

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. ALÇI KALIBA DÖKÜM	2
2.1 Geleneksel Alçı Kalıplar	3
2.2 Plakalı Modellerin Döküldüğü Alçı Kalıplar	4
2.3 Antioch (veya Bean) Tipi Alçı Kalıplar.....	5
2.4 Köpüklü Alçı Kalıplar.....	6
3. HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ	7
3.1 Hassas Döküm Yönteminin Dünyada Uygulama Oranı	8
3.2 Hassas Dökümün Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması.....	9
3.2.1 Hassas Dökümün Endüstriyel Uygulama Alanları.....	10
3.2.2 Hassas dökümün avantajları.....	10
3.3 Dereceli Hassas Döküm.....	12
3.4 Seramik Kabuklu Hassas Döküm Yöntemi.....	14
4. DERECELİ HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ.....	16
4.1 Model Yapımı.....	17
4.2 Mum Ağacının Hazırlanması ve Modellerin Düzenlenmesi.....	20
4.3 Kalıp Yapımı	24
4.4 Mum Giderme ve Döküm	29
5. KALIP YAPIMINDA KULLANILAN HASSAS DÖKÜM TOZLARI ve BAĞLAYICILAR	33
5.1 Alçı.....	34
5.1.1 Jibs	36
5.1.2 Anhidrit	37
5.1.3 Alçıdan Yarı Hidrat Üretimi	38
5.2 Silika	40
5.2.1 Kuartz.....	43
5.2.2 Kristobalit.....	45
5.3 Kullanılan Diğer Bağlayıcılar	45
5.3.1 Etil Silikat.....	45

5.3.2	Fosfat Bağlayıcılar	47
6.	KALIP ÖZELLİKLERİNE ve KULLANIM ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	49
6.1	Yarı Hidratın Etkisi.....	49
6.2	Suyun Etkisi	50
6.2.1	Suyun Saflığı	50
6.2.2	Suyun Sıcaklığı.....	51
6.2.3	Su/Alçı Oranı.....	51
6.3	Islatmanın Etkisi	53
6.4	Karıştırmanın Etkisi	53
6.4.1	Karıştırma Hızı	54
6.4.2	Karıştırma Zamanı	55
6.5	Kurutmanın Etkisi.....	56
7.	ALÇI KALIPTAKİ HACİMSEL DEĞİŞİMLER.....	59
7.1	Prizlenme Genleşmesi.....	59
7.2	Isıl Genleşme	60
8.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	61
8.1	Deneylerde Kullanılan Kalıp Malzemeleri	61
8.2	Numune Hazırlama	61
8.3	Tozların Kaplanması.....	62
8.4	Numune Dökümü	63
8.5	Genleşme Ölçümleri	64
8.6	Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri	65
9.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	66
9.1	Numune 1 (Referans Numunesi)	66
9.2	Numune 2	67
9.3	Numune 3	68
9.4	Numune 4	69
9.5	Numune 5	70
9.6	Numune 6	71
9.7	Numune 7	72
9.8	Numune 8	73
9.9	Numune 9	74
9.10	Numune 10	75
9.11	Numune 11	76
9.12	Numune 12	77
9.13	Numune 13	78
9.14	Numune 14	79
9.15	Numune 15	80
9.16	Numune 16	81
9.17	Numune 17	82
9.18	Numune 18	83
9.19	Numune 19	84
9.20	Numune 20	85
9.21	Numune 21	86

9.22	Numune 22	87
9.23	Numune 23 (Referans Numunesi II).....	88
9.24	Numune 24	89
10.	SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....	94
KAYNAKLAR.....		97
ÖZGEÇMİŞ.....		99

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Sıvı metalin basınç altında kalıba doldurulmasında kullanılan bir düzenek	4
Şekil 2.2 Plakalı modellerin üretildiği alçı kalıp yapımı	5
Şekil 3.1 Hassas dökümün dünyada uygulama oranı.....	9
Şekil 3.2 Hassas döküm ağacı	11
Şekil 3.3 Dereceli hassas döküm işlem kademeleri	13
Şekil 3.4 Seramik kabuklu hassas döküm işlem kademeleri.....	14
Şekil 4.1 Dereceli hassas döküm yönteminin ana işlem kademeleri	16
Şekil 4.2 Kuyumculukta dereceli hassas döküm işlem kademeleri	18
Şekil 4.3 Modelin kauçuk kalıptan çıkarılması	20
Şekil 4.4 Düzenlenmiş dereceli hassas döküm mum ağacı.....	23
Şekil 4.5 Tipik hassas döküm kalıp tozu kompozisyonu	26
Şekil 4.6 Mum giderme işlemi için toz üreticileri tarafından tavsiye edilen tipik yakma çevrimleri.....	30
Şekil 5.1 Silikanın polimorfik dönüşümleri	41
Şekil 5.2 SiO ₂ 'nin sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları	42
Şekil 5.3 Silika mineralinin ısı genleşmesi	42
Şekil 6.1 Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi.....	49
Şekil 6.2 Karışımın karıştırılmasından sonra zamana bağlı olarak akışkanlığın değişimi	50
Şekil 6.3 Su sıcaklığının katılma süresine etkisi	51
Şekil 6.4 Su /Alçı oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, % sertleşme genleşmesi ve % su emme kapasitesinin değişimi	52
Şekil 6.5 Karıştırma hızına bağlı olarak akışkanlığın ve mukavemetin değişimi	54
Şekil 6.6 Karıştırma zamanına bağlı olarak sırasıyla su emme hızı, priz başlangıç zamanı, kuru basma mukavemeti ve akışkanlığın değişimi	55
Şekil 6.7 Su/alçı oranına bağlı olarak kurutma zamanının değişimi	56
Şekil 6.8 Nem miktarına bağlı olarak su emme hızının değişimi.....	57
Şekil 6.9 Nem miktarına bağlı olarak mukavemet değişimi	57
Şekil 7.1 Hassas döküm kalıp tozunun ısı genleşmesi.....	60
Şekil 8.1 Toz karışımının hassas terazide tartılarak hazırlanması	61
Şekil 8.2 Stearik asit molekül yapısı.....	62
Şekil 8.4 Numunelerin döküldüğü silikon kalıplar	64
Şekil 9.1 Referans numunesi x350 büyütme	90
Şekil 9.2 24 No'lu numune x350 büyütme	90

Şekil 9.3 Referans numunesi x500 büyütme	91
Şekil 9.4 24 No'lu numune x500 büyütme	91
Şekil 9.5 Referans Numunesi x1000 büyütme	92
Şekil 9.6 24 No'lu numune x1000 büyütme.....	92
Şekil 9.7 Referans Numunesi x1500 büyütme	93
Şekil 9.8 24 No'lu Numune x1500 büyütme	93

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Hassas dökümün diğer yöntemlerle karşılaştırılması	9
Çizelge 5.1 Çeşitli döküm yöntemlerinin yaklaşık soğuma hızları ve buna bağlı olarak döküm yapılarında elde edilebilecek dendirit kolları arası mesafeler	36
Çizelge 5.2 α -yarı hidrat ve β -yarı hidrat formların tanımlanmasında kullanılabilecek özellikler	40
Çizelge 9.1 Numune 1'in bileşimi	66
Çizelge 9.2 Numune 2'nin bileşimi	67
Çizelge 9.3 Numune 3'ün bileşimi	68
Çizelge 9.4 Numune 4'ün bileşimi	69
Çizelge 9.5 Numune 5'in bileşimi	70
Çizelge 9.6 Numune 6'nın bileşimi	71
Çizelge 9.7 Numune 7'nin bileşimi	72
Çizelge 9.8 Numune 8'in bileşimi	73
Çizelge 9.9 Numune 9'un bileşimi	74
Çizelge 9.10 Numune 10'un bileşimi	75
Çizelge 9.11 Numune 11'in bileşimi	76
Çizelge 9.12 Numune 12'nin bileşimi	77
Çizelge 9.13 Numune 13'ün bileşimi	78
Çizelge 9.14 Numune 14'ün bileşimi	79
Çizelge 9.15 Numune 15'in bileşimi	80
Çizelge 9.16 Numune 16'nın bileşimi	81
Çizelge 9.17 Numune 17'nin bileşimi	82
Çizelge 9.18 Numune 18'in bileşimi	83
Çizelge 9.19 Numune 19'un bileşimi	84
Çizelge 9.20 Numune 20'nin bileşimi	85
Çizelge 9.21 Numune 21'in bileşimi	86
Çizelge 9.22 Numune 22'nin bileşimi	87
Çizelge 9.23 Numune 23'ün bileşimi	88
Çizelge 9.24 Numune 24'ün bileşimi	89

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana yol gösteren ve bilgilerini paylaşan ve karşılaştığım problemlerin çözümünde yardımcı olan Sayın Prof.Dr.Mustafa ÇİĞDEM'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan Balkan İleri Döküm Teknolojileri Merkezinde çalışan araştırma görevlisi Kerem Altuğ GÜLER'e teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada alçı bağılı dereceli hassas döküm tozlarında prizlenme genleşmesi incelenmiştir. Alçı bağılı dereceli hassas döküm kalıpları, özellikle dişçilikte ve kuyumculukta, altın gibi ergime derecesi düşük demir dışı alaşımların dökümünde kullanılır. Kalıbın bileşimi, bağlayıcı olarak kullanılan 25-27% oranında α -alçı, refrakter özellik veren yaklaşık 70-73% oranında kuvarz ve kristobalit ile 2-5% oranında katkı ilavelerinden oluşur. Karışıma suyun ilave edilmesiyle beraber, bağlayıcı olarak kullanılan kalsine edilmiş kalsiyumsülfat yarıhidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) kaybettiği 1,5 mol suyu tekrar bünyesine alarak, kalsiyumsülfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) halinde kristallenerek katılır. Hidrate olarak büyüyen iğnesel yapılı alçı kristallerinin birbirini itmesi ve aralarında meydana gelen boşluklar sonucu prizlenme genleşmesi meydana gelir.

Alçı bağılı dereceli hassas döküm kalıpları, alçının katılması esnasında meydana gelen prizlenme genleşmesi ve refrakter özellik veren kuvars ve kristobalitin yüksek sıcaklıklardaki polimorfik dönüşümleri sonucu, hacimsel genleşme gösterirler. Ancak bu genleşme, alçının yüksek sıcaklıklardaki kalsinasyonu ve dökülen metalin katılma sırasında gösterdiği çekme sonucu oluşan büzülmeyle karşılanamamaktadır.

Yapılan çalışmalarda önceden belirlenen çeşitli katkı maddeleri ilave edilerek alçı bağılı dereceli hassas döküm tozu karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlardan uygun kalıp numuneleri dökülmüştür. Dökülen numuneler üzerinde çeşitli aralıklarla genleşme ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen değerler doğrultusunda katkı maddelerinin prizlenme genleşmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Katkı maddelerinin miktarları optimize edilerek döküm esnasındaki toplam büzülmeyle karşılamak amacıyla en yüksek genleşme değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Döküm deneyleri sonucunda yüksek genleşme sağlanan numuneler ile referans numunelerinin taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yüzey görüntüleri alınmış ve kalıp yüzeylerinin morfolojisi karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : alçı, alçı bağılı dereceli hassas döküm kalıbı, prizlenme genleşmesi

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the setting expansion of gypsum bonded investment. Gypsum bonded investments are utilized, particularly in dentistry and jewelry production, for casting non ferrous alloys with low melting points such as gold. The composition of the investment material consists of 25-27% α -gypsum as binder, 70-73% quartz and cristobalite as refractory materials and 2-5% of additives. When water is added to the mixture, the calcinated calciumsulfate hemihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), which is used as binder, regains the 1,5 mole of water it had lost and solidifies after having crystallized as calciumsulfate dihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Setting expansion occurs as a consequence of the push between the hydrated and growing needle-like crystals of gypsum and the cavities that result from this action.

Gypsum bonded investments expand volumetrically as an outcome of the setting expansion that takes place during the set of the plaster and the polymorphic phase transitions of refractory materials such as quartz and cristobalite at high temperatures. However, this expansion does not compensate for the calcination of the plaster and shrinkage of the solidified alloy during cool down.

During the researchs, which were carried out for this study, gypsum bonded investment powders were prepared by inserting various predetermined additives. From these mixtures, appropriate investment mould samples were casted. The dimensional changes of the setting plaster specimens were measured at certain intervals. In light of the values found during these experiments, the influence of additives on setting expansion was analyzed. In order to compensate for the shrinkage of the solidified alloy, the aim was to obtain the highest expansion values by optimizing the amount of additives. The surfaces of samples that had yielded high amounts of expansion during the casting experiments and those of reference samples were observed with Scanning Electronic Microscope and the micromorphologies of investment surfaces were compared.

Keywords : gypsum, gypsum bonded investment, setting expansion

1. GİRİŞ

Alçı kalıplara döküm, demir dışı metallerin şekillendirilmesinde kullanılan bir yöntemidir. Çeşitli malzemelerden olmakla birlikte daha çok da demir dışı metal malzemelerden yapılan kalıcı modeller çok sayıda kalıp yapımında kullanılırlar. Adından da anlaşıldığı gibi kalıplama malzemesi ve maça malzemesi alçıdır. Boyutsal hassasiyetinin ve döküm yüzeyinin düzgünlüğünün çok iyi, kum kalıplara veya astarlanmış metalik kalıplara yapılan dökümlere oranla ince yüzey detaylarının elde edilebilirliğinin mükemmel olması en önemli özellikleri ve tercih edilme nedenleridir. Alçı kalıplama ile üretilen parçalara örnek olarak; karmaşık dizaynlı jet motor kompresörleri, çeşitli elektrik donanım parçalar, çeşitli kauçuk ve lastik kalıpları verilebilir. Bu parçalar diğer kalıplama yöntemleri ile döküldüklerinde işleme maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır. Alçı kalıplara dökülerek üretilen parçaların %90'ı 10 kilogramdan küçük parçalardır. Fakat 30 kilogram kadar ağırlıklı parçalar, herhangi bir özel işlem gerektirmeksizin yeterli kalitede dökülebilirler. Alüminyum alaşımlarının dökümünde ise, iki tonluk parçaların başarı ile döküldüğü bir çok uygulama vardır.

Alçının hazırlanmasında kullanılan temel hammadde alçıtaşıdır. Doğada bulunan jipsit veya anhidrit olarak rastlanan, $\text{Ca}^{+2}, \text{SO}^{-4}$ iyonlarının bileşiminden oluşan ve oluşum ortamına göre içeriğinde bazen su bulunan mineral topluluğuna, mineral farklılığına bakılmaksızın alçıtaşı denilmektedir. 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. Hidrate olarak büyüyen iğnesel yapılı alçı kristallerinin birbirini itmesi ve aralarında meydana gelen boşluklar sonucu prizlenme genleşmesi meydana gelir.

Alçının kullanıldığı özel bir döküm yöntemide, alçı bağlı dereceli hassas döküm yöntemidir. Alçı bağlı dereceli hassas döküm kalıpları, özellikle dişçilikte ve kuyumculukta, altın gibi ergime derecesi düşük demir dışı alaşımların dökümünde kullanılır. Kalıbın bileşimi, bağlayıcı olarak kullanılan 25-27% oranında α -alçı, refrakter özellik veren yaklaşık 70-73% oranında kuvarz ve kristobalit ile 2-5% oranında katkı ilavelerinden oluşur.

2. ALÇI KALIBA DÖKÜM

Günümüzde alçı kalıplara döküm yönteminin kullanılmasının ana nedenleri; boyutsal hassasiyetinin çok iyi olması, döküm yüzeyinin düzgünlüğü, kum kalıplara veya astarlanmış metalik kalıplara oranla son derece ince yüzey detaylarının şekillendirilebilmesidir (Çavuşoğlu, 1992).

Genel olarak dört ayrı alçı kalıplama şekli vardır. Bunlar;

- Geleneksel alçı kalıplar.
- Plakalı modellerin üretildiği alçı kalıplar.
- Antioch (veya Bean) tipi alçı kalıplar.
- Köpüklü alçı kalıplar (Çavuşoğlu, 1992).

Kullanılan alçı kalıp şekline göre farklılıklar gösterse de genel olarak tüm alçı kalıpların ısı kapasiteleri düşüktür. Dolayısıyla alçı kalıba yapılan dökümler çok yavaş soğurlar. Alçı kalıplar çil kullanımına özellikle çok uygundurlar. Çil kullanımıyla alçı kalıp içindeki ısısal gradyanların çok sıkı bir şekilde kontrolü de mümkündür. Yalnız çilin uygulanmasında, kum kalıptakinden daha fazla dikkat gösterilmesi gerekir. Alçı kalıpların çok düşük olan soğuma hızları ile, 0,06 cm. inceliğinde kesitlerin dökülebilmesi mümkünse de, bu kadar ince kesitler seri üretim uygulamalarında elde edilemezler. Normal olarak erişilebilen en ince kesit kalınlığı 0,15 cm. dir (Çavuşoğlu, 1992).

Alçı kalıplama modelleri ve maça kutulan genellikle, alüminyum alaşımlarından, pirinçten ve çinko alaşımlarından yapılırlar. Esnek kauçuk modeller de özellikle karmaşık şekilli kalıpların yapımında kullanılır. Geleneksel modeller kullanıldığında genellikle iki derece bir koniklik kullanılsa da, bir çok dizayn için koniklik payı gerekmebilir. Tüm alçı kalıplama tiplerinde modeller veya maça kutuları, alçı çözelti boşaltılmadan önce yapışmayı önleyen ayırıcı bir ortamla, sürülerek veya püskürtülerek kaplanmalıdırlar. Bu işlem iyi yapılmışsa, genellikle modelin sıyrılması güçlük çıkarmaz. Çoğunlukla modelin kalıptan sıyrıldığı an derece de çıkarılır. Alçı kalıplamadaki yolluk sistemleri yaklaşık olarak kum kalıptakilere benzerdir. Yine de alçı kalıpların ısı kapasiteleri daha düşük olduğundan, yolluklar daha dar kesitli olabilirler. Dökümhaneler için en uygun yolluk yapma tekniği, yolluk sisteminin modelin bir parçası olmasıdır (Çavuşoğlu, 1992).

Alçı kalıplara yalnızca demir dışı metaller dökülebilirler. Çünkü kalıpların ana malzemesi

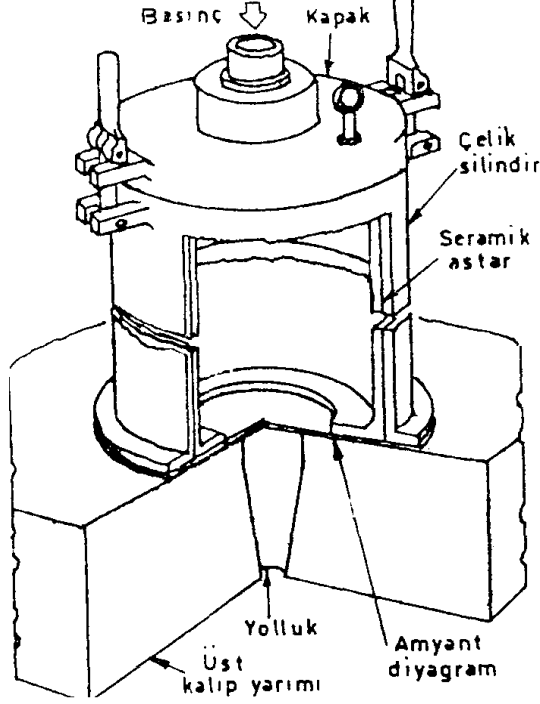
olan kalsiyum sülfat 1193°C da faz dönüşümüne başlar ve 1450°C da erir. Kum kalıba dökülebilmeye uygun tüm alüminyum alaşımları, alçı kalıplarla şekillendirilebilirler. Bakır ve kum kalıplarda dökülebilen bakır alaşımlarının çoğu alçı kalıplarda dökülebilirler. % 5 den daha fazla kurşun içeren bakır alaşımları genellikle alçı kalıplarda dökülemezler. Çünkü böyle alaşımlar bazı kalıp bileşenleri ile reaksiyona girerler ve alçı kalıpların başlıca üstünlüklerinden biri olan düzgün döküm yüzeyini elde etmek zorlaşır. Magnezyum alaşımlarında yine kısmen kalıp malzemesi ile reaksiyon yaptıklarından ve kısmen de kalıpta kalan herhangi bir serbest su ile reaksiyona girdiklerinden uygun olmamaktadır (Çavuşoğlu, 1992).

2.1 Geleneksel Alçı Kalıplar

Tam olarak tartılarak karıştırıcıya boşaltılan suya, kuru bileşenler derece derece ilave edilir. Yeterli ıslanma süresi (2 - 4 dak.) beklendikten sonra istenen çözelti kıvamı elde edilinceye kadar karıştırılır. Çözelti karışır karışmaz katılaşmaya başladığından hazır karışım hemen, uygun bir ayırıcı madde ile kaplanmış modelin üzerine veya maça kutusunun içine boşaltılır. Modellerin derece içine, kalıp birleştirildiğinde alt ve üst parçaların uygun gelmesini sağlayacak şekilde yerleştirilmelerine özen gösterilmelidir. Alt ve üst kalıp yarımlarının birbirlerine uygunluğunun sağlanmasında pim yuvaları ve pimler kullanılır. Derece içindeki modelin üzerine boşaltılan çözelti, oda sıcaklığında 15 - 20 dak. içinde katılaşır. Katılaşan kalıptan model ve dereceler çıkartılır. Kurutma çevrimi, olabildiğince çabuk olarak başlatılır. Geleneksel alçı kalıpların kurutulmasındaki zaman ve sıcaklık çevrimi, dökümhanelere göre farklılık gösterir. Sıcaklık 180-870°C ve süre de 45 dakika ile 72 saat arasında değişir (Çavuşoğlu, 1992).

Geleneksel yöntemle yapılmış kuru alçı kalıpların geçirgenlikleri son derece düşüktür (~1-2 A.F.S.). Bu nedenle alçı kalıplar sıvı metalin normal boşaltılma şekli ile doldurulamazlar. Sıvı metalin kalıba boşaltılması sırasında, ya vakum ya da basınç uygulanması gereklidir. Birçok dökümhane geleneksel alçı kalıp dökümünde vakum uygular. Bu yöntemde kalıp, tabanı genişliğinde bir plaka üzerine yerleştirilip sabitleştirilmiştir. Bu plaka vakum pompasına giden bir boru ile bağlantılıdır. Plaka içindeki oyuklar vakumun, kalıp tabanının her yerinde eş olarak dağılabilmesini sağlarlar. Aynı şekilde oyuklu ve vakum hattı ile bağlantılı bir diğer plaka da kalıbın üstüne yerleştirilir. Bir çok kere kullanılabilen seramikten boşaltma havuzunun yolluk üzerine gelen noktaya yerleştirileceği bir delikte plaka üzerinde yer alır. Böyle bir düzenek alttan veya üstten veya her iki taraftan birden vakum uygulamaya olanak

verir. Fakat yalnız tabandan vakum uygulanması daha sık kullanılan bir şekildir. Uygulanabilecek vakum miktarına, benzer dökümlerle yapılan ön deneylerle karar verilir. Vakum süresi, uygulanma zamanı ve şekli, dökümhanelere ve bazende aynı dökümhanedeki farklı dökümlere göre değişir (Çavuşoğlu, 1992).



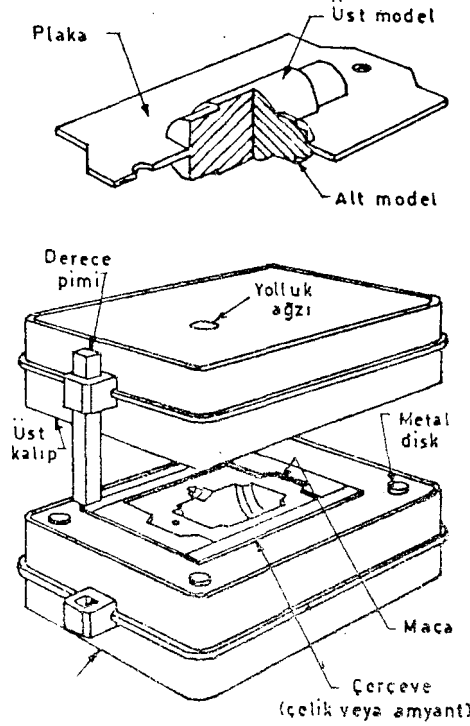
Şekil 2.1 Sıvı metalin basınç altında kalıba doldurulmasında kullanılan bir düzenek (Çavuşoğlu, 1992)

Alçı kalıplara sıvı metalin doldurulması sırasında, sıvı metal üzerine basınç uygulanması için geliştirilmiş bir düzenek Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Burada kalıbın yolluk ağzı üzerine diyafram şeklinde ince bir amyant tabaka yerleştirilir. Bunun üzerine de seramik astarlı bir metal silindir konur. Yeterli hacimdeki sıvı metal, silindir içine boşaltılır. Basıncılı hava kaynağı ile bağlantılı bir metal kapak sıkıca silindir üzerine kapatılır ve hava valfi açılır. Sıvı metal üzerindeki hava basıncı, amyant diyaframı yırtar ve sıvı metal kalıp boşluğuna akmaya başlar. 0,10-0,15 kg/cm² lik bir basınç, yaklaşık olarak yarım saat yolluk üzerinde tutulur (Çavuşoğlu, 1992).

2.2 Plakalı Modellerin Döküldüğü Alçı Kalıplar

Plakalı modellerin başlıca gereksinimi olan, çok hassas detay ve düzgün yüzey, alçı kalıplar ile kolayca sağlanabilir. Plakalı model yapımında kullanılan alçı kalıplama şekli, doğal olarak alt ve üst modellerin yapımında da kullanılabilir. Bu uygulamada kullanılan kalıp

malzemesinin başlıca farkı alçı olarak yalnız beyaz alçı kullanılmasıdır. Talk ve diğer küçük miktarlardaki özellikleri iyileştirici ilavelerde kalıp malzemesi içinde yer alırlar. Geleneksel alçı kalıp uygulamasından farklı olarak dereceler, boyut hassasiyetini sağlamak amacıyla tüm işlem boyunca kalıpta kalırlar. Kalıp çözeltisinin hazırlanması, boşaltılması, katılaşma kademeleri, geleneksel yöntemle aynıdır (Çavuşoğlu, 1992).



Şekil 2.2 Plakalı modellerin üretildiği alçı kalıp yapımı (Çavuşoğlu, 1992)

Kalıpların birleştirilmesinde özel bir uygulama yapılarak plakalı modelin, plaka kısmı oluşturulur (Şekil 2.2). Varsa maçalar alt dereceye yerleştirildikten sonra, üst derece istenen plaka kalınlığına erişilinceye kadar alt dereceye yaklaştırılır. İstenen bu kalınlık her köşeye yerleştirilen metal disklerle sağlanır. Aynı kalınlıktaki çelik veya amiyant çerçeveler de plakanın dış şeklini oluşturmak amacıyla yerleştirilirler. Metal boşaltıldığında, alt ve üst dereceler arasında akarak plakalı modelin plaka kısmını oluşturur (Çavuşoğlu, 1992).

2.3 Antioch (veya Bean) Tipi Alçı Kalıplar

Geleneksel alçı kalıpların başlıca dezavantajı olan düşük kalıp geçirgenliğinin bazı ilave işlemlerle geliştirilmiş olduğu, patentli bir yöntemdir. Geleneksel alçı kalıplamaya benzer olarak hazırlanan alçı kalıplar, önce kısmen susuz hale sonra da tekrar sulu hale getirilirler (dehidratlama – rehidratlama işlemleri). Böylece iğne biçimindeki alçı kristalleri, yaklaşık

olarak kum tanelerine benzer yuvarlak bir biçimde yavaşça tekrar kristalleşir. Poröz bir yapı kazanan kalıbın geçirgenliği artar. Erişilen geçirgenlik değeri genellikle 15-30 A.F.S. arasındadır (Çavuşoğlu, 1992).

Katı alçı kalıp yarımlarının elde edilme kademesine kadar tüm kalıplama işlemleri, geleneksel alçı kalıplamaya benzerdir. Katı ama yaş alçı kalıplar bir otoklav işlemi ile kısmen susuz hale getirilirler (Dehidratlama). Bu işlem $1,05 \text{ kg/cm}^2$ lik bir buhar basıncında ve 6-12 saat otoklavda tutularak gerçekleştirilir. Otoklavdan çıkarılan kalıplar yaklaşık 14 saat veya daha fazla bir süre havada tutularak, tekrardan su almaları sağlanır (Rehidratlama). Yeterli süre havada kalarak tekrar yapı değişimine uğramış kalıplar, tüm alçı kalıplama işlemlerinin vazgeçilmez işlemi olan kurutma için fırına yerleştirilirler. 180°C ila 230°C da kalıp kesidine bağlı olarak 1 -70 saat kurutulan kalıp yarımları, oda sıcaklığına soğutulur ve birleştirilirler. Kalıpların geçirgenlikleri oldukça iyi olduğundan, normal sıvı metal dökme şekli ile kalıplar zorluk çekmeksizin doldurulabilirler (Çavuşoğlu, 1992).

2.4 Köpüklü Alçı Kalıplar

Köpüklü alçı kalıplar da, geleneksel alçı kalıpların çok düşük olan geçirgenliğinin arttırılması amacıyla geliştirilmiş, bir alçı kalıp şeklidir. Bu amaca, alkyl aryl sulfanote gibi bir köpükleştirici elemanın, kuru karışıma veya çözeltiye ilave edilmesiyle erişilir. Çözeltinin köpükleştirici ile özel bir şekilde karışması sonucu, çözelti içinde çok küçük hava kabarcıkları oluşur. Çözelti yoğunluğu azalarak, hacmi artar. Model etrafına boşaltılan çözeltinin katılaşması ve daha sonraki kuruma işlemleri sırasında, bu kabarcıklar birbirleri ile bağlantılanırlar. Düzgün yüzeyin hemen altında yer alan bu bağlantılı kabarcıklar, metaldeki gazların çıkışına olanak veren geçirgen bir kalıp yapısı oluşturur (Çavuşoğlu, 1992).

Çözeltinin karıştırılmasında kullanılan karıştırıcı ve karıştırma kabı, özel bir dizaynı gerektirir. Karıştırıcı, çözelti içine hava sokabilecek ve 0,2 mm. den büyük olmayan hava kabarcıkları üretebilecek yapıda olmalıdır. Daha büyük hava kabarcıkları, ergimiş metalin basıncı altında kırılarak döküm hatalarına neden olurlar. İstenen geçirgenliğe göre yeterli bir hacim artışına erişen çözelti, hemen model etrafına boşaltılmalıdır. Çözeltinin boşaltılışı sırasında kalıbın bir kaç saniye titreştirilmesi, hava kabarcıklarının model yüzeyinden ayrılarak yukarı doğru hareket etmesine yardımcı olur. Düzgün ve kabarcıksız yüzey elde etmenin bir diğer yolu da modelin daha önceden, püskürtme veya boyama yoluyla ince bir çözelti tabakası ile kaplanmasıdır (Çavuşoğlu, 1992).

3. HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ

Hassas döküm, ilk uygulandığı yıllardan bugüne sürekli gelişip değişerek günümüzde ve zenaati birlikte en iyi kullanan şekilli parça üretim yöntemlerinden biri olmuştur. İngilizce ‘Investment Casting’, ‘Precision Casting’ veya ‘Lost Wax’ olarak, Fransızca ‘Cire Perdu’ ve Almanca ‘Feinguss’ olarak adlandırılmaktadır. Türkiye’de de bu teknolojinin tanımında ‘kaybolan mum yöntemi’, ‘Investment Döküm’, ‘İncelikli Döküm’ gibi adlar kullanılmaktadır. ‘Harcanan Modelli Yekpare Seramik Kalıplı Döküm’ veya kısaca ‘yekpare seramik kalıplı döküm’ adının, yöntemi daha iyi ifade ettiği düşünülmese rağmen yaygın kabul görmüş ‘Hassas Döküm’ ifadesi kullanılmıştır. Hassas döküm kısaca, mum veya plastik gibi düşük sıcaklıklarda eritilebilen veya yakılabilen harcanabilir bir modelin eritilerek dışarı alınması ile oluşan kalıp boşluğuna, sıvı metalin boşaltılarak şekillendirildiği bir döküm yöntemidir. Hassas döküm, döküm parçasının harcanabilen bir modelle tek parçalı elde edilmesi prensibi dışında; kullanılan refrakter malzemelerin, bağlayıcıların, işlem kademelerinin ve her kademedeki teknolojilerin değişebilirliği ile binlerce yıldır eskimeyen bir yöntem olarak kalabilmiştir. Bu esnekliği nedeniyle çok farklı alanlarda kullanılan geniş ‘özellik-kalite-fiati’ yelpazesinde döküm parçaları üretilebilmektedir (Taylor, 1986).

Arkeolojik araştırmalar sonunda ortaya çıkan görüşlere göre ilk hassas döküm uygulamalarının M.Ö. 4500 yıllarında Tayland civarında olduğu tahmin edilmektedir. Daha sonra Mezopotamya’da M.Ö. 4000-2000 yılları arasında, Çin’de, Hindistan’da, Ege Denizi çevresinde ve Kuzey Avrupa’da M.Ö. 2000’den Anno Domini dönemine kadar, Anno Domini ile M.S. 1000 yılları arasında İtalya ‘da Merkez ve Güney Amerika’da ve Batı Avrupa’da takı, süs eşyası ve heykel dökümünde kullanılarak günümüze kadar ulaşmıştır. 1897 yılında Amerikalı diş doktoru B.F. Philbook, hassas dökümü diş hekimliğinde protez yapımında kullanmıştır. 1907’de de diş hekimi Taggart, sıvı metali hassas döküm kalıplarına santrifüj kuvvet yardımıyla doldurmuştur. Bu nedenle protez yapımı ve kuyumculuk alanlarında hassas döküm tekniği kullanımı ‘santrifüj döküm’ adıyla da kullanılmaktadır. Hassas dökümün kuyumculuk alanında yaygın kullanımı 1930’larda kauçuğun, model yapım malzemesi olarak geliştirilmesinden sonra olmuştur. Böylece ziynet eşyalarının kullanıma hazır şekil ve boyutta, seri ve ucuz dökümü yapılabilmektedir. Bu tarihe kadar en yaygın olarak diş hekimleri ve kuyumcular tarafından kullanılan proses, 2. Dünya Savaşı’ndan sonra modern bir üretim biçimi olarak yeniden keşfedilmiştir. Savaş nedeniyle ordunun ihtiyacı olan çok sayıda mamul parça talebi, talaşlı imalattan hızlı bir teknoloji arayışı oluşturmuştur. Bu dönemde diş hekimliğinde ve kuyumculukta kullanılan teknikler birleştirilip hızla geliştirilerek endüstriyel

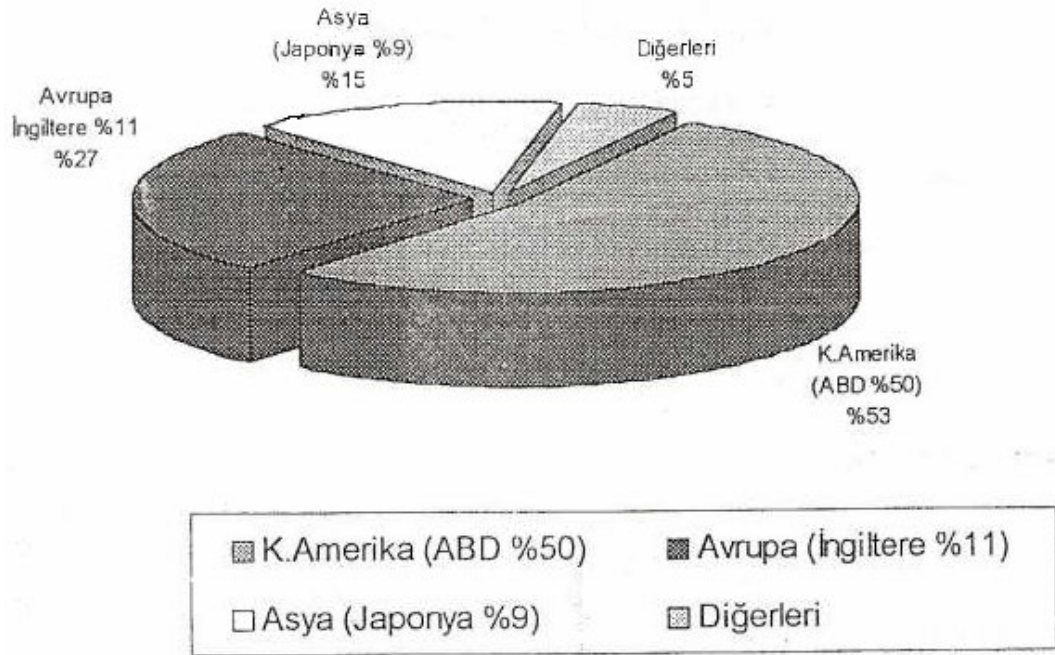
kullanımda hassas döküm teknolojisinin temelleri atılmıştır. Böylece döküm, talaşlı imalat, kaynak, montaj gibi bir çok kademe yerine kullanıma yakın boyut ve şekilde tek parça halinde, düzgün yüzeyli ve dar boyut toleranslı parça dökümü yapılmıştır. Gelişen uçak ve silah sanayisinin karmaşık geometrili, dayanımı yüksek, hassas boyutlu parçalara ihtiyaç duyması hassas döküm teknolojisini gelişmesini ve yaygınlaşmasını sağlamıştır (Taylor, 1986).

Günümüzde hassas döküm; her çeşit hava araçları, elektrik ve elektronik sanayi parçaları, türbin-pompa-kompresör parçaları, bilgisayar parçaları, gıda endüstrisi parçaları, mekanik işleme takım aksesuarları, ortopedik malzemeler ve ameliyat gereçleri, diş hekimliğinde protez malzemeleri, hafif silah parçaları, tekstil endüstrisi parçaları, otomotiv sanayi parçaları gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Hassas döküm ayrıca geçmişten günümüze heykellerin ve sanat eserlerinin dökümünde ünlü sanatçılar tarafında başarı ile kullanılmış bir tekniktir (Taylor, 1986).

3.1 Hassas Döküm Yönteminin Dünyada Uygulama Oranı

Hassas döküm yöntemi dünya üzerinde her geçen gün daha geniş uygulama alanları bulmakla birlikte uygulama oranı da artmaktadır. Aşağıdaki şekilde dünya genelinde hassas döküm yöntemi uygulamasını %100 kabul edilirse buna göre en fazla bu yöntemin kullanıldığı yerin Kuzey Amerika'da A.B.D'nin en büyük paya (%50) sahip olduğu rahatlıkla görülür. A.B.D'ni sırasıyla İngiltere ve Japonya takip etmektedir (Beeley, 1995).

Türkiye'de kuyumculuk sektöründe hassas döküm tekniği 1961-1963 yıllarında 1945'lerin teknolojisi ile dereceli hassas döküm olarak uygulanmaya başlamıştır. Kuyumcu dökümcülüğünün merkezi İstanbul olmakla birlikte Adana, Ankara, Erzurum, Gaziantep, Isparta, İzmir, Kahramanmaraş, Kütahya, Konya(Akşehir), Mersin, Muğla ve Samsun'da döküm yapan küçük işletmeler vardır. Bu işletmeler arasında 2-3 kişinin çalıştığı çok küçük aile atölyeleri olduğu gibi 100'den fazla işçinin çalıştığı fabrika niteliğinde işletmelerde mevcuttur (Altımoğlu, 1996).



Şekil 3.1 Hassas dökümün dünyada uygulama oranı (Altımoğlu, 1996)

3.2 Hassas Dökümün Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Hassas döküm yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırılması Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Karşılaştırma özelliklerinden tolerans aralığı, dizayn serbestliği, alaşım seçimi, boyutsal aralık, işleme zamanı özelliklerinin mükemmel düzeyde olduğu görülür (Altımoğlu, 1996).

Çizelge 3.1 Hassas dökümün diğer yöntemlerle karşılaştırılması (Altımoğlu, 1996)

PROSES	Tolerans Aralığı	Dizayn Serbestliği	Alaşım Seçimi	Boyutsal Aralık	İşleme Zamanı	Yüzey Bitirmesi	Yatırım maliyeti
Hassas Döküm	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Kısa	İyi	Orta
Basınçlı Döküm	Mükemmel	Mükemmel	Düşük	İyi	Uzun	İyi	Yüksek
Toz Met.	Mükemmel	Orta	İyi	Orta	Uzun	Mükemmel	Orta
Presle Basma	Mükemmel	İyi	Orta	Orta	Kısa	İyi	Yüksek
Dövme	Orta	Orta	İyi	Orta	Uzun	Orta	Yüksek
Kum Döküm	İyi	İyi	İyi	İyi	Kısa	Orta	Düşük

3.2.1 Hassas Dökümün Endüstriyel Uygulama Alanları

Dünyada hassas dökümün uygulama alanları çok geniştir. Aşağıda kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

- Otomobil parçaları
- Tıp aletleri ve ekipmanları
- Uçak gövdesinde ve yakıt depolarında
- Denizcilik ekipmanları
- Güvenlik sistemlerinde
- Tarım makinaları
- İnşaat gereçlerinde
- Silah parçalarında
- Tekstil makinalarında
- Spor ekipmanlarında
- Takı dökümünde (Clegg, 1991).

3.2.2 Hassas dökümün avantajları

- 1) Geleneksel döküm yöntemleri ve makineyle işleme yolundan imali zor veya bazen imkansız olan karmaşık 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 imkanı verir.
- 3) Yöntem ergitilip dökülebilen bütün metallere uygulanabilir.
- 4) 25 kg ağırlığa kadar dökümler ve bazen de (nadir olarak) 400 kg'a 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 (Clegg, 1991).

Kalıp hazırlama şekli açısından iki farklı hassas döküm yöntemi vardır :

- Hassas kabuk kalıp yöntemi (Shell Investment-Seramik kabuklu)
- Dereceli kalıp yöntemi (Solid Investment-Flask Investment-Blok kalıp yöntemi)

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 (Clegg, 1991).

En yaygın kullanılan model malzemesi mumdur. Doğal veya sentetik mumlar, dolgu malzemesi ilave edilmiş veya edilmemiş kullanıma hazır biçimde mumlar bulunmaktadır. Ayrıca polistiren tipi ve pek az uygulanan ‘Mercast’ tekniğinde de civa, diğer model malzemeleridir. Model kalıpları, model biçiminin negatifleridir. Model malzemeleri, cinslerine ve kalıp özelliğine bağlı olarak değişen bir basınç altında model kalıplarına doldurulur. Sertleşmesi tamamlanan model, kalıptan çıkarılır. Bir merkezi yolluk etrafına giriş yollukları ile bağlanarak küme (salkım) oluşturulur. Sonraki işlemler bu model kümesi ile yapılır (Clegg, 1991).



Şekil 3.2 Hassas döküm ağacı (Clegg, 1991)

Şekilde gösterilen safhaya gelmiş olan yüzük dökümlerinin bulunduğu bir hassas döküm ağacı görülmektedir. Mücevher imalatçıları hassas fanus döküm tekniğini yaygın ve etkili bir şekilde kullanmaktadırlar (Clegg, 1991).

Dereceli kalıp yöntemi, uygulamada demir esaslılar ve demir dışı alaşımlar için olmak üzere ikiye ayrılır. Demir esaslılarda ve döküm sıcaklığı yüksek olan 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 esaslarda ön kaplama yapmak standart uygulamaya haline gelmiştir. Ön kaplama ince taneli refrakter çamurla yapılır; bunu üzerine yapılacak kaplama ise 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. Düşük sıcaklıkta (1100 °C'ın altında) dökülen alaşımlar için en yaygın kullanılan bağlayıcı alçıdır (Clegg, 1991).

3.3 Dereceli Hassas Döküm

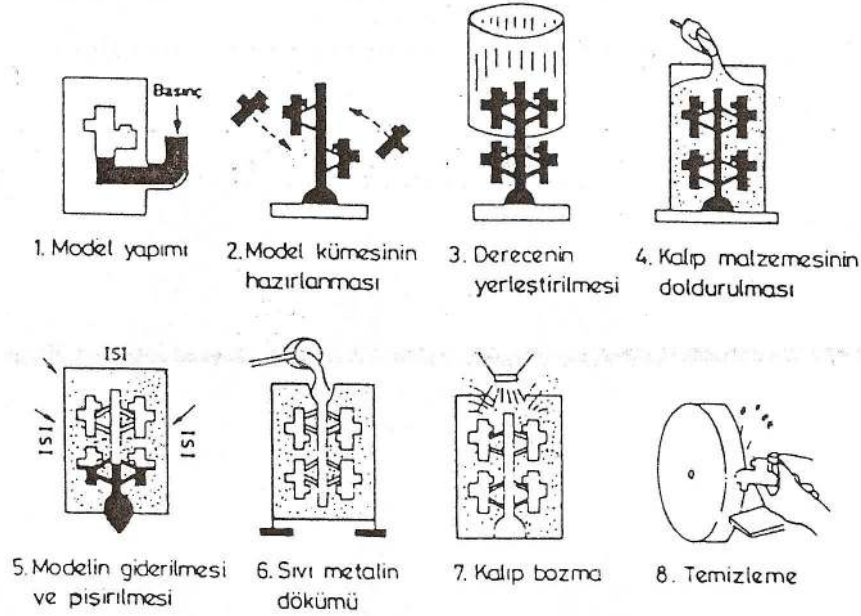
Dereceli hassas döküm tekniğinde model kümesi uygun bir zemine yerleştirilir. Etrafına model kümesine uygun bir metal çerçeve geçirilir. Önceden hazırlanmış kalıp malzemesi bu metal derecenin içine hava boşluğu bırakmayacak şekilde doldurulur. Belirli bir süre sertleşmesi için beklenir (Clegg, 1991).

İşlem kademelerini şu şekilde kısaca sıralayabiliriz :

- Mum modeller model ağacına eritilerek yapıştırılır
- Silindirik bir derece (fanus) model ağacı etrafına geçirilir.
- Derece ile model ağacı arasındaki tüm boşluklara alçı/seramik karışımı dökülür.
- Ocakta veya otoklavda mum alınır. Kalıp belirli bir rejim halinde pişirilir.
- Sıcak kalıp ergimiş metal ile doldurulur. Vakum veya merkezkaç kuvvetiyle döküm kolaylaştırılabilir.
- Basınçlı su püskürterek veya kumlama makinesinde kumlanarak kalıp malzemesi temizlenir.
- Döküm ağacından koparılan parçalar malzeme giriş çapakları temizlenerek döküm sonrası kullanıma hazır hale getirilirler (Clegg, 1991).

Mumun kalıptan uzaklaştırılması buharla yada kuru olarak yapılabilir. Kuyumculuk sektöründe genellikle ergime sıcaklığı 60-70 °C aralığında olan mumlar kullanılır. Bu mumlar hızlı bir şekilde kalıptan uzaklaştırılabilir. Mumun uzaklaştırılması ve kalıbın pişirilmesi işleminde kullanılacak olan fırının dizaynı mumu altından uzaklaştırabilecek şekilde olmalıdır (Horton, 2000).

Dereceli hassas döküm kalıbının hazırlanması ve döküm işlemi aşağıda şekil 3.3'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Dereceli hassas döküm işlem kademeleri (Altınoğlu, 1996)

Bazı koşullarda, dökümcüler mumun uzaklaştırılması işleminde buhar kullanırlar. Buharlı mumdan arındırılan derecelerde yapılan dökümlerde, kuru mumdan arındırılan derecelerde yapılan dökümlere kıyasla gaz gözenekliliği azdır ve yüzeyler daha pürüzsüzdür. Tipik bir derecenin pişme işlemi genellikle 12 ila 14 saat sürer; fakat bazı hassas kalıp tozları 6 saat gibi daha kısa bir zamanda hazır hale gelir. Bu tozlar termal şok dayanımına sahiptir (Horton, 2000).

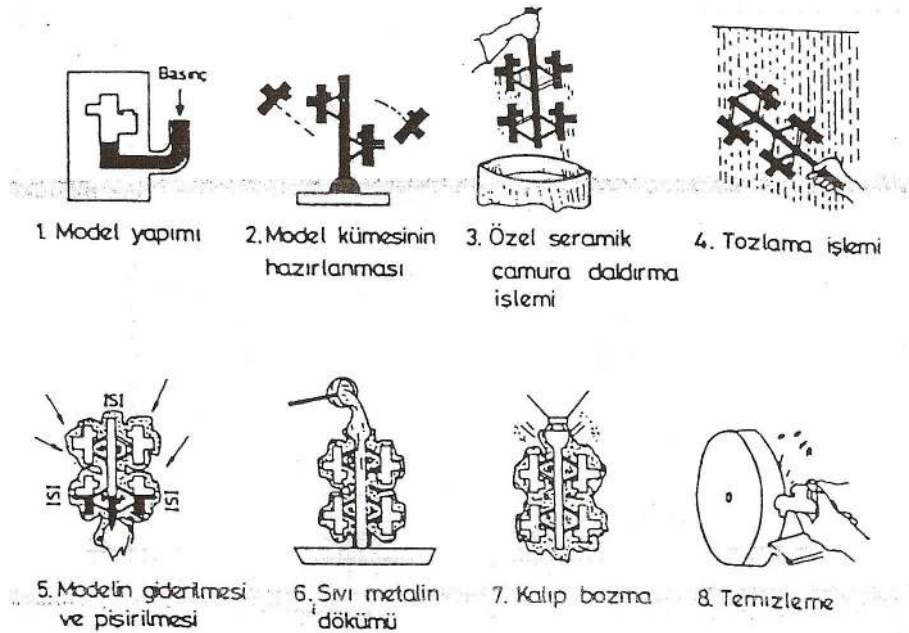
Mumdan arıtma ve kalıbın pişirilmesi işleminde kullanılacak fırında istenen en önemli özellik fırının homojen bir ısıtma sağlayabilmesidir. Fırınlarda aranan ısı iletim yöntemleri; konveksiyon ve radyasyon iletimidir. Sonuçta önemli olan, derecenin homojen bir sıcaklığa sahip havayla sarılması ve her yönden eşit şekilde ısıtılmasıdır (Clegg, 1991).

Döküm yöntemi olarak seçilen geleneksel alçı kalıplı dereceli hassas döküm de katılaşma hızı genel olarak diğer döküm yöntemlerinden (kum ve metalik kalıba döküm) düşüktür. Bu dezavantajlar, sıvı metali kalıplara iki değişik teknikle doldurularak giderilmeye çalışılmıştır. 1) Savurmalı döküm, 2) Vakum ortamında tutulan kalıplara döküm yapmak ve ayrıca titreşim uygulamak (Clegg, 1991).

3.4 Seramik Kabuklu Hassas Döküm Yöntemi

Seramik kabuklu hassas döküm tekniğinde ise model salkımı, bağlayıcı içinde askıda tutulmuş refrakter taneciklerinden meydana gelmiş bulamaç kıvamında özel bir refrakter çamur içine daldırılıp çıkartılır. Çamurla iyice sıvanmış durumdaki salkım, tane boyutu ayarlanmış refrakter toz yağmuruna tutularak tozlanır. Çamura daldırılıp tozlanarak elde edilen bir katman kurutulduktan sonra istenen kabuk kalınlığı sağlanana kadar işlemler tekrarlanır. Bağlayıcı malzemeye göre değişen bir sonuç kurutma sertleştirme işleminden sonra modellenmiş kabuk mum giderme kademesinde hazır hale gelir (Beeley, 1995).

Model mumlarının seramik kabuktan daha fazla genleşme özelliğine sahip olmaları, mumun eritilerek kalıptan dışarı atılmasında sorun yaratır. Bu pratikte iki şekilde çözülür. Bir dış basınç oluşturarak erimekte olan mumun yaratacağı iç basıncı dengelemek veya içi mum dolu seramik kabuğu yüksek sıcaklıkta bir fırına koyarak ısı şoku yaratmak ve ince bir mum tabakasının hızla erimesini sağlamak. İç boşaltılmış kalıplar mukavemetlerinin artması ve kalıntı model malzemesi ile buharlaşmamış sıvıların giderilmesi için 800 - 1000°C’ da pişirilirlir. Sıvı metalin katılaşması tamamlandıktan sonra seramik kabuklar kırılarak veya dereceler bozularak döküm parçaları çıkarılır. Yollukları kesilir, gerekli döküm sonu işlemleri yapıldıktan sonra kalite kontrolüne hazır hale gelir (Beeley, 1995).

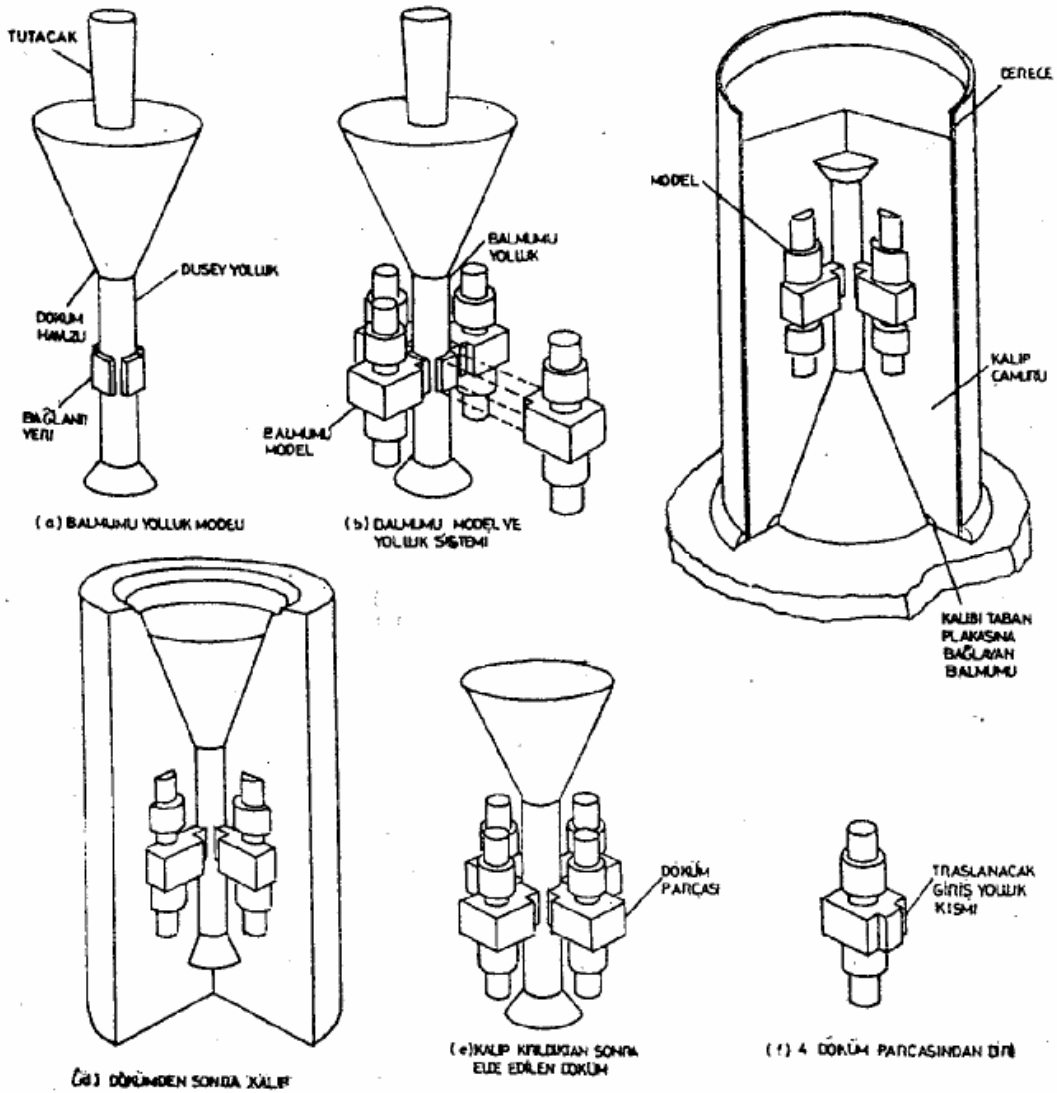


Şekil 3.4 Seramik kabuklu hassas döküm işlem kademeleri (Altınoğlu, 1996)

Alçı kalıplı dereceli hassas dökümle, seramik kabuklu hassas döküme kıyasla daha düşük ilk yatırım maliyeti, daha az işlem kademesi kontrolü, daha niteliksiz personelle ve daha düşük kalıplama maliyeti ile döküm parçası üretilebilir. Dereceli hassas kalıplama döküm endüstrisinde; kuyumculuk sektörü, dolayısıyla altın, pirinç ve az oranda da gümüş dökümü ile bir özel uygulamasının da diş protezlerinde kullanılması dışında kullanılmamaktadır (Beeley,1995).

4. DERECELİ HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ

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 (Çavuşoğlu, 1992).



Şekil 4.1 Dereceli hassas döküm yönteminin ana işlem kademeleri (Çavuşoğlu, 1992).

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. Bağlayıcı olarak "monomagnezyum fosfat, monoamonyum fosfat ve magnezyum oksit" 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).

4.1 Model Yapımı

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. Aşınma direncinin ve kauçuk etkisinin (içindeki sülfürün) iyileştirilmesi için metal modellere elektro-kaplama uygulanabilir (Wright, 1998).

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. 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 (Wright, 1998).

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. Döküm sırasında, ergimiş alaşımın dökülmesi için besleyici eklenmesiyle model tamamlanmış olur (Wright, 1998).

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 metaloluşur ve ana yolluğun ana hattına göre kesim hattının belirlenmesi zorlaşır (WGC, 1995).



Şekil 4.2 Kuyumculukta dereceli hassas döküm işlem kademeleri (Wright, 1998).

Modelin birden fazla mum kopyasının çıkarılması için, vulkanizasyondan sonra modelin çıkarılmasını sağlayacak ve mum enjeksiyon kalıbı görevi görecek 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. 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).

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. Modelin vulkanize basınç altında çökmemesi ya da bozulmaması sağlanır. Yolluğun, kalıbın yakınına sonuna kadar uzanması sağlanır. Hava kaçması engellenerek kalıp çerçevenin 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. Bir sonraki adım, tercihen henüz sıcakken modelin çıkarılması ve vulkanize kauçuğun iki yarısı arasında birbirine kenetlenen yüzlerin oluşturulmasıdır (WGC, 1995).

Kauçuğun ortadan kesilmesi için çok dikkatli bir biçimde keskin bir neşter kullanılır. Özellikle asıl modele değdiklerinde kolaylıkla kırılacaklarından 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. Modelin çıkarılmasını ve yine de iki yarısının tam olarak birbirine uymasını sağlayacak şekilde zigzag kesime devam edilir. Aslında, model

ıkarılabildiği 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).



Şekil 4.3 Modelin kauçuk kalıptan çıkarılması (Wright, 1998)

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

4.2 Mum Ağacının Hazırlanması ve Modellerin Düzenlenmesi

Çeşitli cins model mumları şu şekilde sınıflandırılabilir :

- Doğal mumlar
- Madeni mumlar
- Petrol mumları

Doğal mumlardan en önemlileri balmumu, kamuba, keresin ve kadeilla mumlarıdır. Doğal mumlar genellikle istenen model malzemesi özelliklerini elde etmek için diğ er mum ve reçinelere katılarak kullanılırlar (Kınıkoğlu, 2000).

Kullanılan enjeksiyon mumlarının özellikleri ve dikkat edilmesi gereken hususlar ş unlardır;

- Sadece alçı döküm için özel olarak geliştirilen kaliteli kompakt mumlar kullanılmalıdır.
- Erime aralığı en dar olan mumlar tercih edilmelidir; bu mumlar sıvı halden katı hale geçiş süresi en kısa olan mumlardır.

- İyi bir mum, döküm kusurlarına yol açabilecek karbon ya da kül artık bırakmadan yanar.
- İyi bir mum, modelin kırılmadan çıkarılmasına izin verecek esneklikte olmalıdır.
- Yeni mumun kirlenmemesi için, tekrar kullanılan mum filtre edilmelidir.
- 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.
- Büzülme kusurlarının yok edilmesi için mum model basınç altında soğumaya bırakılır.
- Mum modeller ağaçtan çıkarılır ve sıkıca kapatılmış plastik kaplarda saklanır.
- Fazla miktarda mum model, uzun süre saklanmamalıdır (Wright, 1998).

Yolluk uzunluğundaki hafif değişiklikler, dolgunun sıkı olmasına yarar. Kısa yolluklar, erimiş metalin döner-döküm sırasındaki hareketini ve katılaştırma sırasında halen sıvı olan metalle besleme mesafesini en düşük düzeye indirir. Koni, yolluk metal rezervine kıyasla gerçek döküm boşluğuna göre daha çok bir döküm yoludur. Gerçek 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. Tek bir fanus, genellikle 100 (10–20 baş kakma) ile 500 gram (10–20 yüzük sapı) arasında değişecek miktarda erimiş madde alır, ancak, bu miktar 700 grama kadar da yükselebilir. Bu fanuslar, ya tek bir 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. Bu düzenleme, ince parçanın sık sık yerleştirilmesine olanak sağlar, ancak, alaşımın akışkanlığı iyi olmalıdır. Bu nedenle de yüksek ayarlı altın alaşımlarda yaygın uygulanan bir yöntem değildir (Choate, 1966).

Eritme ve döküm parçası kapasitesi 300 gram ya da daha fazla olduğunda 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 merkezi gövdeden (ya da besleyiciden) oluşabilir. Mum düzenlemede ve yolluk tasarımı evresinde dikkatli ve özenli olunmasıyla, işlem hurdası ve hurda döküm oranı en düşük düzeye indirilir (WGC, 1995).

Döküm büzülmesi olması için, yolluğun en son donması gerektiğinden, minimum yolluk

kesiti, doğrudan yolluk bulunan dökümün en büyük kesitinden daha küçük olmamalıdır. Alt yolluk randımanın artırılması için biraz inceltip sivriltilebilir. Türbülans metal akışının engellenmesi için, yollukların bir araya geldiğin yerde düz dolgu gerekir. 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 rötuş yapılmalıdır (Wright, 1998).

Dökümün iyi olması için mumların kusursuz olması şarttır, ayrıca, hurda haline getirmekten ya da daha sonra dökümlerin yeniden fazlasıyla işlenmesinden önce kötü şekillerin eritilmesi (yeniden-eritme) 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 alt-gövde ağzında kalabalığa yol açarken yolluğun uzun olması döküm ve besleme işleminin eksik kalması tehlikesi 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 katılama 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. Bu kısımlar, modellerin düzenli bir şekilde yerleştirilmesini biraz kolaylaştırmaktadır (Wright, 1998).

Çapı geniş, içi boş dairesel bir kısım, hem sık yerleştirme kolaylığı hem de alt-gövde 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. İyi (sadece yeterli değil) bir sonuç ortaya çıktığında, kalite/üretim el kitabında düzenlemeyle ilgili ayrıntılar unutulmamalı ve değiştirmek için iyi bir neden olmadığı sürece tekrarlanmalıdır. Aşağıdaki genel ilkeler bu konuda yardımcı olacaktır. 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 (WGC, 1995).

Mumlar üzerinde yağ ya da gresten (parmak izi dahil) eser kalmamalıdır. Diğer taraftan, vazelin ya da benzeri maddeler alçının kaideye saplanmasını 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. Modellerin önce küçük dallara eklenip daha sonra asimetric olarak merkezi yolluğa

yerleştirildiği küme düzenleme tercih edilmelidir. Küme düzenleme, bileşen ve yuva gibi farklı küçük modellerin çok sayıda kopyalanması için en iyi yoldur. Aynı şekildeki parçalar için merkezi yolluk etrafına vidayla dış açar gibi spiral yerleştirme uygulanır. Döküm sırasında, esasen yolluktan, hava hızla çekilir, spiral etkisi zarar verici hava akışının azalmasına yardımcı olur. Merkezi yolluğa modelin eklenmesinde kullanılan kaynak parçası tam-yuvarlak olmalı ve gövde ağzı yüzeyi üzerinde yeterince alan kaplamalıdır (WGC, 1995).

Her kaynak, döküm yolu sisteminin bir parçasıdır, ayrıca, keskin köşeler, hem mumdan arındırma işlemini, hem de sonraki metal girişi zorlaştırır. Düşey ağaçlar, ağırlığı bilinen standart bir lastik kaide içerisinde yerleştirilmiş merkezi alt-gövde ağzının köküyle birlikte düzenlenir. Özellikle sık kümeler ve spiraller olmak üzere, yerleştiren kişinin, şekilleri daha iyi konumlandırabilmesi için yolluğun yatay bir mandrel üzerine yerleştirilmesi işlemi kolaylaştırabilir. Lastik kaide daha sonra eklenir. Yerleştirme tamamlandıktan sonra, yağ ve yapışkan partiküllerin giderilmesi için ağaç lastik kaidesiyle birlikte deterjanlı bir emülsiyona batırılır (Wright, 1998).



Şekil 4.4 Düzenlenmiş dereceli hassas döküm mum ağacı (WGC, 1995)

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. 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 fanusa (ya da kutuya) yerleştirilir. En yaygın kullanılan büyüklük, olasılıkla çapı 100 mm (4 in) olan kalıptır (Wright, 1998).

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. 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. Derece büyüklüğü, döküm makinesindeki en büyük aralıkla sınırlıdır, yine de, döküm sırasında rahatça içerebilecek kadar büyük olmalı, derecenin iç yüzü ile mum arasında sözgeli 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 ayarlanmalıdır (Wright, 1998).

4.3 Kalıp Yapımı

Dereceli hassas dökümde kullanılan toz malzemelerin temel kompozisyonu son elli yıldır nispeten hiç değişmeden kalmıştır ve bütün toz malzemeler çıkış noktalarına göre gelişmeler göstermektedir. Tipik bir kompozisyon şekil 4.1’de görülmektedir. Hassas döküm tozlarını bir arada tutan bağlayıcı alçı taşından üretilen alçıdır. Alçı taşı jeolojik olarak oldukça yaşlı sedimenter bir kayadır ve prizmatik kristaller şeklinde su molekülleri ile birlikte yataklanır. Alçı taşı bağlayıcı olarak kullanılmadan önce otoklavda yarı hidrat durumuna dönüştürülmelidir (Horton, 2000).

Alçı taşı atmosfere açık bir ortamda 120 °C ‘da ısıtılırsa (kalsine edilirse) içerdiği suyun bir kısmını kaybederek yarı hidrat durumuna dönüşür. Bu işlem buhar basıncı altında otoklavda

gerçekleştirilirse meydana gelen yarı hidrat kristalleri daha düzgün bir forma sahip olur. Yarı hidrat formu kararsızdır ve daha kararlı orijinal dihidrat formuna dönüşebilmek için suya gereksinimi vardır (Ray, 1998).

Kalıp hazırlanması işlemlerinde tozlar su ile karıştırıldığı zaman alçı kristalleri değişime uğrar ve kalıbı bir arada tutar. Sertleşme prosesinin ilerlemesiyle toz karışımının dayanım ve özellikleri kristal modifiyesi için yapılan az miktardaki ilavelerin etkisi altında kalır. Bu ilaveler orijinal çekirdekten meydana gelen kristallerin boyu ve şekli üzerinde etkilidir. Hassas döküm tozlarının üreticileri kristal büyüme oranını yavaşlatıcılar veya hızlandırıcılar kullanarak kontrol ederler. Yavaşlatıcılar kristal büyümesini engeller, hızlandırıcılar ise yarı hidratın çözeltiye alınma oranını veya dihidrat oluşum oranını arttırır. Tozların kullanılıcıları katılma hızı ve derecesini, toz/su oranını, karışım sıcaklığını, karıştırma tekniğini değiştirmek ve kullanılmış (bulaşık) ekipman veya su kullanmak sureti ile etkileyebilirler (Horton, 2000).

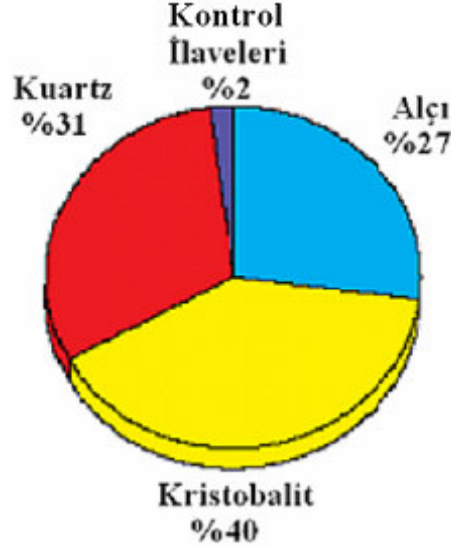
Alçının sertleşmesi iki kademede meydana gelir. İlk kademede alçı çözeltiye alınır, ikinci kademede de kristalleşme gerçekleşir (Ray, 1998).



Hassas döküm kalıbı ısıtıldığı zaman alçı bağlayıcı, kristalleşme suyunun uzaklaştığı noktanın üzerinde doğal olarak oldukça büzülür. Bu olay 300-450 °C arasında dihidratın anhidrite dönüşmesiyle meydana gelir. Kaybolan mum tekniği ile dökümde eğer alçı, kalıp yapımında tek başına kullanılsaydı, kalıp çok kötü bir şekilde kırılır veya döküm parçalar orijinal modelden daha küçük çıkardı. Silika, alçının büzülmesini karşılamak ve ısıl genleşmeyi düzenlemek için kullanılır. Hassas döküm tozlarının üretilmesinde kullanılan silika çeşitli kristal formlarda bulunur. Kuartz en uygun formdur ve α dan β ya dönüşüm 570 °C civarında hacim artışına eşlik eder. Kristobalit bir diğer önemli hassas döküm tozu bileşenidir. Silikanın bu formu 270 °C civarında α dan β ya dönüşen kristal yapısıyla önemli bir hacim artışı sağlar. Silikanın bu iki allotropik formu alçı bağlayıcının büzülme etkisini gidermek için kullanılır (Horton, 2000).

Unutmamak gerekir ki dereceli hassas döküm kalıpları soğurken silika esaslı malzemeler orijinal boyutlarına büzülür, bir de buna alçının sabit büzülmesi eklendiğinde meydana gelen toplam büzülme döküm parçaların boyutlarını değiştirebilir. Dökümden sonra soğuma

sırasında alçı çok zayıf bir hale gelir ve silika ilavelerin soğuma büzülmesinin neden olduğu bozulma buna eşlik ederek döküm parçaların, kalıbın su içerisine sokulmasıyla çıkarılmasına olanak sağlar (Horton, 2000).



Şekil 4.5 Tipik hassas döküm kalıp tozu kompozisyonu (Horton, 2000)

Hassas döküm kalıp tozu üreticileri daha fazla dökümcüye hitap edebilecek basit kompozisyonlar yapmaya çabalamaktadırlar. Karmaşık varyasyonlar, hammadde saflığı, oranlar, tane boyutu ve kontrol ilaveleri gibi çeşitli faktörler bugün çok çeşitli tozların seçilebilmesini mümkün kılmıştır. Bazı hassas dökümler özeldir ve diğer ürünlerle kolay kolay kategorize edilemezler. Camın hassas dökümünde kalıp, geleneksel kuyumculuk dökümlerine göre çok daha yüksek sıcaklıklara daha uzun süre maruz kalır. Sonuç olarak bu kalıplar uygulama sırasında kırılmayacak özel refrakterlerden yapılır. Kıymetli taşlar içeren kalıplara dökümde sıcaklık normalin altındadır. Ancak taşların kırılmadan muhafazası için özel ilaveler yapılır. Endüstriyel uygulamalarda ise hassas döküm kalıpları çok güçlüdür ve büyük alüminyum ve pirinç parçaların dökümünde kullanılır. Bu uygulamalarda, kalıp malzemeleri çok düşük döküm sıcaklıklarına kırılmadan soğuyabilmeleri amacıyla özel olarak geliştirilmişlerdir (Horton, 2000).

Her tür hassas döküm tozu ve her teknik için izlenmesi gereken temel kurallar vardır;

- Toz malzemeler bozulmayı önlemeye yönelik temiz, rutubetsiz koşullarda ve ideal olarak 20-22 °C'da depolanmalıdır.
- Tüm ekipmanlar ve ortam temiz tutulmalıdır. Bulaşık karıştırma ekipmanları, kirli kaplar

sertleşme süresini kısaltır. Bu olay karışımın daha vakum odasında katılaşmasına neden olabilir.

- Kullanılacak su temiz olmalıdır. İçilebilecek kadar temiz su kalıplamaya uygundur. Kirlı su genel olarak çalışma süresini uzatır ve bazı sıra dışı hallerde bütün olarak sertleşmeyi engeller.
- Ölçüm ve tartım ekipmanları düzgün çalışmalı ve düzenli olarak kalibre edilmelidir. Bu şekilde doğru toz/su oranı sürdürülebilir.
- Tozların içinde bulunduğu torba ve kutular havadan nem kapmamamsı için sürekli kapalı tutulmalıdır. Hassas döküm tozları zamanla bozulur, bu nedenle stok döngüsü dikkatli ayarlanmalıdır. Her torba ve kutunun özel numara ve tarihi vardır. Eski tarihliler önce kullanılmalı, yeni gelenler sonraya saklanmalıdır (Horton, 2000).

En genel karıştırma yöntemleri; elle karıştırma, makine ile karıştırma veya vakum altında makine ile karıştırmadır. Hatırlanması gereken en önemli kurallar şunlardır:

- Toz/su oranı doğru olmalıdır.
- Karışım sıcaklığı doğru olmalıdır.
- Çalışma döngüsü tozun çalışma süresine uygun olmalıdır.
- Hassas döküm kalıp tozu solunmamalıdır (Horton, 2000).

Aşağıda alçı bağlayıcılı hassas döküm tozlarının elle veya makine ile karıştırılmasındaki tavsiyeler sıralanmıştır:

- 1) Yeterli miktarda toz tartılır ve sıcaklığı ölçülür.
- 2) Yeterli hacimde su ölçülür ve sıcaklığı karışım sıcaklığı 20-22 °C olacak şekilde ayarlanır. Toz sıcaklığı 40 °C'dan çıkartılır, sonuç suyun olması gereken sıcaklığını verir. Örnek olarak toz sıcaklığı 25 °C ise tavsiye edilen su sıcaklığı 15 °C'dır.
- 3) Su karıştırma kabına koyulur.
- 4) Toz yavaşça suya ilave edilir ve ıslanması için 30 saniye beklenir.
- 5) Topaklar dağılana kadar 30 saniye elle karıştırılır.
- 6) Karıştırmaya 3 dakika elle veya makine ile devam edilir.

- 7) Karışım karıştırma kabı içinde en fazla 2 dakika vakumlanır. Bu aşamada karışım içinde kalan havanın çıkması için titreşim uygulanabilir.
- 8) Derece yavaşça doldurulur. Karışımın, kırılmaların olmaması için doğrudan mum modelin üzerine dökülmesinden kaçınılmalıdır.
- 9) Derece en fazla 2 dakika vakumlanır. Bu aşamada titreşim kullanılmamalıdır.
- 10) Derece en az 1 saat hareketsiz bekletilir (Horton, 2000).

Derecelerin doldurulma süresinin yaklaşık 1 dakika olduğu varsayılırsa, toplam çalışma süresi yaklaşık 8,5 dakikadır. Karışımından optimum sonuçların alınabilmesi için alçının dihidrat kristalleri, derece doldurulduktan sonra beklemeye bırakıldığı anda büyümeye başlamalıdır. Derece doldurulduktan sonra karışım koyulaşır ve 3 dakika içinde parlaklığını kaybeder. Bu anda yüzey parlaktan mata geçer ve su büyüyen alçı kristallerine yönelir. Bundan sonraki bir saat içinde kalıp, kristal yapının gelişmesiyle maksimum dayanımının büyük bir kısmını kazanır. Ardından derece elle tutulacak kadar güçlü hale gelir. Eğer sıcaklığa, su kalitesine, veya başka bir sebebe bağlı olarak yüzey parlaklığının kaybolması erken veya geç oluyorsa karıştırma süresi uzatılabilir veya kısaltılabilir (Horton, 2000).

Vakum altında karıştırma ve döküm makineleri tamamen gözeneksiz dökümlerin yapılabilmesini sağlar ancak bu çok farklı bir tekniktir. Toz üreticilerinin çoğunluğu vakum altında karıştırma için düşük toz/su oranı tavsiye eder . Bu önerilen oranlara uyulması gerekir. Vakumlu karıştırıcı ve düşük toz/su oranı kullanılmasıyla çalışma süresi kısalmır. Bu nedenle bir kap içerisinde deneme yapılarak parlaklığın kaybolma süresinin belirlenmesi tavsiye edilir. Bu süre 3 dakika kısaltılarak toplam çalışma süresi bulunur. Bu süreden yararlanılarak vakum altında karıştırmanın ne kadar sürmesi gerektiği hesaplanabilir. Örneğin parlaklığın kaybolması 11,5 dakika aldıysa, mümkün olan çalışma süresi 8,5 dakikadır. Eğer karışımın dökülmesi 2,5 dakika sürüyorsa vakum altında karıştırma 6 dakika yapılmalıdır. Vakum karıştırma makinelerinde titreşimin kullanılması bazı problemlere yol açabilir. Genel olarak toz üreticileri tarafından gereksiz olarak görülür (Horton, 2000).

Vakum altında karıştırmanın prosedürü şöyle sıralanabilir:

- Yeterli miktarda toz tartılır ve sıcaklığı ölçülür.
- Su miktarı ölçülür ve sıcaklığı karışım sıcaklığı 20-22 °C olacak şekilde ayarlanır.
- Karıştırma kabına su koyulur.

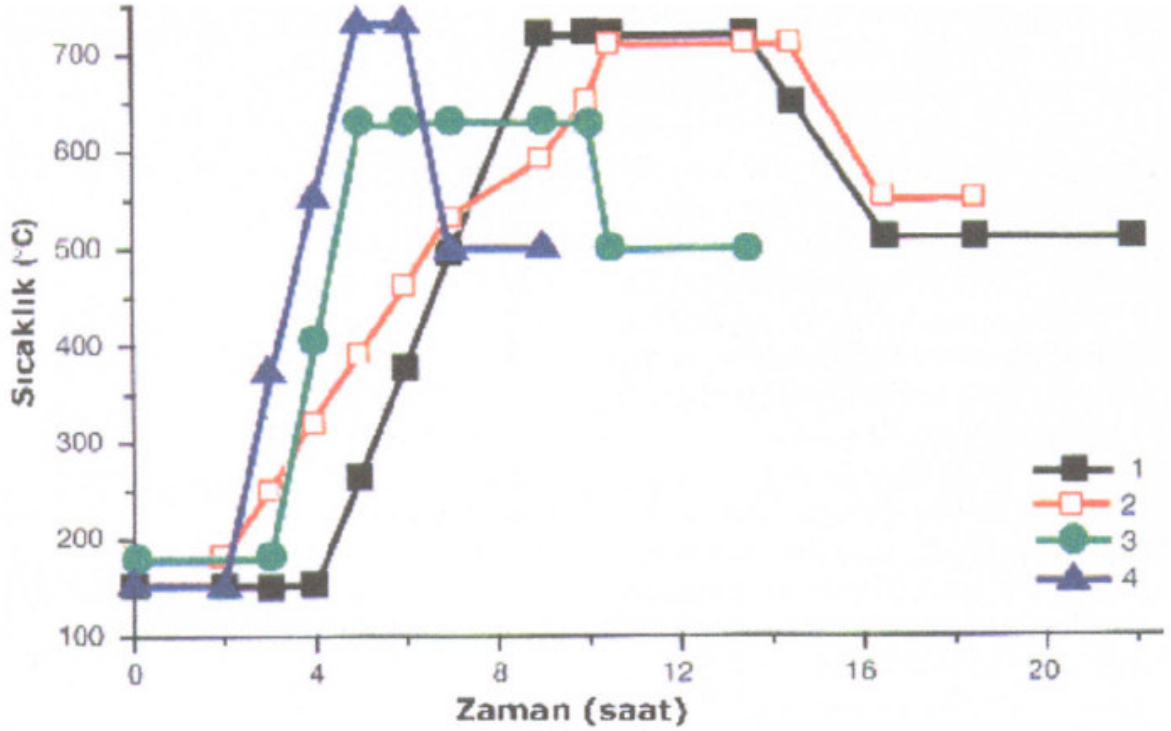
- Toz karıştırma kabına eklenir ve ıslanmanın olması için 30 saniye beklenir.
- Karıştırıcı ve vakum çalıştırılır 6 dakika karıştırılır.
- Derece yavaşça doldurulur, titreşim yapılmamalıdır.
- Derece doldurulduğunda vakum serbest bırakılır.
- Derece titreşimsiz bir yüzeyde en az 1 saat bekletilir (Horton, 2000).

4.4 Mum Giderme ve Döküm

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. 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. Balmumu eliminasyonu sadece kalıp döküme hazır olduğu zaman yapılmalıdır. Kuru bir kalıbı fırına pişirme işlemine koymaya kalkışılmamalıdır (Choate, 1966).

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. 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. Balmumu yakılması hiçbir zaman direkt alevle yapılmamalıdır (Choate, 1966).

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. 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).



Şekil 4.6 Mum giderme işlemi için toz üreticileri tarafından tavsiye edilen tipik yakma çevrimleri (Faccenda ve Ingo, 2001)

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. 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 (Wright, 1998).

En yararlı çözüm, kaideden çıkan yatay bir yolluk ve yatay ya da düşey gövdeden çıkan dik açılı kollar kullanmaktır. Böylece, doğrudan etkide bulunulmaksızın yüksek bir besleme basıncına ulaşılır. Ayrıca, statik vakum destekli döküm, bir ya da birden fazla fanus alan basit vakumlu döküm tezgahlarıyla da gerçekleştirilebilir. Çok ayrıntılı, girift kısımların ve yüzeylerin kopyalanan dökümlerinin iyi olması, kalıbın uçlarına ulaştığı ölçüde sıvı metalin akışkanlığının yeterli oluşuna bağlıdır (Wright, 1998).

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 (Wright, 1998).

Kalsiyum sülfat esaslı al lar, ergimiş metalin donma sıcaklığı (solidus) ile alçı yüzeyi arasında 250 C fark kalacak şekilde, döküm sırasında 800 C' nın üzerinde olmamalıdır. Metal kalıp içerisine soğuk dökümle karşılaştırıldığında bu soğutma faktörü özellikle yüksek değildir ve katılaşma süresi genellikle yaklaşık 20 saniyedir. 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 s nd r ld ğ nde aşırı termal şok alçının parçalanması önlenir (WGC, 1995).

 lk soğutma, alçının daha kolay çıkarılmasına yardımcı olurken, kalıbın ortasındaki ergimiş alaşımın vaktinden önce soğutulması büzülme gözenekliliğine ve başka kusurlara neden olabilir. Sülfat bağlı al ıların çoğu, yüksek basınçlı su püskürtmeyle kalıptan çıkarılabilir. Ana yolluk katılaştığında ancak henüz kızıl sıcaklığın altına inecek kadar soğumadığında, derece, maşayla tutulmalı ve döküm yolu d v lmeli ve soğuk suya daldırılmalıdır. Bu işlem, döküm etrafındaki artık alçının parçalanması işlemini başlatır. Dereceler tekrar bir araya getirilebilir ve yeniden defalarca kullanılabilir (Wright, 1998).

Yüksek sıcaklıkta fosfat bağlı al lar 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. 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. 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 (Wright, 1998).

Dolumun çok uzamasının önlenmesi için gövde ağızları mümkün olduğuunca kusursuz bir şekilde çıkarılmalıdır. Kısa burunlu keskilerle gövde ağızlarının çoğu kesilir ve diğer küçük yumrular kolaylıkla çıkarılır. Gövde ağzı k  ne 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 ponza 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 etiketlenmeye hazır hale gelmişlerdir (Wright, 1998).

5. KALIP YAPIMINDA KULLANILAN HASSAS DÖKÜM TOZLARI ve BAĞLAYICILAR

Hassas döküm kalıp malzemeleri; seçilen tekniğe, istenen döküm, özelliklerine ve kullanılan teknolojiye göre çok geniş bir çeşitlilik gösterebilir. Temel olarak uygun seçilmiş bir refrakter malzeme ve bağlayıcıdan meydana gelir. Karışım, bağlayıcı özelliğine ve uygulanan teknolojiye göre çeşitli şekillerde sertleştirilir. Karışıma; yüzey ıslatıcı, köpük önleyici ve sertleşme işlemini kontrol edici bazı küçük ilavelerde yapılabilir. Yüksek ergime noktalı alaşımların dökümünde bağlayıcı olarak etil silikat ve koloidal silika; refrakter malzeme olarakta zirkon, fused silika, alümina silikatlar ve alümina, en çok kullanılan malzemelerdir (Beeley, 1995).

Düşük ergime noktalı metallerin dereceli hassas dökümünde kalıp malzemesi olarak geniş bir kullanımı olan alçı, hem refrakter, hem de bağlayıcı olarak davrandığından yukarıdaki genel tanımın biraz dışında kalır. Düşük ergime noktalı alaşımların dökümünde daha çok alçı, sodyum silikat, fosfat bağlayıcılar ve kalsiyum alüminat bağlayıcılar kullanılır. Refrakter malzemeler, alçı dışında benzerdir (Beeley, 1995).

Hassas dökümde, genleşmesi kontrollü ve çok ince boyutlu refrakter malzemeler kullanıldığından döküm parçalarının boyut toleransları çok dar aralıklarda tutulabilir. Nihai şekile yakın dökümleri mümkün kılar. Örneğin, genel boyutsal. tolerans 0,005 cm/cm dir. Torna hassasiyetinde yüzey düzgünlüğü sağlarsa da talaşlı imalattaki gibi mutlak geometrik düzgünlük elde edilemez. Ergitilebilen tüm malzemelerin dökümünde kullanılabilir. Alüminyum ve bakır alaşımları, östenitik paslanmaz çelikler, düşük alaşımlı çelikler, nikel, kobalt ve titanyum alaşımları ve dökme demir çeşitleri en çok dökülen alaşımlardır [20]. İşlenmesi zor veya pahalı alaşımlı parçaların üretiminde tek çözüm yoludur. Yönlendirilmiş katılma ve tek kristal gibi en son teknolojik gelişmelerin uygulanmasıyla, üstün metalurjik özellikler taşıyan döküm parçalarının üretimi gerçekleştirilebilir. Kuyumculuk sektöründe veya diş protezleri dökümlerinde olduğu gibi birkaç gramdan, bir metrenin üzerindeki boyutta ve birkaç yüz kilogramlık ağırlıklara kadar değişebilen değişik boyutlardaki parçalar üretilebilir. Parça üzerindeki delikler, kanallar, motif ve yazılar, ince kesitler, tüp ve dirsek şeklinde geometriler, doğrudan döküm işlemi sonunda elde edilebilir. Dökülen parça kalınlığı pratik olarak demir esaslı alaşımlarda 1,5 mm, demir dışı alaşımlarda ise 0,5 mm'ye kadar inebilmektedir (Horton, 2000).

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. 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).

5.1 Alçı

Kalıplama malzemesi olarak alçı, ilk kez 3000-4000 yıl önce Çinliler tarafından pirinç heykellerin dökümünde kullanılmıştır. Alçı esaslı kalıplara yalnızca demir dışı metaller dökülebilirler. Çünkü ana kalıplama malzemesi olan kalsiyum sülfat $1193\text{ }^\circ\text{C}$ 'da faz dönüşümüne başlar ve $1450\text{ }^\circ\text{C}$ 'da erir (Kaya, 2000).

Alçı kalıplara döküm, demir dışı metallerin şekillendirilmesinde kullanılan özel, fakat kalıcı modelli bir yöntemidir. Çeşitli malzemelerden olmakla birlikte daha çok da demir dışı metal malzemelerden yapılan kalıcı modeller çok sayıda kalıp yapımında kullanılırlar. Adından da anlaşıldığı gibi kalıplama malzemesi ve maça malzemesi alçıdır. Boyutsal hassasiyetinin ve döküm yüzeyinin düzgünlüğünün çok iyi, kum kalıplara veya astarlanmış metalik kalıplara yapılan dökümlere oranla ince yüzey detaylarının elde edilebilirliğinin mükemmel olması en önemli özellikleri ve tercih edilme nedenleridir. Alçı kalıplama ile üretilen parçalara örnek olarak; karmaşık dizaynli jet motor kompresörleri, çeşitli elektrik donanım parçalar, çeşitli kauçuk ve lastik kalıpları verilebilir. Bu parçalar diğer kalıplama yöntemleri ile döküldüklerinde işleme maliyetleri oldukça yüksek olmaktadır. Alçı kalıplara dökülerek üretilen parçaların %90'ı 10 kilogramdan küçük parçalardır. Fakat 30 kilogram kadar ağırlıklı parçalar, herhangi bir özel işlem gerektirmeksizin yeterli kalitede dökülebilirler. Alüminyum alaşımlarının dökümünde ise, iki tonluk parçaların başarı ile döküldüğü bir çok uygulama vardır (Kaya, 2000).

Alçının hazırlanmasında kullanılan temel hammadde alçıtaşıdır. Doğada bulunan jipsit veya anhidrit olarak rastlanan, $\text{Ca}^{+2}, \text{SO}^{-4}$ iyonlarının bileşiminden oluşan ve oluşum ortamına göre içeriğinde bazen su bulunan mineral topluluğuna, mineral farklılığına bakılmaksızın alçıtaşı denilmektedir. Malzeme bileşimleri, bağlayıcı olarak görev yapan %25-30 alçı, %70-75 kuartz ve kristobalit formundaki silika karışımı ve düşük miktarlarda kontrol ilavelerinden oluşmaktadır (Ünlüer, 2001).

Alçı oluşumunun arkasında yatan teori şudur. Jips minerali kalsine edildiğinde ortaya gözenekli, 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 (Ünlüer, 2001).

Alçıtaşı değişik yerlerde değişik saflıkta yataklanmış doğal oluşumlu bir kayadır. Bu kayacın 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;

- Karmaşık şekilli ürünler üretilebilir.
- Üretilen kalıplar kimyasal ve fiziksel olarak kararlıdır.
- Her kullanım için su emme miktarı değiştirilebilmektedir.
- Pürüzsüz ve dayanıklı yüzey kolayca oluşturulabilir.
- Fiziksel ve kimyasal özellikler homojen olarak korunur.
- Porlar kolloidler tarafından kolayca kapatılamaz.
- Maliyeti düşüktür (Subaşı, 1999).

Alçı kalıba dökülerek üretilen dökümler her zaman, kum kalıba yapılan dökümlerden daha pahalıdır. Bu nedenle alçı kalıplar yalnızca, kum kalıplama veya diğer ucuz yöntemlerle istenilen sonuçlar sağlanamadığında kullanılır. Maçalar, kalıp yapımında kullanılan malzemeler ve yöntemlerle yapılırlar. Fakat bazen diğer malzemelerden, örneğin, kabuk kalıplamada kullanılan kum karışımlarından da maçalar yapılabilir (Ünlüer, 2001).

Alçı kalıp yapımı için, dünya piyasalarında yalnız su ile karıştırılıp kullanılmaya hazır özel bileşimler satılmaktadır. Küçük işlemler için bu hazır karışımların kullanılması ekonomikse de, seri üretimler için her dökümhane kendi kuru karışımını hazırlar. Herhangi bir alçı kalıp çalışması için, birkaç farklı formülle kabul edilebilir sonuçlar sağlanabilir. Fakat bir dökümhane, bir kez bir formülle iyi sonuçlar aldığı anda, sonraki tüm uygulamalarında bu formüle bağlı kalınması, en iyi tekrarlanabilirliği sağlar. Tüm alçı kalıplama yöntemlerinin en önemli özelliklerinden biri olan boyutsal tekrarlanabilirlik ancak, her işlem kademesinin

hassas bir şekilde kontrol edilmesiyle sağlanır. Uygulanacak kalıplama çevrimi bir kez belirlendikten sonra; kalıp malzemesinin hazırlanmasında, malzeme-su karışımının karıştırılmasında, kalıbın kurutulmasında, kalıbın bir bütün haline getirilmesinde, sıvı metalin boşaltılmasında, bu çevrime sıkı sıkıya bağlı kalınmalıdır. Kullanılan alçı kalıp şekline göre farklılıklar gösterse de genel olarak tüm alçı kalıpların ısı kapasiteleri düşüktür. Bu da döküm parçasının soğuma hızının düşük olması ve daha ince kesitli parçaların dökülebilmesi demektir (Subaşı, 1999).

Çizelge 5.1 Çeşitli döküm yöntemlerinin yaklaşık soğuma hızları ve buna bağlı olarak döküm yapılarında elde edilebilecek dendirit kolları arası mesafeler (Subaşı, 1999).

Döküm Yöntemi	Soğuma Hızı °C /s	Dendirit Yan Kolları Arası Mesafe mm
Alçı Döküm Kuru Kum Kalıba Döküm	0.05-0.2	0.1-1.0
Yaş Kum Kalıp Kabuk Kalıp	0.1-0.5	0.05-0.5
Metal Kalıba Döküm	0.3-1	0.03-0.07
Basınçlı Döküm	50-500	0.005-0.015
Sürekli Döküm	0.5-2	0.03-0.07

5.1.1 Jips

Jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) doğal olarak oluşan ve iki mol su içeren bir kalsiyum sülfat mineralidir. Genellikle kireç taşı, kum, kil, anhidrit ve organik maddeler gibi safsızlıklar içerir (Kaya, 2000).

Jipsin 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, taneseli, lifsi

Sertlik : 2 (Mohs)

Özgül Ağırlık : 2,32 g/cm³

Dilininim	: (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 sülfirik asidin bulunduğu yerlerde ve bazı volkanik alanlarda da oluşabilir.

Jipsitin ince toz halinde olanlarına "albatr veya albaster", saydam ve mükemmel dilimli olanlarına "selenit", lifli ve cam saydamlığında olanlarına ise "satenspar" denilir (Kaya, 2000).

5.1.2 Anhidrit

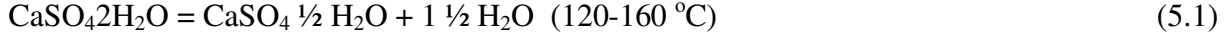
Anhidrit susuz kalsiyum sülfattır. Kalsiyum sülfat yapısında kristal suyu bulunmayan, yoğun ve alçı taşına göre daha sert olup, jips yataklarında tabakalar halinde bulunur (Ünlüer 2001).

Anhidrit mineralinin özellikleri aşağıdaki gibidir:

Kimyasal Bileşimi	: CaSO_4
Kristal Sistemi	: Ortorombik
Kristal Biçimi	: Kristalleri nadir, genelde masif, taneseli, lifli
Sertlik	: 3,5 (Mohs)
Dilininim	: (010) mükemmel
Renk ve Şeffaflık	: Renksiz-beyaz, gri, mavimsi, eflatun, kırmızımsı, kahverengimsi, 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 çöker. Jipsin dehidratasyonu ile de oluşabilir.

5.1.3 Alçıdan Yarı Hidrat Üretimi

Jipsitin yapısında bulunan suyun kısmen uzaklaştırılması sonucu yani, kalsine edilip 1,5 mol suyu uzaklaştırılmasıyla “Plaster of Paris” olarak bilinen yarı hidrat haline dönüştürülür (Ünlüer, 2001).

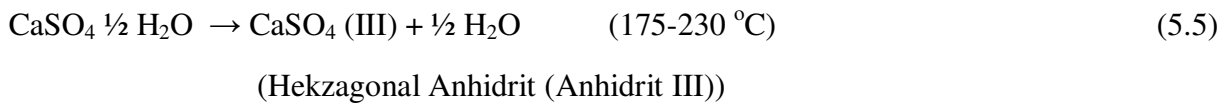
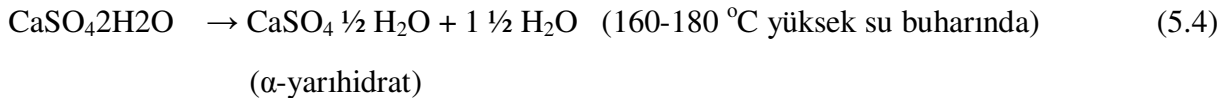
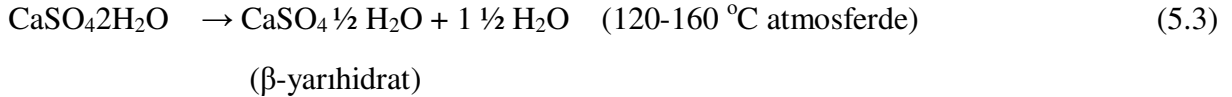


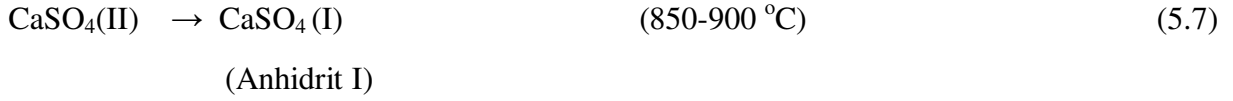
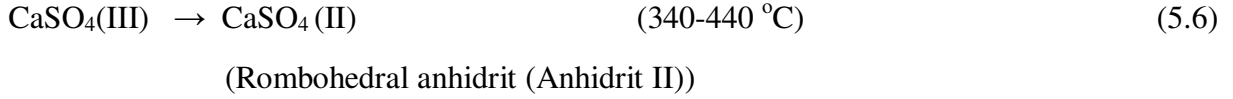
Yarı hidratın α ve β olmak üzere iki formu vardır. Yarı hidrat içerisinde bulunan α/β oranına bağlı olarak alçı kalıbı mukavemet ve su emme özelliklerinin değiştiği bilinmektedir. α -yarı hidrat; iğne yapılı kristallerden oluşur, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve aşınma dayanımı, β -yarı hidrata göre çok daha iyidir. 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, hidratasyon ve yüzey enerjisi daha yüksektir (Subaşı, 1999).

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 (Subaşı, 1999).



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)





Mikro gözenekli yarı hidrata β -yarı hidrat ($\beta\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) denir. β alçısı, kuru yanma 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 (Ünlüer, 2001).

Kristalize yarı hidrata α -yarı hidrat ($\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) denir. Jips yaşı 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 $^\circ\text{C}$ 'larda alçı taşının ayrışmasıyla veya 100 $^\circ\text{C}$ 'da doymuş tuz çözeltisinden elde edilen türleri vardır. α alçısının β alçısına oranla daha az su gereksinimi vardır. 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. Jipsit minerali kalsine edildiğinde ortaya gözenekli, 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 jipsit kolloidleri çöker. Oluşum zamanı esnasında, jipsit kristalleri büyür ve birbirlerinin hareketlerini engelleyerek sert bir yapı oluştururlar. Fazla miktarda su eklenmesi ise yapı içerisinde gözeneklerin oluşmasını sağlar (Kaya, 2000).

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 kütesinin 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 (Kaya, 2000).

Çizelge 5.2 α -yarı hidrat ve β -yarı hidrat formların tanımlanmasında kullanılabilecek özellikler (Subaşı, 1999).

Özellikler	α -yarı hidrat	β -yarı hidrat
Yoğunluk (g/cm^3)	2,757	2,637
Karma suyu (ASTM.C26) (cm^3 su/100 g 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 (g/100 g çözelti)	0,63	0,74
Kuru halde basınç dayanımı (kg/cm^2)	560	56

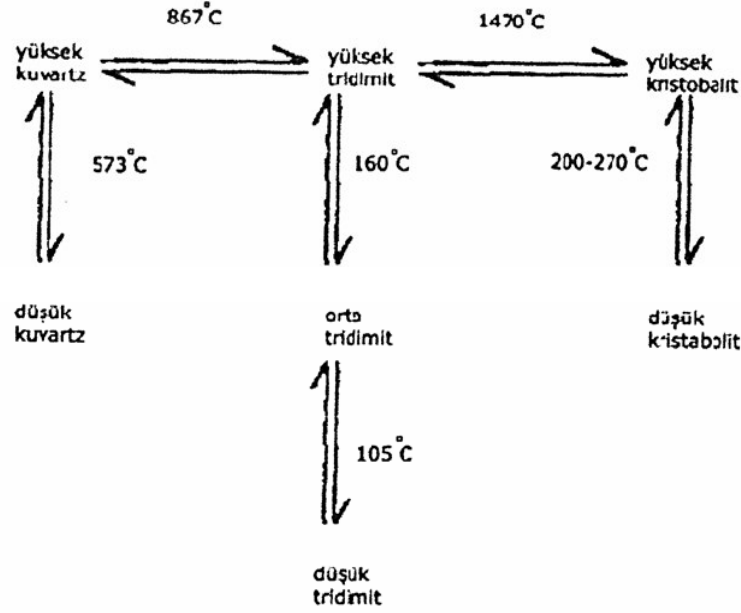
5.2 Silika

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 dönüşümü sırasında büyük hacim değişimi olmaktadır. Bu durum soğutma sırasında yüksek kalıntı gerilimlerine ve mukavemette düşüşe neden olur. Bu problemden 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).

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 SiO_2 içeren yer yüzünde masif kayaları soluşturan yoğun kuartzdır (çakmak taşı, kuartz kayası). Silika refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan hammadde ise kuartz çakıl taşları ve kayalarıdır. Özellikle çakıl kayaları uygun yapıda seçilip yıkanırse %0,5’den az alümina ve alkali içerikleri ile SiO_2 üretiminde mükemmel bir hammadde kaynağı oluşturur (Sammer vd., 1989).

Şekil 5.2.’de silikanın sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı-kararlı fazları göstermektedir. Ordinat eksenini SiO_2 ’in buhar basıncını göstermekle birlikte rakamsal değerler verilmemiş bunun sebebi ise SiO_2 ’in çok kararlı bir oksit olmasından dolayı buhar basıncının normal

atmosferik basıncı yanında çok küçük kalmasıdır. Diğer bir ifadeyle silika kolay kolay bozulmamaktadır. En kararlı fazlar kesiksiz, yarı kararlı fazlar ise kesikli çizgiyle gösterilmiştir (Eriç, 1985).

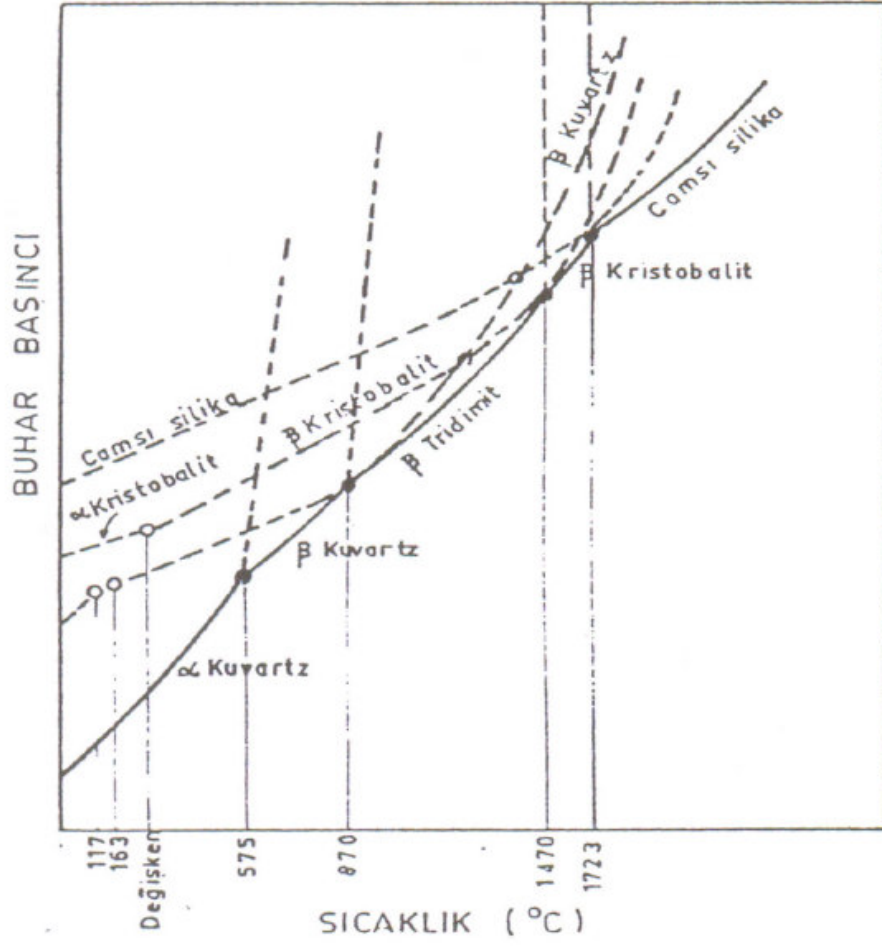


Şekil 5.1 Silikanın polimorfik dönüşümleri (Barsoum, 1997).

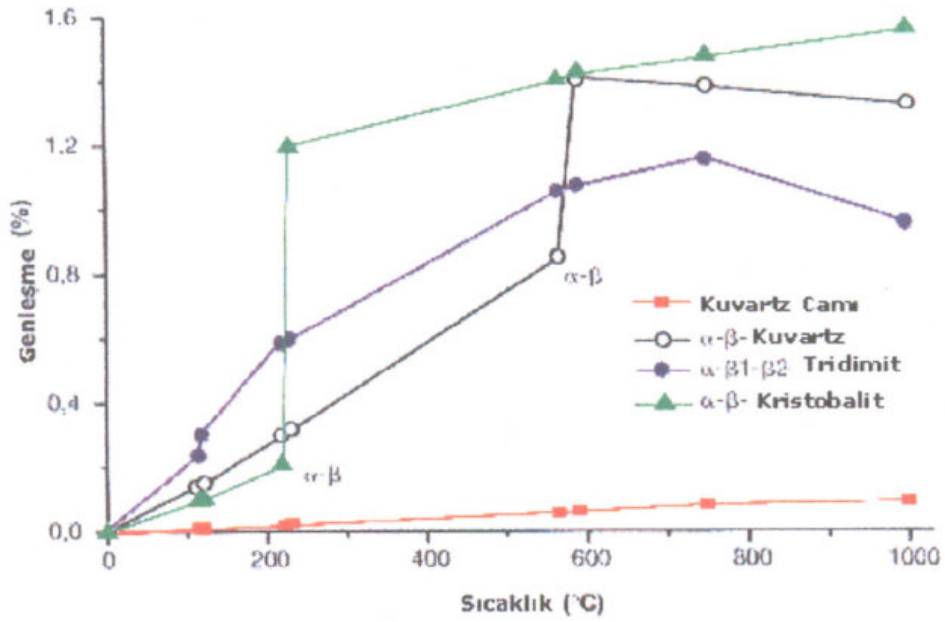
Silika esaslı refrakter tuğlaların yapımında ve kullanımı sırasında şu iki önemli nokta her zaman göz önünde tutulmalıdır.

- 1) Kuartz hammaddesinde bulunan Al_2O_3 , TiO_2 ve alkaliner tarzındaki safsızlıkların miktarları,
- 2) SiO_2 'da mevcut polimorfik kristal fazların dönüşümleri (Eriç, 1985).

Silika esaslı refrakterlerin ana hammaddesi olan kuartzın ısıtılmasıyla beraber α -kuartz β kuartza döner ki bu duruma Şekil 5.3'de görülen 573 °C'daki ani lineer genleşme eşlik etmektedir. Bu sıcaklık değerine yaklaşıldıkça ısıtma hızının yavaşlatılmasıyla beraber %0,92'yi 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 olup, ara camsı bağ fazı ise yüksek kireç, alümina titanyum dioksit ve alkalilerden meydana gelmiştir (Sammer vd., 1989).



Şekil 5.2 SiO₂'nin sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları (Eriç, 1985).



Şekil 5.3 Silika mineralinin ısı genleşmesi (Faccenda ve Ingo, 2001)

Silika esaslı refrakter malzemelerde esas olarak dayanıklılık ve sağlamlığın elde edilmesi için tridimit istenmektedir. Silika esaslı malzemeler 1650 °C'a kadar olan sıcaklıklarda problemsiz olarak çalışabilmektedir (Sammer vd., 1989).

5.2.1 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. Doğada kristal olarak dağ kristali, amethyst, kuarzit, kuartz ve kristal kuartz kumu olarak, amorf olarak ise flinit ve sileks taşları, kizelgur şekillerinde bulunur. 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, 1989).

Ana kayalar içindeki kuartz tek basma dış etkenlerden etkilenmediği halde, ana kayanın doğa etkileri ile bozunması sonucu, açıkta kalan kuartz sularla tıkanıp sürüklenerek, başka bölgelerde tek basma çökebilir. Bu çökme işlemi çoğu zamanda ham kaolin ile birlikte olur ve bu olay da kaolinin içindeki "serbest kuartzı" oluşturur (Arcasoy, 1989).

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, 1989).

Flint, çok az su ve organik madde içeren kuartzdır. Genel olarak üzeri kalk ile kaplanmıştır. Kırılgı karakteristik olarak midye kabuğu dokusunda ve siyah renklidir. Diatomit veya kizelgur olarak adlandırılan amorf silisyum dioksit, yüksek porozitesi (su emme yeteneği) ve düşük sıcaklık iletkenliği ile ilginç bir maddedir. Bu özelliklerden yararlanarak diatomitten özel seramik izolasyon (yalıtım) çamurlarının yapımında yararlanılır (Arcasoy, 1989).

Doğadan ham kuartzın çıkarılmasında, bilinen taş kırma yöntemleri uygulanır. Belli bir parça büyüklüğünde ön kırılması yapılan kuartz, beraberindeki yabancı maddelerden kurtarılacak amacı ile yıkanır ve manyetik tutucularından geçirilir. Ancak bu işlemlerden sonra kuartz istenen tane büyüklüğünde öğütülür (Arcasoy, 1989).

Flint taşlarının 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. 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 değişim olur. Farklı özgül ağırlıklar da maddenin hacmini etkiler (Arcasoy, 1989).

Flint taşlarının seramik endüstrisinde en yaygın bir diğer kullanım alanı da, bilyalı değirmenlerde, doğada bulundukları şekilleri ile öğütme bilyası olarak kullanılmaktadır. Silisyum dioksitin oda sıcaklığında değişmez formu p-kuartzdır. p-kuartzın 573 °C ye kadar ısıtılması ile, bu sıcaklıkta a-kuartz oluşur oluşur. Bu reaksiyon geriye dönüşlü olup, bu sırada kuartz hacimce büyüme gösterir. Isıtmanın yavaş sürdürülmesi ile a-kuartz bu kez 870 °C de a-tridimit ve 1470 °C de a-kristobalite dönüşür. Bu dönüşümler dizisi, 1713 °C de erime ile son bulur. Silisyum dioksitin yüksek sıcaklıktaki formlarından olan tridimit ve kristobalit, soğuma sırasında birden düşük sıcaklık formlarına dönüşürler. Bu formlardan olan p-tridimit 163 °C de, Y-tridimit 117 °C ve p-kristobalit de 230 °C de oluşur. Silisyum dioksitin dönüşümleri sonucu ortaya çıkan formlarının hepsi farklı özgül ağırlıklara sahiptirler (Arcasoy, 1989).

Dönüşümler dizisindeki reaksiyonları belirtilen özellikleri göstermesi ve her birinin geri dönüşlü olması çeşitli faktörlerden etkilenir. Örneğin, yavaş ısıtma ve soğutma, silisyum dioksitin içinde doğadan gelen yabancı maddelerin bulunup bulunmaması ve silisyum dioksitin doğal türü gibi (Arcasoy, 1989).

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 etkileşiminin kaldırılması ile elektrik yükü de ortadan kalkar. Bu olay “piezelektrik” konusunun kapsamına girer. Piezelektriğin seramik ile olan ilgisi yalnızca kuartza bağlı bir özellik değildir. BaTiO₃ çıkış maddesi olarak alınarak geliştirilen seramiğe “piezelektrik seramik” adı verilmektedir (Arcasoy, 1989).

Silisyum dioksit seramik çamur ve sırlarında önemli görevler yüklenerek geniş kullanma alanı bulunur. Seramik endüstrisinde SiCV’in en çok kuartz kumu veya kaya kumlar, demir ve diğer zararlı katkıları içermiyorsa, büyük kırma ve öğütme masraflarına gerek olmaksızın

seramik endüstrisinde öncelikle kullanılırlar (Arcasoy, 1989).

Kuartz katkısı çamurlarda şu etkileri gösterir :

- Çamurun bağlayıcı özelliği ve kuru direnci katkı oranı arttıkça azalır.
- 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, 1989).

5.2.2 Kristobalit

Kristobalit kuartzın bir poliformudur; aynı bileşimdedir fakat yapıya sahiptir. Hem kuartz hem de kristobalit, koesit ve tridimiti de içeren kuvarzt grubunun polimorflarıdır. Kristobalit genellikle volkanik kayalarda bulunur ve kristal yapısı petrografik mikroskopta oldukça kolay görünür. Kristobalitin daha yüksek sıcaklıklardaki formuna p-kristobalit denir. Kristobalit izometrik simetriye sahip olan p-kristobalit formunda p kristobalite çok kolay döner, p-kristobalitin tipik kristalleri oktahedrondur. p-kristobalit, tetragonal simetriye sahip kristobalitten daha yüksek simetriye sahiptir. Kuartz kumunun kalsinasyondan elde edilir. Isıl genleşmesi 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 $2,32\text{gr/cm}^3$,sertliği 6.5 mohr'dur (Yaman, 1998).

5.3 Kullanılan Diğer Bağlayıcılar

5.3.1 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:(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000)

- 1) Yüzey kalitelerinin mükemmel olması,
- 2) Kurutma ve pişirme esnasında başlangıç boyutlarını koruyabilmesi,
- 3) Üretim yönteminin basit olması ve seri üretime uygun olması,
- 4) Uzun süreli yüksek sıcaklıktaki ortamlarda dayanımını koruyabilmesi,

5) Seramik kalıba yapılan dökümün yüzey kalitesinin hassas döküme eşit olması

Bağlayıcının taşınması gereken özellikler şöyle sıralanabilir;

- 1) Modeli ıslatmalı ama modelde aşınma ve tahribata sebep olmamalıdır,
- 2) Uygun bir viskoziteye sahip olmalıdır ki seramik tozlarla karıştırılarak dökülebilir bir bulamaç elde edilebilmelidir,
- 3) Yüksek sıcaklıklarda dahi seramik yapısında dayanımı olumsuz etkilememeli ve korozyon şartlara direnç gösterebilmelidir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000)

Etil silikat bünyesinde bu özellikleri taşıyan bir malzemedir. Etil silikatın en önemli avantajı, bu malzemedeki sınırsız sayıda farklı bağlayıcı çözeltilerin hazırlanabilmesi ve her birinin farklı fiziko-kimyasal ve pratik unsurları taşımasıdır. İlave edilen suyun miktarı, hidroliz için kullanılan tezgahın tipi ve miktarı, çözeltideki silika miktarı üzerinde yapılacak olan değişiklikler çeşitliliğin 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 5.8). Süreç içerisinde silisik asit suyunu yitirmekte ve silikanın amorf şeklini almaktadır. (Tepkime 5.9).



Silikanın elde edilmesi silisik asidin 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 kondensasyon hızı kontrol altına alınmaz ise olacak olan bağlayıcı çözeltisinin özellikleri kontrol edilemez. Bunun için hızı kontrol eden çözücü tipi ve miktarı, ortam sıcaklığı, ortamdaki nemlilik, çözeltideki su miktarı, sisteme verilen tezgahın miktar ve tipi gibi birçok etmen dikkatle irdelenmelidir (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 etil silikatın hidroliz tepkimesinin tamamlanmasında yeterlidir. Suyun kuramsal miktardan daha az kullanılması ile esterlerin bir kısmı yoğun reçinemsî 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 pelteleşmekte ve pelte halindeki bağlayıcı zamanla sertleşerek kullanılabilirliğini yitirmektedir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000).

5.3.2 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 setleşen bağlar yapması. Al, Cr, Mg, Be, Fe, Zr gibi maddelerin oksitleri 200 °C'da fosforik asitle reaksiyona girdiği zaman bağ malzemesi oluşturur. Bu metal-fosfat bağı güçlü ve kararlı olduğu ispatlanmıştır.
- 3) Asit fosfatların doğrudan ilavesi veya oluşturulması (Yaman, 1996).

Fosfat bağı monolitik refrakterlerde bağlayıcı olarak genellikle fosforik asit veya mono alüminyum fosfat (MAP) kullanılır. Normal plastik refrakterlerde kullanılan suyun yerine bu bağlayıcılar kullanılır. Üretim ve uygulama, plastik refrakterlerde aynıdır (Yaman, 1996).

Fosfat bağı plastik refrakterlerde normal plastik refrakterlere göre şu avantajlara sahiptir;

- Bir kaç hariç genellikle ısı ile sertleşirler.
- Katılaştıktan sonra soğuk mukavemetleri yüksektir.
- Aşınmaya karşı dirençleri iyidir.
- Hem sıcak hem soğuk uygulamalarda iyi yapışma özelliğine sahiptir (Yaman, 1996).

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, 1996).

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 daha çok yüksektir (Yaman, 1996).

Fosfat bağlı refrakterlerin yüksek dayanımlı olması, aşınma dayanımının iyi olmasını da 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 asidin ve mono alüminyum 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 mono alüminyum 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, 1996).

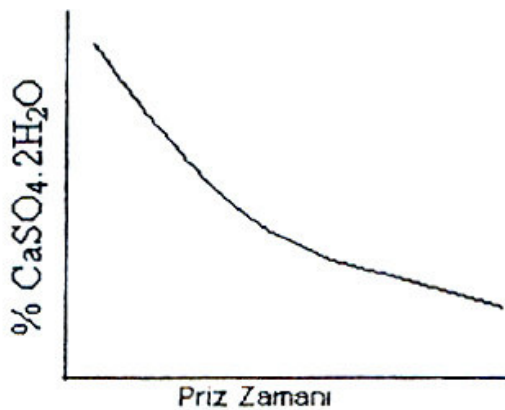
Fosfat bağlı plastik refrakterler, normal plastik refrakterlerle aynı ortamda pişirme küçülmesi, aynı derecede korozyon direnci gösterdiği halde, mukavemet ve aşınma direnci gibi bazı özelliklerde yerine göre üstünlük sağlar; fakat kurutulamaz katılaştırıcılar bazen soğuk sertleşmeye neden olur. MgO, katılaştırıcı olarak sık sık kullanılır. Fakat onun oluşturduğu bazı bileşikler arası bileşiklerin ergime sıcaklığı düşük olduğu için 1000 °C'ın üzerinde mukavemet azalır (Yaman, 1996).

6. KALIP ÖZELLİKLERİNE ve KULLANIM ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Uygun alçı, özel standart ve yöntemleri içerir. Son yıllarda alçı formüllerinde yapılan ilerlemeler sonucunda daha uygun ürünler elde edilmiştir. Bu ilerlemelerden tamamıyla faydalanmak için bunların standart bir duruma getirilmesi gerekir. Uygun bir alçı karışımı; alçının 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. (karıştırma, suyun Saflığı, suyun sıcaklığı katkı malzemeleri vb.). Aşağıdaki bilgiler alçının özelliklerine genel olarak etki eden faktörleri içermektedir (Işıtman ve Işıkcı, 1985).

6.1 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. Sabit su/alçı 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 6.1 Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi (Işıtman ve Işıkcı, 1985)

Gereğinden kısa priz zamanına sahip alçı kullanıldığında üretim sırasında akışkanlığın çok azalarak hava boşluklu hatalı kalıp üretimine sebep olduğu, bu durumun önüne geçmek için fazla su kullanılması yolu seçildiğinde de kalıpların mukavemetinin düşmesine diğer taraftansa, gereğinden uzun priz zamanına sahip alan alçı ile çalışıldığında ise verimin azaldığı gözlenir. Bu nedenle her işletmenin kendi çalışma koşullarına uygun priz zamanlarına sahip alçı seçimini yapması veya mevcut alçıya sistemlerini adapte etmeleri gerekir (Işıtman ve Işıkcı, 1985).



Şekil 6.2 Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamana bağlı olarak akışkanlığın değişimi (Kaya, 2000)

6.2 Suyun Etkisi

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

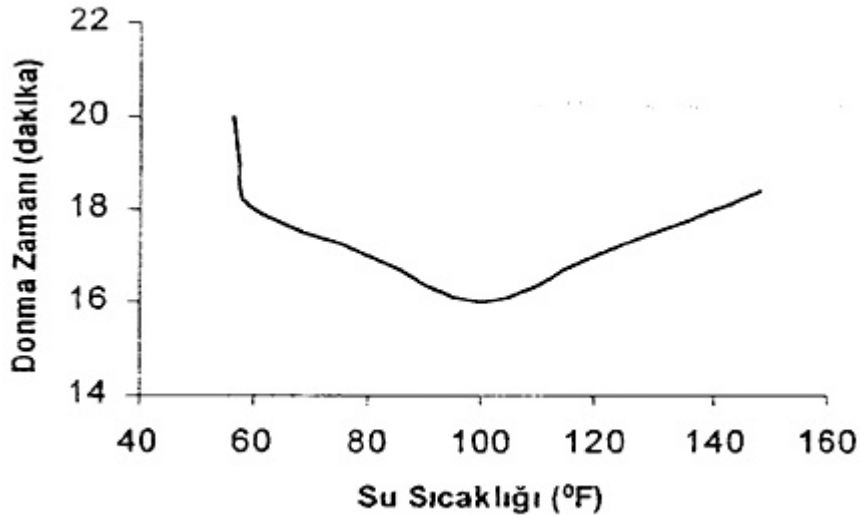
6.2.1 Suyun Saflığı

Alçı hazırlamada kullanılan su mümkün mertebede saf olmalıdır. Eğer su içilecek nitelikteyse, alçı hazırlamada kullanılabilir. Birçok durumda, endüstride kullanılan sular kirlenme seviyesi yüksek olan nehir ve akarsulardan sağlandığı için; bunların içinde organik maddeler fazla olmakta, böylece alçının geç donma sorunu ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık suyun içindeki çözünür tuzlar (Sodyum klorür, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat gibi) katılaşma süresini azaltabilir. Bunlar kuruma anında kalıbın yüzeyine taşınır. Sonuçta kalıpta bazı bölgelerde tuz toplanması veya mineral çökmesi oluşur. Bu, kalıp yüzeyinde sert noktalara neden olur ve ürünün deforme olmasına veya başka kalıp problemlerine yol açar. Suyun içindeki diğer

kimyasal maddeler alçı ile reaksiyona girerek de bu tuzları oluşturabilir. Genel olarak, suyun içinde bulunan ve çözünürlüğü alçıdan fazla alan herhangi bir madde kalıpta çiçeklenmeye yol açar (Subaşı, 1999).

6.2.2 Suyun Sıcaklığı

Alçı maksimum çözünürlüğe 21-35 °C arasında ulaştığı için, suyun sıcaklığındaki değişimler donma zamanını etkiler ve karıştırma kıvamının kontrolünde zorluklar sebep olur. 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 (Subaşı, 1999).



Şekil 6.3 Su sıcaklığının katılaşma süresine etkisi (Subaşı, 1999)

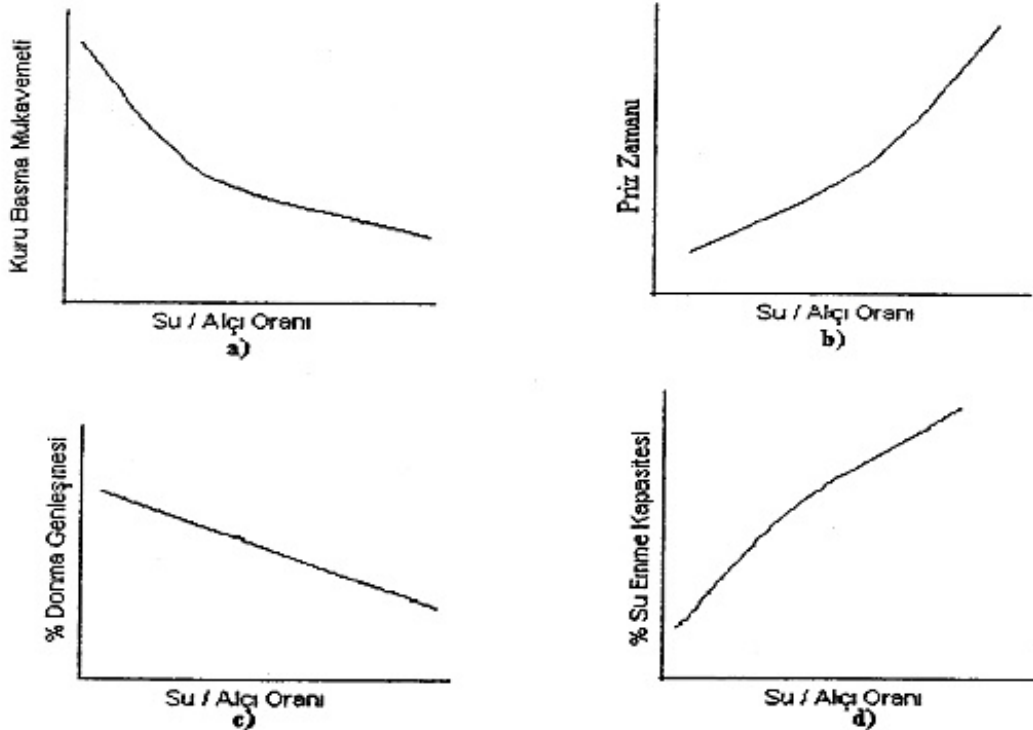
6.2.3 Su/Alçı Oranı

Kalsine jipsden hazırlanan kalıp alçısının kalitesini etkileyen en önemli faktör karışımın hazırlanması sırasında kullanılan alçı ve suyun ağırlıkça oranlarıdır. Su miktarındaki farklılıklar mukavemeti, absorpsiyonu, sertleşme genleşmesini ve kalıbın içyapısını etkiler.

- Kalıp mukavemetleri kullanılan su miktarı ile ters orantılıdır.
- Priz başlangıç ve bitimi için gerekli zaman su miktarı ile doğru orantılıdır.
- Sertleşme genleşmesi kullanılan su miktarı ile ters orantılıdır.
- Su emme kapasitesi ve hızı kullanılan su miktarı ile doğru orantılıdır (İşıtman, 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 karışımı 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).

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. 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).



Şekil 6.4 Su / Alçı oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, % sertleşme genişmesi ve % su emme kapasitesinin değişimi (Mahir, 1996)

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).

6.3 Islatmanın Etkisi

Yarı hidrat partikülleri bir hava tabakası ile sarılmıştır. Bu hava tabakası ıslatma boyunca uzaklaştırılır. Islatma işlemi alçının su içerisine serpilmesi ile yapılır. Islatma işleminin süresi önemlidir. Islatma süresinin, kalıptaki hataların pinhollerin oluşumuna etkisi azdır. Oldukça uzun ıslatma süresi donma süresini hızlandırm ve çözeltinin daha çabuk sertleşmesine yol açar. Bu olayın sebebi çözeltideki çökelmeyi hızlandıran ince partiküllü yarı hidratın varlığıdır. Bu partiküllerin iri taneli olması istenir. 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 ıslatma 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 (Subaşı, 1999).

Su içinde hızla çöken toz yüksek miktarda olduğunda ıslatma sürecinden sonra bile partiküller ıslatılabılır. 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 (Subaşı, 1999).

6.4 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

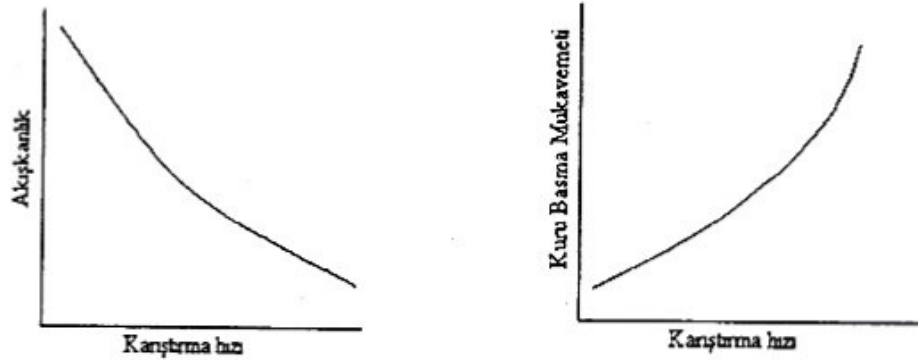
kısmi olarak karıştırma işlemi tarafından belirlenir (Ünlüer, 2001).

6.4.1 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 karışırtmalarda ise reaksiyon hızı artacağından priz zamanlan kısalacak 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.(Ünlüer, 2001)

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

- Priz başlangıç zamanını kısalttığı,
- Yayılma çapını azalttığı,
- Sıkı bir kristal yapı elde edilmesiyle su emme kapasitesi de azalacaktır.
- Mukavemeti artırdığı,
- Su emme kapasitesini azalttığı görülür (Ünlüer, 2001).



Şekil 6.5 Karıştırma hızına bağlı olarak akışkanlığın ve mukavemetin değişimi (Kaya, 2000)

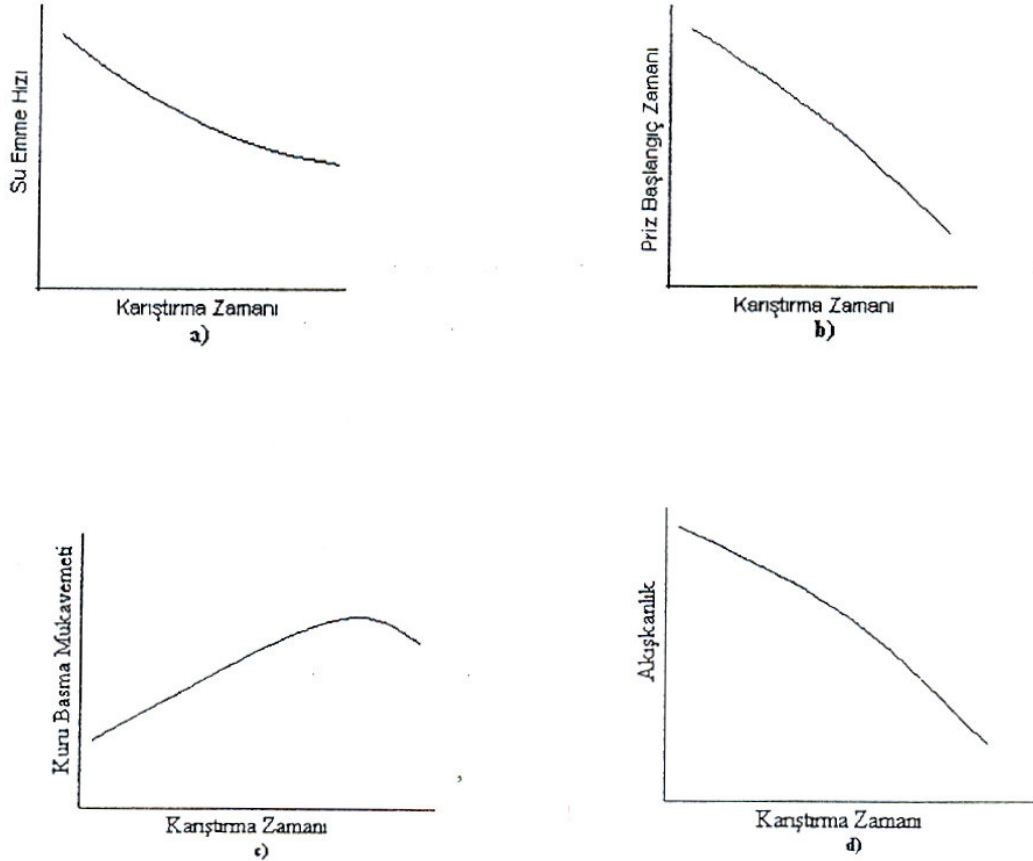
Su-alçı karışımı çok iyi karıştırılmalıdır. Alçı krema kıvamında karıştırılmışsa parçalar halinde donar, kütlede yumrular oluşur ve kalıbın alt kısmı ile üst kısmı arasında yoğunluk farkı meydana gelir. Karıştırmanın iyi olup olmadığı şöyle kontrol edilebilir. İki cam parçası arasına konan yarım çay kaşığı karışım takriben 0,4 mm kalınlığına kadar bastırılır ve ışığa tutulur. Noktalar halinde görülecek hava kabarcığı sayısı 10'u geçmemelidir (Ünlüer, 2001).

6.4.2 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 tespit edilmiştir (Subaşı, 1999).

Karıştırma zamanı artırıldığında;

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



Şekil 6.6 Karıştırma zamanına bağlı olarak sırasıyla su emme hızı, priz başlangıç zamanı, kuru basma mukavemeti ve akışkanlığın değişimi (Işıtman ve Işıkcı, 1985)

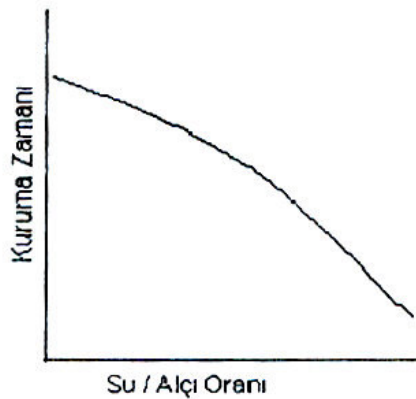
Toz su ile ilk karıştırıldığında, karışım sıvı gibidir. Bu karakter zamanla önce jelimsi daha

sonra da sertleşerek katı hal alır. Karıştırmanın kremsi 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 karışımın elde edilebilecek olası en büyük mukavemet değeri harmanlanmış karışımındaki 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).

6.5 Kurutmanın Etkisi

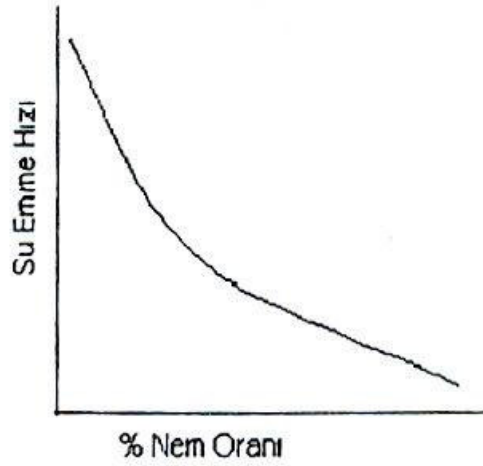
Maksimum fiziksel özelliklerin gelişmesi için, üretilmiş kalıplar uygun şartlar altında kurutulmalıdır. Yüksek ısılarda yapılan kurutma kalıbın kalsinasyonuna, düşük ısılar ise alçı kalıp bölümünün veriminin azalmasına neden olur. Kurutma işlemi gereğince yapılmaz ise kalıbın yumuşaması ve işletmede yavaş çekim problemleri ile karşılaşılır (Subaşı, 1999).



Şekil 6.7 Su/alçı oranına bağlı olarak kurutma zamanının değişimi (Subaşı, 1999)

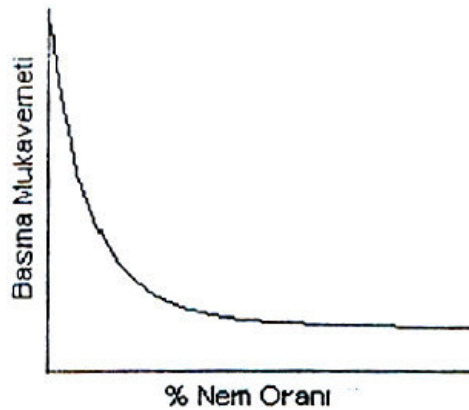
Laboratuvarlarda yapılan rutin çalışmalar sırasında 45° C'in üstünde kurutma yapıldığı zaman kalıpların yüzeyden başlayarak kalsinasyona uğradığı ve sıcaklık arttıkça kalsinasyonun

hızlandığı tespit edilmiştir. Sabit sıcaklıkta su/alçı oranı azaldıkça kurumanın zorlaştığı görülmüştür. Kalıpların içerdikleri nem oranı azaldıkça su emme hızlarının ve kalıp mukavemetinin arttığı bulunmuştur (Subaşı, 1999).



Şekil 6.8 Nem miktarına bağlı olarak su emme hızının değişimi (Subaşı, 1999)

Kurutma odaları veya fırınların dışındaki ortamda yüksek rutubet olması kurutmanın verimliliğini etkiler. Çünkü emilen taze hava kalıplardan fazla rutubet alamaz. Belki birçok kurutma yerinde en büyük eksik hava hızının düşüklüğüdür. Kurutma işi için tamamen kuru ortamdaki ziyade hafif rutubetli ortamlar tercih edilir. En uygun kurutma 45°C 'nin altında ve azalıp çoğalan rutubetli bir ortamda yapılır (Ünlüer, 2001).



Şekil 6.9 Nem miktarına bağlı olarak mukavemet değişimi (Işırtman ve Işıkcı, 1985)

Eğer hava yeterli hıza sahipse, daha düşük sıcaklıklarda daha verimli kurutma sağlanabilir. Kalıpta çok fazla serbest su varsa kurutma $70-80^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar güçlük çıkmadan yapılabilir.

Fakat kurutma ilerledikçe kalsinasyonu engellemek için sıcaklığın düşürülmesi gerekir. Kurutma bittikten sonra ısıl şoku önlemek için kurutma odası sıcaklığı ortam sıcaklığına kadar düşürülmelidir (Işıtman ve Işıkcı, 1985).

7. ALÇI KALIPTAKİ HACİMSEL DEĞİŞİMLER

7.1 Prizlenme Genleşmesi

Kalsine alçı su ile karıştırıldıktan sonra oluşan karışım yavaş yavaş sıvı yada plastik halden katı hale geçmeye başlar ve karışımdaki bu değişim belirli bir hacim değişikliğini beraberinde getirir. Kalıplama alanında kullanılan alçı maddeler ve kalıplardaki hacim değişikliği bir miktar genleşme yönündedir. Teorik olarak, kullanılan kalsine alçının katılaşma esnasında kristal yapısının değişmesinden dolayı, katılaşmış alçının hacmi, gerçek özgül ağırlığı ve formül ağırlığından hesaplanan hacimden, içerdiği bileşenlerin toplam hacmi fazla olmalıdır. Herhangi bir kalıptaki alçı kristallerinin gerçek hacmi alçı ve sudan yapılmış karışımın hacminden mutlaka az olacaktır. Her ne kadar dikkatli ve ciddi çalışmalar yapılmış olsa da bu görünen hacim artışı davranışı tamamıyla açıklanamamıştır. Teorik olarak, kullanılan kalsine alçının katılaşma esnasında kristal yapısının değişmesi ve oluşan iğnesel lamellerin birbirlerini itmeleri sonucu prizlenme genleşmesi meydana gelir (Subaşı ,1999).

Alçı donarken % 0,1 -% 0,2 kadar genleşir. Bu genleşme karışımın içerdiği su miktarı ile ters orantılı olup, kalıbın yaptığı basınca da bağlıdır. Kalıbın genleşmesi ufak ayrıntılara kadar şekli yansıtması bakımından önemlidir. Ayrıca kalıbın modelden çıkarılmasını da kolaylaştırır. Bazen bu durum tersine de olur. Negatif boşluklara alçı döküm yapıldığında içindeki alçı genleşeceği için kalıptan çıkma zorluğuyla karşılaşılabilir. Bu nedenle düz yüzeylere bile hafif bir koniklik, eğim verilmelidir (Ünlüer ,2001).

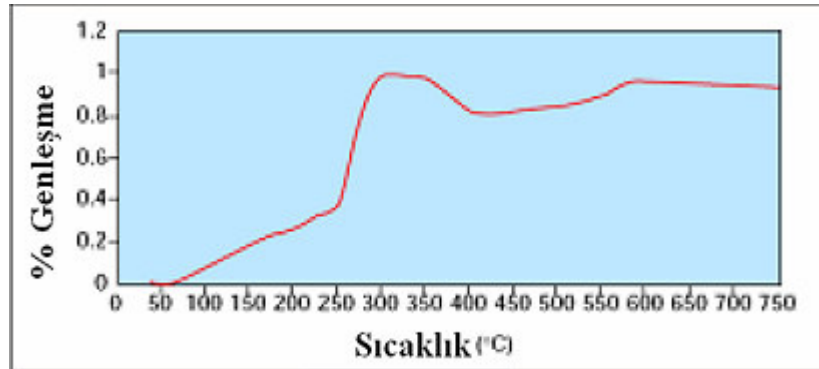
Farklı malzemelerin (hidrate olmuş kireç ve boraks) eklenmesiyle genleşme miktarı göz ardı edilebilir miktarlara indirilebilir. Fakat bu şekilde üretilen ve kalıplama birimi olarak kullanılacak alçı, döküldüğü yere yüksek yapışma kabiliyeti gösterir ve dökümün kalıptan ayrılması zorlaşır. Ayrıca, uygun şekilde hazırlanmamış alçılarda aşırı miktarda boyutsal değişim göstererek yapılacak dökümün boyutsal kontrolünü zorlaştırırlar (Subaşı ,1999).

Bazı çalışmalarda alçıdan yapılan dökümün çektiği görülmüştür. Dikkatli çalışmalarla çabuk katılaşan alçılarda ve aşırı miktarda su kullanılan durumlarda suyu alçıyı dağıtarak içyapıyı zayıflattığı ve genel bir hacim çekmesine sebep olduğu görülmüştür. Hızlı katılaşma olayı, kısmen jips'e dönüşmüş eski alçı kullanılmasından, karıştırma suyunun içerdiği ve katılaşmayı hızlandıracak çok miktardaki empüriteden dolayı katılaşmayı aşırı hızlandırıcı eleman ilavesinden yada aşırı karıştırmadan kaynaklanabilir (Subaşı ,1999).

7.2 Isıl Genleşme

Hassas döküm kalıbı ısıtıldığı zaman alçı bağlayıcı, kristalleşme suyunun uzaklaştığı noktanın üzerinde doğal olarak oldukça büzülür. Bu olay 300-450 °C arasında dihidratın anhidrite dönüşmesiyle meydana gelir. Kaybolan mum tekniği ile dökümde eğer alçı, kalıp yapımında tek başına kullanılsaydı, kalıp çok kötü bir şekilde kırılır veya döküm parçalar orijinal modelden daha küçük çıkardı. Silika, alçının büzülmesini karşılamak ve ısı genleşmeyi düzenlemek için kullanılır. Hassas döküm tozlarının üretilmesinde kullanılan silika çeşitli kristal formlarda bulunur. Kuartz en uygun formdur ve α dan β ya dönüşüm 570 °C civarında hacim artışına eşlik eder (Horton ,2000).

Kristobalit bir diğer önemli hassas döküm tozu bileşenidir. Silikanın bu formu 270 °C civarında α dan β ya dönüşen kristal yapısıyla önemli bir hacim artışı sağlar. Silikanın bu iki allotropik formu alçı bağlayıcının büzülme etkisini gidermek için kullanılır. Şekil 7.1 bir kuyumculuk hassas döküm tozunun tipik ısı genleşmesini, 300 °C üzerinde kristobalitin genleşmeyi nasıl sağladığını ve alçının büzülmesinin en etkili olduğu 570 °C üzerinde de kuartzın karışımın ısı profilini nasıl üzerine aldığını göstermektedir (Horton ,2000).



Şekil 7.1 Hassas döküm kalıp tozunun ısı genleşmesi (Horton, 2000)

Unutmamak gerekir ki dereceli hassas döküm kalıpları soğurken silika esaslı malzemeler orijinal boyutlarına büzülür, bir de buna alçının sabit büzülmesi eklendiğinde meydana gelen toplam büzülme döküm parçaların boyutlarını değiştirebilir. Dökümden sonra soğuma sırasında alçı çok zayıf bir hale gelir ve silika ilavelerin soğuma büzülmesinin neden olduğu bozulma buna eşlik ederek döküm parçaların, kalıbın su içerisine sokulmasıyla çıkarılmasına olanak sağlar (Horton ,2000).

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1 Deneylerde Kullanılan Kalıp Malzemeleri

Deneylerde ticari işletmelerde de standart olarak kullanılan alçı bağılı dereceli hassas döküm tozu bileşimine bağılı kalınmıştır. α alçı (döküm alçısı) bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Kalıba refrakter özellik vermesi için M300 kuvarz tozu kullanılmıştır. Kuvarz tozlarına ayrıca genişmeyi artırabilmek için değişik oranlarda stearik asit ile kaplama yapılmıştır. Elektrolit (kalsiyum ligno sülfanat) akışkanlığı artırıcı ve karma suyu miktarını azaltıcı olarak kullanılmıştır. %1 sitrik asit bileşimindeki maya priz geciktirici olarak kullanılmıştır. Prizlenme genişmesini artırabilmek için alüminyum hidroksit, alüminyum oksit, oksalik asit ve tartarik asit çeşitli oranlarda karışıma ilave edilmiştir.

8.2 Numune Hazırlama

Oranları önceden belirlenen kalıp tozları, toplam toz miktarı 100 gr. olacak şekilde, ayrı ayrı tartılarak karıştırmanın yapılacağı kaba ilave edilmiştir. Kullanılan malzemelerin ağırlıklarının saptanmasında hassasiyeti 0,01 gr. olan elektronik hassas terazi kullanılmıştır. İstenilen oranda toz karışımı hazırlandıktan sonra karıştırma işlemine geçilmiştir.

Karıştırma işlemi için 4 adet seramik bilye kullanılmıştır. Seramik bilyeler karıştırmanın yapılacağı kaba konulduktan sonra kabın ağzı kapatılarak değirmene yerleştirilmiştir. Numuneler 50 devir/dakika hızındaki değirmende 1 saat süresince karıştırılmıştır.



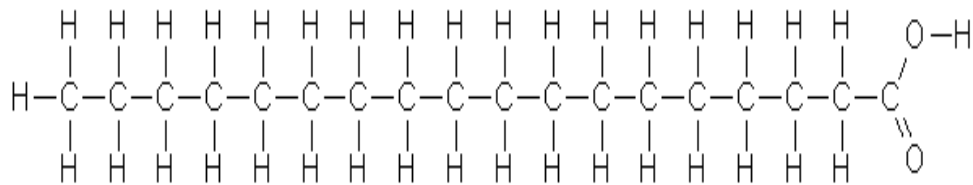
Şekil 8.1 Toz karışımının hassas terazide tartılarak hazırlanması

1 saatin sonunda numuneler değirmenden çıkartılarak ayrı bir kaba boşaltılmış ve seramik bilyeler dikkatlice karışımın içinden çıkartılmıştır. Daha sonra toplam karışım herhangi bir hataya neden vermemek için hassas terazide tekrar tartılmıştır. Her karıştırma işleminden sonra karıştırma kapları, istenilen karışım miktarında sapmaya yol açmaması için, tamamıyla temizlenmelidir.

8.3 Tozların Kaplanması

Deneylerde prizlenme genleşmesini artırabilmek için, kalıba refrakter özellik veren M 300 kuvarz tozlarına suda çözünmeyen bir malzeme ile kaplama yapılması düşünüldü. Kaplama malzemesi olarak stearik asit kullanıldı. Tozlar %0,2 , %0,4 , %0,6 , %0,8 ve %1,2 oranlarında stearik asit ile kaplanarak bunların prizlenme genleşmesi üzerindeki etkileri incelendi.

Stearik asit, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ formülüyle gösterilen doymuş bir yağ asididir. Çoğu hayvan ve bitkiden elde edilen katı-sıvı yağlarda, genelde gliserid stearin şeklinde bulunur. Stearik asit ve bileşikleri, özellikle tuzları (stearatları) ticari önemi haizdirler. Uzun zincirli alkol esterleri, mum olarak bilinmektedir. Diğer monohidrik ve polihidrik alkollerin esterleri, vernik imalinde ve iyonik olmayan yüzey aktif maddelerin üretiminde kullanılmaktadır. Alkali metal tuzları suda çözünebilir. Bunlar oleatlar ve palmitatlar gibi, tuvalet ve çamaşır sabunlarının esas maddeleridir. Oleik asit, mekanik presleme yoluyla uzaklaştırılabilir. Piyasadaki stearik asit, yaklaşık %40'lıktır. Metalik stearatlar petrol gres yağlarının terkinde bulunmaktadır. Çinko stearatlar kozmetikte, diğer metal tuzları boyalarda, eczacılıkta ve mantar öldürücü imalatında kullanılır. Stearik asit amidleri, su geçirmez kumaşların imalatında kullanılır.



Şekil 8.2 Stearik asit molekül yapısı

Stearik asit hayvani yağlardan hidrolizle elde edilir. Ticari ürün ekseriya stearik, palmitik ve diğer yağ asitlerinin bir karışımıdır. Saf madde olarak fraksiyonlu destilasyonla ayrılabilir.

Ayrıca soya yağı veya diğer bitki yağlarının hidrojenasyonu ile hazırlanmaktadır. Saf stearik asit, beyaz kristaller halindedir. Yoğunluğu 0,847, ergime noktası 69-70 °C, kaynama noktası 383 °C'dir.

Kaplama işlemi için; kaplama yapılacak malzeme ile yeterli miktarda kaplama ürünü (stearik asit) karıştırma kabı içerisinde 5 adet bilya ile karıştırıcıda karıştırıldı. 45 dakika karıştırıldıktan sonra hazırlanan karışım etüve konuldu. 100 °C' de 1 saat bekletilip stearik asidin ergiyik faza geçmesi sağlanmıştır. Sıvı hale geçen malzeme katı haldeki tozların üzerine yapışıp tozları kaplamış oldu. Etüvden çıkarılan karışım, soğutulmadan karıştırıcıda yüksek devirde 10 dakika aralıksız karıştırıldı. Böylece kaplanmış malzeme hazır hale gelmiştir.

8.4 Numune Dökümü

Deneylerde 100 gr. toz karışımı için 38 ml. su kullanılmıştır. Bu oran alçı bağlı dereceli hassas döküm kalıplarında genelde standart hale gelmiştir ve ticari işletmeler de bu orana bağlı kalmaktadır. Şebeke suyundaki bazı iyonlar, çözünebilir tuzlar ve safsızlıklar alçının katılaşma süresi gibi özelliklerini değiştirebileceğinden çalışmalarda saf su kullanılmıştır. Su hassas terazide tartılarak karışımın yapılacağı plastik beherin içine doldurulur.

Karıştırıcı çalıştırılıp su içine, hazırlanmış tozlar boşaltılırken kronometre de başlatılır. Tüm numune tam olarak bir dakika içinde behere boşaltılır ve daha sonra iki dakika daha karıştırma işlemine devam edilir. Karıştırma işleminde Janke & Kunkel RW20 model mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma hızı 400 devir/dakika olarak ayarlanmıştır ve karıştırma hızı, priz başlangıç zamanı, yayılma çapı ve mukavemet gibi özellikleri etkilediği için bütün deneylerde sabit tutulmuştur.



Şekil 8.3 Numunelerin karıştırılma işlemi

Üç dakikalık karıştırma zamanı da, alçının priz başlangıç zamanı, su emme kapasitesi, mukavemet ve yayılma çapı gibi özelliklerini etkilediği için tüm çalışmalarda sabit tutulmuştur. Üç dakika sonunda karıştırıcı durdurulur ve beher içindeki karışım önceden hazırlanmış ve içine ölçüm yapılabilmesi için özel metal bilyeler yerleştirilmiş silikon kalıbın içine dökülür. Döküm esnasında, karışımın içindeki hava kabarcıklarının yüzeye çıkabilmesi için, kalıba titreşim uygulanmıştır.



Şekil 8.4 Numunelerin döküldüğü silikon kalıplar

8.5 Genleşme Ölçümleri

Genleşme ölçümlerinde 0,01 mm. hassasiyetinde dijital ölçü aleti kullanılmıştır. Yapılacak ölçümlerin hassasiyetini artırabilmek için ölçü aleti üzerine, numunelerdeki bilye ile uyumlu

bir düzeneğe ilave edilmiştir. Alçı bağlı karışım kalıba ilk döküldüğü zaman yüzeyi parlaktır. Katılaşmanın başlamasıyla beraber yüzey parlaktan mat bir renge döner. Bu etki çok açıktır ve bu süre priz başlangıç zamanı olarak bilinir. Katılaşma başlangıcı doğrudan çalışma zamanını etkilediğinden bu sürenin pratik limitler içinde olması istenir. Deneylerde bu süreler saptanarak kaydedilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler ölçülerek ilk boy L_0 olarak kaydedilmiştir. Ölçümler 1 saat, 2 saat ve 24 saat sonra tekrarlanarak saptanan uzunluk değerleri kaydedilmiştir. Deneyler esnasında numunelerin akışkanlığı ve dökülebilirliği de gözlemlenmiş ve notlar alınmıştır.



Şekil 8.5 Genleşme ölçümleri

8.6 Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri

Yapılan deneylerden elde edilen değerler doğrultusunda referans numunesi ve yüksek genleşme değerleri gösteren numunelerin taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yüzey görüntüleri alınmış ve kalıp yüzeylerinin morfolojisi karşılaştırılmıştır. Dökülen kalıp numunelerinden elektron mikroskobuna uygun şekilde numuneler hazırlanmıştır. İncelemeler JEOL JSM 5410LV model taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Hazırlanan numuneler geçirgenliği sağlamak amacıyla altın ile kaplanmıştır.

9. DENEYSEL SONUÇLAR

9.1 Numune 1 (Referans Numunesi)

Çizelge 9.1 Numune 1'in bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,51
Elektrolit	0,50
Alçı	25,01
M 300	74,0
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,01 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 18 dakika

Akışkanlık : iyi

Genleşme Değerleri

Lo : 106,24 mm.

L_{1saat} : 106,33 mm.

L_{2saat} : 106,38 mm.

L_{24saat} : 106,39 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,14

9.2 Numune 2

Çizelge 9.2 Numune 2'nin bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,52
Alçı	24,98
M 300 (%0,2 kaplamalı)	74,01
Toplam karışım	100,01

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,02 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 15 dakika

Akışkanlık : iyi

Genleşme Değerleri

Lo : 106,85 mm.

L_{1saat} : 106,98 mm.

L_{2saat} : 107,02 mm.

L_{24saat} : 107,04 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,18

9.3 Numune 3

Çizelge 9.3 Numune 3'ün bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,49
Elektrolit	0,51
Alçı	25,02
M 300 (%0,4 kaplamalı)	74,0
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,04 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 14 dakika

Akışkanlık : iyi

Genleşme Değerleri

Lo : 107,16 mm.

L_{1saat} : 107,32 mm.

L_{2saat} : 107,36 mm.

L_{24saat} : 107,36 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,19

9.4 Numune 4

Çizelge 9.4 Numune 4'ün bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,02
M 300 (%0,6 kaplamalı)	74,03
Toplam karışım	100,05

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 37,98 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 15 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 105,95 mm.

L_{1saat} : 106,13 mm.

L_{2saat} : 106,15 mm.

L_{24saat} : 106,17 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,21

9.5 Numune 5

Çizelge 9.5 Numune 5'in bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,51
Elektrolit	0,50
Alçı	25,0
M 300 (%0,8 kaplamalı)	74,02
Toplam karışım	100,03

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,05 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 16 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 105,34 mm.

L_{1saat} : 105,52 mm.

L_{2saat} : 105,55 mm.

L_{24saat} : 105,55 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,20

9.6 Numune 6

Çizelge 9.6 Numune 6'nın bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,49
Elektrolit	0,51
Alçı	25,02
M 300 (% 1,2 kaplamalı)	74,0
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 37,96 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 15 dakika

Akışkanlık : iyi

Genleşme Değerleri

Lo : 104,77 mm.

L_{1saat} : 104,89 mm.

L_{2saat} : 104,96 mm.

L_{24saat} : 104,98 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,20

9.7 Numune 7

Çizelge 9.7 Numune 7'nin bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,51
Elektrolit	0,50
Alçı	25,02
M 300	72,98
Alüminyum oksit	1,01
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 17 dakika

Akışkanlık : kötü

Genleşme Değerleri

Lo : 106,40 mm.

L_{1saat} : 106,63 mm.

L_{2saat} : 106,68 mm.

L_{24saat} : 106,69 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,27

9.8 Numune 8

Çizelge 9.8 Numune 8'in bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,01
M 300	72,0
Alüminyum oksit	2,0
Toplam karışım	100,01

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,04 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 16 dakika

Akışkanlık : kötü

Genleşme Değerleri

Lo : 105,13 mm.

L_{1saat} : 105,39 mm.

L_{2saat} : 105,44 mm.

L_{24saat} : 105,45 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,30

9.9 Numune 9

Çizelge 9.9 Numune 9'un bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,01
M 300	71,01
Alüminyum oksit	3,0
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 18 dakika

Akışkanlık : çok kötü

Genleşme Değerleri

Lo : 107,06 mm.

L_{1saat} : 107,36 mm.

L_{2saat} : 107,40 mm.

L_{24saat} : 107,39 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,31

9.10 Numune 10

Çizelge 9.10 Numune 10'un bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	1,0
Alçı	25,0
M 300	71,50
Alüminyum oksit	2,0
Toplam karışım	100,0

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 17 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 106,16 mm.

L_{1saat} : 106,35 mm.

L_{2saat} : 106,46 mm.

L_{24saat} : 106,48 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,30

9.11 Numune 11

Çizelge 9.11 Numune 11'in bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,0
M 300	73,01
Alüminyum hidroksit	1,0
Toplam karışım	100,01

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,03 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 15 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 106,03 mm.

L_{1saat} : 106,28 mm.

L_{2saat} : 106,36 mm.

L_{24saat} : 106,39 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,34

9.12 Numune 12

Çizelge 9.12 Numune 12'nin bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,0
M 300	72,02
Alüminyum hidroksit	2,01
Toplam karışım	100,03

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 16 dakika

Akışkanlık : kötü

Genleşme Değerleri

Lo : 105,67 mm.

L_{1saat} : 105,94 mm.

L_{2saat} : 106,04 mm.

L_{24saat} : 106,07 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,38

9.13 Numune 13

Çizelge 9.13 Numune 13'ün bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,01
M 300	71,02
Alüminyum hidroksit	3,0
Toplam karışım	100,01

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,04 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 15 dakika

Akışkanlık : kötü

Genleşme Değerleri

Lo : 105,89 mm.

L_{1saat} : 106,25 mm.

L_{2saat} : 106,29 mm.

L_{24saat} : 106,32 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,41

9.14 Numune 14

Çizelge 9.14 Numune 14'ün bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,80
Alçı	25,0
M 300	71,51
Alüminyum hidroksit	2,50
Toplam karışım	100,01

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 16 dakika

Akışkanlık : iyi

Genleşme Değerleri

Lo : 107,05 mm.

L_{1saat} : 107,40 mm.

L_{2saat} : 107,46 mm.

L_{24saat} : 107,47 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,39

9.15 Numune 15

Çizelge 9.15 Numune 15'in bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,01
M 300	73,01
Oksalik asit	1,0
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,02 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : Karışım dökülememiş, karıştırma işleminin 3. dakikasında katılaşmıştır.

Akışkanlık : ---

Genleşme Değerleri

Lo : ---

L_{1saat} : ---

L_{2saat} : ---

L_{24saat} : ---

9.16 Numune 16

Çizelge 9.16 Numune 16'nın bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,0
M 300	73,51
Oksalik asit	0,50
Toplam karışım	100,01

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 6 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 105,78 mm.

L_{1saat} : 106,28 mm.

L_{2saat} : 106,32 mm.

L_{24saat} : 106,33 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,52

9.17 Numune 17

Çizelge 9.17 Numune 17'nin bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,01
M 300	73,75
Oksalik asit	0,25
Toplam karışım	100,01

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,04 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 8 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 106,11 mm.

L_{1saat} : 106,52 mm.

L_{2saat} : 106,59 mm.

L_{24saat} : 106,58 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,44

9.18 Numune 18

Çizelge 9.18 Numune 18'in bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	1,20
Elektrolit	0,50
Alçı	25,0
M 300	72,60
Oksalik asit	0,70
Toplam karışım	100,0

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 14 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 106,49 mm.

L_{1saat} : 107,01 mm.

L_{2saat} : 107,07 mm.

L_{24saat} : 107,10 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,57

9.19 Numune 19

Çizelge 9.19 Numune 19'un bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,01
M 300	73,01
Tartarik asit	1,0
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,02 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : Karışım dökülememiş, karıştırma işleminin 1. dakikasında katılaşmıştır.

Akışkanlık : ---

Genleşme Değerleri

Lo : ---

L_{1saat} : ---

L_{2saat} : ---

L_{24saat} : ---

9.20 Numune 20

Çizelge 9.20 Numune 20'nin bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,01
M 300	73,51
Tartarik asit	0,50
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,02 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 4 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 105,94 mm.

L_{1saat} : 106,78 mm.

L_{2saat} : 106,86 mm.

L_{24saat} : 106,85 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,86

9.21 Numune 21

Çizelge 9.21 Numune 21'in bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	0,50
Elektrolit	0,50
Alçı	25,0
M 300	73,75
Tartarik asit	0,25
Toplam karışım	100,0

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,03 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 9 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 106,15 mm.

L_{1saat} : 106,90 mm.

L_{2saat} : 106,96 mm.

L_{24saat} : 106,97 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,77

9.22 Numune 22

Çizelge 9.22 Numune 22'nin bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	1,20
Elektrolit	0,50
Alçı	25,0
M 300	72,80
Tartarik asit	0,50
Toplam karışım	100,0

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,02 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 11 dakika

Akışkanlık : normal

Genleşme Değerleri

Lo : 106,47 mm.

L_{1saat} : 107,36 mm.

L_{2saat} : 107,40 mm.

L_{24saat} : 107,41 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,88

9.23 Numune 23 (Referans Numunesi II)

Çizelge 9.23 Numune 23'ün bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	1,20
Elektrolit	0,80
Alçı	25,01
M 300	73,01
Toplam karışım	100,02

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 20 dakika

Akışkanlık : çok iyi

Genleşme Değerleri

Lo : 106,12 mm.

L_{1saat} : 106,26 mm.

L_{2saat} : 106,28 mm.

L_{24saat} : 106,29 mm.

% Genleşme miktarı : % 0,16

9.24 Numune 24

Çizelge 9.24 Numune 24'ün bileşimi

Bileşen	Miktar (gr.)
Maya	1,20
Elektrolit	0,80
Alçı	25,0
M 300	70,01
Alüminyum hidroksit	2,50
Tartarik asit	0,50
Toplam karışım	100,01

Karışım için değirmende kullanılan seramik bilya sayısı : 4

Karışımın değirmende kalma süresi : 60 dakika

Deneyde kullanılan su miktarı (%38) : 38,0 ml.

Ölçülen Değerler :

Priz Başlangıç Zamanı : 10 dakika

Akışkanlık : iyi

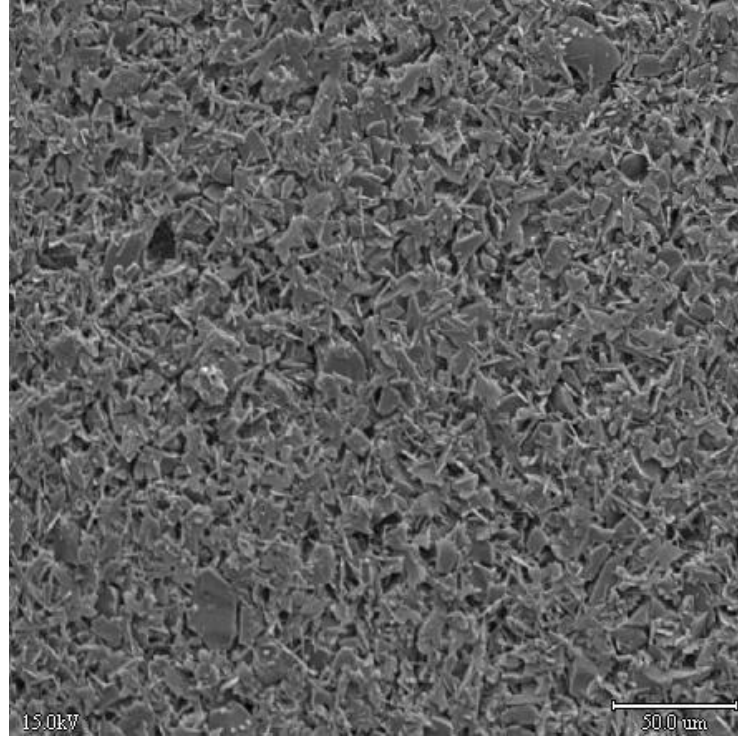
Lo : 106,79 mm.

L_{1saat} : 107,91 mm.

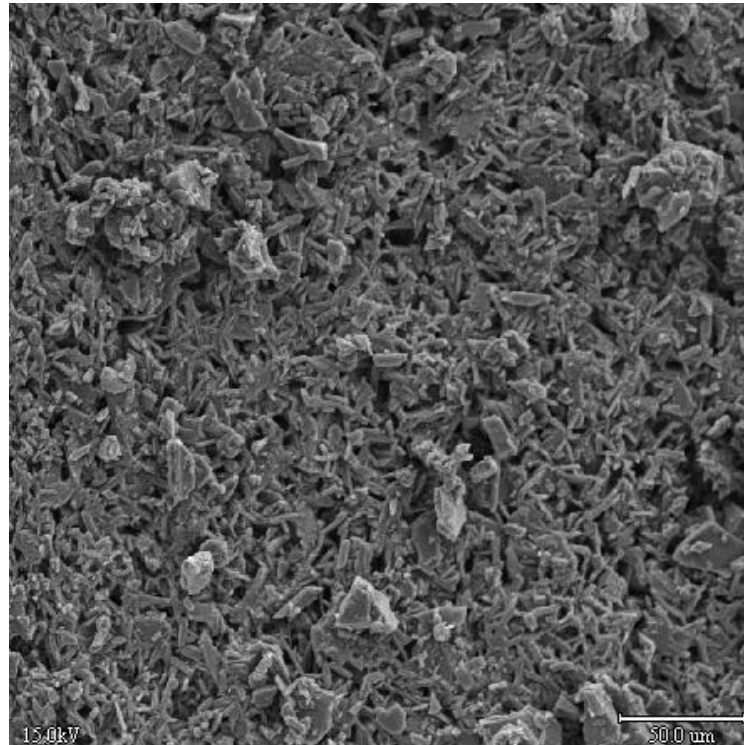
L_{2saat} : 107,93 mm.

L_{24saat} : 107,94 mm.

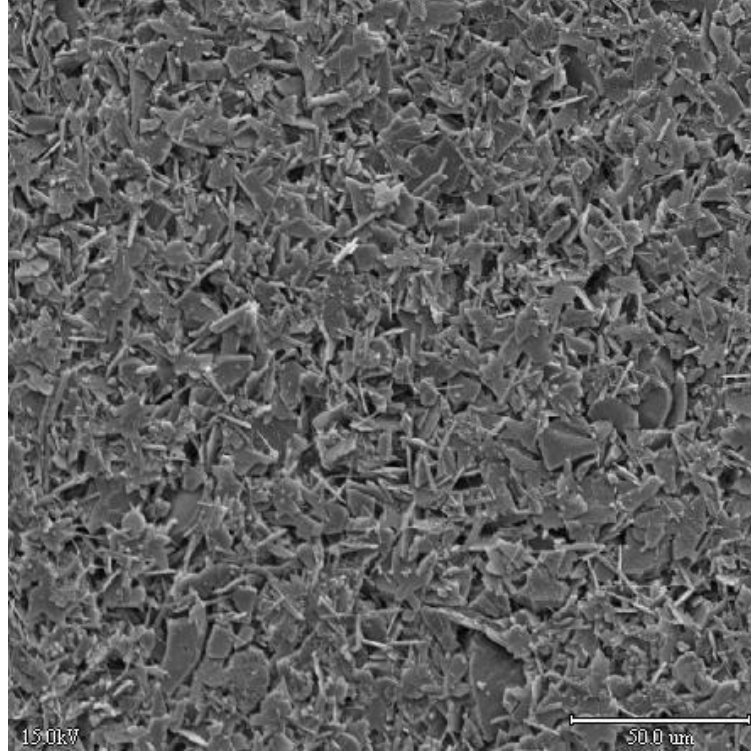
% Genleşme miktarı : % 1,08



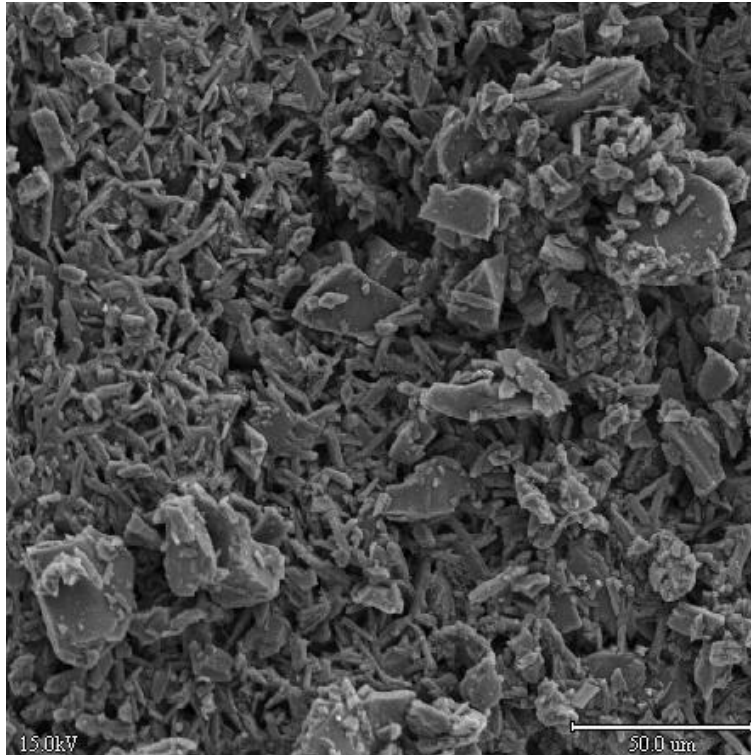
Şekil 9.1 Referans numunesi x350 büyütme



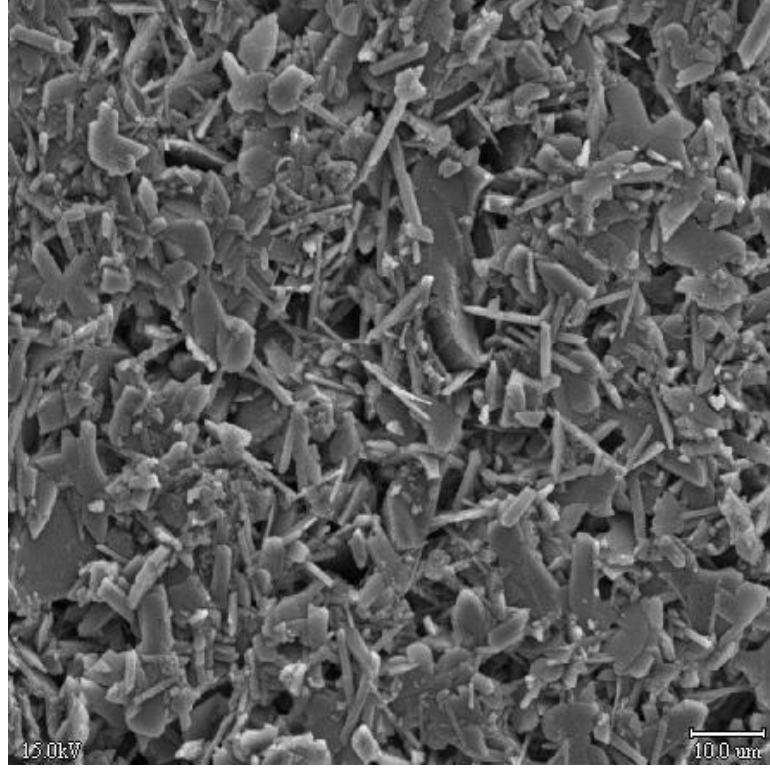
Şekil 9.2 24 No'lu numune x350 büyütme



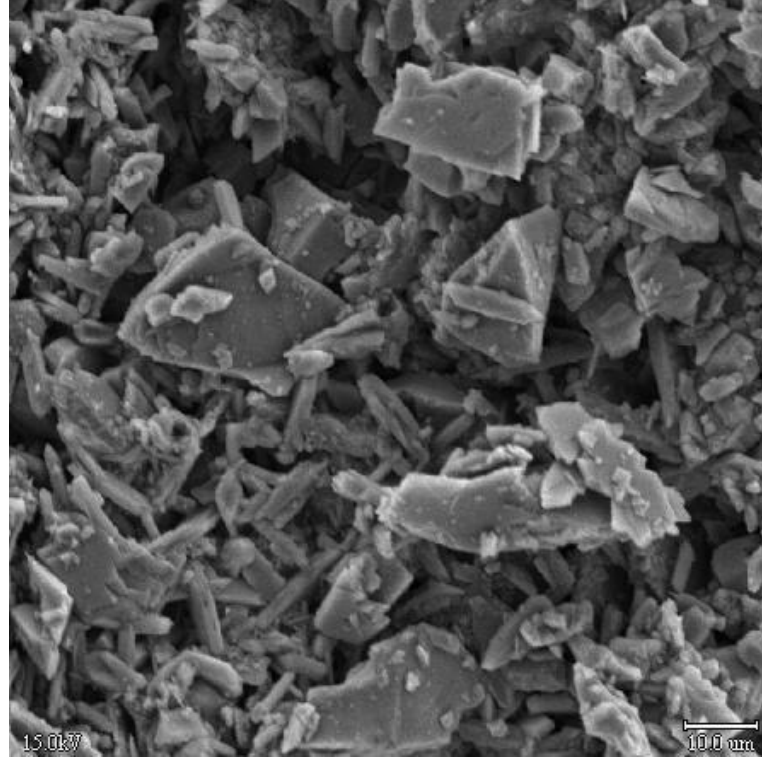
Şekil 9.3 Referans Numunesi x500 büyütme



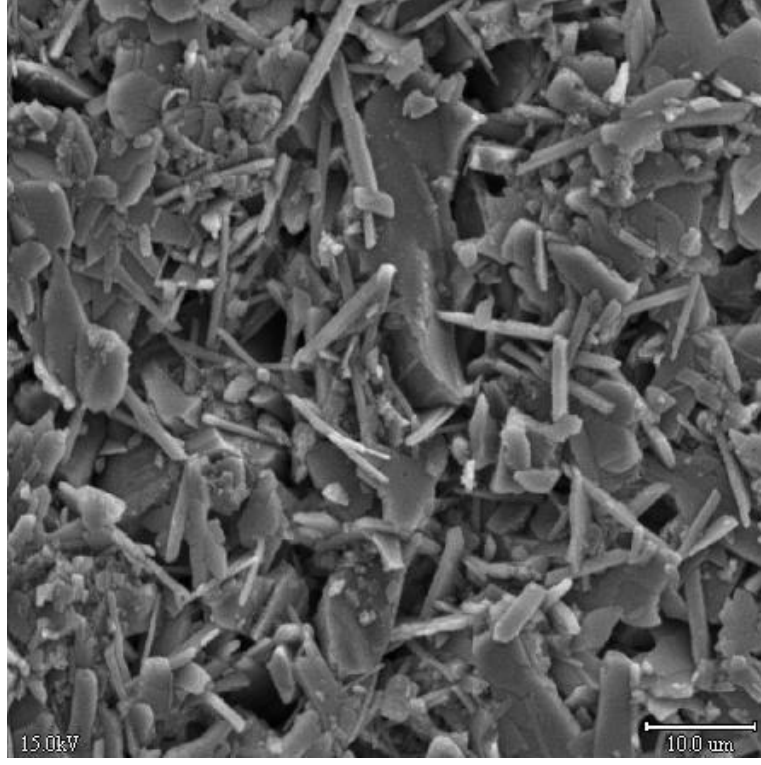
Şekil 9.4 24 No'lu numune x500 büyütme



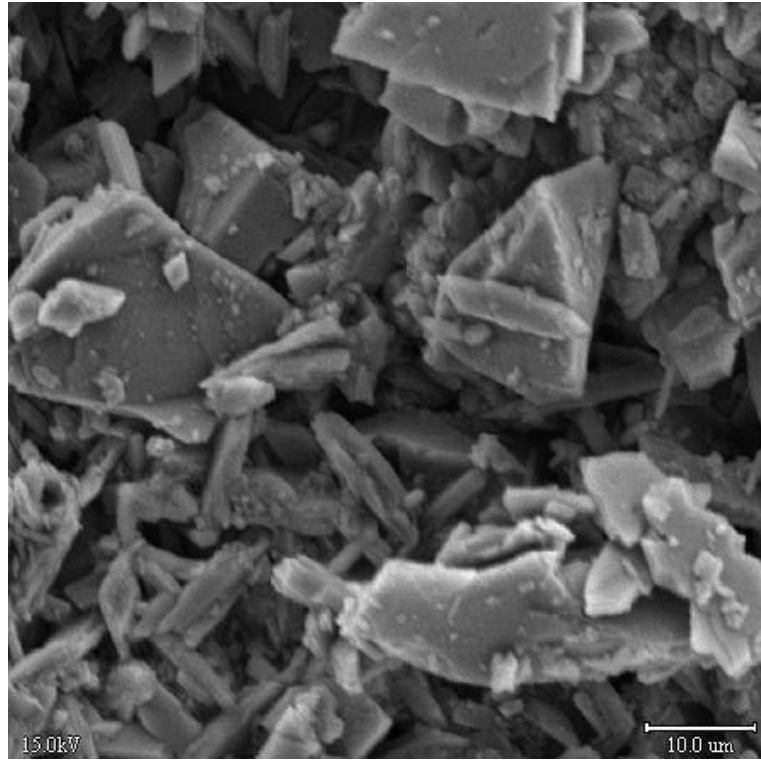
Şekil 9.5 Referans Numunesi x1000 büyütme



Şekil 9.6 24 No'lu numune x1000 büyütme



Şekil 9.7 Referans Numunesi x1500 büyütme



Şekil 9.8 24 No'lu numune x1500 büyütme

10. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Referans numunesi olarak dökülen ve maya ile elektrolit gibi standart katkıları haricinde modifiye edici madde içermeyen 1 No'lu numunede genleşme değeri olarak %0,14 bulunmuştur. Bu değer teorik ve pratik olarak bilinen değerlerle uyushmaktadır. Numuneler hazırlanırken pratikte kullanılan hassas döküm tozu bileşimine bağlı kalınmış, alçı miktarı prizlenme genleşmesini doğrudan etkilediğinden bütün numunelerde sabit tutulmuş ve hazırlanan karışımların döküm alçısı özelliğini kaybetmemesi için minimum %70 refrakter ve maksimum %5 katkı ilavesi oranları korunmaya çalışılmıştır.

2, 3, 4, 5 ve 6 No'lu numunelerde genleşmeyi artırmak amacıyla kalıba refrakter özellik veren M300 kuvarz tozları %0,2 , %0,4 , %0,6 , %0,8 ve %1,2 oranlarında stearik asit ile kaplanarak kullanılmıştır. 0,2'lik kaplama oranında %0,18 genleşme, 0,4'lük kaplama oranında %0,19 genleşme, 0,6'lık kaplama oranında %0,21 genleşme ve 0,8 ile 1,2'lik kaplama oranlarında %0,20 genleşme elde edilmiştir. Genleşme değerleri 0,6'lık kaplama oranında en yüksek değere ulaşmış daha sonra bir miktar azalarak sabit kalmıştır. Ancak kaplama işlemi ile istenilen mertebede genleşme değerleri elde edilememiştir.

Alüminyum oksit kullanılan 7, 8 ve 9 No'lu numunelerde %1 alüminyum oksit oranında %0,27, %2 alüminyum oksit oranında %0,30 ve %3 alüminyum oksit oranında %0,31 ile en yüksek genleşme değeri elde edilmiştir. Alüminyum oksit dökülen numunelerin akışkanlığını olumsuz yönde etkilemiştir. Akışkanlık dökülen karışımın kalıbın şeklini alabilmesi açısından önemlidir. Akışkanlık ve genleşme, akışkanlığı artırıcı elektrolit miktarının %1'e artırılması ve alüminyum oksit miktarının %2 oranına indirilmesi ile 10 No'lu numunede optimize edilmiş ve %0,30 genleşme sağlanmıştır.

Alüminyum hidroksit kullanılan 11, 12 ve 13 No'lu numunelerde %1 alüminyum hidroksit oranında %0,34, %2 alüminyum hidroksit oranında %0,38 ve %3 alüminyum hidroksit oranında %0,41 ile en yüksek genleşme değeri elde edilmiştir. Alüminyum hidroksit de dökülen numunelerin akışkanlığını olumsuz yönde etkilemiştir. Akışkanlık ve genleşme, akışkanlığı artırıcı elektrolit miktarının %0,8'e artırılması ve alüminyum hidroksit miktarının %2,5 oranına indirilmesi ile 14 No'lu numunede optimize edilmiş ve %0,39 genleşme sağlanmıştır. Elde edilen değerler doğrultusunda alüminyum hidroksitin genleşmeyi artırıcı etkisinin daha fazla olduğu, ayrıca akışkanlık üzerindeki olumsuz etkisinin alüminyum oksite oranla daha az olduğu görülmüştür.

%1 oranında oksalik asit içeren 15 No'lu numune karıştırma işleminin 3.dakikasında

katılmış ve karışım dökülememiştir. Hazırlanan karışımla çalışma süresi doğrudan priz başlangıç zamanı ile bağlantılı olduğu için bu sürenin belirli pratik limitler içinde olması istenir. 16 ve 17 No'lu numunelerde %0,5 oksalik asit oranında %0,52 genleşme, %0,25 oksalik asit oranında %0,44 genleşme elde edilmiştir. Priz başlangıç zamanı ve genleşme miktarları, priz geciktirici maya miktarının %1,2'ye artırılması ve %0,7 oksalik asit oranında 18 No'lu numunede optimize edilmiş ve %0,57 genleşme değeri sağlanmıştır. Oksalik asit miktarı arttıkça genleşmenin de arttığı görülmektedir ancak yapılan diğer denemeler sonucu %0,7 oksalik asit değerinin üzerinde, maya miktarı artılırsa bile, pratik limitler dahilinde bir priz başlangıç zamanı elde etmek mümkün olmamıştır.

%1 oranında tartarik asit içeren 19 No'lu numune karıştırma işleminin 1.dakikasında katılmış ve karışım dökülememiştir. 20 ve 21 No'lu numunelerde %0,5 tartarik asit oranında %0,86 genleşme, %0,25 tartarik asit oranında %0,77 genleşme elde edilmiştir. Priz başlangıç zamanı ve genleşme miktarları, priz geciktirici maya miktarının %1,20'ye artırılması ve %0,5 tartarik asit oranında 22 No'lu numunede optimize edilmiş ve %0,88 genleşme değeri sağlanmıştır. Tartarik asit miktarı arttıkça genleşmenin de arttığı görülmektedir ancak yapılan diğer denemeler sonucu %0,5 tartarik asit değerinin üzerinde, maya miktarı artılırsa bile, pratik limitler dahilinde bir priz başlangıç zamanı elde etmek mümkün olmamıştır. Elde edilen değerler doğrultusunda tartarik asitin genleşmeyi artırıcı etkisinin çok daha fazla olduğu, ayrıca priz başlangıç zamanını kısaltıcı etkisinin oksalik asite oranla daha fazla olduğu görülmüştür.

24 No'lu numune önceki deneylerde bulunarak optimize edilen ve maksimum genleşmeyi sağlayan %2,5 alüminyum hidroksit ve %0,5 tartarik asit ilaveleriyle dökülmüş ve %1,08 prizlenme genleşmesi elde edilmiştir. Priz başlangıç zamanı ve akışkanlığında pratik limitler dahilinde olduğu görülmüştür. 24 No'lu numunedeki, 1 numaralı referans numunesine oranla, değişen maya ve elektrolit oranlarının genleşme üzerindeki etkilerini saptamak amacıyla 24 No'lu numuneyle aynı oranda yalnız maya ve elektrolit içeren 2. referans numunesi dökülmüştür. Beklendiği gibi her iki referans numunesinin de genleşme değerleri birbirine yakın bulunmuş ve maya ile elektrolit miktarındaki bu oranlardaki değişimlerin genleşme üzerinde etkili olmadığı görülmüştür.

Elektron mikroskobu incelemelerinde referans numunesindeki alçı kristallerinin beklendiği gibi tipik iğnesel yapıları olduğu görülmektedir. En yüksek genleşmeyi gösteren 24 No'lu numunede ise alçı kristallerinin boyut ve morfolojisinin değiştiği görülmektedir. Oluşan alçı kristallerinin daha büyük boyutlu, yassı ve daha az iğnesel biçimde oldukları görülmektedir.

Yüksek genleşme gösteren numunede alçı kristallerinin boyut ve morfolojisinin değişerek, birbirlerini itmeleri sonucu daha boşluklu bir yapı ortaya çıktığı görülmektedir. Buda deneylerde bulunan sonuçlarla uyumludur. Kullanılan tartarik asitin karboksil grubunun alçı kristalindeki kalsiyum iyonları ile bağlanarak kristal yüzeyine absorbe olduğu ve böylelikle kristalin boyut ve morfolojisini değiştirdiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Arcasoy, A., (1983), “Seramik Teknolojisi”, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, 42-46, İstanbul.
- Altınoğlu, A., (1996), “Hassas Döküm Al-7Si-Mg Alaşımının Karakterizasyonu”, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Beeley, P.R., (1995), Investment Casting, Butterworth Scientific Publications, London.
- Barsoum, M.W., (1997), Fundamentals of Ceramics, McGrawHill Companies, Inc., 270, Singapore.
- Choate, S., (1966), “Creative Casting”, Crown Publishers Inc., 45-55, New York.
- Clegg, A.J., (1991), Precision Casting Processes, Pergamon Pres, Oxford.
- Çavuşoğlu, E.N., (1992), Döküm Teknolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Eriş, H., (1985), “Faz Diyagramları ve Refrakterler”, Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 15-19 Nisan 1985, Ankara.
- Faccenda, V. ve Ingo, G.M., (2001), “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.
- Işıtman, O., Işıkcı, 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 1, 22-25 Ekim 1996, 107-115, Ankara.
- Ray, N., (1998), “Dental Plaster and Stone”, Journal of Dental Materials, 46:18-27.
- 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.
- Taylor, P.R., (1986), “Lost Wax Casting Technique”, The Journal of Materials Processing Technology, 32:72-73.

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.

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

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

Yaman, C., (1998), “Refrakter Malzemeler İçin Kimyasal Bağlayıcılar”, Metal Dünyası, 59:38-39.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	17.05.1979	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1992-2000	İstanbul Erkek Lisesi
Lisans	2000-2005	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2004 - 2008	Varioline İstanbul Dış.Tic.A.Ş.
-------------	---------------------------------

