bu pentanın genişlemesine neden olur. Bu sıcaklıkta plastik yumuşamaya başlar.

Yumuşama sıcaklığında pentan tane hücre duvarlarından süratle kaçmaktadır. Ön şişirmeden sonra, taneler model yapımı için yeterli pentanı saklamalıdır. Düşük yoğunluğu sağlamak için, taneler uygun sıcaklı süratle ısıtılmalı ve ön şişirmede minimum süre harcanmalıdır. Uzun ön şişirme çevrimi tanelerde dağılma veya kalıp için etkin yeterli pentanın kalmamasına neden olur.

Ön şişirmede gereğinden fazla süre ve sıcaklık düşük pentan miktarı ve yüksek yoğunluğa neden olur. Ön şişirilmiş tanelerde boyut dağılımı da önemlidir. Geniş bir tane boyut dağılım aralığı tanelerin segregasyonuna neden olur bu da model kalitesini ve sonraki aşamada döküm kalitesini azaltır. Örneğin yoğunluğun uygun olup, tane boyut dağılımının uygun olmaması gibi.

Ön şişirmede amaç şunlardır [5] ;

Düşük köpük yoğunluğuna ulaşmak,

Kabul edilebilir pentanı yapıda tutmak,

Sıkı tane boyut dağılımını sağlamak,

Minimum tahrip olmuş tane miktarı.

4.1.2 Kullanılan Ekipmanlar

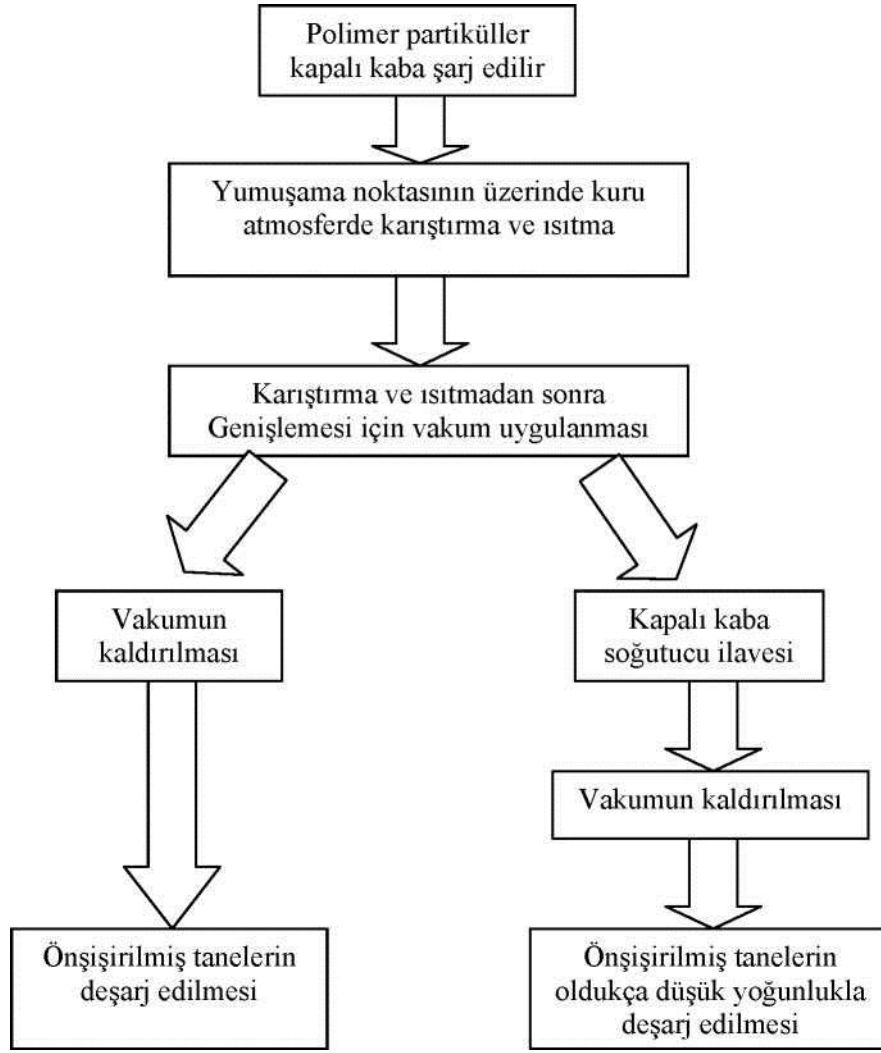
4.1.2.1 Vakum Kuru Ön şişirici

Vakum- kuru ön şişirici en yaygın olarak kullanılan cihazdır. Bu ekipman yoğunluğu 0,92 gr/cm³ 'e düşürmek için dizayn edilmiştir. Genişletme odası silindirik olup, yatay bir merkez çizgisine sahiptir. Odanın duvarlarının ısıtılması için kullanılan bir buhar ceketidir, iç kısımda ise duvarları ön şişirme esnasında sürekli kazımak için bir seri çark bulunmaktadır. Bunun amacı, şişmiş olan tanecikleri engellemektir. Odanın diğer bir unsuru ise besleme değirmenidir ki bu ön şişirme için ham taneciklerin hacimsel şarjını hazırlamaktadır. Odanın ayrıca su şarjı veren ve ön şişirme sonunda taneleri soğutup

kararlı hale getirecek vakum sistemi vardır. Son olarak oda yeni ön şişirilmiş tanecikleri boşaltma değirmenine yollayacak boşaltıcısı vardır [19].

Taneleri ön şişirmeden önce, ham tanelerin yağlanması ile kaynaması ve topak oluşturması engellenir. Normal olarak kullanılan yağlayıcı susuz silikadır. Hammadde ağırlığının % 0,1'i kadar sisteme dahil edilir. Tane ve yağlayıcı 30 dakika karıştırılır. Yağlayıcı taneler arasında ön şişirme sırasında bariyer görevi görerek, taneler arası kaynamayı önler. Susuz silikanın vakum-kuru ön şişiricide kullanımı önemlidir çünkü bu uygulamada yüksek yüzey sıcaklıklarına ulaşılır. Fazla yağlayıcı kullanımı kalıplamayı güçleştirir.

Vakum-kuru ön şişirici, çevrimine iç duvarlar ön ısıtılarak başlar ve ön şişirme işlemi yüzeylerin ilk sıcaklıklarının kontrolü ile sağlanır. Uygulanan ön ısıtmanın süresi, yoğunluk kontrolünde kritik husustur. Buhar ceketindeki buhar basıncıda bir etken olup, normal olarak yaklaşık 10 psi civarında olmalıdır; ayrıca buhar kalitesi de ön şişirilmişlerin ilk ısıtılmasında etkindir. Ön ısıtmadan sonra, hacimsel şarj oda içine bırakılır ve vakum uygulanır. Taneler sabit olarak karıştırılarak yumru oluşturmaları engellenir. Taneler önceden belirlenmiş zaman içinde genişlemeye bırakılır ve oda içine su enjeksiyonu ile şişirme işlemi durdurulur. Eğer taneler soğumadan vakum kaldırılırsa tanelerin çoğu topaklaşır. Bunun sebebi sıcak yumuşak yüzeyleri üzerindeki yüksek basınçtır. Tanecikler soğuduktan sonra, oda dışına üflenir ve bir elek içinden geçirilerek, topak yumruların uzaklaşması sağlanır. Genişlemiş yoğunluk değeri bu ekrandan geçtikten sonra kontrol edilir. Şekil 4.2' de prosesin akım şeması görülmektedir [19].



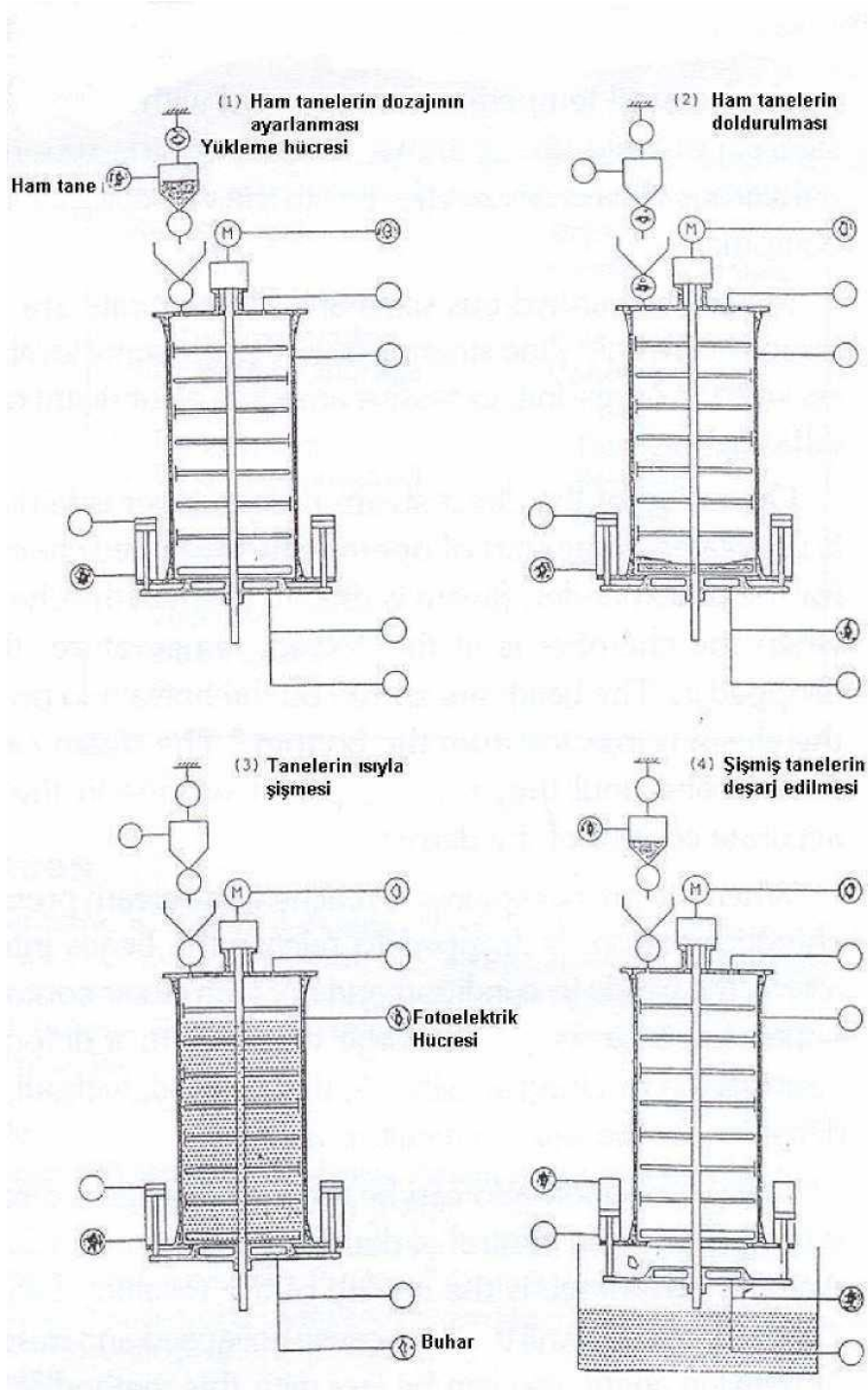
Şekil 4. 2 Proses akım şeması [19]

4.1.2.2 Direkt Buhar Ön şişirici

Burada taneler direkt olarak buharla karşılaşmakta ve böylece ön şişirme meydana gelmektedir. Direkt-buhar ön şişirici dikey bir odaya ve silindirin altında yer alan bir karıştırmaya sahiptir. Alt kısım elekten yapılmış olup, buhar çember içindeki tanelerden buradan girerek geçmektedir. Ön şişirme tamamlanınca, taneler odanın alt tarafından düşmekte ve stabilize olmasına izin verilmekte ve akışkan havalı yataкта kurutulur. Daha sonra taneler elekler vasıtasıyla boyut sınıflandırılması yapılır Böylece yumrular elimine edilir ve depolama çantasına üflenir.

Bu uygulamada çinko-stearate yağlayıcı olarak kullanılır. Bu ayırıcının vakum-kuru genişleticide kullanılma nedeni yüksek duvar sıcaklığının söz konusu olmasıdır. Ayrıca

susuz silika direkt-buharın kullanıldığı sistemdeki ıslak koşullarda etkili değildir. Çinko-stearate³³ miktarı 0,05-0,2 % civarında olup bazen susuz silika ile birlikte kullanılabilir. Şekil 4.3’de direkt-buhar ön şişiricide EPS tanelerinin şişirilme adımları görülmektedir.



Şekil 4. 3 Direkt-buhar ön şişiricide EPS tanelerinin şişirilme adımları [19]

4.1.3 Tanelerin Islah Edilmesi

Taneler ön şişirmeden sonra hemen kalıplanamaz çünkü tanelerin soğutulması, pentanın yoğunlaşmasına neden olur bu da tanelerin iç kesiti içinde negatif bir basınca sebep olur. Eğer taneler ön şişirmeden sonra sıkıştırılırsa; bunla yassılaşmakta ve tekrardan düzelmemektedir. Taneler kalıplanarak model kesiti haline getirilmeden önce kurutulmalı ve kararlı hale getirilmelidir.

Kararlı hale geliş süresince, taneler hava absorbe eder. Eğer ön şişirmeden sonraki zaman çok kısa olursa; kalıplama sırasında taneler genişlemeyecek ve düşük yüzey kalitesi elde edilecektir. Bunlar kalıbın bazı alanlarında çökebilecektir. Gerekli minimum zamanı ön şişirme koşullarına; rutubet, sıcaklık ve yoğunluk belirler. En iyi sonuçlar için genelde 2 saat beklemek gerekir.

Diğer taraftan, eğer kararlaştırmanın zamanı çok uzun tutulursa tanecikten şişirici madde kaçır. Bunun sonucu taneler kalıplama sırasında genişlemez ve bu da iyi model kesitlerinin elde edilmesini engeller. İdeal artık şişirici madde miktarı, kalıplama koşulları, tane yoğunluğu ve modelin kesitinin boyutlarına bağlıdır. Şişirici maddenin fazla kaybının engellemek için taneler ön şişirmeden 12 saatten az zamanda kullanılmalıdır. Model kesitleri 48-72 saatlik tanelerle yapılabilir. Ama bu da düşük yüzey kalitesi ile daha az tahmin edilen çekme olgusunu oluşturur. Eğer modelin yapımında yaşlı tane kullanılırsa çekme küçülmesi artar ama model boyutlarının daha sonraki değişimleri durur. Kararlaştırma zamanı ayrıca “tavlama” olarak bilinir. Bu işlemde 1-5 m³ 'lük silolarda yapılır. Silolar, tahta veya metal çerçeve içine yerleştirilmiş ağırlı çantalarıdır. Metal kesitler veya çerçeveler topraklanmalıdır, bu EPS'de statik şarjı azaltır [5].

Yeterli havalandırma bu tehlikeyi azaltır ve tehlikeyi engeller. Statik şarjlar tehlikeli olabilir çünkü tanelerden kaçan pentan bu boşalma ile tutuşabilmektedir. Ayrıca operatöre de boşalabilir bu nedenle kalıp doldurmada statik şarj tehlike yaratabilir.

EPS tanelerin ön şişiriciden silolara ve oradan da kalıplama makinesine aktarım pnömatik olarak yapılır. Tanelerin nakli sırasındaki karışma hareketi genel olarak statik bir şarjın oluşması ile sonlanır. Bazı nakil sistemleri plastik tüp kullanılır ki bu da tüp içinde bir toprak köprüsü içerir. Toprak köprüsü statikliği kontrolde yetersizdir ve

tanelerin naklini de engellemeye neden olur. Genel olarak metal tüplerin kullanımı tane naklinde daha etkilidir, çünkü bunlar topraklanabilir ve tanelerin akışını engellemez. Tüpün yönünü değiştirirken, tüpün çapında beş kat daha büyük dirsekler kullanılır.

Tanelerin naklinde kullanılan üfleyiciler tanelerin akışından izole edilmelidir. Üfleç içinden tanelerin geçmesi, tanelerin yoğunluğunu arttırırken model kesitlerin üretiminde yüzey hatalarına neden olur [5].

Ön şişirme ve kalıplama ekipmanları bir buhar üreticisine ihtiyaç duyar. 1 kg EPS 'nin ön şişirilmesi 0,3-0,5 kg buhara ihtiyaç duyar. Yine 1 kg EPS 'nin kalıplanması 4-40 kg buhar ihtiyacı vardır. Buhar jeneratörleri 50-150 kg buharı 30-90 sn'de sağlayabilmelidir ve 100-118 °C 'ta doymuş buharı sürekli yaparak bu makinelere verebilmelidir. Buda farklı basınçlara ayarlanabilir. 2-10 m³ kapasiteli üniversal kaynatıcı ile sağlanır. Yüksek hızlı kaynatıcılar normal kaybolan köpük yöntemi operasyonlarının gereksinimlerini karşılamaz. Bunun nedeni; bunların geniş (büyük) aralıklı buhar istemidir [5].

4.2 Köpük Modellerin Üretimi

4.2.1 Kalıp

Kalıp, köpük modellerin üretiminde ana etkindir. İyi bir kalıp, idealden zayıf bir kalıplama makinesi üzerinde halen iyi kalitede model kesitleri üretebilir. Zayıf bir kalıp, iyi bir kalıplama makinesinde dahi kötü model kesitleri yapar. Tabi ki, ideal kalite ve iletkenlik en iyi kalıplama makinesinde en iyi kalıbın kullanılması ile elde edilir [14].

Kalıbın fiyatı, prosesin ekonomisindeki ana etkindir. Bu fiyat üretimin hacmi üzerinde ve bu teknikle yapılabilecek kalitenin ana faktörüdür. En iyi kalıp tamlığı ve stabilitesi alüminyum parçalardan işlenerek üretilir ama aynı zamanda en pahalı kalıplardır. Maliyet, döküm alüminyumun kalıpta kullanımı ile azaltılabilir ama döküm ile kritik yerleri işlenmiş bu malzeme, tamamen makine ile işlenmiş kalıplara göre tamlık göstermez. Döküm kalıplardaki hata ve artık gerilmeler kalıp ömrünü sınırlar. Bu malzeme prototip ve sınırlı üretimlerde tercih edilebilir. Elektro-şekil verme ve diğer

Üretim teknikleri ile maliyetin azaltılması ve kalıp üretimi için gerekli zamanın kısıltılması denemiştir ama bunlar genel kabul görmemiştir.

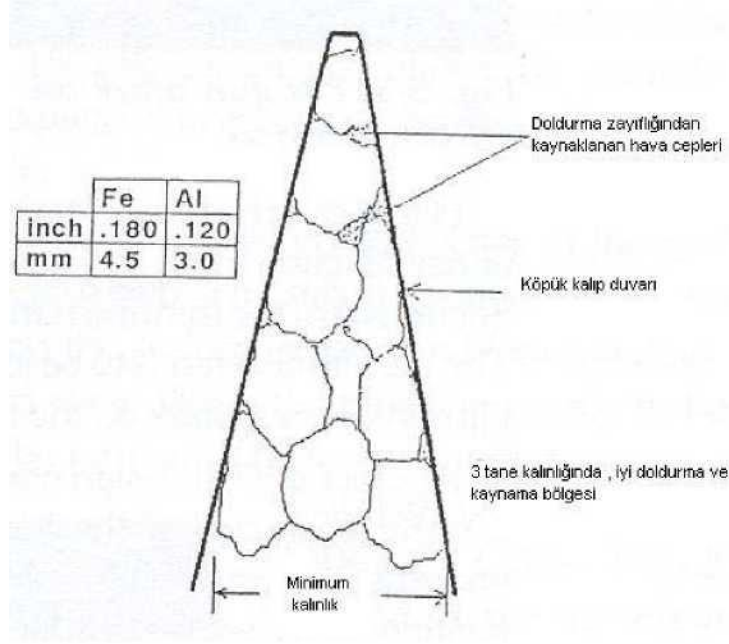
Kalıp kalitesi önemlidir çünkü kalıbın ısısal çevrimi kalıpta bozulmaya ve fazla kullanım sonucu çatlamalara neden olur. Ayrıca kalıp içindeki sıcak veya soğuk noktalar ayrıca kalıp yüzey kalitesini etkileyecektir. Köpük modelin yüzey kalitesini arttırmak için kalıp yüzeyinin parlatılması gerekir. Sıkı boyutsal toleranslar kalıbın içindeki bağlantılardaki köpüğün oluşturduğu saçakları engellemek için gereklidir.

Kalıp gerekli olan yani köpük modelin boyutlarında dizayn edilmelidir. Karmaşık parçalar çeşitli köpük kesitlerine ihtiyaç duyduğundan; dizaynın, döküm mühendisi ve köpük modelci köpüğün hangi yerlerden ayrılacağı üzerinde anlaşmalıdır [14].

CAD yardımıyla arzu edilen parça çıkartılır. Ayırma çizgileri, çekme arkaları ve köpük kesitleri daha sonra dizayn edilir. Her bir köpük kesitin master modelleri imal edilip, incelenir. Kalıp kesitleri 2 mm toleransa kadar işlenir. 2 saat boyunca, boyutlarının kararlı hale gelmesi için 200 °C'ye ısıtılır. Kararlaştırma sonunda kalıplar önce 0,5 mm daha sonra 0,05 mm kadar toleransla işlenir. Hava delikleri açılır ve kanallar içine yerleştirilir. Besleme tabancası yeri ayrıca delinir. Son olarak kalıp boşluğu ve içindekiler elle bitirilir ve en iyi boyut performansı için parlatılır.

Normal olarak dereceli konik eğim ve çekmeler kalıptan köpüğün ıkartılansını basitleştirir. Kalıplama çevriminde kullanılacak olan kalıplarda çekici veya iticiye gerek duyulmaz Kalıplar bir kalıp makinesinde hareketli ve sabit kesimle çalışır [14].

Kalıp, kalıplama sırasında doldurulacak biçimde dizayn edilmelidir. Düşük yoğunluktaki taneler kalıbı, kalıp boşluğundaki havanın yerini almalarındaki zorluğa rağmen doldurur. şekil 4.4'de kalıplanabilir minimum kesit kalınlığı görülmektedir.



Şekil 4. 4 Kalıplanabilir minimum kesit kalınlığı [14]

Taneler kalıp boşluğu içine bir besleme tabancasından bir hava akımı vasıtasıyla geçerek ulaşır. Besleme tabancası, kalıbı doldurabilecek yeterlilikte olmalıdır. Doldurulabilecek minimum kesit kalınlığı 3,05 mm'dir ki bu kesit en az 3 tane tanenin yerleştiği tipik kesit alanıdır.

Küçük taneler en iyi dolumu sağlar ama küçük taneleri ön şişirmek ve istenen düşük yoğunluğa getirmek zordur. Küçük taneler, büyük taneler kadar iyi kalıplanamamalarına rağmen daha iyi yüzey kalitesi verirler.

Kalıp, doldurma esnasında havanın girebilmesi için yeterli delikler içermelidir ve kalıptaki havada bu boşluklardan çıkabilmelidir. Hava boşlukları kalıplamada köpük tanelerin içine buhar akışına izin vermelidir. Hava boşluk delikleri, toplam kalıp yüzey alanının % 2 'si kadardır. Delikler 25 mm merkezler üzerine yerleştirilir ve sabitlenir ki böylece kalıbın diğer yüzündeki deliklere karşılıktır. Bunlar normal olarak başlıklı ve iki ufak deliği olan tüp olup, çalışma yüzeyinde hava veya buhar akışına izin verir [14].

Kalıp doldurma sırasında aralanır ki, bu da kalıp içindeki havanın uzaklaştırılmasına izin verir. Tipik aralık veya havalandırma deliği çapaksız olarak 0,25 mm olarak kabul edilebilir. Tane depolama kabındaki hava basıncı kalıplama makinesindeki doldurmada kullanılabilir. Kalıplama makinesinde vakum kullanımı doldurmaya yardımcı olur.

Doldurma, model yoğunluğu içinde farklılaşmalara neden olabilir. Örneğin, doldurma tabancası altındaki yoğunluk normal yoğunluktan % 20 daha fazladır. Kesit incelidikçe ve doldurma tabancasından uzaklaştıkça yoğunluk azalır. Ayrıca yoğunluk buharın ilk girdiğı yerde azalır ve besleme tabancaları köpük kesit yüzeyinde izde bırakır. Kritik dizayn kabullerinden biri de; kalıbın ısı akış karakteridir. Kalıp dizaynı fazla veya az ısınmayı engellemelidir. Kalıp kalınlığında farklılaşma yetersiz ısınmaya bu da kaynama eksikliğine neden olur. Isıtma kadar soğutmada eşdağılımlı yapılmalıdır.

Kalıptaki hava geçiş yerleri nazikçe sabitlenmez ise yerinden çıkarak erken veya dişi hatalara neden olabilir. Kalıp kalınlığı boşluk arkasında 9 mm ve diğerk bölgelerde 12,7 - 15,8 mm arasındadır. EPS'nin kalıplarındaki normal basınç 25 - 50 psig ' dir. Dizaynda genelde kalıbın 50 psi iç boşluk basıncına dayanması beklenir [14].

4.2.2 Model Kalıplama

Kalıplama makinesi kalıp yarılarını paralel tutmalı ve kalıp üzerinde veya köpük üzerinde bozulmalara, hasarlara neden olabilecek kaçıklıkları engellemelidir.

Kalıplama makinesi sabit ve mobil tepsi arasında 0,4 -1 mm paralel düzende tutulabilir. Böylece kalıp paralel tutulur ve makinedeki bozulmaların önüne geçilir. Genelde kullanılan makine yatay olup (levhaları dikeydir.) toplam kalıp alanı 508 mm x 508 mm veya 1320 mm x 1626 mm'dir. Bununla birlikte düşey makinelerde (yatay levhalar) vardır. Kalıp, makine içinde buhar kutusu üzerine yerleştirilir, bu buharın kalıbın arka yüzeyinde akmasına izin verir. Su spreyi buhar kutusundaki kalıbın soğutulmasında kullanılır. Hızlı kalıp eşleşmesi, hızlı buhar, hava ve suyun temasları kalıp değişim süresini azaltır [5].

4.2.3 Ön Isıtma

Kalıp makine içine yerleştirildikten sonra, ön ısıtmaya tabi tutulur. Kalıp 100 °C civarında çalışır. Ön ısıtmadan sonra çevrim başlamaya hazırdır. Makine birkaç çevrim yapmadan doğru performansa ulaşamaz. Kalıp performansı köpük kesitlerinden belirleniyorsa sistemde eski tanelerin olmaması önemlidir. Ön şişirmeden 2 saat sonraki taneler kullanılmalıdır, 12 saatten fazla beklemiş tane kullanılmamalıdır.

Kalıp, açık, kuru ve sıcak olmalıdır. Kalıplama öncesi hava kurutma için kullanılır. Çevrim esnasında kalıp kuru kalmalıdır. Her çevrimden sonra kalıbın kurummasını beklemek zaman kaybıdır.

Doldurma sırasında kalıp içindeki nem(su) taneler ile yer değiştirmez ve model içinde boşluk, açıklık yaratır. Düşük yoğunluktaki tanecikler doldurma sırasında ağır suyu itemez ve bu duruma “su hasarı” denir [14].

4.2.4 Doldurma

Doldurma model kalıplama operasyonunun en önemli kritik adımlarından biridir. Doldurmanın yapılamamasının sonuçları tamamlanmamış köpük kesitinde; zayıf doldurmanın neden olduğu düşük yoğunluk, zayıf yüzey kalitesi ve yetersiz kaynamadır. Temel doldurma kararları kalıp yerleştirildikten ve çeşitli doldurma tabancaları, havalandırma deliklerinin sayısı, konumları, her bir tabanca ile doldurulacak kesit boyutları ve mesafesi belirlenmesiyle yapılır. Eğer doldurmanın başlangıcındaki denemeler tatminkar değil ise doldurma sırasında kalıpta aralık açılarak doldurmanın artırılması sağlanır bundan hariç olarak basınçlı doldurma, doldurma havasının basıncının ayarlanması veya doldurma tabancalarının yerlerinin sadece bazılarının kullanılmasının denemeleri uygundur. Doldurma havası tedariki yaklaşık olarak 100 psi olarak tutulmalıdır [14].

Doldurma tabancaları depodan taneleri çekmek ve bunları kalıp boşluğu içine itmek için kullanılır. Her bir doldurma tabancası tanelerin kalıp boşluğuna doldurma esnasında kolaylıkla aktığından emin olunabilecek biçimde izlenebilir olmalıdır. Taneler üzerindeki statik şarj doldurmayı engelleyebilir. Bazı zamanlarda tanelerin dağıtım sistemindeki elektrik topraklama teli, doldurma tabancası hortumunda dahi gerekli olabilir. Eğer doldurma yeterince başarılamamışsa kalıp yeniden çalıştırılmalı ve yeterli doldurmanın olmasına izin verilmelidir [14].

İnce kesitler, daha kalın yapılmalı veya daha fazla dolum tabancası ile havalandırma yapılabilir. Köpük kesitlerinin kalitesi yeniden tekrarlanabilir doldurma olmadan kontrol edilemez. Doldurma çevrimi, havanın doldurma tabancası uçlarını kapattığında ve kullanılmayan taneleri geri üflediğinde tamamlanır. Eğer doldurma tabancası

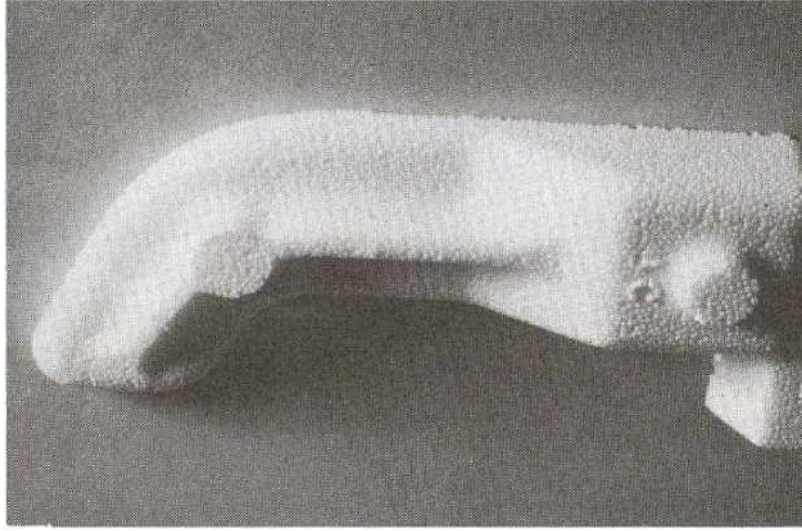
tamamıyla kapatılmadıysa, taneler kalıp boşluğundan geri üfleme esnasında dışarı alınacaktır. Bu da dolumun tam olmamasıyla sonuçlanacaktır. Geri üfleme, doldurma operasyonunu sonlandırmaktadır [14].

4.2.5 Buhar Haznesi

Kalıp boşluğunun taneler ile dolmasıyla beraber buhar çevrimine başlanabilir. Buharın ilk olarak kalıp boşluğunun bir yüzünden diğerine doğru akmasına izin verilir ve daha sonra akışın tersinir olarak tekrarı sağlanır. Kalıp boşluğu içinde buharın akışı çevrimin kaynama kısmıdır ve kalıp içindeki havalandırma kanalları, dolum tabancaları çevresindeki uçlardan ve muhtemel olarak kalıbın kapalı yüzeylerinden geçişi ile başlar. Buhar köpük kesitinin merkezindeki köpüğü ısıtır ve bunun sonucu olarak taneler genişler, yumuşar ve birbirlerine kaynamaya başlar.

Genel olarak bir köpük kesitindeki yetersiz kaynama çevrimi iyi taşıma dayanımına sahip olmadığını gösterir. Eğer köpük kesiti kırılırsa, bu merkezdeki tanelerin iyi kaynamamasının ve birbirlerine yapışmamlarının sonucudur. Buna yetersiz kaynama veya alt kaynama denir. Kaynama çevrimi, kullanılan buhar basıncı ve uygulama zamanı ile kontrol edilir. Tipik olarak 15 psig buhar yaklaşık 10 saniye kullanılır. Buhar kalitesi ve ön genişletilmiş tanelerin yaşı ile yoğunluklarında değişimler, farklılaşmalar oluyorsa buhar ile kaynama çevriminin ayarlanması gereği ortaya çıkar [5].

Kaynamadan sonra buhar akışı olmadan buhar basıncının kalıbının her iki yüzünde inşa edilmesine imkan verir. Buna otoklav adımı denir. Buhar basıncı kalıp yüzeyinin ısınmasına ve yüzey üzerindeki tanelerin genişleyerek birbirlerine kaynamasına imkan verir, buhar çevriminin otoklav kısmı kaynamanın içsel olarak tamamlanmasını ve köpük yüzeyinin oluşmasını sağlar. Normal olarak otoklav adımının sonunda kalıp 110-120 °C civarında bir sıcaklığa ulaşır. Gereğinden uzun süre yapılan otoklav veya buhar basıncı yüzeydeki tanelerin dağılmasına veya çökmesine neden olur. Soğuk kalıp yüzeyi ise Şekil 4.5’de görüldüğü üzere kalitesiz ve kötü bir yüzey kalitesi verir. Otoklav çevrimi, buhar basıncının 15 psig ve çevrim zamanının 10 saniye olarak tutulması ile kontrol edilebilir.



Şekil 4. 5 Soğuk kalıptan kaynaklanan düşük yüzey kalitesi [5]

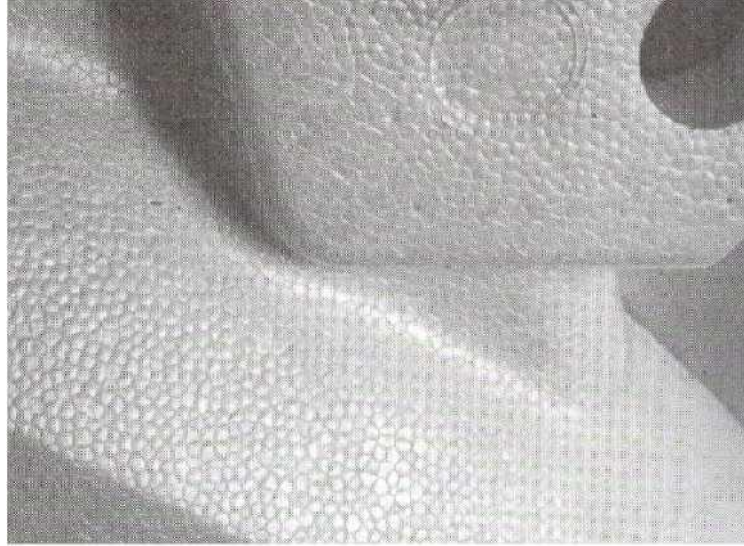
Kalıp içinde veya üzerinde her bir buhar akışının kalıplama aşamasında emin olarak dikkatli ve özen göstererek yapılması gereklidir. Eğer alanda buhar veya soğutma yok ise yetersiz kaynama ile karşılaşabiliriz. Bütün buhar çevrimi soğutma ile dengelenmelidir ve kalıplama çevrimin devamında kalıp sabit bir ısısal çevrim altında tutulmalıdır. Soğutma aşaması otoklav çevrim sonu ile yakın biçimde eşleşmelidir ki bu sayede kaliteli köpük kesitleri elde edilebilir [5].

4.2.6 Soğutma

Buhar çevrimi otoklav adımıandan buhar basıncının serbest bırakılması ile sonlanır ve hemen soğutmaya başlanır. Soğutma genel olarak yüksek hacimli su spray manifoldunun yönlendirilmesi ile sağlanır. Bu kalıbı 40-50 °C civarına soğutur. Diğer bir alternatif ise kalıbın arka kısmına az miktarda buhar yollanarak ki bunun devamında ise bir vakum uygulaması ile soğutma tamamlanabilir. Vakum buhardan suyu uçurmakta ve buhar yoğunlaşması ile arzu edilen soğutma sağlanabilir. Vakum köpük kesitinde alı konulan su ve pentan miktarını azaltarak daha iyi bir köpük boyutsal kararlılığı sağlar [5].

Vakumun kullanımı köpüğün iç kesitinin soğutulmasını ve kalıbın çok düşük sıcaklıklara inmeden çalışmasını sunar ki bu da çevrim ısıtma zamanı ve kalıplama için harcanan enerji maliyetini azaltmaktadır. Vakum kullanılan işlemde kalıp operasyon sıcaklığı 80 °C civarına düşer. Bununla birlikte, vakum kullanımı soğutma çevrimini uzatmaktadır.

Hangi soğutma metodu yapılırsa yapılsın eğer yetersiz soğutma kalın köpük kesitinde oluşursa köpüğün genişlenmesinde başarısızlık olur ki bunun sonucu ise köpük kesiti üzerinde boyutsal farklılaşmanın kontrol edilmesi ve kalitesiz yüzey oluşumudur. Bu duruma post genişleme denir ve şekil 4.6'da görülmektedir.



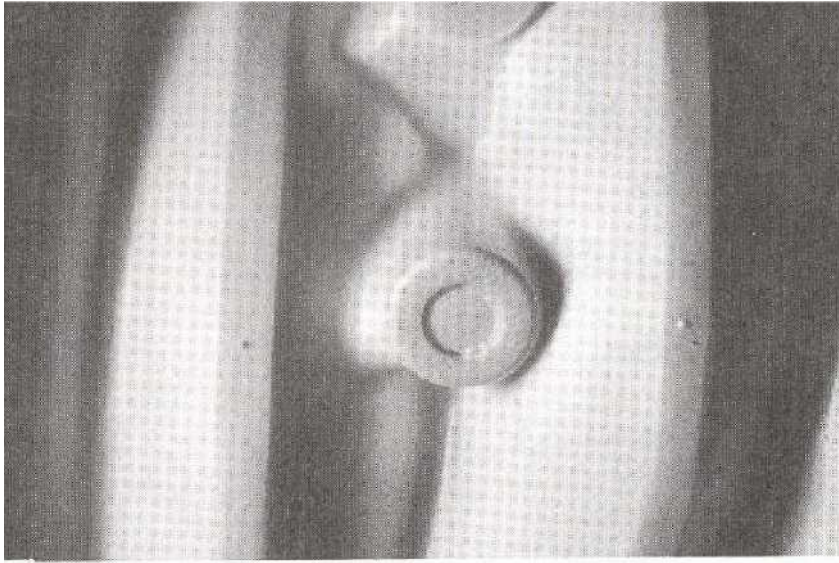
Şekil 4. 6 Model kesitinde fazla genişleme [5]

Soğutmanın bütün olarak tamamlanması köpüğün bozulma ve post genişleme olmadan çıkartılması için esas ve gereklidir. Üst soğutma veya fazla soğutma sonucunda soğutma çevrim zamanı uzamakta ve yeniden ısıtma için gerekli zaman her bir çevrim için artmaktadır. Köpüğün kalıplama makinesinden çıkartılması için köpük kesitin soğutulması ve karalı hale getirilmesi gerekir [5].

4.2.7 Model Çıkarma

Soğutmadan sonra köpük kesiti kalıptan çıkartılmaya hazırdır. Köpük kesitinin soğutulması kalan pentan ve nemin yoğunlaşmasını getirir. Buda köpüğü kalıptan sıyrılmasını ve çıkartılmaya yardımcı olunmasını sağlar. Kalıp açılmadan önce geri çekilebilir kalıp kesitleri ve mekanik dışarı çekme ekipmanları dışarı çekilmelidir. Köpük kesiti kalıp içindeki karşı yüzündeki basıncın kullanımı ile kalıbın bir tarafında kalmaya zorlanır. Hava deliklerinde gelen uygulama hava basıncı sırasında özen gösterilmesi gereklidir. Çünkü gereğinden fazla hava basıncı kullanımı model üzerinde tahribata yol açacaktır. Hava köpüğün yüzeyinde çökmelere ve deliğe neden olacaktır. Normal olarak

bazı havalandırma delikleri etkin olup bunlar model içinde çeşitli delikleri üfleme aşamasında oluşturur ki bu tip bir olaya hava hasarı adı verilir. Eğer tahribat ve bozunmanın önüne geçilmek isteniyorsa köpük modelin uzaklaştırılması özen gösterilerek yapılması gerekir. Otomatik olarak köpük kesitin uzaklaştırılması en iyi boyutsal kaliteyi garanti etmektedir. Eğer mekanik çıkarıcıların kullanımı planlanmış ise bunların dizaynı ve konumları dikkatle seçilmelidir yoksa bunların kullanımı köpükte bozulmalara veya hasarlara neden olabilir ki bu duruma örnek şekil 4.7’de görülmektedir. Köpük kesitinin dışarı çıkartılmasında insan kullanımı da genelde tercih edilir ama bunun sonuçları çok büyük boyutsal değişimler olabilir [5].



Şekil 4. 7 Model kesitinde çıkarıcı izi [5]

Sprey silikon esaslı ayırma malzemesi bazen köpük kesitin kalıptan uzaklaştırılmasında yardımcı olmak üzere kullanılabilir ama bu tip bir ayırıcı kullanımı köpük kesiti üzerinde yüzeysel hasarlara neden olurken yüzeye bulaşan bu malzeme refrakter kaplama işlemini güçleştirmektedir [5].

Yatay makineler bazen modelin su banyosu içine, çıkarma esnasında düşmesine imkan verecek biçimde dizayn edilmiştir. Bu düşüş hasar oluşmasına neden olabilir, ayrıca köpük kesiti su banyosu içinden su da absorbe edebilir. Dikey makineler ise otomatik tablaları ve sabitleri ile köpüğün kalıptan direkt olarak çıkartılabilmesine imkan verir. Bu da dikey çalışan makineleri yataylara göre çıkartma işlemi sırasında daha kolay otomatikleşmesini sağlar. Eğer köpük parmaklı rafa transfer edilirse köpük kesiti

desteklenmek için sabitlenir ki bu işlem kalıplamadan sonraki iki saat için yapılır ki bu da boyutsal tamlığı korumaktadır. Kalıplama çevrimi kalıbın kapatılması, doldurulması, kaynama, otoklav, soğutma, açılma ve dışarı çıkarma ile yapılır.

Kalıplama esnasındaki değişkenler ve değişimler köpük modelin kesitindeki kalitenin değişmesi ile sonuçlanır. Buhar kalitesindeki veya tanelerin yaşındaki kontrol eksikliği kalıplama çevrimi içinde değişimlere neden olur.

Sabitlenmiş ve devamlığı elde edilmiş çevrimler iyi dizayn edilmiş kalıplarla beraber kullanımı ile en iyi köpük kesit üretimini sonuçlanır. Kalıplama prosesin kalite kontrolü devamlı sabit sonuçlar elde etmek için önemlidir.

4.2.8 Model Olgunlaştırma

Olgunlaşma köpük modelin kullanımı ile kalıplanması arasında geçen zaman olarak adlandırılır. Kalıplamadan sonra köpük kesitlerinde hızlı biçimde boyutsal değişimler olmakta ve bunlar yavaşlamasına karşın 30 gün kadar devam etmektedir. Kalıplamadan sonraki göreceli olarak hızlı biçimdeki değişim, öncelikle suyun buharlaşması, köpük ile atmosfer arasındaki denge, buhar ve pentanın yoğunlaşmasının bir sonucudur. İlk değişimlerden sonra başlangıç aşamalarında yavaşça bir küçülme devam etmektedir ki bunun nedeni başlangıçtaki pentan kaybıdır. Bundan sonra ise gerilim boşalması (elastik dönüşüm plastik dönüşüme dönmesi) çekme için sorumludur ama köpük kesitin boyutları halen olgunlaşma zamanının ayarlanması ile yani uzun çekme zamanının sağlanması ve yapay olgunlaşmanın bir fırın içinde gerçekleştirilmesi vasıtasıyla kontrol altında tutulabilir [20].

Boyutsal değişim model kalıplama sırasında olgunlaşma ile ilgilidir. Buhar otoklav çevriminin sonlanması ile beraber eğer kalıplama doğru yapılmış ise köpük kesiti sıcak kalıp boşluğu ile tamamen aynıdır

Boşluklar kalıp yüzeylerinin sıcaklığı ile yaklaşık aynı sıcaklıktadır. Bu sıcaklıklarda köpüğün duvarlarında hava, buhar ve pentan geçişi vardır. Su ve pentanın hücre duvarlarından kaçışı tanelerin yüksek içsel basıncına neden olur [20].

Köpüğün soğutulması boşluklardaki su ve pentanın yoğunlaşmasına ve bunun sonucunda köpüğün kalıp boyutlarından daha küçülmesine neden olur. Ne kadar

küçüleceği bilinmez ama normal kesitin boyutları, kalıptan çıkartılmış boyutuna göre %0,4 kadar çeker. Sıcak köpük kesiti hava emerek negatif içsel basınç kazanır ve birkaç saat içinde normal boyutundan %0.2 daha büyür.

Köpük daha sonra hücre yapısı içinde sıkışmış olan su ve pentanın kaybedilmesi sebebiyle tekrardan küçülmeye başlar. Küçülmenin oranı ve miktarı yapıda sıkışmış olan su ile pentan ve ayrıca köpük kesitinin depolanma koşullarıyla da ilişkilidir. Pentan ve su kısa dönemli küçülmeyi domine ederken gerilim gevşemesi ise köpüğün uzun dönemli küçülmesine neden olur [20].

Model kesitlerin küçülmesinin kontrolü, küçülmeyi etkileyen kilit faktör olduğu anlaşılmalıdır. Kalıplamadan sonraki su ve pentan kaybı küçülmenin ana nedeni olup ve plastik hücre duvarlarının küçülmeye karşı göstereceği direnç ise tane içinde kalmış olan su ve pentan miktarı ile ilgili olup bunlar kalıplama üzerinde büyük etkisi vardır. Küçülmeyi etkileyen diğer bir etmen ise köpük kesitlerini üretmekte kullanılan tanelerin tipleri ve boyutlarıdır ki bu unsurlar beraberinde yoğunluğu da belirlemektedir. Küçük taneler daha büyük tanelere göre daha büyük küçülme gösterir. Bununla birlikte genel kabullere göre farklı tane boyutlarının yaratmış olduğu küçülme farkları model küçülmesinde çok önemli bir faktör değildir.

Bir önemli kabul ise köpük kalıplamadan önce tanelerin yaşıdır. Yaşlı taneler kalıplanmadan sonra daha az genişlemektedir ki bu da daha büyük çekmelere ve zayıf yüzey kalitelerinin elde edilmesine neden olur. Bazı model yapımcıları zaman - küçülme eğrisinin düz olarak devam etmesi yani final boyutlara kısa zamanda ulaşıldığı için yaşlı tane kullanımı ile küçülmeyi daha rahat kontrol eder. Ama bu başarısız bir seçimdir. Çünkü kalıplama içindeki değişimler eski tane kullanımı ile büyük boyutsal farklılaşmaları beraberinde getirir ki bu zayıf model yüzey kalitesini de taşıyan bir husustur [20].

Model kesitin küçülmesinin kontrolünde taneciklerin tipleri sabitlenmelidir. Bu ön şişirilmiş tanelerin yoğunluklarının, yaşlarının ve döküm için beklenen sürenin kontrolüyle sağlanır. Son kalıp boyutları, bu küçülme tam olarak anlaşılmadan ve proses kontrol altına alınmadan sabitlenemez.

Kalıplama ve dizayn değişkenleri de ayrıca küçülmeyi etkilemektedir. Dizayn nitelikleri model gerilimlerinde farklılaşmalara ve bunun sonucu olarak eşbiçimli olmayan küçülmelere neden olabilir.

Kalıbın düzensiz dolumu model içinde yoğunluk farklılaşmalarına neden olabilir. Bu yoğunluktaki farklılaşma, küçülmede değişimlere ki bu da model kesiti üzerinde bozulmalara neden olacaktır. Ayrıca buharın kalıp içinde dengesiz dağıtımı da düzenli olmayan yoğunluklara ki bu da ne olacağı tespit edilemeyen küçülmelere sebep olur. Kalıplama sırasında eğer soğutma yetersiz olursa, model kalıptan çıkarıldıktan sonra genişlemeye eğilimli bölgelere sahip olacaktır. Bu da bu alanlarda daha az küçülmelere ki ve de telaffuz edilen bölgesel, boyutsal farklılaşmalara neden olur [20].

4.2.9 Polistiren Plakalardan Kesme ve İşleme Yoluyla Model Yapımı

Prototip ve sınırlı döküm üretimleri bir kalıplanmış köpük model üretimi için gerekli kalıplama, kalıbın yapımı için harcanacak zaman ve paraya imkan vermez. Bazı durumlarda,

EPS levhalarından modellerin kesimi ve elle yapıştırılması yoluyla uygun model yapımı sağlanabilir. Model hazırlamadaki bu yöntem tamlik ve karmaşık şekil yapımında sınırlıdır aynı zamanda da model hazırlamada hatırı sayılır bir yöntemdir.

Her bir olayda prototip çalışması yapılması zorunludur ve bu teknik model hazırlamada işlemin esas kısmıdır. Köpük parçaları kusursuz bir maça olarak dökümde, yerleştirilerek kullanılır.

EPS kütüğünden bir model çıkarmak için bazı özel niteliklere ihtiyaç duyulur. Normal işaretleme ve ölçüm cihazları çentik açarak veya başka şekillerde köpükte hasara yol açar. EPS köpük kütüklerin işaretlenmesinde yumuşak uçlu kurşun kalem veya keçeli kalemler kullanılabilir. Ölçümden şeffaf cetvel veya kumpas kullanılır. Ölçümden sonra EPS kütüğü kesme ve yapıştırmaya yollanır [3], [5].

Geniştirilmiş polistiren farklı teknik kullanımı ile arzu edilen şekilde işlenebilir. EPS kütükleri bir bıçak veya sıcak telle kesilebilir, işlenebilir, talaş kaldırılabilir. [21]. Şekillendirme tahta aletleriyle yapılabilir ki bunlar ucuz ve kolayca tedarik edilir. Makine işlemlerinde besleme ve hız ayarlanarak istenen yüzey kalitesinin elde

edilmesi sağlanır. Elle parçayı yavaşa ve dşşk basınçla işlemeye vermek en iyi sonucu verir ki ayrıca kesme yüzeyini geliştirmek için kumlama da kullanılır.

EPS kütüklerin 80 mm 'ye kadar olan kesitlerinin kesiminde kesme kayışı kullanımı kesik üzerinde iyi bir yüzey verir. şerit testerede ayrıca kullanılabilir. Özel bir bıçak ile 0,3 ile 0,5 mm arasında sıralanan dişlerle en iyi sonuç elde edilebilir. Klasik ekipmanlarla frezelemede yapılabilir. Bu işlemede yüksek hız kullanımı ile parça makineye beslenir.

EPS ayrıca 0,5-0,8 mm çapındaki Ni-Cr sıcak telle kesilebilir. Telin uzun ömürlü olması için 500 °C civarında çalışması gerekir. EPS 'nin besleme zamanı telin sıcaklığı ve kesit kalınlığına bağlı olarak değişir. Sıcak tel cihazlar hobi kıl testere gibi basitleştirilir veya kompleks bir makine merkezi gibide kullanılır [3], [5].

EPS parçaları kesildikten sonra bir araya getirilmelidir. Normal olarak bu işlem elle yapılır ki bu işlem yapıştırıcı kullanımı ile gerçekleştirilir. Orijinalde lastik, imento, sıvı yapıştırıcılar veya sıcak erimiş yapıştırıcılar bu model parçalarının bir araya getirilmesinde kullanılır. Yapıştırıcının miktarını azaltmak için zen göstermek gerekir çünkü yapıştırıcının döküm üretiminde ters etkisi vardır.

Genelde az miktarda yapıştırıcı kullanımı EPS parçalarını mekanik olarak bir arada tutar ve yerleştirir. Daha fazla yapıştırıcı ise ince bir kaplama gibi yüzeydeki yapıştırıcı geçişini mühürlemek için kullanılır. Mhrlemede, kaplama sırasında bu geçişe refrakter kaplamanın girmesini engellemek gereklidir. Dikkatli yapıştırma tekniği, döküm kalitesinin büyük ölçüde geliştirilmesini sağlar. Yapıştırıcı ve bazı mumlar az miktardaki yüzey hatalarının köpük modelde tamirinde kullanılır [3], [5].

4.3 Model Parçalarının Birleştirilmesi

4.3.1 Yapıştırma Bağlantısı

Köpük parçalarının bir araya getirilmesi birçok hedefi vardır, ilk olarak metalin dökümün kalitesini ters yönde etkilememelidir. Bunun anlamı yapıştırıcı kl artığı bırakmalıdır. Ayrıca metalle yerini bırakan yapıştırıcı döküm içinde sıkışacak gaz yaratmamalıdır [22]. Yapıştırıcı döküm yüzey bitişini etkiler çünkü yüzey üzerindeki yapıştırıcı dökümün bir parçası haline gelir veya döküm yüzeyi üzerinde gaz hatalarına

neden olur. Yapıştırıcı metal akışını açın biçimde yavaşlatmamalıdır. Birçok yapıştırıcı yüksek yoğunluklu olarak kullanılır ki bunların yoğunlukları yaklaşık $0,072 \text{ gr/cm}^3$ civarında olup kaplama öncesinde salkımın toplam ağırlığının yaklaşık % 10-20 'sine tekabül eder.

Döküm işlemi sırasında kesitlerdeki yapıştırıcı elimine edilmelidir. Genel olarak geçişleri yapmak için daha fazla yapıştırıcıya ihtiyaç duyulur ki buda dökümde daha önemli problemleri yaratır. Yapıştırıcı döküme yardımı azaltmaz, ayrıca geçişi doldurur. Eğer yapıştırıcı geçişi doldurmaz ise kaplama veya kum bu geçişe girerek döküm içine girmiş olur. Zor veya zahmetli geçişlerde daha fazla yapıştırıcı kullanılarak geçiş mühürlenir [3], [22].

Yapıştırıcı geçişi salkımı bir arada tutabilecek kadar güçlü olmalıdır. Normal olarak kaplamanın kurutulması $65 \text{ }^\circ\text{C}$ altındaki bir sıcaklıktaki fırında yapılır, ağır kaplanmış salkım sık sık yolluk ile taşınır kurutma sırasında ve yapıştırıcı kırılmaya karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Yapıştırıcı geçiş dizaynları dayanım ihtiyaçlarını etkilemektedir ama yapıştırıcı yüksek sıcaklıklarda yararlı dayanımı taşımamalıdır.

Yapıştırıcı sadece iyi dökümlerin üretilmesine imkan vermelidir, geçişleri kaplama girmesine karşın mühürlemeli ve salkımı bir arada tutabilecek yeterli güce sahip olmalıdır ayrıca üretim ihtiyaçlarını başarı ile karşılamak için göreceli olarak hızlı donan olmalıdır. Bu gereklikler sıcak erimiş yapışkanların kullanımına öncülük eder. Temas ve basınca hassas olan yapıştırıcılarda prototip çalışmalarda kullanılmıştır ama bu yapıştırıcılarda su veya solvent bazlı olsun mutlak kurutma gerekir buda zaman alan bir işlemdir. Ayrıca kontak yapıştırıcılar kesitin geçişin her iki tarafına da uygulanarak bir bağ yapar bu fazladan taşımaya gerektirir. Solvent esaslı yapıştırıcılar plastik köpüğü tahrip edebilmekte ve aralıkları doldurmamaktadır [3], [22].

4.3.2 Yapıştırıcı Bileşimi

Sıcak erimiş yapıştırıcılar % 100 katı termoplastikten eritme yolu ile geçişlere uygulanır ve daha sonra bunlar soğumaya bırakılarak donar. Bu tip yapıştırıcılar yaklaşık $93 \text{ }^\circ\text{C}$ civarında yumuşamaya ve $104\text{-}126 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığında erimeye başlar bunlar uygulama için yaklaşık $121\text{-}204 \text{ }^\circ\text{C}$ civarına ısıtılır. Geçin bir yüzü sıcak yapıştırıcı ile ıslatılmış; diğer

taraf ise bunun ile temas durumuna getirilerek birkaç saniye böyle tutularak yapıştırıcının soğuması ve donmasına izin verilir. Köpüğün tipi sıcaklık ve kullanılan yapıştırıcı miktarı uygulama zamanı, donma süresi oluşan bağın kalitesini belirler.

Yüksek miktarda üretim yapımı için gerekli olan hızlı çevrim zamanının elde edilmesi için sıcak erimiş yapıştırıcıların kullanımı imkan yaratır. Bunlar ayrıca aralık dolumun özellikleri iyidir [22].

4.3.3 Yapıştırıcı Tankı

Sıcak erimiş yapıştırıcılardaki ısısal azalma eğer toplama işlemi kontrol edilmek isteniyorsa izlenmek zorundadır. Azalma derecesinin düşmesinin işaretleri renginin koyulaşması ve viskozitedeki artıştır. Ayrıca katılaşmadaki azalma ve bağ dayanımında bir azalma meydana gelir. Isısal bozunma engellenemez ama prosesin dikkatli kontrol altına alınması ile bozunma oranı azalır. Yapıştırıcı formülü bu parçalanmayı azaltabilecek anti oksidasyonlar içerebilir.

Yapıştırıcı tankı sisteme giren ısının çok iyi kontrol edilmesi ve banyonun karıştırılmasının sıkı biçimde kontrol edilmesini garanti edecek biçimde yapılmalıdır. Yapıştırıcının ayırma özelliği tankın bir kesimin fazla ısıtılmasına imkan verir. Eğer kontrollü ısıtma yapılmaz ise tüm ekipmanlar tank, baskı tablası, sıcaklık sensörleri, karıştırıcılar ve ısıtma elementleri periyodik olarak kontrol edilmelidir.

Kullanım yapılmadığı zamanlarda tankın sıcaklığı azaltılmalıdır bu özelliklerde EPS in ihtiyacı olan yüksek yapıştırma sıcaklığı ki yaklaşık 110-126 °C 'ta önem kazanır. Yaklaşık banyo sıcaklığı 110-126 °C civarı dır [5].

4.3.4 Bağlanma İşlemi

Köpük model kesitleri normal olarak otomatik bir yapıştırma makinesi üzerinde hızlı ve tam olarak yapıştırma bağlantısı yapılabilecek biçimde bir araya getirilir. Toplanacak olan kesitler makinenin sabit kısmı üzerinde yerleştirilerek, yapıştırmaya tabi tutulur ama yapıştırma makineleri yapıştırma esnasında destek sağlayacak ve hizayı yapabilecek şekilde dizayn edilmelidir. Başarısız cihaz dizaynı tam olmayan hizalanmaya

sebeep olabilir veya bu hizalanma sorunu yapıştırıcı makinesinin yanlış kullanımdan kaynaklanabilir.

Bir köpük kesiti makine içine dizildikten sonra yapıştırma uygulanır. Yapıştırıcı bir depolama tankında kullanım sıcaklığında tutulmaktadır. Yapıştırıcının uygulanma sıcaklığının kontrolü, geçiş üzerine tekrarlanabilir miktarda yapıştırıcı alınması için kritik bir noktadır. Çünkü sıcaklığın yapıştırıcının viskozitesi üzerinde güçlü bir etkisi vardır [5].

4.4 Model Salkımının Kaplanması

4.4.1 Özellikler

Kaplama, genel olarak prosesteki bazı önemli kontrolleri sağlamaktadır. Kaplama döküm yüzeyine makul bir kalite verir ve salkıma sertlik verir. Ayrıca köpüğün parçalanması sonucu oluşan ürünlerin serbest kalmasına imkan verir. Plastik artıkların kaçışı veya ortadan kaldırılması belki de kaplamanın en önemli rolüdür [4].

Kaplama ilk olarak döküm sırasında kum ve metalin karışmasına karşı koruma amaçlı bir engel oluşturur. Kaplama, sıvı metalin kum içine girmesini ve kumunda ilerleyerek metal ile geri doğru çekilen köpük arasındaki boşluğa düşmesini engeller [23].

Kaplama köpüğün parçalanma ürünlerinin aralıktan kaçmasına imkan vermelidir. Bu denge özel kaplama formülasyonlarına ihtiyaç duyar. Eğer kaplama yeterli bir bariyer değilse, metal penetrasyonu ve kalıp dağılması, çökmesi meydana gelir. Çökme ve metal penetrasyonuna sebep olabilir. Eğer kaplama proliz ürünlerin kaçmasına izin vermez ise bunlar demir döküm ürününde bir karbon hatası, alüminyum dökümünde ise porozite olarak sıkışır [24].

Kaplamanın piroliz ürünlerinin kaçmasına verdiği yeterlilik “geçirgenlik” olarak adlandırılır. Geçirgenlik poroz bir malzemedan gaz veya sıvının geçmesine karşı gösterdiği direnç olarak genel kullanımda tartışılır. Demir dökümlerde göreceli olarak yüksek döküm sıcaklıklarına çıkılır; bundan dolayı, kaplamanın gazlara karşı olan gözenekliliği özellikle önem kazanır. Alüminyum dökümleri ise daha düşük sıcaklıklarda

meydana gelir ve kaplamanın döküm boşluğundan çıkış için sıvı ürünlere sağlayacağı geçirgenlik burada önem kazanır ve geçirgenlik arttırılmalıdır [24].

Kaplamanın döküm boşluğundan plastiklerin uzaklaştırılmasındaki yardımı iyi anlaşılmamıştır. Bu alanda daha fazla iyi çalıştıkça kaplamada önemli gelişmeler yapılabilir. Oda sıcaklığında yapılan geçirgenlik ölçüm tahinleri kaplamanın bileşimi için kullanışlı bilgileri verdiği düşünülmez. Çünkü kaplama ve köpük yüksek sıcaklıklarda kullanılır. Köpük hem sıvılaşır hem de gaz haline gelir. Sıvı ve gazların döküm boşluğundan uzaklaştırılması kritik operasyondur.

Alüminyum dökümleri, için kullanılan kaplamalar, demir dökümünde kullanılanlardan tamamen farklıdır. Alüminyum dökümü için; köpüğün parçalanması ilerleyen metalin yüzünde soğumaya neden olur. Bu metalde katlanma ve katmerlenmelere neden olur. Alüminyum dökümleri için kaplama ilerleyen metalin önünü ısısal olarak yalıtmalıdır[24]. Demir dökümünde, metal penetrasyonu ve karbon hatası daha önemli bir problemdir. Kaplama formülasyonu ve uygulanması, penetrasyonu engellemeli diğer taraftan da piroliz ürünlerinin kaçmasına imkan verecek biçimde olmalıdır. Kaplama ve kum kombinasyonu çoğu plastik artıkların kaçmasına imkan vermelidir. Bu sağlanırsa kaplamanın ilk görevi olan kaliteli döküm yüzeyine ulaşılır [24].

Kaplama ayrıca döküm salkımına sağlamlık verir. Köpük modelleri esnemeye dayanıklı değildir. Bu da kum doldurma ve sıkıştırmada tahribatlara yol açar. Salkım dizaynı değişimi bu bozulmanın azaltılmasında en genel yoldur. Kaplama ile salkıma verilen sertlik, oluşan bozulmaları azaltabilir [19].

Kaplama formülleri kritik uygulamalar için daha fazla sağlamlığı, dayanıklılığı sağlayabilecek biçimde ayarlanabilir.

4.4.2 Formülasyonlar

Kaplamalar genelde su olan taşıyıcılı kompleks sistemlerdir. Çoğu kaplama tiksotropik özellikli su bazlı çamurlar olup esas olarak bir refrakterden yapılmıştır. Kaplamanın geçirgenliği kullanılan refrakterin boyut ve şekline bağlı olup genelde silika, alümina, zirkon, kromit veya diğer alümina-silikatlar burada kullanılır. Refrakter penetrasyona

dayanmalı ve metalle reaksiyona girmemelidir. Kaplama ayrıca çamur içinde refrakteri süspansiyon halinde tutacak bir dağıtıcıya ihtiyacı vardır.

Refrakter taneciklerini bir arada bağlayıcı tutar. Bağlayıcılar kombinasyon halinde kullanılabilir, bir bağlayıcı kurutma öncesi yapışma ve yapışkanlığı, diğeri ise kurutma sonrası ve döküm sırasında dayanımı sağlar. Bağlayıcıya ilave olarak, sistem süspansiyon maddelerine ihtiyaç duyar ki, bu sayede çamurdaki malzemeler askıda kalır. Kaplamanın, ıslatması ve modeli kaplaması için ise ıslatıcılara ihtiyacı vardır.

EPS prosesinde başarılı olmak için kompleks yapıklı kaplamanın seçimi ve uygulanması dikkat gerektirir. Temel bir en iyi kaplama seçim kuralı yoktur. Son kaplama parametrelerini belirlemek için farklı kaplamalar denenebilir [5].

4.4.3 Yoğunluk

Kaplama yoğunluğu ve uygulama metodu elde edilecek kaplamanın kalınlığını belirler. Eğer uygun bir kaplama kalınlığı seçilecekse çeşitli faktörler incelenmelidir. Kaplama kalınlığı

25-1.52 mm arasında değişir. Yüksek metal kafası ve döküm sıcaklığı kaplama kalınlığını arttırır. Sıkışmış plastik hataları, aşırı kaplama kalınlığının işaretidir. Salkımın kaplama üniformluğunun ölçülmesinde kaplama öncesi salkım ağırlığı ve kaplama kurutulduktan sonraki ağırlıklar ölçülür.

Kaplama yoğunluğu, hidrometre ile ölçülür. Bu “Baume” ölçümünü verir. Kullanıcı ve cihaz arasında değişimler olduğundan bu muhtemel olarak en iyi test değildir. Baume yöntemiyle yoğunluk ölçülmesi, bu refrakter kaplamaların yüksek vizkozitelerinde karışmaktadır [5].

4.4.4 Uygulama

Kaplamanın salkıma uygulanması normal olarak salkımın kaplama banyosu içine daldırılması ile olur. Bununla birlikte sprej, fırçalama ya da salkım üzerine kaplamanın püskürtülmesiyle de yapılabilir. İnce filmsi kesitler daldırma yapılamayacağı için sprej yapılmalıdır. Kaplama salkımı kırılma, parçalanma veya içeride hava hapsetmeyecek

şekilde üniform sarmalıdır. Salkımın uygun kaplanması garanti edilmesi içi daldırma prosedürü dikkatle yapılmalı ve kaplama banyosu yakından kontrol edilmelidir.

Robotlar veya elle salkımların kaplama banyosu içerisine daldırılması sık sık kullanılır.

Döküm salkımın yüzme kuvveti yüksek olduğu için salkımın banyo içine daldırılması için bir donanım dizaynı gereklidir. Salkım banyo içine daldırılınca üniform bir kaplama eldesi için döndürülmesi ve fazla kaplamanın akıtılması gerekir. Akıtmadan sonra salkım kurutulabilecek durumdadır [3], [5].

Salkım normal olarak bir sirkülasyonlu hava fırınında yaklaşık 60 °C'ta veya daha aşağı bir sıcaklıkta 1 - 10 saat arasında kurutulur. Daha yüksek kurutma sıcaklıkları salkımda hasarlara neden olabilir. Kurutmada hava kuru ve nemli olmalı, akış, zaman ve sıcaklık önemli noktalar. Salkım sabit ağırlık elde edene kadar devam eder, ama kurutma zamanı denemelerle hesaplanmalıdır. Hızlı kurutma için mikrodalga fırınlar kullanılabilir. Kurutmadan sonra, salkım döküm işleminde kullanılabilir haldedir [5].

Kaplama miktarı işlem maliyetini belirler. Kalıplama maliyeti, sulu kaplamadan değil, kurutulan malzemeye göre hesaplanmalıdır.

4.5 Köpük Döküm Salkımının Kumla Desteklenmesi

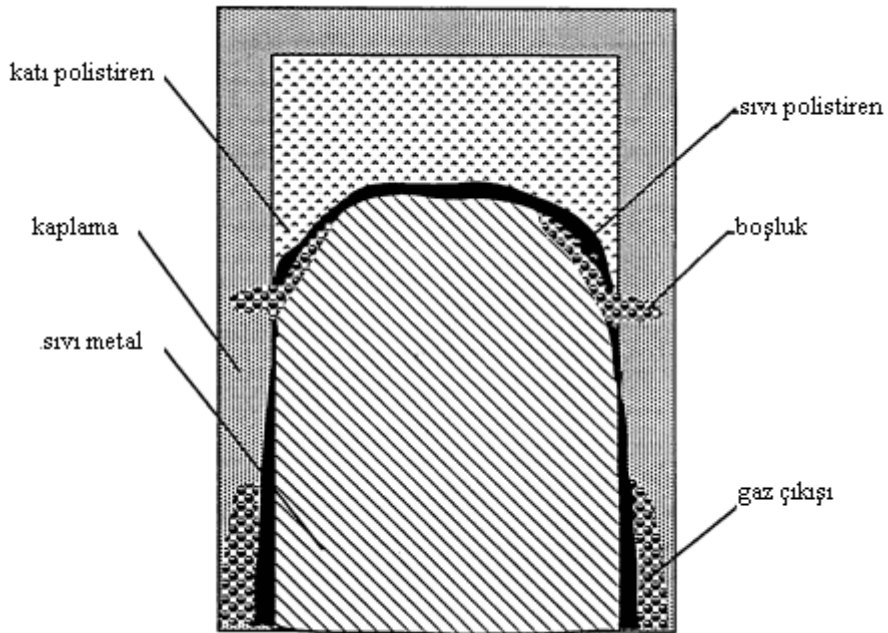
Klasik döküm yöntemlerine benzer biçimde dolu kalıba döküm yönteminde kum temel kalıplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Köpük dokum salkımı refrakter ile kaplandıktan sonra tek parçalı bir derece içerisine yerleştirilir ve bağlayıcı içermeyen kumla etrafı doldurulur. Bağlayıcısız kum genellikle yağmurlama sistemi ile dereceye doldurulur. Yağmurlama derecenin yavaş biçimde dolması sağlayarak kumun yana doğru hareket ile köpük döküm salkımının bozulmasını engeller. Doldurma sırasında derece yüksek frekanslı bir sıkıştırma sistemi ile yanlardan veya tabandan titreştirilerek sıkıştırılır [3], [5].

Dolu kalıba döküm yönteminde silika kumu kullanılmaktadır. Yöntemde kullanılan kumlar çeşitli şekillerde olabilir ama yaygın olarak yarı köşeli veya yuvarlak taneli kumlar tercih edilir. Kumun geçirgenliği önemli bir kriterdir çünkü döküm sırasında oluşan gaz veya sıvı formdaki plastik artık ürünlerin hızla kumdan geçebilmesi ve dışarı atılması gereklidir. Farklı döküm uygulamaları için farklı boyutlardaki kumlar

kullanılabilir. Genellikle AFS tane inceliği 35-3 demir esaslı alaşımlar için AFS 45-3 ise demir dışı metaller için kullanılabilir. Kum tekrardan kullanılmadan önce mutlak soğutulmalıdır çünkü derece içerisinde kumun sıcaklığı 50 °C' ı aşarsa köpük döküm salkımı üzerinde çarpılma ve bozulmalar meydana gelebilir [3], [5] , [25].

DOLU KALIBA DÖKÜM İŞLEMİ

Dolu kalıba döküm yönteminde metal dökümü aşaması klasik yöntemlere benzer olmasına rağmen hatasız döküm parçası üretilmesi için hassas çalışılması gerekir. Dolu kalıba döküm yönteminde refrakter kaplı köpük model bağlayıcı içermeyen kuma yerleştirilerek, sıkıştırılmakta bundan sonra ise döküm esnasında köpük sıvı metal ile yer değiştirmektedir [13]. Dolu kalıba döküm işleminde döküm anında köpük ile sıvı metalin yer değiştirmesi görsel olarak Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 1 Döküm anında polistiren köpük ile sıvı metalin yer değiştirmesi [13]

İnce kesitli parçaların dökümü sırasında yüksek metal basıncı ve kaplama geçirgenliği ergimiş metalin kalıbı daha hızlı doldurmasını sağlamaktadır. Eğer ergimiş metalin kalıbı içerisine doldurulması sırasında kesinti oluşursa destek kumu dağılarak kalıbın çökmesine neden olabilmektedir ancak döküm hızı yüksek tutulursa kalıpta çökme ve dağılma riski ortadan kaldırılabilir. Bu nedenlerden dolayı döküm sırasında mutlak olarak döküm havuzunun dolu tutulması ile artı bir metal basıncının muhafaza edilmesi gerekmektedir[26].

Ergimiş metallen kalıbı doldurmaya başlaması ile beraber köpük modelde artan sıcaklık ile beraber parçalanma eğilimi içerisine girmiştir. Yolluk sistemi bu aşamada köpük modelin parçalanması sonucu oluşabilecek olan piroliz ürünlerinin döküm hatalarına neden olmadan atılmasını sağlamakla görevlidir. Eğer köpük modelin pirolizi sonucu oluşan ürünler döküm boşluğundan dışarıya atılamaz ise yapıda gözeneklilik, eksik dolma, karbon parlaması ve katmer oluşumu tarzında hataların oluşmasına neden olabilirler. Bunun önüne geçilebilmesi için metal döküm sıcaklığının, döküm hızının, köpük model geometrisinin, yolluk tasarımının, refrakter kaplama ve kum özelliklerinin, derecenin şeklinin, kullanılan köpük model malzemesinin doğru seçilmiş olması gerekmektedir [27].

Döküm sıcaklığı köpük modelin pirolizi sonucu oluşacak olan ürünlerin tiplerini belirlemektedir. Alüminyum dökümlerinde kritik döküm sıcaklığı 740-780 °C arasındadır, bu sıcaklığın altında döküm yapılırsa piroliz ürünleri genelde sıvı fazda olacaktır. Eğer döküm sıcaklığımız bu değerlerin üzerinde tutulursa gaz fazında oluşacak olan piroliz ürünlerinin miktarı daha fazla olacaktır. Alüminyum'da döküm sıcaklığı düşük tutulursa oluşan ürünlerin kalıp boşluğundan dışarı hızlı biçimde atılabilmesi tamamen refrakter kaplamanın geçirgenliği ve metal statik basıncına bağımlı olarak değişmektedir. Aksi koşullarda yani döküm sıcaklığı gereken değer üzerinde yüksek tutulmuş ise aynı biçimde işlemi kontrol eden parametreler olarak refrakter kaplamanın geçirgenlik değeri ile metal statik basıncı karşımıza çıkar [26], [27].

Dökme demirin dolu kalıba dökümü yönteminde kalıp çökmelerini engelleyecek biçimde hızlı yapılması gerekmektedir. Dökme demir döküm uygulamalarında düşey veya yandan kalıp doldurmayı sağlayan yolluk tasarımları kullanılırsa döküm

yüzeylerindeki karbon parlaması hatası asgari seviyeye çekilebilmektedir ama bu durumda döküm parçasının iç kısımlarında hata oluşma riskine karşı dikkat etmek gereklidir. Oluşacak olan piroliz ürünlerinin miktarı kullanılan köpük modelin kesit kalınlığı ile doğru orantılı biçimde artış kaydetmektedir. Eğer önşışirilmiş polistiren köpük modellerin yapımında kullanılmış ise dökme demir uygulamalarında sorunsuz çalışabilmek için köpük modellerin kesit kalınlıklarının 6,4 mm'den daha fazla olmamasına özen göstermek gereklidir [5], [28].

Aluminyum döküm uygulamalarında ise döküm mümkün mertebe yavaş yapılmalı, yolluk kesiti geniş tutulmalıdır. Döküm parçasının tasarımında ise keskin kenarlardan ve ani kesit değişimlerinden kaçınılmalıdır. Alüminyumun dolu kalıba döküm uygulamasında en çok karşılaşılabilecek hatalar eksik dolma ve katmer oluşumlarıdır.

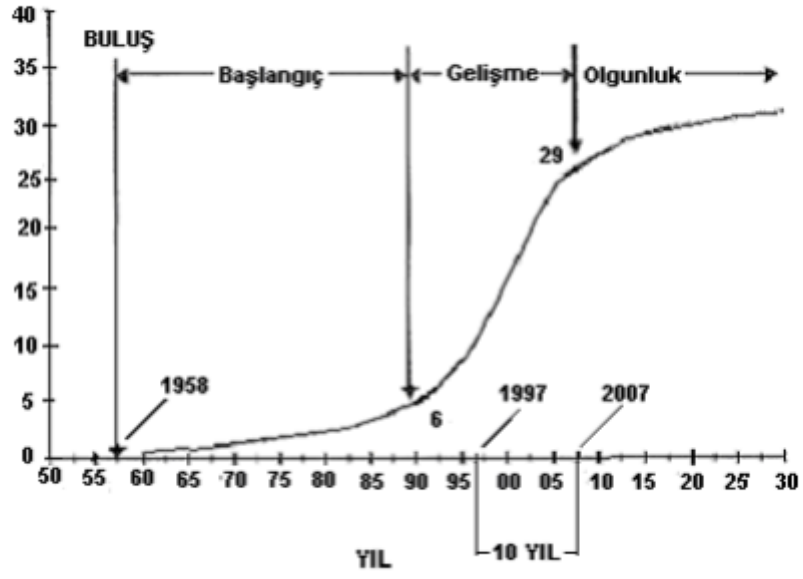
DOLU KALIBA DÖKÜM YÖNTEMİNİN EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

Araştırmalara göre dolu kalıba döküm yöntemi yatırım ve üretim giderleri açısından ekonomik bir yöntemdir. A.B.D'deki yaklaşık 2950 civarındaki dökümhanenin içinde dolu kalıba döküm teknolojinin kullanıldığı 49 dökümhane pazara sunmuş oldukları yeni teknoloji sayesinde ön plana çıkarak ve pazarda önemli bir yer kazanmışlardır.

A.B.D'de 1995 yılında 6150 olan dökümhane sayısı 2000 yılı sonunda yaklaşık olarak 2950 adette gerilemiş olmasına karşın metal döküm sanayisi ülke içindeki 10 büyük sanayi dalından biri olarak kalmayı başarısındaki temel nedenlerin başında dolu kalıba döküm teknoloji tarzındaki yeni teknolojilerin süratle sisteme dahil edilmesidir.

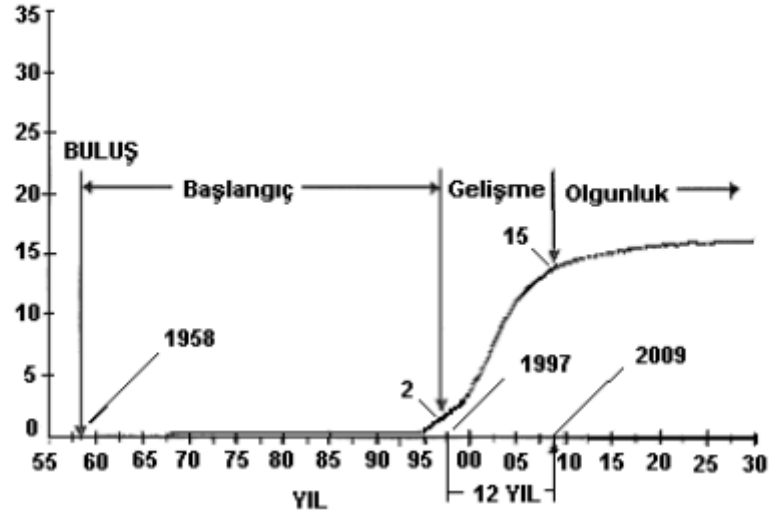
Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3'te sırasıyla alüminyum, dökme demir ve çelik döküm ürünleri için dolu kalıba döküm yönteminin pazar payının yıllar içindeki değişimi ve gelecekle ilgili tahmini seyri verilmiştir.

TOPLAM PAZARIN YÜZDESİ (%)

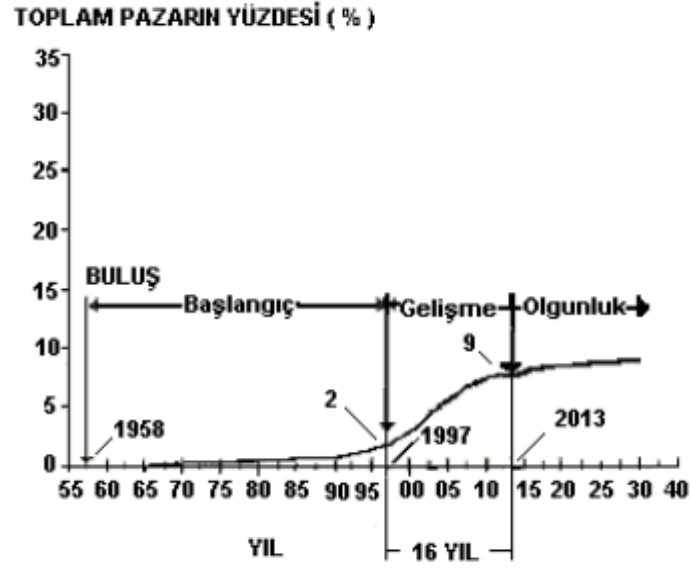


Şekil 6. 1 Alüminyum için dolu kalıba döküm Pazar payı değişimi

TOPLAM PAZARIN YÜZDESİ (%)



Şekil 6. 2 Dökme Demir için dolu kalıba döküm pazar payı değişimi



Şekil 6. 3 Çelik için dolu kalıba döküm pazar payı değişimi

Sonuçların yansıttığı üzere A.B.D’deki yaklaşık 2950 civarındaki dökümhanenin içinde bu teknolojinin kullanıldığı 49 dökümhane pazara sunmuş oldukları yeni teknoloji sayesinde ön plana çıkarak ve pazarda önemli bir yer kazanmışlardır [29].

Dolu kalıba döküm teknolojisinin ekonomik avantajlarının yanında teknolojik olarak neden klasik yöntemler yerine tercih edildiğini anlamamız gereklidir. 1998 yılında AFS tarafından yapılan “ Lost Foam Showcasing The Process Proceedings ” kapsamında, WILLARD INDUSTRIES adına M. Herrin yapmış olduğu sunuş ışığında ticari olarak dolu kalıba döküm yöntemin başarıları inceleyebilir. Firma içinde metal kalıba döküm yöntemi yerine dolu kalıba döküm teknolojisini kullanımı ile toplam olarak 50000 \$ yıllık bir maliyet azalması sağlanmış ve üretilen üründe 1,134 kg’lık bir ağırlık tasarrufu parça başına elde edilmiştir. M. Herrin’e göre 2. Nesil Dolu Kalıba Döküm Teknolojisine geçişle beraber üretim hattında parça başına 0,317 kg ağırlık azalması yanında döküm sonrası talaşlı işleme çalışmalarında yine parça başına 4 dakika kısalma elde edilmiş bu sayede toplam olarak yıllık 450.000 \$’lık bir genel maliyet düşüşü görülmüştür. Ama en çarpıcı uygulama ise 1991 yılında firmanın hassas döküm üretim hattı yerine dolu kalıba döküm yöntemini devreye alması ile 3.000.000 \$’lık bir kazanç sağlamasıdır. [30]

Avrupada ise CAGIVA bu yöntemin en başarılı uygulayıcılarının biri olarak karşımıza çıkmıştır. CAGIVA, IVECO kamyonlarında yağ-soğutma parçalarının yapımı sırasında

dolu kalıba döküm yönteminden yararlanmış ve bu sayede parça başına % 15'lik ağırlık azalması sağlamış ve yine aynı ürünün döküm sonrası talaşlı işleme süresinide yaklaşık olarak % 45 kısaltmayı başarmışlardır. CAGIVA bu ürünlerdeki tüm maliyet toplamını % 28 azaltmıştır. Aynı firma FIAT için geliştirdiği ateşleme motoru silindir kafası ürünü ile toplam maliyeti yıllık olarak 600.000 \$ azaltmayı sağlamıştır [20].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 EPS Model Parçalarının Oluşturulması

Çeşitli yoğunluklara sahip polistiren bloklardan kıl testeresi ve maket bıçağı ile numuneler kesilerek yoğunluk değerleri ölçüldü. Köpük modellerin yoğunluk hesabı geometrik hacim ölçümü ve hassas terazide ağırlık ölçümü ile yapıldı. Yoğunluk değerleri sırasıyla 8,4, 16,3, 26,2 kg/ m³, ortalama tane çapları sırasıyla 3,43 mm, 2,38 mm, 1,9 mm olan EPS bloklarla deneyin yapılmasına karar verildikten sonra bu üç bloktan model parçaları kesildi. Her yoğunluk için yedişer adet birleştirilmiş model oluşacak şekilde, çubuk şeklinde (20x20x80mm) boyutlarında ve besleyici parçaları (15x15x20mm) boyutlarında parçalar kesilmiştir.

7.2 EPS modellerin birleştirilmesi

Oluşturulan çubuk model parçaları ve onları destekleyecek besleyici model parçaları termoplastik esaslı yapıştırıcıyla yapıştırılarak deneyde kullanılacak olan polistiren model tek parça haline getirilmiştir. Polistiren köpük model parçalarının birleştirilebilmesi için köpükle herhangi bir etkileşime girmeyen termoplastik esaslı ticari ismi Develux olan yapıştırıcı kullanılmıştır. Böylece tek parça haline getirilmiş 21 adet model elde edilmiştir. Üretilen polistiren modeller Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7. 1 EPS model

7.3 EPS modellerin refrakterle kaplanması

Oluşturulan polistiren modeller alümina esaslı su bazlı refrakter bileşimi ile daldırma yöntemiyle kaplanmıştır. Kaplamanın kuruması için modeller oda sıcaklığında bir gün bekletilmiştir. Refrakterle kaplanmış polistiren modeller Şekil 7.2 'de gösterilmiştir. Hazırlanan modellerin kaplamasında kullanılan refrakter malzeme alümina esaslı su bazlı, Ashland-Südchemie firmasının ticari ismi Polytop FS 6 olan ürünüdür.



Şekil 7. 2 Refrakterle kaplanmış model

7.4 Modellerin Derece İçerisinde Serbest Kumla Kalıplanması

Refrakter kaplaması kuruyan modeller, titreşim altında serbest kumun sıkıştırmasıyla metal dereceler içerisine kalıplanmıştır. Derece içerisine kalıplanmış polistiren modelinin yolluk bölümüne döküm sırasında metalin taşmamasını sağlayacak kumdan yapılmış döküm havuzu yerleştirilmiştir. Polistiren modellerin derece içerisinde kalıplanmasında AFS-35 tipinde silis kumu kullanılmıştır. Kalıplama işlemi Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Derece içerisinde modelin serbest kumla hazırlanması aşamasında Octagon 200, Endecotts Limited marka 50 hertz frekansla titreşim aralığı 0 – 10 olan titreşim makinesi kullanılmıştır.



Şekil 7. 3 Modellerin Derece İçerisinde Serbest Kumla Kalıplanması

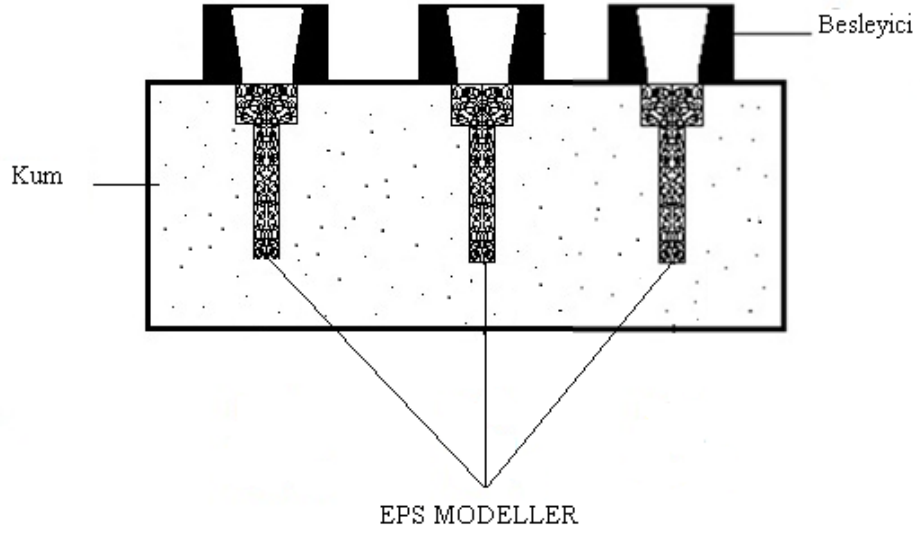
7.5 Döküm İşlemi

Döküm çalışmasında likidüs sıcaklığı 583 °C, solidüs sıcaklığı 524 °C olan ve 2,71 gr/cm³ yoğunluğa sahip A-380 tipi alüminyum alaşımı külçelerden kesilerek kullanılmıştır.

Külçe halinde bulunan ve bileşimi Çizelge 7.1'deki gibi olan A380 alaşımı 1000 g tartılarak ergitme potasına konmuştur. Pota, ergitme fırınına (Şekil 7.5) konarak 3 ayrı yoğunluktaki modeller için 680 °C 700 °C 720 °C 740 °C 760 °C 780 °C ve 800 °C 'de yedi ayrı sıcaklıkta döküm yapılmıştır. Şekil 7.6'da döküm işlemi görülmektedir. Şekilde yapılan döküm şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.4'te deneysel çalışmalar sırasında yapılan dökümler şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 7.7, 7.8 ve 7.9'de farklı sıcaklıklarda elde edilen döküm parçalar görülmektedir.

Çizelge 7. 1 A380 Alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Al
0,39	7,98	3,02	0,19	0,30	Kalan



Şekil 7. 4 Deneysel çalışma kapsamında yapılan dolu kalıba döküm işleminin şematik gösterimi



Şekil 7. 5 Ergitme Fırını içerisinde ergitme işlemi



Şekil 7. 6 Döküm İşlemi



Şekil 7. 7 720 °C’de yapılan dökümde elde edilen sırasıyla 26,2 kg/ m³, 16.3 kg/ m³, 8,4 kg/ m³ yoğunluğa sahip parçalar



Şekil 7. 8 760 °C’de yapılan dökümde elde edilen edilen sırasıyla 26,2 kg/ m³,16.3 kg/ m³,
8,4 kg/ m³ yoğunluğa sahip parçalar



Şekil 7. 9 780 °C’de yapılan dökümde elde edilen edilen sırasıyla 26,2 kg/ m³,16.3 kg/ m³,
8,4 kg/ m³ yoğunluğa sahip parçalar

7.6 Arşimet prensibi ile yoğunluğun belirlenmesi

Döküm parçaların yoğunluklarının belirlenmesi için Arşimet testi uygulanmıştır. Parçanın havada ve suda ağırlıkları alınarak Arşimet ilkesine göre yoğunlukları hesaplanmıştır. Köpük modellerin yoğunluğunun ölçülmesinde Precisa 205 A SCS marka hassas terazi ve yoğunluk ölçme aparatı kullanılmıştır.

7.7 Numune Hazırlama

Döküm parçalarının uç kısımlarından Şekil 8.10'da gösterildiği gibi 15x15mm boyutlarında parçalar kesilerek zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama işlemi sırasıyla 300-600-800-1000 ve 2000 Mesh zımparalarda gerçekleştirilmiştir. Sonrasında numuneler elmas pasta ve çuha ile parlatılmıştır. Numunelere parlatma işlemi sonrası kaliteli görüntü alabilmek için dağlama işlemi uygulanmıştır.



Şekil 7. 10 Görüntü ve mikroyapı analizi için numuneden alınan parça

7.8 Görüntü Alma

Numunelerin 3 boyutlu görüntülerini alma ve porozite değerlendirmesi yapabilmek adına steryo mikroskop ile her numuneden birer adet görüntü alınmıştır.

Numunelerden görüntü almak için Nikon marka SMZ 645 model steryo mikroskop kullanıldı.

7.9 Brinell Sertlik Ölçümü

Numunelere Brinell sertlik cihazında 2,5 mm bilya çapı ile 62,5 Kgf yük uygulanmıştır. Aşağıdaki formüle göre sertlik değerleri hesaplanmıştır.

$$BSD = \frac{P}{A} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

P: Deney Yüğü(Kgf)

y: İzin alanı

D: Bilya çapı(mm)

d: İz çapı(mm)

SONUÇ VE ÖNERİLER

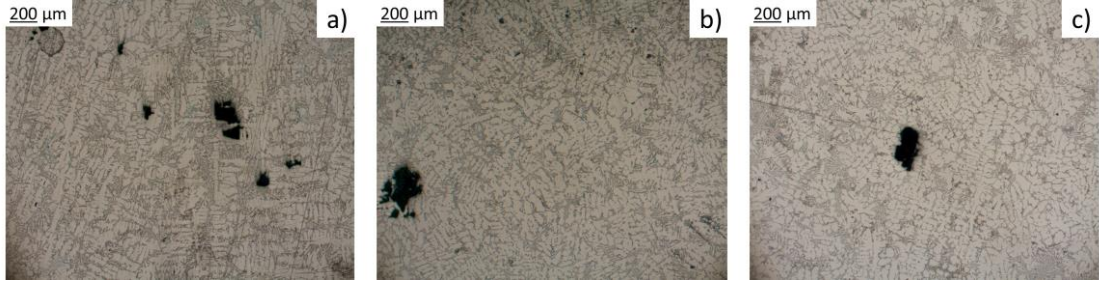
8,4 kg/m³, 16,3 kg/m³ ve 26,2 kg/m³ yoğunluklarına sahip köpük model kullanarak 680 °C 700 °C 720 °C 740 °C 760 °C 780 °C ve 800 °C lerde yapılan dökümlerde elde edilen numunelere yapılan sertlik ölçüm değerleri, yoğunluk ölçüm değerleri, ışık mikroskobu ile alınan mikroyapı görüntüleri ve steryo mikroskop ile alınan mikroyapı görüntüleri aşağıda verilmiştir;

Ölçülen yoğunluk değerleri Çizelge 8.1’de gösterilmiştir.

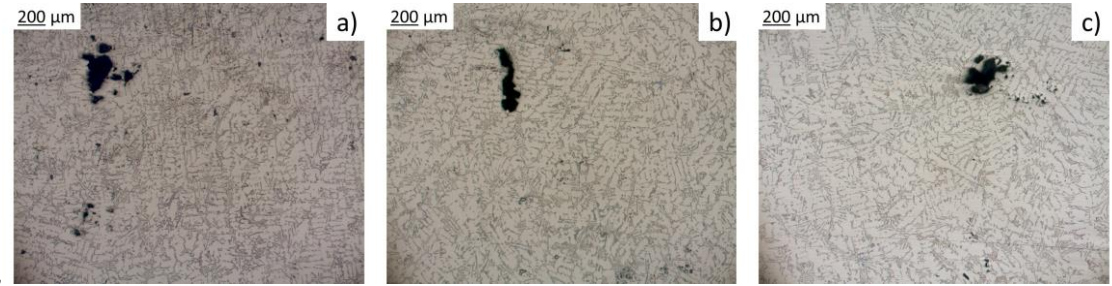
Çizelge 8. 1 Ölçülen Yoğunluk Değerleri

Sıcaklık (°C)	Model Yoğunluğu(kg/ m ³)	Döküm Yoğunluğu (gr/cm ³)
680	8,4	2,62920
	16,3	2,64074
	26,2	2,63526
700	8,4	2,63128
	16,3	2,62067
	26,2	2,64128
720	8,4	2,61242
	16,3	2,62784
	26,2	2,62691
740	8,4	2,64310
	16,3	2,66130
	26,2	2,62940
760	8,4	2,59131
	16,3	2,62299
	26,2	2,61526
780	8,4	2,61932
	16,3	2,65900
	26,2	2,64978
800	8,4	2,67827
	16,3	2,67637
	26,2	2,67715

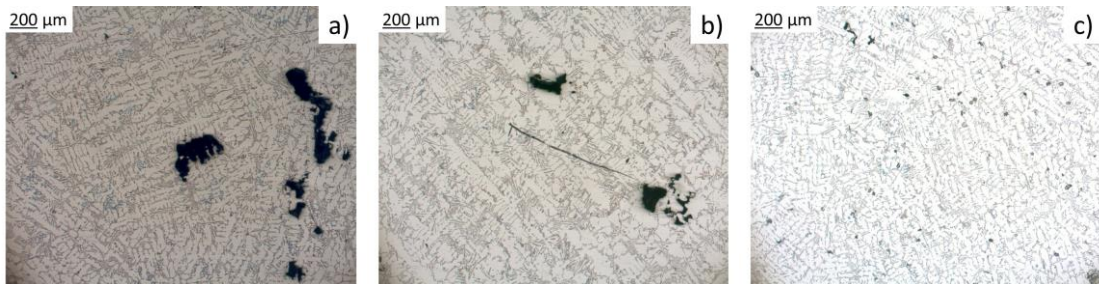
Işık mikroskobu ile alınan görüntüler Şekil 8.1, Şekil 8.2, Şekil 8.3, Şekil 8.4, Şekil 8.5, Şekil 8.6 ve Şekil 8.7’de gösterilmiştir.



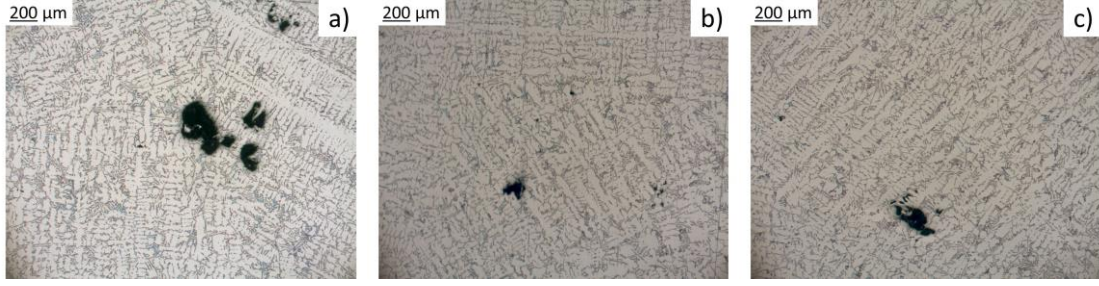
Şekil 8. 1 a)680 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)680 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)680 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.



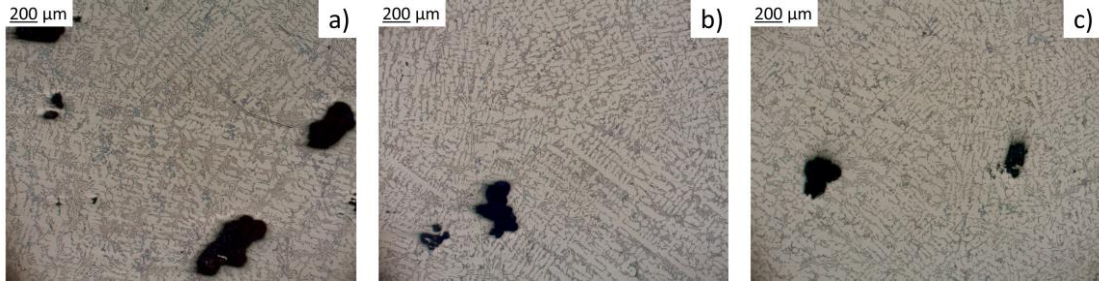
Şekil 8. 2 a)700 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)700 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)700 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.



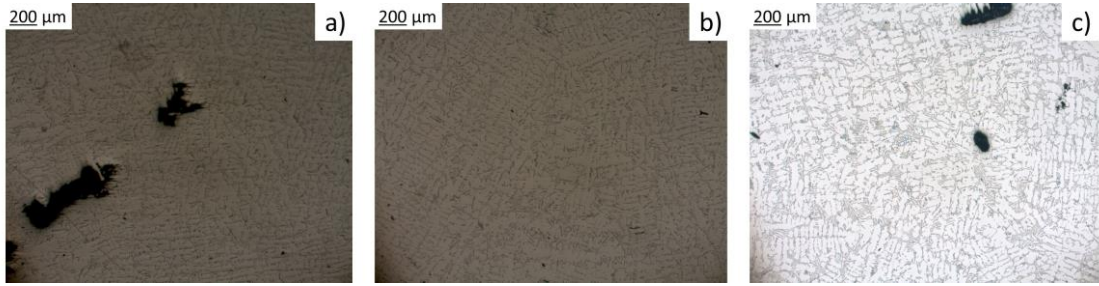
Şekil 8. 3a)720 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)720 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)720 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü



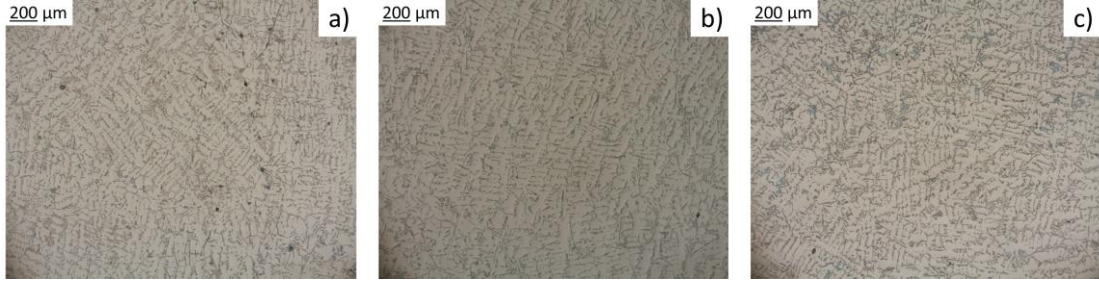
Şekil 8. 4 a)740 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)740 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)740 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.



Şekil 8. 5 a)760 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)760 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)760 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.

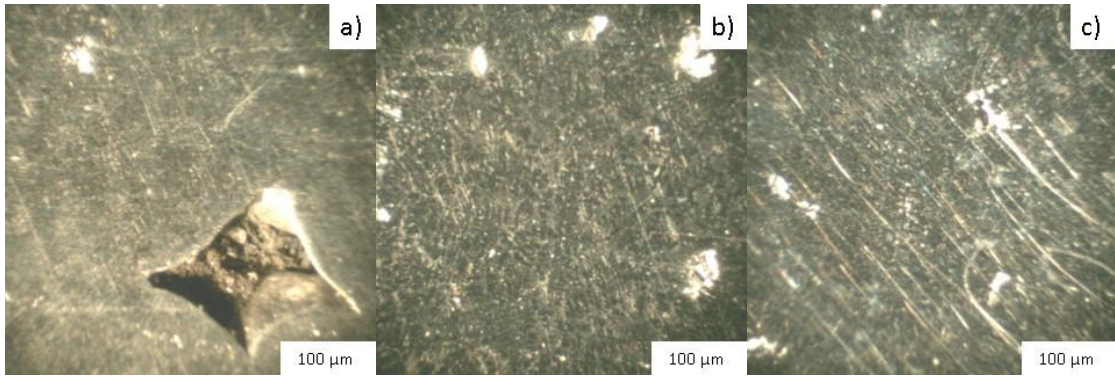


Şekil 8. 6 a)780 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)780 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)780 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.

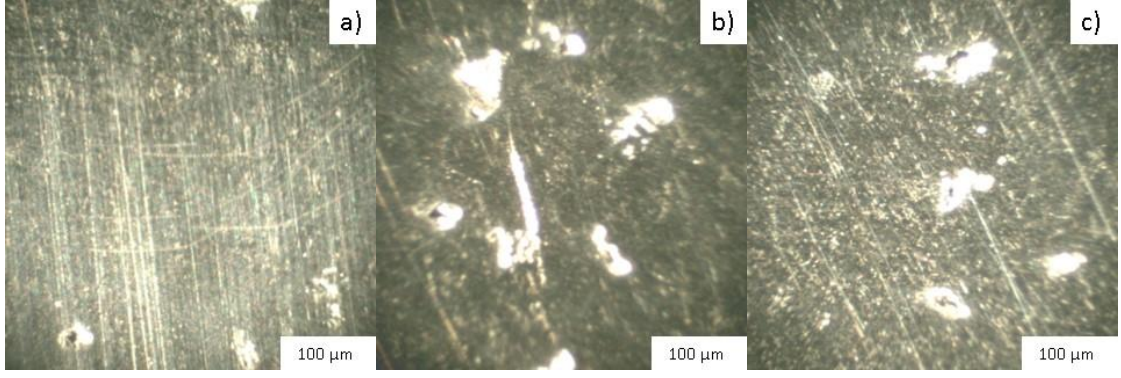


Şekil 8. 7 a)800 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, b)800 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü, c)800 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından ışık mikroskobu ile alınan görüntü.

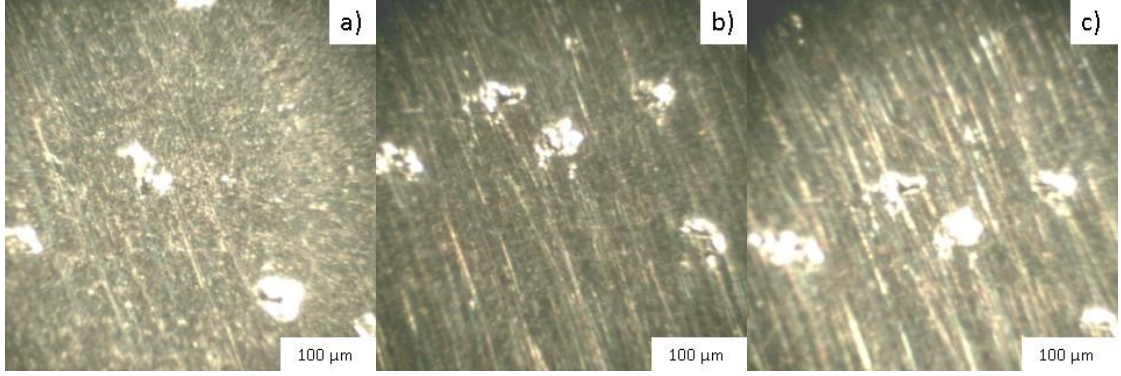
Steryo mikroskop ile alınan görüntüler Şekil 8.8, Şekil 8.9, Şekil 8.10, Şekil 8.11, Şekil 8.12, Şekil 8.13 ve Şekil 8.14’de gösterilmiştir.



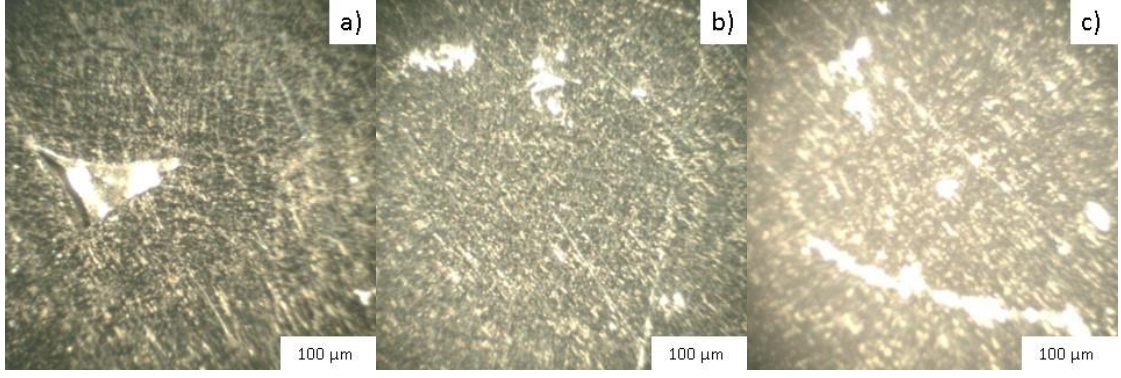
Şekil 8. 8 a)680 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)680 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)680 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.



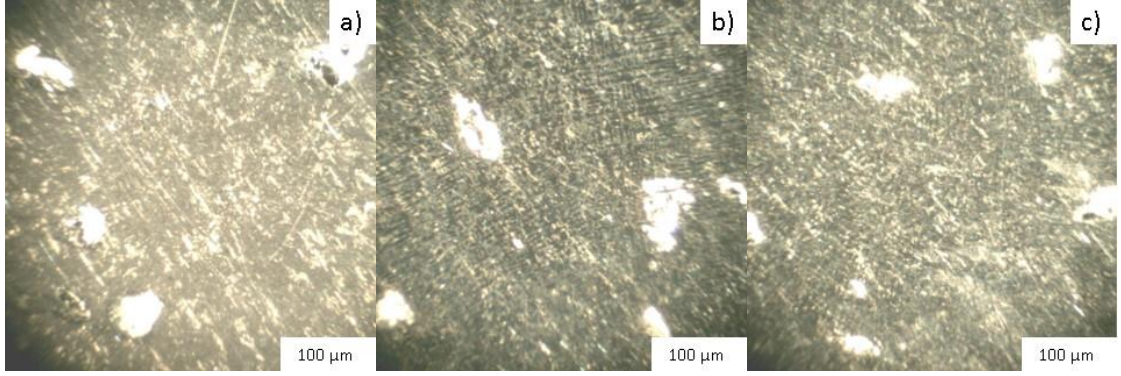
Şekil 8. 9 a)700 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)700 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)700 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.



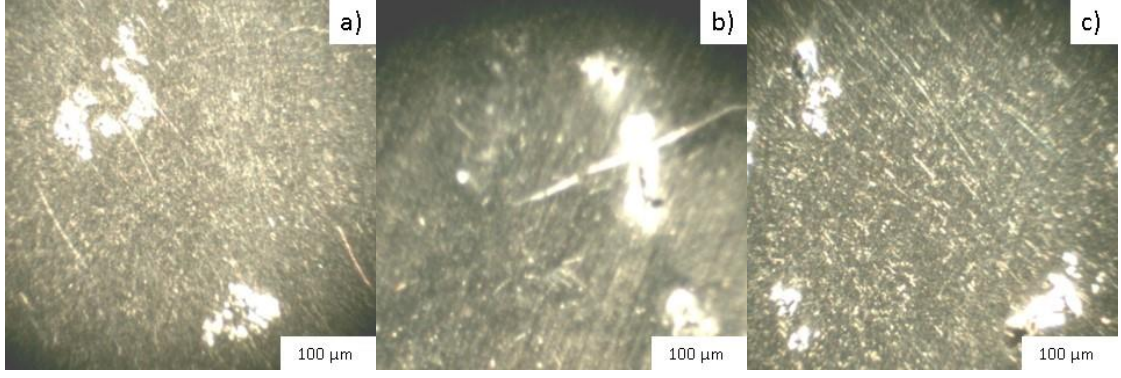
Şekil 8. 10 a)720 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)720 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)720 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.



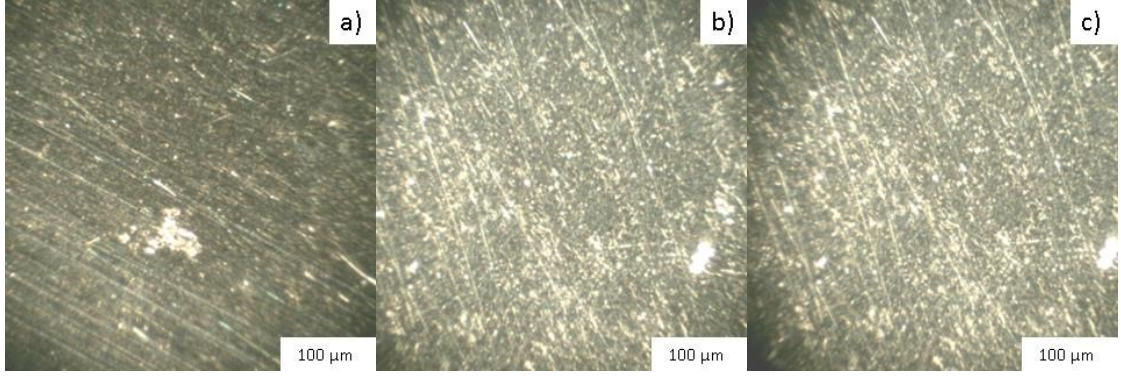
Şekil 8. 11 a)740 °C- 8.4 kg/m EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)740 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)740 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.



Şekil 8. 12 a)760 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)760 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)760 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.



Şekil 8. 13 a)780 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)780 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)780 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.



Şekil 8. 14 a)800 °C- 8.4 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, b)800 °C-16.3 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü, c)800 °C-26.2 kg/m³ EPS ile yapılan döküm parçasından steryo mikroskop ile alınan görüntü.

Ölçülen sertlik değerleri Çizelge 8.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 8. 2 Ölçülen Sertlik Değerleri

Sıcaklık (°C)	Model Yoğunluğu(kg/m ³)	Ölçülen Sertlik Değeri (HB) (±2)
680	8,4	56.2
	16,3	64.4
	26,2	63.4
700	8,4	64
	16,3	61.6
	26,2	62
720	8,4	63.2
	16,3	60
	26,2	62.2
740	8,4	63
	16,3	60
	26,2	61.6
760	8,4	60
	16,3	60.2
	26,2	61.2
780	8,4	61.6
	16,3	68.2
	26,2	66.8
800	8,4	66.4
	16,3	71
	26,2	65.8

- Döküm parçalardan elde edilen numunelerden yapılan yoğunluk ölçümleri genel olarak incelendiğinde 680 °C'tan 780 °C'a kadar çok belirgin bir değişimin olmadığı, bariz yükselmenin 800 °C'ta olduğu ilk olarak göze çarpmaktadır.
- 680 °C – 780 °C arasındaki dökümlerin yoğunlukları kendi içlerinde karşılaştırıldığında orta (16 kg/m^3) yoğunluğa sahip köpük model kullanılarak gerçekleştirilen dökümlerde yoğunlukla metal yoğunluğunun diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.
- Başlangıçta, düşük ($8,4 \text{ kg/m}^3$) yoğunluğa sahip model ile dökümlerde polimer köpüğün uzaklaşması esnasında daha az gaz çıkışı olacağı ve bununla bağlantılı olarak daha düşük porozite oluşacağı öngörülmesine rağmen deneysel sonuçlar bunun tersini göstermiştir. Bu durumun sebebi araştırılırken yapılan ışık metal mikroskobu ve steryo mikroskop incelemelerinde düşük ($8,4 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklu modelle dökülmüş numunelerde diğer numunelerde rastlanmayan büyük boyutlu boşlukların olduğu farkedilmiştir. Boşlukların şekilsel değerlendirmesi yapıldığında bu boşlukların küresel polimer köpük tanelerinin temas bölgesindeki boşluklara benzediği anlaşılmıştır. Özellikle Şekil 8.8 a. ve 8.11 a. da bu boşluklar çok belirgindir. Bu durumda, sıvı metalin bu ara boşlukları tam olarak dolduramadığı belirlenmiştir.
- Düşük ($8,4 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklu köpüklerde küresel taneler orta (16 kg/m^3) ve yüksek ($26,2 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklu köpüklere göre daha büyüktür, dolayısıyla aralarındaki boşluklar da daha geniştir. Bu boşlukların tam olarak doldurulamaması düşük ($8,4 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklu model kullanıldığında metal yoğunluğunun da düşük kalmasına sebebiyet vermektedir.
- Dolu kalıba dökümde her ne kadar çok hafif köpük modeller kullanılsa da sıvı metalin akış ve soğuma davranışları geleneksel içi boş kalıplara yapılan dökümlerden belirgin olarak farklıdır. Sıvı metal, köpük modeli uzaklaştırırken sıcaklığı ve dolayısıyla akışkanlığı düşmektedir sıvı metalin önünde bir geri basınç oluşmaktadır. Alüminyum alaşımlarının dökümü gibi demir esaslılara göre çok daha düşük sıcaklıklarda yapılan dökümlerde bu durum büyük bir önem arz etmektedir. Azalan akışkanlığın polimer taneleri arasındaki boşlukların tam olarak doldurulmasına engel olduğu düşünülmektedir.

- Yüksek ($26,2 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklu modelde ise fazla gaz oluşumu ve bunun tam olarak uzaklaşamaması metal yoğunluklarının düşmesine neden olmaktadır. Gazın uzaklaşmayıp hapsolması, yüksek ($26,2 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklu köpüğün sıvı metalin önünde daha yüksek bir geri basınç oluşturmaları sonucunda yine sıvı metalin sıcaklığının ve akışkanlığının düşmesiyle ilişkilendirilebilir.
- Köpük tanelerinin ve arasındaki boşlukların nispeten küçük olması yoğunluğun da çok yüksek olmaması ve aşırı gaz oluşumunun meydana gelmemesinden dolayı orta (16 kg/m^3) yoğunluğa sahip modelde bir denge hali söz konusudur ve görece daha yüksek metal yoğunlukları sağlamıştır.
- Deneysel çalışmalarda denenen en yüksek döküm sıcaklığı olan $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ta her üç model tipi için de yoğunluk değerleri hemen hemen eşitlenmiş durumdadır. A380 alaşımı için yüksek kabul edilebilecek olan bu sıcaklıkta, artan akışkanlık ve katılaşma süresine bağlı olarak; düşük ($8,4 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklu modelde taneler arası boşluklar daha iyi doldurulmuş ve yüksek ($26,2 \text{ kg/m}^3$) yoğunluklu modelde de artık gazların uzaklaşması için zaman kalmıştır. Bu sebeple her üç model için metal yoğunlukları hem yükselmiş hem de denk duruma gelmiştir. Yoğunluk artışının ve üç model tipinde yoğunluğun denkleşmesinin daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmeyip $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ta gerçekleşmesi bu sıcaklığın A380 alaşımı için limit (kritik) bir sıcaklık olduğunu göstermektedir. Tabi ki bunu genellemek doğru olmayacaktır çünkü bu sıcaklık parça şekli ve boyutundan bağımsız değildir.
- Gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde de belirgin fark özellikle $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ta yapılan dökümlerde ortaya çıkmıştır. Artan yoğunluğa ve düşen porozite içeriğine bağlı olarak en yüksek sertlik 71 HB olarak bu grubun orta (16 kg/m^3) yoğunluklu döküm numunesinde ölçülmüştür.
- Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar göstermiştir ki düşük sıcaklıklarda dökülen alüminyum alaşımlarının dolu kalıba döküm uygulamalarında köpük model yoğunluğu ile döküm parçanın yoğunluğu ve porozite içeriği yakından ilişkilidir. Alüminyum alaşımlarının dökümü söz konusu olduğunda porozite oranını azaltabilmek için çok düşük ($8,4 \text{ kg/m}^3$) ve çok yüksek ($26,2 \text{ kg/m}^3$) model yoğunluklarından kaçınılmalıdır. Bir denge hali sağlayan orta (16 kg/m^3) yoğunluklu köpük modellerin

tercih edilmesi faydalı olacaktır. Böyle bir seçim yapmak mümkün değilse döküm sıcaklığını arttırmak poroziteyi düşürmek için bir seçenek olabilir. Elbette bu sıcaklığın limitinin çalışılan alaşım için en yüksek yoğunluğu veren en düşük sıcaklık olması gerekmektedir. Aşırı yüksek sıcaklıklar sıvı fazda çekmeyi (büzülme) ve gaz çözünürlüğünü arttıracaktır. Ayrıca döküm tane yapısını, segregasyon oluşumunu ve mekanik özellikleri kötü yönde etkileyebilir.

- [1] Brown, J.R., (1992). "The Lost Foam Casting Process" *Metals Mater*, 8:550-555.
- [2] Liu, J., Ramsay, C.W. ve Askelans, D.R., (1997). "Effects of Foam Density and Density Gradients on Metal Fill in the LFC Process", *AFS Transactions*, 105:435-442.
- [3] ASM, (1988). *ASM Handbook 9 (15): Casting, Ninth Edition*.
- [4] Lessiter, M.J., (2000). "A Look Back at the 20 Century - Lost Foam Casting", *Modern Casting*, 90 (11): 54-55.
- [5] Monroe, R.W., (1992). "Expandable Pattern Casting", *American Foundrymen's Society*, 96-97.
- [6] Barone, M.R. ve Caulk, D.A., (2005). "A Foam Ablation Model for Lost Foam Casting of Aluminium", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48:4132-4149.
- [7] Piwonika, T.S., (1990). "A Comparision of Lost Foam Casting Processes", *Materials & Design*, 11(6):283-290
- [8] Campbell, J., (1995). *Castings*, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford.
- [9] Liu, Z.L., Hu, J.Y. ve Wang, Q.D., (2002). "Evauation of The Effect of Vacuum on Mold Filling in the Magnesium EPC Process", *J Mater Process Tech*, 120(1-3):94-100
- [10] Campbell, J., (2000). "The Concept of Net Shape for Castings", *Materials & Design*, 21: 373-380.
- [11] Bates E.C., Griffin, J. ve Littleton, H., (1994). "Expendable Pattern Casting Process Manual", *American Foundrymen's Society*, Chicago.
- [12] Zitian, F., Wenming, J., Fuchu, L. ve Botao, X., (2014). "Status Quo and Development Trend of Lost Foam Casting Technology" *China Foundry*, 11(4):296-307
- [13] Bushow, R. W., Cahn, M. C., Flemings, B. I., Kramer, E. J. ve Mahajan S., (2001). *Encyclopedia of Materials: Scienceand Technology*, First Edition, 8, Pergamon, Oxford.

- [14] Littleton H. ve Bates C. E., (1998). "Recent Advances In Understanding And Controlling The Lost Foam Casting Process", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam - Showcasing the Process, 27-29 October 1998, Birmingham, 169-198.
- [15] Sun, W.L., Littleton H.E., ve Bates C.E., (2002). "Real-time X-ray Investigationson Lost Foam Mold filling" Trans. AFS, 1347-1356.
- [16] Smith, B.V. ve Biederman, S., (2000). "Examining Lost Foam's White Side", AFS Modern Casting, 90(8):30-34.
- [17] Huang, T., Huang, N., ve Lv, Z., (2004). "Lost Foam Casting Technology", China Machine Press, Beijing.
- [18] Sun, W.L., Littleton, H.E. ve Bates, C.E., (2002). "Real-time X-ray investigationson Lost Foam Mold Filling", Trans. AFS, 110:1347-1356.
- [19] Austin T.E., (1998). "Tooling for Lost Foam Casting", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam - Showcasing the Process, 27-29 October 1998, Birmingham, 57-61.
- [20] Petitbon E.U., (1998). "Successful Results From Lost Foam Castings", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam - Showcasing the Process, 27-29 October 1998, Birmingham, 133-164.
- [21] MEGEB, (2006). Strafor ve Poliester Modelleme ve Kalıpları, Ankara.
- [22] Warner, M.H., Miller, B.A. ve Littleton, H.E., (1998). "Pattern Pyrolysis Defect Reduction in Lost Foam Castings", AFS Transactions, 10-13 May 1998, 106:777-785.
- [23] Fata Aluminum, Company Profile Lost Foam Technology, 44, Turin, Italy.
- [24] Dudenhofer, R.A., (1998). "Coatings for Lost Foam Casting Production-Use and Control in the Foundry", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam - Showcasing the Process, 27-29 October 1998, Birmingham, 82-95.
- [25] Liang, G., (1990), Full Mold Casting, Shanghai Science Technology Press, Shanghai.
- [26] Kuşkonmaz, N., Sarıdikmen, H. ve Öndey, M., Dolu Kalıba Döküm Teknolojisi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Askeland, D.R., Tsai, H.L. ve Fu J., (1995) "Mold Filling in Thin-Section Castings Produced by the EPC Process", AFS Transactions, 23-26 April 1995, 103:817-828.
- [28] Fan, Z., Jiang W., ve Zhao Z., (2011). "New Technological Advance in Lost Foam Casting Process for Al Alloy and Mg Alloy", Materials, 30(7):38-47
- [29] Hunter, H., (1998). "1997 Market Survey of Lost Foam Foundries", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam - Showcasing the Process, 27-29 October 1998, Birmingham, 2-50.

- [30] Herrin, M., (1998). "Successes in Precision Lost Foam Casting at Willard Industries", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam - Showcasing the Process, 27-29 October 1998, Birmingham, 102-111.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Seçil KARA
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.04.1990 ADANA
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :secil.kara01@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Seyhan Rotary Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015-Halen	Kale Kalıp Makina ve Kalıp San. A.Ş.	Kalite Kontrol Mühendisi

2013-2015	Yapım Elektrik San. Tic. A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2012-2012	Aslanlar Alüminyum A.Ş.	Stajyer
2011-2011	İsdemir Demir Çelik A.Ş.	Stajyer

YAYINLARI

Bildiri

Kara S., Güler K.A. ve Kısasöz A., (2015). “Lost Foam Castings with EPS Foam Patterns in Different Densities”, International Conference on Advances in Mechanical Engineering ICAME'15, İstanbul.