

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

106401

Prof. Dr. Nihat G. Kınıkoğlu.

Dr. Kınıkoğlu

DESENİLİ CAM KALIBI İMALATI

Prof. Dr. Ahmet U. Avcı

Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu

Metalurji Müh. Habib SARIDİKMEN

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihat G. Kınıkoğlu

106401
TE. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL İRDELEME.....	2
2.1 Cam Sanayisi ve Camın Genel Özellikleri.....	2
2.1.1 Camın tarihçesi.....	2
2.1.2 Camın tanımı.....	3
2.1.3 Camın özellikleri.....	4
2.1.3.1 Camın fiziksel özellikleri.....	6
2.1.3.1.1 Yoğunluk.....	6
2.1.3.1.2 Viskozite.....	7
2.1.3.1.3 Elektriksel iletkenlik.....	7
2.1.3.1.4 Isıl iletkenlik.....	7
2.1.3.1.5 Optik.....	8
2.1.3.2 Camın kimyasal özellikleri.....	9
2.1.3.2.1 Sızma.....	9
2.1.3.2.2 Tercihli çözünme.....	9
2.1.3.2.3 Çöktürme.....	9
2.1.3.2.4 Homojen çözünme.....	9
2.1.4 Camı oluşturan ana maddeler.....	10
2.1.4.1 Cam haline gelebilen maddeler (Camlaştırıcılar)	10
2.1.4.2 Eriticiler.....	10
2.1.4.3 Kararlaştırıcılar (Stabilizatörler)	10
2.1.4.4 Yardımcı (İkincil) bileşenler.....	10
2.1.5 Cam üretimi.....	11
2.2 Desenli Cam Kalıpları.....	11
2.2.1 Desenli cam kalıp ve aksesuar parçaları.....	11
2.2.2 Desenli cam kalıplarında aranılan özellikler.....	13
2.2.2.1 İşlenebilirlik.....	14
2.2.2.2 Sertlik.....	14
2.2.2.3 Isıl iletkenlik.....	14
2.2.2.4 Parlatılabilirlik.....	15
2.2.2.5 Isıl genleşme.....	15
2.2.2.6 Korozyon direnci.....	15
2.2.3 Desenli cam kalıp malzemeleri.....	17
2.2.3.1 Dökme demir.....	17
2.2.3.1.1 Gri dökme demir.....	17
2.2.3.1.2 Küresel grafitli dökme demir.....	19
2.2.3.2 Çelik.....	20
2.2.3.2.1 Takım çelikleri.....	21
2.2.3.2.1.1 Alaşımlı soğuk iş takım çelikleri.....	21

2.2.3.2.1.2	Sıcak iş takım çelikleri.....	22
2.2.3.2.2	Paslanmaz çelikler.....	22
2.2.3.2.2.1	Martensitik paslanmaz çelikler.....	23
2.2.3.2.2.2	Östenitik paslanmaz çelikler.....	24
2.2.3.2.2.3	Ferritik paslanmaz çelikler.....	24
2.2.3.3	Alüminyum bronz.....	26
2.2.4	Desenli cam kalıp imalat yöntemleri.....	27
2.2.4.1	Talaşlı imalat yöntemleri ile desenli cam kalıbı imalatı.....	27
2.2.4.1.1	CNC takım tezgahları kullanımı ile desenli cam kalıbı imalatı.....	28
2.2.4.2	Elektro aşındırma yöntemi ile desenli cam kalıbı imalatı.....	29
2.2.4.3	Seramik kalıba döküm yöntemi ile desenli cam kalıbı imalatı.....	30
2.2.4.3.1	Model yapımı.....	30
2.2.4.3.2	Seramik kalıp yapımı.....	31
2.2.4.3.2.1	Seramik kalıp yapımında kullanılan seramik tozları.....	36
2.2.4.3.2.1.1	Zirkon.....	38
2.2.4.3.2.1.2	Alümina.....	39
2.2.4.3.2.1.3	Silika.....	40
2.2.4.3.2.1.4	Kaynaşık (Fused) silika.....	43
2.2.4.3.2.1.5	Mullit.....	45
2.2.4.3.2.1.6	Zirkonya.....	46
2.2.4.3.2.1.7	Magnezit.....	48
2.2.4.3.2.1.8	Molokit.....	49
2.2.4.3.2.1.9	Kromit.....	50
2.2.4.3.2.2	Seramik kalıp yapımında kullanılan bağlayıcılar.....	50
2.2.4.3.2.2.1	Etil silikat esaslı bağlayıcılar.....	51
2.2.4.3.2.2.2	Kalsiyum alüminat esaslı bağlayıcılar.....	53
2.2.4.3.2.3	Seramik kalıp yapım yöntemleri.....	54
2.2.4.3.2.3.1	Shaw ve Unicast yöntemleri.....	55
2.2.4.3.2.3.1.1	Shaw tam seramik kalıp yapımı.....	55
2.2.4.3.2.3.1.2	Shaw karma seramik kalıp yapımı.....	57
2.2.4.3.2.3.1.3	Unicast yöntemi.....	59
2.2.4.3.2.3.2	Dunlop yöntemi.....	62
2.2.4.3.2.3.3	Kontrollü pişirme yöntemi.....	64
2.2.4.3.2.3.4	Kloskowski yöntemi.....	66
2.2.4.3.2.4	Seramik kalıba dökümde metal-kalıp tepkimeleri.....	69
2.3	Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Bazı Ark Ocağında Dökümü.....	72
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	75
3.1	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme ve Cihazlar.....	75
3.1.1	Zirkon.....	75
3.1.2	Mullit.....	75
3.1.3	Alümina.....	76
3.1.4	Etil silikat.....	78
3.1.5	Amonyum asetat.....	78
3.1.6	Hidroklorik asit.....	78
3.1.7	Kum.....	79
3.1.8	Bentonit.....	79
3.1.9	Reçine.....	79

3.1.10	Seramik kalıp boyası.....	80
3.1.11	Silikon model.....	80
3.1.12	pH metre.....	80
3.1.13	Hassas teraziler.....	80
3.1.14	Mekanik karıştırıcı.....	80
3.1.15	Manyetik karıştırıcı.....	81
3.1.16	Titreşim cihazı.....	81
3.1.17	Ergitme ocağı.....	81
3.1.18	LPG döküm potası ısıtma ünitesi.....	81
3.1.19	Seramik tozu karışım hazırlama ünitesi.....	81
3.1.20	Paslanmaz çelik hurdası.....	81
3.1.21	Ca-Si tane inceltici.....	82
3.1.22	Alüminyum deoksidasyon malzemesi.....	83
3.1.23	Grafit.....	83
3.1.24	Perlit tozu.....	84
3.1.25	Yüksek sıcaklık ısılcıftı.....	84
3.1.26	Seramik kalıp sinterleme fırınları.....	85
3.2	Seramik Kalıp Yapımında Kullanılan Güçerir	
	Toz Karışımın Hazırlanması.....	85
3.2.1	Zirkon ve mullit toz karışımın hazırlanması.....	85
3.2.2	Zirkon ve alümina toz karışımın hazırlanması.....	85
3.3	Seramik Kalıpların Yapımı.....	86
3.4	Kum Kalıpların Yapımı.....	89
3.5	Karma Kalıpta Desenli Cam Kalıpların Dökümü.....	89
3.5.1	Gri dökme demirden desenli cam kalıpların dökümü.....	89
3.5.2	Küresel grafitli dökme demirden desenli cam kalıpların dökümü.....	90
3.5.3	Paslanmaz çelikten desenli cam kalıbı dökümü.....	92
4.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	96
4.1	Pelteleşme Süresi-pH İlişkisi.....	96
4.2	Bağlayıcı Bileşimi – Pelteleşme Süresi.	97
4.3	Bağlayıcı Sıcaklığının Pelteleşme Süresine Etkisi.....	100
4.4	Bağlayıcı Bileşimindeki SiO ₂ Miktarının	
	Güçeririn (Refrakterin) Mukavemetine Etkisi.....	101
4.5	Bağlayıcı Bileşimindeki SiO ₂ Miktarının Seramik Kalıpların Pişme	
	Küçülmesi Değerlerine Etkisi.....	101
4.6	Zirkon ve Alümina İçeren Güçerir Tozlardan Yapılmış Olunan	
	Seramik Kalıpların Farklı Sinterleme Süre ve Sıcaklıklarda Pişme	
	Küçülmesi, Kütle Yoğunluğu ve Görünür Gözeneklilik Değerlerinin	
	Değişimi.....	102
4.7	Seramik Kalıpların Mikro Yapılarının İncelenmesi.....	103
4.7.1	Zirkon ve mullit içeren seramik kalıpların mikro yapıları.....	103
4.7.2	Zirkon ve alümina içeren seramik kalıpların mikro yapıları.....	107
4.8	Zirkon ve Alümina İçeren Seramik Kalıpların	
	Tepkime Sinterlemesinin X-Işını Difraksiyonu ile İncelenmesi.....	110
4.9	Desenli Seramik Kalıba Metal Dökümü İşlemi.....	112

KAYNAKLAR.....115

ÖZGEÇMİŞ.....117



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Sıcaklığa bağlı olarak camsı silikanın yoğunluğunun değişimi	6
Şekil 2.2	Cam kalıp ve aksesuar parçaları.....	12
Şekil 2.3	Gri dökme demirdeki grafit dağılımları.....	18
Şekil 2.4	Fe-Cr ve Fe-Ni sistemlerine ait faz diyagramı.....	23
Şekil 2.5	Krom çeliklerinde Cr ve C miktarının iç yapı oluşumuna etkisi.....	25
Şekil 2.6	CNC takım tezgahlarının şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.7	SiO ₂ 'in sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları.....	41
Şekil 2.8	Silika mineralinin ısı genleşmesi.....	42
Şekil 2.9	Çeşitli seramiklerin ısı iletim katsayıları.....	44
Şekil 2.10	Kaynaşık silikanın tane boyut analizi.....	44
Şekil 2.11	Al ₂ O ₃ -SiO ₂ faz diyagramı.....	46
Şekil 2.12	Kolloidal silika-su sistemine pH'ın etkisi.....	52
Şekil 2.13	Tam seramik kalıp yapımı.....	56
Şekil 2.14	Karma seramik kalıba döküm yöntemi.....	58
Şekil 2.15	Unicast yönteminin işlem sırası.....	61
Şekil 2.16	Kromit sırtı oluşmuş döküm parçasının kesiti.....	72
Şekil 3.1	Seramik bulamacın hazırlanması aşaması.....	87
Şekil 3.2	Seramik bulamacın silikon kalıba dökümü.....	88
Şekil 3.3	Seramik kalıplar.....	88
Şekil 3.4	Dökülmüş olunan desenli cam kalıpların ayrıntılı görünüşleri.....	92
Şekil 3.5	Paslanmaz çelik dökümünde kullanılan kum kalıpların görüntüsü.....	93
Şekil 3.6	Paslanmaz çelik döküm anındaki görüntü.....	94
Şekil 3.7	Metalin kalıptaki soğuma aşamasındaki görünüm.....	94
Şekil 3.8	Paslanmaz çelik döküm parçasının görünümü.....	95
Şekil 4.1	Pelteleşme süresi-pH ilişkisi.....	96
Şekil 4.2	10 SiO ₂ (gr/100ml) içeren bağlayıcının pelteleşme süresi-pelteleştirici ilişkisi.....	99
Şekil 4.3	15 SiO ₂ (gr/100ml) içeren bağlayıcının pelteleşme süresi-pelteleştirici ilişkisi.....	99
Şekil 4.4	20 SiO ₂ (gr/100ml) içeren bağlayıcının pelteleşme süresi-pelteleştirici ilişkisi.....	100
Şekil 4.5	Pelteleşme süresi bağlayıcı sıcaklığı ilişkisi.....	100
Şekil 4.6	Bağlayıcı bileşimindeki SiO ₂ miktarının refrakterin mukavemetine etkisi.....	101
Şekil 4.7	Bağlayıcı bileşimindeki SiO ₂ miktarının seramik kalıpların pişme küçülmesi değerlerine etkisi.....	102
Şekil 4.8	1200°C'ta 2 saat sinterlenmiş seramik kalıbın kırık yüzey görüntüsü.....	104
Şekil 4.9	1400°C'ta 2 saat sinterlenmiş seramik kalıbın kırık yüzey görüntüsü.....	104
Şekil 4.10	1600°C'ta 2 saat sinterlenmiş seramik kalıbın kırık yüzey görüntüsü.....	105

Şekil 4.11	Oksi asetilen alevinde ani yakılmış seramik kalıbın yüzey görüntüsü SEM fotoğrafı.....	106
Şekil 4.12	Kontrollü kurutma ve sinterleme işlemlerine tabi tutulmuş seramik kalıp yüzey görüntüsü SEM fotoğrafı.....	106
Şekil 4.13	1450°C'ta 1 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	107
Şekil 4.14	1450°C'ta 2 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	107
Şekil 4.15	1450°C'ta 4 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	108
Şekil 4.16	1500°C'ta 1 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	108
Şekil 4.17	1500°C'ta 2 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	108
Şekil 4.18	1500°C'ta 4 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	109
Şekil 4.19	1600°C'ta 1 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	109
Şekil 4.20	1600°C'ta 2 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	109
Şekil 4.21	1600°C'ta 4 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.....	110
Şekil 4.22	Sinterlenmemiş zirkon ve alümina içeren seramik kalıbın x-ışını difraksiyonu.....	111
Şekil 4.23	1600°C'ta 2 saat süreyle sinterlenen seramik kalıbın x-ışını difraksiyonu.....	112
Şekil 4.24	Döküm sonrası desenli seramik kalıp yüzeyinin SEM fotoğrafı.....	114
Şekil 4.25	Döküm sonrası desenli seramik yüzeyindeki Fe dağılımı.....	114

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Yaygın kullanılan cam kimyasal bileşimleri.....	5
Çizelge 2.2 Saydam camsı silikanın elektriksel direncinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	7
Çizelge 2.3 Bazı metal ve camların ısı iletkenlik katsayıları.....	8
Çizelge 2.4 Çeşitli malzemelerin 415°C-991°C arasındaki kütle kaybı ölçüm değerleri.....	16
Çizelge 2.5 K.G.D.D ana yapıya göre sertlik değerleri.....	19
Çizelge 2.6 Cam kalıplarında kullanılan alaşımlı ve alaşımsız dökme demir kimyasal bileşimleri.....	20
Çizelge 2.7 TS 3921'e göre alaşımlı soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimleri.....	21
Çizelge 2.8 TS 3920'e göre sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimleri.....	22
Çizelge 2.9 Martensitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	24
Çizelge 2.10 Östenitik paslanmaz çelik kimyasal bileşimi.....	24
Çizelge 2.11 Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	26
Çizelge 2.12 Cam sanayisinde kullanılan alüminyum bronzlarının özellikleri.....	27
Çizelge 2.13 Kaynaşık silikanın kimyasal bileşimi.....	44
Çizelge 2.14 ZrO ₂ 'in kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	48
Çizelge 2.15 Bağlayıcı tipleri ve genel özellikleri.....	51
Çizelge 2.16 Dunlop yönteminde kullanılan silimanit tozunun elek analizi.....	63
Çizelge 2.17 Bağlayıcı bileşimi.....	63
Çizelge 2.18 Güçerir tozların karışım miktarı ve tane boyutları.....	64
Çizelge 2.19 Bağlayıcı bileşimi.....	65
Çizelge 2.20 Yöntemde geliştirilmiş çeşitli bağlayıcı bileşimleri.....	65
Çizelge 2.21 Mulgrain-47'in kimyasal bileşimi.....	67
Çizelge 2.22 Mulgrain-47'in elek analizi.....	67
Çizelge 2.23 Zirkon kumu ve zirkon tozunun kimyasal bileşimi.....	68
Çizelge 2.24 Zirkon kumu elek analizi sonuçları.....	68
Çizelge 2.25 Zirkon tozu elek analizi sonuçları.....	68
Çizelge 2.26 Silikanın metal oksitlerle tepkimeye girebileceği en düşük sıvı sıcaklıkları.....	70
Çizelge 2.27 FeO'nun 1000 gramı ile curuflaşan güçerir miktarı.....	70
Çizelge 3.1 Zirkon tozu boyutu dağılımı.....	75
Çizelge 3.2 Mullit tozunun kimyasal bileşim analizi.....	76
Çizelge 3.3 Mullit tozunun tane boyut dağılımı.....	76
Çizelge 3.4 Alümina tozu tane boyut dağılımı.....	77
Çizelge 3.5 Tetraetilortosilikatın teknik özellikleri.....	78
Çizelge 3.6 HCl teknik özellikleri.....	78
Çizelge 3.7 Kum tane boyut dağılımı analizi.....	79
Çizelge 3.8 pH-metre'nin teknik özellikleri.....	80
Çizelge 3.9 Mekanik karıştırıcı teknik özellikleri.....	80
Çizelge 3.10 Titreşim cihazı teknik özellikleri.....	81
Çizelge 3.11 Paslanmaz çelik hurdası kimyasal analizi.....	82
Çizelge 3.12 Ca-Si tane incelticinin kimyasal bileşimi.....	83

Çizelge 3.13	Alüminyumun kimyasal bileşimi.....	83
Çizelge 3.14	Grafit tozu kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	84
Çizelge 3.15	Perlit tozu kimyasal bileşimi.....	84
Çizelge 3.16	Seramik kalıpları sinterleme fırını teknik özellikleri.....	85
Çizelge 3.17	Döküm parçalarının kimyasal bileşim analizi.....	90
Çizelge 3.18	Döküm parçalarının kimyasal bileşim analizleri.....	91
Çizelge 3.19	Döküm parçasının kimyasal analizi.....	95
Çizelge 4.1	Pelteleştirici miktarı-pH-pelteleşme süresi arasındaki ilişki.....	96
Çizelge 4.2	Bağlayıcı bileşimi-pelteleşme süresi ilişkisi.....	97
Çizelge 4.3	Farklı SiO ₂ içerikli bağlayıcı bileşimleri.....	98
Çizelge 4.4	Pelteleştirici ilavesi ile elde edilen bağlayıcı pH ilişkisi.....	98
Çizelge 4.5	Bağlayıcı bileşimindeki SiO ₂ miktarının seramik kalıpların pişme küçülmesi değerlerine etkisi.....	102
Çizelge 4.6	1450°C’da sinterlenen seramik kalıpların zamana göre pişme küçülmesi (P.K.), kütle yoğunluğu (B) ve görünür gözeneklik (P) değerleri.....	103
Çizelge 4.7	1500°C’da sinterlenen seramik kalıpların zamana göre pişme küçülmesi (P.K.), kütle yoğunluğu (B) ve görünür gözeneklik (P) değerleri.....	103
Çizelge 4.8	1600°C’da sinterlenen seramik kalıpların zamana göre pişme küçülmesi (P.K.), kütle yoğunluğu (B) ve görünür gözeneklik (P) değerleri.....	103
Çizelge 4.9	Döküm sonrası desenli kalıp yüzey ve iç bölgelerinden alınan EDAX analizi sonuçları.....	113

ÖZET

Seramik kalıba döküm temiz yüzeyli ince ayrıntılı, hassas dökümle üretilmeyecek kadar büyük metal parçaların dökümünde kullanılmaktadır. Bu çalışmada seramik kalıba döküm ile desenli cam kalıplarının yapımı incelenmiştir.

Seramik kalıplama ince detaylı, çok temiz yüzeyli ve yüksek derecede boyutsal tamlığa sahip dökümler üretilir, ve tüm bu özellikler desenli cam kalıpların yapımı için anahtar faktörlerdir.

Seramik kalıplama sadece boyutsal hoşgörülerin ve yüzey temizliğinin önemli olduğu durumlarda değil, dökülen parçaların sağlamlığı ve metal olmayan kalıntılar içermediği için tercih edilir.

Mevcut araştırma desenli cam kalıpların metal dökümlerinin üretimi için kullanılan seramik kalıpların yapımı ile ilgili metodları anlatmaktadır. Bu çalışma içerisinde, araştırmalar desenli cam kalıpların yapımı için bağlayıcı bileşimi, bağlayıcı pelteleşme koşulları, seramik kalıpların sinterleme zamanları ve döküm işlemleri üzerine yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Seramik kalıp, Desenli cam kalıbı, Shaw, Paslanmaz çelik dökümü.

ABSTRACT

Casting produced by ceramic moulding has a clean surface and used in casting components that are too large to cast by investment casting. In this research we investigate using of ceramic mould technology for producing decorated glass moulds.

Ceramic molding can produce castings with fine detail, smooth surfaces and high degree of dimensional accuracy, and all these properties are the key factors for producing decorated glass moulds.

Ceramic molding is intended for the production of castings of high quality, not only the terms of their dimensional accuracy and surface quality but also in terms of soundness and free from non metallic inclusions.

The present research relates to methods for making ceramic molds to produce decorated glass mold metal castings. In this study, investigations are made on about binder compositions, binder gelling conditions, sintering time and temperature of ceramic molds and casting process for production of decorated glass mold.

Keywords: Ceramic Mold, Decorated Glass Mold, Shaw, Stailness Steel Casting



1. GİRİŞ

Seramik kalıba döküm yöntemi, karışık şekilli, dar boyut hoşgörü aralıklarında ve yüzey temizliği gerektiren parçaların üretiminde yaygın kullanılan bir döküm yöntemidir. Her çeşit alaşımın dökülebileceği bu yöntemle özellikle uçak, elektronik, tekstil, makine sanayilerinin ihtiyaç duyduğu döküm parçalarını en ekonomik biçimde üretilmesi gerçekleştirilmektedir.

Çalışmamız kapsamında hedef olarak öncelikle cam sanayisinde desenli cam ürünlerin üretiminde kullanılan paslanmaz çelik esaslı kalıpların yapımı üzerinde durulmuştur. Türkiye cam üretiminde dünyada önde gelen bir ülke olmasına karşın desenli cam ürünlerin yapımında kullanılan metal kalıpların döküm yoluyla imalatını gerçekleştirememektedir. Bu tip bir sanayi açılımı tamamen yanlış yapılanma örneği olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuçta Türkiye de bulunan dev cam fabrikaları, cam üretebilmelerine karşın üretim hatları içerisinde en kilit unsur olan kalıpları ülke içerisinde tedarik edememektedir ve belirli dönemlerde yurt dışından kalıpların temin edilmesinde önemli sorunlarla karşılaşabilmektedirler.

Yurdumuzda sanayinin gerçek anlamda kendi teknolojisine sahip olmadan dünya pazarlarına açılma şansı yoktur. Bu noktadan hareketle mutlak olarak Türk Sanayicisi kendi teknolojisini üretmeli ve işletmelerinde yurt dışı bağımlı teknolojilerin payını asgari düzeye çekmelidirler.

2. KURAMSAL İRDELEME

2.1 Cam Sanayisi ve Camın Genel Özellikleri

2.1.1 Camın tarihçesi

Tarihin ilk dönemlerinde tanıştığımız ve günlük yaşantımızda bu denli çok kullandığımız cam, aynı zamanda hakkında çok az bilgi sahibi olduğumuz bir malzeme grubudur. Yakın zamana kadar, bir malzeme olarak cam hakkında bilinenler deneme ve yanılma yoluyla elde edilmiş bilgi birikiminden ibaretti. Son dönemde ise cam teknolojisi üzerinde giderek artan araştırmaların yapıldığı bir dal olarak karşımıza çıkmıştır (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Modern çağda camın vazgeçilemez bir yapı malzemesi olmasının üç önemli nedeni vardır; sertliği, saydam olması ve çok iyi kimyasal dayanım göstermesidir. Camlar, yüksek sıcaklıklarda (teknik cam en az 400°C, kuvars camı 1050°C'ye kadar) şekil dayanımı gösterirler. Bundan dolayı, cam ürünleri özellikle kimya, eczacılık, gıda ve diğer benzer sanayi dallarında yoğun biçimde kullanılmaktadır (Shreve, 1967).

Modern medeniyetin kullandığı diğer yaygın malzemeler gibi, camın ilk kez nerede ve kimler tarafından bulunduğu belirli değildir. İlk doğal cam ürünlerinin İ.Ö 75000'lerde işlendiği, insan yapısı camın ise ilk olarak günümüzden 10000 yıl önce Mezopotamya'da yapıldığı bilinmektedir. Yine İ.Ö 6000 veya 5000 yıllarında Mısır'da taklit mücevher amacıyla camın kullanıldığı kayıtlarda bulunmaktadır. İ.Ö. 2.yüzyılda bugünkü Suriye'de cam üflemenin keşfedilmesiyle camın günlük yaşamda kullanımı birdenbire yaygınlaşmıştır. Romalılar döneminde önceleri kap, daha sonra ise pencere yapımında cam kullanılır olmuştur. Roma'nın çöküşü ile beraber Bizanslılar ve Araplar cam üretiminde öne çıkarken, Venedik'te 1300'lerde cam sanayisi ve ticaretinin merkezi haline gelmiştir. Bu ilerlemeye karşı 15.yüzyılın sonuna kadar pencere camı kullanımı yaygınlaşmamıştır. 16.yüzyılın sonuna kadar ise Almanya ve İngiltere'de cam üretimi yapılamamıştır. Levha halinde cam üretimi ise 1688'de ilk defa Fransa'da gerçekleştirilmiştir (Shreve, 1967).

Cam kompozisyonları ile ilgili bilimsel çalışmalar, 1800'de Guinard ve Fraunhofer'in özel karıştırma yöntemleri sayesinde homojenizasyon sorununun ortadan kalkmasına kadar mümkün olmamıştır. Fraunhofer kurşun oksitli camın ışığı daha fazla kırdığını ve renkleri daha fazla dağıttığını bulmuştur (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Cam üzerindeki ilk temel araştırma yapanlardan biri de Michael Faraday'dır. 1830'larda camı "kimyasal bileşikten çok bir karışım" olarak nitelendirmiştir. Camın iletkenliği ve elektroliz altındaki davranışları ile de ilgilenen Faraday, aynı zamanda altınlı kırmızı cama rengini veren

maddenin cam içindeki küçük altın parçaları olduğunu ilk ortaya atan kişidir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Alman bilimadamı Otto Schott, camın kimyasal bileşimi bu malzemeye ait fiziksel özellikleri 1879'da Jena Üniversitesi'nde yaptığı çalışmalar ile ortaya koymuştur. Camda mekanik dayanım ile ilgili çalışmaların öncüsü ise A.A. Griffith'tir. Camın malzeme olarak çok yüksek mekanik dayanıma sahip olduğu, ancak yüzeyde meydana gelen mikro çatlaklar nedeniyle mekanik dayanımın yüzlerce, hatta binlerce kez azalarak günlük kullanımdaki kırılgan camın ortaya çıktığını bulmuştur (Sengel ve Akçakaya, 1992).

1914'te günümüzde kullanılan ve doğrudan doğruya düz levha cam elde etmeye yönelik çekme yöntemi olarak karşımıza çıkan Fourcalt yöntemi Belçika'da geliştirilmiştir. Bu yöntemle benzer üretim teknikleri de Colburn, Libbey-Owens ve Pittsburg Plate Glass fabrikalarında yine bu dönemde kullanılmaya başlanmıştır (Shreve, 1967).

1960'larda ilk defa camı anlamak amacıyla temel bilimlerden olabildiğince yararlanılmaya başlanmıştır. 1958'te ilk kez Uluslararası Camı Katılar Fiziği Konferansı toplanmıştır. 1970'lere doğru ise cam bilimcileri faz ayrımı, kristallenme, cam da iyon gaz difüzyonu, elektronik iletkenlik, iç sürtünme, yüzey yapısı ve tepkimeleri, iyon değişimi, cam elektrotlar ve statik yorulma gibi konularını incelemeye başlamışlardır. 1980'lerden sonra ise eritmeye gerek olmadan üretilen sol jel camları, camı kaplamalar, kalkojenit camlar, laser camları gibi konular cam biliminde önemli ölçüde yer almaya başlamıştır (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Ülkemizde cam üretimi Selçuklular döneminde başlamış, Osmanlılar zamanında büyük bir atılım yapılmıştır. 19.Yüzyılda, Beykoz'daki kristal cam fabrikasının ürünleri büyük beğeni kazanmıştır (Şentürk, 1993).

Cumhuriyet döneminde, 1937 yılında ilk olarak Paşabahçe'de Türkiye Şişe ve Cam Fabrikası açılmış, bunu 1964 yılında Çayırova'da üretime başlayan pencere camı fabrikası takip etmiştir. Daha sonraki yıllarda ise aynı kuruluşun değişik alanlarda çalışan fabrikaları açılmıştır. Son yıllarda Trakya Cam fabrikası da bu zincire ilave olmuştur (Şentürk, 1993).

2.1.2 Camın tanımı

Cam kelimesi iki kavramı tarif etmek üzere kullanılır. Bunlardan biri cam denilen ticari mal, diğeri ise maddenin bir hali olarak camı yapıyı tarif etmekte kullanılır. Ticari anlamda neye cam dendiği herkesçe bilinir. Ancak ticari camın yapısını anlayabilmek için önce maddenin camı halinin ne olduğunu bilmek gerekir (Marşoğlu, 2001).

Sıvı haldeki düzensiz yapısını aynen koruyarak katılaştan cisimlere genel olarak “cam” denir. Cam sabit bir ergime noktası olmayan amorf yapılı bir silikat bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Alkalın, toprak alkalın elementlerin ve kumun birarada ısıtılarak ergitilmesi, biçimlendirilmesi ve biçimlendirilen bu inorganik oksitlerin topluluğunun kristalleşme olmadan soğuması sonucunda cam elde edilmektedir. Ergitme sıcaklığı, bileşimde bulunan maddelere göre değiştiği için belirli sıcaklıkta ergiyen metal ve benzeri malzemeler gibi camın sabit bir ergime sıcaklığı mevcut değildir (Shreve,1967; Onaran, 1985; Topbaş, 1993a).

Malzeme bilimciler camı aşırı soğutulmuş bir sıvıya benzetirler. Gerçekten de cam ısıtılmaya başladıktan sonra sıcaklığın artmasına paralel olarak önce yumuşar ve daha sonra da akıcı hale gelir. Bu hali ile cam bir sıvıya benzer (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Özet olarak cam, katı özellikleri gösteren bir sıvıdır. Cam yapısı sürekli hareket halindeki bir sıvı yapısının sanki ani olarak bir fotoğraf çekimi gibi durdurulmuş halini anımsatır. Bir sıvı kristalleşmesine izin vermeyecek kadar hızlı soğutulabilirse camsı faza geçecektir. Camsı fazı; katı, sıvı ve gaz fazlarından ayrı bir hal olarak ele almak daha doğrudur (Sengel ve Akçakaya, 1992).

2.1.3 Camın özellikleri

Son 30 yılda binlerce yeni bileşim formülü cam üretiminde kullanılmaya başlamıştır ama buna karşın yaklaşık 2000 yıldan beri camın kimyasal bileşimi; kireç, silika ve sodadan oluşmakta olup genelde üretimde bu üç ana maddeden yararlanılır. Çizelge 2.1’de yaygın kullanılan cam kimyasal bileşimleri gösterilmiştir (Shreve,1967).

Cam yapımındaki en önemli etken ergimiş oksitlerin viskozitesi ve viskozite ile kimyasal bileşim arasındaki ilişkidir (Shreve,1967).

Genel olarak camları şu şekilde sınıflandırabiliriz;

- a) Kuvars camı,
- b) Alkalın silikatlı camlar,
- c) Soda-kireç camları,
- d) Kurşun içeren camlar,
- e) Borsilikatlı camlar,
- f) Cam seramikler,
- g) Alümina-silikatlı camlar,

h) Fiber camlar,

i) Özel camlar.

Teknik camların ana yapı elemanı, camların karakteristik özelliklerini belirleyen SiO_2 'dir. Kuvars camı, kuvarsın 1700°C 'in üzerinde ergitilmesiyle elde edilir. Soğuma sırasında SiO_2 ergiyeğinin kristalleşmeye pek az eğilimi vardır ve camsı olarak katılaşır. Ancak, yüksek ergime sıcaklığı kuvars camından üretim yapmayı zorlaştırmaktadır (Topbaş 1993a).

Çizelge 2.1 Yaygın kullanılan cam kimyasal bileşimleri (Shreve, 1967).

Camların Kimyasal Bileşimleri (% Ağırlıkça)										
SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	As_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	PbO	SO_3
67,8	...	4,4	...	...	4,0	2,3	13,7	2,3	...	1
69,4	...	3,5	1,1	...	7,2	...	17,3	...	...	...
70,5	...	1,9	0,4	...	13,0	...	12,0	1,9	...	...
71,5	...	1,5	...	...	13,0	...	14,0	...	...	...
72,88	...	0,78	0,78	...	12,68	0,22	12,69	...	...	...
72,9	...	0,7	0,7	...	7,9	2,8	15,0	...	...	...
72,68	...	0,5	0,07	...	12,95	...	13,17	...	...	0,44
70-74	...	2	0,09	...	...	10-13	...	13-16	...	...
73,6	16,48	1	...	...	5,2	3,6	16,0	0,6	...	...
73,88	0,4	2,24	2,24	0,73	...	...	6,67	...	...	...
74,2	...	...	...	0,2	4,3	3,2	17,7	...	...	...
67,2	0,25	...	...	0,5	0,9	...	9,5	7,1	14,8	...
69,04	10,6	...	...	...	12,07	...	5,95	11,75	...	...
64,7	12,9	4,2	...	...	0,6	...	7,8	0,3	...	...
80,5	2,9	2,2	...	...	...	...	3,8	0,4	...	...
96,3	...	0,4	...	...	...	...	0,2	0,2	...	...

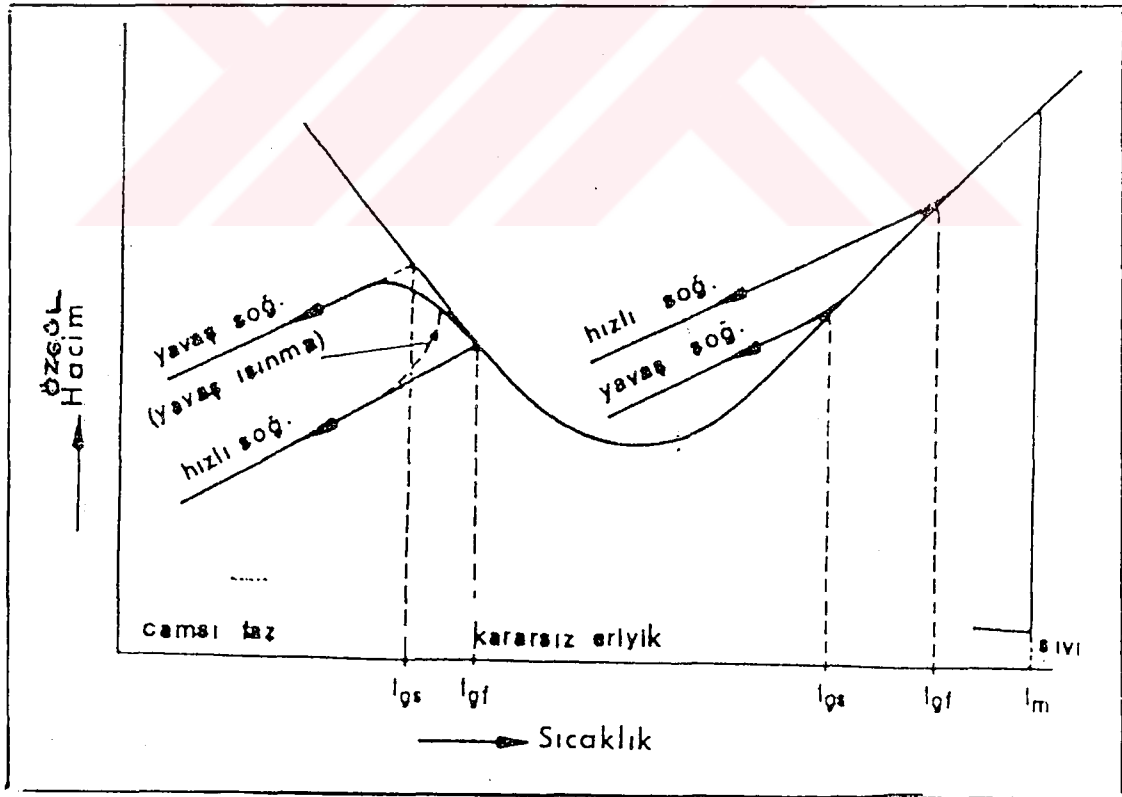
2.1.3.1 Camın fiziksel özellikleri

2.1.3.1.1 Yoğunluk

Camın nitelendirilmesinde ve cam üretimi sırasında özelliklerin kontrolünde en çok başvurulanan özelliklerin başında camın yoğunluğu gelir.

Yapılarda kullanılan normal camın yoğunluğu $2,5 \text{ gr/cm}^3$ tür. Bazı özel amaçlı uygulamalarda kullanılmak üzere daha yoğun camlar tercih edilebilir. Örnek olarak x-ışını laboratuvarlarında $4,6 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahip, %50 PbO içeren özel camlar kullanılmaktadır (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Sıcaklığa bağlı olarak camsı silikanın özgül hacminin değişimi Şekil 2.1'de verilmektedir. Camsı silikanın özgül hacim değeri 1550°C 'ta en düşük seviyededir. Grafikte görüldüğü gibi, bu sıcaklıktan başlayarak daha düşük değerlere doğru soğutmanın hızına bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilmektedir. Hızlı soğutulduğunda camsı silikanın yoğunluğu, yavaş soğutma sonunda ulaşılabilecek değerden daha küçük olur. Camsı silikanın yoğunluğu $2,21 - 2,22 \text{ gr/cm}^3$ tür. Bu yoğunluk değeri yüksek basınç altında yaklaşık % 10 kadar artar (Sengel ve Akçakaya, 1992).



Şekil 2.1 Sıcaklığa bağlı olarak camsı silikanın yoğunluğunun değişimi (Sengel ve Akçakaya, 1992).

2.1.3.1.2 Viskozite (Ağdalık)

Camın en önemli fiziksel özelliği viskozitesidir. Camın ergitme ve şekillendirme özellikleri, her tür cam üretimi için temel uygulamadır. Bunları belirleyen etken ise, camın viskozitesinin sıcaklığa bağlı değişimidir. Cam sanayisinde çıkan ürünlerin fiziksel açıdan aynı olabilmesinin yolu camda sabit viskozite eldesidir. 1500°C-500°C sıcaklık aralığı bölgesinde camın viskozitesi, sıcaklığın düşmesiyle beraber artış gösterir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

2.1.3.1.3 Elektriksel iletkenlik

Bütün cam çeşitleri yüksek sıcaklıkta göreceli olarak iyi iletken iken, düşük sıcaklıkta ise iyi bir yalıtkandır. Yüksek sıcaklıkta, yapısından yeterince elektrik akımı geçmesine izin veren cam, elektrik enerjisi ile ergitilme imkanına sahiptir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Camsı silika, özellikle 1000°C'in üzerindeki sıcaklıklarda oldukça yüksek elektriksel dirence sahiptir. Bu durum genel cam malzeme özelliklerine terstir ama SiO_2 bu sayede iyi bir elektriksel yalıtım malzemesi olarak kullanım alanı bulur. Camsı silika ağ yapısında bulunabilecek eser mertebesindeki alkali iyonları camın elektriksel direncini önemli ölçüde etkiler. Camsı silikanın elektriksel direncinin sıcaklığa bağlı değişimi Çizelge 2.2'de verilmiştir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Çizelge 2.2 Saydam camsı silikanın elektriksel direncinin sıcaklığa bağlı değişimi (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Sıcaklık (°C)	Özdirenç ($\Omega \cdot \text{cm}$)
20	$1,8 \times 10^{19}$
200	$5,0 \times 10^{12}$
400	$1,3 \times 10^9$
600	$6,3 \times 10^6$
800	$1,6 \times 10^6$
1000	$2,5 \times 10^5$
1200	$3,2 \times 10^4$

2.1.3.1.4 Isıl iletkenlik

Isıl iletkenlik, ısı enerjisinin bir noktadan bir başka noktaya taşınması ya da iletilmesi olayıdır. Genellikle metaller ısıyı iyi ilettikleri, metallerin ısı iletim katsayıları yüksek olduğu

halde, metal dışı birçok malzemenin örneğin cam, seramik ve porselenin ısı iletimin katsayılarının düşük olduğu görülmektedir. Bu tür malzemeler, ısı iletkenliği bakımından “kötü iletken malzeme” olarak tanımlanmaktadır. Bazı metal ve cam çeşitlerinin ısı iletkenlikleri Çizelge 2.3’de verilmiştir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Çizelge 2.3 Bazı metal ve camların ısı iletkenlik katsayıları (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Malzeme Adı	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m.°K)
Alüminyum	2,36
Bakır	4,31
Altın	3,2
Demir	0,865
Mangan	0,206
Platin	0,737
Gümüş	4,27
Tungsten	1,82
Su	5,7
Silika	1,317
Borsilikat camı	1,087
Soda-Kireç Camı	1,003

2.1.3.1.5 Optik

Camın hem günlük yaşantımızda hem de çeşitli teknik alanlarda vazgeçilmez bir malzeme haline gelmesinde onun optik özellikleri önemli rol oynar. Optik özellikleri camın yetersiz kalan mekanik özelliklerine rağmen yaygın kullanımında en önemli etkindir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Silika camlarının düşük dalga boylarında yüksek geçirgenliğe sahip olmaları bu camların en önemli özelliklerinden biridir. Ancak camsı silikanın içerdiği safsızlıklar diğer özellikleri olduğu gibi optik özelliklerini de büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle, camsı silika ne kadar çok safsızlık içerirse, özellikle düşük dalga boylarında geçirgenliği o oranda düşük olacaktır (Sengel ve Akçakaya, 1992).

2.1.3.2 Camın kimyasal özellikleri

Malzemelerin kimyasal dayanımı, malzeme yüzeylerinin bulunduğu ortamla olan kimyasal etkileşmesinin ölçüsüdür. Camın çevresiyle olan kimyasal etkileşiminde dört ana olumsuzlukla karşılaşılır. Bunlar sızma, tercihli çözünme, çöktürme ve homojen çözünmedir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

2.1.3.2.1 Sızma

Sızma, difüzyon mekanizmasıyla kontrol edilen ve yüzeye yakın bazı iyonların cam yüzeyine doğru ilerleyerek camı terketmesine neden olan bir kimyasal etkileşim mekanizmasıdır. Burada camın üç boyutlu yapısı sabit kalırken, bu yapıyı doldurmuş olan bazı iyonlar cam dışına çıkar (Sengel ve Akçakaya, 1992).

2.1.3.2.2 Tercihli çözünme

Tercihli çözünmede iki ayrı faza ayrılmış olan camdaki fazlardan biri çözünerek camı çevreleyen ortama geçer. Böylece boşluklu bir yüzey mikroyapısı oluşur (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Camı en iyi çözen madde hidro florik asittir (HF). HF, Si-O bağlarını kopararak soda-kireç camlarını büyük bir hızda eritir. Soda-kireç camları, HF dışındaki asitlere karşı dirençlidir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Camın alkali çözeltilere karşı dayanımı düşük seviyededir. Yüksek alkalideki ortamlarda cam anafazında çözünme başlar ki bu da cam yüzeyinde temizlenmesi mümkün olmayan çukurların oluşumuna neden olur. Bu durum uzun süre durgun su ile temasta kalan soda-kireç camlarında karşılaşılan bir olgudur (Sengel ve Akçakaya, 1992).

Deneylerin de gösterdiği üzere, teknik cam ve de özellikle camsı silika yüksek sıcaklıklarda dahi asitlere, suya ve su buharına çok dayanıklıdır. Bunun sonucu olarak cam ürünleri; kimya, eczacılık ve gıda sanayilerinde yoğun biçimde tercih edilmektedir (Topbaş, 1993a).

2.1.3.2.3 Çöktürme

Çöktürme, ortamda bulunan bazı elementlerin cam yüzeyi üzerine çökerek bir tabaka oluşturmasıdır (Sengel ve Akçakaya, 1992).

2.1.3.2.4 Homojen çözünme

Homojen çözünme ise camın düzgün bir şekilde sabit hızda ortama karışarak parçalanması ile meydana gelir (Sengel ve Akçakaya, 1992).

2.1.4 Camı oluşturan ana maddeler

Camı oluşturan ana maddelerden söz edildiğinde, camın bileşimine katılan üç ana grup akla gelir. Bunlar, cam haline gelebilen maddeler, eriticiler ve stabilizatörlerdir. Camın bileşimine katılan bu ana maddeler diğer bir biçimde kum-soda-kireç üçlüsü olarak ifade edilebilir. Camın bileşimine giren maddelerin dışında, cama önemli özellikler kazandıran ve üretim sırasında kullanılan yardımcı bileşenler de bir diğer grup olarak ele alınabilir (Şentürk, 1993).

2.1.4.1 Cam haline gelebilen maddeler (Camlaştırıcılar)

Camlaşma özelliği olan bu ana maddeler, genelde ağ oluşturan bazı oksitlerdir. Doğal cam niteliğindeki kuvars kumu, ağ oluşturan oksitlerin başında gelir. Bu oksitlerin içinde en önemlileri SiO_2 , B_2O_3 ve P_2O_5 'dir (Şentürk, 1993).

2.1.4.2 Eriticiler

Ağ oluşturan ve cam haline gelebilen oksitlerin erimelerini kolaylaştırmak için camın bileşimine katılan maddelere eriticiler denir. Bu maddeler, camın erime sıcaklığını düşürerek erimeyi kolaylaştırırlar. 1723°C 'ta eriyen SiO_2 'i içerisine katılan eritici özelliğine sahip malzemelerle birlikte erime sıcaklığı 1500°C dolayına kadar düşebilmektedir (Şentürk, 1993).

Eriticiler ağ yapısına girerek, yapıyı değiştirdiği için bunlara modifikatör de denilmektedir. Bu maddelerin en yaygın kullanılanları Na_2O , K_2O ve Li_2O 'dur (Şentürk, 1993).

2.1.4.3 Kararlaştırıcılar (Stabilizatörler)

Eriticilere benzer biçimde stabilizatörler de özellikle camın kimyasal dayanımı, kırma indisi, dielektrik özellikleri üzerinde etki yapan malzemelerdir. Yapısına kararlaştırıcı ilave edilmemiş bir cam su karşısında kararlı halde bulunamaz, bu tür camlara su camı denir (Şentürk, 1993).

Stabilizatör olarak adlandırılan maddelerin başlıcaları CaO , BaO , PbO , MgO ve ZnO 'dur. CaO , kireç taşından, MgO ise dolomitin bünyeye katılmasıyla elde edilir (Şentürk, 1993).

2.1.4.4 Yardımcı (İkincil) bileşenler

Yardımcı bileşen ya da ikincil bileşen olarak adlandırılan maddeler çoğunlukla farklı uygulama alanları için üretilen cam arzu edilen özelliklerin verilmesinde kullanılır. Bu bileşenlere As_2O_3 , CaF_2 , Na_2SO_4 , P_2O_5 , Co_2O_3 ve ZrO_2 örnek verilebilir (Şentürk, 1993).

2.1.5 Cam üretimi

Cam üretimi, camı oluşturacak olan hammaddelerin yüksek sıcaklıkta eritilmesine ve erimiş malzemeye şekil verilmesi işlemine denir (Şentürk, 1993).

Önceden belirlenmiş cam kimyasal bileşimine uygun olarak ana maddelerin karışımı hazırlanır ve öğütülür. Bu karışım pota veya tank tipi fırınlarda 1500°C'ta eritmeye tabi tutulur. Fırında eritilen cam 1100°C'ta soğutulur ve yaklaşık 800°C-1100°C aralığında şekillendirme işlemine alınır. Cam üretiminin diğer bir aşaması ise şekillendirmeden sonra yapılan tavlama işlemidir, bu uygulamada amaç üretim aşamasındaki camdaki soğuma sırasında meydana gelen gerilmeleri özenle kontrol ederek gidermektir. Bu işlem yaklaşık 500°C civarında yapılır. Tavlanmış cam ürünleri temizleme, yüzey silme ve parlatma, kesme, kum püskürtme tarzında bitirme işlemlerine tabi tutularak, sınıflandırılır (Şentürk, 1993).

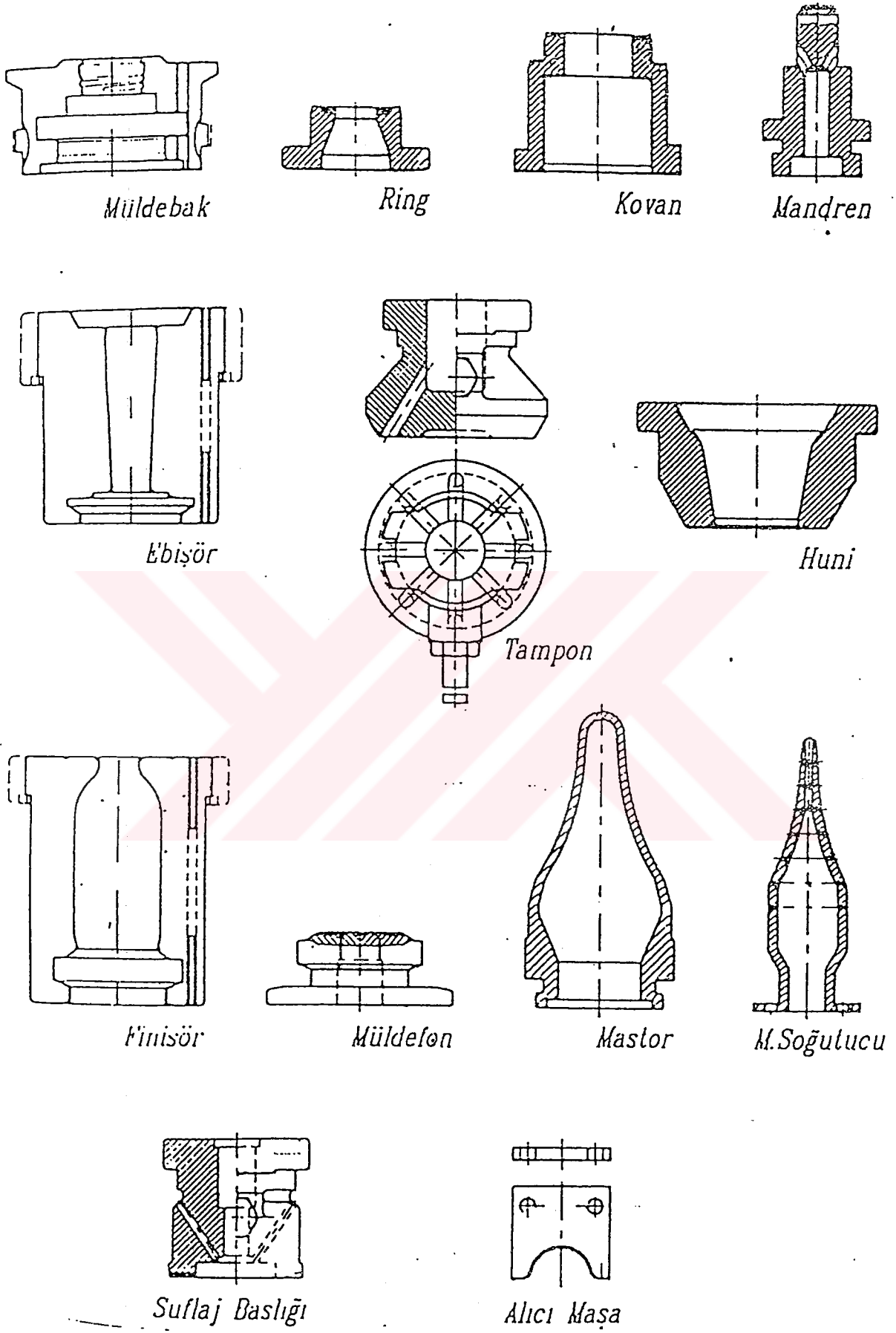
2.2 Desenli Cam Kalıpları

Ergimiş camdan, cam ürünleri elde etmek için şekillendirilmenin yapıldığı kalıplara "cam kalıbı" adı verilir. Cam ürünlerinin şekillendirilmesinde yaygın olarak üfleme-üfleme, pres-üfleme veya döndürme yöntemleri kullanılır (Cingi, 1997).

2.2.1 Desenli cam kalıp ve aksesuar parçaları

Özellikle şişe imalatında kullanılan makinelerde çeşitli aksesuarlar parçaları mevcuttur. IS makinelerinde kullanılan kalıp aksesuar parçaları şunlardır ve bunların teknik gösterimleri Şekil 2.2'te verilmiştir;

- a) Ebüşor : Hazırlayıcı kalıp parçasıdır.
- b) Huni : Cam damlasının ebüşor merkezine düşmesini sağlar.
- c) Tampon: Yerleştirme havasını verir ve parizonun dibini yapmaktır.
- d) Müldebak : Kafa yapıcı kalıp parçası.
- e) Ring : Ürünün ağız yüzeyini yapar.
- f) Mandren : Ağız delici kalıp parçasıdır.
- g) Kovan : Mandrene yataklık eder.
- h) Süflaj Başlığı: Parizonu şişirip finisörün şeklini alması için havayı verir.
- i) Finisör : Tamamlayıcı kalıp parçasıdır. İç formu ürünün dış şekline sahiptir.
- j) Müldefon: Dip yapıcı kalıp parçasıdır.
- k) Alıcı maşa: Şişeleri kalıp finisör içinden almaya yarar (Cingi, 1997).



Şekil 2.2 Cam kalıp ve aksesuar parçaları (Cingi, 1997).

2.2.2. Desenli cam kalıplarında aranılan özellikler

Cam sanayisinde kullanılan kalıpların imalatında genelde ısı şok dayanımı, aşınma ve oksidasyon direnci taşıyan en ucuz malzemeler tercih edilmektedir. Ama bu tanımlama tek başına yeterli olmaz. Kalıbın tasarımı aşamasındaki en önemli kriter, uzun ömürlü kalıbın, dayanım sınırları dahilinde, verimli ve hızlı biçimde cam ürünlerini yapabilmesidir. Bu kriterler içerisinde şüphesiz tasarım ve imalat ekonomikliği de yer almaktadır. Tasarım kriterine uygunluğu ve tasarımı belirleyen etken elbette ki çalışma şartlarına dayanıklı malzemenin seçimidir. O halde dikkat edilmesi gerekli nokta, bu kalıpların çalışma şartları olmalıdır (Cingi, 1997; Liman, 1998).

Cam kalıplarında malzeme seçiminde göz önünde tutulması gerekli üç ana nokta vardır. Bunlar;

- a) Üretilen cam ürününde aranan kalite seviyesi,
- b) Şekillendirme makinesinin üretim hızı,
- c) Kalıp ömrüdür (Liman, 1998).

Cam ürün üreticilerinin bir cam kalıbında beklediği özellikler ise şu şekilde sıralanabilir;

- a) Üretilen cam ürününe kalıbın maliyet etkisi,
- b) Cam kalıp malzemesinin bileşiminde yüksek oranda saflık,
- c) Kalıbın iyi parlatılabilirlik özelliğine sahip olması ve parlaklığını yüksek sıcaklıklarda dahi koruyabilmesi,
- d) İyi işlenebilirlik özelliği taşıması,
- e) Mekanik özelliklerin arzu edilen seviyede olması,
- f) Düşük ısı genleşme göstermesi,
- g) Isıl çatlamalara ve yüzey bozulmalarına karşı dirençli olması,
- h) Yüksek ısı iletkenlik,
- i) Korozyona karşı direnç göstermesi,
- j) İyi kaynak edilebilir olması (Liman, 1998).

2.2.2.1 İşlenebilirlik

Cam kalıp üretiminde en fazla masraf kalıbın işlenmesi aşamasında açığa çıkar. Bu duruma karşın cam kalıp malzemesinin çalışma ömrü, cam kalıbın işlenmesi sırasındaki hassas çalışma ile beraber doğru orantılı biçimde artmaktadır (Tarım, 1978).

Cam kalıplarında istenen ürün şeklinin tam olarak sağlanabilmesi için kalıp profillerinde, soğutma kanallarında yani kalıbın bütününde ölçü hoşgörüler (toleransları) dahilinde kaplama ve ısıtma işlem uygulamaları yapılmalıdır (Liman, 1998).

Kesici uç geometrisi, takım tutucu tipi, kesici takım ve işleme şartları yanında, işlenen malzemenin metalurjik özellikleri, kimyasal bileşimi, mekanik unsurları ve ısıtma işlemi de işlenebilirlik özelliğini direkt olarak etkilemektedir (Liman, 1998).

Ayrıca unutmamak gereklidir ki özellikle desen ve ince ayrıntılar sahip cam kalıbı üretilmesinde talaşlı şekil verme çoğu zaman hem ekonomik hem de teknolojik olarak imkan dahilinde değildir. Bu nedenle metal döküm yöntemi ile cam kalıplarının imalatı zorunlu bir uygulama olarak karşımıza çıkar.

2.2.2.2 Sertlik

Genelde düşük sertliğe sahip malzemeler cam kalıbı imalatında tercih edilir, çünkü malzemenin sertliği arttıkça, işlenebilmesi zorlaşmaktadır. Ferritik ana faz içerisinde yüksek grafit miktarına sahip olan fosforlu dökme demir cam kalıbı malzemesi işlenebilirlik özelliğinden dolayı cam kalıbı malzemesi olarak tercih edilir (Liman, 1998; Tarım, 1978).

2.2.2.3 Isıl iletkenlik

Yüksek ısı iletkenlik, işleme sırasında oluşan ısının kesme bölgesinden uzaklaşmasını kolaylaştırır, bu da işlemeyi olumsuz yönde etkileyen unsurları azaltmış olur (Liman, 1998).

Cam ürünlerinin şekillendirilmesinde sırasında, yüksek ısı iletkenliğe sahip malzemeden imal edilmiş kalıplar kullanılırsa; camla temas eden kalıp yüzeyinde sıcaklığın hızla düşmesi ve ısının kalıba süratle yayılması sağlanır. Bu sayede kalıp yüzeyindeki oksidasyon azalmakta ve camın kalıba yapışması riskinin önüne geçilmektedir (Tarım, 1978).

Malzemelerin ısı iletkenlikleri sıcaklık karşısında iki farklı şekilde davranır. Birinci tür malzemelerin ısı iletkenlikleri artan sıcaklık ile birlikte yükselir (alüminyum bronzları). Diğer tür malzemelerin ısı iletkenlikleri ise artan sıcaklıkla birlikte düşer (Cr-Ni-Mo içeren çelikler), (alaşım dökme demir). Cam kalıpların kullanım sırasında maruz kalacağı sıcaklık değerleri önceden belirlenecek olursa bu sıcaklık şartları göz önüne alınarak ısı iletkenliği uygun malzeme seçimi yapılabilir. Dökme demir eğer cam kalıp malzemesi olarak seçilmiş

ise, yapının grafit miktarı fazla ve tamamen ferritik olması gerekmektedir (Liman, 1998; Tarım, 1978).

2.2.2.4 Parlatılabilirlik

Parlatılabilirlik kalıplarda istenen en önemli özelliklerden biridir. Bunun iki sebebi vardır. İlk olarak camın estetik yönü ağır olduğundan dolayı parlak bir kalıptan elde edilecek cam ürünlerinin yüzey kalitesi çok daha iyi seviyede olmaktadır. Kalıptaki herhangi bir pürüzün aynı zamanda kalıbın kendisine de zararlı olabileceği gözden kaçmamalıdır; kalıpta bulunan herhangi bir pürüz veya boşluk içerisine ergimiş cam girer ve cam kalıptan çıkartılırken, bu cam uzantıları kalıp yüzeyini çizecektir. Bu tarz oluşan çizikler ise kalıbı kısa sürede kullanılmaz hale getirecektir (Liman, 1998).

2.2.2.5 Isıl genleşme

Genel olarak ısınma ve soğuma karşısında büyük boyutlarda hacim ve mikroyapı değişikliğine uğrayan malzemelerin cam kalıbı malzemesi olarak kullanımı uygun değildir (Liman, 1998).

Cam kalıpları sürekli bir ısıl çevrim içerisinde çalışmaktadır. Bu ısıl çevrim sırasında cam kalıbı yüzeyi 700°C'ye kadar ısınıp tekrar yaklaşık 300°C'ye kadar soğumaktadır. Cam kalıp malzemesi yüksek ısıl genleşme özelliğine sahip ise bu çevrim sırasında yüksek iç gerilimlere maruz kalabilir. Bu gerilmeler malzemenin ısıl yorulma etkisi altında kalmasına sebep olur (Liman, 1998).

Düşük ısıl genleşme özelliğine sahip cam kalıp malzemeleri ısıl gerilmeler karşısındaki dayanımı yüksek olacak, dolayısıyla kalıbın çalışma ömrünü uzayacaktır (Liman, 1998).

Cam ürünlerinin üretimi sırasında, kalıp sürekli biçimde ısıtma ve soğutma işlemlerine maruz kaldığı yukarıda belirtilmiştir, kalıp duvarlarında bu çevrim sırasında oluşan gerilmelerden kaynaklanabilecek çatlakların önüne geçilmesi zorunludur (Tarım, 1978).

2.2.2.6 Korozyon direnci

Cam kalıpları çalışma şartları içerisinde ergimiş cam, gazlar ve soğutma havası ile yüksek sıcaklığın hakim olduğu bir ortamda sürekli temas halindedir. Bu koşullar çalışma ortamını oldukça korozyonlu hale getirmektedir. Sonuç olarak yüksek korozyon direnci cam kalıp malzemelerinde aranan özelliklerin başında gelir (Liman, 1998).

Cam ürünlerinin şekillendirilmesi sırasında camın kalıba yapışması önemli bir sorundur. Bu sorunun özellikle kalıp malzemesi olarak kullanılan metalin oksitlenme direnci ile direkt olarak ilgili olduğu bulunmuştur. Cam ile temas halindeki metallerin davranışlarını ortaya

koymak için sadece oda sıcaklığındaki davranışları değil yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon hızlarının tespiti şarttır (Liman, 1998).

400°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda metallerin oksidasyon sonucu kütle kaybı miktarı (2.1)'den hesaplanabilir;

$$\Delta m = k \cdot t^n \quad (2.1)$$

Δm = kütle kaybı miktarı (gr/cm²)

k ve n = sabitler (n = 0,33 – 0,1 arasında)

t = süre (sn)

k malzemeye ve sıcaklığa bağlı (2.2)'den olarak şu şekilde belirlenebilir;

$$\log k = B - C/T \quad (2.2)$$

T = °K cinsinden sıcaklık

B ve C = malzeme sabitleri

Çizelge 2.4 çeşitli malzemelerin 415°C-991°C arasındaki kütle kaybı ölçüm değerlerini vermektedir. (Liman, 1998).

Çizelge 2.4 Çeşitli malzemelerin 415°C-991°C arasındaki kütle kaybı ölçüm değerleri (Liman, 1998)

MALZEME	verilen sıcaklıklarda 50 saat sonrası (gr m ⁻²) cinsinden kütle kaybı						
	415	505	604	702	804	897	991
ince grafitli ferritik dökme demir	1.6	6.4	23	99	390		
kaba grafitli ferritik dökme demir	4.4	8.6	37	200	540		
ince grafitli perlitik dökme demir	2.9	6.3	37	145	540		
kaba grafitli perlitik dökme demir	2.1	8.8	58	265	600		
% 0.5 Cr ile alaşımlandırılmış dökme demir	2.8	9.2	40	125	600		
% 0.5 Cr, %1.1 Ni ile alaşımlandırılmış dökme demir	2.3	12.5	52	175	550		
% 0.8 Cr, %1.5 Ni, %0.3 Mo ile alaşımlandırılmış dökme demir	2.6	9.2	64	195	370		
sfero dökme demir	3.7	12.5	55	220	300		
karbon çeliği		24	46	215	620		
Cr 13 çeliği				1.2	2.6	800	
Cr 17 çeliği				0.7	1.4	9	520
Cr 25 çeliği					2.6	7	13
Cr 18 Ni 10 çeliği					1.6	6	560
Cr 23 Ni 19					1.1	5	10
saf nikel				3.4	8.8	27	56
alüminyum bronz				0.9	2.6	9	

Eğer dökme demirden yapılmış cam kalıpları kullanılacak ise 600°C üzerindeki sıcaklıklarda ciddi bir oksidasyon problemi göz önünde tutulmalıdır (Liman, 1998).

2.2.3 Desenli cam kalıp malzemeleri

Cam kalıp malzemesi olarak dünyanın bir çok yerinde farklı malzemeler kullanılmaktadır. Bu farklılık, kalıp ve aksesuarın üretim içindeki görevine bağlı olmakla birlikte, aynı zamanda çeşitli ülke ve firmalardaki farklı teknolojilere göre değişmektedir. Genel olarak cam kalıplarında küresel grafitli dökme demir, alaşımlı dökme demirler, paslanmaz çelikler ve alüminyum bronzları tercih edilmektedir.

2.2.3.1 Dökme demir

Dökme demirler, temel olarak çeliklere benzer biçimde demir-karbon alaşımlarıdır. Üretiminde en önemli hammadde pik demirdir, dökme demirdeki karbon miktarı %2 ile %6,67 arasında değişim gösterir. Özel işlemlere tabi tutulmadan dövme yoluyla biçimlendirilemez. Ergime sıcaklığı çeliğe göre düşük olup genelde 1250°C civarındadır. Dökme demir eriyiğinin akıcılığı ve çok iyi kalıp doldurma özelliği yanında, dökümden sonra katılaşma esnasındaki kendini çekmesi miktarı çeliğe göre çok daha düşük düzeydedir (%1-2). Endüstride genelde %2,5-4,5 arasında karbon içeren dökme demirler yoğun olarak kullanılmaktadır (Cingi, 1997; Çev. Güleç ve Aran, 1995).

Dökme demirin katılaşmasında sementit veya grafit oluşumu, diğer bir deyişle iç yapı durumu, soğuma hızından başka büyük ölçüde karbon ve silisyum miktarı ile belirlenir. Her iki elementte grafit ayrışmasını kolaylaştırma eğilimi taşırlar (Çev. Güleç ve Aran, 1995).

Dökme demirlerin de bir dizi alt türü vardır. Bunların mekanik özellikleri birbirlerinden çok farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar esas olarak değişik iç yapıya sahip olmalarından kaynaklanır. Cam kalıplarının imalatında iki çeşit dökme demir kullanılır bunlar gri ve küresel grafitli dökme demirlerdir (Liman, 1998).

2.2.3.1.1 Gri dökme demir

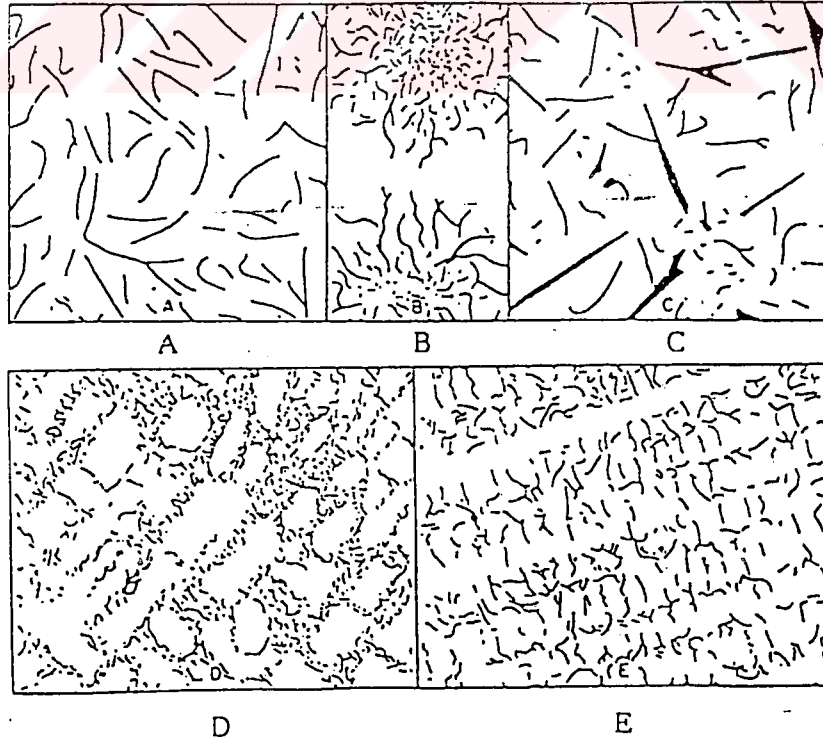
Son yıllarda, yüksek sıcaklıklara dayanıklı yeni malzemelerin cam kalıp imalat sanayisinde kullanımı tercih edilmesine karşın gri dökme demirlerden halen cam sanayisinde kalıp malzemesi olarak yararlanılmaktadır (Tarım, 1978).

Gri dökme demirler iç yapısında yapraksı grafit içeren dökme demirlerdir. Cam kalıplarında kullanılan gri dökme demirlerde karbon miktarı % 3,3-3,6 arasındadır, çünkü artan karbon miktarı gri dökme demirin ısıl şok direnci ve ısıl iletkenliği özellikleri üzerinde olumlu etki yaratmaktadır. Yalnız karbon miktarının artmasıyla beraber kalıp yüzey oksidasyonu hızının

artması ve sonuç olarak kalıp yüzey kalitesinin düşmesi eğilimi vardır. Cam kalıplarda kullanılan gri dökme demirlerde silisyum miktarı %1,6-2,4 arasında değişmektedir (Tarım,1978; Cingi, 1997).

Cam kalıplarının bünyesindeki mangan ve sülfür oranı çok önemlidir. Mangan ve sülfür gri dökme demir bünyesinde birleşerek mangansülfür oluşturur. Yapıdaki sülfür mangan ile bağlanmaktadır. Eğer gri dökme demirdeki kükürt miktarı yüksekse inklüzyonlar fazlalaşacak ve sonuçta cam kalıplarının kullanımı sırasında kalıp yüzeylerinde yer yer bozulmalar meydana gelecektir. Bu nedenden hareketle gri dökme demirdeki kükürt miktarı en fazla % 0,12, mangan miktarı ise % 0,6 geçmemelidir. Yapılan analizler göstermiştir ki kalıplardaki yüksek fosfor miktarı, camda bir takım leke oluşturabilmektedir, ilave olarak fosfor, ısıl şok çatlaklarının ilerlemesine de sebep olmaktadır. Mutlak olarak fosforun gri dökme demir içindeki miktarı en fazla % 0,2-0,3 civarında tutulmalıdır (Topbaş, 1993a; Cingi, 1997).

Cam kalıp malzemesi olarak kullanılan gri dökme demirde dikkat edilmesi gerekli en önemli noktalardan bir diğeri ise grafit dağılımı ve büyüklüğüdür. Cam kalıplarda camla temas halindeki kalıp yüzeyinde hızlı soğuma sonucu oluşan D-tipi grafit, kalıbın dış kısmında ise daha yavaş soğumadan kaynaklanan A-tipi grafitlerin oluşumu istenir. Şekil 2.3’de endüstride karşımıza çıkan gri dökme demirdeki grafit dağılımları gösterilmiştir (Cingi, 1997).



Şekil 2.3 Gri dökme demirdeki grafit dağılımları x 100 (Cingi, 1997).

Buna göre kalıplarda, cam ile temas eden yüzeyde D-tipi grafit dağılımı bulunması gerekir. Aşırı soğumuş olarak da tanımlanan bu grafit dağılımı, iyi yüzey kalitesi elde etmek ve oksitlenme direncini artırmak için gereklidir. Eğer C-tipi grafit yüzeyde oluşmuş ise cam kalıp yüzeyinde pürüzlük ve karıncalanma meydana gelir (Cingi, 1997).

Yüzey düzgünlüğü açısından, gri dökme demirlerde bulunan yapraksı grafit boylarının da önemi vardır. Kalıplarda cam-metal temas yüzeyinde grafit boylarının ASTM 7-8 olması gereklidir (Cingi, 1997).

Dökme demirlerin cam kalıbı olarak kullanımında ana yapının ferritik olması istenir bu sayede malzemede iyi ısı iletkenlik, işleme kolaylığı ve yüksek sıcaklıktaki boyutsal değişmelerin kontrol altında tutulabilmesi sağlanır (Liman, 1998).

Alaşımlar elementleri, cam kalıplarında yüzey çatlamasını, oksidasyon direnci, pullanmayı ve ısı genleşmeyi önlemek amacıyla başarıyla kullanılmaktadır. Örneğin krom, nikel ve molibden yapıdaki perlitli inceltir ve yüksek sıcaklıklarda yapıyı kararlı hale getirir. Ti ve V gibi elementlerde yine malzeme fiziksel, kimyasal özellikleri önemli ölçüde geliştirmektedir (Tarım, 1978).

2.2.3.1.2 Küresel grafitli dökme demir

Bileşiminde %3,2-3,8 C, % 2,4-2,8 Si, %0,5'ten az Mn bulunur. Ham maddelerden gelen katışkılar belirli sınır değerleri kesinlikle aşamaz. Grafitin küreselleşmesi için eriyik için yaklaşık % 0,5 Ce veya % 0,5 Mg katılırken, çekirdeklenmeyi kolaylaştırmak amacıyla da ferrosilisyum katılır. Yalnız Mg ve Ce gibi elementlerin kükürde karşı ilgileri çok fazla olduğu için, küreleşmenin verimli biçimde yapılabilmesi için eriyik metalin kükürt oranı % 0,015'in altında olması gerekir. K.G.D.D' de ana yapıya göre sertlik değerleri Çizelge 2.5'de verilmiştir (Cingi, 1997; Tarım, 1978; Çev. Güleç ve Aran, 1995).

Çizelge 2.5 K.G.D.D ana yapıya göre sertlik değerleri. (Tarım, 1978).

ANA YAPI	SERTLİK (HB)
Ferritik	130
Ferritik (alaşımlı)	210
Perlitik	200
Perlitik (alaşımlı)	275
Martensitik	320
Östenik	130-160

Küresel grafitli dökme demir diğer dökme demirler çeşitlerine göre şu avantajlara sahiptir;

- Küresel grafitli dökme demirler, herhangi bir tip dökme demire göre daha iyi ısıl sok dayanımına sahiptir. Bu da çalışma sırasında, gövde ve yüzey çatlaklarının oluşma riskini azaltır,
- Küresel grafitli dökme demirler, gri dökme demire göre daha iyi oksitlenme direncine sahiptir. Bu sayede kalıp yüzeylerinin bozulmasını azalmaktadır,
- Küresel grafitli dökme demirlerin talaşlı işlenmesi daha kolaydır,
- Küresel grafitli dökme demirli kalıplar yüksek yüzey kalitesine sahiptir (Tarım, 1978).

Küresel grafitli dökme demirler, mastör ve mandren gibi parçalarda kullanılmaktadır. Bu malzeme grubunun en önemli dezavantajı ise gri dökme demire göre %20 daha az olan ısıl iletkenliğidir. Bu yüzden küresel grafitli dökme demirden yapılmış olunan cam kalıpları, cam üretimi sırasında çok daha kısa sürede ısınmaktadır (Liman, 1998).

Endüstriyel tecrübelerle göre, cam kalıplar için tavsiye edilen alaşımlı ve alaşımsız dökme demir kimyasal kompozisyonları Çizelge 2.6'te verilmiştir.

Çizelge 2.6 Cam kalıplarında kullanılan alaşımlı ve alaşımsız dökme demir kimyasal bileşimleri (Liman, 1998).

Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)							
Karbon	Silisyum	Mangan	Fosfor	Kükürt	Krom	Molibden	Nikel
3,56	2,14	0,81	0,52	0,09	—	—	—
3,65	2,15	0,70	0,30	0,12	—	0,50	0,50
3,65	2,15	0,65	0,35	0,08	—	0,60	—
3,30	2,43	0,41	-	—	0,28	0,43	—

2.2.3.2 Çelik

Camın şekillendirme makinesinden sıfır hata ile çıkabilmesi, kalıp ve aksesuarlarının mükemmel şekilde uyumu ve yine o derecede mükemmel bir kalıp yüzeyini gerektirir. Yüzey kalitesinin önem kazandığı yerlerde çelik malzemeler cam kalıplarında tercih edilmelidir.

Çelik malzemeler içerisinde ise paslanmaz çelikler sınıfına giren malzeme grubu daha iyi yüzey özellikleri, oksitlenme direncinden dolayı daha uzun ömürlü olmaları nedeniyle özellikle züccaciye cam ürünlerinde kalıp malzemesi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Paslanmaz çeliklerin iki önemli dezavantajı ise yüksek fiyat ve düşük ısı iletkenlikleridir (Liman, 1998).

2.2.3.2.1 Takım çelikleri

Cam sanayisinde yoğun biçimde kullanılan bir malzeme grubu takım çelikleridir (Liman, 1998).

2.2.3.2.1.1 Alaşımli soğuk iş takım çelikleri

Alaşımli soğuk iş takım çelikleri, alaşımsız takım çeliklerinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu çelikler genelde yüzey sıcaklığının en fazla 200°C'ye kadar yükseldiği yerlerde kullanılmaktadır. Alaşımli soğuk iş takım çelikleri, TS 3921 ve DIN 17350'de standartlandırılmıştır. TS 3921'e göre, alaşımli soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.7'te verilmiştir. Özellikle X 210 Cr 12, X 16 5 Cr 12 MoV tarzındaki soğuk iş takım çelikleri pres masörlerinde kullanılmaktadır (Topbaş, 1993a; Liman, 1998).

Çizelge 2.7 TS 3921'e göre alaşımli soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimleri (Topbaş, 1993b).

Sembol	Mal. No	C (%Ağ.)	Si (%Ağ.)	Mn (%Ağ.)	Cr (%Ağ.)	Mo (%Ağ.)	Ni (%Ağ.)	V (%Ağ.)	W (%Ağ.)
100 Cr 6	1.2067	0,95-1,10	0,15-0,35	0,25-0,45	1,35-1,6	-	-	-	-
X210Cr12	1.2080	1,90-2,20	0,10-0,40	0,15-0,45	11,0-12,0	-	-	-	-
21 MnCr 5	1.2162	0,18-0,24	0,15-0,30	1,10-1,40	1,00-1,30	-	-	-	-
115 CrV 3	1.2210	1,10-1,25	0,15-0,30	0,20-0,40	0,50-0,80	-	-	0,07-0,12	-
40CrMnMoS86	1.2312	0,35-0,45	0,30-0,50	1,40-1,60	1,80-2,00	-	-	-	-
X36Cr17Mo	1.2316	0,33-0,43	1,00	1,00	15,0-17,0	1,00-1,30	1,00	-	-
X155Cr12V1	1.2379	1,50-1,60	0,10-0,40	0,15-0,45	1,80-2,00	0,60-0,80	-	0,90-1,10	-
105 WCr 6	1.2419	1,00-1,10	0,10-0,40	0,80-1,10	0,90-1,10	-	-	-	1,00-1,30
X210Cr12W	1.2436	2,00-2,25	0,10-0,40	0,15-0,45	11,0-12,0	-	-	-	0,60-0,80
60 WCrV7	1.2550	0,55-0,65	0,55-0,70	0,15-0,45	0,90-1,20	-	-	0,10-0,20	1,80-2,10
X165Cr12MoV	1.2601	1,55-1,75	0,25-0,40	0,20-0,40	11,0-12,0	0,50-0,70	-	0,10-0,50	0,40-0,60
X 19Ni4CrMo	1.2764	0,16-0,22	0,10-0,40	0,15-0,45	1,10-1,40	0,15-0,25	3,80-4,30	-	-
X45Ni4CrMo	1.2767	0,40-0,50	0,10-0,50	0,15-0,45	1,20-1,50	0,15-0,35	3,80-4,30	-	-
145 V 33	1.2838	1,40-1,50	0,20-0,35	0,30-0,50	-	-	-	3,00-3,50	-
90 MnCrV 8	1.2842	0,85-0,95	0,10-0,40	1,90-2,10	0,20-0,50	-	-	0,05-0,15	-

2.2.3.2.1.2 Sıcak iş takım çelikleri

Sıcak iş takım çelikleri, çeliklerin, demir-dışı metallerin ve seramiklerin 200°C üzerindeki sıcaklıklarda talaşlı şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu çelik tipleri çok sık bir şekilde ısıl şoklar ve yüksek mekanik zorlamalara maruz kalabilmektedir(Topbaş, 1993b).

Sıcak iş takım çelikleri TS 3920 ve DIN 17350'de standartlandırılmıştır. Sıcak iş takım çelikleri ise cam sanayisinde genelde pres kalıplarında kullanılmaktadır. Çizelge 2.8'te T.S 3920'ye göre standartlandırılmış sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir (Topbaş, 1993b).

Çizelge 2.8 TS 3920'ye göre sıcak iş takım çeliklerin kimyasal bileşimleri (Topbaş, 1993a).

Sembol	Mal. No.	C (%Ağ.)	Si (%Ağ.)	Mn (%Ağ.)	Cr (%Ağ.)	Mo (%Ağ.)	Ni (%Ağ.)	V (%Ağ.)
X 38 Cr5Mo1 V	1.2343	0,36-0,42	0,90-1,20	0,30-0,50	4,80-5,50	1,10-1,40	-	0,25-0,50
X 40 Cr5Mo1 V	1.2344	0,37-0,43	0,90-1,20	0,30-0,50	4,80-5,50	1,20-1,50	-	0,90-1,10
X 32 Cr3Mo3 V	1.2365	0,28-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	2,70-3,20	2,60-3,00	-	0,40-0,70
55 NiCrMoV 6	1.2713	0,50-0,60	0,10-0,40	0,65-0,95	0,60-0,80	0,25-0,35	1,50-1,80	0,07-0,12
56 NiCrMoV 7	1.2714	0,50-0,60	0,10-0,40	0,65-0,95	1,00-1,20	0,45-0,55	1,50-1,80	0,07-0,12

2.2.3.2.2 Paslanmaz çelikler

Mekanik özellikler açısından diğer düşük karbonlu çeliklere göre aşırı fark göstermeyen paslanmaz çeliklerin yüksek maliyetine karşın endüstride çok yaygın kullanılmasının ana nedeni, yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır (Tekin, 1981).

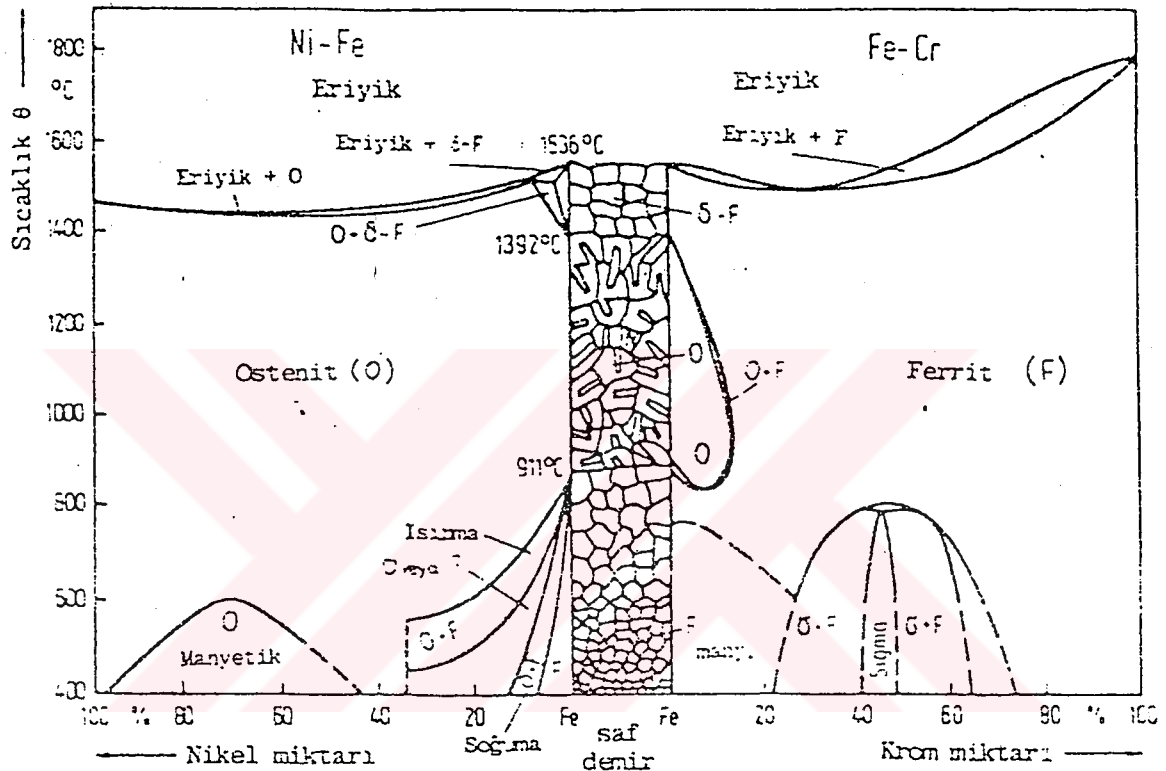
Paslanmaz çelikler çok çeşitli oldukları halde başlıca 4 ana grupta toplanabilir. Bunlar;

- Martensitik paslanmaz çelikler,
- Ferritik paslanmaz çelikler,
- Östenitik paslanmaz çelikler,
- Kontrollü dönüşümlü paslanmaz çelikler (Tekin, 1981).

Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyon etkilere dayanıklı değildir. Bileşimlerinde en az % 12 krom bulunanlar ise yüzeylerine kuvvetle bağlanan yoğun ve çok ince bir oksit tabakasından ötürü pasifleşir, yani indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı direnç kazanırlar. Ancak bu tip çeliklerde krom karbür oluşursa, α veya γ kafesi içinde çözünmüş olan krom miktarı %12'lik sınırın altına düşebilir. Böylece malzemenin korozyon dayanımı kaybolur. Diğer bir ifade ile çelikteki C miktarı arttıkça, Cr miktarı da artırılmalı veya karbür

yapıcı elementler katılımıyla krom karbür oluşumunun önüne geçilmelidir (Çev. Güleç ve Aran, 1995).

Paslanmaz çeliklerde başlıca alaşım elementleri krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel iç yapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. Şekil 2.4’de Fe-Cr ve Fe-Ni sistemlerine ait faz diyagramı görülmektedir (Çev. Güleç ve Aran, 1995).



Şekil 2.4 Fe-Cr ve Fe-Ni sistemlerine ait faz diyagramı (Çev. Güleç ve Aran, 1995).

2.2.3.2.2.1 Martensitik paslanmaz çelikler

Cam sanayisinde X 22 Cr 17 Ni, X 20 Cr 13 tarzındaki martensitik paslanmaz çelikler kalıp parçası yapımında kullanılmaktadır. Bu malzemeler DIN standartlarına göre 1.4057 ve 1.4021 numaraları ile ifade edilir (Topbaş, 1993b).

Martensitik paslanmaz çelikler genellikle yapısal amaçlı da kullanımı olduğundan çok iyi kaynak edilebilirlik özelliği taşımaktadır, yüksek şekil değiştirme ve darbe dayanımı martensitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu diğer genel özelliklerdir. Çizelge 2.9'ta cam sanayisinde kullanılan martensitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri verilmiştir (Tekin, 1981; Topbaş, 1993b).

Çizelge 2.9 Martensitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (Topbaş, 1993b).

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S(%)	Cr (%)	Ni (%)
X 22 Cr 17 Ni	0,15-0,23	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 0,045	≤ 0,030	16-18	1,5-2,5
X 20 Cr 13	0,17-0,22	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 0,045	≤ 0,030	12-14	-

2.2.3.2.2.2 Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikte esas alaşım yapıları Cr-Ni'den oluşmakta olup C miktarı çok düşük seviyededir ($\leq 0,07$). Cam sanayisinde X 5 Cr Ni 18 9 olarak DIN normunda adlandırılan östenitik paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Bu östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi Çizelge 2.10'da verilmiştir (Topbaş, 1993b).

Çizelge 2.10 Östenitik paslanmaz çelik kimyasal bileşimi (Topbaş, 1993b).

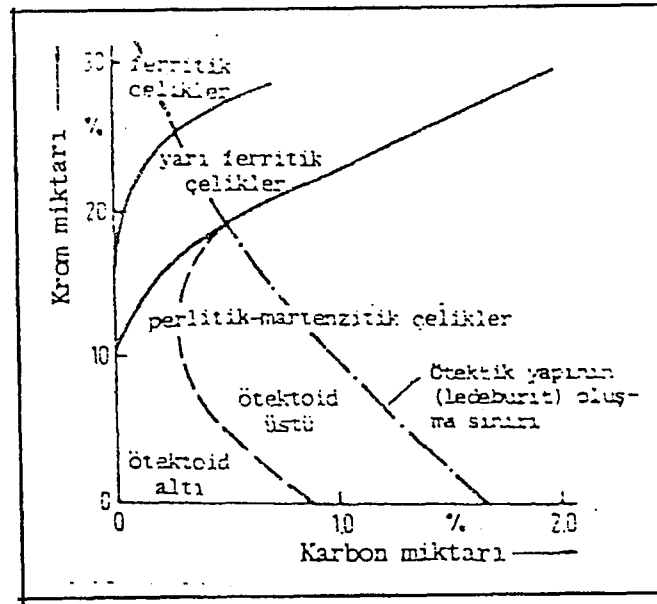
	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S(%)	Cr (%)	Ni (%)
X 5 Cr Ni 18 9	≤ 0,07	≤ 1,00	≤ 2,00	≤ 0,45	≤ 0,030	17-20	8,5-10,50

Bu tip çelikler genelde iyi kaynak edilebilirlik, parlatılabilirlik ve derin çekme özelliklerinden dolayı gıda sanayisinde kullanılmaktadır. Mekanik dayanımı ve sertliği, yalnızca soğuk şekillendirmeye iyileştirilebilir. Manyetik olmayan bu çeliklerde, östenitik iç yapıları dönüşüm göstermediği için normalleştirme ve sertleştirme ısı işlemleri uygulanamaz (Çev. Güleç ve Aran, 1995).

Östenitik çeliklerin kullanımını sınırlayan en büyük sorun krom karbür çökmesidir. Kritik sıcaklıklar olarak nitelendirilen 400°C-850°C arasında yüksek enerjili tane sınırları boyunca ayrılarak yan yana dizilen kromca zengin karbürler, malzeme korozitif ortamda kullanılması halinde tanelerarası korozyona yol açar (Çev. Güleç ve Aran, 1995).

2.2.3.2.2.3 Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik çelikler $\alpha \leftrightarrow \gamma$ dönüşümü göstermezler. Dolayısıyla iç yapı ve mekanik özellikleri ısı işlemle değişmez. Ancak kuvvetli östenit yapıcı olan karbon belirli bir miktara ulaşınca kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar. Karbon miktarı artmasına karşın yapının ferritik olması arzu ediliyorsa, krom miktarı da artırılmalıdır. Bu durum Şekil 2.5'te görülmektedir. Sadece kısmi dönüşüm gösteren X 10 Cr 13 tarzındaki çelikler ise yarı ferritik olarak adlandırılır (Çev. Güleç ve Aran, 1995).



Şekil 2.5 Krom içeren çeliklerde Cr ve C miktarının iç yapı oluşumuna etkisi (Çev. Güleç ve Aran, 1995).

Paslanmaz ferritik çelikler genellikle % 13 ile % 17 arasında krom içerirler, bazı çelik döküm çeşitlerinde % 30 kadar Cr bulunabilir (Topbaş, 1993b).

Ferritik paslanmaz çeliklerin taneleriçi gerilme korozyonuna duyarlılığı azdır. Östenitik krom-nikel paslanmaz çeliklerine göre ferritik paslanmaz çelikler kükürtlü gazlara karşı daha yüksek dirençlidirler. Temelde HNO_3 gibi oksitleyici asitlere ve genel korozyona dayanıklı olan çelikler noktasal, taneleriçi ve tanelerarası türden ayırmalı korozyona uğrayabilirler. Korozyona ve özellikle ısıya dayanıklılık krom miktarına paralel olarak artar. Ayrıca silisyum ve alüminyumda tufal oluşumunu azaltır. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak edilmesinde işlemiden sonra $700^{\circ}C-800^{\circ}C$ arasında tavlama gerekir (Çev. Güleç ve Aran, 1995).

% 16 Cr içeren ferritik ısıya dayanıklı döküm çelikleri üzerine yapılan bir araştırmada alaşım elementlerin gerek mikroyapı, gerek fiziksel ve kimyasal özellikler üzerinde etkin olduğunu görülmüştür. Bu çelikte C miktarındaki artışın dönüşüm sıcaklığı olan A_{c1} 'i aşağıya doğru çektiği tespit olunurken, yapıya %1 Mo, katılımıyla A_{c1} sıcaklığının $170^{\circ}C$ daha yukarı çıktığı bulunmuştur. Yine aynı malzemeye % 1 oranında Nb ve V katılımıyla sırasıyla A_{c1} dönüşüm sıcaklığında $140^{\circ}C$ ve $40^{\circ}C$ 'lik artışlar görülmüştür. %1 Nb ve %2 Mo'nun katılımı ile malzemenin oksidasyon direncini önemli oranda artırdığı, % 0,8 V katılımının ise oksidasyon direncine etkisi olmadığı gözlemlenmiştir (Nishino vd, 1996).

Türkiye Şişe ve Cam Sanayisi firması özellikle züccaciye cam kalıplarının alımında bir çeşit ferritik paslanmaz çelik olan S43000 tercih etmektedir.

Aşağıdaki Çizelge 2.11’de bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 2.11 Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.

Sembol	UNS No.	C (%Ağ.)	Cr (%Ağ.)	Ni (%Ağ.)	Mo (%Ağ.)	N (%Ağ.)	Nb (%Ağ.)	Al (%Ağ.)
405	S40500	0,15	13,0	-	-	-	-	0,2
409	S40900	0,08	11,0	0,5	-	-	-	-
430	S43000	0,12	16,0	-	-	-	-	-
434	S43400	0,12	17,0	-	1,0	-	-	-
439	S43027	0,07	18,25	-	-	-	-	-
446	S44600	0,20	25,0	-	-	0,25	0,1	-

2.2.3.3 Alüminyum bronzu

Tarihsel gelişim sürecinde kullanılan şartlarına göre değerlendirilen birkaç pirinç alaşımı içerisinde, alüminyum bronzları 1930-1940’lı yıllardan beri en çok kullanılan alaşımlar olarak göze çarpar. Bu alaşımlardaki Al miktarı % 8-11 arasında değişim gösterir. Diğer alaşım elementleri; nikel, demir, mangan, çinko, kobalt, berilyum ve magnezyumdur (Liman, 1998).

Alüminyum bronzlarının kullanımındaki ana amaç, artan sıcaklığa paralel olarak ısı iletkenliğinin yükselmesidir. Bu sayede üretim hattındaki malzeme verimi %10-15 artmaktadır. Diğer avantaj yaratan özellikler ise yüksek korozyon direnci, mekanik özellikler ve yorulma ile sürünme dirençleridir. Tek dezavantajları ise üretim maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır (Liman, 1998).

Çizelge 2.12’de cam kalıplarında kullanılabilecek çeşitli alüminyum bronzu alaşımları verilmiştir. Bu malzemeler aşınmaya ve oyuklanmaya karşı iyi direnç göstermeleri ile birlikte işlenmesinin kolay olmasıdır (Liman, 1998).

Cam kalıplarında kullanılan alüminyum bronzları 3 ana grupta toplanabilir;

- % 4 Ni, % 4 Fe içeren bronzlar,
- % 17 Ni, % 8 Zn içeren bronzlar,
- % 16 Ni, % 2 Co içeren bronzlar (Liman, 1998).

Birinci grup malzemeler cam kalıbı yapımına uygundur, ancak yüzey çatlamasına neden olabilecek dönüşümler gösterirler (Liman, 1998).

İkinci grup alaşımları, içerdikleri çinko sebebiyle diğer gruplardan farklılık gösterirler. Bu bronzların ticari adları Eballoy, ABX ve Minoxur, özellikle cam sanayicileri müldebak ve

müldefonlarda bu malzeme grubunu kullanmaktadır. Isı iletkenliği dökme demirin iki katı olması yanında, yağlama ihtiyacı göstermez. Şişe cam grubundaki, sınav kaplarının üretiminde kullanılan cam kalıplarında bu tip alaşımlar yararlanılmaktadır (Liman, 1998).

Üçüncü grubun en bilinen temsilcisi, ticari adı olan Incramet 800 alaşımıdır. Bu tip alaşımların farklı yönü kobalt içermesidir. Bu alaşımın belirgin özelliği ise yüksek ısı iletkenliği ve bunun artan sıcaklıkla beraber yükselmesidir (Liman, 1998).

Cam kalıplarında kullanılan alüminyum bronzlarının olumsuz yönleri, nikel-krom alaşımları ve diğer paslanmaz çeliklere göre düşük olan oksidasyon dirençleridir. Ayrıca alüminyum bronzları döküm değil de talaşlı imalat ile üretilerek cam kalıbı yapılırsa dökme demirler yapılan kalıplara göre üretim maliyeti 3 kat daha fazla olmaktadır (Liman, 1998).

Çizelge 2.12 Cam sanayisinde kullanılan alüminyum bronzlarının özellikleri (Liman, 1998).

Malzeme Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Sertlik (HB)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m ² K)	Lineer Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁶ /°K)
Minox	7,47	190-200	54,4	16
Incramet 800	8	208-228	45	16-18
Eballoy 690	-	210	62,4	17
Eballoy 700	-	190	64,1	16
Verallloy 92	7,5	195	74,9	16,2

2.2.4 Desenli cam kalıp imalat yöntemleri

Desenli cam kalıplarının imalatında üç ana yöntem tercih edilmektedir, bunlar sırasıyla talaşlı imalat, elektro aşındırma ve seramik kalıba döküm yöntemleridir. Bu yöntemlerden talaşlı imalat yönteminin kullanımı çoğu zaman teknik zorluklardan sınırlı kalmaktadır. Diğer iki yöntemden elektro aşındırma yüksek maliyet ve üretim zamanının uzun olmasından dolayı çok sık tercih edilmemektedir. Seramik kalıba döküm yöntemi ise yoğun biçimde tercih edilen bir desenli cam kalıbı üretim tekniğidir.

2.2.4.1 Talaşlı imalat yöntemleri ile desenli cam kalıbı imalatı

Talaşlı imalat yöntemleri şekli, boyutları ve yüzey kalitesi önceden belirlenmiş parçaların metal işleme makinelerinde talaş kaldırma ile şekillendirilmesini kapsar. Talaşlı imalat, kesici takım ve iş parçasının birbirine karşı hareket ettirilmesi esasına dayanır. Talaş kaldırma işlemi sırasında, kesici takımın daima hareket etmesi ve iş parçasının ise hareketsiz duracak biçimde düzenlenmiş olması tercih edilir (Çiğdem, 1996; Çev. Kulaksız vd., 1995).

Talaşlı imalat yöntemi, yüksek boyutsal hassasiyet ve yüzey bitirme kalitesine ulaşmak amacıyla genelde karmaşık geometriye sahip şekillerin işlenmesinde kullanılır. Talaşlı imalat yöntemleri ve bu yöntemlerde kullanılan kesici takımlar çok çeşitlilik gösterirler. Talaşlı imalat yöntemleri başlıca dokuz ana grupta toplanabilir (Çiğdem, 1996);

- a) Vargel ve planyalama,
- b) Tornalama,
- c) Borlama,
- d) Delme,
- e) Frezeleme,
- f) Broşlama,
- g) Raybalama,
- h) Testere ile kesme ve tevsiiye işlemi,
- i) Taşlama (Çiğdem, 1996).

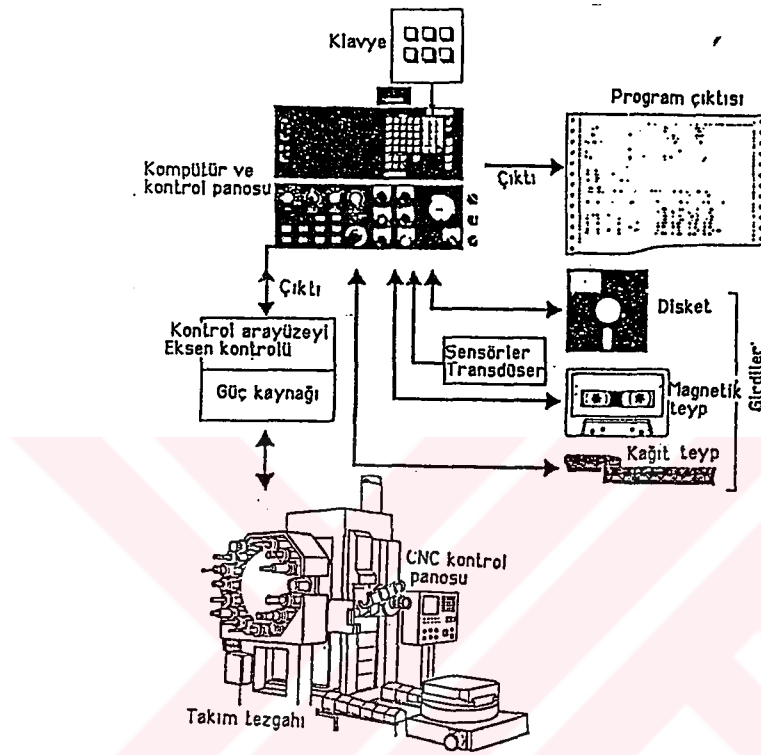
İşlem şekli ve boyut açısından sanayide çok çeşitli takım tezgahları mevcuttur. Örneğin buhar türbünü rotorlarının tornalanması için 1,9 m çapında aynaya ve 14 m uzunluğunda yatağa sahip tornalar mevcuttur. Uçak parçalarının şekillendirilmesi için 8 m genişliğinde ve 110 metre uzunluğunda tablaya sahip frezeler kullanılır. Desenli cam kalıpların talaşlı imalatında ise CNC takım tezgahları kullanılmaktadır (Çiğdem, 1996).

2.2.4.1.1 CNC takım tezgahları kullanımı ile desenli cam kalıbı imalatı

Takım tezgahlarının çalıştırılması ve kontrolü büyük yetenek gerektirmektedir. Üç boyutlu dış yüzeylere sahip bir parçanın freze ile işlenmesi bu zorluğu sergilemektedir; nümerik kontrol başlangıçta böyle üç boyutlu karmaşık yüzeylere sahip uçak parçalarının işlenmesi için geliştirilmiştir. Bilgisayar yazılımının gelişimine paralel olarak bilgisayar ve kontrol donanımlarında hızlı atılımlar sağlanmıştır ve bu gelişim takım malzemelerindeki ilerlemelerle eşzamanlı olarak gerçekleşmiştir. İleri teknoloji takım malzemeleri daha yüksek hızlarda malzeme işlemeyi mümkün kılmış, sayısal kontrol (NC) yardımı ile de zaman kayıpları azalmıştır (Çiğdem, 1996).

Çok amaçlı ve işlevli takım tezgahlarındaki programlanabilir kontrol yazılım kullanarak iş parçası veya takımı belirli yönlerde hareket ettirilebilmektedir. Kontrol programları belirgin bir parçanın nasıl işleneceğini tanımlamaktadır (Çiğdem, 1996).

Üç boyutlu dış yüzeylere sahip olan desenli cam kalıpların imalatında yoğun olarak CNC takım tezgahlarından yararlanılmaktadır. Ama bu üretim yönteminde arzu edilen desenleri cam kalıbına işlemek her zaman mümkün değildir, yani desenli cam kalıplarının tamamının teknik sınırlama olmadan bu yöntemle üretimi imkansızdır. Şekil 2.6’da CNC takım tezgahlarının şematik gösterimi verilmiştir (Çiğdem, 1996).



Şekil 2.6 CNC takım tezgahının şematik gösterimi (Çiğdem, 1996).

2.2.4.2 Elektro aşındırma yöntemi ile desenli cam kalıbı imalatı

Bu yöntemde elektrik iletme kabiliyeti olan bütün malzemeler sertliğinden ve talaş kaldırılabilirlik özelliğinden bağımsız olarak işlenebilir. Bundan dolayı elektro aşındırma yöntemi sert metallerde ve imalatı zor olan alıştırma, geçme parçaları için özellikle uygundur (Çev. Kulaksız vd., 1995).

Yöntemde işleyici takım olarak kullanılan elektrot ile iletken iş parçası arasında meydana gelen elektrik boşalımının oluşturduğu yüksek sıcaklık ile yüzeyden çok küçük parçalar kopararak şekillendirme gerçekleştirilir. İş parçası ile metal ya da grafitten yapılmış katot iletken olmayan bir sıvıya daldırılır. 300 volta kadar potansiyele sahip doğru akım düzeneğe verilir. Şekillendirme için herhangi bir mekaniksel kesme kuvveti uygulanmaz (Çiğdem, 1996).

Diğer yöntemlerle üretilmesi mümkün olmayan veya maliyeti yükselten derin deliklerin, kanalların, oyukların küçük toleranslar dahilinde işlenmesi elektrik boşalımının kontrolü yoluyla yapılabilir. Kırılgan ve ince parçalar kesme kuvvetleri kullanılmadığından bu metotla kolaylıkla işlenebilir (Çiğdem, 1996).

Bu yöntem desenli cam kalıbı imalatında kullanılmaktadır yalnız genel maliyetin seramik kalıba döküm yöntemine göre çok yüksek olması bir sınırlama getirir.

2.2.4.3 Seramik kalıba döküm yöntemi ile desenli cam kalıbı imalatı

Seramik kalıba döküm yöntemi temiz yüzeyli ince ayrıntılı, yüksek sıcaklıkta ergiyen hassas dökümle yapılamayacak kadar büyük boyutlu metal parçaların dökümünde kullanılır.

Seramik kalıp yapımı aşamasında birçok farklı güçerir (refrakter) tozu kullanılabilmektedir, bunlar zirkon, mullit, silimanit, alümina, zirkonya ve kaynaşık (fused) silika tarzında yüksek sıcaklıklarda dahi metal ile tepkimeye girmeyen güçerir malzemeler olabilir. Bağlayıcı olarak düşük alkali silikat olan etil silikat veya organik silikatlardan yararlanılır. Bağlayıcı hazırlama sırasında etil silikat sulu ayrıştırma (hidroliz) tepkimesine sokularak, silisik asit ve etil alkol elde edilir, tepkimenin devamında ise silisik asit suyunu yitirmekte ve silikanın amorf halini alarak seramik kalıp bünyesindeki bağlayıcıyı oluşturmaktadır.

Seramik kalıba, demir ve demir dışı metal alaşımlarının her ikisi de dökülebilir. Alüminyum, bakır, nikel alaşımları seramik kalıba döküm için uygundur. Demir esaslı alaşımlardan küresel grafitli dökme demirler, karbon çelikleri, alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler ve takım çelikleri bu yöntemle dökülebilir.

Bu yöntemle takım çeliğinden döküm yoluyla dövme, pres ve darçıkım (ekstrüzyon) kalıpları üretilir. Yine paslanmaz çelikten de gıda makinaları, kimya, ilaç ve petrol sanayisinde kullanılmak üzere parçalar üretilmektedir.

Çalışmalarımızda özellikle bu yöntemle desenli cam kalıbı üretimi üzerinde durulmuştur.

2.2.4.3.1 Model yapımı

Hiçbir döküm ürünü kendisinin yapıldığı modelden daha iyi detay görüntüsü sunamaz. Yani bu noktada mutlak olarak dökülecek üründe aranılan kaliteyi yansıtan modellerin hassas olarak hazırlanmış olması gerekir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a).

Seramik kalıp yapımında ahşap, alüminyum, pirinç, çelik ve dökme demir tarzında geleneksel model yapım malzemeleri kullanılabileceği gibi Araldite, Ureol ve Cibatool tarzında epoksi kalıp reçineleri ile poliüretan esaslı malzemelerden yararlanılabilir. Yine bu model yapım

malzemeleri dışında sanayide çok tercih edilen silikon esaslı malzemeler de bu amaçla kullanılabilir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a).

Model malzemesi için tahta model kullanılıyorsa kesinlikle yüzeyi uygun bir boya ile kaplanması gerekmektedir. Aksi halde bağlayıcı da mevcut olabilen aseton, alkol tarzındaki çözücüler ahşap üzerinde tahribata neden olabilir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a).

Eğer metal model kullanılıyorsa burada modelle uygun desenin verilmesi problemi karşımıza çıkar ki arzu edilen desen görüntüsü verilmiş olsa dahi model tek parçalı imal edilmiş ise mutlak özel bir ayırıcı ile kaplanmalıdır yoksa seramik kalıbın bu metal modelden yapışmadan çıkartılma imkanı yoktur (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a). .

Desenli cam kalıplarının modellerinin kullanımı veya imalatı sırasında yukarıda belirtilen problemler baş göstermektedir, bu nedenle desenli cam kalıpların imalatı sırasında model olarak silikon malzemelerin kullanımı önerilmektedir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a).

Silikon esaslı malzeme ile istenen yüzey kalitesine ulaşılabileceği gibi, çoğu uygulamada tek parçalı modelden dahi herhangi bir özel ayırıcı kullanılmadan seramik kalıbının sıyrılması kolaylıkla yapılabilmektedir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a).

Model yapımı tamamen sanatsal bir çalışmadır. Bu aşamada ilk olarak arzu edilen cam kalıbında kullanılacak desen seçimi yapılmalıdır. Daha sonra seramik sanatçısı, seramik çamurunu yardımcı aletler yardımıyla elle işleyerek arzu edilen deseni hazırlayarak seramik çamuru üzerine yansıtır. Desen işlenmiş seramik çamuru kurutulduktan sonra üzerine alçı dökülerek negatifi elde edilir. Alçı üzerinde gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra uygun silikon malzemesi dökülerek, seramik kalıp yapımında kullanılacak desenli silikon model elde edilir. Bu aşamaların bütününde titiz ve dikkatli çalışma yapılması gereklidir.

2.2.4.3.2 Seramik kalıp yapımı

Seramik endüstrisinin tarihi çok eski olmakla beraber son 30 yılda pek çok farklı ürün geliştirilmiştir. 20.yy ikinci yarısından itibaren seramik endüstrisi diğer birçok sanayinin temel taşı konumuna gelmiştir. Günümüzde özellikle seramik malzemeler otomotiv, cam, inşaat, makine, elektronik, güçerir gibi bir çok sanayi dalında yoğun biçimde kullanım alanına sahiptir (Reed, 1988; Geçkinli,1992).

Seramik ürünlerin kullanımındaki artış nedenleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- a) Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık,
- b) Kimyasal kararlılıklarının mükemmel seviyede olması,

- c) Mekanik özelliklerindeki avantajlar,
- d) Metallere göre yoğunluklarının düşük değerlerde olması,
- e) Aşınma dirençlerinin yüksek olması,
- f) Sürtünme katsayılarının düşük olması (Geçkinli,1992).

Güçerirlik özelliğine sahip parçaların üretiminde, parça şekli ve boyutu temel belirleyici unsurlardır. Basit şekilli fazla sayıda parçaların üretiminde en uygun yöntem çoğu zaman klasik presleme tekniğidir. Daha karmaşık parça üretiminde ise asıltılı (slip) döküm yöntemi kullanılır. Ama kalın kesitlerin mevcut olduğu seramik malzemelerin üretiminde çoğu zaman asıltılı döküm yöntemi tercih edilmez (Rigby, 1982).

Etil silikat bağlı güçerirler 1970'lerden sonra üzerinde yoğun çalışma yapılan bir malzeme grubu olarak ortaya çıkmıştır. Etil silikat bağlı güçerir parçaların tercih edilmesinin sebeplerini şöyle sıralayabiliriz;

- a) Yüzey kalitelerinin mükemmel olması,
- b) Kurutma ve pişirme sırasında başlangıç boyutlarını koruması,
- c) Üretim yönteminin basit olması ve büyük işgücüne ihtiyaç duymaması,
- d) Uzun süreli yüksek sıcaklıktaki ortamlarda kimyasal ve fiziksel özelliklerini koruyabilmesi,
- e) Hassas döküm tekniğine göre üretim maliyetinin düşük seviyede olması,
- f) Seramik kalıba yapılan metal dökümünde ulaşılan yüzey kalitesinin hassas dökümle elde edilen sonuçlara yakın olmasıdır (Rigby, 1982).

Etil silikat bağlı seramik kalıplar mükemmel yüzey kalitesi ve üretimi sırasında kurutma, pişirme esnasında üniform çekmeye sahiptir. Seramik kalıba döküm yöntemi vasıtasıyla temiz yüzeyli ve üretilecek olan parçanın tüm detaylarını verecek ürün eldesi sağlanır (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).

Yukarıda belirtilen konular da göstermektedir ki desenli ve karmaşık şekilli güçerir özelliği taşıyan parçaların üretiminde etil silikat bağlı güçerirlerin kullanımı hem ekonomik, hem de teknik yönden en uygun çözümü verebilmektedir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a).

Metal döküm parçalarının üretiminde kullanılan seramik kalıpların yapımında birçok farklı yöntemin bulunduğu bilinmektedir. Bunlarda en bilineni 1957 yılında Shaw tarafından bulunan "Shaw Yöntemi" usuldur. Shaw yönteminde seramik kalıplar, yüksek güçerirlik özelliğine sahip seramik malzemelerin uygun bağlayıcı ile karıştırılmasıyla hazırlanmaktadır.

Bu yöntemde bağlayıcı olarak düşük alkali silikatlardan yani etil silikattan yararlanılmaktadır. Yukarıda ifade edilen seramik kalıp bulamacı uygun bileşimde hazırlandıktan sonra model üzerine dökülerek pelteleşmesi için beklenir. Pelteleşme sürecinin bitimiyle beraber elde edilmiş olan seramik kalıp modelden sıyrılarak süratle yakma işlemine tabi tutulur. Yakma işlemi ile bağlayıcının sulu ayrışması sonucunda açığa çıkmış olan yanıcı ve uçucu özelliğe sahip alkol tarzındaki maddeler seramik kalıp bünyesinden dışarı atılarak kalıpların “ boyutları sabitlenmektedir ” (Kloskowski, 1992).

Shaw ileri ki yıllarda mevcut patentte değişiklik yaparak seramik kalıpların yapım sürecinde yanıcı ve uçucu maddelerin açığa çıkmasına neden olmayan bağlayıcıları kullanmayı denemiştir. Yinede böyle bir yöntemde dahi mutlak olarak seramik kalıpların “ boyutlarının sabitlenmesi ” gerekliliğinden dolayı yakma işlemine ihtiyaç duyulmuştur (Kloskowski, 1992).

Shaw yöntemi çoğu üretim hedefleri için yeterli olmakla beraber görülmüştür ki tam seramik kalıbı yapımı olarak adlandırılabilen bu yöntem özellikle dar hoşgörü aralıklarında çalışılması gerektiğinde yetersiz kalabilmektedir (Kloskowski, 1992).

Shaw yönteminde seramik kalıpların yapımında kullanılan güçerir malzemelerin çok ince seçilmesi ile beraber üretilen seramik kalıbın yapısı oldukça sıkılaşacaktır ve yakma işlemi sırasında sadece kalıpların yakma yüzeyine yakın bölgelerindeki yanıcı ve uçucu maddeler dışarı atılmış olacaktır. Seramik kalıplar yüksek güçerir özelliğine sahip malzemelerden üretilmiş olup esasen mükemmel bir yalıtıcıdır. Bundan dolayı seramik kalıpların iç bölgeleri yakma işlemi sırasında soğuk kalabilmekte ve doğal olarak yakma işlemi sırasında seramik kalıpların iç kesitlerinde bulunan yanıcı ve uçucu maddeler dışarı atılamayacaktır. Sonuç olarak seramik kalıplar ileri ki aşamalarda ilave pişirilse veya alternatif olarak metal döküm uygulamaları için hemen kullanılsa dahi iç kesit bölgelerinde kalan uçucu ve yanıcılar fırının veya ergimiş metalin ısısı karşısında şiddetle yanarak gaz fazı dönüşümlerine uğrayacaktır. Ama seramik kalıbın yapısının çok sıkı olmasından dolayı açığa çıkan gazlar atmosfere doğru kaçamayacak veya yanarak dışarı atılamayacaktır. Bunun sonucunda ise seramik kalıp burulmakta veya çarpılmakta ve hatta bazı koşullarda parçalanıp dağılabilmektedir. Doğal olarak seramik kalıpların kalınlığı arttıkça bu tip bir oluşumun etkileride şiddetlenmektedir (Kloskowski, 1992).

Diğer taraftan güçerir malzemelerin taneleri kalın seçilmiş ise yapılacak olan seramik kalıpların yapısı çok daha fazla gözenekli olacaktır bu durumda ise iki esas problem açığa çıkmaktadır. İlk olarak bu tip seramik kalıplar ergimiş metalin ısısına dayanamayacaktır. İkinci asıl problem ise metal döküm parçalarında aranan yüksek yüzey kalitesinin elde

edilmemesidir. Yüksek gözenekli seramik kalıp yapısının etkisiyle üretilecek olan kalıpların yüzeyleri pürüzlü olacaktır ki bunun sonucunda ise metal döküm parçalarında aranan mükemmel yüzey kalitesinin sağlanması imkansızlaşacaktır. Böylece metal döküm parçalarının boyutsal hoşgörülerini etkilenerek, düşük hoşgörü aralıklarında çalışma imkanı ortadan kalkmış olacaktır. İlave olarak bu tip metal döküm parçaları ileri ki evrelerde daha fazla bitirme işlemine ihtiyaç duymaktadır ki böyle bir durumda ise seramik kalıba döküm yönteminin ekonomiklik unsuru ortadan kalkmaktadır (Kloskowski, 1992).

Seramik kalıpların yapımında kullanılacak olan güçerir malzemelerin uygun tane boyutun dağılımının belirlenmesi ve kullanılması oldukça zor bir iştir. Öncelikle üretilecek seramik kalıbın şekli, boyutu ve yapısı dökülecek metal parçaya bağlı olarak değişmekte olup her bir müşterinin ihtiyaç ve talepleride farklılık göstermektedir. İkinci olarak eğer en uygun güçerir malzeme tane boyutu tespit edilmiş ise bu malzemenin ticari olarak sağlanmasında güçlükler yaşanabilmektedir (Kloskowski, 1992).

Shaw'un kendisininde sonradan fark etmiş olduğu seramik kalıpların burulması ve çarpılması sorunları yine Shaw tarafından U. S Patent 3,022,555'te çözülmüştür. Alternatif oluşturan bu yöntemde öncelikle klasik Shaw yöntemi ile bir destek hazırlanmakta olup, hedeflenen seramik kalıba ulaşmak için bu destek kalıbı üzerine yüksek güçerir özelliğine sahip seramik bulamaç dökülmekte, bulamaç pelteleşerek sertleşmesinden sonra oluşan bu destek kalıplı seramik kalıp yakılarak bünye içindeki yanıcı ve uçucular dışarı atılmaktadır (Kloskowski, 1992).

Ama Shaw'ın son yöntemi dahi tüm talep ve ihtiyaçları gerçek anlamda karşılamada yetersiz kalmış, ergimiş metalin ısısı üretilmiş olan seramik karma kalıplarında parçalanmalara neden olabilmektedir. Pratik olarak, seramik bulamaç pelteleşmeden sonra alt destek kalıbına tam olarak yapışma eğilimi göstermediği görülmüştür. İlave olarak yakma ve pişirme işleminden sonra üst yüzey seramik tabakası genişlemektedir bunun sonucunda ise iki farklı seramik tabakası birbirinden ayrılmaktadır (Kloskowski, 1992).

Shaw yönteminin geliştirilmesi ve ekonomik hale getirilmesi amacıyla birçok farklı yöntem tasarlanmıştır. Alternatif yöntem olarak Shaw U. S. Patent 2,811,760'ta ilk olarak etil silikatlı yüksek güçerirli bulamacı model üzerine dökerek, pelteleşmesine izin verilmiştir. Hemen bu aşamadan sonra ise destek arka kalıbı olarak ucuz güçerir malzemedan oluşan bulamaç yüksek güçerir özellikli malzemedan yapılmış olan seramik arkasına dökülerek pelteleşmesi beklenmiştir. Bu iki tabakalı seramik kalıp ön ısıtılmış fırında süratle yakılarak uçucu ve yanıcı maddeler kalıp dışına atılmaktadır (Kloskowski, 1992).

Dunlop yönteminde ise öncelikle arka destek seramik kalıbı yapılır, bu usulde desteğin yapılmasında ucuz güçerir malzeme ile beraber sodyum silikat kullanılmaktadır. Destek kalıbın sertleştirilmesinde ise CO_2 'ten yararlanılmaktadır. Sertleşmiş olan arka destek seramik kalıbı gerçek model üzerine yerleştirilir ve arka destek seramik kalıbı ile gerçek model arasına yüzey seramik tabasını oluşturacak yüksek güçerir özelliğine sahip seramik bulamacı dökülür. Yüzey seramik tabakası sertleştikten sonra, karma seramik kalıbı modelden sıyrılarak ani yakma işlemine tabi tutulur. Yakma işlemindeki temel hedef Shaw yöntemindeki gibi uçucu ve yanıcı özelliğe sahip maddelerin seramik bünyesi dışına atılmasıdır (Kloskowski, 1992).

Karma seramik kalıpların açık yararları gözenekli yapıdaki alt destek seramik tabakasının yakma, pişirme işlemleri sırasında uçucu ve yanıcı maddelerin dışarı atılmasını sağlarken aynı zamanda ince taneli güçerir malzemeden oluşmuş olan üst yüzey tabakasının ergimiş metalin ısısına dayanarak, yüksek yüzey kaliteli pürüzsüz metal döküm parçalarının üretimine imkan vermektedir (Kloskowski, 1992).

Buna karşın karma seramik kalıpların metal dökümleri için halen yeterli dar hoşgörü aralıklarında çalışma imkanı sunmamaktadır. Shaw yöntemi ile üretilen kalıplarda 12,7 cm'lik bir boyutta $\pm 0,0127$ cm'lik bir hoşgörü aralığında çalışılabilmektedir, her 2,54 cm'lik boyutsal artışta bu hoşgörü değerine $\pm 0,00254$ cm'lik ilave pay verilmesi gerekmektedir. Örnek hesaplama yaparsak, 20,32 cm'lik derinlikli bir boşluğa sahip seramik kalıp üretilecek ise $\pm 0,02032$ cm hoşgörü ile bu üretim yapılabilir. Çoğu ticari uygulamada ise $\pm 0,0127$ cm'lik hoşgörü değerleri dahi kabul edilmemektedir (Kloskowski, 1992).

Bundan başka, aynı modelden yapılmış iki seramik kalıp arasında aynı hoşgörü değerlerini sağlamak aşırı derecede güçtür ve pratikte sadece şans eseri aynı hoşgörü aralıklarında çalışılabilmektedir. Seramik kalıpların pişirme ve döküm aşamalarında bünyenin sıkı veya gözenekli olması gibi değişkenler sebebiyle oluşan bozulmalar nedeniyle her bir kalıp az miktarda olsa dahi birbirinden farklı olabilmektedir. Pratikte, bir kalıbın yapımındaki tüm değişkenler tam olarak bir seramik kalıptan diğerine eş olarak yapılması hemen hemen imkansızdır. Örneğin, tüm pratik amaçlar için ortalama tane boyutu aynı olmasına karşın, tane boyut dağılımında aynı olan güçerir malzemesinin sürekli tedarik edilmesi oldukça zordur. Ayrıca her bir seramik kalıp malzemesinde ivmelendirici ve pelteleştiricinin sürekli olarak aynı kalitede sağlanmasında güçlükler yaşanabilmektedir. Doğal olarak bu tip problemlerin pelteleşme zamanı, pişirme süre ve sıcaklıkları gibi hususlardaki değişimlerle birlikte oluşması gerçek anlamda aynı kalitede seramik kalıp üretiminin sürekliliğinin sağlanmasında sorunlar yaşanılması kaçınılmaz kılılmaktadır (Kloskowski, 1992).

İnanılmaktadır ki karma seramik kalıpların üretim sanatındaki problemler şu nedenlerden kaynaklanmaktadır. Karma seramik kalıpların pişirilmesi aşamasında arka tabakayı oluşturan destek seramik kalıbı yüksek miktarda genişleme eğilimi kazanmaktadır. Güçerir malzemeli destek kalıbının genişlemesi hem arzu edilen hem de sakıncalı bir durum yaratmaktadır. Arka destek kalıbındaki genişleme arzu edilir çünkü bu sayede gözeneklerden ergimiş metalin dökümü sırasında oluşabilecek olan gazlar rahatlıkla dışarı atılabilecektir aksi durum ise arka destek kalıbın genişlemesi ile beraber değişen boyutların etkisiyle kalıpta elde edilebilecek olan hoşgörü sınırlarında farklılaşacaktı. Bundan başka arka destek kalıbı ile yüzey seramik tabakası arasında yaşanacak olan genişleme değerlerindeki farklılaşmanın sonucunda seramik kalıpta düzensizlikler ve bozulmalar meydana gelebilecektir. Arka destek kalıbı ile üst yüzeydeki seramik kalıbı aynı ısı genişleme karakteristikleri göstermedikleri sürece bu iki farklı tabaka birbiriyle “kavga” edeceklerdir. Ayrıca unutmamak gerekir ki bazı koşullar altında seramik kalıpların pişirilmesi evresinde yüzeydeki seramik tabakası genişlemeye karşı direnç gösterebilir.

Sonuç olarak düşük hoşgörü değerlerinde döküm parçalarının üretimi için bazen metal döküm parçalarına uzun bitirme işlemleri uygulaması bir zorunluluk olarak gerekmektedir. Bunun ana ve açık olumsuz yanı ise oldukça pahalı üretim maliyetleridir.

Karma seramik kalıp üretimindeki karşılaşılabilecek diğer önemli bir sorun ise yüzey seramik tabakası yapılırken ergimiş metalin ısısına dayanacak kalınlıkta ve arka destek kalıbına yapışacak seramik tabakasının elde edilmesinde ki güçlüklerdir. Bu durumun sebebi ise yüzey tabakasının en uygun pelteleşme zamanının tayin edilmesinin güç olmasıdır. Uygun pelteleşme zamanı bir çok değişkenlere bağlıdır örneğin ortalama güçerir tozların tane boyutu, güçerir malzemenin miktarı, pelteleştirici ve ivmelendirici tipi, su miktarı ve karıştırma zamanı gibi bulamaç hazırlamayı farklılaştıran unsurlardır. Eğer yüzey tabakasının yeterli sürede pelteleşmesine izin verilmez ise yüzey seramik tabakası arka destek kalıbı üzerinden akacaktır bunun sonucunda ise oldukça ince bir yüzey tabakası elde edilecektir ki bu da ergimiş metalin seramik kalıbı döküm aşamasında parçalaması riskini ortaya çıkartır. Aksi koşullarda yani yüzey seramik tabakasının pelteleşme süresi gerekli en uygun zamandan daha uzun tutulursa bu durumda ise yüzey seramik tabakası ile arka destek seramik kalıpları birbirlerine tam olarak yapışamayacaktır (Kloskowski, 1992).

2.2.4.3.2.1 Seramik kalıp yapımında kullanılan seramik tozları

Seramik kalıba döküm yönteminde en önemli unsurlardan biri seramik kalıpların hazırlanmasıdır. Dökümde istenen boyutsal ve yüzey hoşgörülerinin sağlanabilmesi için,

seramik kalıpların üretiminde kullanılacak hammaddenin doğru seçilmesi gerekmektedir. Seramik kalıpların yapımında kullanılan güçerir tozları ana hatlarıyla hassas döküm uygulamalarında tercih edilen güçerir tozlarla aynı özelliklerdir.

Seramik malzemeleri güçerir özellikleri yönünden üç ana sınıfa ayrılır;

- a) Normal güçerirler: (1580-1770°C) Kuvarts cam, yarı asidik alümina silikatlar, molakit, kaolin.
- b) Yüksek güçerirler: (1770-2000°C) Yüksek alüminalı, mullit, spineller, koramit, fosterit ve silimanit.
- c) Süper güçerir: (2000°C) Zirkon, manyezit, kromit-manyezit ve nadir elementlerin oksitleri (Kınikoğlu vd, 1977).

Seramik malzemelerin dökümüne uygunluğu tespit edilirken; güçerirlik, boyutsal kararlılık, kimyasal ve fiziksel özellikleri, geniş bir döküm alaşım grubuna uygunluğu, bulunabilirlik ve kabul edilebilir maliyet gibi bir çok unsurların incelenmesi gerekmektedir (Kınikoğlu vd., 1977).

Seramik kalıplarında tek bir güçerir malzeme kullanılabilmesine rağmen genellikle her döküm uygulamasına göre geliştirilen bir güçerir karışımı mevcuttur. Bunun sebebi malzemelerin gösterdiği farklı ısısal ve fiziksel özelliklerin dökümde kullanılan alaşımının içereceği şartlara en uygun gelecek biçimde harmanlanmasının gerekliliğidir (Kınikoğlu vd, 1977).

Seramik malzemelerin ve kalıpların ısısal genleşme karakteristikleri, ısı iletim katsayıları, tane boyut dağılımı ve bunlar için en uygun bağlayıcı tipinin tespiti, üretilecek olan seramik kalıpların gaz geçirgenliği, yüksek sıcaklıklarda yük altında dayanımı gibi noktalar seramik malzemelerde belirleyici kontrol edilmesi gereken hususların başında gelmektedir.

Seramik kalıpların yapımında aşağıdaki güçerir malzemelerden yararlanabiliriz;

- a) Silika esaslı güçerirler,
- b) Kaynaşık silika, (SiO_2)
- c) Alümina, (Al_2O_3)
- d) Manyezit, (MgO)
- e) Zirkonya, (ZrO_2)
- f) Zirkon, (ZrSiO_4)
- g) Silimanit,

h) Mullit, ($3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ SiO}_2$)

i) Kromit, (Cr_2O_3)

i) Kalsine Çin Kili.

2.2.4.3.2.1.1 Zirkon

Zirkon (ZrSiO_4) ve zirkonya (ZrO_2) ticari güçerirler beraber kullanılan en önemli zirkonyum bileşikleridir. Zirkon özellikle Avustralya, Florida ve Hindistan'daki kumlarda doğal olarak bulunmaktadır. ZrSiO_4 , tek başına güçerir olarak kullanımındaki genel amaç ısıl şoklara ve çeşitli gazların korozitif etkilerine karşı olan yüksek direncidir (Sammer vd.,1989).

Zirkonun teknik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz; zirkon ergimeden ayrıştığı için gerçek bir ergime noktası göstermez ama çoğu teknik yayında zirkonun ergime sıcaklığı 2420°C olarak ifade edilmektedir. Zirkon malzemelerin ısıl şok direnci mükemmel yakındır, su ve mineral asitler içinde çözünmez. Sıcak H_2SO_4 'e, asit karakterli camlara ve bazik cüruflara dayanıklıdır. Mohs minerolojik sertlik çizelgesine göre sertliği 7,5'tur. Teorik yoğunluğu $4,6 \text{ gr/cm}^3$ olup, zirkon özellikle alümina ve magnezyum oksit ile beraber kullanımı vasıtasıyla ısıl şok dayanımı artırılmış güçerir parçaların üretilmesinde kullanılır (Kınıkoğlu, 1992).

Zirkon döküm sanayisinde kum kalıplarda silika yerine kullanılır ama ısı iletimi daha yüksek olduğundan kalıba dökülen metali hızlı soğutabilmektedir, bu durumda bazen ince kesitlerde birleşme hatası oluşumuna yol açar (Geçkinli,1992).

Sürekli döküm ünitelerinde ergimiş metalin akıtıldığı nozullarda zirkon destekli güçerir malzemelerden yapılmakta olup burada amaçlanan zirkonun yüksek aşınma ve ısıl şok dayanımından yararlanmaktır (Rigby, 1982).

Seramik sanayisinde sır karışımına opaklaştırıcı olarak zirkon katılmaktadır. Önceleri ekonomik nedenlerle kalay oksit yerine zirkon kullanılmaya başlanmış, daha sonra renk kararlılığı ve çatlamaya karşı dirençli oluşu gibi nedenlerden zirkonlu sırlar giderek yaygınlaşmıştır (Reed, 1988).

Zirkon, ZrO_2 'in üretimde temel hammadde olarak kullanılmaktadır. Cam fırınlarında kullanılan güçerir malzemede mullit-zirkon karışımıdır. Ayrıca zirkon-alümina-kaynaşık silika dökülebilir güçerirlerin üretimindeki ana başlangıç hammaddeleridir (Sammer vd., 1989).

Zirkon kumları 2260°C 'ye kadar hiçbir dağılma ve bozulma göstermeden, metal dökümünde kullanılır. Yüksek alaşımlı çeliklerin dökümünde çok iyi kalıp malzemesi özelliğine sahiptirler. Ayrıca demir ve demir dışı metallerin dökümünde kullanılır. Zirkonun döküm

sanayisinde kullanım nedenleri; iyi yüzey kalitesi vermesi, yüksek sıcaklıklardaki kararlılığı, sıvı metal etkilerine karşı iyi direnç göstermesidir. Bu özellikleri ile hem vakumda hem de açık atmosferde metal dökümüne uygundur. Zirkon hassas dökümlerde en fazla kullanılan güçerir tozlarından biridir (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

2.2.4.3.2.1.2 Alümina

Yerkabuğunda en yaygın olarak bulunan elementler sırasıyla oksijen (%47), silisyum (%27) ve alüminyum (%8)'dur. Alüminyum yerkabuğunda sık rastlanan bir element olup, daha çok alümina-silikat halinde bulunur. Seramik sanayisinde kullanılan alümina tipleri başlangıç olarak metakaolin olup, genelde silika ve hematite safsızlıklarını içeren hidrat alümina karışımı olan boksit formunda bulunmaktadır. Alüminanın iki monohidratı diyaspor ve böemit olarak bilinen $Al_2O_3 \cdot H_2O$ 'dur. Gibsit ve bayerite ise alüminyum trihidroksit olarak tanınır ve $Al_2O_3 \cdot 3 H_2O$ şeklinde gösterilir. Ayrıca A.B.D ve İngiliz standartlarında şu anda teknolojik uygulamalarda kullanılmayan birçok susuz alümina formu bulunmaktadır (Ford, 1967).

Alüminanın saflığı üretimi sırasında tercih edilen yöntemle bağlı olarak değişmektedir. Kalsine edilmiş güçerir kalitesindeki boksit yaklaşık olarak % 85 Al_2O_3 içerirken, bayer metodu ile üretilen alümina içerisinde sadece az miktarda soda bulunan % 99,9 saflıkta elde edilebilir. Bunun dışında saf alümina içerisine çeşitli killerin katımı ile özellikle sinterleme işleminin daha kısa sürede ve daha düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi sağlanabilmektedir. Sonuç olarak istek ve ihtiyaçlara göre farklı teknik özellikleri yansıtan alümina üretimi yapılabilmesi mümkündür (Ford, 1967).

Dökülebilir güçerirlerin ilk defa üretilmesinde elektrik ark fırınlarında boksit ($Al_2O_3 \cdot 2 H_2O$) ergitilerek kalıplar içerisine dökümü yapılmıştır. Bu şekilde % 72-75 alümina içeren, mullit, korondum ile camsı fazlardan oluşmuş bir güçerir iç yapısı elde edilmiştir (Ford, 1967).

Yüksek alüminalı güçerir malzemelerinde alümina miktarının artması ile beraber güçeririn kullanım sıcaklığı 1900 °C'ta yaklaşmaktadır. Çoğu alüminalı güçerir bünyesinde içermiş olduğu alümina miktarına göre bir sınıflandırmaya tabi tutulur. Genelde bu tip güçerirler % 50, %60, %70, %80, %85 ve %90 civarında alümina içerecek biçimde tasarımı yapılmıştır. Sadece iki sınıf yüksek alüminalı güçerir iç yapıları ile adlandırılır ki bunlar esas olarak tek bir kristal tipinden oluşmuş güçerir malzemeler olup mullit ve korondum olarak bilinmektedir (Sammer vd., 1989).

Alümina seramik malzemelerin büyük bir kısmında ana fazlardan birisi olduğu gibi, yüksek ergime sıcaklığı, sertlik ile düşük ısı iletkenlik gibi özellikleri alüminaya mühendislik seramikleri içerisinde önemli bir yer kazandırmıştır (Kınıkoğlu, 1992).

Alümina düşük sıcaklıkta birçok farklı kristal formunda bulunur. Fakat bütün bu formların tamamı 750-1200°C arasında HSP kristal formuna sahip olan α -alüminaya dönmektedir, korondum ticari adıyla tanınmakta olan α -alümina 3,97 gr/cm³ yoğunlukta olup Mohs minerolojik sertlik çizelgesine göre sertliği 9'dur. Alüminyum hidroksitlerin isimlendirilmesinde genelde hekzagonal sıkı paketlenmiş yapılara α -alümina, kübik yapılara ise γ -alümina işaretleri ile gösterme kullanılır (Kınıkoğlu, 1992).

Alüminyumun en önemli oksiti Al₂O₃ formülü ile tanınan alümina'dır. Alüminanın ergime sıcaklığı 2050°C olup güçerirlik özelliği iyi seviyededir, ısı şok dayanımı çoğu uygulama alanı için yeterli olmasına karşın karbür ve nitrürler kadar üst seviyede değildir. Alümina 1700°C-1800°C arasında flor gazı hariç tüm gazlara karşı direnç göstermektedir (Geçkinli,1992).

Alümina birçok ergimiş cam, curuf veya metalin aşındırıcı etkilerine özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında dirençli olmasına karşın özellikle bazik curufların bulunduğu ortamlarda kullanılacak ise dikkatle incelenmesi gerekmektedir (Sammer vd., 1989).

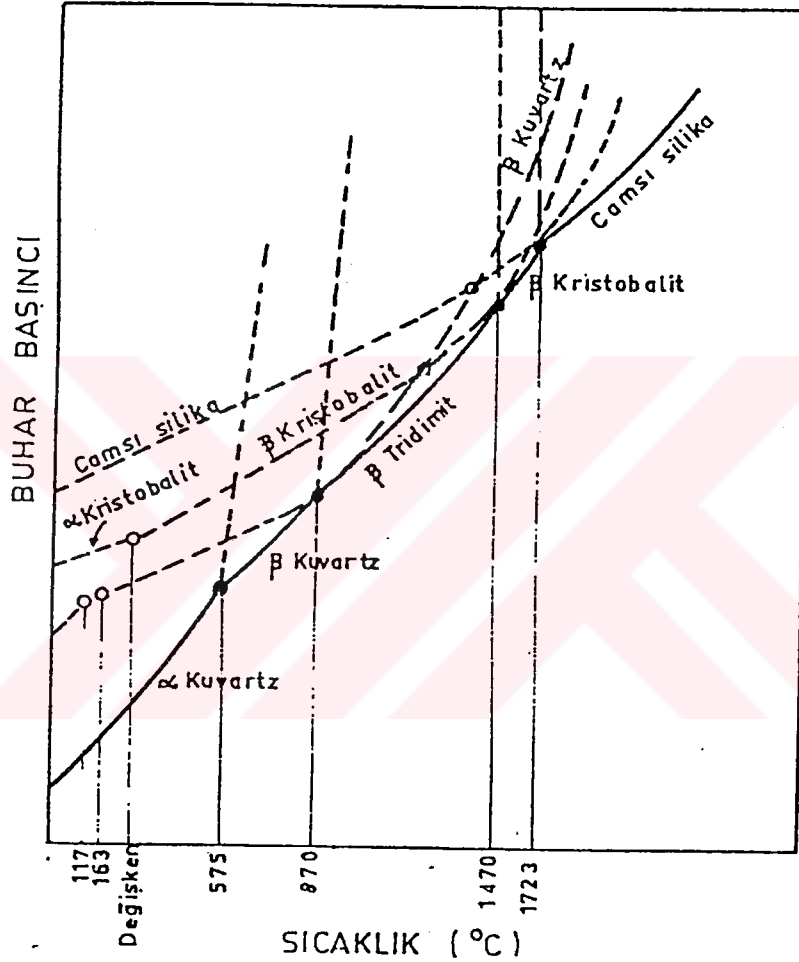
Alümina, aşınmaya karşı dirençli oluşu, sertliği ve mekanik dayanımı nedeniyle öğütücü değirmen bilyalarında, tekstil sanayisinde, kesici takımlarında kullanılmaktadır. Ayrıca bu özellikleriyle merkezi ısıtma sistemlerinin çevrim pompalarının yataklarında, otomobillerin soğutma sistemlerinde, zırh malzemesi ve roket parçalarının yapımında alüminadan yararlanılmaktadır. Bunlar hariç olarak biyomalzeme olarak eklem ve diş protezlerinde de aynı özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir (Kınıkoğlu, 1992).

Elektronik sanayisinde altlık olarak her yıl milyonlarca alümina parça üretilmektedir. Bujilerde yalıtım malzemesi olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yüksek sıcaklık ısılıçiftlerin tüpleri, kaynak uçları, nükleer santrallerde parçacık hızlandırıcı vakum odaları alüminanın kullanım alanları arasındadır (Kınıkoğlu, 1992).

2.2.4.3.2.1.3 Silika

Yeryüzünde en çok bulunan oksit olan silika, üzerinde yoğun çalışmalar yapıldığı bir malzemedir. Bu tek bileşenli sistem C. N. Fenner'in yapmış olduğu " Stability Relations of the Silica Minerals " adlı çalışması ile açığa çıkmıştır. Günümüze değin silika üzerine yapılan çalışmalar Fenner'in bulgularının ana hatlarını pek değiştirmemiş sadece bazı düzeltmeler getirmiştir. Şekil 2.7'de silikanın sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı-kararlı fazları

gösterilmektedir. Ordinatt eksenini SiO_2 'nin buhar basıncını göstermekle birlikte rakamsal değerkler verilmemiş bunun sebebi ise SiO_2 'nin çok kararlı bir oksit olmasından dolayı buhar basıncının normal atmosferik basıncın yanında çok küçük kalmasıdır. Diğer bir ifade ile silika kolay kolay bozulmamaktadır. En kararlı fazlar kesiksiz, yarı kararlı fazlar ise kesikli çizgi ile gösterilmiştir (Eriç, 1985).



Şekil 2.7 SiO_2 'nin sıcaklık ve basınca göre kararlı ve yarı kararlı fazları (Eriç, 1985).

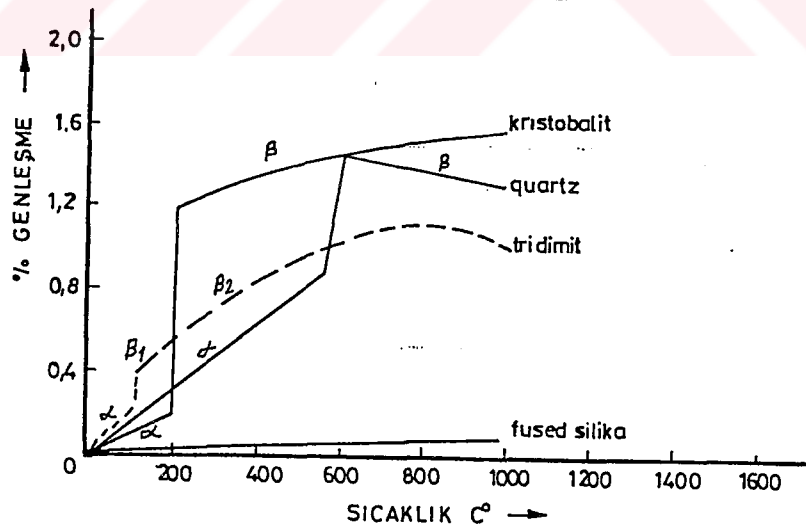
Saf halde silika 1723°C'ta ergimektedir, bu özelliği silikaya yaygın güçerir malzemesi olarak kullanım imkanı tanımaktadır. Silika esaslı güçerir tuğlaların yapımında kullanılan hammaddeler iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunların ilki ganister olup % 98'in üzerinde bünyesinde SiO_2 içeren yeryüzünde masif kayaları oluşturan yoğun kvartztır (çakmak taşı, kvartıs kayası). Ganister yatakları oldukça geniş bir coğrafyada bulunabilir ama ana ganister yatakları Wisconsin, Pennsylvania, Alabama ve Kaliforniyada'dır. Silika güçerir tuğlaların

üretiminde kullanılan diğer hammadde ise kuvars çakıl taşları ve kayalarıdır. Bu tip kuvars içeren çakıllı kayalar ise Ohio, Maryland, Pennsylvania ve Indiana’da bulunur. Özellikle çakıl kayaları uygun yapıda seçilip yıkanırsa % 0,5’ten az alümina ve alkali içerikleri ile SiO₂ üretiminde mükemmel bir hammadde kaynağı oluşturur (Sammer vd., 1989).

Silika esaslı güççerir tuğların yapımında ve kullanımı sırasında şu iki önemli nokta her zaman göz önünde tutulmalıdır;

- a) Kuvarts hammaddesinde bulunan Al_2O_3 , TiO_2 ve alkaliner tarzındaki safsızlıkların miktarları,
- b) SiO_2 'da mevcut polimorfik kristal fazların dönüşümleri.

Silika esaslı güçerirlerin ana hammaddeesi olan kuvarts'ın ısıtılmasıyla beraber α - kuvarts, γ - kuvarts'a döner ki bu duruma Şekil 2.8'de görülen 573°C 'taki ani lineer genişleme eşlik etmektedir. Bu sıcaklık değeriine yaklaşıldıkça ısıtma hızının yavaşlatılmasıyla ile beraber % 0,92'u bulabilecek hacimsel değışimin yaratabileceğı çatlak oluşumlarının önüne geçilebilecektir. 1426°C 'in üzerindeki sıcaklıklarda pişirme yapılan silika güçerirlerde yapıda kristobalit parçacıkları oluşurken, muhtemelen artık haldeki dönüşmemiş kuvarts yapıları ile karşılaşılacaktır. Kristobalit parçacıkları tridimit ile çevrenlenmiş halde olup, ara camsı bağ fazı ise yüksek kireç, alümina, titanyumdioksit ve alkanlinlerden meydana gelmiştir (Sammer vd., 1989)



Şekil 2.8 Silika mineralinin ısı genleşmesi (Sammer vd., 1989).

Silika esaslı güçerir malzemelerde esas olarak dayanıklılık ve sağlamlığın elde edilmesi için tridimit istenmektedir. Hammadde karışımı içerisinde % 1'den daha az CaO katkısı verilmiş ise SiO₂'in tridimit bölgesinde yani yaklaşık 1450°C civarında bir miktar sıvı faz oluşacak,

kuvarts sıvının içinde çözülecek, pişirmeyi takiben soğuma sırasında tridimit sıvıdan kristalleşerek ortaya çıkacaktır (Eriç, 1985).

% 1'den daha az CaO'in saf silikanın içerisine katılmasıyla beraber silikanın 1723 °C olan ergime sıcaklığı 1708 °C'a düşmektedir. %1-40 arasında demir oksitte silika içerisine katılırsa CaO gibi davranarak ergime sıcaklığı 1696 °C civarına kadar çekilebilmektedir. Diğer oksitler örnek olarak alümina, titanyumdioksit ve alkaliner silika ile karışmayan sıvılar teşekkül ettirmektedir; bu tip oksitlerin silika içerisindeki miktarları artıkça ergime noktası şiddetle düşme eğilimine girmektedir (Sammer vd., 1989).

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

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

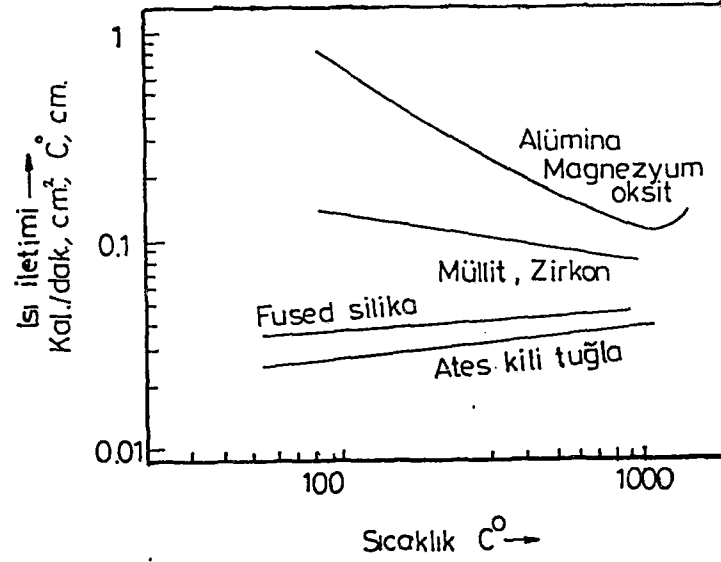
2.2.4.3.2.1.4 Kaynaşık (Fused) silika

Kaynaşık silika doğal kuvarts kumunun yüksek sıcaklıklarda ergitilip kontrolü bir biçimde aşırı soğutulması ile elde edilir. Katı ürün daha sonra kırılıp, elenerek, sınıflandırılır. Kaynaşık silika, düşük ısı genleşmesi nedeniyle seramik kabuk ve maça yapımında kullanılan bir malzemedir (Üstel, 1993).

Kaynaşık silika hassas dökümde seramik kabuğun yapımında kullanılan en yaygın güççeridir. Demir esaslı alaşımların ve kobalt içeren alaşımların dökümüne oldukça elverişlidir. Vakum altında, metalle teması ile beraber silika parçalanır ve ciddi metal kalıp reaksiyonlarına neden olur. Kaynaşık silikanın yoğunluğu 2,2 gr/cm³ olup, ergime sıcaklığı 1704-1760 °C arasında değişir. Kaynaşık silika faz dönüşümlerine 1150 °C'ta başlar, fakat 1650 °C sıcaklıklara kadar ki metal döküm sıcaklıklarına dayanabilir (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Kaynaşık silikanın kimyasal bileşimi % 97,85-99 SiO₂, üst limit değerler olarak % 1 kristobalit ve kuvars, % 0,5 Al₂O₃, % 0,15 R₂O, %0,15 C bulunur. Ergimiş kostik ve kostik çözeltilerinde liç olabilir. Sıcak fosforik asit ve hidroflorik asit dışındaki asitlere

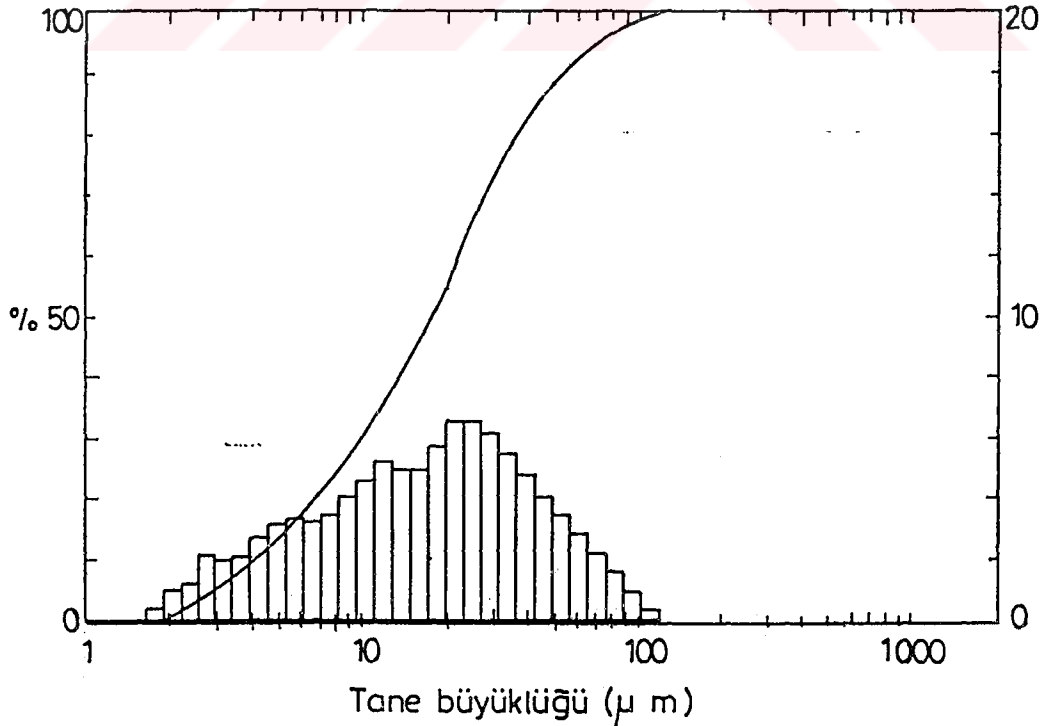
dayanıklıdır. pH=6,0-7,5 ve rengi beyazdır. Şekil 2.9'da çeşitli seramik malzemelerin ısı iletim katsayıları görülmektedir. Çizelge 2.13'te ise seramik maça malzemesi olarak kullanılan ticari kaynaşık silikanın kimyasal bileşimi verilmiştir, aynı malzemenin tane boyut analizi ise Şekil 2.10'da verilmiştir (Üstel, 1993).



Şekil 2.9 Çeşitli seramiklerin ısı iletim katsayıları (Üstel, 1993).

Çizelge 2.13 Kaynaşık silikanın kimyasal bileşimi (Üstel, 1993).

SiO ₂	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K
% 95,8	% 2,67	% 0,38	% 0,75	% 0,3	% 0,01	% 0,01



Şekil 2.10 Kaynaşık silikanın tane boyut analizi (Üstel, 1993)

2.2.4.3.2.1.5 Mullit

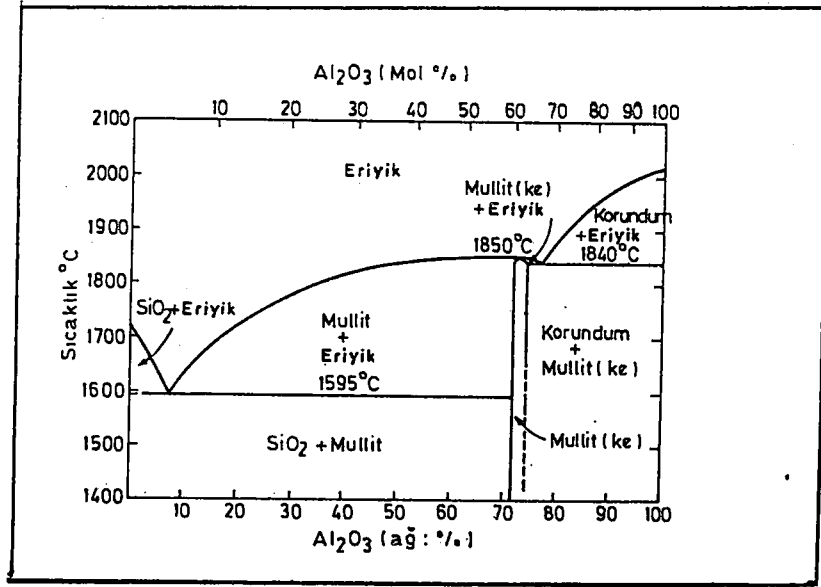
Mullit geleneksel olarak güçerir üretiminde yoğun biçimde kullanılmakta olan bir alümina-silikat olmasına karşın doğada çok az rastlanır. İlk olarak İskoçya'da Mull adasında bulunduğu için mullit adı verilmiştir. Mullit, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ sistemi içinde en yaygın olarak incelenen kristal fazıdır. Düşük ısı genleşme, yüksek sürünme direnci ve kimyasal kararlılığa sahiptir. Bu özellikleri mulliti ileri teknoloji uygulamaları için yüksek sıcaklıklarda kullanım alanı olan bir malzeme yapmaktadır (Kınıkoğlu, 1992).

Mullit kafesine iyonik difüzyonun aktivasyon enerjisi yüksek olduğundan (170 kcal/mol) teorik yoğunlukta malzeme elde etmek için 1700°C 'ın üzerinde uzun süreli sinterleme yapmak gerekmektedir. Bu yüzden mullitin teorik yoğunluğuna yakın yoğunlukta ve tek fazlı bir malzeme olarak elde edilmesi güçtür. Mullit, kaolen tipi minerallerin ısıtılması ile oluştuğu gibi, alümina-silikat karışımlarının tepkime sinterlemesine sokulması ile elde edilebilmektedir. Mullit eldesinde sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, sol-jel proseslerinin de kullanımı üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Kınıkoğlu, 1992).

Mullitin ticari olarak üretiminde; Al_2O_3 'ün SiO_2 ile tepkimeye girmesi sağlanarak sinterlenmiş mullit veya kaynaşık mullit üretilebilir. Üretimde kullanılan Al_2O_3 , boksit veya bayer yöntemi ile hazırlanmış alümina olup, SiO_2 ise kuvars yada kalsine Çin kilinden elde edilmektedir (Ford, 1967).

Mullitin, kuvars ($d=2,65 \text{ gr/cm}^3$) ve alüminadan ($d=3,99 \text{ gr/ cm}^3$) oluşturulmasında teorik olarak % 10'a varan hacim artışının sonucundaki tepkime-genişlemesi eşlik etmektedir. Kuvars $2,32 \text{ gr/ cm}^3$ 'lük yoğunluğa sahip kristaboliite yerdeğiştirmesinde tepkime-genişlemesi teorik olarak % 5'lik hacim artışına sebep olmaktadır. Kil içerisine yüksek alüminalı ürün üretmek için alümina veya boksit katılırsa tepkime-genleşmesine ilave mullit oluşumu ile beraber gerçekleşir. Anlatılan bu tepkime-genişleme olgusunun sonucu olarak 1650°C 'ta sinterlenen alümina-kalsine çin kili karışımında karşılaşılabilecek gözeneklik miktarı % 25 civarına ulaşmaktadır. Düşük gözenekli bir sinterleme ürünü elde etmek için; başlangıç hammadde karışımının hazırlanmasındaki $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ molar oranı 3/2 değeri sabit tutularak, 1800°C civarında sinterleme yapılmalıdır. Ticari olarak satılan mullitte genelde %93-95 mullit, %2-3 camsı ürünler ve %2-3 arasında tepkimeye girmemiş alümina bulunur (Ford, 1967).

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ sistemi içerisinde tek ara bileşik mullittir. Aramaki ve Ray'a göre $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ faz diyagramı Şekil 2.11'de verilmiştir (Kınıkoğlu, 1992).



Şekil 2.11 Al₂O₃- SiO₂ faz diyagramı (Kınikoğlu, 1992).

Mullit güçerir içerisinde %71,8 Al₂O₃ ve %28,2 SiO₂ ağırlıkça bulunmaktadır. Mullit güçerirler mükemmel boyutsal kararlık ve dayanımı yüksek sıcaklıklarda dahi sunmaktadır. Bu özelliklerin yanında camlara ve alkalinelere karşı gösterdiği korozyon direnci ile beraber mullit güçerirler elektrikli fırın tavanlarında, ve cam fırınlarında kullanım alanı bulmuştur (Sammer vd., 1989).

Mullit ortorombik yapıda ve 3,16-3,22 gr/cm³ teorik yoğunluğa sahiptir. Sertliği Mohs ölçeğinde 7,5 olup, ergime sıcaklığı yaklaşık 1850°C'dir. Kırılma tokluğu ve dayanımı oda sıcaklığında alüminadan daha düşük olmasına rağmen yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça alüminadan daha iyi konuma gelmektedir (Kınikoğlu, 1992).

2.2.4.3.2.1.6 Zirkonya

Zirkonya, ZrO₂ formülü ile gösterilmektedir. Zirkonya, zirkondan kimyasal sentez veya doğal olarak badeleyit minerali olarak temin edilir. Badeleyit minerali % 80 civarında ZrO₂ içermekte olup özellikle Brezilyada bulunan bir mineral tipidir. Badeleyit kimyasal işlenmesi ile yüksek saflıkta ZrO₂ üretilir, bu mineral % 1-1,5 kadar SiO₂ ve demir oksit içerir (Sammer vd., 1989).

Zirkonya süper güçerirler sınıfına girmektedir, ergime noktası 2680 °C'tır. Saf halde zirkonya oda sıcaklığında monoklinik fazda bulunmaktadır, 1000 °C üzerinde ise yapı tetragonal hale gelmektedir. Bu durumun doğal sonucu ise % 9'u bulan hacim değişimidir. 2370 °C'a kadar

mevcut tetragonal faz kararlıdır, bu sıcaklıktan sonra ergime sıcaklığına kadar yapı kübik formu alarak bu yapıyı korur. Soğutma sırasında ise tetragonal fazdan monoklinik faza dönüşüm aşamasında % 3-5'lik bir hacim artışı ile karşılaşmaktadır (Sammer vd., 1989).

Zirkonyanın tetragonal-monoklinik faz dönüşümü sırasında görülen hacim artışı saf zirkonyadan büyük boyutlu seramik parçaların üretimini imkan dışı hale getirir. Kübik fazı kararlı hale getirecek olan CaO (%5-15), MgO (% 8-15) veya Y_2O_3 (%11,5-15) tarzındaki oksitlerin katılması ile zirkonya 1500-1700°C'a kadar yapılan ısıtmalarda kübik fazını korumaktadır böylece uniform ısıl genleşme değerlerine ulaşılmaktadır. Bu sayede dönüşüm esnasında oluşacak olan hacim artışı çatlamların önüne geçilmiş olacaktır (Sammer vd., 1989).

Zirkonyanın keşfedilen dönüşüm toklaşması özelliği sayesinde tokluğu artırılmış seramiklerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Zirkonya dayanım, tokluk ve kimyasal soyluğundan dolayı özellikle kesici takımlarda kullanılmaya başlanmıştır (Kınıkoğlu, 1992).

Tel çekme ve sıcak darçıkım kalıplarında, conta olarak valflerde kullanıldığı gibi ticari olarak zirkonya pompa imal edilmektedir. Aynı şekilde otomotivlerde, piston başları ve yüzeyleri gibi motor parçalarındaki aşınmayı azaltmak için zirkonya kullanılabilir (Kınıkoğlu, 1992).

Gaz türbin sistemlerinde, türbin kanatları zirkonya ile kaplanarak metal yüzeyin fazla ısınmasına engel olunmakta ve motorun veriminde % 6-12 gibi bir artış sağlanmaktadır (Kınıkoğlu, 1992).

Zirkonyanın elektriksel özellikleri nedeniyle bir başka kullanım alanı oksijen sensörleridir. Egzoz gazlarındaki çok az miktarda mevcut olan oksijenin kısmi basıncını ölçerek iyi bir yanma sağlanıp sağlanmadığının kontrolünde, ısıl işlem fırınlarının atmosfer kontrolünde, ergimiş çelikteki oksijen miktarının tayininde zirkonyadan üretilmiş oksijen sensörleri başarı ile kullanılmaktadır (Kınıkoğlu, 1992).

Ayrıca su buharı yüksek sıcaklıkta elektrolizi yöntemin ile hidrojen üretiminde zirkonya membranlar kullanılmaktadır. Zirkonyadan yapılmış ısıtıcı elementler 2000°C'a kadar kullanılabilir (Kınıkoğlu, 1992).

Zirkonyanın geniş kullanım alanlarından biri ise PZT (kurşun zirkonat titanat) seramikleridir (Kınıkoğlu, 1992).

Zirkonyanın kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.14'te verilmiştir.

Çizelge 2.14 ZrO₂'in kimyasal ve fiziksel özellikleri (Janeway, vd., 1990)

Kimyasal Formülü	ZrO ₂
Oda Sıcaklığındaki Kristal Yapısı	Monoklinik
Kimyasal Bileşimi	% 98,6 ZrO ₂ , % 0,62 SiO ₂ , 0,16 Al ₂ O ₃ , % 0,06 Fe ₂ O ₃ , % 0,3 TiO ₂
Çözünürlük	H ₂ O-Çözünmez, Seyreltik Asitler-Çözünmez, Alkalinler-Çözünmez, Sıcak H ₂ SO ₄ -Çözünür, HF-Çözünür
Renk	Açık sarımsı kahverengi
Ergime Sıcaklığı	2680°C
Yoğunluk	5,8 gr/cm ³

2.2.4.3.2.1.7 Magnezit

MgO üretiminde kullanılan ana hammadde MgCO₃'tür. MgO üretiminde ana yöntem MgCO₃'ün 1566°C'in üzerindeki sıcaklıklarda pişirilerek periklas olarak adlandırılan MgO'un oluşturulmasıdır. MgCO₃, Avustralya, Yunanistan, Hindistan ve Çinde yaygın olarak bulunmaktadır (Sammer vd., 1989).

Günümüzde bazik güçerirlerin üretiminde kullanılan MgO genelde denizsuyundan veya tuz içeren göllerden elde edilmektedir ki bu tip üretilmiş olan MgO'ta yaklaşık olarak % 0,5 civarında MgCl₂ bulunur. İşlemde deniz suyu veya tuzlu sulu göllerden alınmış olunan su Ca(OH)₂ ile işlenerek CaCl₂ ve Mg(OH)₂ üretilir. Bu işlemde kullanılan kireç kaynağı dolamittir. Mg(OH)₂ filtre edildikten sonra kurutulur ve kalsine edilerek MgO üretilir. Yüksek yoğunlukta ve saflıkta MgO elde etmek için kalsinasyon sıcaklığı 1925°C civarına kadar çıkartılmalıdır (Sammer vd., 1989).

Genelde ticari olarak satılan magnezit ürünleri bünyesinde % 72-99 MgO, % 25,4-0,46 CaO, % 0,64-0,18 SiO₂, %0,04-0,94 Fe₂O₃, %0,04-0,26 Al₂O₃ ve %0,18-0,03 B₂O₃ içerir.

MgO'in ergime sıcaklığı 2800°C olup güçerirler içerisinde yaygın olarak bulunabilen malzemedir. Alüminya göre daha pahalıdır ve ısı genleşme değeri çok daha yüksektir. Oksitleyici atmosferlerde, alüminadan daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. Magnezit, yüksek sıcaklıklarda kolayca redüklenebilir ve 2300-2400°C sıcaklıklarda buharlaşır. Redükleyici atmosferlerde, yüksek buhar basıncı nedeniyle vakumda, 1600-1700°C'nin üzerinde kullanılmaz (Geçkinli, 1992).

Magnezit iyi kalsine edilmemiş ise suda ve mineral asitlerde yavaşça çözünür. Yüksek sıcaklıklarda yoğun magnezit, mineral asitlerine, asit gazlara ve rutubete karşı direnci yüksektir. MgO'nun aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda nötr tuzlara karşı direnci yüksektir. 1800°C'ye kadar, karbonla temas halinde dahi kararlıdır. Fakat, 2000°C'de karbon ve karbürler ile hızla reaksiyona girmektedir (Geçkinli, 1992).

Magnezyanın, pek çok metalle temasda alüminadan daha kararlı olduğu bilinmektedir. Buna karşın, magnezit potalarının Ni, Fe, Cu ve Pt eritme için uygun olduğu tesbit edilmiştir. Magnezit, aynı zamanda ergimiş kurşun oksit ve tuzları için de kullanılabilir (Geçkinli, 1992).

Magnezit, silika gibi asidik oksitlerde curuf yapar. Çok az miktarda safsızlıkların yapıda bulunması MgO'un yüksek sıcaklıktaki dayanımını önemli miktarda azaltmaktadır (Geçkinli, 1992).

MgO'dan üretilmiş güçerir parçalar 1900-2000°C'de sinterleme işlemine tabi tutulur. Bu işlem sırasında yapıda yer alan safsızlıklara göre tane büyümesi olabilmektedir. Sinterleme atmosferi, özellikle su buharı içeriyorsa sinterleme işlemi uzayabilmektedir (Geçkinli, 1992).

2.2.4.3.2.1.8 Molokit

Molokit özellikle silika sol bağlayıcıların kullanıldığı hassas döküm seramik kabukların yapımında tercih edilen alümina-silikat esaslı bir güçerir malzemedir (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Yıkılarak temizlenmiş kaolen minerali, filtre edilerek 1550°C'ta kalsinasyona tabi tutulur. Pişirilmiş kaolen sonradan öğütülerek değişik tane boyutlarına ayrılır. Molokit, x-ışınları ile mineralojik analizi yapıldığında bünyesinde % 56 mullit ve % 44 amorf silika fazlarının bulunduğu görülür (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Molokit ısı genleşme katsayısı kaynaşık silika ve zirkondan sonra en düşük güçerir olup, özellikle 1770°C'a kadar döküm uygulamalarında sorunsuz kullanılabilir (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

2.2.4.3.2.1.9 Kromit

Kromit cevheri % 30-45 arasında Cr_2O_3 içermekte olup; bu tip cevherler “güçerir sınıfındaki cevherler” olarak tanımlanmaktadır ve kromit güçerirlerin üretiminde hammadde olarak kullanılır. Genelde kromit cevheri MgCO_3 ve MgO ile karıştırılarak kullanılabilir. Kromit cevherindeki diğer oksitler ise % 24-35 Al_2O_3 , %10-18 FeO ve % 10-20 MgO ’tur . Kromit cevheri Filipinler, Türkiye, Yunanistan, Güney Afrika, Zimbabve ve B.D.T’ da bulunmaktadır (Sammer vd., 1989).

2.2.4.3.2.2 Seramik kalıp yapımında kullanılan bağlayıcılar

Karmaşık şekilli ve üzerinde detaylar içeren seramik kalıpların üretiminde esas olarak etil silikat içeren bağlayıcılardan yararlanabiliriz. Seramik kalıp yapımında kullanılan bağlayıcılarda aranılan özellikler şöyle sıralanabilir (Shklennik, 1970);

- a) Modeli işletmeli ama model üzerinde aşınma ve tahribata sebep olmamalıdır,
- b) Uygun bir viskozite değerine sahip olmalıdır ki seramik tozlarla karıştırılarak dökülebilir bir bulamaç elde edilebilir.
- c) Herhangi bir seramik tozla karışımın bünyesine katıldığında yüzeye çıkmamalı veya karışıma katılan seramik tozların dibe çökmesini engellemelidir.
- d) Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda bağlayıcılık özelliğini korumalıdır

Seramik kalıp yapımında kullanılan bağlayıcıları oluşturdıkları oksitlerin tipine göre asidik, amfoter ve bazik olarak sınıflandırılabiliriz (Shklennik, 1970).

Asit oksit karakterli malzeme grupları esas olarak etil silikatlı yapılardır. Bu tür bağlayıcılar sanayide yaygın olarak kullanım alanına sahiptir. Üretilen seramik kalıplar yüksek dayanımlara sahiptir, çelik, bakır ve alüminyum alaşımlarının dökümlerine uygundur. Yine de asit oksit karakterli bağlayıcı ile imal edilmiş seramik kalıpların titanyum, krom ve yüksek alaşımlı çeliklerin dökümünde metal ile tepkimeye girme eğilimi taşıdığı bilinmektedir (Shklennik, 1970).

Amfoter oksit karakterli bağlayıcılar alüminyum oksinitrat ve tetrakloretilzirkonat benzeri malzemelerdir (Shklennik, 1970).

Tipik bir bazik oksit karakterli bağlayıcı metil alkol içinde doymuş çözelti olan kalsiyum nitrattır ve bu malzeme seramik kalıp yapımındaki sinterleme işlemi sırasında kalsiyum oksit oluşturur. Bazik bağlayıcı ile yapılmış seramik kalıplar yüksek güçerirlik özelliğine sahiptir

ve titanyum tarzında metallerin dökümüne dahi imkan verir. Çizelge 2.15’de çeşitli bağlayıcı tip ve özellikleri verilmiştir (Shklennik, 1970).

Çizelge 2.15 Bağlayıcı tipleri ve genel özellikleri (Shklennik, 1970).

Başlangıç malzemesi	Durumu	Bağlayıcı oksit miktarı (% Hacimce)	Çözücüsü	Genel özelliği	Sembolü	Ergime Sıcaklığı (°C)
Etil silikat	Sıvı	32-52	Alkol	Asit	SiO ₂	1723
Alüminyum oksinitrat	Granül	30-35	Su-Alkol	Amfoter	Al ₂ O ₃	2050
Krom oksiklorür	Sıvı	9-12	Su-Alkol	Amfoter	Cr ₂ O ₃	2135
Kalsiyum nitrat	Kristal tuz	-	Butil Alkol	Bazik	CaO	2800

2.2.4.3.2.2.1 Etil silikat esaslı bağlayıcılar

Silika, serbest veya metalik oksitlerle birleşmiş halde, yeryüzünün %60’lık kısmını oluşturmaktadır. Silika 1723°C’ta ergir ve HCl, HF ile güçlü alkaliler dışındaki tüm kimyasallara karşı dayanım göstermektedirler. Bu nedenle silikanın kontrolü biçimde güçerir veya seramik malzeme bünyesine katılması yararlı bir uygulamadır (Cogan vd., 1946).

Silikanın kontrolü biçiminde seramik bünyesine katılmasının yolu organik kökenli tetraetilortosilikatın sulu ayrıştırılması ile silisik asit ve etil alkolün elde edilmesidir (Tepkime 2.3). Sürecin devamında silisik asit suyunu yitirmekte ve silikanın amorf şeklini almaktadır, bu durum Tepkime 2.4’de görülmektedir.



Silikanın elde edilmesi, silisik asidin suyunu yitirmesiyle olmaktadır. Silisik asit çözeltileri dış görünüm olarak organik pelteleşme gibi yavaş yavaş kıvamlaşmakta ve sonunda tam pelte halini almaktadır. Silisik asidin, 1979 yılına kadar birçok organik polimer gibi dallanan ve çapraz bağlanan siloksan-zincirleri halinde polimerleşmekte olduğu kabul edilmekteydi. Bu arada silisik asidin sulu çözeltiler içindeki polimerlerleri ile kondensasyon tipi organik polimerlerin arasında hiç ilgi olmadığı görüşü ortaya atılmıştır. Bunun yerine, polimerleşmenin üç basamakta açıklanması yolu seçilmiştir (Ayok vd., 1997).

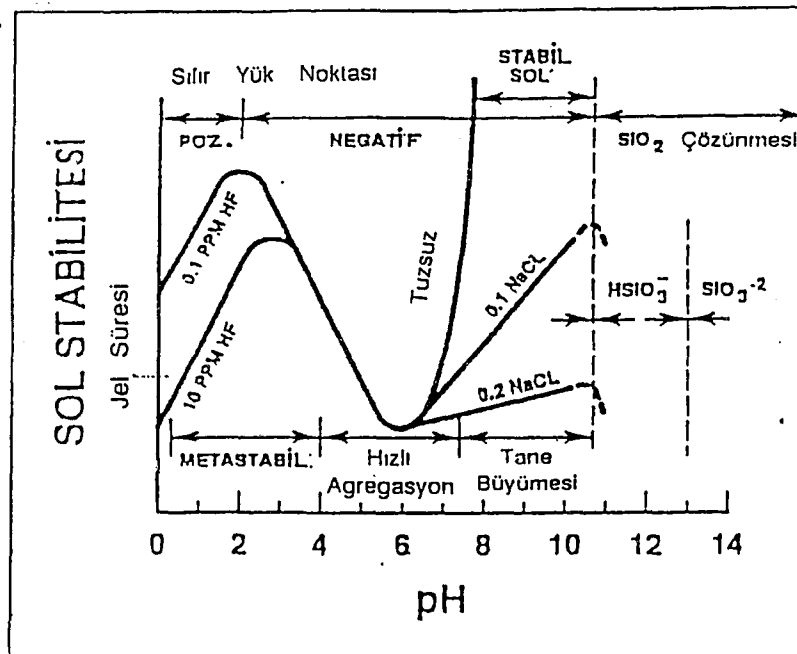
- a) Monomer polimerleşmesi ile belirgin tanecik oluşmaktadır,
- b) Tanecikler (Ostwald Olgunlaşması) ile büyümektedir,
- c) Taneciklerin birbirine bağlanması ile zincirleşme ve daha sonra sıvı ortamda yayılan yapı-
ağı oluşumu ve nihayet kıvamlaşma sonucu pelteleşmektedir (Ayok vd., 1997).

Bu polimerleşme sistemine hakim olan Ostwald Olgunlaşması mekanizması şu şekilde açıklanır; “ Ortamda yüksek çözünürlüğe sahip bulunan küçük tanecikler çözünmektedir ve az çözünür çekirdek üzerine eklenmektedir ve böylece tanecik büyümesi oluşmaktadır ”. Büyük ve küçük taneler arasındaki çözünürlük farkı, birkaç ppm düzeyine geldiğinde tanecik büyümesi sona ermektedir (Ayok vd., 1997).

Ancak özellikle $pH > 7$ ortamında, sıcaklık artışı çözünürlüğü çok fazla miktarda artırmaktadır ve sonuçta tanecikler çok daha büyük boyutlara ulaşmaktadır (Ayok vd., 1997).

Silisik asidin polimerleşmesi işlemi üç pH alanına bölmek uygun olabilir ($2 < pH = 2-7 < 7$). Tanelerin yüzeydeki elektriksel yükünün sıfır olduğu yani silika taneciklerinin elektriksel hareketlerinin olmadığı izo-elektrik noktası $pH=1-3$ arasında kritik bölge olup bu yüzden $pH=2$ değeri sınır kabul edilir (Ayok vd., 1997).

Bunun yanında $pH \geq 7$ değerinde hem silikanın çözünürlüğünün en büyük mertebesinde bulunmasından ve hem taneciklerin iyonlaşması ile kümeleşme ve pelteleşme olmaksızın tanecik büyümesi mümkün olduğundan bu değerinde sınır kabul edilir. Kollodial silika-su sistemi içerisinde pH'ın etkileri Şekil 2.12'de görülmektedir (Ayok vd., 1997).



Şekil 2.12 Kollodial silika-su sistemine pH'ın etkisi (Ayok vd., 1997).

Bağlayıcının pelteleşme hızı yani pelteleşme zamanının belirlenmesinde önemli bir nokta olarak karşımıza çıkar. Sulu ayrışma ve kondensasyon hızı kontrol edilemez ise elde edilecek bağlayıcının özellikleri de kontrol dışına çıkacaktır. Bu nedenle tepkime hızlarını kontrol eden; çözücü tipleri ve miktarları ortam sıcaklığı ve nem değeri, çözeltideki su miktarı, sisteme katılan tezgen miktar ve tipi gibi bir çok etken dikkatle irdelenmelidir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).

Etil silikat renksiz, hafif ester kokulu sıvı bir malzemedir. Buharlaşma sıcaklığı 168°C olup, donma noktası ise -77°C'tir. Etil silikat su ile karışabilir değildir. Bu nedenle endüstriyel kullanımında aseton, izopropil alkol, metil veya etil alkol içerisinde çözündürülen etil silikat, su ile karıştırılabilirlik özelliğine ulaştırılır (Cogan vd., 1946).

Etil silikatın hidroliz işlemi normal koşullarda çok yavaş olmakta, sisteme bazik veya asidik karakterli bir tezgen eklenmesi ile bu tepkime hızlandırılmaktadır. Bu amaçlı HCl, H₂SO₄, magnezyum oksit ve kireç kullanılabilir (Shaw vd., 1957).

Havada mevcut nem, silikat çözeltisi ile etkileşime girmekte ve bu nem su ayrışma tepkimesi içinde yer almaktadır. Birçok uygulamada görülmüştür ki kuramsal olarak gerekli su miktarından çok daha az miktarda su kullanımı tetraetilortosilikatın sulu ayrışma tepkimesinin tamamlanmasında yeterlidir. Webber ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da gözlemlenmiştir bu sonucu destekler veriler ulaşılmıştır. Suyun kuramsal miktardan daha az kullanılması ile esterlerin bir kısmı yoğun reçinemi yapışkan bir maddeye dönüşmekte, bunun da çözeltideki su ve alkolün buharlaşmasından sonra silika filmi içinde esnekliği sağladığı ileri sürülmektedir (Cogan vd., 1946; Webber vd., 1975)

Etil silikat kullanılarak hazırlanmış bir bağlayıcı çözeltisinin havada açık biçimde depolanması durumunda 10 gün zarfında pelteleştiği ve pelteleşen bağlayıcının zamanla sertleşerek kullanım imkanını yitirdiği bilinmektedir (Kuşkonmaz ve Kınıkoğlu, 1996).

Etil silikat kullanımı ile her birinin farklı fiziko-kimyasal özellikleri olan çok sayıda bağlayıcı çözeltisi hazırlanabilir. Çözeltideki SiO₂ miktarı, hidroliz için ilave edilen su miktarı ve kullanılan tezgen değiştirilerek çeşitlilik sağlanabilir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

2.2.4.3.2.2 Kalsiyum alüminat esaslı bağlayıcılar

Genel olarak demir dışı alaşımların dökümünde kullanılır. Demir dışı alaşımlarda 1500°C'ta kadar problemsiz uygulama alanına sahiptir. Çok iyi kontrol edilebilen bir şekillendirme süresi vardır. Bağlama süreleri açısından çok avantajlıdır. Özel ivmelendiricilere ihtiyaç duymaz. Diğer bir avantajı ise ısıtma ve döküm işlemleri sırasında çok düşük boyutsal

değişim göstermesi ve ekonomikliğidir. Yalnız stoklama sırasında özel önlemler alınması gereklidir çünkü suya karşı ilgisi yüksektir (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

2.2.4.3.2.3 Seramik kalıp yapım yöntemleri

Seramik kalıp yapımında birçok değişik yöntemler kullanılabilir. Ama genel olarak tüm yöntemlerde kalıcı modeller ve ince taneli zirkon, kalsine edilmiş yüksek alüminalı güçlendiricilerden yapılmış bulamaçlar kullanılmaktadır. Zirkon tozlarının tane büyüklükleri dışındaki özellikleri hariç tüm genel özellikleri hassas dökümde seramik kabukların yapımında kullanılan bulamaçlarla aynıdır. Hassas dökümde kullanılan kalıplar gibi seramik kalıplarda tek dökümlük olup daha sonra bozulmaktadır. Seramik kalıba döküm yönteminin, hassas döküm uygulamalarına göre temel farkı kalıbın alt ve üst dereceli veya bazı hallerde alt dereceli olmasıdır (ASM Handbook, 1992).

Hassas veya seramik kalıba döküm yöntemleri ile ince detaylı, çok temiz yüzeyli parçalar elde edilebilir. Seramik kalıpların yüzeylerinin güçlendirlik özelliğinden dolayı çelik ve süper alaşımların dökümündeki yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi, ısı kararlılıklarının mükemmel olması ve metalle yapışmama eğilimleri önemli avantajlar olarak karşımıza çıkar (ASM Handbook, 1992).

Seramik kalıp yapımında iki esas uygulama karşımıza çıkar. Bunlardan ilki; mum veya plastik asıllı model üretilmeyecek kadar büyük ve salkım haline getirilmesi zor ama hassas döküme ihtiyaç duyulan uygulamalardır. İkinci esas uygulama ise dökülecek parça sayısının, metal kalıp yerine ağaç model yapımı tercih ettirecek kadar az olmasıdır (ASM Handbook, 1992).

Seramik kalıplama sadece boyutsal hoşgörü tamlığı ve yüzey temizliği gibi hususları sağlaması değil ayrıca dökülecek parçaların sağlamlığı ve metal olmayan kalıntıları içermeyecek yüksek kaliteli döküm yapılması amacıyla tercih edilir. Genel olarak hassas döküm yöntemi ile seramik kalıba döküm yöntemlerinin özellikleri ve üretim yetenekleri benzer olup bunlar içerisinde hangisinin tercih edileceği tamamen dökülecek parçanın boyutlarına, sayısına ve sonuç olarak kalıplama tekniğinin genel maliyetline bağlıdır. Bazı uygulamalarda seramik kalıplamadaki kalıcı modellerin kullanımı ile mum modellere göre daha iyi boyutsal tamlık sağlanır; çünkü mumun eritilerek dışarı alınması aşamasında genişlemesi olgusu bulunmaktadır. Kalıcı modeller mum modellerden daha iyi boyutsal hoşgörü değerlerine sahiptir ve işlem sırasında mum modellere göre daha az çarpılma riski taşır (ASM Handbook, 1992).

Seramik kalıp yönteminin ilk geliştirilmesi evresindeki kalıp yapımında kullanılan malzemenin yüksek maliyetli oluşu en önemli dezavantajdır. Bu malzemeler tüm seramik

kalıplar için bulamaç yapımında büyük miktarda kullanılmakta olup geri dönüşümü yoktur. Sonraları seramik kalıpların yüzey arkaları ucuz şamotla desteklenerek, zirkon, mullit ve bağlayıcı tüketimi azaltılmıştır. Diğer taraftan yüzey arkasında kullanılan destekleme malzemesi % 80-90'ı yeniden kullanılabilir (ASM Handbook, 1992).

Seramik kalıplarda hem demir esaslı, hem de demir dışı alaşımların dökümü yapılabilmektedir ama genelde demir asıllı alaşımların döküm uygulamalarında seramik kalıplardan yararlanılmaktadır. Demir dışı alaşımlardan alüminyum, bakır, berilyum bakırı, nikel ve titanyum seramik kalıplara rahatlıkla dökülebilmektedir; demir asıllı alaşımlardan ise küresel grafitli dökme demir, karbon ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler ve takım çeliklerin dökümü yapılabilir (ASM Handbook, 1992).

2.2.4.3.2.3.1 Shaw ve Unicast yöntemleri

Shaw yönteminde birbirinden farklı iki tür kalıp hazırlama usulü vardır. Bunlardan ilki U.S Patent 2,795,022'de anlatılan tam seramik kalıp yapım yöntemi iken ikincisi yine Shaw tarafından U.S Patent 3,022,555'te ifade edilen ucuz ateş çamuru ile desteklenmiş seramik yüzeyli karma kalıptır. Yöntemlerin seçimi dökülecek parçanın boyutlarına ve kalıplama malzemesinin maliyetine göre yapılır.

2.2.4.3.2.3.1.1 Shaw tam seramik kalıp yapımı

Shaw yöntemi ile seramik kalıp yapımının ana hatları, U.S Patent 2,795,022'de şöyle tanımlanmaktadır; güçerir özelliğine sahip tozlar (silika, zirkon, alümina) arzu edilen alçak alkali silika (etil silikat) ve asit karakterli pelteleşme tezgani malzemelerle karıştırılarak yarı akışkan bulamaç kıvamında model üzerine dökülür ve pelteleşme ile katılaşması beklenir. Katılaşma sonunda seramik kalıp modelden sıyrılır, süratle yakılarak yapıda mevcut olan uçucular bünyeden uzaklaştırılır. Yakma işlemi kalıp kendi halinde sönünceye kadar devam eder (Shaw vd.,1957).

Yakma sırasında seramik kalıp içindeki alkolün hızla buharlaşmasının ve katı faz tepkimelerin etkisiyle yüzeyde üç boyutlu mikroçatlaklar oluşur. Mikroçatlaklar döküm metalinin giremeyeceği kadar küçük ama kalıptan hava, diğer gazların çıkmasını sağlayacak kadar geniştir (Shaw vd., 1957).

Shaw yönteminin o güne kadar kullanılan yöntemlerden iki farklı özelliği vardır. Bunlardan birinci katılaşmış seramik kalıpların yavaş ve uzun süreli pişirilmesi tekniğinin tam tersi olarak süratle ve ani olarak yakılması, ikinci ise pelteleşme tezgani olarak asit karakterli malzemelerin kullanımıdır. Yöntemin en önemli avantajı ise basit ve ucuz bir biçimde seramik kalıp yapımına olanak vermesidir (Shaw vd., 1957).

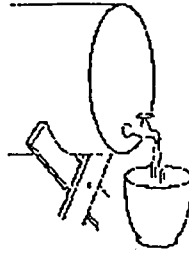
Tam seramik kalıp dökümün işlem sırası Şekil 2.13'de gösterilmiştir (ASM Handbook, 1992).



Güçerir

Özel karıştırılmış çeşitli güçerir tozları gruplarından oluşur.

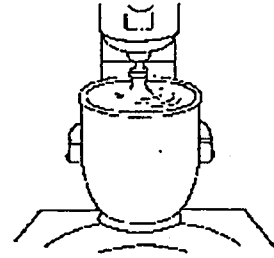
Adım 1



Bağlayıcı

Etil silikat bazlı ve özel formüle edilmiş bağlayıcı karışımı kullanılır.

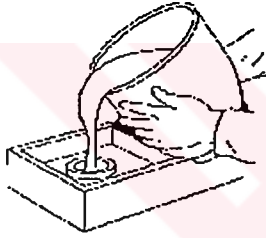
Adım 2



Karıştırma

Ufak miktarda pelteleşme maddesi bağlayıcı karışımına katılır ve bulamaç üretimi için seramik tozla karıştırılır.

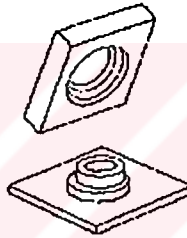
Adım 3



Model

Bulamaç ahşap, metal, alçı, plastik veya benzeri malzemelerden yapılmış model üzerine dökülür. 2 – 3 dakika pelteleşmesi için beklenir.

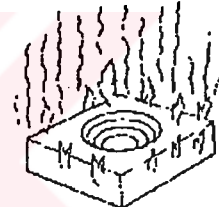
Adım 4



Ayrırma

Pelteleşmiş güçerir modelden elle veya mekanizma yardımıyla ayrılır.

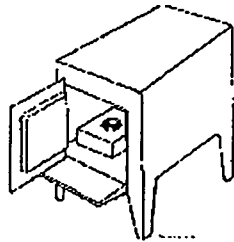
Adım 5



Yakma

Kalıp yakılır. Bütün uçucu maddeler bitene kadar bu yanma devam eder. Yanma ile mikroçatlaklar oluşur.

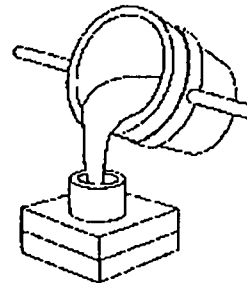
Adım 6



Pişirme

Şov kalıbı ısıl şoklara dayanıklı haldedir. Bu kalıp yüksek sıcaklık fırınına yerleştirilir veya üfleçle bütün uçucular gidene kadar yakılır.

Adım 7



Döküm

Kalıp pişirilir. Döküm yapılır.

Adım 8

Şekil 2.13 Tam seramik kalıp yapımı (ASM Handbook, 1992).

Tam seramik kalıplara metal dökümünden önce kalıplar dikkatle kontrol edilir. Parça şekline ve alaşımına bağlı olarak seramik kalıp sıcaklıkları 50-550°C arasında tutulmalıdır. Üst derece kapatıldıktan sonra çoğunlukla ayırım çizgisi etrafına çimento çekilir. Emniyet için ağır kalıplar çelik bantla sarılır. Bu hemen taşımaya kolaylaştırır hem de kalıbın çatlaması halinde metal akışını önler. Son olarak üst dereceye seramik dikey yolluklar ve ısıverici veya yalıtkan besleyici bilezikler yerleştirilir. Kalıp sıkı bir şekilde mandallandıktan sonra doğrudan ocaktan veya potadan döküm yapılır. Döküm mümkün olduğu kadar hızlı yapılmalıdır. Dökümden sonra besleyici üzerine ısıverici malzeme serpilerek besleyicinin uzun süre sıvı kalması sağlanır (ASM Handbook, 1992).

2.2.4.3.2.3.1.2 Shaw karma seramik kalıp yapımı

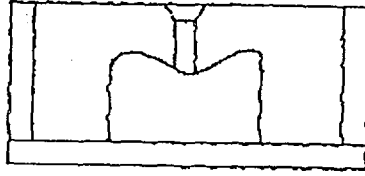
Bu tip seramik kalıplarda sodyum silikatlı şamot destek kalıbı CO₂'le sertleştirilerek seramik kalıp maliyeti oldukça düşürülür. Şekil 2.14'te görüldüğü üzere karma kalıbın yapılabilmesi için bir geniş modelle, bir de bitim modeline ihtiyaç duyulur. Geniş modeller seramik yüzey malzemesinin doldurulması için 2,5 mm kadar daha büyük yapılır. Üst ve alt derecelere kalıp yapımının her kademesinde çok iyi çakışması amacıyla çakıştırma delikleri açılır. İkinci bir tedbir ise derece kenarında oluşturulan bir kanal ve şerit kalıbın işlem sırasında hareketini önler. Geniş modeller itici pimleri olan kalıplama masasına yerleştirilir. Kullanılan sodyum silikat güçerir karışım içerisine dökümden sonra temizlemeyi kolaylaştırmak için bir miktar şeker ilave edilir (ASM Handbook, 1992).

Güçerir karışımı geniş model etrafına dövülür ve üzeri çan şeklinde bir kapla kapanarak 10-20 saniye süreyle CO₂ verilir. Birinci geniş model kalıba gazlanırken kalıpcı ikinci bir dereceye karma karışımı döker. Bu sırada sertleşen birinci geniş model kalıbı sertleştirme çanından çıkartılır. Kalıpcı ikinci geniş model için gaz verme işlemini tekrar eder. Gaz verilmiş geniş model kalıp yarılarından geniş modeller çıkartılır. Her bir sertleşmiş geniş model kalıbı bitim modeliyle birlikte kalıplama masasına civatalanır. Dereceler kalıplama masasına hızlı çalışan mandallarla tutturulur (ASM Handbook, 1992).

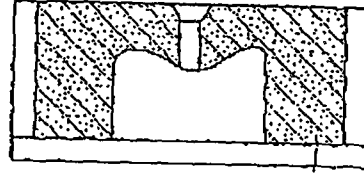
Karma kalıbın yüzeyi için kullanılan Shaw seramik bulamacı karma olmayan kalıpla aynıdır yani özel bir güçerir karışımı, etil silikat bağlayıcı ve bir pelteleştirme maddesi. Yüzeyi meydana getirecek krem halindeki bulamaç son modelle geniş model arasına dökülür (Adım 3-6). Bulamaç bir taraftan modeli sararken diğer taraftan desteğin kaba yüzeylerinden içeri girerek kuvvetli bir mekanik bağ oluşturur. Bulamacın pelteleşmesi 2-3 dakika sürer. Mandallar açılarak karma alt ve üst kalıplar ayakla kumanda edilen bir sıyırma plakası ile masadan kaldırılır. Taşıyıcılar üzerinde yakılma bölgesine taşınarak, burada uçucuları

ateşlenerek yakılır (Adım 7). Shaw kalıplarındaki mikroçatlaklar bu yanma sırasında meydana gelir. 5- 10 dakika yakılan kalıplar yanma sırasında akkor haline gelirler. Kalıplar sıcak veya soğuk olarak pimler ile merkezlenerek kapanırlar (ASM Handbook, 1992).

Arzu edilirse seramik kalıplar dökümden önce uçucuların tüm izlerini yok etmek amacıyla fırında 500°C üzerinde pişirilerek, metal dökümünde ince kesitli parçalarda oluşabilecek hatalar en aza indirilir (Shaw vd., 1957).



Adım 1

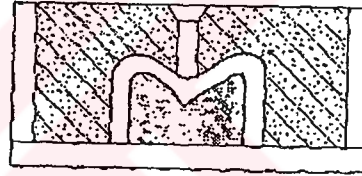


Karbon dioksit ile sertleşen sodyum silikat bağlı güççerir

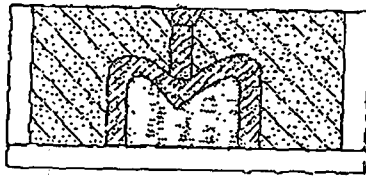
Adım 2



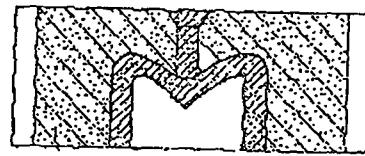
Adım 3



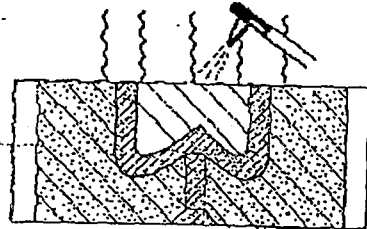
Adım 4



Adım 5



Adım 6



Seramik yüzeyinde mikroçatlaklar oluşur ve üfleçle yüzey kurutulur.

Adım 7

Şekil 2.14 Karma seramik kalıba döküm yöntemi (ASM Handbook, 1992).

2.2.4.3.2.3.2 Unicast yöntemi

Unicast yönteminin Shaw yönteminden farkı kalıp sertleştirildikten hemen sonra kalıp daha yaşken uygulanan bir kararlaştırma işlemidir. Unicast yönteminde çarpılmalar tamamıyla yok olur, boyutsal hassasiyet çok daha iyidir. Kararlaştırılmış (stabilized) moleküler büyüme dolayısıyla kalıp hücresel, süngerimsi bir hal alır. Böyle bir yapı, döküm sırasında gazların çıkışına ve parçacıkların kalıbı çarpıtmadan genleşmesine imkan sağlar. Daha az gaz çıkış deliğiyle gaz kabarcıkları olmayan çok ince ve uzun kesitlerin dökülmesi mümkün olur. Kalıplar ısı özellikleri değiştirilmeden sıcak veya oda sıcaklığında dökülebilir. Tam denetimli bir yönlendirilmiş katılaşma sağlanabildiğinden fiziksel özellikleri yüksek, sağlam parçaların dökülür.

Unicast tek parçalı seramik kalıpların avantajları şunlardır;

- a) Basit takımlara ihtiyaç gösterir ve kalıp yapımı daha hızlıdır.
- b) İlk yatırım maliyeti düşüktür.
- c) Talaşlı şekillendirme ve diğer alternatif yöntemlere göre üretim maliyet oldukça düşüktür.
- d) Modeller ucuzdur ve kısa sürede hazırlanabilirler.
- e) Modeller dövme kalıplarından daha uzun ömürlüdür.
- f) Talaşlı şekillendirme ile verilemeyecek yüzey detayları verilebilir.
- g) Yöntem hem küçük hem büyük parçalarda kullanılabilir.

Shaw ve unicast yöntemlerinin bir diğer farkı karma kalıpların hazırlanmasındaki işlem sırasıdır. Shaw yönteminde kaba destek kalıbın hazırlanması ince yüzey seramiğinin dökülmesinden önce yapılır. Unicast yönteminde bu işlem tersine çevrilmiştir. Her iki yöntemle üretilen parçaların kaliteleri ve yüzey bitimleri benzerdir. Bu nedenle dökümhanelerin çoğu her iki yöntemi de kullanmaktadır. Küçük parçalarda dolu kalıp kullanılmasına rağmen büyük parçalar ve çok sayıdaki parçalar karma kalıplarda dökülür. Karma kalıplarda yüzey tabakası kalınlığı 6-13 mm arasındadır. Destek bağlayıcı kaba kum karışımındandır. Karma kalıplar seramik malzemeden tasarrufun yanında makineleşmiş üretime de daha yakındır (ASM Handbook, 1992).

Unicast, geleneksel modelleri kullanmasına rağmen modellerin çok temiz hazırlanmış olması gerekir öyle ki model boyası üzerindeki parmak izleri bile döküm parçasında

görülebilmektedir. En yaygın kullanılan model malzemeleri sert ağaclar, reçineler, alüminyum, plastikler ve sert silikon lastiklerdir (ASM Handbook,1992).

Yöntemle hem demir asıllı hem de demir dışı alaşımların döküm yapılır. Demir asıllı alaşımların %60' ı dökme demir geri kalanı paslanmaz çelikler ve takım çelikleridir. Yöntem kalıp imalatında yaygın olarak kullanılır. Demir dışı alaşımların % 30' u kobalt, titanyum, uranyum ve % 30' u alüminyum, magnezyum ve çinkodur. Geri kalanı bakır, bilhassa bakır berilyum alaşımıdır (ASM Handbook,1992).

Unicast yöntemindeki bulamaç Shaw yöntemindeki gibi ince toz halindeki zirkon ve sulu ayırmış (hidrolize) etil silikat gibi bir organik pelteleyici, bağlayıcı karışımıdır. Dolayısıyla pelteleşme sırasındaki kimyasal tepkimeler de Shaw yöntemindeki gibidir. Destek malzemesi ise yine Shaw yönteminde olduğu gibi kaba kum ve karbondioksitle sertleşen bir bağlayıcıdır. Unicast yönteminin işlem sırası Şekil 2.15'de gösterilmiştir (ASM Handbook,1992).

Sertleştirme işlemi pelteleşmeden sonra kalıba yapılan bir işlemdir. Bağlayıcının kimyasal tepkimesi aynı olmakla beraber Shaw ve Unicast yöntemlerinde uygulanan sertleştirme yöntemleri birbirinden tamamıyla farklıdır. Bağlayıcı sert, lastiksi bir pelte haline geldiğinde sıvı ve katı iki fazdan oluşur. Sıvı faz büyük çapta serbest alkol katı faz ise polisilik asittir. Polisilik asit kendi başına kararlı değildir ve hızla başlangıçtaki molekülden daha büyük molekül zincirlerine döner. Pişmemiş haldeyken meydana gelen bu molekül büyümesi, asılı seramik parçacıkların hareketine ve birbirinden ayrılmasına ve bu da kalıpta mikroçatlakların oluşmasına yol açar. Moleküler büyüme belirli bir zaman sonra durdurulmadığı takdirde çatlaklar büyür ve makroçatlaklara dönüşür (Erçetin, 1999).

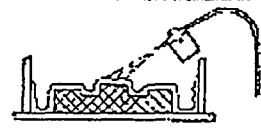
Unicast yönteminde pelteleşmiş kalıp bir sıvı sertleştirme banyosuna veya buhar atmosferine daldırılarak kalıbın yaşlanma iç kararlılığı sağlanır. Kalıp bağlayıcısının bileşimine bağlı olarak çeşitli sertleştirme ortamı kullanılır. Örneğin, etil silikat bağlayıcı için ticari etil alkol kullanılır, çünkü bağlayıcı hidroliz sürecinde etil alkol oluşturmaktadır. Bir başka ortam, kolaylıkla alkol oluşturan sıvı aseton, gazyağı, benzen veya diğer hidrokarbonlar olabilir. Sertleştirme banyosu sıcakken daha etkilidir. Isı, banyo sıvısı açığa çıkan alkolle aynı bileşimde olmasa bile iyi sonuç verir. Kaynar su bile, suyun sıcaklığı kalıptaki uçucuları dışarı sürerek suda çözünmelerini sağladığından etkili olmaktadır (Erçetin, 1999).



Model pozisyonu

Model şekilde görüldüğü gibi derece içine yerleştirilir ve sabitlenir.

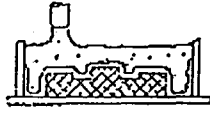
Adım 1



Kaplama

Model yüzeyine ince taneli seramik bulanaç kullanılarak ince seramik kaplama yapılır. Kaplama dökülür dökülmez yapışkan ve destek malzemesini almaya hazır hale gelir.

Adım 2



Destekleme

Seramik destek malzemesi kaplanmış yüzeyin üstüne derece dolana kadar doldurulur.

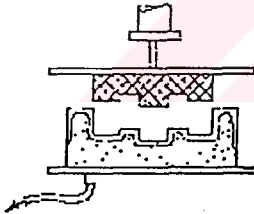
Adım 3



Kalıp

Derecenin çeperleri alınır, vakum tespit plakası şeklindeki gibi yerleştirilir. Bütün parça kalıp ayırma makinesine yerleştirilir.

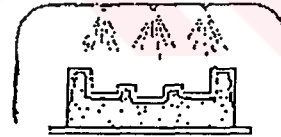
Adım 4



Kalıp alma

Kalıp vakum altında modelden ayrılır.

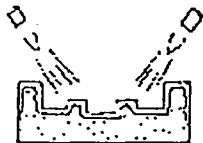
Adım 5



Kalıp sertleştirme

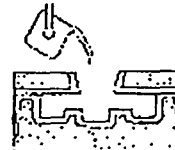
Sıyrılan kalıp sertleştirme sıvısının uygulandığı bölüme yerleştirilir.

Adım 6



Kalıp ısıtma

Sertleşen kalıp fırında veya alevle ısıtılır.



Metal dökümü

Aynı şekilde hazırlanmış kalıp yarısı ile birleştirilen kalıba döküm yapılır.

Şekil 2.15 Unicast yönteminin işlem sırası (ASM Handbook,1992).

Banyoda yaşlanma için geçen süre normal olarak 10-15 dakikadır. Sertleştirme banyosunun veya atmosferinin pH'ı kalıbınkinden yüksek tutulduğu ve tercihen pH 7'den yüksek olduğu takdirde tepkime hızlanır. Bu amaçla banyolara organik aminler veya alkalın amonyum bileşikleri katılır. Kalıp yüzeyinin yakılmasında veya geçirgen olmayan bir mum veya benzeri madde ile kaplanmasında olduğu gibi sertleştirme ortamının işlevi tam olarak anlaşılamamıştır. Peltemsi kalıp malzemesinin daldırıldığı ortam sonuçta açığa çıkan alkolle aynı bileşimde ise yaşlanma hızlanmaktadır (ASM Handbook,1992).

Sertleştirme banyosunu takip eden bu işlem genellikle 980°C taki bir fırında yapılır fakat doğrudan alevle temas eden pişirme de uygulanabilir. Pişirilmiş kalıplar müteakiben döküm istasyonuna taşınırlar (ASM Handbook,1992).

Bir taban levhasına tuturulmuş model, bir derece içine yerleştirilir. 5-10 mm kalınlığında ince taneli seramik bulamacı püskürtülerek veya benzer bir şekilde model yüzeyine kaplanır. Kaplama hemen destek malzemesini taşıyacak sertliği alır. Ucuz bir destek malzemesi bulamacı derece doldurulana kadar yüzey tabakası üzerine dökülür. 2-3 dakika içinde kimyasal olarak sertleşmesi sağlanan destek malzemesinin üstü dereceye temas ettirilerek hareket ettirilen bir cetvelle düzeltilir. Derece çıkartılır, kalıbın üzerine vakumla mandallanan bir plaka yerleştirilir. Bütün sistem sıyrma makinesinde ters çevrilerek model çıkartılır ve vakum kaldırılır. Sıyrılan model kimyasal sertleştirme banyosuna veya odasına taşınarak burada sertleştirme sıvısına daldırılır veya üzerine bu sıvı püskürtülür. Daha sonra alevle veya fırında ısıtılarak son sertleştirme pişirmesi yapılır (ASM Handbook, 1992).

2.2.4.3.2.3.3 Dunlop yöntemi

Dunlop yöntemi ile seramik kalıp yapımı ilk defa 1960 yılında U.S Patent 2,931,081'de tanımlanmıştır. Yöntem ana hatları ile Shaw karma seramik kalıp yapım yöntemine paralellikler içermektedir. Ana fark ise seramik kalıpların yüzey kısmını oluşturan güçerir bulamacın silimanitten yapılmış olmasıdır. Bundan hariç olarak pelteleşme ivmelendirici olarak ise sulu amonyum karbonat çözeltisi kullanılmaktadır (Dunlop, 1960).

Dunlop yönteminde Shaw'deki gibi ucuz şamot malzemelerden bir alt destek kalıbı hazırlanmaktadır; şamot içerikli destek kalıbında yaklaşık %3-10 civarında sodyum silikat bağlayıcı kullanılmış ve kalıbın sertleşmesi aşamasında CO₂'ten yararlanılmaktadır (Dunlop, 1960) .

Yüksek güçerirlik özelliğine sahip olan yüzey seramik tabakası ise Çizelge 2.16'da verilmiş olunan toz boyut dağılımına göre hazırlanmış silimanitten yapılmıştır (Dunlop, 1960).

Çizelge 2.16 Dunlop yönteminde kullanılan silimanit tozunun elek analizi (Dunlop, 1960)

ELEK DEĞERLERİ (μ m)	Yüzde Miktarı (%)
-2000 +1190	40,3
-1190 +841	7,6
- 841 +595	5,8
-595 +354	0,7
-354 +250	0,7
-250 +149	4,7
-149 +105	6,4
-105 +74	5,4
-74	28,4

Yöntemde kullanılan bağlayıcı kimyasal bileşiminde ise Çizelge 2.17'de verilmiştir (Dunlop, 1960).

Çizelge 2.17 Bağlayıcı bileşimi (Dunlop, 1960).

Madde Adı	Miktarı (ml)
Etil Silikat (%40-45 SiO ₂ 'li)	3437
Etil Alkol	800
Saf Su	304

Seramik bulamacın hazırlanmasında Çizelge 2.16'daki tane boyut dağılımına sahip olan silimanitten 132 gram alınarak yine Çizelge 2.17'ye göre hazırlanmış olan bağlayıcının 100 ml ile karıştırılır. Bulamaç içerisine 5-15 ml arasında % 10'luk sulu amonyum karbonat çözeltisi ilave edilerek yaklaşık 90 saniye karıştırılır ve daha önceden hazırlanmış olan alt

destek seramik kalıbı ile bitim modelli arasına bulamaç halinde dökülür. 90 saniye içinde pelteleşen bulamaç bitim modellinden sıyrılarak hemen yakılır (Dunlop, 1960).

Yakma aşamasında yüksek güçerir özelliğine sahip olan silimanitli yüzey seramik tabakasının tamamen havaya açık olmasına dikkat edilmelidir ki bu sayede sulu ayrışma tepkimesi sonucunda açığa çıkmış olan alkolün hızla yanarak uzaklaşması sağlanır (Dunlop, 1960).

2.2.4.3.2.3.4 Kontrollü pişirme yöntemi

Kontrollü pişirme yöntemi Zirconal Process Limited firması tarafından özellikle farklı boyut ve şekillerdeki güçerir parçalarının üretiminde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntem ilk olarak 24.03.1976'ta B.Patent 1,429,723'te geniş olarak anlatılmıştır (Emblem ve Mctaggan, 1976).

Yöntemde güçerir tozları olarak alümina, zirkon ve kalsine edilmiş alümina tozlarının karışımlarından yararlanılmaktadır. Bağlayıcı olarak ise silika sağlayabilecek alkali silikatlardır ki burada özellikle sulu ayrıştırma ile elde edilen pelteleşmiş etil silikat kullanılmaktadır. Alternatif bağlayıcılar ise silika-aquasol, silika-alcosol, alüminyum halohidrat ve silika ile alüminanın ortak jelleri önerilmektedir (Emblem ve Mctaggan, 1976).

Kontrollü pişirme yönteminde kullanılan güçerir tozlarının karışım miktarları ve elek analizi değerleri Çizelge 2.18'de gösterilmektedir (Emblem ve Mctaggan, 1976).

Çizelge 2.18 Güçerir tozların karışım miktarları ve tane boyutları
(Emblem ve Mctaggan, 1976).

Güçerir Ticari Adı	Tane Boyutları (μm)	Karışımındaki YüzdeMiktarı (%)
Kalsine Alcoa Alümina	- 44	20
Carbomul 40 F	+ 420	25
Carbomul 6F	+ 44 – 420	55

Zirconal Process Limited tarafından geliştirilen yöntemde kullanılan bağlayıcı bileşimi Çizelge 2.19'da verilmiştir (Emblem ve Mctaggan, 1976).

Çizelge 2.18'de verilmiş olunan güçerir toz karışımında 1000 gr alınarak, Çizelge 2.19'a göre hazırlanmış olunan bağlayıcı ile karıştırılarak seramik bulamaç hazırlanmaktadır. Model üzerine bu seramik bulamaç dökülür. Seramik bulamaç model üzerinde 24 saat kurumaya bırakılır işlem sırasında seramik parçanın üzeri uygun bir plastik örtü ile kapatılması gereklidir. Seramik 24 saat sonra modelden sıyrılır ve 100°C'ta 60 saat kurutulur.

Kurutma işleminden sonra seramik parçalar 1620°C'ta 120 dakika pişirilir (Emblem ve Mctaggan, 1976).

Çizelge 2.19 Bağlayıcı bileşimi (Emblem ve Mctaggan, 1976).

Madde Adı	Miktarı (ml)
Etil Silikat (%40 SiO ₂ 'li) ve Amin karışımı	30-40
Etil Alkol	5,1-6,8
Saf Su	0,9-1,2

Bu yöntemde birçok farklı bileşimde bağlayıcı hazırlanabilmektedir, bunların belli başlıları Çizelge 2.20'de aktarılmıştır (Emblem ve Mctaggan, 1976).

Çizelge 2.20 Yöntemde geliştirilmiş çeşitli bağlayıcı bileşimleri (Emblem ve Mctaggan, 1976).

Bağlayıcı No	Etil Silikat	Etil Alkol	HCl (1 N)	Piperidin	Su
1	88,59 ml	9,9 ml	-	1,75 ml	1 ml
2	35,66 ml	49,04 ml	15,28 ml	-	-
3	6,61 ml	91,73 ml	1,65 ml	-	-

Rigby'in Zirconal Limited tarafından desteklenen çalışmasında ise sürekli çelik döküm ünitelerinde kullanılan nozulların yapımı amacıyla; alümina, mullit, zirkon tarzındaki güçerir tozlarını uygun boyutlarda ayrılarak başlangıç toz karışımı hazırlanır. Kullanılan güçerir tozlarının boyutları 100µm-10000µm arasında değişim gösterir (Rigby, 1982).

Bağlayıcıda saf su, etil alkol, etil silikat ile piperidin kullanılmaktadır. Uygun güçerir tozları, bağlayıcı ile karıştırılarak bulamaç hazırlanır. Titreşim altında bu bulamaç model üzerine dökülür, 10 dakika sonra seramik kalıp modelden sıyrılır ve oda sıcaklığında 1-2 gün bekletilir. Daha sonra hafif oksitleyici atmosfere sahip fırında 1550°C'ta 1-2 saat süre ile pişirilir (Rigby, 1982).

Bu yöntemde amaç Shaw yöntemindeki ani yakma ile oluşan deformasyon ve makroçatlak oluşum riskinin ortadan kaldırılmasıdır (Rigby, 1982).

2.2.4.3.2.3.5 Kloskowski yöntemi

Alan B. Kloskowski'in bulduğu yöntemde karma seramik kalıp yapımını kullanılmıştır. Yöntemde öncelikle arka destek seramik kalıbı yapılmaktadır bunun için ise metal döküm uygulamaları için en uygun seçilmiş güçerir malzemesi, bağlayıcı ve pelteleşme tezgeni ile karıştırılır. Pelteleşen arka destek seramik kalıbı yakılır ve daha sonra pişirilir. İkinci aşamada ise yüksek güçerir özelliğine sahip olan bağlayıcı ve pelteleşme ivmelendiricili seramik bulamacı arka destek seramik kalıbı üzerine dökülerek pelteleşmesi beklenir daha sonra seramik karma kalıp yakılarak, pişirilir (Kloskowski, 1994).

Kloskowski yönteminin üstünlükleri ise seramik kalıp yapımının maliyetinin oldukça düşük kalması, düşük hoşgörü aralıklarında ve sürekli aynı kalitede üretiminin yapılabilir olmasıdır. Ayrıca bu yöntemde özellikle seramik kalıbın yakılması ve pişirilmesi sırasında yüzey seramik tabakası ile arka destek seramiği tabakası arasında oluşacak olan genleşme farklılığında kaynaklanan seramik kalıptaki bozulmaların ortadan kaldırılmasıdır. Bu yöntem bütün olarak Shaw yöntemindeki karma seramik kalıp yapımını hatırlatmasına rağmen, kullanılan güçerir malzemesi ve bağlayıcı gibi temel unsurlar tamamen değişiktir. Kloskowski yöntemi ile üretilmiş seramik kalıplara genelde çelik, bakır, berilyum, berilyum-bakır tarzındaki demir esaslı veya demir dışı metal alaşımlarının tamamı sorunsuz olarak dökülebilmektedir (Kloskowski, 1994).

Yukarıda belirtilen metal alaşımlarının dökümüne bir çok güçerir tipi uygun olabilmektedir. Uygun güçerir tipinin seçilmesinde ergimiş metalin sıcaklığına dayanım ve sıvı metal ile tepkimeye girmeme eğilimi taşıması önem kazanır. Ayrıca seçilecek olan güçeririn ortalama tane boyutu ve tane boyut dağılımıda kilit noktalar olarak karşımıza çıkar (Kloskowski, 1994).

Arka destek kalıbının yapımında ucuz güçerirler veya kumdan yararlanılabilmektedir, bağlayıcı olarak ise sodyum silikat tercih edilir. Tavsiye edilen arka destek kalıbı güçeriri Mulgrain-47'dir, bu malzemenin ana yapısı kalsine edilmiş mullittir. Mulgrain-47'in kimyasal bileşimi Çizelge 2.21'de verilmiştir. Aynı güçerir malzemenin elek analiz sonucu Çizelge 2.22'de gösterilmiştir. Mulgrain-47 güçerir malzemesi, C-E Minerals King of Prussia firması tarafından üretilmekte olan bir alümina-silikat karışımıdır (Kloskowski, 1994).

Çizelge 2.21 Mulgrain-47'in kimyasal bileşimi (Kloskowski, 1994).

Kimyasal Bileşik Adı	Yüzde Miktarı (%)
Al_2O_3	47,8
SiO_2	49,1
TiO_2	1,85
Fe_2O_3	0,95
CaO	0,04
MgO	0,08
Na_2O	0,09
K_2O	0,09
P_2O_5	0,09

Çizelge 2.22 Mulgrain-47'in elek analizi (Kloskowski, 1994).

Elek Boyutları (μm)	Yüzde Miktarı (%)
+2360	0-2
+600 –2360	30-40
+75 –600	18-30
-75	35-45

Yüksek sıcaklıklara dayanıklı yüzey seramik tabakasında kullanılan güçerir genellikle 0,6 mm-0,045 mm arasındaki tane boyutlarına sahip zirkon, kaynaşık silika, mullit veya silimanit olabileceği gibi yüksek sıcaklıklara rağmen tepkimeye girme eğilimi taşımayan tüm güçerir malzemelerden seçilebilir. Yöntemde tavsiye edilen yüzey güçerir tabakası malzemesi zirkon karışımı olup ağırlıkça % 50 zirkon kumu, % 50 zirkon tozu içermektedir. Kullanılan zirkon kumunun ve zirkon tozunun kimyasal bileşimleri Çizelge 2.23'te yansıtılmaktadır (Kloskowski, 1994).

Çizelge 2.23 Zirkon kumu ve zirkon tozunun kimyasal bileşimi (Kloskowski, 1994).

Malzeme Adı	ZrO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Zirkon Kumu	%66	%0,07-0,1	%0,07-0,10	%0,6-0,8	%32-32
Zirkon Tozu	%66	%0,08-0,1	%0,07-0,14	%0,4-0,5	%32-33

Aynı malzemelerin elek analiz sonuçları ise sırasıyla Çizelge 2.24'te ve 2.25'te verilmiştir (Kloskowski, 1994).

Çizelge 2.24 Zirkon kumu elek analiz sonuçları (Kloskowski, 1994).

Elek Boyutları (μm .)	Yüzde Miktarı (%)
+300	0,1
+212 -300	9,5
+150 -212	22
+106 -150	34,5
+75 -106	28,4
+53 -75	5
-53	0,5

Çizelge 2.25 Zirkon tozu elek analiz sonuçları (Kloskowski, 1994).

Elek Boyutları (μm .)	Yüzde Miktarı (%)
+45	5
-45	95

Bağlayıcı olarak ise %18,5-21 SiO₂ içeren etil silikat kullanılmaktadır. Tavsiye edilen ticari bağlayıcı ise SILBOND H-5'dir. Pelteleşme tezgeni ise seyreltik amonyum hidroksittir. Yöntemde uygun biçimde hazırlanan seramik bulamacı, kalıplara dökülür ve pelteleşmesi ile beraber hızla sıyrılarak yaklaşık 190-245°C'teki ön ısıtılmış fırında yakıldıktan sonra 920°C'deki başka bir fırında pişirilir (Kloskowski, 1994).

Yöntemin kullanıldığı döküm denemelerinde seramik karma kalıplarına 1700°C'taki takım çeliği dökülmüş ve $\pm 0,00762$ cm'lik hoşgörü değerlerinde döküm parçaları başarı ile üretilmiştir (Kloskowski, 1994).

2.2.4.3.2.4 Seramik kalıba dökümde metal – kalıp tepkimeleri

Hassas döküm veya seramik kalıba döküm yöntemlerinin klasik döküm usullerine göre en önemli üstünlükleri; mükemmel yüzey kaliteleri, ince ayrıntıları sunabilmeleri ve çok dar hoşgörü aralıklarında çalışabilme şansını üreticeye sağlamasıdır.

Kalıp yapımında kullanılan güçerirlerin bileşim ve özellikleri, kalıp-metal tepkimelerini belirleyen en önemli etkenlerdir. Dökülen sıvı metal ve kalıp yüzeyi arasında oluşabilecek olan tepkimeleri altı başlık altında sınıflandırabiliriz;

- a) Metal oksitlerin güçerir kalıp malzemesi ile yaptığı tepkimeler,
- b) Güçerirlerin sıvı metal tarafından indirgenmesi,
- c) Kalıp-metal ara yüzeyinde gaz oluşumu,
- d) Kalıp yüzeyinin ufalanıp dökülmesi,
- e) Sıvı metalin kalıba sızması,
- f) Sıvı metalin kalıbı aşındırması (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Güçerir malzemeden yapılmış olan kalıplar depolama sırasında nem alabilmektedir ayrıca kalıp yapım aşamasında kullanılan bağlayıcıların sıvı ürünleri seramik kalıp yapısı dışına tamamen atılamamış ise kalıp-metal ara yüzeyinde gaz oluşumu riski doğmaktadır. Bundan hariç döküm parçasının yüzey kalitesini artırmak için eğer seramik çok ince boyutta seçilmiş ise kalıbın yapısı açığa çıkan gazların dışarı atılmasına imkan tanımayacaktır (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Kalıp yüzeylerinin ufalanıp dökülmesi daha çok güçerir malzemeye ve kullanılan bağın dayanımına bağlıdır. İlave olarak güçerir malzemenin ısı genleşme katsayısı gibi fiziksel özellikleride önemli bir noktadır (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Sıvı metalin kalıba sızması ve sıvı metalin kalıbı aşındırması ise curuflaşma sonucu gözeneklerin açılması veya genel olarak kalıp dayanımının azalması ile meydana gelen olaylardır. Bu olgu güçerirlerin ısı genleşme özelliklerinde önemli ölçüde etkilenmektedir (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Ergitme ve döküm sırasında bir miktar metal oksitlenmiş ise bu metal oksit güçerir oksitlerle düşük ergime sıcaklığına noktalı bileşikler oluşturma eğilimi taşır. Silikanın (SiO_2) çeşitli

metal oksitle tepkimeye girebileceği sıvı sıcaklıkları Çizelge 2.26'ta gösterilmektedir . Genelde tek oksitli güçerirler, çok oksitli güçerirlerden daha az curuflaşma eğilimindedir. Bu durum Çizelge 2.27'de aktarılmıştır. Bu çizelgede FeO'nın 1000 gramı ile curuflaşmaya başlayan güçerir miktarı yanısırlmaktadır (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Çizelge 2.26 Silikanın metal oksitlerle tepkimeye girebileceği en düşük sıvı sıcaklıkları (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Metal Oksit Adı	En Alt Sıvı Sıcaklığı (°C)
FeO	1177
% 80 Fe, % 20 Al ₂ O ₃	1072
MnO	1221
% 70 MnO, % 30 Al ₂ O ₃	1585
Al ₂ O ₃	1593

Çizelge 2.27 FeO'nın 1000 gramı ile curuflaşan güçerir miktarı (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Güçerir Adı	Curuflaşma Miktarı (gram)
Silika	2000
Ateş Kili	6000
Alümina	600
Zirkon	2000
Zirkonya	600

Güçerir oksit bileşenleri, metal oksitlerden termodinamik olarak daha az kararlı iseler, güçerirler sıvı metal tarafından indirgenebilir. Örneğin Alümina demir tarafından indirgenmez iken silisyum ve mangan tarafından ise indirgenebilir (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Güçerir yüzeylerinde oluşan oksitler curuf oluşturlar ve metal aşınmasına maruz yüzeyin yumuşamasına neden olurlar. Aşınmaya uğramış malzemeler ise dökümde metalik olmayan inklüzyonların oluşumuna neden olmaktadır (Akdeniz ve Çavuşoğlu, 1985).

Silika esaslı güçerirler özellikle çelik fırınlarında kullanımı sırasında ortamdaki demir oksitlerin curuf yapıcı etkisiyle karşılaşmaktadır. Silika oksitleyici ortamda çelik ile

temasında 1455°C'ta kadar hiçbir şekilde problemsiz kullanılabilir, indirgeyici şartların hakim olduğu ortamda ise silika ancak 1140°C'ta kadar uygulanabilme imkanına sahiptir (Eriç, 1985).

Alümina-silika esaslı güçerirler metal fazı ile de tepkimeye girip büyük ölçüde hasara uğrayabilmektedir. Silisyum ve mangan esaslı deoksidasyon malzemeleri çelikteki oksijenin giderilmesinde yoğun biçimde kullanılmaktadır. Çeliğin mangan ile deoksidasyona tabi tutulmasında tepkime ürünü olarak FeO ve MnO sıvı çözeltisi açığa çıkmaktadır. Silisyum oksijen gidermede kullanılması durumunda ise verim artmaktadır ama bu iki deoksidasyon maddesinin aynı anda kullanımında SiO₂'in aktifliğinin düşürülmesi ile beraber en yüksek verim elde edilmektedir. Bu etki ilk olarak Korner ve Oelsenin sıvı demir/curuf sistemleri içindeki silisyum ve mangan tepkimelerini inceledikleri çalışmada görülmüştür. Yaptıkları çalışmada deoksidasyon ürünü olarak az miktarda FeO içeren MnO ve SiO₂ sıvı karışımı bulmuşlardır. Daha sonra ise demir-mangan alaşımlarının ergitildiği silika esaslı potalarda sıvı metal içindeki mangan miktarının artması ile beraber silika potaların parçalanma eğilimine girdiğini gözlemlemişlerdir (Rigby, 1982).

Rait ise silika tuğlalı potada mangan oksitlerin ergimiş mangan silikat fazı oluşturarak silikayı potadan dışarı taşıdığını tespit etmiştir (Rigby, 1982).

Sonuçta tüm bulgular göstermektedir ki alümina-silikat esaslı güçerirler aşınma hızı direkt olarak çelikte bulunan Mn ve Oksijen miktarındaki artış ile doğru orantılı biçimde artmaktadır. Ters olarak ise çelik bünyesindeki silisyum oranındaki artış ile beraber parçalanma eğiliminin hızla azaldığı görülmektedir (Rigby, 1982).

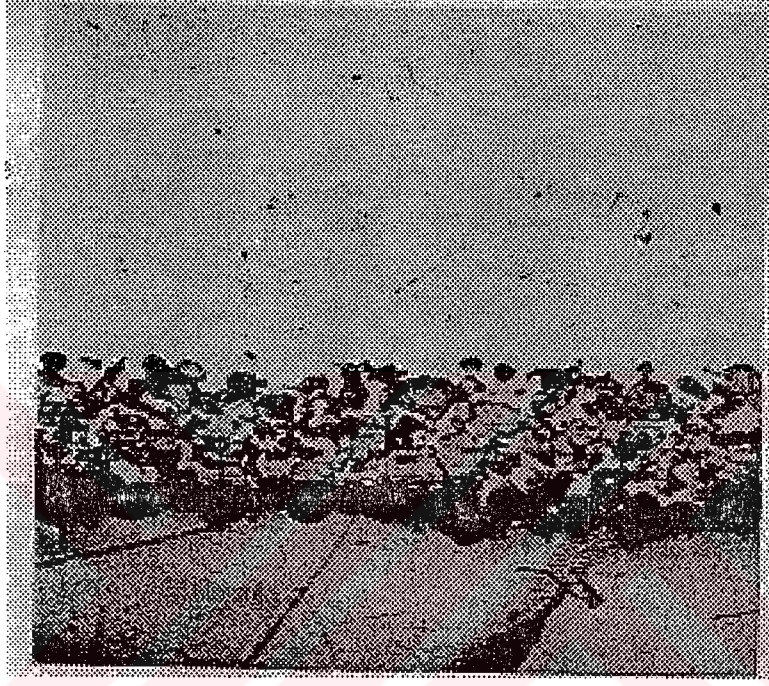
Kum kalıplara, çelik veya dökme demir yapılması sırasında oluşan FeO yüksek sıcaklıklarda SiO₂'le tepkimeye girme eğilimi taşır ki bu tepkimenin sonucunda 1205°C'lik ergime sıcaklığına sahip fayalit fazı (2 FeO.SiO₂) oluşabilmektedir. Bu tip bir fazın oluşmasıyla beraber kum taneleri birbirine kaynaşarak ergir ve döküm parçası üzerine yapışır sonuçta döküm parçası üzerinde “ yapışkan (glue)” fazı oluşmuş olmaktadır ve bu döküm hatasına “ kaynama (burn-on)” adı verilir (Campbell, 1995).

Türkiyede bu hatayı bazı dökümcüler “ kumun gıdıklanması” olarak isimlendirmektedir.

Sorunun giderilmesi için ilk etapta mutlak olarak FeO oluşumu engellenmelidir, bu sağlanamamış ise kum içerisine kömür katılmalı veya alümina esaslı kalıp boyalarından yararlanılmalıdır. Ayrıca kum kalıp yapımında silika yerine kromit veya olivin esaslı kumlarda kullanılabilir ama az miktarda dahi silikanın kumda bulunması çelik dökümlerinde aynı problemleri yaratabilmektedir. Çünkü yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça kum yapısında

bulunan silika, kil ve kromit ile kaynaşır ki oluşan bu tip bir yapı FeO tepkimeye girme eğilimi taşır. Bu durumda kalıp yüzeyinin parçalanmasına neden olur ki çelik döküm parçalarının üzerinde oluşan bu tip tabakaya “kromit sırtı” veya “kromit camı” adları verilir. Sonuçta bu tip bir hatada “burn-on” hatası sınıfına girmektedir. Oluşan kromit sırtının çelik döküm parçası yüzeyinden temizlenmesi oldukça güçtür (Campbell, 1995).

Petro ve Flinn yapmış oldukları çalışmada bu tip bir numunenin kesiti Şekil 2.16’da göstermişlerdir (Petro ve Flinn, 1978).



Şekil 2.16 Kromit sırtı oluşmuş döküm parçasının kesiti
(Petro ve Flinn, 1978).

Sarıdikmen ve Kuşkonmazın yapmış olduğu bir çalışmada seramik kalıba dökme demir dökümünde seramik kalıp yapısında bağlayıcıdan gelen silikanın (SiO_2), FeO’le tepkimeye girdiği tesbit edilmiştir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).

2.3 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Bazı Ark Ocağında’da Dökümü

Piyasada “ Akmonital ” çeliği olarak bilinmektedir. Bu çeliklerde teorik ergime sıcaklığı 1498°C civarındır. Mikro yapısı ise tamamen ferritiktir. Üretim sırasında amaçlanan kimyasal bileşim ise; $\text{C} \leq \% 0,05$, $\text{Si} \leq \% 0,25$, $\text{Mn} \leq \% 0,30$, $\text{P}, \text{S} \leq \% 0,025$ ve $\text{Cr} \% 17-19$ arasındadır. Burada anlaşıldığı üzere B.A.O’da karbonu bu derece düşük seviyede tutturmak ve $\%18$ Cr için kullanılacak Fe-Cr fazlalığının yaratacağı sorunları gidermek için oldukça dikkatli çalışmak gereklidir. Ayrıca bu çeliğin metalik olmayan kalıntılar ve istenmeyen kalıntı elementleri bakımından arındırılmış olmasına özen gösterilmelidir (Gültekin ve Alkan, 1995).

Bu kalitede bir çeliğin yapılacağı astar kirli ise alaşımsız çok düşük karbonlu bir şarj ergitilerek yıkanır. Astar yeni veya yamalı ise benzer şartlarda en az bir veya iki döküm yapılarak astarın döküme hazırlanması sağlanır (Gültekin ve Alkan, 1995).

500 kg B.A.O'da ferritik paslanmaz çelik dökümü için alaşım elementlerinin de hesaba katılarak 365 kg çelik hurdası B.A.O'na şarj edilir. Bu tip hurdada %0,65 kg SiO₂ varsa 5-5,5 kg SiO₂ oluşur. Curuftaki baziklik oranı 3 istenirse, % 60 CaO içeren kireç taşından 50 kg ocak tabanına konur. Bu kireç üzerine 365 kg çelik hurdası gelecek biçimde yükleme yapılır. Elektrodlar altına gelecek biçimde kok ocağı atılır. Bu kok ergime başlangıcını kolaylaştırır, hemde banyoya karbon verme görevini taşır. Başarılı bir karbon kaynama prosesi için şarj % 0,4-0,5 civarında karbon içermektedir (Gültekin ve Alkan, 1995).

Ergime bittikten sonra 2,5 kg Ca-florit ilavesi yapılır ve istenen curuf akışkanlığı sağlanır sağlanmaz ara numune alınır ki ölçümde yaklaşık %0,4 C çıkar. Bu karbonu yakacak olan oksijen; banyo sıcaklığı 1580°C'ta çıkınca 9-10 kg yüksek kaliteli hematit cevheri ilavesi ile veya 1,9-2,0 Nm³'lük O₂ üflenmesiyle temin edilir. Meydana gelen karbon kaynaması ile hidrojen ve azot gibi istenmeyen gazlar sistem dışına atılır. Metalik olmayan kalıntılar da kaynamanın yarattığı karıştırma ile curufa yüzme imkanı bulurlar. Böylece şarjdaki karbon yanarken fosforda oksitlenip kalsiyumfosfat şeklinde curufa geçer (Gültekin ve Alkan, 1995).

Karbon kaynaması bitince ocaktan ara numune alınır. Analiz sonucunu gelene kadar sıcaklık ölçülür ve oksitleyici olan siyah curuf sıyrılarak boşaltılır (Gültekin ve Alkan, 1995).

Sıcaklık bu anda 1630°C üzerinde C'ise % 0,01 civarına ve P istenilen seviyelere gelmelidir. Bundan sonra ise indirgeyici yani beyaz curuf yapımına geçilir.

25 kg kireç, 2,5 kg Ca-florit, 1 kg Al tozu karıştırılarak ocağı verilir.

Curuf oluştuktan sonra, uçuk gri-beyaz olmalıdır . Curuf rengi sağlanmamış ise ocak içerisine biraz daha Al tozu veya Fe-Si curufa atılır. Bu arada curuf akışkanlığı kontrol edilir gerekli ise yine az miktarda Ca-florit ilavesi yapılır (Gültekin ve Alkan, 1995).

Curuf rengi normal ve akışkanlığı iyi ise, sıcaklıkta 1630 °C üzerinde ise düşük C'lu Fe-Mn (C < %1) dan 2 kg ve 133 kg ön ısıtmaya tabi tutulmuş (C < %0,1) lik Fe-Cr partiler halinde ilave edilir. Her partinin ilavesinden sonra banyo mümkün ise çelik çubukla karıştırılır. Tabanda erimemiş Fe-Cr kalmadığından kesinlikle emin olunur (Gültekin ve Alkan, 1995).

Her olasılığa karşı oksitlenmiş Cr'nun çelik banyosuna geri dönmesi için 1 kg Al tozu curuf üzerine serpilir ve 2 kg Fe-Si banyoya atılarak çelik deoksidasyonu tamamlanır (Gültekin ve Alkan, 1995).

Pota hacmine göre indirgen curuftan bir kısmı çekilir ve sıcaklık ölçülür. Sıcaklık 1640 °C civarında ise ocak döküme hazırlanır, ön ısıtılmış potaya derhal döküm yapılır. Ocaktan çelik bir kısım indirgeyici curufla beraber temas hali devam ettiğinden çelik atmosferden korunmuş ve kükürt giderilmesine bir ölçüde devam edilir (Gültekin ve Alkan, 1995).

Bu aşamada dikkat edilecek nokta indirgeyici curuf oluşur oluşmaz işlemlerin süratle yapılmasıdır aksi halde curuf oksitlenerek siyahlaşır ve kükürt çelik banyosuna döner (Gültekin ve Alkan, 1995).



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme ve Cihazlar

3.1.1 Zirkon

Deneysel çalışmada seramik kalıpların yapımında kullanılan zirkon tozu Macina minerali SPA INZAGO, İtalya firmasından temin edilen Silicato di Zirconio S Z6 ticari adlı malzemedir. Zirkon tozunun tane boyut dağılımının belirlenmesinde, ASTM C 371-71 no'lu standartta göre kuru elek analizi yapılmıştır. Sonuçta kullanılan Zirkon tozunun tane boyut dağılımı Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Zirkon tozu boyutu dağılımı.

Elek Boyutları (μm)	Yüzde miktarı (%)
+400 -500	68,01
+250 -400	5,9
+180 -250	3,16
+125 -180	15,37
+100 -125	4,81
+63 -100	2,21
+45 -63	0,51

3.1.2 Mullit

Seramik kalıp yapımında kullanılan mullit tozu Keith Ceramic Materials Ltd, İngiltere firmasından sağlanmış olunan Sintered Mullite 73'tür. Mullit tozunun kimyasal analizi Çizelge 3.2'te verilmiştir, aynı malzemenin tane boyut dağılımı ise ASTM C 371-71'e göre kuru elek analizi yapılarak belirlenmiş ve Çizelge 3.3'te aktarılmıştır.

Çizelge 3.2 Mullit tozunun kimyasal bileşim analizi.

Kimyasal Element	Yüzde Miktarı (%)
Al ₂ O ₃	63,7
Fe ₂ O ₃	0,7
SiO ₂	33,6
TiO ₂	0,2
CaO	0,1
MgO	0,2
K ₂ O	1,2
Na ₂ O	0,2

Çizelge 3.3 Mullit tozunun tane boyut dağılımı.

Elek Boyutları (µm)	Yüzde miktarı (%)
+400 -500	7,4
+250 -400	61,11
+180 -250	0,92
+125 -180	24,07
+100 -125	2,77
+63 -100	2,77
+45 -63	0,92

3.1.3 Alümina

Deneysel çalışma sırasında seramik kalıpların özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan araştırma kapsamında kullanılan alümina Öztasarım, İstanbul firması kanalıyla sağlanmıştır. Alümina tozunun tane boyut dağılımı analizi Micromeritics Sedigraph 5000 D cihazı kullanılarak tedarikçi firma tarafından yaptırılmıştır. Elde edilen tane boyut dağılımı analizine göre ortalama tane boyutu 0,47 µm bulunmuştur.

Çizelge 3.4 Alümina tozu tane boyut dağılımı

Tane Boyut Çapı (μm)	Kümülatif Ağırlık Yüzdesi (%)
40	100
25	99,7
20	99,5
16	99,2
12,6	99,0
10	99,4
8	99,35
6,3	99,3
5,0	98,8
4	98,6
3,15	98,1
2,5	97
2,0	95,8
1,6	94,3
1,25	91,6
1,0	87,7
0,8	81,6
0,63	70,5
0,5	54,9
0,4	38,9
0,31	24,5
0,25	16,3
0,2	10,6
0,16	6,4

3.1.4 Etil silikat

Seramik kalıpların yapımı aşamasında kullanılan bağlayıcının esas malzemesi olan etil silikat, Merck KgaA, Almanya firmasından temin edilmiş olunan tetraetilortosilikattır. Bu malzemenin teknik özellikleri ise Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Tetraetilortosilikatın teknik özellikleri.

Kimyasal Bileşimi	$C_8H_{20}O_4Si$
Buharlaşma Basıncı	20 °C < 100 hPa
Yoğunluk	20°C, 0,93 gr/cm ³
Alev Alma Sıcaklığı	38 °C
Su İle Karışabilirlik	Karışmıyor
Molarite	208,33 gr/mol
Donma Sıcaklığı	-77 °C
Kaynama Sıcaklığı	169 °C
Tutuşma Sıcaklığı	270 °C

3.1.5 Amonyum asetat

Bağlayıcı pelteleşmesinde doymuş amonyum asetat çözeltisinden yararlanılmaktadır. Doymuş amonyum asetat çözeltisinin hazırlanmasında kullanılan amonyum asetat Merck KgaA, Almanya firmasından temin edilmiştir. Bu çözeltinin pH değeri ise 7,6 olarak tüm çalışma sırasında sabit tutulmuştur.

3.1.6 Hidroklorik asit

Seramik kalıpların bağlayıcılarında kullanılan HCl, Merck KgaA, Almanya firmasından temin edilmiştir. Bağlayıcı içerisine HCl 1 N olarak katılmaktadır. HCl'in teknik özellikleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 HCl teknik özellikleri.

Marka	Merck
Kimyasal Formülü	HCl
Molar Ağırlık	36,46 gr/mol
Yoğunluk	1,19 kg/lt

3.1.7 Kum

Kum kalıpların yapımı Şen-Men Döküm Sanayi, İstanbul tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu kalıpların yapımında iki tip kum kullanılmış olup, bunları kalın ve ince kum olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Kullanılan kumlara ASTM C 371-71'e göre kuru elek analizi yapılmış olup kullanılan kumların boyut dağılımları Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Kum tane boyut dağılımı analizi.

Elek Boyutları (μm)	Kalın Kum Yüzde miktarı (%)	İnce Kum Yüzde miktarı (%)
+1000	36,47	-
+750 -1000	28,54	-
+500 -750	23,04	-
+400 -500	8,69	-
+250 -400	1,52	8,18
+180 -250	1,55	55,05
+125 -180	0,16	33,10
+100 -125	-	2,7
+63 -100	-	0,87
+45 -63	-	0,07

3.1.8 Bentonit

Dökme demir döküm uygulamalarında kum kalıpların yapımında Na-Bentoniti kullanılmış olup bu ürün Çağdaş Mühendislik Ltd., İstanbul tarafından sağlanmıştır.

3.1.9 Reçine

Paslanmaz çelik dökümlerinde kullanılan reçine Çukurova Kimya, İstanbul firmasından temin edilen CS 300 LF'dir.

3.1.10 Seramik kalıp boyası

Desenli seramik kalıpların paslanmaz çelik dökümünde kullanımda döküm yüzey kalitesini artırmak için Ashland Solitec W2 ticari markalı zirkon esaslı su bazlı seramik kalıp boyası kullanılmıştır.

3.1.11 Silikon model

Seramik kalıpların yapımında kullanılan modeller silikondan yapılmaktadır, bu ürün Model Form, İstanbul'dan sağlanmış olup. Silikon malzemenin ticari adı Ciba Silikon RTV AL 40'dır, sertleştirici ise Y4'tür.

3.1.12 pH metre

Bağlayıcı ve diğer kimyasal malzemelerin pH değerlerinin belirlenmesinde kullanılan pH metre, AN-KA Analiz kanalı ile alınmış olunan WTW, Almanya firmasının ürünü olan pH-mV-meter pH 538 mikroişlemcidir. pH metrenin teknik özellikleri Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 pH metre'nin teknik özellikleri.

PH Ölçüm Aralığı	-2,00 +16,00
MV Ölçüm Aralığı	-1250 +1250
°C Ölçüm Aralığı	- 5 +99,9
pH Ölçüm Hassasiyeti	$\pm 0,01$
mV Ölçüm Hassasiyeti	± 2
°C Ölçüm Hassasiyeti	$\pm 0,1$
Ölçüm Alma Süresi Aralığı	1,2 saniye

3.1.13 Hassas teraziler

Deneysel çalışma sırasında malzeme ağırlıklarının belirlenmesinde 3 adet hassas elektronik terazi kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla 310 gr, 10 kg ve 60 kg kadar tartım yapabilen ve hassasiyetleri 0,01 – 0,1 gr aralıklarında olan terazilerdir.

3.1.14 Mekanik karıştırıcı

Seramik bulamaçların hazırlanmasında kullanılan mekanik karıştırıcı Janke & Kunkel GMBH & CO. KG, Almanya firmasının IKA-RÜHRWERKE RW 20 DZM modelidir. Mekanik karıştırıcının teknik özellikleri Çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 Mekanik karıştırıcı teknik özellikleri.

Hız Aralığı	60-2000 dev/dak
Motor Gücü	70 watt

3.1.15 Manyetik karıştırıcı

Bağlayıcı hazırlanması aşamasında kullanılan ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ARE, İtalya firmasından temin edilmiştir.

3.1.16 Titreşim cihazı

Titreşim cihazı Endecotts Ltd, İngiltere firmasının Octagon 200 modeli olup teknik özellikleri Çizelge 3.10'da aktarılmıştır.

Çizelge 3.10 Titreşim cihazı teknik özellikleri.

Frekans	50 Hz
Titreşim Kademeleri	0-10
Voltaj	220-340 V

3.1.17 Ergitme ocağı

Paslanmaz çelik döküm uygulamasında Inductotherm minimelt 9600 Hz. Frekanslı, 35 kW gücündeki, 25 sıvı metal alma kapasiteli indüksiyon ocağı kullanılmıştır.

3.1.18 LPG döküm potası ısıtma ünitesi

İndüksiyon ocağından alınan sıvı metalin kalıba dökülmesinde kullanılan potanın dökümden önce ön ısıtılması amacıyla LPG pota ısıtma ünitesinden yararlanılmaktadır.

3.1.19 Seramik tozu karışım hazırlama ünitesi

Seramik tozlarının karıştırılmasında kullanılan ünite de değirmen, kavonoz ve farklı boyutlardaki alümina öğütücü bilyalardan oluşmakta olup tüm sistem Öztasarım Ltd, İstanbul firması tarafından yapılmıştır.

3.1.20 Paslanmaz çelik hurdası

S43000 kalite paslanmaz çelik döküm hurdası Detay Metal Mühendislik, İzmit firması tarafından temin edilmiştir. Paslanmaz çelik dökümünde kullanılan hurdanın kimyasal bileşimi Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 Paslanmaz çelik hurdası kimyasal analizi.

Kimyasal Element	Yüzde Miktarı (%)
Fe	80,6
C	0,121
Si	0,354
Mn	0,492
P	0,032
S	0,023
Cr	16,83
Mo	0,111
Ni	0,89
Al	0,021
B	0,0018
Co	0,024
Cu	0,133
Sn	0,020
Ti	0,010
V	0,042
W	0,110

3.1.21 Ca-Si tane inceltici

Paslanmaz çelik dökümünde tane inceltici olarak SKW Metallchemie GMBH, Almanya firmasından alınmış olunan Ca-Si malzeme kullanılmış olup bu ürünün kimyasal bileşimi Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Ca-Si tane incelticinin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Element	Yüzde Miktarı (%)
Si	60,6
Ca	30,2
Fe	4,8
C	0,5

3.1.22 Alüminyum deoksidasyon malzemesi

Paslanmaz çelik dökümünde oksijen miktarını en az alt seviyeye çekebilmek için Detay Mühendislik, İzmit firmasından sağlanan pul ve ince parçacıklar halindeki alüminyumdan yararlanılmış olup. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 3.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 Alüminyumun kimyasal bileşimi.

Kimyasal Element	Yüzde Miktarı (%)
Al	98,79
Mg	0,003
Si	0,586
Fe	0,466
Mn	0,003
Pb	0,014
Sn	0,021
Ti	0,011
In	0,003

3.1.23 Grafit

Kum kalıpların modelden sıyrılması sırasında ayırıcı olarak Marmara Metal Mamülleri Tic. Ltd. Şti.,İstanbul tarafından tedarik edilmiş olunan yağlı grafit kullanılmıştır. Grafit tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.14’te verilmiştir.

Çizelge 3.14 Grafit tozu kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Sabit Karbon	% 85-90
Kül	% 10
Nem	% 0,2
Uçuculuk	% 2
Elek Aralığı	ASTM 200 Mesh (% 90)

3.1.24 Perlit tozu

Paslanmaz çelik dökümünde curuf almada kullanılan perlit tozu Marmara Metal Mamülleri Tic. Ltd. Şti., İstanbul firmasından alınmış olup kimyasal bileşimi Çizelge 3.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.15 Perlit tozu kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim	Yüzde Miktarı (%)
SiO ₂	72
Na ₂ O	2,6
Fe ₂ O ₃	1,45
H ₂ O	2,68
Al ₂ O ₃	13,7
K ₂ O	5
MgO	0,18
TiO ₂	0,1
CaO	0,82

3.1.25 Yüksek sıcaklık ısılcıftı

Paslanmaz çelik dökümünde sıvı metalin sıcaklığını Sidercemco, İzmit firması tarafından temin edilen 1700°C'ye kadar ölçüm yapabilen yüksek sıcaklık ısılcıftı kullanılmıştır.

3.1.26 Seramik kalıp sinterleme fırınları

Seramik kalıpların kurutulması ve sinterlenmesi aşamalarında Öztasarım Ltd., İstanbul firması tarafından yapılmış olunan 1700°C'ye kadar çıkabilen fırın kullanılmıştır. Bu fırının teknik özellikleri Çizelge 3.16'da verilmiştir.

Çizelge 3.16 Seramik kalıpları sinterleme fırını teknik özellikleri.

Isıtıcı Element Tipi	Kanthal Super 1800
Isıtıcı Element Sayısı	8
Isıtma Bölgesi Uzunluğu	225 mm
Program Kontrol Ünitesi	12 Ramp- 12 Dwell
Tristör Ünitesi	35 Amper
Trafo Gücü	16 kW
Isılçift Tipi	Pt-%10 Rh-Pt
Yalıtım Malzemesi	RATH KVS 171/400 1700

3.2 Seramik Kalıp Yapımında Kullanılan Güçerir Toz Karışımının Hazırlanması

3.2.1 Zirkon ve mullit toz karışımının hazırlanması

Zirkon ve mullit tozları 110°C'teki etüvde 4 saat süresince kurutma işlemine tabi tutulur. Etüvden alınarak soğutma işlemine tabi tutulan tozlar desikatöre konulur ve burada 24 saat bekletir. Tozlar % 75 zirkon ve %25 mullit tozu karışımı sağlanacak biçimde 0,01 gr hassasiyetli elektronik terazide tartılarak kavanoz içerisine konularak karıştırma işlemi için değirmene yerleştirilir. Karıştırma işlemi kuru ortamda yapılır ve değirmen 70 dev/dak hızda çalıştırılırken, karıştırma süresi ise 360 dakika olarak sabit tutulmuştur.

3.2.2 Zirkon ve Alümina Toz Karışımının Hazırlanması

Seramik kalıpların özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan çalışmada seramik kalıp yapımında zirkon ve alümina güçerir tozlarından yararlanılması incelenmiştir. Bu amaçla zirkon ve alümina güçerir tozları 110°C'teki etüvde 4 saat süresince kurutma işlemine tabi tutulmuştur, daha sonra tozlar desikatörde 24 saat bekletilerek soğutulmuştur. % 50,32 alümina ve % 49,68 zirkon tozu karışımını sağlayacak malzeme karışımı, 0,01 gr hassasiyetli elektronik terazide tartılarak hazırlanır. Tartılan malzeme bilyalı değirmene yüklenmiştir. Kavanoza hacimce 1 kısım alümina ve zirkon tozu karışımı, 1,5 kısım etil alkol ve 2,5 kısım

alümina esaslı öğütücü bilya konmuştur. Bilyalı değirmende karıştırma ve öğütme işlemi 70 dev/dak hızda toplam 360 dakika olarak yapılmıştır. İşlemden sonra zirkon ve alümina güçerir toz karışımı paslanmaz çelik küvetlere alınarak 110 °C'taki etüvde 24 saat süresince kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutmadan sonra toz karışımı desikatörde soğutulmuştur. Alüminalı bilyalar öğütme işleminden sonra aşınma miktarının tesbiti için tartılmış başlangıç ağırlıklarına göre yaklaşık % 4'e varan ağırlık kaybı olduğu gözlemlenmiştir. Kurutulan ve soğutulan zirkon, alümina toz karışımı havanda iyice ezilerek karıştırılmıştır.

3.3 Seramik Kalıpların Yapımı

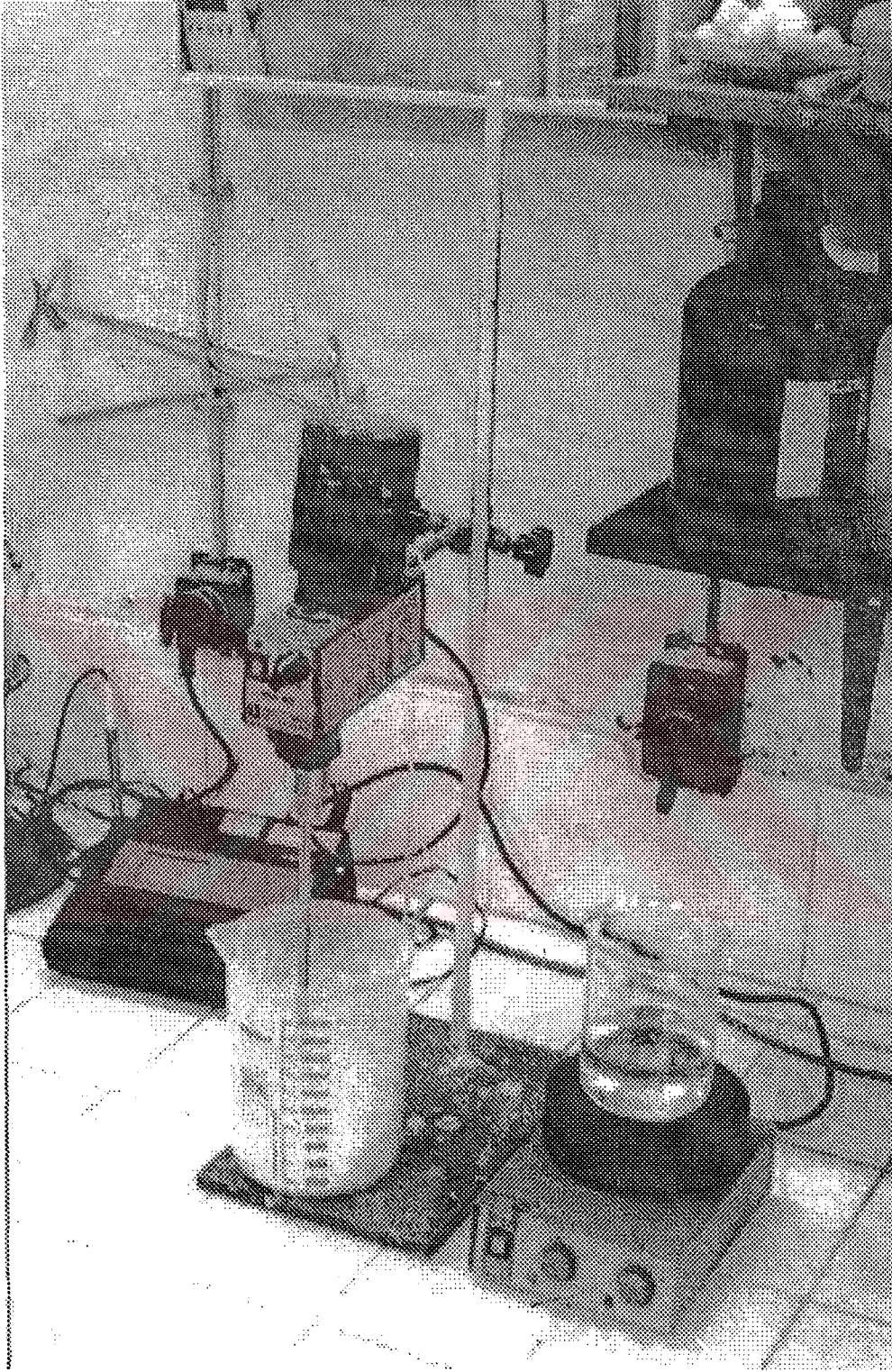
Seramik kalıp yapımında ilk olarak bağlayıcı hazırlandı. Bağlayıcı olarak % 15 SiO₂ içeren kimyasal bileşim seçilmiştir. Bağlayıcı içerisinde % 56,6 tetraetilortosilikat, % 7,4 HCl (1N) ve % 36 etil alkol bulunmaktadır. Bu bağlayıcı bileşimi manyetik karıştırıcıda ağzı kapalı beher içerisinde 7. hız kademesinde toplam 15 dakika karıştırılır. Bağlayıcı aynı şekilde ağzı kapalı olarak soğumaya bırakılır.

Seramik kalıp silikon modeli titreşim cihazı üzerine yerleştirilir, bu aşama öncesinde silikon model dikkatli biçimde gözle kontrol edilerek yağ ve diğer artıklardan arındırılmış olduğundan kesin olarak emin olunur.

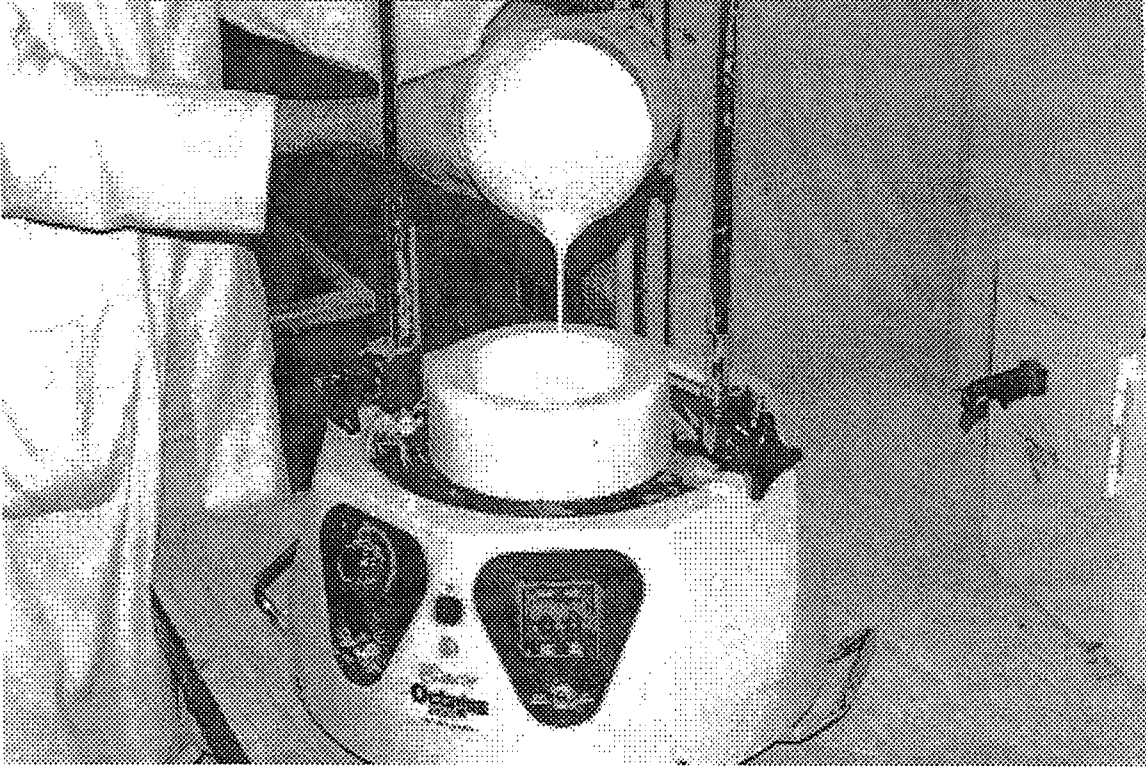
Seramik toz karışımlarından 100 gr alınır. Soğutulmuş bağlayıcıdan ise 23.3 ml behere konulur ve manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilir. 1,165 ml doymuş amonyum asetat, pelteleştirici olarak bağlayıcı içerisine katılır. Bu bağlayıcı, pelteleştirici karışımı 15 saniye 7. hız kademesindeki manyetik karıştırıcıda karıştırılır. Pelteleştirici katılmış bağlayıcı seramik tozun içerisine ilave edilerek, mekanik karıştırıcıda 400 dev/dak hızla 90 saniye süresince karıştırılır. İşlemin detaylı gösterimi Şekil 3.1'de verilmiştir. Seramik bulamacı desikatörde 120 saniye 700 mmHg'lik vakum uygulanarak bünyede bulunan hava kabarcıkları tahliye edilmesi sağlanır.

Seramik bulamaç titreşim cihazı üzerine yerleştirilmiş olunan silikon model üzerine dökülür, döküm işlemi 15 saniyede sürmüştür, seramik bulamacın silikon model üzerine dökümü Şekil 3.2'de gösterilmiştir . Bu sürede titreşim cihazı 6. Hız kademesinde çalıştırılmıştır. Seramik bulamaç 15 dakika sonra pelteleşmesini tamamlamaktadır. Pelteleşen seramik kalıp silikon modelden sıyrıldıktan sonra plastik poşet içerisine yerleştirilip hava ile teması kesilerek desikatör içerisine konulur. Seramik kalıp desikatörde yaklaşık 7 gün bekletildikten sonra etüvde 110 °C'de 24 saat kurutulur. Seramik kalıplar kurutma işleminden sonra sinterleme işlemine tabi tutulur. Sinterleme sıcaklığı olarak 1600°C seçilmiş olup, sinterleme süreleri gri ve küresel grafitli dökme demir dökülen seramik kalıplar için 2 saat tutulmuş iken, paslanmaz

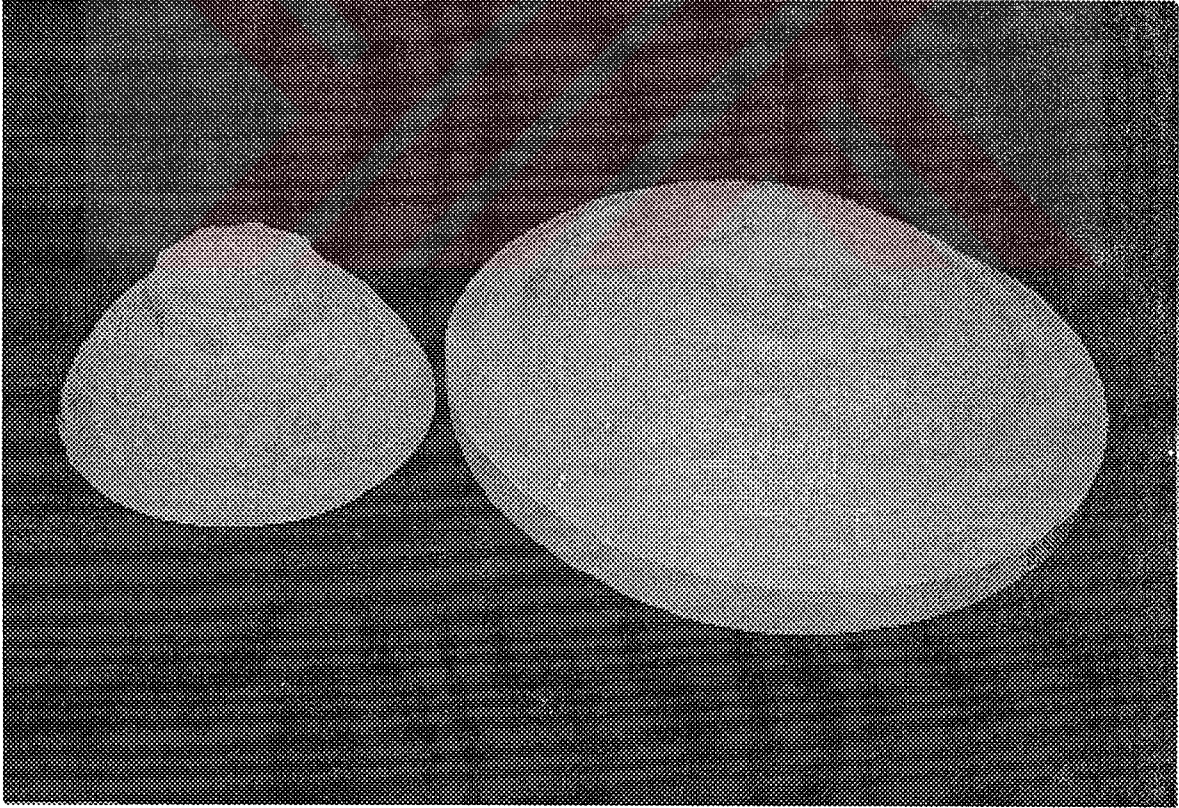
elik dökümü yapılan seramik kalıp için 5 saat olarak belirlenmiştir. şekil 3.3'te seramik kalıplar gösterilmektedir.



şekil 3.1 Seramik bulamacın hazırlanması aşaması.



Şekil 3.2 Seramik bulamacın silikon kalıba dökümü.



Şekil 3.3 Seramik kalıplar.

3.4 Kum Kalıpların Yapımı

Dökme demir ve paslanmaz çelik dökümünde kullanılan kum kalıpları Şen-Men Döküm Sanayi tarafından hazırlanmıştır.

Dökme demir dökümünde kullanılan kum kalıpların hazırlanmasında önce model kömürle tozlanılmış daha sonra ince kuru kum serpilerek kalıp kumunun model ve zemine yapışması önlenmiştir. %7 bentonit, %3 su ve %1 kömür içeren ince kum karışımı model üzerine 2-5 cm kalınlığı oluşturacak biçimde yayıldı. Daha sonra kalın kumdan oluşmuş %9 bentonit, %4 su ve %2 kömür içeren kum karışımı tabaka tabaka sıkıştırıldı ve üst yüzey düzleştirildi. Gaz geçirgenliğinin sağlanması amacıyla 20-50 mm aralıklarla bölüm yüzeyi bozulmayacak biçimde şişleme yapıldı. İş biten alt derece ters çevrilerek bölüm yüzeyi düzlenir ve iki derecenin ara yüzeyini oluşturan bölüm düzlemine yapışmayı önlemek için kuru kum serpilir. Modelin pimli yarısı ile yolluk ve çıkıcı modelleri boş üst dereceye yerleştirilir. Yukarıda sıralanan işlemler üst derece için tekrarlanır.

Paslanmaz çelik dökümünde kullanılan kum kalıpların yapımında Çukurova Kimya, İstanbul firmasının CS 300 LF nolu reçinesi kullanılmış olup, desenli seramik kalıplar zirkon esaslı su bazlı Ashland Solitec W2 seramik kalıp boyası ile kaplanmıştır. Desenli seramik kalıpların kum kalıp içerisinde sabitlenmesinde ise Çukurova Kimya, İstanbul'un Tamfix marka refrakter ve maça yapıştırıcısı kullanılmıştır.

3.5 Karma Kalıpta Desenli Cam Kalıpların Dökümü

Karma kalıpta desenli cam kalıpların dökümü denemelerinde kum kalıpların tamamı Şen-Men firması tarafından yapılmıştır. Dökme demir esaslı malzemelerin döküm uygulamalarında aynı biçimde Şen-Men Döküm Sanayisinin tesislerinden yararlanılmıştır. Paslanmaz çelik döküm uygulaması ise Yıldız Teknik Üniversitesi-BCACT Döküm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.5.1 Gri dökme demirden desenli cam kalıplarının dökümü

Gri dökme demirden desenli cam kalıbın dökümü işlemine desenli seramik kalıpların kum kalıplar içerisine yerleştirilmesiyle başlanmıştır. Döküm için gerekli olan şarj malzemeleri Şen-Men dökümhanesindeki indüksiyon ocağında eritilmiş ve aynı işletmede döküm uygulaması tamamlanmıştır. Döküm sıcaklığı 1350°C olarak tesbit edilmiştir. Çizelge 3.17'de döküm parçalarının kimyasal bileşim analizleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.17 Döküm parçalarının kimyasal bileşim analizi.

Kimyasal Element	Döküm No 1. Yüzde Miktarı (%)	Döküm No 2. Yüzde Miktarı (%)
Fe	92,50	92,80
C	3,720	4,420
Si	2,550	1,490
Mn	0,531	0,800
P	0,154	0,055
S	0,055	0,041
Cr	0,031	0,008
Mo	0,001	0,000
Ni	0,011	0,000
Al	0,001	0,000
Cu	0,166	0,091
Mg	0,000	0,000
Nb	0,004	0,000
Ti	0,028	0,023
V	0,015	0,005
W	0,001	0,000

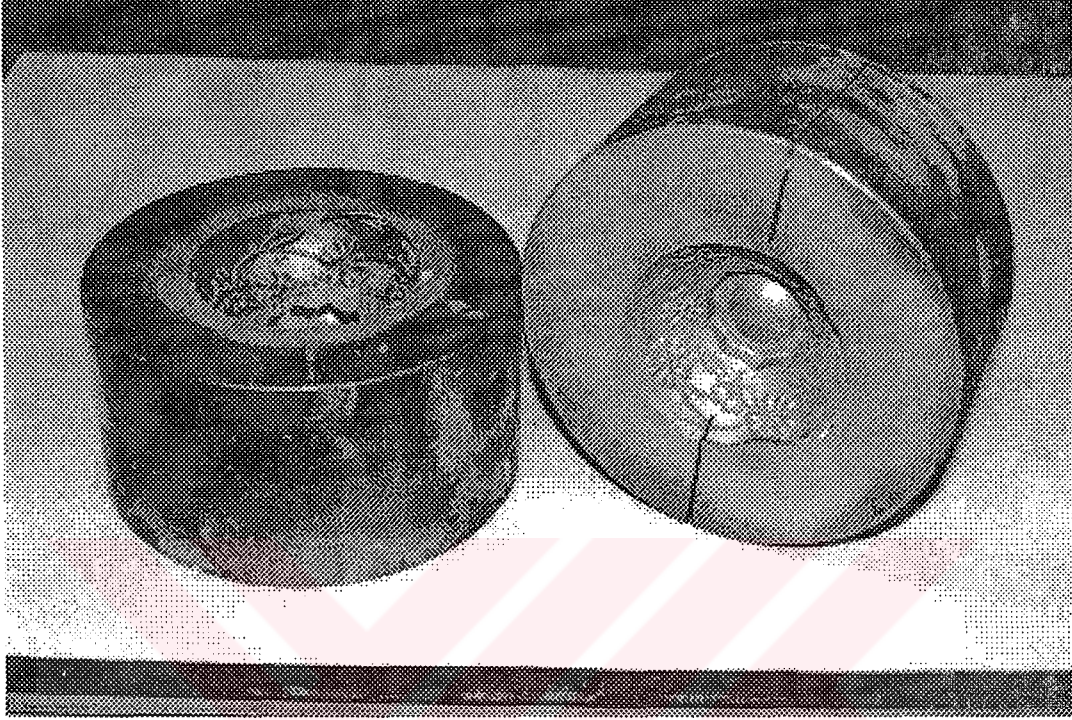
3.5.2 Küresel grafitli dökme demirden desenli cam kalıpların dökümü

Küresel grafitli dökme demirden desenli cam kalıplarının dökümü uygulaması Şen-Men Döküm Sanayi firmasında gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminden önce desenli seramik kalıplar kum kalıpların içerisine yerleştirilmiştir. Döküm için gerekli olan şarj malzemeleri indüksiyon ocağında ertilmeye başlanmıştır. Ergitme bitişiyile beraber ön ısıtılmış tepkime potası içerisine şarjın ağırlığının % 1 kadar Fe-Si ve % 2 civarında Fe-Si-Mg atılarak erimiş

metal tepkime potası içine şarj edildi, 30-45 saniye sonra küresel grafitli dökme demir döküm işlemi yapıldı. Döküm sıcaklığı olarak 1510 °C tesbit edilmiştir. Döküm parçalarından alınan numunelerde kimyasal bileşim analizleri yapılmıştır, bu analizlerin sonuçları Çizelge 3.18’de sunulmuştur. Şekil 3.4’te küresel grafitli dökme demirden dökülen parçaların ayrıntılı görünimleri verilmiştir.

Çizelge 3.18 Döküm parçalarının kimyasal bileşim analizleri.

Kimyasal Element	Döküm No 1. Yüzde Miktarı (%)	Döküm No 2. Yüzde Miktarı (%)
Fe	93,6	93,4
C	4,11	4,170
Si	1,87	1,900
Mn	0,184	0,153
P	0,024	.0,024
S	0,000	0,000
Cr	0,000	0,019
Mo	0,000	0,000
Ni	0,000	0,090
Al	0,008	0,004
Cu	0,000	0,000
Mg	0,019	0,010
Nb	0,000	0,002
Ti	0,006	0,005
V	0,005	0,005
W	0,000	0,000



Şekil 3.4 Dökülmüş olunan desenli cam kalıpların ayrıntılı görünüşleri.

3.5.3 Paslanmaz çelikten desenli cam kalıbı dökümü

Paslanmaz çelik dökümünde kullanılan hurda ingotları (19.085 gr) ultrasonik temizleme cihazında trikloretilen banyosu içerisinde 30 dakika temizlendi. Dökümde kullanılacak olan 57,28 gr Ca-Si ve 19,085 gr alüminyum pul tartılarak hazırlandı. Desenli seramik kalıp kum kalıp içerisine tam fix refrakter yapıştırıcısı ile yapıştırıldı. İçerisine desenli seramik kalıp yerleştirilmiş olan kum kalıplar ve şarj malzemesi ingot, Ca-Si, alüminyum pullar 110 °C'teki etüve kondu ve 32 saat kurutuldu.

Döküm potası döküm işleminde 4 saat önce LPG sistemi ile ısıtmaya başlandı. Kullanılan LPG gazın basıncı 1,2 bardır.

Şarj ergitme işleminde önce 6 kg indüksiyon ocağına yüklendi ve ocak 10 kw'de çalıştırılmaya başlandı.

Desenli seramik kalıpların yerleştirildiği kum kalıplar dökümden 3 saat önce etüvden dışarı çıkartıldı ve döküm işlemi için en uygun pozisyona konuşturıldı. Şekil 3.5'te paslanmaz çelik dökümünde kullanılan kum kalıpların görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.5 Paslanmaz çelik dökümünde kullanılan kum kalıpların görüntüsü.

Ergitme işlemine başladıktan 30 dakika sonra 3 kg daha paslanmaz çelik hurdası ocak içerisine ilave edildi ve güç 16 kw'ya çıkartıldı. Ergitme başlangıcından 90 dakika sonra ocağın gücü 20 kw çıkartıldı ve 3 kg daha paslanmaz çelik hurdası ocağa şarj edildi. Toplam 105 dakika sonra ise 3 kg'lık bir paslanmaz çelik hurdası şarjı daha yapıldı. Ergitme işleminin başlangıcından 135 dakika sonra ise indüksiyon ocağına son paslanmaz çelik hurdası şarjı yapıldı. 180 dakika sonunda yüksek sıcaklık ısılıçifti yardımıyla ocaktaki sıvı metalin sıcaklığı ölçüldü, sıcaklık 1496°C olarak tesbit edildi. Sıcaklık ölçümünden 9 dakika sonra ocağa 50 gr perlit atıldı ve curuf çekildi ve tekrardan sıcaklık tesbiti yapıldı ölçüm sonucu sıcaklık 1555°C olarak bulundu. Ergitme başlangıcından 212 dakika sonra sıvı metalin sıcaklığı 1630°C 'a ulaştı aynı anda ocağa Ca-Si ilave edildi ve LPG ısıtma ünitesi kapatıldı, döküm potası ocağa yanaştırıldı. Al pulları döküm potası içine atıldı ve indüksiyon ocağından son defa sıcaklık ölçümü alındı. Sıcaklık 1622°C olarak bulundu. Ocaktan döküm potasına alınması toplam 15 saniye sürdü ve döküm potası içerisinde tekrardan sıvı metal sıcaklığı ölçümü yapıldı burada tesbit edilen sıcaklık ise 1577°C 'tı. Döküm potasından sıvı metalin kalıbı doldurulması 18 saniye sürdü ve bu işlem sırasında alınmış döküm anı görüntüsü Şekil 3.6'ta verilmiştir.

Dökümün bitişı ile beraber besleyici üzerine lünkerit tozu atılarak metalin soğuma hızı yavaşlatıldı. Dökümden sonraki metalin soğuma aşamasındaki görünümü Şekil 3.7’de yansıtılmıştır.



Şekil 3.6 Paslanmaz çelik döküm anındaki görüntü.



Şekil 3.7 Metalin kalıptaki soğuma aşamasındaki görünüm.

Dökümden 150 dakika sonra kum kalıp kırıldı ve seramik kalıbın döküm parçasından çıkartılmasına başlandı. Döküm parçasının kumlanma ve elektro polisaj işleminden önceki görüntüsü Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Döküm parçasının kimyasal analizi ise Çizelge 3.19’da sunulmuştur.



Şekil 3.8 Paslanmaz çelik döküm parçasının görünümü.

Çizelge 3.19 Döküm parçasının kimyasal analizi.

Kimyasal Element	Döküm No 1. Yüzde Miktarı (%)
Fe	82,4
P	0,032
S	0,012
Cr	15,06
Mo	0,129
Ni	1,08
C	0,180
Si	0,377

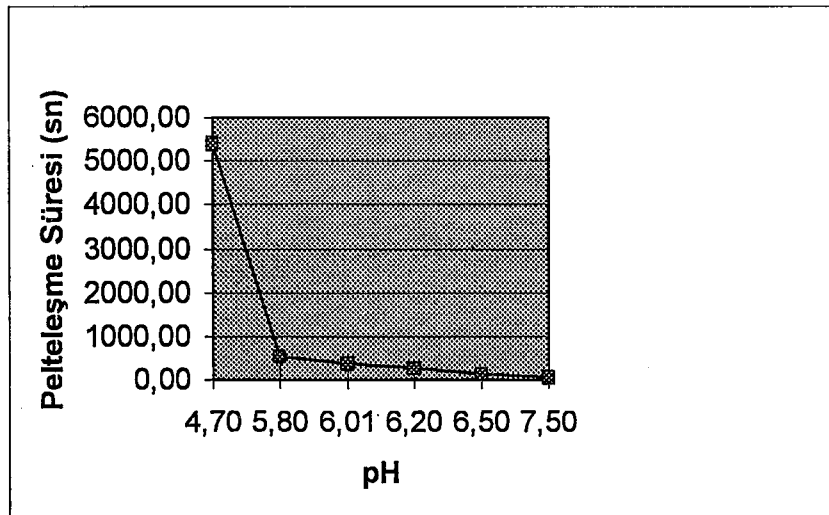
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

4.1 Pelteleşme Süresi – pH İlişkisi

% 55 tetraetilortosilikat, % 34 etil alkol ve % 11 HCl (1 N) bileşiminde hazırlanmış olunan sulu ayrıştırılmış bağlayıcıdan 10 ml alınarak içerisinde Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi farklı miktarlarda pelteleştirici olarak doymuş amonyum asetat ilave edilerek pH – pelteleşme süresi arasındaki ilişkisi belirlenmiştir. Görüldüğü üzere sulu ayrıştırma yapılmış etil silikatın pelteleşme süresi ile pH’ı arasında hassas bir denge vardır. Çizelge 4.1’te ifade edildiği üzere pH=4,7’de 5400 saniye pelteleşen etil silikat, pH=6,2’de ise 240 dakikada pelteleşebilmektedir. Şekil 4.1’de etil silikat bağlayıcının pelteleşme süresi-pH ilişkisi grafik olarak yansıtılmıştır. Sonuçta pelteleştirici miktarındaki artışı ile beraber bağlayıcının pH değerinin yükselmekte olduğu ve pelteleşme süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1 Pelteleştirici miktarı- pH – pelteleşme süresi arasındaki ilişki.

Pelteleştirici Miktarı (ml)	pH	Pelteleşme Süresi (saniye)
0,8	7,5	40
0,7	6,5	120
0,6	6,2	240
0,5	6	360
0,4	5,8	530
0,3	4,7	5400



Şekil 4.1 Pelteleşme süresi – pH ilişkisi.

4.2 Bağlayıcı Bileşimi – Pelteleşme Süresi

Farklı SiO₂ miktarı içeren bağlayıcılardan 10 ml alınarak içerilerine 0,5 ml doymuş amonyum asetat çözeltisi katılarak bağlayıcıların pelteleşme süreleri bulunmuştur. Çizelge 4.2’de bağlayıcı bileşiminin değişimi ile beraber pelteleşme sürelerindeki farklılaşmalar göz önüne sunulmuştur.

Çizelge 4.2 Bağlayıcı bileşimi – pelteleşme süresi ilişkisi.

SiO ₂ Miktarı (%)	Bağlayıcı Bileşimi (Hacimce %)			Pelteleşme Süresi (saniye)
	Etil Silikat	Etil Alkol	HCl (1 N)	
15	56,6	36	7,4	1160
12	42,85	51,5	5,6	660
10	35,71	59,63	4,66	410
8	28,57	67,7	3,73	365
6	21,42	75,78	2,8	315
5	17,85	79,82	2,33	300

Çizelge 4.3’te verilen farklı bileşimlerde hazırlanan etil silikat bağlayıcılara eşit miktarda pelteleştirici (doymuş amonyum asetat) ilave edilmesine rağmen elde edilen bağlayıcıların pH değerinde farklılıkların olduğu gözlenmiştir. (Çizelge 4.4) Örneğin 1A No’lu bağlayıcıya %2,5 pelteleştirici ilave edildiğinde pH=5,9 olmasına rağmen, 3A No’lu bağlayıcıya eşit miktarda pelteleştirici ilavesinde pH=2,2 olmuştur (*Saridikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

Çizelge 4.3 Farklı SiO₂ içerikli bağlayıcı bileşimleri
(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

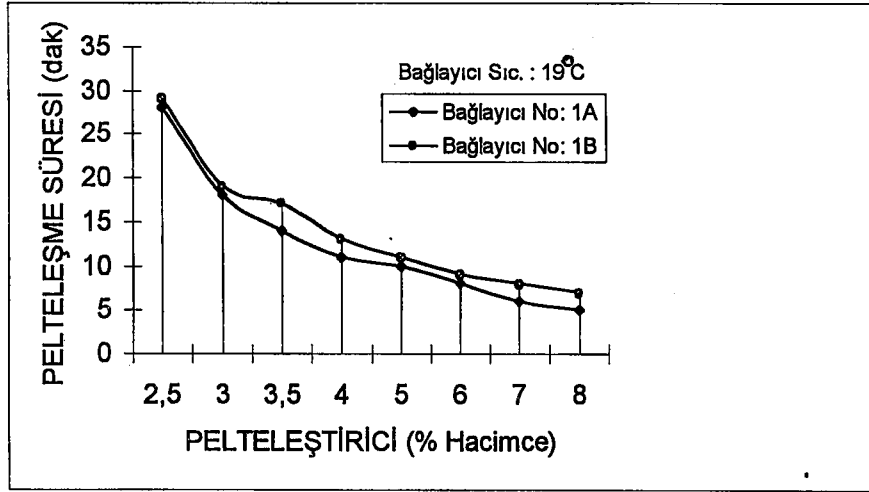
Bağ. No	Bağlayıcı bileşimi (Hacimce%)			SiO ₂ (gr/100ml)
	Etil alkol	Etil silikat	HCl (1 N)	
1A	55.1	37.0	7.9	10
1B	60.0	37.0	3.0	
2A	34.0	55.0	11.0	15
2B	38.0	55.0	7.0	
3A	8.0	76.0	16.0	20
3B	13.0	76.0	11.0	

Çizelge 4.4 Pelteleştirici ilavesi ile elde edilen bağlayıcı pH ilişkisi
(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

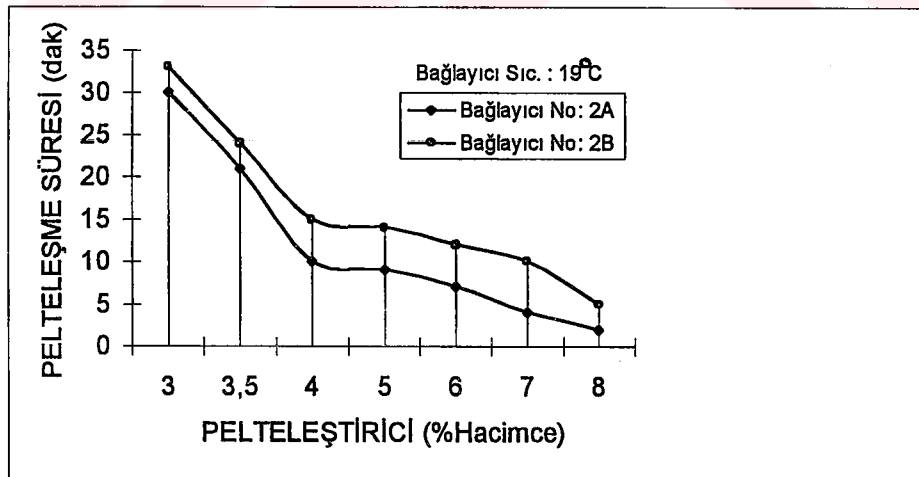
Pelteleştirici ilavesi (Hacimce %)	Bağlayıcı bileşimi (pH)					
	1A	1B	2A	2B	3A	3B
2.5	5.9	6.0	5.0	6.2	2.2	5.6
3	6.5	6.4	5.8	6.3	4.5	5.9
5	6.8	7.0	6.0	6.4	6.4	6.6
7	7.0	7.0	6.5	6.8	6.5	6.7

Dolayısıyla bağlayıcı bileşimlerinden kaynaklanan farklı pH değerlerine sahip olan bağlayıcılara, Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'den de görülebileceği gibi özellikle %2,5-3 pelteleştirici ilavelerinde, pelteleşme süreleri arasında farklılıkların olduğu gözlenmiştir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

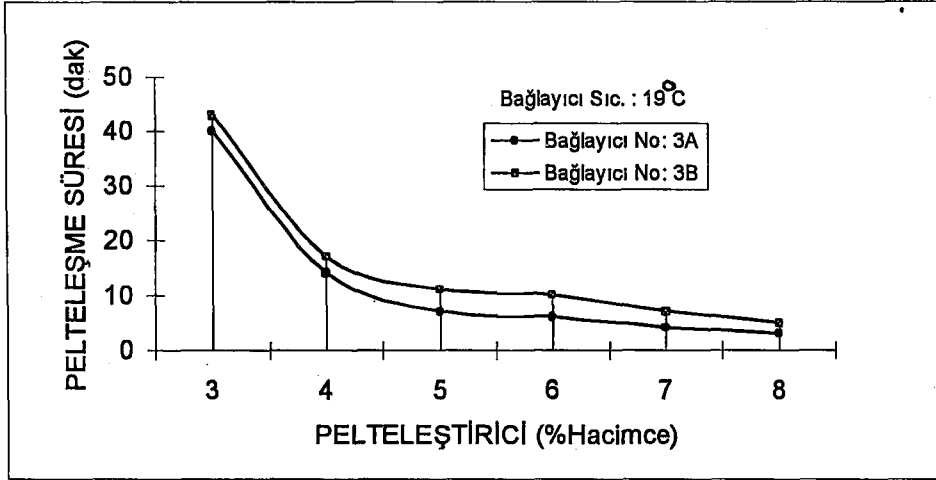
Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'de incelendiğinde görülebileceği gibi hidroliz için SiO₂ miktarına sahip fakat daha fazla su içeren bağlayıcılara göre, eşit miktarda pelteleştirici kullanılmasına rağmen pelteleşmeden kalabildikleri sürenin daha uzun olduğu gözlenmiştir. Bu da hidroliz derecesinin, pelteleşme süresi üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu, yeterli hidrolizin sağlanamaması durumunda bağlayıcının bağlayıcılık özelliklerine sahip olamayacağını göstermektedir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).



Şekil 4.2 10 SiO₂ (gr/100 ml) içeren bağlayıcının pelteleşme süresi - pelteleştirici ilişkisi (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).



Şekil 4.3 15 SiO₂ (gr/100 ml) içeren bağlayıcının pelteleşme süresi - pelteleştirici ilişkisi (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

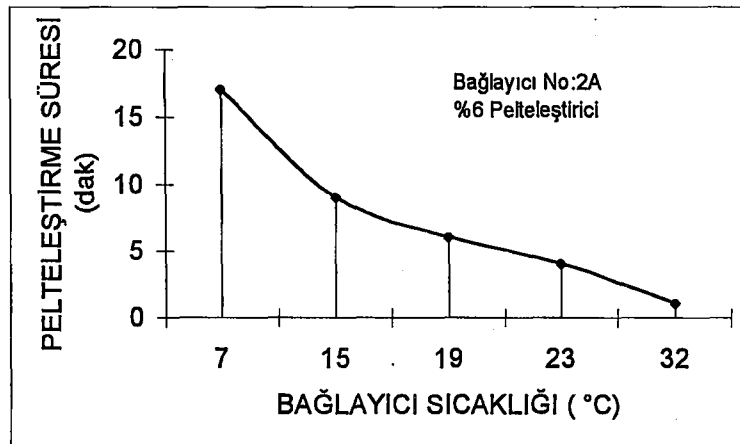


Şekil 4.4 20 SiO₂ (gr/100 ml) içeren bağlayıcının pelteleşme süresi – pelteleştirici ilişkisi (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

4.3 Bağlayıcı Sıcaklığının Pelteleşme Süresine Etkisi

Etil silikat seramiklerde bağlayıcı olarak başarılı bir şekilde kullanılmasına rağmen işlem değişkenleri her zaman tanımlanamamıştır. Webber ve arkadaşlarının öne sürdükleri gibi bağlayıcı özellikleri gün gün atmosfer koşullarının değişiminden de etkilenmektedir. Şekil 4.5'den de görüldüğü gibi bağlayıcı sıcaklığındaki değişimin pelteleşme süresine önemli bir etkisi olmaktadır. Bu da ürünün daha erken kalıptan çıkarılması durumunda elde edilen seramik ürünün yaş mukavemeti yeterli olamayacağından kırılma ve deformasyonlara neden olabilecektir (Webber vd., 1975).

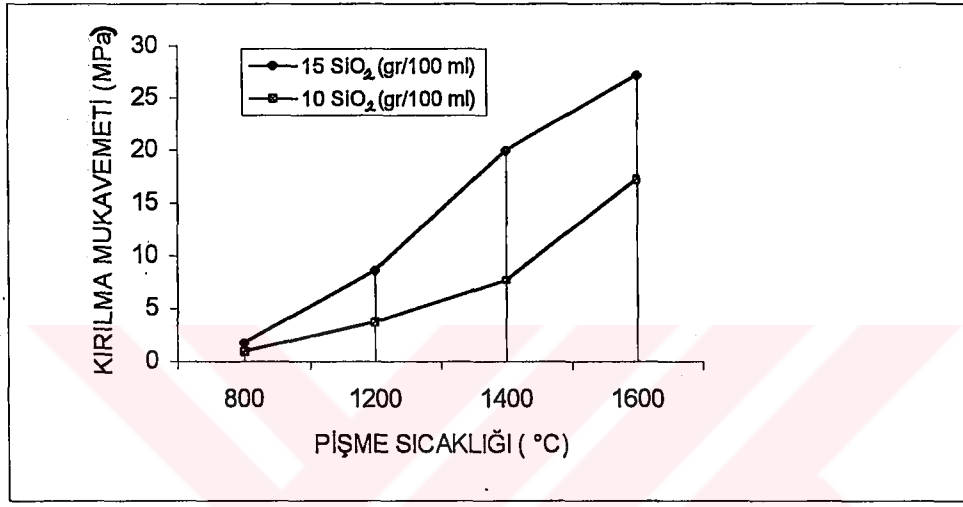
Özellikle bağlayıcı hazırlama sırasında oluşan hidroliz tepkimesinin ısı veren bir tepkime olduğu ve bağlayıcı sıcaklığının hızla yükseldiği göz önüne alındığında bağlayıcının kullanılmadan önce sıcaklığının kontrol altına alınmasının önemli olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5 Pelteleşme süresi bağlayıcı sıcaklığı ilişkisi (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

4.4 Bağlayıcı Bileşimindeki SiO₂ Miktarının Güçerir (Refrakter) Mukavemetine Etkisi

Bağlayıcı bileşimindeki SiO₂ miktarı arttıkça elde edilen güçeririn 3 noktada eğme mukavemeti değerleri şekil 4.6'dan da görülebileceği gibi artmaktadır. Artan pişirme sıcaklığına bağlı olarak da 3 noktadan eğme mukavemeti değerlerinde artış olduğu saptanmıştır (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a).



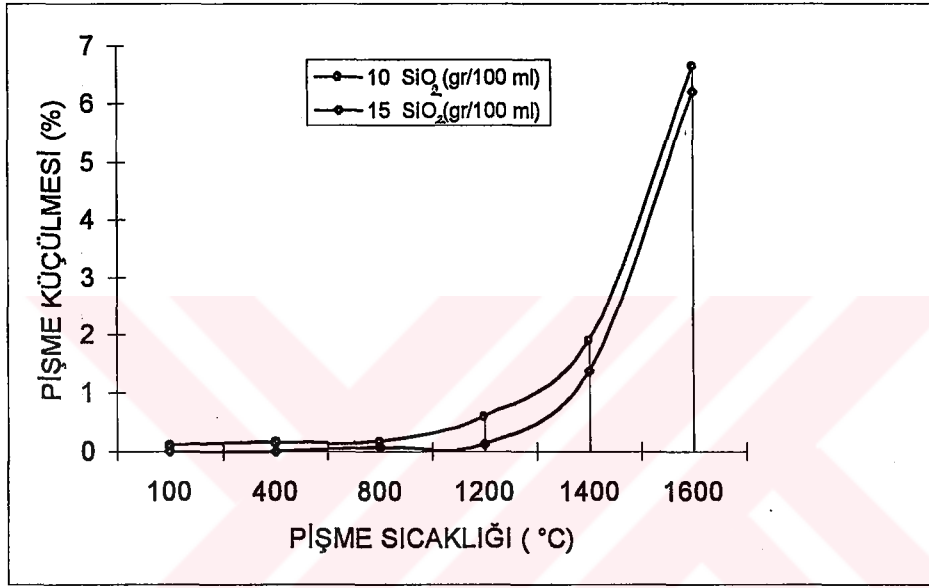
Şekil 4.6 Bağlayıcı bileşimindeki SiO₂ miktarının refrakterin mukavemetine etkisi.
(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

4.5 Bağlayıcı bileşimindeki SiO₂ miktarının seramik kalıpların pişme küçülmesi değerlerine etkisi

% 75 zirkon ve %25 mullit içeren güçerir toz karışımından 10, 15 SiO₂ (gr/100 ml) içeren etil silikat esaslı bağlayıcı kullanılarak 150 mm x 25 mm x 25 mm boyutlarında seramik kalıplar dökülmüş ve kalıplar 200°C/saat ısıtma hızı ile 100, 400, 800, 1200, 1400, 1600°C sıcaklıklarda 2 saat süreyle sinterleme işlemine tutularak pişme küçülmesi (P. K.) değerlerine bulunmuştur. Çizelge 4.5'te görüldüğü üzere daha fazla SiO₂ içeren bağlayıcı kullanılarak yapılmış olan seramik kalıpların pişme küçülmesi değeri daha düşük seviyede kalmaktadır. Çizelge 4.5, Şekil 4.7'de grafiksel olarak göz önüne serilmiştir.

Çizelge 4.5 Bağlayıcı bileşimindeki SiO_2 miktarının seramik kalıpların pişme küçülmesi değerlerine etkisi.

Sıcaklık (°C)	10 SiO_2 (gr/100 ml) P. K. Değeri (%)	15 SiO_2 (gr/100 ml) P. K. Değeri (%)
100	0,1070	0,0010
400	0,1561	0,0060
800	0,1679	0,0700
1200	0,5845	0,1230
1400	1,9090	1,3600
1600	6,6530	6,2000



Şekil 4.7 Bağlayıcı bileşimindeki SiO_2 miktarının seramik kalıpların pişme küçülmesi değerlerine etkisi (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000c).

4.6 Zirkon ve Alümina İçeren Güçerir Tozlardan Yapılmış Olunan Seramik Kalıpların Farklı Sinterleme Süre ve Sıcaklıklarında Pişme Küçülmesi, Kütle Yoğunluğu ve Görünür Gözeneklilik Değerlerinin Değişimi.

% 50,32 alümina ve % 49,67 zirkon güçerir toz karışımı 15 SiO_2 (gr/100 ml) içeren etil silikat bağlayıcı içeren seramik kalıplar 200°C/saat ısıtma hızı ile 1400, 1500, 1600°C'lık sıcaklıklarda 1, 2 ve 4 saat süresince sinterleme işlemine tabi tutulmuş. İşlem sonunda seramik kalıpların pişme küçülmesi (P. K.), kütle yoğunluğu (B) ve görünür gözeneklilik (P) değerleri bulunmuştur. Çizelge 4.6, 4.7 ve 4.8'de sırasıyla 1450,1500 ve 1600°C sıcaklıklarda yapılan tepkime sinterlemesi işlemi sonucunda ulaşılan değerler gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 1450°C’da sinterlenen seramik kalıpların zamana göre pişme küçülmesi (P. K.),
kütle yoğunluğu (B) ve görünür gözeneklik (P) değerleri.

Sinterleme Süresi (saat)	P. K. (%)	B (gr / cm ³)	P (%)
1	6,817	2,9133	29,1225
2	7,813	2,9025	29,3850
4	6,303	2,9009	28,4937

Çizelge 4.7 1500°C’da sinterlenen seramik kalıpların zamana göre pişme küçülmesi (P. K.),
kütle yoğunluğu (B) ve görünür gözeneklik (P) değerleri.

Sinterleme Süresi (saat)	P. K. (%)	B (gr / cm ³)	P (%)
1	5,6500	2,8912	28,3340
2	8,0070	2,8854	28,0507
4	8,4110	2,8860	27,5320

Çizelge 4.8 1600°C’da sinterlenen seramik kalıpların zamana göre pişme küçülmesi
(P. K.), kütle yoğunluğu (B) ve görünür gözeneklik (P) değerleri.

Sinterleme Süresi (saat)	P. K. (%)	B (gr / cm ³)	P (%)
1	9,9860	3,0339	22,3440
2	10,7900	3,1714	17,8420
4	10,5020	3,1953	17,1570

Yukarıda verilmiş olan çizelge 4.6, 4.7 ve 4.8’de görüldüğü üzere 1450°’de ki 2 saatlik işlemin dışında uygulamanın sonucunda görünür gözeneklik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde pişme küçülmesi değerleride artmakta ve %10,79 kadar ulaşabilmektedir. Sinterleme sıcaklığı ve sürenin artması ile beraber kütle yoğunlukları artmaktadır. Ama 1500°C’taki sinterleme işlemleri sonucunda elde edilen numelerin görünür gözeneklik yüzdesi, 1450°C sinterlenen numunelere göre daha düşük çıkmasına rağmen ve bu durumda yoğunluklarının düşük çıkması bir çelişki olmasına karşın herhangi bir açıklama getirilememiştir.

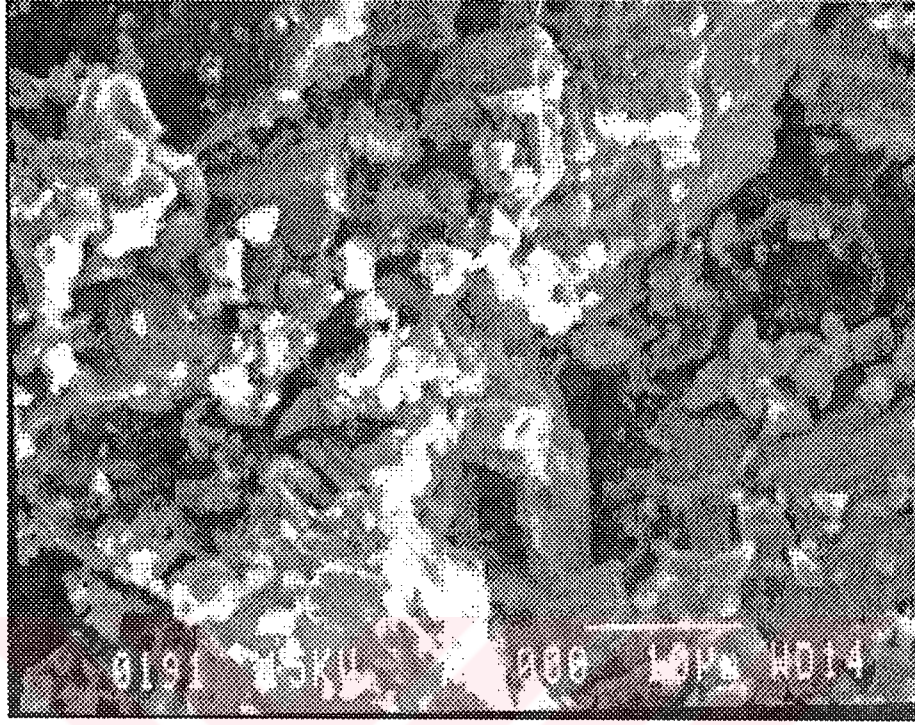
4.7 Seramik Kalıpların Mikro Yapılarının İncelenmesi

4.7.1 Zirkon ve mullit içeren seramik kalıpların mikro yapıları

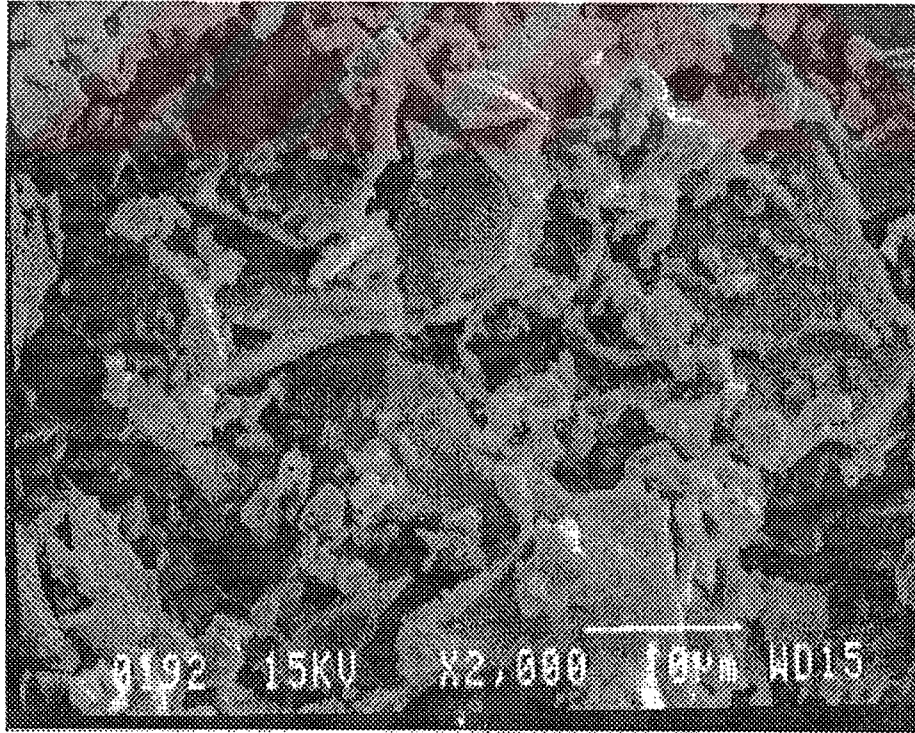
% 75 zirkon ve % 25 mullit içeren seramik kalıpların farklı sıcaklıklarda sinterlenmesinden sonraki kırık yüzey görüntüleri taramalı elektron mikroskobu (Jeol JSTM 330) kullanılarak alınmıştır.

SEM fotoğrafları incelendiği zaman görülebileceği gibi Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’daki gibi sinterleme sıcaklığı arttırıldıkça beklendiği gibi bünyedeki gözeneklik azalmakta ve etil silikat

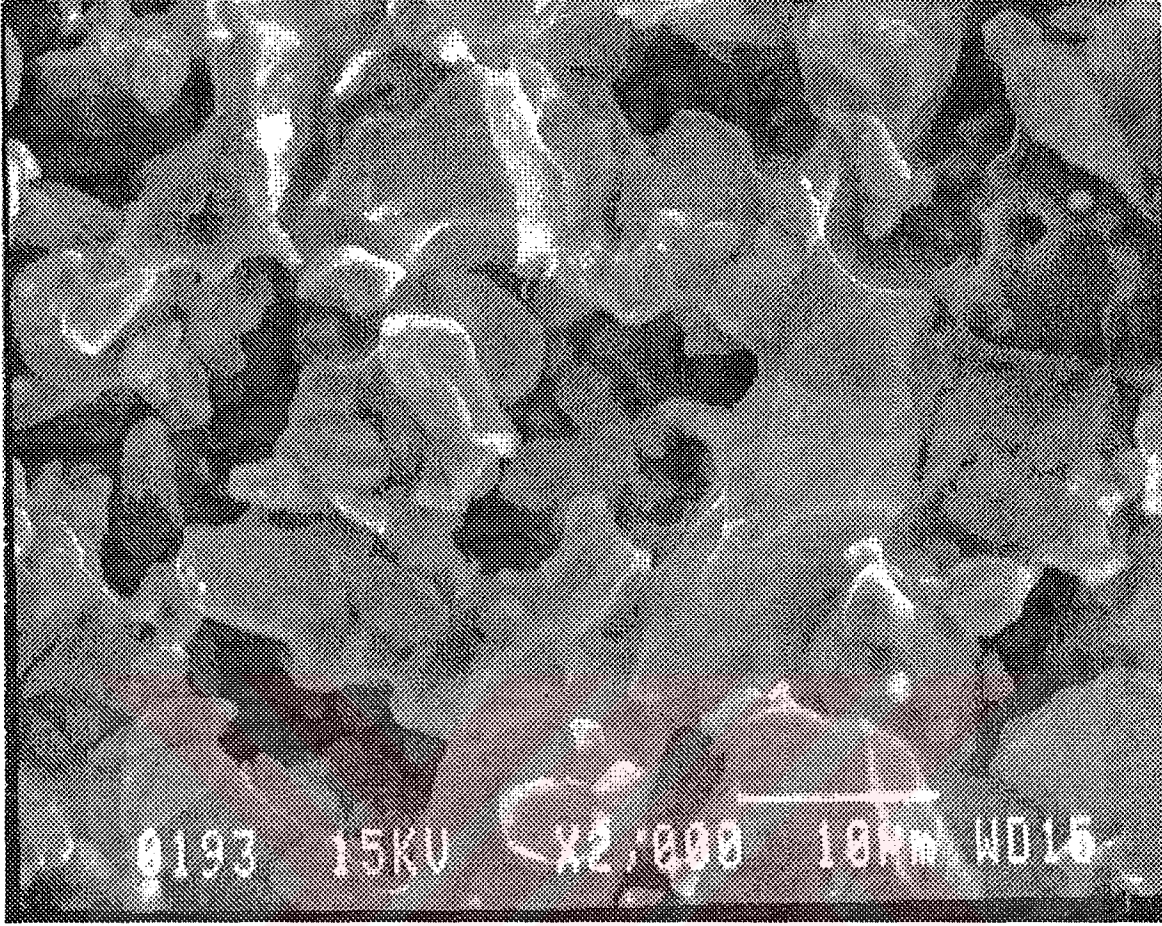
esaslı bağlayıcıdan gelen mikron altı boyutlardaki silika taneleri artan sıcaklığın etkisiyle birleşerek tane büyümelerine neden olduğu gözlemlenmiştir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000a).



Şekil 4.8 1200°C'ta 2 saat sinterlenmiş seramik kalıbın kırık yüzey görüntüsü.

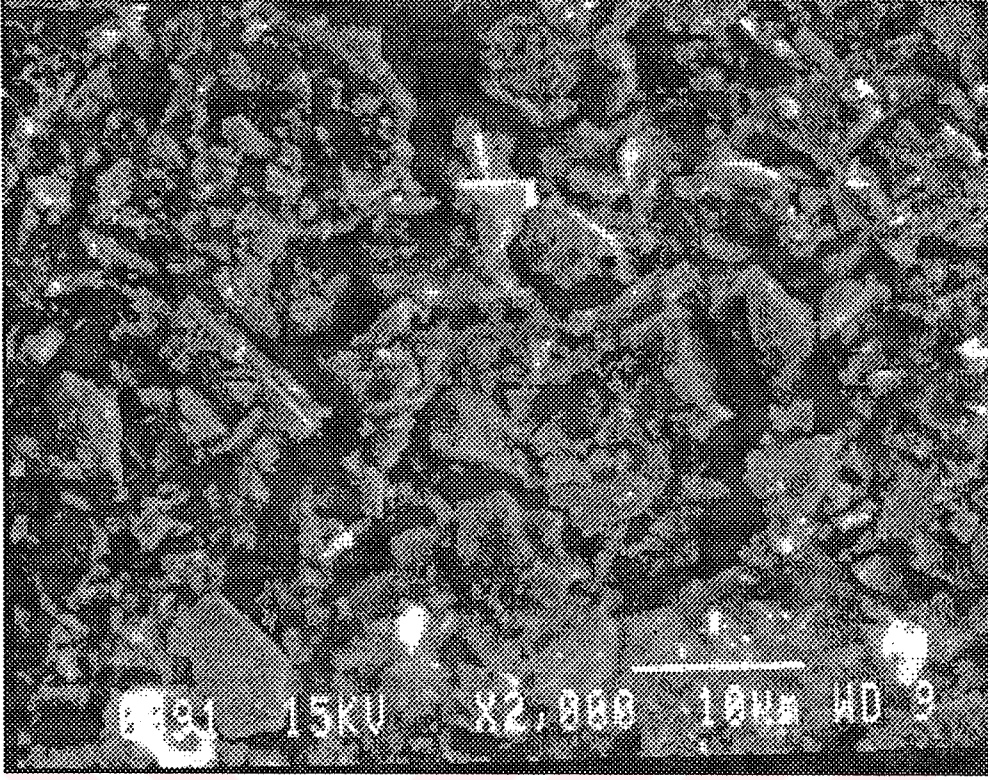


Şekil 4.9 1400°C'ta 2 saat sinterlenmiş seramik kalıbın kırık yüzey görüntüsü.

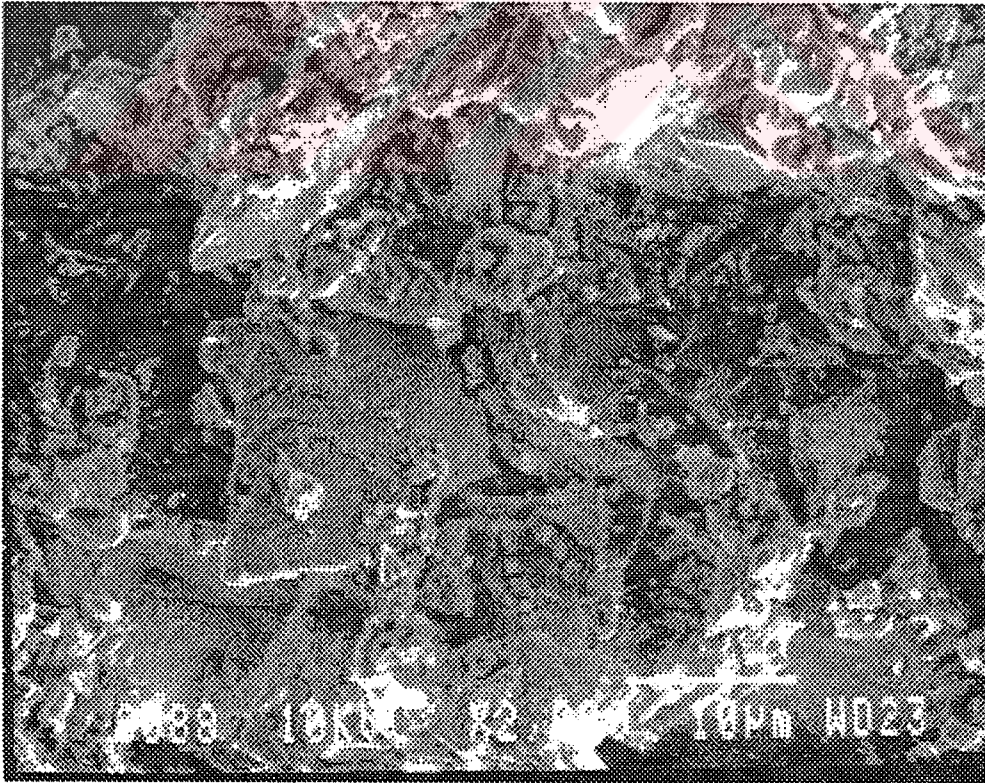


Şekil 4.10 1600°C'ta 2 saat sinterlenmiş seramik kalıbın kırık yüzey görüntüsü.

Yapmış olduğumuz başka bir çalışmada ise seramik kalıpların ani olarak oksitasetilen alevinde yakılarak yüzeyde 5-15 μm genişliğinde mikro çatlakların oluştuğu bulunmuştur. Aynı çalışma içerisinde seramik kalıpların kontrolü kurutulması ve sinterlenmesinin mikro yapı üzerindeki etkisi incelenmiş sonuçta böyle bir uygulama ile mikro çatlak oluşumunun engellenebileceği bulunmuştur. Şekil 4.11'da oksitasetilen alevinde ani olarak yakılmış seramik kalıbın yüzey görüntüsü verilirken, Şekil 4.12'de ise mikro çatlak oluşumu içermeyen kontrolü kurutulmuş ve sinterlenmiş seramik kalıbın yüzey görüntüsü verilmiştir (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).



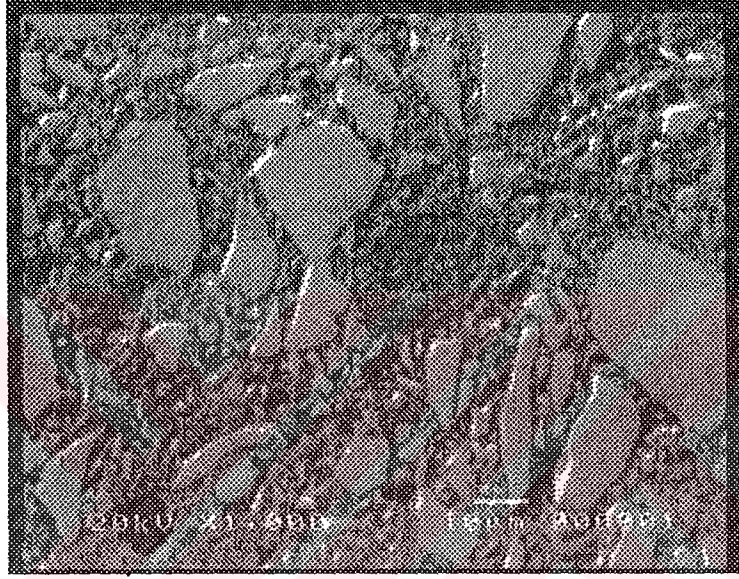
Şekil 4.11 Oksi asetilen alevinde ani yakılmış seramik kalıbın yüzey görüntüsü SEM fotoğrafı. (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).



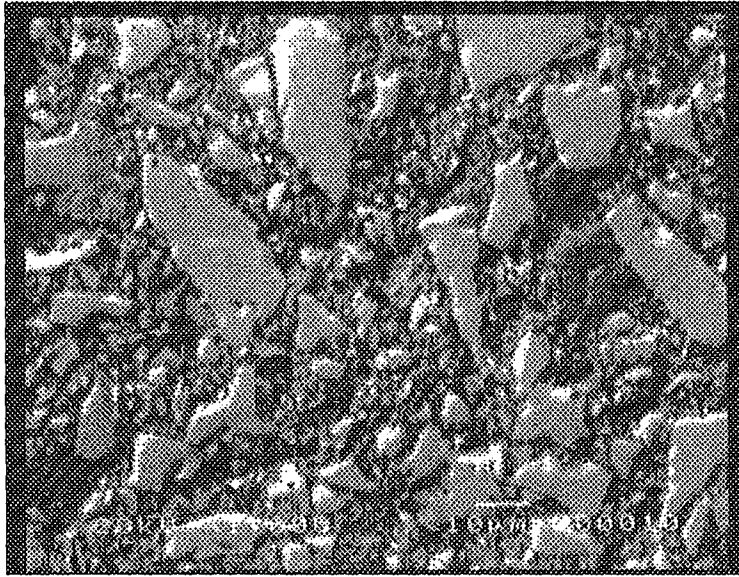
Şekil 4.12 Kontrolü kurutma ve sinterleme işlemlerine tabi tutulmuş seramik kalıbın yüzey görüntüsü SEM fotoğrafı (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).

4.7.2 Zirkon ve alümina içeren seramik kalıpların mikro yapıları

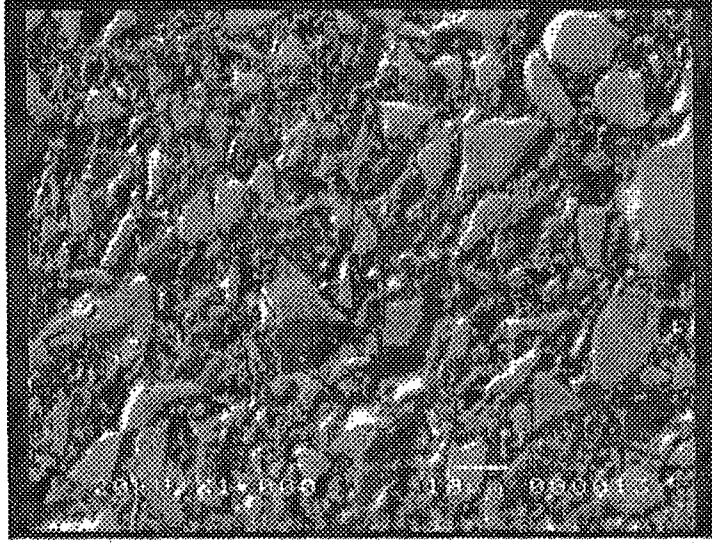
% 50,32 alümina ve %49,68 zirkon içeren seramik kalıpların farklı sıcaklı ve sürelerde sinterlemesi sonucunda elde edilen mikro yapılarının incelenmesi için parlatılmış yüzeylerden SEM fotoğrafları alınmıştır. Şekil 4.13, 4.14, 4.15'te 1450°C'ta 1,2 ve 4 saat süreyle sinterlenmiş zirkon-alümina esaslı seramik kalıpların mikro yapıları verilmiştir. Şekil 4.16, 4.17, 4.18'te 1500°C'ta 1,2 ve 4 saat süreyle sinterlenmiş zirkon-alümina esaslı seramik kalıpların mikro yapıları gösterilmiştir. Şekil 4.19, 4.20, 4.21'te 1600°C'ta 1,2 ve 4 saat süreyle sinterlenmiş zirkon-alümina esaslı seramik kalıpların mikro yapıları verilmiştir.



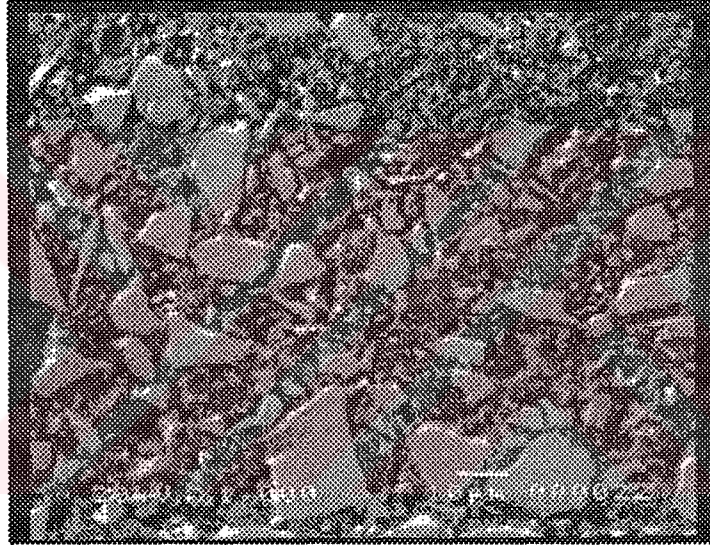
Şekil 4.13 1450°C'ta 1 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.



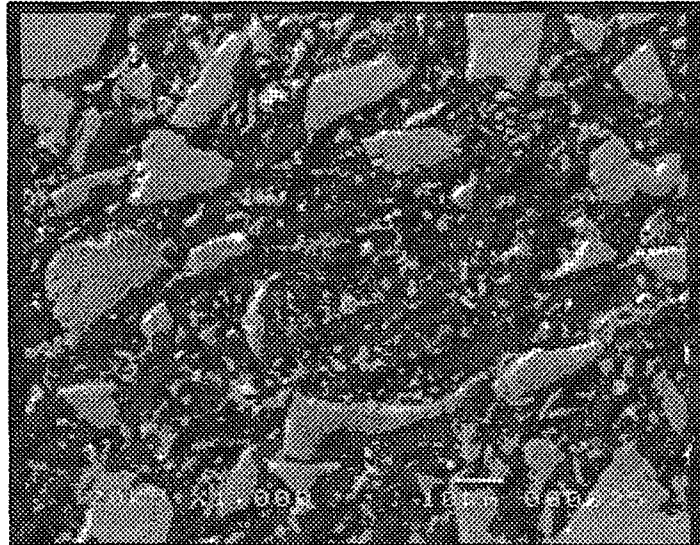
Şekil 4.14 1450°C'ta 2 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.



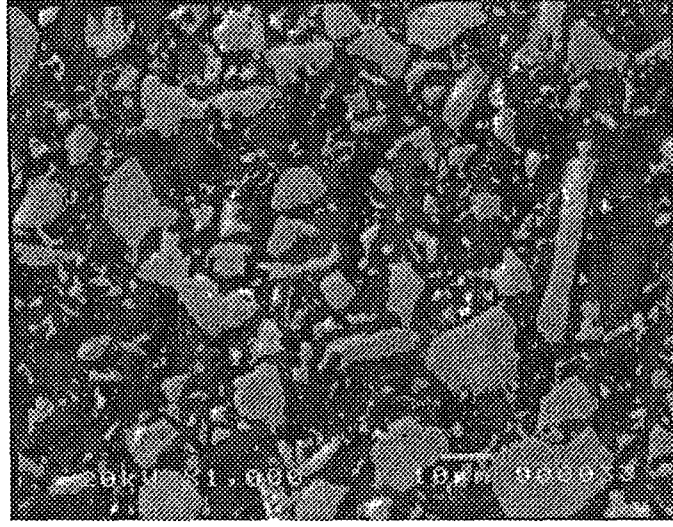
Şekil 4.15 1450°C'ta 4 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.



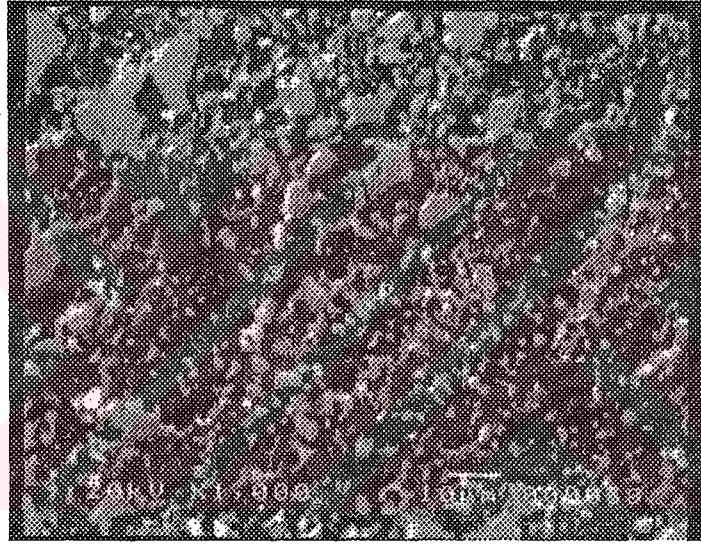
Şekil 4.16 1500°C'ta 1 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.



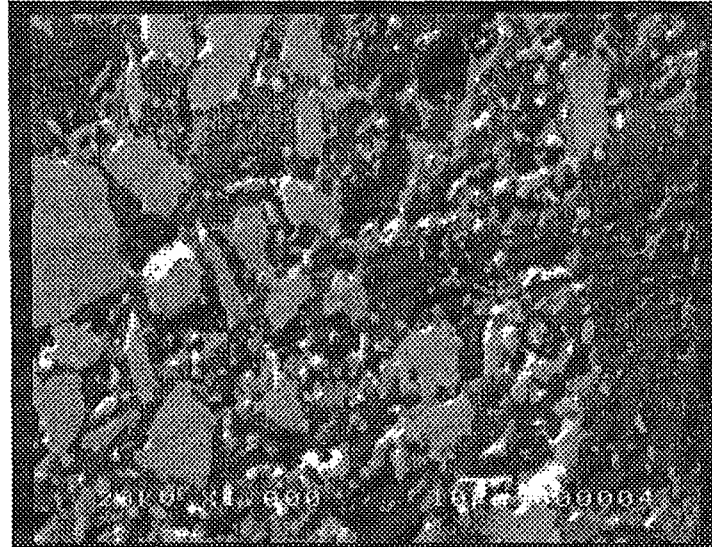
Şekil 4.17 1500°C'ta 2 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.



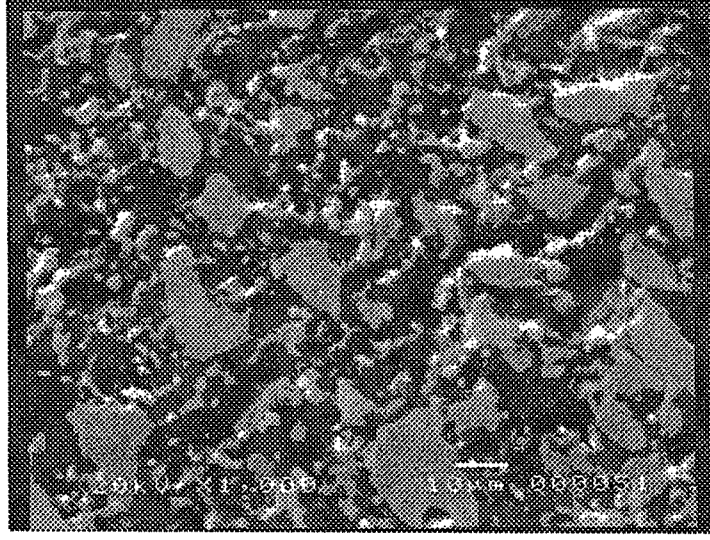
Şekil 4.18 1500°C'ta 4 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.



Şekil 4.19 1600°C'ta 1 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.



Şekil 4.20 1600°C'ta 2 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.



Şekil 4.21 1600°C'ta 4 saat süreyle sinterlenmiş seramik kalıp mikro yapı görüntüsü.

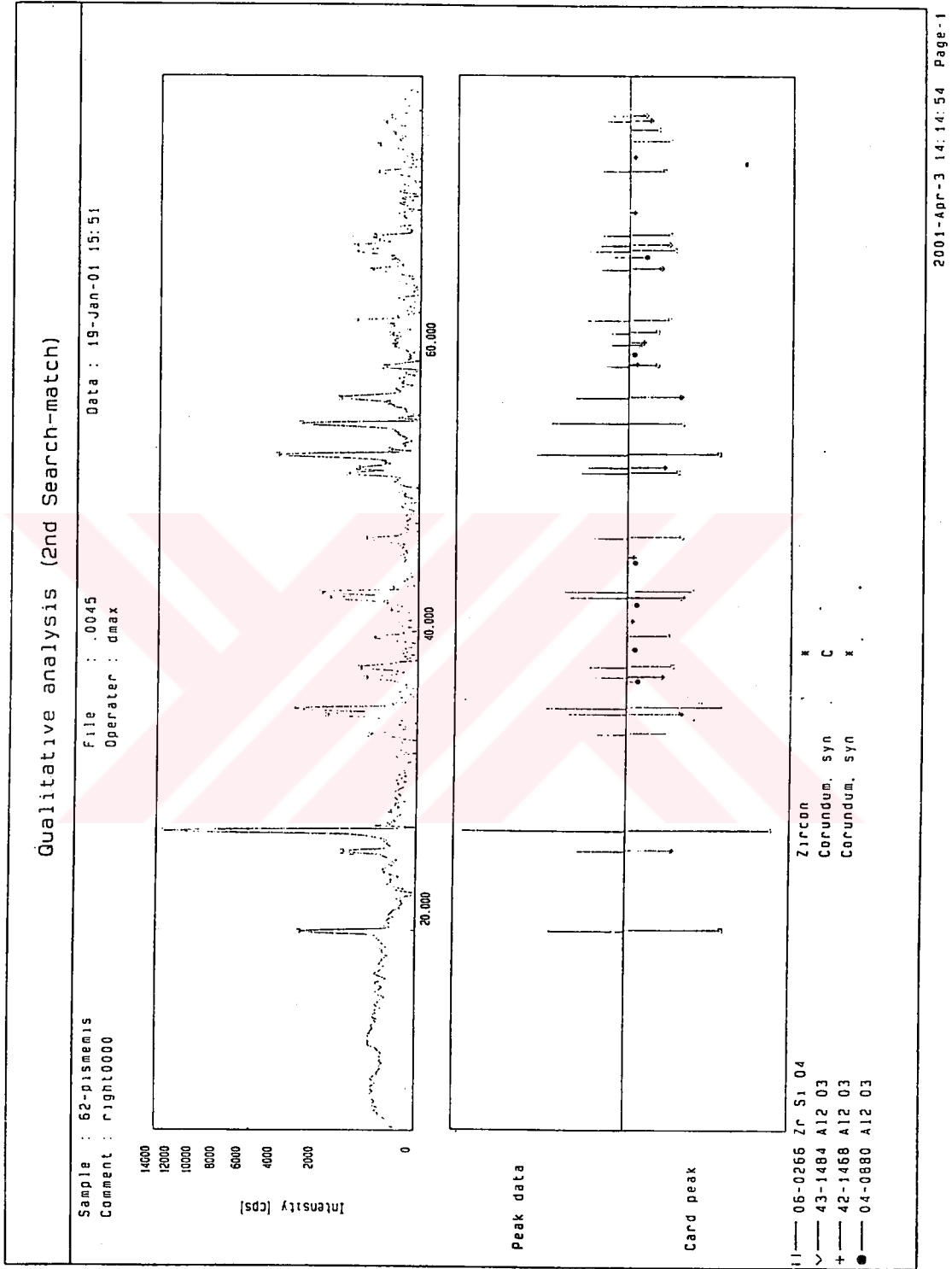
4.8 Zirkon ve Alümina İçeren Seramik Kalıpların Tepkime Sinterlemesinin X-Işınları Difraksiyonu ile İncelenmesi

Tepkime sinterlemesi, başlangıç hammaddelerin sinterleme işlemi sırasında tepkimeye girip yeni bileşim oluşturması ve sinterleme sırasında yoğunlaşması olarak tanımlanır. Uygun sinterleme sıcaklığı ve süresinde hem tepkime hem de sinterleme gerçekleşmektedir.

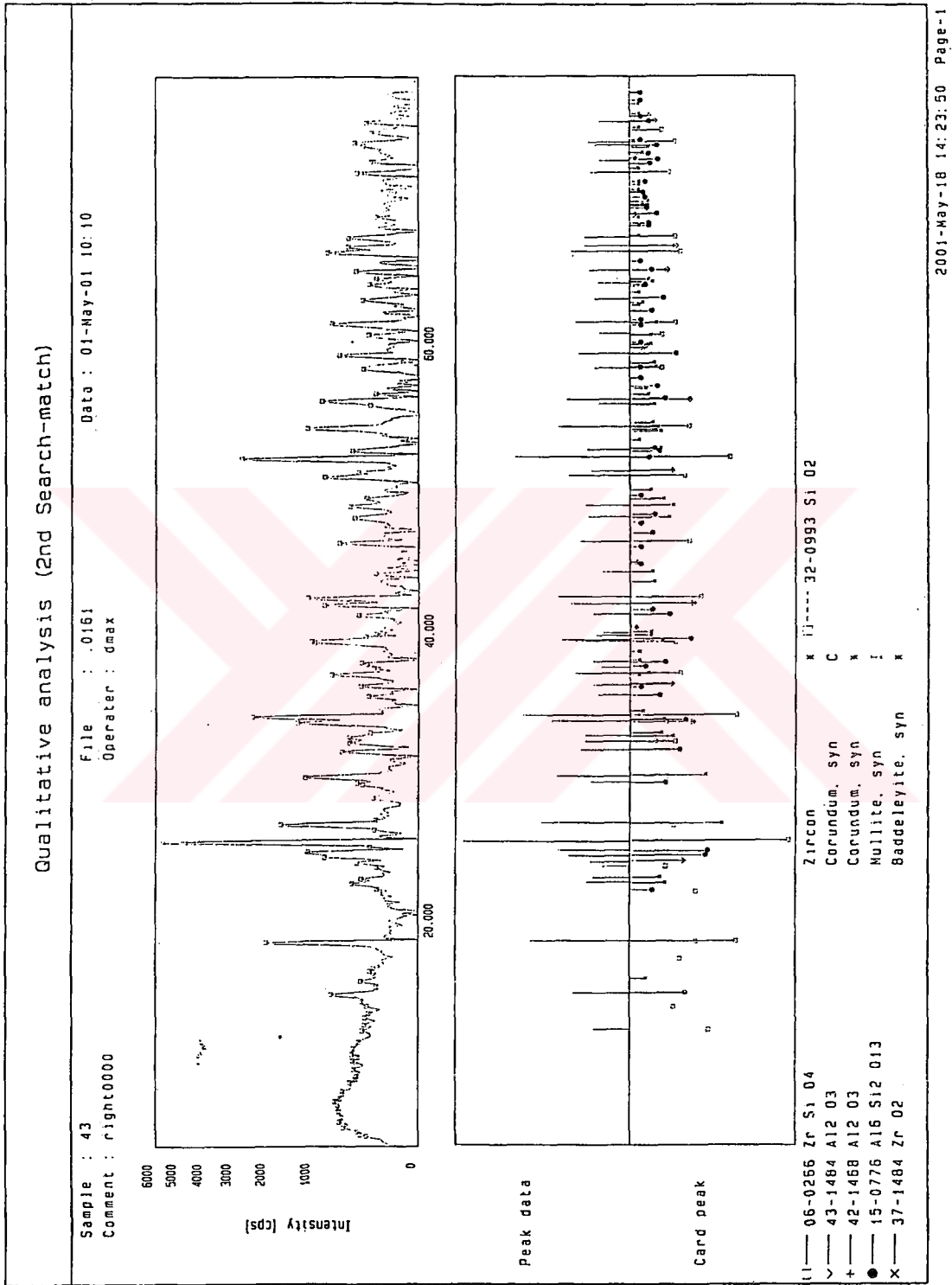
Zirkon ve alümina içeren seramik kalıpların sinterleme öncesinde yapısından alınan x-ışını difraksiyonu incelenmesinde görüldüğü üzere yapı zirkon, alümina içermektedir. Bu durum Şekil 4.22'de sunulmuştur.

Aynı seramik kalıp 1600°C'ta 2 saat sinterleme yapıldıktan sonra x-ışını difraksiyonu incelemesi yapılmıştır. Şekil 4.23'de görüldüğü üzere bu sefer yapıda tepkime sinterlemesinin sonucunda açığa çıkan mullit ve zirkonya'da alümina ile zirkona eşlik etmektedir.

Yapılan inceleme göstermektedir ki artan sinterleme sıcaklığı ve süresinin doğrultusunda yapıda bulunan alümina zirkon ve bağlayıcıdan gelen serbest haldeki silika ile tepkimeye girerek seramik iç yapısında zirkonya ve mullit oluşumuna neden olmaktadır. Bu tip güçerir malzemenin yüksek sıcaklıktaki tokuluğu artmaktadır.



Şekil 4.22 Zirkon ve alümina içeren sinterlenmemiş seramik kalıpların x-ışını difraksiyonu sonucu.



Şekil 4.23 1600°C'ta 2 saat süreyle sinterlenen zirkon ve alümina esaslı güçerir tozlardan yapılmış seramik kalıpların x-ışını difraksiyonu sonucu.

4.9 Desenli Seramik Kalıba Metal Dökümü İşlemi.

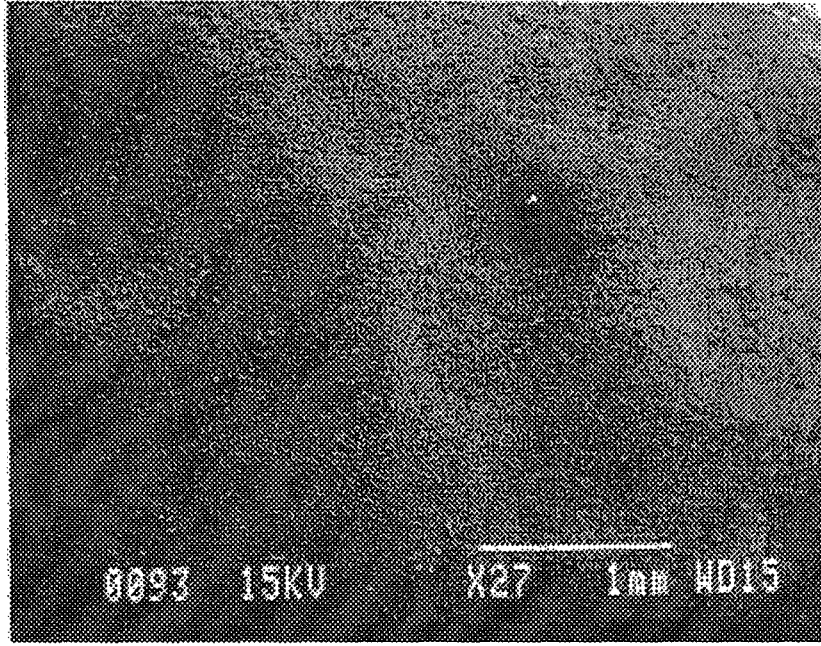
1600°C'ta sinterlenmiş olunan zirkon-mullit esaslı desenli seramik kalıpların 2 tanesine gri dökme demir, 2 tanesine ise küresel grafitli dökme demir ve 1 tanesine ise S43000 kalite paslanmaz çelik dökülmüştür.

Döküm sonrası desenli seramik kalıplarda her hangi bir çatlama olmadığı ve kalıpların döküm sıcaklığına dayandığı tesbit edilmiştir. Ancak çizelge 4.9 incelenirse seramik kalıbın metal ile teması ile beraber metal oksitlerin seramik kalıpla tepkimeye girdiği vede EDAX analizinden alınan veriler ışığında temas yüzeyinde % 17.45'e varan Fe ile karşılaşmıştır. Şekil 4.24 ve 4.25 verilen Fe dağılımı haritasına bakılırsa ve Çizelge 4.9'dan görüleceği üzere Fe'in özellikle desenlerin girinti ve çıkıntı oluşturduğu bölgelerde yoğunlaştığı analiz edilebilir. (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).

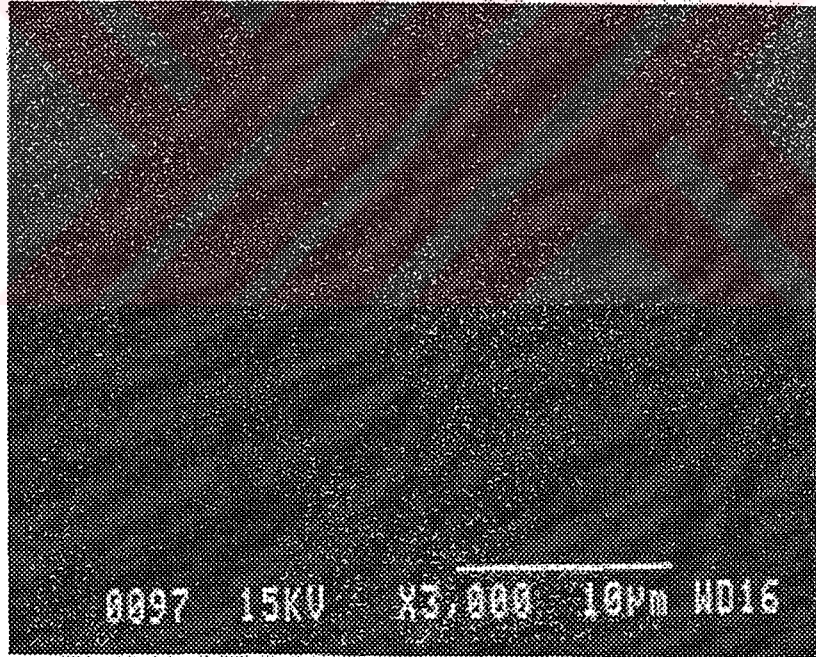
Paslanmaz çelik dökümünde ise Ashland Solitec W2 su bazlı zirkon seramik kalıp boyası ile kaplanmış desenli seramik kalıplarda döküm sonunda çatlama olmadığı ve de seramik kalıp-metal tepkimelerinin tamamen ortadan kalktığı görülmüştür.

Çizelge 4.9 Döküm sonrası desenli kalıp yüzey ve iç bölgelerinde alınan EDAX analiz sonuçları (Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).

Kimyasal Elementler Ağırlıkça Yüzde Miktarları (%)					
Bölge Tanımı ve Kodu	Fe	Si	Al	Zr	Mn
Döküm Yüzeyi 1A	17,45	13,61	5,26	26,77	1,81
Ara Bölge 2A	10,55	13,46	6,86	33,08	0,00
İç Bölge 3A	0,45	12,70	9,91	39,62	0,00
Döküm Yüzeyi 1B	43,79	12,34	4,99	34,99	3,83
Ara Bölge 2B	14,27	20,42	10,11	47,79	7,19
İç Bölge 3B	0,90	24,23	0,67	74,2	0,00



Şekil 4.24 Döküm sonrası desenli kalıp yüzeyinin SEM fotoğrafı
(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).



Şekil 4.25 Döküm sonrası desenli seramik kalıp yüzeyindeki Fe dağılımı
(Sarıdikmen ve Kuşkonmaz, 2000b).

- Sammer, A.R., Parmelee, D., Landefeld, C.F., ve Stark, R.A., (1989), *Refractories Manual*, A.F.S. Inc., Des Plaines, Illinois.
- Shklennik, Y.I., (1970), "Classification of Ethyl Silicate Binder Solutions", *Russian Casting Production*, 5:1-2.
- Cogan, H.D., ve Setterstrom C.A., (1946), "Properties of Ethyl Silicate", *Chemical and Enginnering News*, 24(18):2499-2501.
- Shaw, N., ve Lee, I., (1957), "Method of Making Moulds", U.S. Patent, 2795022.
- Webber, A.R., Funk, E.J., ve Burdick, V.L., (1975), "Effect of Water Vapor on Gel Formation in Ethyl Silicate Bonded Alumina", *Ceramic Bulletin*, 54(9):792-794.
- Kuşkonmaz, N., ve Kınıkoğlu, N.G., 2. Döküm Sempozyumu, 22-24 Mayıs 1996, İstanbul.
- Sarıdikmen, H. ve Kuşkonmaz, N., (2000c), "Etil Silikat Bağlıcılı Refrakterlerde Bağlayıcı Bileşiminin Refrakterin Özelliklerine Etkisi", 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 24-28 Mayıs 2000, İstanbul.
- Gültekin, A. ve Alkan, E., (1995), Yüksek Alaşımlı Çeliklerin Bazı Ark Ocaklarında Üretim Teknikleri ve Pota Metalurjisi, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Akdeniz, A. ve Çavuşoğlu, E., (1985), "Hassas Döküm Yönteminde Refrakter Malzeme Seçimi", *Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 15-19 Nisan 1985, Ankara.
- Eriç, H., (1985), "Faz Diyagramları ve güçerirler", *Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 15-19 Nisan 1985, Ankara.
- Ayok, T., İşbilir, F., Koroğlu, H., ve Kocakuşak, S., (1997), Çöktürülmüş Silikalar, Ön İnceleme Raporu, Temmuz 1997, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, Kocaeli.
- Erçetin, F., (1999), *Seramik Kalıba Döküm Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Üstel, Ş., (1993), *Suda Çözünebilen Seramik Maçalar*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Anadolu Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü.
- Kloskowski, A., (1994), "Method for Making A Ceramic Mold", U.S. Patent, 5368086.
- Emblem, G., ve McTagga, D., (1976), "Improvements in Refractories", B. Patent, 1429723.
- Dunlop, A., (1960), "Mould Structure and Its Production", U.S. Patent, 2931081.
- Petro, A., ve Flinn, A., (1978), "Mold-Metal Interactions Between Chromite Sand and Cast Steel", *TAFS*, 86,357-364.
- Campbell, J., (1995), *Castings*, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, England.
- Ford, W., (1967), *The Effect of Heat on Ceramics*, MacLaren and Sons Ltd., London, England.
- Kınıkoğlu, N., Silisan, A., Özkan, T., ve Tekin, A., (1977), *Hassas Döküm Tekniği İle Prototipler Geliştirme Projesi*, T.B.T.A.K, Gebze, Kocaeli.
- Janeway, A., (1990), *Ceramic Industry Data Book & Buyers Guide*, Vol: 135, No:4, Business News Publishing Co., Ohio, U.S.A.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 28.03.1976

Doğum yeri İstanbul

Lise 1991-1994 Özel Bilgi Lisesi

Lisans 1994-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya-Metalurji Fakültesi
Metalurji Mühendisliği

Çalıştığı Kurum

1998-Devam ediyor Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü
Araştırma Görevlisi



YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN KAYIT BİRİMİ