

154204

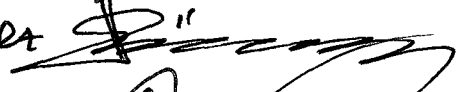
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABUK HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİNDE KABUK
KALINLIĞINA
VE MUKAVEMETİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Makine Mühendisi Taylan SÜBAŞI

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç.Dr. Murat Varal 
Prof.Dr. Hüseyin Sönmez 
Prof.Dr. Aysegül Akduzgun 

Tez Danışmanı : Prof.Dr . Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL,2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2. HASSAS DÖKÜM YÖNTEMLERİ.....	3
2.1 Kabuk Hassas Döküm Yöntemi	3
2.1.1 Kabuk Hassas Döküm İşlem Basamakları	3
2.1.2 Hassas Döküm Toleransları	9
2.1.3 Kabuk Hassas DökümUygulama Örnekleri	11
2.1.4 Hassas Döküm Yönteminin Avantajları	12
2.1.5 Hassas Döküm Yönteminin Sınırlamaları.....	14
2.2 Dereceli Hassas Döküm Yöntemi	14
2.2.1 Dereceli Hassas Döküm İşlem Basamakları	15
2.2.2 Dereceli Hassas Döküm Uygulama Örnekleri	18
3. HASSAS DÖKÜM MALZEMELERİ VE MODEL İMALİ	19
3.1 Plastik Modeller.....	19
3.1.1 Plastik Modellerin Dezavantajları	21
3.1.2 Plastik-Mum Karışımı Modeller.....	22
3.2 Cıva Modeller	24
3.2.1 Donmuş Cıvanın Mekanik Özellikleri	24
3.2.2 Cıva Modelleri Kalıpları	27
3.2.3 Cıvadan Model ve Salkım Oluşturma.....	27
3.2.4 Cıva Modeller ile elde edilecek kısımlar	28
3.2.5 Cıvanın model malzemesi olarak avantajları	30
3.2.6 Cıvanın model malzemesi olarak dezavantajları.....	32
3.3 Mum Model Malzemeleri	33
3.3.1 Mumların sınıflandırılması.....	37
3.3.1.1 Doğal Ester Mumları.....	38
3.3.1.2 Doğal Hidrokarbon Mumları.....	38
3.3.1.3 Sentetik Mumlar	39
3.3.1.4 Doğrudan veya Doldurulmamış Model Mumları	39
3.3.1.5 Emülsifiye Edilmiş Model Mumları	39
3.3.1.6 Doldurulmuş Model Mumları.....	40
3.3.1.7 Besleyici Mumlar.....	40
3.3.1.8 Geri – dönüşümlü Mumlar	40
3.3.1.9 Suda Çözünen Mumlar.....	40
3.3.1.10 Diğer Özel Mumlar	41

3.3.2 Mumlara eklenen katkı malzemeleri.....	41
3.3.3 Mum Model Oluşturma.....	45
3.3.3.1 Mumların Eritilmesi.....	46
3.3.3.2 Mum Enjeksiyon Araçları	46
3.3.3.3 Model Montajı Ve Hazırlanması	47
3.3.4 Mum Boşaltma Operasyonu.....	47
3.3.5 Mum Seçimi	51
3.3.6 Hassas Dökümde Mumların Geri Kazanılması	54
3.3.6.1 Paketleme ve Taşınımı	56
3.3.6.2 Ergitme	57
3.3.6.3 Kurutma.....	58
3.3.6.4 Filtreleme.....	58
3.3.6.5 Santrifujlama	59
4. KABUK HASSAS DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ	61
4.1 Refrakter Malzemeler	61
4.1.1 Refrakterlerin sınıflandırılması	61
4.1.1.1 Zirkon.....	62
4.1.1.2 Alümino silikat	62
4.1.1.3 Fused Silika	63
4.1.1.4 Alümina.....	64
4.1.1.5 Zirkonya	64
4.1.1.6 Yttria	64
4.1.2 Refrakter Seçimi	64
4.1.2.1 Bağlayıcı sistemlere göre refrakter seçimi	64
4.1.2.1.1 Silika Bazlı Sistemler	64
4.1.2.1.2 Alümina Bağlı Sistemler	65
4.1.2.2 İlk katman için refrakter seçimi.....	65
4.1.2.3 Stuko Malzemesi olarak refrakter seçimi.....	72
4.1.2.3.1 İnce taneli stukoların seçimi.....	72
4.1.2.3.2 Orta taneli stukoların seçimi.....	72
4.1.2.3.3 Kaba taneli stukoların seçimi	72
4.1.3 Stukolama İşlemi	73
4.1.3.1 Akışkan yatak	74
4.1.3.2 Yağmurlama kabini.....	74
4.2 Bağlayıcılar	75
4.2.1 Koloidal Silika.....	75
4.2.1.1 Koloidal Silikanın Kimyasal Doğası	76
4.2.1.2 Koloidal Silikanın Kararlılığı.....	78
4.2.1.2.1 Ph Kontrolü ve Ph değiştiricileri	79
4.2.1.2.2 Çözünebilir Tuzlar	80
4.2.1.2.3 Alkoller.....	80
4.2.1.2.4 Dondurma İşlemi	81
4.2.1.3 Koloidal Silika Kullanılımda Dikkat Edilecek Hususlar	81
4.2.1.4 Koloidal Silikanın Avantaj ve Dezavantajları.....	82
4.2.2 Etil Silikat.....	82
4.2.3 Sodyum Silikat	85
4.2.4 Alumina Bağlayıcılar	85
4.2.4.1 Fiziksel özellikleri.....	85

4.2.4.2 Kimyasal Özellikleri	87
4.2.4.3 Uygulama Alanları.....	88
4.2.5 Zirkonya Bağlayıcılar	88
4.2.5.1 Fiziksel Özellikleri.....	88
4.2.5.2 Kimyasal Özellikleri	89
4.2.5.3 Uygulama Alanları.....	90
4.2.6 Zenginleştirilmiş bağlayıcı tipleri.....	91
4.2.6.1 Zenginleştirici Bağlayıcı oluşturulması	94
4.2.6.1.1 Katkılar	95
4.2.6.2 Testler.....	97
4.2.6.2.1 pH testi	98
4.2.6.2.2 Silika yüzdesi , Bağlayıcı katılar ve çamur katılarının kontrolü	98
4.2.6.2.3 Bakteri ve pelteleşme testi.....	98
4.2.6.3 Zenginleştirilmiş Bağlayıcıların Avantajları	98
4.2.6.4 Zenginleştirilmiş Bağlayıcıların Dezavantajları.....	100
4.3 İslatma Maddeleri	100
4.3.1 Yüzey Aktif Maddesinin Özellikleri.....	101
4.3.2 Yüzey Aktif Maddesinin Genel Davranışı.....	102
4.3.3 Yüzey Aktif Maddesi Tarafından İslatma ve Değişimi	104
4.3.3.1 Yayılmalı İslatma.....	104
4.3.3.2 Adhezyonel İslatma.....	104
4.3.3.3 Daldırılmalı İslatma	105
4.4 Köpük Gidericiler	105
4.4.1 Köpükler.....	106
4.4.2 Köpük Giderici İşlem.....	107
4.5 Su.....	109
5. SERAMİK ÇAMUR HAZIRLAMA.....	111
5.1 Seramik Çamur Oluşumu İçin Gereklilikler	111
5.2 Seramik Çamurun Karıştırılması.....	112
5.3 Seramik Çamur Kontrolü ve Bakımı	114
5.3.1 Seramik Çamur Bakımı.....	114
5.3.2 Seramik Çamur Kontrolü	115
5.3.2.1 Viskozite.....	116
5.3.2.2.Seramik Çamur Sıcaklığı	117
5.3.2.3.Seramik Çamurun pH'ı	117
5.3.2.4 Koloidal silika içinde çözünür SiO ₂ içeriğinin belirlenmesi	118
5.3.2.5 Seramik çamurun özgül ağırlığı.....	118
5.3.2.6 Mum Model İslatılabilme Testi	119
5.3.2.7 Tabaka Tutma Testi	119
6. KABUK OLUŞTURMA PROSESİ	120
6.1 Kabuk Elemanları	125
6.1.1 Stuko Bileşimi ve Gereklilikleri.....	126
6.2 Kabuk Kurutulması.....	127
6.3 Kabukların Fiziksel Özellikleri	128
6.3.1 Termal Genleşme.....	128
6.3.2 Termal İletkenlik	128
6.3.3 Refrakterlik.....	129
6.3.4 Kabuk Mukavemeti.....	129

6.4 Kabuk Çatlamasının Önlenmesi.....	130
7. KABUK MUKAVEMETİNE VE KALINLIĞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	132
7.1 Seramik Çamur Viskozitesi.....	133
7.2 Kurutma zamanı ve Daldırma Sayısı	134
7.3 Bağlayıcı ve Refrakter Özellikleri.....	136
8.DENEYSEL ÇALIŞMA.....	140
8.1 Deney malzemesi.....	140
8.1.1 Birincil(Primary)Banyo	141
8.1.2. Destek(Backup)Banyo	141
8.2 Deneyde kullanılan makina ve donatılar.....	142
8.3 Deney şartları	144
8.4 Numune Hazırlama.....	144
8.5. Deneyin Yapılışı.....	146
8.6. Deney sonuçları.....	151
8.6.1 Viskozite deneyi	151
8.6.2 Daldırma sayısı deneyi.....	153
8.6.3 Kurutma zamanı deneyi	154
8.7 Genel sonuç	155
KAYNAKLAR	156
ÖZGEÇMİŞ	159

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Mum modelin hazırlanması.....	3
Şekil 2.2 Model salkımı oluşturulması	4
Şekil 2.3 Seramik banyoya salkımın daldırılması.....	4
Şekil 2.4 Yağmurlama kabinde salkımların refrakter tozla kaplanması.....	5
Şekil 2.5 Oluşturulan seramik kaplamanın işlemler arası kurutulması	5
Şekil 2.6 Mum boşaltma işlemi.....	6
Şekil 2.7 Kabukların fırında sinterlenmesi	6
Şekil 2.8 Döküm işlemi	6
Şekil 2.9 Seramik kabuğun kırılması.....	7
Şekil 2.10 Parçayı yolluktan ayırma işlemi	7
Şekil 2.11 Parçanın boyutsal kontrolünün yapılması	8
Şekil 2.12 Kabuk Hassas Döküm Üretim Aşamaları	8
Şekil 2.13 Kabuk hassas döküm üretim yöntemiyle üretilmiş mamüller	11
Şekil 2.14 Büyük boy bir jet motoru parçası dökümü.....	11
Şekil 2.15 Mum modellerin havya ile eritilerek yine mum malzemeden yapılmış model ağacına bağlanması	15
Şekil 2.16 Fanusun döküm ağacının çevresine yerleştirilmesi	15
Şekil 2.17 Fanusun vakum altında seramik (alçı) ile doldurulması	15
Şekil 2.18 Fanusun kurutma fırından çıkarılması	16
Şekil 2.19 Mum eritme ve metal döküm sonrası fanusun çıkartılması	16
Şekil 2.20 Kalıp malzemesinin basınçlı su ile temizlenmesi.....	16
Şekil 2.21 Metal dökülmüş parçaların döküm ağacından koparılmaya hazır durumda olması.....	17
Şekil 2.22 Dereceli hassas döküm işlem basamakları.....	17
Şekil 2.23 Yüzük dökümlerin bulunduğu hassas döküm ağacı	18
Şekil 2.24 Alman MCP-HEK GmbH Firmasının imal ettiği parçanın üretim aşamaları ..	18
Şekil 3.1 Üretilecek 6 adet parçanın plastik modeli.....	20
Şekil 3.2 Plastik modelin üretilmesi için kullanılan enjeksiyon makinesi	21
Şekil 3.3 Pompa imalinde kullanılacak nozulun 2 adet plastik-mum modeli.....	23
Şekil 3.4 Donmuş cıvanın sıcaklığa bağlı gerilim mukavemeti eğrisi	25
Şekil 3.5 Cıvanın sıcaklığa karşı hacimsel genleşme katsayısı eğrisi.....	26
Şekil 3.6 Mumum sıcaklık karşı sertliğe bağlı faz diyagramı	35
Şekil 3.7 Mum.reçine ve kristalli malzemenin sıcaklığa karşı genleşme grafiği.....	36
Şekil 3.8 Doldurucu içeriğinin model mumunun hacimsel termal genleşmesi üzerine etkileri	44
Şekil 3.9 Üretimde model montajı.	47
Şekil 3.10 Otoklav fırın ve ekipmanları.	48
Şekil 3.11 Mum Bloklar	56
Şekil 3.12 Ergitme birimi.....	57
Şekil 3.13 Filtreleme pres makinesi	59
Şekil 3.14 Santrifuj Makinesi.....	60
Şekil 4.1 Çeşitli refrakterlerin sıcaklığa karşı yüzde genleşme grafiği	68
Şekil 4.2 MnO – SiO ₂ sistemi için faz diyagramı.....	69
Şekil 4.3 MgO – SiO ₂ sistemi için faz diyagramı.....	70
Şekil 4.4 PbO – SiO ₂ sistemi için faz diyagramı.....	71

Şekil 4.5 Ara stuko kullanımı	73
Şekil 4.6 Koloidal silika parçacıkları	76
Şekil 4.7 Alumina Bağlayıcının kurutulması.....	88
Şekil 4.8 Koloidal Silika Parçacığın Latex Parçacıkla Karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.9 Bazı katıların ve sıvıların yüzey gerilimleri.....	105
Şekil 6.1 Dört kattan oluşmuş bir kabuğun kesit resmi.....	129
Şekil 7.1 Seramik Bir Bünyenin Kuruma Safhaları	135
Şekil 8.1 Eğme cihazı	142
Şekil 8.2 Yolluğu ile birlikte mum model	145
Şekil 8.3 Yolluklarıyla beraber mum modeller.....	145
Şekil 8.4 Mum modellerin önden görünüşü.....	146
Şekil 8.5 Kurutma deneyi numuneleri.....	146
Şekil 8.6 Kuruma zamanı deneyi birinci numunesi	147
Şekil 8.7 Daldırma sayısı deneyi numuneleri	148
Şekil 8.8 Viskozite deneyi numuneleri.....	148
Şekil 8.9 Deney numuneleri.....	149
Şekil 8.10 Eğme cihazında numune mukavemet ölçümü.....	150
Şekil 8.11 Viskoziteye karşı mukavemet değeri grafiği.....	152
Şekil 8.12 Viskoziteye karşı kalınlık değeri grafiği	152
Şekil 8.13 Daldırma sayısına karşı mukavemet değeri grafiği	153
Şekil 8.14 Daldırma sayısına karşı kalınlık değeri grafiği.....	153
Şekil 8.15 Kurutma zamanına karşı mukavemet grafiği	154
Şekil 8.16 Kurutma zamanına karşı kalınlık değeri grafiği.....	155

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Geometrik toleranslar.....	9
Çizelge 2.2 Boyut toleransları.....	10
Çizelge 2.3 Dökülebilir Delik Uzunlukları.....	10
Çizelge 2.4 Dökülebilir Kanal Uzunlukları	10
Çizelge 3.1 Carpenter ve Oakley’e göre cıvanın özellikleri.....	25
Çizelge 3.2 Hassas döküm mumları tipleri.....	39
Çizelge 3.3 Döküm mumlarının önemli karakteristiklikleri.....	52
Çizelge 3.4 Mum seçim kriterleri.....	54
Çizelge 4.1 . Kabuk hassas dökümde kullanılan refrakterler ve bunların yüksek sıcaklıkta davranışı	61
Çizelge 4.2 Kabuk hassas dökümde kullanılan refrakterlerin yüksek sıcaklıktaki özellikleri.....	62
Çizelge 4.3 Tipik Koloidal Silika Analiz Sonuçları.....	79
Çizelge 4.4 Remal 20 adlı alümino bağlayıcının fiziksel özellikleri	86
Çizelge 4.5 Remal 20 tipi alümina bağlayıcının kimyasal özellikleri.....	87
Çizelge 4.6 Zirkonya katılarının fiziksel özellikleri.....	89
Çizelge 4.7 Zirkonya katılarının kimyasal özellikleri.....	90
Çizelge 8.1 Eğme cihazı özellikleri.....	143
Çizelge 8.2 Kurutma zamanı deneyi daldırma zamanları.....	149
Çizelge 8.3 Daldırma sayısı deneyi (Daldırmalar arası kurutma zamanı 30 dakika).....	150
Çizelge 8.4 Viskozite deneyi (Daldırmalar arası kurutma zamanı 30 dakika)	150
Çizelge 8.5 Viskozite deneyi sonuçları	151
Çizelge 8.6 Daldırma sayısı deneyi değerleri	153
Çizelge 8.7 Kurutma deneyi değerleri.....	154

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında beni yönlendiren ve karşılaştığım sorunlarda bana yol gösteren ve destek olan değerli sayın hocam Doç.Dr.Hüseyin Sönmez'e teşekkürü bir borç bilirim.

Sır-Metal adlı kuruluştaki deney yapma imkanını sağlayan genel müdür yardımcısı Mehmet Uzer 'e , deneysel çalışmamda bana yardımcı olan imalattan sorumlu metalurji mühendisi Fatma Serin ve Sır-Metal çalışanlarına teşekkür ederim .Ayrıca deney numunelerinin ölçümünde bana bu test imkanını sağlayan Prof.Dr Cemalettin Yaman'a teşekkür ederim.Çalışmalarım sırasında benden bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen tüm öğretim üyelerine minnettarım.

Hayatım boyunca beni destekleyen ve bu günlere gelmemi sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu tezde , kabuk hassas döküm yönteminde kabuk kalınlığına ve mukavemetine etki eden faktörler araştırılmıştır . Bu faktörlerin incelenebilmesi için kabuk kalıbı oluşturan bileşenlerin özelliklerinin bilinmesi gereklidir . Bu bakımdan bu çalışmada bunlara ait geniş bilgi verilmiştir . Seramik çamurun viskozitesi , bileşenleri ve modelin seramik çamura daldırılma sayısı ve katlar arası kurutma zamanı kabuk kalınlığına ve mukavemetine etki eden faktörler olmaktadır .Bunların nasıl etki ettiği yapılan bir deney çalışmasıyla belirlenmiştir.Deneyde seramik çamur viskozitesi , daldırma sayısı ve daldırmalar arası kurutma zamanı kontrol parametreler olarak alınmış ve üç farklı deney yapılmıştır . Daha sonra oluşturulan numunelerin kalınlık ve mukavemet değerleri ölçülmüştür.Sonuç olarak , bu faktörlerin kabuk kalınlığını ve mukavemetini nasıl etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kabuk hassas döküm , viskozite , kurutma zamanı , daldırma sayısı , kabuk mukavemeti

ABSTRACT

In this thesis , factors affecting shell thickness and strength in lost-wax process have been investigated. In order to examine these factors , the properties of the contents of the shell mold must be known . For this reason a wide information about these contents has been given in this project. The ceramic slurry's viscosity , ceramic slurry's contents , the number of dipping action and the amount of dry time between dips are the main factors affecting shell mold integrity and thickness. An experimental study has been done in order to determine how these factors affect shell mold integrity and thickness . The ceramic slurry's viscosity , the number of dipping action and the amount of dry time between dips have been taken as control parameters. Three experiments have been done in order to investigate the effects of these parameters on shell mold strength and thickness . After the experiments the thickness and the strength of the shell molds are measured . As a result , it has been determined how these factors affect shell strength and thickness.

Keywords : Ceramic shell casting , viscosity , dry time , dipping number , shell strength



1.GİRİŞ

İngilizce'de "Investment Casting", "Ceramic Shell Casting" (seramik kabuk dökümü) veya "lost wax process" (kaybedilmiş mum prosesi), Almanca'da "Feinguss" veya "Schalenguss", Fransızca'da ise "Fonde a Cire Perdue" ismiyle anılan hassas döküm tekniğinin 2000 yıllık bir geçmişi vardır . Hassas döküm prosesi , “ kaybolan mum ” prosesi olarak da adlandırılmaktadır ve binlerce yıl öncesine dayanan bir yöntemdir.Çin’de Shang Hanedanlığı (1766 – 1122) mücevherat ,metal cisimler ve heykeller yapmak için bu yöntemi kullanmışlardır.1940’lı yılların başında , II. Dünya savaşında içten yanmalı motor komponentleri ihtiyacı doğmuştur.Bunların hem dayanıklı , hem de yüksek sıcaklıklara dayanım özelliğine sahip olması aranmaktaydı . Havacılık endüstrisi yüksek sıcaklıkta metal dökümünde hassas döküm prosesini araştırdı. Howmet Türbin Komponentleri kuruluşu olan Austenal laboratuvarları dişçilik ve tıbbi araçlar için hassas dökümü kullanmıştır.General Electric şirketiyle birlikte çalışarak hassas dökümde uçak motorları alanında , birçok alaşımın dökümünü incelemiştir.Kobalt bazlı Vitallium’un varyasyonunun havacılık sektöründe başarıyla döküldüğünü keşfettiler.Hassas dökümde ayrıca yüksek boyutsal hassasiyet elde edildi.II. Dünya savaşının sonunda 35 milyonun üzerinde süpersarjlı türbin kanatları Vitallium ve bunun varyasyonları ile döküldü.

Savaş sonrası zamanda yüksek – sıcaklık mukavemeti ve yorulma özellikleri gaz türbini motorları bileşenleri için geliştirilmiş ve yeni alaşımların oluşmasına yol açmıştır.Bu başarıyla yüksek – sıcaklıkta üretimde hassas döküm önemli bir faktör olmuştur.

Bu teknik sayesinde elde uygun malzemeden yapılmış bir model olduğu sürece çok karmaşık metal dökümler yüksek hassasiyet ve yüzey kalitesi ile yapılabilir. Bu özelliği ile hassas döküm, birçok talaşlı imalat işleminin gereğini ortadan kaldırır. Hassas döküm teknikleri temelde ikiye ayrılır: "Investment Shell Casting" (hassas kabuk döküm) tekniğinde, seramik kalıp, ince cidarlı bir kabuk şeklinde modelin etrafını örterken, "Investment Flask Casting" (hassas fanus döküm) tekniğinde ise bir kabın içindeki kalıp boşluğu haricindeki tüm hacim seramik/alçı malzeme ile doldurulur.

Hassas döküm ilk uygulamalarda genellikle mücevher yapımında , havacılık alanında ve dişle ilgili problemlerin çözümünde(protez yapımı) kullanıldığından gerek estetik yönden gerekse mekanik özelliklerin homojen olması istenmesi ve bünyenin tok bir yapıda olmasının istenmesi yönünden tam bir boyutsal düzgünlük ve biçimsel tamlık göstermek zorundadır .

Hassas döküm yöntemi , günümüzde uygulama alanını genişletmiştir . Başta silah sanayi olmak üzere , tekstil sanayi ve diğer sanayi alanlarında uygulanmaya başlanmıştır . Bu alanlara uzay, havacılık ve savunma sanayi , tıbbi ve ortopedik cihaz sanayi , otomotiv ve motor sanayi , tekstil sanayi , mekanik ve elektromekanik sanayi örnek verilebilir .



2. HASSAS DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Hassas döküm yönteminde dereceli ve seramik kabuk yöntemi olmak üzere iki yöntem vardır. Dereceli yöntem hala kullanılmakta olduğu halde kabuk hassas yöntemi daha popülerdir. Bu popülaritenin sebebi tamamen daha ekonomik olmasıdır. Bu yüzden endüstride kabuk hassas döküm yöntemi kullanılmaktadır. Dereceli hassas döküm yöntemi ise daha çok artistik alanlarda ve kuyumculuk sektöründe kullanılmaktadır. (Clegg, 1962)

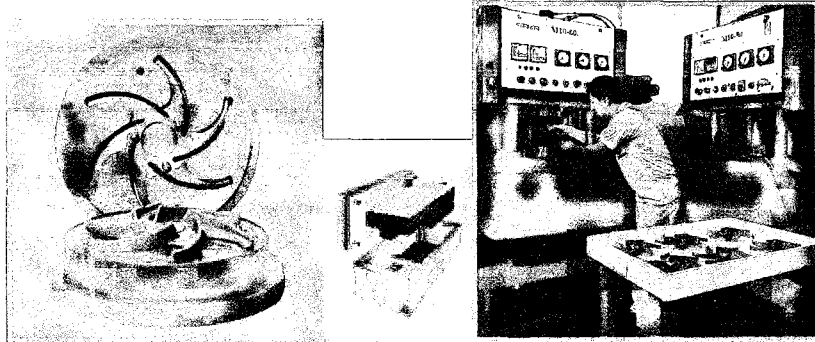
2.1 Kabuk Hassas Döküm Yöntemi

Kısaca açıklamak gerekirse bu teknikte oluşturulan salkım bulamaca daldırıldıktan sonra seramik toz ile kaplanır ve kurutulur. Bu işlem gittikçe kalınlığı artan seramik toz kullanılarak, kendi kendini taşıyan bir kabuk elde edilene kadar tekrar edilir. Kabuk kalınlığı 0,5-1,5 cm arasında değişir. Kabuk bundan sonra yüksek sıcaklıktaki bir fırına veya tercihan buhar otoklavına yerleştirilerek mumu alınır.

2.1.1 Kabuk Hassas Döküm İşlem Basamakları

1. Mum Enjeksiyon

Üretilcek parçanın mum modelleri enjeksiyon kalıpları kullanılarak üretilir. Öncelikle, metalden dökülmesi istenilen parçanın mum veya benzeri bir malzemeden modeli hazırlanır. Genellikle alüminyum bir kalıp imal edilir ve plastik enjeksiyon yöntemi ile istenildiği kadar mum model elde edilir. Döküm sonrası soğuma ve büzülme tahmini yapılarak model aslından biraz büyük imal edilebilir. Bu basamak şekil 2.1’de gösterilmiştir. (Serin, 2003)



Şekil 2.1 Mum modelin hazırlanması[3]

2. Model Salkımı Oluşturulması

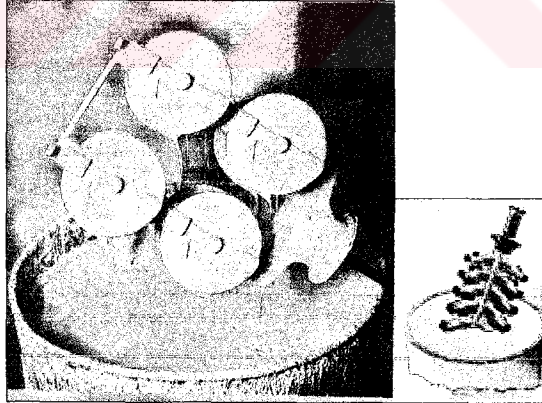
Parçalar yine mumdan yapılmış bir gövdeye yapıştırılarak "mum salkım" hazırlanır. Mum malzeme, 70-90  C arasında olabilen düşük ergime sıcaklığına sahip ve seramik kabuğu atlatmaması için düşük ısıl genleşme özelliğine sahip bir malzemedir .Kısaca üretilen mum modeller, uygun mum yolluklara yapıştırılarak bir salkım elde edilir . şekil 2.2 'de bu işlem görülmektedir . (Serin, 2003)



şekil 2.2 Model salkımı oluşturulması[3]

3. Seramik Kaplama

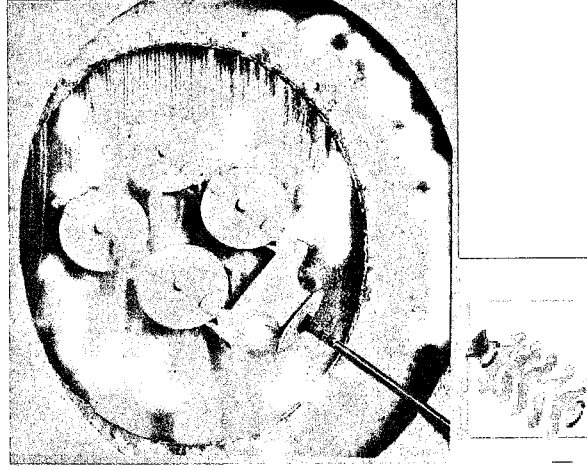
Üretilen salkımlar seramik çamur banyosuna daldırılarak kaplama işlemi başlatılır . şekil 2.3 'de bu işlem basamağı görülmektedir. (Serin, 2003)



şekil 2.3 Seramik banyoya salkımın daldırılması[3]

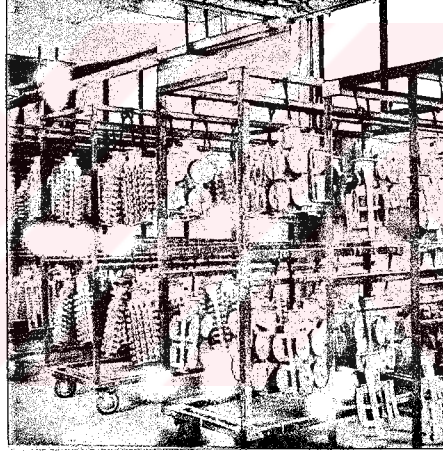
4. Stukolama

Salkım modeller daha sonra yağmurlama kabiniinde veya akışkan yatakta seramik tozları ile kaplanmaktadır.şekil 2.4'te bu işlem gösterilmektedir. (Serin, 2003)



Şekil 2.4 Yağmurlama kabininde salkımların refrakter tozla kaplanması[3]

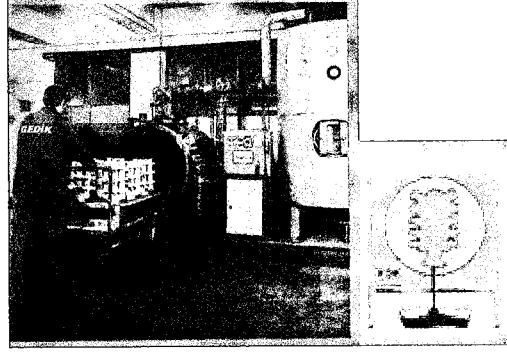
Üçüncü ve dördüncü işlemler uygun kabuk kalınlığı elde edilinceye kadar sürdürülür. Bu işlemler arası seramik kaplamalar kurutulmaya bırakılır. Şekil 2.5'te buna ait gösterim mevcuttur. (Serin, 2003)



Şekil 2.5 Oluşturulan seramik kaplamanın işlemler arası kurutulması[3]

5. Mum Boşaltma

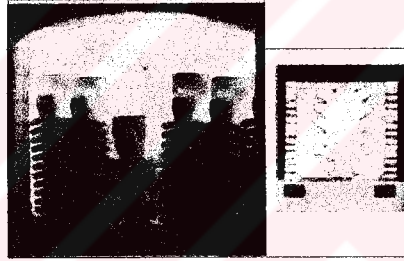
Seramik kaplama kuruduktan sonra mum boşaltılarak döküme uygun kabuk elde edilir. Dış cidarı sert seramik kaplı parça bir fırına sokularak modelin eriyip dışarı akması sağlanır. Seramik malzeme ise yüksek sıcaklığa dayanıklı olduğundan şeklini muhafaza eder. Bu esnada mum modelin akarak çıkmayan kısımları da tamamiyle buharlaşır. Kısaca seramik kaplama işlemi tamamlanan salkımlar buhar kabininde ısıtılarak mumun erimesi sağlanır ve seramik kabuğun içi boşaltılır . Şekil 2.6 'da bu işleme ait bir resim verilmiştir . (Serin, 2003)



Şekil 2.6 Mum boşaltma işlemi[3]

6. Sinterleme

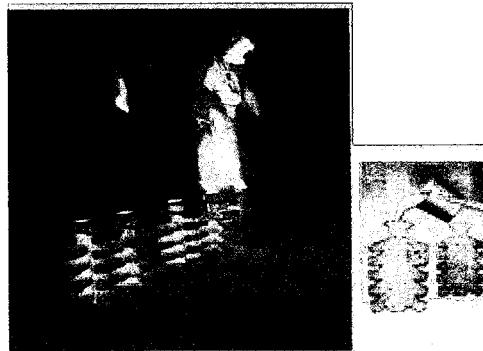
Fırın sıcaklığı yükseltilerek belli bir süre içinde seramik kabuk pişirilerek sinterlenir ve sonraki döküm işlemlerine dayanacak şekilde mukavemetinin artması sağlanır. Böylece içi boşaltılan seramik kalıplar pişirilerek erimiş metalin sıcaklığına ve basıncına dayanıklı hale getirilir . Bir bakıma , yeşil mukavemete sahip olan kabuklar bundan sonra pişirilmiş mukavemete sahip olmuş olacaktırlar. Buna ait resim şekil 2.7’de verilmiştir. (Serin, 2003)



Şekil 2.7 Kabukların fırında sinterlenmesi[3]

7. Döküm

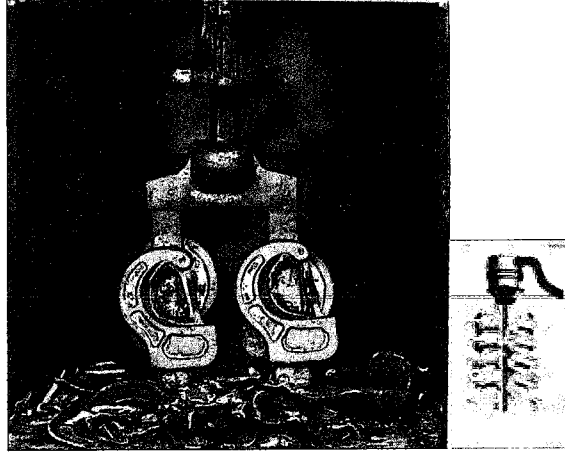
Mum salkımdan kalan boşluğa (daha önce bırakılmış bulunan bir ağızdan) ergimiş halde metal dökülür . Bir başka deyişle reçetesine uygun olarak hazırlanan ergimiş metal , önceden ısıtılmış seramik kalıpların içine dökülür. Şekil 2.8’de bu olay gösterilmektedir . (Serin, 2003)



Şekil 2.8 Döküm işlemi[3]

8. Kabukların Kırılması

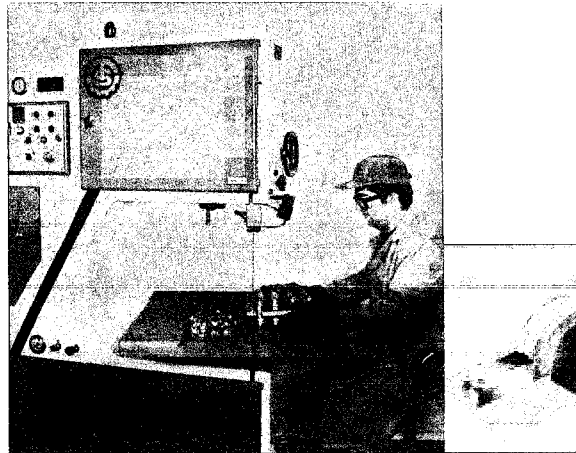
Metal soğuyup katılaştıktan sonra seramik kabuk kırılır ve parça ortaya çıkarılır. (Serin, 2003)



Şekil 2.9 Seramik kabuğun kırılması[3]

9. Bitirme İşlemleri

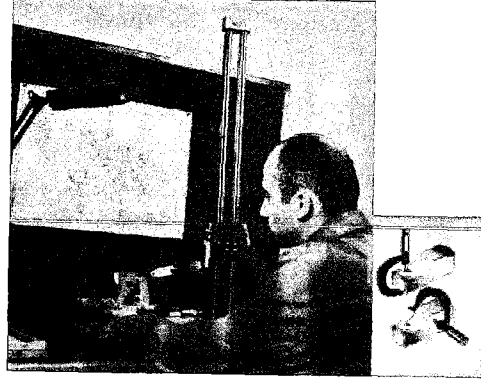
Parçalar ana gövdeden dairesel bir testere ile kesilerek alınır, bir başka deyişle göbek bağları kesilir. Ardından, gerekli çapak alma, temizleme ve yüzey parlatma işlemleri yapılır. Sonuçta, metal parçalar yolluktan ayrılır ve parça besleyicileri ölçüsüne uygun olarak taşlanır. (Serin, 2003)



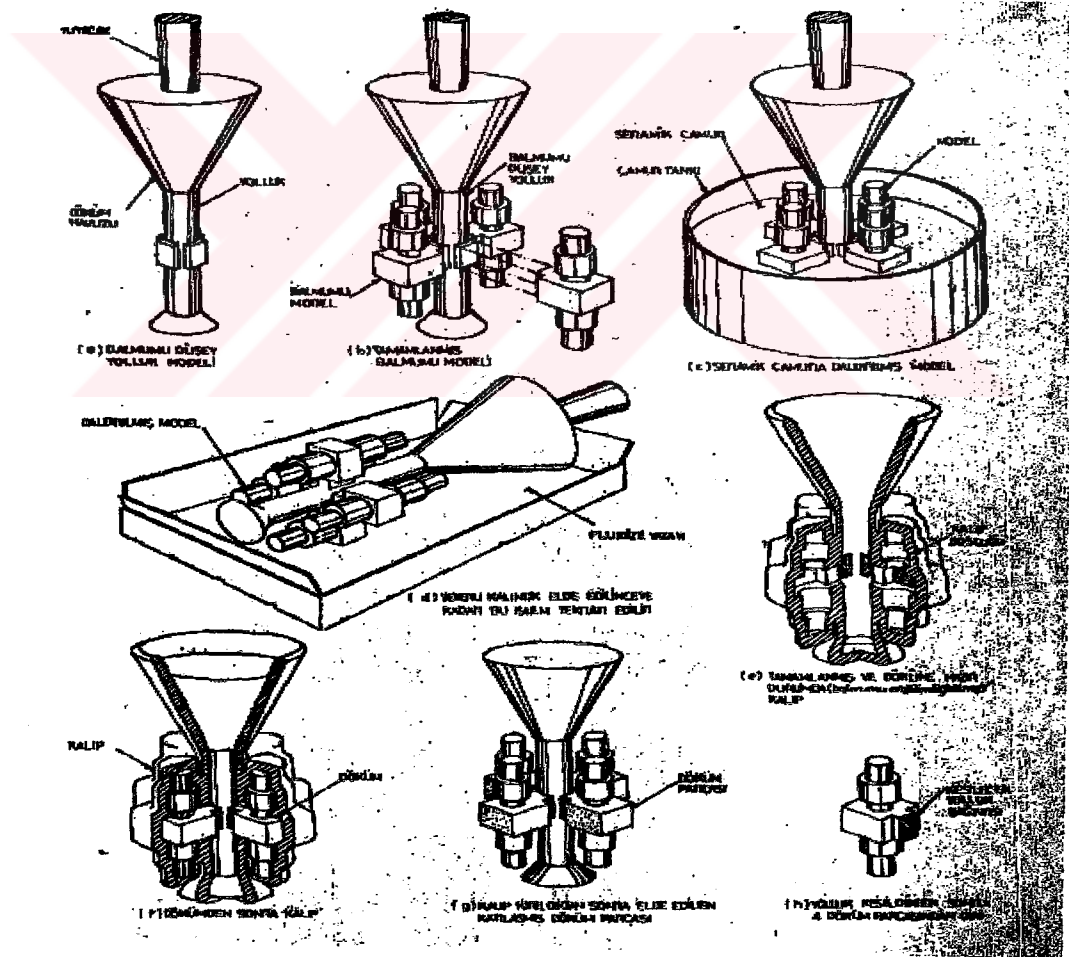
Şekil 2.10 Parçayı yolluktan ayırma işlemi[3]

10. Parça Temizliği

Kesilen parçaların yollukları temizlenir ve parçalar son kalite kontrol yapıldıktan sonra kumlanarak sevke hazır hale getirilir. Şekil 2.11’de bu durum gösterilmektedir. (Serin, 2003)



Şekil 2.11 Parçanın boyutsal kontrolünün yapılması[3]



Şekil 2.12 Kabuk Hassas Döküm Üretim Aşamaları (Sönmez , 2003)

Şekil 2.12’de Kabuk Hassas döküm üretim aşamaları toplu olarak gösterilmiştir.

2.1.2 Hassas Döküm Toleransları

Hassas döküm tekniğinde toleranslar , parça boyut ve geometrisine , döküm alaşımlarına ve üretim şartlarına bağlı olarak değişmektedir . Normal toleranslar , standart üretim şartlarında sağlanabilen , dar toleranslar ise çeşitli özel aparatlar ve işlemler gerektiren toleranslardır . Genellikle tasarım aşamasında , kritik olmayan ölçülerde toleranslar seçilmelidir. (Serin, 2003)

Döküm toleranslarının , istenilen toleranslardan daha geniş olduğu durumlarda , bu ölçülere işleme payı ilave etmek gerekmektedir . İşleme payları genellikle boyutlara bağlı olarak taşlama için 0,1-0,3 mm; işleme için 0,5-2,0 mm arasında kullanılmaktadır. (Serin, 2003)

Hassas döküm yüzey pürüzlülüğü ise döküm alaşımlarına bağlı olarak N7-N9 arasında değişiklik göstermektedir. (Serin, 2003)

Çizelge 2.1 Geometrik toleranslar(Serin, 2003)

GEOMETRİK TOLERANSLAR			
ÖZELİK	NOMİNAL ÖLÇÜ (mm)	Normal Tolerans (+/-)	Dar Tolerans (+/-)
— DOĞRUSALLIK ▭ DÜZLEMSELİK	0 - 50	0,25	0,10
	50 - 130	0,50	0,30
	130 - 255	1,00	0,50
	255 - 380	1,50	0,90
⊥ DİKLİK // PARALELLİK	0 - 50	0,25	0,15
	50 - 130	0,75	0,25
	130 - 255	1,25	0,50
	255 - 380	2,00	0,90
∠ AÇI		1°	0,5°
⌒ PROFİL	Boyut tolerans tablosuna bakınız.		
⊖ DELİK VE KANAL	Boyut tolerans tablosuna bakınız.		

Çizelge 2.2 Boyut toleransları
(Serin, 2003)

BOYUT TOLERANSLARI		
NOMİNAL ÖLÇÜ (mm)	Normal Tolerans (+/-)	Dar Tolerans (+/-)
0 - 6	0,08	0,06
6 - 10	0,10	0,06
10 - 14	0,12	0,09
14 - 18	0,14	0,09
18 - 24	0,17	0,12
24 - 30	0,20	0,14
30 - 40	0,25	0,17
40 - 50	0,30	0,20
50 - 65	0,38	0,23
65 - 80	0,46	0,27
80 - 100	0,53	0,30
100 - 120	0,60	0,33
120 - 140	0,65	0,36
140 - 160	0,72	0,38
160 - 180	0,80	0,42
180 - 200	0,88	0,43
200 - 225	0,95	0,47
225 - 250	1,05	0,50
250 - 280	1,15	0,56
280 - 315	1,25	0,63
315 - 355	1,40	0,71
355 - 400	1,60	0,80
400 - 450	1,80	0,90
450 - 500	2,00	1,00

Çizelge 2.3 Dökülebilir Delik Uzunlukları(Serin, 2003)

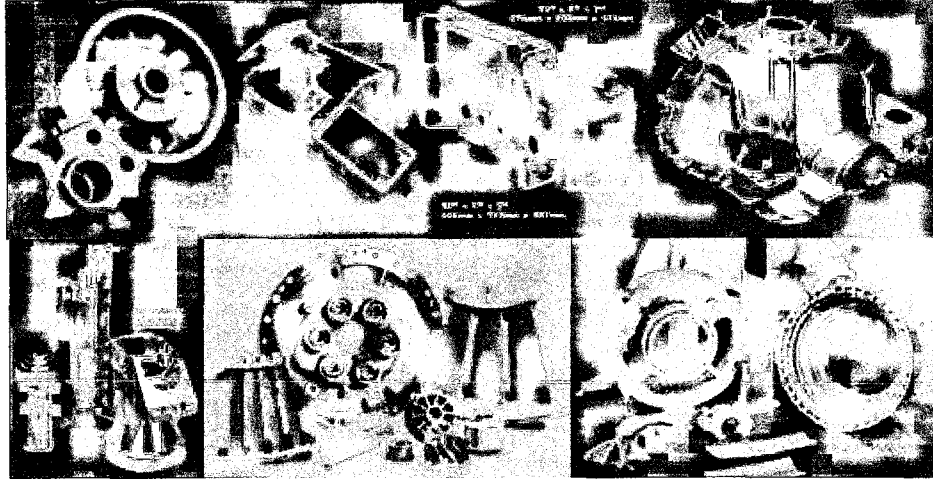
DÖKÜLEBİLİR DELİK UZUNLUKLARI		
ÇAP (d) (mm)	Uzunluk (mm)	
	Açık	Kapalı
2 - 4	1 x d	0,5 x d
4 - 6	2 x d	1 x d
6 - 10	3 x d	1,5 x d
10 -	3 x d	2 x d

Çizelge 2.4 Dökülebilir Kanal Uzunlukları(Serin, 2003)

DÖKÜLEBİLİR KANAL UZUNLUKLARI		
GENİŞLİK (b) (mm)	Uzunluk (mm)	
	Açık	Kapalı
2 - 4	1 x b	1 x b
4 - 6	2 x b	1 x b
6 - 10	3 x b	1,5 x b
10 -	4 x b	2 x b

. Çizelge 2.1 , 2.2 , 2.3 ve 2.4 'te hassas döküm kullanılan VDG p 690 normuna göre bütün gerekli ölçüler verilmiştir . Bu değerler aralığında üretimler gerçekleştirilmektedir . Bunların dışına çıkıldığında üretimde hatalar ortaya çıkacaktır

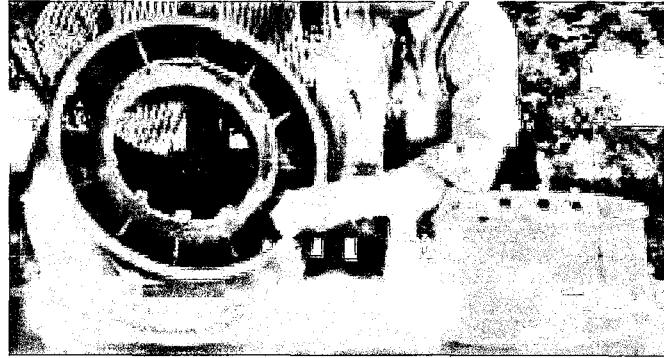
2.1.3 Kabuk Hassas Döküm Uygulama Örnekleri



Şekil 2.13 Kabuk hassas döküm üretim yöntemiyle üretilmiş mamüller[1]

Askeri elektronik cihazların kasaları ve jet türbin parçalarından örnekler içeren yukarıdaki resimler hassas kabuk döküm ile imal edilen parçaların ne kadar karmaşık olabileceğini gösteren güzel örneklerdir. (ilk 4 resim: Shellcast Inc., Montreal, Kanada, Son iki resim: Precision Castparts Corp., ABD). (Wood , 1952)

Daha önce de değinildiği gibi hassas döküm uzay ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Askeri teknolojilerde de buna yakın alanlarda kullanım alanı yaygındır. Yöntemin avantajlarında belirtilen özelliklerinden dolayı hassas döküm yöntemi tercih edilmektedir. En önemli avantajı boyutsal tamlik ve dolayısıyla düzeltmek üzere ek bir talaşlı işleme gerek duyulmamasıdır. Böylelikle üretim zamanları oldukça kısalmaktadır. (Barkay , 1995)



Şekil 2.14 Büyük boy bir jet motoru parçası dökümü[1]

2.1.4 Hassas Döküm Yönteminin Avantajları

Hassas dökümün diğer yöntemlere kıyasla birçok avantajı vardır.Bunları sıralamak gerekirse:

- 1 . Konvensiyonel yolla dökümü imkansız veya zor olan karmaşık şekilli parçaların dökümüne olanak sağlar. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)
- 2 . Diğer döküm yöntemlerinden farklı olarak kullanılan kalıp malzemesi ve tekniği üretilen parçada (kopyada) daha iyi boyutsal doğruluk ve daha düzgün yüzey oluşturulmasına izin verir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)
- 3 . Malzeme seçiminde büyük serbestlik vardır.Standartlara uygun , düşük ve yüksek alaşımlı karbon çelikleri , paslanmaz çelikler , alüminyum ve bakır alaşımları yanısıra , ihtiyaca göre özel alaşımlar hazırlanarak ve istenilen kullanım şartlarına uygun ısıt işlemler yapılarak , neredeyse sınırsız metalürjik ve mekanik özellikler elde edilebilir.Yöntem ergitilebilen ve dökülebilen bütün metallere uygulanabilir.Döküm parçasının birden fazla metal içerdiği durumlarda uygulanabilir.Böylelikle tüm mühendislik ihtiyaçlarına cevap vermektedir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)
- 4 . Döküm parçalar en az bitirme işlemi veya hiç bitirme işlemi istenmeden üretilir.Bu nedenle yöntemde kolay işlenebilen metallerle döküm yapılması sınırlaması yoktur. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)
- 5 . Ana yöntemdeki değişikliklerle 25 kg'a kadar parçaların üretimi bilinen bir uygulamadır.Büyük miktarlarda yapılan döküm üretimi nadiren investment yöntemi ile yapılırsa 500 kg'a kadar parçaların dökümü mümkündür. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)
- 6 . Parça tasarımında büyük serbestlik vardır.Talaşlı imalat yöntemleri ile üretilmesi çok zor ve hatta imkansız karmaşık şekilli parçaları , kısa sürede ve çok sayıda üretmek , hassas döküm yöntemiyle mümkündür.Ayrıca iki veya daha fazla parçadan oluşan

ürünlerin estetik görünüşe sahip , daha hafif ve daha dayanıklı tek parça halinde dökülebilmemesine olanak sağlar. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

7 . Yöntem alaşımların eritilmesinde ve dökümünde vakum altında döküm veya inert atmosfer döküm uygulamalarına adapte edilebilir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

8 . İmal edilen döküm parçalarında bölme yüzeyi izi dahi olmaz.Gerçekte hassas dökümde yekpare kalıp kullanıldığından bölme yüzeyi yoktur. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

9 . Talaşlı işleme yerine hassas döküm kullanıldığında üretim kapasitesi % 90 oranında artmaktadır. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

10 . Hassas dökümde elde edilen boyut hassasiyeti diğer döküm yöntemlerine göre çok daha iyidir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

11 . İnce detayların üretilme imkanı hassas dökümde vardır.Hassas döküm tekniğinde parça üzerindeki toleranslara uygun delik , kanal kama kanalı , yazı , gravür , dış hatta bazı durumlarda vidalar bile dökülebilmektedir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

12 . Son derece ekonomik kalıp yatırımı vardır.Üretimin yapılabilmesi için gerekli olan tek yatırım mum enjeksiyon kalıbı olup maliyetleri dizayn karmaşıklığı göz önüne alındığında oldukça düşüktür.Bu sebeple az miktarda üretime olanak sağlar . Ayrıca kalıbın çok uzun ömürlü olması sebebiyle yüzbinlerce parça üretilmektedir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

13 . Hassas döküm prosesi gereğince talaşlı işlemler en aza indirgenmiştir.Hassas döküm yöntemiyle klasik döküm yöntemlerine kıyasla oldukça dar ölçü toleransları ve daha ince yapıli son derece düzgün yüzeyler elde edilmektedir.Böylece döküm sonrası işlemler azaltılarak malzeme ve zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlanmaktadır.Hatta birçok

durumda parçalar hiçbir ilave işlem yapılmaksızın kullanılabilir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

14 . Daha küçük tane yapısı ve dağılım ile daha yüksek mukavemet elde edilmektedir.(Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

2.1.5 Hassas Döküm Yönteminin Sınırlamaları

- 1 . Model ve kalıp bu yöntemde harcanan tiptendir . Dolayısıyla her bir parça için ayrı bir model üretilmesi gerekmektedir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)
- 2 . Yöntem mekanizasyona uygun olmayıp üretim hızı ve kapasitesi düşüktür.
- 3 . Model ve kalıp malzemelerinin pahalı olması ve üretimin çok sayıda işlem içermesi nedeniyle parça maliyeti yüksektir . (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)
- 4 . Ancak 5 Kg ‘den daha küçük parçaların dökümü için elverişlidir . Temel donatım maliyetleri (5-25) kg arası dökümler için oldukça yüksek olmaktadır . Dolayısıyla belli bir parça sayısından sonra yöntem ekonomikleşir. (Barkay,1995;Çiğdem ,1996;Sönmez ,20003)

2.2 Dereceli Hassas Döküm Yöntemi

Dereceli hassas döküm yöntemi daha çok sanatsal alanlarda kullanılmaktadır.

Dereceli kalıplar geniş yatay yüzeylerin , çan şeklindeki boşlukların doldurulmasında güçlük yaratmaktadır . Dökülebilecek alaşımın cinsine bağlı olarak dereceli hassas dökümün kendisi de iki kısma ayrılır.(Sönmez , 2003)

Birinci kısımda demir esaslı alaşımlar yüksek refrakterlikteki malzemelere ve bağlayıcılara ihtiyaç gösterirler . Bu nedenle salkım seramik bir bulamaca daldırıldıktan sonra (bazı hallerde birkaç defa) kurutulur ve uçları açık , silindirik bir metal kabın (derece) içine yerleştirilir.Derece kaba taneli bir bulamaçla doldurulur . Derece içindekilerle beraber bir fırına konarak mum model ve yolluklar eritilir ve kalıptan boşaltılır. .(Sönmez , 2003)

İkinci kısmı oluşturan düşük sıcaklıklarda ergiyen demir dışı alaşımların dökümünde ise ilk seramik kaplamaya ihtiyaç duyulmaz . Genellikle alçı ile bağlanmış seramik kalıplarda

döküm yapılır . Salkım ve yolluklar derece içerisine yerleştirilerek bulamaç vakum altındaki dereceye boşaltılır . Vakum bulamaçtaki kabarcıkların uzaklaştırılması içindir.Derece daha sonra ısıtılarak mumları temizlenir. .(Sönmez , 2003)

2.2.1 Dereceli Hassas Döküm İşlem Basamakları

Geleneksel dereceli hassas döküm yönteminde işlem basamakları aşağıdaki gibi listelenmiştir.

1. Mum modeller model ağacına eritilerek yapıştırılır



Şekil 2.15 Mum modellerin havya ile eritilerek yine mum malzemedan yapılmış model ağacına bağlanması[1]

2- Silindirik bir gömlek (fanus) model ağacı etrafına geçirilir.



Şekil 2.16 Fanusun döküm ağacının çevresine yerleştirilmesi[1]

3- Gömlek ile model ağacı arasındaki tüm boşluklara alçı/seramik karışımı dökülür.



Şekil 2.17 Fanusun vakum altında seramik (alçı) ile doldurulması[1]

4- Fırında ısıyla karışım kurutulur ve kalıp ters çevrilerek içindeki mum modellerin eriyip akması sağlanır.



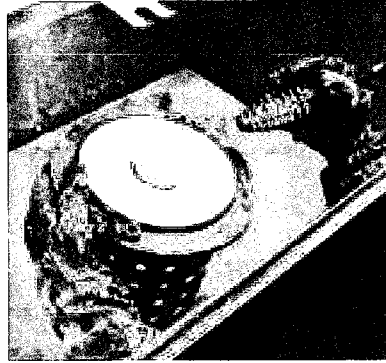
Şekil 2.18 Fanusun kurutma fırınından çıkarılması[1]

5-Sıcak kalıp ergimiş metal ile doldurulur. Vakum veya merkezkaç kuvvetiyle döküm kolaylaştırılabilir.



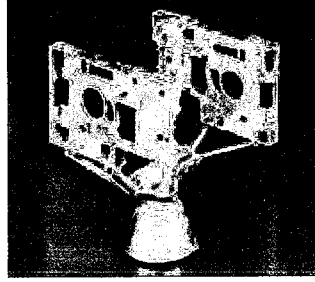
Şekil 2.19 Mum eritme ve metal döküm sonrası fanusun çıkartılması[1]

6-Basınçlı su püskürterek kalıp malzemesi temizlenir. Basınçlı su ile seramik temizlenir. Fanus çevresindeki delikler bu sefer de su ile seramik (alçı) dolgunun eritilmesini kolaylaştırmaktadır. Temizlik esnasında çevreye su ve diğer artıklar sıçramaması için bu işlem özel bir kabinin içinde yapılır.



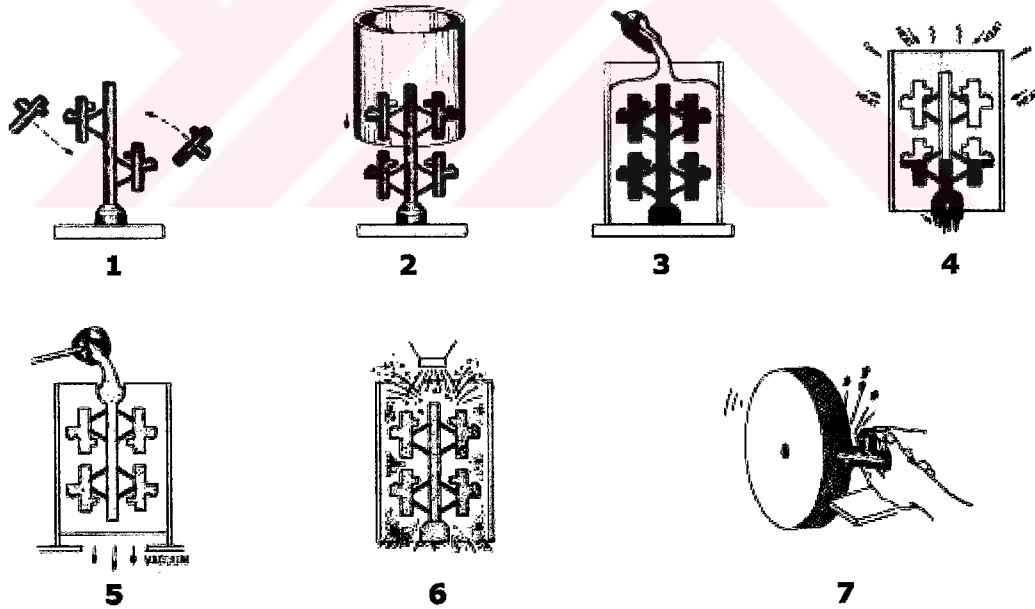
Şekil 2.20 Kalıp malzemesinin basınçlı su ile temizlenmesi[1]

7- Döküm ağacından koparılan parçalar malzeme giriş çapakları temizlenerek döküm sonrası kullanıma hazır hale getirilirler.



Şekil 2.21 Metal dökülmüş parçaların döküm ağacından koparılmaya hazır durumda olması[1]

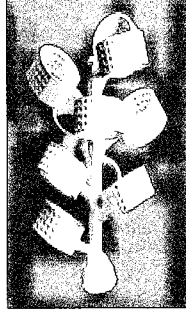
Şekil 2.22 'de işlem basamakları topluca görülmektedir ve bu şekilden prosesi anlamak daha da kolaylaşmaktadır .



Şekil 2.22 Dereceli hassas döküm işlem basamakları[1]

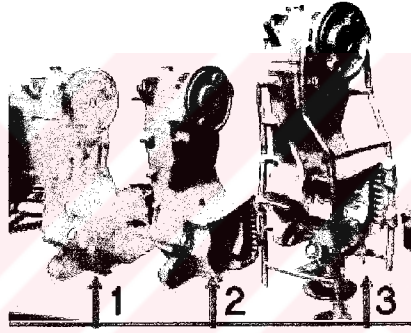
Şekiller numarası itibariyle yukarıda açıklanan numaraları sırasıyla işlem basamaklarını simgelemektedir .

2.2.2 Dereceli Hassas Döküm Uygulama Örnekleri



Şekil 2.23 Yüzük dökümlerin bulunduğu hassas döküm ağacı[1]

Mücevher imalatçıları hassas fanus döküm tekniğini yaygın ve etkili bir şekilde kullanmaktadırlar. Gene yöntemde salkımlar kullanıldığından seri üretim yapmak mümkündür.



Şekil 2.24 Alman MCP-HEK GmbH Firmasının imal ettiği parçanın üretim aşamaları[1]

Şekil 2.24'te numaralarıyla gösterilen parçalar şunlardır:

Bir numaralı parça oto inşa teknolojisiyle (SLA) üretilmiş master modeldir. İki numaralı parça Master model ile yapılan silikon kalıba dökülerek üretilmiş 2.5kg'lık mum döküm modeldir. Üç numaralı parça mum model kullanılarak dökülmüş 7.2kg'lık alüminyum krank gövdesidir. Burada, mum model üzerine döküm öncesi yerleştirilmiş döküm ve havalandırma kanalları da açıkça görülmektedir. [1]

3. HASSAS DÖKÜM MALZEMELERİ VE MODEL İMALİ

Hassas döküm yöntemi , metalin döküldüğü boşluğu oluşturmak için harcanabilir modellerin kullanımıyla diğer bütün döküm çeşitlerinden farklıdır.Harcanabilir modellerin kullanımıyla , ekstra bir dökümde iş yapılarında , tasarım ve üretimde sonuçta bazı avantajlar elde edilir.Karmaşık , doğru boyutta kalıpların yapımında birçok model malzemesi kullanılabilir. Tüm üretimin başarıyla gerçekleştirilmesi için model malzemesi önemli bir anahtardır.(Wood ,1952)

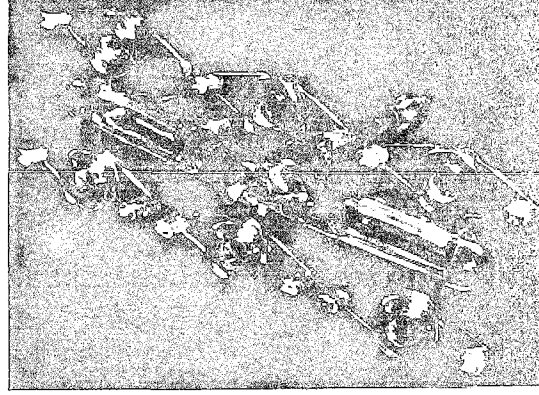
Yeterli harcanabilir model üretiminin hassas dökümde çok büyük önemi vardır.Karmaşık , ince detaylı ve uniform dökümlerin bu özellikleri ancak kompleks , uniform ve boyutsal olarak kararlı modellerin üretilmesine bağlıdır. Belirli bir tasarım için seçilen model malzemesi , kullanılacak olan kalıp malzemesini belirler. Alaşım kimyası veya döküm sıcaklığı gibi faktörler de hassas döküm kalıp malzemesini etkileyecektir.Yüzlerce çeşit refrakterler termal ve kimyasal problemlerin üstesinden gelmek için kullanılmaktadır.Model malzemelerin kullanımı 3 grup altındadır : Bunlar mumlar , plastikler ve metallerdir. (Wood ,1952)

3.1 Plastik Modeller

Plastik model malzemeleri kalıplanmaları için gereken sıcaklık ve basınç yönüyle mumlardan farklıdır.Gerçek plastikler genellikle bir değişim yapılmadan kullanılan patentli maddelerdir.Modellerde en çok kullanılan plastik malzeme polistrendir.Ayrıca birçok amaç için polietilen , vinil klorid , naylon ve çok sayıda asetat da kullanılmaktadır.Gerçek plastik modellerin arzu edilen birçok özellikleri vardır.Bazı dökümhaneler , küçük hacimli işler için bile , mümkün olan her yerde plastik kullanmaktadır.Bununla birlikte modellerin üretimi için plastiklerin kullanımı oldukça sınırlıdır.Doğrudan plastik modellerin kullanımı çoğu zaman pek ekonomik olmamaktadır. (Wood ,1952)

Plastik modeller 300 psi'den 3500 psi'ye kadar enjeksiyon basınçlarına ihtiyaç duymaktadır.Enjeksiyon sıcaklığı aralığı 250⁰ F'da kadardır.Modeller kalıptan ılık , çoğu kez 200⁰ F'de sıcak ve yumuşak olarak çıkarılır.Anı su soğutması uygulanmadığı takdirde enjeksiyondan ötürü plastikte oluşan gerilimler modelin yüzeylerini tamamen hasara

uğratacaktır. Bununla birlikte , bu hasar direkt modelin çıkartılmasında daha da yoğun bir şekilde oluşur. Plastik yüksek sıcak mukavemeti ve enjeksiyon besleyicilerin katılığı sebebiyle , genelde otomatik çıkartma pimleri kullanılmaktadır. Bu pimler döküm yoluna ve besleyicilere yeterince dayanmalıdır . (Wood ,1952)



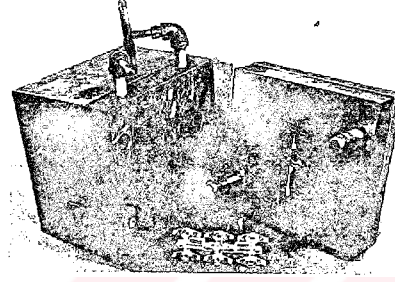
Şekil 3.1 Üretilecek 6 adet parçanın plastik modeli(Wood ,1952)

Plastik üretimi için ,tasarım mutlaka yekpare döküm için uygun olmalıdır.Eğer maçalar kullanılıyorsa , bunlar kendiliğinden temizlenir olmalıdır veya kalıbın normal açılmasını ve kapanmasını engelleyecek şekilde olmamalıdır.Hassas döküm parçaları üretmek üzere , uygun model malzemesi üretimi var ise , bunun tüm prosese getireceği yarar , maliyetlerde % 25 'e kadar varan bir düşüştür.En önemli tasarım avantajı plastik modellerin , her türlü geometrinin tasarımcı için başarıyla gerçekleştirilebilmesidir. (Wood ,1952)

Plastik modellerin açıklanacak olan sınırlamalarına karşın , bu malzemeleri kullanırken dayanıklılık ve hızlı kalıplama avantajları da göz önüne alınarak bu şekilde karara varılıp kullanılmalıdır.Plastik modellerin uygun olduğu durumlarda , modeller arasındaki çeşitlilik bir önem arz etmez. (Wood ,1952)

Plastik modellerin enjeksiyon çevrimi bir makine ile düzenlenir.Bu işlemde makine kullanılması , manuel halledilen işteki hatalar düzeltilmiş olur ve insana ait üretimde oluşan düşük üretim hızı yükseltilir.Mum modellerin kalıplanmasında kullanılan hazırılık işlemlerinin çoğu plastik malzeme için gerekli değildir.Çoğu plastik modellerin kalıplarında kalıp boşluklarında hassas sıcaklık kontrolü için su soğutma sistemi kullanılır.İyi bir boyutsal hassasiyet elde etmek için bu çok gereklidir.Eğer kalıplarda

sıcaklık bölgesel olarak değişirse, modellerin de buna bağlı olarak boyutları değişecektir. Bununla birlikte , daha da önemlisi kontrollü bir enjeksiyon basıncı ve doğru enjeksiyon sıcaklığıyla , kalıbın sıcaklığı standart bir hale getirilirse , enjeksiyon makinesi yarı – otomatik veya tam otomatik hale getirecek sürekli bir model enjeksiyonu elde edilebilir. Eğer aşırı ısıtılmış kalıpta plastik çok sıcak tutulursa , modeller kırılabilir ve kalıbı tıkarlar. Eğer plastik modeller aşırı soğutmaya maruz bırakılırsa, bunlar maçalar etrafında çok sıkıca büzülürler ve yine kalıbı tıkayabilirler(Wood ,1952)



Şekil 3.2 Plastik modelin üretilmesi için kullanılan enjeksiyon makinesi(Wood ,1952)

Plastik enjeksiyon kalıpların tasarlanması ve hazırlanması biraz masraflı olmaktadır. Bu süre birkaç saatten birkaç güne kadar kalıbın karmaşıklığına göre sürmektedir. Fakat ömürleri göz önüne alındığında kalıbın giderlerinin , maliyet yönünden düştüğü değerlendirilmelidir. (Wood ,1952)

Basit şekilli parçaların modellerinin bu malzemeyle yapılması, prosesin avantajlarını düşürmekte ve sınırlandırmaktadır . (Wood ,1952)

3.1.1 Plastik Modellerin Dezavantajları

Plastiklerin model malzemesi olarak kullanımlarında bazı dezavantajları da vardır. Bunlar aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir :

- 1) Plastikler boşaltılmalarında mumlara göre yeşil mukavemete sahip kabuk kalıpları daha fazla distorsiyona uğratma eğilimleri vardır. (Wood ,1952)
- 2) Plastiklerin ağır , yoğun bölümlerinde , mumlara benzer bölümlerine göre daha fazla boşluk oluşturma eğilimi vardır. Bu oluşum o kadar kontrol dışıdır ki yolluğa bu tip ağır bölümlerin bağlanması kısıtlandırılmıştır. (Wood ,1952)

- 3) Ayırma çizgisi enjeksiyonda uygulanan yüksek basınca göre daha belirgindir. (Wood ,1952)
- 4) Plastik modellerin yakılmasından dolayı oluşan malzemenin temizlenmesi o kadar kolay olmamaktadır.Bu durum kalıbın uygun tasarlanmaması , kurulmaması ve çalıştırılmaması gibi kusurlardan etkilenmemektedir. (Wood ,1952)
- 5) Plastik modellerin yüksek çarpılma eğilimleri göz önüne alındığında , modelin kalıptan çıkartılmasında minimum çarpılma olması için soğutma suyunun kullanılması bir zorunluluktur. (Wood ,1952)
- 6) Plastik malzemelerin yüksek maliyetleri , bu malzemelerin geri – kazanılması mümkün olmadığından büyümektedir. (Wood ,1952)
- 7) Plastik modeller mum modeller kadar ince detayları ve keskin köşeli geometriye sahip yerleri yeterince dolduramamaktadır.İnce bölgeleri doldurmak hemen hemen imkansızdır.Bu yüzden ince detayların doldurulması için plastikler çok yüksek sıcaklık ve basınçlarda ani olarak basılırlar. (Wood ,1952)
- 8) Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık , üretim zamanında bir kayıp olan blokajlanmaya yol açabilir.Bu yüzden plastiğin model kalıbından çıkartılması çoğu zaman zor olmaktadır. (Wood ,1952)

3.1.2 Plastik-Mum Karışımı Modeller

Ne mumlar ne de plastikler modellerin kullanımı için idealdir.Her biri diğerinin sahip olmadığı avantajlara sahiptir.Daha büyük ve karmaşık hassas dökümün artan ihtiyacı dolayısıyla , bir kısım plastiklerin , bir kısım da mumların oluşturduğu detaylardan yararlanmak için , karışık modellerin oluşturulması ihtiyacı doğmuştur.Wright Aeronautical şirketinin geliştirdiği böyle bir uygulama örnek olarak verilebilir.Başlangıçta 15 adet pervane kanatçığı bölümü lustrex plastik ile kalıplanmıştır.Bunların iç kısmında mum malzemesi kullanılmıştır.Bölüm kalınlıkları plastik malzemenin olduğu bölümde kendini çekmeyi önlemek için eşit hale getirilmiştir.Yüzeyler ise ince bir tabaka halinde mum malzemesi ile kaplanmıştır. (Wood ,1952)

Mum ve plastik bölümlerin kombinasyonunun yapılmasında , bazı zor problemlerin çözülmesi için modeller üretilmektedir.Ancak bu şekilde ince detayların çıkarılması ve bu bölümlerle birlikte başka kısımların da yeterli yüksek mukavemete ve uniform bir yapı

elde edilmesine yol açmaktadır.Modelin daha ağır kısımlarının detayları mumun enjekte edilmesiyle başarıyla gerçekleştirilmektedir.Plastiğin ek görevi mumun kendini çekip boşluk oluşturmamasını bertaraf etmesidir.Pratikte küçük plastik modellerin yolluğa bağlanması ve mumun buraya dökümüne çok rastlanır.Bunun sayesinde kontrollü bir ısı transferi sağlanmaktadır.Mum yumuşar ve kalıptan ayrılır ve sonuçta minimum kontrolsüzlükte genişlemek için hazır olan plastik model bırakır.Bu modelde gerilim de az bir gerilim olan bileşke gerilim olacaktır. (Wood ,1952)



Şekil 3.3 Pompa imalinde kullanılacak nozulun 2 adet plastik-mum modeli(Wood ,1952)

Mum ve plastik kombinasyonu özellikle büyük turbo diyafram nozulu dökümünde etkili olmaktadır.Büyük kısımlar için modellerin hazırlanmasında , hassas kısımlar mum veya plastiğe göre kırılabilirler.Mum ve plastik kombine edildiğinde kütleler arasında bir dengesizlik halinde dahi , plastiğin mukavemeti , dıştaki ağır mum bölümlerin ağırlığından dolayı oluşacak hasarı önler. (Wood ,1952)

Bunların yanısıra , çok basit tasarımların olduğu geniş hacimlerde mum malzemelerin kullanılması uygundur.Daha başka büyük tasarımlarda , model malzemesi olarak , mum veya plastiğin bileşimi olan malzemeleri kullanmak ekonomiktir.(Wood ,1952)

3.2 Cıva Modeller

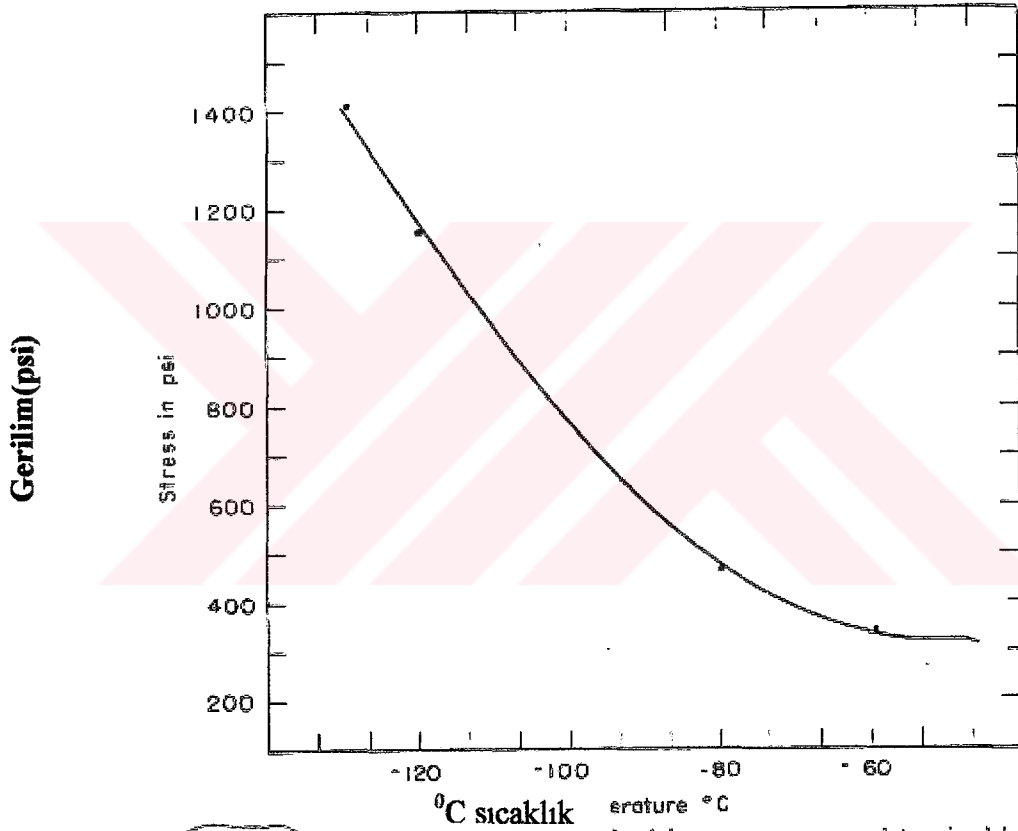
Endüstride hassas döküm prosesinin önemi anlaşıldığından daha tatminkar model malzemesi araştırması önem kazanmıştır. Birçok bakımdan dondurulmuş cıva model malzemesi maliyet ve metalin kullanımını sağlayacak kapital dışında ideal bir malzemedir. 1948 yılından bu yana mum ve plastik model malzemesi ile tasarımlardaki sorunlar göstermiştir ki dondurulmuş cıva alternatif model malzemesi olarak gerekli ve idealdir. Yapısından ötürü termal ve mekanik özellikler açısından bünyesinde gerekli en ideal özellikleri taşımaktadır. Ayrıca kabuk kalıptan boşaltılması işlemi yarı – otomatik olarak yapılabilir. Kalıplama teknikleriyle cıva ile modeller üretilebilmektedir. Bu durum model maliyetlerini düşürmekte ve model malzemesi olarak kullanılan diğer modellere karşın fiyat bazında daha düşük olan cıvanın kullanılmasını mümkün kılmaktadır. (Wood ,1952)

3.2.1 Donmuş Cıvanın Mekanik Özellikleri

Mekanik özellikleri bakımından donmuş cıva kurşuna benzer özellikler gösterir. Saf kurşun kadar sertliğe sahiptir. Şekil verilebilir , düzgün özellikleri bulunmasının yanı sıra üzerinde gözle görülür bir film tabakası oluşma ya da oksidasyon olayına rastlanmaz ve kurşun kadar kuvvetlidir. Birçok metalde olduğu gibi mukavemeti sıcaklıkla değişmektedir. Diğer metallere göre donmuş cıva – 135 ° F sıcaklıkta bile ergime noktasına daha yakındır. Düşük sıcaklıkların sağlanmasıyla elde edilmesi mümkün mukavemete göre daha yüksek sıcaklıklardaki mukavemet daha düşüktür. Fiziksel kuralları cıvanın katılma noktası ile soğutulabileceği en düşük seviye arasındaki büyük termal farkı kurmayı engellemektedir. Bunun nedeni mutlak sıfır sıcaklığına olan yakınlıktır. Pratikte dondurulduğundaki normal sıcaklıklarda daha yeterli mukavemeti vardır ve bu sıcaklıkta kendi kütlesiyle beraber kabuk kalıp malzemesini distorsiyona uğratmaması için kontrol altında tutulur. Büyük kesit değişiklikleri içeren modeller çarpılma eğilimindedir. Fakat mum malzemesi ile karşılaştırıldığında bu eğilim o kadar da büyük değildir. Çünkü cıvanın – 135 ° F sıcaklıktaki mukavemetin kütleye oranı , mumun 70 ° F – 90 ° F sıcaklıklardaki orandan daha büyüktür. Donmuş cıvanın bazı özellikleri aşağıda listelenmiştir. (Wood ,1952)

Çizelge 3.1 Carpenter ve Oakley'e göre cıvanın özellikleri(Wood ,1952)

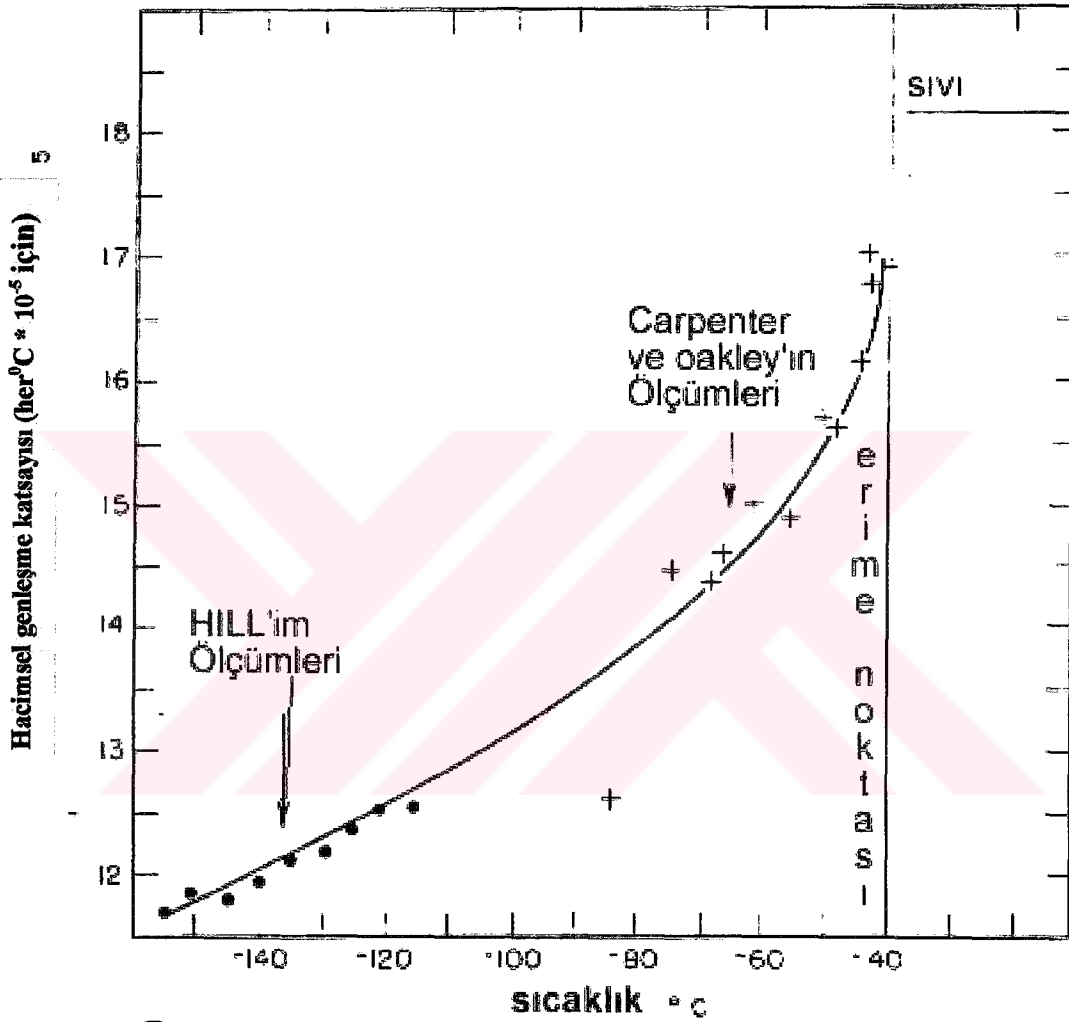
-135⁰F 'ta gerilim mukavemeti	550psi
-135⁰F 'ta sertlik	Oda sıcaklığındaki saf kurşunla aynı
-38⁰C 'de katılaşmada kendini çekme	Hacimsel olarak %3,47 Lineer olarak %1,15
Genleşme katsayısı	-60⁰C'de 15*10⁻⁵



Şekil 3.4 Donmuş cıvanın sıcaklığa bağlı gerilim mukavemeti eğrisi(Wood ,1952)

Şekil 3.4 'de donmuş cıvanın mukavemet özelliğine ait eğri ve şekil 3.5'de donmuş cıvaya ait termal genleşme özellikleri verilmiştir.Cıvanın en büyük avantajı bir yumuşama bölgesine sahip olmamasıdır.Cıva saf bir element olduğundan , sıvıdan katıya geçişte hiçbir faz transformasyonu olmamaktadır.Bu yüzden düzgün , doğru modeller elde edilmektedir.Cıva modellerin boyutsal sapmalarında , kabuk kalıpların uygun boyutta olmamalarında kendini çekmeden ötürü önceden tahmin edilemeyen hatalar

olabilir. Modelin kalıplanmasında bu küçük hacimsel kendini çekme hesaplanabilir. Yüzeyde maksimum doğruluğu gerektiren dökümlerde, türbin kanatçıkları gibi, döküm kalitesini etkileyecek model şekli ve boyutunun kararlığı artırılmalıdır. (Wood, 1952)



Şekil 3.5 Cıvanın sıcaklığa karşı hacimsel genleşme katsayısı eğrisi (Wood, 1952)

Ayrıca donmuş cıva tahmin edilenin aksine oldukça sünektir. Bu da şaşırtıcı bir özelliktir, çünkü bu çok düşük sıcaklıklarda metal kırılgan ve gevrek olmalıdır. Bu süneklilik avantaj olmasına karşın sorun yaratan bir yönü de vardır. Kazara cıva modele yapılan darbeler, modelin çarpılmasına yol açabilir. Minor çarpma etkileri kolayca düzeltilebilir. Cıva ile modellerin depolanmasında bir problem yoktur. Bu yüzden depolamada çarpılmaya yönelik potansiyel tehlikeler cıva modeller için geçerli değildir. (Wood, 1952)

3.2.2 Cıva Modelleri Kalıpları

Cıva modellerin oluşturulması gereken düşük sıcaklıklardan ötürü güç olmaktadır. Genelde , tüm cıva modelleri gravite kalıplama ile manuel olarak yapılmaktadır. Karmaşık bir model kalıbına sıcak malzemenin enjeksiyonu nispeten daha ucuz ve basittir. Mum veya plastik malzemenin modelinin oluşturulması için malzemenin enjekte edilmesinde oluşturulan oda sıcaklığının biraz üzerindeki sıcaklıklar , daha kolay elde edilmektedir. Bundan dolayı daha az maliyet gerekir. Bununla birlikte , donan cıva için oluşturulan oda sıcaklığı altı sıcaklıklar , nispeten maliyetleri artırmaktadır. Sıcak malzemenin enjekte edilmesinde hava hareketleri açısından hiçbir önemli zorluğa rastlanmamaktadır. Fakat soğuk kalıp göz önüne alındığında hava kalıp üzerinde don oluşturmaya önemli bir problem oluşturmaktadır. (Wood ,1952)

Cıvayı kalıplamak için , kalıbın -100^0 F'den 130^0 F veya daha düşük sıcaklık aralığında çalışması gereklidir. Buna ek olarak donmuş cıvayı tutan rezervuar donma noktasının civarında yaklaşık -38^0 C 'de tutulmalıdır. Cıva malzemesi tamamen katılaşmaya kadar, yoğunlaşmasında akıcılığından bir şey kaybetmez. Bu durumun geçerli olması için yeterince saf olmalıdır. Bu özelliklerin sağlanması için , istenen amaçlara ulaşmada , soğutmada problem olmaması gerekmektedir. Enjeksiyon kalıbında süper – soğutmayı gerçekleştirmek için önemli miktarlarda aseton veya diğer uygun akışkanlar kullanılmalıdır. Cıvanın akışkan kalmasıyla , kalıpta katılaşmasından önce , çok küçük bir kuvvetle kalıbı doldurması sağlanır. (Wood ,1952)

Tüm mekanik işlemlerin doğru çalışmasına rağmen , tüm gayretler gerekli olan doğruluktan sapma problemiyle durabilir. Kalıptaki donmanın ani boşaltılması ayırma düzleminden itibaren boyutları artırır. Kalıp boşluğundaki donma ise bu değerleri düşürür. Bundan dolayı günümüzde donmuş cıvanın modellenmesinde otomatik sistemler kullanılmaktadır. (Wood ,1952)

3.2.3 Cıvadan Model ve Salkım Oluşturma

Cıva modelin kaynama özelliği göz önüne alınarak salkım modeller donmuş cıva bölümlerinden ve modellerinden çok kolay yapılandırılmaktadır. Uygun besleyici de bunlara bağlandığında üretilen kalıplar o kadar büyüktür ki her bir model başlı başına bir

kalıp oluşturmak için tam bir ünite olarak hazırlanmaktadır.Bu yüzden küçük bölümlerin salkımların kullanımını oldukça nadir olarak yapılmaktadır.Her bir model parçası uygun formdaki besleyici ile şekillendirilir.Bu şekilde modellerin besleyici ile yolluğa bağlanmasıyla salkımlar oluşturulur.Bu bağlantı noktalarındaki kaynama küçük miktarda sıvı cıvanın dökülmesiyle veya başka bir takım özel aletlerle gerçekleştirilir.Bunun yapılmasıyla kaynama noktalarındaki çatlaklara birincil akışkan çamurların girmesi , buraya nüfuz etmesi engellenir.Yapılan bu işlem sayesinde metalin dökümünde kabuğun çatlaması engellenmiş olur.Kabuk çatlama olayı gerçekleşmese bile dökümden önceki kalıntıların oluşması engellenir. (Wood ,1952)

Ağır , büyük üretimli hassas dökümlerde , besleyici kütlesi eğer katı cıva kullanılıyorsa ağır olmaktadır.Bundan kaçınmak veya bu ağırlığı minimize etmek için hafifletici alüminyum veya çelik malzeme kullanılır. Bu durumda besleyiciyi üretmek için çok ince bir katman cıva doldurulur.Alüminyum veya çelik insertler ağır kütleli cıva bölümleri güçlendirdiği gibi her salkım için gerekli olan hacmi azaltmaktadır.Ağırlıktaki düşüş ile elde edilen kazanç , salkımın tamamlanması işleminde manipülasyonun , kabuk kalıp oluşturulmasında daldırmayı ve cıvanın seramik kabuktan atılmasını kolaylaştırmaktadır. (Wood ,1952)

3.2.4 Cıva Modeller ile elde edilecek kısımlar

Cıva modellerde çok ağır ve kalın kısımlar çok az gayretle yapılabilir.Katılma karakteristikleri kavitasyon eğilimlerini minimize etmektedir.Cıvanın yüksek akışkanlığı , yüksek özgül ağırlığı ile birleştiğinde , kalıplanmasında çok az bir enjeksiyon kuvveti gerekmektedir.Bununla birlikte , bu özelliklerinden dolayı çok ince detaylar rahatlıkla çıkarılabilmektedir.Mum ve plastik modellerin yapımında havanın tutulması ve boşluk oluşturması büyük bir problemdir.Bu malzemeler , yer değiştirmeden dolayı havanın dışarı atılmasını kendileri çok viskoz olduklarından ötürü engellerler ve modelde boşluklara sebep olurlar.Cıva malzemesi için akışkanlık ve ağırlıklarının farklı olma özelliklerinden dolayı bu tür bir problem yaşanmaz ve modeller uygun ve çok rahat bir şekilde imal edilirler.Hava direncine bağlı doldurulamama problemi bu yüzden az yaşanır.Diğer model malzemelerinde yaşanan ince detayların çıkmama problemi gene oluşmaz. (Wood ,1952)

Dondurulmuş cıvada kullanılan kabuk kalıp oluşturmada , bölüm kalınlığı ve toplam ağırlık limitleri , mum veya plastik modellerde ele alındıktan farklıdır.Bu limitlerin üst seviyelerde oluşu , cıvada ağır bölümlerin kendini çekme özelliğinin fazla olmaması ve ince detaylı bölgelerin rahatça doldurulmasıdır.Cıvanın diğer model malzemelere göre üstünlüğü en genel anlamda boyut , karmaşıklık , doğruluk ve bitirmenin kolaylığıdır.Bu üstünlükler göz önüne alındığında , bu da ürünün performansını etkilediğinden , cıvanın kullanıldığı prosesin yüksek maliyetine karşın , cıva ideal bir model malzemesi olmaktadır.Fakat dizayn açısından çok basit şekilli , karmaşık olmayan ve boyutunun da küçük olduğu parçaların üretiminde cıvanın model malzemesi olarak kullanılması ekonomik değildir ve gereksizdir. (Wood ,1952)

Parçanın tolerans limitlerinin genel standartlara göre kontrolü , kullanılan her model malzemesi ile mümkündür.Bununla birlikte dondurulmuş cıva ile bölüm kalınlığının daha iyi kontrolü , hem minimum , hem maksimum boyutlarda yapılmaktadır.Bunun yapılması pratikte mum veya plastik modellerle daha zordur. (Wood ,1952)

Ağır bölümlere ait doğru modellerin üretimi cıvanın soğutulması ve dondurulmasıyla üniform hale getirilmesiyle sağlanır.Katılaşma kaviteasyonu ile ilgili çok az güçlük görülür.Donma noktasına ulaşınca kadar cıva çok az büzülür ve tamamen katılaşınca kadar akıcılığını korur.Bundan dolayı sıvı cıva devamlı olarak ön – katılaşma büzülmesini dengelemek için kendisini ayarlar.Ergimiş cıvanın hidrostatik basıncı kararlı bir doldurmayı sağlamada yeterlidir.Bu durum toplam büzülme etkisini düşürmektedir.Çünkü düşük viskozitenin olmadığı durumda , soğumada kendini çekmenin oluşması için basınç gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır.Bir çok ürünün katılaşmada kendini çekmesi çok kolay kontrol edilmektedir.Çelik kalıp soğutulmuş aseton banyosunun içersine soğutulma amacıyla daldırılır.Bu banyonun sıcaklığı – 100⁰ F ile - 135⁰F arasında değişmektedir.Isının kalıptan ve cıvadan kaybı kalıbın tabanından soğutucu banyoya kondüksiyon yoluyla gerçekleşir.Burada şu söylenebilir ki , çok hassas katılaşma kontrolü , katılaşmanın kalıbın tabanından üstüne kadar olacağı bilindiği üzere , iyi bir şekilde yapılabilir.Ayrıca buradaki katılaşma cıvanın kalıba dökülme hızıyla da

ilgilidir. Bazı özel durumlarda cıva kalıba o kadar yavaş dökülür ki katılaşmanın bir kısmı , kalıp tamamen dolmadan önce modelin en alt bölümlerinde başlayabilir. (Wood ,1952)

3.2.5 Cıvanın model malzemesi olarak avantajları

Cıva malzemesinin hassas dökümde kullanımında fiziksel özelliği yönünden bir çok avantajı vardır. Bu avantajlar sıralanıp , şu şekillerde genişçe açıklanabilir. (Wood ,1952)

1) Cıvanın çok kalıntı bırakmadan yüksek geri kazanılma özelliği vardır. Bir çok işlem için plastik model veya mum model oluşturma işlemine göre , bu malzemelerin geri kazanılmasındaki maliyet cıvada daha düşük zaman ve maliyete işaret etmektedir. (Wood ,1952)

2) Bir çalışanın maruz kaldığı çevre şartları göz önüne alındığında , mum veya plastiğin enjekte edilmesinde kullanılan makinelerin yüksek sıcaklığı dolayısıyla , cıva ile çalışma daha az tehlike arz etmektedir. (Wood ,1952)

3) Yazın veya kışın cıvayla işletilen model odası koşulları , plastik veya mum model odası koşullarından daha rahattır. Çalışanların korunmak için tek gerekli ekipman modellerin yerleştirilmesi ve daldırılmalarında kullanılan birer eldivendir. (Wood ,1952)

4) Cıva ile model çalışmasında küçük bir avantaj da cıvanın uzaklaştırılmasının oda sıcaklığında olmasıdır. Bu durumdaki sıcak kalıplar cıvanın hapsolması hatasına karşı titreşime maruz bırakılmalı ve döndürülmelidir. Geriye kalan çok az kalıntı madde ise kalıbın pişirilmesinde yakılır veya buharlaştırılır. Eğer saf cıva kullanılırsa hiçbir curuf kalıntısı oluşmaz. (Wood ,1952)

5) Yapısı itibarıyla donmuş cıvada yüzey oksit tabakası oluşmamaktadır. Eğer düşük basınç altında iki cıva parçası temas ettirilirse bunlar birbirine kaynamaktadır. Bu kaynaklanabilirlik sıvı veya katı cıvanın düzgün , temiz yüzey oluşturma özelliğinin bir sonucudur. Kalıpların içersinde , sıvı cıvanın yüksek yüzey geriliminden ötürü , metal üzerinde konveks yüzeyler oluşmaktadır. Bu dökülen cıvadaki küremsi damlacıklar moleküler seviyede cıva modellerin çok düzgün yüzeylere sahip olmasına neden olur. (Wood ,1952)

Kendi kendine kaynaklanabilirlik yeterli düzgün ve temiz yüzey oluşturmada , bazı ağır metallerin özelliğidir. Altın , platin , çinko , bizmut , kurşun , kalay , indiyum gibi metaller yüksek basınç altında , sıcaklık gerekmeden , eğer doğru hazırlanmışlarsa bu kendi

kendine kaynaklanabilirlik özelliğini gösterirler.Cıvanın ise kendine has yüzey oluşturma özelliği vardır.Başka hiçbir model malzemesi bu kadar basit basınçlar altında kaynaklanma özelliği göstermez.Bu bağ iki parça donmuş cıva arasındaki gerçek kaynaktır.Sadece bir adhezyon olayı değildir. (Wood ,1952)

6) Cıva modellerin kalıptan çıkarılmasında hiçbir sorun yaşanmamaktadır.Modelin üniform büzülmesi sayesinde kalıptan kolayca çıkar.Kalıptan çıkarma işlemi genellikle basitçe modelin kalıptan yukarı çekilmesiyle yapılır.Bu sebeple çıkarma ve itme pimlerine de gerek yoktur.Bu yönüyle bu işlem cıvanın mum model malzemesinden farklıdır.Model malzemesi mum ise bu pimplere ihtiyaç vardır. (Wood ,1952)

7) Diğer metaller ve model malzemeleri göz önüne alındığında cıvanın katılaşmada kendini çekme çok azdır.Kontrollü katılaşma ve düşük hacimsel değişim etkileri nedeniyle modelde kavitasyona bağlı doğrulukta kayıp etkisi minimize edilmiştir.Ağır model kısımlarında insertlerin kullanılması gereksizdir.Bilindiği üzere insertler sadece besleyicilerin yollukla birleşme yerlerinde kullanılır.Fakat boyutsal kontrol nedenleriyle kullanılmaz.Cıva modellerin bölümleri arasında katılaşma gerilimleri o kadar düşüktür ki bu faktörden ötürü hiçbir zaman distorsiyonla karşılaşmaz. (Wood ,1952)

8) Düşük sıcaklıklarda mekanik zorluklara karşın , karmaşık cıva modellerin üretilmesinde büyük bir verimlilik vardır.Sayısız türbin kanatçığı profiline benzer parçaların üretilmesi bu üretim esnekliğini göstermektedir.Cıva modellerin karmaşıklığının limitleri , sadece bunları üretmede kullanılan kalıpların yeterli karmaşık olarak üretilip üretilmeyeceği ile sınırlıdır. (Wood ,1952)

9) Cıva model kalıplar çıkarıldıktan sonra soğutma devam eder.Daha önce kalıbın soğutulması için asetona daldırılmıştır.Bu sefer model soğutulmak için asetona daldırılır.Kabuk kalıbı oluşturmak için daldırma operasyonunda soğutma böylece otomatik olarak yapılmıştır.Kalıptan çıkartılması sonrasındaki soğutma sonucu modelde büzülme o kadar uniformdur ki hiçbir boyutsal problem yaşanmaz. (Wood ,1952)

10) Daha büyük , ani kesitlerin değiştiği , çok kalın veya ince kesitlerde ,buna ek olarak düzgün yüzeylerin istendiği yerlerde cıvanın kullanılması sayesinde diğerlerinde olmadığı kadar istenen özellikler karşılanır. (Wood ,1952)

11) Bir model malzemesi olarak donmuş cıvada bazı tasarım problemleri malzemenin özelliğiyle ilgili olabilmektedir.Fakat donmuş cıva nihayetinde yeterli özelliklere sahip

kabuk kalıbın oluşmasını sağlar.Mum ve plastik malzemenin kullanılmadığı büyükçe bir sayıda uygulamaları vardır. (Wood ,1952)

12) Yüzey ve boyut uniformluğu , döküm parçalar için hiçbir zaman modelin sahip olduğu özelliklerden iyi olamamaktadır.Dökümler genellikle modelin düzgünlüğünden ve boyut tamlığından biraz daha düşük olmaktadır.Hassas döküm için bu özelliklerin kontrol altında tutulamayan malzemeler , model malzemesi için uygun değildir.Cıva malzemesi bu özellikleri diğer model malzemelerine göre oldukça iyi sağlamaktadır.(Wood ,1952)

13) Cıvanın en büyük avantajı bir yumuşama bölgesine sahip olmasıdır.Cıva saf bir element olduğundan , sıvıdan katıya geçişte hiçbir faz transformasyonu olmamaktadır.Bu yüzden düzgün , doğru modeller elde edilmektedir. (Wood ,1952)

14) Cıvanın kalıbı iyi doldurmasına ek olarak katılaşmasının iyi kontrol edilebilme olanağı modelin boyut toleransının kolay bir şekilde kontrol edilmesine yol açar.Bu da cıvanın model malzemesi olarak kullanımında bir avantaj oluşturur. (Wood ,1952)

15) Mum ve plastik model malzemelerle çalışıldığında boyut ve bölge dar sınırlamaları ile karşılaşilmektedir.İnce detaylı bölgeler en yüksek sıcaklıkta ve daha kalın bölgeler cıva kullanıldığında daha iyi sonuç alınmaktadır. (Wood ,1952)

3.2.6 Cıvanın model malzemesi olarak dezavantajları

Cıvanın sıralanan bir çok avantajına karşın , bazı önemli sayılabilecek dezavantajları da vardır . Bir dökümhane üretime geçmeden önce bu dezavantajları da gözönünde bulundurup model malzemesi seçiminde karar vermelidir.Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır. (Wood ,1952)

1) Universal uygulamalarda donmuş cıva kullanımı ,modellerin yüksek maliyetleri bakımından sınırlıdır. Cıva modellerin yüksek maliyetleri , metalin maliyetiyle bağlantılı değildir.Çünkü cıvanın çok kalıntı bırakmadan yüksek geri kazanılma özelliği vardır . Cıvada yüksek maliyetler – 80⁰ F'den – 135⁰ F'ye kadar olan sıcaklıklarda çalışma zorunluluğundandır. Düşük bir sıcaklığı sağlamak ve dondurma kapasitesini gerçekleştirmek için ısının atılması , sıcak bir fırının ek bir ısı elde etmesi için yapılan işten daha maliyetlidir.Gerek cıvanın kalıplanmasında gerekse tamamlanmış modellerin kabuk kalıp oluşturmak için seramik çamura daldırılmasında süper – soğutulmuş sıcaklıklarda gerçekleştirilmelidir.Oysa ki mum veya plastikler ile çalışmada , modellerin

hazırlanması ve işlemler oda sıcaklığında ; boşaltma ise oda sıcaklığının üstünde gerçekleştirilir. (Wood ,1952)

2) Dondurma işleminin maliyetinden dolayı , dondurulmuş modellerin depolanması yerine , pratikte üretildikleri aşamada hızlıca hemen salkım oluşturulur ve kabuk kalıbı oluşturmak üzere seramik çamura daldırılır.Kabuk kalıp çok ani olarak oluşur.Bu kabuklar o kadar kırılgan olmadıkları için modelin boşaltımı çok zordur.Eğer uygun ergitme işlemi uygulanmazsa model, kabuğu distorsiyona uğratabilir. (Wood ,1952)

3) Civayla elde edilen kabuk kalıplar yaş halde depolanabilirler , fakat genelde hemen kirlenirler.Bu yüzden bunları depolamak çok zordur. (Wood ,1952)

4) Cıvanın kullanılmasının kısıtlanması temelde maliyet yüzündendir.Başta sahip olunması gereken kapital miktarı mum için gerekenden daha yüksektir.Her yeni iş için yapılan kalıplama maliyeti yüksektir.Donmuş cıvanın modellenmesi operasyonu diğer malzemelerin modellenmesine göre daha zordur.Bununla birlikte , çok büyük dondurma sistemleri oluşturmak ve çalıştırmak için gereklilikler çok maliyetlidir. (Wood ,1952)

3.3 Mum Model Malzemeleri

Mumlar karbon , hidrojen ve oksijenin organik bileşenlerinden oluşur. Yağ asitleri ve monohidroksilit alkollerin esterleridir.Esterler , alkoller ve asitler ile reaksiyona girip proseste bir molekül suyu kaybettiklerinde oluşur.Doğal mumlara Carnauba mumu örnek olarak verilebilir.Carnauba mumu Carnauba palmyesinin yapraklarını kaplamaktadır.Brezilyada bulunmaktadır ve daha çok mikril seratat $C_{15}H_{51}CO_2C_{30}H_{61}$ 'dir. Balmumu ise daha çok mikril palmatit $C_{15}H_{31}CO_2C_{30}H_{61}$ 'tir.Mumlar genellikle daha sert ve kırılgandır. Endüstriyel yağlara göre daha az kaygandır.Bu lipidlerin hepsi suda çözünmez ve bir veya daha çok organik çözümlerde , kloroform , benzen ve aseton gibi yüksek çözünürlükte dirler.Mumlar termoplastik yapıdadırlar.Bu sayede ergitilebilir ve döküm yoluyla şekil verilebilir.(Clegg , 1962)

Tarihsel olarak , model mumların temeli balmumudur.Buna karşın çoğu kez bunlar doğal reçine ile değiştirilip (mumu sertleştirecektir) veya süzölmüş yağ (mumu yumuşatır)

kullanılmaktaydılar.Bununla beraber , modern hassas döküm mumları sayısız bileşen içeren karmaşık bileşkelerdir . (Clegg , 1962)

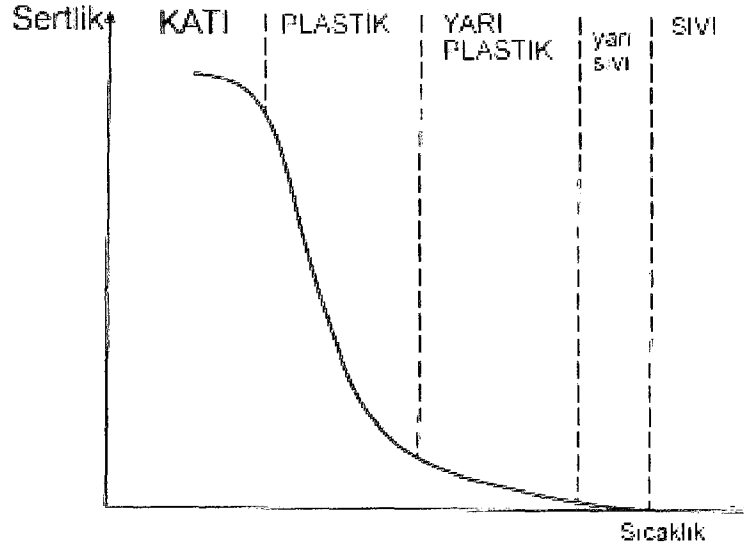
Mum bilinen en eski termoplastik malzemedir.Sıvı , yarı – sıvı veya plastik fazında dökülebildiği veya oluşturulabildiği için ,tarihi estetik sanatlar ve el sanatları ile çok ilişkilidir.Çok eski zamanlarda Çinli ve Mısırlı sanatçılar hassas dökümü balmumu dökümü adı altında kullanmışlardır.(Beeley , 1995)

Günümüzde hassas döküm mumu karışımları bir çok bileşen içeren karmaşık yapıdadırlar.Bu bileşenlere doğal hidrokarbon mumu, doğal ester mumu , sentetik mum , doğal ve sentetik reçineler , organik doldurucu malzemeleri ve su örnek verilebilir.Bu bileşenlerin çeşitli ihtiyaçları karşılamaları için birçok varyasyonlar yapılmaktadır.Bu özellikler erime noktası , sertlik ,viskozite , genleşme/büzülme ve katılaşma hızı gibidir. Bu kombinasyonların ve malzemelerin oranlarının değiştirilmesiyle ergime noktası , viskozite , genleşme , katılaşma hızı , sertlik gibi spesifik gereklilikler uygun hale getirilebilir.Tüm bu özellikler mum bileşeninin yapısından ve içeriğinden etkilenmektedir.Hidrokarbon mumu ,doğal ester mumu, birçok tipteki sentetik mum ve bazı reçinelerden bahsedildiğinde , genellikle düzgün – zincirlenmiş karbon atomları bileşenleri kastedilmektedir.Bununla beraber , kullanılan bazı reçineler ve doldurucu malzemeler halka yapısında karbon atomları bileşenleridir.(Clegg , 1962;Beeley, 1995)

Genelde , bu zincirlerin kısalmasıyla , mumun sertliği ve erime noktası düşmektedir.Yükselen zincir uzunluğuyla , hem sertlik hem de erime veya donma noktası artmaktadır.Zincir uzunluğu mumun viskozitesini ve çözülebilirliğini de etkilemektedir. (Beeley , 1995)

Döküm mumunun farklı zincir uzunluklarına sahip genişçe bir bileşen karışımı olduğundan , diğer malzemelere göre fiziksel davranışı farklıdır.Mum diğer homojen kimyasal bileşimler gibi ısıtmada hemen erimezler , fakat ara bir faza geçerler. Bu şekil 3.6 'da gösterilmiştir. (Beeley , 1995)

Şekilde de görüleceği gibi , giderek artan ısıtmada , başlangıçta katı olan mum yumuşar , plastik hale gelir , ileri bir ısıtmada yarı – plastik halini alır. (Beeley , 1995)



Şekil 3.6 Mumum sıcaklık karşı sertliğe bağlı faz diyagramı(Beeley , 1995)

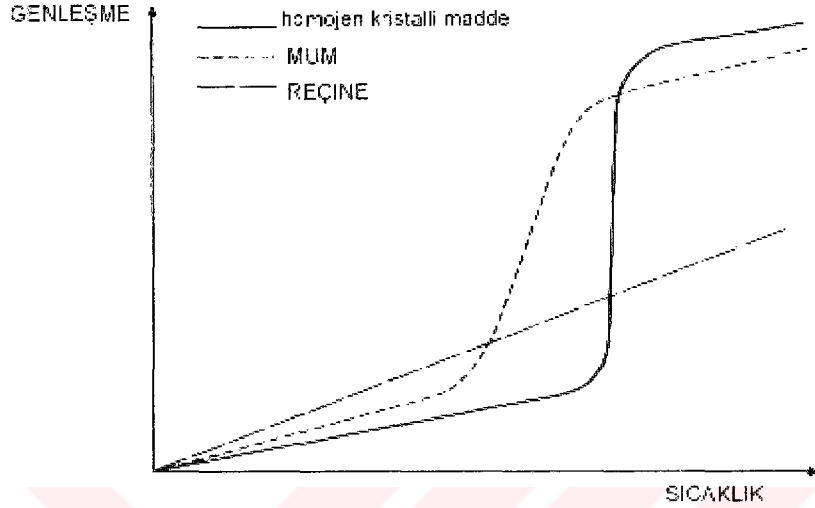
Daha yüksek sıcaklıkta katı – sıvı (yarı – sıvı) kıvamı kazanır.En sonunda tamamen ergitmede Newtonian sıvısı fazını alır.Burada şunu açıklamak gereklidir . Doldurulmuş mumlar Newtonian sıvısı değildirler.Fakat genellikle eğride gösterilen davranışa uyar.Bu toplam fazlardaki değişim kısa zincirlerin önce erirken uzun zincirlerin ise bu arada katı kalmasından dolayı oluşur.Sıcaklıktaki sonraki artış ile uzun zincirler devamlı olarak sıvı faza ulaşana kadar ergirler.Her bir durum için gerçek eğrinin şekli ve sıcaklık aralığı karışımın hazırlanmasının doğal olarak bir yansımasıdır . (Beeley , 1995)

Soğutmada bu eğrinin tersi oluşur ve karışımın hazırlanmasına göre daha uzun veya kısa sıcaklık aralığı oluşur. (Beeley , 1995)

Döküm mumunun yapısı veya bileşenleri de genleşme /büzülmeyi etkilemektedir.Isının etkisinde mum diğer malzemeler gibi genleşmede ve soğumada büzülmeaktadır.Metal ile karşılaştırıldığında mumun genleşmesi nispeten yüksektir.Mumlarda kabaca 20⁰ C sıcaklığın üzerinde genleşme ve büzülme hızı ile erime noktaları uniform değildir , fakat bu sıcaklık aralığı üzerinde yapının bir fonksiyonu olarak değişir.(Beeley , 1995)

Şekil 3.7’de bu olay üç değişik malzeme için tipik genleşme eğrileri çizilerek gösterilmeye çalışılmıştır.Bunlar homojen kristalli organik malzeme , mum ve kristalleşmeyen reçinedir. (Beeley , 1995)

Kristalli malzeme bir katı gibi davranır ve nispeten küçük genleşme gösterir. Ergime noktasında , kristal yapısı aniden parçalanır ve sıvı faza keskin bir geçiş oluşur. Bu da şekilde genleşmede ani bir artış ile belirlenmiştir. Sıvı fazda genleşmesi yine küçüktür. (Beeley , 1995)



Şekil 3.7 Mum, reçine ve kristalli malzemenin sıcaklığa karşı genleşme grafiği (Beeley , 1995)

Mumda kısa zincir kısımları düşük sıcaklıklarda bile yumuşaktır ve bu da genleşme eğrisinde giderek artan bir yükseliş gösterir. Daha yüksek moleküler ağırlık , kristalli parçacıklarda eğri daha dik bir artış gösterir ve daha sonra sıvı faza geçişte yine hafif bir artış gösterir. (Beeley , 1995)

Kristalli olmayan reçine daha değişik davranmaktadır. Isıtmanın başlangıcından sıvı faza kadar uniform bir model genleşmesi göstermektedir. Kristal elemanı olmadığından genleşme artışlarında keskin bir artış göstermez. Bunun yanı sıra mumlara reçine katılımıyla , mumun kristal yapısı düşürülebilir ve genleşme/büzülme kapasitelerinin düşürülmesine yardımcı olabilir. (Beeley , 1995)

Model oluşturmak üzere uygun olmaları için mum bileşenleri birçok özelliğe sahip olmalıdır. Bu özellikler şunlardır :

1) Normal oda sıcaklıklarında yüksek sertlik ve mukavemet. (Wood , 1952)

- 2) Sıvı durumdan çok lapa durumda enjeksiyona izin vermesi için geniş bir katılaşma aralığına sahip olmalıdır. (Wood ,1952)
- 3) Minimum faz değişimi veya katılaşmada kendini çekme olmalıdır. Model mumlarında gerçek katılaşma nadiren gerçekleşir.Bu , sıvı veya amorf fazdan yapının tümünün kristal yapıya dönüşmesidir.Model mumları süper – soğutulmuş sıvılar veya yüksek viskoziteli sıvılardır. (Wood ,1952)
- 4) Isıtmadan akışın yumuşama noktasına kadar minimum genleşme katsayısına sahip olmalıdır. (Wood ,1952)
- 5) Akış noktasından , yararlı katılaşma noktasına kadar minimum yayılma olmalıdır.Akış 150⁰ F sıcaklıkta veya altında , kararlılık ise bu noktada en az 110⁰ F olmalıdır. (Wood ,1952)
- 6) Soğutma sırasında katılaşmada gerilimlerin oluşmasında minimum eğilim olmalıdır(Wood ,1952)
- 7) Mum modelin kalıbından çıkartılmasında ve kullanım için depolanması esnasında maksimum boyutsal kararlılığa sahip olmalıdır. (Wood ,1952)
- 8) Düşük sıcaklıklarda buharlaşan içeriği minimum olmalıdır. (Wood ,1952)
- 9) Model karışımının maksimum tekrar kullanılabilir olması gerekir. (Wood ,1952)
- 10) Mekanik , kimyasal ve fiziksel özelliklerin yeniden geri kazanılmasında maksimum kararlılık özelliğine sahip olmalıdır. (Wood ,1952)
- 11) İnorganik veya kül şeklinde impuriteler oluşması minimum olmalıdır. (Wood ,1952)
- 12) Malzeme giderleri ilk ve toplam için minimum olmalıdır. (Wood ,1952)

Harcanabilir model üretiminde kullanılan mumlar tüm bu özellikleri karşılamayabilir veya pahalı olabilmektedir. (Wood ,1952)

3.3.1 Mumların sınıflandırılması

Mum başlığı altında birçok malzeme kullanılabilmektedir.En geniş olarak 3 kategoride sınıflandırılabilir :

- 1 . Doğal Ester Mumları
- 2 . Doğal Hidrokarbon Mumları
- 3 . Sentetik Mumlar

3.3.1.1 Doğal Ester Mumları

Doğal ester mumları genellikle % 10'un altında küçük miktarlarda kullanılır. Kullanım amacı karışımın sertliğini artırmak ve mum soğuduğunda katılaşma işlemini hızlandırmaktır. Doğal ürünler kararsız özelliklere ve yüksek kül içeriğine sahiptirler. Doğal mumların fiyatları oldukça yüksektir. Carrauba 83⁰ C gibi yüksek ergime noktasına , düşük termal genleşme katsayısına sahiptir . Ayrıca sert , kırılğan ve yapışkan olmayan bir yapıdadır. Candelila başka tür bir mumdur ve Meksika'da yetişen bir tür ottan elde edilir. Bunun da göreceli olarak düşük termal genleşme katsayısı vardır. Orta derecede sert , fakat hafif yapışkandır. Hidrokarbon mumlarına göre daha az katılaşmada kendini çekme özelliği gösterir ve parafin mumlarının sertleştirilmesinde ve yumuşama noktasının arttırılmasında kullanılmaktadır. Balmumunun ergime noktası 64⁰ C'dir ve göreceli yumuşaklık ve yüksek fiyatı dolayısıyla modern mum modellerde nadiren kullanılır. (Clegg , 1962)

3.3.1.2 Doğal Hidrokarbon Mumları

En çok kullanılan hidrokarbon mumları ham petrolardan üretilmiştir. Bunlar da alt gruplar olarak şu şekilde sınıflandırılır : (Wood ,1952)

Parafin mumlar , ara mumlar ve mikro – kristalin mumları

1) Parafin Mumları

Bu mumlar genellikle düşük kaynama noktasına sahip yağlama yağlarından vakumda arıtma prosesi yardımıyla üretilirler. Ergime noktaları $\pm 3^0$ C arasında değişen farklılıklarda tipleri mevcuttur. Bununla beraber , ergime noktaları 52⁰ C'den 68⁰ C'ye kadar olan tipleri en çok kullanılmaktadır. Yüksek rafine edildiğinde bu malzeme yarısaydam bir özellik göstermektedir ve kırıldığında iri taneli kristal yapısı vardır. Bu mumların düşük maliyetleri , bulunabilirlikleri eklendiğinde , çok uygun tipleri , yüksek yağlama özellikleri , düşük ergime viskoziteleri ile çok geniş olarak kullanım alanları vardır. Bununla beraber kırılğanlıkları ve yüksek kendini çekme özelliklerinden dolayı uygulama alanları sınırlandırılmıştır. (Wood ,1952)

2) Ara mumlar

Bu mumlar yarı mikro – kristalli malzeme olarak da adlandırılmaktadır. Vakumda arıtma işlemiyle yüksek kaynama noktasına sahip yağlayıcı yağlardan elde edilmektedir. Bu mumlar genellikle saydam , sert ve parafin mumlarına göre daha ince taneli kristal yapısına sahip ve daha az kırılğandır. (Wood ,1952)

3) Mikro – kristalli mumlar

Bu tür mumlar yağlayıcı yağın çökeltisinden , yüksek vakumda arıtma sonucu elde edilir. Parafin mumlarına göre daha fazla molekül ağırlığı vardır.Bu tür mumlar saydamdırlar ve ince – taneli kristal yapısına sahiptirler . (Wood ,1952)

3.3.1.3 Sentetik Mumlar

Bu malzemeler doğal ester veya doğal hidrokarbon mumların yapay türevleridir Fishertropsch mumları , polietilen mumlar , polietilen glikol mumlar , Montan mumları , okside edilmiş mumlar , klorinleştirilmiş mumlar örnek olarak verilebilir. (Wood ,1952)

Başka bir değerlendirmeye göre mumlar Çizelge 3.2 ‘deki gibi sınıflandırılabilir. (Beeley ,1995)

Çizelge 3.2 Hassas döküm mumları tipleri(Beeley ,1995)

Model mumu
Besleyici mum
Geri dönüşüm mumları
Suda çözünür mumlar
Diğer tipte mumlar – daldırma ,yama ve adhesif (yapışkan mum) mumları
Model mumu üç ana tipe bölünebilir: Doğrudan veya doldurulmamış model mumu Emülsifiye model mumu Doldurulmuş model mumu

3.3.1.4 Doğrudan veya Doldurulmamış Model Mumları

Bunlar aslında birçok mum ve reçine bileşenlerinden oluşmuş kompleks bileşenlerdir.Nihai yüzey bu mumlarda parlak ve temizdir.Bu bileşikler genellikle hem besleyici , hem de modeller için geri – kazanılabilirler.(Beeley ,1995)

3.3.1.5 Emülsifiye Edilmiş Model Mumları

Bu tür mumlar doldurulmamış mumlar gibi benzer malzemelerdir, fakat su ile % 7 – 12 oranında normalde emülsifiye edilir.Nihai yüzey oldukça düzgündür.Çünkü su bir

doldurucu gibi davranır ve çok küçük kavitasyon meydana gelir.Emülsifiye mumlarının kullanımı ayrıca çok kolaydır.Çok yönlülük özelliği olduğundan yaygın şekilde kullanılmaktadır.Ayrıca bu bileşikler genellikle hem besleyici sistemler hem de modellerde kullanım amaçlı geri – kazanılabilmektedir.(Beeley ,1995)

3.3.1.6 Doldurulmuş Model Mumları

Yine bu malzemeler , diğer iki kategorideki malzemelere , temel yapısı itibariyle benzerdir.Fakat bileşiğin içersine karıştırılmış toz halinde , soy doldurucu malzeme katılır.Temel mum ile çözülmez yapıdadır. (Beeley ,1995)

Bileşkeye daha yüksek kararlılık ve düşük kavitasyon özelliği verir.Kullanılan doldurucudan tam yakılmada hiçbir kül bırakmaması için organik olması önemlidir.Bu amaçla birkaç farklı doldurucu malzemesi kullanılmaktadır.Ayrıca nihai yüzeyi bozmaması için kullanılan doldurucunun ince – taneli parçacık boyutunda olması önemlidir.Ayrıca doldurucunun malzemenin özgül ağırlığı ana muma göre olabildiğince yakın olmalıdır.Böylelikle mum sıvı faza geçtiğinde , minimum ayrışma olur.Yine bu tür mumlar geri – dönüşüm teknolojisi içersinde geri – kazanılabilir ve besleyici sistemler veya modellerde kullanılabilir.(Beeley ,1995)

3.3.1.7 Besleyici Mumlar

Doldurulmamış mumlara benzer ana malzemeler içerir ve besleyici sistemlerin ihtiyaçlarını karşılayacak kuvvet vermek için karıştırılırlar.(Beeley ,1995)

3.3.1.8 Geri – dönüşümlü Mumlar

Bu mum üreticisi tarafından , dökümcülere mumun tamamen temizlenmiş , karıştırılıp veya tekrar kullanılması için yapılan bir servistir.Malzeme modellerinin yeniden oluşturulması dönüştürülür.Doldurulmamış veya doğrudan mumlar , emülsifiye edilmiş mumlar ve doldurulmuş mumların hepsi geri – kazanılabilir. (Beeley ,1995)

3.3.1.9 Suda Çözünen Mumlar

Diğer mumlarla üretilmesi güç olan iç şekillerin oluşturulmasında kullanılır.Bu mumlar suda veya hafif asidik çözeltiilerde çözülürler. (Beeley ,1995)

Çözünür göbek mumları minimum üç içerikten oluşmaktadır : Bunlar bağlayıcı , doldurucu ve kabarma maddesidir.Doldurucular ve kabarma maddeleri inorganik malzemelerdir. Bu yüzden model mumun kirletilmesinin olmaması için çok fazla özen gösterilmelidir.Bağlayıcı genellikle polietilen glikoldür.Arzu edilen akış ve yumuşama noktasının elde edilmesi için değişik moleküler ağırlıklarda kullanıma hazır bulunabilmektedir.Bu malzemeler sıvı solüsyonlarda ağır çözünürler ve moleküler ağırlık arttıkça çözünabilirlik düşer.Doldurucular ise toz halindedir ve mukavemeti artırır.Bunun yanısıra kendini çekmeyi düşürür.Silika , mika ve sodyum klorid en çok kullanılan dolduruculardır.Kabarma maddeleri polietilen glikolün çözünürlüğünü desteklemek amacıyla formülasyona katılır.Karbonatlar çok kullanılır ve gaz karbondioksiti oluşturmak için süzölmüş solüsyonda asit ile reaksiyona girerler. Bu da mum çözölümünde hızı artırır.(Clegg , 1962)

Sülfirik , nitrik ,asetik asitlerin hepsinin kullanılmasına rağmen süzölmüş solüsyonlar asitlerin tipik olarak hidroklorik asitin zayıf bir konsantrasyonudur.Süzme operasyonunun kimyasına bağlı olarak , asit daha zayıf hale gelir ve ileri eklemeler banyoyu iyileştirmek için gereklidir.Bununla beraber , konsantrasyonun çok yüksek olması mum modellerin yüzeyinin yapışkan olmasına neden olur. (Clegg , 1962)

3.3.1.10 Diğer Özel Mumlar

Bunlar daldırmada , onarımda ve adhezif uygulamalarda kullanılan doldurulmamış mumlardır. (Clegg , 1962)

3.3.2 Mumlara eklenen katkı malzemeleri

Mumlar çeşitli gereksinimleri karşılamak için çok kolay karıştırılabilir.Düşük ergime noktaları ve düşük ergime viskoziteleri bileşik oluşturma , enjekte edilebilme , model oluşturma ve ince seramik kabuk kalıp çatlamadan mumun boşaltılmasına imkan verir. Mumların bu özellikleri düşük sıcaklıklarda ve basınçlarda enjekte edilebilmelerine sebep olur.Ayrıca abrasif özelliklerinin olmaması işleme maliyetlerini düşürür. (Clegg , 1962)

Bununla beraber mumların bu tür yararlı özelliklerine sahip olmalarına rağmen , yetersiz kaldıkları iki önemli alan vardır :

- 1 . Mukavemet ve sağlamlık.Özellikle çok hassas modellerin yapımına ihtiyaç duyulduğunda. (Clegg , 1962)
- 2 . Boyutsal kontrol. Özellikle model enjeksiyon sırasında ve sonrasında katılaşmada kendini çekmeden dolayı oluşan yüzey kavitasyonunda . (Clegg , 1962)

Bu alanlardaki gelişmeler katkıların ilavesiyle yapılabilir. Polimerlerin katılımıyla mumların mukavemet ve dayanımlarında genellikle bazı gelişmeler sağlanmaktadır.Polietilen en geniş olarak kullanılan katkı maddesidir , çünkü mumların büyük kısmıyla uyumludur ve göreceli olarak ucuzdur.Diğer kullanılabilecek malzemeler ise şunlardır : Etil vinil asetat , etil vinil acrylate , naylon ve etil selüloz.Bu malzemelerin katılma miktarı sınırlandırılmıştır. Çünkü kullanıldıkları mumlarda belli sıcaklıklarda viskozduurlar.Bununla beraber tolere edilebilen az miktarlarda katılımlarıyla kayda değer gelişmeler elde edilebilmektedir. (Clegg , 1962)

Yüzey kavitasyonu veya çökme katılaşmada kendini çekmenin göstergesidir.Polimerlerin katılımı katılan miktarla orantılı olarak kendini çekmeyi düşürecektir.Bununla birlikte , katılan polimer miktarı nispeten azsa , etki de o kadar az olmaktadır.Daha güçlü bir etkiye ulaşmak için reçineler ve doldurucular da muma katılmalıdır.Doldurucular seçimlik olarak , reçineler ise çok geniş olarak kullanılmaktadır.Bu yüzden mumlar doldurulmuş veya doldurulmamış olarak tanımlanmaktadır. (Clegg , 1962)

Sentetik reçineleri de içeren birçok reçine çam ağacı , ham petrol ve katran gibi doğal kaynaklardan elde edilebilmektedir.Bunların seçimi , kullanılan polimer ve mumlarla uyumluluklarına , yumuşama noktalarına sıcaklığa karşılık viskozite ilişkilerine bağlıdır.Isıtıldıkları veya soğutuldukları zaman mumlarla karşılaştırıldıklarında ergime/katılaşma aralığında çok küçük hacimsel değişim gösterirler.Sonuçta , katılımları kullanılan miktara bağlı olarak kendini çekmeyi düşürür. . (Clegg , 1962)

Daha önce de belirtildiği gibi bu reçine katkısına karşılık doldurucuların muma katılması daha etkili olmaktadır.(Fielder ,1997)

Hassas dökümün ilk zamanlarında , doldurulmamış veya direkt mum modeller istenilen kaliteye ulaşmada başarı göstermiştir.Daha büyük , kompleks ve dar boyut toleranslarının ihtiyacı dolayısıyla doldurulmuş model mumları geliştirilmiştir. (Fielder ,1997)

Hassas döküm terimi olan doldurucu mum , kontrol ve istenmeyen etkilerin oluşmaması amaçlarını taşıyan mum karışımına eklenen malzeme demektir . Doldurucu malzeme genelde işlem sıcaklıklarında soydur ve mum kullanımında sıvı – katı faz değişimi neticesinde oluşan doğrusal ve hacimsel kendini çekme değerlerine karşı korur. (Fielder ,1997)

Bir doldurucunun şu özelliklere sahip olması beklenir :

- Malzeme muma göre soy olmalı ve termal kararlı olmalıdır. (Fielder ,1997)
- Mum boşaltımından ve kurutmadan sonra geride bırakacağı istenmeyen madde miktarını minimuma indirmek için kül içeriği az olmalıdır. (Fielder ,1997)
- Sıvı mum ile benzer özgül ağırlığa sahip olmalıdır.Bunun sayesinde çökme en aza indirilir. (Fielder ,1997)
- Doldurucunun fiziksel formu yüzey bitirme karakteristiklerine aşırı derecede zararlı olmamalıdır. (Fielder ,1997)
- Malzeme hem kişisel kullanım , hem de çevresel koşullar için zararsız olmalıdır. (Fielder ,1997)
- Malzemenin fiyatı uygun olmalıdır. (Fielder ,1997)

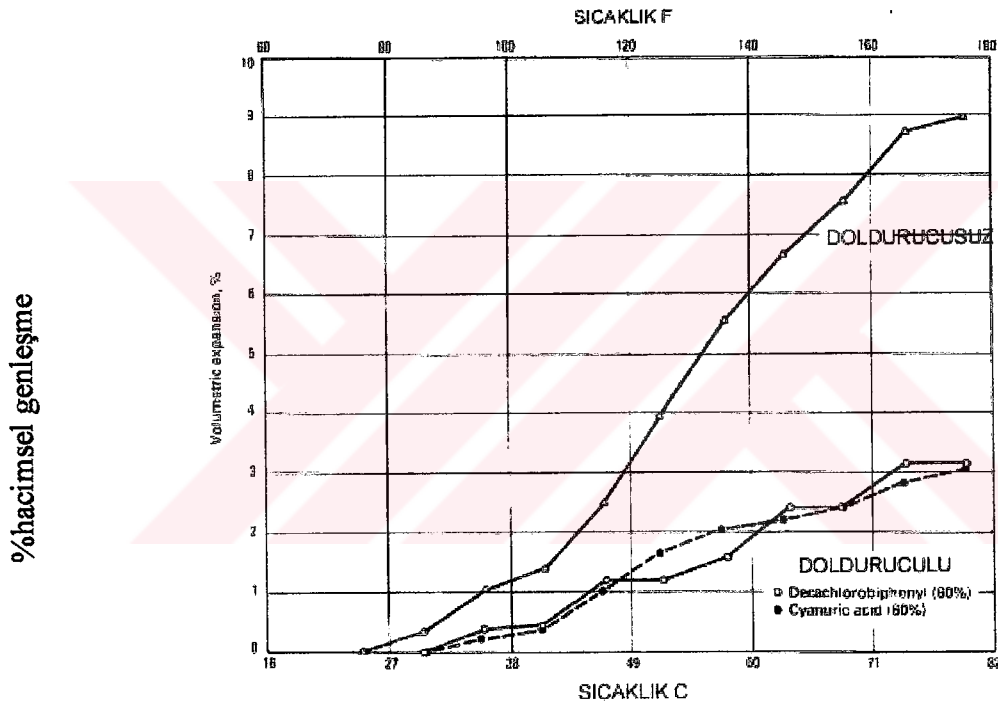
Çoğu yıllar boyunca , sayısız maddeler doldurucu olarak kullanılmıştır.günümüzde çok çeşitli tipte doldurucular mevcuttur.Bunlara örnek olarak doldurucu mumlar ve fiziksel özellikleri şunlardır . (Fielder ,1997)

- Yumuşama noktası
- Katılaşma noktası
- Viskozite
- Filler içeriği
- Kül içeriği

Mum fiziksel özelliklerinde , doldurucu içeriği arttıkça mumun viskozitesi de artmaktadır.İnce taneli doldurucular iri taneli dolduruculara göre daha fazla mumun viskoz olmasına neden olmaktadır.Burada viskozite mumun enjeksiyonda ve mum boşaltımı sırasında akışını etkilediği için önemlidir. (Fielder ,1997)

Doldurucuların mumlara katılımıyla elastisite katsayısı artmaktadır. Bu artış katılan doldurucunun miktarı ile artar .Ayrıca katı doldurucular katılımıyla sağlamlık , katılık muma kazandırılır.Bu özellikle boyutsal kararlılığa sebep olur. (Fielder ,1997)

Doldurucular genelde hacimsel kendini çekme veya kavitasyonu düşürür ve kontrolü sağlar . Doldurucular katılmazsa büyük ve ağır modeller elde edilemez. (Fielder ,1997)



Şekil 3.8 Doldurucu içeriğinin model mumunun hacimsel termal genişlemesi üzerine etkileri(Horton , 1990)

Katılaşma kendini çekmesi mumların , doldurucu denilen toz olan katı malzemelerin karıştırılmasıyla düşürebilir.Bunlar ana mum malzemesinde çözülebilir ve daha yüksek erime noktaları vardır.Karışım ergimiş hale getirildiğinde enjeksiyon edilebilir bir süspansiyon oluşturur. (Fielder ,1997)

Erimeedikleri için doldurucular, karışımın katılaşmada kendini çekmesini arttırmaz. Şekil 3.8 , ısıtma sırasında doldurucuların genleşmeyi düşürdüğü görülmektedir.(aynı zamanda soğutmada da) Model mumda kullanılan doldurucular şunlardır : Polistiren , çeşitli dikarboksamidler ve ilgili bileşikler , isophthalic asit ,pentaeritritol ve hexametiltetramin .Doldurucuların küçük ve eşit boyutlu küresel formda olmaları tercih edilir.Bu tipte çeşitli doldurucular geliştirilmiştir.Bunlara küresel polistiren , karbon mikroküreselleri ve termoset plastiklerin küresel parçacıkları örnek olarak verilebilir.Su da katı doldurucular gibi aynı fonksiyonu sağlayabilir.Bu tip mumlar mevcuttur. (Fielder ,1997)

Başka diğer katkılarda model mumlarında kullanılabilir.Çözülemez boyalar görünüşü zenginleştirmede , farklılığı yaratmak ve modellerin bakımını kolaylaştırmak için kullanılabilir.Antioksidantlar mumların termal bozulmaya karşı korunmasında kullanılmaktadır.Yağlar ve plastikleştiriciler enjeksiyon özelliklerini değiştirmek ve bazı durumlarda kendini çekmeyi düşürmek için kullanılabilir. (Fielder ,1997)

3.3.3 Mum Model Oluşturma

Model oluşturma hassas dökümde kritik bir adımdır , çünkü modelde yüzey hataları dökümde hata olarak ortaya çıkacaktır.Tarihsel olarak ,model malzemeleri mumlardır ve bundan dolayı kaybolan mum olarak adlandırılmaktadır.Hala en çok kullanılan model malzemesi mum olsa bile , termoplastikler de çoğu zaman kullanılmaktadırlar. (Guerra 1998)

Tipik model mumları doğal ve sentetik mumlar ve reçinedir.Doldurucular katılaşma esnasında kendini çekmeyi en aza indirmek için çoğu zaman katılırlar.Mum bileşimi boyutsal kararlılık, mukavemet ve istenilen enjeksiyon karakteristiklerini elde etmek için formüle edilir.Mum çarpılmaya karşı koymalı , aynı zamanda oda sıcaklığına yakın sıcaklıkta düşük termal genleşmeye sahip olmalıdır.Uygun mum özelliklerinin sağlanmasıyla tam olarak uygun mum elde edilebilir.Birçok mum model mumun hassas metal kalıba enjekte edilmesiyle elde edilir.Mum ayrıca modellerin eklendiği yolluk olarak da oluşturulur.Geçiş yerleri besleyici olarak görev yapar. (Guerra 1998)

3.3.3.1 Mumların Eritilmesi

Enjeksiyon yapılmadan önce mumların eritilmesinde özen gösterilmelidir. Mumlar hiçbir zaman aşırı ısıtılmamalıdır. Aksi takdirde bazı bileşenleri okside olabilir , mumu gevrek hale getirebilir veya enjeksiyon özelliklerini ve boyutlarını etkileyebilir. Ergitme sırasında mum 80°C ile 90°C arası sıcaklıklarda tutulmalıdır. (Clegg , 1962)

Güvenilir bir termostat ile sıcaklığın kontrol edildiği yağ konteynerinde mumlar en iyi şekilde eritilir. Buna ek olarak mumun ergimiş fazında bir yavaş hızlı karıştırıcı kullanılmalıdır. Bu doldurulmuş mumun eritilmesinde gereklidir. Bu tavsiyeler uniform sıcaklık elde edilmesinde , lokal olarak aşırı ısınmasını ve muma zarar verilmesini önlemektedir. Doldurucu ayrışmasını engellemek için silindirik , köşeleri olmayan bir tank kullanılmalıdır. Karıştırıcının kanatları tankın tabanına olabildiğince yakın olmalıdır. (Clegg , 1962)

Mumlar kullanılmadan önce homojen olması gereken karmaşık karışımlardır. Bu gerekliliğe ulaşmak ve viskozitesi , akışı optimize etmek için , mum kullanımından önce enjeksiyon sıcaklığında birkaç saat tutulmalıdır. (Clegg , 1962)

3.3.3.2 Mum Enjeksiyon Araçları

Mum enjeksiyon makineleri mumu alıp kalıba , modeli oluşturmak için iten makinelerdir. Temelde üç tip enjektör vardır : Sıvı , hamur ve katı . Sıcaklık düşüşüyle , mumun viskozitesi artar ve bunun sonucunda mumu kalıba itmek için daha fazla basınç gerekir. (Clegg , 1962)

Sıvı mum enjektörü , sıvı mum kullanımı problemlerine karşın , en çok kullanılan mum enjektörü tipidir. Bu problemlerin birincisi kendini çekmedir. Bu olay sıvı mumun sıcaklığının artmasıyla artar. Bununla beraber , doldurucuların katılımıyla bu olay azaltılabilir. İkinci problem düşük viskozitede , sıcak sıvı mumda türbülansla dolaylı havanın hapsolmesidir. Mum enjeksiyonunda kontrol edilmesi gereken değişkenler sıcaklık , basınç ve akıştır. (Clegg , 1962)

3.3.3.3 Model Montajı Ve Hazırlanması



Şekil 3.9 Üretimde model montajı. (Clegg , 1962)

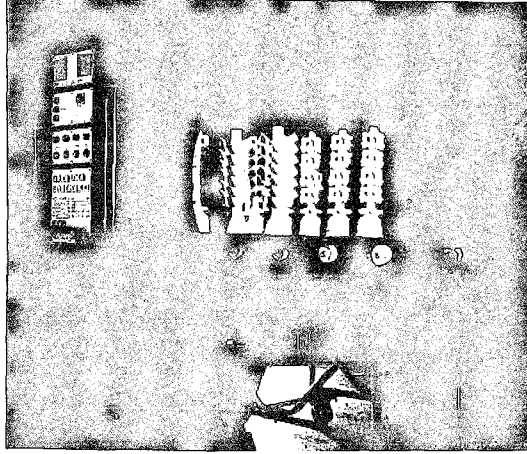
Bir modelin genelde yekpare olarak üretilmesi tercih edilir. Bununla beraber boyut ve karmaşıklık bunu engeller. Modelin segmentlerden oluşması gereklidir. Küçük modeller tek parça olarak elde edilir. Büyük modeller ise son salkımı oluşturmak için birleştirilir. Salkımın oluşturulması manuel bir işlemdir. Isıtılmış spatula kullanarak mum komponentleri mum kaynağı ile birleştirilir. Tüm mum bağlantılarının tamamlanmış olması önemlidir. Yanlış tamamlanmış mum bağlantı yerleri dökümde potansiyel inklüzyonların kaynağıdır. (Clegg , 1962)

Bir sonraki işlemde salkımlar kaybedilmiş mum veya kir için temizlenir. Salkımlar ısıtma aracı veya çözücü çözeltiler içeren ve mumla reaksiyona girmeyen su ile yıkanır. (Clegg , 1962)

3.3.4 Mum Boşaltma Operasyonu

Mum boşaltma , seramik kabuk kalıptan mum model salkımının uzaklaştırılması anlamına gelmektedir. Bu safhada mum çatlama eğilimi gösterdiğinden kalıpta da çatlamların oluşma olasılığı artmaktadır. (Beeley ,1995)

Yapraklanma hatası da kalıbın girişinde oluşabilmektedir. Kabuk çatlaması kısmen kabuğun özelliğine , kısmen de mum boşaltma operasyonuna bağlıdır. (Beeley ,1995)



Şekil 3.10 Otoklav fırın ve ekipmanları. (Beeley ,1995)

En önemli ve en çok kullanılan mum boşaltma yöntemi otoklavdır.Şekil 3.10’da otoklav ekipmanı görülmektedir.Alternatif olarak flash pişirme kullanılmaktadır.Çoğu dökümhanede model malzemesi , özel uygulamalar için plastik modeller tercih edilse de , yaygın olarak mum kullanılmaktadır.Örneğin ; mumun aşırı kırılğan ve distorsiyona eğilimli olduğu ince ve hassas modellerde . Polistren gibi plastikler mumlardan çok daha mukavemetlidir , fakat uzaklaştırılması daha zordur ve otoklav yerine flash pişirme ile kalıptan uzaklaştırılır. (Beeley ,1995)

Bu safhadaki anahtar nokta seramik malzemenin düşük termal genişmesi ve mumun yüksek termal genişmesi arasındaki önemli farktır.Eğer seramik kalıp mumu ergitmek üzere bir fırına konursa , bu farktan ötürü büyük olasılıkla kalıp çatlayacaktır. (Beeley ,1995)

Başarılı mum boşaltma seramik kabuğun dış yüzeyine yeterli ısıнын uygulanmasına dayanır.Böylece birincil kata bitişik ince mum kabuk , mumun yoğun bölgesinden önce ergir.Eğer koşullar uygunsa , ergimiş mum seramik kabuğu ıslatarak , mumun kabuğu çarpılmaya maruz bırakmadan , serbestçe genişmesini sağlar.Model malzemesi , seramik kabuk ve ısı kaynağı özelliği mum boşaltma işleminin başarı ya da başarısızlığını belirler. (Beeley ,1995)

Model malzemesinin iletkenliği düşük olmalıdır, çünkü bunun yüksek değerleri mumun yoğun kısımlarına ısıнын hızlıca yayılmasına neden olacaktır.Böylece kalıba nüfuz ederek

ergimiş mumun , gerekli olan ince katı oluşamayacak ve sonuçta yoğunluğu fazla olan mumun genleşmesi için boşluk yaratılmayacaktır. (Beeley ,1995)

Mumun bir özelliği de kötü ısı transferi özellikleridir.Bu özellikleri korumak için çeşitli doldurucular veya katkıları kullanılabilmektedir. (Beeley ,1995)

Viskozite burada göz önüne alınması gereken bir başka özelliktir.Çünkü yüksek viskozite sonucunda ergimiş mum katının kalıba penetrasyonu daha zor olacaktır.Gerçekten de pratikte yüksek viskoziteye sahip doldurulmuş mumlar , doldurulmamış mumlara göre daha kolay çatlamış kabuklar üretmektedir.Ayrıca sıcaklığın 50⁰C ile 80⁰ C aralığında olan mumların viskozite değişikliklerinde önemli farklar olmaktadır. Bu ergime bölgesi çoğu dökümhanelerde kullanılan aralıktır. (Beeley ,1995)

Isı kaynaklarına nazaran , otoklav genellikle 150⁰ C – 180⁰ C ve flaş fırınları 1000⁰ C 'de çalışmaktadır.Çoğu mumlar 100⁰ C 'nin altında ergirken , polistren gibi plastik model malzemeleri 200⁰ C'ye varan sıcaklıklarda ergirler ve ayrışmaları düşük viskoziteye ulaşıldığında başlar.Bir otoklav işlemi , plastik model uzaklaştırılması için uygun olmamaktadır.Flaş fırınlarında 1000⁰ C üzerinde işlem yapılır ve plastik modeller için ana yöntemdir.Burada mumlardan daha çok uzaklaştırma problemleri yaşanır.İdeal malzeme kombinasyonunda , plastiğin yüksek mukavemeti ile düşük viskoziteli mum özelliklerine henüz erişilmemiştir. (Beeley ,1995)

Diğer model uzaklaştırma yöntemleri , çözücü kullanımı gibi , özel amaçlar için kullanılmaktadır. Suda çözünür mumlar genişçe kullanılmaktadır , fakat bütün kalıp modeli için genelde kullanılmamaktadır.Parafin mumları en çok otoklavda kullanılmaktadır. (Beeley ,1995)

Ergimiş malzemenin boşaltılmasında devamlı ve uniform olarak tüm yüzeylerin ısıtılması gerekmektedir.Şekil 3.10 'da mum boşaltmada otoklav yöntemine ait bir ekipman görülmektedir.Flaş fırınla mum boşaltmada ısı transferinin radyasyonla olması dolayısıyla kalıpta gölge şeklinde etkiler görülmektedir. (Beeley ,1995)

Kabuk yapımı safhasında sabit oda sıcaklığı elde edilmesinin öneminden dolayı otoklav ya da flaş pişirme fırınları ısısı kontrol edilen alandan uzak tutulmalıdır. (Beeley ,1995)

Hala mum içeren kalıplar bu koruyuculu ortamdan taşınır ve sıcak otoklavın yanına yığılır.Böylece kabuk çatlaması önlenmiş olur.Kabuklar her zaman hızlıca soğuk durumdan ısıya ısıtılmalıdır ve flaş pişirmede ocağa direkt konmalıdır.Ergimiş mumun kabuğa nüfuz etmesi için , yeterli kabuk geçirgenliği gereklidir.Bu döküm esnasında havanın ve elde edilen gazların kaçması için de gereklidir.Mumun genleşme kuvveti sonucunda geçirgen olmayan kabuk kalıp ne kadar mukavemetli olsa da çatlar. (Beeley ,1995)

Bir başka sorun da birincil katta porozitenin oluşmasıdır ve çoğu kez kalıbın toplam geçirgenliği hakkında bir bilgi vermez.Belirli bir doldurucu için kullanılan malzemeye göre genel bir geçirgenlik değeri vardır.Fused silika genelde yüksek geçirgenlikte kabuk kalıp oluşturur, çünkü jelleşme safhasında yeniden doldurucu ve bağlayıcı dağılımı oluşur.Doldurucu malzemesi ve çamur arasındaki ıslatma karakteristiğinin geçirgenlik üzerinde önemli bir etkisi vardır.Silikaya göre farklı ıslatma karakteristiğine sahip doldurucular daha yoğun bir yapı oluştururlar ve bundan dolayı daha düşük geçirgenlik elde edilir. (Beeley ,1995)

İdeal mum boşaltma şartlarına hiçbir zaman ulaşamayacağı için seramik kabukta her zaman bir takım gerilimler oluşur.Tatmin edici kabuğun yeşil mukavemet değerleri başarılı mum- boşaltma olayını destekler.Çamurda bağlayıcı sıvı ve doldurucu içeriği dengesinde , doldurucuyla birleşecek çok az veya çok fazla bağlayıcı seviyelerinden kaçınılmalıdır.Çünkü bağlayıcı jelleşmeden sonra büzülür , bu artık aşırı mikro çatlamalara ve zayıf yeşil mukavemete neden olur.Bazı kabuk sistemlerinde ve özellikle alkol bazlı kabuklarda en son katın kuruması ve mum boşaltma arasında optimum bir aralık vardır.Çünkü bağlayıcının başlangıçta büzülmesi yeşil mukavemeti artırırken , daha sonra mikro çatlamalardan dolayı düşmektedir. (Beeley ,1995)

Su bazlı ve alkol bazlı kalıpların kurutulmasında temel bazı farklar vardır.Jelleşmiş alkol bazlı bağlayıcı , yeni jelleşmiş su bazlı malzemeye göre , dağılmaya karşı daha fazla

dirençlidir.Bununla birlikte jelleşmenin görünür safhaları ve sertleşmesi parçacıklar arası birleşmenin tamamlandığı anlamına gelmez. (Beeley ,1995)

Jelleşme safhasının başlangıcı sadece pelte – benzeri katısının oluşması için yeterli bağın oluştuğuna işaret eder.Bu yapı hala kalıp boyunca hareket edecek sıvıyı içermektedir.Uzun bekleme periyotlarından sonra , belki birkaç gün , mum boşaltmadan önce , mum/kabuk kalıp arayüzündeki hareket birincil kat yüzeyinden tozumsu beyaz bir artık bırakır.Bu malzeme metal/kalıp reaksiyonlarını kötüleştirebilir.Bu problemin önüne geçmek için bu hareket engellenmelidir.Bunun için çamura bir film tabakası oluşturan lateks malzemesi katılmalıdır. (Beeley ,1995)

Direkt havada kurutulan su bazlı kabukların aksine , alkol bazlı sistemler amonyaya maruz bırakılarak sık sık sertleştirilirler.Bu yöntemle ful hava sertleşmesine göre daha zayıf kabuk üretilir.Çünkü amonya gazlı daha düşük silika konsantrasyonunda jelleşir ve daha gözenekli yapısı vardır.Bu yüzden mum – boşaltmada problemler yaşanır.Bir ön kurutma periyodu sayesinde kabukta orta değerlerde bir mukavemet elde edilebilir. Bu ön – kurutma periyodu üzerinde oynamalar yapılarak , kabuğun toplam mukavemeti üzerinde kontrol sağlanabilir.Büyük dökümler için daha uzun periyotlar yararlı olabilmektedir. (Beeley ,1995)

Kabuk tasarımında hatalar kalıbın lokal bölgelerinde düzgün olmayan kalınlıklara yol açar.Keskin köşeler diğer bölgelere göre daha ince katmanlar oluşturur ve bu da zayıflık çizgilerine ve dolayısıyla çatlaklara yol açabilir.Karakteristik uzun çatlamların hep aynı alanda oluşması bu hatayla bağlantılı olabilir.Seramik çamur reolojisi , seramik kalıpta kalın ve ince bölgelerin oluşmasına destek olmalıdır.Akışkan yatak ile stukolara saldırgan bir etki gösterip önceki katmanın bazı bölgelerini aşındırmaktadır. (Beeley ,1995)

3.3.5 Mum Seçimi

Model malzemesi olarak mumun seçimi yapılacaksa öncelikle seçilecek mumun özelliği ,karakteristiği bilinip bu şekilde seçim yapılmalıdır. (Beeley ,1995)

Hassas döküm mum malzemelerinin büyük bir kısmı birçok bileşenin oluşturduğu kompleks bileşimleridir.Her bir bileşen bu bileşimin son özelliklerinde farklı etkileri

vardır.İyi bir dökümün yapılmasında mumun bu özelliklerinin büyük ve kritik bir önemi vardır. Mumun genel özelliklerini değerlendirirken hem mum üreticisi hem de dökümhane için çeşitli mum özelliklerine bakılmalıdır.Bu da mum kalitesini ve dolayısıyla model üretimini etkilemektedir. Bu özellikler Çizelge3.3’de listelenmiştir.Bir dökümhane belirli bir mum bileşiminde kullanmak üzere karar verdiğinde , tutarlı bir büzülme/kavitasyon oranının elde edilmesi çok önemlidir. (Beeley ,1995)

Çizelge 3.3 Döküm mumlarının önemli karakteristiklikleri. (Beeley ,1995)

Büzülme ve kavitasyon
Donma ve erime noktası
Kül içeriği
Sertlik ve elastisitesi
Viskozite
Nihai yüzey kalitesi
Katılaşma hızı
Oksidasyon kararlılığı
Geri – kazanılma özelliği
Diğer özellikler

Gerekli enjeksiyon sıcaklığında mumun donma noktası ve erime noktası çok önemlidir.Bilindiği gibi mum ısıtma ve/veya soğutmada bir takım fazlardan geçer. Donma noktası ve erime noktası bu sıcaklığın başlangıcı ve yarı – sıvı fazın sonu özelliği göstermektedir.Bu bilgiler ışığında doğru mum hazırlanması ve enjeksiyon makinesi sıcaklıkları oluşturulabilir. (Beeley ,1995)

Birçok dökümhane mumun düşük kül içerikli olanının kullanılmasının ve hazırlanmasının öneminin farkındadır.Ayrıca külün zararlı etkileri de vardır.BICTA (İngiltere Hassas Döküm Ticaret Birliği) tarafından tavsiye edilen sınır maksimum % 0.05’dir.Bununla birlikte geriye kalan külün yüzde ağırlığı kadar kalıntının içeriği ve türü de önemlidir.Bu kabuk kalıp yapımında problemlere yol açabilir.Dolayısıyla dökümü etkiler.Mum yeterli sertliğe ve elastisiteye sahip olmalıdır.Böylece kırılmalardan , eğilmelerden veya daha başka fenomenlerden dolayı mum modelin sonraki işlemlerindeki problemler dolayısıyla

ıskartaya çıkarmalar engellenir.Farklı bileşenler mum bileşimini farklı etkileyecektir. (Beeley ,1995)

Döküm mumu bileşiminin viskozitesi başarılı model üretimi için önemlidir.Geniş ince detaylı bölümlerin üretilmesinde düşük viskoziteli muma ihtiyaç duyulur.Böylece mumun en ince boşlukların kalıp içersinde nüfuz etmesi sağlanır.Daha ağır bölümler için daha az akışkan mum tercih edilebilir.Eğer belirli bir uygulama için yanlış viskozitede bir mum kullanılırsa mumun kalıba akışı yanlış olacaktır. (Beeley ,1995)

Yine iyi nihai yüzey , başarılı model üretimi için önemli bir özelliktir.Mum model yüzeyi kötü olan kalitede , dökümün sonuçta kalitesi kötü olacaktır.Mum model üç ana başlıkta sınıflandırılmaktadır : Doğrudan veya doldurulmamış mum , emülsifiye edilmiş mum ve doldurulmuş mum . Bu üç tür mum farklı yüzey özellikleri göstermektedir.Genelde , doldurulmamış mumlar daha parlak yüzey ; emülsifiye edilmiş mumlar daha düzgün yüzey ve doldurulmuş mumlar hafif pürüzlü yüzey özelliği gösterir.Her üç yolla da tatmin edici yüzeyler elde edilmektedir ve bunların kullanımları dökümcünün seçimine bağlıdır.Zararlı olan yumuşak , kolayca zarar görebilen yüzey veya oyuklanmış yüzey daha çok kaba taneli boyutlu doldurucunun kullanıldığı zamanlar oluşmaktadır. (Beeley ,1995)

Dökümhane mumun katılaşma hızının ne olacağına başarılı mum modeli üretimi için karar vermelidir.Değişik yapıda ve bileşiminde farklı katılaşma hızında mumlar vardır.Örnek olarak bir dökümhane hızlı hazırlanan ve kalıba enjektisi ve çıkarılması hızlı olan muma ihtiyaç duyarken , bir başkası daha yavaş kurulan bir muma ihtiyaç duyabilir.Bu yavaş hazırlama da genellikle bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. (Beeley ,1995)

Mumun kararlılığı yine önemli bir özelliktir.Mumun kararlılığı bileşimin oksidasyona direnci veya ısı iletimi veya bozulmaya karşı bileşenlerin bozulmama özelliği olarak tanımlanabilir.Bazı bileşenler diğerlerine göre daha fazla oksidasyonlanma eğilimi gösterir.Bunun oluşmaması için üretici anti – oksidant malzemeler kullanmalıdır.Eğer mumun oksidasyonu olursa , toplam özellikleri büyük oranda değişir ve kullanılması uygun olmayan bileşim durumuna gelebilir. (Beeley ,1995)

Mumun geri – kazanılması hem ekolojik , hem de ekonomik yönden önemlidir.Bu üç türdeki mumun geri – kazanılması mümkündür.Fakat katı bir kalite kontrol proses üzerinde uygulanmalıdır. (Beeley ,1995)

Başka özellikler de göz önüne alınmalıdır.Örneğin , bileşimin toksit olmaması gibi.(Beeley ,1995)

Uygun mumun belirlenmesi özel bir uygulamadır . Her işlem basamağındaki göz önüne alınması gereken faktörler aşağıdaki Çizelge 3.4 'te özetlenmiştir.(Clegg , 1962)

Çizelge 3.4 Mum seçim kriterleri(Clegg , 1962)

Enjeksiyon	Yumuşama noktası , donma aralığı , reolojik özellikler ,detay çıkarma özelliği ,uygun yüzey elde etme özelliği,katılaşma zamanı
Taşıma,kontrol,birleştirme	Yağlama , mukavemet , katılık , darbe direnci , kararlılık kaynaklanabilirlik
Boyutsal kontrol	Termal genleşme , termal büzülme , katılaşmada kendini çekme ,kavitasyon eğilimi , distorsiyon ,kararlılık
Kalıp yapımı	Mukavemet , ıslatabilirlik ,bağlayıcı ve çözücülere karşı direnç
Kalıp mum boşaltımı ve yakılması	Yumuşama noktası , viskozite , termal genleşme , termal difüzyon ve kül içeriği
Çeşitli	Maliyet , bulunabilirlik , geri – dönüşüm olanağı , zehirlilik ve çevresel faktörler

Bu seçimi yaparken de bazı değerlerin alınması için muma çeşitli kalite kontrol testleri yapabiliriz.Bu testler şunlardır; (Clegg , 1962)

- Yumuşama noktası
- Penetrasyon sertliği
- Toplam Kül İçeriği
- Özgül Ağırlık
- Kinematik Viskozite
- Dinamik Viskozite

3.3.6 Hassas Dökümde Mumların Geri Kazanılması

Endüstride mumun geri kazanılması uzun yıllardan beri uygulanmaktadır.Fakat ekonomik ve çevresel açıdan günümüzde mumun geri kazanılması büyük önem kazanmıştır.Rekabetçi pazar koşullarında daha etkili ve maliyetleri düşürme yönünde mum geri – elde edilme yöntemleri gerekmektedir . (Fielder ,2000)

Dökümhanelerin çoğu kurutma ve dökümden önce buharlı otoklavları kullanarak seramik kabuktan mumun boşaltılması işlemi gerçekleştirilir. Yüksek basınçlı buhar hızlıca kabuğa nüfuz eder ve içerideki mumu eritir. Ergimiş mum kabuktan uzaklaşır ve mum boşaltma çevrimi içerisinde uygun bir kaba aktarılır ve katılaşmasına izin verilir. Bu malzeme geri – elde edilme işleminin başlangıç noktasını oluşturmaktadır. (Fielder ,2000)

Otoklav mumu genellikle önemli ölçülerde su ve doldurucu (eğer doldurucu kullanılmışsa)seramik kabuk kalıntısı ve diğer kalıntıları da içerir. Kalıntı seviyesi dökümhaneden dökümhaneye değişebilir ve birçok faktörden etkilenir. Bunlar kullanılan mum tipi , otoklavın verimi ve kabuk sisteminin özelliği olarak sayılabilir. Otoklav mumunda genelde % 5 – 25 arası su içeriği ve % 15 - 35 arası doldurucu bulunmaktadır. Seramik kalıntılar da bulunabilmekte olup yaklaşık % 0.5 seviyelerindedir. İri stuko ve ince taneli toz parçacıkları da otoklav mumlarında nadiren bulunabilir. (Fielder ,2000)

Seramik parçacıkların yarattığı bu kalıntılar , son mum halinde yüksek kül içeriğine sahip olacağından , mumların geri – kazanılmasında miktarı önemlidir. Demir oksit gibi diğer inorganik kalıntılar aynı derecede önemlidir. (Fielder ,2000)

Esas olarak , mumun geri – kazanılması işlemi otoklavlanmış mumdaki kalıntıların uzaklaştırılması anlamını taşır. Böylece temiz , kuru ve hassas döküm işleminde tekrar kullanılabilecek performans özelliklerine sahip mum elde edilir. (Fielder ,2000)

En eski metod olarak dökümhanelerde çöktürme yöntemi kullanılmaktadır. Burada otoklavlanmış mum ergitilir , uygun bir kaptaki homojen hale getirilir ve sıvı fazda durması sağlanır. Su , seramik kalıntı ve doldurucu sıvı mumdan daha yoğundur . Bundan dolayı kabın tabanında yavaşça çöker. Uygun bir zamandan sonra , temiz mum kabın tepesinden alınır ve kullanım için filtrelendir. Bu yöntem eğer uygun kullanılırsa iyi sonuçlar verir , fakat birçok potansiyel dezavantajı vardır. Göreceli olarak uzun bir işlemdir. Bileşenlerin maksimum ayrılması için sıcaklığın kontrolü iyi yapılmalıdır. Bu çökeltiden arıtma işleminde taşımada risk çok büyüktür. Buna ek olarak eğer çökelen kalıntı /doldurucu

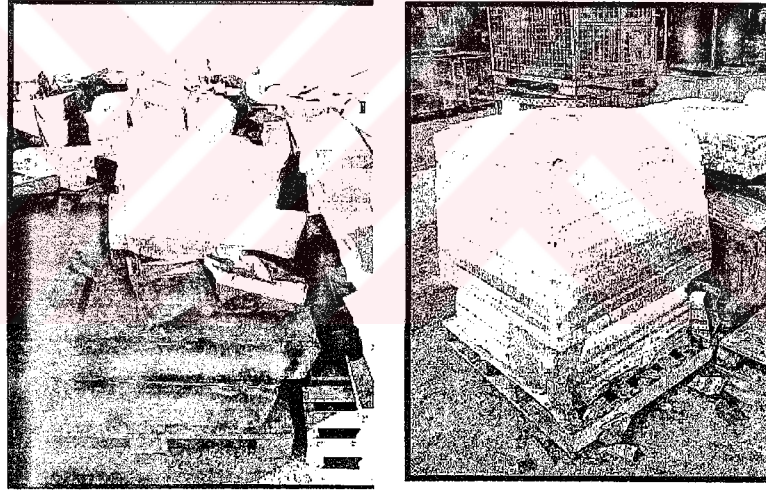
katmanı yeterince yoğun olmazsa , buradaki verim oldukça düşük olmaktadır. (Fielder ,2000)

Çoğu mum geri – kazanılması prosesinde yüksek kalitede filtreleme ve/veya santrifüj işlemi operasyonu hızlandırmak için kullanılmaktadır. (Fielder ,2000)

Mumun geri elde edilmesinde aşağıdaki şu basamakların hepsi önemlidir. (Fielder ,2000)

3.3.6.1 Paketleme ve Taşınımı

Dökümhaneler genelde ekonomik taşıma için uygun miktar elde edilene kadar otoklav mumlarını depolarlar. Otoklav mumun yapısı ve paketlenmesi önemlidir.İdeal olarak mum büyük ingotlar ve bloklar halinde olmalıdır.Artık çoğu dökümhane sıvı mumun otoklavdan alınmasında kullanılan kalıplardan yararlanmaktadırlar.Çoğunda buhar mum boşaltma birimlerinde değişiklik yapılmıştır.Bu değişiklikle kalıntı buhar basıncı kullanılarak mum – boşaltma çevrimi sonunda sıvı mum seçilen kaba aktarılmaktadır. (Fielder ,2000)



Şekil 3.11 Mum Bloklar(Fielder ,2000)

Şekil 3.11’de otoklav mumun işlem için geri döndürülmesinin tipik yapıları gösterilmiştir.Her iki şekilde de mum yapısı uygun taşıma için kabul edilebilir tarzıdır.Bu şekillerde taşıma için çelik ve plastik makaralara daha az ihtiyaç duyulmaktadır. Konteynerlerden kesip çıkarmak ve kalıntıları atmak için önemli ölçüde insan gücü gerekmektedir. Buna ek olarak , mum dışarıda tutulursa , yağmur suları bu tip paketlemede birikebilir ve sağlık için zararlı bir durum ortaya çıkabilir.Izgaralarda gevşek

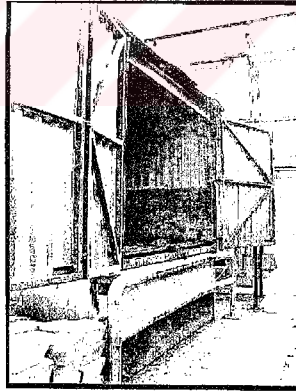
blokların kullanılması daha iyi bir seçenektir.Böylece mum önemli ölçüde daha kolay kurur , işlem hızlanır ve az bir atık olduğundan çevreye daha yararlıdır. (Fielder ,2000)

Hangi seçenek kullanılırsa kullanılsın , önemli olan mumun palete emniyetli şekilde bağlanması ve taşıma aracına dikkatle yerleştirilmesidir.Emniyetsiz bloklar taşıma esnasında kayabilir ve yük boşaltma sırasında tehlike arz edebilirler. (Fielder ,2000)

3.3.6.2 Ergitme

Geri – kazanım işleminde otoklav mumun ergitilmesi ilk aşamadır.Bunun için iki adet ergitme birimi kullanılır. Şekil 3.12’de bu birimlerden biri gösterilmektedir.Bu birim geniş bir tankta çelik bir yapıdan oluşur.Tankın üstünde bir dizi buhar borusu vardır.Ayrıca tankın alt kısmında ikinci bir buhar kangalları sistemi yerleştirilmiştir. (Fielder ,2000)

Bloklar halindeki otoklav mumu , proses için uygun miktarlarda olmak üzere , buhar boruları üzerine dikkatlice yerleştirilir.Kapılar kapatılır ve buhar bu birime uygulanır.Mum hızla ergimeye başlar , tanka doğru kangallardan damlar ve ikinci kangallar sıvı fazda tutar.Bir fan yardımıyla duman veya buhar alınıp atmosfere verilir.



Şekil 3.12 Ergitme birimi(Fielder ,2000)

Buhar kangalları 140⁰ C ‘de çalışmalarına rağmen , mum sadece kısa bir periyod için onlarla temas halindedir.Buna ek olarak mum kangallarda ince bir film halinde akar ve böylece önemli ölçüde suyun malzemeden buhar olarak çıkmasına neden olur. (Fielder ,2000)

Mum uygun bir seviyeye geldiğinde , bir transfer pompası yardımıyla kurutma kabına gönderilir.Katı kalıntıların içine girmesini önlemek için pompa bir filtreyle korunmalıdır. (Fielder ,2000)

Her bir geri kazanım birimi genelde bir operasyonda 5 kg'a kadar mum işlemektedir.İdeal olarak bu otoklav mumun etkili işlenmesi için minimum miktardır.Buna ek olarak , daha büyük harman boyutlarını işlemek , son geri – dönüştürülmüş mumu homojen hale getirmek daha etkindir ve otoklav mumundaki tutarsızlıkları giderir.Fakat küçük dökümhanelerin bu kadar mum ihtiyacı ve olanağı olmayabilir. (Fielder ,2000)

3.3.6.3 Kurutma

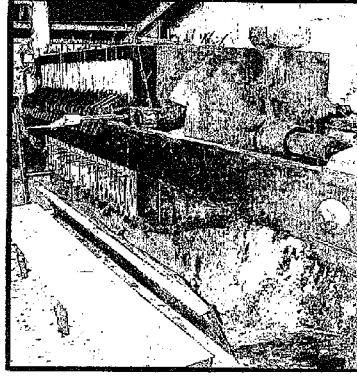
Ergitme tamamlandığında ve mum kurutma kamplarına pompalandığında kurutma işlemi başlar.Bu noktada mum hala su , doldurucu ve diğer katıları içermektedir.Bundan dolayı herşeyi süspansiyonda tutmak için sürekli olarak karıştırılır. (Fielder ,2000)

Kurutma kabındaki buhar kangalları muma ısı verir ve sıcaklık 100⁰ C'nin biraz üstüne getirilir.Bu noktada malzeme içindeki su kaynamaya başlar ve buhar uzaklaştırılır.Eğer ısı kontrolü iyi yapılmazsa kap içindeki bileşenler de kaynayabilir.Bu bakımdan başlangıç aşamalarında hassasiyetle özen gösterilmelidir. (Fielder ,2000)

Başlangıç su içeriğine , kimyasına ve hacmine göre mum kurutulmaya bırakılır.Kurutma bazı örnekler için sadece birkaç saat alabileceği gibi , bazı mumlar için bu süre 16 saate kadar çıkabilmektedir.Kuruluk kaynamada durma ve mum sıcaklığındaki artış ile belirlenir.Bu noktada buhar kapağı kapatılır ve kurutulmuş mum başka bir kaba pompalanır.Bu safhadan sonra kurutulmuş mumun su içeriği oldukça düşüktür ve kolayca saptanamaz(Fielder ,2000)

3.3.6.4 Filtreleme

Şekil 3.13'de bir endüstri filtreleme (doğrudan mum geri – kazanımı) pres makinesi görülmektedir.Dökme demir filtre tabakalarıyla çevrilmiş , filtre gömlekleri içeren buhar ısıtılmalı bir yapısı vardır.Operasyon sırasında bir hidrolik sıkıştırma mekanizması herşeyi bir arada tutmaktadır. (Fielder ,2000)



Şekil 3.13 Filtreleme pres makinesi(Fielder ,2000)

Kurutulmuş otoklav mumu pres boyunca pompalanır ve filtreler boyunca doldurucu , seramik ve diğer katılar tutulur.Uygun artık elde edilene kadar işlem devam eder.Bu noktada mum akışı durdurulur , pres açılır ve temizlenir.Pres tekrar kapatılır ve filtrelemeye tekrar başlanır. Temiz , kuru mum bitirme ve karıştırma operasyonları için başka bir kaba aktarılır. (Fielder ,2000)

Bu turda geri – kazanılmış mum prosesinin doldurulmamış saf mumlarla karşılaştırıldığında mükemmel fiziksel özellikleri vardır.Özellikle bu tip kül içeriklerinin filtrelenebilirliği çok iyidir.Bu işlemde kül içeriği % 0.05'in bir çok kez % 0.03'ün altına inmektedir. (Fielder ,2000)

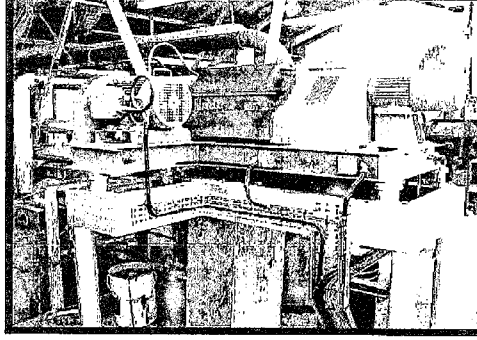
Bununla beraber geri – kazanılmış mumlar doğal karışımlara göre daha farklıdır.Bu özellik otoklav mum elde edilmesine göre değişmektedir.Dolayısıyla aynı seviyede kararlılığa sahip değildir.Birçok dökümhane için kullanılabilen yolluklar ve besleyici mumlar elde edilmektedir.(Fielder ,2000)

Doğrudan geri – kazanılmış mum model mumları olarak kullanılmaktadır.Bir çok katkı ile harmanlamayla mum , doğal mumlar gibi davranabilir.Çoğu kez doğal mumlar , reçineler ve doldurucular geri – kazanılmış mumlarla karıştırılıp kullanılabilir. (Fielder ,2000)

3.3.6.5 Santrifujlama

Bu işlem otoklav mumun yüksek oranlarda doldurucu içeren tipleri için yapılır.Kurutulmuş otoklav mum küçük , yüksek hızlı santrifüj pompalanır.Bu makine yüksek yoğunluklu seramik , stuko gibi malzemelerin atılmasını , muma yakın

yoğunluktaki katıların ortamda kalmasını sağlar.Bu birim , şekil 3.14’de gösterilen , en kötü kalıntılar olan inorganik kalıntıların atılmasını sağlarken , polimerik doldurucuların süspansiyonda kalmasını sağlar. (Fielder ,2000)



Şekil 3.14 Santrifuj Makinesi(Fielder ,2000)

Santrifüjlanmış geri – kazanılmış mumdaki doldurucu içeriği otoklav mumunun miktarına bağlıdır ve genellikle % 10 – 20 arasında değişir.Santrifüjlanmış mumun filtrelenmiş muma göre daha düşük kül içeriği vardır.Bu seviye tipik olarak % 0.01 , bazı malzemelerde % 0.02’yi bulmaktadır. Bunun ana sebebi göreceli olarak seramik parçacıklarının boyut farklılığıdır. Kaba taneli stuko parçacıkları bu işlemde denenebilir , fakat ince parçacıklar santrifüjda uzaklaştırılmaktadır. Buna ek olarak , çok ince seramik parçacıklar mumdaki doldurucu parçacıklarına yapışabilmektedir. (Fielder ,2000)

Diğer fiziksel özellikler doğrudan geri – kazanılmış mumlara göre benzerdir.Fakat viskozite doldurucu içeriğinden ötürü daha yüksektir.Santrifüj prosesi filtrelemeye göre daha iyi verim vermektedir. (Fielder ,2000)

Hassas dökümde % 0.02 kül içeriği olan mumlar kullanılabilir.Birçok dökümhane santrifüj geri – kazanımı kullanmaktadır.Bu türde elde edilen mumlar zaten doldurucu içerdiklerinden , saf mumlara göre daha fazla maliyet düşürülür. (Fielder ,2000)

Sonuç olarak mumun geri kazanılmasında şu hususlara dikkat edilmesi gerekir:

- Mumlar en iyi büyük , düzenli bloklar ile geri – kazanılır. (Fielder ,2000)
- Muma ve konteynere çöp atılmasının engellenmeli ve mümkünse yağmur olmayan yerde depolanmalıdır. (Fielder ,2000)
- Gereksiz paketleme türlerinden kaçınılmalıdır. (Fielder ,2000)
- Mum taşıma için uygun şekilde bağlanmalıdır. (Fielder ,2000)

4. KABUK HASSAS DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ

Kabuk hassas döküm kalıp malzemeleri refrakter malzemeler , bağlayıcılar , ıslatma maddeleri , köpük gidericiler ve su olmak üzere 5 tane bileşenden oluşmaktadır. Bu bölümde bunlar genişçe incelenmiştir.

4.1 Refrakter Malzemeler

Kabuk hassas döküm yönteminde refrakter malzemesi dendiğinde iki farklı kullanım yeri olan refrakter malzemeler anlaşılır . Bu malzemelerin kullanım alanları deyince seramik çamur içerisinde bir bileşen olarak refrakter parçacık olarak katılım veya seramik çamura her daldırma sonrası oluşturulan yaş kabuğun refrakter tozla kaplanması anlaşılır . Bu ikinci belirtilen yöntem stukolama adıyla literatürde geçmektedir . (Schiefelbein,1984)

Dökümde refrakter dendiğinde akla ısıya karşı dirençli metal oksitler veya seramik malzemeler akla gelmektedir. Seramik çamura katılan refrakter tozlar 9 ile 50 mikron arası büyüklüğe sahiptirler. Stuko olarak kullanılanlar ise 0,1-1,5 milimetredir.[2]

Her iki kullanımda da refrakterler aynı malzemelerdir . Bölüm 4.1.1 'de bu refrakter tipleri belirtilmiştir.

4.1.1 Refrakterlerin sınıflandırılması

Bu bölümde kabuk hassas dökümde en çok kullanılan refrakterlere değinilmiştir . Bu refrakterlerle ilgili daha fazla bilgi Bölüm 4.1.2 'de refrakter seçiminde verilmiştir.

Kabuk hassas dökümde en çok kullanılan refrakterlere ait bilgiler topluca çizelge 4.1 , çizelge 4.2 'de verilmiştir. (Schiefelbein,1994 ; Guerra 1994)

Çizelge 4.1 . Kabuk hassas dökümde kullanılan refrakterler ve bunların yüksek sıcaklıkta davranışı(Schiefelbein,1994 ; Guerra 1994)

Refrakter	Formülü	Kaynağı	Kimyasal aktivite	Özgül Ağırlık
Fused silika	SiO ₂	Yapay	Asit	2.21
Alümino silikat	Al ₂ O ₃ SiO ₃	a) Doğal Mineral b) Yapay	Hafifçe asit	2.47 – 2.85
Zirkon	ZrSiO ₄	Doğal Mineral	Hafifçe asit	4.5
Alümina	Al ₂ O ₃	Yapay	Asit ve baz	3.85
Zirkonya	ZrO ₂	Yapay	Hafifçe baz	5.71 – 6.1
Yttria	Y ₂ O ₃	Yapay	Baz	4.84

Çizelge 4.2 Kabuk hassas dökümde kullanılan refrakterlerin yüksek sıcaklıktaki özellikleri(Schiefelbein,1994 ; Guerra 1994)

Refrakter	Formülü	%genleşme(1800° F)	Füzyon Sıcaklığı(° F)
Fused silika	SiO ₂	0.15	3160
Alümino silikat	Al ₂ O ₃ SiO ₃	0.4-0.6	3190-3390
Zirkon	ZrSiO ₄	0.35	3990
Alümina	Al ₂ O ₃	0.65	3686
Zirkonya	ZrO ₂	0.8	4892
Yttria	Y ₂ O ₃		4370

Çizelgelerde gösterildiği üzere 6 çeşit refrakter bu döküm yönteminde kullanılmaktadır.Bunlara kısaca şu alt başlıklar altında değinilmiştir.

4.1.1.1 Zirkon

Zirkon ya da Zirkonyum silikat olarak adlandırılan mineral doğal bir mineraldir.Zirkon yüksek sıcaklıklarda kimyasal olarak soy ve kararlıdır . Birincil katlarda kimyasal olarak soy olduğu için reaktif metallere karşı birlikte kullanılabilir . Yuvarlak tanecik yapısı ve yüksek özgül ağırlığından dolayı çok düzgün yüzeyler eldesinde kullanır .[2]

Çelik dökümde ilk katman olarak Avustralya , Florida ve Afrika büyük oranda zirkon kullanmaktadır. Çelik ile yaşlanmaması büyük bir avantajdır.Zirkon destek çamurlarında nadir olarak kullanılmaktadır .Yüksek sıcaklık alaşımlarının üretilmesinde tercih edilir. (Schiefelbein,1994 ;Guerra 1998)

4.1.1.2 Alümino silikat

Alüminosilikatlar geniş bir ürün yelpazesine sahiptir ; Mullite,Fireclay,Calamo,Mulgrain,Remasil ve başka birçok ad altında ürünleri vardır.

Alümino içeriği % 47 ile % 75 aralığında değişmektedir. Doğal bir mineral olduğu gibi yapay yollardan da elde edilebilir.Düşük fiyatlarına rağmen oldukça önemli bir refrakter türüdür .Ortalama bir termal genleşmeye sahiptir .Bu özellikleriyle tercih edilebilecek bir malzemedir. (Schiefelbein,1994 ;Guerra 1998)

4.1.1.3 Fused Silika

Fused silika birçok hassas döküm üreticisi tarafından tercih edilmektedir . Yüksek saflık derecesi silikanın elektrik ark ocağında ergitilmesiyle yapay olarak elde edilir.Camsı bir fazdadır. (Schiefelbein,1994 ;Guerra 1998)

Fused silika düşük termal iletme sahiptir ve mükemmel bir termal şok direnci vardır.Düşül lineer termal genleşmeye sahip olduğundan boyutsal olarak çok kararlıdır . Düşük özgül ağırlığa sahip olduğundan dolayı , akışkan yatak uygulamasında kolayca kullanılır ve çok hafif seramik kabuk kalıplar oluşturur. (Schiefelbein,1994 ;Guerra 1998)

Fused silika yaklaşık 3600^0 F'de yüksek – saflıkta kuartzın eritilmesi sonucunda , kristal yapıdan amorf yapıya geçilmesiyle elde edilir. Amorf yapıya geçiş , fused silikaya düşük ağırlık ve düşük termal genleşme özellikleri verir.Buna ek olarak fused silika 1650^0 F üzerinde belirli bir zamanda ısıtılırsa , yapısının bir kısmı kristobalite döner.Bu da kristalin silikanın yüksek sıcaklıktaki yapısıdır.Fused silika içeren kabuk 392^0 F – 518^0 F aralığına soğutulursa , bu yüksek kristobalit düşük kristobalite dönüşür.Bu da ciddi bir mukavemet düşüşüne yol açar.Bunun sayesinde kabuğun uzaklaştırılmasını kolaylaştırır.(Niles ,1997)

Fused silika kabuk hassas dökümde en çok kullanılan refrakterlerden biridir.Çok amaçlı olarak kullanılabilir.Ön kat veya destek uygulamalarında olduğu kadar , toz veya stuko malzemesi olarak kullanılabilir.Tipik olarak 200 mesh toz (ince yapılı) birincil çamur uygulamalarında , 120 mesh toz ise destek çamur katlarında kullanılır. (Niles ,1997)

İnce taneli fused silika tozları kaba tanelilere göre daha büyük mukavemet değerleri vermektedir.Her tip taneli , gerek ince gerekse kalın , yaklaşık aynı termal genleşmeye sahiptirler. (Niles ,1997)

Sonuç olarak Fused silika endüstride kullanılan en önemli refrakterdir ve birçok avantajı vardır.Bunlar ; (Schiefelbein ,1984)

- 1 . Yüksek termal kararlılık
- 2 . Saflaştırılabilme
- 3 . Kimyasal tepkimeye girmeme

4.1.1.4 Alümina

Alümina termal şoklara karşı dayanıksızdır. Bu direncinin az olmasından dolayı endüstride az kullanılır. Alüminanın kullanımı tek kristalli jet motorları dökümüyle sınırlıdır. (Schiefelbein, 1984)

4.1.1.5 Zirkonya

Zirkonya yapay elde edilen bir refrakter türüdür. Termal genleşme yüzdesi oldukça fazladır. Bu yüzden yüksek sıcaklıklarda yapılacak dökümlerde tercih edilmez. (Schiefelbein, 1984)

4.1.1.6 Yttria

Reaktif alaşımların dökümünde yttria en az reaktif olan refrakter malzemesidir. Büyük oranda bazıktır. Çamur kararlılığı ise minimumdur. (Matzek, 1997)

4.1.2 Refrakter Seçimi

Refrakterlerin çok çeşitleri bulunmaktadır. Birçok dökümhane bu refrakterlerin kombinasyonlarını kullanarak istenilen sonuçlara ulaşmaktadırlar. Seçim şunlara bağlıdır: (Schiefelbein, 1984)

- 1 . Dökülen metal
- 2 . Ekonomik değerlendirmeler
- 3 . İstenilen kabuk mukavemeti
- 4 . Döküm karmaşıklığı
- 5 . Kişisel seçim
- 6 . Bağlayıcı sistem

Ayrıca bir çamur refrakteri seçiminde gerekli olan diğer kriterler , kimyasal kararlılık , düşük termal genleşme , yüksek sıcaklık direnci ve bulunabilirliktir. (Guerra, 1998)

Bu bölümde bağlayıcı sistem , dökülen metal ve dolayısıyla ilk katmanda kullanılması gereken refrakter ve stokolama aşamasındaki refrakter seçimi incelenmiştir.

4.1.2.1 Bağlayıcı sistemlere göre refrakter seçimi

4.1.2.1.1 Silika Bazlı Sistemler

Koloidal silika bağlayıcıları alkalın tipindedir ve tüm asidik olmayan refrakterler ile uyumludur. Bir istisna olarak serbest alkalın oksitleri (CaO , MgO gibi) refrakterler

verilebilir. Bu malzemeler koloid yapısını kararsız hale getirerek pelteleşmesine yol açar. pH derecesini kontrol etmede asidik bileşenlerini yavaşça çözünen refrakterler kullanılabilir. En çok kullanılan refrakterler zirkon , zirkonya , alüminosilikat (çeşitli seviyelerde Al_2O_3) , alüminadır. Tüm bunlar koloidal silika ile rutin olarak kullanılabilir. Boron içeriği nedeniyle alümina'nın seçiminde dikkat edilmelidir . Kalıntı boron koloidal silika'nın kararsız hale gelip pelteleşmesine yol açabilir. (Matzek ,1997)

Etil silikat bağlayıcılar asidik yapıdadır ve nötrden asidik refrakterlere kadar uyumludurlar. Alkalın refrakterler (örneğin , MgO) bu bağlayıcıları pelteleştirebilirler. Zirkon , zirkonya , fused silika , kuartz , kristobalit , alüminosilikatler , alümina etil silikat bağlı sistemlerde kullanılabilir. (Matzek ,1997)

4.1.2.1.2 Alümina Bağlı Sistemler

Alümina bazlı bağlayıcı sistemler genellikle asidiktir. Parçacıklar pozitif yük taşırlar. Nitrik veya asetik asitin ilavesiyle kararlılık sağlanır. Bu bağlayıcılar , tıpkı silikat bağlayıcılar gibi alkalın olan refrakterlerle uyumludurlar. (Matzek ,1997)

4.1.2.2 İlk katman için refrakter seçimi

İlk katman seçimi için iki ana husus değerlendirmeye alınmalıdır :

1. Kararlı bir çamur için bağlayıcı ile tepkimeye girmeyen yapıda olmalıdır. (Schiefelbein,1994)
2. Dökülecek alaşım ile tepkimeye girmeyen yapıda olmalıdır. Refrakterler bağlayıcılar ile reaksiyona girebilmektedir. Bu reaksiyonları anlamak için , bunların doğasını ve refrakterlerin davranışını incelemek gerekir. (Schiefelbein,1994)

Bölüm 4.1.1 Çizelge 4.1'de, hassas döküm endüstrisinde en çok kullanılan refrakterleri göstermektedir. Fused silika ve zirkon havada eriyen uygulamalar için en çok kullanılan birincil refrakterlerdir. Alümina kabuk – metal reaksiyonların oluşturduğu özel durumlarda kullanılır. Alümina , zirkonya ve yttria vakumda eriyen uygulamalarda kullanılmaktadır. Alümino silikatlar en çok destek kabuk sistemlerinde kullanılır. Doğal haldeki alüminosilikat ve zirkon bazı impüriteler taşıyabilirler. Bu impüriteler etil silikat

gibi , sıvı bağlayıcı sistemlerde asit – baz reaksiyonu yaratır. Yapay refrakterlerde genellikle bu impuritelere bulunmaz.Ancak yapılarında impürte olmasa bile , direkt kimyasal reaksiyonlar veya iyon – değişim reaksiyonlarıyla bağlayıcının kararsız olmasına neden olabilirler.(Schiefelbein,1994)

Yüksek sıcaklıklarda ilk katman refrakterlerinin davranışlarını , metallerle ve diğer kullanılan refrakterlerle ilişkilerini anlamak önemlidir.Bölüm 4.1.1 Çizelge 4.2’de , birincil refrakterlerin yüksek sıcaklıklardaki asit – baz reaktifliklerini göstermektedir.Silika asit gibi davranmaktadır.Zirkon ve alüminosilikatlar aside göre nötr olarak davranırlar.Alümina her iki yönden etkilidir ; asit veya baz olarak davranabilir.Zirkonya hafif bazik , Yttria ise kuvvetli bazdır. (Schiefelbein,1994)

Destek kabuk refrakterleri işlemlerde mukavemet ve boyutsal kararlılık sağlamaktadır. Bu mum alma ve metalin dökülmesinde de aynıdır.Havada eritme işlemlerinde fused silika veya alüminosilikat refrakterleri kullanılmaktadır. Vakum eritme işlemlerinde genellikle alüminosilikat destek refrakter olarak kullanılmaktadır. (Schiefelbein,1994)

Yüksek sıcaklıklarda refrakterlerin özellikleri yine Bölüm 4.1.1 Çizelge 4.2’de verilmiştir.Oda sıcaklığından kabuk ön – ısıtma sıcaklığına kadar çoğu refrakter için genleşme oranı uniformdur.Bu termal şoklar bakımından önemlidir.Fused silika oldukça düşük bir genleşme katsayısına sahiptir.Çizelge 4.2’de çeşitli refrakterler için füzyon sıcaklıkları verilmiştir.Bu sıcaklık plastik deformasyonun başladığı sıcaklıktır.(Schiefelbein,1994)

Şekil 4.1 200⁰F sıcaklıkta çeşitli refrakterlerin genleşmesini göstermektedir.Üç değişik silika yapısının ortaya çıktığı görülmektedir.Bunlar fused silika , quartz ve kristabolittir.Quartz ve kristabolitte 400⁰F sıcaklıkta hızlı bir boyutsal değişiklik meydana gelmektedir.Bu hızlı boyutsal değişiklik silikanın kristal formunu termal şoka duyarlı hale getirmektedir. (Schiefelbein,1994)

Fused silika SiO₂’nin amorf yapısıdır ve 1400⁰F sıcaklık üzerinde bir kristal formu olan kristabolit’e dönüşür.Bu olursa , genleşme özelliklerindeki değişiklik termal şoklara sistemi duyarlı hale getirir.Kristabolit alüminosilikatın bazı seviyelerinde de var

olmaktadır. Isı transferi bazı metal özelliklerinin oluşmasında da önemli bir faktördür. (Schiefelbein,1994)

Dökümde ısıнын dağılması üç yolla olabilir : (Schiefelbein,1994)

1. Radyasyon
2. İletim
3. Yayınım

Bütün kabuk sistemi radyasyon ve iletimi etkiler. Yayınım ise hava akımı ile kontrol edilir. Refrakterlerin asit – baz davranışları havada erimiş alaşımlardaki curuf ve kalıntılarla ilgilidir. Curuf iki veya daha fazla oksidin reaksiyonu sonucu oluşan ötektik bir camdır. Metaller havada eridikleri zaman oksitleri oluşturan bazı reaktif elemanlara sahiptir. Bu oksitlerin bir kısmı metalin içine dağılarak metal olmayan kalıntılar oluştururlar. (Schiefelbein,1994)

Mg , Mn , Pb ve Al reaktif eleman olarak örnek verilebilir. Mg yumuşak demirde ; Mn daha çok karbon , düşük ve yüksek alaşımlı çeliklerde ; Al alüminyum bronzda ; Pb ise bronz , pirinç ve takım çeliklerinde bulunur. Mg, Mn ve Pb oksitleri artan sıcaklıklarda silika(SiO_2) ile reaksiyona girerek cam veya curuf oluştururlar. (Schiefelbein,1994)

Şekil 4.2’de $\text{MnO} - \text{SiO}_2$ sistemi için faz diyagramı verilmiştir. Mn_2SiO_4 için ötektik sıcaklık 1251°C ’dir. (2284°F) Bu çeliğin döküm sıcaklığından belirgin şekilde düşüktür. (Schiefelbein,1994)

Şekil 4.3 $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ sistemi için faz diyagramıdır. Ötektik cam 1543°C (2809°F) sıcaklıkta oluşmaktadır. (Schiefelbein,1994)

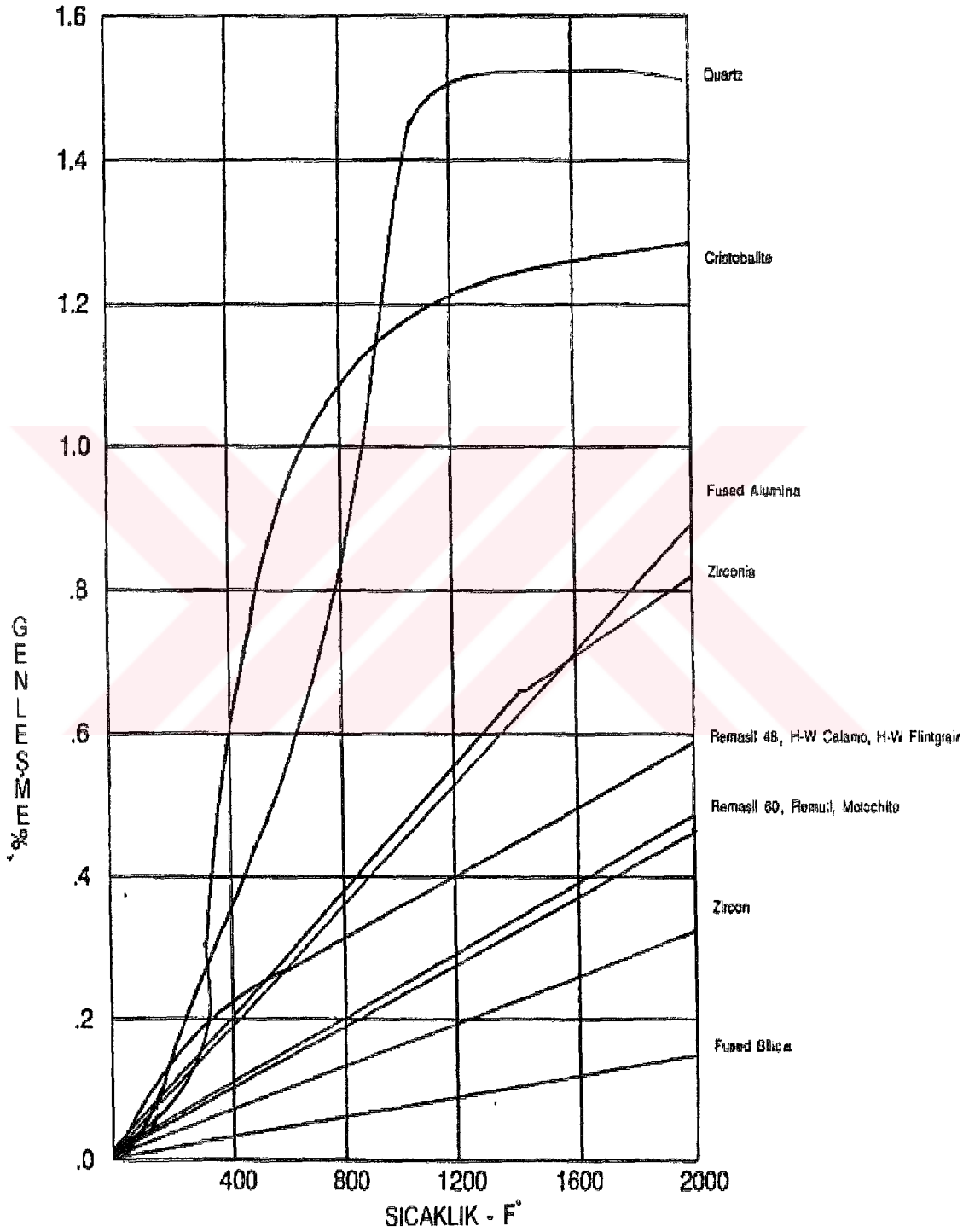
Şekil 4.4 $\text{PbO} - \text{SiO}_2$ sistemi için faz diyagramıdır. Ötektik cam oluşumu için sıcaklık 720°C ’dir. (1328°F) (Schiefelbein,1994)

Alüminyum düşük sıcaklıklarda göreceli olarak hızlı reaksiyona girer ve dökümde yüzey kalitesini curuf oluşturarak bozar. Alüminyum bronz curuf oluşumuna eğilimli olan alaşım için iyi bir örnektir. (Schiefelbein,1994)

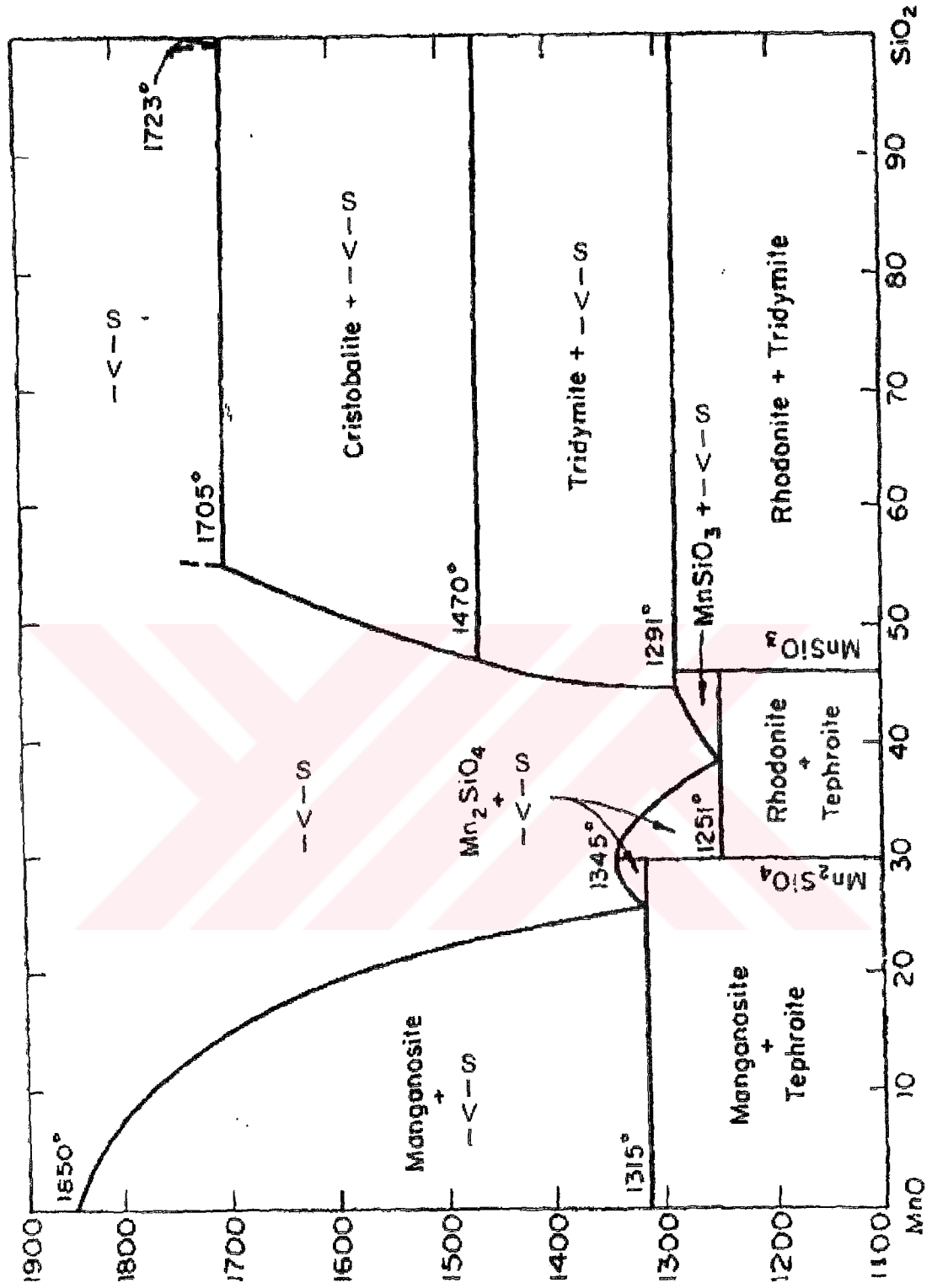
Bütün bu oksit reaksiyonları havada eritmede ve dökümde meydana gelir. Bu reaksiyonları kontrol etme ve önlemede birçok yöntem vardır. Dökümde ve eritmede atmosfer kontrolü , uygun teçhizat ve kurutma teknikleri uygun refrakter seçimi kadar önemlidir. (Schiefelbein,1994)

Vakumda ergitilmiş alaşımlar metal döküm sıcaklığında refrakter oksitleri azaltıcı yüksek reaktif elementler içerir. Zr , Hf , Y ve Ti ihtiva eden alaşımlar oksit azalmasına dirençli refrakterlerin kullanılmasını gerekli kılar. Birincil kabuk refrakterleri olan zirkonya ve

yttria günümüzde bu alaşımlar ve genellikle titanyum ile tek kristalli alaşımlar için çok kullanılır. Alümina direkt katılacak ve benzeri alaşımlar için seçilen refrakterdir. (Schiefelbein, 1994)

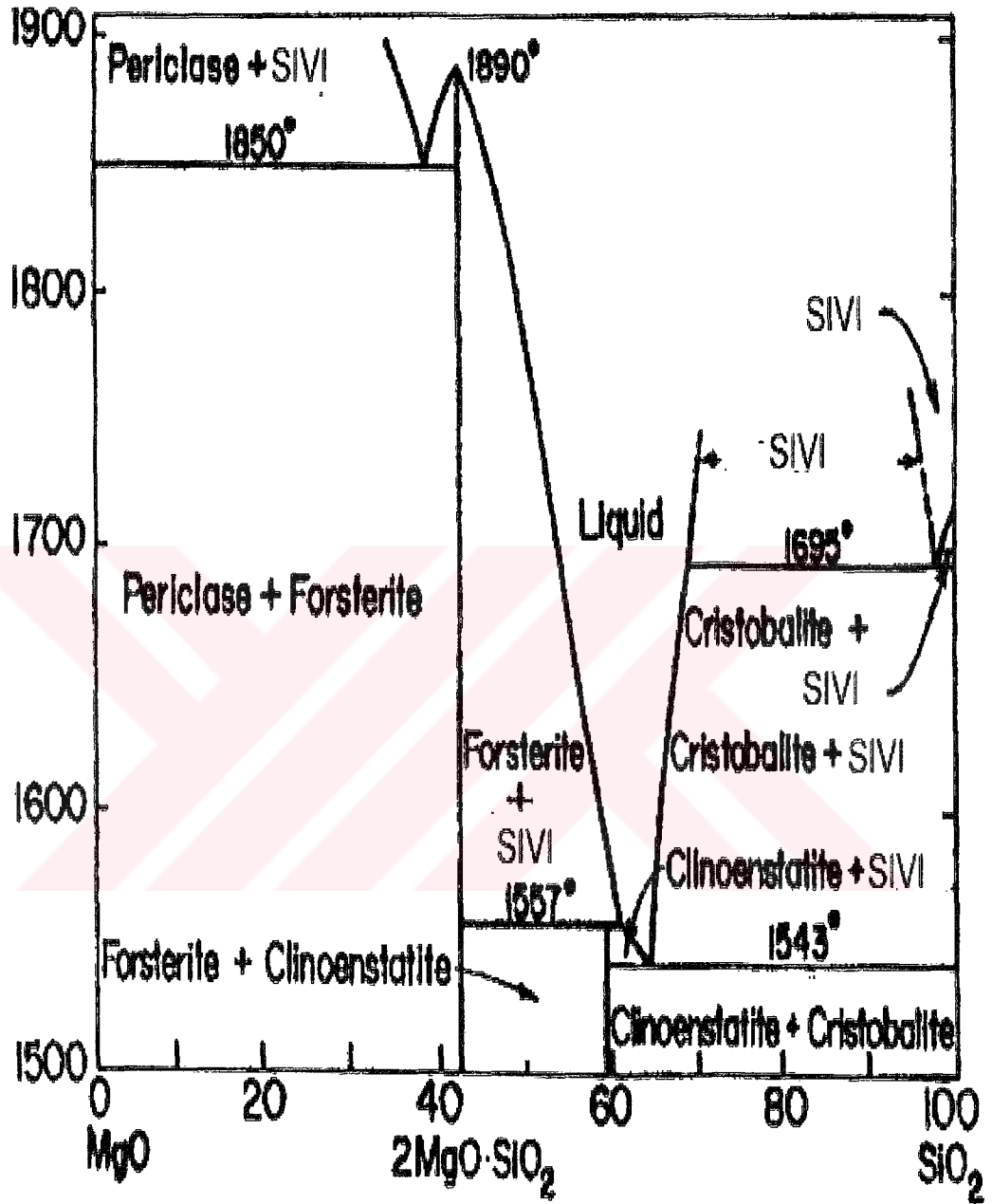


Şekil 4.1 Çeşitli refrakterlerin sıcaklığa karşı yüzde genleşme grafiği(Schiefelbein,1994)

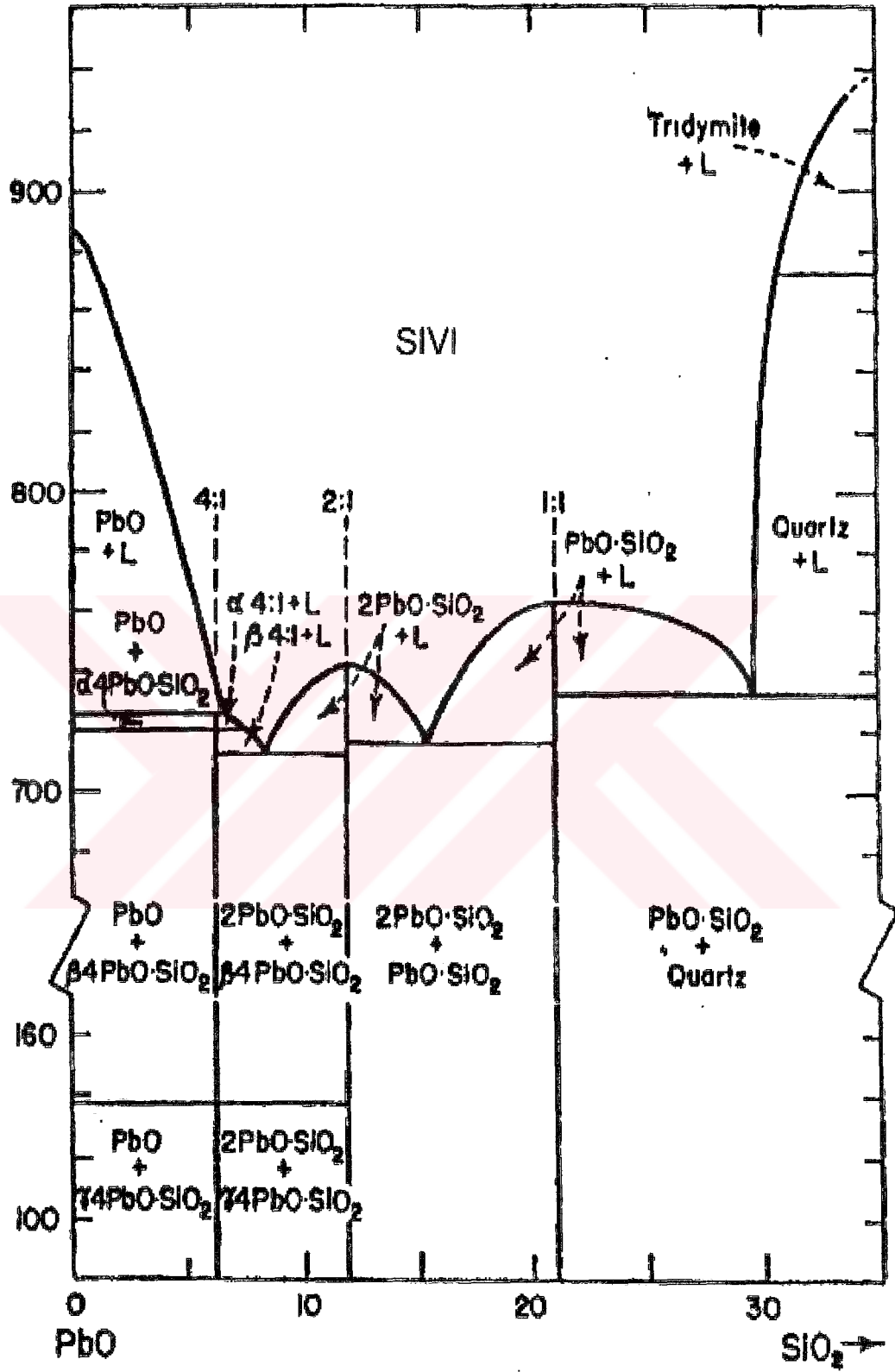


Şekil 4.2 MnO – SiO₂ sistemi için faz diyagramı(Schiefelbein,1994)

MgO-SiO₂



Şekil 4.3 MgO – SiO₂ sistemi için faz diyagramı(Schiefelbein,1994)



Şekil 4.4 PbO – SiO₂ sistemi için faz diyagramı(Schiefelbein,1994)

4.1.2.3 Stuko Malzemesi olarak refrakter seçimi

Bilindiği üzere stukolama denilen işlem daldırma sonrası yaş kabuğun refrakter tozla kaplanmasıdır. Kabuk oluşumu esnasında , stuko parçacık boyutları uygulanan ve birbirini izleyen katlar boyunca ince taneliden , kaba taneli aralığında değişir. Stuko bileşimi şu kriterler değerlendirilir : Yüksek sıcaklıkta kararlılık , termal genleşme , yoğunluk , bulunabilirlik ve maliyet. İlk daldırma için ergimiş alaşımla tepkimeye girmemesi de önemli bir kriterdir. (Lanham ,1995)

Stuko malzemesi seçilirken başta parçacık boyutuna bağlı olarak seçim yapılır. Bu duruma göre şu şekillerde seçim yapılır. (Lanham ,1995)

4.1.2.3.1 İnce taneli stukoların seçimi

İnce taneli stukolar şu özellikleri veya gereklilikleri gözönüne alınıp seçilmelidir:

1. Dökülen metal ile tepkimeye girmemelidir. (Lanham ,1995)
2. Bir veya birkaç kat için kullanılır. (Lanham ,1995)
3. Geniş yüzeyleri ıslatmada güçlük çekilmektedir . Katlar arası bir ön ıslatma gerekmektedir. (Lanham ,1995)
4. Kaplamanın homojenliğine özen gösterilmelidir. (Lanham ,1995)
5. Aşırı stuko kullanılmamalıdır. (Lanham ,1995)
6. Genellikle en pahalı stuko malzemesidir. (Lanham ,1995)

4.1.2.3.2 Orta taneli stukoların seçimi

Bu tür stukoların seçimde dikkate alınması gereken özellikleri şunlardır: (Lanham ,1995)

1. Geçiş şeklindeki stukolardır. İnce taneli stukoların desteklenmesi için kullanılır . Daha büyük boyutlu stukoların kullanılmasında geçiş hazırlığının sağlanması için kaplamaya detay ve mukavemet sağlar.
2. Ön kaplamaya ihtiyaç duyabilir . Bununla birlikte çifte ön ıslatmalı kaplamalardan kaçınılmalıdır.
3. Gevşek stukoların uzaklaştırılması gerekmektedir

4.1.2.3.3 Kaba taneli stukoların seçimi

Bu tür stukolar şu özellikleri içerir: (Lanham ,1995)

1. Kabuk kalınlığının oluşturulmasında kullanılır.
2. Seramik çamur ile ıslatılması en kolay stukodur.
3. Kabuk yapımında genelde en ucuz olan stukodur.

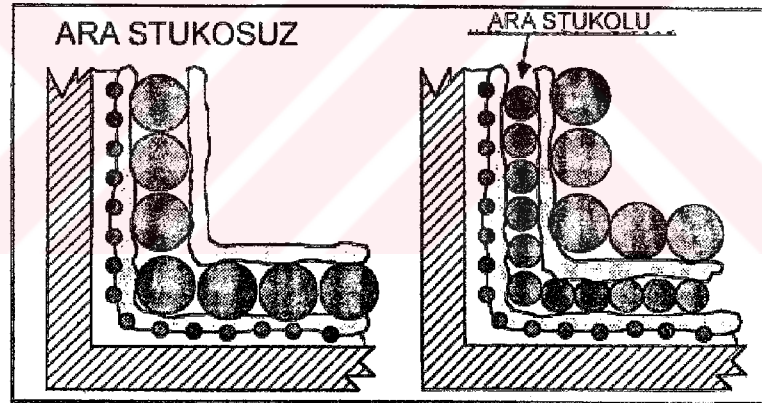
4.1.3 Stukolama İşlemi

Yüksek kaliteli bir kabuk elde edebilmek için uygun bir stuko programının uygulanması gereklidir. Stuko programı , her kat için uygun stuko boyutu , uygun parçacık dağılımı ve uygun stuko uygulama ekipmanının bakımını kapsar. (Matzek ,1988)

100 – 110 AFS zerrecik boyutlu zirkon kumu birincil stuko için kullanılmaktadır. Daha iri kum boyutu döküm yüzeyi üzerinde penetrasyon hatalarına yol açar. Ayrıca bu ince detayların oluşmasını engeller. (Matzek ,1988)

İnce detayların olduğu işlemlerde daha ince taneli tozların kullanılması tavsiye edilir. İnce taneli kum , kabuk geçirgenliğini düşürerek doldurmama problemlerine yol açabilir. (Matzek ,1988)

Çoğu kabuk sisteminde , birincil çamur ve stuko malzemeleri zirkon bazlıdır. Destek çamur ve stuko malzemesi ise silikattır. Alümino silikatlar kullanılırken ara – stuko kullanılması tavsiye edilir. Ara - stuko boyutu genelde $-30 + 70$ mesh veya $-40 + 80$ mesh'dir. Daha yoğun ve güçlü kabuk oluşumuna neden olur. (Matzek ,1988)



Şekil 4.5 Ara stuko kullanımı (Matzek ,1988)

Ara stuko kullanılmasıyla değişik refrakterlerin farklı genleşme katsayılarından ortaya çıkan problemler giderilir. Şekil 4.5’de metal penetrasyon problemlerinin nasıl minimize edileceği gösterilmektedir. (Matzek ,1988)

Şekil 4.5 görüldüğü üzere ara stukosuz şekilde ince taneli birincil stukonun ardından ikinci katta büyük taneli destek stukosu kullanılmıştır. Döküm/kalıp arayüzünde açık alanlar birbirine çok yakın durumdadır. Bu durum potansiyel penetrasyon için imkan

sağlamaktadır . Ara stukolu şekilde ise boşluklar hala mevcuttur ama bunlar bu arayüzden uzaktırlar. (Matzek ,1988)

Stukolama işlemi iki şekilde yapılmaktadır.Bunlar yağmurlama kabini ve akışkan yatak uygulamalarıdır.(Matzek ,1988 ; Sönmez ,2003)

4.1.3.1 Akışkan yatak

Akışkan yatak prosesinde refrakter parçacıkları kabin altından giren havanın etkisiyle havada asılı bir yatak halindedir.Hava kabin altından bütün havayı üniform olarak bütün taban kesitince veren bir plakadan girer . Salkım yatak içine doğrudan daldırılarak kaplama yapılır . Bu teknik yağmurlamadan daha hızlı olup daha eş biçimli kaplama sağlar. (Sönmez ,2003)

Akışkan yatak uygulamasında dar parçacık boyut dağılıma sahip stuko ürünleri geniş parçacık boyut dağılımlılara göre daha iyi ve kararlı performans vermektedir . Akışkan yatak sisteminde küçük parçacıklar üst kısımda , daha ağırılar ise alta yakın kısımlarda toplanır . Eğer geniş parçacık dağılımlı tozlar kullanılırsa bu aradaki seviye farkı daha da artar ve kabuk kalıbın kararsız bir kalınlık elde etmesine sebep olur. (Matzek ,1988)

Stukodaki toz seviyeleri de önemlidir . Üstte olan tozlar kabuğa öncelikli olarak yapışır . Bunun sonucunda porozite düşer ve ara-kat yapraklanmasına neden olur . Düşük toz seviyelerindeki stuko ürünleri bulunabiliyorsa tercih edilmelidir . (Matzek ,1988)

Rutin akışkan yatak bakımı da başarılı kabuklar elde edilmesinde önemlidir .Hava akışı kesildiğinde toz tanecikleri üstte toplanır . Bu tanecikler yukarıda bahsedilen yapraklanma problemini engellemek için rutin olarak uzaklaştırılmalıdır.Bu işlem akışkan yatağın tekrar çalıştırılmasında veya bazen operasyon sırasında yapılmalıdır . Çünkü tozların birbirleriyle etkileşimi sonucunda ek olarak yeni parçacık boyutlu tozlar türeyecektir . (Matzek ,1988)

4.1.3.2 Yağmurlama kabini

Bu teknikte model salkımı kendi ağırlığı ile düşen refrakter parçacıkları altında çevrilir . Akan refrakterin kesiti , akma debisi ve hızı ile kontrol edilir . (Sönmez ,2003)

Tipik bir cihaz çalışma sahasının bir metre kadar yükseğine tutturulmuş elektromekanik olan titreşen bir eleğin bir kayışlı besleyici ile sürekli beslenmesi esasına göre çalışır .

Eleğin harekete malzemenin dağılmasına ve eş biçimli (üniform) yoğunlukta yağmasına yardımcı olur . Alt kısma düşen fazla refrakterler toplayıcı tarafından emilerek mekanik veya havalı taşıyıcı ile yeniden üst hazneye alınırlar . (Sönmez ,2003)

Yağmurlama kabini işlemi giderek popüler bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır . Stukonun uygulanmasında çok kolaylık sağladığı gibi stuko parçacıklarında bazı bozunmalara da yol açabilir . (Matzek ,1988)

Bu bozunma durumu , kabuğumuzu kaplamayan parçacıkların toplanma alanına düşüp çarpmasıyla oluşur . Çarpışma kuvveti stukonun parçalanması ve yeni tozların türemesine neden olur . (Matzek ,1988)

Tozların düştüğü yerde mutlaka bir toz toplama sistemi kurulmalıdır . Aksi taktirde düşen toz parçacıkları yükselir ve stukolamaya çalıştığımız kabuğu kalınca kaplar ve bozulmalara yol açar . (Matzek ,1988)

4.2 Bağlayıcılar

Kabuk hassas dökümde kullanılan bir çok bağlayıcı türü vardır .Silika bazlı bağlayıcılar olarak koloidal silika ve etil silikat , bunların yanısıra alumina ve zirkonya bağlayıcı türleri ile bunların dışında yeni geliştirilen zenginleştirilmiş bağlayıcılar bulunmaktadır . Kullanım geçmişi çok eskiye dayanan sodyum silikatlar da hassas dökümde uygulama alanı vardır . Her bağlayıcının kendine ait avantaj ve dezavantajları vardır.Bu malzemeler kendi özelliklerine göre avantaj sağlamak için yalnız veya birbirlerinin kombinasyonları olarak kullanılabilir Bu bölümde bu bağlayıcı tiplerine genişçe değinilmektedir . (Feagin ,1981;Lanham ,1995)

4.2.1 Koloidal Silika

Silika bazlı sistemler hassas döküm bağlayıcısı olarak en çok kullanılandır.Koloidal silika su bazlıdır.Silika parçacıkları bağ yaparken yapıştırma görevi görmektedir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

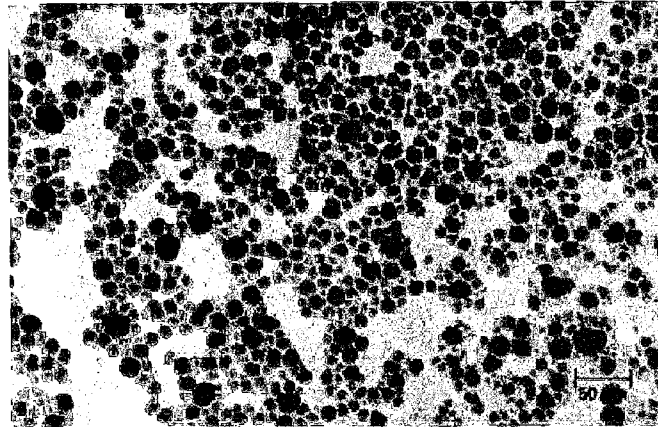
Günümüzde çoğu dökümhaneler seramik çamur bileşimi için koloidal silika kullanmaktadır, fakat bir çoğu da kullanmamaktadır.Etil silikatı ,eski zamanlardan beri kullanan dökümhaneler su bazlı çamurun yararlarına rağmen bunları kullanmada ikna olamamışlardır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Koloidal silika güvenli , ekonomik , kullanımı kolay ve performansı iyidir. Koloidal sistemleri çok kararlıdır . Koloidal silika içeren seramik çamurlar , mükemmel kabuklar yaparak 6 ay ve üzeri zaman diliminde kullanılabilirler.Bununla beraber , impuritelere ve kararsız duruma gelmesine yol açan koşullara çok duyarlıdır.Bağlayıcı kararsız olduğu zaman , geri – dönülmez pelteleşme durumuna gelir ve kontrol edilemez.Bu kabuk ve dolayısıyla döküm kalitesi sorunlara yol açar. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

4.2.1.1 Koloidal Silikanın Kimyasal Doğası

Bu bağlayıcılar sıvı koloidal silika katılar olarak adlandırılabilir.Bu koloidal durum bir çözelti ile çamur arasındadır.Çözelti bir çözücü ile diğer bir maddenin moleküler seviyede bunun içine dağılmasının bir kombinasyonudur.Tipik bir dökümhanede çamur bir sıvı ile birçok seramik tozun – ki bunlar çok küçüktür – birleşmesinden oluşur.Çamurlar gözüken şekilde mattır ve toz parçacıkları sıvı içersinde dibe yerleşir veya çökelirler.Diğer bir yanda solüsyonlar renkli , fakat saydam olabilir ve hiçbir çökelti meydana gelmeyebilir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Orta boyutlu parçacıklar , gerçek çözelti vermek için çok büyüktürler ve çökelti yapmak için ise çok küçüktürler.Bu durumda görünüş yarı – saydam olacaktır.Sıvısal silika katıları bunun bir örneğidir.Koloidal durumun kendine has , benzersiz özellikleri vardır.Bu katıların kalıp bağlayıcı uygulamalarında parçacıklar küresel ve elektron mikroskobunda görülebilecek büyüklüktedir.Şekil 4.6'de tipik bir mikro – yapı verilmektedir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)



Şekil 4.6 Koloidal silika parçacıkları(BEELEY ,1995)

Sıvısal koloidal silika veya silika katıları , bir tanıma göre su içerisinde küresel ve amorf silika parçacıklarının dağılımı demektir Koloidal silika , su içindeki amorf silikon dioksitin (SiO_2) ayrık parçacıklarından oluşan bir süspansiyondur..Bu dağılımda silika parçacık boyutu koloidal aralık olarak $10 - 10^3$ angstromdur. Bir gram koloidal silika 100 ile 400 mm^2 aralığında yüzey alanına sahiptir.Bunun sonucunda parçacıkta büyük değerde bir yüzey alanı/hacim oranı elde edilir.Parçacık negatif iyonik yük taşır.Bunun sonucunda geniş alana yayılmakla beraber , taşınan negatif yük parçacıkları suda sabit/kalıcı bir dağılımda tutar. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Parçacıklar uniform olarak dağılmış ve her parçacığın negatif elektrik yükünden dolayı ayrık tutulmaktadır.Her parçacığın dış katmanları hidroksil (OH) iyonları içerir.Sistemden su buharlaştığında , parçacıklar birlikte olmaya zorlanır.Her parçacıktaki negatif yükün üstesinden gelinir ve bir koloidal parçacığa ait hidrojenle (H) ,diğer parçacığa ait oksijen (O) arasında daha büyük bir birleştirici kuvvet oluşur.Bu da her koloidal parçacığın diğeriyle bağ kurmasına yol açan hidrasyon edilmiş silanol bağların oluşmasına yol açar . Bunun olması durumunda , sistem tahmin dışı hızlarda geri – dönülmez pelteleşmeye uğrar. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Hidratlık silanol tabakası seramik kabuğun kurutulması sırasında gerekli olan yeşil mukavemeti verir.Kalıbın tamamen kuru olmasına rağmen , kayda değer miktarda bileşik (hydrated) su içerir.Bu silanol grupları 400^0 F 'nin üstüne ısıtıldığı zaman , daha kararlı $\text{SiO} - \text{Si}$ siloxane elde edilir. 1400^0 F üzerindeki sıcaklıklarda suyun son izleri giderilir.Bu yüzden , pişirilmiş kabuk 1400^0 F sıcaklıkta en güçlüdür. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Koloidal silika iyon-değişim reçinesi ile su bazlı sodyum silikatın kimyasal işleme tabi tutulmasıyla üretilir.Daha sonra pH ve SiO_2 içeriği düzenlenir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Çözelti , katılar ve çamurlar arasında o kadar da keskin çizgilerde farklar yoktur.Molekülün en büyük boyutuyla koloidin en küçük parçacık boyutu hemen hemen aynıdır. Örneğin ; plastik polimer veya reçineler ile alkol bazlı ve su bazlı bağlayıcılarda

olduğu gibi. Alkol bazlı ve su bazlı bağlayıcılarda en önemli fark parçacık boyutu aralığıdır . (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995; Kovacks,1997)

4.2.1.2 Koloidal Silikanın Kararlılığı

Silika katısının kararlılığını birçok değişken etkilemektedir. Kararsız (pelteleşmiş veya kısmen pelteleşmiş) bir bağlayıcı tüm bir bağ oluşturmada büyük oranda yeteneğini kaybetmiştir. Bunun sonucunda dökümde zayıf kabuklar ve yüzey hataları oluşur. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995; Kovacks,1997)

Kısmen pelteleşmiş sistemler her zaman belirlenemez ,çünkü karıştırma esnasında pelte devamlı olarak kırılmaktadır. Pelteleşmenin işareti sadece çamur viskozitesindeki hafif artıştır. Seramik çamur pelteleşmeye başladığında , pelteleşme hızı kontrol ve tahmin edilemez. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995; Kovacks,1997)

Kapalı ve işlem yapılmayan bir kapta bir seramik çamur örneğinin yaklaşık 12 saat tutulmasıyla , çamur pelteleşmesinin belirlenmesi için hızlı bir deney yapılabilir. Çözeltinin sıvı olarak kalmasıyla bağlayıcı sistem pelteleşebilir. Toplam örnek katılaştığı taktirde , seramik çamur ıskartaya çıkarılmalıdır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995; Kovacks,1997)

Normal şartlarda koloidal silika çok kararlıdır. Bununla beraber pelteleşmeye yol açan çeşitli koşullara oldukça duyarlıdır. Yüksek sıcaklık ve donma sıcaklığı ile asitler , bazı tuzlar ve bazı organik bileşikler gibi kimyasal bileşikler koloidal silikanın oluşturduğu kabuğun ömrünü kısaltmaktadır. Bazı kimyasal bileşikler hemen pelteleşmeye yol açar. Pelteleşmiş veya kısmi pelteleşmiş koloidal silikanın bağ yapma yeteneği düşer ; böylece hassas döküm kabuk kalıplarının dayanımı zayıflar. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995; Kovacks,1997)

Kabuk içeriklerinin ve işlem kimyasallarının çamur kararlılığı üzerinde etkilerinin belirlenmesinde , katı kararlılığı ile ilgili faktörleri bilmek gerekir. Koloidal silika katıları şu özelliklere sahiptir . (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995; Kovacks,1997)

Çizelge 4.3 Tipik Koloidal Silika Analiz Sonuçları(Schiefelbein ,1987)

ÖZELLİKLER	SP 30	LP 30
SiO ₂ yüzdesi	30	30
Özgül ağırlık , 25 ⁰ C'de	1.20	1.20
Galon başına ağırlık , pounds	10.1	10.1
Parçacık boyutu ,milimikron	7 – 8	13 – 14
Yüzey alanı ,m ² /g	340	220
PH ,25 ⁰ C'de	9.9	10.2
Viskozite ,cps 25 ⁰ C'de	6	5
Alkali , Na ₂ O yüzdesi olarak	0.5	0.4
Sodyum sülfat yüzdesi	0.03	0.03
Klorid yüzdesi	0.01	0.01

Aşağıda yazılı faktörlerin silika katılarının kararlılığı üzerinde büyük etkileri vardır :

- pH değiştiricileri
- Çözünebilir tuzlar
- Alkol
- Soğutma

4.2.1.2.1 Ph Kontrolü ve Ph değiştiricileri

Sıvı veya katı parçacıklar durumunda küresel parçacıklar sıvı boyunca serbest dolaşırlar ve herbiri küçük itici elektrik yükü taşımalarıyla birbirlerine çarpıktan korunurlar.Silika katılarında tüm parçacıklar negatif olarak yüklüdürler.Bu fazın yüksekçe kararlı olmasına rağmen (Bu tip bağlayıcılar en azından bir yıl için kararlıdır ve bazıları 20 yıl süresince korunabilir) , bu dengelenmiş yükler kolayca bozulabilir ve bu bazı parçacıkları ayırık tutan yükler tersine çevrilebilir.Böylece birbirlerini çekmesi sağlanır.Bunun sonucunda pelte – türü bir tutarlılık gözlenir. (Schiefelbein,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Parçacıkların elektrik yükleri pH ile belirlenir.Sıvı silika katılarının pH'ı 9.5 civarındadır.(en kararlı durumda) Malzeme katılımla yapılan herhangi bir değişim pH değerini değiştirir ve pelteleşme işlemini başlatır.Katıdan pelteye geçiş çok hızlı veya yavaş olabilir.Bağlayıcıya seramik doldurucunun katılımla pH'da hafif değişimler

gözlenebilir.Doldurucudan gelen katılar ve havadan dolayı bağlayıcıdan daha az ömürlü çamurlar olabilir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Koloidal silika bağlayıcıları alkalın tipindedir ve tüm asidik olmayan refrakterler ile uyumludur.Bir istisna olarak serbest alkalın oksitleri (CaO , MgO gibi) refrakterler verilebilir.Bu malzemeler koloid yapısını kararsız hale getirerek pelteleşmesine yol açar. pH derecesini kontrol etmede asidik bileşenlerini yavaşça çözünen refrakterler kullanılabilir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Özet olarak silika katıları pH'm 8.5 – 10.5 aralığndaki değerlerinde en kararlı durumdadırlar.Bununla beraber pH'm 3 – 4 aralığnda da kararlı duruma getirilebilir.pH'm yavaşça arttırılmasında , azaltılmasında veya nötr aralıkta silika katısı kararsız hale gelir ve giderek pelteleşir.Katının nötr aralığa hızlıca getirilmesiyle , nötr aralıktan diğerine geçişte bir değişiklik yapılabilir.Katının pH'mın arttırılıp azaltılmasında kullanılan baz veya asit , kararlılığı etkileyen bir çözünebilir tuzun oluşmasına neden olmaktadır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

4.2.1.2.2 Çözünebilir Tuzlar

Su içinde iyonize olan çözünebilir tuzlar , süspansiyonda negatif yüklenmiş her silika parçacığını etkilemektedir. Bu bağlayıcının kararlılığını düşürmektedir .Bu etkiden , daha çok bağlayıcının pH derecesi nötr aralığa yaklaştığında sözü edilir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Islatma maddesi , seramik çamurda birçok problemin ortaya çıkmasının nedenidir.Islatma maddesi iyonik olmayan ,anyonik ve katyonik olarak sınıflandırılır.Sıvısal ortamda çözündüklerinde anyonik ve katyonik malzemeler elektrik yükleri taşırlar.Bu silika parçacıkları üzerindeki yüklerin nötralize olmasına neden olur ve pelteleşme işlemini başlatır.Bu ürünlerin dikkatli seçimi ve kullanımı gereklidir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

4.2.1.2.3 Alkoller

Model temizleme işlemleri için alkol kullanan dökümhanelerde , katının kararlılığı üstüne alkolün etkisinden söz edilebilir.Alkol temizleme sistemi ile temizlenmiş modeller seramik çamur uygulanmadan tamamiyle kurutulmalıdır.İsoproponal , metanol ve etanol gibi alkoller pH'ı alkali olan su bazlı katılar ile tolere edilemez.pH'ı asit olan silika

katıları , pelteleşmeden alkolü kabul edebilirler.Oktıl alkol , butil alkol veya etil hexanol gibi köpük giderici maddelerin , sınırlı çözünübilirlikleri vardır ve koloidal silikanın kararlılığını etkilemezler. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

4.2.1.2.4 Dondurma İşlemi

Koloidal süspansiyonun suyun kristalize olma (donma) noktasına soğutulmasından dolayı , koloidal parçacıklar pelteleşmeye uğrarlar.Soğutma işleminde buharlaştırma işlemine göre daha zayıf polimer ağı oluşturur. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

4.2.1.3 Koloidal Silika Kullanılımda Dikkat Edilecek Hususlar

Koloidal silika seramik kabuk kalıp yapımında fused silika ,alümina silikatlar,zirkon,alümina ve zirkonya gibi refrakterlerle kullanılabilirler.İyi değerlerde yeşil ve pişirilmiş mukavemetleri vardır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Hassas döküm endüstrisinde iki tip koloidal silika kullanılmaktadır.Koloidal parçacık ve konsantrasyon seviyelerine göre birbirlerinden ayrılırlar.Büyük parçacık boyutu olanı (13 – 16 milimikron) % 30 – 40 ağırlıkta katıda bulunur.Küçük parçacık boyutlu (7 – 8 milimikron) katıda % 30 seviyelerinde bulunur.Her iki ürün de kullanımı güvenli ,ekonomik ve ekolojik olarak zararsızdır.Bu bağlayıcıların kararlılığı mükemmeldir ve aşağıda belirtilen özelliklere dikkat edilmelidir :

- 1 . Su bazlı katılar için pH 8.5 – 10.5 aralığında tutulmalıdır.Bu pH derecesini aralık dışına çıkarmayacak katkıları ve refrakterler çamur için kullanılmalıdır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)
- 2 . Katyonik ve anyonik olan çamur katkıları kullanılmamalıdır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)
- 3 . Koloidal silikanın sıcaklığı 32⁰ F altında olan ısıtılmamış bölgelerde depolanması gerekir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)
- 4 . Seramik çamurlar sıcaklığı 32⁰ F veya daha az olan refrakterler veya içeriklerle karıştırılmamalıdır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

5 . Seramik çamurlar için proses kontrol uygulanmalıdır.Çözünebilir silika fazının pelteleşmeye neden olan seviyelere konsantre edilmesine izin verilmemelidir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

6 . Model malzemeleri kuru olmalı ve alkol veya diğer temizleme solventleri içermemelidir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

4.2.1.4 Koloidal Silikanın Avantaj ve Dezavantajları

Koloidal silika sodyum oksidin atılmasıyla oluşan bir sodyum silikattır.Bu orta-pahalı bağlayıcı günümüzde kullanılan en popüler bağlayıcı tipidir.Diğer bağlayıcılarla karşılaştırıldığında aşağıda belirtilen birçok avantajı vardır : (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

- 1 . Kullanımı güvenlidir – toksit madde içermez , yangın tehlikesi yoktur.
- 2 . Kararlı bileşime sahiptir – uygun kullanıldığında bozulmaz.
- 3 . Güçlü bir bağ oluşturur.

Dezavantajları ise ; (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

- 1 . 32⁰ F hava koşullarında donar. (Bağlayıcı tek yönde pelteleşir.)
- 2 . Etil silikatla karşılaştırıldığında göreceli olarak uzun kurutma veya kürlleme zamanı gerekir.

4.2.2 Etil Silikat

Etil Silikat özellikle havadaki veya ammonia gazındaki nem ile reaksiyona girmesi için hazırlanmış bir sıvı organik silikattır.Bu bağlayıcı tutuşkandır ve kürlleme işlemi sırasında alkolü serbest bırakır.Çok çeşitli etil silikat bağlayıcılar vardır ve her biri özel bir avantaj sağlamak üzere formüle edilmiştir.Genelde , bu ürünün en önemli avantajı kurumanın çok hızlı oluşudur. Etil silikat organik bir çözeltide polimerleşmiş silika zincirleri içerir. Bu tip bağlayıcının mekanizması , koloidal silikadan daha hızlı çalışır.Kimyasal yollarla da bu işlem gerçekleştirilebilir.Amonyum gazına maruz bırakarak kabuk oluşturma işlemi hızlandırır.Bu şekilde kuruma da çok hızlıdır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Hassas dökümde kullanılan silika bağlayıcıların spesifik yüzey alanları ,çamurda kullanılan refrakter zerreciklerinin 100 katıdır.Karıştırıldığı zaman bağlayıcı her bir refrakter parçacığın çevresine uniform olarak dağılır ve zerrecikler arasında bağ oluşturma gerçekleşir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Dolayısıyla kabuğun bütünüünün oluşmasında zamanı çok kısaltmaktadır.Tutuşkan olduğu ve alkol buharı varolduğundan çalışanı korumak için özel önlemler alınmalıdır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Birincil katlar için su bazlı çamur kullanılmakta iken , destek katlar için su veya alkol bazlı bağlayıcılar kullanılmaktadır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Saf etil silikat döküm bağlayıcısını üretmek için kullanılırsa da genellikle ağırlık oranı % 40 silika içeren konsantre edilmiş bağlayıcılar kullanılmaktadır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Saf etil silikatın bağlayıcı özelliği yoktur , fakat su ile reaksiyonunda kimyasal olarak ayrışmalıdır.Bu reaksiyon sonucunda aktif durumda alkol ve silika oluşur.Bu koloid su bazlı katılara göre daha küçük parçacık boyutuna sahiptir ve parçacıklar küresel değildir.Bu dallanmış zincir yapısı kısmi polimerleşmiş reçinelere daha benzerdir.Teknik olarak bundan dolayı bu durum polimerik olarak adlandırılabilir.Alkol bazlı bağlayıcılar pelteleşme özellikleri gösterdiğinden bunlar koloid olarak değerlendirilebilir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Kimyasal proses olan hidroliz silika parçacık açığa çıkması küçük miktarda asit ilavesi ile hızlandırılabilir.Bu durumda asit katalizör görevi görür. Çözeltinin yaklaşık olarak pH'ını 2'ye getirmek için asit katılır ve bu da katı kararlılığı durumunu oluşturur.Çözeltinin pH'ını kararsız bir durum olan 7'ye getirmek pelteleşmeye yol açar.Su bazlı katı – pelte mekanizmalara ait küresel parçacıkların gevşek bir yapı oluşturmalarının aksine , bu durumda kısa zincirli moleküllerden oluşan polimerik silika , 3 boyutlu bir yapı oluşturmak üzere bağlar kurar ve reçinenin iyileştirilmesi ve polimerleştirilmesi gibi bir olay gerçekleştirir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Etil silikat bağlayıcılar asidik yapıdadır ve nötrden asidik refrakterlere kadar uyumludurlar. Alkalın refrakterler (örneğin ,MgO) bu bağlayıcıları pelteleştirebilirler.Zirkon , zirkonya , fused silika , kuartz , kristobalit , alüminosilikatler , ve alümina etil silikat bağlı sistemlerde kullanılabilir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

PH 2 değeri önemlidir , çünkü parçacıkların hiçbir yük taşımadığı , sistemin izo – elektrik noktasıdır.Bilindiği üzere sıvı silika katıları negatif yüklüdür.parçacıkları çarpıştırmayı ve birleştirmeyi engelleyecek itici yükler bulunmamasına rağmen , bu durumlar pH 2 derecesinde çok yavaş olarak gerçekleşmektedir.Etil silikatın hidrolize işlemini başlatarak , yaşlandırma işlemi başlamaktadır.Kimyasal olarak , sonuçta parçacıklar 2 , 3 veya daha fazla silika molekülleri bağ yapar. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Çamurda hızlı yaşlanmayı yüksek silika konsantrasyonları ve yüksek sıcaklar etkilemektedir.Bu sebeplerden ötürü tanktan buharlaşarak ayrılan alkol için bir miktar alkol yerine konmalıdır.Böylece konsantrasyon kontrol altında tutulur ve çamurun ısınması önlenir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Sıvısal çözeltilerin aksine alkol bazlı solüsyonlar iyon oluşturmak üzere alkolde çözünen tuz ilavesine karşı daha az duyarlıdır.Doldurucu kalıntılarından gelen tuzlar bağlayıcıda çözülebilmektedir.Alkalın kalıntılar pH'ı değiştirmekte ve yaşlanma işlemini hızlandırmaktadır.Havadan veya daha önceki pelteleşmiş kattan gelen amonya kalıntılarından kaçınılmalıdır. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Asit olan bir bağlayıcı ve hem alkol bazlı sistemin polimerik yapısını içeren , hem de su bazlı sistemin asitlenmiş parçacıklarını içeren bir bağlayıcı oluşturmak mümkündür.Etil silikatın hidrolizlenmesinde saf su yerine su bazlı silika katısı kullanarak melez bir bağlayıcı elde edilir.Bu bağlayıcı alkol hızlı sudan yoksundur.Tüm su hidrolizleme reaksiyonunda kullanılmıştır.Sistemin kararlılığı zenginleştirilmiştir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Diğer katkılar daha yüksek kararlılık , dış etkenlere daha az duyarlılık ve daha kararlı kabuk mukavemetine ulaşmak üzere yapılabilmektedir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Çeşitli türde silika bağlayıcının hidrolizinde hiçbir zaman bütün su reaksiyona katılmaz.Kısmi hidrolizleme genellikle kabuk ömrünü arttırır. Ekstra su katılımı bağlayıcı ömrünü düşürmektedir. (Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

Etil Silikat günümüzde kullanılan üç bağlayıcı tipinden en pahalı olanıdır. % 11'den % 25'e kadar değişen oranlarda ve kullanıma hazır çeşitli tipleri mevcuttur(Schiefelbein ,1987; Beeley ,1995;Kovacks,1997)

4.2.3 Sodyum Silikat

Sodyum silikat dökümcülerin en eskiden beri kullandığı bir malzemedir.Hassas dökümde dökümcülerin favorisidir.Seramik çamurda kullanılan sodyum silikat tipi diğer kullanılan kum çekirdeği bağlayıcılara göre daha değişiktir.Sodyum silikat ucuzdur , ancak dökümcülerin beğenmediği iki özelliğe sahiptir : (Schiefelbein ,1984;Matzek,1997)

- 1 . Sodyum oksit yüksek sıcaklıklarda eritici madde gibi davranış gösterir.Refrakteri ve kabuk kalıbın mekanik özelliklerini değiştirir. (Schiefelbein ,1984;Matzek,1997)
- 2 . Mum modelin atılmasında en popüler metod buharla otoklav yapmaktır. Süper ısıtılmış buhar , sodyum silikat bağlayıcının tekrar çözünmesine neden olabilir. (Schiefelbein ,1984;Matzek,1997)

4.2.4 Alumina Bağlayıcılar

Alümina bağlayıcısı , alümino monohidratın sulu asidik ortamdaki dağılımı sonucunda ortaya çıkar.Nitrat iyonları ile stabilize edilmiştir.Çok seyreltik nitrik asit çözeltisi olduğundan kontrol edilmelidir.(Feagin ,1981; Matzek,1997)

4.2.4.1 Fiziksel özellikleri

Tipik bir alümina bağlayıcı özellikleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.Kabuk ömrü ve viskozite kararlılığı için pH bu malzemede çok kritiktir.3.7 pH miktarı çok tipik bir pH

değeridir, buna rağmen bazı hafif değişiklikler mümkündür. Dağılım içersinde alümina parçacıklarının elektrik yükü pozitifdir. Parçacık boyutu çok küçüktür. Yaklaşık 5 milimikron seviyelerindedir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Viskozitenin çok yüksek olmamasına rağmen , bu değer hala su ve silika bağlayıcılardan daha yüksek değerde , 60 centipoise civarındadır. Monohidratın bazı büyük parçacıklarının toplanmasından ötürü bu durum yarı – saydam bir görüntü verir. Bu oluşum donabilir , fakat birçok kez hasar vermeden çözülebilir. Bu donma – çözülme kararlılığı koloidal silikaya göre değişik bir özelliğidir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Çizelge 4.4 Remal 20 adlı alümino bağlayıcının fiziksel özellikleri(Feagin ,1981)

pH (20 ⁰ C'de)	3.7
Özgül Ağırlık(20 ⁰ C'de)	1.185
Parçacıklar üzerindeki elektrik yükü	Pozitif
Kristal formu	Amorf
Viskozite (centipoz , 20 ⁰ C'de)	
Renk	Opal
Ortalama parçacık boyutu (milimikron)	5

Alümina bazlı bağlayıcı sistemler genellikle asidiktir. Parçacıklar pozitif yük taşırlar. Nitrik veya asetik asitin ilavesiyle kararlılık sağlanır. BU bağlayıcılar , tıpkı silikat bağlayıcılar gibi alkalın olan refrakterlerle uyumludurlar. Kararlılık aralığı çok dar olduğundan pH kontrolü çok daha önemlidir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Alümina bağları tek kristal ve direkt katılmalı alaşımlarda yüksek sıcaklıklarda daha kararlıdır. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Alümina bağlı sistemler yeterli mukavemet elde etmek için silika bağlı sistemlere göre daha yüksek sıcaklıklarda pişirilmelidir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

4.2.4.2 Kimyasal Özellikleri

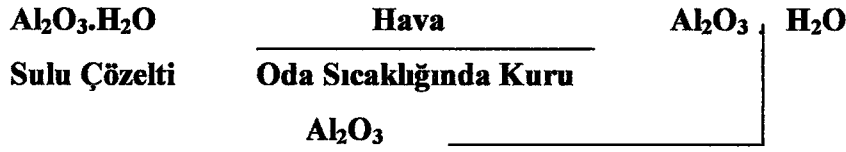
Tipik bir alümina bağlayıcısı için Çizelge 4.5'te kimyasal özellikler verilmiştir. Genelde ortalama alümina yüzdesi %19'dan %20'ye kadar değişmektedir. Bu monohidrat yapısında olmaktadır. Bu dağılım içerisinde silika , demir oksit , alkali , sülfür , kalsiyum oksit ve magnezyum oksidin sadece izleri vardır. Bu maddeler sadece seyreltiyi yaparken kullanılan sudan ve başlangıç kimyasalların varolduğu impuritelere meydana gelir. Bu dispersiyon , çökelme veya genel özelliklerinde değişim olmaksızın alümina konsantrasyonunda %19.5'dan aşağı inmesi yönünde su ile seyreltilebilir. Bununla beraber pH değerinde çok büyük değişiklikler pelteleşmeye yol açabilir. Örneğin ; alkali asit veya belirli bir katyon veya tuzların katılması ürünün pelteleşmesine neden olabilir. Tipik bir alümina bağlayıcı için dağılım bir yıl boyunca sabit ve karardır . (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Çizelge 4.5 Remal 20 tipi alümina bağlayıcının kimyasal özellikleri(Feagin ,1981)

% Al₂O₃	19.5
SiO₂ , Fe₂ O₃ , Na₂ O	Seyrek
S , CaO , MgO	Seyrek
Sıvı bir Çözelti Halindedir	
Su ile seyreltilebilir.	
pH üzerinde keskin değişiklikler pelteleşmeye yolaçar.	
Uygun koşullarda bir yıldan fazla süre karardır.	

Şekil 4.7 alümina monohidrit su dağılımında alümina bağ oluşturmak üzere suyun ayrılması ve hidrit suyun dağılımındaki değişiklikleri göstermektedir. Monohidrit , bir

molekül suyun bir molekül alüminaya gevşekçe bağlanmasından oluşur. (Feagin ,1981; Matzek,1997)



Şekil 4.7 Alumina Bağlayıcının kurutulması(Feagin ,1981)

Bu malzeme , bazı koşullarda kararlı bir dağılım oluşturmak için , pH aralığının 3.2 – 4 olduğunda , belirli bazı asitlerin varlığında su içinde dağılım gösterir. Bu pH aralığı değişimi dağılımda kalınlaşma veya pelteleşme etkisi gösterir.Hava kurutmasıyla bu film bu ürün sürekli bir film oluşturacaktır.Bu film kendisi içinde dağılan maddelere bir bağlayıcı görevi yapacaktır.Oda sıcaklığında kurutmadan sonra alümina monohidrit hala yapısını muhafaza etmektedir.Bununla beraber ,monohidritten suyun ısıtılma sonucu uzaklaştırılmasıyla , Al_2O_3 ile sonuçlanan bir ürün elde edilmektedir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

4.2.4.3 Uygulama Alanları

Bu ürün hassas dökümün dışında da birçok uygulamalarda yer almaktadır.Daha önce belirtildiği gibi , mükemmel bir film oluşturunusudur ve birçok malzemede sürekli bir film oluşturur.Birçok malzemede kağıt ve çeşitli fiberler için mükemmel kaymazlık özelliği vardır.Birçok malzeme için iyi bir bağlayıcıdır.Refrakterler ,pigmentler ve fiberler için olduğu kadar seramik kalıplar için de iyi bir bağlayıcıdır.Suyla işlemde topaklandırıcı maddesidir.Yakın zamana kadar katı – pelte teknolojisinde yeni refrakter maddelerin üretilmesinde kullanılmıştır. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

4.2.5 Zirkonya Bağlayıcılar

4.2.5.1 Fiziksel Özellikleri

Asetat ve nitrat olmak üzere iki tip zirkonya katısı vardır.Cizelge 4.6'te bu katıların fiziksel özellikleri gösterilmiştir.Her iki tip katının da renkleri hafif amberdir.Kararlı

asetat ve kararlı nitrat için pH değerleri biraz farklıdır.Asetat için 3.6 – 4.0 değerleri arasında ve nitrat için 2.0'den küçüktür.Stabilizatör iyonlardan dolayı bu iki tip katılar için özgül ağırlıklar farklıdır.Zirkonya parçacığı için parçacık boyutu 20 angstrom(0.002 mikron) civarındadır.Zirkonya parçacıkları pozitif yüklüdür.viskoziteleri düşük ve suya göre daha fazladır.Bu katılar donsa dahi ,yapıları donma – erime özelliği göstermektedir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Çizelge 4.6 Zirkonya katılarının fiziksel özellikleri(Feagin ,1981)

	Kararlı Asetat	Kararlı Nitrat
Renk	Amber	Amber
pH (25 °C'de)	3,6-4,0	<2,0
Özgül Ağırlık	1,26	1,32
Parçacık Boyutu a)angstrom	20	20
b)mikron	0,002	0,002
Parçacık elektrik yükü	Pozitif	pozitif
Viskozite , centipoz , 20°C	<25	<25

4.2.5.2 Kimyasal Özellikleri

Zirkonya katılarının kimyasal özellikleri Çizelge 4.7'de gösterilmektedir.Her iki tipte ZrO_2 içeriği % 20 civarındadır. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Ticari olarak satılan zirkonyalarda hafnia ortalama % 4 civarında katılarda mevcuttur.Sodyum içeriği % 0.04 ve demir içeriği % 0.05'tir.Kalsiyumla magnezyumun toplamı %0.04'den küçüktür.Her iki üründe stabilizatör iyon miktarı birim mol ZrO_2 başına 1 ± 0.2 mol miktar olarak verilmektedir.Bu oran pH değerine ve ZrO_2 yüzdesine değişmektedir.Bu ürünlerin raf ömrü bir yıldan fazladır ve su ile istenilen her konsantrasyona seyreltilebilirler.Alkalinlerin veya sülfat veya fosfat gibi çoklu iyonların katılımı ile ZrO_2 çökelebilir veya bu katılar pelteleşebilir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Çizelge 4.7 Zirkonya katılarının kimyasal özellikleri(Feagin ,1981; Matzek,1997)

	Kararlı Asetat	Kararlı Nitrat
1. %Zr O ₂	20	20
2.%Hf O ₂	0,4	0,4
3. Na	0,04	0,04
4. Fe	0,05	0,05
5. Ca+Mg	<0,04	<0,04
6. Her Zr O ₂ molüne karşılık stabilizatör iyonu mol sayısı	1 ± 0,2	1 ± 0,2
7.Donmaya maruz kalabilir.		
8.Raf ömrü bir yıl üzeridir.		
9.Suyla seyreltilebilir.		
10. Sülfat veya fosfat gibi iyonların veya alkalinlerin katılımıyla jelleşme oluşur		

4.2.5.3 Uygulama Alanları

Alümina bağlayıcılar çeşitli işlemler için uygundur , ancak son zamanlarda ZrO₂ katıları daha çok kullanılmaktadır.Zirkonya katıları birçok malzeme için yararlı bağlayıcılardır. Zirkonya; çok yüksek yumuşama sıcaklığına sahip olmasından dolayı bağlayıcı refrakterlerin sıcaklık direncini arttırmada ve süper gövdeler yapımında yararlı katılardır. Bu katılar uygun soy veya aktif refrakterler ile karıştırılarak , döküm gövdeleri yapımında dökülerek kullanılabilir . Bunlar yüksek sıcaklıkta elde edilen ve çalışan pota, reaktör göbeği ,nozul ,tüp ve levhaların üretilmesinde ve daha birçok değişik şeklin elde edilmesinde kullanılır.Bu katılar kağıt , organik ve inorganik fiberler , pigmentlerin bağlanmasında da yararlıdır. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

MgO , macun ve diğer aktif refrakterlerin varlığında bu katılar pelteleşmektedir.Bazı diğer kimyasal malzemeler de bu oluşuma neden olmaktadır.Birçok döküm refrakter tipi gövdeler üretilmektedir.Zirkonya katısı ile bağ kurmuş döküm refrakter gövdelerin özelliklerini etkileyen birçok faktör vardır :Katıdaki asit tipi , bağlayıcının parçacık boyutu , ZrO_2 'nin katı içindeki yüzdesi ,refrakter katkıların parçacık boyut dağılımı , aktif refrakterlerin varlığı ve tipi , karıştırma sıcaklığı , karıştırma şartları.Bu faktörlerin hepsinin refrakter yapıların oluşturulmasında ve son özellikleri üzerinde etkileri vardır.Bu yapılar dökülebilir , preslenebilir , enjekte edilebilir ve daldırma veya spreylemede kullanılabilir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

Zirkonya katıları , alümina refrakter yapılara göre daha yüksek sıcaklık direnci gereken seramik yapıların üretilmesinde , yüksek sıcaklıkta daha fazla bağ yapma özelliği göstermektedir.Zirkonya katıları ile oluşturulan yapılar yüksek sıcaklık mukavemeti ve yüksek ölçüsel doğruluk göstermektedir.Titanyum alaşımları için kabuk oluşumunda , zirkonya katıları silika bağları yerine kullanılabilir. (Feagin ,1981; Matzek,1997)

4.2.6 Zenginleştirilmiş bağlayıcı tipleri

Dökümhanenin döküm kapasitesinin limitleri seramik kalıp üretimi ile ilişkilidir.Bu sınırlılık döküm kalitesini etkilemektedir.(Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Hassas dökümde seramik kabuk üretimi ve bağlayıcılar sadece 50 , 60 yıllık bir geçmişe sahiptir.1930'ların ortasında yüksek sıcaklıkta demir alaşımlarının dökümünün istenmesi ve gerekliliği etil silikat bağlayıcıların gelişmesine yol açmıştır.Koloidal silikalar(bağlayıcı) ise daha sonraki yıllarda kendini göstermiştir. 1940'lı yılların ortalarında ise döküm yüzeylerinin geliştirilmesi için dereceli hassas dökümden uzaklaşmıştır.1950'li yıllar ortalarında artık seramik kabuk hassas döküm yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. (Lanham,1994 ;Niles, 1995)

Zenginleştirilmiş bağlayıcı sistemlerin gelişimi hala süre gelen bir işlemdir ve alkol emisyonlarındaki sınırlamalar için artan bir şekilde hızlanmıştır.Hızlı işleme kapasiteleri ve oluşan mukavemetlerden dolayı etil silikat bazlı kabuk sistemleri idealdir.Etil silikat sisteminde bağlar kimyasal olarak amonya ile oluşur ve göreceli yüksek buhar basıncından dolayı alkol hızlıca buharlaşır.Su bazlı sistemlerde bazı çalışmalar

yapılmıştır , fakat sonuçlar oldukça yetersizdir.Alkol sistemleriyle karşılaştırıldığında düşük mukavemet elde edilmektedir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Günümüz endüstrisinde , çevresel koşullar ve artan malzeme giderleri dökümhanelerde etil silikat bağlayıcılardan koloidal silika bağlayıcıların kullanılmasına yol açmıştır.Alkol bazlı bağlayıcılardan uzak kalındığından su bazlı bağlayıcılar ile ilgili geleneksel sorunların incelenmesi zorunlu olmuştur.(yüksek viskoziteye sahip çamurların az ıslatmaları, yavaş işlem ve düşük yeşil mukavemette kabukların elde edilmesi). Amaç etil silikat bağlayıcılardaki benzer işlem süresi ve mukavemetler elde etmek için mevcut koloidal silika bağlayıcıların özelliklerini değiştirmektir.Bu tip bağlayıcılara zenginleştirilmiş bağlayıcılar denmektedir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

İlk zenginleştirilmiş bağlayıcılar birincil uygulamalar için geliştirilmiştir.Birincil bağlayıcıların destek bağlayıcılara göre farklı gereklilikleri vardır.Daha uzun süre kararlılığı olmalıdır.Çünkü mükemmel kaplama karakteristikleri sağlamalıdır.Zenginleştirilmiş birincil bağlayıcı kullanmanın amacı çarpılma , çatlama gibi yüzey bozukluklarının düşürülmesi ve mum modele adhezyonun teşvik edilmesidir. (Lanham,1994 ;Niles, 1995)

Koloidal silikaya birçok tipte malzemenin katılımıyla ; lateksler , polivinil alkoller ,metil selüloz , akrilik reçine gibi birincil ve destek zenginleştirilmiş bağlayıcı elde edilebilir.Son 8 – 10 yıl içersinde şirketler birçok zenginleştirilmiş bağlayıcı sistemler geliştirmişlerdir.Bu zenginleştirilmiş birincil bağlayıcılar tipik süzme ve kurutmada hataları engellemede , destek bağlayıcılar ise koloidal silikaya göre daha hızlı işlem ve yüksek mukavemetler elde etmede kullanılmaktadır. (Lanham,1994 ;Niles, 1995)

Önceleri , bu ürünler yüksek pH kontrolü ve birçok uyumsuzluk problemi ile başa çıkma durumundaydılar . Geliştirilmiş kabuk kalıp yöntemi ile daha iyi katkı seçimi getirilmiş ve problemler azaltılmıştır. (Lanham,1994 ;Niles, 1995)

Zenginleştirilmiş bağlayıcıların sunumuyla , problem yaratan parametreler üzerinde başarılar elde edilmiştir.Etil silikat çamurları zenginleştirilmiş koloidal silika bağlayıcılar

yerine rutin olarak çok az zorluk yaşanarak kullanılmaya başlanmıştır.Koloidal silika bazlı kabuklar etil silikat işlem hızıyla eşit , daha yüksek yeşil mukavemet veren işlemler yapılmaktadır.Zenginleştirilmiş bağlayıcılar 1990'larda dökümhaneler için standart ürünler olmuşlardır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Zenginleştirilmiş bağlayıcılar ile üretilen çamurlar , standart bağlayıcılar ile üretilen çamurlardan daha farklı olmaktadır.Standart malzemeler belirli bir amaç için değiştirilmiş ve farklı performans göstermektedir.Bu bağlayıcı değişiminin uygulanmasında , bu farklar göz önüne alınmalıdır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Etil silikat bağlayıcı veya koloidal silika bağlayıcıdan zenginleştirilmiş bağlayıcıya geçişte sistem dikkatli olarak değiştirilmelidir.Destek bağlayıcı değişiminde , mevcut kabuk sisteminin anlaşılması çok önemlidir.Gerekli olan MOR ,kabuk kalınlığı ,dayanma yeteneğinin belirlenmesi gerekmektedir.Yeşil ,sıcak ve pişirilmiş MOR bilgileri oluşturulmalıdır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Zenginleştirilmiş birincil bağlayıcı değişiminde , MOR datalarından çok kaplama karakteristiklerine ve ömür bilgilerine önem verilmektedir.pH seviyesinin kontrolü ve bakteri oluşumunun kontrolü de çamur göz önüne alındığında önemlidir. (Lanham,1994 ;Niles, 1995)

Önceleri yeşil mukavemeti arttırmak için destek çamurların zenginleştirilmesi yoluna gidilmiştir.Bugünlerde ise çabalar proses zamanının düşürülmesi yönündedir.Sonuçta , hem yeşil mukavemette ,hem de proses zamanlarında düşüslere ulaşılmıştır. (Lanham,1994 ;Niles, 1995)

Çoğu zenginleştirilmiş destek bağlayıcılar sayesinde çamur reolojisi büyük oranda geliştiğinden , bugün kullanılan sistemlerde kurutma özellikleri büyük değişime uğramıştır.Kabuğun olması gerekenden fazla kurutulması ortak bir problemdir.Düşük viskozite seviyeleri , kabuk kalınlığı ve kabuk ağırlıkları uygun kabuk kalınlığı elde etmek için kontrol altında tutulmalıdır.Başka sistemler bu kısıtlamalara sahip değildir.Her

durumda akışta ve viskozitelerdeki değişiklikler öngörülmesi ve uygun değişiklikler yapılmalıdır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Organik bağlayıcıların koloidal silikaya katılmasıyla stuko adhezyonunda önemli bir gelişme olmaktadır.Bunun sonucunda çamur tanklarında az stuko kayıpları ve daha güçlü ,uniform kabuk oluşumu sağlanır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Her koloidal üreticileri endüstri için zenginleştirilmiş bağlayıcı sistemleri geliştirmişlerdir . (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

4.2.6.1 Zenginleştirici Bağlayıcı oluşturulması

Zenginleştirilmiş bağlayıcı sistemin nasıl çalıştığının anlaşılması için önce gerekli olan bileşenleri bilinmelidir.Ana bileşen koloidal silikadır.Koloidal silika yüzey alanı 50 ila 450m²/g aralığında olan silikon dioksit parçacıklarının su bazlı bir dispersiyonudur.

Günümüzde hassas döküm endüstrisinde çoğu koloidal silika 9.5 – 10.2 pH aralığında bulunmaktadır.Koloidal silika viskoziteleri ise düşüktür. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

PH değeri tipik olarak 10 ve viskozite 5 – 6 cps'den genellikle azdır.Parçacık boyut aralığı 5µm'den 22µm'ye kadardır.Silika içerikleri ise normalde % 30 civarındadır.Uygun depolandığında koloidal silika raf ömrü bir yıl veya daha fazladır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Parçacıklar negatif elektrik yükleri ile ayrık halde tutulmaktadırlar. Seramik kabukta pelteleşme aşamasına geçmek için bu negatif yüklerin üstesinden gelinmelidir.Bu tipik olarak suyun buharlaşmasına ve parçacıklar ile refrakterlerin bir arada olmasını zorlaştırarak yapılmaktadır. (Lanham,1994 ;Niles, 1995)

Koloidal silikanın kararsızlığı , pH veya silika katılarının seviyesi uygun olmadığında oluşur.Koloidal silikanın üretiminde , sodyum iyonları sodyum silikatten ayrıştırılır ve asit (hidrojen) iyonları yerine konur.Polimerizasyon sırasında parçacık yüzeyinde yük oluşturmak için bazı alkaliler ilave edilir.Bu yükler eğer olmazsa parçacıklar geri – dönülmez şekilde bağlar oluşur ve hızlıca pelteleşme olur.Bundan dolayı yüksek alkalilik (veya pH) kararlı bir koloidal silika oluşturmak için gereklidir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Koloidal bağlar oluşturma veya pelteleşme parçacık yüzey yüklerinin üstesinden gelinmesi sonucunda ortaya çıkar. Bu kabuk süzüldüğünde veya silika seviyesinin çamurda kabul edilemez seviyelere geldiğinde ortaya çıkar. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Çamur Ph seviyeleri ıslatma maddesi , köpük gidericiler ve refrakterlerin kullanımı ile olumsuz yönde etkilenebilirler .Çamurda bakteri üremesi asidik ürünlerin veya pH seviyelerinin düşmesine sebep olabilir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Döküm için kararsız bir bağlayıcı çok tehlikelidir.Bağlayıcıyı hızlıca kararsız hale getiren zenginleştirme katkısı kabul edilemez.Bu yüzden koloidal silikaya benzer pH ve viskozite aralığı olan katkılar kullanılmalıdır.Bu seçim kriteri eklenecek katkı maddelerinin olası seçimini düşürmektedir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

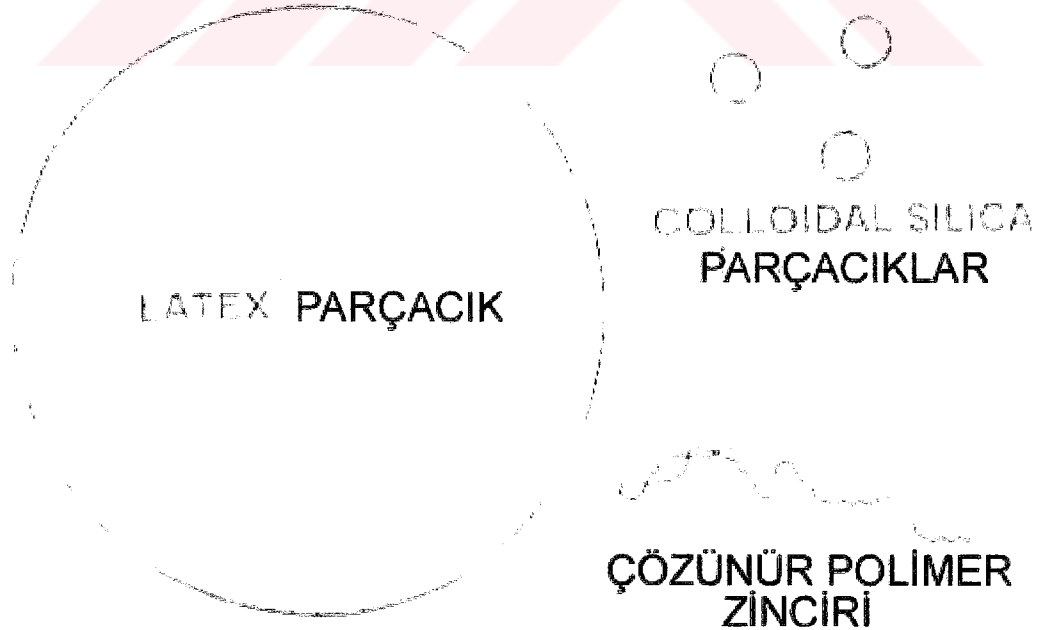
Bütün aday malzemeler koloidal silikada kararlı değildirler.Çoğunlukla , katıların parçacık boyutu da sonuçları etkilemektedir.Kararlılığın belirlenmesi aylar alabilir.Bu testlerin tamamlanmasıyla , çamur ömrünün belirlenmesi , hangi bağlayıcının zenginleştirilebileceği ve hangi konsantrasyon seviyelerinde katkıların yapılabileceği konusunda bir bilgiye ulaşılabilir.Çoğunlukla katkılar bütün refrakterler ve hassas dökümde kullanılan diğer katkılarla kararlı olmamaktadır.Kabuk oluşturulmadan ve döküm yapılmadan kullanılabilecek katkılar yukarıdaki parametrelere göre seçim aralığını düşürebilir.Bunun yanı sıra , birincil ve destek çamurlarının gereksinimleri için çok çeşitli ve farklı ürünler vardır. (Lanham,1994 ;Niles, 1995)

4.2.6.1.1 Katkılar

Polimer bileşeninin katılmasıyla pelteleşme noktası etkili bir şekilde düşürülür.Böylece bağ oluşumu için geçen zaman düşürülmüş olur.Katkı yapılmazsa , küçük parçacıklı koloidal silika (7nm) %34 – 35 silika civarlarında pelteleşmeye başlar.Büyük parçacık ise (12 nm) % 49 – 50 silika civarlarında pelteleşmeye başlar. Polimerlerin seramik çamurlara katılmasının başlıca amacı yeşil mukavemeti arttırmaktır.Otoklav veya flaş – pişirmede kabuk çatlamasını engellemek için seramik kabuk oluşumunda kullanılır.Yapılan geniş araştırmalar göstermiştir ki geliştirilmiş destek bağlayıcılar sadece yeşil mukavemette bir artış sağlamayıp aynı zamanda proses zamanının da azalmasına neden olmaktadır.Buna ek olarak çamur reolojisi ve kabuk geçirgenliği de bazı sistemlerde geliştirilmiştir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Zenginleştirilmiş bağlayıcı sistemi oluşturmakta en çok iki tip polimer kullanılır . Bunlar lateksler ve polivinil alkoldür.Lateks , süspansiyonda kalması için kararlı hale getirilmiş sıvıda dağılmış polimer parçacıklarıdır.Çok çeşitli lateks tipleri vardır.Butadiene-styrene , vinil asetat ve styrene akrilik en çok kullanılan polimerlerden sadece birkaçıdır.Lateksin koloidal silika ile uyumlu olmasında belirlenmesi gereken birçok faktör vardır.Bunların tümünün anlaşılmasının birçok önemi vardır, aksi taktirde kararsız bir sistem yaratılabilir.Lateksin pH değeri , viskozitesi , parçacık yükü , özgül ağırlığı ve daha birçok özelliğine bakmak gerekir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Bu kriterlerin değerlendirilmesine karşın , daha birçok olası malzeme türü vardır.Bu bakımdan lateksin koloidal silika ile uyumluluk ve kararlılığın belirlenmesi için teorik inceleme yapılmalıdır.Lateks kararlı ve uyumlu olsa bile , seramik çamurda bunların kombinasyonunun test edilmesi gereklidir.Böylece fused silika , alüminosilikat ,zirkon ve alümina gibi refrakterlerin kararlı olduğu belirlenebilir.Dahası birincil ve destek uygulamalar için zenginleştirilmiş bağlayıcıların sağladığı çeşitli özellikler belirlenmelidir.Diğer bir değerlendirme , zenginleştirilmiş bağlayıcının ıslatma maddesi ve köpük gidericilerle olan uyumudur.Bütün bunların belirlenmesi zaman ve araştırma gerektirmektedir , fakat sonunda gerekli özellikler elde edilmektedir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)



Şekil 4.8 Koloidal Silika Parçacığının Latex Parçacıkla Karşılaştırılması (Niles 1995)

Günümüzde katkıların çoğu latekslerdir.Uygun pH ve viskozite aralıklarında kullanılabilirler, lateksler koloidal silika ile kullanılabilir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Latekslerin çoğu yüksek – şiddetli karıştırılamamaktadır, çünkü kırılkan yapıdadır ve hasara uğrayabilirler.Lateksler su ile çözünür yapıda değildir ve koloidal silika ile karıştırıldıklarında emülsiyon (sıvı çözelti) oluştururlar. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Bazı lateks emülsiyonları geçen zamanla birlikte , koloidal silikadan ayrılmaktadır.Daha önce belirtildiği gibi bazı katkıları koloidal silikanın kararsız hale gelmesine neden olabilirler ve latekslerin bazıları da bu oluşuma dahildir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Daha önce belirtildiği üzere diğer bir organik bağlayıcı zenginleştirici de polivinil alkoldür.Suda çözünen bir maddedir ve PVA olarak bilinmektedir.PVA'nın bir kısmının testi sonucunda başarı elde edilmiştir , fakat çoğunun etkisi geleneksel koloidal katılarında lateksin gösterdiği kadar etki kanıtlanamamıştır.DuPont patentli ürünün benzersiz koloidal silika'da PVA başarıyla kullanılmıştır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

PVA ile lateks bağlayıcı üzerinde farklı performans özellikleri göstermektedir.Koloidal silika çözünmez olan lateksler , koloidal silika parçacıklarının 10 – 20 katıdır.Suda çözünür polimerler lineerdir ve refrakter ile koloidal silika parçacıkları arasında kolayca yerleşir.Koloidal silikanın zenginleştirilmesi için gerekli PVA miktarı , gereken lateks miktarından çok daha azdır.Ayrıca lateksler ,suda çözünür polimerlerin çoğunun aksine süspansiyonda kararsızdırlar. Yüksek şiddetli karıştırma , lateksleri etkilediği kadar suda çözünür polimerlere zarar vermez . (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

4.2.6.2 Testler

Zenginleştirilmiş bağlayıcı sistem kullanıldığında , seramik çamur ideal koşullarda kullanılması için bazı aralıklarda test edilmelidir.Test kapsamında şu faktörler incelenmeli ,gerektiğinde bu özellikler üzerinde değişiklik yapılmalıdır.Bunlar silika yüzdesi, bağlayıcı katı yüzdesi ,pH ,bakteri,pelteleşme testi ve çamur katıları. Birincil çamurda pH ,bakteri , silika yüzdesi ve bağlayıcı katıları çok iyi kontrol edilmelidir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

4.2.6.2.1 pH testi

Zenginleştirilmiş birincil bağlayıcı kullanıldığında pH düşüşü hızlıdır.pH çok düştüğü zaman (9.0'dan az) sistem çok hızlıca pelteleşir ve çamur giderek kullanılmaz hale gelir.Bu durumda pH 9.4 – 9.5 değerlerine getirilmelidir.Bu değişiklikler hem seyreltilmiş amonyum hidroksit çözeltisi (% 10 – 15 çözelti) ile hem de potasyum hidroksitle (% 2 – 2.5 çözelti) yapılabilir.Amonyum hidroksit çok hızlı ayrıştığından sık sık ilave edilmelidir.Potasyum hidroksitin seramik çamura ilave edilmesinden daha kolay ilave edilir.Bu solüsyonların seramik çamura yavaş yavaş ve iyi bir karıştırma ile ilave edilmesi çok önemlidir . pH değeri 9.0 civarına düştüğünde , tekrardan bunu yükseltmek ve kabul edilebilir seviyede tutmak çok zordur. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

4.2.6.2.2 Silika yüzdesi , Bağlayıcı katılar ve çamur katılarının kontrolü

Silika yüzdesi ve bağlayıcı katılar birbirine bağlı iki parametredir.Bu iki özelliğin yeşil ,sıcak ve pişirilmiş mukavemet ile elde edilen seramik kabuğun geçirgenliği üzerinde büyük etkisi vardır. Çamurdaki polimer yüzdesi ve silika içeriği proses hızını etkilemektedir.Yeşil mukavemet kabuğun otoklavda çatlamaya karşı durmasını etkilemektedir.Pişirmede polimer yakılır ve boşluklar ile gözenek oluşur.Bu ad sıcak ve pişirilmiş mukavemeti ve geçirgenliği etkiler. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Çamur katıları (silika , polimer ve refrakter toz) çamurun toplam viskozitesini belirleyeceği için önemlidir.Eğer çamur katıları ve viskozite düşükse daha ince bir kabuk oluşur.İnce kabuktan dolayı mukavemet değeri düşer.Kabuk çatlaması ve metal akışı sınırlanır.Zenginleştirilmiş bağlayıcılar sisteminde genel eğilim süzmenin daha hızlı olmasıdır.Bu yüzden bazı durumlarda viskozitenin arttırılmasına gidilir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

4.2.6.2.3 Bakteri ve pelteleşme testi

Bakteriler , zenginleştirilmiş bağlayıcılar kullanıldığında , özellikle birincil seramik çamurlarda , organik polimer büyüme için mükemmel kaynak olduğu sürece , bir problem olmaktadır.Bakteriler musluk ya da de – iyonize olmuş şekildeki sudan

gelebilmektedir.Ayrıca havadan da çamuru etkileyebilmektedir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

Eğer hızlandırılmış pelteleşme testinde (60° C 1 veya 2 gün) belirli hiçbir neden olmaksızın çamur başarısız olursa , bakteri sayımı yapılmalıdır. Bir bakteri slaytı çamura daldırılır ve bakteri oluşumuna 3 – 5 gün için izin verilir.Yüksek etki hızlıca oluşur ve bakteri sayısı 10⁷ veya daha fazla olur.Bu durumda seramik çamura bakteri öldürücü madde katılmalıdır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

4.2.6.3 Zenginleştirilmiş Bağlayıcıların Avantajları

Bu bağlayıcıların avantajları kullanım yerlerine göre farklıdır.Buna göre;

Zenginleştirilmiş birincil bağlayıcıların avantajları (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

1. Muma daha iyi çamur adhezyonu
2. Azaltılmış birincil kat çarpılması
3. Hava hareketi için daha fazla tolerans
4. Düşük nemlilik için daha fazla tolerans
5. Geliştirilmiş süzme karakteristikleri
6. Geliştirilmiş stuko adhezyonu

Zenginleştirilmiş destek bağlayıcıların avantajları(Lanham,1994 ;Niles ,1995)

1. Yüksek işlem hızları
2. Geliştirilmiş yeşil mukavemet ,düşürülmüş kabuk çatlaması
3. Daha iyi çamur reolojisi ve süzme özellikleri
4. Geliştirilmiş stuko adhezyonu
5. Daha güçlü ve uniform kabuk oluşumu

Genel olarak avantajlar sıralanmak istenirse şu şekilde listelenebilir. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

1. Zenginleştirilmiş birincil bağlayıcılar çarpılma ,çatlama gibi yüzey hatalarını giderir.
2. Zenginleştirilmiş destek bağlayıcılar yüksek yeşil mukavemet ve daldırmalar arası proses zamanını düşürür.

3. Geleneksel koloidal silika sistemlerine göre zenginleştirilmiş bağlayıcı sistemler dökümhanelere daha geniş koşullar (rutubet , sıcaklık , hava akışı gibi) aralığında çalışmasına sebep olur.
4. İlk yatırım maliyeti zenginleştirilmiş bağlayıcı sistemler için tipik koloidal sistemlere göre daha fazladır . Bununla birlikte daha hızlı işlem yapılmasıyla , döküm hatalarının ve kabuk çatlamasının düşürülmesiyle ve uygun metal akışının sağlanmasıyla bu yüksek maliyetlerin önüne geçilir.
5. Zenginleştirilmiş bağlayıcıların özellikleri sayesinde daha uzun çamur ömrü sağlanır.

4.2.6.4 Zenginleştirilmiş Bağlayıcıların Dezavantajları

Zenginleştirilmiş destek bağlayıcıların , zenginleştirilmiş birincil bağlayıcılara göre çok az dezavantajı vardır. (Lanham,1994 ;Niles ,1995)

1. Zenginleştirici bağlayıcının maliyeti , geliştirilmiş proses yeteneklerine karşın koloidal silikaya göre çok fazladır.
2. Zenginleştirilmiş bağlayıcı sistemi mevcut seramik kabuk prosesine adaptasyonu gerekmektedir.Her bağlayıcı sistemi farklı performans vermektedir ve bunun uygulanabilirliğinin belirlenmesi için test edilmelidir.
3. Artan köpük seviyeleri için anti – köpük seviyelerinde artış gerekmektedir.Katılan hava kabarcıkları daha büyük bir probleme yol açabilir.Eğer çamurların uygun ıslanmasına izin verilmez ise , mumun yüzeyinde hapsolmuş hava sorun yaratabilir.Katlar arası yapraklanma probleme yol açabilir ve ön – ıslatma değişikliklerine gidilebilir.

4.3 Islatma Maddeleri

Islatma maddeleri mum ıslatımında ve birincil çamurların uniform olmasını sağlamak için kullanılır.Islatma maddesinin seçiminde bağlayıcı ile uyumluluk ve düşük köpüklenme özelliği olmak üzere iki kriter vardır.Bütün ıslatma maddeleri köpük ürettiğinden , sadece çamurla birlikte mum modeli uygun şekilde ıslatacak oranlarda kullanılması tavsiye edilir. Islatma maddesinin yeni çamura ve diğer çamurlara eklenmesi karışım içindeki bağlayıcı hacminin minimum %25'i kadar olmalıdır.(Owens ,1987;Bozzo, 1989)

Yüzey aktif maddeleri adı verilen ıslatma maddelerinin bu görevleri nasıl gördüğünü anlamak için bunların özellikleri bilinmelidir . (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

4.3.1 Yüzey Aktif Maddesinin Özellikleri

Yüzey aktif maddesi ; sistemde düşük konsantrasyonlarda bulunduğunda , yüzeyler veya sistemin ara yüzlerine tutunma özelliği gösteren ve yüzey veya ara yüz serbest enerjisini değiştiren bir maddedir.(Owens ,1987;Bozzo, 1989)

Yüzey aktivitesi , yüzey aktif maddesinin sıvıya katılımıyla yüzey enerjisinde ve sıvının yüzey geriliminde olan değişimdir.Yüzey enerjisi değişimi sıvının yüzey gerilimindeki artış veya azalma olabilmektedir. (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

Yüzey gerilimi çekici bir kuvvettir ve bu kuvvet yüzey moleküllerini içeriye doğru çeker.Sıvı içindeki moleküller , sıvının diğer molekülleri ile çevrili olduğu sürece , düzgün dağılmış ve her yönde simetrik olan moleküler çekime maruz kalırlar.Bununla beraber yüzeyde veya yüzeye yakın yerdeki moleküller diğer moleküllerle ancak kısmi olarak çevrelenmiştir. Bundan dolayı , bu yüzey molekülleri sıvının bünyesinde daha sıkı olarak çekilir.Bunun sonucunda moleküler kohezyon meydana gelir ve görünmez , elastik bir membrana benzeyen yönelim oluşur.Bu davranış yüzey gerilimi olarak adlandırılır ve sıvının yüzey penetrasyonuna olan dirençten sorumludur. Sıvının ortasındaki moleküllerin içerdiği enerji ile yüzeyde olanların enerjileri arasındaki fark serbest yüzey enerjisi olarak adlandırılır.Bu sıvının yüzeyini azaltma eğilimini veya en küçük yüzey şeklinin varsayılmasını açıklamaktadır. (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

Yüzey gerilimi bir sıvının karakteristik özelliğidir.Değişik sıvılar için değişik büyüklüklerde olmaktadır ve aynı sıvı için saflıklarda veya değişik sıcaklık ve basınçlarda değişmektedir. (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

Arayüzey serbest enerjisi , arayüzü oluşturmak için gerekli olan minimum iş miktarıdır.Birim alandaki arayüzey serbest enerjisi , iki faz arasında arayüzey gerilimini belirlemek için yapılan ölçümdür.Bir sıvının yüzey gerilimi ölçüldüğünde , sıvı ve hava arasındaki sınırın birim değer karşılığı arayüzey serbest enerjisi ölçülmüş olmaktadır.Bir

arayüzey genişletildiğinde ek miktarda arayüzeyi oluşturmak için gereken minimum iş arayüzey geriliminin (T) , arayüzey alanının artışı ile çarpımıdır : (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

$$W_{\min} = T \times \Delta \text{ arayüzey alanı} \quad (4.1)$$

Bir yüzey aktif maddesi bu nedenle düşük konsantrasyonlarda sistemdeki bazı veya tüm arayüzlere tutunan bir maddedir ve bu arayüzleri genişletmedeki iş miktarını oldukça önemli derecede değiştirir.Yüzey aktif maddesi genellikle artırmaktan çok arayüzey serbest enerjisini azaltmaktadır. (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

4.3.2 Yüzey Aktif Maddesinin Genel Davranışı

İçteki moleküllere göre yüzeydeki moleküllerin daha yüksek potansiyel enerjileri vardır.Bunun nedeni geniş aralıklı gaz moleküllerine göre bu moleküllerin maddenin iç kısmındaki moleküller ile daha güçlü etkileşimler kurmasıdır.Bundan dolayı yapılması gereken iş bir molekülü iç taraftan yüzeye getirmektir. (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

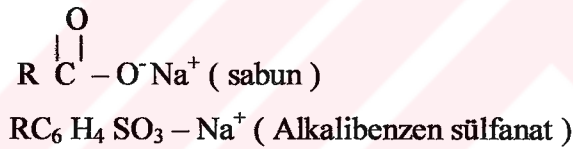
Yüzey aktif maddeleri , çözücüyle çok az etkileşimi olan “ lyophobic ” denilen bir yapı grubunu içerir.Bu grubun yanında çözücü ile kuvvetli etkileşimi olan “ lyophilic ” grubu da yer almaktadır.Bu yapıya “ amphipathic ” yapı adı verilmektedir.Yani her iki türün bileşimidir.Yüzey aktif maddesinin sulu çözeltisinde , etkileşimi az olan “lyophobic” tipi yüzey aktif maddesi grubunun suyu bozması ve çözüldüğünde sistemin serbest enerjisinde artış olması ; yüzey aktif maddesi molekülünü yüzeye çıkarmak için su molekülünü yüzeye çıkarmaya göre daha az iş gerektirdiği anlamını taşımaktadır.Bu nedenle yüzey aktif maddesi yüzeyde toplanır.Böylece , yüzeye moleküleri getirmek için daha az iş gerektirdiğinden birim alanda serbest yüzey enerjisi veya yüzey gerilimi oluşturmak için , kullanılacak yüzey aktif maddesinin varlığı ihtiyaç duyulan iş miktarını azaltmaktadır. (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

Diğer taraftan , “ lyophilic ” (hydrophilic) grubun varlığı ayrı bir faz olarak yüzey aktif maddesinin çözeltiden tamamen uzaklaştırılmasını engeller.Yüzey aktif maddesinin bu “ amphipathic ” yapısı , suyun yüzey geriliminin düşmesine ve yüzey aktif maddesinin

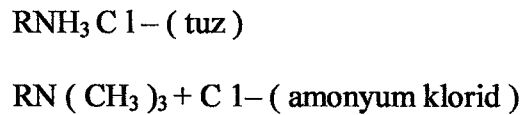
yüzeyde toplanmasına neden olduğu gibi aynı zamanda sulu fazdaki “ hydrophilic ” grupla yüzeydeki molekülün yönelmesine ve “ hydrophobic ” grubunun yüzeyden uzaklaşmasına da neden olur . (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

Uygun “ lyophobic ” ve “ lyophilic ” yüzey aktif maddesinin kimyasal yapısı , çözücünün özelliği ve kullanma şartlarına göre değişir.Su gibi yüksek polar çözücüde , “ lyophobic ” (hydrophobic) grubu hidrokarbon , florokarbon veya siklon zincirlerinin uygun uzunluklarından oluşabilir.Suda , iyonik veya yüksek polar gruplar “ lyophilic ” (hydrophilic) gruplar olarak davranabilir.Belirli bir sistemde yüzey aktivitesi için yüzey aktif maddesi molekülü kullanım şartlarında çözücüde “ amphipathic ” kimyasal yapısı göstermelidir. “ Hydrophilic” grubun özelliğine bağlı olarak yüzey aktif maddeleri üç grupta sınıflandırılır: (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

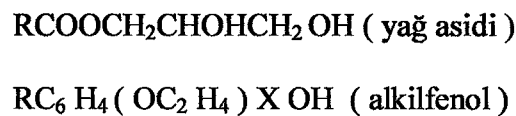
1 . Anyonik : Molekülün yüzey aktif bölümü negatif yük taşımaktadır. Örneğin ; (Bozzo, 1989)



2 . Katyonik : Molekülün yüzey aktif bölümü pozitif yük taşımaktadır. Örneğin ; (Bozzo, 1989)



3 . İyonik olmayan : Yüzey aktif bölüm hiçbir iyonik yük içermez . Örneğin ; (Bozzo, 1989)



Uyumlu olmadıkları için hiçbir zaman koloidal silika bağlayıcı ile katyonik ıslatma maddesi kullanılmaz.Koloidal silika ile genellikle anyonik ve non – iyonik ıslatma maddeleri kullanılır . İyonik olmayanların koloidal silika bazlı çamurlarda kararsız hale

getirme etkileri en azdır. Bununla birlikte koloidal silikanın raf ömrünü pelteleşmeyi hızlandırarak bir yılın altına getirme özellikleri vardır. İyonik olmayanlar hem “ hydrophilic ” hem de “ hydrophobic ” grup olarak yüzeye dağılmış şekilde yüzeyde toplanabilir. Bu yüzeyin özelliğine bağlıdır. Eğer yüzeyde “ hydrophilic ” gruplarla hidrojen bağı yapabilen polar gruplar varsa ; yüzey aktif maddesi büyük bir olasılıkla “ hydrophilic ” grubu ile yüzeye yönelecek ve yüzeyi daha “ hydrophobic ” yapacaktır. Etil silikat çamur sistemlerinde bu içerik kullanılmaz, çünkü bağlayıcıdaki alkol ıslatma maddesi görevini yapar. (Bozzo, 1989)

4.3.3 Yüzey Aktif Maddesi Tarafından Islatma ve Değişimi

Islatma genel anlamda bir akışkanın bir yüzeyden diğerine yer değiştirmesidir. Daha çok , ıslatma terimi katı yüzeydeki havanın bir su veya sıvı solüsyon ile yer değiştirmesidir. Islatma maddesi ise , suyun veya sıvı çözeltinin havayı yüzeyden yer değiştirmesindeki bu yeteneği arttırmada kullanılan maddedir. Üç türlü ıslatma vardır : Yayılmalı ıslatma , adhezyonel ıslatma ve daldırılmalı ıslatma. (Bozzo, 1989)

4.3.3.1 Yayılmalı Islatma

Yayılmalı ıslatmada , alt tabaka ile temasta olan sıvı alt tabakaya yayılır ve hava gibi diğer bir akışkanla yüzeyde yer değiştirir. Bu yayılmanın kendiliğinden oluşması için , yayılma prosesi boyunca sistemin yüzey serbest enerjisi düşmelidir. (Bozzo, 1989)

Şekil 4.9 , logaritmik bir skalada çeşitli katılar ve sıvıların azalan sıradan yüzey gerilimleri verilmiştir. Burada hangi sıvıların hangi katıları ıslatacağı gösterilmiştir. Eğer bir sıvı katıdan daha düşük değerde ise skalada ıslatma oluşur. Örneğin ; su cam ve metalleri ıslatırken polietilen veya teflonu ıslatmamaktadır. Benzer olarak , epoksi reçineleri katı polietileni ıslatmamaktadır. (Bozzo, 1989)

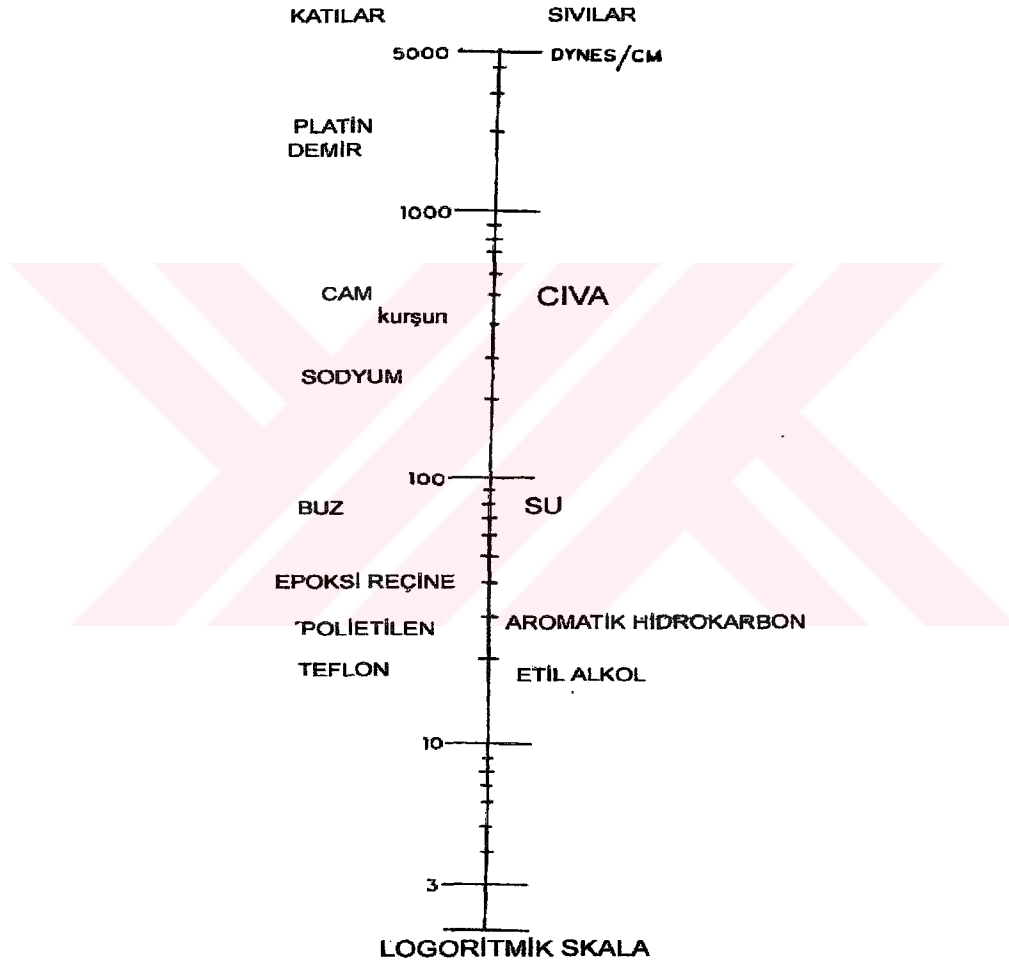
4.3.3.2 Adhezyonel Islatma

Adhezyonel ıslatmada , başlangıçta alt tabaka ile temas yokken , sıvı alt tabaka ile temas kurar ve ona yapışır. (Bozzo, 1989)

Bu proseste alt tabaka ile ıslatma sıvısı arasındaki arayüz gerilimi adhezyonun oluşması eğilimini artırır. Fakat sıvının veya alt tabakanın yüzey geriliminde düşüş , adhezyonun oluşmasını azaltır. Bu , düşük enerji yüzeylerine sahip maddelerin kötü adhezyon özellikleri olduğunu gösterir. Özellikle bu durum madde ve alt tabakalar çok farklı olduğunda ortaya çıkmaktadır. (Bozzo, 1989)

4.3.3.3 Daldırmalı Islatma

Sıvı ile başlangıçta temas halinde olmayan alt tabaka ,tamamen suya daldırılır. (Bozzo, 1989)



Şekil 4.9 Bazı katıların ve sıvıların yüzey gerilimleri(Bozzo, 1989)

4.4 Köpük Gidericiler

Islatma maddesinin köpüklenme eğilimi köpük giderici eklenmesiyle azalır. Köpük giderici , kuru tozda sıkışmış hava ile karıştırma sırasında absorbe edilmiş havayı çamurdan arındırmak için birincil kat çamurlara uygulanır. Bu sıkışmış hava çamurun

yoğunluk ve diğer özelliklerini etkileyebilir ve yüzeyde köpük olarak bulunabilir. Islatma maddeleriyle köpük giderici kullanıldığında mum model üzerinde aşırı köpük giderilir ve seramiğin uniform katı sağlanır. (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

Köpük gidericiler organik katkılardır.Köpüklerin giderilmesi için fiziksel olarak sıvı yüzeyinden kaçmasına izin verir.Bu maddelerin katılmasıyla sıvının yüzey kuvvetleri düşürülür , böylece köpükler çamurdan uzaklaşır. Köpük gidericiler öncelikle çamura eklenmeden önce su ile karıştırılmalıdır karıştırılmalıdır. (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

İyi bir köpük giderici oluşturmak için köpüğün nasıl oluştuğu ve mekanizması iyi bilinmelidir . (Owens ,1987;Bozzo, 1989)

4.4.1 Köpükler

Köpükler gazın sıvının içinde yayılmalarıdır.Tek gaz kabarcıkları , bir mm'den birkaç cm'lik köpükler boyutunda olabilirler.Bu kabarcıklar 0.01 mm küçüklüğünden en geniş olarak da 10 –20 cm çapında olabilirler.Köpük sistemi bozulması sıvının süzülmesinde kabarcıklar arasındaki film tabakasından ve bu kabarcıkların birbiriyle karşılaşmasından oluşur ve üst kopmalar kabarcıkların birleşmelerine izin verir.Köpüklerin geniş arayüz alanı , bunları doğasına bağlı olarak kararsız hale getirir.Köpükler genellikle kayda değer ömürleri olması için ek bir bileşene , köpük oluşturucu maddeye ihtiyaç duyarlar.Köpük oluşturucu maddeler genellikle güçlü yüzey aktif maddeleridir.Ayrıca uygun şartlarda , ince – bölünmüş katılar köpük oluşturucu maddeler olarak görev alabilirler. (Bozzo, 1989)

Köpükler benzersiz bazı fiziksel özelliklere sahiptirler.Kabarcıklar arasındaki yoğunluk farkı ve sıvının yayılımı çoğu kez o kadar büyüktür ki bu sistemler yerçekimiyle oluşan faz toplanmasından dolayı çok yüksek derecede kararsızdırlar.Kabarcıklar hızlıca artarlar ve çok yüzlü (bal peteği) yapısı oluşturmak üzere birlikte sıkışırlar.Aynı kabarcıklar değişik hızlarda çoğalmanın (boyut farklarına göre) etkisiyle veya sıvı fazın üst kısmına eriştiklerinde bir araya gelirler. (Bozzo, 1989)

Köpükler sıvı film tabakasının Gibbs elastikliği denilen iyileştirme fenomeni gerçekleşmeden varolamazlar.Kabarcıklar çoğu kez hava veya hızla ince sıvı filmine nüfuz ederek kabarcık boyutunu artıran küçük moleküllü malzemelerden oluşur.Küçük

kabarcıkların içindeki basınç zamanla köpüklerin daha iri olmalarına sebep olur. Sonuçta , köpükte , kabarcıkların dışındaki gazın atmosfere difüzyonu ile genel bir sönme oluşur. (Bozzo, 1989)

Köpükler şunlarla oluşur : (Bozzo, 1989)

- 1 . Sıvının iç kısmına gazın dağılması.
- 2 . Gaz temasıyla sıvının karıştırılması.
- 3 . Sıvı kütlelerinin sıvının toplanmış merkezine daldırılması.
- 4 . Sıvı veya ince katı yüzeylerde çözünmüş gazın çökmesi.Bu olay daha çok gaz kabarcıkları için heterojen çekirdeklenme görevi yapan dağılmış katı parçacıklarının varlığı ile desteklenir.Çökme , küçük kabarcıklardan (mikrokabarcıklar) oluşan köpüğün elde edilmesinde en çok kullanılan bir yöntemdir. (Bozzo, 1989)

Köpükler çoğu kez kazara oluşur ve bir çok durumda istenmez.Diğer taraftan , köpüklerin birçok önemli kullanımları vardır. (Bozzo, 1989)

Kopmanın hemen oluşmadığı köpüklere sürekli köpükler adı verilir.Bu sistemler iyonik veya makromoleküler yüzey aktif maddesi denilen köpük oluşturucu maddeler içerirler.İnce bölünmüş katılar sürekli köpükler oluşturulmasına katkıda bulunabilirler. (Bozzo, 1989)

4.4.2 Köpük Giderici İşlem

Köpük giderici işlem , bazı malzemelerin varlığında kararlı köpük oluşturmadaki inhibitör etkisinden yararlanılması veya az miktarda sisteme eklendiğinde kararlı köpüğü yok etme yeteneğinden yararlanılması işlemidir.Bunlar köpük inhibitörleri ve köpük kırıcılarıdır.Her ikisi de yüzeye yerleşir ve hızlı – süzmeli bir film tabakası oluşturur.Köpük gidericiler , aynı zamanda , yüzey gerilimini o kadar düşürürler ki elastiklik sıfır olur. (Bozzo, 1989)

Tipik bileşikler ; dallanmış – zincirli alkoller , uzun zincirli esterlerin alkoller , düşük HLB iyonik – olmayanlar ve çoklu polar gruplu bileşiklerdir.Eğer stabilatör katkı , çözülme limitini aşan miktarda ilave edilirse , bu fazla malzeme köpük inhibitörü olarak etki etmektedir. (Bozzo, 1989)

Köpük gidericiler sıvı film yüzeyinden varolan yüzey filminin yer değiştirmesi görevini üstlenir.Bunu yapmak için varolan filme karşı , köpük kırıcılar pozitif yayılma katsayısına sahip olmalıdırlar. (Bozzo, 1989)

Bu gereklilikler genelde şuna işaret etmektedirler : Köpük kırıcılar yüzey aktif maddesiyle kaplanmış yüzey filmine göre daha düşük yüzey gerilimine sahip olmalıdır.Etkili bir kırıcı genelde yayılma etkisiyle köpük duvarları incelirken köpüğün birdenbire sönmesine neden olur ve film orijinaliyle hızlı – süzme türünde yer değiştirir.Kabarcıklar bundan dolayı patlar ve köpük kırıcıların özellikleri köpük oluşumunu geciktirir.Köpük kırıcı yavaşça çözülebilir , bu da köpüklenmenin tekrar başlamasına sebep olur ve köpük kırıcı tekrar uygulanmalıdır. (Bozzo, 1989)

Bazı sistemlerde sıvı solüsyona büyük miktarlarda örneğin ; metanol , etanol veya aseton ilave etmek pratikte köpüklenme problemine çözüm olabilir.Alışılmış olarak sadece küçük miktarlarda malzeme ilavesi arzu edilir.Köpük kararlılığı , hala sıvı solüsyonlarda küçük miktarlarda iyonik – olmayan organik sıvıların çözülmesiyle bozulabilir.Eğer iyonik – olmayan malzeme tutarlı bir yüzey tabakası oluşturmayacak şekilde moleküler yapıya sahipse , bunun varlığı köpüğün kararlılığını zenginleştirmekten çok bozar .Bundan dolayı köpük daha az kararlı hale getirilmesine karşın , bunun oluşumu tamamen inhibe edilememektedir. (Bozzo, 1989)

Belirli kimyasal maddeler sadece köpüğün kararlılığını bozmakta değil , tamamen köpük oluşumunu inhibite etmektedir.Bu köpük inhibitörleri her zaman çözülemez malzemeler ; genellikle sıvılardır.Buna karşın ayrıca teflon , mumlar gibi hydrophobic katı parçalar ve inorganik oksitler kullanılmaktadır. (Bozzo, 1989)

Polidimetilsiloksanlar köpük inhibitörleri olarak çok kullanılmaktadırlar , çünkü bünyelerinde çok nadir bir arada bulunan iki özelliği birleştirmişlerdir : Bu özellikler düşük yüzey gerilimi ve uçucu olmamasıdır.Buna ilaveten kimyasal olarak soy ve su içersinde çözülemez bir yapısı vardır.10 ppm ve daha az konsantrasyonlarda etkilidir.Diğer köpük inhibitörleri ise 100 ile 1000 ppm aralıklarında kullanılmaktadır. (Bozzo, 1989)

Köpük inhibitörü olarak etkinliği için , silikon parçacık boyutunun azaltılmasıyla oluşan köpük film kalınlığı bir gerekliliktir.Silikon anti – köpükler üreticiler tarafından sıvı emülsiyon formunda oluşturulur.Bu yapı sulu köpüklü sıvısı ile karıştırılmaya hazırdır.Bu emülsiyon sıvıya verilmeden önce sıvının ön – dağılmasıyla oluşacak küçük damlacıklar ihtiyacını karşılamaktadır.Silikon emülsiyonlar kararlıdır, çünkü iki parçacığın küçük çarpışma olasılığından dolayı birleşmeyi engellemede düşük konsantrasyonlarından dolayı etkilidir.Silikonlar köpüklenme problemlerini gidermek için endüstrinin geniş bir alanında köpük inhibitörleri olarak kullanılmaktadır. (Bozzo, 1989)

4.5 Su

Hassas dökümde üretimdeki maliyetleri aşağı çekmek için suyun kalitesi önemli rol oynamaktadır.Çoğu zaman su bazlı kabuk odası çamurlarının uygun üretilmesi ve kontrol edilmesi su kalitesi seviyesi hakkında bazı soruları gündeme getirmektedir.Su kalitesinin belirlenmesiyle , dökümhane bu ihtiyacı en uygun ve en az maliyetle nasıl temin edeceği sorusuyla karşı karşıya kalmaktadır.(Lanham,1992)

Hiçbir su kaynağı tamamen saf değildir.Bütün kaynaklar gerek ticari veya endüstriyel , gerekse doğal olsun yapısında çözülmüş katılar ve tuzlar içerir.Bu çözülmüş katılar elektriği iletir.Bu iletkenlik sayesinde bu yapıların konsantrasyonu ölçülebilir. (Lanham,1992)

Yüksek saflıkta su elde etmek için günümüzde üç temel su işlem prosesi vardır.Bunlar damıtma , ters – osmoz ve iyonlaştırmadır.İstenen su hacmine ve kalite seviyesine göre bu sistemler ayrı ayrı veya birlikte kullanılabilir. (Lanham,1992)

Koloidal silika çamurları minerali giderilmiş ve iyonize katılar , parçacıklar ,organik malzeme ile bakteri içermeyen suya ihtiyaç duymaktadır.Koloidal silika çamurları için gerekli olan su kalitesi aşağıda belirtilen kriterleri sağlamalıdır : (Lanham,1992)

İletkenlik < 4 Micromhos

Direnç > 250000 Ohm

Ca < 1 ppm

Mg < 1 ppm

Suyun elektrik direnci varolan iyonların miktarının ölçüsüdür.İyonlar elektrik akışını artırmaktadır.Birimi ise ohm – santimetredir.Daha yüksek dirençte daha az iyon miktarı oluşmaktadır. (Lanham,1992)

İletkenlik ile direnç arasında ters bağlantı mevcuttur.İletkenlik azaldıkça suyun iyon içeriği azalır. (Lanham,1992)

Damıtma , ters osmoz ve iyonsuzlaştırma yöntemlerinin her üçü de hassas dökümde ihtiyacı karşılayacak yeterli saflıkta su üretimi için kullanılabilir.Dökümcü en verimli maliyette ve uygun sistemi seçmelidir.Tipik olarak en hesaplı yöntem , kabul edilebilir bir kalite elde etmede kullanılan iyonsuzlaştırma yöntemidir.Suyun çok kalitesiz olması durumunda damıtma yöntemi kullanılması maliyet açısından yararlıdır.Ters osmoz sistemi göreceli olarak üretilen su hacmi esas alındığında çok pahalı bir yöntemdir. (Lanham,1992)



5. SERAMİK ÇAMUR HAZIRLAMA

Seramik çamuru hazırlamak için Bölüm 4’de anlatılan maddeler belirli prosedüre göre karıştırılmaktadır . Tutarlı çamur özelliklerine ulaşmak için doğru çamur hazırlama ve korunmasından emin olmalıdır. Operasyonlar tozlarla ve korozyif sıvılarla çalışmayı gerektirdiğinden sağlık ve güvenlik de göz önüne alınmalıdır. Uygun formülasyonda birincil ve ikincil çamurların oluşturulmasında , hazırlanması ve korunması için prosedürlerin tanımlanması tavsiye edilir.(Beeley ,1995)

Bu bölümde seramik çamurun nasıl hazırlandığı ve ayrıca oluşturulduğu yapının nasıl korunduğu genişçe açıklanmıştır.

5.1 Seramik Çamur Oluşumu İçin Gereklilikler

Kabul edilebilir kalitede kabuk üretmek için , kabuk yapımında bazı gereklilikler yerine getirilmelidir. Pişirmeden sonra iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için , mum modele uygulandığında silika – bağlayıcı fazı (birincil çamura ait) kararlı olmalıdır. Kullanılan çamur bağlayıcı tipi de önemlidir.(asidik veya bazik) Mum formülasyonu ile reaksiyona girmemelidir. Destek daldırma çamurları da birincil çamurlar ile aynı kararlılığa sahip olmalıdır. Aksi takdirde mukavemet düşecektir. Buna ek olarak , önceki uygulanan kabuk katmanlarına göre destek çamurlar kararlı olmalıdır.(Kovacs,1997;Guerra,1998)

Bir veya daha çok çamur bileşeni silika bağlayıcı ile reaksiyona girerse, ilk kat pelteleşmesi oluşabilir.(Refrakter tozun kompozisyon ve parçacık boyutu , çamur kararlılığı ve akışkanlık özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır.) Mikropelteleşme refrakterin bağlayıcıya eklenmesiyle birlikte süregelen bir süreçtir. Çamur bileşenlerinin dikkatli kontrolüyle kütle pelteleşme yavaşlatılır ve üretimde kabul edilebilir çamur ömrü elde edilir. Çamur ömrü genelde birkaç aydır , fakat bazı sistemlerde , örneğin alümina/etil silikat çamur sistemlerinde çamur ömrü sadece birkaç haftadır. Alümina toz refrakterleri bazik ve göreceli yüksek yüzey aktivitesine sahip oldukça , asidik etil silikat bağlayıcının eklenmesi çamurun kullanılır ömrünü etkileyebilmektedir. (Kovacs,1997;Guerra,1998)

Başarıya ulaşmak için aşağıda belirtilen temel ihtiyaçların karşılanması gerekmektedir :

- karıştırma , ölçme ve test için uygun ekipman(Kovacs,1997;Guerra,1998)
- Detaylı işlem talimatı / dökümanı(Kovacs,1997;Guerra,1998)
- Mühendislik desteği(Kovacs,1997;Guerra,1998)
- Proses kontrolü desteklemek için test laboratuvarı(Kovacs,1997;Guerra,1998)

Aşağıdaki faktörlerin sağlanması halinde , çamur oluşumu veya çamurun geliştirilmesi için dökümhanede değişikliklere gidilmektedir: (Kovacs,1997;Guerra,1998)

- Çevresel zorlamaların miktarı , örneğin , alkol bazlı sistemden su bazlı sisteme geçiş.
- Eski sistemde verim kaybının belirlenmesi , örneğin, elle / manuel daldırmadan robot kullanımına geçiş
- Sistemde yeni bir tür üretime geçiş , örneğin , alüminyum veya titanyum döküm bölümünün açılması.
- Kazançlı/verimli bir sisteme geçmek için yeni amaçların belirlenmesi.

5.2 Seramik Çamurun Karıştırılması

Çamur karıştırmanın kabuk kalitesi ve mukavemetine , özellikle de döküm kalitesine büyük etkisi vardır.Kalite sağlamada çamur karıştırılırken büyük özen gösterilmelidir.

Bütün bileşenler uygun formülasyon için önceden ölçülmeli ve tartılmalıdır.Uygulanacak adımlar şunlardır (Owens ,1987;Kovacs 1997)

- 1 . Solüsyon içine girmeleri için ölçülmüş olan ıslatma maddesi ve köpük gidericiler su ile ön – karıştırma işlemine tabi tutulur.
 2. Koloidal silika H₂O karışımına eklenir.
 3. Bu noktada , karışım dışında bir miktar seyreltilmiş koloidal silika tutulur,uygun viskozite için çamura karıştırmanın sonunda ilave edilecektir.
 - 4 .Uygun miktarlardaki refrakterler bağlayıcıya yavaşça eklenir.Süspansiyona karışması için refrakter tozlara yeterli zaman ayrılmalıdır. Çamur viskozitesi başlangıçta yüksektir, fakat bağlayıcı refrakter zerreciklerini ıslattıkça ve hava çamurdan arındırıldıkça bu seviye düşer.
 - 5 . Uygun viskoziteyi sağlamak için koloidal silika denge unsuru olarak ilave edilir.
 6. Bütün zerrecikler eklendikten sonra ,bütün hava arındırılınca ve viskozite kararlı hale gelinceye kadar çamur karıştırılmaya devam edilir.Bu işlem yaklaşık 24 – 48 saat sürecektir.
 7. Zerrecik veya yeteri kadar birincil bağlayıcı – su karışımı eklenerek çamurun son viskozitesi ayarlanır.Çamur kararlı hale geldiğinde daldırma tankına ilave edilebilir
- Bu işlemde şunlara dikkat edilmelidir. (Owens ,1987;Kovacs 1997)

- Çamur her zaman çamur daldırma tankından ayrı bir tankta hazırlanmalıdır.Doldurucu malzemeye göre çamur 24 – 48 saate kadar yeterli kararlılıkta olmamaktadır.

- Birincil bağlayıcının , suyun(gerekli ise) ve refrakter zerreciklerinin miktarı hesaplanmalı ve tartılmalıdır.
- Bütün birincil çamurlar refrakterlerin uygun şekilde ıslatılması için yeterli büyüklükte mikser ile karıştırılmalıdır.Döner tanklar daldırma için karışım çamurunu istenilen suspensiyonda tutmada uygundur.Fakat kısa zaman periyotları için karıştırmada yeterli verime sahip değildirler .
- Taze çamurlar kullanımdan önce tamamen ıslatılmalıdır.Kötü yüzey kalitesi ve kabuk mukavemeti uygun şekilde ıslatılmamış çamurlar sonucunda oluşur.
- Kararlı bir çamurun bozulmasını önlemek için ön – karıştırma her zaman tavsiye edilir.Taze çamur katkıları üretim tanklarına eklenmesi ve çamur karıştırmanın karışımın homojen hale gelmesi için yeterli zaman verilir.Ön karıştırma tanklarında pervane tipi mikserler tercih edilir.Bunlar karıştırma sırasında oluşacak vorteksi kontrol etmek için çeşitli hızlara sahiptir.Yüksek yaymalı mikserler ön karıştırma için mükemmel seçimdir.Pervaneli mikserlerin yeni çamuru tamamiyle ıslatmaları günler alırken , yüksek yayımlı mikserler birkaç saatte bu işi başarırlar .Çamurun fazla ısınmasını önlemek için dikkatli işlem yapılmalıdır.

Çamur karıştırılmasının döküm kalitesi ve kabuk mukavemeti üzerine büyük etkisi vardır.Kullanımdan önce taze çamur tamamen ıslatılmalıdır.Kısmi ıslatılmış çamurda yüksek ve tam mukavemet oluşmamaktadır.Bağlayıcının yüksek yüzey geriliminden dolayı , koloidal sistemleri karıştırma çeşitlerine karşı çok duyarlıdır.Koloidal silika çamurları için ön – karıştırma her zaman tavsiye edilir.Karıştırma zamanı karıştırıcı/mikser veriminin bir fonksiyonudur.Örneğin ; ağırlıkça aynı oranlardaki zirkon ve fused silikanın pervane tipi mikserde birincil çamur için karıştırılması , tamamen ıslatılmadan önce 3 veya 4 gün gerektirebilir.Yüksek “ Cowles ” karıştırıcısı aynı işi 30 dakikadan az bir zamanda yapabilir.Kuru refrakter ve koloidal silikanın , yardımcı mikser kullanmadan ve çamuru kararlı hale getirmek için uygun karıştırma zamanı verilmeden karıştırılması hiçbir zaman önerilmez.Son değişimden sonra , taze çamur katkıları yapılmalıdır.Bunun sonucunda çamur homojen hale getirilir.(Schiefelbein,1987;Beeley 1995)

Etil silikat çamurları çabuk ıslanır ve yüksek karıştırma gerektirmez.Çamur içerikleri tanka direkt olarak ilave edilebilir.pH kontrolü erken peltleşmeyi engellemek için gereklidir.Uygun çamur karışımı sonucunda optimum kabuk mukavemeti ve akışı elde edilir.Akış bilimi kontrolü uniform kalınlık ve yüksek mukavemet oluşturulması için yardımcıdır. .(Schiefelbein,1987;Beeley 1995)

Çamurun kullanılırken karıştırılması optimum performans için gereklidir.Uniform çamur bileşimi sağlamak için karıştırıcılar yeterli şekilde çalıştırılmalıdır.Kontrolsüz ve gelişigüzel çalışan pervaneli karıştırıcılar havanın çamura karışmasını ve ölçülen viskozitenin artmasına neden olur.Akış ve süzme karakteristikleri havanın çamura girmesiyle etkilenir.Çok fazla karıştırma enerjisi çamurun sıcaklığının yükselmesine ve fazla veya kontrolsüz çözücü buharlaşmasına sebep olur. .(Schiefelbein,1987;Beeley 1995)

Yüksek enerji sağlamak için yüksek hızlı karıştırıcı kullanılabilir. Yüksek enerji toplanmış tozun kırılması ve sıkışmış havanın serbest bırakılması için gereklidir.Hazırlama safhasında yüksek enerji içeriği kontrol edilmezse yüksek sürtünmeye yol açabilir.Bunun sonucunda gene arzu edilmeyen yüksek sıcaklık artışları olur ve bu da silika bağlayıcıların ani bozulmasına yol açar. .(Schiefelbein,1987;Beeley 1995)

5.3 Seramik Çamur Kontrolü ve Bakımı

5.3.1 Seramik Çamur Bakımı

Uygun olarak karıştırılıp üretildikten sonra , seramik çamur uygun kimyasal ve kabuk özelliklerini sağlaması için bakımı yapılmalıdır.Bakım şu katkıların periyodik olarak katılmasını içerir (Owens,1987)

- 1 . Yeni ön – karıştırılmış çamur malzemesi
- 2 . Su
- 3 . Köpük giderici

1.Yeni ön – karıştırılmış çamur eklenmesi tükenmiş olan çamurun üretim sırasında yenilenmesine neden olur.Bu katkıların öncelikle bir ön – karıştırma tankında karıştırılıp

daha sonra üretim çamur tankına transferinin yapılması tavsiye edilir. Bu “kuru ” refrakterlerin katılımını ve agresif karışımın havadan ötürü oluşmasını engeller.Pervane tipi karıştırıcı ile yeni bir çamurun ıslatılması 3 veya 4 gün sürmektedir. (Owens,1987)

2.Üretim yavaş olduğu ve çamur düzenli bir hızda tüketilmediği zaman birincil üretim tankından birincil çamur destek tankı veya son kat tankına transfer edilmelidir.Birincil çamuru yeni katkıları karışımın taze tutulmasına neden olacaktır.Buharlaştırma hızı bağlayıcıda çözülebilir silika konsantrasyon yüzdesini ve çamur viskozitesini artıracaktır.Buharlaştırma hızı çamurun sıcaklığına , daldırma odasının nisbi nemine , çamur tankının üst yüzey alanına ve üretim hızına bağlıdır.Normal üretim şartlarında , $72^0 - 74^0$ F daldırma odası sıcaklığında ve % 50 nisbi nemde , seramik çamur gün başına sekizde bir H_2O kaybeder. (Owens,1987)

3.Köpük gidericiler ve ıslatma maddeleri normal üretimde miktarları azalmakta ve yeni çamur katkıları olarak belli oranlarda katılmalıdır.Köpük gidericiler buna ek olarak su eklenmesiyle birlikte ön – karıştırmaya maruz bırakılmalı ya da artan konsantrasyon civarlarında seramik çamura eklenmelidir. (Owens,1987)

5.3.2 Seramik Çamur Kontrolü

Kabuk odası proses kontrolü , kaliteli kabukların üretilmesinde kritiktir.Kabuk odası proses kontrolü birçok önemli parametrenin kontrolünü kapsamaktadır.Fakat birincil önemi olan durum çamurun uygun karıştırılmasıdır.Uygun kabuk oluşumu teknikleri birçok ortak çamur problemlerini gidermektedir. Çamur karıştırılmasının kabuk üzerinde çok önemli etkisi vardır.Uygun koşullarda çamurun uygun ıslatılması birkaç saat alır. Ne yazık ki uygun olmayan koşullarda , çamur hiçbir zaman uygun ıslanmayabilir. Az ıslanmış çamurdan maksimum mukavemet elde edilemez. (Owens,1987;Lanham,1995)

Seramik çamurların kullanılması ve her birinin yeni seramik çamurla yer değiştirmesi esnasında yavaş kullanılan çamurlar yaşlanır ve bozulur. (Owens,1987;Lanham,1995)

Bütün çamurlar ve ön – ıslatma tankları bağlayıcı solvent/çözücü (su veya alkol) zamanla buharlaştırır , böylece çamurda bağlayıcı konsantrasyonu değişir.Bütün çamurlardaki ve ön – ıslatma tanklarında silika düzeyini korumak için buharlaştırma kayıpları karşılanmalıdır. (Owens,1987;Lanham,1995)

Bağlayıcının uygun görevi yerine getirmesinde silika katılarının ve pH seviyelerinin kontrolü kritiktir.Çoğu dökümcü ön – ıslatma tanklarının da aynı biçimde kontrol edilmesi gerektiğinin farkında değildir.Bunun yapılmaması , kabuk çatlaması gibi ciddi kabuk problemlerine yol açabilir. (Owens,1987;Lanham,1995)

Çamur bakımı belirlenen bir plana göre rutin olarak test edilmelidir.Bu testler kayıt edilmeli ve işlem parametreleri ile incelenmelidir.Bu testler şunları içerir : (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

- 1 . Viskozite
- 2 . Sıcaklık
- 3 . pH
- 4 . Bağlayıcıda çözünür silika miktarı yüzdesi
- 5 . Çamurun özgül ağırlığı
6. Mum Model Islatılabilme Testi
7. Tabaka Tutma Testi

Bu testlerin uygulanması , dökümhanenin ihtiyaç ve sahip oldukları imkanlara dayanır.En azından bağlayıcı katıların ,viskozitenin ve sıcaklığın testi yapılmalıdır.Bu testler için minimum maliyet ve teknik bilgi gerekmektedir.Seramik çamur tüketimi de kontrollü olmalıdır.Yavaş kullanılan seramik çamurlar hızlı tüketilen tanklara transfer edilmeli veya periyodik olarak ıskartaya çıkarılmalıdır.Bunun sonucunda yaşlanmanın kabuk üzerindeki etkileri bertaraf edilmelidir. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

Bu testlerin amaçları ve nasıl yapıldıkları bu bölümde şu şekilde verilmektedir.

5.3.2.1 Viskozite

Birçok seramik çamur kontrolünde viskozite testi olarak adlandırılan , tercihen akış testi olarak adlandırılan test uygulanmaktadır. Bu işlem özel olarak tasarlanmış bir kabın seramik çamurla doldurulması ve tabanındaki orifisten kabın boşaltılması sırasında zamanın tutulmasıyla (saniyeler bazında) gerçekleştirilir.İki çeşit kap tasarımı vardır : Ford kabı ve Zahn kabı ve herbiri ele alınan çamur için farklı akış zamanları vermektedir. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

Dış bazı faktörler de bu akışmazlığı etkileyecektir. İlk parametre çamurun sıcaklığıdır , çünkü sıcaklıktaki herhangi bir artış viskoziteyi veya akış zamanını düşürecektir. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

Diğer bir parametre çamur çökmesidir.Çamur test için alındığında , karıştırma işlemi durdurulur ve örnekte çökme işlemi başlar.Çamurun akışında orifis yakınında bölgesel karşı koyma gerçekleşir ve bu da akış değerlerini değiştirir.Bu etki çamurun özelliğine dayanır ve test sonuçlarını etkiler. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

Üçüncü bir parametre bağlayıcının yaşlanma etkisidir.Çamurun sıvı bölümünün bir parçasındaki viskozite artışı , toplam viskoziteyi etkilemektedir.Bu olayda çok fazla doldurucu kullanılmış olabilir ve akış zamanını düşürmek için daha fazla sıvı karışıma ilave edilmelidir. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

Viskozite ölçümü Zahn kabı ile günde iki kez yapılmalıdır.Birincisi çamurun kararlılığından emin olmak için başlangıçta , ikincisi üretimin sonunda yapılır. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

5.3.2.2.Seramik Çamur Sıcaklığı

Çamur sıcaklığı ölçümü viskozite ve özgül ağırlık kontrolleri ile birlikte yapılmalıdır.Normal çamur sıcaklığı $\pm 5^{\circ}$ F çevre sıcaklığı olmalıdır.

Sıcak bir odada yüksek hız karıştırıcılarının yarattığı çamura verilen ısıdan kaçınılmalıdır.Çamuru bir süspansiyon içinde tutacak en düşük karıştırma kuvveti kullanarak sürtünmeden dolayı oluşacak ısı uygun viskoziteyi sağlayacak şekilde minimize edilmelidir. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

5.3.2.3.Seramik Çamurun pH'ı

Çamurun pH'ı pHmetre veya pH kağıtları kullanarak belirlenebilir.pH'ın 9.5 ± 0.5 civarlarında olması seramik çamur ömrünü artırabilir.Genelde yüksek pH koşulları kirlenmenin pek ortaya çıkmaz.Çok düşük pH asidik malzemelerin var olması ve çamura geri dönülmez zararın verilmiş olması demektir.pH yükseltmek için yapılan değişiklikte , karışıma bir miktar (NH_4OH) katılır.Maksimum solüsyona % 2 civarında sodyum

hidroksit de (NaOH) katılabilir.Lokal pelteleşmeden sakınmak için gayret gösterilmelidir.NaOH ayrıca SiO₂ : Na₂O oranını da değiştirmektedir ve bu da kabuk mukavemetini düşürecektir. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

5.3.2.4 Koloidal silika içinde çözünür SiO₂ içeriğinin belirlenmesi

Çözünür silika (SiO₂) hassas döküm kabuk kalıplarında bağlayıcı görevi yapmaktadır.Çözünür SiO₂ konsantrasyonu belirlenmesi için aşağıda belirtilen yöntemler uygulanmalıdır : (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

- 1) Bir miktar çamur örneği alınır.Özgül ağırlık , viskozite ve tarih kaydedilir.
- 2) Alınan örnekte suyun buharlaşmaması için kapatılır.Numunenin çökmesi için 24 saat beklenir.
- 3) Plastik şişeye sıvı dikkatlice dökülür.
- 4) Plastik şişeler santrifujda 3 dakika tutulur.Böylece kalan tozlar ve pelteleşmiş bağlayıcılar uzaklaştırılır.
- 5) 10 ml'lik boş hacimsel şişe tartılır.
- 6) Santrifujlanmış bağlayıcı önceden ağırlığı tesbit edilmiş hacimsel şişeye konulur.
- 7) Bağlayıcı ile birlikte şişe tartılır.
- 8) Dolu olanın ağırlığından boş şişenin ağırlığı çıkarılır. Bu bağlayıcının ağırlığıdır.
- 9) 5,6,7,ve 8'inci adımları damıtılmış su ile tekrarlanır.
- 10) Bağlayıcının ağırlığı , damıtılmış suyun ağırlığına bölünür.Bu değer özgül ağırlıktır.Bu değer doğrudur ve sıcaklık için düzeltme gerekmez.Sıcaklığın bağlayıcı ve su için eşit $\pm 0.5^{\circ}\text{F}$ olmasına dikkat edilmelidir.

5.3.2.5 Seramik çamurun özgül ağırlığı

Seramik çamurun özgül ağırlığı ; her iki ölçümün de aynı sıcaklık derecesinde yapılması kaydıyla , seramik çamur ağırlığının eşit hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır.

Örneğin ; 10 ml seramik çamurun ağırlığının 10 ml suyun ağırlığına bölünmesiyle seramik çamurun özgül ağırlık değeri elde edilir.Bunun formülü aşağıda belirtilmiştir :

$$\text{Özgül Ağırlık} = 10 \text{ ml seramik çamurun ağırlığı} / 10 \text{ ml suyun ağırlığı} \quad (5.1)$$

Özgül ağırlıkta normalden farklı değişimler , uygun olmayan karıştırma , çökelen refrakterler , çamurun köpüklenmesi veya erken pelteleşme problemlerine işaret eder.

(Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

5.3.2.6 Mum Model Islatılabilme Testi

Mumun ıslatılabilmesinin belirlenmesi ; özellikle mum bölümünün veya çamur formülasyonunda değişikliklerin tesbit edilmesi açısından bu test çok önemlidir.Üretim için kullanılan mum model benzeri basit bir test çubuğu yapılır.Test çubuğu çamura batırılıp çıkarıldığında , daldırma hattı boyunca kötü bir görüntü varsa , mum yeteri kadar ıslatılmamış demektir.Bu durumda mum yüzeyi veya birincil çamur geliştirilmelidir.

(Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

5.3.2.7 Tabaka Tutma Testi

Bu test birincil çamurlar için yararlıdır .Bu testin uygulanması ve diğer çamur testlerinin birbiriyle bağlantılı sonuçlarının kaydedilmesiyle başka testlerin gösteremediği , çamurun bazı özelliklerini ortaya çıkarır.Bu test , dökümcülere ancak çamurun diğer özellikleri ile karşılaştırıldığında bir anlam ifade etmektedir.Seramik çamurda , deney limitleri dışında , tabaka ağırlığı değişimi olması seramik çamur bileşiminin diğer değerlerinin değiştiğine işaret eder. Örneğin ; bağlayıcının silika içeriğinin değişmesi , tozun parçacık boyut dağılımının değişmesi vb. (Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

Anlamlı bir tabaka ağırlığı testi uygulamak ve toplam katı oranını spesifik değerlerde tutmak için , çamur içindeki tozun parçacık boyut dağılımını bilmek çok önemlidir(Owens,1987;Lanham,1995;Kovacs ,1997)

6. KABUK OLUŞTURMA PROSESİ

Uygun kabuk kalıp oluşturmak için kabuk elemanları , kabuğun fiziksel özellikleri ve proses iyi bilinmeli ve saptanmalıdır .Bu faktörlere yeri geldiğinde genişçe değinilmiştir.(Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Kabuk oluşturma işlemi öncesi iyi bir mum model hazırlanmalıdır. Kalıntıları uzaklaştırmak için model çözücünün içinde ön – yıkanarak temizlenmelidir. Böylece çamur ile mum yüzeyi arasında ıslatma daha etkin hale gelir.Modelin tamamen kaplanmasından emin olunması için çamur formülasyonuna uygun bir ıslatma maddesi katılmalıdır. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Birincil kaplamada , ilk ele alınması gereken konu model salkımın seramik çamura nasıl daldırıldığıdır.Bu operasyonda hava kabarcıkları oluşabilir ve daha sonra pürüzlü bir döküm yüzeyi oluşur. Bu pürüzlülük ince küresel çıkıntılar halinde kendini gösterir.Bu hataları engellemek için daha başlangıçta bunların oluşmaması sağlanmalıdır.Kaplama yapılırken bu tip hataları görmek çok zordur.Hava sıkışmasının oluşma şansını minimuma getirmek için modeller seramik çamura yavaşça batırılmalıdır.Eğer bu yapılırsa oluşacak olan balonlar görülmesi için yeteri kadar büyük olur ve süzülmeden sonra uzaklaştırılabilir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Su bazlı çamurlarda kötü mum ıslatması yüzünden , çamur kaplamasını elde etmekte zorluklar yaşanabilmektedir.Bu durumda çamura daha fazla ıslatma maddesi katılması ve yanlış kaplamayı yıkayıp temizleyerek yeniden yüzeyin temizlenmesi gereklidir.Burada önemli olan yararlı bir husus , eğer bir hata görülürse , bazı su bazlı birincil katların akan su ile kolayca temizlenebilmesi ve yeni katın uygulanabilmesidir. Ayrıca birkaç saat kurutulduktan sonra bile birincil katlar temizlenip yeni katlar uygulanabilmektedir.Diğer taraftan operatörler tarafından baloncuklar bazı özel aletlerle parçalanır ve böylece yüzey hataları giderilebilir.Bunun sonucunda stuko bu hataları gizlemeden ıslak katmanın dikkatli bir incelemesi yapılabilir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Bir sonraki işlem ise modeli geri çekmek ve aşırı çamuru süzmektir.Eğer koşullar çok iyi kontrol edilmezse bu süzme periyodunda yine hatalar olabilmektedir.Örneğin ; stuko

uygulanması öncesinde ıslak çamurdan katın oluşması engellenir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

İşlemin idaresi lokal yüzey damlalıklarını temizlemek üzere tasarlanmalı ve düzgün bir kaplama üretmek için hazırlanmalıdır.Çok yoğun çamur doğru reolojiye sahip olan çamurlara göre düzgün katman elde edilmesinde daha ustalık gerektirmektedir. Fakat daha yoğun seramik çamur stuko penetrasyonu olarak adlandırılan hataya daha az duyarlıdır.Bu daha çok 12 – 20 mesh olan iri taneli stukolardan oluşur.Bundan dolayı birincil katlarda daha çok ince taneli stuko seçilir.Bu safhada stukonun ıslak çamura uygulanmasıyla mum yüzeyine penetre olur.Sonuçta birincil katta küçük boşluklar oluşturur ve sonradan döküm esnasında metalin penetre etmesi , stuko penetrasyonu oluşumudur. Çok düşük yoğunluktaki çamurlar çok kolay süzölmektedir , fakat bunlarda stuko penetrasyonu riski çok büyüktür. Sonuç olarak , eğer stuko için ince taneli bir yapı kullanılmışsa , daha düşük viskozitede seramik çamur penetrasyon hatası riski olmadan kullanılabilir.Bazı durumlarda nispeten yoğunluğu az seramik çamur ile , boşluk hatası olmayan birincil katları üretmede doğal zirkon kumu kullanılmaktadır.Zirkon kumunun tipik parçacık boyutu 100 mesh civarındadır ve parçacıkları arzu edilen parçacık boyutuna ulaşma için ufalanmış birçok sentetik malzemeye göre daha az köşelidir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Doğru veya optimum seramik çamur kararlılığına erişmek için çok sıkı ve çabuk etki eden kurallar yoktur. Pürüzlü döküm yüzeylerine yol açan penetrasyon hatası bir takım faktörler tarafından etkilenmektedir.Bu faktörler kontrol altına alındığında düzgün yüzeyler elde edilmektedir.Düşüş esnasında stuko parçacıklarının kinetik enerjileri , düşüş yükseklikleri ile değil , malzemenin özgül ağırlığı ile kontrol edilir.Çamurun süzölme zamanı da penetrasyon derecesini etkileyecektir.Buharlaşan su , çamurun reolojisini değiştirecek ve bölgesel süzölmüş katlar stuko penetrasyonuna karşı daha dirençli olacaktır.Bu yüzden hataları önlemek için işlem zamanlarının optimize edilmesi çok önemlidir.Stuko ıslak çamura uygun bir şekilde yapışmalıdır.Stuko penetrasyonu veya yetersiz adhezyonu engellemek için çamur reolojisi ile süzme operasyonunun kontrolünde denge sağlanmalıdır.Yetersiz adhezyon , bundan etkilenmiş olan katmanın daha sonra

yapraklanmasına neden olabilir. Bunun sonucunda birincil katta parçacıklar pul pul dökülerek ergimiş metale karışır. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Zayıf stuko adhezyonunun , süzme kararlı olsa bile , süzme safhasındaki kurutma hızından ve silika bağlayıcısının özelliğinden etkilenebilir. Kurutma hızındaki veya çamurun erken jelleşmesi zayıf stuko adhezyonunun bir sebebi olarak ortaya çıkmaktadır. Birincil kat kalıntıları ve/veya pürüzlü döküm yüzeyleri , proses kontrol dışında olduğu sürece oluşmaktadır. Stukolamayla ilgili geniş bilgi Bölüm 6.1.1 'de verilmektedir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Ayrıca mum modelin bazı geometrilerine bağlı olarak , lokal yüksek nem farklılığı oluşur. Böylece döküm sonucunda pürüzlü yüzeyler oluşur. Bileşenlerin kesiminden önce herhangi bir modelin incelenmesi , pürüzlü yüzeylerin oluşmasının gerçek nedenlerini göstermektedir. Bununla birlikte başka hataların önlenmesinde , kabuk uzaklaştırılmasında kabuk kalıbın da incelenmesi bazı yararlar getirmektedir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Penetrasyon , yüksek metal/kalıp ısıtması sırasında daha çok oluşmaktadır. Bir alaşımın kalıbın yüzeyini ıslatma yeteneğinin ölçümü bir test ile yapılabilir. Yüzey üzerinde duran ergimiş metalin temas açısı ölçülür ve bu açı 90^0 'nin üstünde ise sistem ıslatıcı olmayandır. Tersine , açılar 90^0 'nin altında ise sistem ıslatıcıdır. 90^0 'nin üstünde olan değerlere olan örnek ; bir cam tabakanın üzerinde olan su damlacıklarıdır. Eğer tabaka temizlenir ve düşük temas açılı alkol damlatılırsa , alkol tüm yüzeye dağılır. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Islatmayı temas açısını düşüren yüksek döküm sıcaklığı da artırır. Eğer bu olay dikkate alınmazsa birincil katın kalitesi değişebilmektedir. Penetrasyon ayrıca ergimiş metalin basıncından da etkilenmektedir. Bu bilgiler göz önüne alınarak kalıpta oluşabilecek hataların kaynağı bulunabilir. Başka bir faktör ise kalın döküm bölümleri daha sıcak metal/kalıp arayüzlerini içerir ve bundan dolayı bu bölgelerde hatalar oluşabilir. Buna karşın eğer bu hatalar ince bölgelerde oluşuyorsa , hata daha çok kaplama işlemine ve süzme sırasında kaplama katının oluşmasına bağlıdır. Tahmin edileceği üzere birincil kat

oluşturma işleminde robot kullanan dökümhanelerde , kaplama kalıntıları ve pürüzlü yüzeyli dökümlerin oranları nispeten düşmektedir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Çamurun bozulmasıyla , çözücünün buharlaşması sonucu prematür jelleşmede süzme çevriminin ilk safhalarında iyi bir adhezyon ve toplam örtme için stukonun uygulanması gerekmektedir.Bazen stukonun çamura penetrasyonu sonucu eski veya kalıntı çamur optimum kat yapmayı imkansız hale getirmektedir.Eğer bu durum oluşursa seramik çamur ıskartaya çıkarılmalı ve yeni seramik çamur hazırlanmalıdır. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Kabuk kalıp yapımında bir sonraki operasyon ise oluşturulan katmanın kurutulmasıdır.Bu safhada bağlayıcının kendini çekmesi kurutulmuş katmanın yapısı üzerinde önemli bir etkisi vardır.Süzme ve kurutulmayla beraber bağlayıcının kendini çekmesi katmanda gerilimler oluşturur ve bu da çatlamalara yol açar.Stukonun kullanılmasının bir amacı da mikroskopik bir skalada çatlamları dağıtmasıdır.Çünkü çatlamların oluşması kalın parçacıklar arasında sınırlandırılacaktır.Eğer modelin keskin köşelerinde çamurun lokal kalınlığı fazlaysa veya burada kötü süzmeye bağlı damlama varsa , bu durumda çatlama mikro düzeyde değil , makro düzeyde olacaktır.Çünkü çatlamları dağıtacak stuko parçacıkları bu bölgede bulunmayacaktır. Bu durum pişirme safhasında , lokal olarak kalın çamurlu bölgelerde kalıp yüzeyin pul pul dökülmesine ve sonuçta dökümde seramik tutumu denilen hataya yol açar.Bu tür kalıntıların oluşması pek olası olmamasına rağmen , yüksek metalürjik yapı isteyen dökümlerde önemi vardır.Kalıp katmanın kurutulmasıyla geniş bilgi Bölüm 6.2 'de verilmektedir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Birincil kat çamurun kendini çekmesi başka değişkenlerden de etkilenmektedir.Yaşlanmış bir çamur sadece stukolama problemleri oluşturmayıp taze çamura göre daha fazla kendini çekme problemleri oluşturmaktadır.Bunun sebebi jelleşme noktasında daha fazla su tutumudur. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Değişik kalınlıktaki katmanlar değişik tipte doldurucular kullanıldığı için çatlamaktadır. Tahmin edileceği üzere bu doldurucuların parçacık boyutları farklıdır.Bundan dolayı ,

birincil katın pul pul dökülmesi kullanılan doldurucuya bağlıdır. Değişik aralıklarda deneysel çamurlar bu fenomeni incelemek üzere üretilmiştir. Çalışmalarda silika konsantrasyonunun daha düşük olduğu zaman daha az çatlama oluşturduğu görülmektedir. Bunun sebebi kendini çekmesi için daha az malzemenin var olmasıdır. (Schiefelbein, 1987; Guerra, 1994; Beeley, 1995)

Kuruma ideal olarak , rutubet ve sıcaklığın sabit olduğu şartlarda gerçekleştirilmelidir. Böylece bütün prosesin mümkün mertebe bir kalıptan diğer kalıba kadar sabit olması sağlanır. Bazı durumlarda iki adet birincil kat uygulanır. Fakat bu durumda kötü yüzey kalitesine sahip döküm engellenirken , gaz boşluğu veya eksik doldurma döküm hataları olasılığı artar. (Schiefelbein, 1987; Guerra, 1994; Beeley, 1995)

Birincil katın kuruma zamanı bir veya iki saat arasında değişmektedir ve bu periyodun aşılması tavsiye edilmektedir. Birincil kat , mumu genişletir ve buzecek sıcaklık dalgalanmalarına karşın ince bir izoleli engel oluşturmaktadır. Ard arda ikincil katların uygulanmasıyla , artan izole sistemi dış sıcaklığın değişimleriyle ilişkili olan kalıp çatlaması ihtimalini düşürmektedir. (Schiefelbein, 1987; Guerra, 1994; Beeley, 1995)

İkincil katların birincil katlara göre daha değişik fonksiyonları vardır. Bu yüzden kullanılan malzeme tipleri doğrudan ergimiş metal ile temas eden birincil katlara göre farklı olmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklardaki ve daha uzun periyotlardaki kalıbın boyutsal kararlılığının sağlanması için , direkt katılasmada özel formülasyonlar uygulanmaktadır. (Schiefelbein, 1987; Guerra, 1994; Beeley, 1995)

Genelde , ikincil katlar için çamurlar kurumayı kolaylaştırmak bakımından daha seyrek olabilmektedir. Bilindiği üzere ikincil katlarda penetrasyon problemi oluşmamaktadır. Hızlı kabuk kalınlığını oluşturmak üzere daha kaba taneli stukolar kullanılabilir. İlk ikinci kat için , yapraklanmayı önlemek üzere orta – boyutlu stukolar kullanılabilir. (Schiefelbein, 1987; Guerra, 1994; Beeley, 1995)

Robot kontrollü kaplama ikincil katlar için birçok avantajlar sağlayarak ideal bir proses haline getirmektedir. Otomasyonun sağlanmasıyla manuel olarak çalışmanın

dezavantajlarının üstesinden gelinmektedir.İyi bir kat elde edilmesi için farklı kalıp geometrilerine uygun özel programlar gerekmektedir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

Alkol bazlı çamurlarda hızlı katılaşma olmaktadır.Su bazlı çamurlar ise katlar arasında daha uzun kuruma periyotlarına ihtiyaç duymaktadır.Su bazlı çamurlarda kurutmayı hızlandırmak üzere rutubet düşürülür ve bunun yanısıra çeşitli tiplerde fanlar kullanılmaktadır. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994;Beeley,1995)

6.1 Kabuk Elemanları

İyi bir hassas döküm yapmak için uygun refrakter seçiminde kabuk kalıp ile ilgili çeşitli faktörler göz önüne alınmalıdır.Seramik çamurlar aktif bağlayıcılar taşıdıklarından , uygun çamur ömrünü sağlamak için ancak çok az refrakter yeterli kararlılığa sahiptir. Buna ek olarak ekonomiklik kadar refrakterin özellikleri de (termal genleşme , refrakterlik vs) dikkate alınmalıdır.(Schiefelbein,1987;Guerra,1994)

Kabuk kalıbın çamur bölümünü oluşturan iki ana bileşen bağlayıcı ve refrakter tozdur.Diğer bileşenler göreceli olarak çok küçük oranlarda vardır ve o kadar önemli etkileri yoktur.Bunun nedeni sadece seramik kabuk kararlılığını değil , bunun yanısıra toplam kabuk bütünlüğünü etkilemesidir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994)

Seramik kabuk oluşumu için dökümcülerin elinde kullanılmak üzere çok çeşitli malzeme türü vardır. Genelde , bu malzemelerin seçiminde yeşil mukavemet tek göz önüne alınan nokta değildir.Kişisel tercih , bulunabilirlik ve maliyet gibi diğer faktörler de bu kararı etkilemektedir.Diğer taraftan , en çok kullanılan malzemelerin uygun formülasyonu , kabuk kırılmasını engellemek üzere yeterli mukavemet sağlayan kabuklar elde edilebilmektedir.Bununla birlikte , bu malzemelerin yeşil mukavemet üzerinde farklı etkileri vardır.Örneğin ; etil silikat ve koloidal silika hassas döküm işleminde en çok iki bağlayıcıdır.Aynı refrakter sisteminde etil silikatla bağlanmış kabuklar , koloidal silika ile bağlanmış kabuklardan daha yüksek yeşil mukavemete sahiptir.Küçük parçacıklı koloidal silika ile bağlanmış kabuklar iri parçacıklı koloidal silikaya göre aynı refrakter sistemi içinde daha yüksek yeşil mukavemete sahiptir. (Schiefelbein,1987;Guerra,1994)

6.1.1 Stuko Bileşimi ve Gereklikleri

Kabuk oluşumu esnasında , stuko parçacık boyutları uygulanan ve birbirini izleyen katlar boyunca ince taneliden , kaba taneli aralığında değişir.Stuko bileşimi şu kriterler değerlendirilir : Yüksek sıcaklıkta kararlılık , termal genleşme , yoğunluk ,bulunabilirlik ve maliyet.İlk daldırma için ergimiş alaşımla tepkimeye girmemesi de önemli bir kriterdir.(Guerra,1998)

Kabuk oluşumu prosesinde stuko çeşitli fonksiyonları yerine getirir.Birincisi , ilk kat kurutulmasındaki hızın kontrol edilmesidir.(İlk ıslak daldırma katının stuko ile kaplanmasıyla buharlaşma hızı önemli ölçüde düşürülür.) Eğer bu çamura uygulanan sıvı çok çabuk buharlaşırsa , birincil kat çatlaması oluşabilir.İlk katta çatlamaların azaltılması çok önemlidir.Eğer ilk daldırmada bazı kısımlar parçalanırsa , bir kabuk kalıntısı veya kalıp/metal reaksiyonu oluşabilir.Sonuncusu sadece destek çamurlar veya stukolar döküm alaşımıyla reaktifse meydana gelir. (Guerra,1998)

Alümina yüksek saflık ve düşük gözeneklilik özelliğiyle ilk daldırmada en fazla tercih edilen stukodur.Düşük gözeneklilik seviyesi stukonun ilk katta çok fazla sıvı absorbe etmesini engeller.Aksi taktirde stuko nüfuz etmesi hatası oluşur.Bu hata nedeniyle döküm sonucunda pozitif metal olarak kendini gösterir , bu da aşırı çalışmaya neden olur.Gerçekte tüm refrakterler kuartz dışında stuko olarak kullanılabilirler.Kuartz ise göreceli olarak yüksek termal genleşmeye sahiptir.Kuartz çamur refrakteri olarak başarıyla kullanılabilir.Fakat kabuğun termal genleşmesini düşürmek için termal genleşmesi düşük malzemelerle birlikte kullanılmalıdır. (Guerra,1998)

En çok kullanılan stuko malzemeleri alüminosilikat ve tabular alüminadır.Yüksek – sıcaklık gerekliliğine bağlı olarak çeşitli alüminosilikat kullanılmaktadır. Bununla beraber , alümina , alüminosilikatlardan daha yoğundur ve bundan dolayı oluşacak kabuk daha ağır olacaktır.Bu geniş kabuklar daldırılırken önemli bir faktör olabilmektedir(Guerra,1998)

6.2 Kabuk Kurutulması

Bazı hassas dökümcüler , kabuk kalıpların kurutulması esnasındaki problemlerin farkında değildir. Ana parametre genellikle işlem zamanıdır. Kabuk kalıp kurutulma süresince ne olduğu ve kurutma zamanları hangi faktörlerin etkilediğini anlamak önemlidir.(Schiefelbein ,1987a ; 1987b)

Kabuk oluşumu prosesinde kullanılan malzemeler sıcaklık ve rutubet değişikliklerinden olumsuz yönde etkilenmezler . Bununla beraber mum modeller etkilenirler.Mum ısıtıldığında genişler ve soğutulduğunda kendini çeker .Katların kurutulması esnasında şu olaylar gerçekleşir: (Schiefelbein ,1987a ; 1987b)

1 . Mum model birinci kattan kaçarak ikinci çamurun ilk katta akmasına izin verir.İlk kabuk katmanı mum modelden saparak bir çarpılma olmasına neden olur.

2 . Mum model soğuma evresinde seramik katmanı çeker , fakat oda sıcaklığına döndüğünde genişler.Bu da kabuk kırılmasına veya çatlamasına yol açar.

Her iki durumda da , nihai dökümde seramik kalıntıların yanı sıra boyutsal hatalar oluşacaktır. (Schiefelbein ,1987a ; 1987b)

Bundan dolayı kabuk yapımı prosesinde , sıcaklık kontrol edilmesi gereken en önemli değişkendir.Daldırma odası sıcaklığının çok hassas kontrolü mümkün değildir , ancak birçok dökümhane için $\pm 3^{\circ}$ F uygun değerdir.Göreceli rutubet ikinci kontrol edilen değişkendir.İdeal rutubet seviyesi ise % 50'dir. (Schiefelbein ,1987a ; 1987b)

Uygun kabuk kürlemesi veya kurutulması maksimum kabuk mukavemeti oluşumunda son işlemdir.Kürleme veya kurutma mekanizması kullanılan bağlayıcıya dayanır.Koloidal silika bağlayıcıları ; su ve solvent , çözülebilen silikayı oluşturmak için buharlaştığında , geri dönülmez şekilde pelteleşir.Su buharlaştığında hem kabuğu hem de mum modeli soğutur. Soğuma derecesi buharlaşma hızına bağlıdır.Hızlı buharlaşmada daha büyük soğuma elde edilir. (Schiefelbein ,1987a ; 1987b)

6.3 Kabukların Fiziksel Özellikleri

Kabuğun ergimiş metalin dökülmesinde yeterli mukavemeti göstermesi en önemli gerekliliktir. Kabuk malzemesi seçiminde başka parametreler de vardır. Örneğin , silika bağlayıcılar (koloidal silika ve etil silikat) kabuk yapımında çok yaygın olarak kullanılırlar , çünkü çok kararlı çamurlar ve güçlü bağlar oluştururlar. Fakat 1593°C (2900°F) altında sıcaklıklarla sınırlandırılmışlardır. Bağlayıcılar gibi refrakterler de kabuk özelliklerini çok etkilerler ve dikkatlice seçilmelidirler. Bir kabuk sistemi dizayn edilirken dört önemli faktör incelenmelidir: termal genleşme , termal iletkenlik , refrakterlik ve toplam kabuğun mukavemeti . (Guerra,1998)

6.3.1 Termal Genleşme

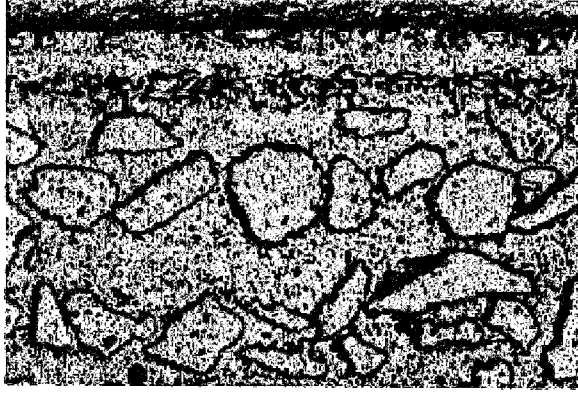
Kabuk sisteminin toplam termal genleşmesi çok önemlidir. Mum modeller tasarlandığında , dökümün boyutsal kontrolü için kabuğun arzu edilen sıcaklıklardaki genleşmesi dikkate alınmalıdır. (Guerra,1998)

Alümina yüksek termal genleşmeye sahiptir ve zirkon , fused SiO_2 ve alümino silikat gibi genleşmesi doğrusaldır. Doğrusal genleşme yakılda kabuğun çatlamasını minimize edeceğinden çok önemlidir. (Guerra,1998)

6.3.2 Termal İletkenlik

Hesaplanmış değerler gerçek gerçek termal iletkenlik değerlerini vermemektedir , çünkü kabuk homojen bir maddeden öte kompoze ve katmanlı bir yapı özelliği göstermektedir. (Şekil 6.1) Alüminanın termal iletkenliği metallere göre çok düşüktür , fakat göreceli olarak hassas dökümde kullanılan diğer refrakterlere göre yüksektir. Alüminanın yüksek iletkenliği katılaşma sırasında hızlı soğumayı destekler ve daha ince taneli alaşım boyutu sağlar , böylece düşük ve orta – sıcaklık mekanik özelliklerini geliştirir (Guerra,1998)

Katılaşma hızı hem döküm sağlamlığı (mikro – kendini çekme gözeneklerini engelleme) hem de optimum mikro – yapının oluşumu için gereklidir. Bu kontrole ulaşmak için , kalıbın bir kısmı veya tamamının izole edilmesi gereklidir. Böylece ısı kaçışı hızı ayarlanır. İzolasyon malzeme fibrous alüminosilikattan oluşan düşük – yoğunluk örtüsüdür. (Guerra,1998)



Şekil 6.1 Dört kattan oluşmuş bir kabuğun kesit resmi(Guerra,1998)

6.3.3 Refrakterlik

Refrakterlik döküm işlemi esnasında kabuğun termal gerilimlere karşı koyma yeteneği olarak tanımlanabilir. Bu kabuk özelliklerinin en önemlisidir. Hassas dökümde kullanılan tüm malzemelerin içersinde , yüksek – sıcaklık uygulamaları için en iyi tercih alüminadır. Zirkonun alüminadan daha yüksek ergime noktasına sahip olmasına karşın 1650°C sıcaklıkların üzerinde dissosiyasyon olur. (Guerra,1998)

Normalde alümina, zirkon gibi refrakterler birçok uygulanma için rahatlıkla kullanılabilir. Doğrudan katılaştırmada ve tek – kristallide gereken kabuk sıcaklıkları daha fazladır. Kabuk 1370°C 'nin üstünde boyutsal olarak kararlı olmalıdır. Alümina , normal kabuk sıcaklıklarında düşük sinterleme hızına sahip olduğundan en çok tercih edilen kabuk – refrakter malzemesidir(Guerra,1998)

6.3.4 Kabuk Mukavemeti

Kabuk mukavemeti hassas dökümde önemli bir parametredir. Yeterli mukavemet ergimiş metali taşımak için gereklidir , fakat çok fazlası zararlı olabilir. Bu yüzden sıcak mukavemet bilinmelidir. (Guerra,1998)

Bir döküm hatası olan sıcak yırtılma bu gereğinden fazla kabuk mukavemeti ile genelde ilgilidir. Sıcak yırtılma soğuma sırasında katılaşıp yapının büzülmesinin engellenmesi sonucunda ortaya çıkar. Sıcak yırtılma normal olarak alaşım segregasyonuna , aşırı kalıp soğuma hızlarına veya geometriye bağlı olarak gelişir. Kabuk mukavemetiyle ilgili daha fazla bilgi bölüm 7'de verilmektedir. (Guerra,1998)

6.4 Kabuk Çatlamasının Önlenmesi

Her dökümhanede kabuk çatlama problemi vardır.Önemli bir sorun teşkil etmemesi için kabuk çatlama kontrolü öğrenilmelidir.Kabuk çatlama gerilimin bir sonucudur.Gerilimler şu faktörlerle ilişkilidir (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

- 1 . Kullanılan mum veya model malzemesinin özellikleri
- 2 . Model geometrisi ve oryantasyonu
- 3 . Kabuk formülasyonu , kontrolü ve işlemi
- 4 . Mum boşaltma işlemi
- 5 . Kalıbın ele alınması

Mum boşaltımı sırasında , mumun ısıtılması sürecinde , mum tarafından oluşturulan gerilimler kabuk çatlama büyük etkindir.Mum gerçek katı değildir ve oda sıcaklığında süper – soğutulmuş sıvı olarak davranır. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Mum ısıtıldığı zaman genişir.Akışkan hale gelir ve akmaya başlar. Mum ölçüsel olarak kararlı haliyle , akabilir hali arasında geçiş sıcaklığında genişir. Bu genişleme çatlama yol açan gerilimi oluşturur. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Gerilim çatlakları kabuk oluşumu işleminde de meydana gelebilir. Bununla birlikte , kabuk çatlama engellenmesinde çamurun , stikonun ve işlemin de rolü vardır. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Mumun boşaltılması aşamasında seramik kabuk , ısıtma dolayısıyla genişen mumun basınca dayanmalı , aynı zamanda sertliğini de kabuk oluşturma safhasında korumalıdır.Bu özelliklerinin sağlanması mekanik özelliklerine bağlıdır (yeşil mukavemet) . Yeşil mukavemet , kabuğu oluşturmak için kullanılan malzemelerin bir fonksiyonudur.Bu nasıl bir bileşim yapıldığına ve hangi prosesin kabuk oluşumu için kullanıldığına bağlıdır. Pişirilmiş mukavemet , geçirgenlik de ayrıca önemlidir ve yeşil mukavemeti etkilediği sürece göz ardı edilmemelidir. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Seramik çamurun toplam kararlılığı kabuğun ilgili problemlerini minimize etmek için çok kritiktir.Toz , bağlayıcıya katıldığında sistem yavaşça kararsız hale gelmeye başlar.Bazı durumlarda bu çok hızlı oluşur.Kullanılan tozun yüzey alanı ve parçacık boyutu çamur

kararlılığında büyük etkisi vardır.Özellikle birincil çamurda tozun saflığının sınırlandırılmasına dikkat edilmelidir. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Bağlayıcı zamanla tozdaki çözülebilir malzemeleri süzer ve bu elementlerden bazıları bağlayıcıyı kararsız hale getirebilir.Buna ek olarak , bazı baz refrakterlerinin kendileri çözülebilir özelliğe sahiptir ve bundan dolayı kararlılık problemlerine yol açmaktadır.Bu alümina tozunda sık sık karşılaşılan bir problemidir. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Refrakter tipi ve stukonun boyutu yeşil mukavemet üzerinde etkilidir , fakat bu etki daha önce değinilen problemlerle karşılaştırıldığında oldukça önemsiz bir etkidir. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Etil silika kabuk sistemleri jelleşebilir veya havada kurutulabilir.Her çamur katmanının daldırmadan 1 – 1.5 saate kadar jelleşme yeteneği etil silikat için bir avantaj olmaktadır.Özel kurutma şartları dışında koloidal silika daldırmalar arası 3 saatten 8 saate kadar kurutulmalıdır. Bu süre parça boyutu ve konfigürasyona göre daha uzun olabilmektedir. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Etil silikattan farklı olarak , koloidal silika güçlü baz veya asit tarafından pelteleştiğinde , oluşan bağlar çok zayıftır.Bunun sebebi koloidal silika bağlarının kuruma aşamasında ayrık parçacıkların bölgesel bağlanmalarıdır.Etil silikat temel olarak değişen uzunlukta silika zincirlerinden oluşmaktadır.Bu yapı pelteleşmesinin tahmini bir nedenidir. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

Çoğu durumda , koloidal silikanın yeşil mukavemeti , kabuk oluşum operasyonunda minimum kırılma dayanımını karşılayamamaktadır veya mumun boşaltılmasında kırılmayı engelleyememektedir.Bunun bir çözümü sisteme ortak bağlayıcı olarak polimerlerin katılmasıdır.Bazı PVA ve metilselüloz kullanılmasına karşılık , günümüzde lateks polimerleri daha çok tercih edilmektedir. (Guerra,1994 ; Lanham,1995)

7. KABUK MUKAVEMETİNE VE KALINLIĞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kabuk mukavemetin incelendiği üç alan vardır (Guerra 1994,1998)

- 1) Yeşil mukavemet veya ısıtma işlem öncesi mukavemet (otoklav veya pişirme)
- 2) Sıcak mukavemet veya döküm esnasındaki mukavemet
- 3) Pişirilmiş mukavemet veya soğutma sonrası mukavemet

Bir çok alaşım döküldüğünden , belirli bir kabuk için mukavemet gereksinimleri oldukça farklı olabilmektedir.(Guerra 1994,1998)

Yeşil mukavemet mum model atılımında kabuğun çatlamaya karşı gösterdiği bir direncin bir işaretidir.Kurumuş seramik kabuk çok az elastisiteye sahiptir ve mum boşaltma işleminde kabuktan daha fazla genleşmeye uğrar.Eğer kabuk mum ergimesinden önce bu gerilime karşı koyacak yeterli mukavemette değilse kabuk çatlaması oluşur.Küçük çatlaklar seramik yama malzemesi ile onarılabilir.Genellikle alüminosilikat harç benzeri malzemedir , fakat şiddetli çatlamalar kabuğun ısı kartaya çıkmasına neden olur. (Guerra 1994,1998)

Kabuk mukavemeti hassas dökümde önemli bir parametredir.Yeterli mukavemet ergimiş metali taşımak için gereklidir , fakat çok fazlası zararlı olabilir. Bu yüzden sıcak mukavemet bilinmelidir. (Guerra 1994,1998)

Bir döküm hatası olan sıcak yırtılma bu gereğinden fazla kabuk mukavemeti ile genelde ilgilidir.Sıcak yırtılma soğuma sırasında katılaşılan yapının büzülmesinin engellenmesi sonucunda ortaya çıkar.Sıcak yırtılma normal olarak alaşım segregasyonuna , aşırı kalıp soğuma hızlarına veya geometriye bağlı olarak gelişir. (Guerra 1994,1998)

Belirli bir sistem için , pişirilmiş mukavemet refrakter toz , bağlayıcı türü , pişirme zamanı ve sıcaklığın bir fonksiyonudur.Sisteme bağlı olarak , yüksek pişirme sıcaklıklarında , daha mukavemetli kabuklar oluşur.Fakat belirli bir sıcaklığın üstünde , kabuk mukavemeti düşer.Yüksek ergime sıcaklığı ve kimyasal kararlılığından dolayı , yüksek alümina – kabuk sistemleri 1315⁰ C'nin üstündeki yüksek sıcaklıklarda , diğer kabuk sistemlerine göre daha yüksek mukavemete sahiptir. (Guerra 1994,1998)

Kabuk mukavemetini ve kalınlığını en genel anlamda seramik çamur viskozitesi , bileşimi ve prosesteki daldırma sayısı ile kurutma zamanı etkilemektedir.Bu bölümde bu faktörler incelenmiştir .

7.1 Seramik Çamur Viskozitesi

Seramik çamuru , dolayısıyla kabukların karakteristiklerini kontrol etmek için dökümhaneler tarafından kullanılan yöntemlerden biri viskozitedir.Çamur viskozitesi ile mukavemet , kalınlık ve geçirgenlik gibi kabuk özellikleri arasında önemli ilişkiler vardır.(Schiefelbein ,1991;Guerra ,1994)

Akış bilimi maddenin sıvı haldeki davranışdır.Viskozite akış bilimini incelemek ve kontrol etmenin bir yoludur.Dave Di Corpo viskozitenin nasıl ölçüldüğünü anlatmıştır.Viskozite çamurun iç sürtünmesinin bir ölçümüdür.Seramik çamurun nasıl aktığını, bazı durumlarda mum model üzerinde ne kadar kalacağını ölçer ve bir tahminde bulunur. Süzmeden sonra modelde kalan çamur , seramik kalıp veya kabuk için bir temel oluşturur. (Schiefelbein ,1991;Guerra ,1994)

İkinci önemli çamur özelliği ise thixotropy'dir.Thixotropy değişen kayma koşullarında çamurun nasıl aktığını belirler.Bir thixotropik çamur kayma düştükçe daha viskozdur ve kalın bir film tabakası bırakır.Tabaka ağırlığının ölçülmesi thixotropy ve film kalınlığının direkt olmayan ölçümünün bir yoludur. (Schiefelbein ,1991;Guerra ,1994)

Seramik çamurun tabaka ağırlığı ile viskozitesinin ölçülmesi ve kontrolü robotların kabuk üretiminde kullanılmasından dolayı büyük bir önem kazanmıştır.Robotlar aynı hareketleri sürekli tekrarlarlar ve değişen çamur reolojisine göre değişiklikler gerçekleştiremezler.Bundan dolayı , kabuk üretiminde , çamur kontrolünün ek bir önemi vardır. (Schiefelbein ,1991;Guerra ,1994)

Seramik çamuru etkilemek için kullanılan tüm malzemeler akış bilimini etkilemektedir.Bunlar refrakterler , bağlayıcılar ve diğer katkılardır.Refrakterlerin sistem davranışı üzerinde çok büyük etkileri vardır , çünkü genellikle sistemin en büyük

bileşimidir.Ön kaplama çamurlarında kullanılan çamurlar şunlardır :
(Schiefelbein ,1991;Guerra ,1994)

Fused silika , Zirkon , Alümina silikat , alümina , Zirkonya ve Yttria

Refrakter özellikleri , morfolojisi (parçacık şekli) , parçacık boyutu ve dağılımın hepsi seramik çamur akış bilimini etkilemektedir. Bilindiği gibi , zirkon çamuruna göre fused silika birincil çamurları daha yavaş süzülmemekte ve istenen çamur seviyesine gelmektedir.

Fused silika ile zirkon çamurları arasındaki süzme zamanı farkı , refrakter yoğunluklarından ötürü değişmektedir.Yerçekimi zirkonun fused silikadan , modelden daha çabuk süzülmesine neden olur. (Schiefelbein ,1991;Guerra ,1994)

Sonuç olarak yapılan çalışmalarda şunlar bulunmuştur; (Schiefelbein ,1991;Guerra ,1994)

- Seramik çamurun viskozitesi arttıkça kabuk kalınlığı da artar.
- Büyük stuko boyutu daha kalın kabuk oluşumuna sebep olur.
- Yeşil MOR değerinde artan viskozite ile gözle görülür bir değişme olmamaktadır.
- Sıcak ve pişirilmiş MOR , yeşil MOR'a göre daha değişken olmaktadır

7.2 Kurutma zamanı ve Daldırma Sayısı

Seramik kabuğun ne zaman kuru olduğu , dökümcülerin karşı karşıya olduğu seramik kabuk modelin bulunuşundan beri bir soru olarak kalmıştır.Sözlüğe göre kuruluk ıslaklıktan mahrum ,yani ıslak veya rutubetli değil demektir.Yine de kabuğun ne zaman ıslaklıktan mahrum olduğu sorusunun cevabı her zaman açık değildir.(Guerra ,1991)

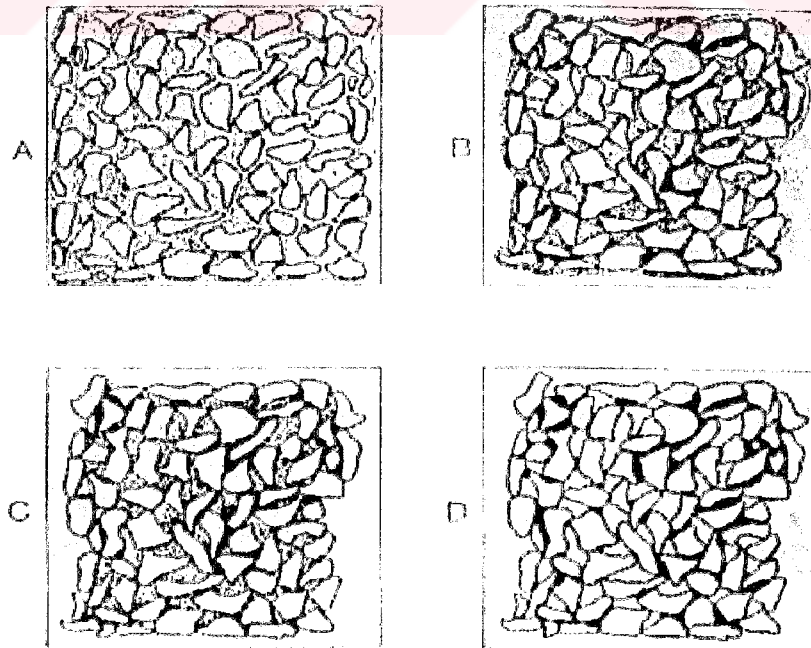
Kuruluğu belirlemek için uzun yıllar boyunca elektrik iletkenliği,mum modelin termodinamik araştırılması ve sıcaklığın kontrolu ve kalıbın ağırlığının ölçülmesi gibi değişik metodlar kullanılmıştır.Bu metodların çoğu doğru sonuç verir , fakat bir dökümhanede geçerli olan diğerine uygulanamayabilir. Daha birçok faktör gözönüne alınmalıdır.(oda büyüklüğü , bölüm konfigürasyonu gibi) (Guerra ,1991)

Kuruma konusu , uzun yıllardan beri birçok seramik yapının imalinde kritik olduğu için incelenmiştir.Yekpare seramik yapıların kontrollü bir şekilde nemi giderilmelidir. (Guerra ,1991)

Aksi takdirde şiddetli kırılma , eğrilme veya çarpılma oluşabilecektir.Daldırma işlemlerinin birbirini izlemesi , seramik çamurun ince ve geniş bir alana yayılması sayesinde kurutmada büyük bir esneklik sağlamaktadır.Ayrıca , stuko tabakası her daldırmada , çamurun neredeyse bütün yüzeyini kapatarak daldırma hızını yavaşlatmaktadır. (Guerra ,1991)

Bunların yanısıra , düşük dereceli nem ve/veya aşırı hava hareketi daha ilk daldırmalarda kırılmaya yol açmaktadır.Bunun bir nedeni de gereğinden fazla/aşırı süzmedir.Bununla beraber , çoğu kişi aşırı kurutmanın , süzme işleminin çok hızlı olması sonucu ortaya çıktığını düşünür.Ek olarak , katmanın kuru veya kuruya yakın olduğu bir durumda, büyük veya ani sıcaklık değişimi katmanı kırabilen bir mum genişlemesine neden olabilmektedir.Kuruma aşamalarının grafiksel görünümü Şekil 7.1’de verilmiştir. (Guerra ,1991)

Şekil 7.1. A bölümünde bir grup parçacığın büyük bir miktarda suyun içine yayıldığı gösterir ki bu salkım modelin daha henüz daldırılmış halidir.B bölümü suyun biraz atılmış halidir.Biraz kendini çekme meydana gelmiş ve birçok parçacık birbiriyle temas haline geçmiştir.C bölümünde , kurumadan ötürü kendine çekme durmuş ve bütün parçacıklar en azından bir parçacıkla temas halini almıştır.Bir takım su gözeneklerde ve birbiri ile parçacıklar arası temasta kalmıştır.Bölüm D’de suyun çoğu gitmiştir.Fiziksel olarak absorbe edilen su boyunca kılcal damarlarda biraz sıvı kalmıştır. (Guerra ,1991)



Şekil 7.1 Seramik Bir Bünyenin Kuruma Safhaları(Guerra ,1991)

Eğer kuruma hızı çok hızlı olursa seramikte gerilimler oluşur.Eğer bu gerilimler yeterli büyüklükte ise kırılmalar meydana gelir.Bazı durumlarda kırılmalar büyük zarar vermeyebilir , fakat çoğunlukla zarar verir.(bükülme,çarpılma,dağılma) Salkımın daldırılmasından uzun bir süre sonra zarar oluşuyorsa , gereğinden fazla süzmek genellikle buna sebep olarak gösterilir.Bununla beraber , süzülmüş salkım yeni gerilimlere maruz kalmasa bile , yüksek süzme hızından dolayı oluşan kalıntı gerilimler neredeyse karşımıza bir problem olarak çıkmaktadır. (Guerra ,1991)

Uzun zamandan beri bilinmektedir ki koloidal silika bağlayıcılar ;kuvvetli asitler , bazlar veya tuzlar ile birlikte pelteleştirildiği zaman kuvvetli bağlar oluşturamamaktadır.Bağlayıcı , kurumayla optimum bağlama mukavemeti göstermelidir.Eğer koloidal silikanın tamamıyla yerleşmesi sağlanmazsa mukavemette belirli bir kayıp oluşmaktadır. Bu kaybın miktarı , seramik tekrar daldırıldığında ne kadar nemin geriye kaldığına bağlıdır. (Guerra ,1991)

Eğer daldırmalar arası yeterli kuruma zamanları sağlanırsa kabuklar maksimum mukavemete ulaşırlar.Aksine yetersiz kuruma zamanları verilirse toplam kuruma zamanı artırılsa bile kabuklar tam kuru olmadığından mukavemet düşük olur.Bunun ana nedeni oluşan eksik bağ kuvvetleridir. (Guerra ,1991)

Ayrıca şu da gözönüne alınmalıdır ki başarılı daldırmalarda katlar arası verilmesi gereken kuruma süreleri de uzamaktadır . Çok uzun kurutma zamanları mukavemeti değil , otoklavda kırılma olasılığını azaltır . Bu uzun süre bir zaman kaybı değildir. (Guerra ,1991)

Tahmin edileceği üzere eğer daldırmalar arası yeterli kuruma zamanı verilirse daldırma sayısı arttıkça kabuk kalınlığında artmaktadır . (Guerra ,1991)

7.3 Bağlayıcı ve Refrakter Özellikleri

Pişırmenden önce , kabuk mukavemeti daha çok bağlayıcı silika karakteristiğine bağlı ve bağ yapmış parçacıkların kimyasal kompozisyonundan bağımsız haldedir.Genel olarak pişirilmemiş kabuğun mukavemeti aşağıdaki parametrelerin bir fonksiyonudur (Guerra ,1991)

- Seramik çamur içersindeki bağlayıcı silika miktarı
- Bağlayıcı silika bileşiminin alkali içeriği

■ Bağlı parçacıkların yüzey alanı

Pişırmadan sonra , kabuk mukavemeti bağlı parçacıklarının refrakterliğine ve bağlayıcı bileşimine büyük oranda bağlıdır.Genelde , pişirilmiş kabuğun mukavemeti aşağıdaki parametrelerin bir fonksiyonudur : (Guerra ,1991)

- Pişirme zamanı ve sıcaklık
- Bağlı parçacıkların refrakterliği
- Bağlayıcının sodyum içeriği
- Bağlayıcının jelleşme konsantrasyonu

Robert standart teknikler kullanarak 120 mesh fused silika çamurunu test etmiştir.Bu deneyde geniş bir konsantrasyon aralığında 7 , 13 ve 22 milimikron parçacık boyutunda koloidal silika çamuru kullanılmıştır .Bu test sonucunda bazı bulgulara erişmiştir. (Guerra ,1991)

Rusher'ın bulguları da Robert'in bulgularını desteklemektedir.Her iki durumda da bağlayıcı konsantrasyonu arttıkça mukavemet de artmakta ve maksimum değere ulaştıktan sonra düşmektedir . (Guerra ,1991)

Bu fenomen , kurutma süreci gözle canlandırılarak açıklanması mümkündür.Islak çamur katmanı kurumasiyla , hacmi azalır ve refrakter zerrecikleri birbirlerine iyice yaklaşırlar.Daha sonra birbirlerine değerler ve kendini çekmeye devam edemezler. Eğer koloidal silika miktarı yeteri kadar pelteyse , zerrecik temas noktalarında maksimum mukavemeti sağlar ve katsayı en yüksek değerine ulaşır.Eğer bağlayıcı miktarı az ise , bazı zerrecik temas noktaları yapı olarak zayıf kalır ve bu da mukavemette düşüşe yol açar. Eğer koloidal silika konsantrasyonu artarsa , koloidal silika bütün zerreciklerin temas kurmasından önce pelteleşir ve sonuçta bazı zerrecikler silika peltesi ile birbirinden ayrılmış durumda olurlar . Silika peltenin ileri kurutma aşamasında bu silika pelte kırılır , çatlar ve daha zayıf bir yapı oluşturur. (Guerra ,1991)

Sonuçlar ayrıca, daha büyük yeşil mukavemetin daha küçük parçacıklı koloidal çözelti ile elde edildiğini göstermektedir. Bu nedenle , koloidal silikanın küçük parçacık boyutu ve

optimum konsantrasyona getirilmesi sadece maksimum mukavemet için değil , aynı zamanda daha ekonomik olmasını etkilemektedir. (Guerra ,1991)

Maksimum pişirilmiş mukavemete ulaşmak için aynı eğilimler uygulandığında , yeşil mukavemetten farklı olarak , maksimum değer daha düşük silika konsantrasyonlarında oluşmaktadır.Diğer taraftan, maksimum mukavemetin artan parçacık boyutuyla birlikte arttığı açıkça görülmektedir.Bunun nedeninin , azalan sodyum miktarının büyük parçacıklı koloidal çözeltisini stabilize ettiği düşünülmektedir.Sodyum silikanın kristalleşmesini kolaylaştırır ve dolayısıyla yapının zayıflamasına neden olur. (Guerra ,1991)

Çalışmalarda karıştırılmış zerrecik sistemi incelenmiş ve 120 mesh fused silika çamuru ile karşılaştırılmıştır. Karışık zerrecik sistemlerinin kullanılmasının nedeni daha yoğun paketlenmiş bir yapı elde etmektir. Küçük zerrecikler daha büyük zerreciklerin arasındaki gözenekleri doldurmaya yardım etmekte ve böylece daha yoğun ve güçlü nihai yapı elde edilmesini sağlamaktadır. (Guerra ,1991)

Her iki zerrecik sistemi için maksimum yeşil mukavemet %22 silika katılarında görülmektedir.Maksimum pişirilmiş mukavemet ise % 17 'lerde teşekkül etmiştir.Her iki zerrecik sistemi yaklaşık aynı kabuk kalınlığını vermiştir.Kabuk mukavemetinin bulunmasında kullanılan formülde , kabuk mukavemeti kabuk kalınlığının karesiyle doğru orantılı olduğundan , bu parametre en önemli faktör olarak ortaya çıkmaktadır. (Guerra ,1991)

$$\text{Kabuk mukavemeti} \approx \text{kırılma katsayısı} \times (\text{kabuk kalınlığı})^2 \quad (7.1)$$

Özet olarak ,

- Daha küçük koloidal silika bağlayıcı parçacık boyutuyla , herhangi parçacık ile maksimum mukavemete ulaşmak daha kolaydır. (Guerra ,1991)
- Küçük parçacık boyutlarındaki koloidal çözeltiler tam mukavemet için kullanılmamalı ancak kabuk mukavemetinin artırılması ve maksimum ekonomi için seyreltilmelidir. (Guerra ,1991)

- Karışık boyutlu zerreciğin kullanılması , tek boyutlu zerrecik çamuruyla karşılaştırıldığında eşdeğer kabuk oluşumu ile MOR değeri artmaktadır. (Guerra ,1991)

Stuko parçacık boyutu farklılıklarının da ,bağlayıcıların özelliklerinin etkisi olduğu gibi kabuk özellikleri üzerinde büyük etkisi vardır. İri taneli yerine ince taneli refrakter kullanmakla fused silika koloidal sistemlerde daha büyük MOR değerlerinin kullanılmasına neden olmaktadır. İri taneli stukolara göre ince taneli stukolar MOR değeri daha yüksek kabukların oluşmasına neden olmaktadır.(Feagin,1977 ; Guerra ,1998)

Stuko boyutu kabuk oluşturma hızını belirler .Eğer çok iri taneli stuko kullanılırsa , kabuğun kalınlığı hızla artar.Kabuğun mukavemetini düşürmeyecek şekilde büyük stuko boyutu kullanmak , kabuk kalınlığını oluşturmak için geçen zamanı azaltması nedeniyle bir avantajdır.Bazı dökümhaneler yüzde stukosu belli olmayan çamurlar kullanmaktadır.Bunun sonucunda kabuk kalınlığı hızlıca artar.Buna karşın toplam kalıp mukavemeti daha az çamur kullanıldığında azalmakta ve kabukta artan gözeneklilik oluşmaktadır.Stuko aynı zamanda pürüzlü bir yüzey oluşturmaktadır ve böylece kabuk oluşumu boyunca ard arda daldırmalar yapılmasında yüzey yapışkanlığa yardımcı olmaktadır. (Feagin,1977 ; Guerra ,1998)

8.DENEYSEL ÇALIŞMA

Bir önceki bölümde kabuk hassas döküm yönteminde kabuk kalıp kalınlığına ve mukavemetine etki eden faktörler teorik olarak incelenmiştir.Bu deneysel çalışma ile teoriyle pratığın ne denli örtüştüğünün saptanması amaçlanmıştır. Deneyi gerçekleştirmek için öncelikle hangi faktörlerin kontrol altına alınıp daha sonra yapılacak değişikliklerle sonuçlar üretilebilecek şekilde seçilmesi ve uygun bir prosedür hazırlanması öngörülmüştür. Gerek teorinin daha ayrıntılı olarak incelemesinin sağlanması , gerekse deney yapılacak fabrikanın imkanları kapsamında üretim faaliyetlerinin aksatılmaması bakımından seramik çamur viskozitesi , daldırma sayısı ve kurutma zamanı deneylerde kontrol faktörleri olarak ele alınmış ve incelenmiştir.Bu faktörlerin özellikleri gözönüne alınarak deney bölümleri viskozite deneyi, daldırma sayısı deneyi ve kurutma zamanı deneyi olarak isimlendirilmiş ve bunların kabuk kalıp mukavemetine ve kalınlığına etkisini incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışma genel olarak iki aşamadan oluşmaktadır : Birinci aşamada incelenen üç faktör için kabuklar oluşturulmuştur.Daha sonra ikinci aşamada ise bu kabukların kalınlıkları ve kırılmaları için gerekli olan yük değerleri tespit edilmiştir.Çalışmanın sonunda elde edilen değerler teorik değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar ortaya konmuştur.

8.1 Deney malzemesi

Bilindiği üzere kabuk hassas döküm yönteminde kabuk imali için önce model oluşturulmakta ve daha sonra model seramik çamurla kaplanarak kabuk meydana getirilmektedir.Bu bakımdan deney malzemesi olarak uygulanan proses gereği model ve seramik çamur olmak üzere iki malzeme türü vardır.

Bu deneyde model malzemesi olarak mum model malzemesi kullanılmıştır. Seramik çamur malzemesi ve bileşimi ise kullanılan iki çeşit tanka göre farklılık göstermektedir.Kurutma zamanı deneyi ve daldırma zamanı deneylerinde back up çamuru kullanılmıştır.Viskozite deneyinde ise birincil (primary) banyo iki adet numune için ve diğer iki numune için ise backup çamur kullanılmıştır . Sonuçta bu deneysel çalışmada iki farklı seramik çamur bileşimi kullanılmıştır.

8.1.1 Birincil(Primary)Banyo

Bu seramik çamur , bağlayıcı olarak koloidal silika ve refrakter toz olarak Zirkon tozu içermektedir. Koloidal silika ile -200 , -300 mesh aralığında öğütülmüş zirkon pudra 5/4 oranında karıştırılmıştır . Bu karışım dokuz saat döndürüldükten sonra 250cc köpük kesici ilave edilerek bir saat beklenmiştir.Malzeme on saatlik bir karıştırma sonucu kullanıma hazır hale gelmektedir.Bu şekilde birincil seramik çamur banyosu hazırlanır . Destek çamura göre viskozitesi daha yüksektir.Zahn kabı ölçümü sonucunda deneyde kullanılan seramik çamur viskozitesi 34 Zahn cup 4 'tür. Böylelikle birincil seramik çamurun backup seramik çamurundan daha yoğun olduğu anlaşılmaktadır.

8.1.2. Destek(Backup)Banyo

Bu seramik çamur , bağlayıcı olarak etil silikat ve refrakter olarak da zirkon tozu içermektedir.Bilindiği üzere backup olarak adlandırılan banyo çamuru kabuk üretiminde hız kazanmak için ikinci ve daha sonraki katların oluşturulmasında kullanılmaktadır .

Bu deneysel çalışmada sadece viskozitenin değişimini incelemek üzere numuneler arası seramik çamuru değiştirilmiştir . Kısaca özetlemek gerekirse , kurutma ve daldırma deneyleri için bütün katlarda back up çamur ; viskozite deneyi için ise farklı numuneler için farklı iki tür olan bu seramik çamurlar kullanılmıştır . Bunun sebebi , gerek üretimden farklı olarak endüstriyel bir çalışma yapılmaması , gerekse katlar arasındaki ilişkiyi az hatayla ve doğru olarak incelenmesi için bu yöntemin belirlenmesidir.

Backup banyo için viskozite değeri 13 Zahn cup4 olarak ölçülmüştür . Koloidal silika bağlayıcı ve -200 , -250 mesh aralığında öğütülmüş refrakter malzeme ¾ oranında karıştırılmıştır . Bu karışım on saat döndürüldükten sonra sonra 250cc köpük kesici ilave edilerek kullanıma hazır hale gelmiştir . Bu şekilde destek seramik çamur bileşimi hazırlanmıştır.

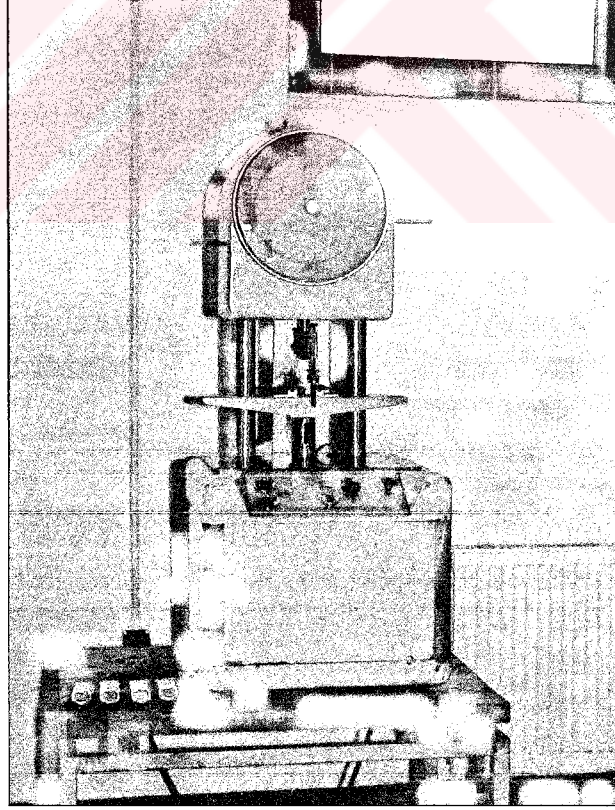
Destek çamur banyosu birincil seramik çamur bileşimine göre daha az yoğun ve daha fazla akıcıdır.Bu bakımdan , bağlayıcının bağlanma özelliklerindeki farkı ve model malzemesinin üzerine tutunmasının farkı nedenleriyle ilk katlar için birincil banyoya daldırmak gereklidir . Ancak deney çalışmasında kontrol altında tutulan faktörlerin incelenmesi için deneyin bu şekilde yapılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır . Çünkü kabuk oluşturdudan sonra döküm işlemi yapılmayacağı için iyi bir iç yüzey kalitesi elde

edilmesi zorunlu değildir.Bu yüzden deneysel çalışma açıkladığı şekilde gerçekleştirilmiştir.

8.2 Deneyde kullanılan makina ve donatılar

Deneyin kabuk kalıp oluşturulma safhasında çeşitli makinalar kullanılmıştır.Seramik çamurun hazırlanmasında karıştırma mikserleri ve ıslak katın refrakter toz olan stuko tozla kaplanmasında yağmurlama kabini kullanılmıştır.Mum boşaltımı için bir otoklav fırın kullanılmış ve öngörülen sıcaklık 120°C olarak alınmıştır . Daha sonra elde edilen kabukların dayanımını artırmak için bir pişirme fırınında sinterlenmiştir.

Deneyisel çalışmanın ikinci aşamasında kabukların mukavemetinin ölçülmesi için eğme deneyi cihazından yararlanılmıştır.(Şekil 8.1)



Şekil 8.1 Eğme cihazı

Kabukların kırma işi için beklenen ölçüm değerleri çok küçük olduklarından kapasitesi düşük olan bir makina seçilmiştir.

Deneyin birinci kısmı Sırmetal adlı hassas dökümle üretim yapan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Deneyin ikinci kısmı olan kabuk mukavemetlerinin ölçümü ise Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği bölümü ölçme laboratuvarında ve Çizelge 8.1’de özellikleri verilen eğme cihazı yardımıyla yapılmıştır.

Kabukların kalınlıklarının ölçümünde ise bir elektronik kumpas kullanılmıştır.

Deneyin birinci kısmında oluşturulan mum modeller bir enjeksiyon makinesi sayesinde elde edilmiştir. Daha sonra numuneler istenilen boyutlara kesici aletler kullanılarak getirilmiştir.

Çizelge 8.1 Eğme cihazı özellikleri

Üretildiği ülke	MACARİSTAN
Tipi	MH-1
Seri numarası	65/0,456
Klass numarası	AS-102
Çalıştığı Voltaj değeri	220V
Çalıştığı Frekans değeri	50 hertz
Gücü	180W
Maksimum kırma işi için kullanılan kuvvet miktarı	50Kp
Bir bölmedeki kuvvet değeri	0,2Kp

8.3 Deney şartları

Kabuk kalıbın oluşturulması safhasından otoklav fırına mum model ve kabuk malzemenin verilmesine kadar belirli çevresel şartların sağlanması gerekmektedir. Ortam sıcaklığının $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ de tutulması ideal sıcaklık şartı olarak kabul edilmektedir. Bu bakımdan üretim yerinde klimalar kullanılmaktadır .

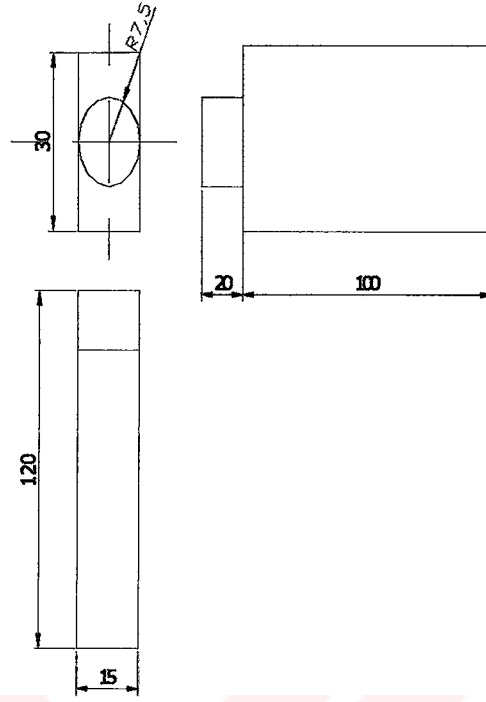
Bu şartın sağlanamaması durumunda yüksek kuruma hızlarında kabukta bağlar yeterince sağlam olamamaktadır . Bunun sonucunda mum modeli çevreleyen ıslak kabuk , otoklav fırınında oluşacak mumun genişleme etkisine bile karşı koyamayacak derecede zayıf olmasından dolayı çatlayabilmektedir.

Bu çevresel koşulu sağlayacak şekilde ortam rutubet derecesi de %50 civarlarında seçilmiştir.

Deneyin ikinci kısmı olan kabukların mukavemetlerinin ölçülmesinde ise bu çevresel şartlar aranmamaktadır . Çünkü otoklavdan geçirilen ve daha sonra da sinterlenen kabuklar artık istenen mukavemet değerlerine ulaşmaktadırlar . Bununla birlikte kabukların ölçümleri yapılırken çok hassas davranılmış ve üretim merkezinden ölçüm laboratuvarına ulaştırılmasında kabukların dış etkenler sonucunda kırılmaması için bazı önlemler alınmıştır .

8.4 Numune Hazırlama

Numune hazırlanmasında ilk aşama olarak mum modeller oluşturulmuştur . Mum modellerin hazırlanmasında fabrikanın mevcut olanaklarından yararlanılmıştır . Bu bakımdan 300 mm uzunluğunda , 30 mm genişliğinde ve 15 mm derinliğinde olan dikdörtgenler prizması şeklinde olan ve üretimde yolluk olarak kullanılan mum malzemeler ; kesici aletlerle uzunluk olarak üç eşit parçaya ayrılarak istenilen mum modeller elde edilmiştir . Bu mum modellerden belirtilen yöntemle 14 adet elde edilmiştir . Daha sonra üretim artığı olan silindirik malzemeler yolluk olarak mum modellere monte edilmiştir. Şekil 8.2 'te bu montajın teknik resmi gösterilmektedir.



Şekil 8.2 Yolluğu ile birlikte mum model

Şekil 8.3 ve şekil 8.4 te ise montaj işlemi tamamlandığında daldırılmak üzere hazır olan yolluklu mum modeller fotoğraflandırılmıştır.



Şekil 8.3 Yolluklarıyla beraber mum modeller



Şekil 8.4 Mum modellerin önden görünüşü

Daha sonra deneyin birinci aşaması gerçekleştirilerek kabuklar oluşturulmuş ve toplam 14 adet numune elde edilmiştir.

8.5. Deneyin Yapılışı

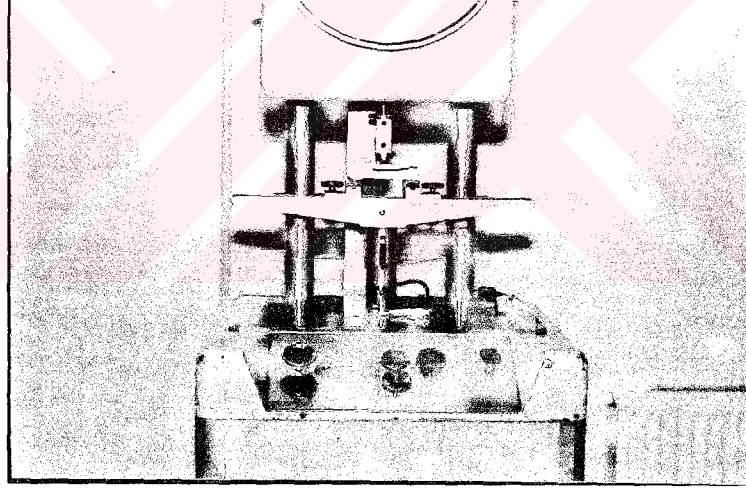
Mum modeller hazırlandıktan sonra kurutma zamanı , daldırma sayısı ve viskozitenin kabuk kalınlığına ve mukavemetine etkisinin incelenmesi amacıyla 3 değişik deneysel çalışma yapılmıştır . Birinci aşamada yapılan deneylerde daldırma sayısı ve viskozite sabit tutulmuş ve kurutma zamanları değiştirilerek numuneler hazırlanmıştır.(Şekil 8.5)



Şekil 8.5 Kurutma deneyi numuneleri

Birinci numune için daldırmalar arası kurutma zamanı 15 dakika ; ikinci numune için 30 dakika ; Üçüncü numune için 45 dakika ; dördüncü numune için 60 dakika ve beşinci numune için 1 saat 15 dakika olarak seçilmiştir. Daldırmalar arası her seferinde yağmurlama kabininde örnekler stukolanmıştır. Daha sonra yaş numunelerin , otoklav fırında mum alma işlemi ve sinterleme fırınlarında sinterleme işlemleri gerçekleştirilmiştir . Numunelerden birincisi , Şekil 8.6 'da gösterilen test cihazına yerleştirilirken kırılmıştır.

Daldırma sayısı deneyi için 5 adet numune hazırlanmıştır . Bu numunelerin hazırlanmasında daldırmalar arasında kurutma zamanı yarım saat olarak alınmıştır . Hassas döküm prosesi gereği katlar arası numuneler her seferinde refrakter tozla yağmurlama kabininde stukolanmıştır . Birinci daldırma sayısı numunesine altı kat ; ikincisine 7 kat ; üçüncüsüne 8 kat ; dördüncüsüne 9 kat ve beşincisine 10 kat uygulanmıştır.Aynı şekilde numunelerin mum alma ve sinterleme işlemleri yapılmıştır.



Şekil 8.6 Kuruma zamanı deneyi birinci numunesi

Daldırma deneyi numuneleri ait resim ise şekil 8.7 'te verilmiştir. Beş adet numune başarıyla oluşturulmuştur.



Şekil 8.7 Daldırma sayısı deneyi numuneleri

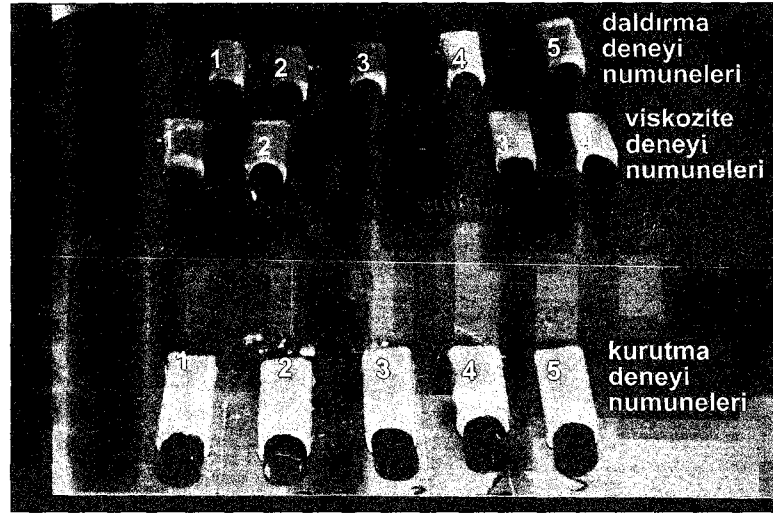
Beş numaralı numunenin homojen olmayan dış görünüşü üretim hatasından değil , başlangıçta elde edilen mum modeldeki geometrik farklılıktan kaynaklanmaktadır.

Viskozite deneyi için dört adet numune hazırlanmıştır . İlk iki numune destek seramik çamura , diğer iki numune birincil seramik çamura daldırılmıştır . Yine toplam altı kat uygulanmış ve katlar arası bekleme/kurutma süresi yarım saat olarak alınmıştır . Numunelerin mumları boşaltılmış ve sinterlenmiştir . Şekil 8.8 'te viskozite deneyi numuneleri görülmektedir.



Şekil 8.8 Viskozite deneyi numuneleri

Şekil 8.9’te ise 14 adet numune , mum modelleri ile birlikte görülmektedir .



Şekil 8.9 Deney numuneleri

Çizelge 8.2’de kurutma zamanı deneyi için , numunelerin daldırma aralarındaki bekletme/kurutma zamanları ; Çizelge 8.3’de daldırma sayısı deneyi için ve Çizelge 8.4 de viskozite deneyi için daldırma zamanları verilmiştir.

Çizelge 8.2 Kurutma zamanı deneyi daldırma zamanları

1 nolu numune	2 nolu numune	3 nolu numune	4 nolu numune	5 nolu numune
1 9:30	1 9:30	1 9:30	1 9:30	1 9:30
2 9:45	2 10:00	2 10:15	2 10:30	2 10:45
3 10:00	3 10:30	3 11:00	3 11:30	3 12:00
4 10:15	4 11:00	4 11:45	4 12:30	4 13:15
5 10:30	5 11:30	5 12:30	5 13:30	5 14:30
6 10:45	6 12:00	6 13:15	6 14:30	6 15:45
15 DAKİKA	30 DAKİKA	45 DAKİKA	60 DAKİKA	1 SAAT 15 DAKİKA

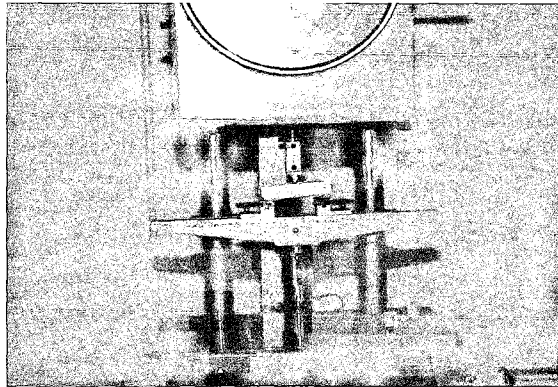
Çizelge 8.3 Daldırma sayısı deneyi (Daldırmalar arası kurutma zamanı 30 dakika)

I nolu numune	II nolu numune	III nolu numune	IV nolu numune	V nolu numune
1 9:30	1 9:30	1 9:30	1 9:30	1 9:30
2 10:00	2 10:00	2 10:00	2 10:00	2 10:00
3 10:30	3 10:30	3 10:30	3 10:30	3 10:30
4 11:00	4 11:00	4 11:00	4 11:00	4 11:00
5 11:30	5 11:30	5 11:30	5 11:30	5 11:30
6 12:00	6 12:00	6 12:00	6 12:00	6 12:00
	7 12:30	7 12:30	7 12:30	7 12:30
		8 13:00	8 13:00	8 13:00
			9 13:30	9 13:30
				10 14:00

Çizelge 8.4 Viskozite deneyi (Daldırmalar arası kurutma zamanı 30 dakika)

Bir nolu numune	İki nolu numune	Üç nolu numune	Dört nolu numune
1 9:30	1 9:30	1 9:30	1 9:30
2 10:00	2 10:00	2 10:00	2 10:00
3 10:30	3 10:30	3 10:30	3 10:30
4 11:00	4 11:00	4 11:00	4 11:00
5 12:00	5 12:00	5 12:00	5 12:00
6 13:00	6 13:00	6 13:00	6 13:00

Deneyin ikinci aşamasında elde edilen öndört adet kabuğun önce eğme deneyi yapılmış ve kabuklar eğme cihazında kırılarak kırma yükü değerleri kaydedilmiştir . Her kabuk kırılmasından sonra elektronik kumpas yardımıyla kabukların kalınlık değerleri ölçülmüştür . Elde edilen bu değerler bir tabloda biraraya getirilmiştir .



Şekil 8.10 Eğme cihazında numune mukavemet ölçümü

Kabukların mukavemeti ölçülmeden önce maksimum kırma yükü olan 50Kp arka kısmında dengeleme ağırlıklarının çıkarılmasıyla düşürülmüş ve eğme cihazının kalibrasyonu yeniden yapılmıştır . Böylelikle ölçme aralıkları düşürülerek daha hassas ölçme değerleri alınması sağlanmıştır .

8.6. Deney sonuçları

Kabuk hassas döküm yönteminde ; viskozitenin , daldırma sayısının ve kurutma zamanının

kabuk kalınlığı ve mukavemetine etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

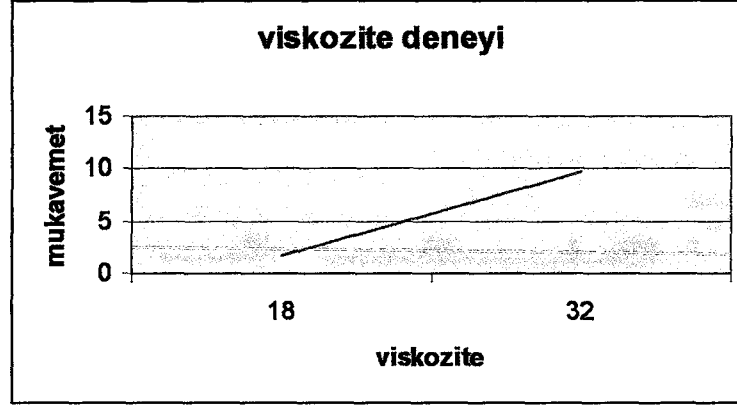
8.6.1 Viskozite deneyi

Kabuk kalıpları oluşturmak üzere değişik viskozitede hazırlanan çamurlara , mum modeller aynı sayıda daldırılarak numune kabuklar oluşturulmuştur . Viskozitesi yüksek olan birincil seramik çamura daldırılarak elde edilen numuneler , destek çamura daldırılarak elde edilen numunelerden daha yüksek mukavemet değerleri göstermişlerdir . Bunun nedeni , hazırlanan viskozitesi yüksek olan çamurun , mum modele yapışması ve katların birbirine iyi kaynamasından ve dolayısıyla daha tok bir yapı elde edilmesinden kaynaklanmaktadır . Bilindiği üzere katlar arasında oluşacak hatalar diğer katları da etkilemektedir . Kalınlıkları birbirine çok yakın kabuklarda dahi , yüksek viskozite nedeniyle mukavemet değerlerinde dokuz kata yakın bir fark görülebilmektedir.

Çizelge 8.5 Viskozite deneyi sonuçları

NUMUNE	YÜK(KP)	KALINLIK(mm)	DALDIRMA SAYISI	KURUMA ZAMANI	ÇAMUR TÜRÜ
A	1,1	2,63	6	30 dakika	destek
B	1,8	1,59	6	30 dakika	destek
C	9,7	2,61	6	30 dakika	birincil
D	5,2	2,21	6	30 dakika	birincil

Sonuçlar değerlendirilerek elde edilen viskoziteye karşı mukavemet grafiği şekil 8.11 'de ve viskoziteye karşı kalınlık değeri grafiği şekil 8.12 'de gösterilmiştir. Destek çamurun viskozitesi 13 Zahn cup 4 , birincil çamurun viskozitesi ise 32 Zahn cup 4'tür.



Şekil 8.11 Viskoziteye karşı mukavemet değeri grafiği



Şekil 8.12 Viskoziteye karşı kalınlık değeri grafiği

8.6.2 Daldırma sayısı deneyi

Viskozitesi sabit olan destek seramik çamura , numune mum modelin daldırma sayısı arttıkça kabuk kalınlığı da artmaktadır. Deneyde elde edilen değerler Çizelge 8.6 'de verilmiştir.

Çizelge 8.6 Daldırma sayısı deneyi değerleri

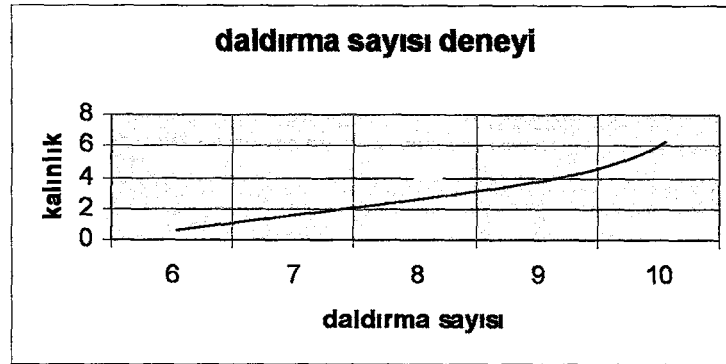
NUMUNE	YÜK(KP)	KALINLIK(mm)	DALDIRMA SAYISI	KURUTMA ZAMANI	ÇAMUR TÜRÜ
1	1	2,28	6	30 dakika	destek
2	0,8	2,30	7	30 dakika	destek
3	4	2,31	8	30 dakika	destek
4	3,6	2,33	9	30 dakika	destek
5	6	2,98	10	30 dakika	destek

Altı defa daldırma ile on defa daldırma arasında kabuk kalınlığı 0,70 mm fark etmektedir . Kabuğun mukavemet değerleri , daldırma sayısının artışıyla artmakta , ancak sapmalar da görülmektedir . Değerlerdeki sapmalar düşük viskoziteye karşın kurutma zamanının az olması nedeniyle kabuğun homojen olarak oluşamamasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 8.13 de daldırma sayısına karşı mukavemet değeri grafiği; şekil 8.14 de ise daldırma sayısına karşı kalınlık değeri grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 8.13 Daldırma sayısına karşı mukavemet değeri grafiği



Şekil 8.14 Daldırma sayısına karşı kalınlık değeri grafiği

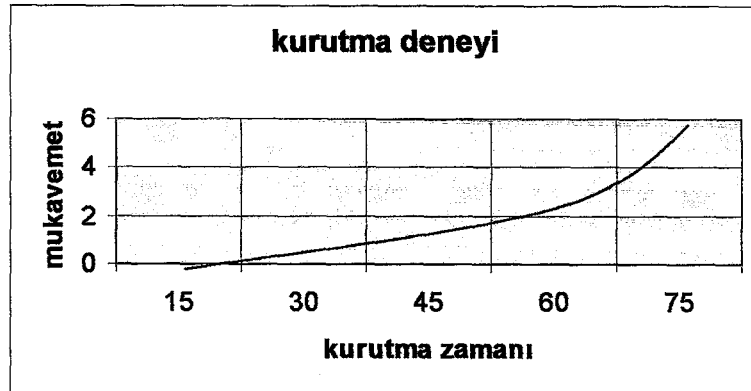
8.6.3 Kurutma zamanı deneyi

Çamurun viskozitesi ve daldırma sayısı sabit tutulup kurutma zamanı artırılarak deneyler yapılmıştır. Kurutma deneyi sonuçları Çizelge 8.7’te verilmiştir.

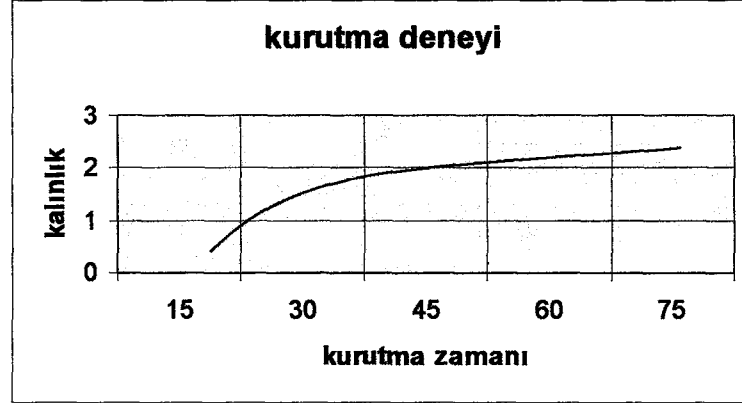
Çizelge 8.7 Kurutma deneyi değerleri

NUMUNE	YÜK(KP)	KALINLIK(mm)	DALDIRMA SAYISI	KURUTMA ZAMANI	ÇAMUR TÜRÜ
1	-	0,96	6	15 dakika	destek
2	1,5	2,04	6	30 dakika	destek
3	1,6	2,07	6	45 dakika	destek
4	1,8	2,03	6	60 dakika	destek
5	5,1	2,56	6	75 dakika	destek

Kurutma zamanı arttıkça kabuğun dayanımı da artmaktadır . 15 dakikalık kurutma zamanı çok yetersiz olduğundan , kabuk yeterli bir mukavemet kazanamamıştır ve ölçme deneyi laboratuvarına taşınırken çatlamış ve kırılmıştır . Optimum dayanım 45 dakikalık kurutma zamanında oluşmaktadır . Ayrıca kabuk kalınlığı , kurutma zamanı ile doğru orantılı olarak artmaktadır . Bunun nedeni kurutma zamanı artışıyla bağların da kuvvetlenmesi ve dolayısıyla daldırmalar sırasında katlar üzerinde malzeme kaybı olmamasıdır. Böylece daha homojen katlar elde edilmektedir . Bunlar da kabuk kalınlığını etkilemektedir. Şekil 8.15’de Kurutma zamanına karşı mukavemet grafiği , Şekil 8.16’de ise kurutma zamanına karşı kalınlık grafiği verilmiştir.



Şekil 8.15 Kurutma zamanına karşı mukavemet grafiği



Şekil 8.16 Kurutma zamanına karşı kalınlık değeri grafiği

8.7 Genel sonuç

Kabuk hassas döküm yönteminde kabuk kalıp kalınlığı , dökülecek parça büyüklüğüne bağlıdır . Dökülen parçalar büyüdükçe kabuk kalınlığının da artması gerekir . Diğer taraftan viskozite , daldırma sayısı ve kurutma zamanı gibi faktörler kabuk kalınlığını ve dolayısıyla kabuk mukavemetini etkilemektedirler .Bu faktörlerin etkileyiş yönlerini belirlemek amacıyla , yaptığım teorik ve pratik çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1-Viskozite arttıkça kabuk kalınlığı ve dayanıklılık artmaktadır . Yüksek mukavemete sahip büyük kalıpların imali gerektiğinde yüksek viskoziteye sahip seramik çamurlar kullanılmalıdır.

2-Daldırma sayısı arttıkça aynı şekilde kabuk kalınlığı ve dayanıklılık artmaktadır .

3-Kurutma zamanı da arttıkça kabuk kalınlığı ve buna bağlı olarak dayanıklılık artmaktadır . Deney sonuçları gözönüne alındığında optimum kurutma zamanı 45 dakika olması gerektiği değerlendirilmektedir .Daha mukavim kabuk kalıplara ihtiyaç duyulması durumunda bu sürenin arttırılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

Barkay Oral , (1995) , “Hassas Döküm Tekniği ve kullanılan Refrakter Malzemeler ” ,
Seminer Notları , Yıldız Teknik Üniversitesi , İstanbul

Beeley Peter , (1995) , Investment Casting , The Institute Of Metarial

Clegg A.J , (1962) , Precision Casting Process , Pergamon Press

C.Niles Jeffrey , (1995) , “ Enhanced Binder Systems For The Investment Casting
Industry “ , Remet Corporation , New York

C.Niles Jeffrey , (1997) , “ The Effect Of Particle Size Of Fused Silica Flour On Shell
Properties “ , 45. Investment Casting Institute Yıllık Teknik Toplantısı , Utica

Çiğdem Mustafa, (1996) , “İmal usulleri” , Çağlayan kitabevi , İSTANBUL

Fielder .H , (1997) , “ The Effect Of Fillers On The Physical Properties Of The
Investment Casting Waxes “ , Dussek Campbell Yates Ltd. , Crayford Kent , İngiltere

Fielder H. , (2000) , “ The Reclamation Of The Investment Casting Waxes “ , World
Conference , Monte Carlo

Feagin R.C , (1977) , “ The Influence Of Refractory Particle Size On Slurries And Shells”
 , 25. Investment Casting Institute Toplantısı , Denver Colorado Amerika

Feagin R.C , (1981) , “ Alumina And Zirconia Binders “ , 29. Investment Casting Institute
Toplantısı , New York

Guerra Manuel , (1991) , “ The Effect Of Dry Time On Shell Strength ” , AFS Meeting

Guerra Manuel , (1994) , “ Review Of Shell Components “ , Investment Casting Institute
Toplantısı , Atlanta Georgia

Guerra Manuel , (1998) , “ Refractories Used For Investment Casting Of High-
Temperature Alloys ” , Howmet Corporation Technical Center , Whitehall

G.Kovacs Julian , (1997) , “ Slurry Development And Control “ , Remet Corporation ,
Newyork

H.Matzek Charles , (1988) , “ Using Stucco More Effektivly “ , Precision Technology
Dergisi

H.Matzek Charles , (1997) , “Casting Of Reactive Alloys : An Update Of Current
Technology “ , Canon-Muskegon Teknoloji Konferansı , Paris

H.Matzek Charles , (2000) , “ The Effect Of Slurry Viscosity And Stucco Size On Shell
Properties ” , World Conference , Monte Carlo

Horton Robert , (1990) , Casting, ASM Handbook

L.Wood Rawson , (1952) , Investment Casting For Engineers , Waverly Press

R.Owens Theodore , (1987) , “ Proper Techniques To Be Followed In Preparing And Maintaining A Slurry “ , Remet Corporation , New York

Sönmez Hüseyin , (2003) , “ Döküm Teknolojisinde Gelişmeler” , Yüksek Lisans Ders Notları , Yıldız Teknik Üniversitesi , İstanbul

Serin Fatma , (2003) , “ Hassas Döküm Teknolojisi ”, T.M.M.O Seminer Notları , İstanbul

T.Bozzo Albert , (1989) , “ Surfactants , Wetting And Foams “ , 37. Investment Casting Institute Yıllık Teknik Toplantısı , New York

T.Bozzo Albert , (2001) , “ The Effect Of Polymer Selection And Level On Shell Properties “ , 49. Investment Casting Institute Yıllık Teknik Toplantısı , Orlando-Florida

T.Lanham Craig , (1992) , “Water Quality And Colloidal Silika Slurries “ , Remet Corporation , New York

T.Lanham Craig , (1994) , “ Enhanced Binders For The Production Of Ceramic Shells “ , Remet Corporation , New York

T.lanham Craig , (1995) , “ Avoid Shell Cracking By Controlling Your Process “ , Remet Corporation , New York

W.O Roberts , (1992) , “ Factors Affecting Shell Strength And The Effect Of Dry Time On Shell Strength ” , 22. EICF Conference , Paris

W.Schiefelbein Glenn , (1984) , “ The Ceramic Molding Process ” , Remet Corporation , New York

W. Schiefelbein Glenn , (1987a) , “ Ceramic Shell Production For Controlling Shell Cracking “ , Remet Corporation , New YORK

W. Schiefelbein Glenn , (1987b) , “ Collodial Silica In The Precision Casting Industry “ , Remet Corporation , New York

W. Schiefelbein Glenn , (1991) , “ Factors Effecting Slurry Rheology “ , Remet Corporation , Newyork

W. Schiefelbein Glenn , (1994) , “ Refractory Selection For Primary Shell Coat ” , Cannon Muskegon Metalurji Semineri , Michigan

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] - www.turkcam.net

[2]- www.dupont.com

[3]-www.eicf.org



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 06.06.1975

Doğum yeri Ankara

Lisans 1995-2000 Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Konstrüksiyon ve İmalat Dalı

Yüksek Lisans 2001-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
İmal usulleri Programı

Yabancı dil İngilizce

