DERECELİ HASSAS DÖKÜM

YÜZEY KALİTESİ VE BOYUTSAL HASSASİYET

İstanbul Sanayi Odası - Yıldız Teknik Üniversitesi
Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi

"39. Grup Metal Döküm Sanayii
Meslek Komitesi" adına desteklenmiştir

İSTANBUL
SANAYİ ODASI

DERECELİ HASSAS DÖKÜM
YÜZEY KALİTESİ VE BOYUTSAL HASSASİYET

İstanbul Sanayi Odası - Yıldız Teknik Üniversitesi
Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi

Kısaltılmış Doktora Tezi

Danışman
Prof. Dr. Mustafa Çiğdem
Y.T.Ü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Hazırlayan
Kerem Altuğ Güler
Y.T.Ü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

ISBN: 978-605-137-068-2 (BASILI)
ISBN: 978-605-137-069-9 (ELEKTRONİK)
İSO Yayın No: 2012/6
Sertifika No:19176

Dereceli Hassas Döküm Yüzey Kalitesi ve Boyutsal Hassasiyet
Kısaltılmış Doktora Tezi,
İstanbul Sanayi Odası, İstanbul

Grafik Tasarım ve Uygulama:
Mürettebat Reklamcılık ve İletişim Hizmetleri Ltd. Şti.
Badem11, Villa16, Bahçeşehir 34538 İstanbul
Tel: (212) 608 06 08
www.murettebat.com.tr

Tüm Hakları Saklıdır. Bu yayındaki bilgiler ancak kaynak gösterilmek suretiyle kullanılabilir.

SUNUŞ

Bu çalışma; İstanbul Sanayi Odası ile Yıldız Teknik Üniversitesi arasında, sanayi-üniversite işbirliğinin geliştirilmesi ve akademik çalışmaların ekonomik kalkınmaya katkısının artırılması amacıyla başlatılan "İSO-YTÜ Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği" projesi kapsamında yayınlanmıştır.

Üniversitede doktora ve yüksek lisans tezlerini yürüten araştırmacıların desteklendiği proje ile üniversite ve sanayinin gündemini buluşturarak, ticari ürüne dönüştürülen bilimsel araştırma ve patent sayısının artmasına, küresel rekabet gücümüzün gelişmesine katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

Proje kapsamında, üniversitede hali hazırda yürütülen doktora/yüksek lisans tez/tezleri arasından uygun bulunanlar ile Meslek Komitelerimizin sektörel ihtiyaçları doğrultusunda belirlediği konulardaki akademik çalışmalara destek verilmektedir.

İstanbul Sanayi Odası 39. Grup Metal Döküm Sanayii Meslek Komitesi adına desteklenen bu çalışmanın sanayinin ihtiyaçlarına yanıt verecek şekilde hayata geçirilmesine yönelik katkılarından dolayı Tez Değerlendirme Komitesi üyelerimiz olan;

Hülya Gedik Sadıklar (Gedik Döküm ve Vana Sanayi),

Aynur Ayhan (Ayhan Metal Pres Döküm),

M. Uğur Kocaoğlu (Trakya Döküm),

Hüseyin Ş. Darıcı (Normsan Ticaret Metal)

Selim Özavar'a (Ümit Döküm) teşekkür ediyoruz.

Başta araştırmacı olmak üzere, araştırmacıya danışmanlık yapan öğretim üyesi ve Değerlendirme Komitesi'nin katkılarıyla oluşturulan ve sanayi-üniversite işbirliğinin işlevsel ve somut bir çıktısı olan bu çalışmanın sektöre fayda sağlamasını ümit ediyoruz.

Saygılarımızla,

İstanbul Sanayi Odası

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 9

SİMGE LİSTESİ 10
KISALTMA LİSTESİ 10
ŞEKİL LİSTESİ 11
ÇİZELGE LİSTESİ 13

ÖZET 15

ABSTRACT 17

BÖLÜM 1 19

GİRİŞ 19

BÖLÜM 2 21
HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ 21
2.1 Hassas Dökümün Tarihçesi 21
2.2 Hassas Döküm Yönteminin İşlem Adımları 22
2.3 Dereceli Hassas Döküm 24
2.3.1 Esnek Mum Kalıpları 25
2.3.2 Kauçuk Kalıp Yapımı 25
2.3.3 Hassas Döküm Model Mumları 26
2.3.4 Mum Model Üretimi 27
2.3.5 Model Ağacı Tasarımı ve Yapımı 28
2.3.6 Mum Giderme 29
2.3.7 Kalıp Pişirme 30
2.3.7.1 Pişirme Çevrimi 30
2.3.8 Ergitme ve Döküm 31

BÖLÜM 3 33
DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ 33
3.1 Alçı 34
3.1.1 Alçıdan Yarı Hidrat Üretimi 34
3.2 Silika 36
3.2.1 Kuvars 38
3.2.2 Kristobalit 39
3.3 Fosfat Bağlı Malzemeler 39
3.4 Silika Bağlı Malzemeler 41
3.5 Yüksek Alüminalı Çimentolar 41
3.6 Molokit 43
3.7 Ergiyik Silika 44
3.8 Kolloidal Silika 44
3.9 Zirkon 45

BÖLÜM 4 **47**
DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIPLARININ ÖZELLİKLERİ VE BU ÖZELLİKLERE ETKİ EDEN UNSURLAR **47**
4.1 Isıl Kararlılık 47
4.2 Gözeneklilik 47
4.3 Denkleştirici Genleşme: 48
4.4 Alçı Kalıbın Kullanım Ömrüne Etki Eden Faktörler 48
4.4.1 Yarı Hidratın Etkisi 48
4.4.2 Suyun Etkisi 49
4.4.2.1 Suyun Saflığı 49
4.4.2.2 Suyun Sıcaklığı 50
4.4.2.3 Su/Toz Oranı 50
4.5 Ergitme ve Döküm Sistemleri 52
4.5.1 Merkezkaç ve Statik Döküm Makinelerinin Karşılaştırılması 52
4.5.2 Merkezkaç Döküm 53
4.5.3 Statik Döküm 53
4.5.4 Döküm Verimliliği 53
4.5.5 Merkezkaç Döküm Makineleri 53
4.5.6 Statik Döküm Makineleri 54
4.6 Segregasyon 54
4.7 Yüzey Pürüzlülüğü 55
4.8 Boyutsal Hassasiyet 55

BÖLÜM 5 **57**
DENEYSEL ÇALIŞMALAR **57**
5.1 Model Tasarımı Ve Mum Model Üretimi 57
5.2 Kalıp Yapımı 59
5.3 Mum Giderme ve Kalıp Pişirme 61
5.4 Döküm 62
5.4.1 Vakum Destekli Döküm (V.D.) 62
5.4.2 Basınçlı Vakum Döküm (B.V.) 63
5.4.3 Mikro Döküm (M.D.) 64
5.4.4 Merkezkaç Döküm (Mz.D.) 65
5.5 Temizleme İşlemleri 65
5.7 Alçı Bağlı Kalıp Malzemeleri 66
5.7.1 Alçı Bağlı Kalıp Tozlarının Üretiminde Kullanılan Kontrol İlaveleri 67
5.7.2 Alçı Bağlı Kalıp Malzemesi Bileşenleri 67
5.7.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri 69
5.7.4 Boyutsal Değişim Ölçümleri 69
5.7.4.1 Isıl Genleşme Tayini 70
5.7.5 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri 70
5.8 Yüksek Alümina Çimentosu Bağlı Kalıp Malzemeleri 71
5.8.1 Yüksek Alümina Çimentosu Üretimi 71
5.8.2 Yüksek Alümina Çimentolu Kalıp Tozları İçin Kontrol İlaveleri 71
5.8.3 Çift Katlı Kalıp Yapımı 72
5.8.4 Fosfat Bağlı Kalıp Malzemeleri (Referans) 72
5.8.5 Yüzey Pürüzlülüğü ve Boyutsal Değişim Ölçümleri 73
5.8.5.1 Prizlenme Genleşmesi (Boy Değişimi) Tayini 73
5.8.5.2 Isıl Genleşme Tayini (Dilatometre Testleri) 74
5.8.6 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri 74

BÖLÜM 6 **75**
DENEYSEL SONUÇLAR **75**
6.1 Yüzey Kalitesine Etki Eden Unsurlar 75
6.1.1 Parça Kalınlığının Etkisi 75
6.1.2 Agrega Boyutunun Etkisi 75
6.1.3 Su/Toz Oranının Etkisi 77
6.1.4 Alçı Miktarının Etkisi 78
6.1.5 Asit Banyosunda Tutma Süresi Etkisi 79
6.1.6 Modelin Ağaçtaki Yerinin Etkisi 80
6.1.7 Metal Geri Dönüşümünün Etkisi 80
6.1.8 Döküm Tekniğinin Etkisi 81
6.2 Boyutsal Hassasiyete Etki Eden Unsurlar 81
6.2.1 Prizlenme Genleşmesine Etki Eden Unsurlar 81
6.2.1.1 Bağlayıcı Morfolojisinin Etkisi 82
6.2.1.2 Su/Toz Oranının Etkisi 82
6.2.1.3 Alçı Bağlı Malzemeler İçin Alçı Miktarının Etkisi 83
6.2.1.4 Agrega Boyutunun Etkisi 84
6.3 Isıl Genleşmeye Etki Eden Unsurlar 84

BÖLÜM 7 **87**
TARTIŞMA VE ÖNERİLER **87**
7.1 Alçı Bağlı Kalıp Malzemeleri 87
7.2 Yüksek Alümina Çimentosu Bağlı Kalıp Malzemeleri 88
7.3 Yüzey Kalitesine Etki Eden Unsurlar 89
7.4 Boyutsal Hassasiyete Etki Eden Unsurlar 91

BÖLÜM 8 **93**
GENEL SONUÇLAR **93**

KAYNAKLAR **95**

ÖZGEÇMİŞ **99**

ÖNSÖZ

“Dereceli Hassas Döküm Kalıplarında Segregasyon Oluşumunun İncelenmesi” başlıklı yüksek lisans çalışmam ile başlayan hassas döküm kalıpları ile ilgili çalışmalarım doktorada da devam etmiştir. Endüstriyel ve akademik önemini hiçbir zaman kaybetmeyecek olan bu geniş konuda doktora sonrasında da çalışmayı arzu etmekteyim.

Doktora tez çalışmamın her aşamasında her zaman yanımda olan ve beni destekleyen danışmanım Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bölümümüz laboratuvarlarına kazandırdıkları cihazlardan çalışmalarımda yoğun olarak faydalandığım için Prof. Dr. Ahmet EKERİM ve Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Master modellerin üretiminde ve döküm çalışmalarında kullanılan bronzun temininde yardımları esirgemeyen Poly Metal Metalurji ve Döküm Sanayi Ticaret A.Ş.'ne ve Hassas Döküm Bölümü Yöneticisi Rıdvan DOĞAN'a çok teşekkür ederim.

Gümüş döküm çalışmalarının yürütüldüğü Goldaş Kuyumculuk Sanayi İthalat İhracat A.Ş.'ne, Döküm Bölümü Yöneticisi Met. Müh Şerif AKMAN başta olmak üzere tüm dökümhane ve modelhane çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde gerçekleştirilen X-Işınları ve dilatometre analizlerinde büyük yardımlarını gördüğüm Dr. Müh. Işıl KUTBAY'a yürekten teşekkür ederim.

Tane boyutu ve gözeneklilik ölçümlerinin yapıldığı Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarına ve tüm çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaların çoğunluğunun yürütüldüğü benim de üyesi olduğum Balkan İleri Döküm Teknolojileri Merkezine ve tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak tez çalışmamı burs ile destekleyen İstanbul Sanayi Odası'na (İSO) ve bu destek projesine vesile olan Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a çok teşekkür ederim.

Kerem Altuğ GÜLER

Metalurji ve Malzeme Yük. Müh.

SİMGE LİSTESİ

V	Batma hızı
r	Küresel partikülün yarıçapı
g	Yer çekimi ivmesi
η	Sıvının viskozitesi
ρ	Akışkanın yoğunluğu
σ	Katının yoğunluğu

KISALTMA LİSTESİ

BICTA	British Investment Casting Trade Association
MAP	Monoamonyum Fosfat
DAP	Diamonyum Fosfat
YAÇ	Yüksek Alümina Çimentosu
VD	Vakum Destekli Döküm
BV	Basınçlı Vakum Döküm
MD	Mikro Döküm
MzD	Merkezkaç Döküm
PMS	Polimelamin Sülfonat
PS	Potasyum Sülfat
KG	Köpük Gidericiler
ST	Su Tutucular
AS	Aerosil

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Hassas döküm teknikleri şeması	23
Şekil 2.2	Dereceli hassas döküm tekniği şeması	24
Şekil 2.3	Kauçuk kalıplar ve mum modeller	27
Şekil 2.4	Mum ağacı ve derece	29
Şekil 2.5	Dereceli hassas döküm takı döküm ağaçları	32
Şekil 3.1	Dereceli hassas döküm kalıbı kesiti	33
Şekil 3.2	α alçının (solda) ve β alçının (sağda) mikro yapıları	35
Şekil 3.3	Silikanın polimorfik dönüşümleri	37
Şekil 3.4	Silika mineralinin ısıl genleşmesi	38
Şekil 3.5	$CaO\text{-}Al_2O_3$ faz diyagramı	42
Şekil 4.1	Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi.	49
Şekil 4.2	Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamanla akışkanlığın değişimi.	49
Şekil 4.3	Su/toz oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, % prizlenme genleşmesi ve % su emme kapasitesinin değişimi	50
Şekil 5.1	Tasarlanan test numuneleri a) yüzey pürüzlülüğü numunesi, b) boyutsal ölçüm numunesi	57
Şekil 5.2	Kauçuk kalıp presi	57
Şekil 5.3	Mum enjeksiyon presi	58
Şekil 5.4	Alüminyum master modeller, kauçuk kalıplar ve mum modeller	58
Şekil 5.5	Test numunelerinin mum model ağacı	58
Şekil 5.6	Paslanmaz çelik dökümünde kullanılan numune ve model ağacı	59
Şekil 5.7	Deneysel çalışmalarda kullanılan çeşitli dereceler	59
Şekil 5.8	Goldaş A.Ş. dökümhanesinde gümüş dökümü için hazırlanan bir model ağacı	60
Şekil 5.9	Üniversite döküm laboratuarında kullanılan vakum kabini	60
Şekil 5.10	Goldaş A.Ş. dökümhanesinde kullanılan otomatik vakumlu karıştırıcı	61
Şekil 5.11	Vakum destekli döküm şeması	62
Şekil 5.12	Bronz döküm ağacı örneği	62
Şekil 5.13	Basınçlı vakum döküm şeması	63
Şekil 5.14	Gümüş döküm ağacı örneği	63

Şekil 5.15 Paslanmaz çelik mikro döküm şeması 64

Şekil 5.16 Paslanmaz çelik döküm ağacı örneği 64

Şekil 5.17 Paslanmaz çelik merkezkaç döküm şeması 65

Şekil 5.18 Kesilmiş bronz, gümüş ve paslanmaz çelik test numuneleri 66

Şekil 5.19 Basamaklı mum model, bronz ve gümüş döküm numuneler 69

Şekil 5.20 Alçı bağlı 21 numaralı bileşimin mikro yapısı 70

Şekil 5.21 Alçı bağlı 37 numaralı bileşimin mikro yapısı 70

Şekil 5.22 Alçı bağlı referans 1'in (R1) mikro yapısı 71

Şekil 5.23 Fosfat bağlı referans 1 ve YAÇ bağlı 1, 2, 3 numaralı bileşimlerin bronz dökümlerdeki (3. Basamak) ortalama yüzey pürüzlük (Ra) değerleri 73

Şekil 5.24 Fosfat bağlı referans 1 ve YAÇ bağlı 1, 2, 3 numaralı bileşimlerin bronz dökümlerdeki boyutsal değişimler 73

Şekil 5.25 YAÇ bağlı 1 numaralı bileşimin mikro yapısı 74

Şekil 5.26 YAÇ bağlı 3 numaralı bileşimin mikro yapısı 74

Şekil 5.27 Fosfat bağlı referans 1'in mikro yapısı 74

Şekil 6.1 Kristobalit (c) oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi 76

Şekil 6.2 Kuvars (b) oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi 76

Şekil 6.3 Kristobalit (b) oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi 76

Şekil 6.4 Su/toz oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi 77

Şekil 6.5 Alçı miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi 78

Şekil 6.6 Asit çözeltisi banyosunda tutma süresinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi 79

Şekil 6.7 Model yüksekliğine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi 80

Şekil 6.8 12 numaralı alçı bağlı bileşimin farklı su/toz oranlarında prizlenme genleşmesi 83

Şekil 6.9 Alçı miktarına bağlı olarak prizlenme genleşmeleri 83

Şekil 6.10 Alçı bağlı 20 ve 21 numaralı bileşimlerin prizlenme genleşmeleri 84

Şekil 6.11 Alçı bağlı malzemelerin prizlenme ve ısıl genleşmeleri ile son boyutsal değişimleri 85

Şekil 6.12 Yüksek sıcaklık grubu malzemelerin prizlenme, ve ısıl genleşmeleri ile son boyutsal değişimleri 85

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 5.1 Alçı bağlı kalıpların yapımında kullanılan toz malzemelerin tane boyutları 66

Çizelge 5.2 Alçı bağlı kalıp malzemesi bileşimleri 68

Çizelge 5.3 Yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemelerinin bileşimleri 72

HASSAS DÖKÜMDE BOYUTSAL HASSASİYETE VE YÜZEY KALİTESİNE ETKİ EDEN UNSURLAR

Kerem Altuğ GÜLER
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

İlk uygulama örnekleri çok eski çağlara dayanan hassas döküm yöntemi, modern üretim teknikleri içerisinde de olukça önemli bir yere sahiptir. Hassas döküm yöntemi, işlenerek üretilmesi zor karmaşık şekilli parçaların üretiminde kullanılan veya işlenmesi zor metallerden tek kademede parça üretmek için tercih edilen özel bir döküm yöntemidir. Yöntemin hassaslığı kullanılan harcanabilen modelden gelmektedir. Modeller, düşük ergime sıcaklığına sahip ve kolay şekillendirilebilen genellikle mum veya benzeri bir plastik esaslı malzemeden üretilmektedir. Model ergitilerek kalıptan uzaklaştırıldığı için kalıplarda ayırma yüzeyi bulunmaz, kullanılan model ve kalıp malzemelerine bağlı olarak da yüzey kalitesi ve boyutsal hassasiyet geleneksel kum kalıba döküm yöntemlerine göre yüksektir. Hassas döküm, son veya son şekle yakın bir üretim sağladığı için döküm sonrası işlemleri en aza indirger.

Hassas döküm yönteminin kabuk ve dereceli olmak üzere iki çeşidi vardır. Kabuk hassas döküm yönteminde model ağacı çevresinde katmanlı bir seramik kabuk oluşturulur. Dereceli hassas döküm yönteminde ise kalıp, içi boş silindirik bir derece içerisinde oluşturulur. Modelin yerleştirildiği derece içerisine hazırlanan seramik çamurunun dökülmesi ile kalıp tek kademede yapılır. Dereceli hassas dökümün başlıca kullanım yerleri kuyumculuk ve ağız içi protezlerin üretimidir.

Bu çalışmada dereceli hassas kalıba döküm yöntemi ile yüksek boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesine sahip parça dökümü için alçı ve yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemesinin geliştirilmesi ve kalıplama prosedürünün tespiti hedeflenmiştir. Laboratuvar şartlarında üretilen kalıp malzemeleri ve endüstriyel olarak kullanılan ticari kalıp malzemeleri ile dökümler yapılmış ve gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmalarıyla çeşitli değişkenlerin yüzey kalitesi ve boyutsal hassasiyet üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Alçı bağlı kalıp malzemeleri özellikle kuyumculukta takı üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır ve nispeten düşük döküm sıcaklığına sahip (< 1200 °C) metal ve alaşımların dökümünde tercih edilmektedir. Laboratuar şartlarında ticari alçı bağlı kalıp malzemeleri ile aynı özellikleri gösteren alçı bağlı kalıp malzemeleri geliştirilmiş ve döküm işlemlerinde başarıyla kullanılmıştır. Dereceli hassas döküm kalıp malzemelerinden yüksek sıcaklık (>1200 °C) dökümlerine uygun olanları çoğunlukla fosfat bağlı olanlardır. Bu malzemeler yine kuyumculukta ve ayrıca ağız içi protezlerin dökümünde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemeleri fosfat bağlı kalıp malzemelerine alternatif bir türdür. Laboratuar şartlarında yüksek alümina çimentosu üretilmiş ve bu bağlayıcı bileşen ile çeşitli kalıp malzemesi kompozisyonları geliştirilmiş ve özellikleri fosfat bağlı ticari malzemeler ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda öncelikle tez çalışmasının ana amacı olan alçı bağlı ve yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemelerinin geliştirilmesi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Dereceli hassas döküm yönteminde boyutsal hassasiyete ve yüzey kalitesine etki eden unsurlar da büyük ölçüde tespit edilerek nedenleri ve nasıllarıyla birlikte ortaya konmuştur. İleriye yönelik olarak, çalışma konusu özellikle bağlayıcı morfolojilerinin değiştirilmesi ve geliştirilmesi yönünde devam ettirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Dereceli hassas döküm, boyutsal hassasiyet, yüzey kalitesi

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

THE FACTORS EFFECT DIMENSIONAL ACCURACY AND SURFACE QUALITY IN THE INVESTMEN CASTING

Kerem Altug GULER
Department of Metallurgical and Material Engineering
PhD. Thesis

Advisor:
Prof. Dr. Mustafa CİGDEM

Investment casting is one of the important modern manufacturing technique and its prior applications are dating back to ancient times. Investment casting technique is used for fabrications of complex shaped components or hard metals and alloys which are difficult to produce with machining. The precision of the technique comes from disposable pattern. Generally patterns are made from wax or similar polymer based material which have low melting point and can be easily shaped. Patterns are removed from moulds with melting and there is no parting line on the cast parts. Depending on the pattern and mould materials, dimensional accuracy and surface quality of the investment casting is significantly higher than conventional sand casting process. Investment casting is a net or near net shape process so it minimize the further processes.

There are two types of investment casting; investment shell mould casting, investment flask mould casting (block mould). In the shell mould process, pattern trees are covered with ceramic layer by layer to form a solid shell around the patterns. In the flask mould process, cylindrical hollow metal flasks are used for mould making. The flask is placed around the pattern tree and ceramic slurry is poured into it. The main uses of the investment flask moulds are jewellery and oral prosthesis castings.

In this study, determination of moulding procedure and development of plaster bonded and high alumina cement bonded investments to produce castings with high dimensional accuracy and surface quality were aimed. Laboratory made and commercial investments were used for casting experiments and effects of several parameters on the dimensional accuracy and surface finish were investigated with characterization tests.

Plaster bonded investments are used for especially jewellery castings are referred for relatively low melting point (< 1200 °C) metals and alloys. In the laboratory conditions plaster bonded investments were developed with similar characteristics to the commercial ones and successfully used. The investments which are appropriate to the high melting point (> 1200 °C) castings are generally phosphate bonded ones. These mould materials are used for also jewellery and dental castings for many years. High alumina cement bonded investments are an alternative to the phosphate bonded investments. High alumina cement was produced in the laboratory conditions and this bonding component is used for developing new investments and their characteristics were compared with commercial phosphate bonded investments.

In the results of the experimental studies first, development of the plaster bonded and the high alumina cement bonded investments that is the main aim of the thesis was successfully realized. The factors effects the surface quality and dimensional accuracy in the flask mould investment castings were largely determined and introduced with reasons. As a further work, study can be carried to modify and develop the morphologies of the bonding components.

Key words: Investment flask casting, dimensional accuracy, surface quality

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Döküm, metallerin birincil şekillendirilmesi için iyi bilinen bir tekniktir. Hassas döküm özellikle kuyumculuk ve dişçilik sanayinde üretim için kullanılan bir işlemdir. Mikro döküm çeşitli metalleri şekillendirmeye uygun hassas döküm tabanlı bir işlemdir. Çoğunlukla milimetre boyutlarından santimetre boyutlarına kadar kıymetli metal alaşımlarından parçalar için kullanılır. Avantajları, çok yönlü olmasıdır; örneğin çok karmaşık şekillerin üretimine olanak verir ve sonrasındaki işlemeyi en aza indirerek ekonomik olarak verim sağlar. Parça boyutlarının daha da küçültülmesine yönelik pek çok araştırma yapılmıştır, böylelikle mikrometre boyutlarında küçük parçalar veya mikro boyutta yapılar taşıyan daha büyük parçalar hassas döküm ile üretilebilmektedir. Genelde çalışmalar, üretim sonrası işlem gerektirmeyen ve düşük yüzey pürüzlülüğü ile yüksek geometrik boyutsal doğruluk gösteren parçaların üretimine odaklanmıştır [1].

Dökümle parça üretimi, beş temel klasik imal usulleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Döküm parçaların kaliteleri, mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikler, boyutsal hassasiyet ve yüzey düzgünlüğü değerleri / kriterleri ile değerlendirilmektedir. Bu yöntemin daha da yaygınlaşmasının önündeki en önemli engel yukarıda adı geçen özelliklerin yetersizliğidir. Bu özellikler üzerinde yapılacak iyileştirmeler oldukça ekonomik ve hızlı bir imalat yöntemi olan döküm prosesinin ağız içi ve vücut implantları, takı ve endüstriyel kalıplar gibi katma değeri çok yüksek hassas parçaların üretiminde kullanımını daha da yaygınlaştıracaktır.

Ülkemizdeki sanayi kolları içerisinde döküm sektörü önemli bir yer teşkil etmektedir ve bu önemini uzun bir süre daha korumaya devam edecektir. Bu nedenle özel döküm yöntemlerine yönelik proseslerin geliştirilmesi ve prosedürlerinin iyileştirilmesi ülke ekonomisi açısından da hayati önem taşımaktadır. Ülkemizde protez, takı ve kalıp imalatında kullanılan hassas döküm tozlarının tamamı ithalat yoluyla karşılanmaktadır.

Mikro parçaların hassas dökümü, iyi bilinen bir işlem olan dişçilik dökümlerinden türetilmiştir. Kıymetli metaller için oluşturulan işlemde temel olarak fosfat esaslı kalıp malzemeleri kullanılmaktadır. Dişçilik parçalarının üretimi ile karşılaştırıldığında mikrometre boyutlarında parça üretimi özellikle toleranslar ve yüzey düzgünlüğü açısından daha yüksek hassasiyet gerektirmektedir.

Kalıp malzemesi, sert alçının (bağlayıcı) ince taneli kuvars tozu ile karıştırılmasıyla yapılır. Sonradan seramik çamuru oluşturmak için karışıma su eklenip karıştırılır. Vakum altında karıştırma hapsolmuş havanın en aza indirilmesi için avantajdır. Hazırlanan çamur, içinde mumdan yapılmış besleyici sistemli yolluğa monte edilmiş plastik model bulunan boşluğa dökülür. Alçı ile su arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu çamur sertleşir. Kurumanın ardından katı haldeki kalıp fırında ısıtılır. Bu sırada plastik model ergir ve pirolize uğrarken alçı esaslı kalıp malzemesi sinterlenir. Çoğunlukla kalıp sinterlenme sıcaklığında, vakum veya merkezkaç döküm tekniği kullanılarak ergimiş metal ile doldurulur. Birinci teknik üç adımın kombinasyonundan oluşur: İlk olarak boş kalıp vakumlanarak içindeki boşlukta kalan gaz uzaklaştırılır, ikinci adımda eriyik kalıp içine dökülür ve son adımda eriyiğe üst basınç uygulanarak çok ince boşlukları doldurması sağlanır. İkinci döküm tekniğinde kalıbın doldurulması merkez kaç kuvveti kullanılarak yapılır. Metalin katılaşmasının ardından döküm parça kalıptan çıkartılır. Dökümün ve kalıp bozmanın ardından kalıp malzemesi artıkları parçaların üzerinde kalır. Mikro boyuttaki parçalar için bunların kimyasal olarak uzaklaştırılması avantajlıdır [2].

20. yüzyılın ikinci yarısından sonra hassas döküm, kıymetli metallerden takı üretiminde en önemli fabrikasyon işlemi olarak gelişmiştir. Ayrıca ince hatlı mücevherlerin üretiminde, tekrarlı motifleri olan geniş parçalarda ve el yapımı mum modeller ile takı tasarımında da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gümüş sanayinin kum kalıba döküme dayanan uzun bir tarihi vardır. Gümüşçüler, kuyumculardan farklı olarak hassas döküme uyum ağlaması daha yavaş olmuştur. Uzun yıllardır geleneksek gümüşçülük ve kum kalıba gümüş dökümü kaybolmuştur. Bu zaman zarfında hassas döküm yöntemi ile nispeten büyük parçaların dökümü mümkün hale gelmiş ve gümüşçüler bu parçaların üretimine dönmüşlerdir.

Kaybolan mum tekniği ile takı dökümünün tarihi, işlemin antik çağlardaki başlangıcına kadar gider. Ancak modern teknik ile kitlesel üretim 20. yüzyılda, 19. yüzyılın sonlarında ortaya çıkan dişçilik dökümlerinden geliştirilmiştir. Modern işlemin başlangıç noktası Philbrook'un 1890'larda hassas döküm kalıp çamurunu geliştirmesi ile başlamıştır. Modern hassas döküm sanayi kuruluşunu, ona ve dişçilik alanında ondan sonra gelenlere borçludur.

İlk dişçilik dökümleri kıymetli metal alaşımlarından yapılmaktaydı ve bu tekniği kuyumculuk için kullanmak küçük bir adımdı. İlk gerçek takı hassas dökümü de dişçilik teknisyenleri tarafından yapılmıştı [3].

Bu çalışmanın ana amacı dereceli hassas kalıba döküm yöntemi ile yüksek boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesine sahip parça dökümü için genleşen tip alçı bağlı kalıp malzemesi ile yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemesinin geliştirilmesi, kalıplama prosedürünün tespiti ve döküm prosedürünün oluşturulması hedeflenmiştir.

İstenilen boyutsal hassasiyetin eldesi amacıyla kalıp malzemesi prizlenme genleşmesi ve termal genleşme olmak üzere iki temel öğe baz alınarak dizayn edilmiştir. Yüzey kalitesi açısından ise ortalama partikül boyutu, partikül boyut dağılımı aralığı ve Su / Toz oranı esas alınarak seçim yapılmıştır.

BÖLÜM 2

HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ

2.1. Hassas Dökümün Tarihçesi

L.B. Hunt hassas dökümün uzun tarihiyle ilgili araştırmalar yapmıştır. Metallerin ergitilerek kalıplara dökülmesi ilk insanların uygarlaşma yolunda attıkları en önemli adımlardan biridir. MÖ 4000 yılından önce farklı bölgelerde bağımsız olarak renkli mineraller malakit ve azurit ile yapılan denemeler sonucunda bakır tasfiyesi başlamıştır. Bu metalurjideki ilk adımın kesin tarihi ve yeri bilinmemesine rağmen aynı zamanlarda Anadolu, İran, Suriye, Filistin ve Tayland'da başladığını gösteren kanıtlar bulunmuştur. Bir sonraki aşama elbette ki bakırın, taştan, bazen de kilden yapılmış açık kalıplara dökülmesi ile basit parçaların üretimi olmuştur. Bunu takiben iki parçalı kalıplar ile bütün yüzleri şekillendirilmiş parçalar üretilebilmiştir. İlk tasfiye ve ergitme işlemleri muhtemelen çömlek pişirilen fırınlarda yapılmıştır ve ilk metal işçileri bu iş için ve ayrıca potalar için çömlekçilerin yardımını almış olmalıdır. O zamanlarda yakın doğuda veya herhangi bir yerde çömlekçiler çeşitli tanrılara adak olarak sunulan doğal veya sembolik insan ya da hayvan figürleri yapmaya alışkındılar. Bu tip heykelcikler asırlar boyu çeşitli taşlara oyulmuştur; bunun yanında dini nitelikli objeler olarak veya ateşe atılıp yakılarak düşmanlardan gelecek lanetleri uzaklaştırmak amacıyla balmumundan küçük insan figürleri yapılmıştır.

MÖ 4. Bin yılın ortalarında bilinmeyen bir tarihte ve yerde muhtemelen bağımsız olarak birden fazla bölgede bir çömlekçi veya metal işçisi, büyük ihtimalle ikisi birden, parlak bir fikir ortaya çıkardılar. Balmumundan işlenmiş bir modeli kil ile kapladılar sonra bu kompozit yapıyı ısıtıp, kili sertleştirdiler; mum ergiyerek uzaklaştı ve böylece elde edilen kalıbı kullanarak mumdaki tüm detaylara sahip döküm yaptılar. Bu yenilik büyük bir coşkuyla karşılanmış olmalıydı. Önceki tekniklere göre pek çok avantajla, her şekilde obje çok daha özenli bir şekilde üretilebiliyordu. Taşla kıyaslandığında insan kol ve bacakları, hayvan ayak ve boynuzları çok daha kolay bir şekilde işlenebiliyor ve kil ile karşılaştırıldığında elde edilen dayanıklılık çok yüksek oluyordu. Mum yabani arılardan elde edilebiliyordu ve zaten farklı amaçlar için kullanılan ticari bir üründü, arıcılık ise yine erken zamanlarda Batı Asya'da başlamıştı.

Kaybolan mum döküm tekniğinin (hassas döküm) bu başlangıcı, arkeologlar tarafından tekniğinin isminin Fransızcası olan “cire perdue” olarak adlandırılır. İlk dökümler arı bakırla yapılmış ve bunu arsenikli bakır ile kalay bronzu dökümleri izlemiştir, bunlardan kısa bir süre sonra da altın dökümleri gerçekleştirilmiştir.

Hassas dökümün bazı ilk bakır örnekleri Mezopotamya'da MÖ 3500 civarında, yazının icadından önce kullanılan, kireç taşı veya manyezite oyulan mühürlerin arkasına monte edilen hayvan figürlerinde görülmektedir. Aynı zaman dilimine ait benzer örnekler, eğilmiş dağ keçisi ve farklı hayvan figürlerindeki büyük elbise iğneleri şeklinde Elam' da (Güney Batı İran'da) bulunmuştur ve günümüzde Louvre Müzesi'nde sergilenmektedir. Bir kaç yüzyıl sonra ise yine benzer örneklere bu defa Truva'da ve çeşitli Yunan şehirlerinde rastlanmaktadır [4].

2.2. Hassas Döküm Yönteminin İşlem Adımları

Hassas döküm yönteminde, harcanabilen bir modelin etrafı, oda sıcaklığında sertleşen bir refrakter çamurla sarılarak hazırlanan bir kalıp kullanılır. Genellikle mum veya benzeri plastikten hazırlanan model daha sonra ergitilerek veya yakılarak kalıp boşluğu meydana getirilir. Bu nedenle hassas döküm yöntemine "harcanan (kaybolan) mum yöntemi" adı da verilir [5].

Hassas dökümün avantajları:

1. Geleneksel döküm yöntemleri ve makineyle işleme yolundan imali zor veya bazen imkânsız 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 imkânı 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.

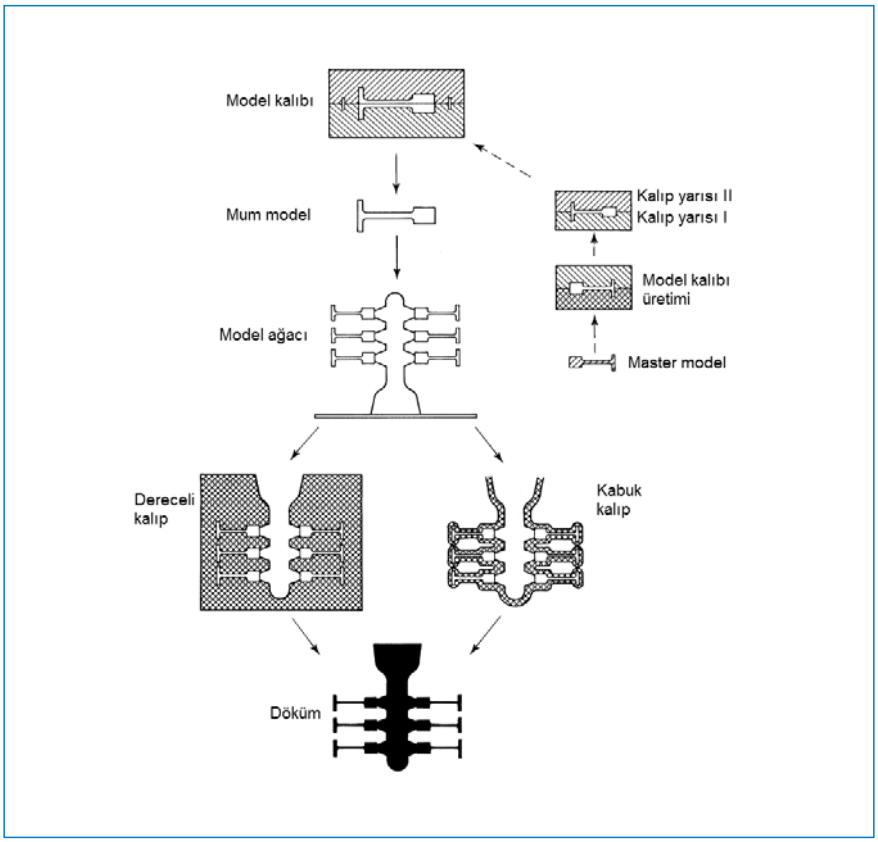
8. Hassas döküm yönteminde tek parça kalıp kullanıldığından ayırma yüzeyi veya "mala işlem yüzeyi" yoktur. Ve parça üzerinde, diğer döküm yöntemlerinin ürünlerinde olduğu gibi bu yüzeyin izi bulunmaz [6].

9. Kalıp hazırlama açısından Şekil 2. 1'de görüldüğü gibi 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. [6]

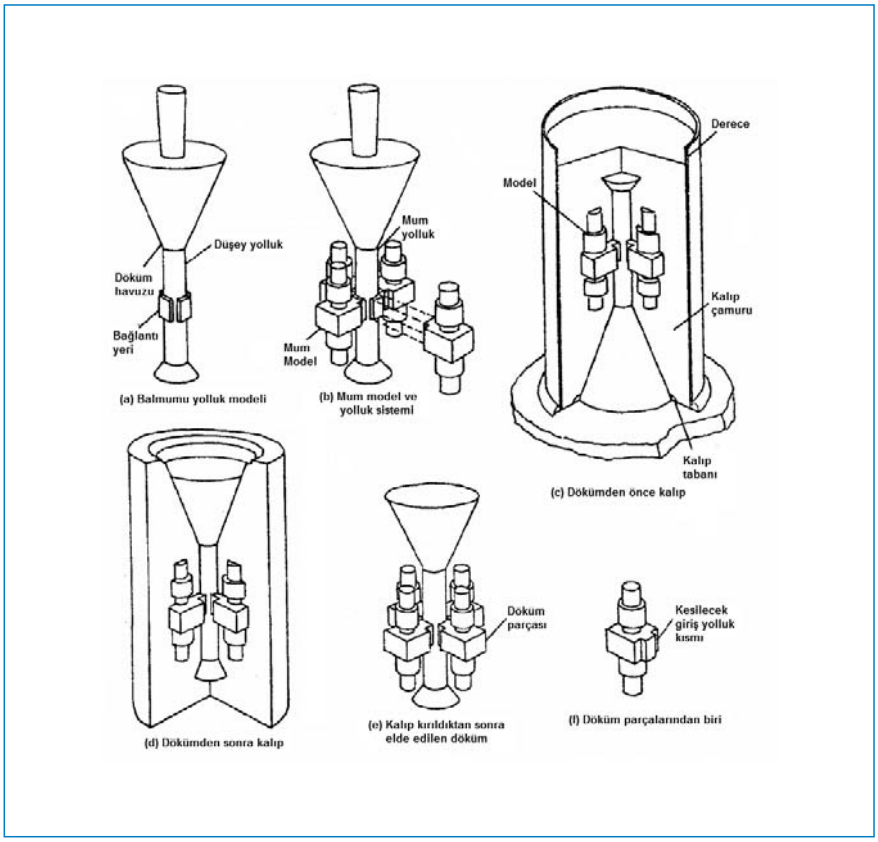


Şekil 2. 1. Hassas döküm teknikleri şeması [7]

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 nispeten düşük olanlar) modelde ön kaplamaya ihtiyaç olmamakla beraber, demir esaslılarda ön kaplama yapmak standart uyguluma haline gelmiştir. Ön kaplama ince taneli refrakter çamurla yapılır; bunu üzerine yapılacak kaplama ise iri tanelidir. (>150 mesh). 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.

2.3. Dereceli Hassas Döküm

Dereceli hassas döküm kalıbının hazırlanması ve döküm işlemi aşağıdaki Şekil 2. 2'de



Şekil 2. 2. Dereceli hassas döküm tekniği şeması [8]

Mumun kalıptan uzaklaştırılması, buharla ya da kuru olarak yapılabilir. Kuyumculuk sektöründe genellikle ergime sıcaklığı 60-70 0C 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 [9].

Bazı koşullarda, dökümcüler mumun uzaklaştırılması işleminde buhar kullanırlar. Buharla mumdan arındırılan derecelerde yapılan dökümlerde, kuru mumdan arındırılan derecelerde yapılan dökümlere kıyasla gaz gözenekliliği azdır ve yüzeyler daha pürüzsüzdür [6].

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 ısıl şok dayanımına sahiptir [9].

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 [10].

2.3.1. Esnek Mum Kalıpları

Takı dökümü için hassas döküm işleminin gelişmesindeki anahtar adım, esnek vulkanize kauçuk mum model kalıplarının yapım tekniğinin Jurgensen tarafından 1935'de Kanada'da geliştirilmesidir. Kalıplar normal takı üretim teknikleri ile üretilmiş master modeller kullanılarak yapılır ve kuyumculara karmaşık şekilli altı kesik mum modellerin hızlı ve ucuz üretimini sağlar. İşlem yetenekli kalıpçılara gereksinim duymaz ve geleneksel kalıplarda presle üretilen parçalardan çok daha karmaşık şekilli parçaların üretimine olanak verir.

İşlemin geliştirilmesi II. Dünya Savaşı nedeniyle gecikmiş ve 1940'ların sonuna kadar Avrupa'ya ulaşamamıştır. Bu arada Jurgensen'in güçlü patenti nedeniyle ABD'de alternatifler aranmış ve düşük ergitme noktalı alaşımlar için çok parçalı kalıpların yapım işlemi geliştirilmiştir. Basit altı kesik olmayan modeller için yöntem tatmin ediciydi ve kauçuk kalıplara mum enjeksiyonunda kullanılan ekipmanlarla kullanılabilmekteydi. Bu yöntem lisans ücretinden kaçınmak için üreticiler tarafından yaygın olarak kullanılmıştır. Ne zaman ki 1950'ler civarında kauçuk kalıp kullanımı serbest hale gelmiştir, kolay ergiyen alaşımların kalıplarının kullanımından, birkaç yüksek hassasiyet gerektiren modellerde uygulanması hariç, vazgeçilmiştir [3].

2.3.2. Kauçuk Kalıp Yapımı

Yüksek kalitede ürün elde etmek için gereken bir diğer önemli işlem kauçuk kalıbın doğru tasarımıdır. Hassas dökümle üretilebilecek parçalar için neredeyse hiçbir sınır yoktur. Tek sınır, tasarımcının hayal gücü ve yaratıcılığıdır. Kalıp yapımını öğrenmek uzun süreli pratik gerektiren bir iştir.

Doğal, sentetik ve silikon kauçuklar olmak üzere pek çok tür ticari kauçuk mevcuttur. Her türün ayrı özellikleri vardır ve dökülecek parçanın şekline göre en uygunu olanı tercih edilir. Genellikle doğal kauçuk daha dayanıklı ve aşınmaya karşı dirençliyken, silikon kauçuğun dayanımı düşük ancak ince detayları kopyalama kabiliyeti daha yüksektir. İki bileşenli vulkanizasyon gerektirmeyen kauçuklar ticari olarak en son ortaya çıkan malzemelerdir. Görünüşe göre kullanımları kolaydır ancak diğer kauçuk türlerine göre aşınma dayanımları oldukça düşüktür. Her tür kauçuk dikkatlice kullanılmalıdır, üreticilerin tavsiyelerine sıkı olarak uyulmalıdır.

Kalıp yapımı öncesinde master model, yağ giderici çözelti içeren ultrasonik banyoda dikkatlice temizlenmelidir. Vulkanize kauçuk kullanıldığında kauçuk, metal bir çerçeve içerisine (tercihen dövme alüminyum) kat kat sıkıca yerleştirilir. Model, kauçuğun merkezine yerleştirilir ve üzerine eşit sayıda kauçuk katı konur. Vulkanizasyon presinin sıcaklık kontrollü plakaları vardır. Kullanılan kauçuk çeşidine bağlı olmakla birlikte 150-160 °C arasında basınç altında vulkanizasyon gerçekleşir. Plakalar açılarak metal çerçeve presten alınır ve kalıp tek parça olarak çıkartılır. Keskin bir bıçak veya neşterle kauçuk kalıp iki yarıya ayrılır ve master model kalıptan çıkartılır. Kauçuk kalıbın ikiye kesilmesi kalıp yapımının en çok beceri ve tecrübe gerektiren kısmıdır. Kesilen parçaların model çıkarıldıktan sonra birbirini tam olarak karşılaması ve kapanması gerekmektedir. Doğru şekilde ikiye ayrılmamış kalıplar mum enjeksiyonu sırasında sorunlara neden olacaktır [11].

Hassas dökümde işleme toleranslarını belirlemedeki en önemli faktör mum modelin boyutsal değişimidir. Model kalıbı ile mum model arasında oluşan boyutsal değişim, ısıl genleşme, daralma ve sıcak deformasyon gibi olgulardan oluşan bir fenomendir. Model kalıbının boyutları mumun termofiziksel ve termomekanik özellikleri ile kısıtlayıcı geometrik etkenlere, kalıp çevrim süresine, kalıp sıcaklığına, enjeksiyon basıncı ve sıcaklığına göre belirlenir [12].

2.3.3. Hassas Döküm Model Mumları

Mum insanoğlunun bildiği en eski termoplastik malzemedir. Sıvı, yarı sıvı ve plastik hallerde şekillendirilebilmesinden dolayı tarihi, el sanatları ve hassas döküm sanayinin gelişmesi ile yakından bağlantılıdır. Eski çağ Çin ve Mısır sanatkârları kaybolan mum tekniğini kullanırlardı ancak kullanılan mum sadece balmumuydu. Günümüzde ise hassas döküm sanayinde bu tekniğin ismi muma benzer özellikli tüm malzemeler için kullanılmaktadır.

Modern hassas döküm model mum karışımları, doğal hidrokarbon mumu, doğal ester mumu, sentetik mum, doğal ve sentetik reçineler, organik dolgu malzemeleri ve su gibi çok sayıda karmaşık bileşikten oluşmaktadır. Bu çok çeşitli bileşikler, ergime noktası, sertlik, viskozite, genleşme/büzülme ve kürleşme oranı gibi mum bileşenlerinin yapısından ve bileşiminden etkilenen özelliklerin ve gerekliliklerin belirlenebilmesi için formüluze edilmektedir. Hidrokarbon mumu, doğal ester mum, çeşitli tiplerde sentetik mumlar ve bazı reçineler ile ilgileniyorsak, düz zincir şeklinde dizilmiş karbon atomlu bileşikler ile ilgileniyoruz demektir. Bunun yanında bazı reçineler ve dolgu malzemeleri halka şeklinde dizilmiş karbon atomlarından oluşmaktadır.

Genellikle kısa zincirler düşük ergime noktası ve düşük sertlik anlamına gelir. Zincir uzunluğunun artmasıyla sertlikle birlikte ergime ve katılaşma noktası yükselir. Zincir uzunluğu mumun viskozitesini ve çözünebilirliğini de etkiler.

Döküm mumu çok sayıda farklı zincir uzunluğuna sahip bileşiğin karışımından oluşmaktadır ve diğer maddelerden farklı fiziksel davranışlar gösterir. Mum, diğer homojen kimyasal bileşikler gibi hemen ergimez ancak ara hallere geçiş yapar.

Mumun yapısı ve bileşenleri genleşme/büzülme özelliğini etkiler. Diğer malzemeler gibi mum ısı altında genleşir, soğurken büzülür. Bir metal ile karşılaştırıldığında mumun genleşmesi nispeten yüksektir. Mumların genleşme ve büzülme oranı 20 °C ile ergime noktası arasında eş biçimli değildir; ancak sıcaklık aralığı yapının bir fonksiyonudur.

Kristalin malzeme herhangi bir katı gibi davranarak, katı halde nispeten düşük genleşme gösterirken, sıvı hale geçince birden bire keskin bir geçişle yüksek bir genleşme gösterir ve bu durum ani genleşme artışı olarak tanımlanır. Sıvı halde yine genleşme düşüktür.

Mumlarda kısa zincirli kısım düşük sıcaklıklarda bile yumuşaktır ve genleşme eğrisine kademeli bir artış verir. Yüksek molekül ağırlığına sahip kristalin kısımda ise genleşme artışı basamaklı olur ve sıvı halde genleşme artışı yine düşüktür.

Kristalin olmayan reçine ise farklı davranır, başlangıçtan sıvı hale kadar eş biçimli bir genleşme sergiler. Kristalin olmadığı için keskin bir genleşme artışı göstermez. Bundan dolayı çeşitli reçinelerin muma ilavesi kristalin yapıyı azaltır ve genleşme/büzülme kapasitesinin azalmasına yardımcı olur.

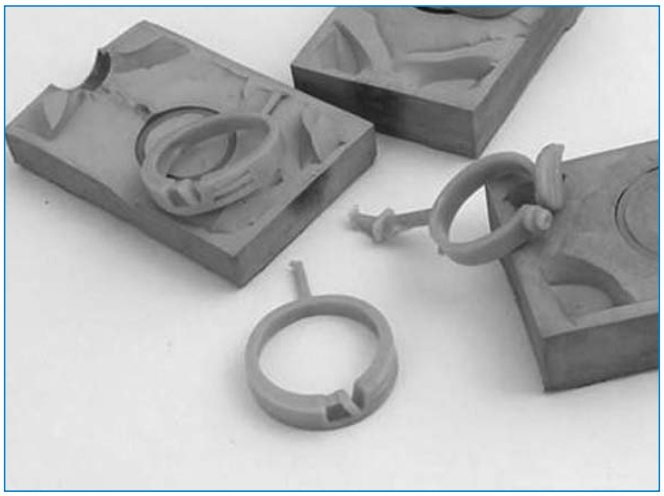
2.3.4. Mum Model Üretimi

Ergime aralığı dar olan mumlar hassas dökümde model üretimi için tavsiye edilir. Mum türü üretilecek parçaya bağlı olarak belirlenmelidir. Kullanılan mumların fiziksel karakteristiklerini bilmek çok önemlidir. Sertlik, yoğunluk, kül içeriği, doğrusal ve hacimsel ısıl genleşme bilgileri doğru mum seçimi yapmak için önemlidir.

Örneğin, ısıl genleşme soğuma büzülmesini değerlendirmede ve döküm parçanın gerçek boyutlarını hesaplamada kullanılabilir. Viskozite mumun kalıbı tamamen doldurabilme kabiliyeti ile ilgili bilgi verebilir ve yoğunluk dökülecek metal miktarını hassas bir şekilde hesaplamak için kullanılabilir.

Mum Enjeksiyonu: Sıcaklık, mum model üretimi için temel parametredir. Sadece mum sıcaklığı değil, pres nozul sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı da önemlidir. Endüstriyel mum presleri, mum sıcaklığı ile birlikte nozul sıcaklığını da kontrol eden ve gösteren sistemlere sahiptir ve bunların iyi kalitede model üretiminde çok etkilidir. Mum sıcaklığı çok düşük olduğunda kalıp tam olarak dolmayabilir, çok yüksek mum sıcaklığı da kabarcık oluşumuna ve fazla büzülmeye neden olabilir.

Sıcaklığın yanında bir diğer hayati parametre de basınçtır. Basınç değişimi mum modellerin ağırlığında belirgin değişimlere neden olur ki bu da ergitilecek metal miktarını değiştirir. Her kalıbın ve her ayrı tür mumun gerekli özel basınç seviyesi, sıcaklığı ve uygun soğuma süresi vardır. Farklı parametreler arasında en iyi uzlaşma tecrübeyle ve denemelerle bulunmaktadır. Parametrelerdeki uzlaşma model üretimi sürecinde değişim gösterebilir. Örneğin kullanıma yeni alınmış soğuk bir kalıp için başlangıçta parametreler doğru olabilir; ancak kalıp sıcaklığı zamanla artacağından iyi çalışmaya devam etmeyebilir. Bu nedenle kalıbın soğuma süresi de doğru hesaplanmalıdır. Son olarak, mum modeller toz almayacak serin bir ortamda düz bir zeminde depolanmalıdır, gelişigüzel üst üste yığılmamalıdır; çünkü bu durumun aksi, şekil ve yüzey bozulmalarına neden olabilir [11]. Kauçuk kalıp ile mum model örnekleri Şekil 2. 3'te görülmektedir.



Şekil 2. 3. Kauçuk kalıplar ve mum modeller [12]

Enjeksiyon parametreleri mum modellerin boyutsal hassasiyetinde önemli rol oynamaktadır. Bu parametreler; enjeksiyon akış hızı, çevrim süresi, sıcaklığı, basıncı ve kalıp sıcaklığıdır. Çevrim süresi ve/veya enjeksiyon basıncı arttıkça büzülme azalır. Enjeksiyon akış hızının mum model boyutlarına etkisi azdır [13], [14].

2.3.5. Model Ağacı Tasarımı ve Yapımı

Mümkün olduğu kadar benzer şekilde boyutta ve ağarlıkta olan modeller aynı ağaca dizilmelidir. İnce ve kalın modeller aynı model ağacına yerleştirilmemelidir. Döküm sıcaklığı ince parçaları tam doldurabilmek için yüksek tutulduğunda kalın parçalar çok iyi çıkmayacaktır.

Farklı kalınlıkta parçalar aynı ağaca beraber dizileceği zaman hafif olanlar ağacın üst kısımlarına yerleştirilmelidir, çünkü bu kısımda basınç yolluk ağzına göre daha yüksektir.

Ana yolluk ile ara yolluk arasındaki bağlantılar düzgün ve iyi doldurulmuş olmalıdır. Bağlantı noktalarında daralmadan kaçınılmalıdır.

Geleneksel olarak ana yolluk ile ara yolluk arasındaki açının 45-60° olması tavsiye edilir. Son zamanlarda ise statik vakum dökümlerde 70-80° gibi daha geniş açılar önerilmektedir. Yapılan en son araştırmalarda en iyi sonuçların modellerin ana yolluğu dik olarak kaynatıldığı zaman alındığı rapor edilmiştir. Bu şekilde iki avantaj birden sağlanmış olur; yönlenmiş katılaşma daha fazla desteklenerek çekme boşluğu oluşumu ihtimali azalır ve kalıp boşluğundan gaz çıkışı kolaylaşır, çünkü derecenin dışına ulaşabilmek için gaz daha ince bir kalıp katmanından geçecektir. Bu şekilde hapsolmuş gazın sebep olduğu gaz boşluğu oluşumu azalır.

Kauçuk altlık model ağacı yapımı için başlangıç noktasıdır, dikkatle seçilmesi gerekir. Çoğunlukla kauçuk altlık döküm ağacının tabanındaki yolluk ağzını oluşturur.

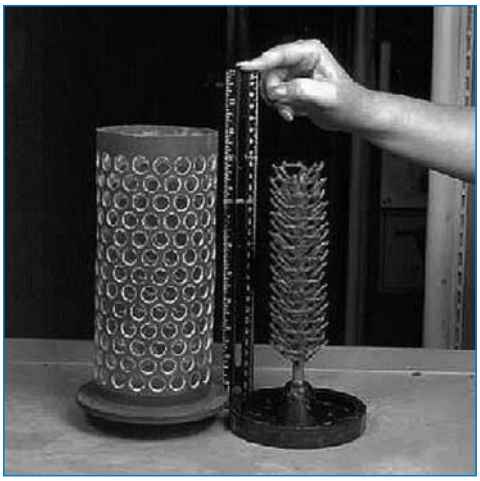
Altlığın temiz olması ve kalıp malzemesi artığının bulunması gerekir. Kullanılmış kalıp malzemesi artıkları yeni dökülecek kalıbın prizlenme süresini önemli ölçüde değiştirebilir.

Yolluk ağzı koni şeklinde olan kauçuk altlıklar, yarım küre şeklinde olanlara göre daha çok tercih edilir. Yarım küre şeklindeki yolluk ağzı basınç kaybına ve türbülansa neden olabilir. Altlığın merkezindeki ana yolluğun geçtiği kısım aşınmış olursa kalıpta o bölgede istenmeyen bir basamak oluşabilir, bu durumda da basınç kaybı ve türbülans oluşabilir. Dökümhanelerde kullanılan her altlığa bir kod numarası verilir ve ağırlığı kaydedilir.

Ana yolluk yapımında model mumlarına göre daha düşük ergime noktalı bir mum kullanılması daha uygundur. Bu şekilde mum almada ana yolluk ilk olarak erir ve model mumları erimeye başladığında kalıp içerisinde gerilme oluşumu engellenir.

Hafif konik ana yolluklar standart silindirik olanlara göre tercih edilir. Koniklik daha iyi bir ısı dengesi sağlar; katılaşma ağacın tepesinden (küçük çaplı kısımdan) tabanına doğru ilerleyerek yönlenmiş katılaşma sağlanmış olur. Çekmeden dolayı oluşacak gözeneklilik tehlikesi de azaltılmış olur.

Her durumda ana yolluğun kesit alanı dikkatli bir şekilde belirlenmelidir, çünkü bu ağacın ölçülerine ve dökülecek parçaların boyutlarına ve şekline bağlıdır. Şekil 2. 4'te Kauçuk tabana yerleştirilmiş bir mum ağacı derecesi ile birlikte görülmektedir [11].



Şekil 2.4. Mum ağacı ve derece [15]

2.3.6. Mum Giderme

Kalıp malzemesi üreticileri tarafından yürütülen son çalışmalarda önerildiği üzere, derecelerin doldurulmasının ardından 1-2 saat süre içinde prizlenme tamamen sona erdikten sonra mum alınarak kalıp, metal dökümü için boşaltılmalıdır.

Mum alma iki şekilde gerçekleştirilebilir; kuru (bu eski metottur) veya buharla. Kuru mum alma çoğunlukla pişirme fırınında, pişirme işleminin bir parçası olarak yapılmaktadır. Ayrıca esas pişirme öncesi başka bir fırında da mum alma işlemi yapılabilir. Başlangıçta buharla mum alma, yanan mumun çıkardığı dumanın neden olduğu hava kirliliğini engellemek amacıyla ekolojik nedenler doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Sonradan buharda mum almanın dökümlerde gaz boşluğunu azaltarak daha yüksek ürün kalitesi sağladığı belirlenmiştir. Araştırmalar göstermiştir ki hassas dökümde iki tür gaz boşluğu oluşumu vardır; kalıp içinde hapsolan gazdan dolayı ve reaksiyon sonucu oluşan gazdan dolayı. Birinci tür, metal akışı sırasında oluşan türbülanstan kaynaklanır. İkinci tür gaz boşluğu ise alçı bağlı malzemelerde kalsiyum sülfatın parçalanarak kükürt dioksit gazı oluşturması ve bu gazın metal içinde kalması sonucunda oluşur. Normalde kalsiyum sülfatın parçalanması 1140 °C'da başlar; ancak silikanın ve mum artıkları gibi indirgeyici karbonun varlığında bu sıcaklık düşer.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki kuru mum almada kalıbın iç yüzey gözenekleri mum ile dolmaktadır ve tamamen uzaklaştırılması zordur. Bu nedenle pişirme sırasında karbon artıkları kalsiyum sülfatın parçalanmasını kolaylaştırarak kalıp dayanımının azalmasına ve döküm parçalarda gaz boşluğu oluşumuna sebebiyet verir. Karşıt olarak buharla mum almada, nem kalıp malzemesinin gözeneklerini doldurarak mum emilimini engeller. Böylece kalsiyum sülfat parçalanmasını azalır. Bu sebeple buharla mum alma bir süre tercih ve tavsiye edilmiştir

Bütün bunların yanında son çalışmalar buharla mum alma ile ilgili bazı şüpheler ortaya koymuştur. Buharla mum alma kalıp malzemesini bileşenlerinin morfolojisini modifiye ederek geçirgenliğin azalmasına neden olabilmektedir. Bu konudaki çalışmalar devam etmektedir ve bir yöntemin diğerine göre üstünlüğü belirli değildir.

Tercih edilen mum alma metodu ne olursa olsun, mum alma ve pişirme arasında kalıpların soğumasına asla izin verilmemelidir. Kalıp ısıl gerilime maruz kalabilir ve dayanımı azalır.

Mücevher taş bulunan kalıplarda buharla mum alma tavsiye edilmez. Taşlı dökümlerde kullanılan kalıp malzemeleri taşı koruyan borik asit içerir ve borik asit buharda çözünerek kalıptan uzaklaşır ve taşları koruma görevi göremez [11].

2.3.7. Kalıp Pişirme

Kalıp pişirme işlemi mumdan kalan son artıkları yakmak ve kalıba döküm esnasında gereken refrakterliği ve karakteristikleri kazandırmak amacıyla yapılan bir işlemdir. Kalıbın son karakteristikleri büyük oranda pişirme çevrimine ve seçilen ısıtma hızı ile bekleme periyotlarındaki sıcaklık homojenizasyonuna bağlıdır. Bu nedenle kalıp malzemesi üreticilerinin tavsiye ettiği pişirme çevrimine kesin olarak uyulmalıdır. Kuvars ve kristobailt arasındaki oran kalıp malzemesi türüne ve üreticilerine göre farklılık gösterir bu durumda pişirme çevrimi de değişmelidir.

2.3.7.1. Pişirme Çevrimi

Isıtma çevriminde iki kritik nokta vardır. Birincisi, serbest suyun ve alçının kristal suyunun uzaklaştığı 100-120 °C arasıdır. Bu yavaş işlemde hacimce daralma meydana gelir. Bu nedenle sıcaklık yavaş yavaş arttırılmalı, çatlaklara neden olacak iç gerilim oluşumu engellenmelidir; aksi takdirde döküm parçaların uç kısımlarında kalıp çatlamasına bağlı olarak çapaklar oluşacaktır.

İkinci kritik nokta α-kristobalit - β-kristobalit dönüşümünün gerçekleştiği 250 °C civarıdır. Bu dönüşümde hacim artışı meydana gelir. Bu defa sıcaklık yeterli süre sabit tutularak dönüşümün kalıbın tamamında aynı şekilde gerçekleşmesi sağlanır.

Son olarak, alçı bağlı kalıp malzemeleri ile çalışıldığında maksimum çalışma sıcaklığı olan 750 °C'ın üzerine çıkılmamalıdır. Çünkü silikanın varlığında kalsiyum sülfatın parçalanmaya başlama sıcaklığı düşer ve sonuçta kalıp dayanımı azalır, sonuçta döküm parçaların yüzeyi kumlu bir hal alır.

Bunun yanında mumdan kalan karbon artıklarının tamamen uzaklaşmasını garanti etmek için 690 °C geçilmelidir. Genelde kabul gören en yüksek pişirme sıcaklığı 730 °C' dır.

Tipik bir pişirme çevrimi şu şekildedir: Mum almadan sonra kalıp, yavaşça bir saatte 250 °C'a ısıtılmalı ve bu sıcaklıkta iki saat tutulmadır, ardından bir saatte 450 °C' a ısıtılarak burada iki saat beklenmelidir, devamında yarım saatte 730 °C'a ısıtılıp üç saat tutulmalı ve son olarak seçilen döküm sıcaklığına inilerek dengelenmesi için en az yarım saat beklenmelidir. Kalıbın döküm sıcaklığı dökülecek parçanın ve kullanılan alaşımın bir fonksiyonu olarak seçilir. Örnek olarak verilen çevrimin süresi derece boyutlarına bağlı olarak değişmektedir. Büyük dereceler daha uzun süreler gerektirmektedir.

Tutma sıcaklıklarında, kalıbın tamamında sıcaklığın dengelenmesine yeterli olacak süre beklenmesi çok önemlidir. Kalıp malzemesinin ısı iletiminin zayıf olduğu hiç unutulmamalıdır. Kalıpların değişik noktalarına yerleştirilen ısıl çiftler ile yapılan ölçümler göstermiştir ki sıcaklık seviyesinden bağımsız olarak kalıbın merkezinin fırın sıcaklığına ulaşması için en az yarım saat gerekmektedir. Aynı durum çevrimin soğutma kısmı için de geçerlidir. Derecelerin pişirme çevrimi sırasında oda sıcaklığına soğumasına müsaade edilmemeli ve sonra yeniden ısıtılmamalıdır. Bu durum çatlak oluşumlarına ve kalite düşüklüğüne neden olacaktır.

Fırın atmosferi, karbon artıklarının tamamen yanması için kuvvetli oksitleyici olmalıdır. Bu nedenle fırınların aşırı doldurulmasından kaçınılmalı, derecelerin çevresinde hava sirkülasyonu için yeterince boşluk bırakılmalıdır.

Kalıp içerisinde mücevher taşlar bulunduğu zaman pişirme çevrimi, taşları korumak için modifiye edilmelidir. En yüksek sıcaklık 630 °C'ı geçmemelidir ancak karbon artıklarının uzaklaşması için tutma süresi uzatılmalıdır. [11]

2.3.8. Ergitme ve Döküm

Her takı atölyesi hazır alaşım almayabilir, bir kısmı döküm için gereken alaşımı ergitme sırasında yapar. Genellikle saf metal (altın, gümüş) uygun bir master alaşıma katılır. Tamamen saf metalleri kullanarak işe başlamak yerine bu yöntem daha çok tercih edilir.

Ergitilecek alaşımın aynı boyda taneler şeklinde olması tercih edilmektedir. Bu sıcaklık kontrolünde avantaj sağlar. Alaşım, küçük parçacıklar halinde olduğunda ergitmesi kolay ve hızlı olur, aşırı ısınma riski engellenebilir. Çoğu işletme alaşımlamayı ön ergitme ile yapar ve metali suya dökerek taneler elde eder. Taneleştirme işlemi, ergiyik metalin uygun bir potadan, tercihen tabandan boşalan tipte bir potadan, karıştırılmakta olan suya dökülmesiyle yapılır.

Temel olarak üç ergitme tekniği vardır; gaz torcu, elektrik rezistanslı fırın ve indüksiyon ergitme. Torç, en eski ergitme tekniğidir ve modern dökümhanelerde kullanımı artık çok sınırlıdır. Propan veya doğal gaz özellikle tercih edilir çünkü asetilene göre daha temiz alev verir. Ergitme için kullanılacak alev indirgeyici olmalıdır, indirgeyici alev parlak mavi renkte ve düşük gürültülü olmalıdır. İndirgeyici alevin oksijen içeriği düşüktür, bu sayede çevresinden oksijen alarak metali oksitlenmeye karşı korur. Hemen hemen her alaşım torç ile ergitilebilir.

Elektrik rezistanslı ısıtma daha yeni sistem olan indüksiyonun gelmesine kadar yaygın olarak kullanılmıştır. Rezistans ile ergitme kapalı bir ortam sağlar ve atmosfer kontrolü mümkündür. Ergitme inert (azot veya argon) ortamda veya zayıf indirgeyici ortamda gerçekleşebilir. Rezistans ile ergitmede, beyaz altın alaşımları için gereken yüksek sıcaklıkları elde etmek zordur. Her durumda ergitme işlemi yavaştır.

İndüksiyon ile ergitme en modern metottur ve neredeyse büyün yeni nesil döküm makinelerinde kullanılmaktadır. İndüksiyon ergitme çok hızlıdır ve karıştırma etkisi ile hızlı ısıl ve kimyasal homojenizasyon sağlar. İndüksiyon ısıtmanın frekansı düşürüldükçe karıştırma etkisi artar.

Ergitme hassas dökümün metalurjik içeriği en yüksek olan adımıdır. Bu nedenle bazı temel kuralları izlemek çok önemlidir.

1. Ergitmeden önce yeterli miktarda kıymetli metal alaşımı hesaplanmalıdır: Mum ağacının ağırlığının alaşımın yoğunluğu ile çarpımı ergitme için gereken minimum alaşım ağırlığını verir. Hesaplanan bu metal ağırlığı döküm ağzının tamamen dolabilmesi için bir miktar artırılır.

2. Ergitme şarjında geri dönüşüm hurdası minimum miktarda tutulmalıdır, %50 den daha fazla hurda metal kullanılmamalıdır.

3. Ergitilen hurda metal tamamen temizlenmeli, oksitler ve kalıp malzemesi artıkları bulunmamalıdır.

4. Tercihen tanecik şeklinde alaşım kullanılmalıdır. Daha önceki işlemlerden gelen hurda kullanıldığı zaman kullanmadan önce yeniden ergitilerek tanecik çekline getirilmesi tavsiye edilir.

5. Ergiyik, ergimenin ardından homojenleşmesi için karıştırılmalıdır. Modern indüksiyon ısıtma sistemlerinde karışma elektromanyetik etkileşimle gerçekleşir. Açık fırınlarda torç veya rezistanslı ergitmelerde karıştırma elle uygun refrakter bir çubuk ile yapılır, metalin kirlenmesinden kaçınılır.

6. Metal ergiyik halde, oksitlenmeyi ve buharlaşmayla alaşım elementi kaybını sınırlamak için mümkün olduğu kadar kısa süre tutulmalıdır.

7. Dökümden önce metal sıcaklığı alaşımın ergime sıcaklığının üzerine çıkartılmalıdır (üst ısı). Gereken üst ısı miktarı; alaşıma, parça şekline boyutuna ve döküm ekipmanına bağlıdır. Her durumda üst ısı derecesi mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Tabandan boşalan potalı modern döküm makinelerinde sıcaklık 50 °C, açıkağızlı devirmeli potayla doldurulan sistemlerde de 75-100 °C kadar yüksek olmalıdır [11].

Modern döküm makinelerinde sıvı metalin kalıba doldurulması otomatik olarak gerçekleşir. Ergitme ve döküm işlemi makinenin özel yazılımı ile kontrol edilir. Çoğu statik döküm makinesinde boşaltma pota tabanından gerçekleşir, bu şekilde metalin sıcaklık kaybı en az olur. Eğer makine devrilen tipte bir potaya sahipse fazladan sıcaklık kaybı 80-100 °C 'dır. Özellikle gaz boşluğu gibi hataları minimize etmek için derece ve sıvı metal sıcaklığı mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Bu nedenle yeni bir parçanın üretimine başlamadan önce uygun sistem sıcaklığını bulmak için bir dizi test yapılmalıdır. "Sistem sıcaklığı" terimi sıvı metal ve derece sıcaklığı anlamına gelmektedir.

Sıvı metal kalıp boşluğuna dolduktan sonra katılaşma hemen başlar. Sıvı metal ile derece arasındaki sıcaklık farkı her zaman yüksektir (yaklaşık 400 °C veya daha fazla). Bu nedenle kalıba dolan metal kalıp yüzeyinden katılaşmaya başlar ve katılaşma iç bölgelere doğru devam eder. Eğer mum ağacı doğru şekilde bir araya getirilmişse, ara yolluklar doğru tasarlanmışsa ve doğru çapta ana yolluk kullanılmışsa doğrusal katılaşma sağlamış olur ve çekme boşluğu ana yollukta ve yolluk ağzında meydana gelir. Çekme ve gaz boşlukları eğer döküm parçalarda oluşuyorsa süreç parametreleri makul bir şekilde değiştirilmelidir [11]. Şekil 2. 9'da çeşitli takı döküm ağaçları görülmektedir.

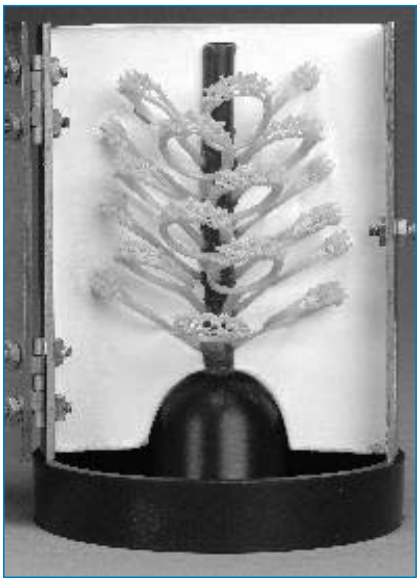
Şekil 2. 5. Dereceli hassas döküm takı döküm ağaçları [16]

BÖLÜM 3

DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ

Dereceli hassas döküm kalıbı malzemeleri bağlayıcı cinsine göre birbirinden ayrılmaktadır ve bu bağlayıcı cinsine göre döküm sıcaklığı ile dökülebilecek metal ve alaşımlar farklılık göstermektedir. Döküm sıcaklıklarına göre kalıp malzemelerini düşük ve yüksek sıcaklık grubu malzemeler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Düşük sıcaklık (< 1200 °C) kalıp malzemeleri alçı bağlı malzemelerdir, bağlayıcı olarak kalsiyum sülfat yarı hidrat ($CaSO_4$ $^1/_2H_2O$), agrega olarak da kuvars ve kristobalit içermektedirler. Bu malzemeler nispeten düşük ergime sıcaklığına sahip altın gümüş, bronz, pirinç, alüminyum gibi demir dışı metal ve alaşımların dökümünde kullanılmaktadır. Alçı 1200 °C'ın üzerinde parçalanmaya başladığı için daha yüksek döküm sıcaklıkları için farklı bağlayıcılar içeren kalıp malzemeleri tercih edilmektedir. Nikel-krom alaşımları, platin ve demir esaslı alaşımlar için genellikle fosfat bağlı kalıp malzemeleri kullanılmaktadır, bu malzemelerde bağlayıcılık görevini gören magnezya fosfat çimentosudur, agrega yine kuvars ve kristobalittir. Fosfat bağlılar dışında silika bağlı ve yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemeleri de yüksek sıcaklık dökümleri için kullanılabilmektedir.

Dereceli hassas döküm kalıpları, daha önce işlem prosedürlerinde de anlatıldığı gibi kalıp malzemelerinin su ile karıştırılması ve oluşan çamurun model ağacı çevresine yerleştirilmiş metal silindirik derece içerine doldurulması ve bu çamurun sertleşmesi ile yapılmaktadır. Model ağacı içerisinde bir kalıp kesiti Şekil 3. 1' de görülmektedir.



Şekil 3.1. Dereceli hassas döküm kalıbı kesiti [17]

3.1. Alçı

Alçının elde edilmesinde kullanılan temel hammadde alçı taşıdır. Doğada jips, anhidrit olarak rastlanılan Ca^{+2}, SO_4^{-2} iyonlarının bileşiminden oluşan ve oluşum ortamına göre içeriğinde su bulunan mineral topluluğu ve mineral farklılığına bakılmaksızın alçı taşı denilmektedir [18].

Alçı taşı değişik yerlerde değişik saflıkta yataklanmış doğal oluşumlu bir kayaçtır. 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 ya da 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, absorbsiyon karakteristiği ve mukavemetin değişebilmesidir [19].

Alçı aşağıdaki özelliklerinden dolayı kalıp yapımına uygundur.

- Karmaşık şekilli ürünler üretilebilir.
- Üretilen kalıplar kimyasal ve fiziksel olarak kararlıdır.
- Her kullanım için su emme miktarı kolayca oluşturulabilir.
- Pürüzsüz ve dayanıklı yüzey kolayca oluşturulabilir.
- Fiziksel ve kimyasal özellikler homojen olarak korunur.
- Gözenekler kolloidler tarafından kolayca kapatılamaz.
- Maliyeti düşüktür [18].

3.1.1 Alçıdan Yarı Hidrat Üretimi

Jipsin yapısında bulunan suyun kısmen uzaklaştırılması sonucu yani kalsine edilip 1,5 mol suyu uzaklaştırılmasıyla "Plaster of Paris" olarak bilinen yarı hidrat haline dönüştürülür [18].

$$CaSO_4\ ^1/_2H_2O \rightarrow CaSO_4\ ^1/_2\ H_2O + 1\ ^1/_2\ H_2O\ (120\text{-}160\ °C) \qquad (3.1)$$

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, priz süresi uzun, yoğunluğu daha düşük, hidratasyon ve yüzey enerjisi daha yüksektir. [18]

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 [18]. Kuru alçının porozitesi arttıkça setliği ve elastiklik modülü azalır [20], [21], [22].

$$CaSO_4\ ^1/_2\ H_2O + 1^1/_2\ H_2O \rightarrow CaSO_4 2H_2O \qquad (3.2)$$

(Yarıhidrat) (Alçı)

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.

$CaSO_4 2H_2O \rightarrow CaSO_4\ ^1/_2 H_2O + 1\ ^1/_2 H_2O$ (120-160 °C atmosferde) (3.3)

(β-yarıhidrat)

$CaSO_4 2H_2O \rightarrow CaSO_4\ ^1/_2\ H_2O + 1\ ^1/_2\ H_2O$ (160-180 °C yüksek su buharında) (3.4)

(α-yarıhidrat)

$CaSO_4\ ^1/_2\ H_2O \rightarrow CaSO_4 + H_2O$ (175-230 °C) (3.5)

(Hekzagonal Anhidrit (Anhidrit III))

$CaSO_4(III) \rightarrow CaSO_4(II)$ (340-440 °C) (3.6)

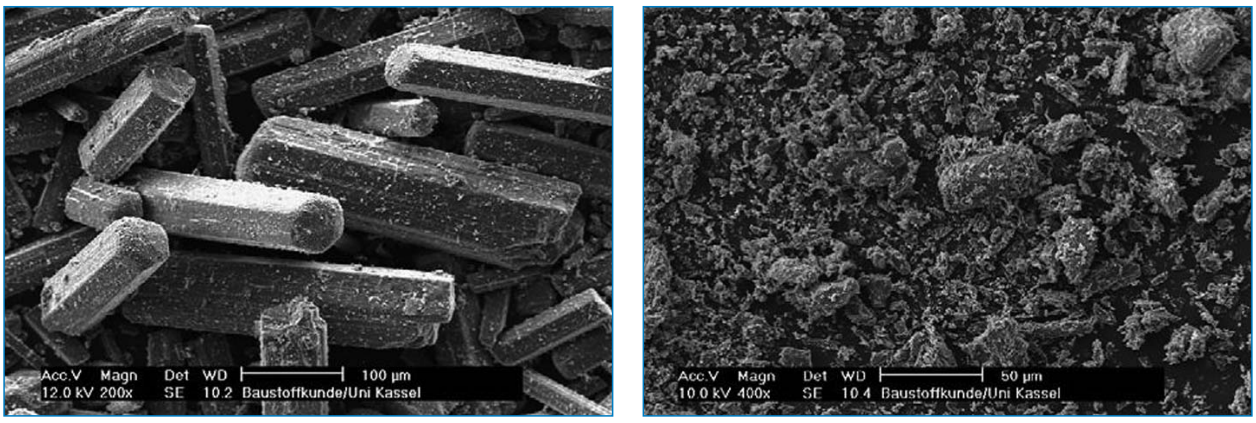
(Rombohedral anhidrit (Anhidrit II))

$CaSO_4(II) \rightarrow CaSO_4(I)$ (850-900 °C) (3.7)

(Anhidrit I)

Mikro gözenekli yarı hidrata β-yarı hidrat (β-$CaSO_4{}^1/_2$ H2O) 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 geldiği görülür [23].

Kristalize yarı hidrata α-yarı hidrat (α-$CaSO_4\ ^1/_2\ H_2O$) denir. Jips yaş yanarsa, yani otoklavda buhar basıncı altında yanarsa α tipi alçı oluşur. Mikroskop altında incelendiğinde; kompakt, iyi gelişmiş ve yoğun, çoğunlukla saydam büyük partiküllerden meydana geldiği görülür. İyi kristalleşmişlerdir. Üretim yöntemine göre, doygun buhar basıncı altında 160-180 °C'larda alçı taşının ayrışmasıyla veya 100 °C'da doygun 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 [18]. Şekil 3.2'te α ve β alçılarının tarama elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiş mikro yapıları görülmektedir.



Şekil 3.2. α alçının (solda) ve β alçının (sağda) mikro yapıları [24]

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. Alçı karıştırıldığında jips kolloidleri çöker. Oluşum zamanı esnasında, jips kristalleri büyür ve birbirlerinin hareketlerini engelleyerek sert bir yapı oluştururlar. Fazla miktarda su eklenmesi ise yapı içerisinde gözeneklerin oluşmasını sağlar [18].

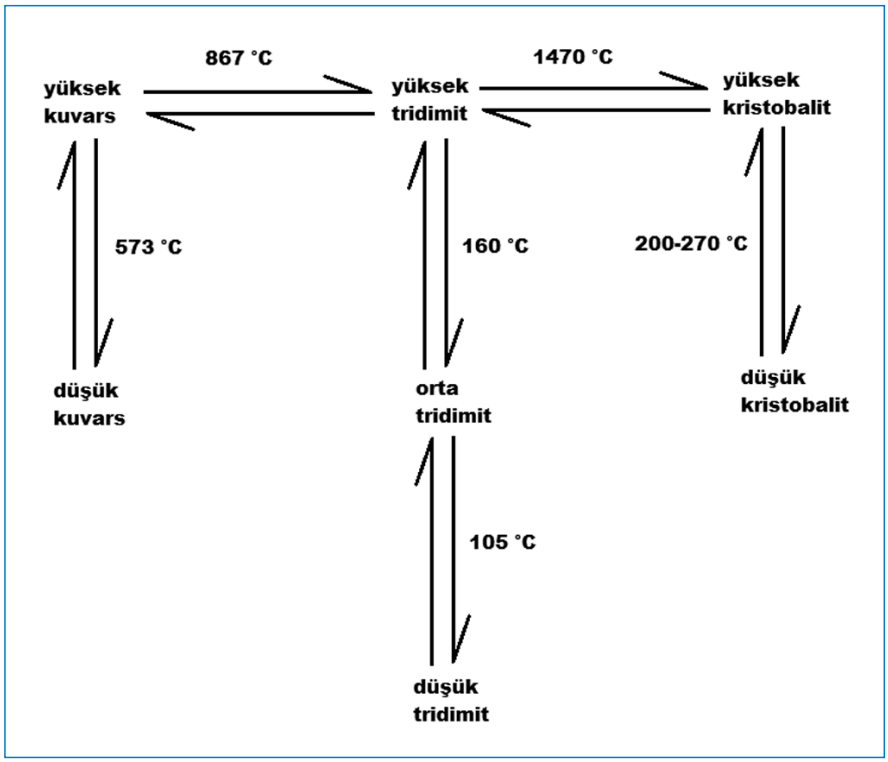
Yarı hidrat su alarak yeniden hidratasyona uğrar ve birbirine girmiş (bağlanmış) kristaller halinde tekrar kristalleşerek sert bir kütle formunda donarak alçı taşı haline döner. Bu kimyasal kombinasyon için gerekli su miktarı kuru alçının % 18.6'sı kadardır. Fakat suyun, kuru alçı kütlesinin her tarafına 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 [18].

Alçı doğal halinde çok hızlı bir şekilde kristallenerek prizlenir. Ticari uygulamalar için prizlenme yeterli bir süreye kadar geciktirilmelidir. Tartarik asit, sitrik asit ve çeşitli fosfatlar alçının prizlenmesini geciktirici etki gösterir [25].

Alçı bağlı hassas döküm kalıbı malzemelerinin prizlenme genleşmesi, büyüyen alçı kristallerinin genişleme kuvvetleri ile iç ve dış sınırlayıcı kuvvetlerin etkisi altındadır. Büyüyen kristallerin çevresindeki su veya diğer sıvı filmleri ve yetersiz bağlayıcı oranı engelleyici iç kuvvetlerdir. Normal prizlenme şartları altında alçı kristallerinin büyümesi fazla su bulunmadığında bastırılır. Higroskobik koşullarda ise fazla suyun varlığında prizlenme sırasında alçı kristalleri büyüyebilecek boşluklar bulur ve sonuçta genleşme artar [26], [27], [28].

3.2. Silika

Doğada en çok bulunan oksitlerdendir. Silika; yerine geçen ve yeniden oluşan dönüşümleri olan çoklu polimorflara sahiptir. En önemlileri Şekil 3. 3'te gösterilmektedir. Yüksek kuvarsdan düşük kuvarsa dönüşüm sırasında büyük hacim değişimi olmaktadır. Bu durum soğutma sırasında yüksek kalıntı gerilimlerine ve mukavemette düşüşe neden olur. Bu problemden sakınmanın en iyi yolu süreç boyunca bütün kuvarsın kristobalite dönüşmüş olmasından emin olunmasıdır; çünkü bu yeniden oluşum dönüşümü oda sıcaklığında yarı kararlıdır. Yüksek kristobalitin düşük kristobalite dönüşümü sırasındaki hacim değişimi kuvars kadar yüksek değildir. [29]



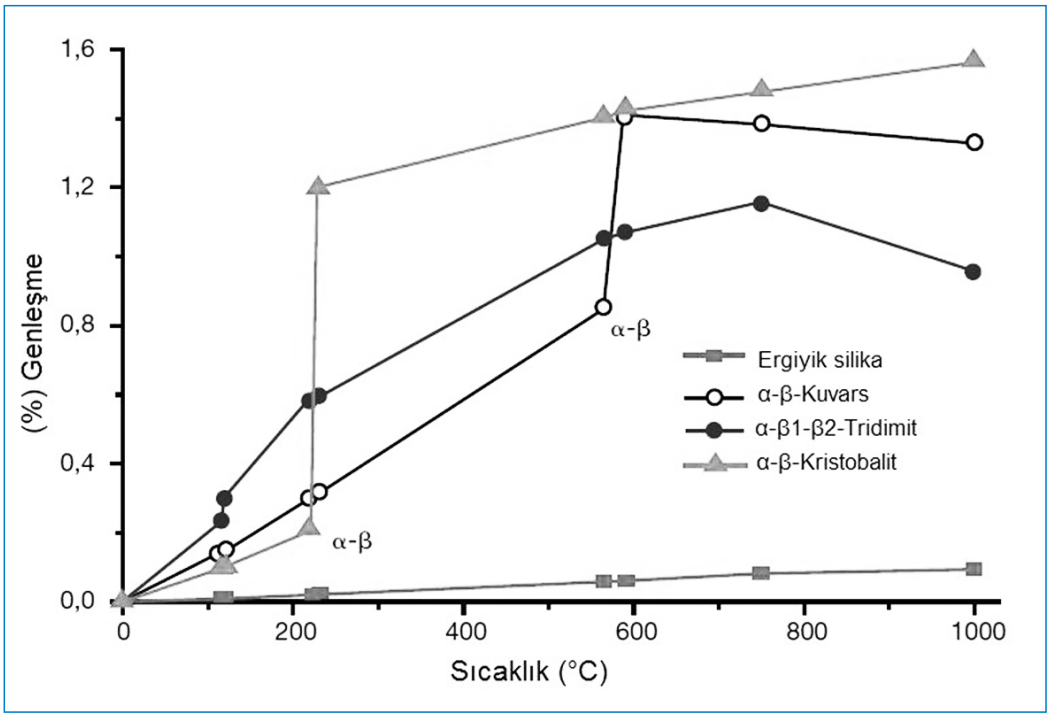
Şekil 3.3. Silikanın polimorfik dönüşümleri [29]

Saf halde silis 1723 °C'de ergimektedir, bu özelliği silikaya yaygın refrakter malzemesi olarak kullanım imkânı tanımaktadır. Silika esaslı refrakter tuğlaların yapımında kullanılan hammaddeler iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunların ilki ganister olup, % 98'in üzerinde bünyesinde SiO_2 içeren yeryüzünde masif kayaları oluşturan yoğun kuvarsdır (çakmak taşı, kuvars kayası). Silika refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan hammadde ise kuvars çakıl taşları ve kayalarıdır. Özellikle çakıl kayaları uygun yapıda seçilip yıkanırsa %0,5'ten az alümina ve alkali içerikleri ile SiO_2 üretiminde mükemmel bir hammadde kaynağı oluşturur [30].

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

- Kuvars hammaddesinde bulunan Al_2O_3, TiO_2 ve alkalinler tarzındaki safsızlıkların miktarları,
- SiO_2'da mevcut polimorfik kristal fazların dönüşümleri.

Silika esaslı refrakterlerin ana hammaddesi olan kuvars ısıtılmasıyla beraber α-kuvars β kuvarsa döner ki bu duruma, Şekil 3. 4'te 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'ın üzerindeki sıcaklıklarda pişirme yapılan silika refrakterlerde yapıda kristobalit parçacıkları oluşurken, muhtemelen artık haldeki dönüşmemiş kuvars yapıları ile karşılaşılacaktır. Kristobalit parçacıkları tridimit ile çevrelenmiş olup, ara camsı bağ fazı ise yüksek kireç, alümina titanyum dioksit ve alkalinlerden meydana gelmiştir [30].



Şekil 3.4. Silika mineralinin ısıl genleşmesi [31]

3.2.1. Kuvars

Yeryüzünün bilinebilen kısmının %25'ini oluşturur. Oksijenden sonra dünyada en çok rastlanan silisyumun bir bileşimidir. Kimyasal formülü SiO_2 olup, mol ağırlığı 60 g/mol'dür sertlik derecesi Mohs'a göre 7'dir. Doğada kristal olarak dağ kristali, ametist, kuarzit ve kristal kuvars kumu olarak, amorf olarak ise flinit ve sileks taşları, kizelgur şekillerinde bulunur. Kuvars kristali granit, gnays gibi ana kayaçların içinde bulunabildiği gibi, bazen de tek başına tanecik yapısında olarak damarlar şeklinde diğer mineraller ile karışmış olarak bulunur.

Doğadan ham kuvarsın çıkarılmasında, bilinen taş kırma yöntemleri uygulanır. Belli bir parça büyüklüğünde ön kırılması yapılan kuvars, beraberindeki yabancı maddelerden kurtarılmak amacı ile yıkanır ve manyetik tutuculardan geçirilir. Ancak bu işlemlerden sonra kuvars istenen tane büyüklüğünde öğütülür

Silisyum dioksitin oda sıcaklığındaki değişmez formu α-kuvarsdır. α-kuvarsın 573 °C'a kadar ısıtılması ile bu sıcaklıkta β-kuvars oluşur. Bu reaksiyon geriye dönüşlü olup, bu sırada kuvars hacimce büyüme gösterir. Isıtmanın yavaş sürdürülmesi ile β-kuvars bu kez 870 °C'de α-tridimite ve 1470 °C'da da α-kristobalite dönüşür. Bu dönüşümler dizisi, 1713 °C'da erime ile son bulur

Kuvars 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 [32].

3.2.2 Kristobalit

Kristobalit, kuvarsın bir polimorfudur; aynı bileşimdedir fakat farklı yapıya sahiptir. Hem kuvars hem de kristobalit, koesit ve tridimiti de içeren kuvars grubunun polimorflarıdır. Kristobalit genellikle volkanik kayalarda bulunur ve kristal yapısı petrografik mikroskopta oldukça kolay görünür. Kristobalitin daha yüksek sıcaklıklardaki formuna β-kristobalit denir. Kristobalit izometrik simetriye sahip olan β-kristobalit formunda kristalize olur ve daha sonra kristal soğutulursa ±-kristobalite veya kristobalite çok kolay döner. β-kristobalitin tipik kristalleri oktahedrondur. β-kristobalit, tetragonal simetriye sahip kristobalitten daha yüksek simetriye sahiptir. Kuvars kumunun kalsinasyonundan 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 g/cm^3 serliği 6,5'dir (Mohs) [6].

3.3. Fosfat Bağlı Malzemeler

Bağlayıcısı magnezya fosfat çimentosu olan bu malzemeler silika, magnezyum oksit ve amonyum fosfat bileşenlerinden oluşmaktadır. Magnezyum fosfat çimentolarında magnezyum oksit (MgO) ile monoamonyum fosfat ($NH_4{\cdot}H_2PO_4$ veya MAP) ya da diamonyum fosfat [$(NH_4)_2{\cdot}H_2PO_4$ veya DAP] arasında bir asit-baz reaksiyonu meydana gelir. Malzeme su veya bir kolloidal silika çözeltisi ile karıştırıldığında, oksit ve fosfat arasında bir reaksiyon gerçekleşerek magnezyum amonyum fosfat oluşur [33].

$$NH_4.H_2PO_4 + MgO + 5H_2O \text{ í } Mg.NH_4.PO_4.6H_2O \quad (3.8)$$

Bu reaksiyon ürünü silikayı bağlayarak bir arada tutar ve hassas döküm kalıbının sertleşmesini sağlar. Magnezyum amonyum fosfat oluşumu, dihidrat alçının oluşumuna benzer olarak, hidratasyon reaksiyonu ve takiben kristalizasyon ile gerçekleşir. Alçıda olduğu gibi büyüyen kristallerin zorlamasıyla bir miktar genleşme meydana gelir [34].

Malzeme neme maruz kalırsa higroskopik genleşme de görülür. Nem, karıştırılmamış malzemede ters etki gösterir; bu nedenle malzeme kapları ve poşetleri kullanılmadığı zamanlar sürekli kapalı tutulmalıdır.

Karıştırmada su yerine koloidal silika çözeltisi kullanılması prizlenme genleşmesini ve dayanımı iki kat oranında arttırır. Döküm öncesi kalıp pişirmede ki kalıp genleşmesi, hem ısıl genleşmeden hem de silikanın dönüşümünden kaynaklanır. Isıl genleşme, koloidal silika kullanılan sistemlerde su ile karıştırılanlara göre daha fazladır. 300 °C civarında amonyum ve su bir reaksiyon ile ayrılır.

$$2(Mg.NH_4.PO_4.6H_2O) \rightarrow Mg_2.P_2O_7 + 2NH_3 + 13H_2O \quad (3.9)$$

Daha yüksek sıcaklıklarda kalan fosfatın bir kısmı silika ile reaksiyona girerek karmaşık silikofosfatlar oluşturur. Bu durum, döküm sıcaklığında kalıbın dayanımında büyük bir artışa neden olur [35].

Fosfat bağının ilk kullanım alanlarından biri dişçiliktir. Kalsine çinko oksit fosforik asitle karıştırılarak diş çimentosu hazırlanmıştır. Silikat-fosforik asit bağları da çok sayıda araştırıcı tarafından araştırılmıştır. Alümina-kireç-silika camının tozları fosforik asitle karıştırılırsa sert, beyaz, yarı saydam çimento oluşur. [36]

Dişçilik için geliştirilen fosfat bağlı kalıp tozları çok sayıda malzeme şekillendirme işleminde kullanılmaktadır. Dişçilik alaşımlarının hassas dökümü ile takma diş ve köprü gibi ağız içi protezleri üretilebilmektedir. Porselen malzemeler fosfat bağlı model ve kalıplar üzerinde preslenip sinterlenebilmektedir. Ayrıca fosfat bağlı malzemeler diş, çene ve yüz protezlerinin üretiminde titanyum alaşımlarının süper plastik şekillendirme kalıplarının yapımında da kullanılmaktadır [37], [38], [39], [40].

Kingeri 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, $SiO(PO_3)_2$ 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 bağın güçlü ve kararlı olduğu ispatlanmıştır.
3. Asit fosfatların doğrudan ilavesi veya oluşturulması [36].

Fosfat bağlı 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. Fosfat bağlı plastik refrakterlerde normal plastik refrakterlere göre şu avantajlara sahiptir

- Birkaçı hariç genellikle ısı ile sertleşirler.
- Katılaştıktan sonra soğuk mukavemetleri yüksektir.
- Aşınmaya karşı dirençleri iyidir.
- Hem sıcak hem soğuk uygulamalarda iyi yapışma özelliğine sahiptir.

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

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

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.

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. [41]

Fosfat bağlı hassas döküm kalıp malzemeleri, hızlı prizlenme, orta derecede yaş mukavemet ve yüksek sıcaklık mukavemeti gibi önemli özelliklere sahiptir, dişçilik uygulamalarının yanı sıra sanatsal mikro parçaların dökümünde de kullanılmaktadır. Ne var ki fosfat bağlı malzemelerin düşük prizlenme süresi, orta ve büyük ölçekli hassas dökümlerde kullanımı önünde bir engeldir. Tingzhong Li ve arkadaşları bu engeli aşmak amacıyla yeni fosfat bağlı hassas döküm kalıp malzemeleri geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada fosfat bağlı malzemelere borik asit veya sodyum tripolifosfat ilave ederek MAP ve MgO arasında gerçekleşen reaksiyonu geciktirerek priz süresini uzatabilmişlerdir [42].

3.4. Silika Bağlı Malzemeler

Bu malzemeler silika jel ile bağlanan toz kuvars veya kristobalitten oluşur. Isıtma ile silika jel silikaya dönüşür ve tamamlandığında kalıp sıkı paketlenmiş silika taneciklerinden oluşur.

Bağlayıcı çözelti genellikle etil silikat veya onun bir oligomeri ile seyreltilmiş hidroklorik asit ve endüstriyel alkolün karıştırılması ile hazırlanır. Alkol etil silikatın karışmasını ve suyun ayrışmasını kolaylaştırır. Etil silikatın yavaş hidrolizi sonucunda silisik asit çözeltisi ve yan ürün olarak da etil alkol oluşur.

$$(C_2H_5O)_4Si + 4H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + 4C_2H_5OH \qquad (3.10)$$

Silisik asit çözeltisi alkali koşullarda kuvars veya kristobalit tozu ile karıştırılınca silika jel oluşturur. Gerekli pH toz içerisinde magnezyum oksit varlığı ile sağlanır. Hidrolize etil silikat bağlayıcı çözeltisi koyu şişelerde hazırlanır ve saklanır. Çözelti yavaş yavaş jelleşir ve üç ila dört hafta sonra viskozitesi belirgin bir şekilde artar. Bu durumda taze çözelti hazırlanması kaçınılmazdır.

Döküm sıcaklığında yeterli dayanım elde edebilmek için bağlayıcı çözelti içerisine mümkün olduğu kadar çok toz ilave edilmelidir. Bu işlem, ince tanelerin kaba tanelerin arasındaki boşlukları doldurması gibi tane boyutu gradyanı ile desteklenir. Oldukça koyu, neredeyse kuru bir karışım oluşturulur ve dayanıklı bir kalıp yapabilmek için titreşimle sıkı paketlenmesi sağlanır.

Dökümden önce kalıp pişirilmesinin erken aşamalarında az bir miktar büzülme meydana gelir. Bu durum su ve jelden alkol kaybına bağlıdır. Büzülmeyi takiben daha fazla oranda ısıl genleşme ile alçı bağlı malzemelerde olduğu gibi silika dönüşümü genleşmesi meydana gelir. Etil silikat bağlı kalıp malzemeleri, alçı ve fosfat bağlılar gibi prizlenme genleşmesi göstermez. Bu durumda doğrusal genleşme sadece ısıl genleşme ile gerçekleşir. [35]

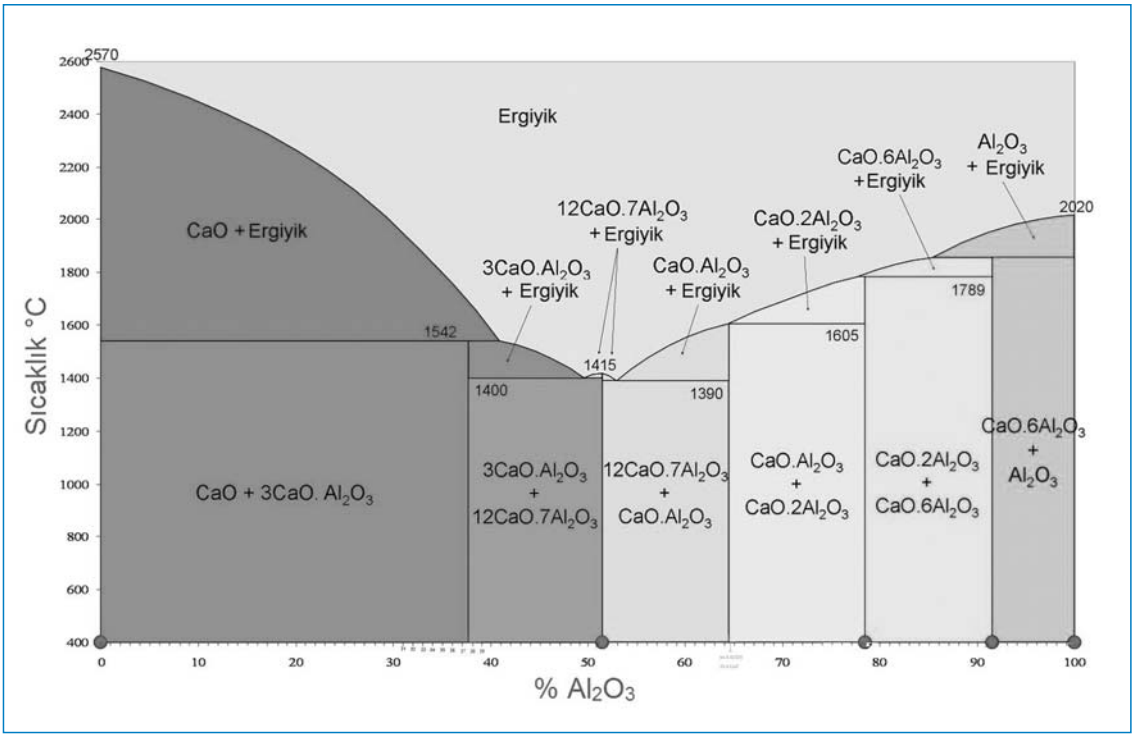
3.5. Yüksek Alüminalı Çimentolar

Yüksek alümina çimentosu (YAÇ) terimi ilk olarak I. Dünya Savaşından sonra Birleşik Krallıkta % 32-45 oranında alümina içeren çimentoları, çok daha az oranda alümina içeren Portland çimentosundan ayırmak için ortaya çıkmıştır. Daha sonraları % 50 den 90'a kadar alümina içeren çoğunlukla refrakter amaçlı çok çeşitli çimentolar geliştirilmiştir. Bunların hidrat oluşturan reaktif fazı kalsiyum alüminattır, bu nedenle genellikle kalsiyum alüminat çimentosu olarak adlandırılır. % 38- 40 oranında alümina içeren YAÇ üretimi için kullanılan ham maddeler kireç taşı (kalsit) ve boksittir. % 60-80 oranında alümina içerenler için ise boksit yerine alümina kullanılmaktadır. Üretim işlemi reverber veya döner fırınlar ile elektrik ark ocaklarında 1450 °C üzerinde yapılmaktadır [43].

Yüksek alüminalı çimentolar Portland çimentosuna göre çok daha düşük miktarda kullanılmaktadır ve daha pahalıdır. Bu malzemenin teknik önemi, erken sertleşmesi, yüksek refrakterliği, kimyasal olarak saldırgan ortamlara karşı yüksek direnci gibi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek alümina terimi, bileşenleri kalsiyum alüminatlar olan hidrolik çimentoları ifade etmektedir. Kalsiyum alümiantların hidrolik özellikleri 1850'lerden beri tanımlanmış olmasına rağmen, ticari üretime uygun ilk patent 1908 yılında Fransa'da Jules Bied tarafından alınmıştır. Günümüzde ise pek çok ülkede üretimi yapılmaktadır. Yüksek alüminalı çimento üretiminde kullanılan hammaddeler kireç taşı ve boksittir. Boksit kireç taşı ile birlikte öğütülür ve kuru karışım fırına yüklenir. Ergime oluncaya kadar yaklaşık 1600 °C' a kadar ısıtılır. Daha sonra eriyik klinker soğutulur ve çimento inceliğine kadar, az miktar alçı ilavesi yapılarak veya yapılmayarak öğütülür.

Yüksek alüminalı çimento klinkeri; bir seri kalsiyum alüminat, demir içeren bileşikler, beta-dikalsiyum silikat ve az miktarda diğer bileşenlerden oluşmaktadır. En önemli bileşenin, bu tür çimentolara çimentoluk özelliğini kazandıran mono kalsiyum alüminat ($CaO.Al_2O_3$) olduğu açıktır. Bu bileşik başlangıçta yavaş prizlenme gösterirken sonrasında çok yüksek bir hızla sertleşir. En erken sertleşmeyi gösteren yüksek alüminalı çimentolar genellikle % 5'den daha az silika içermektedir.

Yüksek alüminalı çimentoların hidratasyonu küçük kristaller ve jel oluşturur. Bunlar temelde bir seri kalsiyumalüminat hidratlardan oluşur, en önemlileri $CaO.Al_2O_3.10H_2O$'dur. Hidratlar öncelikle hekzagonal kristaller oluşturur ve bunlar eğer sıcaklık 30 °C'den yüksekse ve ortamda su bulunuyorsa daha sonra daha kararlı olan kübik şekilli $3CaO.Al_2O_3.6H_2O$'ya dönüşür. Şekil 3.5'de $CaO\text{-}Al_2O_3$ faz diyagramı görülmektedir. [44]



Şekil 3.5. $CaO\text{-}Al_2O_3$ faz diyagramı [45]

Yüksek alüminalı çimentolardan tatmin edici performans alınabilmesi için su/çimento oranı 0,40'dan daha yüksek olmamalı ve çimento miktarı 400 kg/m3'den az olmamalıdır. Eğer bu önlemler alınmazsa betonun dayanımı sonradan büyük oranda düşer. Yarı kararlı monokalsiyum alüminat dekahidrat ($CaO.Al_2O_3.10H_2O$), daha kararlı olan trikalsiyum alüminat hekzahidrata ($3CaO.Al_2O_3.6H_2O$) dönüşür [46].

Kalsiyum alüminat çimentolarının geliştirilmesinde öncelikle ısıya dayanıklılık özelliği gözetilmemesine rağmen, günümüzde bu uygulama en önemli uygulamalardan biri olmuştur. Portland çimentosunun yüksek oranda kireç ve silika içeriği, düşük ergime noktalı ötektikler oluşturduğu için, bu malzeme yüksek sıcaklık kullanımlarına uygun değildir. Kalsiyum alüminat çimentolarının refrakterliği alümina/kireç oranın artışıyla artmaktadır.

Yüksek sıcaklık direnci kapasitesi ve yüksek-düşük sıcaklık döngüsü sertleşmiş çimento içinde hidrate kireç (portlandit $Ca(OH)_2$) olmamasına bağlıdır. 500 °C'ın üzerindeki sıcaklıklarda portland çimentosu içindeki hidrate kireç dehidrate olarak sönmemiş kirece dönüşür (CaO). Bu tersinir bir reaksiyondur, sonrasındaki soğuma ve neme maruz kalma betonu parçalayacaktır. Hidrate kireç kalsiyum alüminat çimentoların hidratasyonunda oluşmaz, meydana gelen hidratlar, yüksek sıcaklıkta dehidrate olurken, kendi kendilerine kararlı olurlar veya kullanılan agrega ile kararlı bileşikler oluşturur.

Refrakter betonlarda kullanılan agregalar kullanım sıcaklığını, saf çimentonun ergime noktasının üzerinde yüksek ergime noktalı ötektikler oluşturarak 100-200 °C arasında yükseltir. Ticari olarak alümina oranı % 40-80 arasında değişen, ısıya dayanıklı, izolatör ve refrakter agregaları içeren çok çeşitli kalsiyum alüminat çimentoları bulunabilmektedir.

3.6. Molokit

Molokit özel olarak seçilmiş ve rafine edilmiş kaolinin kalsinasyonu ile üretilen bir alümino-silikattır. Seçilen kaolinin demir ve alkali içeriği düşük alümina içeriği yüksektir. Kalsinasyon işlemi yaklaşık 60 saattir ve ürün, tünel fırının pişirme bölgesinde yirmi dört saatten daha uzun kalır. Kontrollü bir zaman sıcaklık programı molokiti 1525 °C'a kadar ısıtır bu şekilde ürünün kararlı olması sağlanır. Kalsinasyon kil minerallerini mullit kristallerine ve kuvars kristobalit gibi kristalin olmayan amorf silikaya dönüştürür.

Üretimin üç ana kademesi vardır:

- Kalsinasyona besleme için kaolin hazırlanması
- Kalsinasyon
- Kırma, eleme, öğütme

Rafine edilip karıştırılan kaolin çamuru kaolin operasyon alnından kalsinasyon ünitesine getirilir. Filtreli presleme ile kaolin çamuru plastik olarak şekillendirilir. Ekstrüze edilmiş bloklar fırın arabalarına yüklenir, fırının kurutma bölgesinde kurutulduktan sonra pişirilir. Fırından çıkartılan bloklar önce kırıcılardan geçirilir ardından bilyeli değirmende öğütülür.

Düşük ve düzenli ısıl genleşme oranı, molokite mükemmel ısıl şok direnci sağlarken yassı ve pürüzlü yüzey yapısı, difüzyon bağı oluşturan tüm sistemler için yüksek uyumluluk kazandırır.

Molokit kabuk hassas döküm kalıplarının yapımında kullanılan standart bir destek refrakter malzemedir. Köşeli taneleri ve pürüzlü yüzeyi ile molokit seramik kabuk kalıpların mekanik özellikleri üzerinde önemli bir rol oynar. Kalıp yapımında destek katlarının oluşturulmasında molokit, hem su veya alkol bazlı çamurların yapımında hem de kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır [47].

3.7. Ergiyik Silika

Ergiyik silika (fused silica) 1700-2500 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda kuvarsın ergitilmesi ve dönüştürülmesi ile üretilmektedir. Yüksek sıcaklık işlemi ile düzenli kristalin yapı düzensiz hale gelir ve amorf yapı oluşur. Kristalin silikalar ile karşılaştırıldığında ergimiş silika daha saftır, yoğunluğu ve doğrusal ısıl genleşme katsayısı daha düşüktür. Buna bağlı olarak da elektronik sanayinde ve yüksek sıcaklık refrakterlerinde kullanılmaktadır. Esas kullanım alanlarını, yarı iletken paketleme bileşenleri, yüksek kaliteli elektrik yalıtkanları, epoksi reçinelerinin döküm malzemeleri, hassas döküm kalıpları, çeşitli seramikler ve silikon kauçuklardır.

Ergiyik silikanın kabuk hassas döküm kalıplarının üretiminde kullanılmasının çok sayıda sebebi vardır. Çok düşük ısıl genleşme katsayısı sayesinde ısıl şoklara karşı oldukça dayanıklıdır. Yüksek oranda ergimiş silika içeren kalıplar herhangi bir sıcaklıktaki pişirme fırınlarına rahatlıkla yüklenebilir. Ayrıca otoklavda veya fırında hızlı mum alma işlemelerinde de düşük genleşme özelliği kalıp hasarlarını engeller. Kabuk kalıpların pişirilmesi sırasında ergiyik silika kristobalite dönüşür, pişirme sıcaklığı yükseldikçe bu dönüşüm oranı da artar. Dökümün ardından kalıplar 260 °C'ın altına soğuduğunda krsitobalit yüksek-düşük dönüşümü gösterir, hacimsel daralmaya neden olan bu dönüşüm kalıbı zayıflatarak uzaklaştırılmasını kolaylaştırır. Ergiyik silikanın yoğunluğu zirkonun yarısı, alüminanın % 55'i ve alümina-silikatların % 83'ü kadardır, kullanımı kabuk ağırlığını azaltmaktadır. Ergimiş silikanın ısı kapasitesi zirkonun yarısı kadardır ve alümina veya alümina-silikatlardan da oldukça düşüktür. Kabuk boyunca sıvı metal ilerlediğinde daha az ısı kaybına neden olur, ince kesitler, döküm sıcaklığını arttırmadan başarıyla doldurulabilir. Köşeli taneleri ile ergimiş silika kalıpların geçirgenliğinin artmasını sağlar ve hassas dökümde yüksek geçirgenlik her zaman bir avantajdır. Kostik veya sıcak kostik çözeltisi gibi kimyasal kalıp uzaklaştırma teknikleri açısından da ergimiş silika, zirkon ve alümina-silikatlara göre avantajlıdır [48].

3.8. Kolloidal Silika

Hassas dökümde en yaygın kullanılan bağlayıcı malzemedir. Sodyum silikattan iyon değişimi ile sodyum iyonlarının uzaklaştırılması ile üretilmektedir. Elde edilen ürün su içerinde kolloid olarak dağılmış nerdeyse tamamen yuvarlak şekilli silika taneciklerinden oluşmaktadır. Dağılım, taneciklerin birbirini itmesini sağlayarak topaklaşmayı engelleyen iyonik yük ile kararlı hale getirilir. Kararlaştırıcı iyon çoğunlukla sodyumdur (%0,6'ya kadar) ayrıca amonyak da bu amaçla kullanılabilmektedir. Her durumda ürün alkali özelliktedir.

Kolloidal silika asidik pH ile de kararlı hale getirilebilir ancak bu şekilde pek kullanılmamaktadır. En çok kullanılan tipi sodyum ile kararlaştırılmış %30 silika içeren ve tanecik boyutu 7-12 nm olanıdır. Malzemem %30 silika oranı ile kullanılabileceği gibi su ilavesiyle silika oranı %18'e seyreltilebilir.

Kolloidal silika mükemmel bir genel amaçlı bağlayıcıdır. En önemli dezavantajı su bazlı olmasından dolayı yavaş kurumasıdır [49].

Kolloidal Silika Üretim Prosesi

Birinci adım: İnce öğütülmüş ve ayrılmış silis kumu sodyum karbonat ile birlikte yüksek sıcaklıklı bir fırına yüklenir. İşlem sonunda sodyum silikat ve karbon dioksit gazı oluşur.

$SiO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow Na_2O.SiO_2 + CO_2$ (3.11)

İkinci adım: Kolloidal silika sülfürik asit kullanılarak elde edilir.

$Na_2O.SiO_2 + H_2SO_4$ í $SiO_2 + H_2O + Na_2SO_4$ (3.12)

Reaksiyon sonucu, silika kollidleri içeren bir tuzlu su çözeltisi oluşur. Sodyum sülfat tuzu diafiltrasyon ile uzaklaştırılır. Rafinasyon işleminde kolloidal silika tuzlu su çözeltisi içinde asıltı haline (süspansiyon) getirilir. Bu çözeltinin tuzu giderilmelidir. Diafiltrasyon işleminde kullanılan UF membran parçacıkları engellerken tuzlu suyun geçmesini sağlar [50].

3.9. Zirkon

Zirkon (Zirkonyum-silikat $ZrSiO_4$) pek çok kullanım alanı olan zirkonyum metalinin ana mineralidir. Zirkon, siyenit, granit ve diyorit gibi volkanik kayaçlarda bulunan bir mineraldir. Ekonomik rezervleri ise ilmenit ve rutil ile birlikte sahil kumlarında toplanmıştır. Avustralya, ABD, Güney Afrika, Batı Afrika ve Hindistan sahilleri zirkonca zengindir. Avustralya ve Güney Afrika dünyadaki en önemli zirkon tedarikçisi ülkelerdir. Yüksek saflıktaki zirkon yaklaşık 2190 °C 'da erir, 1600-1800 °C arasında yumuşar ve 1750 °C 'a kadar çok düşük büzülme gösterir. Zirkon, yüksek sıcaklık uygulamaları için çok uygun karakteristik özellikler gösterir. Yüksek ergime noktasına ek olarak düşük ısıl genleşmesi ve yüksek aşınma dayanımı zirkonu mükemmel bir refrakter malzeme yapar. Zirkon, ağır mineral kumların madencilik işlemleri ile üretilir ve ilmenit ve rutil üretimin yan ürünüdür. Zirkon üretiminde kullanılan ayırma teknikleri; yüksek gerilimli elektrostatik ayırma, manyetik ayırma ve ağırlık farkı ayırmasıdır. Zirkon, çeşitli kimyasal ve fiziksel formlarda sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretilen zirkonun yaklaşık % 75'i kalıp kumu, rafrakter hammaddesi, zirkonyum bileşikleri ve çeşitli seramiklerin üretiminde kullanılır. Sadece % 25'i metal üretiminde veya alaşımlamada kullanılır. En basit şekliyle zirkon, maden sahasında üretildiği şekliyle kum olarak kullanılmaktadır. Refrakter ürünlerde, aşındırıcılarda, dökümhanelerde kullanılan zirkon bu şekildedir. Zirkon kumu çoğunlukla dökümhanelerde kalıp malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ergimiş metal tarafından ıslatılmaması daha iyi ve düzgün yüzey vermesini sağlar, Zirkonun büyük bir bölümü ise tüketim öncesi daha fazla işlenir. Mekanik olarak ince toza veya opaklaştırıcıya öğütülür. Bu formuyla zirkon, seramiklerde, hassas dökümde, televizyon camlarında ve refrakterlerde kullanılır. Dünyada, yüksek kalitedeki zirkonun yaklaşık % 52'si mutfak, banyo seramiklerinin, yemek takımlarının sırlarının opaklaştırılmasında kullanılır [51].

BÖLÜM 4

DERECELİ HASSAS DÖKÜM KALIPLARININ ÖZELLİKLERİ VE BU ÖZELLİKLERE ETKİ EDEN UNSURLAR

4.1. Isıl Kararlılık

Bir kalıp malzemesinin öncelikle sahip olması gereken özellik, döküm sıcaklığında bütünlüğünü koruyabilmesi ve sıvı metalin kalıba girdiğinde oluşturduğu gerilime dayanabilecek kadar mukavim olmasıdır.

Alçı bağlı kalıp malzemeleri 1200 °C'ın üzerinde silika ve kalsiyum sülfatın reaksiyona girmesi ve sülfür trioksit oluşumu ile parçalanır.

$$CaSO_4 + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3 + SO_3 \quad (4.1)$$

Bu reaksiyon, kalıbı ciddi olarak zayıflatmanın yanında döküm parçalarda yoğun gözenekliliğe neden olur. Bu nedenle alçı bağlı malzemeler genellikle 1200 °C'ın altında dökülen alaşımlar ile sınırlandırılmıştır. Bu, altın alaşımlarının pek çoğu ile bazı demir dışı ana metallerin alaşımlarını kapsamaktadır. Pek çok ana metal alaşımlarının döküm sıcaklıkları daha yüksektir ve silika bağlı veya fosfat bağlı malzemelerin kullanımını gerektirmektedir.

Diğer bir reaksiyon ise pişirilen alçı bağlı kalıplarda kalsiyum sülfat ile karbon arasında gerçekleşir.

$$CaSO_4 + 4C \rightarrow CaS + 4CO \quad (4.2)$$

Karbon, mum modelden artık olarak kalabilir ve kalıp içerisinde grafit olarak bulunabilir. Sonraki reaksiyon sülfür dioksit çıkışına neden olur.

$$3CaSO_4 + CaS \rightarrow 4CaO + 4SO_2 \quad (4.3)$$

Bu reaksiyonlar 700 °C'ın üzerinde meydana gelir. Kalıp, döküme başlamadan önce reaksiyonların tamamlanmasını sağlamak ve bu reaksiyonların etkilerini en aza indirmek amacıyla bir süre döküm sıcaklığında bekletilir. Bazı kalıp malzemelerinde bulunan oksalat, alçının bozulma etkisini yüksek sıcaklıkta karbon dioksit çıkışı sağlayarak azaltır.

Fosfat ve silika bağlı kalıp malzemeleri yüksek sıcaklık gerektiren dökümler için yeterli dayanıma sahiptir. Fosfat bağlı malzemelerin dayanımı pişirmede oluşan siliko fosfatlar ile desteklenir [35].

4.2. Gözeneklilik

Alçı ve fosfat bağlı malzemeler, döküm esansında havanın ve diğer gazların kalıptan çıkabileceği kadar yeterli gözenekliliğe sahiptir. Bunun yanında silika bağlı malzemeler çok sıkı paketlendiği için geri basınç oluşumu tehlikesi söz konusudur ve bu durum kalıbın eksik dolmasına veya parçaların gözenekli çıkmasına neden olur. Bu problemler kalıp içerisinde çıkıcılar oluşturularak aşılabilmektedir [35].

4.3. Denkleştirici Genleşme:

Döküm parçaların boyutsal kesinliği, her şeyden önce kalıp malzemelerinin, dökümde meydana gelen metal büzülmesini karşılama kabiliyetine bağlıdır. Büzülmelerin ölçüsü çok farklı olabilmekle beraber, çoğu altın alaşımlarında bu oran % 1,4, Ni/Cr alaşımlarında % 2 ve Co/Cr alaşımlarında da % 2,3'tür.

Denkleştirici genleşme, prizlenme genleşmesi, ısıl genleşme ve silikanın yüksek sıcaklıklardaki dönüşümünün kombinasyonlarından oluşmaktadır. Higroskopik genleşme alçı bağlı kalıp malzemelerinde ısıl genleşmeyi desteklemek için kullanılabilir. Bu ayrıca fosfat bağlı malzemeler için de olasıdır ancak pratikte bu malzemeler için nadiren uygulanmaktadır.

Tipik bir alçı bağlı kalıp malzemesinin prizlenme genleşmesi yaklaşık olarak % 0,3'tür, bu değer higroskopik genleşme ile % 1,3'e çıkartılabilir.

Isıl genleşme, kalıp malzemesinde kullanılan silikanın doğasına ve kalıbın ısıtıldığı sıcaklığa bağlıdır. Sadece kristobalit içeren kalıp malzemeleri, sadece kuvars içerenlere göre daha fazla ısıl genleşme gösterir. Büzülmeyi karşılamak için temel olarak ısıl genleşme kullanılacaksa, kristobalit içeren kalıp malzemesinin yaklaşık 700 °C'a ısıtılması gerekmektedir.

Silika bağlı malzemeler prizlenme sırasında ve pişirmenin erken aşamalarında cüzi bir miktar büzülme gösterir. Bu durum, prizlenme reaksiyonunun doğasına, sonrasında da su ve alkol kaybına bağlıdır. Devam eden ısıtma, sıkı paketlenmiş silikanın doğası gereği belirgin bir genleşmeye neden olur. En yüksek ısıl genleşme en fazla 600 °C'da % 1,6'ya ulaşmaktadır.

Fosfat bağlı malzemeler için prizlenme ve ısıl genleşme toplamı, özel kolloidal silikalı çözelti desteği ile yaklaşık % 2'yi bulmaktadır [35].

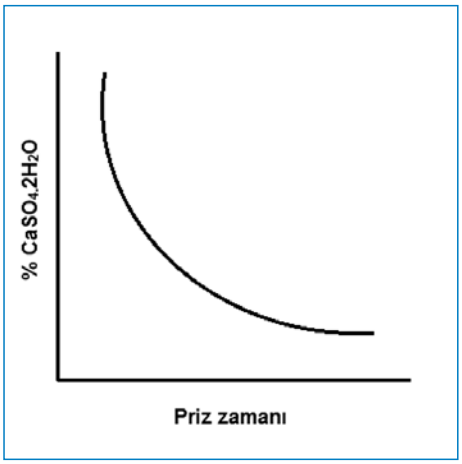
4.4. Alçı Kalıbın Kullanım Ömrüne Etki Eden Faktörler

Uygun bir karışım; tozun suyun içine 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 [52].

4.4.1. Yarı Hidratın Etkisi

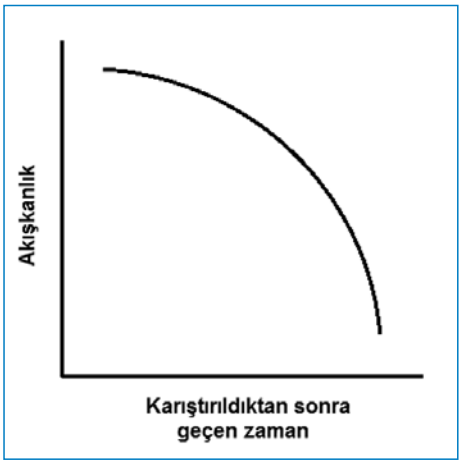
Yarı hidrat doğal olarak oluşan yüksek saflıktaki jips mineralinin kalsinasyonu sonucunda elde edilmektedir. Farklı başlangıç mineralinin kalsinasyonu, farklı yarı hidrat oluşumuna neden olabilir ve bu olay da kalıp özelliklerinde belirgin farklılıklar meydana gelmesine neden olur.

Sabit su/toz oranlarında döküm kalıplarının mukavemet değerleri artan alçı miktarı ile doğru orantı gösterir. Priz almış alçı parçacıklarının priz zamanlarını kısalttığı görülür. Yapılan karışımlara değişik miktarda hidrate olmuş alçı ($CaSO_4.2H_2O$) tanecikleri katıldığı zaman priz başlangıç ve bitiminin katılan $CaSO_4.2H_2O$ miktarına bağlı olarak kısaldığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Alçı miktarına bağlı olarak priz zamanının değişimi.

Gereğinden kısa priz zamanına sahip alçı kullanıldığında kalıba döküm sırasında akışkanlığın çok azalarak hava boşluklu, hatalı kalıp üretimine sebep olduğu; bu durumun önüne geçmek için fazla su kullanılması yolu seçildiğinde de kalıpların mukavemetinin düştüğü; gereğinden uzun priz zamanına sahip alçı ile çalışıldığında ise verimin azaldığı gözlenir [52].



Şekil 4.2. Karışımın karıştırılmasından sonra geçen zamanla akışkanlığın değişimi.

4.4.2. Suyun Etkisi

Kalıp performansını etkileyen suyun kullanımı ile ilgili dikkat edilmesi gereken üç faktör vardır. Bunlar; suyun saflığı, sıcaklığı ve su/toz oranıdır [19].

4.4.2.1. Suyun Saflığı

Suyun içindeki safsızlıklar alçı verimini etkiledikleri için alçı kalıp yapımında kullanılan su, içilebilecek kadar temiz olmalıdır. Karıştırma suyunun içindeki organikler uzun donma zamanına sebep olurken, metalik tuzların varlığı donma zamanını kısaltır. Yüksek miktarda sodyum, klorür, sodyum sülfat ve magnezyum sülfat gibi çözünebilir tuzlar kalıbın kurutulması sırasında yüzeye çıkararak tuzlanmaya neden olurlar. Bunlar, yüzeye döküm çamurunun yapıştığı ya da diğer kalıp problemleri olarak görülen küçük sert noktalar yaratırlar [18].

4.4.2.2. Suyun Sıcaklığı

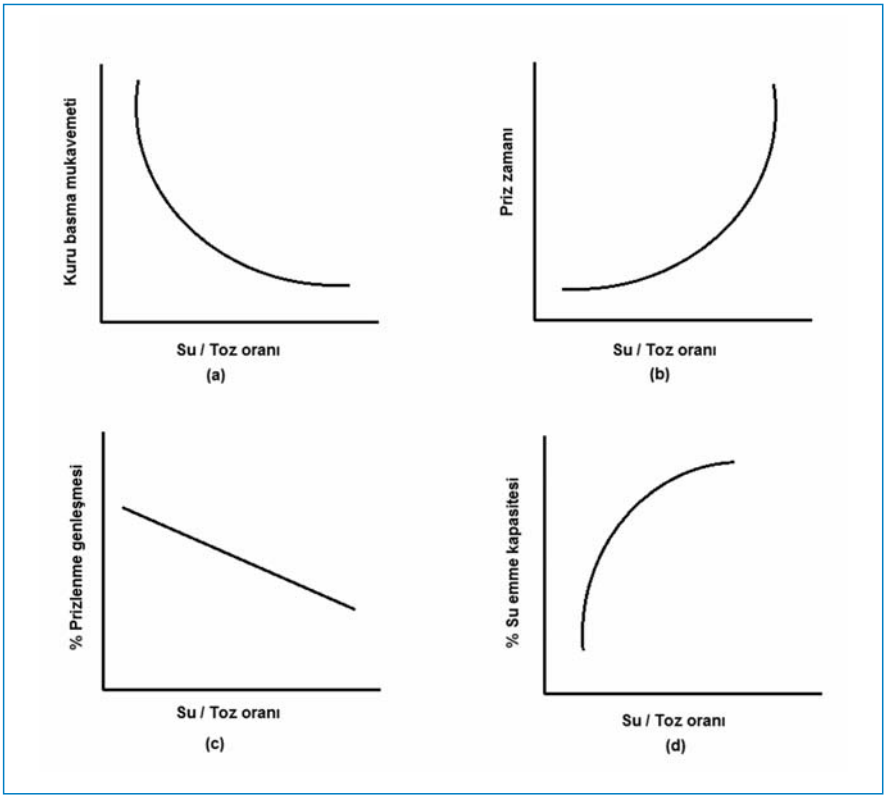
Alçı maksimum çözünürlüğe 21-35 °C arasında ulaştığı için, suyun sıcaklığındaki değişmeler donma zamanını etkiler ve karıştırma kıvamının kontrolünde zorluklara sebep olur. Sıcaklık 39 °C' a kadar arttıkça katılaşma zamanını azalmakta, bu sıcaklığın üzerinde tekrar artmaya başlamaktadır. Kullanılan suyun sıcaklığı alçının genleşmesini de etkiler. Sıcaklık arttıkça net genleşme miktarı azalır. Priz zamanı düştükçe malzemelerin basma mukavemetleri arttığı için uygun bir sıcaklıkta su kontrollü bir prizlenme ile çok iyi kalıplar üretebilir [19].

4.4.2.3. Su/Toz Oranı

Kalsine jipsten hazırlanan kalıp alçısının kalitesini etkileyen en önemli faktör, karışımın hazırlanma sırasında kullanılan su/alçı oranıdır. Su/alçı oranındaki farklılıklar mukavemeti, absorbsiyonu, uygulama sırasındaki görülen genleşmeyi ve kalıbın içyapısını etkiler. Kalıp mukavemetleri kullanılan su miktarı ile ters orantılıdır.

Priz başlangıcı ve bitimi için gerekli zaman su miktarı ile doğru orantılıdır. Prizlenme genleşmesi kullanılan su miktarı ile ters orantılıdır.

Su emme kapasitesi ve hızı kullanılan su miktarı ile doğru orantılıdır [52].



Şekil 4.3. Su/toz oranına bağlı olarak sırasıyla kuru basma mukavemeti, priz zamanı, % prizlenme genleşmesi ve % su emme kapasitesinin değişimi

Karışımda kullanılan su miktarı değiştikçe mukavemet ve absorbsiyon değişir. Kullanılan suyun belli bir miktarı kimyasal olarak kalsine alçıyı jipse çevirmekte ve geri kalan miktarı ise karışıma yeterli miktarda plastiklik ve akışkanlık vermekte kullanılır. Böylelikle kalıba sıvı gibi dökülerek plastik olarak şekillendirilmesinin gerekliliği rahatlıkla anlaşılır. Katılaşma prosesi bittiğinde karışımda 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 absorbsiyon miktarı da bununla orantılı olarak değişir. Boşluk hacmi arttıkça alçı kalıbın görünen yoğunluğu azalır. [18]

Yaygın olarak bilindiği gibi kalıp malzemesinin dayanımı, çalışma süresi ve akışkanlık özellikleri su/toz oranına bağlıdır. Ancak bu bağlılık derecesi tam olarak bilinmeyebilir. Bir özelliği geliştirmek için bir işlem yapıldığında daha az bilinen ve göz ardı edilen bir özellik istenmeyen şekilde değişebilir. Bu durum döküm hatalarına neden olabilir. Bunun için kalıp tozları su/toz oranı değişiklerine karşı kararlı olabilecek şekilde tasarlanır. Yine de çok büyük tersliklerden kaçınmak amacıyla tavsiye edilen su/toz oranı aralığı sınırlandırılmıştır.

Su/toz oranı 100g toz için kaç mililitre su kullanılması gerektiğini ifade eder. Örneğin 100g toz için tavsiye edilen su miktarı 40 mililitre ise bu 40/100, basitçe sadece 40 veya 0,40 olarak gösterilebilir. Bazı kalıp tozu üreticileri alçı bağlı tozları için su/toz oranı olarak 39-42 aralığını önerirken bazıları 38 gibi tek bir oran tavsiye etmektedir.

Alçı enteresan bir malzemedir, suyla karıştırılarak sıvı haline getirebilir, suyla reaksiyona girer ve sertleşerek katı hale dönüşür. Sıvı haldeyken modellerin etrafına dökülebilir, katı haldeyken metal dökümüne dayanabilir. Doğru refrakterler ve kimyasallarla karıştırıldığında da alçı bu özelliklerini sürdürür, bu nedenle hassas döküme çok uygundur.

Teorik olarak alçının serleşmesi yani yarı hidratın iki hidrata dönüşmesi için 18,7 su/toz oranı yeterli olmaktadır. Bu değer kalıp tozu üreticilerinin tavsiye ettiği değerlerin çok çok altındadır. Bu teorik değer sadece dönüşüm reaksiyonu için geçerlidir ancak karışımın dökülebilecek kadar akışkan olması gerekir ki ilave su bu işlevi görür.

Toz için yeterli suyun miktarı, kullanılan alçı türüne, alçı ve silikanın tane boyutu dağılımına, tanecikler arası adezyona ve kimyasal kontrol ilavelerine bağlıdır. Kalıp malzemesi üreticileri kullandıkları ham maddelerin tutarlı ve istikrarlı olması konusunda büyük çaba gösterirler, bir kısım tutarsızlıkları da kimyasal ilaveler kullanarak gidermeye çalışırlar.

Üreticiler ve kullanıcılar toz ve su miktarının doğru ölçülmesi gerektiğini her zaman vurgularlar. Bunun birçok sebebi vardır. Bunlardan biri karışımın çok koyu olmaması gerektiğidir. Eğer karışım çok koyu olursa ince detaylar dolmayabilir hava kabarcıkları kaçamayabilir. Diğer bir sebep, yeterli kalıp dayanımının sağlanması gerekliliğidir. Zayıf kalıplar döküm parçada yüzey kabalaşmasına ve çapak oluşumuna neden olur. Diğer sebepler ise uygun çalışma süresi, geçirgenlik, prizlenme ve ısıl genleşme, çapaksız, su izsiz, düzgün parça yüzeyi ve dökümden sonra kolay bozulma olarak sıralanabilir [53].

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 kalıbın 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 dayaklılığı azalır ve kalıp kolayca kırılır [18].

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 çaplarının da azaldığı görülmektedir.
2. Alçı kalıpların priz 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 absorbsiyonu azalırken kuru dayanımı artmaktadır [54].

4.5. Ergitme ve Döküm Sistemleri

Dereceli hassas döküm kalıpları basit gravite döküm ile doldurulamaz. Kalıplar çıkıcısızdır ve kalıp malzemesi geçirgenliği düşüktür, ince detayların ve kesitlerin doldurulması gerekmektedir, ergitilen metal miktarı ve buna bağlı olarak hidrostatik basınç görece düşüktür. Bu nedenle uygun döküm makineleri ile bu dökümler gerçekleştirilir. Vakum destekli, merkezkaç veya her ikisinin de uygulandığı döküm makineleri mevcuttur [55].

Yeni nesil döküm makineleri daha kapsamlı bir otomasyona sahiptir. Bunların üretiminde iki yol takip edilmiştir; birincisi geleneksel bilgisayar kontrolü, ikincisi ileri dinamik bilgisayar kontrolüdür. Geleneksel bilgisayar kontrolünde çevrimi operatör planlar, bilgisayar ona yardımcı olur. İleri dinamik bilgisayar kontrolünde ise bir tür yapay zekâ teknik ve metalurjik kararları alarak çevrimi planlar ve döküm işlemini yürütür [56].

4.5.1. Merkezkaç ve Statik Döküm Makinelerinin Karşılaştırılması

Döküm makinesinin alımı dökümcü için en büyük yatırımdır. Doğru makineyi seçmek kolay bir karar değildir, piyasada çok çeşitli makineler mevcuttur. Üretim gerekliliklerine bağlı olarak ilk verilecek karar statik veya merkezkaç döküm makinesinden hangisinin alınacağıdır. Bir sistemin diğerine tercih edilmesi için özel sebepler yoktur. Burada karar dökümcünün ihtiyaçlarına, deneyimine ve tecrübesine bağlıdır. Santrifüj döküm makinesine, sadece platin dökümlerinde gerçekten ihtiyaç vardır. Platinin akışkanlığı altın alaşımlarına göre daha düşüktür ve kalıbı doldurabilmesi için gereken kuvveti sadece merkezkaç döküm makinesi sağlayabilir.

Altın ve diğer kıymetli metaller için bir süredir çoğunlukla teknolojik gelişim seviyesi daha yüksek olan statik döküm makineleri tercih edilmektedir. Çoğu ileri model makine neredeyse tamamen otomatiktir.

Otomatik makineler işlemin döküm safhasındaki teknik sorumluluğu büyük ölçüde dökümcüden alarak üründe kalite tutarlılığı sağlar. İnsan hatası en aza indirgenmiş olur.

4.5.2 Merkezkaç Döküm

Merkezkaç dökümün iki zayıf noktası vardır; boşaltımda fazla türbülans ve yüksek sıvı metal basıncı. Bir diğer açıdan yüksek basınç kalıp doldurma formunu ve besleme sistemini özellikle ince modellerde daha az kritik hale getirir. Yüksek türbülans hapsolan gazın neden olduğu gaz boşluğu oluşumunu arttırır. Merkezkaç dökümde delikli dereceler kullanılmaz bu nedenle kalıp tabanından emiş uygulansa bile kalıp boşluğundan gazın tahliyesi zordur.

Yüksek döküm basıncı kalıbın tam dolmasını sağlarken kalıp aşınması riskini arttırır (sıra dışı durumlarda kalıp parçalanabilir). Aşınan ufalanan kalıp parçacıkları akan metale karışarak döküm parçalarda inklüzyon oluşturur. Ayrıca bazen döküm parçaların yüzeylerinin pürüzlü olmasına neden olur.

Bunun dışında, merkezkaç dökümde sıvı metale uygulanan basınç, ağaç boyunca sabit değildir; ağacın üstünde en yüksekken yolluk ağzında en azdır. Bu nedenle yolluk ağzına yakın olan parçalarda eksik dolum, uç kısımlardaki parçalarda da yüksek basınçtan dolayı kalıpta meydana gelen çatlakların neden olduğu çapaklanma olabilir.

4.5.3 Statik Döküm

Döküm basıncı statik dökümde yer çekimi nedeniyle ağacın tüm boyunca nerdeyse aynıdır, tek fark üstten tabana kadar olan sıvı metaldeki hidrostatik basınç farkıdır. Statik makinelerde potada ve derece kabininde kontrollü atmosfer sağlamak zor değilken sadece birkaç tür merkezkaç döküm makinesinde kontrollü atmosfer imkânı vardır.

4.5.4 Döküm Verimliliği

Merkezkaç döküm makinelerinde, yüksek metal basıncı güvenle ergitilebilecek metal miktarını da sınırlar. Bu miktar 800 g'mı geçmemelidir. Derece boyu da 150 mm ile sınırlandırılmıştır. Statik makinelerde derece boyu büyük bir sınırlayıcı etmen değildir, ergitme miktarı 1,5 kg'dan derece boyu da 250 mm'den fazla olabilir. Fazla ergitme hacmi ve büyük dereceler işlem ekonomisi anlamına gelir.

Bir merkezkaç döküm makinesi ile operatörün 150-130 mm boyunda dereceler kullanarak saatte 8 dökümden fazlasını yapabilmesi oldukça güçtür. Vakum destekli (ayrıca basınç destekli de olabilir) tam otomatik son nesil bir statik döküm makinesi ile operatör 250 mm boyunda dereceler ile saatte 20 kadar döküm yapabilir.

4.5.5 Merkezkaç Döküm Makineleri

Muhtemelen merkezkaç döküm makineleri takı dökümünde en yaygın kullanılan makinelerdir. Son yıllarda motor teknolojisinde ve programlama sistemlerinde büyük ilerlemeler olmuştur ancak temel orijinal tasarım neredeyse değişmemiştir. Eski ekipmanlar ile karşılaştırıldığında en önemli yenilikler şunlardır: değişken geometrili denge kolu, derece tabanından uygulanan emiş (bazı modellerde), sıcaklık kontrol aparatı, indüksiyon ısıtma ve atmosfer kontrollü kabin (bazı modellerde).

4.5.6 Statik Döküm Makineleri

Tüm modern iyi kaliteli statik döküm makineleri kalıp doldurmada dereceye doğru emiş sağlayan vakum desteği ekipmanına sahiptir. En iyi makineler, ayrılmış pota ve derece kabinleri olanlardır. Bu şekilde süreç oldukça kısaltılabilir.

Neredeyse tüm statik döküm makineleri inert atmosferde çalışır, çoğunlukla azot veya argon gazı kullanılır; bazı türler ise hidrojen/azot karışımı indirgeyici atmosfer kullanmaktadır. Son zamanlarda argon azota göre maliyeti yüksek olmasına rağmen daha fazla tercih edilmektedir. Makineler ayrıca, döküm sonrasında derece kabininde döküm yolluğuna etkiyerek daha iyi bir döküm ve yüzey hassasiyeti sağlayan üst basınç sistemine de sahiptir. Bazı çok yeni makinelerde sıvı metal boşaltımı da basınç altında gerçekleşir.

Birçok statik makinede sıvı metal boşaltımı potanın tabanından gerçekleşir. Bu durum ısı kaybının en aza inmesini, gerekli üst ısı derecesinin düşmesini ve ayrıca kalıp boşluğuna oksit kaçması riskinin azalmasını sağlar. Herhangi bir oksit oluşumunda bu, kalıpta en son dolan kısım olan yolluk ağzını doldurmuş olacaktır [3], [11].

4.6. Segregasyon

Dökülebilir seramiklerde segregasyon oluşumu, dökümden sertleşmeye kadar olan süre içerisinde, kullanılan malzemelerin farklı partikül boyutu ve yoğunluklarının neden olduğu farklı çökme eğilimlerinden kaynaklanır. Çökme oranı Stokes Kanunu (eşitliği) ile açıklanır.

$$V = \frac{2gr^2(\rho - \sigma)}{9\eta} \tag{4.4}$$

V batma hızı, r küresel partikülün yarıçapı, g yer çekimi ivmesi, η sıvının viskozitesi, ρ akışkanın yoğunluğu, σ katının yoğunluğudur.

Dereceli hassas döküm kalıpları birçok özellikleri bakımından betonlara benzemektedir. Bu nedenle sızma ve segregasyon oluşumu davranışının anlaşılabilmesi için betonların incelenmesinde fayda vardır.

Beton döküldüğü zaman su yüzeye yükselir veya sızar. Bu durum sızma olarak adlandırılır. Bu fenomenin sebebi karışımdaki katı partiküllerin çökerken tüm suyu tutamamasıdır. Sızma, yeni dökülmüş betonun üst yüzeyinde bir su tabakasının oluşmasıdır. Bu olay, katı partiküllerin (çimento ve agrega) çökelmesi ve suyun üst tarafa doğru yükselmesi ile meydana gelir. Sızma normaldir ve çoğu zaman betonun kalitesinin azalmasına neden olmaz. Bazı durumlarda sızma plastik büzülme kırılmalarının kontrolüne yardımcı olur. Ancak aşırı miktarda sızma plastik büzülmelere ve kırılmalara yol açar [57].

Sızma oranı ve kapasitesi ilk su içeriği, beton yüksekliği ve basıncı ile artar. Özel agregalar, kimyasal katkılar, destek çimento malzemeleri ve ince öğütülmüş çimento kullanılması sızmayı azaltır. Beton boşlukları doldurur, destek sağlar ve iyi bağlanma gerçekleşirse sızma az olur ve su cepleri oluşmaz [58].

Betonlarda görülen sızma ve segregasyon benzer şekilde dereceli hassas döküm kalıplarında da görülmektedir. Meydana gelen sızma ve segregasyon, kalıpların refrakterlik özelliğini etkilemektedir. Segregasyon nedeniyle homojen bir refrakterliğe sahip olamayan kalıplar, çeşitli döküm hatalarına neden olmaktadır [59].

4.7. Yüzey Pürüzlülüğü

Basit bir yöntemle yapılan yüzey pürüzlüğü ölçümleri göstermiştir ki, döküm kalitesini etkileyen çoğu faktör yüzeye ve dökümdeki ara yüzey enerjisine duyarlıdır. Altın takıların dökümünde elde edilen yüzey bitimi çok önemlidir. Bu bağlamda sıvı metalin yüzey enerjisi ile kalıp malzemesi ve sıvı metal arasındaki ara yüzey enerjisi özel bir anlama sahiptir. Bu parametreler çoğunlukla alaşım kompozisyonuna, saflığına, sıvı metalin döküm ve ergitme atmosferi ve de kalıp malzemesiyle arasında gerçekleşen reaksiyonlara bağlıdır. Bunun yanında modellerin makro ve mikro geometrileri de döküm parçaların yüzey bitimini etkilemektedir.

Dieter Ott ve Christoph J. Raub'un yaptıkları çalışmalara göre; ara yüzey enerjisi alaşım bileşimine bağlıdır ve altın alaşımlarında çinko gibi diğer metallerin az miktar ilavesi ile oldukça düşürülebilir. Ayrıca sıvı metalin oksijene maruz kalması da ara yüzey enerjisini düşürür, kalıbı ıslatmasına neden olur ve dentirit oluşumunu engeller. Kalıp dolumu ve yüzey bitimi oldukça gelişme gösterir. Oksijensiz ortamda yapılan dökümde yüzey pürüzlülüğü artar. Benzer şekilde kalın kesitli parçalarda da yüzey pürüzlülüğü artmaktadır çünkü büzülme oranı artmakta ve dentirit oluşumu engellenememektedir.

İndirgeyici ortamlarda dökümlerin yüzeyi, sıvı metalin pota ve kalıp malzemesi ile reaksiyona girmesi sonucu kirlenebilir. Sıvı metalde sülfitlerin oluşumu yüzey altı porozitesine neden olur. Bunun haricinde yüzey altı boşluklar ve şekil bozulmaları görülebilir, döküm dokusu oluştuktan kısa bir süre sonra bölgesel olarak dentirit iskeleti arasından sıvı metal çekilmesi bu oluşumun sebebidir. Bu sıvı metal çekilmesi, büzülmeyle birlikte ara yüzeyde biriken gazın katılaşan metalin hava geçirmez katı bir kabuk oluşmamış bölgelerinde oluşturduğu basınçla meydana gelir.

Sebebi hangisi olursa olsun sonuçta döküm parçaların bazı bölgelerinde süngerimsi oluşumlar meydana gelir ve bu bölgeler kumlama sırasında deforme olur [60].

4.8. Boyutsal Hassasiyet

Şekilde hassasiyet, dökümün ana özelliklerinden birisidir. Dökümün esas amacı nihai şekilde veya nihai şekle yakın üretim ise, döküm işlemin başarısı büyük ölçüde bu kriter ile ölçülebilir. Hassasiyet kalitesi sadece boyutsal keskinliği değil genel görünüşü ve yüzey bitimini de ihtiva eder. İdeal bir döküm, boyutsal toleransları karşıladığı gibi, düzgün ve mümkün olduğunca pürüzsüz olmalıdır.

Dökümde boyutsal hassasiyeti etkileyen faktörler:

1. Model ve model kalıbının hassasiyeti.
2. Modelin şeklini alan kalıbın hassasiyeti.
3. Dökümde kalıp boşluğunun dolma derecesi ve boyutsal karalığına bağlı olarak döküm parçanın hassasiyeti.
4. Büzülme faktörü, bu soğumada meydana gelen boyutsal değişimin ön görülebilir olmasını sağlar.
5. Bitirme işlemleri

Hassasiyet bu faktörlerden bir veya daha fazlasının geliştirilmesi ile artırılabilir [7].

"Nihai şekilde" ürün, şekil itibari ile ilave bir modifikasyon gerektirmeyen, kullanıma hazır ürün anlamına gelmektedir. Bu konsept sadece başka parçalarla birleştirilecek olan parçalara uygulanır.

Çoğu plastik oyuncak nihai şekilde yapılır ancak genelde şekil kritik değildir ve bu durum konseptle ilgili olmaz. Ancak Lego gibi enjeksiyonlu kalıplamayla üretilen ve sonradan bir işlem görmeden diğer parçalara kesin olarak uyan parçalarda konsept kritiktir.

Pek çok metal parça için bazı toz şekillendirme işlemleri hariç tutulacak olursa, son toleranslara tek şekillendirme işlemi ile ulaşmak enderdir. Bu nedenle genellikle dövme ve döküm gibi şekillendirme işlemleri ile bir kısım bitirme işlemleri gerektiren "nihai şekle yakın" ürünler üretilmektedir [61].

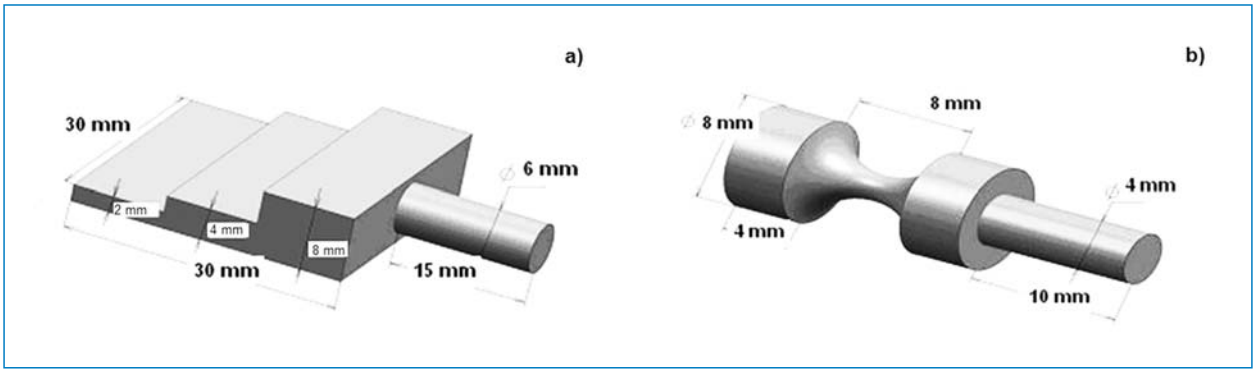
Hassas döküm işlemi her biri kendi karmaşıklığına sahip çok sayıda küçük işlemden oluşmaktadır. Hassas dökümde üç temel aşama vardır: Mum model üretimi, seramik kalıp yapımı ve metal dökümü. Bu üç aşamada da boyutsal değişimler meydana gelmektedir. Nihai parçanın doğru olabilmesi için bu boyutsal değişimler hesaba katılarak toleranslar belirlenmelidir. Hassas dökümlerden beklenen toleranslar daraldıkça, dökümcüler için ekonomiklik ve rekabetçi olma açısından döküm parçaların boyutsal doğruluğu üzerinde etkili faktörleri kontrol etmek çok önemlidir [13].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

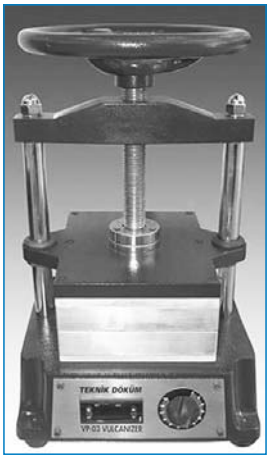
5.1. Model Tasarımı Ve Mum Model Üretimi

Hassas döküm parçaların yüzey kalitesinin ve boyutsal kesinliğinin araştırılmasının amaçlandığı bu çalışma, uygun test numunelerinin tasarımı ile başlamıştır. Literatürdeki diğer çalışmalara göre yüzey pürüzlülüğü numunesinin basamaklı olması gerektiği anlaşılmış ve üç basamaklı bir model tasarlanmıştır ve standart yoğunluk numunesi (dumbell şekilli) boyutsal ölçümler için kullanılmıştır. Numunelerin üç boyutlu çizimleri Şekil 5,1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Tasarlanan test numuneleri a) yüzey pürüzlülüğü numunesi, b) boyutsal ölçüm numunesi

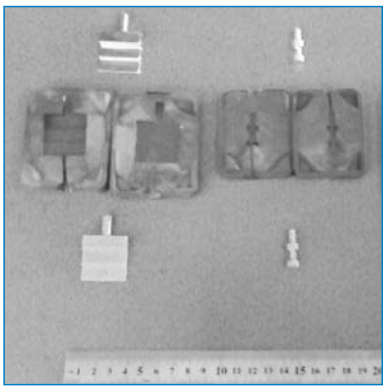
Bu numunelerin master modelleri alüminyumdan talaşlı işlenerek ürettirilmiştir ve bu master modeller kullanılarak kauçuk kalıplama presiyle (Teknik Döküm VP-03 Vulcanizer, Şekil 5. 2) mum model üretimi için kauçuk kalıplar yaptırılmıştır. Mum modeller bir mum enjektör kazanıyla (Teknik Döküm MK-500, Şekil 5. 3) 85 °C sıcaklık ve 0,6 bar enjeksiyon basıncı ile üretilmiştir.



Şekil 5.2. Kauçuk kalıp presi

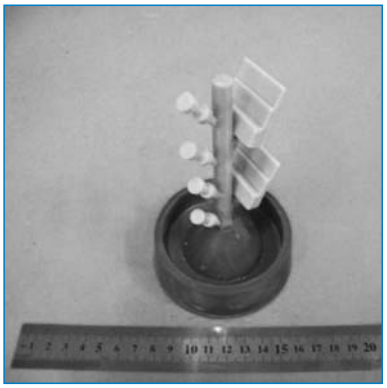
Şekil 5.3. Mum enjeksiyon presi

Alüminyum master modeller, kauçuk kalıplar ve mum model örnekleri Şekil 5. 4'de görülmektedir.

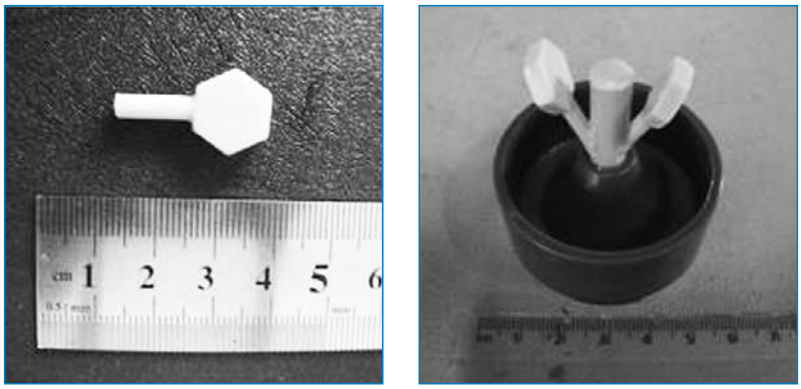


Şekil 5.4. Alüminyum master modeller, kauçuk kalıplar ve mum modeller

Bu modeller kauçuk bir altlığa yerleştirilen bir ana yolluğa kaynatılarak mum model ağacı oluşturulmuştur. Tasarlanan bu test numuneleri bronz ve gümüş dökümlerinde kullanılmıştır. Bronz dökümlerinde kullanılan örnek bir model ağacı Şekil 5. 5' de görülmektedir.



Şekil 5.5. Test numunelerinin mum model ağacı



Şekil 5.6. Paslanmaz çelik dökümünde kullanılan numune ve model ağacı

5.2. Kalıp Yapımı

Deneysel çalışmaların kalıp yapımı ve döküm işlemleri iki ayrı koldan sürdürülmüştür. Bronz, alüminyum ve paslanmaz çelik için kalıp yapımı ve döküm işlemleri üniversite döküm laboratuvarında, gümüş için kalıp yapımı ve döküm işlemleri ise Goldaş A.Ş. dökümhanesinde gerçekleştirilmiştir.

Kalıplama işleminde kauçuk bir altlığa yerleştirilen mum model ağacının çevresine derece adı verilen paslanmaz çelikten üretilmiş silindirik bir çerçeve yerleştirilir. Vakum döküm işleminde delikli dereceler kullanılırken, merkezkaç dökümlerde deliksiz kapalı dereceler tercih edilir. Kalıplama öncesi delikli dereceler yapışkan bant ile sarılarak delikler kapatılır. Sertleşmenin ardından kalıplar fırına konulmadan önce bu bant çıkartılır. Deneysel çalışmalarda kullanılan çeşitli dereceler Şekil 5. 7'de görülmektedir.

Şekil 5.7. Deneysel çalışmalarda kullanılan çeşitli dereceler

Üniversite laboratuvarında kalıplama işlemlerinde 70 mm çapında, 150 mm yüksekliğinde dereceler kullanılmıştır. Goldaş A.Ş. dökümhanesinde 100 mm çapında, 210 mm yüksekliğinde dereceler kullanılarak kalıplama yapılmıştır ve test modelleri takı modeli ağaçlarına kaynatılmış ve gümüş (925 milyem) dökümler gerçekleştirilmiştir. Goldaş A.Ş.'de kalıplanan örnek bir model ağacı Şekil 5. 8'de görülmektedir. Paslanmaz çelik dökümlerinde kalıplar 45 mm çapında, 55 mm yüksekliğinde deliksiz, küçük dereceler kullanılarak yapılmıştır.

Şekil 5.8. Goldaş A.Ş. dökümhanesinde gümüş dökümü için hazırlanan bir model ağacı

Dereceli hassas döküm kalıbı yapımında toz kalıp malzemesi belirlenen oranda su ile belli bir süre karıştırılır, bu karışım vakumlanır, dereceye doldurulur ve tekrar vakumlanır. Daha sonra titreşimsiz bir ortamda kalıp sertleşmeye bırakılır. Kullanılan kalıp malzemesine göre değişmekle beraber, ortalama çalışma süresi 6-7 dakikadır. Kalıp çamurunun vakumlanması kusursuz döküm imali için kesinlikle gerekmektedir. Vakum ile basınç -1 bar'a düşürülerek çamur içerisindeki havanın dışarı çıkması sağlanır. Vakum süresi tüm havanın uzaklaşması için yeteri kadar uzun, düşük basınç altında çamur içersindeki suyun buharlaşıp kabarcık oluşturmaması ve çamurun vakum altında sertleşmemesi için yeteri kadar kısa olmalıdır.

Deneysel çalışmalarda üniversite döküm laboratuvarında uygulanan kalıplama işlemi ile Goldaş A.Ş. dökümhanesinde uygulanan kalıplama işleminin teknik olarak bazı farklılıkları vardır. Döküm laboratuvarında görece daha basit ve münferit kalıplar yapmaya yönelik teçhizat ile çalışılmıştır. Kalıp tozları su ile bir mikser kullanılarak ortalama 3 dakika süreyle karıştırılmış, hazırlanan çamur vakum kabinine yerleştirilerek (Teknik Döküm VH-1 Vibro vakum ünitesi, Şekil 5. 9) 90 saniye süreyle -1 bar'da vakumlanmış, kalıp çamuru derece içerisinde doldurulmuş ve titreşim altında tekrar 90 saniye vakumlanmıştır.

Şekil 5.9. Üniversite döküm laboratuarında kullanılan vakum kabini

Goldaş A.Ş. dökümhanesinde kalıp yapım işlemi seri kalıplamaya yönelik yüksek kapasiteli otomatik vakumlu karıştırıcılar ile yapılmaktadır. Bu karıştırıcılar üniversitede uygulanan teknikten farklı olarak, çamurun vakum altında karışmasını ve derecelere doldurulmasını sağlamaktadır. Kullanılan cihaz (St Louis 2000 vacuum mixer) Şekil 5. 10' da görülmektedir.

Şekil 5.10. Goldaş A.Ş. dökümhanesinde kullanılan otomatik vakumlu karıştırıcı

Bu tip karıştırıcılarda, üstte bulunan karıştırma kabini ile altta bulunan ve içine derecelerin yerleştirildiği kabin sızdırmaz olarak birbirine bağlıdır. Her iki kabin de vakumlanmakta ve karıştırma süresi tamamlandığında karıştırma kabının alt kapağı operatör tarafından açılarak alt kısımda bulunan dereceler doldurulmaktadır. Bir seferde 100 mm çaplı beş veya altı derece doldurulabilmektedir. İşlem sürelerinin cihaza girilen veriler doğrultusunda otomatik olarak ayarlanması, karıştırmanın ve doldurmanın vakum altında yapılması havanın kalıp çamurundan tamamen uzaklaşmasını sağlamaktadır.

5.3. Mum Giderme ve Kalıp Pişirme

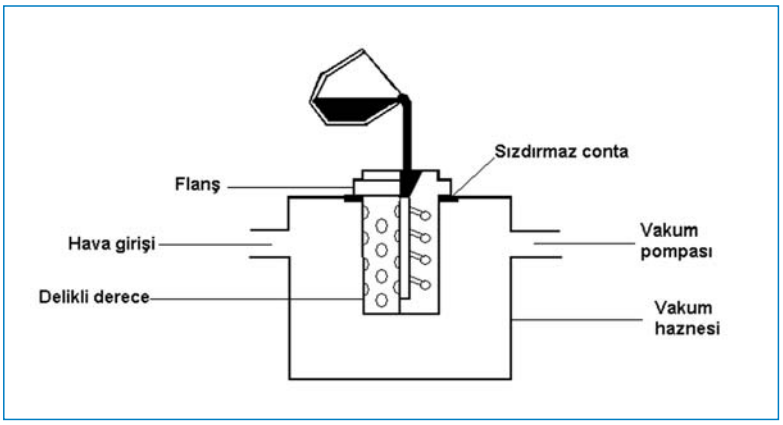
Dereceli hassas döküm kalıpları, yapıldıkları malzemelerin bileşenlerinin genleşme ve büzülme karakteristiklerine göre belirlenen rejimler takip edilerek pişirilir. Pişirmenin ardından, kalıp uygun döküm sıcaklığına getirilerek metal döküm işlemi yapılır. Kalıbın döküm sıcaklığı kalıbın büyüklüğüne, parçaların boyutlarına, dökülecek metalin türüne ve ergime sıcaklığına, uygulanacak döküm tekniğine bağlı olarak belirlenir. Üniversite döküm laboratuvarında yapılan çalışmalarda, alçı bağlı kalıpların ve bronz gibi düşük ergime sıcaklığına sahip metallerin dökümü için pişirilen kalıpların, 110 °C da mumu indirildikten sonra uygun rejimde pişirilmiş, kalıp döküm sıcaklıkları 700 °C olarak tercih edilmiştir. Paslanmaz çelik dökümlerinde 900 °C'da fırından çıkartılan kalıplara döküm yapılmıştır. Ticari dökümhanelerde kalıp pişirme işlemi biraz daha farklıdır. Bir gün içerisinde hazırlanan tüm kalıplar, gün sonunda programlanmış fırınlara yüklenerek gece boyunca pişirilir ve ertesi sabah döküme başlanır. Kalıpların da daha büyük olduğu göz önüne alınacak olursa, yavaş ısıtma ile daha uzun süreli bir pişirme rejimi takip edilerek kalıplarda hasır oluşumundan kaçınılır. Goldaş A.Ş. dökümhanesinde yapılan tüm gümüş dökümlerinde kalıplar bu şekilde pişirilmiştir.

5.4. Döküm

Deneysel çalışmalarda yapılan döküm işlemlerini, kullanılan cihazlara göre dörde ayırmak mümkündür: 1. Üniversite döküm laboratuarında bronz ve alüminyum dökümlerinde kullanılan vakum destekli döküm. 2. Goldaş dökümhanesinde gümüş dökümleri için basınçlı vakum döküm. 3. Üniversite döküm laboratuarında yapılan paslanmaz çelik mikro dökümleri. 4. Goldaş dökümhanesinde merkezkaç paslanmaz çelik dökümü.

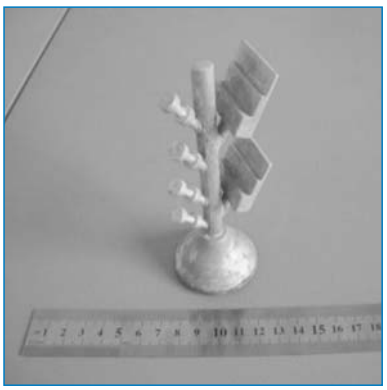
5.4.1. Vakum Destekli Döküm (V.D.)

Vakum destekli dökümde sıcak kalıp, vakum döküm makinesine (Teknik Döküm VD-6V vakum döküm makinesi) yerleştirilerek döküm ağzı havaya açık olacak şekilde -1 bar'da vakumlanır. Bir fırında veya indüksiyon ocağında ergitilen metal kalıba doldurulur. Katılaşma tamamlanana kadar, vakum uygulanmaya devam edilir, sonrasında kalıp döküm makinesinden çıkarılır. İşlem şematik olarak Şekil 5.11'de, görülmektedir.



Şekil 5.11. Vakum destekli döküm şeması

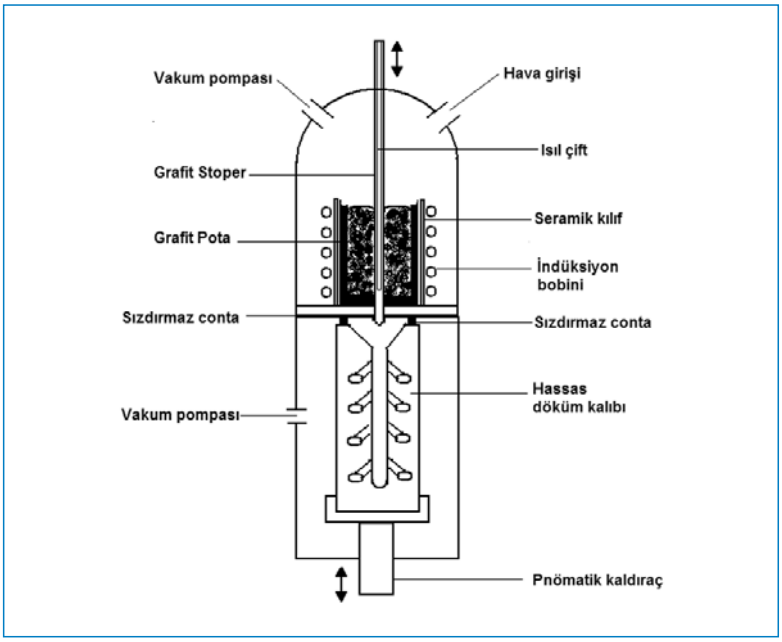
Üniversite döküm laboratuvarında ergitme işlemleri yüksek frekanslı bir indüksiyon ocağı kullanılarak atmosfere açık şekilde SiC pota içerinde gerçekleştirilmiştir. Bronz dökümleri yaklaşık 1150 °C'da, yapılmıştır. Bir bronz döküm ağacı örneği Şekil 5.12'de görülmektedir.



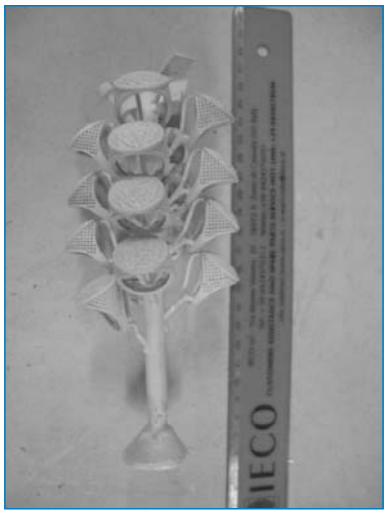
Şekil 5.12. Bronz döküm ağacı örneği

5.4.2. Basınçlı Vakum Döküm (B.V.)

Goldaş dökümhanesinde yapılan 925 milyem (sterling) gümüş dökümlerinde basınçlı vakum döküm makinesi (Yasui VPC K2S) kullanılmıştır. Bu döküm makinesinde ergitme, kalıbın üstündeki haznede grafit pota içerisinde koruyucu argon gazı altında yapılır. Tüm gümüş dökümlerinde döküm sıcaklığı 1000 °C olacak şekilde sabit tutulmuştur. Sıcak kalıp alt hazneye yerleştirilerek -1 bar da vakumlanır. Döküm işlemi, dipten boşaltmalı potanın stoperinin kaldırılması ile gerçekleştirilir, boşaltma sırasında üst hazneye otomatik gaz akışı ile 0,3 MPa üst basınç sağlanır. İşlem şematik olarak Şekil 5.13'te, Örnek bir gümüş döküm ağacı da Şekil 5.14'te görülmektedir.



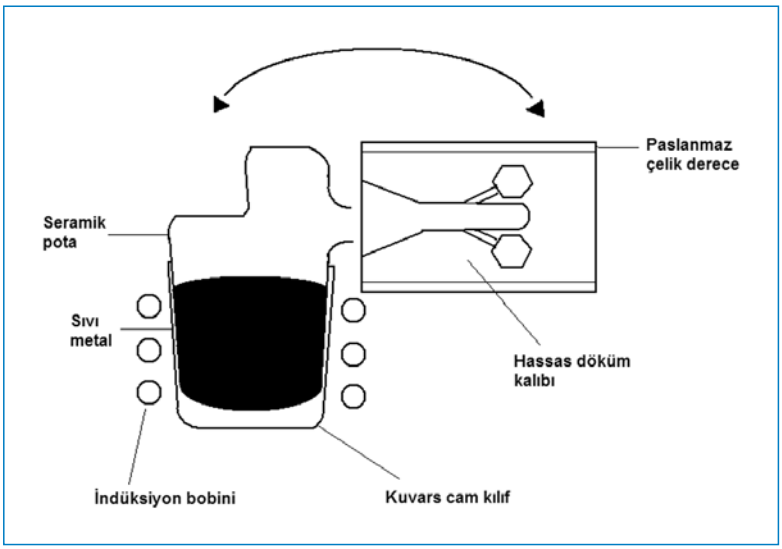
Şekil 5.13. Basınçlı vakum döküm şeması



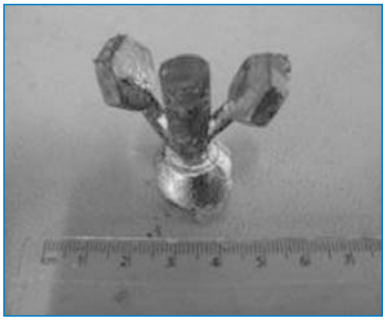
Şekil 5.14. Gümüş döküm ağacı örneği

5.4.3 Mikro Döküm (M.D.)

Paslanmaz çelik dökümleri, üniversite döküm laboratuarında 15 cm3 pota hacmine sahip bir vakum indüksiyon mikro döküm makinesi (Indutherm MC 15) kullanılarak yapılmıştır. Döküm işlemleri 40 g kadar AISI 316 kalite paslanmaz çeliğin -1 bar vakum altında yaklaşık 1650 °C'da ergitilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Ergitme öncesinde sıcak kalıp potanın önüne yatay bir şekilde yerleştirilir. Ergitmenin ardından makine çevrilerek metal kalıba boşaltılır; bu sırada hazneye argon gazı akışı ile 0,28 bar üst basınç sağlanır. İşlem, şematik olarak Şekil 5.15'te, örnek bir paslanmaz çelik döküm ağacı Şekil 5.16'da görülmektedir.



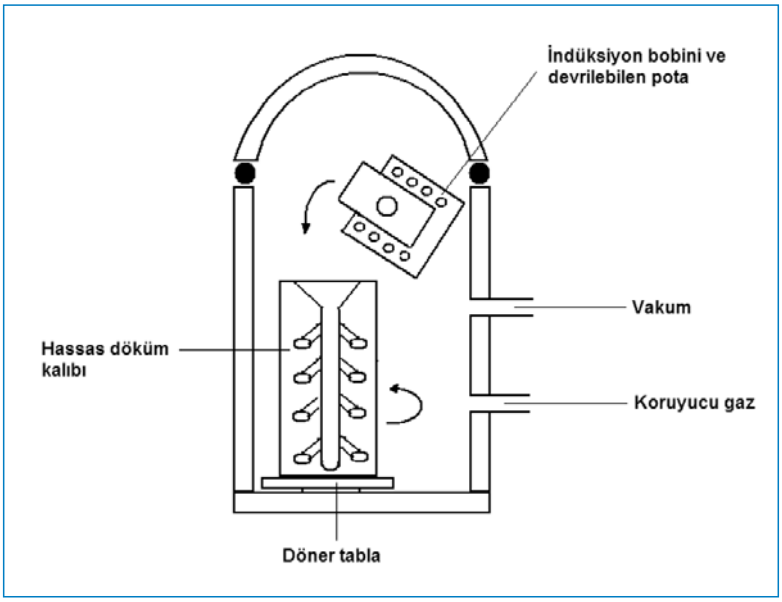
Şekil 5.15. Paslanmaz çelik mikro döküm şeması



Şekil 5.16. Paslanmaz çelik döküm ağacı örneği

5.4.4. Merkezkaç Döküm (Mz.D.)

Mikro dökümler dışında Goldaş Dökümhanesinde bir kereye mahsus olmak üzere Schultheiss PPC marka döküm makinesi ile merkez kaç paslanmaz çelik dökümü yapılmıştır. Bu döküm işlemi şematik olarak Şekil 5.17'de görülmektedir.



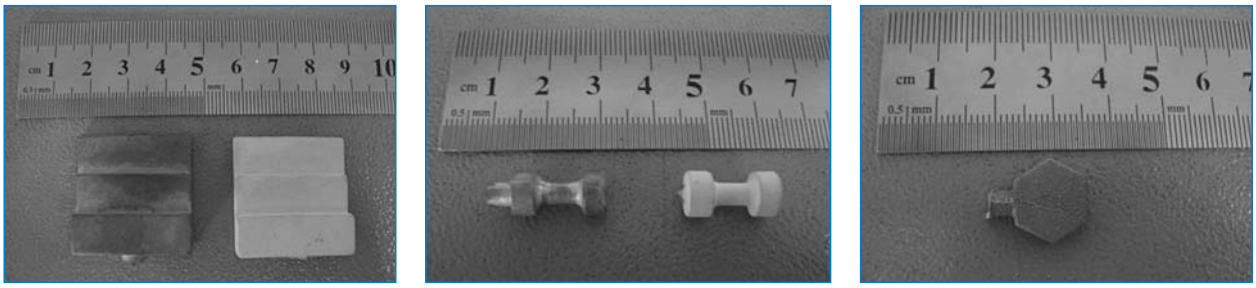
Şekil 5.17. Paslanmaz çelik merkezkaç döküm şeması

5.5. Temizleme İşlemleri

Dökümün ardından döküm makinesinden çıkarılan kalıplar, 10-15 dakika bekletmenin ardından suya daldırılarak bozulur. Alçı bağlı kalıplar bu işlem ile yüksek sıcaklıkta alçının suda hızlı ve şiddetli bir şekilde çözünmesinden dolayı kolayca bozulabilmektedir. Ancak özellikle yüksek sıcaklık dökümlerinde kullanılan fosfat ve çimento bağlı kalıplar su içerisinde dağılmamaktadır. Suya daldırılarak soğutulan bu kalıplar mekanik olarak uzaklaştırılır. Derece içerisinden alınan döküm ağaçlarının üzerindeki kalıp artıkları alçı temizleme makinesi adı verilen kabinlerde basınçlı su ile temizlenir.

Deneysel çalışmalarda, üniversite döküm laboratuvarında gerçekleştirilen bronz ve paslanmaz çelik dökümlerinde, dökümden sonra parçalar herhangi bir işleme tabi tutulmamıştır; testler, numunelerin döküldükten hemen sonraki halleri üzerinde uygulanmıştır. Goldaş A.Ş. dökümhanesinde yapılan gümüş dökümlerinde, endüstriyel bir uygulama olarak döküm ağaçları kalıptan çıkarılıp temizlendikten sonra sıcak % 25'lik sülfürik asit (H_2SO_4) banyosu içerisinde yaklaşık 10 dakika süreyle oksit giderme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu şekilde kalıptan tamamen siyah renkte çıkan gümüş döküm ağacı beyaz bir renk almaktadır.

Temizlemenin ardından parçalar ara yolluklarından kesilerek ana yolluktan ayrılır. Döküm ağaçlarından ayrılmış döküm numune örnekleri Şekil 5.18' de görülmektedir.



Şekil 5.18. Kesilmiş bronz, gümüş ve paslanmaz çelik test numuneleri

5.7. Alçı Bağlı Kalıp Malzemeleri

Deneysel çalışmalarda alçı bağlı kalıp tozlarının bileşimsel tasarımı ticari alçı bağlı tozlar esas alınarak yapılmıştır. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen bir ürün referans malzemesi olarak seçilmiştir. Laboratuvar şartlarında tasarlanarak üretilen alçı bağlı kalıp tozlarının performansı bu malzeme ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 5. 1'de de alçı bağlı kalıp tozu üretiminde kullanılan toz malzemelerin tane boyutları verilmiştir. Tane boyutu ölçümleri Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarında Malvern Instruments Master Sizer 2000 tane boyutu ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Alçı bağlı kalıpların yapımında kullanılan toz malzemelerin tane boyutları

Toz Malzemeler	d(0,1) µm	d(0,5) µm	d(0,9) µm
Referans 1	2,864	8,865	23,454
α-Alçı	5,029	22,128	78,258
Kuvars (a)	4,280	17,928	50,970
Kuvars (b)	3,253	15,162	44,423
Kuvars (c)	2,777	8,295	22,499
Kuvars (d)	2,294	5,039	11,157
Kristobalit (a)	5,043	28,824	76,992
Kristobalit (b)	3,852	15,860	37,344
Kristobalit (c)	2,244	3,927	7,057

Laboratuvarda kalıp tozu üretiminde kullanılan α-alçı, Baldudak firmasından temin edilmiştir. Toz kuvars malzemeler Eczıcıbaşı Esan firmasından, kristobalitler ise CHS Endüstriyel Ürünler Ticaret ve Sanayi A.Ş.'den tedarik edilmiştir. Kristobalitler, Sibelco (Belçika) firmasından ithal olarak yurda gelmektedir.

5.7.1 Alçı Bağlı Kalıp Tozlarının Üretiminde Kullanılan Kontrol İlaveleri

Ana bileşenleri α-alçı, kuvars ve kristobalit olan alçı bağlı kalıp malzemelerinin üretiminde, toz karışımına toplamda % 1'i geçmeyecek oranda kontrol ilaveleri katılır. Ana bileşen malzemeleri gibi katı halde ve toz olarak katılan bu kimyasal ilaveler organik veya inorganik olabilmektedir. Kontrol ilaveleri başta kalıp çamurunun akışkanlığı ve prizlenme süresi olmak üzere alçının hidratasyonu, segregasyon ve köpük oluşumu gibi özellikler üzerinde etkilidir.

Geliştirilen alçı bağlı kalıp malzemesi bileşimlerinde kullanılan kontrol ilaveleri şunlardır:

Polimelamin sülfonat (PMS): Yüksek verimlilikte su azaltıcısı olan bu negatif iyon tipli yüksek polimerik dielektrik malzeme su içerisinde çözünebilir. Özellikle çimentolarda kullanılan bu katkı maddesi kuvvetli tutunma özelliği ile dağıtıcı etki gösterir. Polimelamin sülfonat, alçı bağlı kalıp malzemesi üretiminde de bu özelliğinden dolayı kullanılmıştır. Partikül dağıtıcı deflokulant özelliği ile akışkanlık üzerinde doğrudan etkilidir. Bileşimdeki artışı akışkanlığı belirgin ölçüde arttırır. Polimerik esaslı olduğu için mümkün olduğu kadar düşük oranda kullanılmasına gayret sarf edilir. Yüksek oranda kullanımda kalıp pişirilmesi işleminde yanarak uzaklaşırken çatlamalara neden olabilmektedir.

Sitrik asit: Yarı hidrat alçının dihidrata dönüşüm reaksiyonunu yavaşlatan etkili bir katkı malzemesidir. Alçının su içersinde çözünmesinde başlangıçtaki aşırı doymuşluk derecesini azaltarak yeni oluşan çekirdek sayısını azaltır. Bu şekilde dihidrat dönüşüm hızı düşer, az sayıdaki çekirdek yeterince geniş büyüme alanı ve zamanı bulur. Sitrik asit prizlenme süresi üzerinde çok etkilidir; prizlenmeyi geciktirerek yeterli çalışma süresi sağlar ve ilave oranı oldukça düşüktür. Bu nedenle bileşim hazırlama işlemlerinde tartma ve karıştırma pratikliği sağlayabilmek için seyreltilerek kullanılmıştır. %1 oranında sitrik asit kristobalit b ile karıştırılmış ve bu karışıma "maya" adı verilmiştir. Bileşim hazırlamalarında doğrudan sitrik asit ilave etmek yerine maya ilave edilmiştir.

Potasyum sülfat (PS): Hidrate alçının (kalsiyum sülfat dihidrat) benzer bileşiği olan potasyum sülfat çekirdekleyici görevi görür ve aynı zamanda hızlandırıcıdır. Sitrik asit gecikmeyi sağlarken mukavemeti azaltıcı etki gösterir. Hem prizlenme ve dolayısıyla çalışma süresini hem de alçının mukavemetini denetim altına alabilmek için potasyum sülfat kullanılmaktadır.

Köpük gidericiler (KG): Alçı bağlı kalıp tozu üretiminde özellikle boya sanayinde kullanılan köpük gidericiler tercih edilmiştir. Bu ilaveler karıştırma esnasında köpük oluşumunu engelleyerek çamurun hapsettiği hava miktarını azaltmakta kalıp malzemesinin mukavemetinin ve yüzey özelliklerinin zayıflamasını engellemektedir.

Su Tutucular (ST): İnorganiklerin organikler ile bağlanmasını sağlayan bir katkı maddesidir. Kalıp çamurunun mum modele tutunabilirliğini arttırmaktadır. Suyun kalıp içersinde yükselmesini ve model yüzeyinde toplanmasını ve partikül segregasyonunu engeller.

Pav 22: Polimer esaslı bir bağlayıcıdır, pişirme sırasında kalıplarda çatlak oluşumunu engellemek ve dökümden sonra dağılabilirliği arttırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Aerosil (AS): Nano boyutlu silikadır; parçacıklar arasında üç boyutlu bir ağ oluşturarak segregasyonu engelleyici etki göstermektedir.

5.7.2 Alçı Bağlı Kalıp Malzemesi Bileşenleri

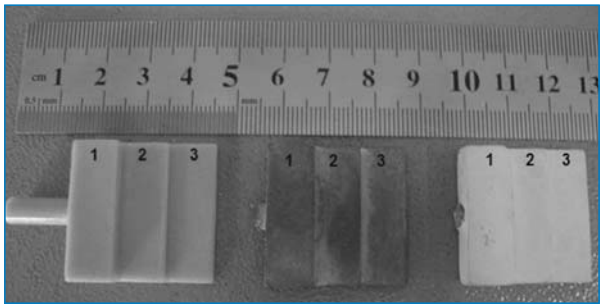
Çizelge 5. 2'de tüm alçı bağlı kalıp malzemesi bileşenleri görülmektedir.

Çizelge 5.2. Alçı bağlı kalıp malzemesi bileşimleri

Bileşim No	PMS %	Maya %	PS %	ST %	KG %	Pav 22%	AS %	α-alçı %	Kuv (a) %	Kuv (b) %	Kuv (c) %	Kuv (d) %	Krs (a) %	Krs (b) %	Krs (c) %
1	0,10	0,50	0,30					25		34			20		20
2	0,10	0,50	0,30		0,08			25		34			20		20
3	0,10	0,50	0,30		0,20			25		34			20		20
4	0,15	0,50	0,30		0,20			25		34			20		20
5	0,20	0,50	0,30		0,25			25		34			20		20
6	0,15	0,45	0,30		0,20			25		34			20		20
7	0,13	0,45	0,30		0,20			25	17	17			20		20
8	0,11	0,60	0,30		0,50			25	17	17			20		20
9	0,09	0,50	0,30		0,50			25	34				20		20
10	0,12	0,50	0,30		0,20			25		34			20		20
11	0,12	0,50	0,30		0,20		0,15	25		34			20		20
12	0,09	0,55	0,30		0,20			25		34			20		20
13	0,12	0,55	0,30	0,20	0,20			25		34			20		20
14	0,06	0,50	0,30	0,20	0,20			25		34			20		20
15	0,03	0,40	0,30	0,50	0,20			25		34			20		20
16	0,09	0,35	0,30	0,20	0,20			25		34				20	20
17	0,20	0,35	0,30		0,20			25		34				20	20
18	0,11	0,40	0,30	0,20	0,20			25		34				20	20
19	0,08	0,35	0,30	0,20	0,20			25		34				20	20
20	0,107	0,35	0,30	0,20	0,20			25		24		10		20	20
21	0,112	0,35	0,30	0,20	0,20			25		17		17		20	20
22	0,107	0,35	0,30	0,20	0,20			25			24	10		20	20
23	0,11	0,34	0,30	0,20	0,20			22			24	11		21	21
24	0,10	0,40	0,30	0,20	0,20			25		24		10		20	20
25	0,082	0,40	0,30	0,20	0,20	1		23		25		11		20	20
26	0,11	0,45	0,30	0,20	0,20			25		12,4	12,4	9		20	20
27	0,075	0,45	0,30	0,20	0,20		0,20	24		35				20	20
28	0,25	0,45	0,30	0,20	0,20		0,14	24		35				20	20
29	0,145	0,50	0,30	0,20	0,20			24		25		10		30	10
30	0,14	0,50	0,30	0,20	0,20			24		24		10		25	15
31	0,125	0,50	0,30	0,20	0,20			23		26		10		25	15
32	0,115	0,55	0,30	0,20	0,20			23		26		10		25	15
33	0,095	0,55	0,30	0,20	0,20	0,50		23		26		10		25	15
34	0,07	0,50	0,30	0,20	0,20	1		23		26		10		25	15
35	0,043	0,50	0,30	0,20	0,20	1		23		36				25	15
36	0,065	0,50	0,30		0,20			23		36				25	15
37	0,043	0,50	0,30	0,20	0,20			23		18		18		40	
38	0,07	0,50	0,30		0,20			23		18		18		40	
39	0,05	0,50	0,30	0,20	0,20			22		26		11		20	20
40	0,05	0,50	0,30	0,20	0,20			21		18		18		30	10
41	0,075	0,50	0,30	0,20	0,20			26		23		10		20	20
42	0,060	0,55	0,30	0,15	0,15			23		26		10	30		10
43	0,055	0,55	0,30	0,15	0,15			23		14		22	40		
44	0,027	0,55	0,30	0,15	0,15			23		26		10	30		10
45	0,022	0,55	0,30	0,15	0,15			23		14		22	40		

5.7.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri basamaklı numune üzerinden Mahr Perthometer S2 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5. 19'da görüldüğü gibi basamaklı numunenin 8 mm kalınlığındaki en üst basamağı 1, 4 mm kalınlığındaki orta basamağı 2, 2 mm kalınlığındaki en üst basamağı da 3 şeklinde numaralandırılmıştır.



Şekil 5.19. Basamaklı mum model, bronz ve gümüş döküm numuneler

5.7.4. Boyutsal Değişim Ölçümleri

Deneysel çalışmalar kapsamında gerçekleştirilen döküm işlemlerinde, model ve döküm parça arasındaki doğrusal boyutsal değişimlerinin tespiti amacıyla, boyutsal ölçüm numuneleri dökülmüştür. Doğrusal boyutsal değişimler; mum ağacına kaynatılan her bir modelin ve dökümden sonra bu modelden çıkan döküm parçasının boyu dijital kumpas ile ölçülüp aradaki fark yüzde olarak hesaplanarak belirlenmiştir.

Laboratuvarda geliştirilen alçı bağlı kalıp malzemelerinin yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal hassasiyet özellikleri, sanayide hâlihazırda kullanılmakta olan ticari alçı bağlı kalıp malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı markaların farklı ürünleri ile üniversite döküm laboratuvarında ve Goldaş dökümhanesinde dökümler yapılmış, çıkan numuneler laboratuvarda üretilen kalıp malzemeleri ile aynı testlere tabi tutulmuştur. Prizlenme Genleşmesi (Boy Değişimi) Tayini (TS 3322)

Prizlenme terimi, hidratasyon reaksiyonu gösteren inorganik bir malzemenin veya bu malzemenin bağlayıcı olarak kullanıldığı bir karışımın sertleşmesi olarak tanımlanabilir. Prizlenme genleşmesi (boy değişimi) tayini genellikle çimento harcı ve beton numunelerinde uygulanan TS 3322'ye [62] göre düzenlenmiş deneysel bir yöntemdir. Buradaki amaç, çimento harcı ve betonda ya da tez konusuyla doğrudan bir bağlantı kuracaksak eğer dökülebilen kalıp malzemelerinde, dış yükler ve sıcaklık değişimi nedenleri dışında oluşan boyutsal değişimleri belirlemektir. Ölçümde kullanılan deney numuneleri silikon kalıplara dökülerek elde edilmiştir; numuneler kare kesitli prizma şeklinde ve boyutları 20x20x100 mm'dir. Ölçüm alabilmek için numunelerin ucuna çelik ölçüm bilyeleri yerleştirilmiştir.

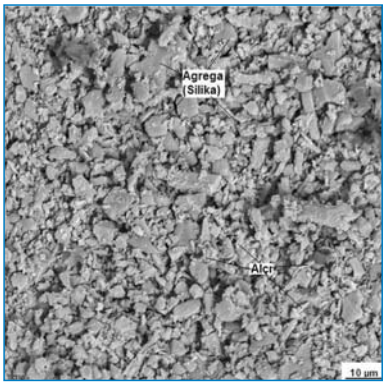
Bu numuneler kalıp malzemesi tozları kullanılarak ve kalıp yapım prosedürü değiştirilmeden uygulanarak üretilmiştir. Kalıp davranışlarının birebir belirlenebilmesi için numunelerin bileşimsel ve yapısal olarak kalıplardan farklı olmaması hedeflenmiştir. Prizlenme genleşmesi, numunelerin kalıplardan çıkartıldığı anda ve takip eden birinci ve ikinci saatin sonunda boylarının dijital kumpas ile ölçülmesiyle belirlenmiştir.

5.7.4.1. Isıl Genleşme Tayini

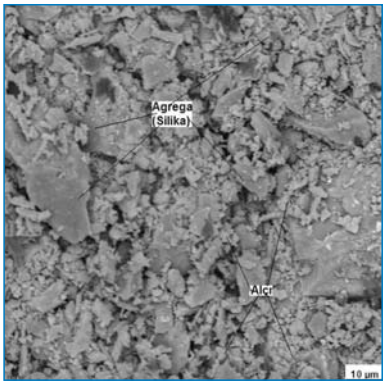
Dilatometre testleri Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde Netzsch marka DIL 402 PC serili dilatometre cihazı ile yapılmıştır. Bu testler için seçilen kalıplardan 25 mm boyunda, 5-6 mm çapında numuneler çıkartılmıştır ve testler kalıp pişme davranışlarını tam olarak belirleyebilmek için 800 °C'a kadar gerçekleştirilmiştir. Alçı bağlı bileşimlerin ısıl karakteristiklerini yansıtabilecek 24 ve 25 numaralı bileşimler ile referans 1, dilatometre testi için seçilmiştir.

5.7.5 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

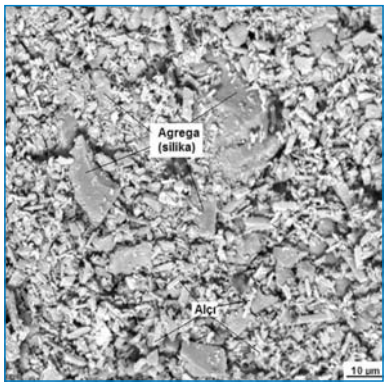
Tarama elektron mikroskobu incelemelerinin yapıldığı numuneler de kalıp yapım teknikleri uygulanarak üretilmiştir. Silikon kalıplara dökülen numuneler sertleşmelerinin ardından 75 °C'da 5 saat kurutulmuş ve böylece serbest suyun uzaklaşması sağlanmıştır. Uygun boyutlarda küçültülen numunelerin yüzeyleri inceleme öncesi vakum evaporatörde altın ile kaplanmıştır. İncelemeler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan JEOL JSM 5410 tarama elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Tüm alçı bağlı bileşimleri temsilen 21, 37, numaralı bileşimlerin mikro yapısı ile alçı bağlı referans 1'in mikro yapı görüntüleri sırasıyla Şekil 5. 20, 21 ve 22'de görülmektedir.



Şekil 5.20. Alçı bağlı 21 numaralı bileşimin mikro yapısı



Şekil 5.21. Alçı bağlı 37 numaralı bileşimin mikro yapısı



Şekil 5.22. Alçı bağlı referans 1'in (R1) mikro yapısı

5.8. Yüksek Alümina Çimentosu Bağlı Kalıp Malzemeleri

5.8.1. Yüksek Alümina Çimentosu Üretimi

Yüksek sıcaklık dökümlerinde kullanılan fosfat bağlı kalıp tozlarına alternatif olarak geliştirilen yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp tozlarının üretimi, çimento tasarımı ve üretimi ile başlamaktadır. Hazır çimento kullanmak yerine üretim koşulları ve parametreleri optimize edilerek çimento üretip kullanmak daha verimli sonuçlar vermiştir. Uygun özellikleri sağlayan kalıp tozları bu şekilde üretilebilmiştir.

Çimento üretimi ham maddelerin karıştırılması ile başlar, % 50,5 Seydişehir alüminası (Al_2O_3) ve % 49,5 Niğde (Niğkal) mikronize kalsiti ($CaCO_3$) bir saat süre ile değirmende karıştırılır.

Karıştırıcı değirmenden çıkartılan toz karışımı alümina potlara doldurularak elektrik dirençli bir yüksek sıcaklık fırınına yerleştirilir. Dört saatte 1400 °C'a ısıtılan fırın yedi saat bu sıcaklıkta tutulur ve ardından on iki saatte oda sıcaklığına kadar soğutulur.

Pişirme sonucu elde edilen ürün, bilyeli değirmende alümina bilyeler kullanılarak üç saat süreyle öğütülür.

Yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp tozu için geliştirilen ilk bileşimler agrega olarak alçı bağlı kalıp malzemelerinde de kullanılan kuvars (a) ve (b) kullanılarak üretilmiştir. Daha sonra çift katlı kalıp uygulamaları denenmiş ve son olarak da agrega olarak molokit kullanılmıştır.

5.8.2 Yüksek Alümina Çimentolu Kalıp Tozları İçin Kontrol İlaveleri

Bu bileşimlerde bulunan katkı malzemelerinin kullanım amacı alçı bağlılar ile aynıdır.

Polimelamin sülfonat (PMS): Alçı bağlılarda olduğu gibi çamurun akışkanlığını kontrol etmek amacıyla ilave edilir.

ß-alçı: Kalsiyum alüminat bileşiklerinin hidrotasyon reaksiyonun geciktiren bir katkı malzemesidir. Priz süresini uzatarak yeterli çalışma süresi sağlar.

SF: Süper Ateş firmasından temin edilmiş SF, sodyum karbonat içeren bir seramik flaksıdır. Prizlenmeyi hızlandıran bir katkı malzemesidir.

5.8.3. Çift Katlı Kalıp Yapımı

Çimento bağlı kalıp malzemesinin özelliklerini geliştirmek ve meydana gelen çatlamaların parça boşluğuna zarar vermesini önlemek için çift katlı kalıp yapımı tasarlanmış ve denenmiştir. Çift katlı kalıp yapımı, hassas dökümün iki türü olan seramik kabuklu ve dereceli hassas döküm tekniklerinin bir nevi birleştirilerek uygulanması olarak tanımlanabilir.

Çift katlı kalıp yapımında, modeli saran ilk seramik katmanı seramik kabuklu yönteme göre yapılmakta, ardından kaplanan model kauçuk altlığa yerleştirilerek çevresine dereceli hassas döküm yöntemi prensiplerine göre hazırlanmış seramik çamuru doldurulmaktadır. Aseton ile temizlenen mum model 60:40 oranında kolloidal silika ve ergiyik silika ile hazırlanan seramik çamuruna daldırılıp üzerine zirkon kaplanır. Kurutulan model altlığa yerleştirilerek çevresine derece geçirilir ve çimento esaslı kalıp malzemesinden hazırlanan çamur dereceye doldurulur.

Modele bir ön kaplama yaparak çift katlı kalıp uygulamalarının, destek malzemesinde meydana gelen çatlakların parça boşluğuna ulaşmasını engellediği gözlenmiştir. Ancak model kaplamak kalıplama sürecini uzatmaktadır ve yöntem tek model veya seyrek dizilmiş model ağaçlarına uygundur; sık dizilmiş model ağaçlarını boşluksuz kaplamak mümkün değildir. Dereceli hassas dökümde, seri üretimlerde sık dizilmiş model ağaçlarının kullanıldığı göz önüne alınacak olursa çift katlı kalıp kesin bir çözüm değildir. Bu nedenle model kaplama yerine agreganın değiştirilmesi düşünülmüş ve kuvars yerine bir çeşit alümina silikat olan molokit agrega olarak denenmiştir.

5.8.4. Fosfat Bağlı Kalıp Malzemeleri (Referans)

Yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemesi, özellikle yüksek ergime sıcaklığına (>1200 °C) sahip metal ve alaşımların dökümü için tasarlanıp üretilmiştir. Bu malzemenin endüstriyel bir örneği yoktur; bu nedenle yüksek sıcaklık dökümleri için kullanılan fosfat bağlı ticari bir kalıp malzemesi referans olarak seçilmiştir. Bu referans malzemesinin

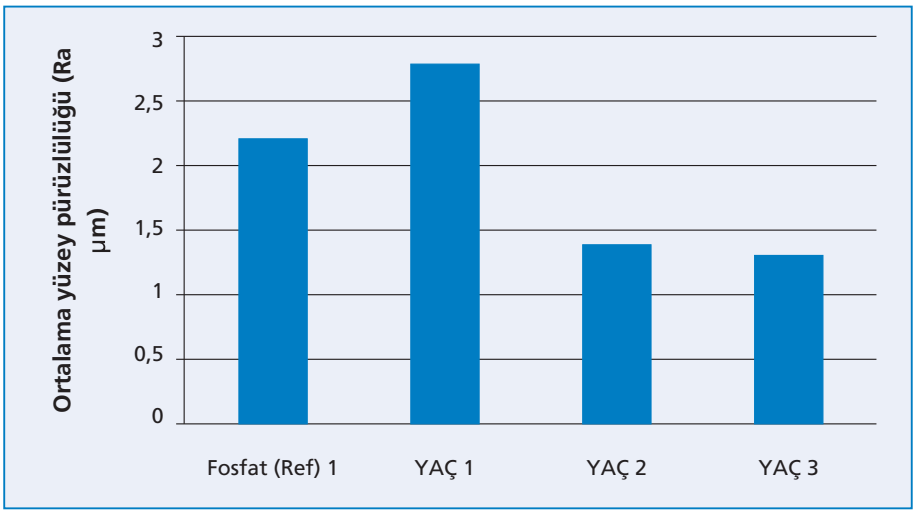
Yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemelerinin bileşimleri Çizelge 5.3'te görülmektedir.

Çizelge 5.3. Yüksek alümina çimentosu bağlı kalıp malzemelerinin bileşimleri

Bil. No.	PMS %	ß-alçı %	SF %	Pav %	ST %	AS %	YAÇ %	Kuv (a)	Kuv (b)	Molokit %	İlk Kat
1	0,5	0,66	0,05	1			20	18	60		
2	0,5	0,66	0,05	1			20	18	60		Zirkon
3	0,5	0,66	0,05	1			20			78	
4	0,4	0,66	0,05	1			20		10	68	
5	0,45	0,66	0,05	1	0,20		20			78	
6	0,5	0,66	0,05	1		0,2	20			78	
7	05	0,66	0,05	1		0,4	20			78	

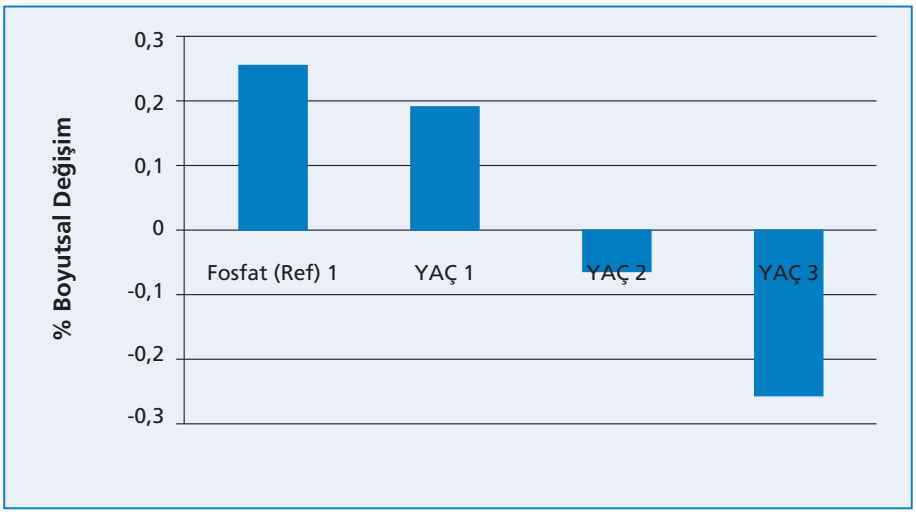
5.8.5 Yüzey Pürüzlülüğü ve Boyutsal Değişim Ölçümleri

YAÇ bağlı 1, 2 ve 3 numaralı bileşimler bu malzemeler ile yapılan dökümlerin ve testlerin temel bileşimleri olmuştur. Bu üç bileşim ve fosfat bağlı referans 1 için hem bronz dökümde (3. Basamak) hem de paslanmaz dökümdeki ortalama yüzey pürüzlülükleri için histogram grafikler oluşturulmuştur. Bunlar Şekil 5.23'te görülmektedir.



Şekil 5.23. Fosfat bağlı referans 1 ve YAÇ bağlı 1, 2, 3 numaralı bileşimlerin bronz dökümlerdeki (3. Basamak) ortalama yüzey pürüzlük (Ra) değerleri

Bronz dökümlerde meydana gelen boyutsal değişimler için çizilen histogram grafik de Şekil 5. 24' te verilmiştir.



Şekil 5.24. Fosfat bağlı referans 1 ve YAÇ bağlı 1, 2, 3 numaralı bileşimlerin bronz dökümlerdeki boyutsal değişimler

5.8.5.1. Prizlenme Genleşmesi (Boy Değişimi) Tayini

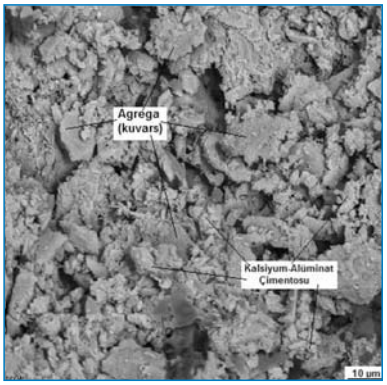
YAÇ bağlı kalıp malzemeleri için prizlenme genleşmesi, alçı bağlılarda uygulanan standart yöntem ile ölçülmüştür.

5.8.5.2. Isıl Genleşme Tayini (Dilatometre Testleri)

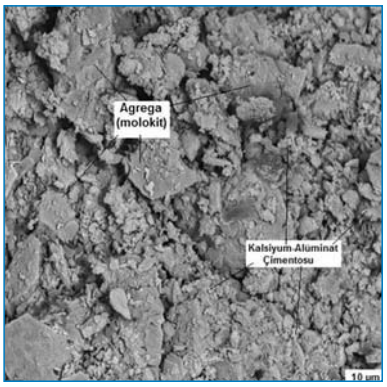
1 ve 3 numaralı YAÇ bağlı kalıp malzemeleri ve fosfat bağlı referans 1'in dilatometre testleri de Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde gerçekleştirilmiştir.

5.8.6. Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

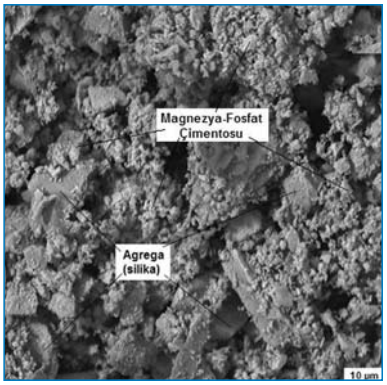
YAÇ bağlı ve fosfat bağlı referans kalıpların tarama elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri için numune hazırlama işlemleri ve inceleme yapılan cihaz, alçı bağlı olanlar ile aynıdır. 1 ve 3 numaralı bileşimler ile fosfat bağlı referans 1'in mikro yapı görüntüleri sırasıyla Şekil 5. 25, 26 ve 27' de verilmiştir.



Şekil 5.25. YAÇ bağlı 1 numaralı bileşimin mikro yapısı



Şekil 5.26. YAÇ bağlı 3 numaralı bileşimin mikro yapısı



Şekil 5.27. Fosfat bağlı referans 1'in mikro yapısı

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Yüzey Kalitesine Etki Eden Unsurlar

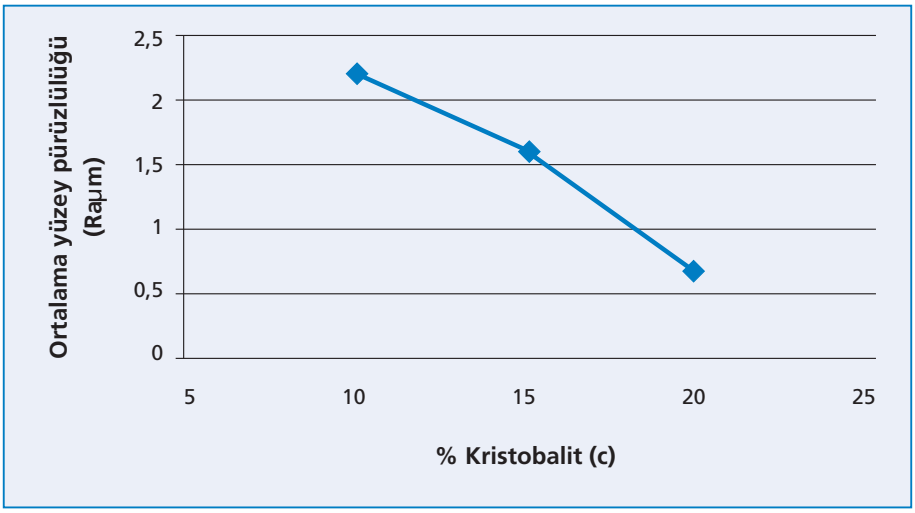
Farklı özelliklere sahip çok sayıda dereceli hassas döküm kalıp malzemesi ile yürütülen deneysel çalışmalarda döküm parçaların yüzey kalitesine etki eden unsurlar büyük oranda belirlenmiştir. Bunlar; parça kalınlığı, agrega boyutu, su/toz oranı, alçı oranı, alçı morfolojisinin etkisi, asit banyosunda tutma süresi, modelin ağaçtaki yeri, metal geri dönüşümü, döküm tekniği ve gözenek çapı olarak sıralanabilir.

6.1.1. Parça Kalınlığının Etkisi

Merdiven şekilli yüzey numunesinin basamaklar arası yüzey pürüzlüğünün karşılaştırılması ile parça kalınlığının yüzey kalitesine etkisi belirlenebilir. Bileşimlerin ortalama yüzey pürüzlük çizelgeleri incelendiğinde genel eğilim olarak pürüzlük numunesinin en kalın basamağı olan 1. basamaktan en ince basamağı olan 3. basamağa gidildikçe yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Bunun sebebi yönlenmiş katılaşma ve basamakların katılaşma süreleri arasındaki farktır. 3. basamak uçtadır ve en incedir. Katılaşma bu basamaktan başlayarak arkasındaki iki kalın basamağa doğru devam eder. Kalın olan basamaklar önündeki ince basamaklara besleyici görevi görür. 1. Basamak 8 mm kalınlığındadır ve bu kalınlık dereceli hassas döküm kalıplarının yolluk sistemleri için zorlayıcı bir kalınlıktır. Bu nedenle en fazla çekme en kalın basamakta olmakta ve yüzey pürüzlüğü buna bağlı olarak yükselmektedir.

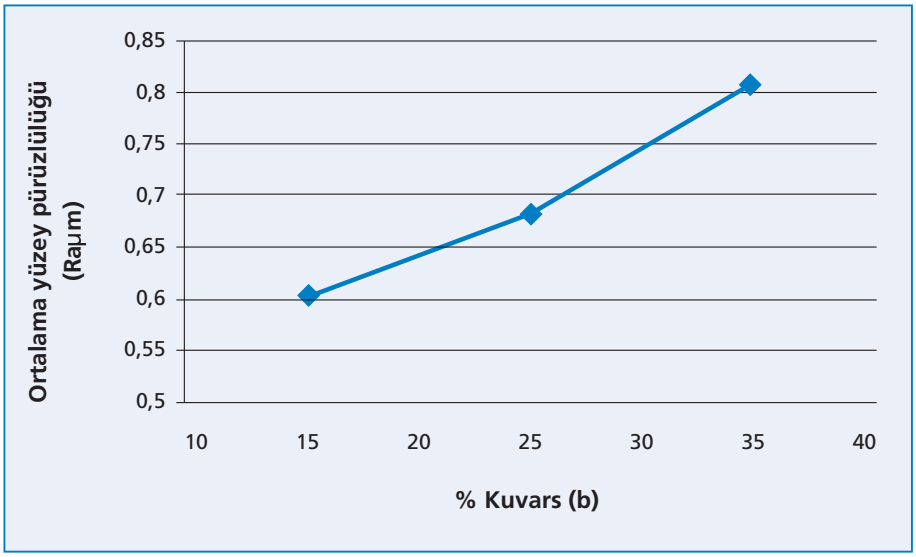
6.1.2. Agrega Boyutunun Etkisi

Özellikle deneysel çalışmalarda bileşim ve döküm sayısı bakımından daha geniş bir yer kapsayan alçı bağlı kalıp malzemelerinden elde edilen sonuçlar, agrega boyutunun yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. En ince boyutlu agrega kristobalit (c) 'dir, d (0,9) tane boyutu 7,057 µm'dir. Kristoablit (c) 29, 30 ve 20 numaralı bileşimlerde sırasıyla % 10, 15 ve 20 oranında bulunmaktadır. Bu adı geçen bileşimlerin geriye kalan içerikleri hemen hemen aynıdır ve bu kalıplara dökülen gümüş yüzey pürüzlülüğü numunelerinin 3. basamağından (en ince) ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri de sırasıyla 2,200 µm, 1,598 µm ve 0,679 µm'dir. Kristbalit (c) oranı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerini bir grafiğe aktarırsak karşımıza Şekil 6. 1'da görülen eğri çıkar.



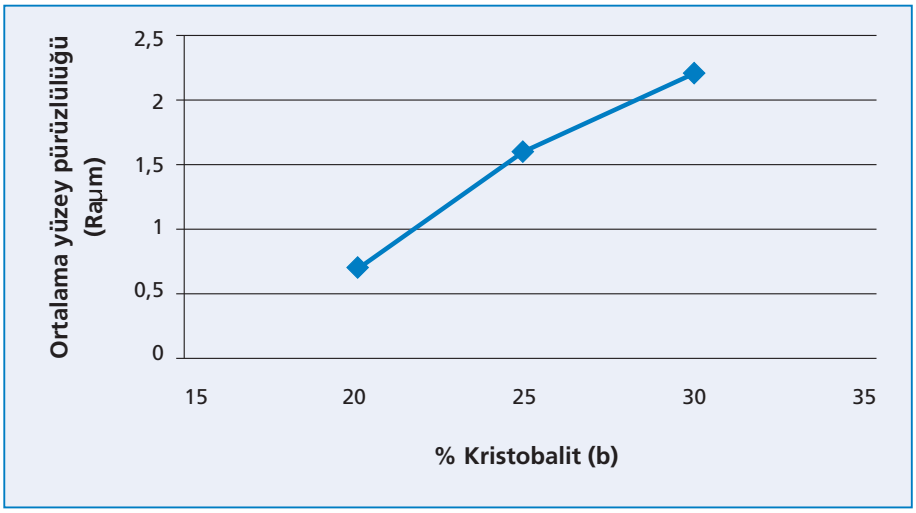
Şekil 6.1. Kristobalit (c) oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi

Alçı bağlı bileşimlerin hazırlanmasında en çok kullanılan agregalardan olan Kuvars (b) en iri taneli ikinci kuvars türüdür ve d (0,9) tane boyutu 44,423 µm'dir. Kuvars (b) 21, 20 ve 17 numaralı bileşimlerde sırasıyla % 17, 24 ve 34 oranında bulunmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü numunelerinin 3. basamaklarından ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri de sırasıyla 0,601 µm, 0,679 µm ve 0,802 µm'dir. Bu değerlerden oluşturulan Şekil 6. 2' de görülmektedir.



Şekil 6.2. Kuvars (b) oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi

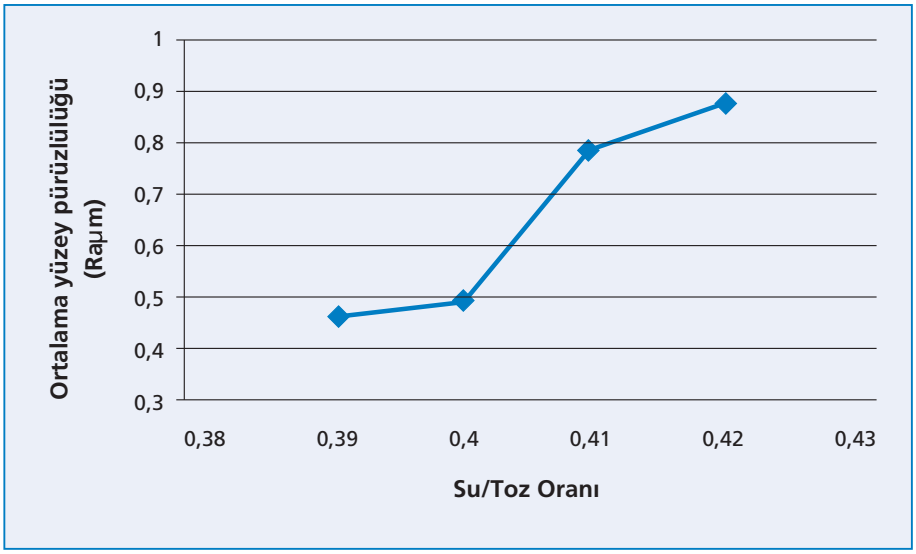
Benzer bir değerlendirmeyi orta tane iriliğine sahip kristobalit (b) (d 0,9 = 37,344 µm) için yapacak olursak, 24, 30 ve 29 numaralı bileşimler sırasıyla % 20, 25 ve 30 oranında kristobalit (b) içermektedir. Döküm numunelerin 3. basamağından ölçülen ortalama yüzey pürüzlüğü değerleri de sırasıyla 0,665 µm, 1,598 µm ve 2,200 µm'dir. Bu değerlerden de bir eğri çizdiğimizde Şekil 6. 3' de görülen grafik meydana gelir.



Şekil 6.3. Kristobalit (b) oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi

6.1.3. Su/Toz Oranının Etkisi

Endüstriyel olarak kullanılmakta olan dereceli hassas döküm kalıp malzemeleri ile kalıp hazırlama prosedürlerinde su/toz oranı kesin bir oran veya dar bir aralık şeklinde belirlenmiştir. Olması gerekenin dışındaki su/toz oranlarında kalıbın ısıl ve mekanik özelliklerinin değiştiği bilinmektedir. Bununla beraber su/toz oranı döküm parçaların yüzey kalitesini de oldukça etkilemektedir. Bu etkiyi belirleyebilmek amacıyla 1 numaralı alçı bağlı referans malzemesi ile sırasıyla 0,39, 0,40, 0,41 ve 0,42 su/toz oranıyla gümüş dökümü için kalıplar hazırlanmıştır. Basamaklı pürüzlülük numunelerinin 3. basamağından ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri de sırasıyla 0,461 μm, 0,488 μm, 0,789 μm ve 0879 μm'dir. Bu değerler ile bir grafik çizdiğimizde ortaya Şekil 6. 4'teki eğri çıkmış olur.

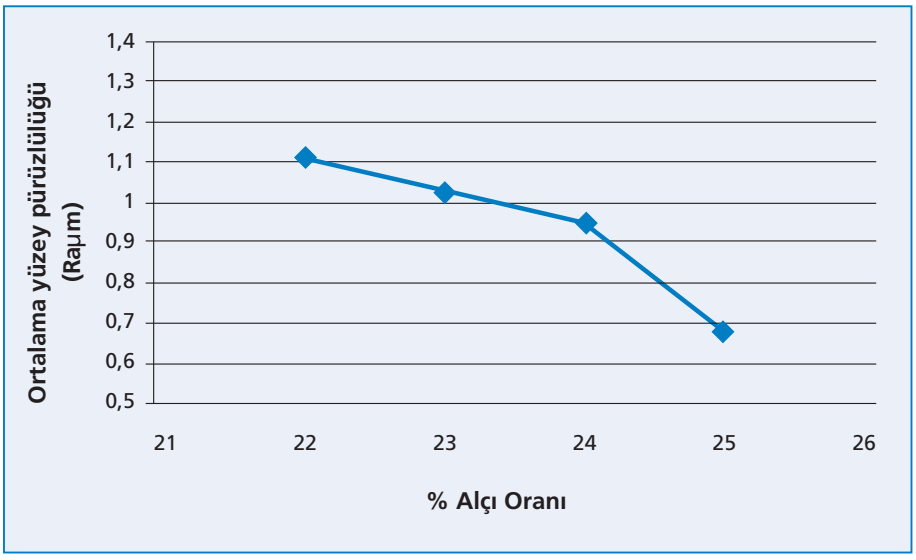


Şekil 6.4. Su/toz oranına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimi

Dereceli hassas döküm kalıplarının yapımında suyun rolü, bağlayıcının prizlenmesini yani hidrate olmasını sağlamak ve malzemeye dökülebilir bir akışkanlık kazandırmaktır. Kalıp çamurunun model çevresine doldurulduktan, prizlenmeye kadar süre içerisinde sızma adı verilen bir segregasyon meydana gelir. Stokes kanuna bağlı olarak katı partiküller çöktükçe su yukarı çıkma eğilimi gösterir. Aynı durum beton harçları için de söz konusudur ve hidrolik açıdan hassas döküm kalıp malzemeleri inşaat harçları ile oldukça birbirine benzemektedir. Kalıp içerisinde yükselen su, model ile katı kalıp arasında bir film oluşturur ve yüzey kalitesini etkilemiş olur. Olması gerekenden fazla kullanılan su, kalıbı aşırı akışkan hale getirir ve bu su prizlenmede de kullanılmadığından model yüzeyinde birikir. Bu birikme doğrudan döküm parçaya da yansır ve kuyumcuların su izi adını verdikleri izler meydana gelir. Yapılan deneysel çalışmada % 0,40 su/toz oranın üzerine çıkılması ile yüzey pürüzlülüğü belirgin olarak yükselmiştir bu durum karışımda fazla su olduğunu göstermektedir. Bu, malzeme için % 0,40 su/toz oranı yüzey kalitesi açısından aşılmaması gereken bir sınırdır.

6.1.4. Alçı Miktarının Etkisi

Bağlayıcı olarak görev yapan alçı, agregayı bir arada tutarak kalıbın yapısal bütünlüğünü sağlamış olur. Kalıp tozu bileşimindeki alçı yarı hidrat ($CaSO_4.1/2H_2O$) formundadır. Kalıp tozunun suyla karıştırılması ile yarı hidrat alçı su içerisinde çözünür ve daha sonra dihidrat formunda ($CaSO_4.2H_2O$) kristalize olur. Agrega taneleri arasındaki boşluklara çökelip çevresini sararak tanelerin birbirlerine bağlanmalarını sağlar. Endüstriyel olarak kullanılan alçı bağlı kalıp malzemelerinde alçının ağırlıkça oranı % 22-27 arasında olduğu bilinmektedir. Bu oran aralığı kalıbın hazırlanmasından döküm işlemi tamamlanıncaya kadar mekanik ve ısıl etkilerden kaynaklanan bir hasarın oluşmaması göz önüne alınarak belirlenmiştir. Ancak ne var ki bu alçı oranı aralığı içinde alçı miktarının değişimi yüzey özelliklerini etkilemektedir. Bu etkiyi tespit edebilmek için deneysel çalışmalarda hazırlanan alçı bağlı bileşimlerden farklı alçı oranına sahip olanların dökümünden elde edilen numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri karşılaştırılmıştır. 23, 25, 28 ve 20 numaralı alçı bağlı bileşimlerin alçı oranları sırasıyla % 22, 23, 24 ve 25'dir. Bu bileşimlerden hazırlanan kalıplara yapılan gümüş dökümlerinden çıkan yüzey pürüzlülüğü numunelerinin 3. basamaklarından alınan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri de sırasıyla 1,112 µm, 1,033 µm, 0,951 µm ve 0,679 µm'dir. Bu veriler ile bir grafik çizdiğimizde karşımıza Şekil 6. 5' te görülen eğri çıkar.

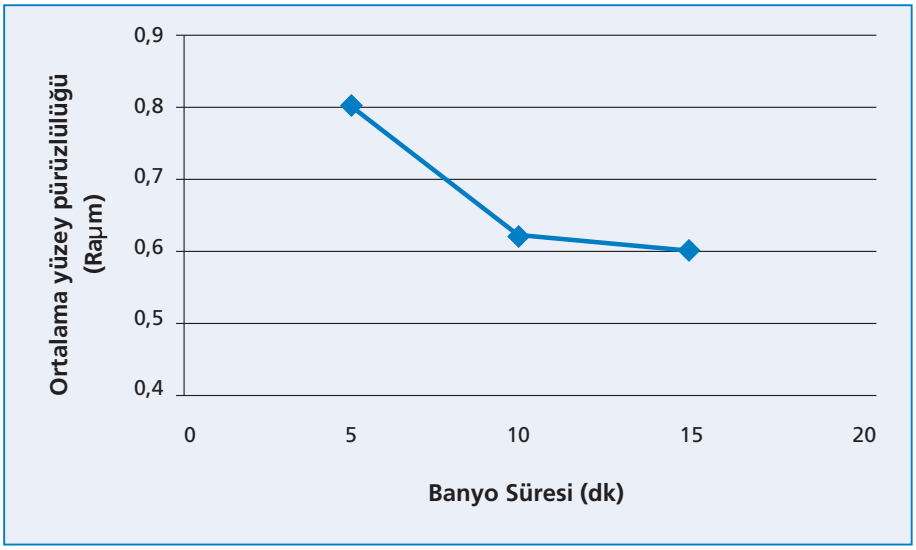


Şekil 6.5. Alçı miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi

Kalıp malzemesi bileşimindeki alçı oranının artışının doğal sonucu olarak prizlenme ile çökelen dihidrat alçı miktarı da artmış olur. Agrega tanecikleri çevresine ve ara boşluklara daha fazla alçı çökelerek gözenekliliği ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünü bir noktaya kadar azaltır. Unutulmamalıdır ki gerçekleştirilen döküm işlemi basınçlı vakum dökümdür. Vakum destekli doldurmanın sağlıklı uygulanabilmesi için kalıbın belirli bir gözenek oranına sahip olması gerekmektedir. Artan alçı miktarı gözenek oranını azalttığından, belli bir değerden sonra vakum desteği zayıflayabilir.

6.1.5. Asit Banyosunda Tutma Süresi Etkisi

Endüstriyel uygulamalarda dereceli hassas döküm kalıbından çıkan gümüş döküm ağaçları, sıcak bir asit çözeltisi banyosuna alınarak oksit temizleme işlemine tabi tutulur. Bu işlemin süresi ortalama beş dakikadır ve kalıptan siyah olarak çıkan döküm ağaçları bu işlem sonucunda beyaz renge dönüşür. Deneysel çalışmaların bir bölümünün yürütüldüğü Goldaş A.Ş. dökümhanesinde tüm dökümlere bu işlem % 25 sülfürik asit (H_2SO_4) çözelti banyosu ile uygulanmıştır. Temizleme banyosunun aşındırıcılığının yüzey kalitesi üzerinde belirli bir etkisi olduğu kuşkusuzdur. Bu etkiyi belirlemek için alçı bağlı bileşimlerden 22 numaralı bileşime dökülen numune seçilerek sırasıyla 5, 10 ve 15 dakika süreyle aynı banyoda tutulmuş ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür, Numunenin 3. basamağından ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla 0,799 µm, 0,619 µm ve 0,598 µm'dir. Bu veriler ile çizilen eğri Şekil 6. 6'da görülmektedir.

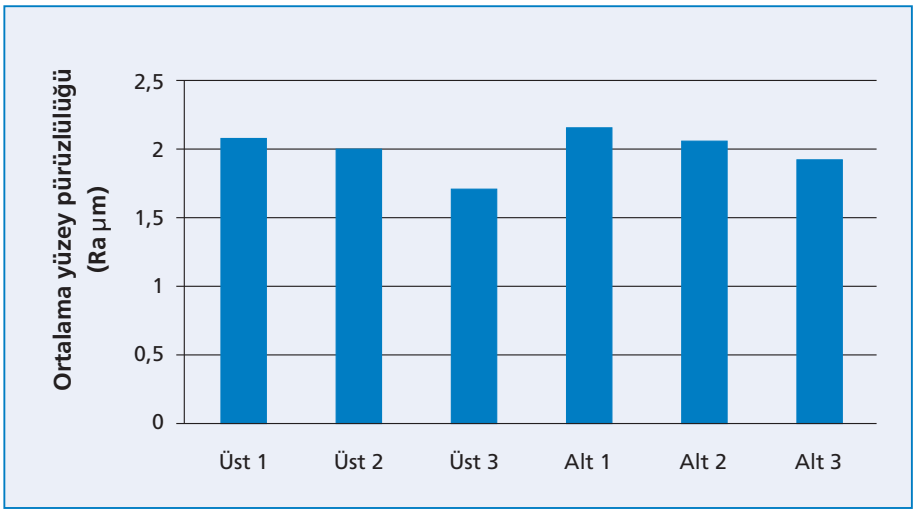


Şekil 6.6. Asit çözeltisi banyosunda tutma süresinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Asit çözeltisi banyosu dökümden gelen yüzeydeki oksitleri çözdükten sonra döküm parçanın yüzeyini kimyasal olarak aşındırmaya devam etmektedir. Banyoda tutma süresinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü giderek azalmaktadır.

6.1.6. Modelin Ağaçtaki Yerinin Etkisi

Dereceli hassas döküm kalıplarının prizlenme süresi boyunca meydana gelebilecek segregasyon, kalıbın farklı bölgelerinde farklı boyutta partiküllerin toplanmasına ve model temas bölgelerindeki su/toz oranının yüksekliğe bağlı olarak değişmesine neden olur. Stokes kanununa bağlı olarak kalıbın üst bölgelerinde su oranı artarken iri boyutlu partiküller de kalıbın altına doğru çökecektir. Bu durumda model ağacında farklı yükseklikte olan döküm parçaların yüzey pürüzlüğü de birbirinden farklı olabilir. Böyle bir durumun olup olmadığını saptayabilmek amacıyla, 41 numaralı alçı bağlı bileşimden yapılan kalıpta model ağacının üstüne ve altına birer adet yüzey pürüzlüğü numunesi kaynatılarak döküm yapılmıştır. İki modelin uç noktaları arasında 150 mm'lik bir fark oluşturulmuştur. Bu iki yüzey numunesinin her üç basamağından da ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile çizilen histogram Şekil 6. 7'de görülmektedir.



Şekil 6.7. Model yüksekliğine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi

Çok belirgin olmasa da grafikten görüldüğü üzere model ağacında üstte bulunan numunenin her basamaktaki ortalama yüzey pürüzlüğünün, altta bulunandan daha düşük olduğudur. Bunun sebebi büyük oranda prizlenme sırasında meydana gelen segregasyondur. Ancak bu durumu destekleyen bir neden daha vardır. Kalıp yapım işleminde üstte olan model döküm sırasında altta kalır çünkü döküm anında kalıp terstir ve sıvı metal kalıba tabanından doldurulur. Bu durumda alt bölgelerdeki hidrostatik basınç üst bölgelerden daha yüksek olacaktır ve bu basınç farkı yüzey özelliklerini değiştirecektir. Grafikte görülen durumu tam tersine çevirmek de gayet basittir. Karışım gereğinden fazla suyla hazırlanırsa sızmadan dolayı üst bölgelerde meydana gelecek su birikmesi, üst parçanın yüzey pürüzlülüğünü arttıracaktır.

6.1.7. Metal Geri Dönüşümünün Etkisi

Hiç şüphesiz ki model, kalıp ve döküm işlemi değişkenleri kadar dökülen metalin durumu, içeriği ve temizliği de yüzey kalitesini yakından ilgilendirir. Deneysel çalışmalarda Goldaş A.Ş. dökümhanesinde yapılan gümüş dökümlerinde çoğunlukla primer ve rafine edilmiş gümüş kullanılmıştır. Alçı bağlı bileşimlerden 35, 40, 44 ve 45 numaralı bileşimlerin dökümlerinde ise hiçbir bitirme ve rafinasyon işlemine tabi tutulmamış iç hurda olarak nitelendirilen yolluk ve takı parçaları ergitilmiştir. Bu dökümlerdeki şarj malzemesinin yüksek oksit içeriği yüzey kalitesini kötü yönde etkilemiştir.

6.1.8. Döküm Tekniğinin Etkisi

Döküm başlığı altında önceden de bahsedildiği gibi vakum destekli, basınçlı vakum, mikro ve merkezkaç olmak üzere dört ayrı döküm tekniği ile çalışmalar yürütülmüştür. Bronz dökümler için vakum destekli, gümüş dökümler için basınçlı vakum, paslanmaz çelik dökümleri için de mikro ve merkezkaç döküm teknikleri kullanılmıştır.

Alçı bağlı bileşimlerden 4 numaralısı hem vakum desteği ile bronz dökümünde hem de basınçlı vakum döküm ile gümüş dökümünde kullanılmıştır. Yüzey numunelerinin her üç basamağı için de ortalama yüzey pürüzlülükleri, bronz için 1 den 3'e sırasıyla 1,513 µm, 1,276 µm, 0,932 µm ve gümüş için de 1 den 3'e sırasıyla 0,832 µm, 0,949 µm, 0,767 µm'dir. Her ne kadar metal türleri farklı olsa da vakum desteğine ilave olarak uygulanan üst basıncın yüzey kalitesini arttırdığı söylenebilir.

Paslanmaz çelik dökümlerinde uygulanan mikro döküm işleminde ergitme vakum altında gerçekleştirilir; pota kalıba devrilerek doldurulur ve bu sırada üst basınç uygulanır. Merkezkaç dökümde ise vakum altında ergitilen metal, potanın devrilmesiyle dönmekte olan kalıba üstten doldurulur. YAÇ bağlı bileşiklerden 2 numaralısı ile bu her iki döküm uygulaması da gerçekleştirilmiştir. Mikro ve merkezkaç dökümden elde edilen numunelerden ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla 3,786 µm ve 1,978 µm'dir. Aynı bileşim için bu yüksek oranda değişim tamamen döküm tekniği farkına bağlıdır. Merkezkaç dökümün oluşturduğu yüksek doldurma basıncı yüzey kalitesinin artmasını sağlamıştır.

6.2. Boyutsal Hassasiyete Etki Eden Unsurlar

Dereceli hassas dökümde parçaların nihai boyutları kalıbın prizlenme ve ısıl genleşmesi ile dökülen metalin toplam büzülmesine bağlıdır. Kalıbın prizlenme ve ısıl genleşme toplamı metalin büzülmesinden fazlaysa döküm parça modelinden daha büyük olacaktır, tersi durumda da daha küçük olacaktır. Bu durumda kalıp malzemesi tasarımında boyutsal hassasiyet üzerinde çalışırken prizlenme genleşmesini ve ısıl genleşmeyi etkileyen unsurları ayrı ayrı göz önüne almak gerekmektedir.

6.2.1. Prizlenme Genleşmesine Etki Eden Unsurlar

Prizlenme, kalıp çamurunun sertleşmesi, prizlenme genleşmesi de kalıp çamurunun ilk sertleşmesinden bağlayıcı hidratasyonu tamamlanıncaya kadar meydana gelen boyutsal artış olarak tanımlanabilir. Bağlayıcı bileşenler karışımdaki su ile reaksiyona girerek hidrate olur; bu işlem devam ederken hidrat kristalleri büyüme gösterir ve sonuçta yapının boyutlarını değiştirir. Buradan da anlaşıldığı üzere prizlenme genleşmesi bağlayıcı bileşen ile doğrudan bağlantılıdır ve prizlenme genleşmesine etki eden unsurlar bağlayıcı cinsi, bağlayıcı kristal morfolojisi, su/toz oranı ve katkıların etkisi olarak sıralayabiliriz.

Deneysel çalışmalarda prizlenme genleşmeleri, numuneler sertleştiklerinde ve sonrasında birinci ve ikinci saatin sonunda doğrusal boyut ölçümleri ile belirlenmiştir. Test süresinin iki saat ile sınırlı tutulmasının sebebi endüstriyel ürünlerin hidratasyonunun bu süre içerisinde tamamlanması ve dökümhanelerde en fazla iki saat beklemenin ardından kalıpların pişirme işleminin başlatılmasıdır.

6.2.1.1. Bağlayıcı Morfolojisinin Etkisi

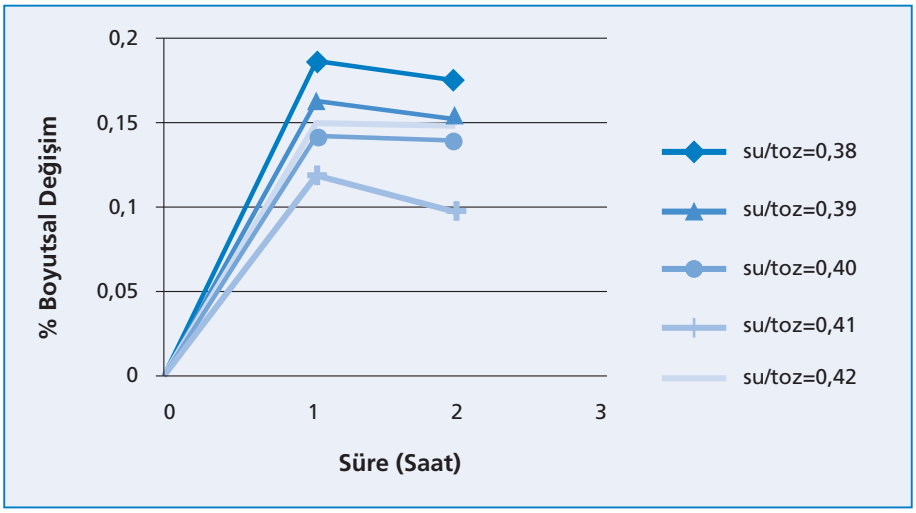
Karakterizasyon çalışmaları içerisinde tarama elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri, malzemelerin temel bileşenlerini görüntülemek, karşılaştırmak ve özellikle bağlayıcı morfolojisini belirlemek için yapılmıştır. Şekil 5.20, 21, ve 22'de sırasıyla alçı bağlı bileşim 21, 37, ve referans 1'e ait SEM mikro yapı görüntüleri görünmektedir. Şekil 5. 25, 26 ve 27'de de sırasıyla YAÇ bağlı 1, 3 ve fosfat bağlı referans1 'in mikro yapıları verilmiştir. Tüm mikro yapıların genel incelmesinde göze çarpan iki bileşen bağlayıcı ile agregadır ve bunlar görüntüler üzerinde tanımlanmıştır. Bağlayıcı morfolojisi açısından incelendiğin de alçı bağlılar ile YAÇ ve fosfat bağlılar arasında temel farklılıklar görünmektedir. Kalsiyum alüminat çimentosu ve magnezya fosfat çimentosu alçı kristallerine göre daha ince boyutludur ve ayrıca agregalar arası boşluklardan daha yüksek oranda agrega taneciklerinin üzerine tutunmuş ve çökelmiş durumdadır. Hidratasyon ile alçı diğer bağlayıcılara göre kristallerini daha fazla büyütebilmiştir ve bu kristaller agrega taneciklerinin üzerinden daha çok aralarındaki boşluklara yerleşmiştir. Alçı bağlı malzemelerin prizlenme genleşmelerinin nispeten daha yüksek olmasının arkasındaki itici güç, bu morfolojik farklılıktır.

Morfolojik açıdan, alçı kalıp malzemelerini kendi içinde de karşılaştırmak gerekmektedir. Çünkü alçı bağlı referans 1 ile laboratuvarda üretilen alçı bağlı malzemeler arasında oldukça yüksek prizlenme genleşmesi farkı vardır. Su/toz oranı 0,40 olduğunda referans 1 % 0,51 genleşme gösterirken alçı bağlılardan 30 numaralı bileşim % 0,22 genleşme göstermiştir. Aradaki bu fark, hidrate olmuş alçı kristallerinin şekilsel farklılığına bağlıdır. 21 ve 37 numaralı bileşimlere ait mikro yapı görüntülerinde alçı kristalleri çoğunlukla eş eksenli olarak görülmektedir, referans 1'e ait mikro yapı görüntüsünde ise alçı kristalleri bir ayrıt yönüne uzamış, çubuksu şekilde görülmektedir. Alçı kristallerinin belli bir yönde daha fazla büyüyerek ince uzun formda kristaller oluşturması prizlenme genleşmesini arttırıcı bir etki gösterebilmektedir. Ayrıca bu durum, tanecikler arasında geniş gözeneklerin de oluşmasının sebebidir ve porozimetre testlerinde bu durum ortaya çıkmıştır.

Çubuksu formda kristaller α-alçının karakteristik özelliğidir. Bu durumda referans 1'in içeriğindeki alçının tam α-alçı olduğu, laboratuvarda üretilen malzemelerin alçısının ise karışık söylenebilir.

6.2.1.2. Su/Toz Oranının Etkisi

Su/Toz oranının prizlenme genleşmesi üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi amacıyla alçı bağlı 12 numaralı bileşimden sırasıyla su/toz oranı 0,38, 0,39, 0,40, 0,41 ve 0,42 olacak şekilde numuneler dökülerek prizlenme genleşmeleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlardan çizilen grafik Şekil 6. 8' de görülmektedir.

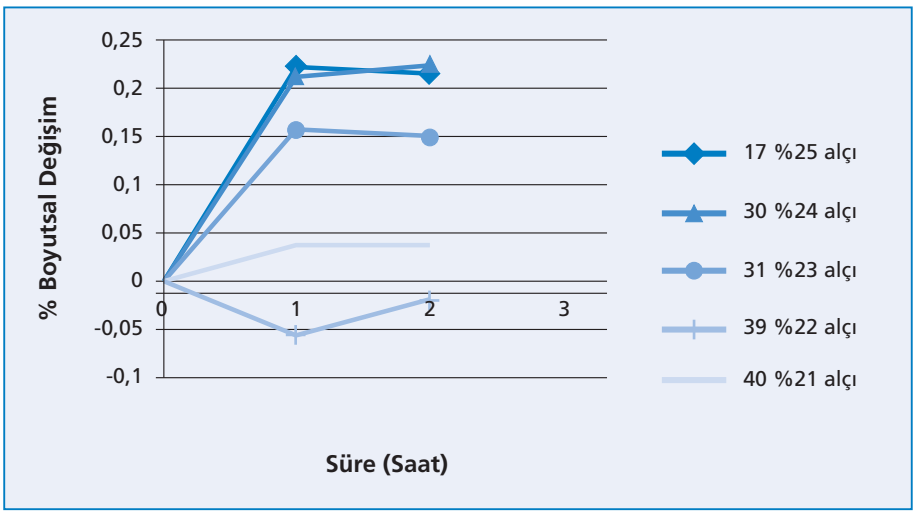


Şekil 6.8. 12 numaralı alçı bağlı bileşimin farklı su/toz oranlarında prizlenme genleşmesi

Dereceli hassas döküm kalıplarının akışkanlığını sağlayan serbest su, alçı kristallerinin büyüme mekanizması üzerinde de etkilidir. Prizlenme sırasında büyümekte olan alçı kristallerinin çevresini saran su filminin yüzey enerjisi, kristallerin büyümesini engelleyici ve dolayısıyla prizlenme genleşmesini azaltıcı bir etki göstermektedir. Su/toz oranında 0,38'den 0,41'e kadar olan artışta bu durum görülmektedir. Su/toz oranı 0,42 olduğunda bu defa prizlenme genleşmesinin arttığı görülmüştür. Fazla miktarda su higroskobik koşullarda prizlenme sağlamıştır, alçı kristalleri büyüyebilecekleri geniş boşluklar bulmuştur.

6.2.1.3. Alçı Bağlı Malzemeler İçin Alçı Miktarının Etkisi

Alçı miktarının prizlenme genleşmesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi için prizlenme genleşmesi testi uygulanmış alçı bağlı 17, 30, 31, 39 ve 40 numaralı bileşimlerin genleşme eğrileri ile yeni bir grafik oluşturulmuştur ve bu grafik Şekil 6. 9'da görülmektedir. Adı geçen bileşimler sırasıyla % 25, 24, 23, 22 ve 21 oranında alçı içermektedir.

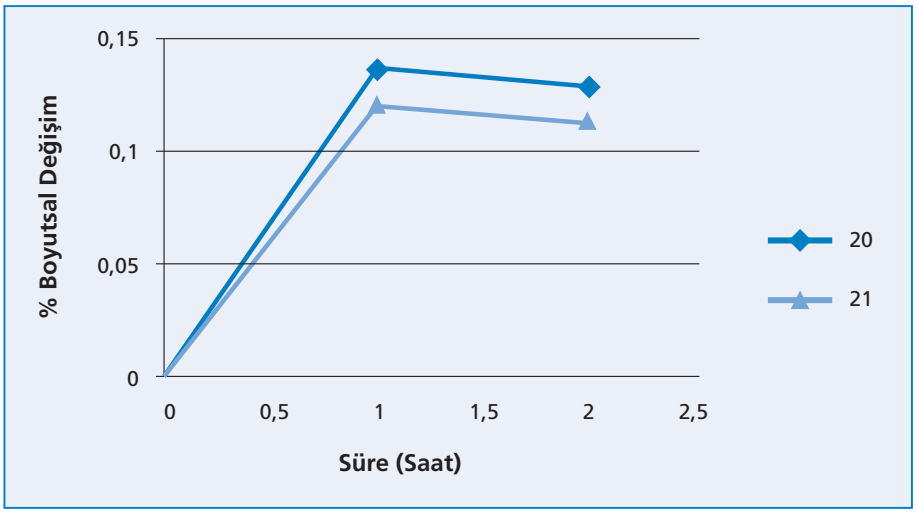


Şekil 6.9. Alçı miktarına bağlı olarak prizlenme genleşmeleri

Grafikten görüldüğü gibi genel eğilim olarak alçı miktarı ile prizlenme genleşmesi büyük ölçüde doğru orantılıdır. Prizlenme genleşmesini sağlayan bağlayıcının hidrate kristaller oluşturarak bunların büyümesidir, bağlayıcı oranı artıkça normal olarak prizlenme genleşmesinin de artması beklenmelidir.

6.2.1.4. Agrega Boyutunun Etkisi

Prizlenme genleşmesi testi uygulanan alçı bağlı bileşimlerden 20 ve 21 numaralı bileşimin kompozisyonları incelendiğinde 20 numaranın % 24 Kuvars (a), % 10 Kuvars (d), 21 numaranın da % 17 Kuvars (a), %17 Kuvars (d) içerdiği, geri kalan bileşen oranlarının aynı olduğu görülmektedir. Şekil 6. 10' da görülen grafik bu iki bileşimin prizlenme genleşmesi değerlerinden oluşturulmuştur. Kuvarsa (a) ve (d)'nin tane boyutları arasında büyük fark vardır; d(0,9) değerleri sırasıyla 44,423 µm ve 11,157 µm'dir.

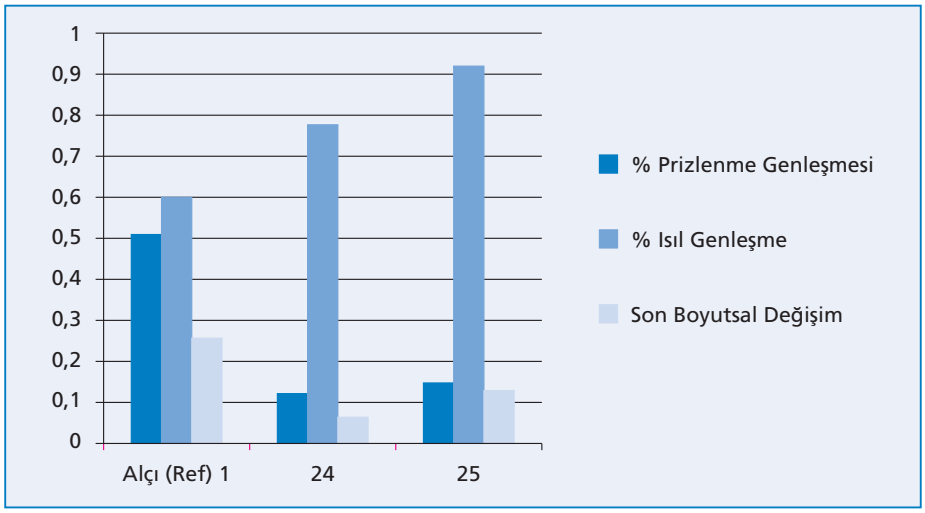


Şekil 6.10. Alçı bağlı 20 ve 21 numaralı bileşimlerin prizlenme genleşmeleri

21 numaralı bileşimin 20 numaralıya göre prizlenme genleşmesi bir miktar daha düşüktür. Artan ince boyutlu agrega oranının yapıdaki gözenek boyutlarını küçültmesinden dolayı prizlenme genleşmesi sırasında alçı kristallerinin büyümesini baskıladığı düşünülmektedir. Son döküm parçaların boyutsal genleşmelerine göz atıldığında 20 numaralı bileşimin % 0,389, 21 numaralı bileşimin de % 0,193 oranında genleşme gösterdiği görülmektedir. Bu fark da prizlenme genleşmeleri arasındaki farkla tutarlıdır.

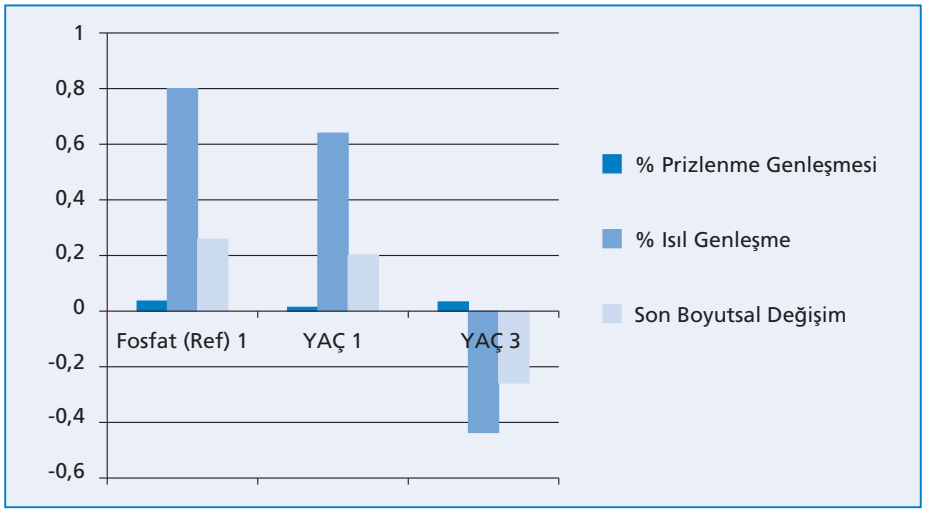
6.3. Isıl Genleşmeye Etki Eden Unsurlar

Alçı bağlı malzemeler için prizlenme, ısıl genleşme ile son boyutsal değişimi gösteren bir histogram grafik oluşturulmuştur ve Şekil 6. 11'de görülmektedir. 1 numaralı referans malzemesi düşük ısıl genleşmesini yüksek prizlenme genleşmesi ile karşılar ve gümüş dökümde % 0,258 son boyutsal değişim gösterir. Laboratuarda üretilen kalıp malzemelerini temsil eden 24 ve 25 numaralı bileşimler ise yüksek ısıl genleşme göstermelerine rağmen prizlenme genleşmeleri düşük olduğu için son boyutsal değişimde referans 1 kadar genleşme gösterememiştir. Ne var ki döküm parça boyutu model boyutuna daha yakın olduğu için laboratuvarda üretilen alçı bağlı malzemelerinin boyutsal hassasiyeti, 1 numaralı referanstan daha yüksektir.



Şekil 6.11. Alçı bağlı malzemelerin prizlenme ve ısıl genleşmeleri ile son boyutsal değişimleri

Yüksek sıcaklık grubu kalıp malzemeleri olan YAÇ ve referans fosfat bağlı kalıp malzemeleri oldukça düşük prizlenme genleşmesi göstermiştir ve bu malzemelerde son boyutsal değişim üzerinde etkili olan ısıl genleşmedir. Fosfat bağlı referans 1 ile YAÇ bağlı 1 ve 3 numaralı bileşimlerin prizlenme ve ısıl genleşme ile son boyutsal değişimlerini gösteren histogram grafik Şekil 6.12'de görülmektedir.



Şekil 6.12. Yüksek sıcaklık grubu malzemelerin prizlenme, ve ısıl genleşmeleri ile son boyutsal değişimleri

BÖLÜM 7

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Dökümcülük sektöründe ve döküm teknikleri içerisinde hassas döküm, yüksek yüzey kalitesi ve boyutsal hassasiyet ile özdeşleşmiş durumdadır. Bu tez çalışmasında hassas dökümün iki yönteminden biri olan dereceli hassas döküm yönteminde yüzey kalitesine ve boyutsal hassasiyete etki eden unsurlar araştırılmıştır. Yürütülen çalışmaların bir diğer amacı da ticari hassas döküm kalıp malzemelerine alternatif olabilecek, muadil ve yeni nesil malzemeler geliştirmek olmuştur. Bu nedenle araştırma özellikle kalıp unsurları üzerinde gerçekleşmiştir. Her dökümcü bilmektedir ki, hiçbir kalıp modelinden, hiçbir döküm parça da kalıbından daha iyi değildir. Şüphesiz ki bu zincirde ara halka olan kalıp, döküm kalitesi üzerinde en etkili olanıdır. Tek adımda nihai şekilli parça üretiminin yapıldığı hassas dökümde, kalıbın döküm kalitesi üzerindeki etkisi çok daha baskındır.

Dereceli hassas döküm yöntemi ile dökümle yapılan en ince şekillendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle yöntem, büyük fabrikalarda değil, küçük kuyumcu dökümhanelerinde ve diş protez laboratuvarlarında uygulanmaktadır. Hitap ettiği sektörler, geleneksel döküm sektörlerinin oldukça dışında kaldığı için, dökümcülük denildiğinde dereceli hassas döküm yöntemi pek akla gelmez.

Endüstriyel olarak uygulanan pek çok döküm yönteminde olduğu gibi dereceli hassas döküm yönteminde de harcanabilir tek kullanımlık kalıplar kullanılmaktadır. Döküm işleminin ardından parçalanarak uzaklaştırılan kalıp malzemesinin, kalıplama işleminde yeniden kullanılması için geri dönüştürülmesi söz konusu değildir. Harcanabilen ve geri dönüştürülemeyen kalıp malzemeleri döküm maliyetlerinde her zaman en yüksek girdilerden birini oluşturmaktadır. Ülkemiz, dereceli hassas döküm yöntemi ile üretimin en çok yapıldığı kuyumculuk alanında dünya çapında bir üretici durumundadır ve çoğu kritik malzemede olduğu gibi kalıp malzemelerinde de dışarıya bağımlı durumdadır. Kalıp malzemelerinde dünya piyasasına, ikisi İngiliz, ikisi de Amerikan olmak üzere dört büyük firma hâkimdir. Uzun yıllardır bu firmalar, farklı ihtiyaç ve kullanımlara yönelik çok çeşitli kalıp malzemeleri geliştirmekte, üretmekte ve piyasaya sürmektedir. Geniş ürün yelpazeleri ile her biri önemli bir marka olmayı başarmıştır. Deneysel çalışmalarda referans olarak adlandırılan ticari kalıp malzemeleri bu firmaların ürünleri arasından seçilmiştir.

Dökülen metal ve alaşımların döküm sıcaklıklarına ve buna bağlı olarak kullanılan kalıp malzemelerine göre dereceli hassas döküm yönteminde, düşük ve yüksek sıcaklık dökümleri olmak üzere doğal bir ayrım vardır. Bu doğal ayrıma deneysel çalışmalarda da uyulmuş, düşük sıcaklık dökümleri için alçı bağlı malzemeler, yüksek sıcaklık dökümleri için de YAÇ bağlı malzemeler ile çalışılmıştır. Tartışmaya da bu ayrıma uyarak devam etmek ve sonrasında yüzey kalitesine ve boyutsal hassasiyete etki eden unsurlara değinmek faydalı olacaktır.

7.1. Alçı Bağlı Kalıp Malzemeleri

Alçı bol bulunan, kolay üretilen ucuz bir malzemedir. Bunlar ve diğer birçok üstün özelliği sayesinde alçı, başta inşaat sektörü olmak üzere pek çok alanda vazgeçilmez bir malzeme olmuştur. Alçı bağlı kalıp malzemeleri, altın ve gümüş alaşımları gibi düşük ergime sıcaklığına sahip kıymetli metallerden takı üretiminde en çok kullanılan dereceli hassas döküm kalıp malzemeleridir. Döküm sıcaklığı 1200 °C'a kadar olan dökümlerde kalıp malzemeleri için kullanılabilecek en iyi bağlayıcı alçıdır ve bu açıdan

alternatifsizdir. Diğer bağlayıcılı malzemeler de elbette düşük döküm sıcaklıkları için kullanılabilir. Ancak bunların hiçbiri, alçı kadar kullanım kolaylığı ve esnekliği sağlamaz ve alçı kadar ekonomik olamaz. Deneysel çalışmalar tasarlanırken bu durum göz önüne alınmıştır. Bileşim olarak alçı bağlı ticari kalıp malzemelerine benzeyen kalıp malzemeleri geliştirilerek dökümlerin yüzey ve boyut özelliklerini etkileyen unsurlar bu malzemeler kullanılarak araştırılmıştır. Laboratuvarda üretilen alçı bağlı kalıp malzemelerinin ham madde teminleri, geliştirilmiş mevcut malzemelerle rekabet edebilmeleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Ekonomik olarak alternatiflerinin gerisinde kalan bir malzeme geliştirmenin mühendislik açısından bir öneme sahip olmadığı aşikârdır. Agrega olarak kullanılan kristaobalit ve bazı kontrol ilaveleri hariç diğer tüm malzemeler yerli üretici ve tedarikçilerden karşılanmıştır. Yurt içinde kristobalit üretimi yapılmadığından bu malzemeyi ithal olarak kullanmak zorunlu olmuştur.

Deneysel çalışmalar iki koldan yürütülmüştür; ancak alçı bağlı kalıp malzemelerinin buradaki payı daha büyüktür. Çok sayıda bileşim üzerinde çalışılmış ve bunların kırk yedi tanesi ile döküm deneyleri de yapılmış ve elde edilen sonuçlar tez içerisinde yer almıştır. Akışkanlık ve priz süresinin optimize edilmesi deneysel çalışmalarda en çok vakit alan ön işlemlerdir. Değişen agrega ve bağlayıcı oranına göre veya kullanılan farklı katkılara göre akışkanlık ve priz süresi değişim göstermektedir. Bu değişkenleri çalışılabilir sınırlar içerisinde tutmak için her bileşim için optimizasyon yapılmıştır. PMS oranı değiştirilerek akışkanlık; maya (sitrik asit) oranı değiştirilerek de priz süresi optimize edilmiştir.

Kalıp malzemesi geliştirmek çalışma içerisinde büyük bir yer tutmasına rağmen asıl araştırma bundan sonra başlamaktadır. Döküm yapmadan döküm kalitesi üzerinde yorum yapmaya imkân yoktur. Dökümlerin yüzey bitimlerini ve boyutsal değişimlerini araştırmak için tasarlanan özel numunelerin farklı alaşımlar ile dökümleri yapılmıştır. Bu dökümler üzerinden, geliştirilen kalıp malzemelerinin performansları ve döküm kalitesini etkileyen unsurlar araştırılmıştır. Deneysel sonuçlara bakılarak söylenebilir ki referans olarak kabul edilen ticari kalıp malzemeleri ile benzer içeriğe sahip ve dökümler üzerinde benzer özellikler sergileyen alçı bağlı kalıp malzemeleri geliştirilebilmiştir. Gerek üniversite döküm laboratuvarında gerekse Goldaş A.Ş. dökümhanesinde bu kalıp malzemeleri ile çok sayıda tam, eksiksiz, sorunsuz dökümler başarıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda alçı bağlı kalıp malzemesi bileşimlerinin geliştirilmesinde özellikle agrega boyutu ve oranlarının değişimi üzerinde durulmuştur.

Alçı morfolojisinin değiştirilmesi yönünde çalışmalar tez çalışmasının son kısmında başlatılmıştır ve bu konudaki çalışmanın oldukça genişletilebileceği fark edilmiştir. Öncelikle alçı morfolojisinin değişim ve dönüşüm mekanizmaları üzerinde yürütülecek bir çalışma ile farklı alçı bağlı kalıp malzemesi bileşenleri geliştirilebilir. Bu tez çalışması ile kalıp malzemesi geliştirilmesi sona ermeyecek ve çalışma bu yönde devam edecektir.

7.2. Yüksek Alümina Çimentosu Bağlı Kalıp Malzemeleri

Dereceli hassas dökümde yüksek sıcaklık dökümleri söz konusu olduğunda alçı bağlı kalıp malzemelerinin yerini fosfat bağlı kalıp malzemeleri alır, bu malzemeler de alçı bağlılar gibi silika esaslı agregalar içermektedir. Fosfat bağlı kalıp malzemelerinin kullanımı alçı bağlılar kadar kolay değildir. Prizlenme süreleri oldukça değişkendir ve akışkanları düşüktür. Dökümden sonra alçı gibi su içerisinde çözünmezler; dolayısıyla dağılabilirliği zayıf malzemelerdir. Deneysel çalışmalar tasarlanırken yüksek sıcaklık dökümleri için, içerik olarak fosfat bağlı ticari ürünlere benzeyen malzemeler yerine onlara alternatif olabilecek farklı içerikli malzemelerin geliştirilmesine karar verilmiştir. İşte YAÇ bağlı kalıp malzemeleri bu şekilde ortaya çıkmıştır. YAÇ, çoğunlukla refrakter sanayinde kullanılan özel bir çimento türüdür, ticari olarak

dereceli hassas döküm kalıbı malzemelerinde kullanıldığı bilinmektedir. Bu çimentoların Portland çimentosuna göre çok daha kısa sürede prizlenmesi ve yüksek ısıl dirence sahip olması yüksek sıcaklık döküm kalıpları için iyi bir bağlayıcı olabileceği düşünülmüştür. YAÇ'ı hazır temin etmek yerine laboratuar şartlarında üretmenin, hem çimentonun özelliklerini kontrol etmede daha avantajlı olacağı hem de geliştirilen kalıp malzemesinin ekonomikliğini arttıracağı tespit edilmiştir. YAÇ üretimi için yerli malzemeler tercih edilmiş, ham madde olarak Niğde kalsiti (Niğkal) ve Seydişehir alüminası kullanılmıştır. Farklı sıcaklık, bileşim ve sürelerde YAÇ üretimi yapılmış, kalıp yapımına en uygun çimentonun % 50,5 alümina, % 49,5 kalsit karışımı ile 1400 °C'de yedi saat sürede üretildiği belirlenmiştir

YAÇ kullanılarak hazırlanan ilk kalıp malzemesi bileşimine agrega olarak kuvars katılmıştır. Bu kalıplarda, paslanmaz çelik mikro dökümlerde çatlaklar oluştuğu gözlenmiştir. Kalıp pişerken meydana gelen bu genleşme çatlaklarının kalıp boşluğuna ulaşmasını engellemek için modellere ön kaplama yapılarak çift katlı kalıp uygulaması denenmiştir. Bu yöntem başarılı olsa da modelin bir seramik çamuru ve tozuyla kaplanması işlem süresini uzatmış ve bu işlemin sık dizilmiş model ağaçları için uygun olmadığı görülmüştür. Tek adımda yapılan ve çatlamayan bir bileşim geliştirmek amacıyla agrega olarak kuvars yerine molokit kullanılmıştır. Bu sayede çatlamayan, referans ve önceki bileşimlere göre daha iyi yüzey veren kalıplar üretilebilmiştir. Ancak ne var ki molokit içeren kalıp, artan sıcaklıkla büzülme gösterdiği için boyutsal hassasiyet açısından bu bileşim zayıf kalmıştır. Kuvars içeren ilk bileşim yeterli genleşme gösterse de nispeten kaba yüzey vermekte ve çatlak riski oluşturmaktadır. Bağlayıcı olarak kullanılan YAÇ laboratuvarda üretildiğinden miktarı kısıtlı olmuştur; bu nedenle çalışmalardaki bileşim sayısı sınırlı tutulmak zorunda kalınmıştır.

Deneysel sonuçlar göstermektedir ki YAÇ bağlı kalıp malzemeleri yüzey kalitesi bakımından, fosfat bağlı referans malzemelere göre daha üstündür; boyutsal hassasiyet bakımından bunların gerisinde kalmıştır. Bu açıdan YAÇ bağlı kalıp malzemelerinin geliştirilmesi sürdürülmelidir. Agrega olarak molokit içeren kalıp malzemelerinin ısıl genleşme göstermediği göz önüne alınarak prizlenme genleşmesini teşvik edecek bileşimlerin geliştirilmesi yönünde bu çalışma sürdürülebilir. Bu tür malzemelerin dökümde kullanılmasına karar verildiğinde model toleranslarının değiştirilmesi gerekebilir.

7.3. Yüzey Kalitesine Etki Eden Unsurlar

Döküm gibi fiziksel hal değişimine dayanan bir üretim işleminde, tahmin edileceği üzere, özellikler üzerinde etkili olan çok sayıda unsur vardır. Bir de bu işlem dereceli hassas döküm gibi parametre sayısı fazla bir işlemse, bu sayı daha da artmaktadır. Deneysel çalışmalar kalıp malzemeleri üzerine yoğunlaştığı ve yeni kalıp malzemeleri geliştirildiği için daha çok kalıp kaynaklı unsurlar araştırılmıştır. Deneysel sonuçlarda yüzey kalitesine etki eden unsurlar parça kalınlığı, agrega boyutu, su/toz oranı, alçı oranı, alçı morfolojisi asit banyosunda tutma süresi, modelin ağaçtaki yeri, metal geri dönüşümü, döküm tekniği ve gözenek çapı olarak belirlenmiştir. Bu unsurlardan bazıları önceden bilinen ve tahmin edilen unsurlarken bazıları deneysel çalışmalar yürütülürken fark edilmiştir. Kalıp değişkenleri dışındaki unsurları da belirleyebilmek için öncelikle farklı kalınlıkları temsil eden basamaklı yüzey pürüzlülüğü numunesi tasarlanmıştır, farklı döküm teknikleri ile farklı alaşımlar dökülmüştür.

Basamaklı yüzey numunesinin kalınlığı azaldıkça yüzey pürüzlülüğünün de azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Yönlenmiş katılaşma prensibine göre geç katılaşan kalın kesitli bölgeler, çekmenin en yoğun olduğu bölgelerdir. Buradan, çekme artışının yüzey kalitesini kötü yönde etkilediği ortaya çıkmaktadır.

Tahmin edildiği gibi kalıp malzemelerinin içerdiği agreganın tane boyutu yüzey kalitesini yakından etkilemektedir. Tane boyutu artıkça yüzey kabalaşmaktadır. Agrega boyutu inceltilerek çok yüksek yüzey kaliteli dökümler elde etmek teorik olarak mümkün gözükse de kalıp malzemeleri her şeyden önce dökülebilir olmalıdır. Parçacık boyutu ve dağılımı dökülebilirlik üzerinde etkili olan en önemli faktördür. Çok ince taneli malzemeler için yeterli akışkanlığı sağlamak her zaman mümkün olmayabilir. Su oranını ve veya dağıtıcı ilave (PMS) oranını arttırmak buna çözüm olmaz. Su oranını artırmak priz süresini uzatarak segregasyona neden olacaktır. Dağıtıcı ilaveler de çoğunlukla organik esaslıdır ve kompozisyondaki oranının artması kalıbın pişerken çatlamasına neden olmaktadır.

Dereceli hassas döküm kalıplarının su/toz oranı belli sınırlar içerisinde kalmaktadır. Ticari kalıp malzemeleri, çalışma ortamlarında meydana gelebilecek farklı ve yanlış su ölçümlerini tolere edebilecek şekilde sınırlı bir su/toz oran aralığına göre tasarlanır. Alçı bağlı malzemeler için bu aralık 0,38-0,42, fosfat bağlı olanlar için de çoğunlukla 0,28-0,32'dir. Su/toz oranının gerekenden düşük olduğu durumlarda viskozite yükselir, vakum altında kalıplamada karışım içerisinde hava giderilemez, model ağacı üzerinde kalan hava boşlukları kuyumcuların güverse adını verdiği döküm hatalarına neden olur. Yüksek su/toz oranı her şeyden önce kalıbın mekanik dayanımını azalttığı için dökümcüler tarafından kaçınılması gereken bir durumdur. Akışkanlığı olması gerekenden yüksek kalıplarda, ince kesitli bölgelerde pişme esnasında çatlamalar ve bunun sonucunda döküm parçalarda çapak adı verilen hatalar oluşur. Yüksek su/toz oranının yüzey kalitesini azaltıcı etkisi de mevcuttur. Model yüzeylerinde meydana gelen su filmi, döküm parçalara da yansımakta ve su izi olarak adlandırılan döküm hataları oluşmaktadır.

Alçı bağlı kalıp malzemelerinde alçı oranının belli bir seviyeye kadar artması yüzey kalitesini arttırıcı etki göstermektedir. Alçı dökümcülükte ve mimarlıkta düzgün yüzey vermesi ile bilinen bir malzemedir. Hasar görmeden pişebilseydi dereceli hassas döküm kalıpları tamamen alçıdan yapılırdı. Ne var ki alçı oranın çok artması gözenekliliği azalttığından ve kalıp malzemesinin ısıl genleşmesini baskıladığından bu oran belli bir sınırın üzerine çıkartılamaz.

Yapılan çalışmalar alçı morfolojisinin yüzey kalitesini etkilediği ve alçının iğnesel çubuksu formda kristalleştiği yapılarda, eş eksenli kristalleşmeye göre yüzey kalitesinin arttığı tespit edilmiştir. Katkı maddeleri ile alçı morfolojisinin değiştirilebileceği görülmüştür.

Döküm ağaçlarının asit banyosunda oksit giderme ve temizleme işlemine tabi tutulması rutin olarak uygulanan bir işlem kademesidir. Deneysel çalışmalarda dökümler sürdürülürken temizleme banyosunun yüzey özellikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Döküm ağaçları sürekli aynı konsantrasyondaki (% 25 H_2SO_4) asit çözeltisinde temizlendiği için banyoda tutma süresi değiştirilerek yüzey pürüzlülüğünün ne yönde değiştiği araştırılmış ve oksit tabakasının giderilmesiyle beraber banyonun aşındırıcı etkisinin parça yüzeyini kimyasal olarak işlediği ve pürüzlülüğü azalttığı görülmüştür.

Üniversite döküm laboratuvarında gerçekleştirilen bronz dökümlerinde 70 mm çapında 150 mm yüksekliğinde dereceler kullanılmıştır, model ağacı yüksekliği 110-120 mm arasında tutulmuştur. Model ağacına aralarındaki yükseklik farkı 50 mm olan alt alta iki yüzey pürüzlülüğü numunesi kaynatılmıştır. Döküm parçaların yüzey pürüzlülükleri arasında belirgin bir fark olmadığı gözlenmiştir. Goldaş A.Ş. dökümhanesinde yürütülen dökümlerde 100 mm çapında ve 210 mm yüksekliğinde dereceler ile çalışılmıştır; model ağaçları da 180 mm yükseklikte yapılmıştır. Laboratuvarda kullanılanlara göre daha yüksek model ağacı ve dereceler, modeller arasındaki yükseklik farkının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemede işe yaramıştır. Döküm deneylerinden birinde model ağacının en altına ve en üstüne

aralarındaki yükseklik farkı yaklaşık 150 mm olan birer yüzey pürüzlüğü numunesi modeli kaynatılmıştır. Döküm sonucunda üstte bulunan numunenin yüzey pürüzlüğünün altta bulunana göre bir miktar daha iyi olduğu görülmüştür. Buradan anlaşılmaktadır ki model ağacı üzerindeki yükseklik farkı yeterli olduğunda aynı parçaların yüzey özellikleri birbirinden farklı olabilmektedir. Bunun iki geçerli sebebi vardır; birincisi kalıbın dökülmesinden prizlenmeye kadar geçen sürede meydana gelen segregasyon ikincisi de döküm sırasında kalıbın alt ve üst bölgesi arasında oluşan hidrostatik basınç farkıdır.

Metal geri dönüşümünün etkisi, ergitilen metalin temizliğinin yüzey kalitesine etkisini yansıtmaktadır. Ergitilen metalin durumu, yüzey pürüzlülüğü üzerinde kalıp değişkenlerinden bağımsız önemli bir etkendir. En iyi kalıp malzemeleri ile en doğru koşullarda kalıplar yapılsa bile dökülen metalin oksit içeriği ve safsızlığı yüksekse kalıbın etkileri döküm parçalar üzerinde azalmakta ve yüzey kalitesi düşük olmaktadır.

Dereceli hassas döküm yöntemi ile gravite döküm ile doldurulamayacak kadar ince kesitli ve ayrıntılı karmaşık şekilli parçalar dökülmektedir. Bu nedenle döküm işlemeleri özel teçhizatlar gerektirmektedir. Kütlesel üretimlerde en yaygın olarak vakum destekli ve basınçlı vakumlu döküm makineleri kullanılmaktadır, merkezkaç döküm makineleri de bazı uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu döküm makinelerinin ortak ve temel prensibi, döküm basıncını arttırmaktır. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki döküm basıncı ile yüzey kalitesi arasında doğru bir orantı vardır.

7.4. Boyutsal Hassasiyete Etki Eden Unsurlar

Dereceli hassas döküm kalıp malzemesi üreticileri, dökümcülerin üretimlerinde yüksek boyutsal hassasiyete ulaşabilmesi için dökülen metalin büzülmesini karşılayan genleşen tip kalıp malzemeleri tasarlayıp üretmektedir. Yüksek boyutsal hassasiyet ihtiyacını karşılayacak bir kalıp mutlaka genleşmelidir. Kalıplar üzerinde iki genleşme mekanizması etkilidir. Bunlar; prizlenme genleşmesi ve ısıl genleşme mekanizmalarıdır. Bunların toplam genleşme üzerindeki oranları ve etkinlikleri kalıp malzemesi türüne göre değişmektedir.

Prizlenme genleşme miktarını belirleyen temel faktör, bağlayıcı cinsidir. Kalıp malzemesinin suyla karıştırılması sonucu bağlayıcı bileşen hidrate olarak kristalleşir ve prizlenme süresince kristallerini büyütür. Bu durum belirli bir genleşme sağlar. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki alçı bağlı kalıp malzemeleri için bu oran, fosfat bağlı ve YAÇ bağlı kalıp malzemelerine göre oldukça yüksektir. Bu fark da bağlayıcı morfolojisine dayanmaktadır. Alçı kristallerinin yerleşimi ve şekli, genleşmeyi arttırıcı yöndedir. Bağlayıcı miktarı ve agrega tane boyut dağılımı genleşme üzerinde etkili parametrelerdir. Prizlenme genleşmesinde bağlayıcının rolü ön plandayken, ısıl genleşmede agreganın rolü ön plana çıkmaktadır. Hem alçı bağlı hem de fosfat bağlı kalıp malzemelerinde tercih edilen silika esaslı kuvars ve kristobalit, pişme sırasında geçirdikleri allotropik dönüşümler ile ısıl genleşmeyi desteklerler ve bağlayıcıdan kaynaklanan büzülmeleri karşılar. Özellikle alçı, artan sıcaklığa bağlı olarak geçirdiği anhidrit dönüşümleri ile büzülme gösterir ve alçı oranı arttıkça kalıbın ısıl genleşmesi azalır. Fosfat bağlı kalıp malzemelerinde genleşmeyi asıl sağlayan ısıl genleşmedir. Bağlayıcı bileşen belirgin bir büzülme göstermezken silika agrega genleşmeyi sağlar. YAÇ bağlı kalıp malzemelerinde ise agrega olarak kuvars kullanıldığında toplam genleşmeyi yeterli oranda arttıracak kadar bir ısıl genleşme sağlanır. Agrega olarak molokit tercih edildiğinde ise ısıl büzülme meydana gelmektedir ve son boyutsal değişim negatif olmaktadır. Buna karşın molokit, düşük çatlama riski ile güvenli kalıp yapımına olanak sağlamaktadır.

BÖLÜM 8

GENEL SONUÇLAR

1. Laboratuvar şartlarında, düşük sıcaklık metal ve alaşımları için alçı bağlı, yüksek sıcaklık metal ve alaşımları için de yüksek alümina çimentosu bağlı dereceli hassas döküm kalıp malzemeleri üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.

2. Döküm çalışmaları, büyük oranda takı üretimi yapan Goldaş A.Ş. dökümhanesinde gerçekleştirilerek, geliştirilen kalıp malzemelerinin endüstriyel şartlarda denenmesi bu tez çalışması için büyük fayda sağlamıştır.

3. Çok sayıda bileşim, farklı alaşımlar ve farklı döküm teknikleri ve cihazlarıyla çalışmak, deneysel çalışmaları ve sonuçları zenginleştirmiştir.

4. Tez çalışması kapsamında kalıp malzemesi üretimi amaçlandığı için deneysel faaliyetlerde kalıp bileşimi geliştirilmesi büyük yer tutmuştur.

5. Dereceli hassas dökümde yüzey kalitesi ve boyutsal hassasiyete etki eden unsurlar araştırılırken özellikle kalıp unsurları üzerinde durulmuştur.

6. Ticari kalıp malzemeleri referans olarak kullanılmış, geliştirilen kalıp malzemelerinin tüm karakteristikleri bunlarla karşılaştırılmıştır.

7. Alçı bağlı kalıp malzemelerinin geliştirilmesine daha fazla ağırlık verilmiştir. Bunun nedenlerinden birincisi bu malzemeler ile ilgili daha uzun süredir çalışılıyor olması, ikincisi bu malzemelerin endüstride kullanımının daha yaygın olmasıdır. Yüksek alümina çimentosunun laboratvuarda kısıtlı miktarlarda üretilebilmesi, bu bağlayıcı ile geliştirilen bileşimlerin sayısını sınırlamıştır.

8. Dereceli hassas döküm kalıp malzemelerinin en önemli bileşeninin bağlayıcı olduğu, bağlayıcı cinsinin, oranın ve morfolojisini hem yüzey kalitesi hem de boyutsal hassasiyet üzerinde oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir.

9. Isıl genleşmenin, bağlayıcı cinsine, agrega cinsine ve bağlayıcı agrega oranına bağlı olduğu görülmüştür. Dereceli hassas döküm kalıp malzemelerinde agrega olarak kullanılan silika, yüksek ısıl genleşme sağlayarak, kalıbın bütünlüğünü korurken, nihai genleşmeyi de desteklemiş olur. YAÇ bağlı, molokit agregalı sağlam ve yüksek yüzey kalitesi sağlayan kalıp malzemesi bileşimi geliştirilmesine rağmen, molokit ısıl genleşme gösteremediği için nihai genleşmeye katkı sağlayamamıştır.

10. Deneysel çalışmalarda gözlendiği üzere yüksek alümina çimentosu alçı gibi yüksek oranda bir ısıl daralma göstermemektedir; bu nedenle agregası kuvars olan kalıplar pişerken çatlaklar meydana gelebilmektedir. Bu çatlakların kalıp boşluğuna ulaşmasını engellemek için kullanılan modele ön kaplama yapılarak çift katlı kalıp oluşturulması başarılı bir uygulama olmuştur. Ne var ki ön kaplama tek modele veya birkaç model içeren seyrek dizilmiş küçük model ağaçlarına uygundur. Çok sayıda model içeren sık dizilmiş ağaçlar için pratik bir uygulama değildir.

11. Geliştirilen tüm kalıp malzemeleri, yapılan deneyler, analizler ve gözlemler neticesinde daha iyi bir hale getirilebilir. Çalışmalar bu yönde devam edecektir.

KAYNAKLAR

[1] Baumeister, G., Rath, S. ve Hauselt, J., (2006). "Microcasting of Al Bronze and Gold Base Alloy Improved by Plaster-Bonded Investment", Microsystems Technology, 12: 773-777.

[2] Rath, S., Baumeister, G. ve Hauselt, J., (2006). "Investments for Casting Micro Parts with Base Alloys" Microsystems Technology, 12: 258-266.

[3] Beeley, P.R. ve Smart, R.F., (1995). Investment Casting, The University Press, Cambridge,

[4] Hunt, L.B., (1980). "The Long History of Lost Wax Casting", Gold Bulletin, 13: 63-79.

[5] Clegg, A.J., (1991). Precision Casting Processes, Pergamon Pres, Oxford.

[6] Yaman, B., (2002). Demir Dışı Alaşımların Dereceli Hassas Dökümünde Kullanılan Kalıp Malzemeleri, Yükseklisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[7] Beeley, P., (2001), Foundry Technology, Second Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.

[8] Çavuşoğlu, E.N., (1992). Döküm Teknolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İstanbul.

[9] Horton, P.J., (2000). "Investment Powders and Casting", Gold Technology, 28:12-17.

[10] Faccenda, V. ve Ingo, G.M., (2000). "Advances in Investment and Burnout Furnace Design", Gold Technology, 31: 22-28.

[11] Faccenda, V., (2003). Handbook on Investment Casting, World Gold Council, London.

[12] Kauçuk Kalıplar ve Mum Modeller, www.jewelry-model.com, 15 Mart 2011.

[13] Bonilla, W., Masood, S.H. ve Iovenitti, P., (2001). "An Investigation of Wax Patterns for Accuracy Improvement in Investment Cast Parts", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 18: 348-356.

[14] Horacek, M., (1997). "Accuracy of Castings Manufactured by Lost Wax Process". Proceedings of the 23rd British Investment Casting Trade Association Conference, 8-10 June 1997, Cambridge, UK, 2:1-20.

[15] Mum ağacı ve derece, www.ganoskin.com, 22 Mayıs 2005.

[16] Dereceli hassas döküm takı döküm ağaçları, http://www.schultheiss-gmbh.de/products.html, 24 Mayıs 2011.

[17] Dereceli hassas döküm kalıbı kesiti, www.ransom-randolph.com, 15 Kasım 2010.

[18] Ünlüer, Ö., (2001). Alçı Kalıplar ve Alçı Kalıplarda Mikro Yapı Dizaynı, Yüksek Lisans Dönem Projesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

[19] Kaya, D., (2000). Anhidrit ve Kalsiyum Karbonatın Döküm Alçısına Etkisi, Bitirme Tezi, Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

[20] Meille, S., Saadaoui, M., Reynaud, P. Ve Fantozzi, G., (2003). "Mechanism of Crack Propagation in Dry Plaster", Journal of the Europe Ceramic Society. 23: 3105-3112.

[21] Soroka, I. ve Sereda, P., (1968). "Interrelation of Hardness, Modulus of Elasticity and Porosity in Various Gypsum Systems", Journal of American Ceramic Society, 51: 337-340.

[22] Dalui, S., Roychowdhury, M. ve Phani, K.K, (1996). "Ultrasonic Evaluation of Gypsum Plasters", Journal of Materials Science, 31: 1261-1263.

[23] Subaşı, R., (1999). Alçı Kalıp Yapımında Kullanılan Yarı Hidratların Karakterizasyonu, Bitirme Tezi, Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

[24] Singh, N.B. ve Middendof, B., (2007). "Calcium Sulphate Hemidyrate Hydration Leading to Gypsum Crystallization", Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 53: 57-77.

[25] Lodovici, E., Meria, J.B.C., Eloy, L., Filho, R. ve Ballester, R.Y., (2005). "Expansion of High Flow Mixtures of Gypsum-Bonded Investments in Contact with Absorbent Liners", Dental Materials", 21: 573-579.

[26] Morey, E.F., (1992). "Dimensional Accuracy of Small Gold Alloy Castings. Part 3, Gypsum-Bonded Investment Expansion", Australian Dental Journal, 37: 43-54.

[27] Santos, J.F. ve Ballester, R.Y., (1984). "Delayed Hygroscopic Expansion of Gypsum Products", Journal of Prosthetic Dentistry, 37: 366-370.

[28] McAloon, J. ve Mori, T., (1993). "Study of Gypsum-Bonded Casting Investments. Part 2., Australian Dental Journal, 38: 306-308.

[29] Barsoum, M.W., (1997). Fundamentals of Ceramics, McGrowHill Companies, Singapore.

[30] Sammer, A.R., Parmelee, D., Lamngefold, C.F. ve Stark, R.A., (1989). Refractories Manuel, AFS Inc., Des Plaines, Illinois.

[31] Stone, R.L., (1947). Phase Diagrams for Ceramists, American Ceramic Society, Columbus, Ohio.

[32] Arcasoy, A., (1983). Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, İstanbul.

[33] Soudee, E. ve Pera, J., (2000). "Mechanism of Setting Reaction in Magnesia-Phosphate Cements", Cement and Concrete Research, 30: 315-321.

[34] Lloyd, C.H., Yearn, C.A., Cowper, G.A., Blavier, J. ve Vanderdonckt, M., (2004). "Measurement of Setting Expansion of Phosphate-Bonded Investment Materials: Part I - Development of The Casting-Ring Test, Journal Oral Rehabilition, 31: 695-702.

[35] McCabe, J.F. ve Walls, A.W.G., (2008). "Applied Dental Materials", Ninth Edition, Blackwell Publishing, Singapore.

[36] Yaman C., (1996). "Fosfat Bağlı Alümina Refrakterler", Metal Dünyası, 44: 62-68.

[37] Juszczyk, A.S., Radford, D.R. ve Curtis, R.V., (2007). "Deformation of Phosphate-Bonded Investment Materials at Elevated Temperatures", Dental Materials, 23: 579-585.

[38] Juszczyk, A.S., Radford, D.R. ve Curtis, R.V., (2000). "The Influence of Handling Technique on The Strength of Phosphate-Bonded Investments", Dental Materials, 16: 26-32.

[39] O'Brien, W.J.,(1997). Dental Materials and Their Selection, Second Edition, Quintessence Publishing Co Inc., London.

[40] Soo, S., Palmer, R. ve Curtis, R.V., (2001). "Measurement of The Setting and Thermal Expansion of Dental Investments Used for Superplastic Forming of Dental Implant Superstructures", Dental Materials, 17: 247-252.

[41] Yaman C., (1998). "Refrakter Malzemeler için Kimyasal Bağlayıcılar", Metal Dünyası, 59: 38-39.

[42] Li, T., Luo, J., Wu, S. Ve Wan, L., (2009). "A new Phosphate-Bonded Investment Material for Rapid Ceramic Molding of Medium-Size Castings", Advanced Materials Research, 79-82: 1715-1718.

[43] Hewlett, P.C., (2004). Lea's Chemistry of Cement and Concrete, Fourth Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.

[44] Popovics, S., (1992). Concrete Materials Properties, Specifications and Testing, Second Edition, Noyes Publication, New Jersey.

[45] Kalsiyum-Alüminat Faz Diyagramı, http://en.wikipedia.org/wiki/File: CaAluminatesPhaseDiagram.JPG, 12 Nisan 2011.

[46] Ramachandran, V.S., (1995). Concrete Admixtures Handbook Properties, Science and Technology, Second Edition, Noyes Publication, New Jersey.

[47] Molokit, http://www.imerys-molochite.com/molochite.htm, 10 Ocak 2011.

[48] Ergiyik Silika, http://www.mincoitc.com/FAQSilica.htm, 10 Ocak 2011.

[49] Stefanescu, D.M., (1998). ASM Handbook Volume 15 Casting, ASM International, Ohio.

[50] Kolloidal Silika, http://www.vsep.com/pdf/ColloidalSilica.pdf, 15 Ocak 2011.

[51] Zirkon, http://www.mineralszone.com/minerals/zircon-allied-mineral.html, 15 Ocak 2011.

[52] Işıtman, O. ve Işıkçı, C. (1985). "Alçı Kalıp Problemlerinin Çözümü ve Maksimum Verimlilikte Kalıp Üretimi", Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı II, 15-19 Nisan, Ankara, 289-306.

[53] Carter, R., (2000). "Effects of Changing The Water-to-Powder Ratio on Jewellery Investments", Proceedings of 14th Santa Fe Symposium, 21-24 May 2000, Albuquerque, 31-47.

[54] Mahir, H., (1996). "Alçı/Su Oranının Alçı Kalıp ve Dökümüne Olan Etkilerinin Araştırılması, III Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt I, 22-25 Ekim 1996, Ankara, 107-115.

[55] Gainsbury, P.E., (1979). "Jewellery Investment Casting Machines", Gold Bulletin, 12(1): 1-7.

[56] Faccenda, V., (1996). "Advances in Investment Casting Machine Technology", Gold Technology, 20: 3-9.

[57] Topçu, İ.B., ve Elgün, V.B., (2004). "Influence of Concrete Properties on Bleeding and Evaporation", Cement and Concrete Research, 34: 275-281.

[58] Ravindarajah, R., (2003). "Bleeding of Fresh Concrete Containing Cement Supplementary Materials", 9th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 16-18 December 2003, Bali, Indonesia.

[59] Güler, K.A., (2005). Dereceli Hassas Döküm Kalıplarında Segregasyon Oluşumunun İncelenmesi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Istanbul.

[60] Ott, D. ve Raub, C.J., (1985). Investment Casting of Gold Jewellery", Gold Bulletin, 18(2): 58-8.

[61] Campbell, J., (2000). "The Concept of Net Shape for Castings", Materials Design, 21: (373-380).

[62] TSE TS3322, (1979). Çimento Harcı ve Beton Numunelerinin Boy Değişimi Tayini, TSE, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:	Kerem Altuğ GÜLER
Doğum Tarihi ve Yeri	:	11/07/1981/Keşan
Yabancı Dili	:	İngilizce
E-posta	:	keremaltug@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Metalurji ve Malzeme Müh.	Y.T.Ü.	2005
Lisans	Metalurji ve Malzeme Müh.	Y.T.Ü.	2003
Lise	Fen Bilimleri	Keşan Anadolu Lisesi	1999

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005	Y.T.Ü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. K.A. Guler, M. Cigdem, Surface quality and dimensional accuracy of gypsum bonded investment flask casting moulds, MP Materials Testing-Materials and Components Technology and Application, Issue 9, Vol. 53, pp. 551-555, (2011)
2. K.A. Guler, Z. Taslicukur, G. Ozer, Production of open cell aluminium metal foam with lost foam technique, MP Materials Testing-Materials and Components Technology and Application, Issue 5, Vol. 53, pp. 295-297, (2011)
3. K. A. Guler, A. Kisasoz, A. Karaaslan, A novel method for Al/SiC composite fabrication: Lost foam casting, International Journal of Materials Research, Issue 3, Vol. 102, pp. 304-308, (2011)
4. A. Kısasoz, K.A. Guler, A. Karaaslan, Fabrication and characterization of SiC preforms for metal matrix composites, MP Materials Testing-Materials and Components Technology and Application, Issue 1, Vol. 53, pp. 634-637, (2011)
5. G. Ozer, K.A. Guler, Z. Taslicukur, Cellular aluminum foam metal production with space holder particles, MP Materials Testing-Materials and Components Technology and Application, Issue 52, Vol. 6, pp. 379-382, (2010)

Bildiri

1. K.A. Güler, M. Ciğdem, Vakum Destekli Dereceli Hassas Dökümde Alçı Bağlı Kalıp Malzemelerinin Döküm Kalitesi, 4. Döküm ve Çevre Sempozyumu İstanbul, (2011)
2. K.A.Güler, A. Üster, M. Ciğdem, Açık Hücreli Hücresel Metal Üretimi İçin Yeni Bir Yaklaşım Olarak Dolu Kalıba Döküm Tekniğinin Uygulanması, 4. Döküm ve Çevre Sempozyumu İstanbul, (2011)
3. K.A. Guler, M. Cigdem, Casting quality of gypsum bonded block investment casting moulds, 14th International Conference On Advances In Material & Processing Technologies Istanbul / Turkey, (2011)
4. K.A. Guler, M. Cigdem, The effect of different bonded investment powders on surface quality and dimensional accuracy of investment castings, 8th International PhD Foundry Conference, Brno, Czech Republic, (2011)
5. A. Kisasoz, K.A. Guler, A. Karaaslan, Production of Al2O3-Al composites using vacuum assisted block mould investment casting, 8th International PhD Foundry Conference, Brno, Czech Republic, (2011)
6. G. Ozer, A. Kisasoz, K.A. Guler, A. Karaaslan, Aluminum matrix composite fabrication by infiltration of SiC preforms using squeeze casting technique, 8th International PhD Foundry Conference, Brno, Czech Republic, (2011)
7. A. Kisasoz, K.A. Guler, A. Karaslan, Lost Foam Casting Technique Applications for Al/SiC Composite Production, 69th World Foundry Congress, Hangzhou China, (2010)
8. K.A. Güler, G. Ozer, Z. Taslicukur, A Novel Pattern Material for Investment Casting: Foam Wax, 69th World Foundry Congress, Hangzhou China, (2010)

9. I. Kutbay, K.A. Güler, M. Çiğdem, Çimento Bağlayıcılı Genleşebilen Dereceli Hassas Döküm Kalıbı Tozu Üretimi, 3. Uluslararası Döküm ve Çevre Sempozyumu, İstanbul, (2010)
10. K.A. Guler, E. Gin, O. Şen, M. Çiğdem, Besleyici Gömleklerin Üretimi İçin Çevreye Duyarlı Yeni Bir Yöntem, 3. Uluslararası Döküm ve Çevre Sempozyumu, İstanbul, (2010)
11. K.A. Güler, Z. Taslicukur, G. Ozer, Expanded Polystyrene (EPS) Pattern Application in Investment Casting and Chemical Removing, 11th Conference and Exhibition of the European Ceramic Society, ECERS, Krakow, Poland, (2009)
12. C. Balaban, Ö Şen, G. Özer, K.A. Güler, A380 Alaşımın Soğuma Eğrisinde ve Akışkanlığında Tane İnceltmenin Etkisi, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, (2006)
13. Z. Taşlıçukur, C. Balaban, G. Özer, K.A. Güler, N. Kuşkonmaz, M. Çiğdem, Seramik ve Kum Kalıp Prosesleriyle Üretilen Ayakkabı Çekicinin Özelliklerinin Karşılaştırılması, 12. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, (2005)
14. K.A. Güler, M. Çiğdem, Dökülebilir Kalıplarda Segregasyon, 12. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, (2005)

Proje

1. Sıkıştırmalı döküm yöntemi ile Al matrisli hibrid kompozit üretimi ve karakterizasyonu. (BAPK, 07/2007-07/2010)
2. Renkli Metalografi Yöntemi ile Alüminyum, Bakır ve Çelik Numunelerde Farklı Fazların Belirlenmesi (BAPK, 05/2009-05/2010)
3. Atık Mermer Tozlarının Geri Dönüşümü ve Doğal Silikatlar Katkısı ile Yapı Malzemesi Üretimi (BAPK, 05/2009-05/2010)
4. Çelik Malzemelerin Laser Kesim Parametrelerinin Optimizasyonu (BAPK, 03/2009-03/2010)
5. Termal Yöntemlerle Magnezyum Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi (BAPK, 06/2010-06/2012)
6. Development of a New Moulding Technique for Titanium Alloys Castings, for Automotive and Biomechanical Applications, Uiversidade do Minho Portugal (ERASMUS, 03/2006/-08/2006)

Ödülleri

1. Tübitak Uluslararası Bilimsel Yayınları Teşvik Ödülü, 2011
2. Tübitak Uluslararası Bilimsel Yayınları Teşvik Ödülü, 2010
3. Yıldız Teknik Üniv. Rektörlüğü Teşekkür Belgesi, 2010

İSTANBUL
SANAYİ ODASI

Meşrutiyet Caddesi No:62 Tepebaşı 34430 - İstanbul Tel: (0212) 252 29 00 Faks: (0212) 249 50 07 e-posta: kobi@iso.org.tr

(Elektronik) ISBN: 978-605-137-069-9 **ISBN:** 978-605-137-068-2