

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

128766

**DEMİR DIŞI ALAŞIMLARIN DERECELİ HASSAS
DÖKÜMÜNDE KULLANILAN KALIP MALZEMELERİ**

Metalurji Mühendisi Bilge YAMAN

FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Prof. Dr. Nihat KINIKOĞLU

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL, 2002

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN
128766

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. DERECELİ HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ	2
2.1 Model Yapımı	5
2.2 Kauçuk Kalıp Yapımı	7
2.3 Mum Basımı ve Mum Ağacının Hazırlanması	9
2.3.1 Enjeksiyon Mumları.....	10
2.3.2 Modellerin Bir Araya Getirilmesi (Düzenlenmesi)	11
2.3.3 Mum Ağacının Hazırlanması	11
2.4 Dereceler	15
2.4.1 Kalıp Yapımı.....	16
2.4.2 Pişirme	18
2.5 Döküm	19
2.6 Döküm Hataları ve Kontrol Edilmesi	21
3. DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIP YAPIMI	23
3.1 Dereceli Hassas Döküm Kalıp Malzemeleri.....	23
3.1.1 Alçı.....	23
3.1.2 Silika	28
3.2 Bağlayıcılar	36
3.2.1 Etil Silikat	36
3.2.2 Fosfat Bağlayıcılar	38
3.3 Dereceli Hassas Döküm Kalıp Yapımı	41
4. KALIBIN KULLANIM ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	55
4.1 Yarı hidratin etkisi	55
4.2 Suyun Etkisi	56
4.2.2 Suyun Sıcaklığı	57
4.2.3 Su/Toz Oranı	57
4.3 Islatmanın Etkisi	59
4.4 Karıştırmanın Etkisi	60
4.4.1 Karıştırma Hızı.....	60
4.4.2 Karıştırma Zamanı	61
4.5 Kurutmanın Etkisi.....	63
5. ALÇI TESTLERİ	65
5.1 Alçı Donma Süresinin Saptanması	65
5.2 Alçının Doğrusal Genleşme Miktarının Saptanması	66
5.3 Yoğunluk, Porozite ve Kuru Mukavemet Testleri	67
5.3.1 Yoğunluk Ölçümü.....	68

5.3.2 Porozite Tayini.....	68
5.3.3 Kuru Mukavemet Testi	69
5.4 Pişmiş Numunede Yoğunluk ve Porozite Tayini.....	69
5.5 Döküm Parçaların Mekanik Özelliklerinin Tayini	70
5.5.1 Sertlik Ölçme	70
5.5.2 Çekme Deneyi	70
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	71
6.1 Kullanılan Kalıp Malzemeleri.....	71
6.2 Numune Hazırlama	71
6.2.1 Eğme Numuneleri	73
6.2.2 Basma Numuneleri.....	74
6.3 Numunelerin Mekanik Testleri	74
6.4 Döküm Deneyleri.....	74
6.5 Kalıp Numunelerinin Sıcaklıkla Boyutsal Değişiminin Dilatometre Testi ile İncelenmesi	77
7. DENEYSEL SONUÇLAR	78
7.1 Kalıp Malzemelerinin Mikroyapıları	78
7.2 Kalıpların Mekanik Özellikleri	80
7.3 Döküm Deneyleri Sonuçları	81
7.3.1 Çekme Deneyi Sonuçları	81
7.3.2 Yüzey Pürüzlülüğü Tayini	81
7.3.3 Yoğunluk Tayini	82
7.4 Kalıp Numunelerinin Sıcaklıkla Boyutsal Değişimi (Dilatometre Testi Sonuçları)	82
8. SONUÇLARIN İRDELENMESİ	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	90

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Dereceli kalıp yönteminin kaplama kademeleri.....	4
Şekil 2.2	Yüzüğe oranla çok küçük (a) ve orantılı besleme kanalı (b)	7
Şekil 2.3	Kalıbın ortasına yerleştirilen model	9
Şekil 2.4	Modelin kauçuk kalıptan çıkarılması	10
Şekil 2.5	Üç katmandan oluşmuş yatay zeminde düzenleme.....	11
Şekil 2.6	Farklı küçük parçalardan dizilerin üretilebilmesi için farklı şekillerin bir araya toplandığı küme yerleştirme	13
Şekil 2.7	Basit ve kalabalık olmayan spiral montajlı ağaç.....	14
Şekil 2.8	Döküm sisteminin önemli bir kısmını oluşturan, merkezi yolluk üzerine modelin kaynak edilme noktası	14
Şekil 2.9	Kümelerin titizlikle yakın yerleştirilmesine uygun bir yatay mandrel.....	15
Şekil 3.1	Silikanın polimorfik dönüşümleri	29
Şekil 3.2	SiO ₂ 'in sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları	30
Şekil 3.3	Silika mineralinin ısı genleşmesi	31
Şekil 3.4	Tipik dereceli hassas kalıp toz kompozisyonu.....	41
Şekil 3.5	Hassas tozların mikromorfolojisi	42
Şekil 3.6	Pişirme periyodu	46
Şekil 3.7	Hava sirkülasyonu ile kuvvetlendirilmiş kuru yöntemle mum giderme işleminden sonraki mikrokimyasal yüzey kompozisyonu	50
Şekil 3.8	Buharla mum giderme işleminden sonraki mikrokimyasal yüzey kompozisyonu ..	50
Şekil 3.9	Buharla mum giderme ve 600°C'de yakmadan sonra dereceli hassas kalıp yüzey mikromorfolojisi	51
Şekil 3.10	Kuru yöntemle mum giderme ve 600°C'de yakmadan sonra dereceli hassas kalıp yüzey mikromorfolojisi	51
Şekil 3.11	Buharla mum giderme ve 600 °C' de yakmadan sonra dereceli hassas kalıp yüzey iç mikromorfolojisi	52
Şekil 3.12	Toz üreticileri tarafından tavsiye edilen tipik yakma çevrimleri	53
Şekil 3.13	Yakma sıcaklığı ve süresinin kalsiyumsülfat termal ayrışma sıcaklığına etkisi	53
Şekil 4.1	Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi	55
Şekil 4.2	Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamana bağlı olarak akışkanlığın değişimi	56
Şekil 4.3	Su/toz oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı %donma genleşmesi ve %su emme kapasitesinin değişimi	58
Şekil 4.4	Karıştırma hızına bağlı olarak akışkanlığın ve mukavemetin değişimi	61
Şekil 4.5	Karıştırma zamanına bağlı olarak sırasıyla su emme hızı, priz başlangıç zamanı, kuru basma mukavemeti ve akışkanlığın değişimi	63
Şekil 4.6	Su/toz oranına bağlı olarak kurutma zamanının değişimi	64
Şekil 4.7	Nem miktarına bağlı olarak su emme hızının değişimi	64
Şekil 4.8	Nem miktarına bağlı olarak mukavemet değişimi	64
Şekil 5.1	Alçının doğrusal genleşme miktarını tayin için kullanılan kalıp	67
Şekil 5.2	Sertlik ölçme numunesi.....	70
Şekil 5.3	Çekme deney çubuğu	70
Şekil 6.1	Numunelerin pişirme periyodu	73
Şekil 6.2	Çekme Numunesi Boyutları	75
Şekil 6.3	Yoğunluk Ölçümü İçin Numune Boyutları.....	75
Şekil 6.4	Yüzey Düzgünlüğü Ölçümü Numune Boyutları.....	75
Şekil 6.5	Gümüş Alaşımından Dökülmüş Salkım ve Numuneler	76
Şekil 7.1	Bağlayıcı Olarak Kullanılan Jipsit Yüzey Görüntüsü.....	78

Şekil 7.2 Silika Refrakterlerin Ana Hammaddesi Olan Kuartz C ve Tane Boyutu Daha Küçük olan Kuartz F'nin Yüzey Görüntüsü.....	78
Şekil 7.3 Kristobalit C Yüzey Görüntüsü.....	79
Şekil 7.4 Kristobalit F Yüzey Görüntüsü	79
Şekil 7.5 Ticari Döküm Alçısı Yüzey Görüntüsü	80
Şekil 7.6 1 Nolu Kalıbın Sıcaklıkla Birlikte Gösterdiği Boyutsal Değişim.....	83
Şekil 7.7 2 Nolu Kalıbın Sıcaklıkla Birlikte Gösterdiği Boyutsal Değişim.....	83
Şekil 7.8 3 Nolu Kalıbın Sıcaklıkla Birlikte Gösterdiği Boyutsal Değişim.....	84
Şekil 7.9 4 Nolu Kalıbın Sıcaklıkla Birlikte Gösterdiği Boyutsal Değişim.....	84
Şekil 7.10 5 Nolu Kalıbın Sıcaklıkla Birlikte Gösterdiği Boyutsal Değişim.....	85



ÇİZELGE LİSTESİ	vi
Çizelge 2.1 Hassas döküm işlemlerinin genel sırası	5
Çizelge 3.1 α -yarı hidrat ve β -yarı hidrat formların tanımlanmasında kullanılabilir özellikler	28
Çizelge 3.2 Dereceli kalıp yapımı için toplam çalışma aşamaları ve süresi	44
Çizelge 3.3 CNR Araştırması:Kalsiyumsülfat ayrışma sıcaklığı.....	49
Çizelge 5.1 Alçı donma test sonuçları	66
Çizelge 6.1 Kullanılan tozların ortalama tane boyutları	71
Çizelge 6.2 Eğme,Basma ve Sertlik Deney Numune Bileşimleri.....	72
Çizelge 7.1 Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar	74
Çizelge 7.2 Farklı Kalıp Bileşenleri ile Yapılan Çekme Deneyi ve %Uzama.....	81
Çizelge 7.3 Farklı Kalıp Bileşenleri ile Yapılan Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.....	81
Çizelge 7.4 Değişik Kalıp Malzemeleri ile Dökülen %92,5 Ag-%7,5 Cu Alaşımının Yoğunluk Değerleri	82



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışması boyunca, değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyerek bana yol gösteren, karşılaştığım sorunları çözmeme sağlayan ve beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında bilgi birikimlerini benimle paylaştıkları için bütün öğretim üyelerine, manevi desteklerini hep yanımda hissettirdikleri arkadaşlarıma ve Deniz ERGEÇ'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir desteğini benden esirgemeyen, bugünlere gelmemi sağlayan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım



ÖZET

Bu çalışmada, dereceli hassas döküm yöntemi ile üretilen ürünlerin metalurjik karakteristiklerine kalıp malzemeleri değişkenlerinin etkileri araştırılmaktadır. Hassas döküm kalıplarından kimyasal ve boyutsal kararlılık, yeterli gaz geçirgenliği ve düşük yüzey kabalığı özellikleri istenmektedir. Bu özellikler ile kalıp malzemesi karakteristikleri arasında yakın bir ilişki mevcuttur. Hassas döküm kalıp malzemeleri kullanım sıcaklığına göre iki gruba ayrılmaktadır; ilk grup 1100 °C –1200 °C ‘ a kadar uygulanabilirken, ikinci grup 1800 °C’ a kadar kullanılabilir. Çalışmanın ana amacı dereceli hassas dökümle üretilen ürünlerde döküm kalitesine kalıp malzemesi bileşen ve boyutlarının etkisini belirlemektir. Bu amaçla özel boyut ve geometriye sahip standartlara uygun olarak hazırlanan çekme, yoğunluk ve basamaklı numuneler düşük sıcaklık dereceli hassas kalıp malzemesi ile kalıplanarak 92.5% Ag-% 7.5 Cu alaşımından santrifüj döküm yöntemi ile dökülmüş ve üzerlerinde çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ilk çalışmalar ve alınan sonuçlar döküm kalitesi üzerinde kalıp malzemesi değişkenlerinin birinci derecede etkili olduğunu göstermektedir.



ABSTRACT

In the present project, the effect of mould materials on the metallurgical characteristics of castings produced by flask mould investment process are investigated. Investment moulds are required to have high chemical and physical (dimensional) stability, sufficient permeability and low surface roughness. These properties are closely related to the characteristics of mould materials. Investment materials are divided into two categories depending on the application temperature; first group is used up to 1200 °C and the second group can be employed at temperatures of 1800 °C. The main aim of the current project is to establish the relationship between the casting quality and the mould material characteristics. For this purpose, models for tensile, gravity and surface roughness specimens were prepared in accordance with the standards and these models were moulded by using low temperature block mould investment process. Specimens were subsequently cast using 92.5 % Ag-7.5 % Cu alloy and sand casting process. After the completion of casting process, specimens were tested and the results were analysed. The initial results illustrate that investment material variables play the most important role on the quality of cast products.



1. GİRİŞ

Hassas döküm, kalıbın sıvı refrakter bulamaçla yapıldığı bir grup işleme verilen addır. Bulamaç oluşturan ince toz halindeki malzeme yüzeyin özelliklerini çok hassas olarak kalıba ve daha sonra döküm parçasına taşır. Hassas döküm, çok karışık şekillerin üretimine imkan vermesine ve diğer yöntemlerden daha kısa süreye ihtiyaç duyması nedeniyle tercih edilir. Hassas dökümün uygulama alanlarını; uçak ve havacılık, kuyumculuk, dişçilik, tıp ve cerrahi aletler, güzel sanatlar olarak gösterebiliriz.

Yöntemin en belirgin özelliği, kullanılan model ve maçaların harcanabilir bir tipte olmasıdır. Seramik Kabuk Kalıplama (Shell Process) ve Dereceli Hassas Kalıplama (Investment Flask Molding Process) olarak bilinen iki biçimi vardır. Her iki metod içinde gerekli olan temel işlem kademeleri sırasıyla, mum model hazırlama, kalıp yapımı, kalıp içindeki mumların eritilerek alınması, kalıpların pişirilmesi ve dökümüdür. Bu işlem kademelerinin eksiksiz olarak yapılması gerekmektedir, çünkü birinde oluşacak bir hata diğer bütün işlemleri bozmaktadır.

Son yıllarda hassas dökümde demir dışı metal ve alaşımları için kullanılan kalsiyum sülfat bağlı hassas tozlara olan ilgi giderek artmıştır. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki malzemeler hakkındaki bilgi oldukça önemlidir. Çünkü doğru şekilde ele alınmazsa hatalara yol açar. Sadece atmosfer, sıcaklık ve kimyasal reaksiyonları kontrol ederek yüksek kalitede dökümler elde edilebilir.

2. DERECELİ HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ

Hassas döküm yönteminde, harcanan bir modelin etrafı, oda sıcaklığında sertleşen bir refrakter çamurla sarılarak hazırlanan bir kalıp kullanılır. Genellikle balmumu veya plastikten hazırlanan model daha sonra ergitilerek veya yakılarak kalıp boşluğu meydana getirilir. Bu nedenle hassas döküm yöntemine " harcanan balmumu yöntemi" adı da verilir (Çavuşoğlu,1992).

Alaşımanın cinsi, parça adedi, parça boyutu ve kalıp hazırlama şekli açısından iki farklı hassas döküm yöntemi vardır (Kınıkoğlu,2000).

- a) Hassas Kabuk Kalıp Yöntemi (Shell Investment-Seramik kabuklu)
- b) Dereceli Kalıp Yöntemi (Solid Investment-Flask Investment-Blok kalıp yöntemi) (Kınıkoğlu,2000).

Bu yöntemler, hiç değilse model hazırlama tekniği açısından tamamen aynıdır. Kabuk kalıp yönteminin farklı yanı, modellerin hemen her zaman bir ön kaplama işlemine tabi tutulmasıdır. Dereceli kalıp yönteminde ise modeller ön kaplama işlemine tabi tutulabilir veya hiç ön kaplama yapılmayabilir (Çavuşoğlu,1992).

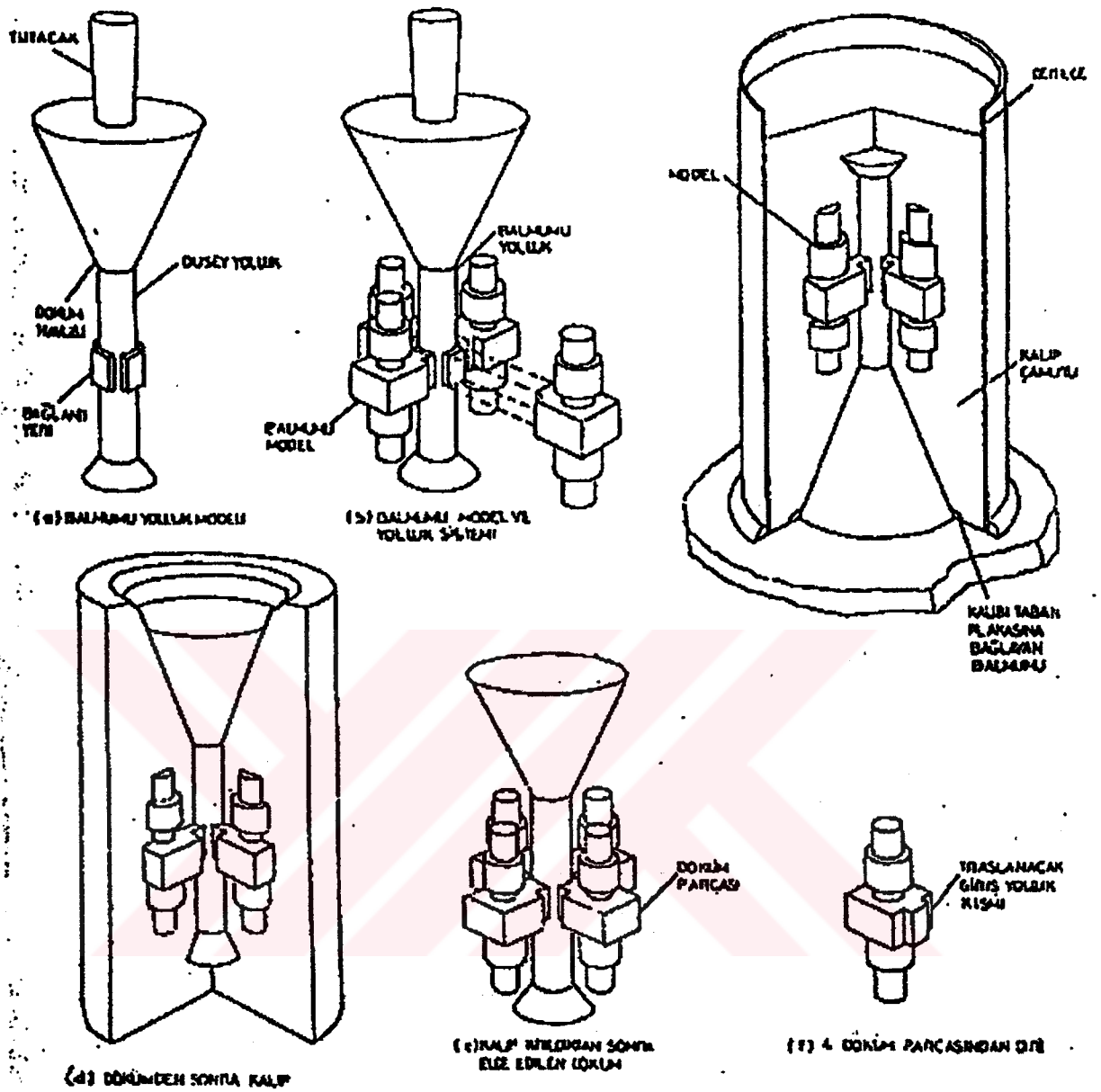
Dereceli kalıp yöntemi, uygulamada demir esaslılar ve demir dışı alaşımlar için olmak üzere ikiye ayrılır. Demir esaslılarda ve döküm sıcaklığı yüksek olan demir dışı alaşımlarda kalıp malzemesinin 1100 °C'a kadar bozulmadan dayanabilmesi gereklidir. Dolayısıyla demir dışı alaşımlar için kullanılabilen alçı, demir esaslılara uygun bağlayıcı veya refrakter malzeme olmayacaktır. Dereceli kalıp yönteminde demir dışı alaşımlar için (döküm sıcaklığı nisbeten düşük olanlar) modelde ön kaplamaya ihtiyaç olmamakla beraber, demir esaslılarda ön kaplama yapmak standart uygulama haline gelmiştir. Ön kaplama ince taneli refrakter çamurla yapılır; bunun üzerine yapılacak kaplama ise daha iri tanelidir.(>150 meş). Ön kaplama ve sonraki dolgu ve destek kaplamalar başlıca iki bileşenden oluşurlar(refrakter malzeme ve bağlayıcı). Refrakter malzemenin esasını ince silis kumu teşkil eder, geri kalan ise alüminyum oksit ve silikatlardır. En çok kullanılan bağlayıcı etil silikattır (Çavuşoğlu,1992).

Bağlayıcı olarak "monomagnezyum fosfat, monoamonyum fosfat ve magnezyum oksit'de kullanılabilir. Örneğin 9,06 kg. monoamonyum fosfat, 9,06 kg. magnezyum oksit ve 3,62 kg. monomagnezyum fosfat, 158 kg. refrakter ile karıştırıldığında su ilavesi ile 20 ile 30 dakikada katı duruma geçecektir. Fosfat bağlı hassas toz karışımları etil silikat ile bağlı olanlardan daha ucuzdur (Çavuşoğlu,1992).

Hassas döküm yönteminin avantajları:

1. Konvensiyonel döküm yöntemleri ve makinayla işleme yolundan imali zor veya bazen imkansız olan veya bazen imkansız olan kompleks şekilli parçaların kitle üretimi bu yöntemle mümkün olmaktadır.
2. Diğer döküm yöntemlerine nazaran daha yüksek boyutsal hassasiyet, daha düzgün yüzey ve ince detay kısımların daha hassas elde edilmesi imkanını verir.
3. Yöntem ergitilip dökülebilen bütün metallere uygulanabilir.
4. 25 kg. ağırlığa kadar dökümler ve bazen de (nadir olarak) 400 kg.'ya kadar parçalar bu yöntemle üretilebilir.
5. Hassas döküm yolu ile elde edilen parçaların hemen hemen hiç ilave işlem gerektirmemesi, "kolay işlenebilir metal seçimi" faktörünü ortadan kaldırmaktadır.
6. Bu yöntem ile, tane boyutu, tane yönlenmesi ve yönlenmiş katılaşma gibi metalurjik faktörler yakından kontrol edilebilmekte ve bu sayede mekanik özellikler de kontrol altında tutulabilmektedir.
7. Vakum veya koruyucu atmosfer altında dökülmesi gerekli olan metal veya alaşımlara da yöntem kolaylıkla uygulanabilmektedir.
8. Hassas döküm yönteminde tek parça kalıp kullanıldığından ayırma yüzeyi veya "mala işlem yüzeyi" yoktur ve parça üzerinde, diğer döküm yöntemlerinin ürünlerinde olduğu gibi, bu yüzeyin izi bulunmaz (Çavuşoğlu,1992).

Dereceli kalıp yönteminin kaplama kademeleri Şekil 2.1'de detaylı olarak gösterilmektedir (Çavuşoğlu,1992).



Şekil 2.1 Dereceli kalıp yönteminin kaplama kademeleri (Çavuşoğlu, 1992).

2.1 Model Yapımı

Üretici kendi tasarımlarını tanıtmaya bir çizimle başlar ve daha sonra ya dökümle ya da katı stoktan keserek, ekleyerek ve bitirerek bir şablon ya da model oluşturur. Orta ile büyük ölçekli üretim işlemlerinin sırası, çeşitli giriş noktalarıyla birlikte çizelge 2.1’de görülmektedir (Wright,1998).

Çizelge 2.1 Hassas döküm işlemlerinin genel sırası (Wright,1998).



Aynı ya da çok benzer bileşenlerden oluşan ölçülebilmiş sağlam bir model yapılması önerilir. Bu model, mum model alınmasında ayrılan ve bir araya getirilen orijinal modelden dökülebilir. Mum model yapımı, en çok yönlü ve deneyim gerektiren bir yöntem olmasına karşın, çalışmada kullanılacak asıl model olarak daha sağlam bir kopyasının dökülmesi gerekir. Mumdan model yapılması, mum enjeksiyonundan daha zordur ve erime noktası da daha yüksektir, ancak asıl model olarak iş görebilecek kadar sağlam bir yöntem değildir. İçi boş halka borular da dahil olmak üzere, uygun parçalar ve levhalar halinde elde edilebilir. Model için malzeme seçenekleri çok fazladır:

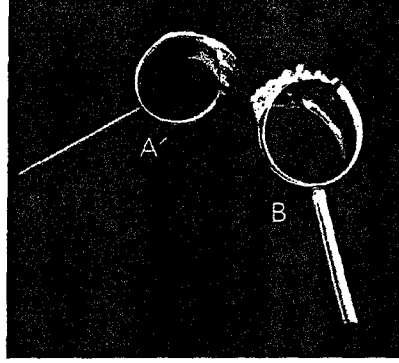
• Mum	Yumuşak
• Ağaç	Yumuşak
• Reçine plastik, perpeks	Orta
• Saf ya da tam ayar gümüş	Orta
• Ayar altın	Yumuşak-orta
• Pirinç, bronz	Sert
• Nikel gümüş	Sert

Aşınma direncinin ve kauçuk etkisinin (içindeki sülfürün) iyileştirilmesi için metal modellere elektro-kaplama uygulanabilir. Diğer altın takı işlemleriyle bağlantılı olarak bazen rodyum kaplama yapılabilir ve bu kaplama gümüş ve altın modeller için elverişli olabilir. Nikel tek başına iyi değildir. Çünkü, sülfüre pek dirençli değildir, ama krom kaplama, pirinç, bronz ve nikel gümüşü korumanın genellikle en ekonomik yoludur. Bu model için tercih edilen malzeme, modelin tahmini aşınma düzeyine; model yapma yeteneğine; ve büzülme payı bilgisine göre değişir. Seri üretim için genellikle metal model gerekir. Bununla birlikte, modeller çok özenle korunup saklandığı sürece birkaç parçanın metal olmayan modellerden çoğaltılması mümkündür (Wright,1998).

Bir metal model (örneğin bir yüzük) ayrılırken, katılaştırma ve soğutmadaki büzülmeden ötürü son dökümün biraz daha küçük (yaklaşık %1-3) olacağı unutulmamalıdır. Düzeltme faktörü gereklidir. Orjinal model mum ise ve metal model bu mum parçadan dökülmüşse, çift büzülme faktörü uygulanmalıdır. Mümkünse bu modele iyi bir cilalama işlemi uygulanmalıdır. Gümüş ve ayar altınların işlenmesi kolaydır, ancak yüzey nispeten yumuşaktır ve bunlardan hazırlanan kauçuk kalıptaki kazıntı ve çentikler de kolaylıkla kopyalanabilir. Öte yandan, modele ince (atlas) perdah ya da işlenmiş perdah uygulanmasıyla bu perdahlar da tamamen kopyalanabilir (Wright,1998).

Döküm sırasında, ergimiş alaşımın dökülmesi için besleyici eklenmesiyle model tamamlanmış olur. Bu besleyici daha sonra gerçek dökümden kesilip çıkarılması kolay olacak şekilde eklenmelidir. Besleyici modelin büyüklüğüne göre değişir. Örneğin, bir yüzük ana yolluk için , ara yolluk ana yolluktan çapı, mumun sonradan kurutulmasını ve

alaşımın kolay girmesini mümkün kılacak çaptan biraz daha dar olmalıdır. Bu döküm kanalı, ana yolluktan daha büyükse, o zaman gereğinden fazla hurda metal oluşur ve ana yolluğun ana hattına göre kesim hattının belirlenmesi zorlaşır. Şekil 2.2 'de iki örnek görülmektedir (WGC,1995).



Şekil 2.2 Yüzüğe oranla (a) çok küçük ve (b) orantılı besleme kanalı (WGC,1995).

Modelin birden fazla mum kopyasının çıkarılması için, vulkanizasyondan sonra modelin çıkarılmasını sağlayacak ve mum enjeksiyon kalıbı görevi görecektir şekilde yeniden birleştirilebilecek halde model kauçuk bir karışımla sarılır. Modelin rahatça içine yerleşebileceği genellikle alüminyumdan ya da sert plastikten uygun dörtgen metal bir çerçeve ve kalıp duvarının kalın olması içinde yeterli kauçuk kullanılır (WGC,1995).

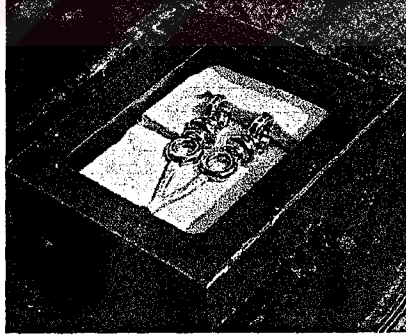
2.2 Kauçuk Kalıp Yapımı

Silikon kauçuklar, kalıpların çoğaltma kalitesinin, aşınma direncinin yüksek olmasını ve genleşme oranının düşük olmasını sağlar. Bazen (seri üretimde), kauçuk yerine sert epoksi ya da metal kalıp kullanılabilir. Vulkanizasyonda farklı büzülme ve çarpılmanın önlenmesi için kalıp yapımı sırasında aynı yönde tutulmalıdır. Ayrıca, kauçuk zamanla bozulur; direkt güneş ışığından ve nemli ortamlardan uzak tutulmalıdır. Tek bir kalıbın defalarca sıcak kullanımından kaynaklanan aşınmanın azaltılması için, aynı modelden birkaç kauçuk kalıp yapılabilir (WGC,1995).

Kalıbın oluşturulması için:

- Modelin çerçevenin ortasına dayandırılması için, çerçevenin dibine ham kauçuktan bir levha (genellikle 3 mm kalınlığında sağlanır) serilir ve/veya lastik bir plaka ayrılır.

- Model, tabana yatay yerleştirilir (bkz.şekil 2.3).
- Modelin vulkanize basınç altında çökmemesi ya da bozulmaması sağlanır.
- Yolluğun, kalıbın yakınına/ sonuna kadar uzanması sağlanır.
- Hava kaçması engellenerek kalıp çerçevesinin üst ucundan yukarıyı gösteren kauçuk (yaklaşık 3-4 mm) fazlası bırakılması için, üste fazladan levha ya da plaka eklenir.
- Kalıp ayrı bir yere alınır; bir çözücü kullanılarak parçalar ve model, yağ, toz ve serbest kauçuktan temizlenerek arındırılır.
- Kalıp, bir vidanın elektrikle ısıtılması ikiz sıcak plakaları ya da hidrolik vulkanize pres arasına yeniden kurulur ve yerleştirilir.
- Hava kabarcıklarının çıkmasını sağlamak ve kauçuk bileşiğin modelin etrafına iyice sıkıştırılması için, plakalar önceden birbirine yakın tutulur ve ısıtmaya başlanır.
- 45°C-175°C'lik genel vulkanizasyon sıcaklığına ulaşıncaya kadar beklenir(üreticinin talimatına göre ortalama optimum sıcaklık 160°C, süre 40-80 dakikadır). Bu süre, her bir levhadan çıkan kauçuğa göre belirlenir(18 mm kalınlığında kalıp için yaklaşık 45 dakika; 36 mm için yaklaşık 75 dakika).
- Modelin artık vulkanize hale gelen kauçuktan kesilip çıkarılmasına başlanmadan önce, model vulkanize edici araçtan çıkarılır ve soğumaya bırakılır (WGC,1995).



Şekil 2.3 Kalıbın ortasına yerleştirilen model (WGC,1995).

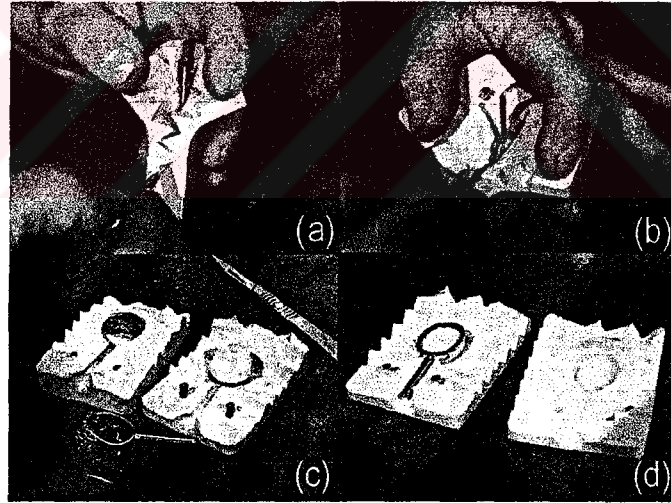
Bir sonraki adım, tercihen henüz sıcakken modelin çıkarılması ve vulkanize kauçuğun iki yarısı arasında birbirine kenetlenen yüzlerin oluşturulmasıdır. Kauçuğun ortadan kesilmesi için çok dikkatli bir biçimde keskin bir neşter kullanılır. Özellikle asıl modele değdiklerinde kolaylıkla körleşebileceklerinden keskin bıçak uçları bulundurulur. İlk kesim genellikle gövde ağzının diğer yüzünde de aynı kesim tekrarlanır ve daha sonra,

kalıbın bu iki yarısı ayrılır. İyi vulkanize edilen kauçuk, çok sünektir ve model, baskıyı kesme çizgisinde yoğunlaştırır (WGC,1995).

Modelin çıkarılmasını ve yine de iki yarısının tam olarak birbirine uymasını sağlayacak şekilde zigzag kesime devam edilir (Şekil 2.4). Aslında, model çıkarılabildiği ve modelin bıraktığı boşluk temiz tutulabildiği sürece bu iki yarının tamamen birbirinden ayrılması gerekmez. Bu kesikler, mum enjekte edildiği sırada hava kaçmasına izin verir (WGC,1995).

2.3 Mum Basımı ve Mum Ağacının Hazırlanması

Mumun enjekte edilmesinden önce, çözücüye yeni kauçuk kalıp iyice temizlenmeli (ve suyla düzenli olarak yıkanmalı), ardından talkla pudralanmalıdır. Elle, sıkıştırılmış havayla ya da vakumla çalışabilen enjeksiyon makinesine kauçuk kalıp girişi sağlanması yoluyla mum enjekte edilir (Wright,1998).



Şekil 2.4 Modelin kauçuk kalıptan çıkarılması. a-b) Ayırma çizgisi. c) Kalıbın çabuk ve tam olarak kapanmasını sağlayan erkek ve dişi parçadan oluşmuş dalgalı kesim. d) Model çıkarılmadan açılmış bir kalıp(Wright,1998).

Çeşitli cins model mumları şu şekilde sınıflandırılabilir : Doğal mumlar, madeni mumlar ve petrol mumları. Doğal mumlardan en önemlileri balmumu, karnuba, keresin ve kadeilla mumlarıdır. Doğal mumlar genellikle istenen model malzemesi özelliklerini elde etmek için diğer mum ve reçinelere katılarak kullanılırlar (Kınıkoğlu,2000).

Model malzemeleri için kabul kriterleri içerisinde en önemli olanı ASTM veya A.P.I. tarafından bütün malzemeler için önerilen yöntemlere uygun yapılan testlerdir (Kınıkoğlu, 2000).

2.3.1. Enjeksiyon Mumları

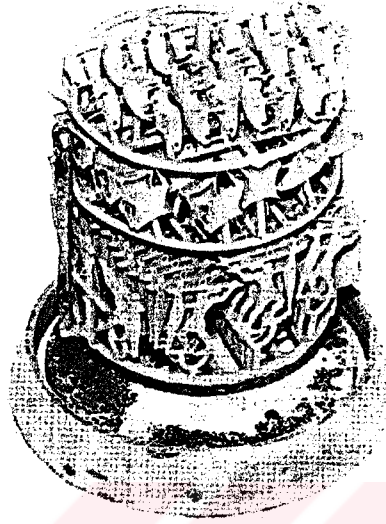
1. Sadece alçı döküm için özel olarak geliştirilen kaliteli kompakt mumlar kullanılmalıdır.
2. Ergime aralığı en dar olan mumlar tercih edilmelidir; bu mumlar sıvı halden katı hale geçiş süresi en kısa olan mumlardır.
3. İyi bir mum, döküm kusurlarına yol açabilecek karbon ya da kül artık bırakmadan yanar.
4. İyi bir mum, modelin kırılmadan çıkarılmasına izin verecek esneklikte olmalıdır.
5. Yeni mumun kirlenmemesi için, tekrar kullanılan mum filtre edilmelidir.
6. Katılaşmanın hızlı ve yıpranmanın en düşük düzeyde tutulması için, mum, tam ($\pm 1^\circ\text{C}$) sıcaklık kontrolü altında enjekte edilmelidir. Optimum sıcaklık 65°C olarak belirtilmektedir. 75°C aşılmamalıdır.
7. Büzülme kusurlarının yok edilmesi için mum model basınç altında soğumaya bırakılır.
8. Mum modeller ağaçtan çıkarılır ve sıkıca kapatılmış plastik kaplarda saklanır.
9. Fazla miktarda mum model, uzun süre saklanmamalıdır (Wright, 1998).

2.3.2 Modellerin Bir Araya Getirilmesi (Düzenlenmesi)

Kısa yolluklar, ergimiş metalin döküm sırasındaki hareketini ve katılaştırma sırasında halen sıvı olan metalle besleme mesafesini en düşük düzeye indirir. Döküm kalıplarına olduğu kadar, kaideyi doldurmak, metal döküldüğünde basıncı artırmak için yeterli metale de gereksinim vardır. Gereğinden fazla metal kullanılırsa, bir kısmı dönme sırasında sıçrayabilir ve hurda oranını artırır (Choate, 1966).

Tek bir derece, genellikle 100 ile 500 gram arasında değişecek miktarda ergimiş madde alır. Ancak , bu miktar 700 grama kadar da yükselebilir. Bu dereceler, ya tek bir

tabakada kaideden doğrudan dallanır ya da split yolluklardan altı sağlam yolluktan desteklenirler. Ara bir düzenleme de, her biri ana aşağı yolluktan yatay çıkan bir ızgara üzerine yerleştirilmiş iki ya da üç katman oluşturulmasıdır (Şekil 2.5) (Wright,1998).



Şekil 2.5 Üç katmandan oluşmuş yatay zeminde düzenleme(Wright,1998).

Bu düzenleme, çok sayıda ince parçanın sık sık yerleştirilmesine olanak sağlar. Ancak, alaşımın akışkanlığı iyi olmalıdır, bu nedenle de yüksek ayarlı altın alaşımlarda yaygın uygulanan bir yöntem değildir(Wright,1998).

2.3.3 Mum Ağacının Hazırlanması

Eritme ve döküm parçası kapasitesi 300 gram ya da daha fazla olduğundan en yaygın parça üretim yönteminde mumlar bir ağaç şeklinde yerleştirilir ancak yine aynı "kısa mesafe"yolluklar uygulanır.Bir ağaç, 300 gram döküm ve kısa yollukları çıkarılmış 300 gramlık bir ana yolluktan oluşabilir (WGC,1995).

Mum düzenlemede ve yolluk tasarımı evresinde dikkatli ve özenli olunmasıyla, işlem hurdası ve hurda döküm oranı en düşük düzeye indirilir. Aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir:

1. Döküm büzülmesi olmaması için, yolluğun en son donması gerektiğinden, minimum yolluk kesiti, doğrudan yolluk bulunan dökümün en büyük kesitinden daha küçük olmamalıdır.
2. İdeal olarak, yolluğun, birleştiği yerde çok sayıda tasarım ayrıntısı yoksa, parçanın en ağır kısmı olmalıdır.
3. Alt yolluk randımanın artırılması için biraz inceltip sivriltilebilir.
4. Türbulans metal akışının engellenmesi için, yollukların bir araya geldiği yerde düz dolgu gerekir (Choate,1966).

Tasarım, bu aşırı uçlardan uzak olmalıdır. Kalıp üzerine yerleştirmeden önce, her bir şekil dikkatle kontrol edilmeli, gerekirse, flaşların giderilmesi ve yüzey kusurlarının düzeltilmesi için ısıtılmış lehimleme demiriyle rötüş yapılmalıdır. Dökümün iyi olması için mumların kusursuz olması şarttır, ayrıca, hurda haline getirmekten ya da daha sonra dökümlerin yeniden fazlasıyla işlenmesindenense kötü şekillerin eritilmesi daha iyidir. Modelin yolluğu, en fazla 10 mm ya da tercihen 5-6 mm olmalıdır. Yolluğun kısa olması, yerleştirmeyi daha da zorlaştırır ve ortadaki ana yolluk ağzında kalabalığa yol açarken yolluğun uzun olması döküm ve besleme işleminin eksik kalması tehlikesini yaratır. Mum modeller, alanın maksimum düzeyde kullanılacağı şekilde tek tek dikkatle kalıba kaynaklanır, ancak aynı zamanda kalıbın ısı çıkarma kapasitesi ve bunun bir bütün olarak kalıbın katılaşma şekli üzerindeki etkisi de göz önünde bulundurulur. Merkezi aşağı yolluklar, normal olarak dairesel kısımlardır, tercihen inceltip sivriltilmiş, ancak, altı ya da sekiz köşeli kısımlar da bulunmaktadır (Wright,1998).

Bu kısımlar, modellerin düzenli bir şekilde yerleştirilmesini biraz kolaylaştırmaktadır. Çapı geniş, içi boş dairesel bir kısım, hem sık yerleştirme kolaylığı hem de yolluk ağzı metalden tasarruf sağlar. Özellikle verimin yüksek olması gerektiğinde en uygun düzenlemenin hangisi olduğuna dair görüşlerde farklılıklar bulunmaktadır. Az sayıda (tercihen tek sayılar) orta büyüklükte döküm optimum katılaştırmaya göre düzenlenebilir, ancak, seri üretim için modelin tutarlı bir şekilde sık yerleştirilmesi gerekmektedir (Wright,1998).

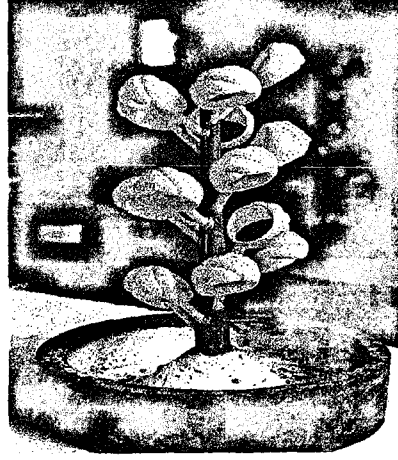
Bir tür için lokal tercihten kaçınılarak şekil, ağırlık ve döküm yolu farklı modeller merkezi yolluk üzerine müsavi bir biçimde dağıtılır. Ayrıntılı modeller uca yakın, orta büyüklükteki modeller ortaya ve daha hacimli ürünler kalıbın (ağacın) alt kısmına yerleştirilir. Mumlar üzerinde yağ ya da gresten (parmak izi dahil) eser kalmamalıdır. Diğer taraftan, vazelin ya da benzeri maddeler alçının kaideye saplanması engeller. Düzenleme aşırı kalabalık olmamalıdır. Bu, sadece yerleştirmeyi zorlaştırmakla kalmaz, ayrıca, mum-giderme sonrasında bir boşluk ile diğeri arasındaki duvarlar inceyse bu yerleştirme büyük olasılıkla çöker (WGC,1995).

Modellerin önce küçük dallara eklenip daha sonra asimetrik olarak merkezi yolluğa yerleştirildiği küme düzenleme (bkz. Şekil 2.6) tercih edilmelidir. Küme düzenleme, bileşen ve yuva gibi farklı küçük modellerin çok sayıda kopyalanması için en iyi yoldur(WGC,1995).



Şekil 2.6 Farklı küçük parçalardan dizilerin üretilmesi için farklı şekillerin bir araya toplandığı küme yerleştirme (WGC,1995).

Aynı şekilde parçalar için merkezi yolluk etrafında vidayla diş açar gibi spiral yerleştirme (bkz.şekil 2.7) uygulanır. Döküm sırasında, esasen yolluktan, hava hızla çekilir, spiral etkisi zarar verici hava akışının azalmasına yardımcı olur (WGC,1995).



Şekil 2.7 Basit ve kalabalık olmayan spiral montajlı ağaç (WGC,1995).

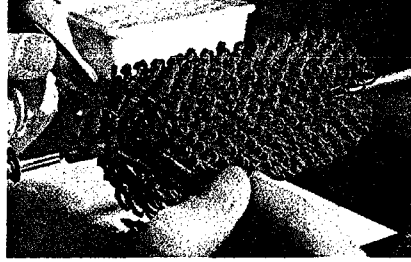
Merkezi yolluğa modelin eklenmesinde kullanılan kaynak parçası tam-yuvarlak olmalı ve yolluk yüzeyi üzerinde yeterince alan kaplamalıdır (Şekil 2.8). Her kaynak, döküm yolu sisteminin bir parçasıdır. Ayrıca, keskin köşeler, hem mumdan arındırma işlemini, hem de sonraki metal girişini zorlaştırır (WGC,1995).



Şekil 2.8 Döküm sisteminin önemli bir kısmını oluşturan, merkezi yolluk üzerine modelin kaynak edilme noktası (WGC,1995).

Düşey ağaçlar, ağırlığı bilinen standart bir lastik kaide içerisinde yerleştirilmiş merkezi alt-gövde ağzının köküyle birlikte düzenlenir (Şekil 2.7). Özellikle sık kümeler ve spiraller olmak üzere, yerleştirilen kişinin, şekilleri daha iyi konumlandırabilmesi için

yolluğun yatay bir mandrel üzerine yerleştirilmesi işlemi kolaylaştırabilir (Şekil 2.9). Lastik kaide daha sonra eklenir (WGC,1995).



Şekil 2.9 Kümelerin titizlikle yakın yerleştirilmesine uygun bir yatay mandrel (WGC,1995).

Yerleştirme tamamlandıktan sonra, yağ ve yapışkan partiküllerin giderilmesi için ağaç lastik kaidesiyle birlikte deterjanlı bir emülsiyona batırılır. Daha sonra, alçıya hazır olması için minerali giderilmiş suda durulanır ve korumaya bırakılır. Başka hiçbir kusuru bulunmayan iyi bir dökümde bir deterjan lekesi bile kopyalanabilir.

Kalıbın (ağacın) dökümü için gereken metal ağırlığının bulunması: ağaç ve kaidesi birlikte tartılır, mum ağacın ağırlığını saptamak için kaidenin ağırlığı çıkarılır. Mumun 1.0 değerinde özgül ağırlığı olduğu varsayılırsa, döküm ağırlığının elde edilmesi için alaşımın yoğunluğuyla çarpılır. Aslında dökme butonu ve büzülme için biraz pay bırakılmıştır (mumun yoğunluğu 1.0'dan biraz daha az olduğundan). Temizliğin sağlanması ve alçıya toz toplanmasının önlenmesi için, mum enjeksiyonu ve ağaç düzenleme, alçı yapılan alandan ayrı bir odada yapılmalıdır. Lastik kaidesiyle desteklenen mum ağaç, alçı için uygun büyüklükte bir dereceye yerleştirilir. En yaygın kullanılan büyüklük, olasılıkla çapı 100 mm olan kalıptır (Wright,1998).

2.4 Dereceler

Dereceler, daima katı metal silindirlerden oluşur ve bu fanuslar özellikle santrifüjlü döküm için elverişlidir. Ayrıca, bugün artık, statik vakum destekli döküm için delikli ve oluklu silindir dereceler daha uygundur (Wright,1998).

Dereceler, en fazla yaklaşık 800°C yanma sıcaklığında pek çok kullanıma dayanacak metalden yapılmış olmalıdır. Paslanmaz çelik kullanılabilir, ama, Inconel alaşımından

yapılmış dereceler daha ekonomiktir, uzun ömürlü oluşu, başlangıçtaki maliyetini karşılar (Wright,1998).

Derece büyüklüğü, döküm makinesindeki en büyük aralıkla sınırlıdır, yine de, döküm sırasını rahatça içerebilecek kadar büyük olmalı, derecenin iç yüzü ile mum arasında en az 7 mm pay kalmalıdır. Uygun dereceler, genellikle, küçük makineler için yaklaşık 65 mm çapa 50-100 mm yükseklikte ve büyük makineler için 100 mm çapa 125 ya da 150 mm büyüklüklerde tedarik edilir; bu kalıplar 1.0-1.5 mm duvar tüpten ya da kaynaklanmış silindir levhadan kesilir. Küçük döküm serileri için gereken toplam alçı miktarının değerlendirilebilmesi için şekiller bulunmaksızın her büyüklükteki derecenin kapasitesi belirtilmelidir. Derece büyüklüğü, en yüksek mumun üzerinde en az 12 mm ve dış kısmın etrafında 12 mm pay kalacak şekilde seçilir (Wright,1998).

2.4.1 Kalıp Yapımı

Kalsiyum sülfat temelli alçılar (Hydrocal olarak bilinen Paris Kalıbının rafinasyonu), altın alaşımlarının çoğu için yeterlidir. Alçı tozu, %25-30 kalsiyum sülfat hemihidrattan (Paris Kalıbı) ve kalanın çoğu da kristobalit adı verilen kuvarz türünden oluşur. Alçı tozu, üreticilerin önerdiği oranda su (mümkünse minerali giderilmiş) ile 21-24 °C sıcaklıkta karıştırılır. Genellikle, 1 kg toz için yaklaşık 0.4 birim (kg ya da litre), vakumla döküm için biraz daha fazla, santrifüjlü döküm içinse biraz daha az su gerekir. Tozun ölçek üzerinde tartılması, suyun dereceli silindir içinde ölçülmesi gerekir; hem ölçek hem de dereceli silindir %1 dahilindeki rakamları gösterebilecek özellikte olmalıdır (Choate,1966).

Karıştırırken toz suya az miktarlarda eklenir. Suyun veya tozun sıçratılmamasına özen gösterilmelidir, çünkü bunlar ölçülüp karıştırılmaktadır. Su/toz oranlarındaki en ufak bir değişim istenmeyen bir kalıpla sonuçlanır. Düzgün ve daha az kabarcıklara sahip bir karışım elle çevirme veya makine ile yapılır. Homojen bir karışım elde etmek için karışım tavsiyelere göre 30 saniye veya 1 dakika karıştırılır. Vakum mekanik spatulalar, vakum ve titreşimi biraraya getirirler. Bunlar en iyi karışımları genleşmeyi ve çarpılma

toleranslarını sağlarlar. Bununla beraber, daha vizkoz bir karışım vakum uygulansa bile hava kabarcıklarına yol açar (Choate, 1966).

Model yeteri kadar kaplandığında derece hemen pota kalıbına konar. Ve iyice merkezlenmiş olduğuna dikkat edilir. Yapışkan bamlumu, titreşim safhalarında derece ile pota kalıbının birleşim yerinde birleştirici olarak kullanılabilir (Choate, 1966).

Kombine edilmiş derece ve pota kalıbı, mekanik vibratörün üstünde, ağır alçı karışımının derecenin iç duvarlarından akması için belirli bir açıda tutulur ve modeli kaplar, böylece hava kabarcıklarının oluşmasını engeller. Derece belirlenmiş derinliğe kadar doldurulmalı, böylece alçı 0.63 cm'den fazla olmayacak şekilde modelin üst kısmını kaplar. Derece taşacak şekilde doldurulmamalıdır. Bu gazların kalıptan çıkışını sınırlar. Derece doğru derinliğe kadar doldurulduğunda, iki elin parmaklarıyla tutulur. Parmaklar titreşim esnasında destek vazifesi görür ve modelin ana yolluğa ve pota derecesine tutturulmuş olarak kalmasını sağlar. Fazla titreşim alçının modelden ayrılmasına sebep olur, böylece yolluklar ve havalandırma delikleri kaybolur. Bu olayda model ana yolluktan ayrılır ve döküm üzerinde noktalara sebep olur. Mekanik vibratör olmadan, istenilen titreşimi elde etmek için tahta üzerine yerleştirilir ve ağaç tokmakla hafifçe vurulur. Titreşim hava kabarcıklarının kalıplama derecesinin yüzeyine gelmeye başladığı zamana kadar devam ettirilmelidir. Titreşim ve spatulasyon, bir çok hava kabarcığını elimine eder, gerekli olan kremi alçı kaplamasını da sağlar (Choate, 1966).

Her zaman tercih edilen havası alınmış bir döküm alçısı ancak bütün hava ve gazlar spatüle edilmiş ve döküm derecesine boşaltılmış döküm alçısından şekilmesiyle mümkündür. Vakum, boşluğun yüksek seviyelerde bir hava motoru vasıtasıyla sağlanır. Böylece boşlukta atmosfer basıncından daha düşük bir basınç ölçülür (Choate, 1966).

Vakumlu kalıplama, döküm alçısının gözenekliliğini azaltsa da çok defa, bütün hava bu metodla alınmaz. Balmumu model üzerinde hava tahliyesi ile ters yönde bulunan çukur ve düz yüzeyler, hava kabarcıklarını hapsederler. Bunu engellemek için model belli bir açıyla yolluklandırılmalıdır. Bu yolla su buharı kabarcıkları, balmumu modelin

üzerinden kayarken ve derecenin üst kısmına doğru yükselirken, kendileriyle birlikte asılı hava kabarcıklarını taşırlar (Choate, 1966).

Hava, karışımdan tahliye edildiğinde vakum kesilir. Eğer karışımın kaynamasına izin verilirse, bu balmumu model etrafında hava kabarcıkları yaratır, bunun nedeni sudan ayrılan oksijendir. Karışımın kaynamasına 10 saniyeden fazla izin verilmemelidir. Sonra vakum azaltılmalı ve havanın girişine izin verilerek, su buharı buharı baloncuklarını sıkıştırması sağlanır. Bu atmosferik basınç alçının modele sıkı bir şekilde temas etmesini sağlar ve böylece yoğun bir döküm alçısı üretir. Kalıplanmış derecenin donması 7 ila 15 dakika arasında karışımdaki suya bağlı olarak değişir (Choate, 1966).

2.4.2 Pişirme

Kalıplamadan sonra eğer kalıp döküm aşamaları tamamlanmadan, bir kenara bırakılacaksa ıslak bir havlu ile sarılır ve nemli atmosfer ortamı yaratılır. Uzun periyotlar için ıslak bir havlunun üzerinde hava geçirmez nemlendirme kabına veya cam bir kaba konulur. (Choate, 1966)

Nemlendirme kabı veya diğer hava geçirmez kaplara konulan kalıp, balmumu yakılması işleminden önce en az bir hafta saklanabilir ve bir hafta sonra bile bu şartlar sağlandığında başarılı bir döküm yapılabilir (Choate, 1966).

Balmumu eliminasyonu sadece kalıp döküme hazır olduğu zaman yapılmalıdır. Kuru bir kalıbı fırına pişirme işlemine koymaya kalkışmamalıdır. Eğer kalıp nemli atmosferle korunmazsa fırında çatlar. Eğer metalin döküm sıcaklığına kadar kalıp ısıtılırsa, çatlaklar büyür ve döküm çapağıyla ve kuşaklarla ortaya çıkar. Bunun sebebi metalin çatlakları doldurmasıdır (Choate, 1966).

Doğru bir pişirme bütün balmumunun modelden ve nemin kalıptan elimine edilmesini sağlar. Böylece alçı kalıpta model boşluğu bırakır ve aynı zamanda artık karbon kalıntılarını da yakarak, solgun renkli bir dökümü engellemiş olur. Döküm meydana

geldiği sırada aynı zamanda kalıbı ısıtır. Pişirme aşaması çok önemlidir ve dikkatli yapılmalıdır (Choate, 1966).

Balmumu yakılması hiçbir zaman direkt alevle yapılmamalıdır. Çünkü kalıbın ve döküm alçısının sadece bir kısmı ısınır diğer kısımlar düşük sıcaklıkta kalır. Bu döküm alçısında bozulmalara sebep olur ve tamamlanmamış bir işlem meydana getirir (Choate, 1966).

Gaz ve elektrik fırınları balmumu eliminasyonunda kullanılır. Gaz fırınları balmumu dumanı ve gazlar için havalandırma deliklerine ihtiyaç duyarlar. Elektrik fırınlarına sadece balmumu dumanı için havalandırma deliği gerekir, bu da kapı açıklıklarının etrafından sağlanır. Fırının üst kısımlarındaki duvara monte edilen fan, fırın içindeki keskin dumanı çalışma bölgesinden uzaklaştırır (Choate, 1966).

2.5 Döküm

Fanus döküme hazır olduğunda, döküm için pişirme fırınından çıkartılır ve santrifüj döner kol üzerine ya da vakum fırınına yerleştirilir. Ergimiş metalin aşırı ısınmasının ya da soğumasının önlenmesi için bu işlemin mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Radyal merkezkaç kuvveti, vaktinden önce soğumanın en düşük düzeye indirilmesi için, alaşımın kalıbın içerisine hızla gitmesini çabuklaştırır (Wright, 1998).

Makineler genellikle yüksek ivmeli olarak geliştirilmişlerdir ve makine çalıştırıldığında gereken enerji hemen sağlanır. Yine de, gereğinden fazla ivme oluşabilir ve altın alaşım, sınırlandırılmamış yolluk ağzının ötesinde büyük güçle etki edebilir ve kalıba nüfuz etmesinden ötürü son işlemin kaba olmasına yol açabilir. En yararlı çözüm, kaideden çıkan yatay bir yolluk ve yatay ya da düşey gövdeden çıkan dik açılı kollar kullanmaktadır. Böylece, doğrudan etkide bulunulmaksızın yüksek bir besleme basıncına ulaşılır (Wright, 1998).

Ayrıca, statik vakum destekli döküm, bir ya da birden fazla fanus alan basit vakumlu döküm tezgahlarıyla da gerçekleştirilebilir (Wright,1998).

Çok ayrıntılı, girift kısımların ve yüzeylerin kopyalanan dökümlerinin iyi olması, kalıbın uçlarına ulaştığı ölçüde sıvı metalin akışkanlığının yeterli oluşuna bağlıdır. Akışkanlık, dökmeye başlandığında metal aşırı ısınmaya ve kısmen de kalıbın soğuma gücüne göre değişir. (Bazı alaşımlarda, akışkanlık, aynı zamanda oksijen gidermeye göre de değişir). Altın alaşımının dökülmesi için bazı altın alaşımlara biraz silikon eklenir. Ancak, çok fazla silikon eklenmesi gevrek çatlamaya neden olabilir. Kalıbın önceden ısıtılmasıyla kalıbın soğuma gücü azaltılır.

Bu işlem, sadece metalin görünür akışkanlığını etkilemekle kalmaz aynı zamanda katılaşma süresini de etkiler. Kalsiyum sülfat esaslı alçılar, ergimiş metalin donma sıcaklığı (solidus) ile alçı yüzeyi arasında 250°C fark kalacak şekilde, döküm sırasında 800°C' nin üzerinde olmamalıdır. Metal kalıp içerisine soğuk dökümle karşılaştırıldığında bu soğutma faktörü özellikle yüksek değerlidir ve katılaşma süresi genellikle yaklaşık 20 saniyedir (WGC,1995).

Dökümden sonra, kütlenin sonraki döküme zarar vermeden biraz daha soğuyabilmesi için, derece döküm makinesinden ya da vakum tezgahından çıkarılır. Böylece, kalıp soğutulmak üzere suyun içerisinde söndürüldüğünde aşırı termal şok alçının parçalanması önlenir. İlk soğutma, alçının daha kolay çıkarılmasına yardımcı olurken, kalıbın ortasındaki ergimiş alaşımın vaktinden önce soğutulması büzülme gözenekliliğine ve başka kusurlara neden olabilir. Sülfat bağlı alçıların çoğu, yüksek basınçlı su püskürtmeyle kalıptan çıkarılabilir. Ana yolluk katılaştığında ancak henüz kızıl sıcaklığın altına inecek kadar soğumadığında, derece, maşayla tutulmalı ve döküm yolu dövülmeli ve soğuk suya daldırılmalıdır. Bu işlem, döküm etrafındaki artık alçının parçalanması işlemini başlatır (Wright,1998).

Dereceler tekrar bir araya getirilebilir ve yeniden defalarca kullanılabilir. Yüksek sıcaklıkta fosfat bağlı alçılar dirençlidir ve bunların giderilmesinde buharla temizleme, hidroflorik asit ve kırmalı püskürtme işlemlerinden bazıları ya da hepsi etkilidir.

Pürüzsüz küre şeklindeki kum taşı, yüzeylerin sıkıştırılması ve parlatılması için yararlıyken, iri silikon karbür tanesi de yüzeylerin büyük kısmını temizleyebilir (Wright,1998).

Son izlerin giderilmesi için, dökümlerin çoğunda, asit deterjanlı ultrasonik yıkama tankı işe yaramaktadır. Yıkamadan sonra, salkımın apresi halen mattır ve 50°C' e %20 sülfürik asit içerisinde 2 dakika tutulmalıdır (Wright,1998).

Bileşenlerin, yeniden değerlendirilebilir hurdaya sevk edileceği ağaçtan dikkatle ayrılmasına bir hazırlık olarak asit çözeltisinde kalan izlerin tümünün giderilmesi için ağaç iyice durulandıktan sonra kurutulur. Bileşenlerin ağaçtan kesilen kısımları ve varsa başka kusurlu yerleri pürüzsüz hale getirilir. Dolumun çok uzamasının önlenmesi için gövde ağızları mümkün olduğunca kusursuz bir şekilde çıkarılmalıdır. Kısa burunlu keskilerle gövde ağızlarının çoğu kesilir ve diğer küçük yumrular kolaylıkla çıkarılır. Gövde ağzı köküne dosdoğru, düz bir erişim varsa ince bir yarma diski işe yarar. Aksi halde, delici bir testere kullanılabilir. Uzman dökümcüler genellikle, bileşenin kendi profilini kesme tehlikesine girmektense müşteri tarafından çıkarılmak üzere artık gövde ağzı kökünde yaklaşık 1 mm pay bırakırlar. Bu profil, giderek incelen, küçük, motorlu lastik zımpara ya da tırtıklı kenarlı elmas kullanılarak düzeltilir. Yüzeydeki görülebilir kusurların tümü giderildiğinde, bu parçalar ilk önce seramik ve pomza taşı taneleriyle daha sonra da cilalamaktan çok parlatan çelik kürelerle cilalama ortamında perdahlanır. Silindir işleminin tüm döküntülerinin giderilmesi için elle fırçalamadan sonra, bileşenler fasıla işlemine, tartılmaya ve etiketlemeye hazırdır (Wright,1998).

2.6 Döküm Hataları ve Kontrol Edilmesi

Son dökümdeki kusurların, üretim sürecinin sonraki bir evresinde oluşması gerekmez. Başarılı bir döküm, iş sürecinin tamamında kalite kontrolünün iyi olmasının sonucudur. Örneğin, mum enjeksiyon kalıbının içerisinde kalan toz, sadece bir sonra üretilen mum modelin pürüzsüz mum yüzeyini bozmakla kalmaz, aynı zamanda, mum iyice eridikten sonra alçının yüzeyinde de kalabilir. Rutin temizlik sağlanmalı ve kalite kontrol listesine tamamen uyulmalıdır (WGC,1995).

Alaşım hazırlamanın her evresinde, alaşımın eritilmesi ve dökümü sırasında da aynı tutum sürdürülmelidir. Alçı döküm, miktar olarak altın takı yapmanın en ekonomik ve muhtemelen kalitenin iyi olmasını sağlayan bir yöntem olmakla birlikte, özel ekipman, araç, iyi kullanılabilir ve eğitimli personel gerektirmektedir. Fırın ve ocak gibi ekipmanlarda, tercihen önceden ayarlanmış otomatik kontroller ve uygun göstergeler, alet takımı bulunmalıdır. Aynı şey, alçı karıştırma ve hava alma gibi işlemlerin zamanlamasına da uygulanır. Bunların doğruluk sınırları için, ayarlama yapılır ve termometre, yüksek sıcaklık göstergeleri, zamanlayıcı, dereceli ölçüm silindirleri ve ölçekleri kullanılır. Formülün, karışımın ya da hesaplamanın yaklaştırılmasının ya da yuvarlanmasının güvenli olduğu biliniyorsa, her bir bileşende değil, aksi halde doğru olacak bir işlemin nihai sonucunda yapılır (WGC,1995).



3. DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIP YAPIMI

Son yıllarda hassas dökümde demirdışı alaşımlar için kullanılan kalsiyum sülfat bağlı hassas tozlara olan ilgi giderek artmıştır. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki malzemeler hakkındaki bilgi oldukça önemlidir. Çünkü doğru şekilde ele alınmazsa hatalara yol açar. Sadece atmosfer, sıcaklık ve kimyasal reaksiyonları kontrol ederek yüksek kalitede dökümler elde edilebilir (Horton,2000).

3.1 Dereceli Hassas Döküm Kalıp Malzemeleri

Demir dışı metaller için en çok kullanılan dereceli kalıp tozları; bağlayıcı olarak görev yapan kalsiyumsülfathemihidrat ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), kuartz ve kristobalit formundaki silika karışımıdır (Horton,2000).

3.1.1 Alçı

Alçının hazırlanmasında kullanılan temel hammadde alçıtaşıdır. Doğada bulunan jips veya anhidrit olarak rastlanan, Ca^{+2} , SO_4^{-2} iyonlarının bileşiminden oluşan ve oluşum ortamına göre içeriğinde bazen su bulunan mineral topluluğuna, mineral farklılığına bakılmaksızın alçıtaşı denilmektedir (Ünlüer,2001).

Alçıtaşı değişik yerlerde değişik saflıkta yataklanmış doğal oluşumlu bir kayadır. Bu kayaç bünyesinde %20 civarında kimyasal olarak bağlanmış su içerir. Bu öğütülüp ısıtıldığında bünyesindeki suyun yaklaşık 3/4'ünü kaybeder ve genel adıyla kalsine alçı yada Plaster of Paris denilen bir yapıya dönüşür. Kalsine edilmiş olan bu alçı tekrar su ile karıştırıldığında plastik veya akışkan bir kütle halini alır ve isteğe göre kalıplanabilir ya da şekillendirilir. Kalsinasyon sırasında kaybettiği kristal suyunu tekrar kazanması sebebi ile de sertliğini tekrar kazanır. Sonuçta elde edilen kalıbın seramik endüstrisinde önem kazanmasının sebebi, diğer doğal minerallerden farklı olarak kullanıcının isteğine ve şartlarına göre gözenek miktarı, absorpsiyon karakteristiği ve mukavemetin bile değiştirilebilmesidir (Kaya,2000).

Alçı aşağıdaki özelliklerinden dolayı kalıp yapımına uygundur;

1. Karmaşık şekilli ürünler üretilebilir.
2. Üretilen kalıplar kimyasal ve fiziksel olarak kararlıdır.
3. Her kullanım için su emme miktarı değiştirilebilmektedir.
4. Pürüzsüz ve dayanıklı yüzey kolayca oluşturulabilir.
5. Fiziksel ve kimyasal özellikler homojen olarak korunur.
6. Porlar kolloidler tarafından kolayca kapatılamaz.
7. Maliyeti düşüktür (Ünlüer,2001).

3.1.1.1 Jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Jips doğal olarak oluşan ve iki mol su içeren bir kalsiyum sülfat mineralidir. Genellikle kireç taşı, kum, kil, anhidrit ve organik maddeler gibi safsızlıklar içerir (Ünlüer,2001).

Jips genel özellikleri aşağıdaki gibidir;

Kimyasal Bileşimi	: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Kristal Sistemi	: Monoklinik
Kristal Biçimi	:Çoğunlukla ince-kalın levhamsı kristalli; kısa-uzun prizmatik, iğnemsî, masif, tanesîl, lifsi
Sertlik	: 2
Özgöl Ağırlık	: 2.32 (g/cm^3)
Dilini	: (010) mükemmel
Renk ve Şeffaflık	:Renksiz-beyaz, sarımsı, yeşilimsi, kırmızımsı; şeffaf-yarı şeffaf
Çizgi Rengi	: Beyaz
Parlaklık	: Camsı
Ayrıcı Özellikleri	: Düşük sertliği ve dilinimi
Bulunuşu	:Deniz suyundaki çözünürlüğü halit ve anhidrit mineraline göre daha zayıf olan ve buharlaşmada ilk çökelen mineraldir. Karbonatlı kayalarda piritin oksidasyonundan türeyen sülfürik asidin bulunduğu yerlerde ve bazı volkanik alanlarda da oluşabilir.

Jipsin ince toz halinde olanlarına “albatr veya albaster”, saydam ve mükemmel dilimli olanlarına “selenit”, lifli ve cam saydamlığında olanlarına ise “satenspar” denilir (Ünlüer,2001).

3.1.1.2 Anhidrit

Anhidrit susuz kalsiyum sülfattır. Kalsiyum sülfat yapısında kristal suyu bulunmayan, yoğun ve alçı taşına göre daha sert olup jips yataklarında tabakalar halinde bulunur (Subaşı,1999).

Anhidrit mineralinin özellikleri aşağıdaki gibidir;

Kimyasal Bileşimi	: CaSO_4
Kristal Sistemi	: Ortorombik
Kristal Biçimi	: Kristalleri nadir; genelde masif, taneseli, lifsi
Sertlik	: 3.5
Özgül Ağırlık	: $2.98 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
Dilini	: (010) mükemmel
Renk ve Şeffaflık	: Renksiz-beyaz, gri, mavimsi, eflatun, kırmızımsı, kahverengimsi, şeffaf-yarı şeffaf
Çizgi Rengi	: Beyaz
Parlaklık	: Camsı
Ayrıcı Özellikleri	: Birbirine dik üç yönlü dilinime sahip, jipsten daha sert, özgül ağırlığı kalsitten fazla
Bulunuşu	: Jips ve halit mineralleri ile birlikte oluşan bir buharlaşma mineralidir.

Deniz suyundan direkt olarak çökelir. Jipsin dehidratasyonu ile de oluşabilir (Ünlüer,2001).

3.1.1.3 Alçıdan Yarı Hidrat Üretimi

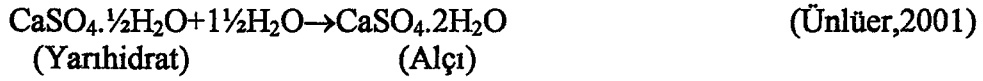
Jipsin yapısında bulunan suyun kısmen uzaklaştırılması sonucu yani, kalsine edilip $1\frac{1}{2}$ mol suyu uzaklaştırılmasıyla “Plaster of Paris” olarak bilinen yarı hidrat haline dönüştürülür (Ünlüer,2001).



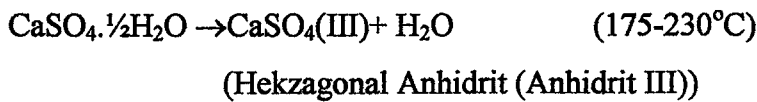
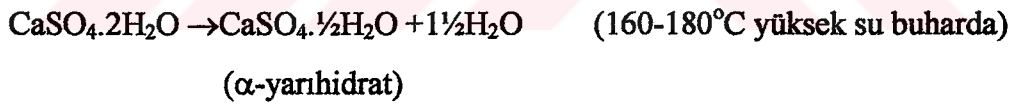
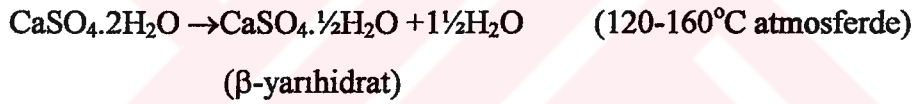
Yarı hidratın α ve β olmak üzere iki farklı formu vardır. Yarı hidrat içerisinde bulunan α/β oranına bağlı olarak alçı kalıbı mukavemet ve su emme özelliklerinin değiştiği bilinmektedir. α -yarı hidrat; iğne yapılı kristallerden oluşur, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve aşınma dayanımı, β -yarı hidrata göre çok daha iyidir (çizelge 3.1). Ayrıca β -yarı hidrata göre daha az suya ihtiyaç duyar. β -yarı hidrat kristalleri pirinç tanelerine

benzer, α -yarı hidrata göre daha fazla suya ihtiyaç gösterir, donma süresi uzun, yoğunluğu daha düşük, hidrasyon ve yüzey enerjisi daha yüksektir (Ünlüer,2001).

Yarı hidratlar su ile karıştırılarak kaybetmiş olduğu 1.5 mol kristal suyu tekrar bünyesine alarak sert ve “poroz alçı” özelliğini kazanır. Oluşan alçı kalıplar döküm çamurlarının şekillendirilmesinde kullanılır. Alçı kalıp, bünyesinde mevcut porozite ile döküm çamurundaki suyu emerek parçanın kalıbın şeklini almasını sağlar (Ünlüer,2001).



Dehidratasyon ve kalsinasyon işleminde ısıtma sıcaklıklarına ve koşullarına göre β -yarı hidrat (Plaster of Paris), α -yarı hidrat, anhidrit III, anhidrit II ve anhidrit I gibi ürünler elde edilir (Ünlüer, 2001).



Mikrogözenekli yarı hidrata β -yarı hidrat (β -CaSO₄.½H₂O) denir. β alçısı, kuru anma sonucu, yani fırında su buharının uzaklaştırıldığı yanma şartında oluşur. Alçının normal atmosfer basıncında dehidratasyonu ile elde edilir. Mikroskop altında incelendiğinde; β -yarı hidratlarını, oldukça küçük ve belirsiz kristaller içeren, ince yassı tanecikli düzensiz partiküllerden meydana geldikleri görülür (Subaşı,1999).

Kristalize yarı hidrata α -yarı hidrat (α -CaSO₄.½H₂O) denir. Jips yaş yanarsa, yani otoklavda buhar basıncı altında yanarsa α tipi alçı oluşur. Mikroskop altında incelendiğinde; kompakt, iyi gelişmiş ve yoğun, çoğunlukla saydam büyük partiküllerden meydana geldikleri görülür. İyi kristalleşmişlerdir. Üretim yöntemine göre, doymuş buhar basıncı altında 160-180°C'lerde alçı taşının ayrışmasıyla veya 100°C'de doymuş tuz çözeltisinden elde edilen türleri vardır (Ünlüer,2001).

α alçısının β alçısına oranla daha az su gereksinimi vardır;

- α türü için su/alçı oranı % 30-35 ise dayanım 600 kg/cm².

- β türü için su/alçı oranı % 65-70 ise dayanım 150 kg/cm²'dir.

β -yarı hidratın karma su yüzdesi, α formundan daha yüksektir. β formunda suyu tutacak olan yarı hidrat tanecikleri, yuvarlağa daha yakın olan α -yarı hidrat taneciklerinden daha girintili çıkıntılıdır (Ünlüer,2001).

Alçı oluşumunun arkasında yatan teori şudur: Jips minerali kalsine edildiğinde ortaya porlu, birbirine yapışmış taneciklerden oluşmuş bir yapı çıkar. Az miktarda su bunun üzerine eklendiğinde, su molekülleri bir film halinde tanecikler arasını ıslatır ve aradaki havanın çıkmasını ve sonrada suyla dolmasını sağlar. Su eklemeye devam edildiği takdirde tanecikler birbirinden kopar ve alçı akışkan hale gelir. Alçı karıştırıldığında jips (CaSO₄.2H₂O) kolloidleri çöker. Oluşum zamanı esnasında, jips kristalleri büyür ve birbirlerinin hareketlerini engelleyerek sert bir yapı oluştururlar. Fazla miktarda su eklenmesi ise yapı içerisinde gözeneklerin oluşmalarını sağlar (Ünlüer,2001).

Çizelge 3.1 α -yarı hidrat ve β -yarı hidrat formların tanımlanmasında kullanılabilecek özellikler (Subaşı,1999).

Özellikler	α -yarı hidrat	β -yarı hidrat
Yoğunluk (gr/cm^3)	2,757	2,637
Hidratasyon sıcaklığı (25°C kal.mol.gr)	4,1	4,6
Karma suyu (ASTM.C26) (cm^3 su/100 gr yarı hidrat)	35	90
Priz süresi (dakika)	15-20	25-35
Kuru halde çekme dayanımı (kg/cm^2)	66	13
20°C 'de sudaki çözünürlük ($\text{gr}/100$ gr çözelti)	0,63	0,74
Kuru halde basınç dayanımı (kg/cm^2)	560	56

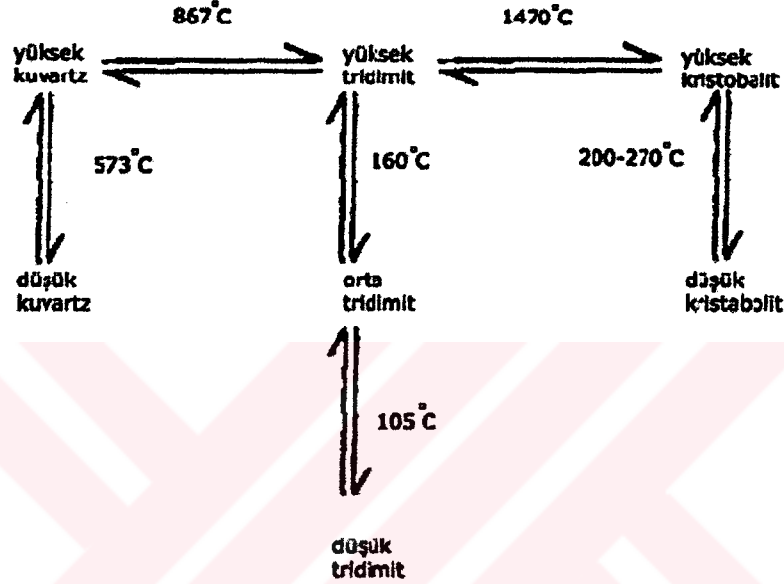
Yarı hidrat su alarak yeniden hidratasyona uğrar ve birbirine girmiş (bağlanmış) kristaller halinde tekrar kristalleşerek sert bir kütle formunda donarak alçı taşı haline döner. Bu kimyasal kombinasyon için gerekli su miktarı kuru alçının % 18.6'sı kadardır. Fakat suyun, kuru alçı kütlelerinin her tarafına homojen olarak dağılması, şekillendirmeye elverişli, plastik olması için % 18.6'dan daha fazla suya gerek vardır. 100 kısım alçıyı belirli bir akıcılığa getirmek için gerekli su miktarına "normal kıvam" denir (Ünlüer,2001).

Plastik kıvamdaki alçı ne yapışkandır ne de kumludur. Yumuşaktır. Kadife hissini verir, üstüne mala sürüldüğü zaman yağlı bir yüzeye sürülmüş gibi mala kirlenmez (Ünlüer,2001).

3.1.2 Silika

Doğada en çok bulunan oksitlerdendir. Silika; yerine geçen ve yeniden oluşan dönüşümleri olan çoklu polimorflara sahiptir. En önemlileri şekil 3.1' de gösterilmektedir. Yüksek kuartzdan düşük kuartz dönüşüm sırasında büyük hacim değişimi olmaktadır. Bu durum soğutma sırasında yüksek kalıntı gerilimlerine ve

mukavemette düşüşe neden olur. Bu problemten kaçınmanın en iyi yolu proses boyunca bütün kuartzın kristobalite dönüşmüş olmasından emin olunmasıdır, çünkü bu yeniden oluşum dönüşümü oda sıcaklığında yarı karardır. Yüksek kristobalitin düşük kristobalite dönüşümü sırasındaki hacim değişimi kuartz kadar yüksek değildir(Barsoum, 1997).

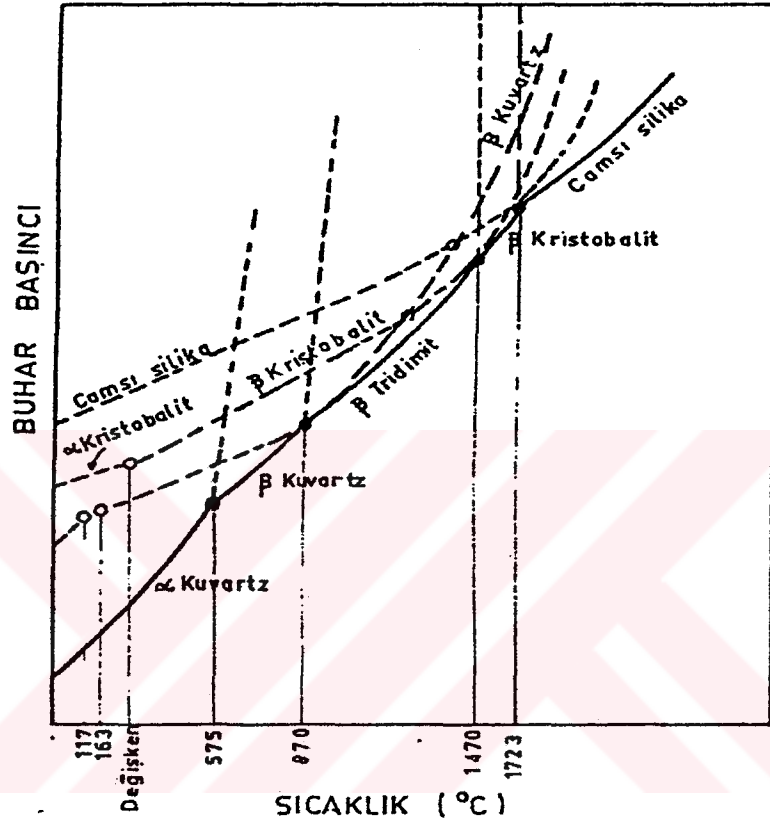


Şekil 3.1 Silikanın polimorfik dönüşümleri(Barsoum, 1997).

Şekil 3.2’de silikanın sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı-kararlı fazları göstermektedir. Ordinat eksenini SiO₂’in buhar basıncını göstermekle birlikte rakamsal değerler verilmemiş bunun sebebi ise SiO₂’in çok kararlı bir oksit olmasından dolayı buhar basıncının normal atmosferik basıncı yanında çok küçük kalmasıdır. Diğer bir ifade ile silika kolay kolay bozulmamaktadır. En kararlı fazlar kesiksiz, yarı kararlı fazlar ise kesikli çizgi ile gösterilmiştir(Eriç,1985).

Saf halde silis 1723°C’ de ergimektedir, bu özelliği silikaya yaygın refrakter malzemesi olarak kullanım imkanı tanımaktadır. Silika esaslı refrakter tuğlaların yapımında kullanılan hammaddeler iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunların ilki ganister olup %98’in üzerinde bünyesinde SiO₂ içeren yeryüzünde masif kayaları oluşturan yoğun kuartztır (çakmak taşı, kuartz kayası). Silika refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan diğer

hammadde ise kuvarz çakıl taşları ve kayalarıdır. Özellikle çakıl kayaları uygun yapıda seçilip yıkanırsa % 0.5'den az alümina ve alkali içerikleri ile SiO_2 üretiminde mükemmel bir hammadde kaynağı oluşturur (Sammer vd.,1989).



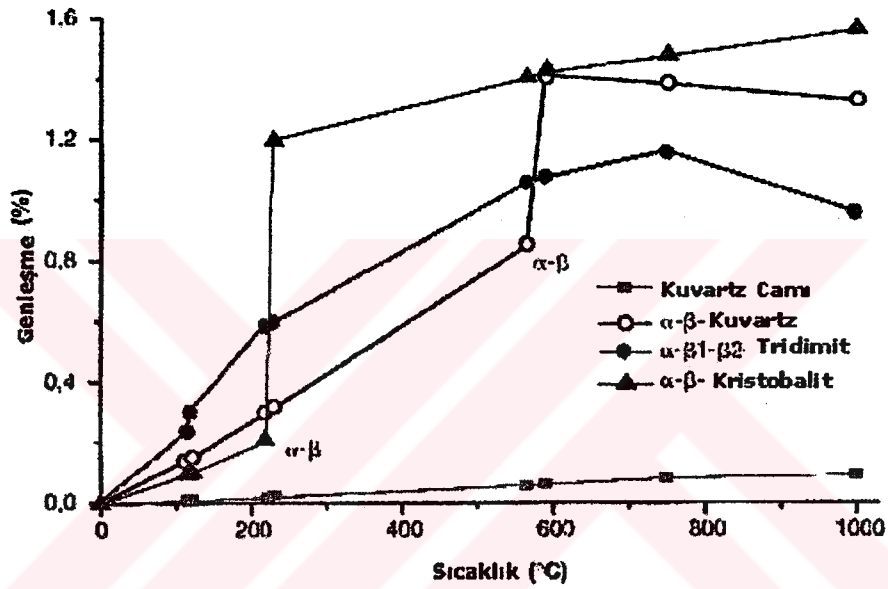
Şekil 3.2 SiO_2 'in sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları (Eriç,1985).

Silika esaslı refrakterlerin kullanımı sırasında şu iki önemli nokta her zaman göz önünde tutulmalıdır.

- Kuvarz hammaddesinde bulunan Al_2O_3 , TiO_2 ve alkalinler tarzındaki safsızlıkların miktarları,
- SiO_2 'da mevcut polimorfik kristal fazların dönüşümleri (Eriç,1985).

Silika esaslı refrakterlerin ana hammaddesi olan kuvarz'ın ısıtılmasıyla beraber α -kuvarz, β -kuvarz'a döner ki bu duruma Şekil 3.3'de görülen 573°C ' taki ani lineer

genleşme eşlik etmektedir. Bu sıcaklık değerine yaklaşıldıkça ısıtma hızının yavaşlatılmasıyla beraber %0,92' u bulabilecek hacimsel değişimin yaratabileceği çatlak oluşumlarının önüne geçilebilecektir. 1426°C' in üzerindeki sıcaklıklarda pişirme yapılan silika refrakterlerde yapıda kristobalit parçacıkları oluşurken, muhtemelen artık haldeki dönüşmemiş kuartz yapıları ile karşılaşılacaktır. Kristobalit parçacıkları tridimit ile çevrelenmiş halde olup, ara camı bağ fazı ise yüksek kireç, alümina, titanyumdioksit ve alkalinlerden meydana gelmiştir (Sammer vd., 1989).



Şekil 3.3 Silika mineralinin ısı genleşmesi (Faccenda ve Ingo, 2001).

Silika esaslı refrakter malzemelerde esas olarak dayanıklılık ve sağlamlığın elde edilmesi için tridimit istenmektedir. Hammadde karışımı içerisinde %1'den daha az CaO katkısı verilmiş ise SiO₂' in tridimit bölgesinde yani yaklaşık 1450 °C civarında bir miktar sıvı faz oluşacak, kuartz sıvının içinde çözülecek, pişirmeyi takiben soğuma sırasında tridimit sıvıdan kriticellenerek ortaya çıkacaktır (Eriç, 1985).

%1'den daha az CaO' in saf silikanın içerisine katılmasıyla beraber silikanın 1723°C olan ergime sıcaklığı 1708°C' a düşmektedir. %1-40 arasında demir oksitte silika içerisine katılırsa CaO gibi davranarak ergime sıcaklığı 1696 °C civarına kadar çekilebilmektedir. Diğer oksitler örnek olarak alümina, titanyumdioksit ve alkalinler

silika ile karışmayan sıvılar teşekkül ettirmektedir; bu tip oksitlerin silika içerisindeki miktarları arttıkça ergime noktası şiddetle düşme eğilimine girmektedir (Sammer vd.,1989).

Tridimit yapının sağladığı yüksek dayanım şöyle açıklanabilir. 1470°C' in hemen altındaki sıcaklıklarda pişirme yapılırken, kuvarz sıvı içerisinde çözünüp yok olurken, tridimit kristalleşmekte ve tridimit taneleri birbirlerine bağlı bir doku oluşturarak dayanımı artırmaktadır. Pişirme işlemi 1470°C' in üzerinde yapılırsa kuvarz taneleri kristobalite dönüşecek ve yapıda sıvı faz ile katı kristobalit bir arada bulunacaktır. Soğuma esnasında sadece sıvı faz donarak ayrı ayrı duran kristobalit taneleri zayıf bir bağ ile bir arada tutacak ve dayanım önemli oranda azalacaktır (Eriç,1985).

Silika esaslı malzemeler 1650°C' a kadar olan sıcaklıklarda problemsiz çalışmaktadır. Genelde çelik üretim fırınlarında, kok fırınlarında özellikle yüksek asidik curufların ve oksitleyici atmosferlerde demir oksitlerle temas eden bölgelerde sorunsuz kullanılabilmektedir (Sammer vd.,1989).

3.1.2.1 Kuartz

Yeryüzünün bilinebilen kısmının %25'ini oluşturur. Oksijenden sonra dünyada en çok rastlanan silisyumun bir bileşimidir. Kimyasal formülü SiO_2 olup, mol ağırlığı 60 gr/mol'dür. Sertlik derecesi Mohs'a göre 7 dir (Arcasoy,1983).

Doğada kristal olarak dağ kristali, amethyst, kuarzit, kuartz ve kristal kuartz kumu olarak, amorf olarak ise flinit ve sileks taşları, kizelgur şekillerinde bulunur (Arcasoy,1983).

Kuartz kristali granit, gnays gibi ana kayaların içinde bulunabildiği gibi, bazen de tek başına, tanecik yapısında olarak damarlar şeklinde diğer mineraller ile karışmış olarak bulunur (Arcasoy,1983).

Ana kayaçlar içindeki kuartz tek başına dış etkenlerden etkilenmediği halde, ana kayanın doğa etkileri ile bozunması sonucu, açıkta kalan kuartz sularla tıkanıp sürüklenerek, başka bölgelerde tek başına çökebilir. Bu çökme işlemi çoğu zamanda ham kaolin ile birlikte olur ve bu olay da kaolinin içindeki “serbest kuartzı” oluşturur (Arcasoy,1983).

Çöken kuartzdan kumtaşı, ganister, kuartz, kum vb. gibi maddeler oluşur. Bu maddelerin tanecik yapılarını, oluşan erozyonun niteliği büyük ölçüde etkiler. Kumtaşında oluşan tanecikler, silisyum dioksit, kalk, kil, demir oksit veya glimmer ile birbirlerine yapışmış durumdadırlar. Ganister ise çok ince taneli kumtaşı olup, aynı zamanda az miktarda kil de içerir. Kuarzit, kuartz taneciklerinin silisyum dioksit ile çok sıkı bağlandığı, taneciklerin kolay kırılmaya elvermediği bir formdur (Arcasoy,1983).

Flint, çok az su ve organik madde içeren kuartzdır. Genel olarak üzeri kalk ile kaplanmıştır. Kırığı karakteristik olarak midye kabuğu dokusunda ve siyah renklidir. Diyatomit veya kizelgur olarak adlandırılan amorf silisyum dioksit, yüksek porozitesi(= su emme yeteneği) ve düşük sıcaklık iletkenliği ile ilginç bir maddedir (Arcasoy,1983).

Bu özelliklerinden yararlanarak diyatomitte özel seramik izolasyon (=yalıtım) çamurlarının yapımında yararlanır (Arcasoy,1983).

Silisyum dioksitin diğer formlarından olan kristobalit ve tridimit seyrek de olsa, doğada bulunabilirler. Hammadde ekonomisi açısından önemli değillerdir (Arcasoy,1983).

Doğadan ham kuartzın çıkarılmasında, bilinen taş kırma yöntemleri uygulanır. Belli bir parça büyüklüğünde ön kırılması yapılan kuartz, beraberindeki yabancı maddelerden kurtarılma amacı ile yıkanır ve manyetik tutuculardan geçirilir. Ancak bu işlemlerden sonra kuartz istenen tane büyüklüğünde öğütülür (Arcasoy,1983).

Flint taşlarının doğadan çıktıkları gibi öğütülmeleri sertlikleri nedeni ile güçtür. Bu neden ile flint taşları öncelikle 300-900°C arasında kalsine edilirler. Kalsine edilen

flintin, kalsinasyon sıcaklığı ve süresine bağlı olarak özgül ağırlığında da bir değişme olur. Farklı özgül ağırlıklar da maddenin hacmini etkiler (Arcasoy,1983).

Flint taşlarının seramik endüstrisinde en yaygın bir diğer kullanma alanı da, bilyalı değirmenlerde, doğada bulundukları şekilleri ile öğütme bilyası olarak kullanılmaktadır (Arcasoy,1983).

Silisyum dioksitin oda sıcaklığında değişmez formu β -kuartzdır. β -kuartzın $573\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar ısıtılması ile, bu sıcaklıkla α -kuartz oluşur. Bu reaksiyon geriye dönüşlü olup, bu sırada kuartz hacimca büyüme gösterir. Isıtmanın yavaş sürdürülmesi ile α -kuartz bu kez $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de α -tridimite ve $1470\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de de α -kristobalite dönüşür. Bu dönüşümler dizisi, $1713\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de erime ile son bulur (Arcasoy,1983).

Silisyumdioksitin yüksek sıcaklıktaki formlarından olan tridimit ve kristobalit, soğuma sırasında birden düşük sıcaklık formlarına dönüşürler. Bu formlardan olan β -tridimit 163°C ' de, γ -tridimit 117°C ' de ve β -kristobalit de 230°C ' de oluşur. Silisyum dioksitin dönüşümleri sonucu ortaya çıkan formlarının hepsi farklı özgül ağırlıklara sahiptirler (Arcasoy,1983).

Dönüşümler dizisindeki reaksiyonların belirtilen özellikleri göstermesi ve her birinin geri dönüşlü olması çeşitli faktörlerden etkilenir. Örneğin, yavaş ısıtma ve soğutma, silisyumdioksitin içinde doğadan gelen yabancı maddelerin bulunup bulunmaması ve silisyum dioksitin doğal türü gibi (Arcasoy,1983).

Kuartz kristali elektroteknik alanda önemli sayılan bir özelliğe sahiptir. Kristale uygulanan basınç ve çekme gibi mekanik etkiler, onun elektrik ile yüklenmesine neden olur. Bu mekanik etkileşimin kaldırılması ile elektrik yükü de ortadan kalkar. Bu olay "piozelektrik" konusunun kapsamına girer. Piozelektiriğin seramik ile olan ilgisi yalnızca kuartza bağlı bir özellik değildir. BaTiO_3 çıkış maddesi olarak alınarak geliştirilen seramiğe "piozelektrik seramik" adı verilmektedir (Arcasoy,1983).

Silisyum dioksit seramik çamur ve sırlarında önemli görevler yüklenerek geniş kullanma alanı bulunur. Seramik endüstrisinde SiO_2 'in en çok kuartz kumu veya kaya kuartzı şeklinde olan türleri kullanılır. Doğada bol ve yaygın olarak bulunan ince taneli kumlar, demir ve diğer zararlı katkıları içermiyorlarsa, büyük kırma ve öğütme masraflarına gerek olmaksızın seramik endüstrisinde öncelikle kullanılırlar (Arcasoy,1983).

Kuartz katkısı çamurlarda şu etkileri gösterir:

- a) Çamurun bağlayıcı özelliği ve kuru direnci katkı oranı arttıkça azalır.
- b) Pişmiş çamurda gözeneklilik ve su emme artar.

Kuru ve pişme küçülmesi değerlerinde azalma ortaya çıkar. Katkı oranının çok artması ile birlikte küçülme yerine büyüme görülür (Arcasoy,1983).

3.1.2.2. Kristobalit

Kristobalit kuartzın bir polimorfudur; aynı bileşimdedir fakat farklı yapıya sahiptir. Hem kuartz hem de kristobalit, koesit ve tridimiti de içeren kuartz grubunun polimorflarıdır. Kristobalit genellikle volkanik kayalarda bulunur ve kristal yapısı petrografik mikroskopta oldukça kolay görünür. Kristobalitin daha yüksek sıcaklıklardaki formuna β -kristobalit denir. Kristobalit izometrik simetriye sahip olan β -kristobalit formunda kristalize olur ve daha sonra kristal soğutulursa α -kristobalite veya kristobalite çok kolay döner. β -kristobalitin tipik kristalleri oktahedrondur. β -kristobalit, tetragonal simetriye sahip kristobalitten daha yüksek simetriye sahiptir. Kuartz kumunun kalsinasyonundan elde edilir. Isıl genişmesi fazladır. Hassas döküm tekniğinde kullanılan en kaliteli seramik malzemedir. Bu sebepten geniş kullanım alanına sahiptir. Kristobalitin fiziksel özellikleri; renksiz veya beyaz renktedir, kristal sistemi tetragonal, özgül ağırlığı 2.32gr/cm^3 , sertliği 6.5'dir (<http://mineral.galleries.com>).

3.2 Kullanılan Diğer Bağlayıcılar

3.2.1 Etil Silikat

Etil silikat bağlı refrakterler mükemmel yüzey kalitesi ve döküm ürününde kurutma, pişirme esnasında düşük üniform çekmeye sahiptir. Seramik kalıba döküm temiz ve üretilecek modelin tüm detaylarını veren parça üretimini sağlar. Etil silikat bağlayıcı seramik parçalarının tercih edilmesindeki en önemli nedenler şu şekilde sıralanabilir;

- a) Yüzey kalitelerinin mükemmel olması,
- b) Kurutma ve pişirme esnasında başlangıç boyutlarını koruyabilmesi,
- c) Üretim yönteminin basit olması ve seri üretime uygun olması,
- d) Uzun süreli yüksek sıcaklıktaki ortamlarda dayanımı koruyabilmesi,
- e) Seramik kalıba yapılan dökümün yüzey kalitesinin hassas döküme eşit olması (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

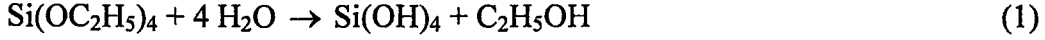
Bağlayıcının taşınması gereken özellikler şöyle sıralanabilir;

- a) Modeli ıslatmalı ama model aşınma ve tahribata sebep olmamalıdır,
- b) Uygun bir viskoziteye sahip olmalıdır ki seramik tozlarla karıştırılarak dökülebilir bir bulamaç elde edilebilsin,
- c) Yüksek sıcaklıklarda dahi seramik yapısında dayanımı olumsuz etkilemesin ve korozyon şartlara direnç gösterebilsin (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

Etil silikat bünyesinde bu özellikleri taşıyan bir malzemedir. Etil silikat en önemli avantajı, bu malzemeden sınırsız sayıda farklı bağlayıcı çözeltilerinin hazırlanabilmesi ve her birinin farklı fiziko-kimyasal ve pratik unsurlar taşınmasıdır. İlave edilen suyun miktarı, hidroliz için kullanılan tezgen tipi ve miktarı, çözeltideki silika miktarı üzerinde yapılacak olan değişiklikler çeşitliğin sağlanmasında kullanılabilecek hususlardır(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

Silikanın kontrollü biçimde seramik bünyelerine katılmasının yolu organik kökenli tetraetilortosilikatın bağlayıcı olarak hidrolize edilmesi ile silisik asit ve etil alkolün elde

edilmesidir (Tepkime 1). Süreç içerisinde silisik asit suyunu yitirmekte ve silikanın amorf şeklini almaktadır (Tepkime 2) (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).



Silikanın elde edilmesi, silisik asitin suyunu yitirmesiyle olmaktadır. Silisik asit çözeltileri dış görünüm olarak organik jelleşme gibi yavaş yavaş kıvamlaşmakta ve sonunda tam halini almaktadır. İşte bu noktada bağlayıcının jelleşme hızının yani jelleşme zamanının belirlenmesinde önemli bir konu olarak karşımıza çıkar. Hidroliz ve kondenzasyon hızı kontrol altına alınmaz ise oluşacak olan bağlayıcı çözeltisinin özellikleri kontrol edilemez. Bunun için hızı kontrol eden çözücü tipi ve miktarı, ortam sıcaklığı, ortamdaki nemlilik, çözeltideki su miktarı, sisteme verilen tezgen miktar ve tipi gibi bir çok etmen dikkatle irdelenmelidir(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

Etil silikat renksiz, hafif ester kokulu sıvı bir malzemedir. Buharlaşma sıcaklığı 168 °C olup, donma sıcaklığı -77 °C'dir. Etil silikat su ile karışabilir değildir. Bu nedenle kullanım esnasında aseton, izopropil alkol, metil veya etil alkol içerisinde çözündürülen etil silikat, bu halinde hidroliz tepkimesine dahil edilir. Etil silikatın hidroliz işlemi normal koşullarda çok yavaş olmakta, sisteme bazik veya asidik karakterli bir tezgen eklenmesi ile bu tepkime hızlandırılmaktadır. Bu amaçla HCl, H₂SO₄, magnezyum oksit ve kireç kullanılabilir(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

Havada mevcut nem, silikat çözeltisi ile etkileşmekte ve hidroliz tepkimesi yer almaktadır. Birçok uygulamada görülmüştür ki kuramsal olarak gerekli su miktarından çok daha az miktarda su kullanımı etilsilikatın hidroliz tepkimesinin tamamlanmasında yeterlidir. Suyun kuramsal miktardan daha az kullanılması ile esterin bir kısmı yoğun reçinemsı yapışkan bir maddeye dönüşmekte, bu yapının buharlaşmadan sonra silika filmi içinde esnekliği sağladığı ileri sürülmektedir(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

Etil silikat kullanılarak hazırlanmış bir bağlayıcının çözeltisinin havaya açık biçimde depolanması durumunda oda sıcaklığında 10 gün zarfında peltleşmekte ve pelte

halindeki bağlayıcı zamanla sertleşerek kullanılabilirliğini yitirmektedir(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

3.2.2 Fosfat Bağlayıcılar

Fosfat bağının ilk kullanım alanlarından biri dişçiliktir. Kalsine çinko oksit fosforik asitle karıştırılarak diş çimentosu hazırlanmıştır. Silikat-fosforik asit bağları da çok sayıda araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Alümina-kireç-silika camının tozları fosforik asitle karıştırılırsa sert, beyaz, yarı saydam çimento oluşur (Yaman,1996).

Kingery fosfat bağı şöyle özetlenmiştir. Refrakter uygulamalarında üç büyük grup vardır.

1. Fosforik asitle silikalı malzemelerin kullanılması. Bu uygulamada fosforik asidin silikatla çözünmesi ve silika jel oluşturması beklenir. 260 °C'ın üzerindeki sıcaklıklarda silisil metafosfat, $\text{SiO}(\text{PO}_3)_2$ oluşur.
2. Metal oksitlerin fosforik asitle, sıcakta veya soğukta sertleşen bağlar yapması. Al, Cr, Mg, Be, Fe, Zr gibi metallerin oksitleri 200 °C'de fosforik asitle reaksiyona girdiği zaman bağ malzemesi oluşturur. Bu metal- fosfat bağın güçlü ve karlı olduğu ispatlandı.
3. Asit fosfatların doğrudan ilavesi veya oluşturulması (Yaman,1996).

Fosfat bağlı monolitik refrakterlerde bağlayıcı olarak genellikle fosforik asit veya monoalüminyum fosfat (MAP) kullanılır. Normal plastik refrakterlerde kullanılan suyun yerine bu bağlayıcılar kullanılır. Üretim ve uygulama, plastik refrakterlerle aynıdır. Fosfat bağlı plastik refrakterler, normal plastik refrakterlere göre şu avantajlara sahiptir (Yaman,1998).

1. Bir kaçı hariç genellikle ısı ile sertleşirler.
2. Katılaştıktan sonra soğuk mukavemetleri yüksektir.
3. Aşınmaya karşı dirençleri iyidir.
4. Hem sıcak hemde soğuk uygulamalarda iyi yapışma özelliğine sahiptir .

Kullanılan bağlayıcılar, çok az miktarda bulunan yabancı maddelerle veya kille yavaşça reaksiyona girer, bu nedenle bağlayıcı içeren plastik refrakterler, işlenebilirliğini normal plastik refrakterlerden daha hızlı kaybederler. Yaz aylarında ortam sıcaklığı yükseldiği zaman işlenebilirlik ve depolama ömrü hızla düşer (Yaman,1998).

Sıcakta sertleşen fosfat bağlı refrakterlerde sıcakta ve soğukta eğme dayanımlarını ve kimyasal olarak sertleşen fosfat bağlı refrakterlerin soğukta eğme dayanımları karşılaştırma yapıldığı zaman, sıcakta sertleşen fosfat bağlı plastik refrakterlerin soğukta eğme dayanımları, kimyasal olarak sertleşenlerden çok daha yüksektir (Yaman,1998).

Fosfat bağlı refrakterlerin yüksek dayanımlı olması, aşınma dayanımının iyi olmasında beraberinde getirir. Fosfat bağlı refrakterler, 1300 °C'a kadar, ateş tuğlasına göre süper üstünlük sağlar. Fosfat bağlı plastik refrakterlerin yapışma özelliği, normal plastik refrakterlerden daha iyidir. Bu nedenle hasarlı refrakterleri yamamada tercihen kullanılır. Fosforik asitin ve monoalüminyum fosfatın buhar basıncı suyunkinden daha düşüktür. Bu nedenle olgunlaşma döneminde dökülebilir refrakterlerde görülen patlama çok az olur. Fosfatların konsantrasyonu fosfat bağlı refrakterlerin donma noktasını tayin eder. Bunlar kolay kolay donmaz, örneğin %25 monoalüminyum fosfat çözeltisi 7 °C'a kadar donmaz. Fosfat bağlayıcılar suda çözündüğü için ısıtma sırasında suyla birlikte bir miktar fosfat yüzeye doğru gelir ve yüzeyde fosfat konsantrasyonu artar. Bu, bağ göçü olarak adlandırılır. Bağ göçü fazla olduğu zaman, refrakter kesitinde mukavemet yüzeyden içeri doğru değişmektedir. Bu olay, pişirme sırasında kabuklanmaya yol açabilir, ısıtmanın yavaş yapılması gerekir. Rutubetin azaltılması veya jelleşmenin çabuklaşması bağ gücünü azaltır (Yaman,1998).

Fosfat bağlı plastik refrakterler, normal plastik refrakterlerle aynı oranda pişirme küçülmesi, aynı derecede korozyon direnci gösterdiği halde, mukavemet ve aşınma direnci gibi bazı özelliklerde diğerine göre üstünlük sağlar; fakat kurutulamaz, katılaştırıcılar bazen soğuk sertleşmeye neden olur. MgO, katılaştırıcı olarak sık sık kullanılır. Fakat onun oluşturduğu bazı bileşikler arası bileşiklerin ergime sıcaklığı düşük olduğu için 1000 °C'ın üzerinde mukavemet azalır (Yaman,1998).

3.2.3 Kolloidal Silika

Kolloidal silika sol, basit olarak, su içinde asılı çok küçük silika parçacıkları olarak tanımlanabilir. Parçacıklar o kadar küçüktür ki , süspansiyon içinden çökerek ayrılmazlar. Sollerin çoğunda, parça büyüklükleri 40 milimikron civarındadır. 16 milimikrona kadar düşebilirler. Silika sollerindeki silika miktarları genellikle %30 civarındadır (Kınıkoğlu, 2000).

Silika sol bağlayıcılar normal olarak kurumaya bırakılır, su uçunca birbirleriyle temas haline gelen silika parçacıkları jelleşerek bağlanırlar. Silika sollerin kararlılıkları sistemin pH'ına bağlıdır. 2 ile 10 pH'da en kararlı, 5 pH'da en kararsızdırlar. Sollerin çoğu alkalidir ve pH'ları 7'den fazladır jelleşme hızını sistemin pH'ını ayarlayarak kontrol etmek mümkün olmakla beraber bu pek uygulanmaz (Kınıkoğlu, 2000).

3.2.4 Sıvı Sodyum Silikat

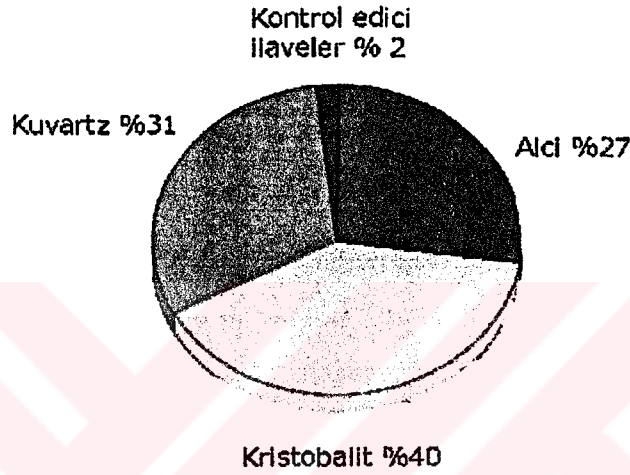
Ucuz bir bağlayıcı istenildiği zaman kullanılırlar. Buharlaştırmadan sonra kuvvetli bir camsı bağ oluştururlar. Buna karşılık refrakterlikler, düşüktür ve otoklav buharına karşı dayanıksızdırlar (Kınıkoğlu, 2000).

Yüksek sıcaklık malzemeleri için, kolloidal alümina ve kolloidal zirkonya tercih edilmesine rağmen, bu bağlayıcıların oda sıcaklığında dayanıklılıkları düşüktür (Kınıkoğlu, 2000).

Yukarıda sayılan bağlayıcıların dışında, sodyum alkil eril sülfonat, sodyum alkil sülfat, oktifenoks polietoksitonol gibi maddeler % 0,03-0,3 arasında katılarak ıslatma sağlanır. Köpük oluşumunu önlemek amacıyla kullanılan maddelerde; ıslatma maddesinin kullanıldığı yerlerde ilk katlarda köpük giderici olarak kullanılır. Yaygın olarak kullanılan n-oktil alkol ve 2-etil heksil alkoldür. % 0,002 ile % 0,10 ağırlık oranı arasında katılırlar (Kınıkoğlu, 2000).

3.3 Dereceli Hassas Döküm Kalıp Yapımı

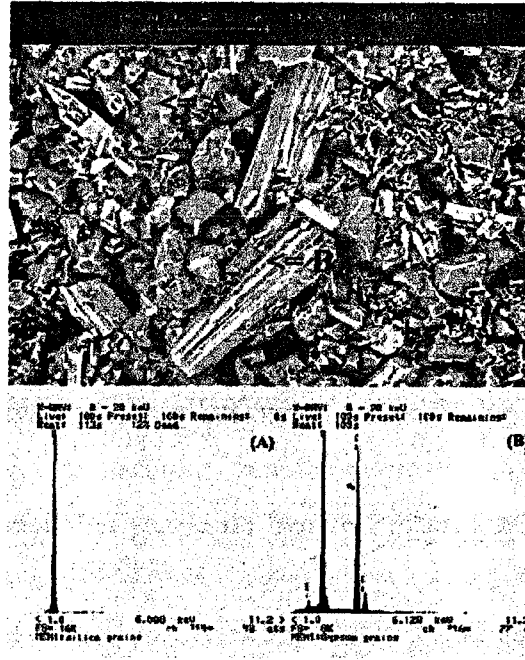
Demir dışı alaşımlar için en yaygın olarak kullanılan hassas tozlar; bağlayıcı olarak görev yapan % 25-30 kalsiyumsülfat hemihidrat ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (gypsum) ve % 70-75 kuartz ve β -kristobalit formundaki silika karışımdır. Bu karışım şekil 3.4’de gösterilmektedir(Horton, 2000).



Şekil 3.4 Tipik dereceli hassas kalıp toz kompozisyonu (Horton, 2000).

Şekil 3.5’de bileşenlerin morfolojisi gösterilmiştir. Spectrum A’da tipik konkoidal kırılma şeklindeki silika partikülleri, spektrum B’ de lifsi alçı kristalleri gösterilmektedir. Şekil 3.3’de açıkça görüldüğü gibi silika fazlarının faz dönüşüm sıcaklığı ve termal genleşme katsayısı gibi değişik termomekaniksel özellikleri olduğundan kuartz ve β -kristobalit miktarı kalıp karakteristiklerini etkiler (Faccenda ve Ingo, 2001).

CNR laboratuvarlarında yapılan analizler göstermektedir ki; bir tedarikçiden diğerine kuartz / β -kristobalit oranı değişmektedir. Bu yolla fizikokimyasal özelliklerin değişkenliği hassas tozların performansını etkileyebilir. Örneğin döküm malzeme kalitesini etkileyen küçük çatlaklar oluşabilir (Faccenda ve Ingo, 2001).



Şekil 3.5 Hassas tozların mikromorfolojisi (Faccenda ve Ingo, 2001).

Döküm için dereceli kalıp hazırlanması en kritik adımlardan biridir. İlk adım su ve hassas tozu karıştırmaktır. Hava kabarcıkları içermeyen homojen ve akıcı çamur üretebilmek için tozlar suya eklenmelidir. Tercihen de iyonize veya damıtık su sıcaklık kontrolüyle kullanılmalıdır. Mekanik karıştırma için suya azar azar alçı tozu eklenir ve 2-4 dakika boyunca karıştırmaya devam edilir. Bu bulamaç, mutlaka, tamamen pürüzsüz ve homojen bir kıvama gelmelidir. Karışımın gereğinden fazla su bulunması, döküm metal yüzeyinin dalgalı olmasına neden olabilir. Aşırı su katılaşmayı yavaşlatır. Alçının tam doğru biçimde katılaşmasında karışımın sıcaklığı son derece önemli olduğundan alçı da, su da, gereken sıcaklıkta olmalıdır. Sıcaklığın daha yüksek olması, alçının daha hızlı katılaşmasına yol açar ve çalışma süresini kısaltır. Örneğin 15°C'de çalışma süresi 17 dakika olabilir, ancak 30 °C bu süre 9 dakikaya düşer. Ayrıca, sıcaklığın daha yüksek olması, zayıf bir vakumda havanın giderilmesine de yardımcı olur. Alçıdan önce, karıştırma çanağı ve alçı karışım bir vakum cihazına yerleştirilir ve alçı çanağın içerisinde kabarıp çökünceye kadar ilk hava-alma için mümkün olduğunca tam emiş uygulanır. Vakum yaklaşık 30 saniye tutulur ve bırakılır. Teoride tam vakum, deniz seviyesinde ve 0°C'de 760 mm (civa) bir standart atmosfer basıncının tamamen çıkarılmasına eş değerdir. Ancak, bu değer, yaklaşık 600 mm, 1500 mm rakımda %80'e

düşer, bu nedenle, yüksek rakımda bulunan atölyelerde vakum pompalarının tepe değer durumunda kalması sağlanmalıdır. Artık, karışım kalıplara dökülmeye hazırdır (Horton, 2000).

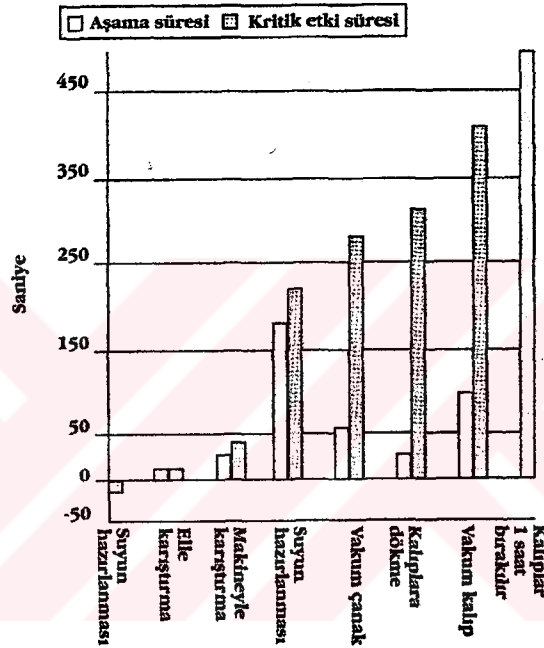
Kalsiyum sülfat esaslı alçılar, ateşe dayanıklı olmaması ve sülfür gazı gözenekliliğinden ötürü, kalsiyum sülfattan çok kalsiyum fosfata dayalı daha pahalı bir fosfat temelli ateşe dayanıklı alçı gerekir. Bu da, dökülebilir karışım oluşturmak için silis tozunun etanol ya da asit fosfat ve magnezya ile karıştırılmasından oluşur. Bu tozun, homojen bir biçimde ıslanması daha zor, kalıp alçılarından yeniden-ayrılması daha kolaydır. Bu karışım tiksotropiktir ve karıştırma aleti yerine iki hamur mikseri kullanılarak homojen olacak şekilde karıştırılması gerekir, işlemin zamanlaması çok daha fazla önemlidir. Alçı tozlarının hepside nemden zarar görür. Alçı tozları, kapalı plastik bir silindir içinde dayanıklı plastik torbalarda saklanmalıdır (Wright,1998).

İster sülfat, ister fosfat bağlı olsun, alçılarda silis tozu bulunur ve bu tozların en ince partikülleri bile, solunduğunda akciğerlerde ciddi hasara yol açabilecek büyüklüktedir. Alçıyla çalışırken yüze uygun bir maske takılmalıdır. Adi bir kağıt maske yeterli değildir. Özellikle silise uygun bir uygun bir maske kullanılmalıdır. Alçı odasının bütününde özellikle mikserlerin bulunduğu yerden havayı çeken yeterli bir havalandırma sağlanmalıdır (Horton, 2000).

Modelin alçılanmasında ayrıntılara dikkat edilmesi çok önemlidir. Alçının, modelleri tamamen örtünceye kadar modellerin içinden ve kenardan akacak şekilde fanusların yanında aşağı dökülmesi gerekir. Kolaylıkla yüzey kusurlarına yol açacak sıkışmış hava miktarının azaltılması için, doldurma sırasında derece sarsılır ya da dereceye titreşim uygulanır. Alçılanmış fanus bir vakum tezgahına yerleştirilir ve iki dakika boyunca tam vakum uygulanır. Fanus, tepeye kadar bulamaçla doldurulur ve hiçbir sarsıntıya uğramadan çökmesi beklenir. Alçıdan önce, karıştırma aygıtları, yolluk kaidesi ve fanus temiz olmalı ve kurumuş alçı izi bulunmamalıdır. Çünkü bu izler hazırlanan bulamacın donmasını hızlandırır. Toplam çalışma süresi yaklaşık 8-10 dakikadır ve bu süre dikkatle planlanmalı ve kontrol edilmelidir (Çizelge 3.2). Tek karıştırmadan 4-6 fanustan fazlasının tam olarak alçılanması çok zordur. Donma süreleri, bir formülden

diğerine değişir, en iyi sonucun alınması için tedarikçilerin önerilerine tamamen uyulmalıdır. Hızlandırıcı ve geciktirici kullanılabilir. Kronometre kullanılarak zamanlama ayarlanmalıdır. Örneğin, kalsiyum sülfat esaslı bir formül yaklaşık 6-7 dakikada çökerken ve buharla mumdan arındırılırken, fosfat esaslı bir formül yaklaşık 14-18 dakikada çöker ve çöktükten sonra da nemli tutulmaması gerekir (Wright,1998).

Çizelge 3.2 Dereceli kalıp yapımı için toplam çalışma aşamaları ve süresi (Wright,1998).



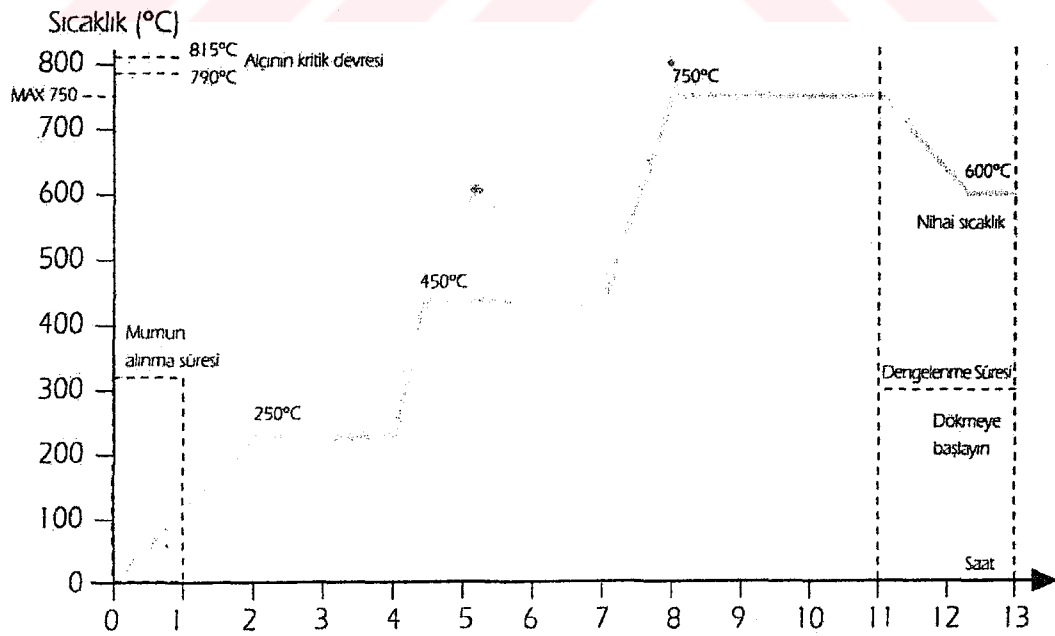
Yaklaşık 1/2-1 saat donmadan sonra lastik kaide çıkarılır ve alçı malzeme fazlası bir bıçakla alınır. Daha sonra kalıp, mumdan arındırma ve yakma işlemlerine geçilmeden önce 3-4 saat bekletilir (Wright,1998).

Mumdan arındırma, buharla ya da kuru olarak yapılabilir. Buharla mumdan arındırmada, fanuslar, girişleri aşağı bakacak şekilde kapalı bir bölme içerisinde kaynayan suyun üzerinde bulunan bir ızgara üzerine yerleştirilir. Kaynayan sudan çıkan buhar, yaklaşık 1 saat içerisinde mumun büyük bir kısmını giderir ve bu mum alçının pek içerisine nüfus etmez. Çıkan mum aşağıda suyun üzerinde yüzer ve soğuduktan sonra da kolaylıkla buradan çıkarılır. Kapak açıldığında aygıttan çıkan buhar, deride

ciddi buhar yanıklarına neden olabilir. Kapak açılmadan önce bu bölmedeki buhar alınmalı ve çalışanlar koruyucu gözlük takmalıdır (WGC,1995).

Buharlı mumdan arındırılan fanuslarda yapılan dökümlerde, kuru mumdan arındırılan fanuslarda yapılan dökümlere kıyasla gaz gözenekliliği azdır ve yüzeyler daha pürüzsüzdür. Alçı kuruduktan sonra, büyük miktarda mum absorbe edebilir. Ancak, alçı buharla doyduğunda mumun yüzey gerilimi çok yükselir ve alçı ıslatmaz. Mum, buharla mumdan arındırma yoluyla kolaylıkla ve tamamen çıkarılır, hatta sıcaklık kontrolünün yetersiz olduğu durumlarda bile sonraki yakma işlemi sırasında bile karbonlu artık düzeyi kuru mumdan arındırmada olduğundan daha az olur. Karbonlu artıkların buharla mumdan arındırma işleminde daha az olması, karbonlu artıkların alçıda bağlayıcı olarak kullanılan kalsiyum sülfatı daha da ayrıştırmayı ve sülfür dioksit oluşması ve bunun da döküm kalıplarında gözenekliliğe neden olması açısından önemlidir (WGC, 1995).

Şekil 3.6'da pişirme periyoduna tipik bir örnek görülmektedir. 100°C' ye kadar ısı aşamalı olarak uygulanır. Bu sıcaklıkta mum halihazırda erimiş bulunur ve akar ancak mumun ve mumdaki karbon artıklarının tamamen giderilmesi için ısıtmaya devam edilmesi gerekir (Wright, 1998).



Şekil 3.6 Pişirme periyodu(Wright, 1998).

Isıtmaya, 690 °C' nin üzerine kadar aşamalı olarak devam edilmesi ve en fazla 730-750 °C' ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta 2-3 saat tutulmalıdır. Bu süre sonunda, sıcaklık, ayar altının döküleceği eritme noktasına göre değişen optimum döküm sıcaklığına düşürülür. Plastik modeller kullanıldığında, bunlar normal olarak aşağı yolluktan muma katılırlar; hatta mum modellerle bile karıştırılabilir. Ancak bunlar, mumun eridiği düşük sıcaklıkta erimezler (Wright, 1998).

Başladıktan sonra pişirme periyodu tamamlanmalı ya da kalıp çıkartılmalıdır. Önceden kalan ve kısmen pişirilmiş bir derecenin yeniden ısıtılmasından kaçınılmalıdır. İlk pişirmede nemin giderilmesi ile, sonradan yeniden genleşme olasılığı derecede ve hurda döküm fanuslarında ciddi çatlamalara neden olabilir (Choate,1966).

Gazlı pişirme fırınlarının maliyeti elektrikli mufl fırınlarının maliyetinden daha düşüktür. Ancak, elektrikli mufl fırınları genellikle daha iyi kontrol edilebilir. Fanusların her birinin tüm çevresinde ve fanuslarda duvarlar arasında yaklaşık 20-30 mm aralık bırakılmalıdır. Pişirme fırını homojen bir biçimde ısıtılmadığı sürece, fanus parçaları yeterli ısıya maruz kalmayabilir ve bu da büyük olasılıkla sonraki dökümlerin kusurlu olmasına yol açar. İdeali, operatörün yakma fırının iç sıcaklığını incelemesi ve deflektör ya da kalıpları bu alanlara yerleştirmekten kaçınmasıdır. Fırınlar, fanusların daha homojen bir biçimde ısıtılabilmesi için döner ocaklı olarak özenle tasarlanmıştır (Choate,1966).

Isıya dayanıklı bir kalıp elde edilmesi için, mumun giderilmesi ve alçının pişirilmesi son derece önemli, çok dikkat gerektiren bir işlem basamağıdır. Bugüne kadar yapılan testler göstermektedir ki; buharla mum giderme tercih edilmektedir. Çünkü daha etkili mum giderilir ve hassas toz tarafından mum emilme kalınlığı pratik olarak sıfıra yakın düşecektir. Bu yüzden kalıptaki mum çok az kalacağından yakma prosesi sırasında kalıptaki gazların (özellikle CO) oluşumu düşer. Bu gazlar alçının (CaSO_4) termal dekompozisyonunu ve gaz porozitesi oluşumunu kolaylaştırır (Faccenda ve Ingo, 2001).

Mumun kuru yöntemle eritilmesi durumunda, mum kısmen alçı tarafından emilmektedir. Bu durum muma, ultraviyole (morötesi) ışığa duyarlı organik bir bileşik ilave edilerek kanıtlanmıştır. Modifiye edilmiş mumu içeren kalıplardan, mumun kuru yöntemle eritilmesi döngüsünün farklı evrelerinde numuneler alınarak, ultraviyole ışık altında incelenmiş ve mumun alçı tarafından emildiği gözlemlenmiştir. Emilmiş olan mum, yakma esnasında, alçı kalıpta hatalara neden olan karbon tortuları oluşturulabilir; bu (CaSO_4) ayrışmasıdır. Saf kalsiyum sülfat söz konusu olduğundan, sülfür dioksit oluşmasıyla sonuçlanan ayrışma, $1140\text{ }^\circ\text{C}$ ' de başlar ve $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ' de oldukça hızlanır. Silisin varlığında ise, kalsiyum sülfatın ayrışma sıcaklığı yaklaşık $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ' ye kadar iner (Faccenda, 1996).

Karbon tortularının varlığında, sülfür dioksitin açığa çıkmasıyla bir kimyasal redüksiyon (indirgenme) tepkimesi oluşur: bu tepkime, metal kalıp dökme sıcaklık aralığında yer alan düşük sıcaklıklarda başlar. Kalsiyum sülfat ayrışması vakum nedeniyle daha da kolaylaşır; çünkü bu durum, tepkime sıcaklığını daha da düşürür: bu gerçek, sadece vakum altında çalışan döküm makinelerinin kullanılmasıyla niye başarılı olunamadığını açıklamaktadır. Tam aksine, mumun buharla uzaklaştırılması yönteminde, alçı, nem ile doymaktadır; mumun yüzey gerilimi artmakta ve bu durum, mumun alçı tarafından emilmesini önlemektedir. Bu şekilde, mum daha hızlı olarak tamamen uzaklaştırılabilmektedir. Yakma sırasında, alçı ayrışma tepkimesi gerçekleştiğinden, sonuçta oluşan hata, çoğunlukla damarlı, kumlu bir yüzey ve/veya alçı partiküllerinin metal içinde hapsolmasıdır. Alçı ayrışması, döküm esnasında olduğunda, tipik gaz gözenekliliği oluşur ve bu durum, gövde ağzının şişmesi ile kendini gösterir (Faccenda, 1996).

Yakmak için, alçı imalatçısı tarafından önerilen doğru bir sıcaklık / zaman döngüsünün uygulanması önemlidir. Isıtma evresinde iki kritik nokta bulunmaktadır: birincisi $100\text{--}120\text{ }^\circ\text{C}$ ' de, emilmiş olan su ve alçıtaşı (su ile karıştırılmış kalsiyum sülfat) kristalizasyon suyunun buharlaştığı noktadır. Bu süreç yavaştır ve sıcaklık çok yavaş artmalıdır. İkinci nokta, $250\text{ }^\circ\text{C}$ civarındadır, bu noktada α -kristobalit, β -kristobalite dönüşmektedir. Bu dönüşüm, hacim artışıyla birlikte gerçekleşmektedir. Bu değişim, alçı kütlesinin tamamında homojen olarak gerçekleşebilmesi için sıcaklık $250\text{ }^\circ\text{C}$ ' de

sabit tutulmalıdır. Son olarak, maksimum sıcaklık olan 750°C' aşılmamalıdır çünkü yüksek sıcaklıklarda, özellikle karbon tortuları da mevcutsa, kalsiyum sülfat ayrışması başlayabilmektedir (Faccenda, 1996).

İtalya'da, PRO-ART Projesi kapsamında, CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche-Ulusal Araştırma Konseyi) tarafından yapılan araştırmalar kalsiyum sülfat ayrışma sıcaklığının, özel inhibitörlerin ilavesiyle yükseltilmesi hedeflenmektedir. Elde edilen ilk sonuçlar çizelge 3.3'de görülmektedir. Bu araştırmaların en ilginç yanı, inhibitörlerin çok basit bir yöntemle ilave edilebilmesidir: bunlar, alçı karışımının hazırlanmasında kullanılan suda çözülebilmektedir. İlk sonuçlar oldukça ilginçtir. Karbon tortusunun bulunmadığı ancak silisin mevcut olduğu durumlarda, kalsiyum sülfat ayrışması 970°C' de başlamaktadır. İnhibitörler ilave edildiğinde ayrışmanın başladığı sıcaklık 1080-1100°C' ye yükselmektedir. Bu ilk sonuçlar, alçı döküm yönteminin güvenlik marjını büyük ölçüde genişletecektir fakat öncelikle sonuçların doğrulanması beklenmektedir (Faccenda, 1996).

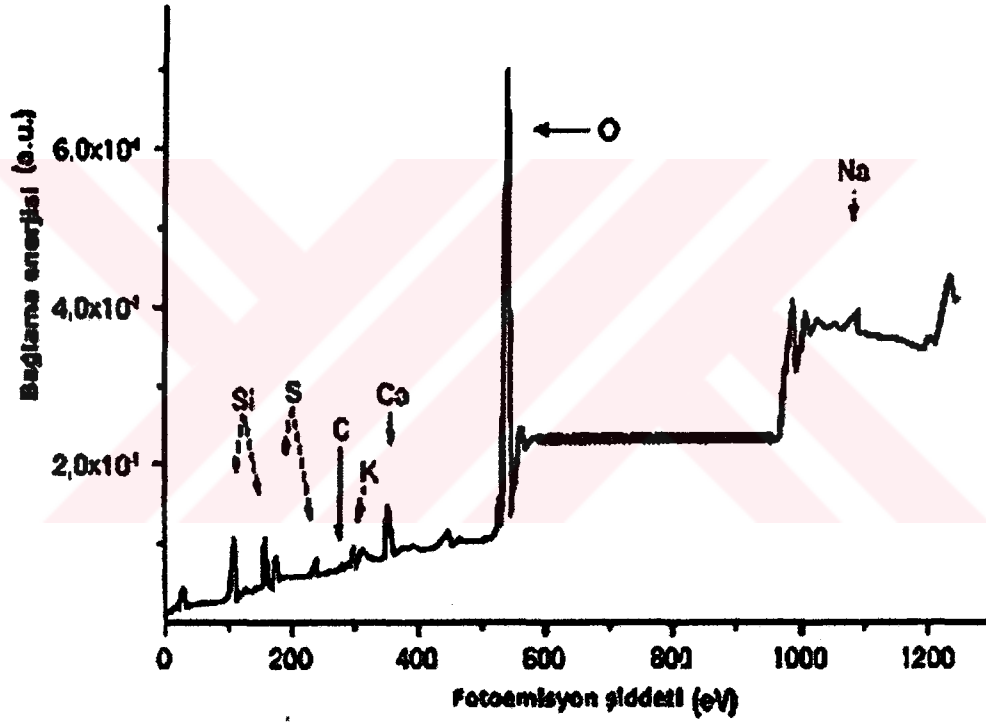
Çizelge 3.3 CNR Araştırması:Kalsiyumsülfat ayrışma sıcaklığı (Faccenda, 1996).

Malzeme	Sıcaklık °C
Saf kalsiyum sülfat	1140-1200
Ticari alçı (%30-25 kalsiyum sülfat ve %70-75 silis)	970
CNR ilave maddesiyle ticari alçı	1080-1100

Buharla mum gidermenin dezavantajı buhara maruz kalan kalıp yüzeyinde yer alan kalsiyum sülfat kristallerinin kırılmalarıdır. Bu yüzey ergimiş metalle kontak halinde olacaktır.Burada kalsiyum sülfatın termal ayrılması oluşabilir. Kırılma; termal ayrışma sıcaklığını düşürecek ve gaz porozite oluşumunu teşvik ederek kalsiyum sülfat kristallerinin reaktivitesini artırabilir(Faccenda ve Ingo, 2001).

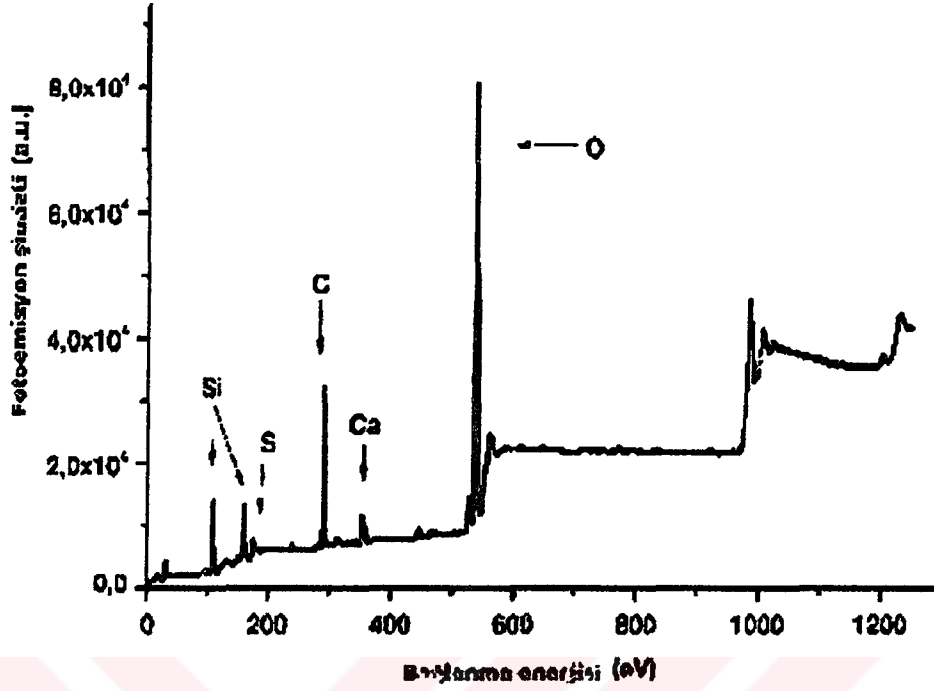
Bunun tersine kuru mum giderme incelendiğinde eğer yakma işlemi hava sirkülasyonu ile kuvvetlendirilirse bütün mum kalıntıları tamamıyla yanacaktır ve alçı kristallerinin boyut ve termokimyasal özellikleri aynı kalacaktır (Faccenda ve Ingo, 2001).

İki yöntemle de mum giderme işleminden sonra kalıp yüzey kompozisyonları şekil 3.7 ve şekil 3.8’de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma göstermektedir ki; buharla mum giderme yönteminde yüzeydeki karbon kuru mum giderme ve hava sirkülasyonlu fırında yakma yönteminde olduğundan daha farklıdır (Faccenda ve Ingo, 2001).



Şekil 3.7 Hava sirkülasyonu ile kuvvetlendirilmiş kuru yöntemle mum giderme işleminden sonraki mikrokimyasal yüzey kompozisyonu (Faccenda ve Ingo, 2001).

Kuru yöntemle mum giderme de yüzeydeki mum kalıntıları tamamen yanar ve karbondioksit uzaklaşmaktadır. Bununla birlikte buharla mum giderme ve ardından geleneksel fırında yakma işlemi gerçekleşirse (hava sirkülasyonu olmadan) yüzeyden karbonu tamamen uzaklaştırılmaz (Faccenda ve Ingo, 2001).



Şekil 3.8 Buharla mum giderme işleminden sonraki mikrokimyasal yüzey kompozisyonu (Faccenda ve Ingo, 2001).

Çeşitli mum giderme ve yakma proseslerinden sonra kalıp yüzeyi morfolojisi şekil 3.9 ve 3.10’ da gösterilmiştir. Buharla mum gidermeden sonra kalsiyum sülfat kristalleri dereceli hassas kalıp yüzeyinde kırılmış haldedir (Faccenda ve Ingo, 2001).



Şekil 3.9 Buharla mum giderme ve 600 °C’ de yakmadan sonra dereceli hassas kalıp yüzey mikromorfolojisi (Faccenda ve Ingo, 2001).

Kuru mum giderme ve hava sirkülasyonlu yakma birleştirilirse kalıp yüzeyi daha az reaktif ve karbon tarafından daha az kirlenir.



Şekil 3.10 Kuru yöntemle mum giderme ve 600 °C' de yakmadan sonra dereceli hassas kalıp yüzey mikromorfolojisi (Faccenda ve Ingo, 2001).

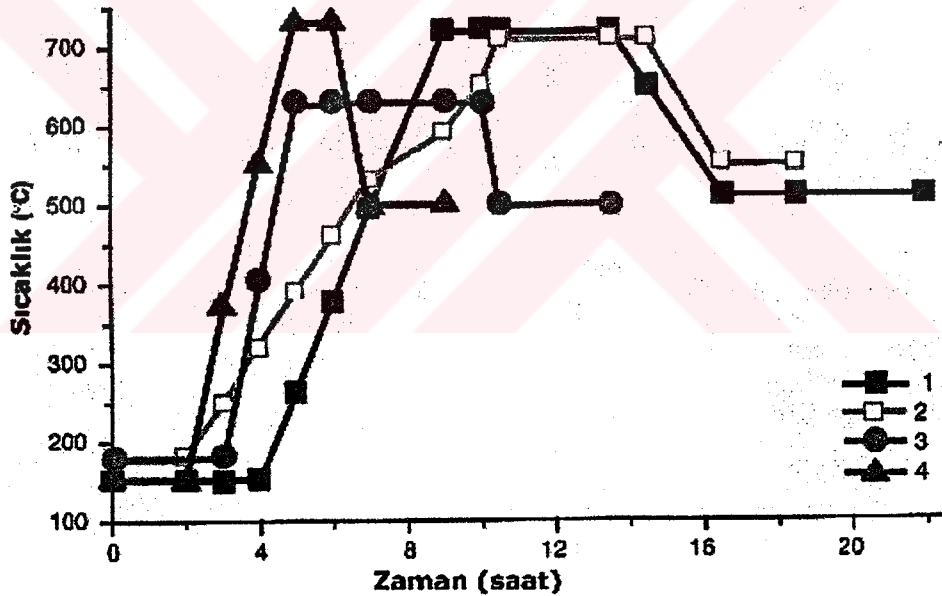
Alman Enstitüsü FEM tarafından yapılan geçirgenlik testleri göstermektedir ki; yakmadan sonra buharla veya kuru mum giderme arasında gaz geçirgenliği için bir farklılık yoktur. Sonuç olarak kalıbın iç mikroyapısı her iki durumda da aynı olmaktadır.(Şekil 3.11) Bununla birlikte gaz çıkışı reaksiyonunun yan yüzeyin reaktivitesinde farklılık olabilir (Faccenda ve Ingo, 2001).



Şekil 3.11 Buharla mum giderme ve 600 °C' de yakmadan sonra dereceli hassas kalıp yüzeyinin iç mikromorfolojisi (Faccenda ve Ingo, 2001).

Bundan başka kalıbın son özellikleri; yakma çevrimine ve özellikler ısıtma çevriminin farklı evrelerindeki sıcaklığa ve süresine bağlıdır. Toz üreticileri tarafından tavsiye edilen bazı tipik yanma çevrimleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir (Faccenda ve Ingo, 2001).

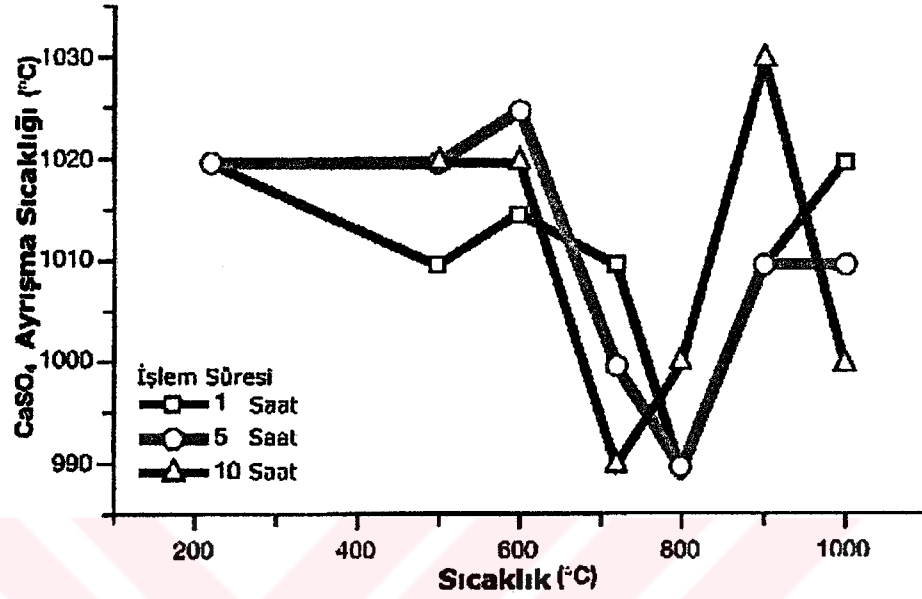
Yanma çevrimi sıcaklığı ve uzunluğunun kalsiyum sülfatın termal ayrışma sıcaklığına etkisi Şekil 3.13' de gösterilmektedir. Üreticiler tarafından tavsiye edilen yakma çevrimleri değişebilir fakat CNR araştırmalarının yaptığı deneylerden elde edilen verilere göre genel olarak tavsiye edilen yakma sıcaklığı piki kalıp termal karakteristiklerine uygun olmayabilir, çünkü kalsiyum sülfatın ayrışma sıcaklığı 30 °C daha düşük hale gelebilir. En yüksek alçı ayrışma sıcaklığı 600-650 °C olan yakma sıcaklığı pikiyle elde edilmiştir (Faccenda ve Ingo, 2001).



Şekil 3.12 Toz üreticileri tarafından tavsiye edilen tipik yakma çevrimleri(Faccenda ve Ingo, 2001).

Bununla beraber Şekil 3.13' deki grafik termal ayrışmaya karşı iyi direnç 100°C yanma sıcaklığında 10 saatlik işlem zamanı ile elde edilmiştir. Bu etki gerçek değildir. Çünkü 900°C yakma sıcaklığı sırasında alçının kısmi olarak termal ayrışması olmaktadır. 900°C' de kalsiyum sülfatın termal ayrışması çok yavaş gerçekleşmektedir. Ayrışma ürünleri

alçı kristalleri üzerinde çok ince bir tabaka oluşturur ve ayrışım işlemi yavaşlar (Faccenda ve Ingo, 2001).



Şekil 3.13 Yakma sıcaklığı ve süresinin kalsiyumsülfat termal ayrışma sıcaklığına etkisi (Faccenda ve Ingo, 2001).

Sonuç olarak; yukarıda tanımlanan işlem pratiğine göre çamur hazırlanır ve en iyi termokimyasal özellikler havayla kuvvetlendirilmiş yakma çevrimi ve 600 °C civarındaki yakma piki sıcaklığı ile elde edilir. Bu pratik demir dışı alaşım ürünlerinin kalite düzeyini geliştirir ve bazı tipik hataları azaltır. İki mum yakma işlemi arasında son ürün açısından görünür bir farklılık yoktur.

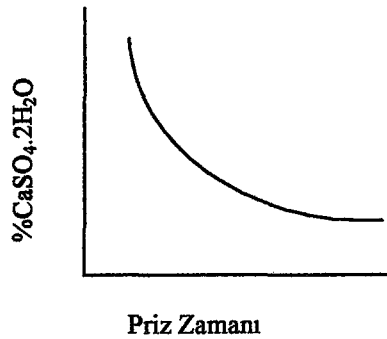
4. KALIBIN KULLANIM ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Uygun bir karışım; tozun suyun içinde iyice serpilmesi sonucu tamamen ıslanması ve homojen bir karışım haline gelmesi demektir. Böyle bir karışım temel amaç olmalı ve böyle bir karışımın elde edilmesi için bütün değişkenler çok iyi kontrol altına alınmalıdır (Işıtman ve Işıkcı,1985).

4.1 Yarı hidratın etkisi

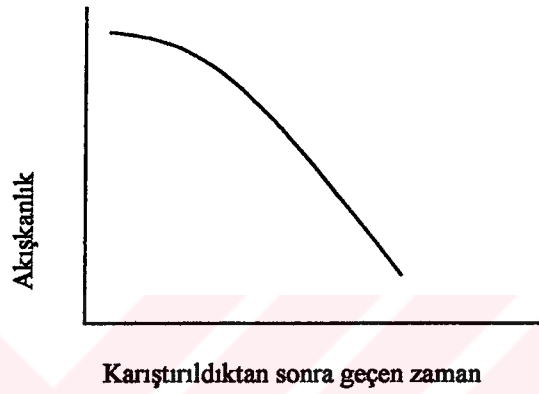
Yarı hidrat doğal olarak oluşan yüksek saflıktaki jips mineralinin kalsinasyonu sonucunda elde edilmektedir. Farklı başlangıç mineralinin kalsinasyonu farklı yarı hidrat oluşumuna neden olabilir ve bu olay da kalıp özelliklerinde belirgin farklılıklar meydana gelmesine neden olur (Işıtman ve Işıkcı,1985).

Sabit su/toz oranlarında döküm kalıplarının mukavemet değerleri artan alçı miktarı ile doğru orantı gösterir. Priz almış alçı parçacıklarının priz zamanlarını kısalttığı görülür. Yapılan karışımlara değişik miktarlarda hidrate olmuş alçı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tanecikleri katıldığı zaman priz başlangıç ve bitiminin katılan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ miktarına bağlı olarak kısaltıldığı görülmektedir (Işıtman ve Işıkcı,1985).



Şekil 4.1 Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi (Işıtman ve Işıkcı,1985).

Gereğinden kısa priz zamanına sahip alçı kullanıldığında kalıba döküm sırasında akışkanlığın çok azalarak hava boşluklu hatalı kalıp üretimine sebep olduğu, bu durumun önüne geçmek için fazla su kullanılması yolu seçildiğinde de kalıpların mukavemetinin düştüğü, gereğinden uzun priz zamanına sahip alçı ile çalışıldığında ise verimin azaldığı gözlenir (Işıtman ve Işıkcı,1985).



Şekil 4.2 Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamana bağlı olarak akışkanlığın değişimi (Işıtman ve Işıkcı,1985).

4.2 Suyun Etkisi

Kalıp performansını etkileyen suyun kullanımı ile ilgili dikkat edilmesi gereken üç faktör vardır. Bunlar; su/toz oranı, suyun saflığı ve sıcaklığıdır (Kaya,2000).

4.2.1 Suyun Saflığı

Suyun içindeki safsızlıklar alçı verimini etkiledikleri için alçı kalıp yapımında kullanılan su, içilebilecek kadar temiz olmalıdır. Karıştırma suyun içindeki organik, donma zamanının artmasına sebep olurken, metalik tuzların değişikliği donma zamanını kısaltır. Yüksek miktarda sodyum klorür, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat gibi çözünebilir tuzlar kalıbın kurutulması sırasında yüzeye çıkarak tuzlanmaya neden olurlar. Bunlar, yüzeye döküm çamurunun yapıştığı ya da diğer kalıp problemleri olarak görülen küçük sert noktalar yaratırlar (Ünlüer,2001).

4.2.2 Suyun Sıcaklığı

Alçı maksimum çözünürlüğe 21-35°C arasında ulaştığı için, suyun sıcaklığındaki değişimler donma zamanını etkiler ve karıştırma kıvamının kontrolünde zorluklara sebep olur. Şekil3.'de suyun sıcaklığının donma zamanını nasıl etkilediği gösterilmiştir. Sıcaklık 39°C'ye kadar arttıkça katılaşma zamanı azalmakta, bu sıcaklığın üzerinde tekrar artmaya başlamaktadır. Kullanılan suyun sıcaklığı alçının genleşmesini de etkiler. Sıcaklık arttıkça net genleşme miktarı azalır. Donma zamanı düştükçe malzemelerin basma mukavemetleri arttığı için uygun bir sıcaklıkta su kontrollü bir donma ile çok iyi kalıplar üretebilir (Kaya,2000).

4.2.3 Su/Toz Oranı

Kalsine jipsten hazırlanan kalıp alçısının kalitesini etkileyen en önemli faktör karışımın hazırlanma sırasında kullanılan su/alçı oranıdır. Su/alçı oranındaki farklılıklar mukavemeti, absorpsiyonu, uygulama sırasındaki görünen genleşmeyi ve kalıbın iç yapısını etkiler (Işıtman ve Işıkcı,1985).

-Kalıp mukavemetleri kullanılan su miktarı ile ters orantılıdır.

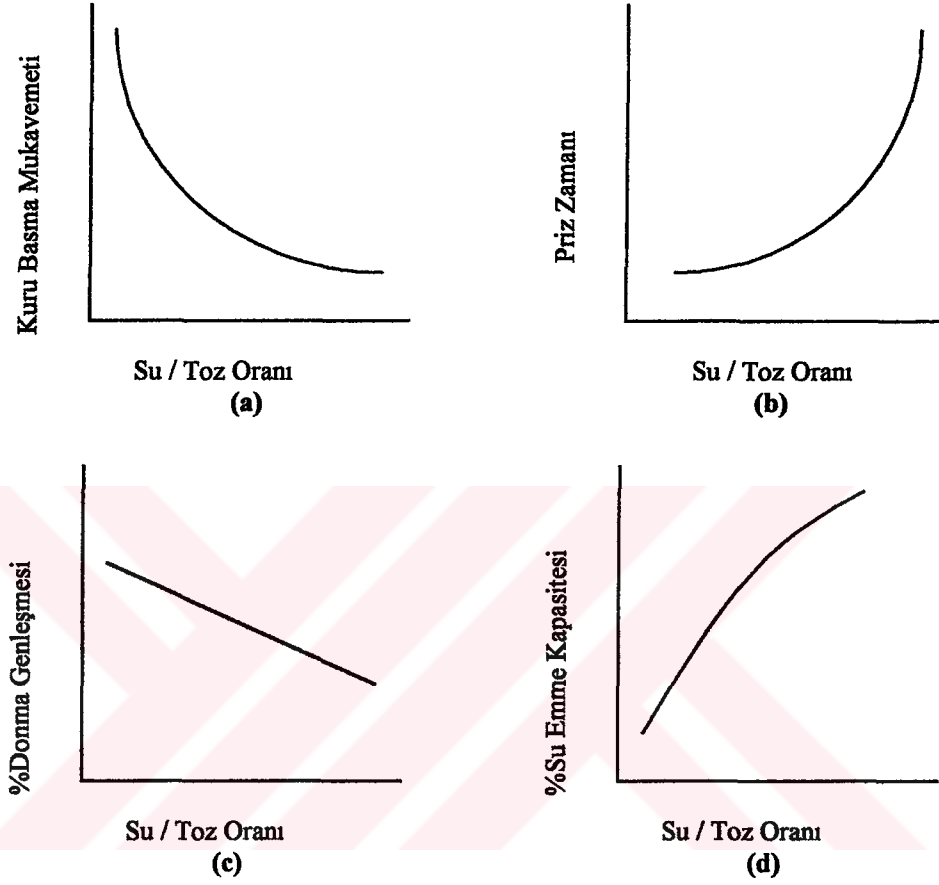
-Priz başlangıcı ve bitimi için gerekli zaman su miktarı ile doğru orantılıdır.

-Donma genleşmesi kullanılan su miktarı ile ters orantılıdır.

-Su emme kapasitesi ve hızı kullanılan su miktarı ile doğru orantılıdır (Işıtman ve Işıkcı,1985).

Karışımında kullanılan su miktarı değiştikçe mukavemet ve absorpsiyon değişir. Kullanılan suyun belli bir miktarı kimyasal olarak kalsine alçıyı jipse çevirmekte ve geri kalan miktarı ise karışıma yeterli miktarda plastiklik ve akışkanlık vermekte kullanılır. Böylelikle kalıba sıvı gibi dökülerek plastik olarak şekillendirilebilmesinin gerekliliği rahatlıkla anlaşılır. Katılaşma prosesi bittiğinde karışımında bulunan fazla su kalıpta kalır ve bu su kurutma yoluyla uzaklaştırıldığında kapladığı hacmi hava tarafından doldurulur. Su miktarı değiştikçe suyun yerine geçecek hava miktarı da değişir ve alçı

kalıbın toplam absorpsiyon miktarı da bununla orantılı olarak değişir. Boşluk hacmi arttıkça alçı kalıbın görünen yoğunluğu azalır (Ünlüer,2001).



Şekil 4.3 Su/toz oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, %donma genişmesi ve %su emme kapasitesinin değişimi (Işıtman ve Işıkcı,1985).

Aynı şekilde basma ve çekme mukavemeti de bu oranda azalacaktır. Çünkü verilen herhangi bir kesitteki alçı kristalleri bu oranda azalmış olacaktır. Benzer biçimde kullanılan su miktarı arttıkça kalıbın verilen bir yüzeyindeki veya kesitindeki alçı kristallerinin azalacağından alçının karşı karşıya kalacağı aktif yüzey azalacak ve böylece kabın çarpma ve şok direnci düşerken aşınma oranı artacaktır (Ünlüer,2001).

Alçı kalıptaki gözeneklilik çamurun şekillendirilmesi için gerekli emicilik özelliğini sağlar. Ancak bu oran belli bir miktarda olmalıdır. Fazla su ile hazırlanan alçının sertliği ve dayanıklılığı azalır ve kalıp kolayca kırılır (Ünlüer,2001).

Alçı/su oranındaki değişiklikler sonucu:

1. Alçı/su oranındaki değişiklikler yayılma çapında değişikliklere neden olmaktadır. Yani artan alçı/su oranları ve karıştırma süreleri için yayılma çaplarında azaldığı görülmektedir.
2. Alçı kalıpların donma başlama ve bitim sürelerinin artışı alçı/su oranı ve karıştırma süreleri ile ters orantılıdır.
3. Doğrusal genleşme, hem alçı/su oranı hem de zamana bağlı olarak artmaktadır. Doğrusal genleşme başlangıcı kıvam ile azalmakta fakat tamamlanması değişmemektedir.
4. Alçı kalıplarda absorblanan su miktarı alçı/su oranı ve karıştırma süresi ile ters orantılıdır.
5. Alçı kalıpların alçı/su oranının ve karıştırma süresinin artması ile dayanımı da doğru orantılı olarak artmaktadır.
6. Alçı kalıplarda alçı/su oranının artması ile maksimum su absorpsiyonu azalırken kuru dayanımı artmaktadır (Mahir,1996).

4.3 Islatmanın Etkisi

Yarı hidrat partikülleri bir hava tabakası ile sarılmıştır. Bu hava tabakası ıslatma boyunca uzaklaştırılır. Islatma işlemi alçının su içerisine serpilmesi ile yapılır (Ünlüer,2001).

Islatma işleminin süresi önemlidir. Islatma süresinin, kalıptaki hataların pinhollerin oluşumuna etkisi azdır. Oldukça uzun ıslatma süresi donma süresini hızlandırır ve çözeltinin daha çabuk sertleşmesine yol açar. Bu olayın sebebi çözeltideki çökelmeyi hızlandıran ince partiküllü yarı hidratın varlığıdır. Bu partiküllerin iri taneli olması istenir (Ünlüer,2001).

En iyi karıştırma için bütün yarı hidrat partiküllerinin su içinde tamamen dağıtılması gerekir. Islatma süresinin kısaltılması, karıştırma süresinin etkisine negatif yönde etki eder. Eğer her durum için uygulanabilirse toz ile iyi ısıtma özellikleri su içerisinde yavaşça çökelme meydana gelecektir. Genellikle ıslatma özellikleri su içerisinde yavaşça çökelme meydana gelecektir. Genellikle ıslatma işlemi tozun dökümünden 3-4 dakika sonra tamamlanır (Ünlüer,2001).

Su içinde hızla çöken toz yüksek miktarda olduğunda ıslatma sürecinden sonra bile partiküller ıslatılmayabilir. Karıştırma işlemi boyunca bu kuru partiküllerin dağıtılması zordur. Ters durumda yani ıslatılması zor olan alçıda bütün partiküllerin dağıtılması zordur. Ters durumda yani ıslatılması zor olan alçıda bütün partiküllerin ıslatılması için ıslatma süresinin uzatılması gerekir. Bu da kalıp üretim hızını düşürür (Kaya,2000).

4.4 Karıştırmanın Etkisi

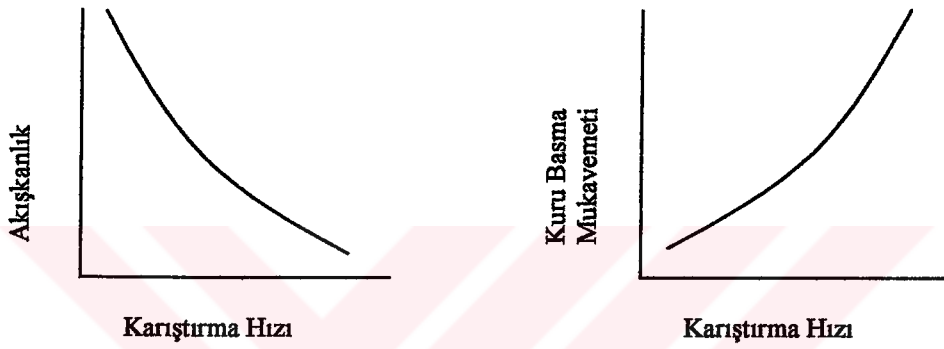
Karıştırma işlemi boyunca, toz, su içinde dağıtılmalıdır. Uygun karıştırma, su içindeki yarı hidrat partiküllerini dağıtır ve çözeltide kalmış havayı uzaklaştırır. Alçı kalıpların mukavemeti kısmi olarak karıştırma işlemi tarafından belirlenir (Ünlüer,2001).

4.4.1 Karıştırma Hızı

İyi bir homojen kalıp üretiminde karıştırma hızı çok önemli bir faktördür. Karıştırma miktarına ve karıştırıcının formuna en uygun karıştırma hızı seçilmelidir. Gereğinden düşük hızlarda taneciklerin etrafındaki hava tahliye edilemeyeceğinden hava kabarcığı meydana gelecek, karıştırma süresi uzatılsa bile kalıp mukavemeti ulaşılabilecek en yüksek değeri vermeyecektir. Çok hızlı karışırmalarda ise reaksiyon hızı artacağından priz zamanları kısılacak dolayısıyla yayılma çapı azalarak karışım koyulaşacak, döküm sırasında hava tahliye edilemeyeceği için kalıp içinde hava boşlukları kalacaktır. İyi bir karıştırma sonucu tanecikler sürekli dağılarak ince, sıkı bir kristal yapı oluşturacağından mukavemet artacaktır. Sıkı bir kristal yapı elde edilmesiyle su emme kapasitesi de azalacaktır (Ünlüer, 2001).

Karıştırma zamanı sabit tutularak değişik karıştırma hızları ile yapılan laboratuvar deneylerinde hız artışının;

- a) Priz başlangıç zamanını kısalttığı,
- b) Yayılma çapını azalttığı,
- c) Mukavemeti artırdığı,
- d) Su emme kapasitesini azalttığı görülür (Ünlüer, 2001).



Şekil 4.4 Karıştırma hızına bağlı olarak akışkanlığın ve mukavemetin değişimi (Işıtman ve Işıkcı,1985).

Toz/su karışımı çok iyi karıştırılmalıdır. Alçının farklı bölgelerde farklı hızla emici olması kalıba döküm yapılarak elde edilen ürünün her yerinin farklı kalınlıkta olmasına sebebiyet verir. Bu da ürünün deforme olmasına ve çatlamasına neden olmaktadır (Işıtman ve Işıkcı,1985).

4.4.2 Karıştırma Zamanı

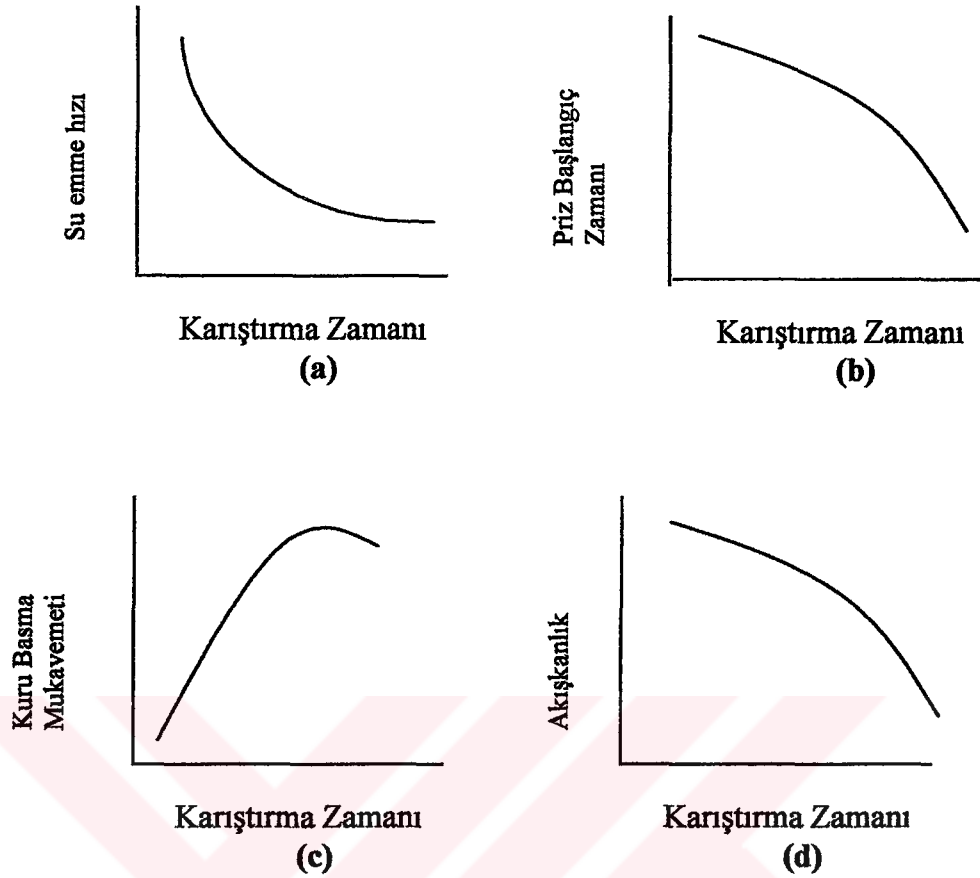
Karıştırma hızı ve zamanı iç içe iki kavram olmasına rağmen, karıştırma zamanının etkisi ayrı olarak ve daha derinlemesine incelenmiştir. Bu seçime işletmelerdeki mevcut sistemlerin yenilenmesine göre karıştırma zamanının değiştirilmesinin daha kolay olması neden olmuştur. Yapılan bazı araştırmalarda karıştırma zamanının ne kadar arttırılabileceği ve bunun harcın ve kalıpların özelliklerini nasıl etkileyeceği tesbit edilmiştir (Kaya, 2000).

Karıştırma zamanı artırıldığında;

- a) Su emme hızının azaldığı
- b) Priz başlangıç zamanın kısaldığı,
- c) Mukavemetin artarak bir maksimuma ulaştıktan sonra priz almaya başlamış alçının karıştırılmaya devam edilmesi durumunda mukavemetin azalmaya başladığı,
- d) Yayılma çapının düştüğü görülür (Ünlüer,2001)..

Toz su ile ilk karıştırıldığında, karışım sıvı gibidir. Bu karakter zamanla önce jelimsi daha sonra da sertleşerek katı hal alır. Karıştırmanın kremesi aşamaya kadar devam etmesi karıştırma homojenliğini sağlar ve sıvı durumdan katılaşmasını önleyerek karışım içinde oluşacak istenmeyen mukavemet artışını engeller. Bu aynı zamanda bir çok kalıbın kırılmasına sebep olan hava kabarcıklarının oluşmasını da önler. Güçlü mekanik karıştırıcılarla yapılan karıştırma işlemlerinde karışım içinde bulunan hava kabarcıkları uzaklaştırılarak elde yapılan karıştırmadan 10-15 kat daha verimli bir yapı oluşturulur (Ünlüer,2001).

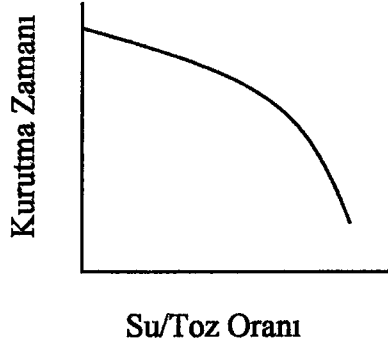
Eğer karıştırma, karışım katılaşmaya başladığı noktaya kadar sürerse elde edilen kalıbın mukavemeti düşebilir. Çünkü bu noktada hızlı kristal oluşumları başlar ve devam eden karıştırma bu kristalleri kırarak mukavemeti azaltabilir. Verilen su/toz oranındaki karışımdan elde edilebilecek olası en büyük mukavemet değeri harmanlanmış karışımdaki kristal oluşumlarının engellenmediği durumlarda söz konusudur. Aşırı tahrik durumunda kristaller tamamen kırılabilir ve kurutulduktan sonra yalnız kendisini taşımaya yetecek macuna benzer bir yapı elde edilir (Ünlüer,2001).



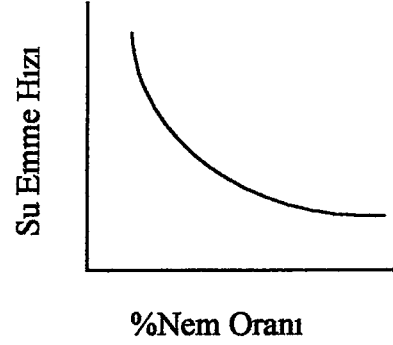
Şekil 4.5 Karıştırma zamanına bağlı olarak sırasıyla su emme hızı, priz başlangıç zamanı, kuru basma mukavemeti ve akışkanlığın değişimi (Işıktan ve Işıktan, 1985).

4.5 Kurutmanın Etkisi

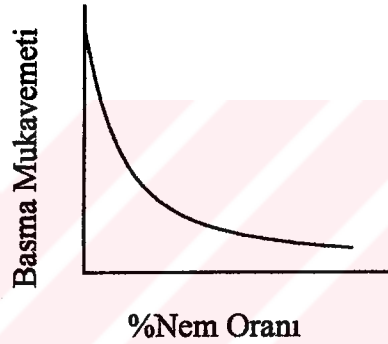
Bütün kalıplardan aynı sonuçları e fiziksel özellikleri elde etmek için alçı kalıplar uygun bir şekilde kurutulmalıdır. Kurutma, kalıptan fazla suyun uzaklaştırılması için yapılır. Bu da döküm çamurundan suyun etkili bir biçimde uzaklaşmasını sağlar. Yüksek ısılarda yapılan kurutma kalıbın kalsinasyonuna, düşük ısılar ise alçı kalıp veriminin azalmasına neden olur. Kurutma işlemi gereğince yapılmaz ise kalıbın yumuşaması ve işlemede yavaş çekim problemleri ile karşılaşılır. Sabit bir sıcaklıkta su/toz oranı azaldıkça kurutmanın zorlaştığı görülmüştür (Şekil 4.6). Kalıpların içerdikleri nem oranı azaldıkça su emme hızlarının ve kalıp mukavemetinin arttığı bulunmuştur (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8) (Ünlüer, 2001).



Şekil 4.6 Su/toz oranına bağlı olarak kurutma zamanının değişimi (Işıtman ve Işıkcı,1985).



Şekil 4.7 Nem miktarına bağlı olarak su emme hızının değişimi (Işıtman ve Işıkcı,1985).



Şekil 4.8 Nem miktarına bağlı olarak mukavemet değişimi (Işıtman ve Işıkcı,1985).

Kontrollü kurutmanın avantajları şöyle sıralanabilir:

- Yeterli mukavemet geliştirilmesi
- Homojen absorpsiyon
- Üretim artışı
- Kalıp yüzeyinde toz oluşumunun azalması (Ünlüer,2001).

5. ALÇI TESTLERİ

Kalıp atölyesinde kullanılacak alçı karıştırma tankının, karıştırma hızı ve işletmece kullanılacak su esas alınarak alçı numuneler üzerinde şu testler yapılmalıdır:

1. Kalıp hazırlamaya uygun optimum alçı su oranının tesbiti
2. Optimum su ihtiva eden alçının donma süresi ve bu süreyi etkileyen iyonların tesbiti.
3. Hazırlanacak alçı numunelerden;
 - a. Yoğunluk ve porozite tayini.
 - b. Kuru mukavemet testi.
 - c. Alçı genleşme miktarının tayini (Taşer vd., 1978).

Bu fiziksel testlerin nasıl yapılacağı ASTM C-472-73 (part 13, 1974)'te belirtilmiştir. Bu standarda göre alçı donma süresi özel bir cihaz ile tesbit edilir (Vicat cihazı). Bu cihazın işletmece temini veya yaptırılması mümkün değilse, aşağıda izah edilen alternatif test metodu laboratuvarlarda kolayca tatbik edilebilir (Taşer vd., 1978).

5.1 Alçı Donma Süresinin Saptanması

0.1 gr hassasiyetle 10 gr alçı tartılarak uygun temiz bir kap içine konur ve büretten kaba 7 ml saf su akıtılır. Su katma işlemi biter bitmez bir kronometre ile zaman tutulmaya ve alçının hemen karıştırılmasına başlanır. Karıştırma işlemine alçının sertleşmesine kadar devam edilir. Alçı temiz olarak kırıldığı an kronometre durdurulur ve geçen zaman not edilir. Deney tekrarlanarak ortalama zaman alçının donma süresi olarak alınır (Taşer vd., 1978).

Aynı deney kalıp atölyesinin kullanacağı su ile tekrarlanarak, su kaynağının donma süresine etkisi tesbit edilmelidir. Alçı donma süresi suda bulunan iyonlarla etkilenir. Bu etkiyi incelemek için yukarıda tarif edilen deneyin şu solüsyonları kullanarak yapılması tavsiye edilir: % 2 K_2SO_4 , % 4 KNO_3 , % 4 $CaCl_2$, % 4 $NaCl$, % 1 Boraks, % 5 Sodyum Silikat, % 4 Sodyum Oksalat, % 1 Sodyum Sitrat, % 1 Nişasta. Örnek olarak MAE

Malzeme Araştırma Ünitesi, Seramik Laboratuvarında, ticari alçı kullanarak bu deneyler yapılmış ve test neticeleri aşağıda tablo olarak sunulmuştur (Taşer vd., 1978).

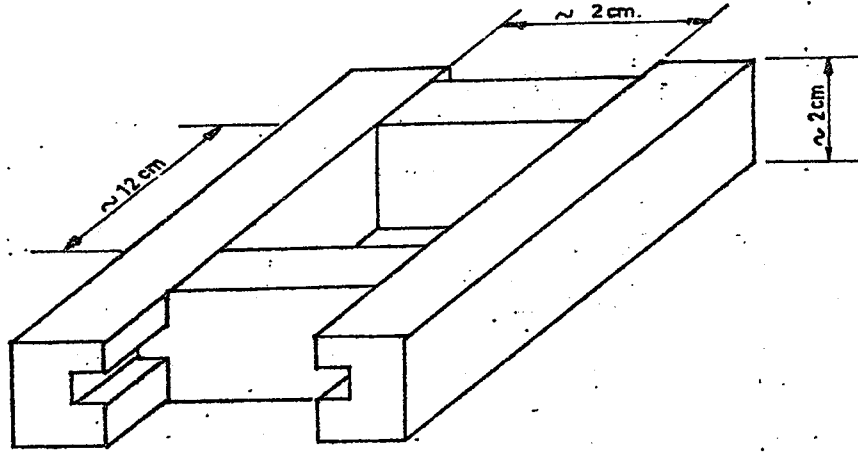
Çizelge 5.1 Alçı donma test sonuçları(Taşer vd., 1978).

10 gr Alçı : 7 ml Solüsyon	Donma Süresi		
	Dakika	Saniye	
1. Saf su	8	30	
2. % 4 KNO ₃	2	10	Donmayı Hızlandırıcı İyonlar.
3. % 2 K ₂ SO ₄	2	25	
4. % 4NH ₄ COH	2	50	
5. % 4NaCl	3	25	
6. % 4CaCl ₂	5	45	
7. % 5 Sodyum Silikat	7	00	
8. % 1 Nişasta	8	45	Donmayı
9. % 1 Boraks	22	00	Yavaşlatıcı
10. % 1 Sodyum Nitrat	30	00	İyonlar

Bu deneyden alçı donma süresine etkileyen başlıca iyonların, anyonlar olduğu görülmektedir. Önerilen solüsyonlar kullanılarak alçı donma süresi kalıp atölyesine rahat çalışma imkanı verecek bir mertebeye kolaylıkla ayarlanabilir (Taşer vd., 1978).

5.2 Alçının Doğrusal Genleşme Miktarının Saptanması

Önceden belirtildiği gibi, alçı donma sırasında genleşmeye uğrar. Bu genleşme maddenin gerçek özgül ağırlığında olan bir değişimden ileri gelmemektedir. Donan alçı da hidrate olarak büyüyen alçı kristalleri arasında oluşan boşluklar, bu genleşmeye neden olmaktadır. Özellikle hassas model yapımında alçının genleşme miktarının bilinmesi gerekir. Genleşmeyi tayin etmek için Şekil 5.1'de görülen kızaklı tahta veya metal iki kalıp kullanılır (Taşer vd., 1978).



Şekil 5.1 Alçının doğrusal genişleme miktarını tayin için kullanılan kalıp (Taşer vd., 1978).

100 gr alçı 70 ml saf su uygun bir kap içinde krema kıyamına gelene kadar karıştırılır. İçi yağlanan ve yağlı bir kağıt üzerine konan kalıplara alçı dökülür. Donmaya yakın bir anda alçı üzerine uygun aralıkta ve ± 0.01 mm hassasiyette kompasın sivri uçları ile iki işaret konur. İki saat sonra bu işaretler arasındaki mesafe tekrar ölçülerek genişleme aşağıdaki formüle göre hesaplanır. İki deney sonucunun ortalaması alçının yüzde genişleme miktarı olarak ifade edilir. Deney ayrıca işletme şartlarında hazırlanan alçı süspansiyonu ile yapılmalıdır.

$$\% \text{ Genişleme} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \quad (\text{Taşer vd., 1978}).$$

L_0 : Donmamış alçı üzerindeki işaretler arasındaki mesafe (mm)

L_1 : Donmuş alçı üzerindeki işaretler arasındaki mesafe (mm)

5.3 Yoğunluk, Porozite ve Kuru Mukavemet Testleri

Bu testler için numune hazırlamada iç ebatları 50 ± 0.2 mm olan küp şeklinde kalıplar kullanılır. Kalıp, en fazla üç numune hazırlanacak şekilde dizayn edilebilir. İşletme şartlarında hazırlanan alçı yağlanan kalıp içine, kalıptan biraz taşacak şekilde dökülür. Numune hazırlamada alçı içinde hava kabarcıklarının bulunmamasına dikkat edilmelidir. Kalıpta donan alçının fazla kısmı bir bıçakla sıyrılır. Numuneler 24 saat dinlendirildikten sonra bir etüvde $30-40^\circ\text{C}$ arasında sabit ağırlığa gelinceye kadar

kurutulur. Bu şekilde hazırlanan numuneler 50 ± 0.5 mm boyut toleransları içinde olmalıdır (Taşer vd., 1978).

5.3.1 Yoğunluk Ölçümü

Kuru numunenin yoğunluğu aşağıdaki formüle göre hesaplanır. Üç deneyden elde edilen ortalama değer, alçının yoğunluk olarak ifade edilir.

$$\text{Yoğunluk} = \frac{M}{V} \text{ g/cm}^3 \quad (\text{Taşer vd., 1978})$$

M: Kuru numune ağırlığı (g)

V: Numune hacmi ($5 \times 5 \times 5$) cm^3

5.3.2 Porozite Tayini

Yoğunluk ölçümünde kullanılan numuneler bu test içinde kullanılır. Numuneler uygun bir kap içine yerleştirilir. Kaba yaklaşık $1/3$ numune yüksekliğine kadar su konur. Zaman zaman kaba su ilave edilerek su seviyesi sabit tutulmaya çalışılır. 3 saat sonra su seviyesi numunenin $2/3$ yüksekliğine çıkarılır ve tekrar 3 saat beklenir. Bu süre sonunda numunelerin tamamı su altında kalacak şekilde kaba su ilavesi yapılır. Bir saat sonra numuneler sudan çıkarılarak yüzeydeki serbest su filtre kağıdı ile alınır ve numuneler tartılarak porozite aşağıdaki formüle göre hesaplanır. Üç deneyin ortalama değeri numunenin porozitesi olarak ifade edilir (Taşer vd., 1978).

$$\text{Hacimce \% porozite} = \frac{M_1 - M}{\rho} \times \frac{1}{V} \times 100 \quad (\text{Taşer vd., 1978})$$

M: Kuru numune ağırlığı (g)

M_1 : Su ile doyurulmuş numune ağırlığı (g)

V: numune hacmi (cm^3)

ρ : Suyun özgül ağırlığı (g/cm^3)

5.3.3 Kuru Mukavemet Testi

50 ± 0.5 mm boyutlarda küp şeklinde hazırlanmış 6 numune bir preste, basınç artış hızı 1-3 kg/cm² arasında kalmak üzere kırılana kadar sıkıştırılır. Elde edilen değerlerin ortalaması numunenin kuru mukavemeti olarak kg/cm² şeklinde ifade edilir (Taşer vd., 1978).

5.4 Pişmiş Numunede Yoğunluk ve Porozite Tayini

ASTM (1974) C 373-72 No.lu standart yöntemine göre en az 50 gr ağırlığında, düzgün kesilmiş çatlağı olmayan, sırsız 5 numune alınır. 150°C deki etüvde sabit ağırlığa kurutularak desikatörde soğutulur ve 0.01 gr hassasiyetle tartılır (D). Numuneler içinde distile su bulunan bir kaba konarak 5 saat kaynatılır. Kaynatma sırasında numunelerin tamamen suyla kaplı olması gereklidir. 5 saatlik kaynatma süresi sonunda numuneler 24 saat daha suda bırakılır. Bundan sonra suyun içinde asılı durumda tartılır (S). Bu tartım yapılmadan önce numunenin içine konacağı sepet veya asılacağı tel kanca terazinin koluna takılarak terazi dengeye getirilir ve tartım daha sonra yapılır. Numuneler sudan çıkarılarak nemli, yumuşak bir bezle silinerek fazla suyu alınır ve hemen tartılır (M) (Taşer vd., 1978).

Maddenin yoğunluğu (gr/cm³) ve suyun yoğunluğu (gr/cm³) alınarak aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$\text{Numune hacmi, } V (\text{cm}^3) = M - S$$

$$\text{Açık gözeneklerin hacmi (cm}^3\text{)} = M - D$$

$$\text{Kapalı gözenekleri içeren katı madde hacim (cm}^3\text{)} = D - S$$

$$\text{Görünür \% porozite, } P = \frac{M - D}{V}$$

$$\text{\% Gerçek porozite, } P_g = 100 \left(1 - \frac{B}{\rho} \right)$$

$$\text{Yoğunluk, } d (\text{gr/cm}^3) = \frac{D}{V}$$

$$\text{Görünür numune yoğunluğu, } T = \frac{D}{D-S}$$

5.5 Döküm Parçaların Mekanik Özelliklerinin Tayini

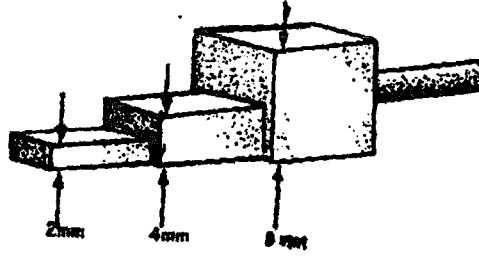
Dökümlerle birlikte dökülen standart numune çubukları test edilerek mekanik özellikleri tayin edilir (Aras, 1996).

5.5.1 Sertlik Ölçme

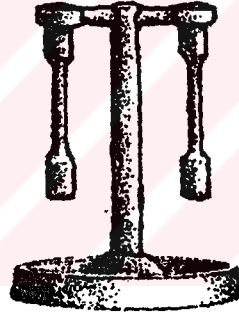
Vickers ölçme cihazı kullanılarak kayıp mum tekniği ile dökülen Şekil 5.2' deki numune parçası üzerinde sertlikler ölçülür. Bu numune parçası 10 mm genişliğinde ve farklı 3 kalınlıktan meydana gelmiştir (Aras, 1996).

5.5.2 Çekme Deneyi

Deney çubuğu 5 mm çapında ve 25 mm ölçü uzunluğunda olup, döküm parçalarından ayrı dökülür. Numune çubukları döküm parçası ile birlikte aynı şarjdan dökülmesi gereklidir. Çekme deneyi TS138 esaslarına uygun olarak yapılır (Şekil 5.3).(Aras, 1996).



Şekil 5.2 Sertlik Ölçme Numunesi (Aras, 1996).



Şekil 5.3 Çekme Deney Çubuğu (Aras, 1996).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Kullanılan Kalıp Malzemeleri

Deneysel çalışmalarda malzeme olarak; Jipsit, Kuartz C, Kuartz F, Kristobalit C, Kristobalit F, Döküm Alçısı ve saf su kullanılmıştır. Çizelge 6.1’de kullanılan tozların ortalama tane boyutları gösterilmiştir. Malzemelerin boyutları TÜBİTAK’da ölçülmüştür. Kalıp bileşenlerinin boyutsal dağılımı ve morfolojisi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

Çizelge 6.1 Kullanılan tozların ortalama tane boyutları

Malzeme	Ortalama Tane Boyutu (μm)
Jipsit	20
Kuartz C	27,5
Kuartz F	20
Kristobalit C	50
Kristobalit F	35
Döküm Alçısı	30

6.2 Numune Hazırlama

Hassas döküm alçılarında üç önemli özellik aranmaktadır.

1. Mukavemet, kimyasal kararlılık ve boyutsal kararlılık
2. Yüzey düzgünlüğü
3. Gaz Geçirgenliği

Bu özellikler arasında bir optimizasyon yapılması gerekmektedir. Çünkü bu özelliklerden birinin yükselmesi diğerinin azalmasına neden olabilmektedir.

Bu çalışmada kalıp malzemesi bileşenleri boyutlarının mukavemet (eğme, basma ve sertlik) değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Çizelge 6.2’de bileşimleri

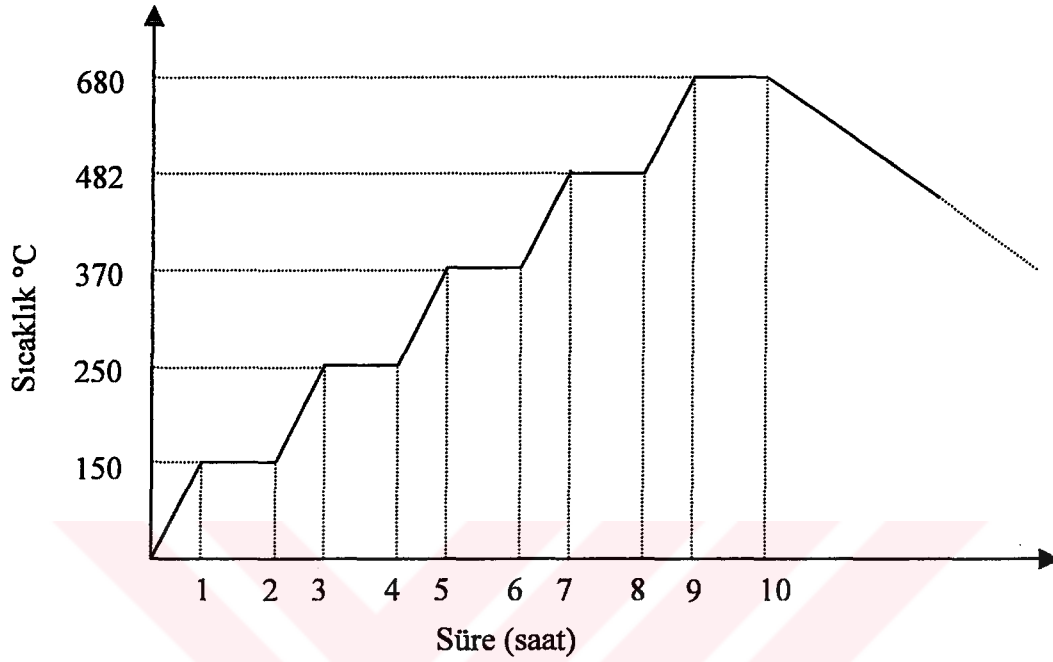
verilen kalıp malzemeleri kullanılarak eğme, basma ve sertlik deney numuneleri hazırlanmıştır.

Çizelge 6.2 Eğme, basma ve sertlik deney numune bileşimleri

Numune No	Bileşim (%Ağ.)
1	- %25 Bağlayıcı Jipsit - %40 Kristobalit C - %35 Kuartz F
2	- %25 Bağlayıcı Jipsit - %40 Kristobalit F - %35 Kuartz C
3	- %25 Bağlayıcı Jipsit - %40 Kristobalit F - %35 Kuartz F
4	- %25 Bağlayıcı Jipsit - %40 Kristobalit C - %35 Kuartz C
5	Döküm Alçısı

Hazırlanan her 100 gr karışım için 37 ml saf su ilave edilmiştir. Malzeme ağırlıklarının belirlenmesinde hassasiyeti 0,001 gr olan hassas elektronik terazi kullanılmıştır. Burada dikkat edilecek nokta, hazırlanan toz karışımını yavaş yavaş su içerisine dökülerek karıştırmaktır. Karıştırma işlemi için IKA-RÜHRWERKE RW 20 DZM model mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Mekanik karıştırıcının hız aralığı 60-2000 dev/dak, motor gücü 70 watt'dır. Daha sonra hazırlanan sıvı karışımı, Ciba Silikon RTV AL 40 ticari adlı silikon ve Y4 sertleştirici ile numunelere uygun yapılan silikon kalıplara dökülmüş ve bu sırada gaz kabarcıklarının dışarı çıkması için kalıba titreşim uygulanmıştır.

Hazırlanan kalıbın katılaşması için bir gün bekletilen numuneler şekil 6.1’de gösterilen ısıtma periyoduna uygun olarak pişirilmiştir.



Şekil 6.1 Numunelerin pişirme periyodu.

Numuneler maksimum 680 °C’ye kadar pişirilmiş olup toplam pişirme süresi 10 saattir ve numuneler fırında soğutulmuştur.

6.2.1 Eğme Numuneleri

Eğme numuneleri için ilk önce 9x17x77 mm ebatlarında tahta modeller hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan bu modellere uygun silikon kalıplar yapılmıştır. Elimizde bulunan tozlarla 4 çeşit karışım hazırlanmış, beşinci karışım olarak döküm alçısı kullanılmıştır. Bu karışımların miktarları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Bütün deney numuneleri yukarıda anlatılan prosedüre göre hazırlanmış ve pişirilmiştir.

6.2.2 Basma Numuneleri

Basma numuneleri için 50x50x50 mm ebatlarında küp modeller ve daha sonra silikon kalıplar hazırlanmıştır. Eğme numuneleri için uygulanan işlemlerin bütünü bu kısım için de geçerlidir ve Bölüm 6.2’de detaylı olarak izah edilmiştir.

6.3 Numunelerin Mekanik Testleri

Hazırlanan numunelere eğme, basma, Shore A ve Shore D sertlik ölçme deneyleri uygulanmıştır.

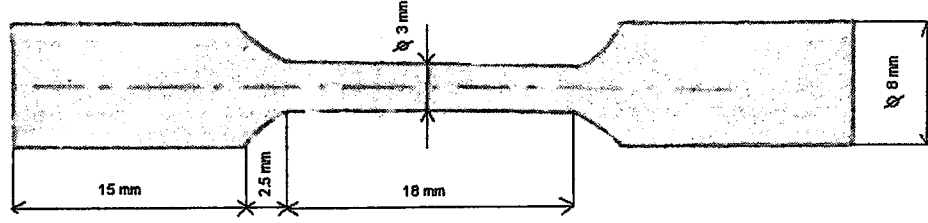
Eğme deneyi için 3 noktadan eğme yapan , 250 kp yüke kadar çıkabilen AVK Budapest marka cihaz kullanılmıştır. Numunelerin ebatlarına uygun şekilde mesnet ayarlaması yapılmıştır. Deney sırasında uygulanan toplam yük 50 kp ‘tur.

Basma deneyi için yine aynı marka tek teksende basma deneyi yapan cihaz kullanılmıştır. Standartlara göre hazırlanan basma deney numuneleri uygun yere yerleştirdikten sonra üzerlerine yük uygulanmıştır. Uygulanılan toplam yük 100 kp’tur ve numunelerin parçalandığı andaki değer skaladan okunarak kaydedilmiştir.

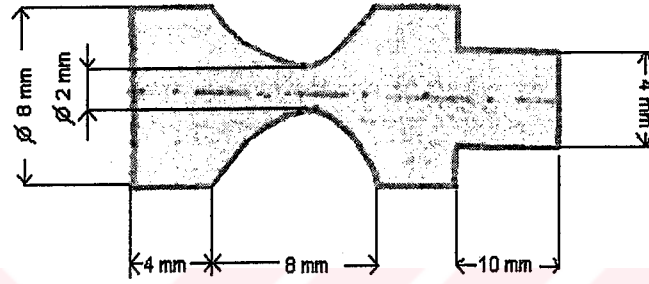
Sertlik ölçme deneyi içinde Shore A ve Shore D cihazları kullanılmıştır. Düz bir zemin üzerinde yapılan bu deneyde Shore A ve Shore D cihazını hazırlanan numuneler üzerine bastırarak okunan değerlerin ortalaması alınmıştır.

6.4 Döküm Deneyleri

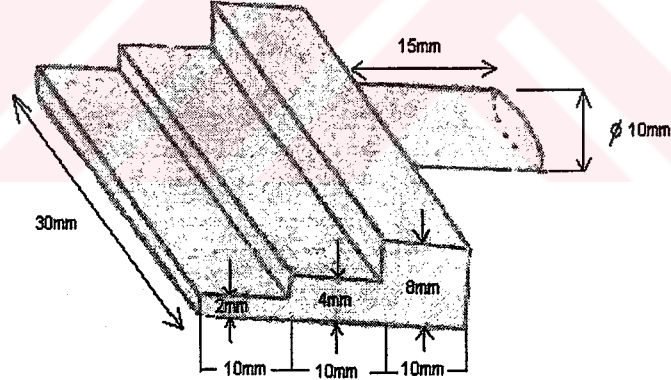
Döküm deneylerinde öncelikle kalıp malzemesi bileşenlerinin boyut dağılımının dökümlerin çekme mukavemeti, % uzama, yoğunluk ve yüzey düzgünlüğü üzerindeki etkilerini belirlemek için gümüş-bakır alaşımı ile santrifüj dökümler yapılmıştır. Çekme, yoğunluk ve yüzey düzgünlüğü ölçüm numuneleri için kauçuk kalıplar hazırlanmıştır. Numuneler DIN 13906’ya uygun olarak hazırlanmıştır (Ott ve Raub, 1992). Model boyutları şekil 6.2, 6.3 ve 6.4’de gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Çekme numunesi boyutları.



Şekil 6.3 Yoğunluk ölçümü için numune boyutları.



Şekil 6.4 Yüzey düzgünlüğü ölçümü numunesi boyutları.

Her bir deney numunesi için mum modeller hazırlanarak çizelge 6.2'de belirtilen 5 farklı dereceli hassas kalıp kompozisyonu için 5 ayrı salkım oluşturulmuştur. Kauçuk kalıp, mum basma ve salkım oluşturma işlemleri Giraş firmasında yapılmıştır.

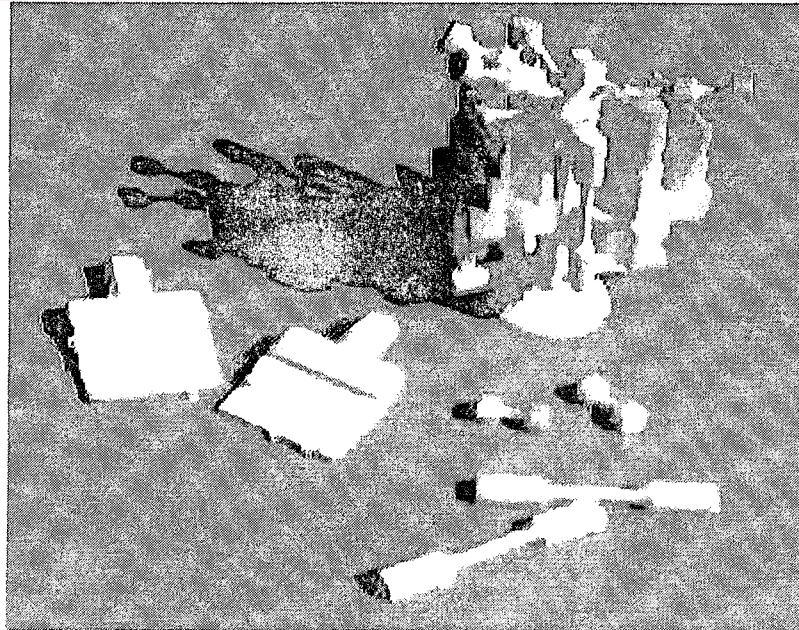
Daha sonra 5 farklı bileşimdeki dereceli hassas kalıp yapımı için 760 ml su / 2000 gr toz kullanılmıştır. Ölçülen miktarda suya, hazırlanan toz karışım azar azar dökülerek 4-6 dakika mekanik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karıştırma kabı vakum cihazına konarak

ilk gaz çıkarma aşaması için alçı yükselene ve kaba çökmeye başlayana kadar tam vakum uygulanmıştır (650-700 mmHg). İşlem süresi ise 1-2 dakika arasındadır.

Daha sonra karışım derece içerisine akıtılarak salkım üzerine bütün modeller kaplanacak şekilde kalıplama gerçekleştirilmiştir. Doldurma sırasında dereceye, içinde kalan havanın alınması için titreşim uygulanmış ve derece tekrar vakum cihazına yerleştirilerek birkaç dakika boyunca tam vakum uygulanmıştır. Daha sonra derecenin sarsılmaması sağlanarak katılaşma için mum indirme ve pişirmeden önce 24 saat bekletilmiştir.

Mum indirme ve pişirme işlemleri aynı pişirme fırını içinde yapılmış, dereceler 730°C'ye kademeli olarak ısıtılarak 12 saat pişirilmiştir. Mum indirme işlemi kuru yöntemle gerçekleştirilmiştir.

Döküm için 925 milyemlik gümüş alaşımı kullanılmıştır. Döküm; 1000°C'de bir ucunda boşaltma açıklığı bulunan yatay silindir grafit pota kullanılarak santrifüj dökümle gerçekleştirilmiştir. Derece sıcaklığı 600°C'dir. Ergiyik metal borik asitle temizlenmiştir. Dökülen salkım şekil 6.5'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Gümüş alaşımından dökülmüş salkım ve numuneler.

Dökümün ardından dereceler soğumaya bırakılmış, daha sonra yüksek basınçlı su araçları ile kalıp bozulmuş ve salkım temizleme için 50 °C'de %20 sülfürik aside batırılmıştır. Dereceli hassas döküm kalıpları ve dökümlerin hepsi GÜN-MAK firmasında yapılmıştır.

6.5 Kalıp Numunelerinin Sıcaklıkla Boyutsal Değişiminin Dilatometre Testi ile İncelenmesi

Dilatometre deneyleri için numuneler 2,5x2,5x30 mm ebatlarında tahta modeller hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan bu modellere uygun silikon kalıplar yapılmış ve 5 kalıp kompozisyonu için numuneler dökülmüştür.

Dilatometre testleri, Eskişehir Anadolu Üniversitesi bünyesindeki TÜBİTAK Seramik Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Kontrol parametreleri; ısıtma 10.0 K/min, son sıcaklık ise 655.0 °C'dir.

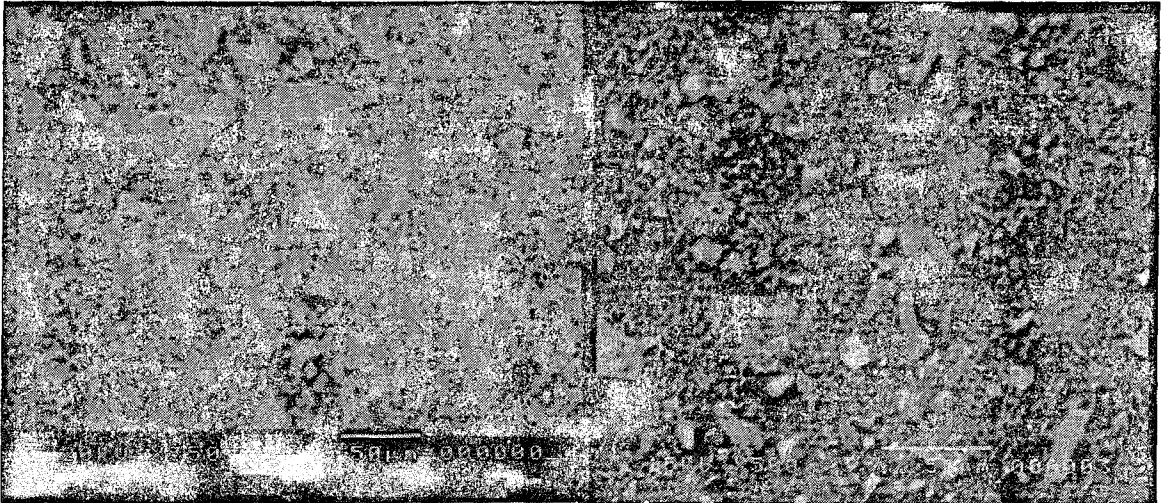
7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1 Kalıp Malzemelerinin Mikroyapıları

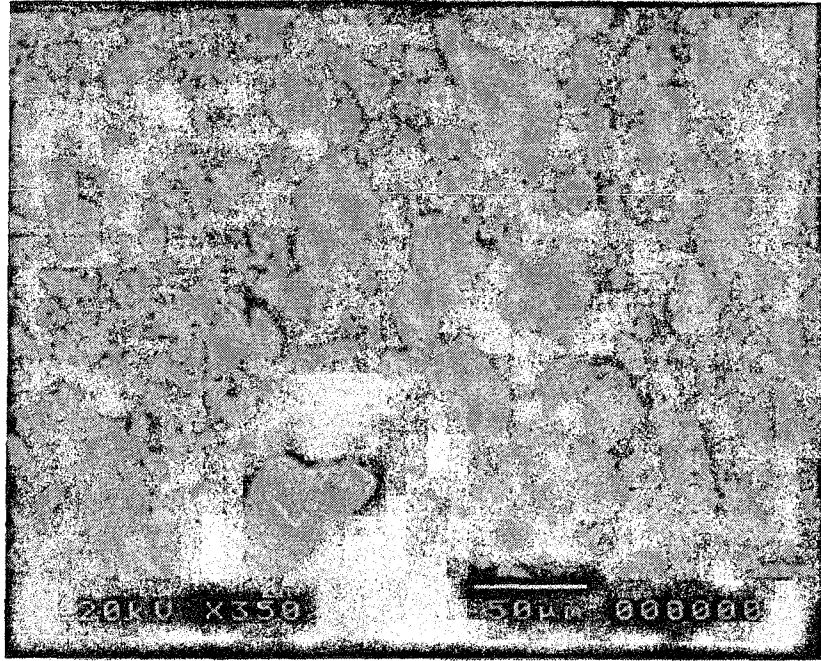
Kullanılan kalıp malzemelerinin yüzey görüntüleri taramalı elektron mikroskobu (Jeol JSTM 330) kullanılarak alınmış, şekil 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 ve 7.5’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Bağlayıcı olarak kullanılan jipsit yüzey görüntüsü.



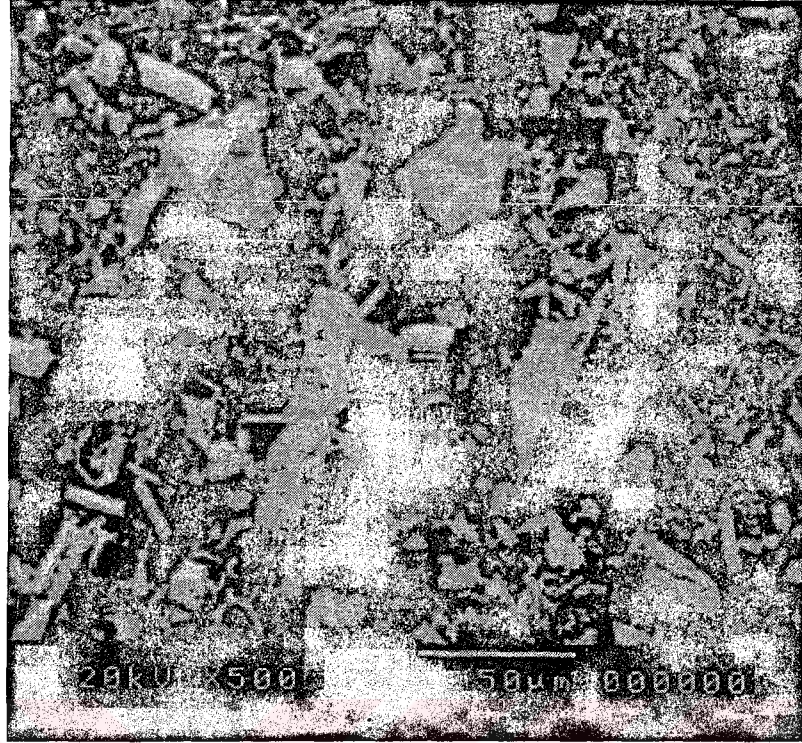
Şekil 7.2 Silika refrakterlerinin ana hammaddesi olan Kuartz C ve tane boyutu daha küçük olan Kuartz F’nin yüzey görüntüsü.



Şekil 7.3 Kristobalit C yüzey görüntüsü.



Şekil 7.4 Kristobalit F yüzey görüntüsü.



Şekil 7.5 Ticari döküm alçısı yüzey görüntüsü.

7.2 Kalıpların Mekanik Özellikleri

Kalıp malzemeleri kompozisyonları için yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar

Numune No	Sertlik		Basma Mukavemeti
	Shore A	Shore D	
1	80	41	47,8 kp
2	75	40	44,8 kp
3	87	44	52,4 kp
4	81	40	97,2 kp
5	65	34	44,8 kp

Yapılan deney sonuçlarındanda anlaşılabacağı gibi genel olarak tane boyutu dağılım aralığı arttıkça malzemenin mukavemeti de artmaktadır. Tübitak'ta yaptırılan boyut dağılım aralığına göre C'lerin boyut dağılım aralığı daha geniştir. 3 ve 4 no'lu malzemelerde mekanik ve fiziksel özellikler maksimum değerlere ulaşmaktadır. Bu iki malzemede kalıp malzemesi bileşenlerinin boyut dağılım parametreleri yüksek mukavemette kalıpların elde edilmesini sağlamıştır.

7.3 Döküm Deneyleri Sonuçları

7.3.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Bileşenleri Çizelge 6.2'de verilen kalıp malzemeleri ile dökülen %92,5 Ag - %7,5 Cu alaşımı numunelerin çekme özellikleri Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 Farklı kalıp bileşenleri ile yapılan çekme deneyi ve %uzama sonuçları.

Kalıp No	Çekme Mukavemeti (kp/mm ²)	% Uzama
1	29,136	% 67,6
2	21,895	% 25,0
3	19.960	% 44,3
4	26,106	% 47,1
5	19,460	% 50,8

7.3.2 Yüzey Pürüzlülüğü Tayini

Çizelge 7.3 Farklı kalıp bileşenleri ile yapılan yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Kalıp No	Pürüzlülük (μm)
1	2,404
2	1,855
3	1,294
4	1,400
5	0,778

Bileşenleri Çizelge 6.2’de verilen kalıp malzemeleri ile dökülen %92,5 Ag - %7,5 Cu alaşımı numunelerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları Çizelge 7.3’de gösterilmiştir.

7.3.3 Yoğunluk Tayini

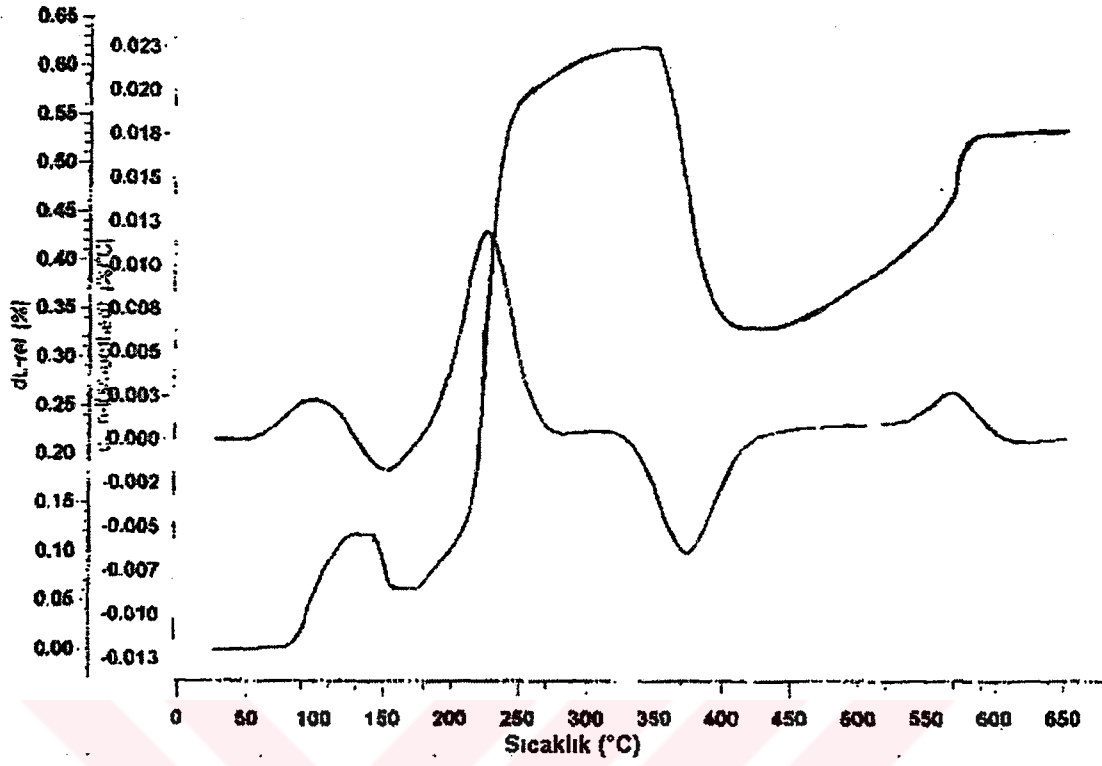
Çeşitli kalıp malzemeleri ile dökülen %92,5 Ag - %7,5 Cu alaşımının yoğunluk değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 7.4 Değişik kalıp malzemeleri ile dökülen %92,5 Ag - %7,5 Cu alaşımının yoğunluk değerleri

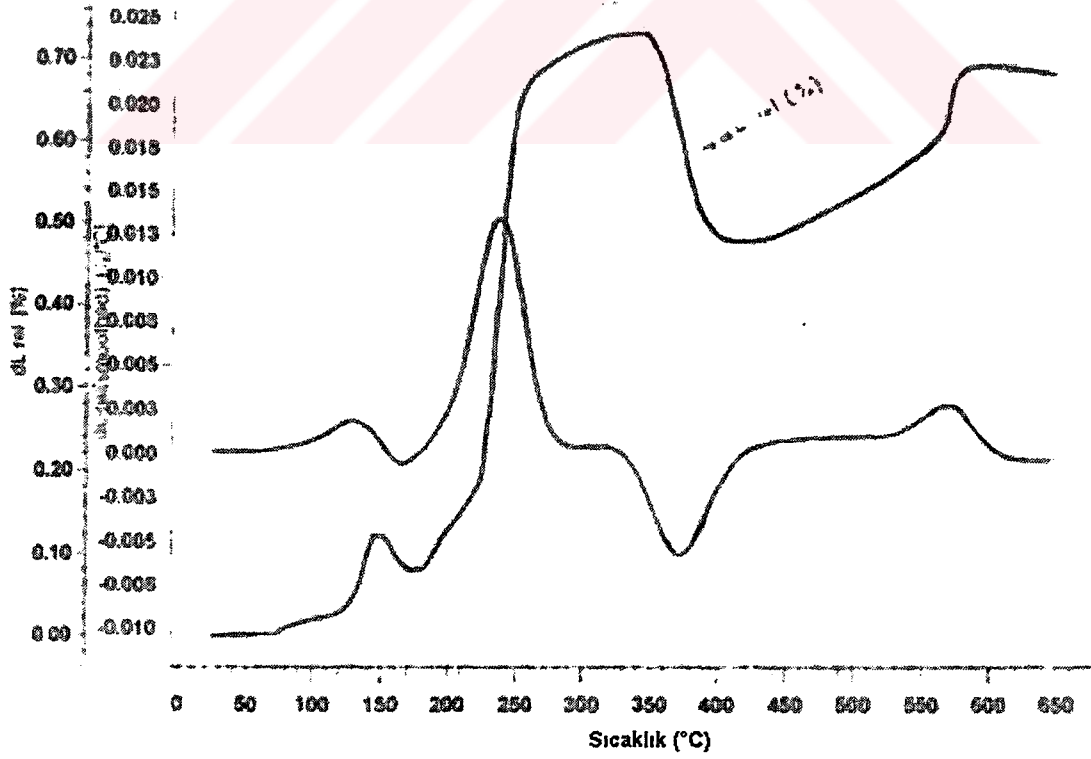
Kalıp No	Yoğunluk (g / cm ³)
1	10,465
2	10,155
3	10,205
4	10,372
5	10,080

7.4 Kalıp Numunelerinin Sıcaklıkla Boyutsal Değişimi (Dilatometre Testi Sonuçları)

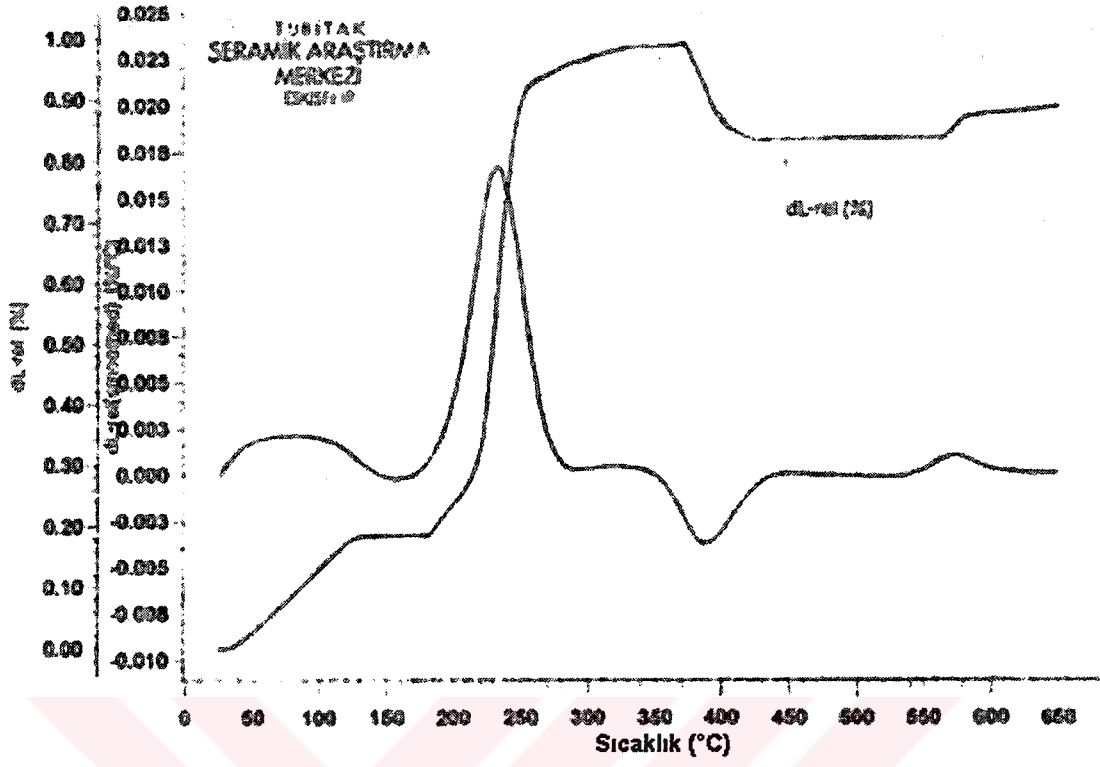
Kalıpların artan sıcaklıkla birlikte gösterdiği boyutsal değişim dilatometre ile ölçülmüştür. Şekil 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 ve 7.10 sırasıyla 1,2,3,4 ve 5 nolu kalıpların boyutsal değişimini göstermektedir.



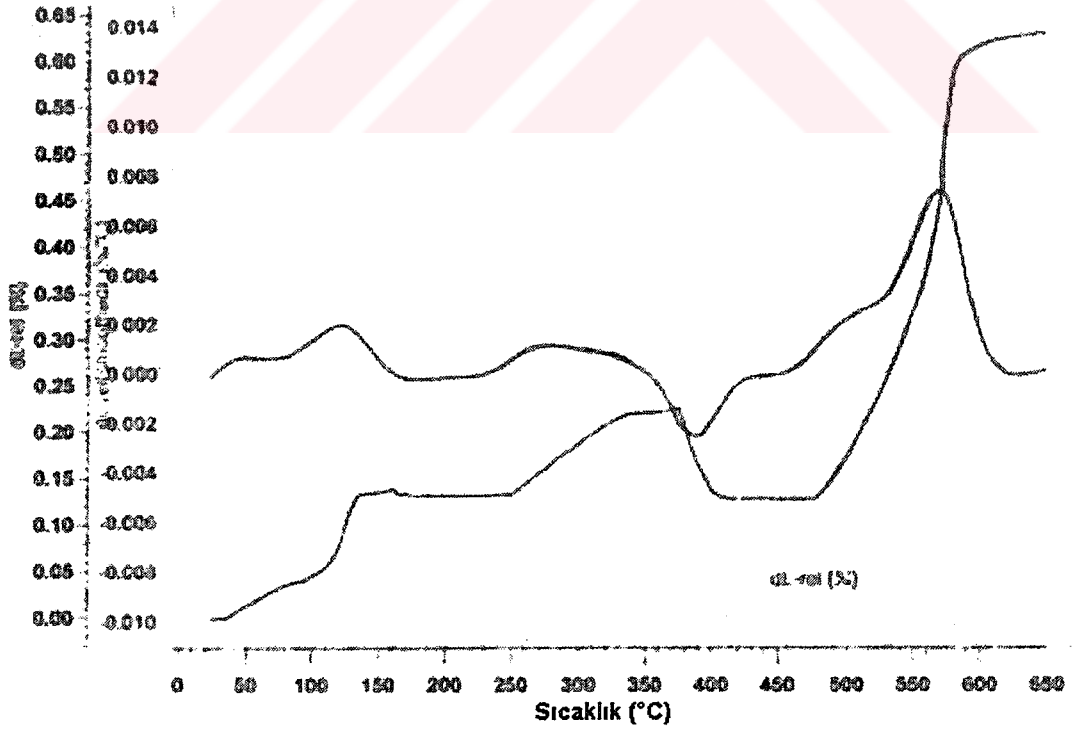
Şekil 7.6 1 nolu kalıbın sıcaklıkla birlikte gösterdiği boyutsal değişim



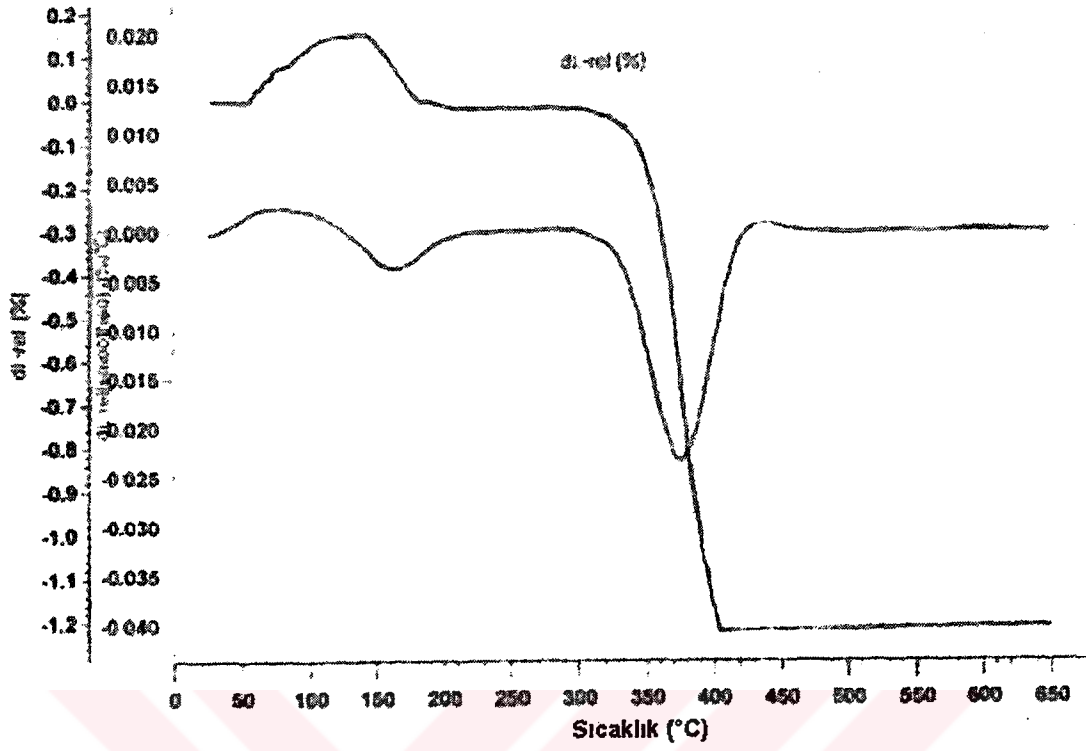
Şekil 7.7 2 nolu kalıbın sıcaklıkla birlikte gösterdiği boyutsal değişim



Şekil 7.8 3 nolu kalıbın sıcaklıkla birlikte gösterdiği boyutsal değişim



Şekil 7.9 4 nolu kalıbın sıcaklıkla birlikte gösterdiği boyutsal değişim



Şekil 7.10 5 nolu kalıbın sıcaklıkla birlikte gösterdiği boyutsal değişim

8. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Kalıpların dayanımı açısından 3 ve 4 nolu kalıp malzemeleri maksimum mukavemete sahiptir. Kalıbın döküm aşamasında ve döküm sıcaklığında yekpare kalmasını sağlayacak bir mukavemet değeri yeterlidir. Mukavemetin bu değerin üzerinde olmasının bir faydası mevcut değildir. Hatta soğuma periyodu sonrasında kalıp bozmayı güçleştirici bir etkisi vardır. 1,2,3,4 ve 5 nolu kalıplarla dökülen %92,5 Ag - %7,5 Cu alaşımının çekme özellikleri, yüzey pürüzlülüğü verileri ve teorik yoğunluk değerleri birbiri ile örtüşmektedir.

1 nolu kalıp malzemesi ile dökülen alaşımın çekme mukavemeti, % uzama değeri ve yoğunluk değeri maksimumdur. Buna karşılık yüzey pürüzlülüğü en yüksek değerdedir. Bu tür kalıplarda karşılaşılan en büyük problem, kalıp malzemesinde bağlayıcı olarak kullanılan jibsitin artan sıcaklıkla parçalanması sonucu oluşan SO_3 ve artık mumun yanma ile teşekkül eden CO_2 gazlarıdır. Eğer bu gazlar tahliye edilmez ise büyük olasılıkla parça içinde, özellikle yüzey ve yüzey altı bölgelerde gaz boşluklarına neden olmaktadır. Bu boşluklar hem yüzey görünümünü bozmakta hem de mekanik özellikleri azaltmaktadır. 1 nolu bileşimde yüksek gaz geçirgenliği elde edilmiş, mekanik özellikler maksimum değere ulaşmış, buna karşılık sıvı metalin kalıba penetrasyon sonucu yüzey kabalığı maksimum değere ulaşmıştır.

Mekanik özelliklerin ve yoğunluk değerlerinin yüksekliği açısından 1 nolu kalıbı 4 nolu kalıp takip etmektedir. Buna karşılık yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. 2 ve 3 nolu kalıp bileşimlerinde bu trende uygun sonuçlar mevcuttur.

5 nolu kalıp malzemesi ile dökülen alaşım ise minimum yoğunluk, minimum yüzey pürüzlülüğü ve minimum mukavemet değeri sergilemektedir. Büyük bir olasılıkla bu malzeme jibsit esaslı bir malzemedir. Dilatometre testi de bu bulguyu doğrulamaktadır.

Dilatometre testine sonuçlarına göre $100^{\circ}C$ 'dan sonra fiziksel su uçmakta ve büzülme başlamaktadır. $200-350^{\circ}C$ aralığında kristobalit $\alpha \rightarrow \beta$ transformasyonu ile boyutsal

genleşme sergiliyor. 350°C'dan sonra büzülme ağırlıklı rol oynuyor. 550°C'da ise kuartz $\alpha \rightarrow \beta$ dönüşümü göstererek hacimsel genleşme sağlıyor.

YAPILACAK DİĞER ÇALIŞMALAR

- 1) Bileşimsel etkilerin analitik olarak ortaya çıkarılması
- 2) Boyutsal öğelerin (alçı, kristobalit, kuartz ve su) analitik olarak etkilerinin çıkarılması.
- 3) Proses değişkenlerinin (mum boşaltma, santrifüj döküm, vakum miktarı, hızlandırma vb.) etkilerinin ortaya çıkarılması.
- 4) Dökülen alaşım bileşenlerinin etkilerinin ortaya çıkarılması (elementler seramik malzemelerle farklı reaktivite sergilemektedir.)
- 5) Porozite, kalıp malzemesi yoğunluğu ve dökülen malzeme bileşimi doğrulanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aras, N., (1996), "Modern Kuyumculuk", 71, İstanbul.
- Arcasoy, A., (1983), "Seramik Teknolojisi", Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, 42-46.
- Barsoum, M., W., (1997), "Fundamentals of Ceramics" McGrawHill Companies, Inc., 270, Singapore.
- Choate, S., (1966), "Creative Casting", Crown Publishers, Inc., 45-55, New York.
- Eriç, H., (1985), "Faz Diyagramları ve Refrakterler", Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 15-19 Nisan 1985, Ankara.
- Faccenda, V., (1996), "Alçı Döküm Makinesi Teknolojisindeki Gelişmeler", Gold Technology, Sayı 20, 3-9.
- Faccenda, V., Ingo, G. M., (2000), "Advances in Investment and Burnout Furnace Design", Gold Technology, Sayı 31, 22-28.
- Horton, P.J., (2000), "Investment Powders and Casting", Sayı 28, 12-17.
- Işırtman, O., Işıklı, C., (1985), "Alçı Kalıp Problemlerinin Çözümü ve Maksimum Verimlilikte Kalıp Üretimi", Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı II, 15-19 Nisan 1985, 289-306, Ankara.
- Kaya, D., (2000), "Anhidrit ve Kalsiyum Karbonatın Döküm Alçısına Etkisi", Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, 10-30, Eskişehir.
- Kınıkoğlu, N., (2000), "Özel Döküm Yöntemleri" Yüksek Lisans Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, 27-55, İstanbul.
- Mahir, H., (1996), "Alçı/Su Oranının Alçı Kalıp ve Dökümüne Olan Etkilerinin Araştırılması", III. Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt I, 22-25 Ekim 1996, 107-115, Ankara.
- Ott, D., Raub, C. J., (1992), "Döküm Gaz Basıncı Etkileri" Gold Technology, 10-17.
- Özkan, O. T., Kınıkoğlu S., Taşer, M. S., (1978), "Seramik Hammaddelerine Uygulanan Kimyasal Analiz ve Fiziksel Test Metodları", Proje no; 03-1601-7801, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Marmara Bilimsel Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, 24/5/1978-24/5/1979, 47-54.
- Sammer, A.R., Parmelee, D., Lamngfold, C.F. ve Stark, R.A., (1989), Refractories Manual, A.F.S. Inc., Des Plaines, Illinois.

Sarıdikmen, H., ve Kuşkonmaz, N., (2000), “Kimyasal Bağlı Seramik Kalıp Üretimi”, 8.Denizli Malzeme Sempozyumu, 26-28 Nisan 2000, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Subaşı, R., (1999), “Alçı Kalıp Yapımında Kullanılan Yarıhidratların Karakterizasyonu”, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, 8-32, Eskişehir.

Ünlüer, Ö., (2001), “Alçı Kalıplar ve Alçı Kalıplarda Mikroyapı Dizaynı”, Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Dönem Projesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2001, 7-33, Eskişehir.

Yaman, C., (1996), “Fosfat Bağlı Alümina Refrakterler”, Metal Dünyası, Sayı no:44, 44, İstanbul.

Yaman, C., (1998), “Refrakter Malzemeler İçin Kimyasal Bağlayıcılar”, Metal Dünyası, Sayı no:59, 38-39, İstanbul.

Wright, J.C., (1998), “Altın Takı Üretimi Teknik El Kitabı”, World Gold Council, 21-36.

World Gold Council, (WGC), (1995), “Investment Casting-Altın Takı Üreticileri için Alçı Döküm”, 8-32.

İNTERNET KAYNAKLARI

1) <http://mineral.galleries.com>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 07.12.1976

Doğum Yeri Eskişehir

Lisans 1996- 2000

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Metalurji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans
Enstitüsü 2000-2002

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri
Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı,
Malzeme Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2000-

YTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi