

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOLU KALIBA DÖKÜM TEKNOLOJİSİ VE
UYGULANMASI**

Metalurji Müh. Cem ULUÇ

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr.Nilgün KUŞKONMAZ

İSTANBUL, 2006

KISALTMA LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. METAL DÖKÜMÜ VE HMD PROSESİ.....	3
2.1 Döküm Prosesi.....	3
2.2 Klasik Kalıp Yapımı	4
2.3 Harcanabilen Model Dökümü	6
2.1.2.1 Katı Kalıntı Uzaklaştırma	4
2.1.2.2 Sıvı Kalıntı Uzaklaştırma	6
3. HARCANAN MODEL İLE DÖKÜM YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ	10
3.1 Model Kalıplama	12
3.2 Model Olgunlaştırma	13
3.3 Model Kesitlerinin Toplanması	13
3.4 Model Kaplama	14
3.5 Kum Doldurma ve Sıkıştırma	14
3.6 Döküm	14
3.7 Temizleme ve Bitirme	15
3.8 Diğer HMD Yöntemleri.....	15
3.8.1 Bağlı Kum.....	15
3.8.2 Seramik Kabuk	16
4. KÖPÜK MODELLERİN ÖZELLİKLERİ.....	17
4.1 Kompozisyon.....	17
4.2 Yoğunluk ve Mekanik Özellikler	18
4.3 Bozunma	21
4.4 Diğer Özellikler	23
5. KÖPÜKLERİN ÖNŞİŞİRİLMESİ.....	24
5.1 Polistiren Tanelerinin Önşişirilmesi	24
5.2 Ekipmanlar.....	26
5.2.1 Vakum-Kuru Önşişirici	26
5.2.2 Direk buhar Önşişirici	28
5.3 Tanelerin Islah Edilmesi	30

6.	KÖPÜK MODELLERİN ÜRETİMİ.....	32
6.1	Kalıp	32
6.2	Model Kalıplama	34
6.2.1	Ön Isıtma	35
6.2.2	Doldurma	35
6.2.3	Buhar Çemberi.....	36
6.2.4	Soğutma	37
6.2.5	Çıkarma	39
6.3	Model Olgunlaştırma	42
6.4	Polistiren Kütüklerden İşleme Yoluyla Model Yapımı	44
6.5	Alternatif Köpük Malzemeleri.....	45
7.	MODEL PARÇALARININ TOPLANMASI	48
7.1	Yapıştırma Bağlantısı	48
7.2	Yapıştırıcı Bileşimi.....	49
7.3	Yapıştırıcı Tankı	49
7.4	Bağlanma İşlemi	49
8.	MODEL SALKIMININ TOPLANMASI	51
8.1	Özellikler	51
8.2	Formülasyonlar	52
8.3	Yoğunluk	53
8.4	Uygulama.....	53
9.	KÖPÜK DÖKÜM SALKIMININ KUMLA DESTEKLENMESİ	55
10.	DOLU KALIBA DÖKÜM.....	51
10.1	Dolu :Kalıba Döküm Yönteminin Ekonomik Değerlendirmesi	57
11.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	63
11.1	Kullanılan Malzemeler	63
11.1	Kullanılan Malzemeler	63
11.1.1	Polistiren	63
11.1.2	Polistiren Modelin Yüzey Kaplamasında Kullanılan Refrakter	63
11.1.3	Yapıştırıcı	64
11.1.4	Polistiren Modellerin Kalıplamasında Kullanılan Dereceler.....	65
11.1.5	Döküm Havuzu	65
11.1.6	Kum	65
11.2	Kullanılan Alet ve Cihazlar	65
11.3	Deneylerin Yapılışı.....	71
11.3.1	Polistiren Model Üretimi	71
11.3.2	Polistiren Modellerin Refrakterle Kaplanması	75
11.3.3	Modellerin Derece İçerisinde Serbest Kumla Kalıplanması	77

11.3.4	Döküm	77
12.	DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER.....	82
	KAYNAKLAR.....	85
	ÖZGEÇMİŞ.....	87

KISALTMA LİSTESİ

GM General Motors Company

ABD Amerika Birleşik Devletleri

EPC Expandable Pattern Casting

HMD Harcanan Model Dökümü

EPS Genleşmiş Polistiren

PMMA Polimetilmetakrilat

EPMA Genleşmiş Polimetil Metakrilat

EPAC Genleşmiş Polialkilin karbonat

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Dolu kalıpla dökümün kum kalıpla dökümle karşılaştırması	4
Şekil 2.2	Seramik kaplama için hazır halde polistiren modeller	6
Şekil 3.1	H.M.D prosesinin şematik gösterimi	11
Şekil 4.1	Polistiren tanelerin üretim akış diyagramı	17
Şekil 4.2	Ön şişirilmiş tanelerin hücre yapısı.....	18
Şekil 4.3	Yoğunluğun gerilme mukavemeti üzerine etkisi	19
Şekil 4.4	Yoğunluğun kırılma mukavemeti üzerine etkisi.....	19
Şekil 4.5	Yoğunluğun eğme mukavemeti üzerine etkisi.....	20
Şekil 4.6	Yoğunluğun basma dayanımına etkisi ve deformasyon değerleri	20
Şekil 4.7	Sabit baskıda sürünme	21
Şekil 4.8	Sabit baskıda sürünme	21
Şekil 5.1	Kapalı bir taşıyıcıda polistiren tanelerden muhtemel pentan kaybı.....	24
Şekil 5.2	1.5 ve 2.6 mm'lik polistiren tanelerin su buharı ile ön şişirilmesi.....	26
Şekil 5.3	Proses akım şeması	28
Şekil 5.4	Direkt-buhar önşişiricide E.P.S tanelerinin şişirilme adımları	29
Şekil 6.1	Kalıplanabilir minimum kesit kalınlığı.....	33
Şekil 6.2	Soğuk kalıptan kaynaklanan düşük yüzey kalitesi.....	37
Şekil 6.3	Model kesitinde fazla genişleme.....	38
Şekil 6.4	Model kesitinde çıkarıcı izi.....	39
Şekil 10.1	Kohler motoru.....	60
Şekil 10.2	Alüminyum için dolu kalıba dökümün pazar payının değişimi.....	61
Şekil 10.3	Dökme demir için dolu kalıba döküm yönteminin pazar payının değişimi.....	61
Şekil 10.4	Çelik için dolu kalıba döküm yönteminin pazar payının değişimi	62
Şekil 11.1	Kaplama Refrakteri olarak kullanılan Polytop FS 6	64
Şekil 11.2	Termoplastik esaslı yapıştırıcı	64
Şekil 11.3	Döküm yapılan dereceler	65
Şekil 11.4	Polistiren ön genleştirme reaktörü	66
Şekil 11.5	Buhar üretim makinesi.....	66
Şekil 11.6	Alüminyum kalıp	67
Şekil 11.7	Alüminyum kalıp	67
Şekil 11.8	Refrakter çamurunun su ile karıştırılması için kullanılan karıştırıcı	68
Şekil 11.9	Titreşim makinesi.....	68
Şekil 11.10	Önşişirilmiş polistiren boncuklarının kararlaştırılması sırasında ve polistiren modellerin yüzeyindeki refrakterin kurutulması işleminde kullanılan etüv	69
Şekil 11.11	Polistiren modellerin refrakter kaplama kalınlığını belirleyen tarak	69
Şekil 11.12	İndüksiyon güç ünitesi	70
Şekil 11.13	Dökme Demir dökümlerinde kullanılan ergitme ocağı	70
Şekil 11.14	3 bar basınçta 45 saniye önşişirilmiş polistiren taneleri	72
Şekil 11.15	Polistiren model üretimi.....	73
Şekil 11.16	1.5 bar basınçta 80 – 90 saniye şişirilmiş polistiren modelleri	74
Şekil 11.17	1 bar basınçta 70 saniye şişirilmiş polistiren modeli	74
Şekil 11.18	Yolluk ve çıkıcısı yapıştırılmış ve maskeleme bandıyla çevrilmiş polistiren modelleri	75
Şekil 11.19	Refrakter kaplama kalınlığının eklenen su oranına bağlı olarak değişimi.....	76
Şekil 11.20	Refrakterle kaplanmış kalıplamaya hazır polistiren modeller	76
Şekil 11.21	Döküme hazır derece içerisine yerleştirilmiş polistiren modeli	77
Şekil 11.22	Dolu kalıba döküm yöntemiyle elde edilmiş alüminyum parça	78

Şekil 11.23	Eriyik metale aşılama işlemi.....	79
Şekil 11.24	Küresel grafitli dökme demirin döküm anı.....	79
Şekil 11.25	Dolu kalıba döküm yöntemiyle üretilen küresel grafitli dökme demir.....	80
Şekil 11.25	Dolu kalıp döküm yöntemiyle dökülmüş paslanmaz çelik.....	81

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Replicast CS prosesinde kabul edilebilir toleranslar	7
Çizelge 6.1	Kalıplama çevrim zamanları	40
Çizelge 6.2	Kontrol altında tutulması gereken önemli etkenler.....	41
Çizelge 6.3	1399 °C ‘de polimerlerin karbürizasyon derecesi.....	46
Çizelge 10.1	A.B.D 'de sanayi dallarına göre dolu kalıba döküm yöntemini kullanılarak yapılan üretim miktarları.....	57
Çizelge 10.2	Dolu kalıba döküm yöntemi ile yapılan metal üretim miktarları.....	60
Çizelge 11.1	Polistirenin fiziksel ve kimyasal özellikleri	63
Çizelge 11.2	Polistren Modelin Kaplanmasında Kullanılan Polytop FS 6’ nın özellikleri ...	63
Çizelge 11.3	100°C’ de 3 bar buhar basıncında süreye bağlı olarak oluşan önşişirilmiş polistiren boncukların yoğunluk değişimi	71
Çizelge 11.4	100°C’ de 2 bar buhar basıncında süreye bağlı olarak oluşan önşişirilmiş polistiren boncukların yoğunluk değişimi	72
Çizelge 11.5	Polistiren model yapımında nihai şekil verilecek parçaya uygulanan basınç ve süreye bağlı olarak yüzey kalitesi	73
Çizelge 11.6	Al-Si (ETIAL-160) alaşımının kimyasal bileşimi	78
Çizelge 11.7	Dökme demirin dökümü için kullanılan pikin kimyasal bileşimi	78
Çizelge 11.8	Paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi	80

ÖNSÖZ

Balkan İleri Döküm Teknolojileri Merkezi bünyesinde yapılmış olan bu çalışmada bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Nihat Kınıkoğlu ve tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Nilgün Kuşkonmaz'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Rafet Yenihayat'a , Mega –Teknik firmasına , Koza Döküm Sanayi Ltd. Şti. nin sahibi Sayın Şahin Tosuner'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyler aşamasında bana yardımları ile destek olan çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Benim günlere gelmemi sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Metal döküm sanayisi gelişmiş ülkelerin bulundukları konuma ulaşmalarında kilit rol taşıyan bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm sanayi dalları direkt olarak yada dolaylı biçimde üretim sistemlerin bir parçası olarak döküm teknolojilerinden yararlanmaktadır. Özellikle otomotiv sanayisinde yaşanan gelişmelere paralel biçimde ,döküm sanayisinde önemli atılımlar kaydedilmiştir. Döküm sanayisi günümüzde artık basit şekilli katma değeri düşük ürünlerin üretiminden vazgeçerek , karmaşık şekilli pompa , pervane , silindir kafaları tarzında katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesi yönüne gitmektedir. (ASM Handbook , 1988 ; Lessiter , 2000 ; Monroe,1992)

Ergimiş metalin köpük modelli buharlaştırılması esasına dayanan dolu kalıba döküm yöntemi üzerine ilk patent 15 Nisan 1958’de H.F.Shroyer tarafından alınmıştır. H.F.Shroyer’in yaptığı ilk denemelerde polisitiren yalıtım plakalarından işlenerek köpük modeller yapılmış, etrafı bağlayıcı kumla doldurularak döküm yapılmıştır. Bu yöntem günümüzde halen büyük parçaların dökümünde kullanım alanı bulmaktadır. H.F. Shroyer patentini sonradan Grunzweig & Hartmann firmasına satmış ve yöntem 1962’de A.Wittmoser tarafından ticari kullanıma uygun hale getirilmiştir. Aynı yıl içinde M. Flemings uzun süre yöntemin ticari kullanıma ilgi duyan kuruluş bulamamış sadece Ford ve Rockefeller Fonları heykel döküm uygulamaları amacıyla yöntemin araştırma geliştirme sürecine mali destek sağlamışlardır. 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 düşürülmesi gerektiği için dolu kalıba döküm yöntemine olan ilgi çarpıcı biçimde artmıştır.” (ASM Handbook , 1988 ; Lessiter , 2000 ; Monroe,1992)

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 teknolojisinin kullanıldığı dökümhanesini devreye almıştır. 1989 yılında ise GM silindir kafalarının üretiminde , 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 kafalarının üretiminde bütün olarak dolu kalıba döküm teknolojisinin kullanıma 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. Avrupa’da isedolu kalıba döküm teknolojisinin gelişmesi A.B.D ’ ye göre oldukça geçtir. 1993 yılında CAGIVA GROUP bünyesindeki “Ferriere e Fonderie di Dongo” firması , Vulcan Eng. Comp. İle ortak olarak dökümhanesinin karlılığını ve verimini artırmak amacıyla 100 milyon dolarlık bir yatırım programı dahilinde dolu kalıba döküm teknolojisini kullanarak otomobil parçalarının üretimine başlamıştır. Dolu kalıba döküm tekniği literatürlerde 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 Dökümü” (Expendable Pattern Casting) adının kullanılmasına karar vermiştir. (Monroe , 1992)

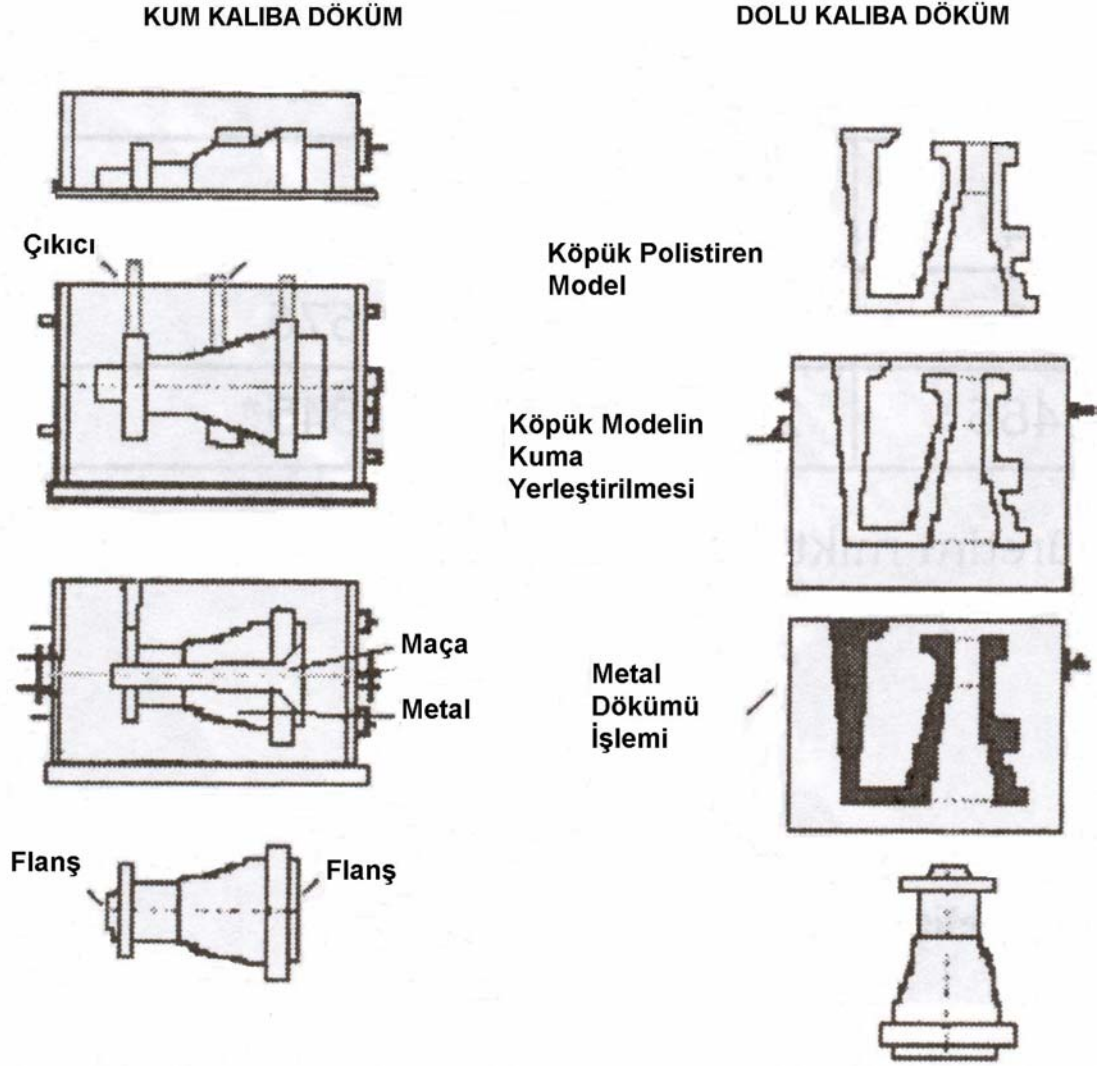
2. METAL DÖKÜMÜ VE HMD PROSESİ

2.1 Döküm Prosesi

Döküm işlemi sıvı metalin bir kalıp boşluğuna dökülmesi ve metalin arzu edilen şekilde katılaşmasına izin verilmesi ile yapılır. Metal dökümüne alternatif bir çok metal şekillendirme yöntemi vardır. Bir tanesi , bir metal bloğunun alınıp istenen şekle gelene kadar işlenmesidir. Diğerleri ise cıvata veya kaynak ile parçanın toplanmasıdır. Ayrıca metal parçaların bir şekilde sıkıştırılarak , işleme ile sonlandırılmasıdır. Ama parça büyük , karmaşık ya da malzeme kolayca dökülebiliyorsa , metal dökümü metal parçaların şekillendirilmesinde tercih edilen bir metot olur.

Kalıp yapımı methodu tüm metal döküm işlemlerinde geneldir. Döküm dizaynındaki tek sınırlayıcı faktör , dökümhanenin istenen parçanın kalıplarını üretebilme yeteneğidir. Klasik modelleme teknikleri dizayn , ekonomiklik ve dökümün tamlığı gibi hususlarda limitler koymaktadır , çünkü birçok metot yeniden kullanılabilen modeller kullanırki , döküm öncesi kalıptan dışarı alınması gereklidir. Bu yüzden modelin kalıptan uzaklaştırılmasına yeniden kullanılan modellerin dizaynında dikkat edilmesi gerekir.

Köpük modellerin kullanımı bu limitleri azalttığı için hem döküm kullanıcıları hemde üreticiler tarafından ilgi görmektedir. Köpük model dökümden evvel kalıptan uzaklaştırılmaz. HMD (EPC) dizayn mühendisine döküm işlemini geliştirmesi için ilave esneklik vermektedir. Bu yöntem her döküm uygulaması için uygun olmamasına karşın % 20-60 arasında maliyetlerde azalma sağlanır. Şekil 2.1 de Dolu kalıpla dökümün kum kalıpla dökümle karşılaştırması görülmektedir (Monroe , 1992)



Şekil 2-1 Dolu kalıpla dökümün kum kalıpla dökümle karşılaştırması (Monroe , 1992)

2.2 Klasik Kalıp Yapımı

Kalıp , sıvı metalin katılaşmasıyla beraber istenen şekilde tutar. Bu nedenle , kalıp son parçanın boyutsal tamliğini ve yüzey kalitesinin sağlar. Sıksık kalıplar , içsel boşlukları arzu edilen dökümde oluşması için maça taşırlar . Maçalar ayrıca boşluğun tamlığı ve yüzey kalitesini belirler. Maça ve kalıplar döküm yüzeyini oluştururken , metal penetrasyonuna ve sıvı metal ile reaksiyona dayanmalıdır .(ASM Handbook , 1988)

Maçalar ve kalıplar genelde bağlı kumdan yapılır. Bağlayıcı ise genel olarak kil , su ve yağ kum içindeki 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 dökümün kalıptan rahatça çıkarılmasını ve maçayı oluşturan kumun basitçe alınmasına imkan verir.(ASM Handbook , 1988)

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 düzgünlüğünün sağlanmasında etkisi vardır. Maça ve kalıpların yapımı ve birleştirilmesi mekanizması klasik kalıp yapım methodlarını sınırlamaktadır. Kalıp yapımının ilk aşaması kalıp ve maçaların şekillendirilmesinde kullanılacak aletlerin dizaynıdır. Alet yapımında katılma sıcaklığından soğuması esnasında dökümün çekmesine izin verecek biçimde çok az büyük boy yapılması gereklidir. (Monroe , 1992)

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.

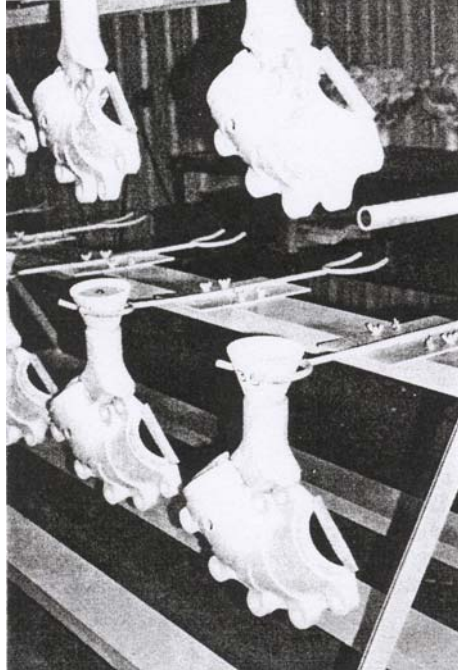
Kalıp modeli bir derece içine yerleştirilerek , derece bağlı kumla doldurulur. Bağlanmış kum derece içinde paketlenildikten sonra , model uzaklaştırılır ve kalıp içine maçalar yerleştirilir ve kalıp yarımları kapatılır. Kalıp , yolluk ve çıkıcı olarak adlandırılan kanallar içermektedir ; dökümün kalitesini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

Besleyici ve yolluklar , kalıp ve maça için döküm dizaynı ve şekillendirilmesi gözönünde tutulmalıdır. Yolluklar ayırma çizgisinde yerleştirilir ki ; kalıplamayı kolaylaştırırken , döküm üretiminin maliyetini azaltır. (ASM Handbook , 1988)

2.3 Harcanabilen Model Dökümü

Köpük modellerin kullanımı metal dökümlerinin üretiminde döküm işleminin ve son ürünün geliştirilmesi fırsatını yaratır. İşlem alüminyum , bronz , pirinç , dökme demir ve çelik dökümünde başarılı biçimde uygulanır. Yine de harcanabilen model dökümü prosesinin avantajları dökümler sadece HMD için dizayn edildiğinde tamamen anlaşılır. Köpük modellerin en popüler kullanımı , modelin bağlı olmayan kumda yerleştirilmesidir ki ; döküm esnasında köpük sıvı metal ile doldurulur. Döküm sırasında köpük modelin uzaklaştırılması

(ortadan kaldırılması) başarının temelidir. Köpüğün boşaltılmasındaki başarısızlık , demir içinde karbon hatasına ve alüminyum içinde kıvrım , katlanma ve her ikisinde de gözeneklilikle sonuçlanır. Alternatif olarak , köpük model bağlı kumda atılabilir bir model olarak kullanılabilir. Metal kalıpların basılması gibi sınırlı üretime sahip büyük dökümlerin yapımı ticari olarak bu yolla yapılır. Bağlı kum modele degecek şekilde paketlenerek sabitlenmeye bırakılır. Köpük , kalıp kapatılmadan ve döküm yapılmadan evvel uzaklaştırılır. Köpük modellerin kullanımı , diğer bir alternatifi olan hassas döküm yapımındaki balmumunun kullanımına benzerdir. Patentlenmiş proses Replicast CS olarak adlandırılır. Şekil 2-2 de seramik kaplama için hazır halde polistiren modeller görülmektedir.(Campbell , 1995)



Şekil 2-2 Seramik kaplama için hazır halde polistiren modeller (Campbell ,1995)

Köpük çevresinde kabuk inşa edilir ve seramik kabuk pişirildiğinde köpük yok edilir. Bu işlem hassas döküm için çok büyük olan parçaların üretimine adapte edilir. Çelik dökümünde sık sık bu iki yöntemden biri kullanılır. Replicast CS prosesinden beklenen boyutsal tamlik çizelge 2-1’de gösterilmiştir.

ÇİZELGE 2 -1 Replicast CS prosesinde kabul edilebilir toleranslar(Campbell ,1995)

Boyutlar	Tolerans
2.5 – 100 mm	0.25 mm (istenen boyuttan 0.75% fazlası)
101 – 300 mm	0.75 mm
300 – 600 mm	1.5 mm
Delik boyutu	0.25 mm
Delik konumu	0.75 mm

HMD prosesi , 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. HMD prosesi 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. (Campbell ,1995)

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 kompleks 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 döküm dizaynı sırasında en aza indirilir veya ortadan kaldırılır. Döküm üreticisi için , maça üretimi , kum karıştırma , kum dondurma veya uzaklaştırma için ayrı aletlerin ihtiyacının

olmamasını sağlar. Bunda maça kalabalığı , maça hasarları , maça ilişkili gözenekler veya maça kullanımından kaynaklanan problemler olmamaktadır. İçsel geçişlerdeki bağlı kumun ortadan kaldırılması ayrıca döküm için gerekli temizleme miktarında azaltmaktadır. Son ürünlerdeki temizleme miktarının en aza indirilmesi maça işlerinin , maça telleri ve yüzgeçlerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bazı raporlara göre temizleme maliyetleri % 80 oranında azalmaktadır. (Monroe , 1992)

HMD prosesinin diğer avantajı , normal ayırma çizgisinin ortadan kaldırılmasıdır. Karmaşık kısımlar , ayrı köpük parçalarının birbirine yapıştırılması ile elde edilen modele ihtiyaç duyar. Bu , normal dökümdeki ayırma çizgisinin yarattığı olumsuzluğa göre oldukça kabul edilebilir bir dezavantajdır. Kalıbın ayrılması sırasındaki bazı sınırlamalar , maça kullanımı ile çözülebilir. Klasik kalıplama pratiğinde , kalıp boşluğu daimi model ile yapılabilir. Bağlı kum ilave edilip kompakt hale getirildikten sonra kalıbın her bir yarısından dışarı çıkarılır. Kalıptan modelin çıkartılmasının anlamı , modelin uygun çıkarma açısı ile dizayn edilmiş olmasıdır. Aynı zamanda , ayırma çizgisi sınırlaması modelin kalıp içindeki yönünde dikte etmektedir. Yüzeyin yerleştirilmesindeki esneklik , işleme veya özellik ihtiyacı aranması durumunda avantaj iken bu durumda dökümün yerleştirilmesi , ayrılması ve kalıptan çıkartılması imkansızdır. Ayırma çizgisi ayrıca derece içinde dökümün yerleştirilmesi ve sayısını sınırlamaktadır. Yolluk çevresindeki döküm parçalarının yönelimi veya çoklu (katlı) seviyelerinin sık sık imkansız olması ve bunun her bir derecedeki döküm parçası sayısını sınırlamasıdır. (Monroe , 1992)

Ayırma çizgisi , bazen yolluk ve çıkıcının yerleştirilmesindeki esnekliği sınırlamaktadır. Bu durum yolluk ve çıkıcıların tam (doğru) olması gereken yüzey üzerinde yer almasına neden olabilir. Yolluk ve çıkıcıların uzaklaştırılması ; boyutsal sapmalara neden olur ki bu da işleme gibi uygulamalarla daha sonraki operasyonlarda düzeltilmesi gereken bir husustur.

Model değişmesi üst ve alt kalıpta 0,75 mm (0,030 inç) olarak izin verilir. Bu izin kalıp ile maçalar arasında beklenen düzensizliğinde tipik değeridir. HMD kullanımı bu değişimi elimine etmekte ve de bu klasik modelleme ve döküm prosesine göre daha tamlığı sağlayan bir prosesin oluşmasının bir nedenidir.

Normal kalıcı aletlerin bağlı kumla kullanımı , model ve maça kutularının aşınması ile sonuçlanabilir. Çünkü kum aşındırıcı olup , aletlerin aşınmasına neden olmaktadır. Bu agresif durumda değişimlere ve daha fazla boyutsal değişkenliklere yolaçar. Maçalar ve kalıplar veya kalıp yarıları arasındaki zayıf bağlantılar , metalin döküm esnasında bağlantılara nüfuz

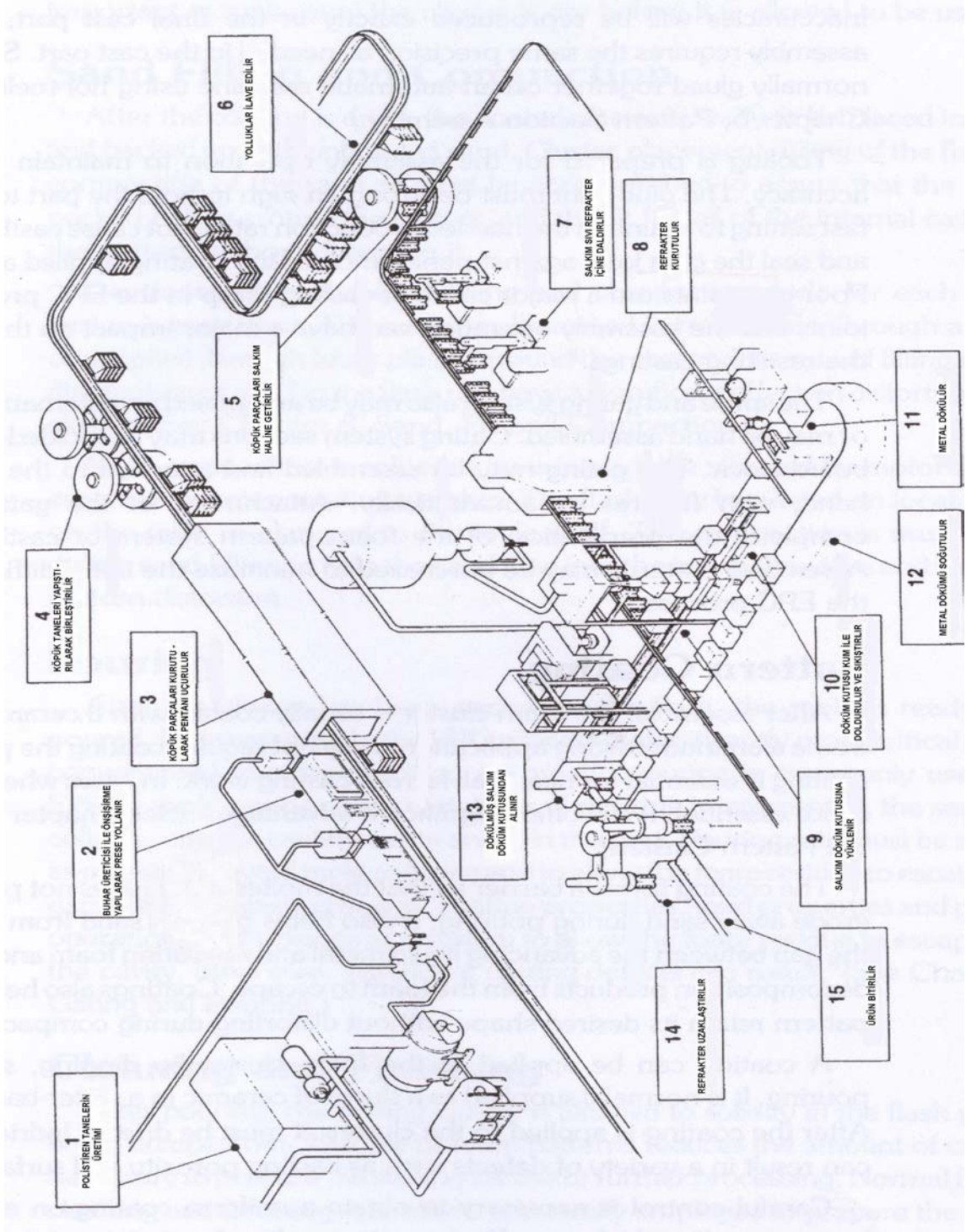
etmesine izin verir. Bu da metalin apak yapmasına neden olurki , bunlarda döküm sonrası giderilmelidir. Ayrıca apağın giderilmesi , dökümün boyutsal değişkenliğini arttırmaktadır. Köpük modellerin kullanımı bu sınırlamaları azaltırken , ayırma çizgisini engellemektedir.(ASM Handbook , 1988)

3. HARCANAN MODEL İLE DÖKÜM YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ

Bir parçanın H.M.D prosesi ile üretimine karar verildikten sonra köpük modelin çeşitli kesitlerini yapacağımız sistem ve ekipmanların dizaynı gerekir. Köpük modelin üretimi için aletin dizaynı önemlidir çünkü bu sistem ;

- Köpük model kalitesini ,
- Yüzey ve içsel olarak tanelerin kaynamasını ,
- Üretim çevrim süresini ,

belirlemektedir. Kalıp (alet) dizaynı basit veya kompleks olabilir. Köpük kesitinde büyük iç boşlukların yapımında katlanabilen maçalar bazen kullanılabilir. Ama karmaşık döküm dizaynında çeşitli köpük kesitlerin ayrı ayrı yapıp , birleştirmekle de (yapıştırma) final modeli oluşturmak mümkündür. Kalıp (alet) dizaynı ve yapımı maliyetli ve uzun zaman alabilmektedir. Prototip veya az sayıda parça için köpük blokların kesilip işlenerek ve elle yapıştırma ile model yapılabilir. Bu kullanışlı ama üretilen dökümlerin yüzey kaliteleri ve tamlığı düşük olup , elle yapılan yapıştırma hatalara neden olabilir. (Monroe , 1992) Şekil 3-1 de H.M.D prosesinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3-1. H.M.D prosesinin şematik gösterimi (Monroe , 1992)

H.M.D yönteminin şematik işlem akış diyagramı şöyle gerçekleşir :

1. Polistiren tanelerin üretimi ,
2. Buhar üreticisi ile E.P.S taneleri ön şişirme yapılarak , presleme kısmına yollanır.

3. Köpük parçalarının dilimlerini kurutarak pentanı uçurulur. (Bu işlem için konveyör bantlı kurutma fırını kullanılır.)
4. Köpük parçaları yapıştırıcı ile birleştirilir.
5. Köpük parçaları salkım haline getirilir.
6. Yolluklar ilave edilir.
7. Salkım , sıvı refrakter içine daldırılır.
8. Refrakter kurutma fırınında kurutulur.
9. Salkım döküm kutusuna yüklenir.
10. Döküm kutusu kum ile doldurulur.
11. Ergiyik metal dökülür.
12. Metal dökümü soğutulur.
13. Dökülmüş salkım döküm kutusundan alınır.
14. Refrakter uzaklaştırılır, parça temizlenir.
15. Ürün bitirilir.

3.1 Model Kalıplama

Tanelerin Önşişirilmesi : Köpük model parçası üretimi iki basamaklıdır. İlk aşama tanelerin ön şişirilmesidir. Köpük için genelde polistiren kullanılır. Hammadde EPS ‘dir. Bu tanelerin yoğunluğu $0,6 \text{ gr /cm}^3$ ‘dür. Köpük modelin yapımının ilk aşaması plastik tanelerin kullanılacak yoğunluğa kadar genişletilmesidir. Alüminyum dökümünde kullanılan köpükler $0,0224 - 0,0256 \text{ gr/cm}^3$ yoğunlukta olup ; demir dökümünde kullanılanlar ise $0,016 - 0,0224 \text{ gr/cm}^3$ aralığındadır. (Smith vd. , 2000)

Kalıplama : Önşişirilmiş taneler stabilize edildikten sonra köpük model yapımı için kullanılabilir. Unutmamak gereklidir ki stabilize etme aşaması nihai köpük kalitesini ve boyutsal tamlığı etkileyen faktördür. İkinci aşama ; önşişirilmiş tanelerin kalıba transfer edilmesidir. Kalıplama makinesi içindeki takım işlem sıcaklığına ısıtılır ve çevrimin başlaması için kapatılır. Önşişirilmiş taneler kalıp boşluğuna doldurulur. Köpük üretiminde

çok fazla kalite problemi oluşur. Eğer tam olarak doldurma yapılmaz ise dolum tabancaları boşluğun tam olarak doldurulmasında önem arz eder. Kalıp boşluğu önşişirilmiş tane ile dolduktan sonra buhar çevrimi başlatılır. Buhar önce kalıbın bir kesitinden diğer tarafına hava borusu yardımıyla geçirilir. Buharın ısısı taneleri yumuşatır ve genişletir. Buhar tekrardan zıt yönde geçirilir ve bu sayede taneler genişler ve birbirine kaynar. Kaynamadan sonra kalıp boşluğunun basıncı artar. Kalıbın yüzey sıcaklığı artar ve köpüğün dış yüzeyi kaynar. Bu işleme otoklav aşaması denir. Eğer bu aşamada fazla ısınma olursa tanelerde çökme olur. Buhardan sonra ; köpük süratle soğutulur. Bu da yüksek hacimli su spreyle veya az miktarda az miktarda suyun vakumla kullanılmasıyla sağlanır. Kalıp açılır ve soğutulmuş köpük çıkartılır. Bu aşamada köpük halen yumuşak olup distorsiyon riski vardır. (Smith vd. , 2000)

3.2 Model Olgunlaştırma

Kalıplamadan sonra köpük boyutsal olarak kalıcı değildir , kalıptan çıkarıldıktan sonra 30 gün içinde yaklaşık % 0,8 oranında küçülür. Çekme , mutlaka kontrol edilmelidir. Modeli kararlı kılmamanın bir yolu yapay yaşlandırmadır , bu işlemde modelin olgunlaşması (yaşlanması) hızlandırılır. Olgunlaşma 60-70 °C ‘ ta 2-18 saat arasında bir fırında yapılır. Yapay olgunlaştırma modellerin boyutsal tamlığını azaltmaya öncülük eder.

Sonuçta H.M.D yönteminde en iyi boyutsal tamlığı sağlamanın yolu ;

- Dikkatli dizayn
- İyi kalıp hazırlama
- Önşişirme işleminin kontrolü
- Toplama öncesinde bilgili olarak olgunlaşmanın yapılması
- Uygun model kaplanması ve kum sıkılaştırma
- Metal döküm pratiği ile sağlanır.

3.3 Model Kesitlerin Toplanması

Köpük kesitleri (parçaları) olgunlaştırıldıktan sonra toplanmalıdır. Bu aşamadaki dönüşler veya boyutsal olumsuzluklar nihai döküm ürününde aynen yansıyacaktır. Bu nedenle bu aşamada hassasiyet şarttır. Parçalar birbirine otomatik makinede sıcak-erimiş yapıştırıcılar

kullanılarak yapıştırılır. Yapıştırıcı , parçaları bir arada tutacak güçte olmalıdır. Hızlı donmalıdır ki aksi halde üretim hızında düşme olacaktır ; bu döküm hatalarına neden olmamalıdır. Yolluk ve diğer sistemler elle veya otomatik olarak köpük modele veya döküm salkımına bağlanır. (Smith vd. , 2000)

3.4 Model Kaplama

Toplamadan sonra köpük salkımı seramik ile kaplanır. Bazı alüminyum döküm uygulamaları modelin kaplanmasına ihtiyaç duymaz ama demir asıllı alaşım dökümlerinin neredeyse tamamında kaplama esastır. Ayrıca kaplama hep avantaj sağlar. Kaplama eriyik haldeki metal önünde bir bariyer oluşturarak metalin döküm sırasında kuma nüfuz etmesini veya kumu aşındırmasını engeller. Ayrıca bu kumun sıvı metal ile geri çekilen köpük arasındaki boşluğa düşmesini engeller. Köpükte oluşan dağılan ürünlerin kaçışında izin verir. Kaplama yine kum sıkıştırma sırasında köpük modelin istenen şekilde kalmasına yardım eder. (Smith vd. , 2000)

Kaplama köpük salkımına daldırma , spreyle veya doldurma ile uygulanır. Yapısı su bazlı taşıyıcılı seramik çamurudur. Köpük salkımı kaplandıktan sonra kurutulur yoksa dökümde porozite ve yüzey hataları oluşur. Kaplamanın her salkımda eşit olması döküm kalitesini belirler. Salkım düşük nemli odada kurutulabilir ama genelde hava sirkülasyonlu etüv tercih edilir. Bu işlem 40-60 °C ‘ta 2-10 saat sürer. (Monroe , 1992)

3.5 Kum Doldurma ve Sıkıştırma

Kaplanmış ve kurutulmuş salkım derece içine konur ve bağlı olmayan kumla desteklenir. Kum , salkımın çevresini sıkıca doldurmalıdır ama modelde özellikle iç boşluk doldurulurken distorsiyon ve bozulmalara neden olmamalıdır. Bu aşamada kum doldurma ve sıkıştırmanın model üzerinde deformasyona neden olmaması şarttır. Sıkıştırma , kumun doldurulması sırasında yapılırsa kumun ideal içsel boşluklara girişi kolaylaşır ve model deformasyonu azalır. (ASM Handbook , 1988)

3.6 Döküm

Metal dökümü klasik model dökümüne göre H.M.D’de daha kritiktir. Çoğunlukla dökümden döküme olan değişimleri engellemek için otomatik döküm kullanılır. Eğer döküm işleminde kesinti olursa kum dağılarak kalıbın çökmesine neden olabilir. Döküm hızı yüksek olmalıdır ki bu sayede kalıp çökmez ve köpük artıkları kaçabilir. (Monroe , 1992)

Köpük artıklarının kaçışı için ;

- Yolluk sistemi
- Döküm dizaynı
- Kaplama özellikleri
- Kum özellikleri
- Döküm işlemi

parametreleri dikkate alınmalıdır. (Monroe , 1992)

3.7 Temizleme ve Bitirme

H.M.D yönteminde temizleme basittir ; çünkü ayırma çizgisi ve çapak oluşumu azaltılmıştır ki bu da bitirme işlemlerini ortadan kaldırır. Ama yolluklar daha büyük olup , klasik işlemlere göre uzaklaştırma zordur. Bu yöntemde H.M.D döküm yönteminin boyutsal tamlığı malzeme uzaklaştırmayı azaltmıştır. (Littleton ,vd. , 1998)

3.8 Diğer H.M.D Yöntemleri

3.8.1 Bağlı Kum

Büyük çelik döküm uygulamalarında kullanılır. Kullanıcıların gaz ve karbon alma problemlerinden kaynaklanan bir nedenle köpük modeller döküm öncesi kum kalıptan dışarı alınır. Bu işlem sınırlı döküm üretiminde tercih edilir. Model EPS'den işlenerek çıkartılır. Bu özellikle büyük parçalar için ekonomik üretimi sağlar. EPS model yapımı tahta modellerin maliyetinin yarısıdır. Ayrıca maçalar ortadan kaldırılır ki , döküm boyutsal tamlığıda iyidir.

Büyük boyutlu modellerin kullanımında ;

- Taşıma hassas olmalıdır ,
- Kalıpma ve kaplamaya özen gösterilmelidir ,
- Kum sıkıştırma model hasar görmemelidir ki bu sayede model hata toleransı düşük olur. (Littleton ,vd. , 1998)

3.8.2 Seramik Kabuk

Köpük modeller çeşitli seramik tabakaları ile kaplanır ve tüm katmanları kurutulur , seramik kabuk pişirilir. Pişirme seramik kabuğunun dayanımını artırır ve ayrıca döküm boşluğundan köpüğü uzaklaştırır.Seramik kabuk bağlı olmayan kum ile desteklenir. Bu işlemde büyük dökümler , hassas döküme yakın tamlikta yapılabilir. Ayrıca köpük kabuktan , önceden uzaklaştığı için yüksek yoğunlukta köpük kullanılabilir. Bu şekilde kararlı boyutlar , iyi yüzey kalitesi , taşıma dayanımında artış ve deformasyonda azalma elde edilir. Normal dolu kalıp tipi prosese göre pişirme ve tabaka tabaka seramik kabuğun oluşturulması pahalıdır. Ama hassas dökümde , balmumu yerine köpük kullanımı sermik kabuğun daha hızlı kurutulmasına imkan verir. Köpük soğumayacak ve çekmeyecek bu da kabukta balmumu kullanımında oluşabilen çatlamanın önüne geçecektir. (Littleton ,vd. , 1998)

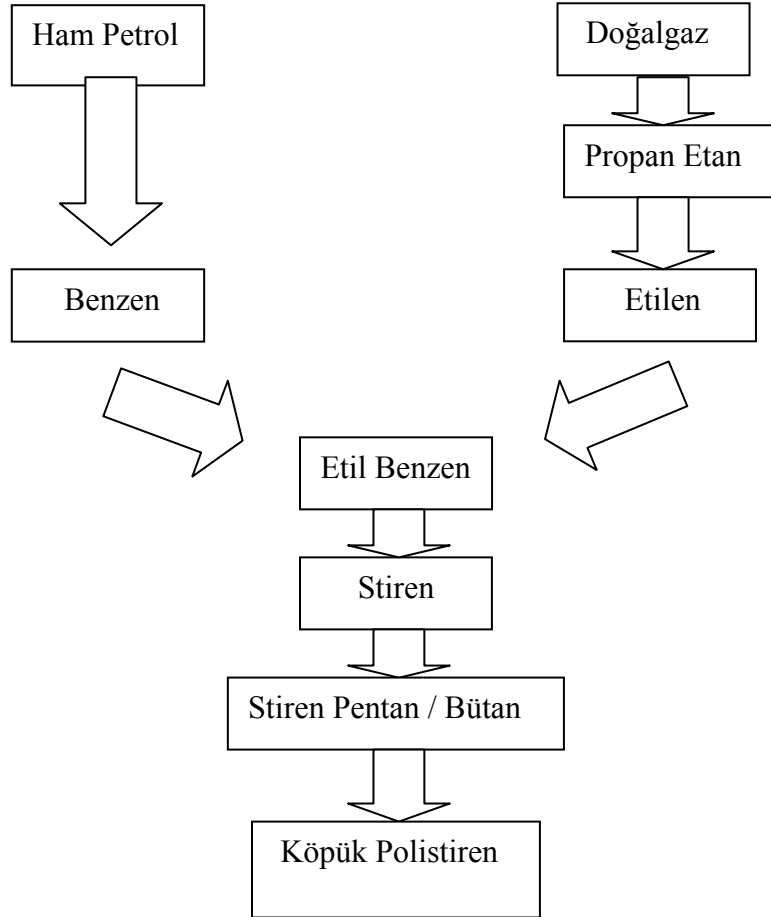
Burda şu kazançlar vardır ;

- Verim artışı ,
- Çıkıcıların ve yollukların yerleri serbest seçilebilir ,
- Yolluk dizaynı basit ,
- Maçalar ve kum bağlayıcıların ortadan kalkması ,
- Temizleme maliyetinin azalması ,
- Yatırım maliyetlerinin azalması ,
- Çelik veya dökme demir blok dökümünde avantaj sağlanmasıdır.

4. KÖPÜK MODELLERİN ÖZELLİKLERİ

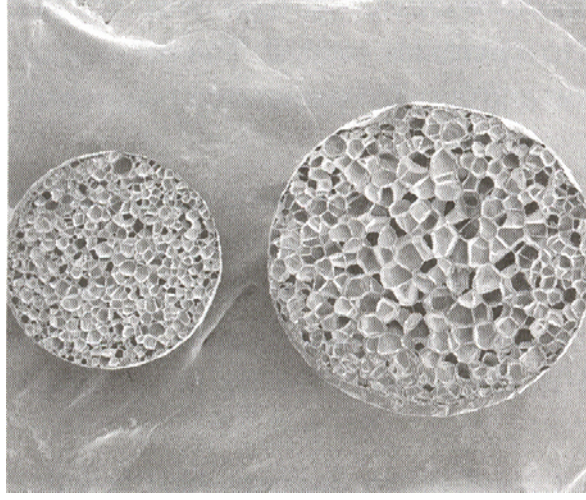
4.1 Kompozisyon

Polistiren hem petrol hem doğalgazdan yapılan % 92 karbon ve % 8 hidrojenle oluşmuş uzun zincirli bir hidrokarbon polimeridir. Şekil 4.1 de polistiren tanelerin üretim akış diyagramı görülmektedir .



Şekil 4.1 Polistiren tanelerin üretim akış diyagramı (Monroe , 1992)

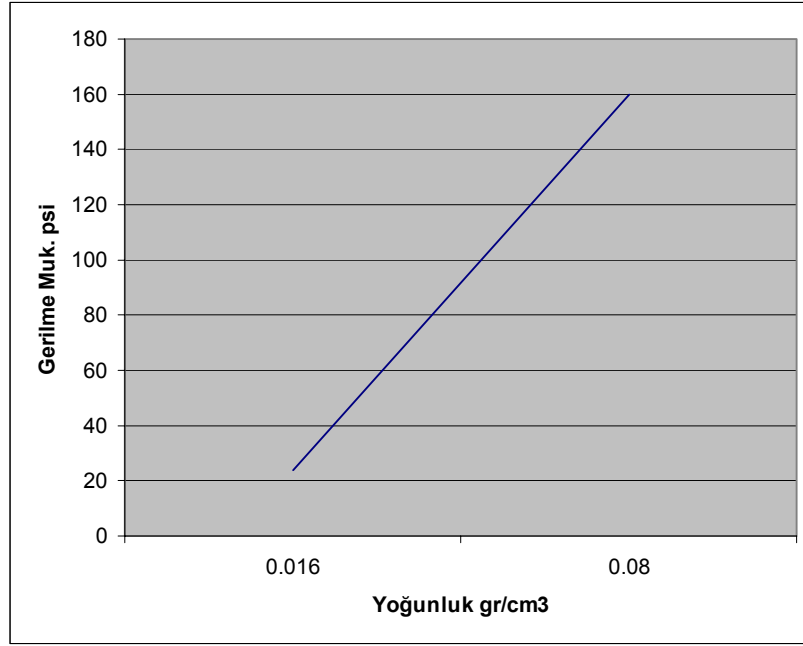
Polistirene , polimerizasyon sırasında genişletici olarak ağırlığını % 4-8 ‘i kadar pentan ilave edilir. Şekil 4-2 de ön şişirilmiş tanelerin hücre yapısı görülmektedir .



Şekil 4.2 Ön şişirilmiş tanelerin hücre yapısı (Monroe , 1992)

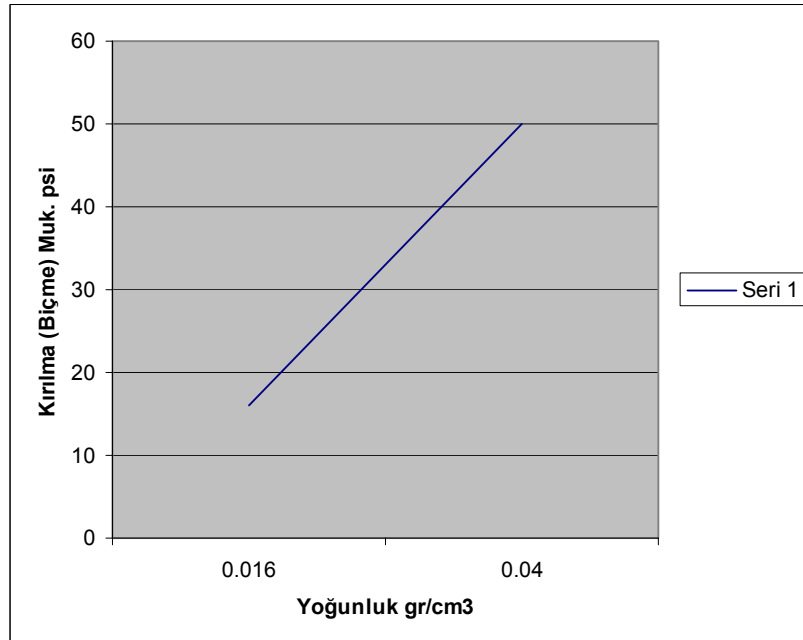
4.2 Yoğunluk ve Mekanik Özellikler

Köpüğün özelliklerinin ilk kontrolü için yoğunluktan yararlanılır. Yoğunluk tam tespit edilmeden diğer özelliklerin ölçülmesi imkansızdır. Genelde döküm uygulamaları için düşük yoğunluklu köpükler arzu 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) hatasında azalmaktadır. En iyi döküm sonuçları düşük pratik yoğunlukla elde edilir. Düşük yoğunluklar köpüğün mekanik özelliklerinden kayıp vermesine sebep olur. Bununla birlikte model yoğunluğu önemli iken ; mekanik davranışlar model dizaynı ve kaynama ile de etkilenir. (Littleton ,vd. , 1998) Şekil 4-3’de yoğunluğun gerilme mukavemeti üzerine etkisi , şekil 4-4’ de yoğunluğun kırılma (biçme) mukavemeti üzerine etkisi ve şekil 4-5’ de yoğunluğun eğme mukavemeti üzerine etkisi görülmektedir .

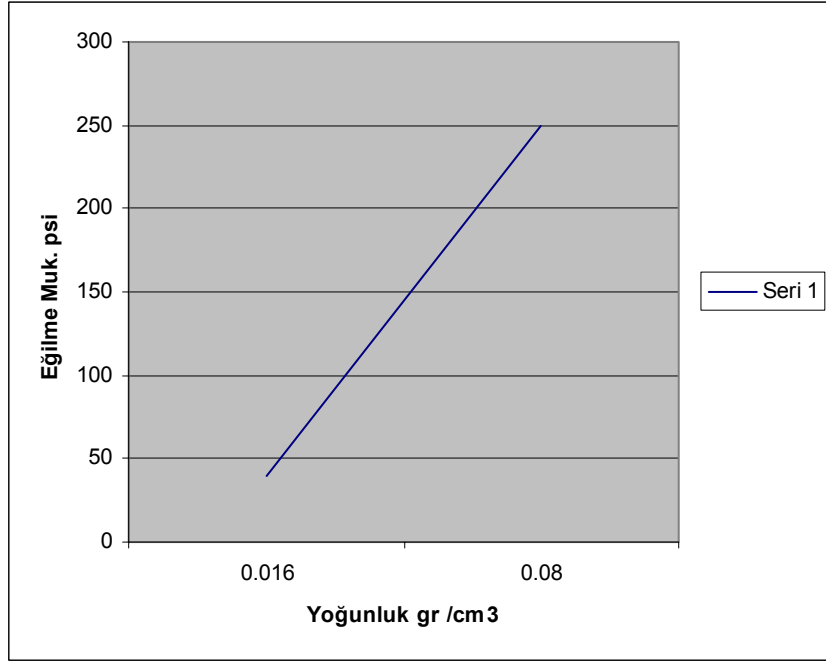


Şekil 4.3 Yoğunluğun gerilme mukavemeti üzerine etkisi (Littleton ,vd. , 1998)

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

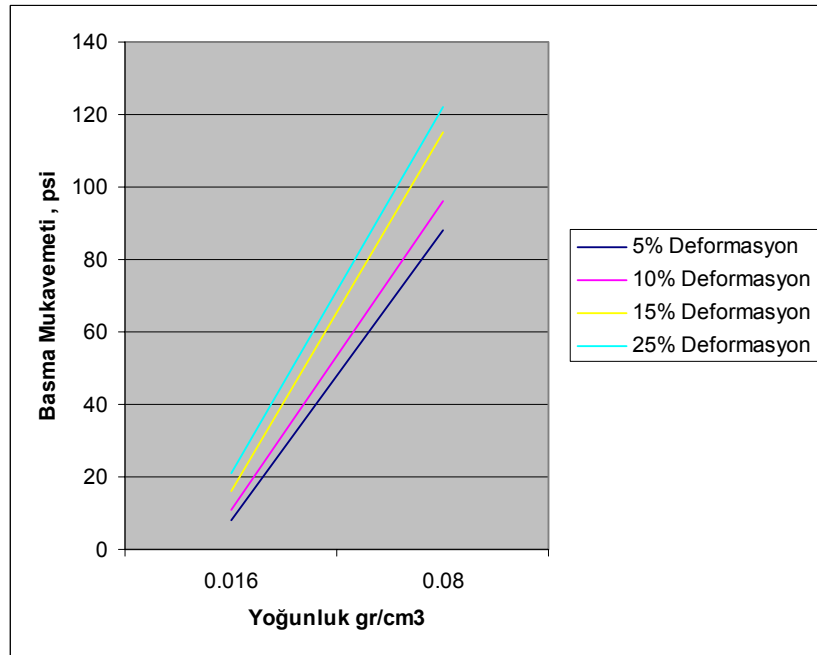


Şekil 4.4 Yoğunluğun kırılma mukavemeti üzerine etkisi (Littleton ,vd. , 1998)



Şekil 4.5. Yoğunluğun eğme mukavemeti üzerine etkisi (Littleton ,vd. , 1998)

Şekil 4.6'de yoğunluğun basma dayanımına etkisi ve deformasyon değerleri görülmektedir .

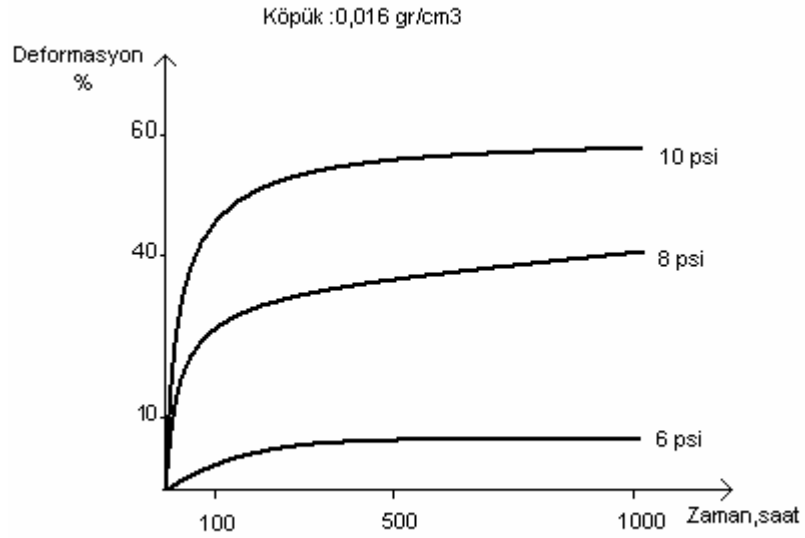


Şekil 4.6. Yoğunluğun basma dayanımına etkisi ve deformasyon değerleri (Littleton ,vd. , 1998)

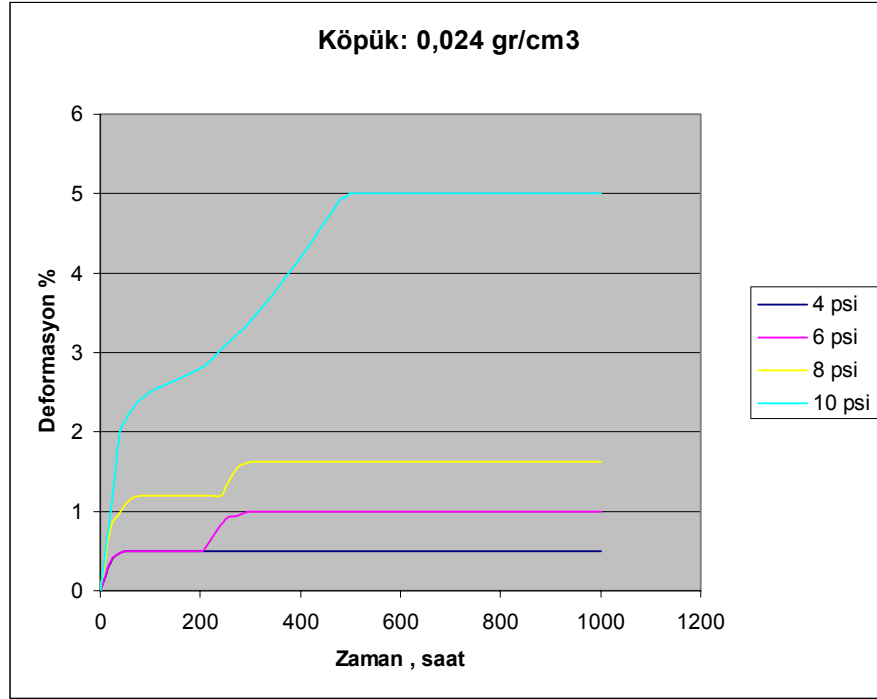
Basma dayanımı köpük salkımının parçalanmaya karşı olan direncini ölçmek için yararlıdır.

4.3 Bozunma

H.M.D yönteminde , deformasyon dayanımdan daha önemli bir kavramdır. Parçalanmış modeller hurda olarak sonuçlanır. Modelin taşınmasında mukavemet , kırılma olmadan taşınması için önemlidir. H.M.D işleminde deformasyona direnç , bozunmanın azaltılmasında önemlidir. Bozunmaya karşı direnci belirlemede iki özellik önemlidir ; sertlik ve sürünme direnci. Şekil 4-7'de 0.016 gr/cm^3 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. (Smith vd. , 2000) Şekil 4.8'de 0.024 gr/cm^3 lük köpük modelde sabit baskıda sürünme görülmektedir .



Şekil 4-7. Sabit baskıda sürünme (Smith vd. , 2000)



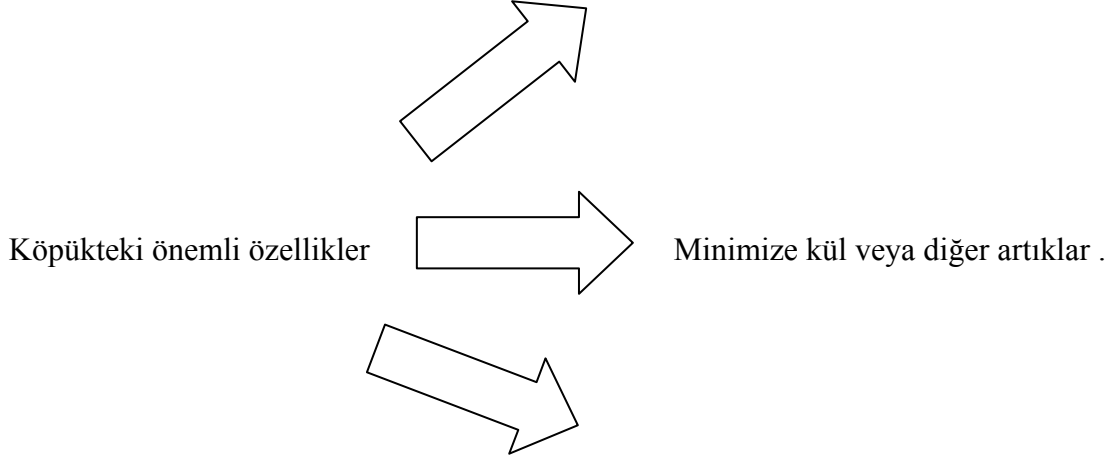
Şekil 4.8. Sabit baskıda sürünme (Smith vd. , 2000)

Sürünme dayanımı , köpüğün yavaş biçimde deforme olmasının ölçülmesinde kullanılır. 4 psi'lik bir yükleme maksimum % 0,5 'lik ortalama deformasyon verir , bu da birçok döküm uygulamasında kabul edilmez.

Sürünme numunelerin erime sıcaklığına yaklaştıkça artar. Hatta yapay olgunlaştırmada sürünme sebepli deformasyona sebep olabilir. Ilık köpüğü kalıptan çıkartma ve taşımadaki özensizlikler önemli deformasyonlara neden olabilir. (Smith vd. , 2000)

4.4 Diğer Özellikler

Köpük yapıştırıcı uyumu .



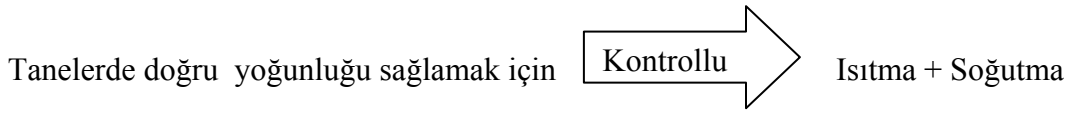
Su ve kaplamadaki diğer çözücülere dayanım .

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 yağlarınada dayanıklıdır. Parafin yağı , bitkisel ve hayvansal yağlara , dizel yakıtı ve vazeline ise az miktarda tahrip olur. E.P.S organik çözücülere , aseton ,gaz-yağı , aseton , ester veya benzer hidrokarbonlara karşı direnç göstermez. Susuz asitler örneğin asetik , nitrik veya sülfürik asit , E.P.S köpükleri tahrip eder. (Monroe , 1992)

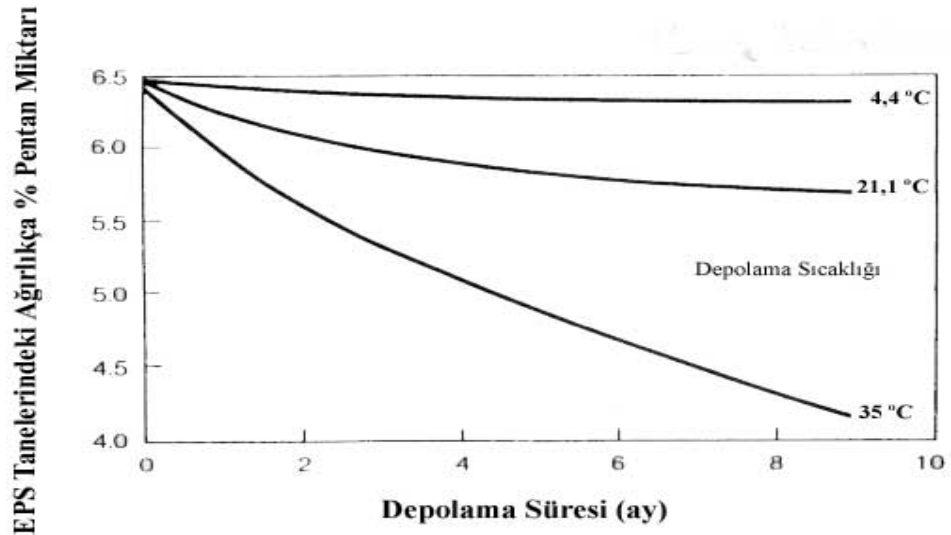
5. KÖPÜKLERİN ÖNŞİŞİRLMESİ

5.1 Polistiren Tanelerin Önşişirilmesi

E.P.S 'de plastik polistiren ve şişirici madde ise pentandır. Ham taneler $0,6-0,7 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğundadır. Önşişirme 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. (Monroe , 1992)



Önşişirme , 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 köpükler daha yüksek seviyede pentana ihtiyacı vardır. Normal olarak pentan miktarı % 4 'ten az ise ham tanecikler başarıyla önşişirilmez ve kalıplanamaz. (Monroe , 1992) Tanelerden muhtemel pentan kaybının kapalı taşıyıcı içindeki azalışı şekil 5.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kapalı bir taşıyıcıda polistiren tanelerden muhtemel pentan kaybı (Monroe , 1992)

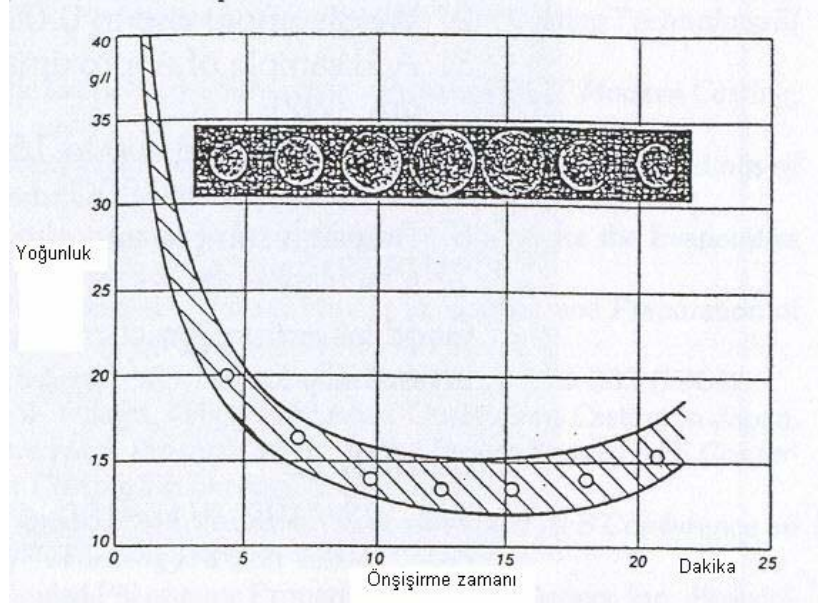
Pentan kaybı taşıyıcı açıldıktan sonra daha da fazlalaşmaktadır. Sorunun çözümü ; taneciklerin daha ufak ve ağzı sıkıca kapalı taşıyıcılarda açıldıktan sonra depolanmasıdır. 15 °C'nin altında pentan kaybı ihmal edilebilir düzeye iner , 15-30 °C arasında bu hammadde 3 ila 5 ay arasında kapalı kaplarda depolanabilmektedir.Yaklaşık olarak pentanın % 1'i önşişirmede kaybolmaktadır , böylece bu işlem sonunda pentanın % 3'ü kalmaktadır. Kalıplanmış köpük parçaları %1,5 pentan ihtiva eder ve bu işlemde 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 önşişirilmiş E.P.S taneleri çeşitli boyutlardadır. Büyük tanecikler daha yavaş pentan kaybeder ve genel olarak önşişirilmesi 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 0,0192-0,0272 gr/cm³ 'dür. (Smith vd. , 2000 ; Monroe ,1992)

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. Önşişirmeden sonra , taneler model yapımı için yeterli pentanı saklamalıdır. Düşük yoğunluğu sağlamak için , taneler uygun sıcaklı süratle ısıtılmalı ve önşişirmede minimum süre harcanmalıdır. Uzun önşişirme çevrimi tanelerde dağılma veya kalıp için etkin yeterli pentanın kalmamasına neden olur. Şekil 5-2'de , polistiren tanelerin su buharı ile ön şişirilmesi sırasındaki zamana bağlı yoğunluk değişimi görülmektedir . (Monroe , 1992)



Şekil 5.2. 1.5 ve 2.6 mm’lik polistiren tanelerin su buharı ile ön şişirilmesi (Monroe , 1992)

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

Önşişirmede amaç şunlardır ; (Monroe , 1992)

- Düşük köpük yoğunluğuna ulaşmak ,
- Kabul edilebilir pentanı yapıda tutmak ,
- Sıkı tane boyut dağılımını sağlamak ,
- Minimum tahrip olmuş tane miktarı .

5.2 Ekipmanlar

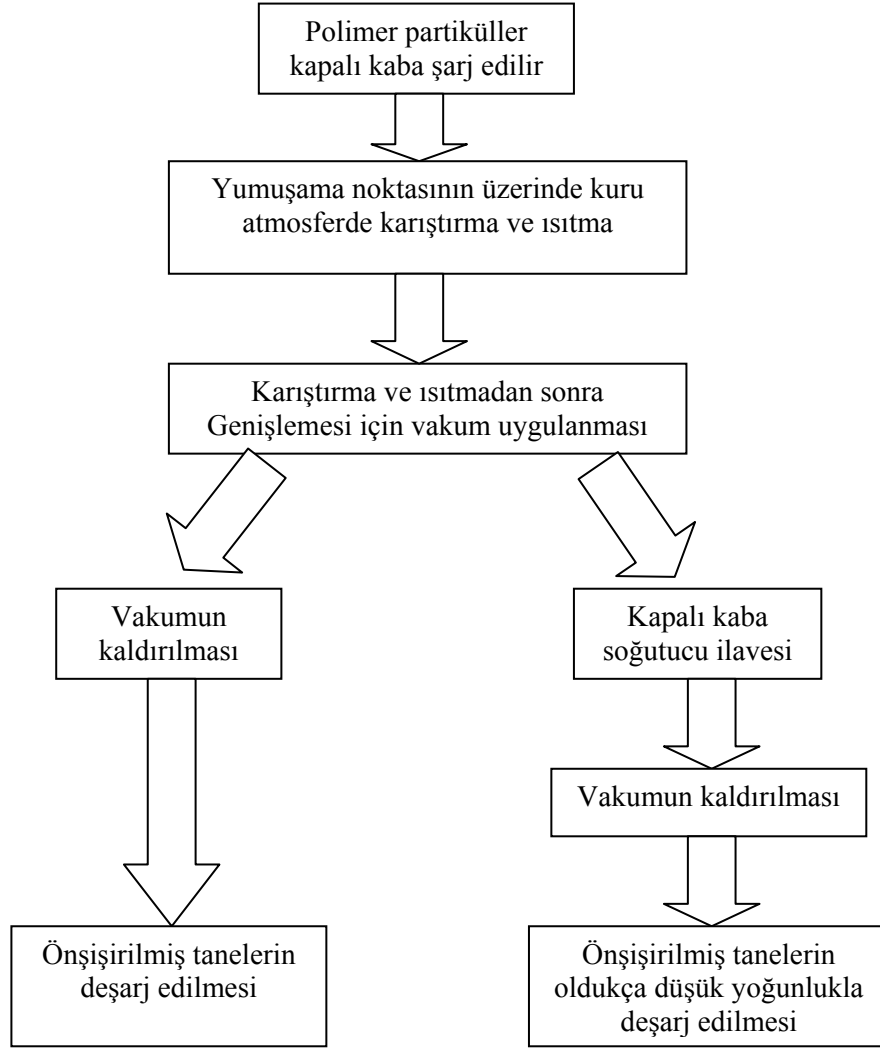
5.2.1 Vakum-Kuru Önşişirici

Vakum- kuru önşişirici 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 önşişirme esnasında sürekli kazımak için bir seri çark

bulunmaktadır. Bunun amacı , şişmiş olan tanecikleri engellemektir. Odanın diğer bir unsuru ise besleme değirmenidir ki bu önşişirme için ham taneciklerin hacimsel şarjını hazırlamaktadır. Odanın ayrıca su şarjı veren ve önşişirme sonunda taneleri soğutup kararlı hale getirecek vakum sistemi vardır. Son olarak oda yeni önşişirilmiş tanecikleri boşaltma değirmenine yollayacak boşaltıcısı vardır. (Austin , 1998)

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 önşişirme sırasında bariyer görevi görerek , taneler arası kaynamayı önler. Susuz silikanın vakum-kuru önşişiricide kullanımı önemlidir çünkü bu uygulamada yüksek yüzey sıcaklıklarına ulaşılır. Fazla yağlayıcı kullanımı kalıplamayı güçleştirir.

Vakum-kuru önşişirici , çevrimine iç duvarlar ısıtılarak başlar ve önşişirme işlemi yüzeylerin ilk sıcaklıklarının kontrolü ile sağlanır. Uygulanan ısıtmanın süresi , yoğunluk kontrolünde kritik husustur. Buhar ceketindeki buhar basıncıda bir etken olup , normal olarak yaklaşık 10 psi civarında olmalıdır ; ayrıca buhar kaliteside önşişirilmişlerin 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 durudurulur. Eğer taneler soğumadan vakum kaldırılırsa tanelerin çoğu topaklaşır. Bunun sebebi sıcak yumuşak yüzeyleri üzerindeki yüksek basınçtır. Tanecikler soğuduktan sonra , oda dışına üflenir ve bir ekran içinden geçirilerek , topak tumruların uzaklaşması sağlanır. Genişlemiş yoğunluk değeri bu ekrandan geçtikten sonra kontrol edilir.Şekil 5.3' de prosesin akım şeması görülmektedir . (Austin , 1998)



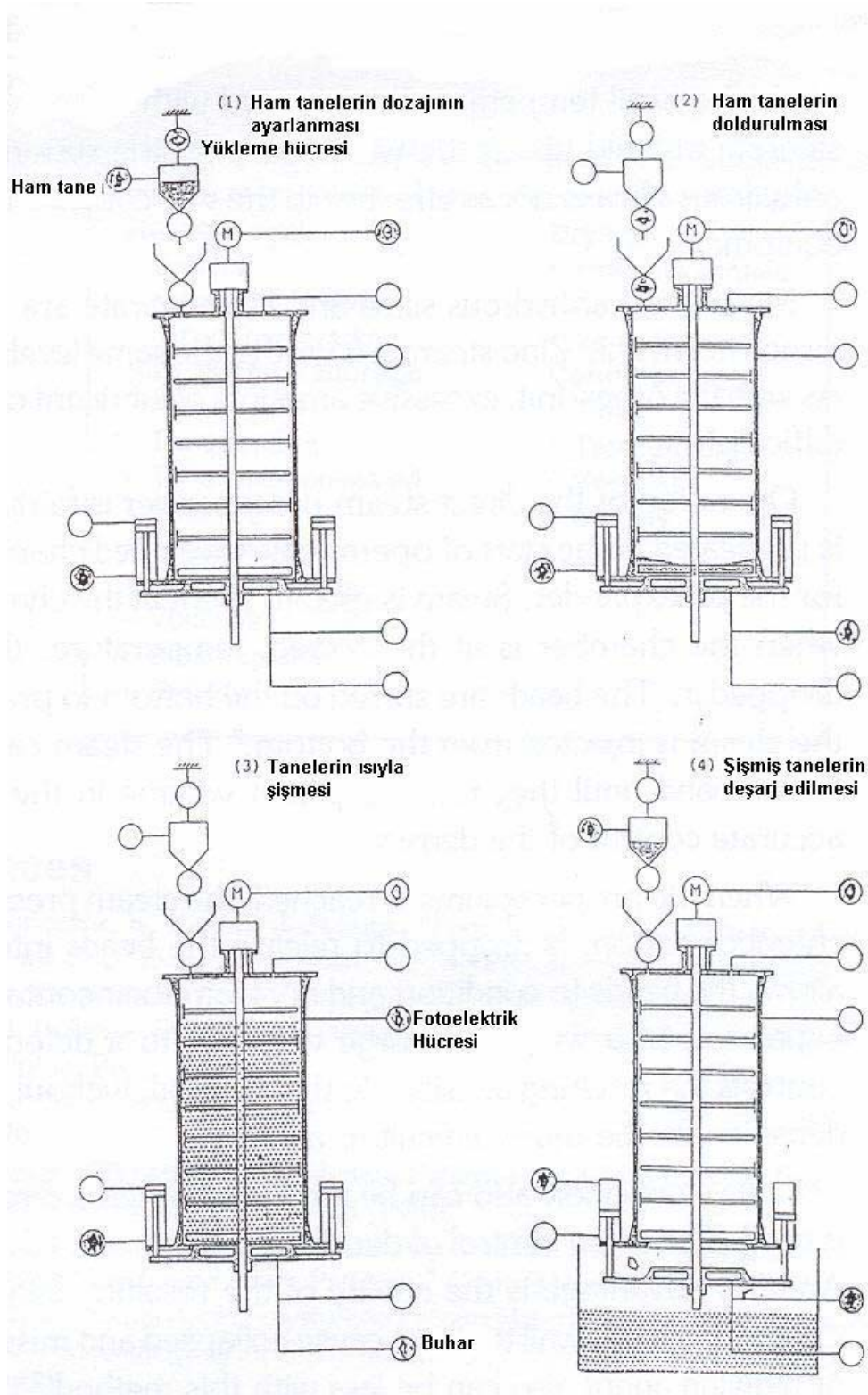
Şekil 5-3. Proses akım şeması(Austin , 1998)

5.2.2 Direkt Buhar Önşişirici

Burda taneler direkt olarak buharla karşılaşmakta ve böylece önşişirme meydana gelmektedir. Direkt-buhar önşişirici dikey bir odaya ve silindirin altında yer alan bir karıştırmaya sahiptir. Alt kısım elekten yapılmış olup , buhar çember içindeki tanelerden buradan girerek geçmektedir.Önşişirme tamamlanınca , taneler odanın alt tarafından düşmekte ve stabilize olmasına izin verilmekte ve akışkan havalı yatakta 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-stearate

miktarı 0,05-0,2 % civarında olup bazen susuz silika ile birlikte kullanılabilir. Şekil 5-4'de direkt-buhar önşişiricide E.P.S tanelerinin şişirilme adımları görülmektedir.



Şekil 5-4. Direkt-buhar önşişiricide E.P.S tanelerinin şişirilme adımları(Austin , 1998)

5.3 Tanelerin Islah Edilmesi

Taneler önşişirmeden sonra hemen kalıplanamaz çünkü tanelerin soğutulması , pentanın yoğunlaşmasına neden olur bu da tanelerin iç kesiti içinde negatif bir basınca sebep olur. Eğer taneler önşişirmeden 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 önşişirmeden sonraki zaman çok kısa olursa ; kalıplama sırasında taneler genişlemeyecek ve düşük yüzey kalitesi elde edilecektir. Bunlar kalıbın bazı alanlarında çökebilecektir. Gerekli minimum zamanı önşişirme koşullarına ; rutubet , sıcaklık ve yoğunluk belirler. En iyi sonuçlar için genelde 2 saat beklemek gerekir.

Diğer tarafa , eğer kararlaştırmanın zamanı çok uzun tutulursa tanecikten şişirici madde kaçar.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 önşişirmeden 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 çantalarla. Metal kesitler veya çerçeveler topraklanmalıdır , bu E.P.S’de statik şarjı azaltır. (Monroe , 1992)

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

E.P.S tanelerin önşişiriciden silolara ve oradanda kalıplama makinesine aktarım pnömatik olarak yapılır. Tanelerin nakli sırasındaki karışma hareketi genel olarak statik bir şarjın oluşması ile sonlanır. Bazı nakil sistemleri plastik tüp kullanılırki bu da tüp içinde bir toprak köprüsü içerir. Toprak köprüsü statikliği kontrolde yetersizdir ve tanelerin naklinde 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. Üfle içinden tanelerin geçmesi , tanelerin yoğunluğunu arttırırken model kesitlerin üretiminde yüzey hatalarına neden olur. (Monroe , 1992)

Önşişirme ve kalıplama ekipmanları bir buhar üreticisine ihtiyaç duyar. 1 kg E.P.S ‘nin önşişirilmesi 0,3-0,5 kg buhara ihtiyaç duyar. Yine 1 kg E.P.S ‘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 H.M.D yöntemi operasyonlarının gereksinimlerini karşılamaz. Bunun nedeni ; bunların geniş (büyük) aralıklı buhar istemidir. (Monroe , 1992)

6. KÖPÜK MODELLERİN ÜRETİMİ

6.1 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. Tabiki , ideal kalite ve iletkenlik en iyi kalıplama makinesinde en iyi kalıbın kullanılması ile elde edilir. (Littleton ,vd. , 1996)

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 tamlik 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 kısaltılması denemiştir ama bunlar genel kabul görmemiştir.

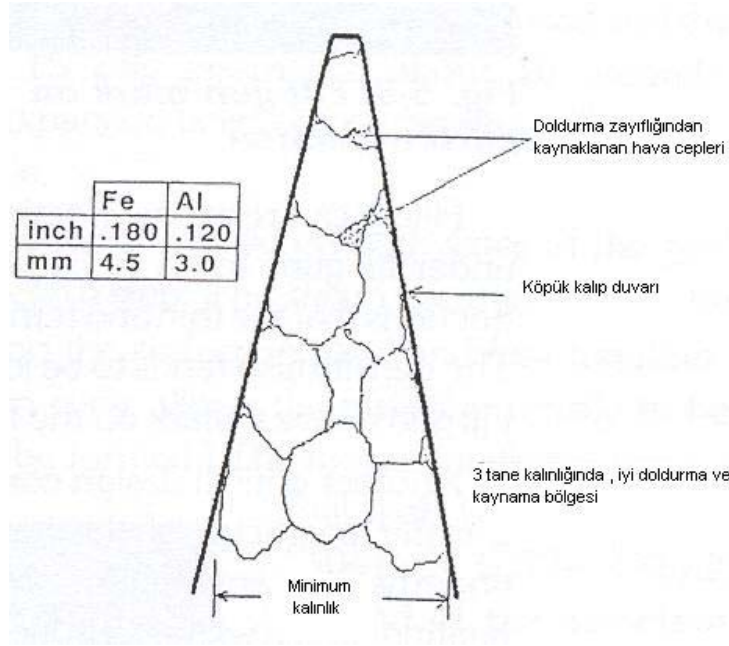
Kalıp kalitesi önemlidir çünkü kalıbın ısısal çevrimi kalıpta bozulmaya ve fazla kullanım sonucu çatlamalara neden olur. Ayrıca kalıp içindeki sıcak veya soğuk noktalar ayrıca kalıp yüzey kalitesini etkileyecektir. Köpük modelin yüzey kalitesini arttırmak için kalıp yüzeyinin parlatılması gerekir. Sıkı 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. (Littleton ,vd. , 1996)

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 $\frac{1}{2}$ dereceli konik eğim ve çekmeler kalıptan köpüğün çıkartılmasını basitleştirir. Kalıplama çevriminde kullanılacak olan kalıplarda çekici veya iticiye gerek duyulmaz. Kalıplar bir kalıp makinesinde hareketli ve sabit kesimle çalışır. (Littleton ,vd. , 1996)

Kalıp , kalıplama sırasında doldurulacak biçimde dizayn edilmelidir. Düşük yoğunluktaki taneler kalıbı , kalıp boşluğundaki havanın yerini almalarındaki zorluğa rağmen doldurur. Şekil 6-1'de kalıplanabilir minimum kesit kalınlığı görülmektedir.



Şekil 6-1 Kalıplanabilir minimum kesit kalınlığı(Littleton ,vd. , 1996)

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 önşışirmek 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. (Littleton ,vd. , 1996)

Kalıp doldurma sırasında aralanırki ,bu da kalıp içideki 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 girdiği yerde azalır ve besleme tabancaları köpük kesit yüzeyinde izde bırakır. Kritik dizayn kabullerinden biride ; 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 nazıkçe sabitlenmez ise yerinden çıkarak erken veya dışı hatalara neden olabilir. Kalıp kalınlığı boşluk arkasında 9 mm ve diğer bölgelerde 12,7 – 15,8 mm arasındadır. E.P.S’nin kalıplarındaki normal basınç 25 - 50 psig ‘ dir. Dizaynda genelde kalıbın 50 psi iç boşluk basıncına dayanması beklenir. (Littleton ,vd. , 1996)

6.2 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.(Monroe , 1992)

6.2.1 Ön Isıtma

Kalıp makine içine yerleştirildikten sonra , önısıtmaya tabi tutulur. Kalıp 100 °C civarında çalışır. Önısıtmadan sonra çevrim başlamaya hazırdır. Makine birkaç çevrim yapmadan doğru performansa ulaşamaz. Kalıp performansı köpük kesitlerinden belirleniyorsa sistemde eski tanelerin olmaması önemlidir. Önşışirmeden 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 kurumasını beklemek zaman kaybıdır.

Doldurma sırasında kalıp içindeki nem(su) taneler ile yer değiştirmez ve modeliçinde boşluk , açıklık yaratır. Düşük yoğunluktaki tanecikler doldurma sırasında ağır suyu itemez ve bu duruma “su hasarı” denir. (Littleton ,vd. , 1996)

6.2.2 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. (Littleton ,vd. , 1996)

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. (Littleton ,vd. , 1996)

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 kapatığında 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. (Littleton ,vd. , 1996)

6.2.3 Buhar Çemberi

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. (Monroe , 1992)

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 6.2 ta 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 6.2 Soğuk kalıptan kaynaklanan düşük yüzey kalitesi (Monroe , 1992)

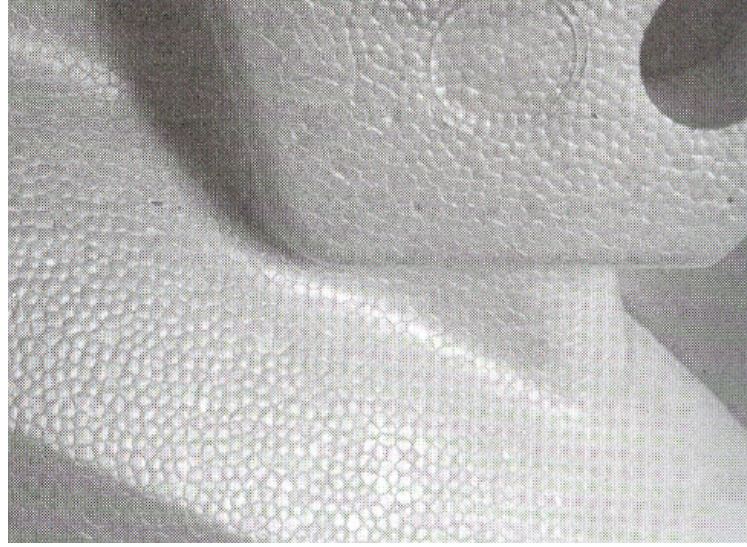
Kalıp içinde veya üzerinde her bir buhar akışının kalıplama aşamasında emin olarak dikkatli ve özen göstererek yapılması gereklidir. Eğer alanda buhar veya soğutma yok ise yetersiz kaynama ile karşılaşabiliriz. Bütün buhar çevrimi soğutma ile dengelenmelidir ve kalıplama çevrimin devamında kalıp sabit bir ısısal çevrim altında tutulmalıdır. Soğutma aşaması otoklav çevrim sonu ile yakın biçimde eşleşmelidir ki bu sayede kaliteli köpük kesitleri elde edilebilir. (Monroe , 1992)

6.2.4 Soğutma

Buhar çevrimi otoklav adımıandan buhar basıncının serbest bırakılması ile sonlanır ve hemen soğutmaya başlanır. Soğutma genel olarak yüksek hacimli su sprey 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. (Monroe , 1992)

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 6.3 'de görülmektedir.



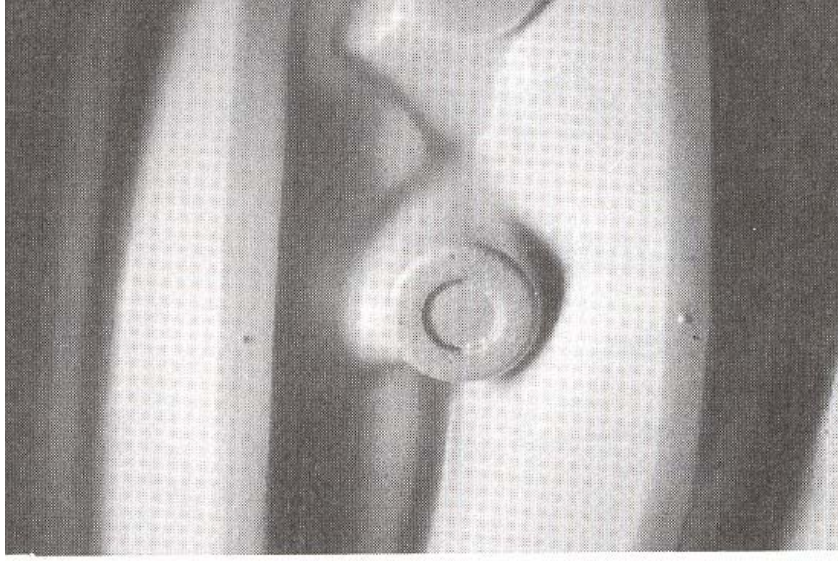
Şekil 6.3. Model kesitinde fazla genişleme (Monroe , 1992)

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. (Monroe , 1992)

6.2.5 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 6.4 de görülmektedir. Köpük kesitinin dışarı çıkartılmasında insan kullanımı da genelde tercih edilir ama bunun sonuçları çok büyük boyutsal değişimler olabilir. (Monroe , 1992)



Şekil 6.4. Model kesitinde çıkarıcı izi (Monroe , 1992)

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. (Monroe , 1992)

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. Tipik kalıplama çevrim zamanları çizelge 6-1 'de verilmiştir. (Monroe , 1992)

Çizelge 6-1 Kalıplama çevrim zamanları(Monroe , 1992)

Kapatma	5 sn
Doldurma	5 sn
Kaynama	10 sn
Otoklav	10 sn
Soğutma	50 sn
Açma	5 sn
Çıkarma	5 sn
Toplam	90 sn

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. Kontrol altında tutulması gereken önemli etkenler çizelge 6-2 ‘de verilmiştir. (Monroe , 1992)

Çizelge 6-2 Kontrol altında tutulması gereken önemli etkenler (Monroe , 1992)

Proses Malzemeleri
• Tane yaşı
• Şişirici gaz
• Yoğunluk
Proses Araçları
Buhar
• Kalite
• Basınç
Hava
• Kalite
• Basınç
Su
• Kalite
• Basınç
Proses Ayarları
• Adım sayısı
• Basınç ayarları
• Sıcaklık
Kalıplama
• Tamlık
• Temizlik
• Mekanik hareketler

6.3 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. (Petitbon , 1998)

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. (Petitbon , 1998)

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. (Petitbon , 1998)

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 kalıplanmadan 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. (Petitbon , 1998)

Model kesitinin küçülmesinin kontrolünde taneciklerin tipleri sabitlenmelidir. Bu önşışirilmiş 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 değişkenleride 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 dağıtımında düzenli olmayan yoğunluklara ki bu da ne olacağı tesbit 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. (Petitbon , 1998)

6.4 Polistiren Kütüklerden 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 ,

E.P.S 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.

E.P.S kütüğünden bir model çıkarmak için bazı özel niteliklere ihtiyaç duyulur. Normal işaretleme ve ölçüm cihazları çentik açarak veya başka şekillerde köpükte hasara yol açar. E.P.S köpük kütüklerin işaretlenmesinde yumuşak uçlu kurşun kalem veya keçeli kalemler kullanılabilir. Ölçümden şeffaf cetvel veya kumpas kullanılır. Ölçümden sonra E.P.S kütüğü kesme ve yapıştırmaya yollanır. (ASM Handbook , 1988 ; Monroe ,1992)

Genişletilmiş polistiren farklı teknik kullanımı ile arzu edilen şekilde işlenebilir. E.P.S kütükleri bir bıçak veya sıcak telle kesilebilir , işlenebilir , talaş kaldırılabilir. 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 yavaş ve düşük basınçla işlemeye vermek en iyi sonucu verirki ayrıca kesme yüzeyini geliştirmek için kumlamada kullanılır.

E.P.S 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 işlemde yüksek hız kullanımı ile parça makineye beslenir.

E.P.S ayrıca 0,5-0,8 mm çapındaki Ni-Cr sıcak telle kesilebilir. Telin uzun ömürlü olması için 500 °C civarında çalışması gerekir. E.P.S '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. (Monroe ,1992)

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

Genelde az miktarda yapıştırıcı kullanımı E.P.S parçalarını mekanik olarak bir arada tutar ve yerleştirir. Daha fazla yapıştırıcı ise ince bir kaplama gibi yüzeydeki yapıştırıcı geçişini mühürlemek için kullanılır. Mühürlemede , 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. (ASM Handbook , 1988 ; Monroe , 1992)

6.5 Alternatif Köpük Malzemeleri

Köpük modellerin yapımında kullanılan baskın polimer polistirendir. 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 karbın hataları veya karbon alma sorununa neden olur.

Polistirendeki sınırlama model üretimi için alternatif polimerlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Poliüretan ve polietilen bu proste denenmiş fakat başarı elde edilememiştir. (Bates ,vd. , 1994)

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 polialkilin karbonat (EPAC) dır. Bu malzeme gelecekte döküm üretiminde önemli etkenlerden biri olabilir. (Bates ,vd. , 1994 ; Monroe , 1992)

EPMMA döküm üretiminde E.P.S'ye bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu , kalıplama ve şişirmede ayrıca döküm performansında da 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 hassasiyetide düşürmektedir. EPMMA önşişirme yapılabilir ve E.P.S ile aynı kalıp , makine sistemi kullanılabilir.

EPMMA 'ın modelin küçülmesi E.P.S'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. E.P.S üretiminde kullanılan kalıplarda üretilecek EPMMA modelleri daha büyük olur ve E.P.S 'den beklenen küçülmeyi göstermez. Küçülmenin azalması EPMMA'nın döküm üretimi sırasındaki kullanımında tekrarlanabilirliği arttırmaktadır. EPMMA modelleri daha büyük boyutsal kararlılığa ve yoğunluğa sahiptir. (Bates ,vd. , 1994)

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. Bazı polimerlerin karbürizasyon potansiyelleri çizelge 6-3'de gösterilmiştir.

Çizelge 6-3. 1399 °C 'de polimerlerin karbürizasyon derecesi (Bates ,vd. , 1994)

Malzeme	Karbürizasyon %
EPS	35-50
Stiren Maleik Anhidrid	35-50
Stiren Akrilo Nitril	35-50
Polietilen	11-14
Polipropilen	11-14
EPMMA	4-6
Poli Bütan Sülfon	4-6
EPS – EPMMA	6-35

EPMMA'nın dökümde kullanımı bazı düzenlemeleri gerektirir. Karbonun oluşumu bir polimer kullanımı ile bunun gaza dönüştürülmesi ile sağlanır. Bu da dökümde yüksek oranda gaz oluşumu ile sonuçlanır. Kaplama , kum ve yolluğun yüksek gaz hacimlerini taşıyacak biçimde ayarlanması gerekir.

EPMMA modellerin dökümü sırasında metalin geri püskürmesi ise genel olup , bu durum yüksek geçirgenlikli kaplama kullanımı ile azaltılabilir veya daha derin döküm kapları , boş veya EPS yolluklar , alttan doldurma dökümde derecenin üzerine vakum uygulama ile

azaltılıp tamamen engellenebilir. EPMMA halen gelişim halindedir , ama ticari uygulamalar yapılmakta ve döküm için uygun malzemeler yapılmıştır.

EPMMA ‘dan farklı olarak EPAC ’de bu proseste kullanılmakta ve temiz olarak EPMMA ‘dan daha düşük sıcaklıklarda ayrılmaktadır. Cam geçiş sıcaklığı 110 – 130 °C ‘dir. Taneler 30/70 mesh olup bunlar $0,016 \text{ gr/cm}^3$ – $0,032 \text{ gr/cm}^3$ civarına genişletilir. (Monroe , 1992 ; Bates ,vd. , 1994)

7. MODEL PARÇALARININ TOPLANMASI

7.1 Yapıştırma Bağlantısı

Köpük parçalarının bir araya getirilmesi bir çok hedefi vardır, ilk olarak metalin dökümün kalitesini ters yönde etkilememelidir. Bunun anlamı yapıştırıcı kül artığı bırakmalıdır. Ayrıca metalle yerini bırakan yapıştırıcı döküm içinde sıkışacak gaz yaratmamalıdır. (Warner , vd., 1998)

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. Bir çok 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. (Warner , vd., 1998; ASM Handbook , 1988)

Yapıştırıcı geçişi salkımı bir arada tutabilecek kadar güçlü olmalıdır. Normal olarak kaplamanın kurutulması 65°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 karşı mühürlemeli ve salkımı bir aradada 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 tarafında uygulanarak bir bağ yapar bu fazladan taşımaya gerektirir. Solvent esaslı yapıştırıcılar plastik köpüğü tahrip edebilmekte ve aralıkları doldurmamaktadır. (Warner , vd., 1998; ASM Handbook , 1988)

7.2 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 °C civarında yumuşamaya ve 104-126 °C aralığında erimeye başlar bunlar uygulama için yaklaşık 121-204 °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. (Warner , vd., 1998)

7.3 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 ısısının 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 civarındadır.(Monroe , 1992)

7.4 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 sebep 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. (Monroe , 1992)

8. MODEL SALKIMININ KAPLANMASI

8.1 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. (Lessiter , 2000)

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. (Fata Aluminum, "Company Profile Lost Foam Technology, 1999)

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. (Dudenhofer , 1998)

Kaplamanın piroliz ürünlerinin kaçmasına verdiği yeterlilik “geçirgenlik” olarak adlandırılır. Geçirgenlik poroz bir malzemeden 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. (Dudenhofer , 1998)

Kaplamanın döküm boşluğundan plastiklerin uzaklaştırılmasındaki yardımı iyi anlaşılmamıştır. Bu alanda daha fazla çalıştıkça , kaplamada önemli gelişmeler yapılabilir. Oda sıcaklığında yapılan geçirgenlik ölçüm tayinleri 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. (Dudenhofer , 1998)

Demir dökümünde , metal penetrasyonu ve karbon hatası daha önemli bir problemidir. 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. (Dudenhofer , 1998)

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. (Austin , 1998)

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

8.2 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 bağımlı 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 yapılı kaplamanın seçimi ve uygulanması dikkat gerektirir. Temel bir en iyi kaplama seçim kuralı yoktur. Son kaplama parametrelerini belirlemek için farklı kaplamalar denenebilir. (Monroe , 1992)

8.3 Yoğunluk

Kaplama yoğunluğu ve uygulama metodu elde edilecek kaplamanın kalınlığını belirler. Eğer uygun bir kaplama kalınlığı seçilecekse çeşitli faktörler incelenmelidir. Kaplama kalınlığı 0.25-1.52 mm arasında değişir. Yüksek metal kafası ve döküm sıcaklığı kaplama kalınlığını artırır. 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 “Baumé” ölçümünü verir. Kullanıcı ve cihaz arasında değişimler olduğundan bu muhtemel olarak en iyi test değildir. Baumé yöntemiyle yoğunluk ölçülmesi , bu refrakter kaplamaların yüksek vizkozitelerinde karışmaktadır. (Monroe , 1992)

8.4 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 için garanti edilmesi için 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. (Monroe , 1992 ; ASM Handbook ,1988)

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 noktalardır. 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. (Monroe , 1992)

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

9. KÖPÜK DÖKÜM SALKIMININ KUMLA DESTEKLENMESİ

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. (Monroe , 1992 ; ASM Handbook ,1988)

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, (Monroe , 1992 ; ASM Handbook ,1988)

10. DOLU KALIBA DÖKÜM

Dolu kalıba döküm yönteminde metal dökümü aşaması klasik yöntemlere benzer olmasına rağmen hatasız döküm parçası üretilmesi için çok hassas çalışılması gerekmektedir. Genel ticari uygulamalarda dökümden döküme olan değişimleri engellemek için otomatik döküm sistemlerinden yararlanılmaktadır.

İnce kesitli parçaların dökümü sırasında yüksek metal basıncı ve kaplama geçirgenliği ergimiş metalin kalıbı daha hızlı doldurmasını sağlamaktadır. Eğer ergimiş metalin kalıp içerisine doldurulması sırasında kesinti olursa 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. (Monroe , 1992 ; ASM Handbook ,1988 ; Ramsay , 1998)

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 piro-lizi 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. (Monroe , 1992 ; Warner , vd. , 1998)

Döküm sıcaklığı köpük modelin pirolizi sonucu oluşacak olan ürünlerin tiplerini belirlemektedir. Alüminyum dökümlerinde kritik döküm sıcaklığı 740-780 °C arasındır, 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. (Askeland ,vd. , 1995)

10.1 Dolu Kalıba Döküm Yönteminin Ekonomik Değerlendirmesi

Araştırmalar göstermektedir ki dolu kalıba döküm yöntemindeki yatırım ve genel üretim giderlerin maliyetleri toplamı, klasik döküm yöntemlerine göre oldukça düşük seviyede kalmaktadır. Bu da yöntemin tercihindeki ekonomiklik şartını sağlamaktadır.

1997 yılında A. J. Birkel, J.H. Hunter ve E. Kotzin tarafından AFS - The Lost Foam Casting Technology Consortium için yapılan pazar araştırması raporu dolu kalıba döküm teknolojinin varmış olduğu ekonomik pazar gücünü gösteren çarpıcı bir çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. (Bates , vd. , 1998)

Ulaşılan rakamlara göre 1992 yılında A.B.D 'de 38 olan dolu kalıba döküm teknolojinin kullanıldığı dökümhane sayısı 5 yıl içinde % 28'lik bir artış ile 49'a ulaşmıştır. 2007 yılında bu rakamın 55'e ulaşması beklenmektedir. (Bates , vd. , 1998)

Dolu kalıba döküm teknolojisi kullanılarak yapılan üretim miktarı 1994'te 110.888 ton iken % 27'lik artış ile 1997 senesine gelindiğinde 140.676 tona ulaşmıştır. Araştırma ışığında 2007 yılı sonundaki üretim rakamı 256.845 ton olarak tahmin edilmiştir, bu da 1994 yılına göre % 83'lük bir artışı ifade etmektedir. Çizelge 10.1'de A.B.D 'de sanayi dallarına göre dolu kalıba döküm yöntemini kullanılarak yapılan üretim miktarları verilmiştir. (Bates , vd. , 1998)

Çizelge 10.1 A.B.D 'de sanayi dallarına göre dolu kalıba döküm yöntemini kullanılarak yapılan üretim miktarları. (Bates , vd. , 1998)

SANAYİ DALLARI	1997 YILINDAKİ ÜRETİM MİKTARI (Ton)	1994- 1997 YILLARI ARASINDAKİ DEĞİŞİM (%)	1997-2007 YILLARI ARASINDA BEKLENEN (%)
Otomotiv	82897	+ 13	+52
Boru/ Ekipman	11057	+ 163	+200
Denizcilik	8463	+65	+43
Treyler , Ağır Araçlar	7105	+ 19	+45
Makine İmalatı	7018	+6	+ 15
Kamyon	5110	+44	+232
Diğer	19026	+60	+ 168
Toplam	140676	+27	+83

Araştırma içinde görüşü alınan 15 sanayi uzmanına göre dolu kalıba döküm teknolojisi alüminyum için 2007, dökme demirde 2009 ve çelikte 2013 yılında pazar olarak olgunluk seviyesine ulaşacaktır. Bu tahminlerdeki en etkileyici husus uzmanların 2007 sonunda alüminyum döküm sanayisinde dolu kalıba döküm yönteminin toplam pazarın % 29'a ulaşacağı yönündeki görüşleridir.

Çizelge 10.2' de dolu kalıba döküm yöntemi ile yapılan metal üretim miktarlarını gösterilmektedir. Üretim rakamları incelendiğinde özellikle demir dökümünde bu yöntemin yaygın kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. (Bates , vd. , 1998)

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. (Bates , vd. , 1998)

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. . (Fata Aluminum, "Company Profile Lost Foam Technology " , 44, Turin, Italy ,1999)

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 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. (Herrin , 1998)

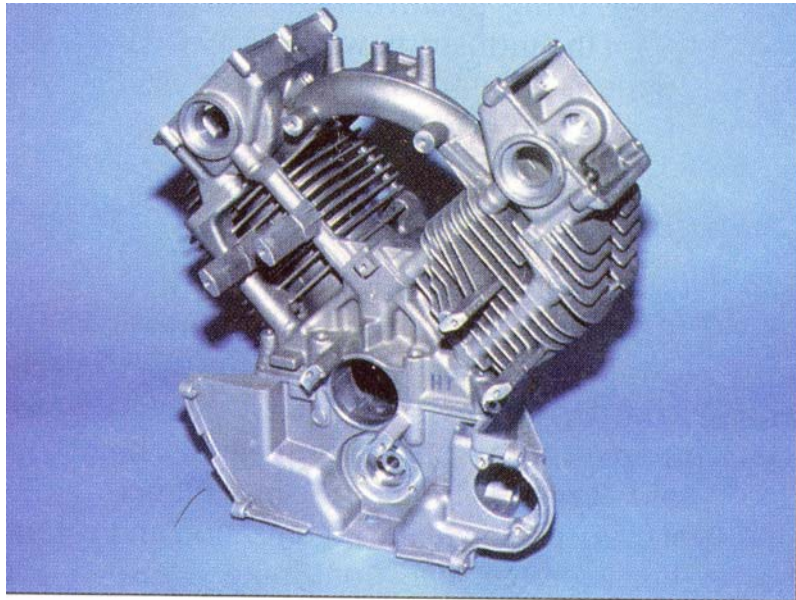
Avrupa'da ise CAGIVA bu yöntemin en başarılı uygulayanlarının biri olarak karşımıza çıkmıştır. CAGIVA, IVECO kamyonlarında yağ-soğutma parçalarının yapımı sırasında dolu kalıba döküm yönteminden yararlanmış ve bu sayede parça başına % 15'lik ağırlık azalması sağlamış ve yine aynı ürünün döküm sonrası talaşlı işleme süresinde 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. (Eidson, 1998)

Dolu kalıba döküm teknolojisini tercih edilmesinin ticari nedenlerini Muller Company'nın dökümhane mühendisi M. Eidson şöyle sıralamaktadır; (Eidson, 1998)

a) Ürün üzerindeki bütünsel kalitenin kum kalıba döküm yöntemlerinde elde edilemeyecek seviyede artırılması,

- b) Parça başı ağırlıkların en az düşürülmesi, klasik yöntemlerde kullanılan yolluk ve besleyicilerin bu yöntemle sınır değerle indirilmesi,
- c) Kum kalıba döküm teknolojisinde kullanılan ekipmanlara göre daha basit teçizat ve cihaz gereksimi,
- d) Hızlı biçimde yeni ürün üretimine geçiş dar hazırlık sürelerinde piyasaya ürün sunumu,
- e) Maça kullanımının ortadan kalkması,
- f) İşlemin çevresel etkilerin kum kalıba döküm yöntemine göre çok düşük seviyede kalmasıdır.

Dolu kalıba döküm teknolojinin üstünlüğünü yansıtan en mükemmel uygulama ise Kohler Motorudur; bu üründe tasarım aşamasından itibaren dolu kalıba döküm teknolojinin kullanılacağı planlanmıştır. Bu sayede iç kısımlar azaltılmış, potansiyel çapak oluşum riskleri yok edilerek daha sonraki talaşlı işleme uygulamaları bu ürün için tamamen ortadan kaldırılmıştır. Şekil 10.1'de görülen motor National Society of Professional Engineers tarafından New Product Award ödülüne layık görülmüştür. Aynı ödül 1997 yılında Boeing 777'ye verilmiş olması ilginç bir noktadır. (Eidson, 1998) Şekil 10.1' de dolu kalıba döküm yöntemiyle üretilmiş Kohler motoru görülmektedir.



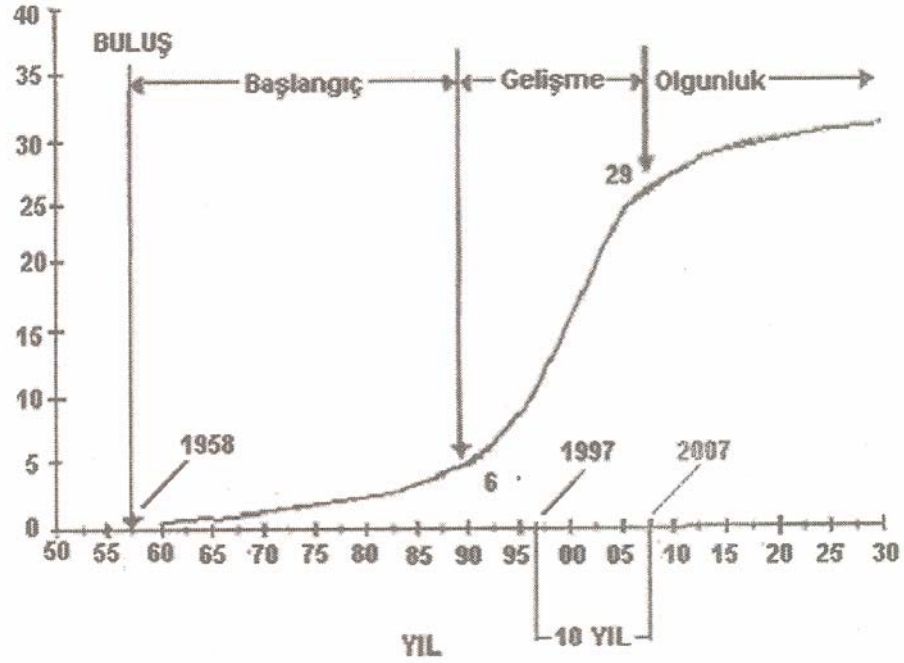
Şekil 10.1. Kohler Motoru (Monroe,1992)

Çizelge 10.2 Dolu kalıba döküm yöntemi ile yapılan metal üretim miktarları.(* Tahmini değerler) (Bates , vd. , 1998)

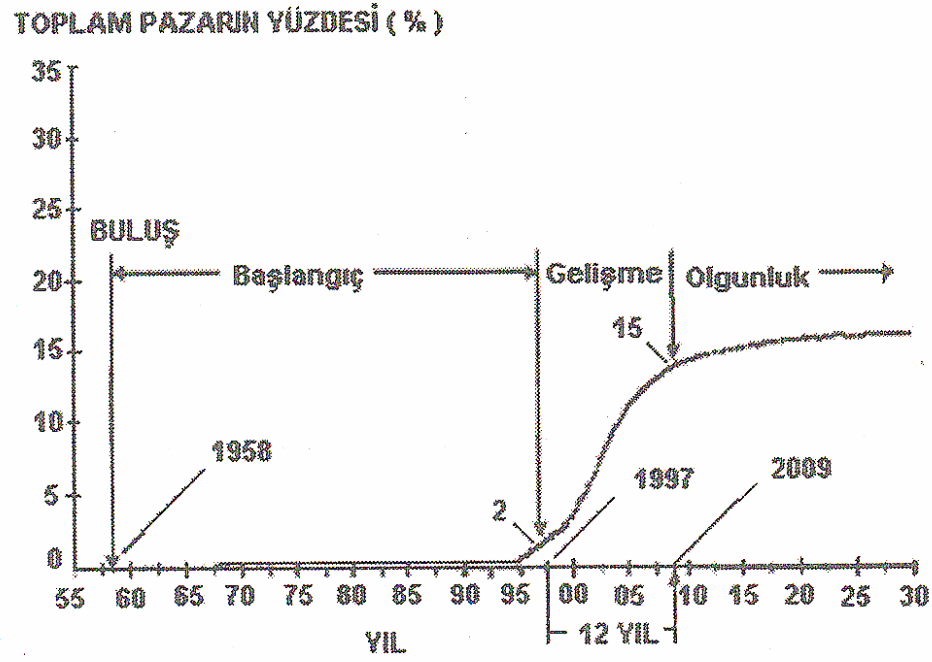
YIL	DÖKÜMHANE SAYISI	ALÜMİNYUM (TON)	DÖKME DEMİR	ÇELİK (TON)	TOPLAM (TON)
1994	40	43333	65474	2081	110888
1997	49	49778	88072	2826	140676
2007	75*	99558*	191486*	31801*	356845*

Şekil 10.2 ,10.3 ve 10.4 .'de Alüminyum ,dökme demir ve çelik için dolu kalıba dökümün pazar payının değişimi görülmektedir.

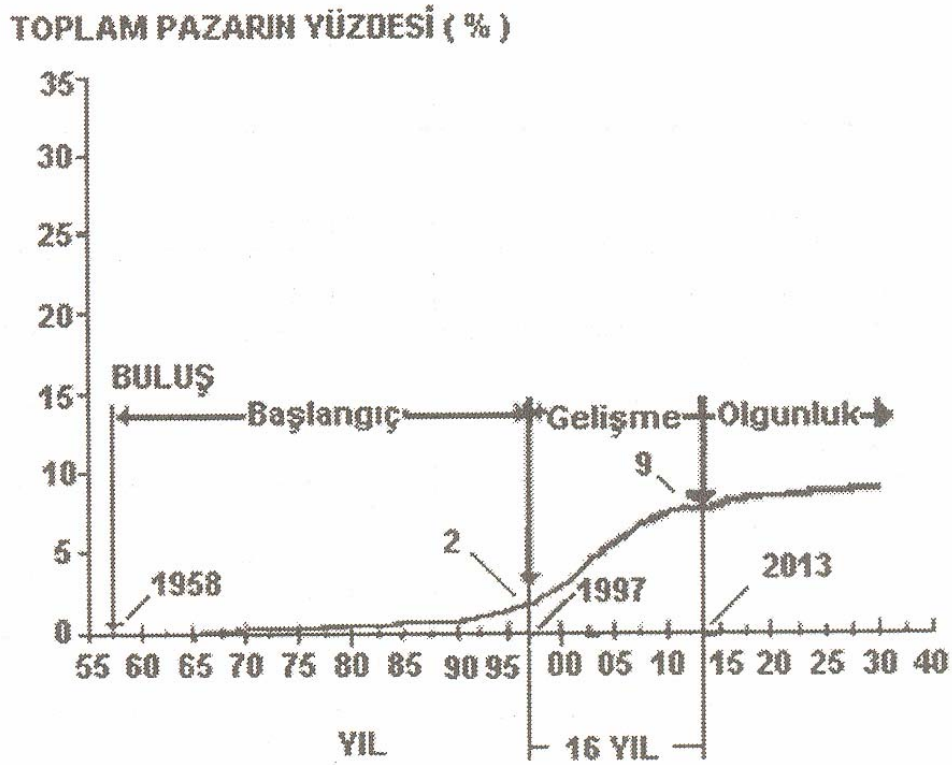
TOPLAM PAZARIN YÜZDESİ (%)



Şekil 10.2. Alüminyum için dolu kalıba dökümün pazar payının değişimi (Bates , vd. , 1998)



Şekil 10.3. Dökme demir için dolu kalıba döküm yönteminin Pazar payının değişimi (Bates , vd. , 1998)



Şekil 10.4. Çelik için dolu kalıba döküm yönteminin pazar payının değişimi (Bates , vd. , 1998)

11. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

11.1 Kullanılan Malzemeler

11.1.1 Polistiren

Polistiren model yapımında kullanılan polistiren hammaddesi, PETKİM PetroKimya Endüstrisi'nden temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan polistirenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 11.1' de verilmiştir.

Çizelge 11.1 Polistirenin fiziksel ve kimyasal özellikleri [1]

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler	
Yumuşama Noktası	90 ° C	Akmada Gerilme Direnci	190 kg / cm ²
Isı ile Bükülme Sıcaklığı	80 ° C	Kopmada Gerilme Direnci	220 kg / cm ²
Erime Akış İndisi (200 °C,5kg)	2-5 g/10 dak	Kopmada Uzama	% 40-70

11.1.2 Polistiren Modelin Yüzey Kaplamasında Kullanılan Refrakter

Polistiren modellerin yüzeyinin kaplanmasında kullanılan refrakter alümina bazlı olup Meta-Mak firmasından tedarik edilmiştir. Kullanılan ürün Alman Ashland-Südchemie firmasının ticari ismi Polytop FS 6 isimli ürünüdür.(Şekil 11.1)Çizelge 11.2' de fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 11.2 Polistren Modelin Kaplanmasında Kullanılan Polytop FS 6' nın Özellikleri(Ashland-Südchemie teknik bilgi formu)

Renk	Kırmızıya Yakın
Katı Miktarı , %	55.3-58.3
Özgül Ağırlık , g/cm ³	1.48 – 1.66
Viskozite (Ağdalık) , Pa.s	6.7 – 8.8



Şekil 11.1 Kaplama Refrakteri olarak kullanılan Polytop FS 6

11.1.3 Yapıştırıcı

Polistiren modelin çıkıcı ve yolluğa bağlanabilmesi için termoplastik esaslı ticari ismi Develüx olan yapıştırıcı kullanılmıştır. (Şekil 11.2) Ayrıca yapıştırıcının ara geçişlerdeki yani yolluk ve çıkıcı bağlantılarındaki mukavemetini arttırmak amacıyla maskeleme bandı kullanılmıştır.



Şekil 11.2 Termoplastik esaslı yapıştırıcı

11.1.4 Polistiren Modellerin Kalıplanmasında Kullanılan Dereceler

Yolluk ve çıkıcısı yapıştırılmış refrakterle kaplanmış numunelerin serbest kumla titreşim altında kalıplanması amacıyla Mega-Teknik firması tarafından yapılan dereceler kullanılmıştır.(Şekil 11.3)



Şekil 11.3 Döküm yapılan dereceler

11.1.4 Döküm Havuzu

Döküm sırasında metalin taşmasını önleyecek döküm havuzu %5 sodyum silikat ve % 95 silis kumu (AFS -35) karışımının karbondioksit gazıyla sertleştirilmesi sonucu yapılmış ve dökümler sırasında kullanılmıştır.

11.1.5 Kum

Polistiren modellerin derece içerisinde kalıplanmasında AFS-35 tipinde silis kumu kullanılmıştır.

11.2 Kullanılan Alet ve Cihazlar

Polistirenin ön genişletilmesi amacıyla PAYSAŞ Gıda ve Ambalaj San. Tic. A.Ş. tarafından tasarlanan ve üretimi yapılan polistiren ön genişletme reaktörü kullanılmıştır. (Şekil 11.4)



Şekil 11.4 Polistiren ön genleştirme reaktörü

Ön genleştirme işlemi ve kalıp içinde polistirenin son geniştirilmesi işlemlerinde de yine aynı firmadan temin edilen maksimum 6 bar basınçta buhar üretebilen buhar üretim makinesi kullanılmıştır. (Şekil 11.5)



Şekil 11.5 Buhar üretim makinesi

Polistiren model elde edilmesinde alüminyumdan yapılmış metal kalıp kullanılmıştır. Kalıp iki parçadan oluşmaktadır. Kalıp 10 mm çapında dairesel boşluklara ve bu boşluklarda belirli basınçtaki buhar geçişine olanak tanıyan 0,1 mm çapında deliklere sahiptir. (Şekil 11.6 ve 11.7)



Şekil 11.6 Alüminyum kalıp



Şekil 11.7 Alüminyum kalıp

Refrakter çamurunun su ile karıştırılması için Janke & Kunkel RW 20.n IKA – LTS marka 240 – 2000 devir/dakika 70/30 watt motor gücündeki karıştırıcı kullanılmıştır. (Şekil 11.9)



Şekil 11.8 Refrakter çamurunun su ile karıştırılması için kullanılan karıştırıcı

Derece içerisinde modelin serbest kumla hazırlanması aşamasında Octagon 200 , Endecotts Limited marka 50 hertz frekansla titreşim aralığı 0-10 olan titreşim makinesi (Şekil 11.9) kullanılmıştır.



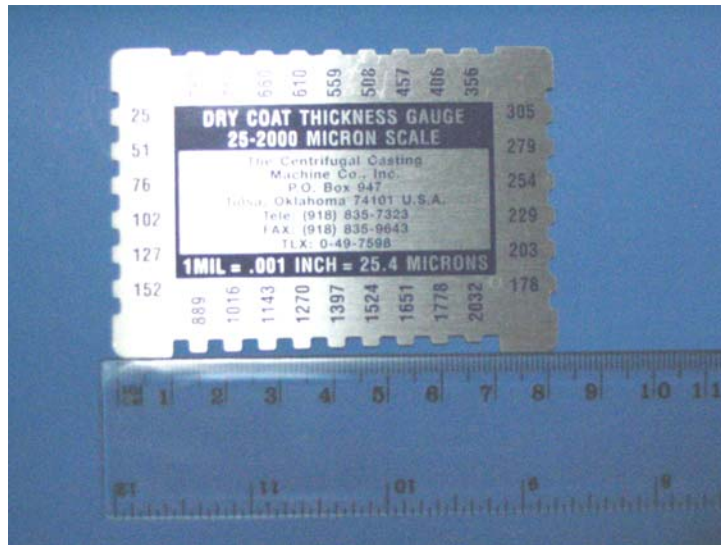
Şekil 11.9 Titreşim makinesi

Önşişirilmiş polistiren boncuklarının kararlaştırılması sırasında ve polistiren modellerin yüzeyinin refrakterle kaplamasından sonra numunelerin kurutulması işleminde Memmert marka maksimum 300⁰ C sıcaklığa çıkabilen etüv kullanılmıştır. (Şekil 11.10)



Şekil 11.10 Önşişirilmiş polistiren boncuklarının kararlaştırılması sırasında ve polistiren modellerin yüzeyindeki refrakterin kurutulması işleminde kullanılan etüv

Refrakter kaplama kalınlığı tayininde Iso 2808 standartına göre ölçüm yapan The Centrifugal Casting Machine Company' den temin edilen şekil 11.11 de görülen tarak kullanılmıştır.



Şekil 11.11 Polistiren modellerin refrakter kaplama kalınlığını belirleyen tarak

Üretilen polistiren modellerin alüminyum döküm deneylerinde metal ergitme için Lepel marka LSS 15 kW 200 kHz ile çalışan indüksiyon güç ünitesi kullanılmıştır. (Şekil 11.12)



Şekil 11.12 İndüksiyon güç ünitesi

Üretilen polistiren modellerin dökme demir döküm deneylerinde metal ergitme için “Inductotherm” marka 9600 hertz frekanslı 35 kW gücündeki ergitme ocağı kullanılmıştır. (Şekil 11.13)



Şekil 11.13 Dökme Demir dökümlerinde kullanılan ergitme ocağı

Sıvı metal sıcaklıkları “Sider-Cemco” tarafından üretilmiş 1700 °C’ ye kadar ölçüm yapabilen yüksek sıcaklık ısıtıcı çifti kullanılmıştır.

11.3 Deneylerin Yapılışı

11.3.1 Polistiren Model Üretimi

Polistiren model üretiminde ön şişirme deneyleri yapılarak uygun yoğunlukta 0,0192-0,0272 gr/cm³ (Smith vd. , 2000) boncuklar (önşişirilmiş küresel polistiren taneleri) elde edilmeye çalışılmıştır.(Şekil 11.14) Çizelge 11.3’ de 100°C’ de 3 bar buhar basıncında süreye bağlı olarak oluşan önşişirilmiş polistiren boncukların yoğunluk değişimi verilmiştir. Aynı şekilde su buharının 100 °C’ de fakat basıncın 2 bar olması durumunda süreye bağlı olarak yoğunluk değişimi çizelge 11.4’ de verilmiştir. Ön şişirilmiş polistiren tanelerinin yoğunlukları sabit hacimli bir kaba hassas terazide ağırlığı ölçülen tanelerin koyulup ağırlığın hacme bölümü ile hesaplanmıştır.

Çizelge 11.3 100°C’ de 3 bar buhar basıncında süreye bağlı olarak oluşan önşişirilmiş polistiren boncukların yoğunluk değişimi

100°C’ de 3 bar buhar basıncında önşişirme zamanı , saniye	Önşişirme zamanına bağlı boncukların yoğunlukları , gr/cm ³
15	0,0450
30	0,0345
45	0,0215
60	0.0155
75	0.0105

Çizelge 11.4 100°C’ de 2 bar buhar basıncında süreye bağlı olarak oluşan önşişirilmiş polistiren boncukların yoğunluk değişimi

100°C’ de 2 bar buhar basıncında önşişirme zamanı , saniye	Önşişirme zamanına bağlı boncukların yoğunlukları , gr/cm ³
15	0,0650
30	0,0545
45	0,0457
60	0.0315
75	0.0286



Şekil 11.14 3 bar basınçta 45 saniye önşişirilmiş polistiren taneleri

Ön genleştirilen polistirenler yüzeylerinde bulunan aşırı nemin kısmen giderilmesi amacıyla 50 °C sıcaklığındaki etüvde 2 saat süre ile bekletilmiştir. 3 bar basınçta 45 saniye ön şişirilmiş 50 °C sıcaklığındaki etüvde 2 saat süre kararlı hale getirilmiş polistiren taneleri 1gr tartılarak alüminyum kalıp içerisine homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Bu miktarın altında

alüminyum kalıba önşişirilmiş polistiren tanesi koyulduğunda elde edilen polistiren modelin tam boyutlarında çıkmadığı, daha fazla miktarda polistiren tanesi koyulduğunda ise aşırı genleşme sonucu modelin kalıbın dışarısına taşıdığı gözlenmiştir. Polistiren modele son şekli verecek genleştirme yoluyla şişirme işlemi çeşitli basınç ve sürelerde yapılmıştır. (Şekil 11.15) Bu basınç ve sürelerle ilgili olarak yüzey kalitesi iyi, orta ve kötü olmak kaydıyla çizelge 11.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 11.15 Polistiren model üretimi

Çizelge 11.5 Polistiren model yapımında nihai şekil verilecek parçaya uygulanan basınç ve süreye bağlı olarak yüzey kalitesi

Uygulanan Basınç ,bar	Uygulanan süre, saniye	Yüzey Kalitesi
0.5	50	Kötü
1	60	Orta
1	70	İyi
1.5	80	Kötü
1.5	90	Kötü

Şekil 11.16' de 1.5 bar basınçta 80 – 90 saniye şişirilmiş polistiren modelleri görülmektedir.



Şekil 11.16 1.5 bar basınçta 80 – 90 saniye şişirilmiş polistiren modelleri

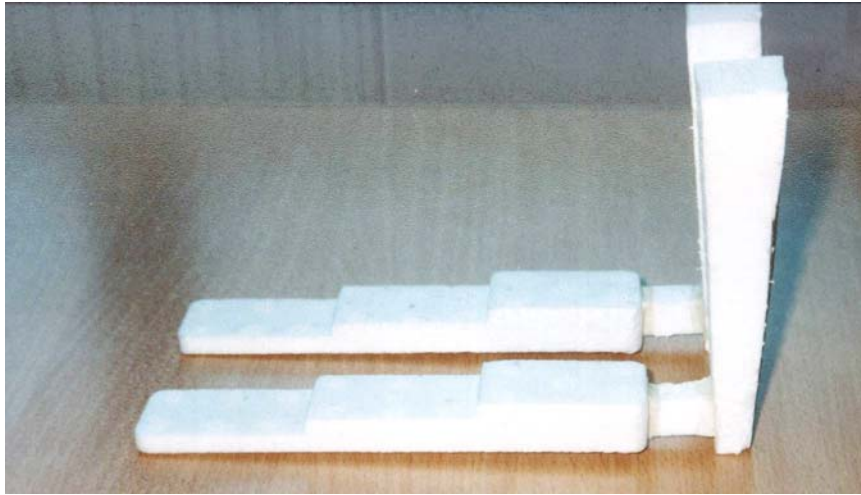
Şekil 11.17' de ise 1 bar basınçta 70 saniye şişirilmiş polistiren modeli görülmektedir.



Şekil 11.17 1 bar basınçta 70 saniye şişirilmiş polistiren modeli

Son şeklini almış polistiren modeller maket bıçağı yardımıyla kesilmiş 25x30x20 ölçülerindeki çıkıcı ve 10x10x20 ölçülerindeki yolluk , termoplastik esaslı Develux isimli yapıştırıcıyla yapıştırılmış aynı zamanda yapıştırılan kısımların mukavim olması amacıyla ince maskeleme bandıyla yapıştırılmış kısımlar çerçevelenmiştir.

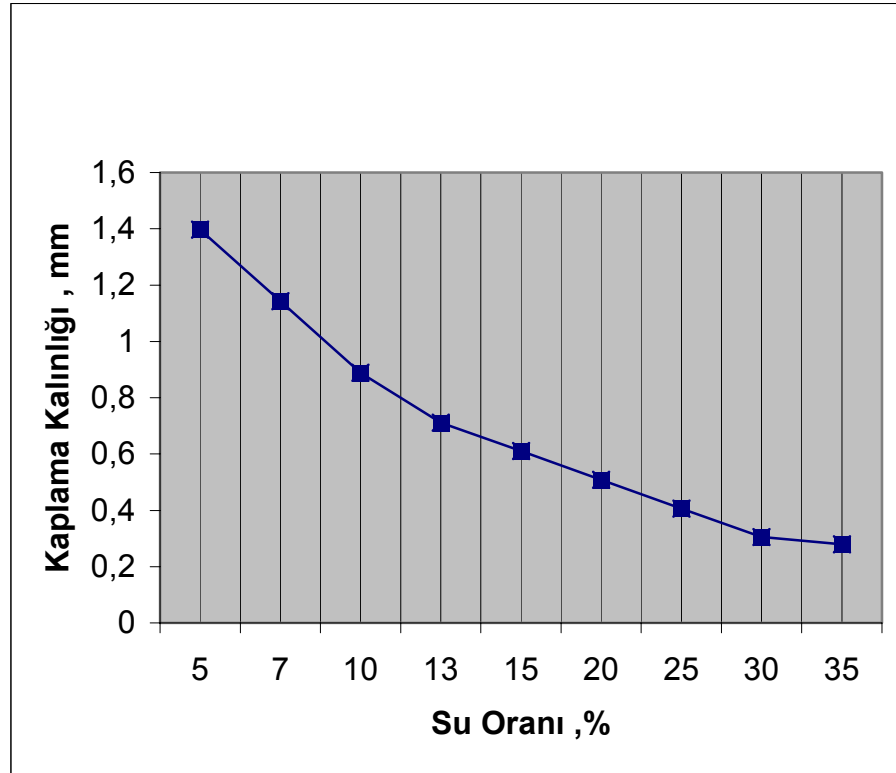
Bu şekilde yapıştırılmış ve maskeleme bandıyla çevrilmiş polistiren modelleri şekil 11.18görülmektedir.



Şekil 11.18 Yolluk ve çıkıcısı yapıştırılmış ve maskeleme bandıyla çevrilmiş polistiren modelleri

11.3.2 Polistiren Modellerin Refrakterle Kaplanması

Yolluğu ve çıkıcısı yapıstrılmış polistiren modeller yüzdece belirli oranlarda su ile karıştırılmış refrakterle daldırma metoduyla kaplanmıştır. Refrakter kaplama kalınlığı tayininde The Centrifugal Casting Machine Company’ den temin edilen tarakla kaplama kalınlıkları ölçülmüştür , eklenen % su oranına göre kaplama kalınlığının değışimi şekil 11.19’ da görölmektedir.



Şekil 11.19 Refrakter kaplama kalınlığının eklenen su oranına bağılı olarak değışimi

Döküm deneylerinde kullanılan tüm modellerin kaplama refrakterine ilave edilen suyun miktarı % 15 dir ve refrakter kalınlığı ortalama 0.6 mm’ dir . Refrakter kaplanan tüm modeller kaplamanın kuruması amacıyla 45 °C’ de 3 saat etüvde bekletilmiştir.Şekil 11.20 de refrakterle kaplanmış kalıplamaya hazır polistiren modeller görölmektedir.



Şekil 11.20 Refrakterle kaplanmış kalıplamaya hazır polistiren modeller

11.3.3 Modellerin Derece İçerisinde Serbest Kumla Kalıplanması

Refrakter kaplaması kurutulmuş modeller , titreşim altında serbest kumun (AFS-35) sıkıştırılmasıyla metal dereceler içerisine kalıplanmıştır. Derece içerisine kalıplanmış polistiren modelinin çıkıcı bölümüne döküm sırasında metalin taşmamasını sağlayacak cam suyu ve silis kumundan yapılmış döküm havuzu yerleştirilmiştir. (Şekil 11.21)



Şekil 11.21 Döküme hazır derece içerisine yerleştirilmiş polistiren modeli

11.3.4 Döküm

Döküm çalışmalarında alüminyum , dökme demir ve çelik dökümleri yapılmıştır.

Külçe halinde alınan ve kimyasal bileşimi Çizelge 11.6’ da verilen (ETİAL -160) alüminyum malzemedan 1000 gr tartılarak LSS 15 kW 200 kHz ile çalışan Lepel marka indüksiyon güç ünitesinde % 50 güçle silisyum karbür pota kullanılarak ergitilmiştir. 800° C sıcaklıkta alüminyum dökülmüştür. Döküm sonucu elde edilen alüminyum parçalar şekil 11.22 görülmektedir.

Çizelge 11.6 Deneysel çalışmada kullanılan Al-Si (ETIAL-160) alaşımının kimyasal bileşimi

Si (%ağ)	Fe(%ağ)	Cu (%ağ)	Mn (%ağ)	Mg(%ağ)	Zn (%ağ)	Ti (%ağ)
7,53	0,68	3,01	0,18	0,3	0,65	0,015



Şekil 11.22 Dolu kalıba döküm yöntemiyle elde edilmiş alüminyum parça

Dökme demirin dökümünde ergitilen “Sorel” pikin bileşimi çizelge 11.7’ de verilmiştir.

Çizelge 11.7 Dökme demirin dökümü için kullanılan pikin kimyasal bileşimi

Bileşim %					
Fe	C	Si	Mn	P	S
95.6	4.1	0.013	0.032	0.026	0
Al	Nb	Ti	V	Cr	Mo
0.001	0.006	0.006	0.017	0.004	0

Dökme demir için 13.800 gr pik indüksiyon ocağında ergitilmiş , aşılایıcı olarak 138 gr ferrosilis ,küreleştirci olarak 250 gr ferrosilismagnezyum kullanılarak , 1292 ° C' de döküm yapılmıştır.. Şekil 11.23' de ocaktaki eriyik metale aşılama işlemi görölmektedir.



Şekil 11.23 Eriyik metale aşılama işlemi

Şekil 11.24' de küresel grafitli dökme demirin döküm anı görölmektedir. Şekil 11.24' de görölebileceği gibi polistirenin yanması sonucu büyük miktarda gaz çıkışı gözlenmiştir.



Şekil 11.24 Küresel grafitli dökme demirin döküm anı

Dolu kalıba dökümle üretilen küresel grafitli dökme demir şekil 11.25’ de görülmektedir.



Şekil 11.25 Dolu kalıba döküm yöntemiyle üretilen küresel grafitli dökme demir

Koza Döküm San. Ltd. Şti.’ de 2000 hertzlik 250 kW gücündeki ‘Inductotherm’ marka döküm ocağıyla paslanmaz çelik dökümü gerçekleştirilmiştir. Döküm sıcaklığını ölçen bir cihaz dökümhanede bulunmadığı için metal soğuk dökülmüştür bunun sonucu parçanın uç kısmı tam çıkmamıştır. Kullanılan çeliğin bileşimi çizelge 11.8’ de verilmiştir.

ÇİZELGE 11.8 Dökümü yapılan paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

Bileşim %					
Fe	C	Si	Mn	P	S
65.7	0.49	2.06	0.69	0.02	0.01
Al	Nb	Ti	V	Cr	Ni
0.01	0.02	0.01	0.12	25.4	4.8

Dolu kalıba döküm yöntemiyle üretilmiş paslanmaz çelik şekil 11.26' da görülmektedir.



ŞEKİL 11.26 Dolu kalıp döküm yöntemiyle dökülmüş paslanmaz çelik

12. DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER

1. Önşışirmede deneylerinde referansların (Smith vd. , 2000 ; Monroe , 1992) belirttiği yoğunluk değerlerine 45 saniye 3 bar basınçta ulaşıldığı belirlenmiştir. Basınç aynı kalmak şartıyla sürenin azaltılması elde edilen önşışirilmiş polistiren tanelerinin yoğunluğun artmasına ,sürenin arttırılması yoğunluğun azalmasına neden olmaktadır. Basıncın 2 bar a düşürülmesiyle birlikte sürenin 75 saniyeye çıkarılmasıyla 0.0286 g/cm³ yoğunluk elde edilmiştir. Üretimde zamanın önemli olduğu düşünülerek 3 bar basınçta 45 saniye süreyle önşışirme koşulları deneylerde kullanılmıştır.
2. Önşışirilmiş polistiren taneleri etüvde 50 C de nemi uzaklaştırılmadığı takdirde alüminyum kalıp içerisinde polistiren modelin elde edilmesi sırasında polistiren tanelerinin yeteri kadar genleşmediği , polistiren tanelerinin alüminyum kalıba yapıştığı ve polistiren modelin çıkmadığı görülmüştür.
3. Polistiren modellerin alüminyum kalıp içerisinde şekillendirilmesinde kullandığımız alüminyum kalıba bağlı olarak optimum buhar basıncının 1 bar ve kalıp içerisinde polistiren model oluşturma süresinin optimum 70 saniye olduğu belirlenmiştir. Basınç aynı kalmak kaydıyla sürenin kısaltılması polistiren tanelerinin birbirlerine tam anlamıyla bağlanmamasına ve dolayısıyla yüzey düzgünlüğünün bozulmasına neden olmuştur. Buhar basıncının ve bu basınçta bekletme süresinin arttırılması ile ince kesitlerinde sıcaklığın artmasının neden olduğu büzülmelemlerle karşılaşmıştır.
4. Polistiren modelin yüzey düzgünlüğünün birçok faktöre bağlı olduğu görülmüştür.
5. Yüzey düzgünlüğünü etkileyen faktörler arasında polistirenin önşışirme koşulları, kalıp malzemesinin ısı iletim katsayısı , modelin boyutları , modelin şekli , kullanılan buhar basıncı , polistiren modelin kalıpta bekleme süresinin olduğu belirlenmiştir.
6. Polistiren modellerin refrakter ile kaplanmasında Polytop FS 6 kalıp boyası kullanılmıştır. Kaplama kalınlığının 0.6 mm olmasının sağlam döküm için yeterli olduğu saptanmıştır. Refrakter kaplama işleminde refrakter bileşimi ve refrakter kalınlıklarının elde edilen döküm kalitesinin etkisi üzerinde çalışmaların devam etmesi yararlı olacaktır.

7. Üretilen polistiren model üzerine yapılan döküm çalışmalarında alüminyum , dökme demir ve paslanmaz çelik başarılı bir şekilde dolu kalıba döküm yöntemiyle dökülmüştür.
8. Yıllık 874.120 tonu bulan metal döküm üretim miktarı ile dünyada döküm pazarında 16. sırada bulunan ülkemizin dünya döküm sanayisinde hak etmiş olduğu yere ulaşması için teknolojik atılımlar yapması gerekmektedir bunun ise tek yolu kendi teknolojisini Araştırma-geliştirme evresiyle birlikte kurmasından geçmektedir.

Dolu kalıba döküm yöntemi dünyada giderek artan bir hızda kullanılmaktadır. Sadece A.B.D 'de bu teknolojinin kullanımı ile yapılan döküm üretimi 1997 yılında 140.676 tona ulaşmıştır.Dolu kalıba döküm teknolojisi alüminyum için 2007, dökme demirde 2009 ve çelikte ise 2013 yılında pazar payı olarak olgunluk seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir. Eğer bu teknoloji yurtdışımızda kullanılmaya etkin olarak başlanırsa özellikle otomotiv, gemi, demiryolu ve makine ekipmanları üretiminde özellikle dış pazarlara yönelik yeni bir ekonomik gelişme sağlanabilecektir.

Dolu kalıba döküm teknolojisi dünya için A.B.D dışında çok yeni bir döküm teknolojisidir. Ülkemizde de yeni yeni dolu kalıba döküm çalışmaları başlamıştır fakat bu dökümler prototip olarak yapılmaktadır , seri olarak üretim için bu döküm yönteminin teknolojisinin çok iyi anlaşılması gerekir. Sonuçta bu yöntemin yurtdışımızda etkin ve verimli kullanımı ile beraber özellikle otomotiv, denizcilik, demiryolu ve makine ekipmanlarının üretiminde özellikle dış pazarlara yönelik bir pazar gelişmesi sağlanacaktır. Bu sayede Tayvan, Çin ve Hindistan gibi ülkelere karşı yeni bir alanda rekabet şansı yaratılacaktır. Bu döküm teknolojisinin sağlayabileceği avantajları sonuç olarak şu başlıklar altında toplayabiliriz,

- a) Dolu kalıba döküm teknolojisinin Türkiye'de gerçekleştirilmesi ; uluslararası döküm sanayisi pazarında ülkemizin rekabet şansını artıracaktır,
- b) Ürün kalitesinde artış sağlanacaktır,
- c)Yatırım ve işletme maliyetlerinde ciddi azalmalar olacaktır,
- d) Yöntem ile otomotiv, gemi, gıda, kimya ve petrol sanayisinde kullanılan döküm parçaların süratle en kaliteli olarak kullanıcıya tedarik edilmesi gerçekleştirilecektir.

KAYNAKLAR

Askeland D. R., Tsai H. L., Fu J., "Mold Filling in Thin-Section Castings Produced by the EPC Process", AFS Transactions, Vol 103, April 23-26, 817-828, 1995

ASM Handbook, Vol. 15, Casting, 9* Edition, 1988

Austin T. E., "Tooling for Lost Foam Casting", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 57-61, 1998

Bates E. Charles, Griffin John, Littleton H., "Expendable Pattern Casting Volume 1: Process Manual", AFS Publication, Des Plaines, 1994

Campbell J., "Castings", Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, 1995

Dudenhofer R. A., "Coatings for Lost Foam Casting Production-Use and Control in the Foundry", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 82-95, 1998

Easwaran J., AFS Transactions, 95-83, 647-649, Des Plaines, 1995

Eidson M., "Improvements in Lost Foam Casting Technology At Mueller Company" AFS Proceedings International Conference on Lost Foam - Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 199-207, 1998

Fata Aluminum, "Company Profile Lost Foam Technology", 44, Turin, Italy

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

Hunter H., "1997 Market Survey of Lost Foam Foundries", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam - Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 2-50, 1998

Lessiter M. J., "A Look Back at the 20 Century - Lost Foam Casting", Modern Casting, Vol. 90, Number 11, 54-55, 2000

Littleton H., Bates C. E., "Recent Advances in Understanding And Controlling The Lost Foam Casting Process", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 1998, 169-198, 1998

Littleton H.E, Miller B., Sheldon D., Bates C.E., AFS Transactions, 96-124, 335-346, Des Plaines, 1996

Monroe R. W., "Expendable Pattern Casting", American Foundrymen's Society, Inc., Des Plaines, 1992

Petitbon E.U., "Successful Results From Lost Foam Castings", AFS Proceedings International Conference on Lost Foam Showcasing the Process", Birmingham, October 27-29, 1998, 133-164, 1998

Ramsay C. W., Askeland D. R., Lavvrence M. D., "Some Observations and Principles for Gating of Lost Foam Castings", AFS Transactions, Vol 106, May 10-13, 349-356, 1998

S.Lessiter M. J., "A Look Back at the 20th Century - Lost Foam Casting", Modern Casting, Vol. 90, Number 11, 54-55, 2000

Smith B. V., Biederman S., "Examining Lost Foam's White Side", Vol. 90, Number 8, 30-34, 2000

Warner M. H., Miller B. A., Littleton H. E., "Pattern Pyrolysis Defect Reduction in Lost Foam Castings", AFS Transactions, Vol 106, May 10-13, 777-785, 1998

İnternet Kaynakları

[1] www.petkim.com.tr

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	30.04.1978	
Doğum yeri	Adana	
Lise	1993-1997	Özel Bilfen Koleji
Lisans	1998-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı

Çalıştığı Kurumlar

2003- 2005 YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi
 2005-Devam ediyor Houghton Kimya A.Ş. Marmara Bölge
 Satış Sorumlusu

