

84994

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERAMİK KABUKLU DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Metalurji Müh. Fikret ERÇETİN

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihat G. KINIKOĞLU

84994

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Doc. Dr. Cemalettin Yaman

prof. Dr. Selahattin GÖKMEN

İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. HASSAS DÖKÜM.....	3
2.1 Dereceli Hassas Döküm.....	4
2.2 Güçerir Kabuklu Hassas Döküm.....	4
2.3 Hassas Döküm Yönteminde İşlem Sırası.....	6
2.3.1 Seramik Kabukların Kurutulması.....	6
2.3.2 Mum Alma İşlemleri.....	8
2.3.3 Kalıpların Pişirme ve Ön Isıtma İşlemleri.....	8
2.3.4 Eritme Döküm ve Kırma	9
2.4 Hassas Döküm Yönteminde Kullanılan Malzemeler	10
2.5 Hassas Döküm Yönteminde Kullanılan Bağlayıcılar	11
3. SERAMİK KALIBA DÖKÜM.....	13
3.1 Ünikast Yöntemi.....	15
3.1.1 Ünikast Karma Kalıp	15
3.1.2 Dökülebilen Alaşımlar.....	15
3.1.3 Seramik Bulamaç.....	16
3.2 Şov Yöntemi.....	17
3.2.1 Seramik Kabuğun Hazırlanması.....	19
3.2.2 Şov Tam Seramik Kalıp.....	20
3.2.3 Şov Karma Seramik Kalıp	20
3.2.4 Seramik Kalıba Döküm	22
3.3 Seramik Kalıp Üretiminde Kullanılan Tozlar	22
3.3.1 Zirkon.....	25
3.3.2 Mullit	27
3.3.3 Silimanit.....	28
3.4 Bağlayıcılar	28
3.4.1 Etil Silikal.....	29
3.4.1.1 Etil Silikatın Sulu Ayrışma İşlemi.....	31
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34
4.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	34
4.1.1 Mullit	34
4.1.2 Zirkon.....	34
4.1.3 Döküm Kumu	34

4.1.4	Etil Silikat	35
4.1.5	Karbofen	35
4.	Kullanılan Aletler	36
4.2.1	pH Metre	36
4.2.2	Karıştırıcı	36
4.2.3	Titreşimli Elek	37
4.2.4	Kum Karıştırıcı	37
4.3	Bağlayıcının Pelteleşme Süresi ile Belirlenmesi	37
4.4	Seramik Karma Kalıp Yapımı	38
4.4.1	Destek Kalıp Yapımı	38
4.4.1.1	Alt Destek Kalıp Yapımı	38
4.4.1.2	Üst Destek Kalıp Yapımı	38
4.4.2	Seramik Kalıp Yapımı	38
4.4.2.1	Alt Keramik Kalıp Yapımı	38
4.4.2.2	Üst Keramik Kalıp Yapımı	39
4.5	Düşey Merkezkaç Döküm Yöntemi ile Karma Kalıpta Dişli Dökümü	46
4.6	Seramik Malzemelerin Peltelik Durumunun Saptanması Deneyi	51
4.7	Gelecekte yapılması planlanan çalışmalar	55
5.	SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR		57
ÖZGEÇMİŞ		58

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Dereceli hassas döküm yönteminin işlem sırası (Aluminium Casting Technology, 1986)	5
Şekil 2.2	Güçerir kabuklu hassas döküm yönteminin işlem sırası (Aluminium Casting Technology, 1986).....	7
Şekil 3.1	Seramik kalıp ile yapılan dökümün işlem sırası	14
Şekil 3.2	Ünikast yönteminin işlem sırası (ASM Handbook, 1992).....	18
Şekil 3.3	Şov tam seramik kalıba dökümün işlem sırası (ASM Handbook, 1992)	21
Şekil 3.4	Şov karma seramik kalıba dökümün işlem sırası (ASM Handbook, 1992).23	
Şekil 3.5	Seramik tozların sıcaklığa bağlı genleşme eğrileri (Geçginli, 1991)	25
Şekil 3.6	pH'ın silika bağlayıcılarda pelteleşme zamanına etkisi (American Foundrymen's, 1986).....	32
Şekil 4.1	Pelteleşme süresi – pH bağıntısı	37
Şekil 4.2	Üst destek kalıp modeli	40
Şekil 4.3	Alt destek kalıp modeli	40
Şekil 4.4	Üst seramik kalıp modeli.....	41
Şekil 4.5	Alt seramik kalıp modeli	41
Şekil 4.6	Üst şov karma seramik kalıp	42
Şekil 4.7	Alt şov karma seramik kalıp.....	42
Şekil 4.8	Üst ve alt şov karma seramik kalıplar ve seramik kalıp modelleri.....	43
Şekil 4.9	Üst ve alt şov karma seramik kalıplar, modeller ve destek kalıp modeller .43	
Şekil 4.10	Üfleçle yakılmamış seramik kalıp yüzeyinin SEM fotoğrafı.....	44
Şekil 4.11	Üfleçle yakılmış seramik kalıp yüzeyinin SEM fotoğrafı	44
Şekil 4.12	Üfleçle yakılmış seramik kalıp yüzeyinin SEM fotoğrafı	45
Şekil 4.13	Dişli karma kalıbı.....	47
Şekil 4.14	Düşey merkezkaç döküm makinası.....	48
Şekil 4.15	Karma kalıbın dökümden sonraki resmi.....	48
Şekil 4.16	Döküm sonrası karma kalıpla birlikte döküm parçasının görünümü.....	49
Şekil 4.17	Alüminyum dişli parçasının üstten görünüşü.....	49
Şekil 4.18	Alüminyum dişli parçasının alttan görünüşü	50
Şekil 4.19	Seramik malzemelerin peltelik durumunun saptanması deneyi cihazı.	51
Şekil 4.20	Seramik malzemelerin peltelik durumunun saptanması deneyi cihazı.	52
Şekil 4.21	Seramik malzemelerin peltelik durumunun saptanması deneyi cihazı.	52
Şekil 4.22	28°C ve %15 silika içeren seramik malzemenin zaman-peltenin bağlı esneklik-ağırlık eğrisi	53
Şekil 4.23	21°C ve %15 silika içeren seramik malzemenin zaman-peltenin bağlı esneklik-ağırlık eğrisi	53
Şekil 4.24	21°C ve %10 silika içeren seramik malzemenin zaman-peltenin bağlı esneklik-ağırlık eğrisi	54

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Seramik kalıp üretimine uygun seramik toz malzemeler (Geçginli, 1991)	24
Çizelge 3.2	Kalıp yapımında kullanılan seramik tozların yoğunluk ve erime sıcaklıkları (Geçginli, 1991).....	25
Çizelge 3.3	Seramik toz malzemelerinin alaşım oranları (Geçginli, 1991).....	26
Çizelge 3.4	Sulu ayrışma etil silikat formülleri (American Foundrymen's Society, 1986)	32
Çizelge 4.1	Destek kumu elek analizi.....	34
Çizelge 4.2	Destek kumu kimyasal bileşimi	34

ÖZET

Seramik kabuklu döküm yöntemleri düzgün yüzeyli, yüksek boyutsal hassasiyetli, ince ayrıntıların elde edilebildiği döküm yöntemleridir. Bu döküm yöntemleri demir esaslı ve demir dışı alaşımlar için kullanılmasının yanında daha çok yüksek erime noktalı alaşımların dökümünde tercih edilir. Yeni bir yöntem olmamalarına rağmen ticari uygulaması 20. yy.'ın ikinci yarısında gerçekleşmiştir.

Bu tezin kuramsal kısmı, seramik kabuklu hassas döküm ve seramik kalıba döküm yöntemlerinin tanımlanması, genel özellikleri ve bu tezin esasını teşkil eden etil silikat bağlı Şov (Shaw) karma seramik kalıp üretimini kapsamaktadır.

Deneysel çalışmalarda vagon tekerleğinin dökümünde gerekli olan karma kalıbın tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Seramik kalıp hazırlanmasında destek malzemesinin tane boyutu, seramik tozların ve bağlayıcının bileşimi belirlenmiştir. Pelteleşmenin seramik kabuğunun özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğundan, değişik koşullarda seramik bulamacın pelteleşme miktarının belirlenebilmesi amacıyla yeni bir düzenek geliştirilmiştir. Üretilen seramik kalıpların sertleştirme işlemi alevle yakılarak yapılmıştır. Seramik kalıbın ısı özellikleri alüminyum alaşımından tekerlek dökülerek test edilmiştir.

ABSTRACT

Casting methods using ceramic shell give near net shape with smooth surface and high details. Ceramic shells are used both for ferrous and non-ferrous alloys. However they are generally preferred for high temperature materials. Although technologies are quite old industrial application become viable on the second half of 20. century

Theoretical parts of this thesis covers brief description of investment casting and ceramic mold casting methods, their general properties and in more detail, ethyl silicate bonded Shaw composite mold production which is the main part of this study.

In the experimental work, a ceramic mold is designed and produced to be used in casting of wagon wheel. In production of ceramic mold suitable grain size of back up refractory, composition of ceramic powder and its binder are determined. Since effect of jelling on the final properties of the ceramic shell is important, a new device has been developed to determine the viscosity of the jell maden different conditions. Stabilization of mold is achieved by burning surface of ceramic mold with oxy-acetylene torch to remove alcohol or any other volatiles. On the last stage of experiments, thermal properties of the ceramic mold has been tested by casting aluminum alloy wheels.

1. GİRİŞ

Günümüzde seramik malzemelerin kullanımında dikkat çekici bir artış kaydedilmektedir. 20. y.y. ikinci yarısından itibaren seramik endüstrisi diğer birçok sanayinin temel taşı konumuna gelmiştir. Özellikle otomotiv, cam, inşaat, makine, elektronik, güçerir(refrakter) gibi birçok endüstri dalı doğrudan seramik malzemeye bağımlı bir üretim yapılmaktadır (Reed, 1988).

Seramik malzemelerin kullanımındaki artış nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Yüksek sıcaklıklara dayanım göstermesi
2. Kimyasal kararlılığın yüksek olması
3. Aşınma dirençlerinin yüksek olması
4. Oksitlenmeye karşı dirençlerinin yüksek olması
5. Sürtünme katsayılarının düşük olmasıdır (Kuşkonmaz, 1994).

20. y.y. ikinci yarısından itibaren teknolojinin hızla ilerlemesi endüstride kullanılacak olan ürün özelliklerinin gelişmesine neden olmuştur. Endüstrinin bu taleplerine karşılık olarak, yeni yöntemler geliştirilmiş ve bunlar endüstriye uygulanmıştır.

Hassas döküm yöntemi İkinci Dünya Savaşına kadar sanat dökümleri, kuyumculuk vb. dallarda kullanılmıştır. Ancak savaşta son şeklini almış hassas boyutlu parçalara duyulan ihtiyaç bu yöntemin öne çıkması ve gelişmesine neden olmuştur.

Yöntem, karmaşık şekilli parçaların üretimine, yüksek boyutsal hassasiyet, düzgün yüzey ve ince detayların hassas olarak elde edilebilmesine imkan vermekte ve bütün eritilip dökülebilen metallere uygulanabilmektedir(ASM Handbook, 1992).

Ancak yöntemi sınırlayan unsurlar vardır. Bunların en önemlisi hassas döküm yönteminin küçük hacimli ve hafif dökümler için uygun olmasıdır. Bu nedenle daha büyük hacimli ve ağır dökümler için seramik kalıba döküm yöntemi geliştirilmiştir. Seramik kalıba döküm yöntemi, hassas döküm yöntemiyle benzer özelliklere sahip olması, ince detayların dökülebilmesi, döküm sonu yüzeyinin iyi olması, yüksek boyut hassasiyeti, karmaşık şekilli parçaların kalıplanabilmesi, yüksek döküm sıcaklığına sahip metallerin dökülebilmesi gibi nedenlerle tercih edilmektedir.

Her iki yöntem seramik kabuğun oluşturulması süreci dışında birbirinin aynıdır. Ayrıca, seramik kalıba döküm yönteminde modeller harcanan türden olmayıp tekrar kullanılabilmekte, hassas dökümde ise mum model harcanmaktadır.

Hassas döküm yöntemi ile seramik kalıba döküm yöntemi birbirinin alternatifi veya rakibi olmayıp, birbirinin tamamlayıcısı niteliğindedir. Hassas döküm yöntemi, düşük ağırlıktaki parçaların dökümünde uygulanır (15 kg kadar). Genel uygulamada ise 1 kg'nin altındaki parçaların dökümü yapılmaktadır. Seramik kalıba döküm yönteminde ise çok daha ağır parçaların dökümü gerçekleştirilir (25-350 kg). Genel olarak hassas dökümün üst ağırlık değeri seramik kalıbın alt ağırlık değerini ifade eder.

Seramik kalıba döküm yönteminde genellikle etil silikat(tetraetil ortosilikat) bağlayıcı kullanılmaktadır. Özellikle 1970'lerden sonra bu konu üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Etil silikat bağı malzemelerin tercih edilme nedenleri ise;

1. Yüzey kalitelerin mükemmel olması
2. Kurutma ve pişme esnasında başlangıç boyutlarını koruması ($\pm\%0.5$)
3. Üretim yönteminin çok basit olması ve büyük işgücüne ihtiyaç duymaması
4. Etil silikat bağı güçerirlerin bünyelerinde %20'lere ulaşan gözenek değerinin, uzun süreli yenim (korozyon) şartlarında en yüksek dayanımı veren bir özellik olması
5. Seramik malzemelerden etil silikat kullanılarak üretilen ürünlerin maliyetinin oldukça düşük seviyede kalması (Hassas dökümle kıyasla)
6. Seramik kalıba yapılan dökümün yüzey kalitesinin hassas döküme eşit olmasıdır (Rigby, 1982).

Yukarıda belirtilen hususlar da ifade etmektedir ki karmaşık şekilli, dar toleranslara ve yüzey hassasiyetine sahip parçaların üretiminde etil silikat bağı seramik kalıpların kullanımı hem ekonomik hem de teknik özellikleri bakımından en uygun çözümü verebilmektedir.

2. HASSAS DÖKÜM

Bu çalışmada hassas döküm yöntemi kullanılmamış olmakla beraber seramik kalıba döküm yöntemi gibi seramik kabuk kullanılması ve seramik kalıba döküm yöntemine öncülük etmiş olması nedeniyle bu yönteme de tezin kuramsal kısmında yer verilmiştir.

Hassas döküm, karışık şekilli, dar boyut toleransları ve yüzey temizliği gerektiren parçaların imalinde en yaygın olarak kullanılan döküm yöntemidir.

Yöntem, İkinci Dünya Savaşına kadar daha ziyade sanat dökümleri, kuyumculuk ve dişçilik dallarında kullanılmıştır. Savaşta son şeklini almış hassas boyut ölçülerindeki parçalarına duyulan ihtiyaç hassas dökümü canlandırmış, harpten sonra bilhassa uçak sanayindeki karmaşık şekilli parçaların yapımında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Türkiye’de hassas döküm ilk defa TÜBİTAK pilot tesisinde Dr. Kınıkoğlu’nun grubu tarafından ordu silah parçalarının üretiminde kullanılmış, aynı grup Aliğa’da ilk hassas döküm fabrikasını kurmuştur.

İşlemin ilk basamağı mum modellerin oluşturulmasıdır. Çekme toleransını da ihtiva eden bir kalıp içerisine basılan mum karışımı genellikle metalden yapılan kalıbın şeklini alır. bu şekilde hazırlanan modeller bir mum yolluk etrafında salkım halinde dizilir. Salkım ince güçerir bir kabukla kaplanır. Mum eritilerek dışarı alınır, kabuk 1000°C civarında sinterlenir ve sıcak halde döküm yapılır.

Daha sonra seramik kalıp kırılarak salkım halindeki döküm ayrılır. Seramiğin geri kalanı kum püskürtme ile uzaklaştırılır, yolluk ve memeler kesilir. Döküm parçası o kadar temizdir ki bir çok halde işlemeye gerek kalmadan kullanılır. Yöntem hemen hemen bütün ticari alaşımların, süper alaşımların ve çok karmaşık şekilli parçaların dökümünde kullanılabilir.

Hassas döküm yönteminin avantajları;

1. Geleneksel döküm yöntemleri ve makinayla işleme yolundan imali zor veya bazen imkansız olan karmaşık şekilli parçaların kitle üretimi bu yöntemle mümkündür.
2. Diğer döküm yöntemlerine nazaran daha yüksek boyutsal hassasiyet, daha düzgün yüzey ve ince ayrıntıların elde edilmesine imkanı verir.

3. Yöntem eritilip dökülebilen bütün metallere uygulanabilir.
4. Hassas döküm yolu ile elde edilen parçaların hemen hemen hiç ek işlem gerektirmemesi, “kolay işlenebilir metal seçimi” etmenini ortadan kaldırmaktadır.
5. Yöntem ile, tane boyutu, tane yönlenmesi ve yönlenmiş katılaşma gibi metalurjik etmenler yakından kontrol edilebilmekte ve mekanik özellikler de kontrol altında tutulabilmektedir.

Buna rağmen, bu yöntemle üretilecek parça boyutu ve ağırlığını salkım oluşturma gücü sınırlamaktadır.

Alaşımın cinsine, parça adedine, parça boyutlarına ve dökümhane olanaklarına bağlı olarak iki tür hassas döküm tekniği vardır:

1. Dereceli hassas döküm
2. Güçerir kabuklu hassas döküm

2.1 Dereceli Hassas Döküm

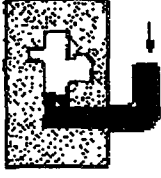
Demir dışı metallerin dökümünde kullanılabilen dereceli hassas döküm, döküm sıcaklığı 1000°C altında bulunan alaşımlar için uygulanır. Sıcaklık için konulan sınırlamanın nedeni, kalıp malzemesi olarak kullanılan alçının, bu sıcaklığın üzerinde dayanıksız olmasıdır.

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere, dikey bir yolluk etrafında birleştirilen mum veya plastik modeller, düz bir yüzey üzerine yerleştirilerek, metal dereceyle çevrelenir. Model derece arasına önceden hazırlanan kalıp çamuru titreşim veya vakum altında dökülür.

Kurutma, model malzemesinin eritilerek kalıp dışına akıtılması ve pişirme işlemleri sonunda kalıp döküme hazırdır.

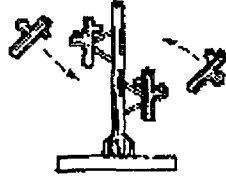
2.2 Güçerir Kabuklu Hassas Döküm

Döküm yönteminde, model malzemesi olarak bu yöntem için geliştirilmiş mumlar kullanılır. Bunun yanında bazı firmaların geliştirilmiş oldukları plastik malzemeler ve civa da model imalatında kullanılmaktadır. Sıvı halde bulunan model malzemesi önceden hazırlanmış kalıp içine doldurularak, donmaya bırakılır.



Mum veya plastik kalıp içine enjekte edilir.

Adım 1



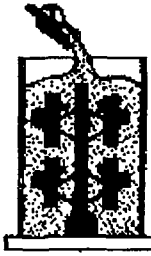
Kalıptan çıkarılan modeller merkezi bir besleme ünitesine bağlanır.

Adım 2



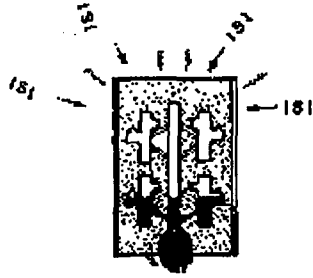
Model salkımı etrafına metal bir kılıf geçirilir.

Adım 3



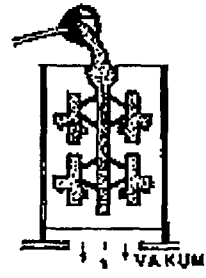
Kılıf hassas döküm özel kalıp maddesi ile doldurulur

Adım 4



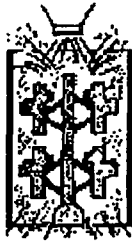
Kalıp maddesinin kuruması ve donmasından sonra modeller eritilene dışarı alınır.

Adım 5



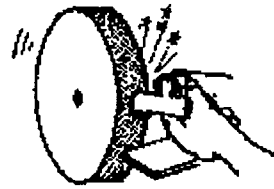
Isıtılmış kalıp içine bilinen döküm yöntemiyle metal dökümü yapılır.

Adım 6



Kalıp maddesi kırılarak döküm parçası alınır.

Adım 7



Döküm parçaları salkımdan ayrılarak bağlantı yerleri taşlanır.

Adım 8

Şekil 2.1 Dereceli hassas döküm yönteminin işlem sırası (Aluminum Casting Technology, 1986).

Hazırlanan modeller dikey bir yolluk etrafında birleştirilir. Şekil 2.2 de görüldüğü üzere salkım seramik çözeltiye daldırılır. Seramik çözeltiler içerdikleri seramik malzemelerin tane boyutuna göre değişik kaplarda tutulur. Daldırma işlemine en küçük tane boyutlu seramik çözeltiden başlanır. Model ilk kaptan çıkarıldıktan sonra süzülür ve yoğun bir seramik toz yağmuruna tutulur. Bu işlem bir akışkan yatak veya yağmurlama kabini ile yapılır. Böylece model yüzeyine kaplanmış olan çözeltideki seramik toz oranı arttırılmış olur. Bu işlem yeterli kabuk kalınlığı elde edilinceye kadar tekrar edilir.

Başlangıçtaki kaplamaya “ön kaplama” adı verilir ve ince seramik tozlarından oluşan bir çamur kullanılır. Bu suretle düzgün yüzey elde edilir. Ön kaplamanın düzgünlüğü, döküm yüzeyinin düzgünlüğünü tayin eder. Bundan sonraki kaplamalarda giderek artan seramik tane iriliği söz konusudur(ASM Handbook, 1992).

2.3 Güçerir Kabuklu Hassas Döküm Yönteminde İşlem Sırası

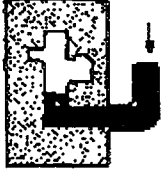
2.3.1 Seramik Kabukların Kurutulması

Seramik kabukların kurutulmasında, her kaplamadan önce bir önceki kaplamanın daldırma ve güçerikleme işlemine dayanacak kadar olması esastır. Bu, iki yöntemle elde edilir: Kaplamayı havada kurutarak veya kimyasal sertleştirmeyle.

Hava ile kurutmada her kalıp tek tek, daldırmada bulamaç tarafından yıkanamayacak veya yumuşamayacak kadar kurutulur. Her bir kaplamada bir ila dört saat arasında bir kurutma zamanına ve dolayısıyla kabuğun tamamlanması için bir kaç günlük bir zamana ihtiyaç duyulur.

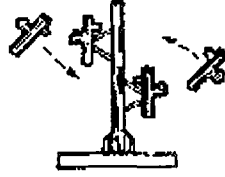
İkinci yaklaşım, kaplamanın kimyasal işlemle, bağlayıcı çözeltinin pelteleşmesi (pelteleşme) sonucu sertleştiği hızlı sertleştirme yöntemidir. Bu yöntemde kaplama, müteakip kaplamaların hemen uygulanabilmesine imkan verecek derecede bir mukavemet ve yapışma özelliğine hızla ulaşır. Bütün kabuk 30 dakikadan kısa sürede katılaştır.

Kabuğun bileşimi dışında kurutma zamanını etkileyen etmenler, hava sıcaklığı, basıncı, hızı ve kurutma bölgesinin bağıl rutubetidir. Havada kurutmada, güçlendirilmiş hava akışı ve vakumda kurutma ile işlem hızlandırılır (ASM Handbook, 1992).



Mum veya plastik kalıp içine enjekte edilir.

Adım 1



Kalıptan çıkarılan modeller merkezi bir besleme ünitesine bağlanır.

Adım 2



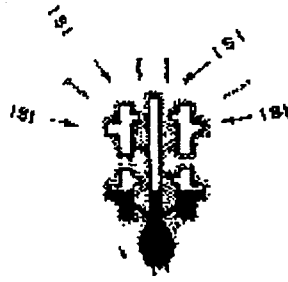
Model salkımı özel bir seramik çözeltiye daldırılır.

Adım 3



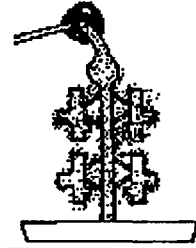
Salkım özel bir güçerir yağmuruna tutulur. 3 ve 4 nolu adımlar istenen güçerir kalınlığı elde edilinceye kadar tekrarlanır.

Adım 4



Kalıp maddesinin kurumasına mutakip modeller eritilerek modeller dışarı alınır.

Adım 5



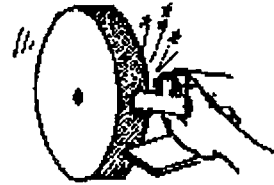
Isıtılmış kalıp içine bilinen döküm yöntemleriyle istenen metal dökümü yapılır.

Adım 6



Kalıp maddesi kırılarak döküm parçası alınır.

Adım 7



Döküm parçaları salkımdan ayrılarak bağlantı yerleri taşlanır.

Adım 8

Şekil 2.2 Güçerir kabuklu hassas döküm yönteminin işlem sırası (Aluminum Casting Technology, 1986).

2.3.2 Mum Alma İşlemleri

Seramik güçerir kalıplardan mum modellerinin eritilip alınması esnasında mum ve seramik kalıbın genleşme katsayılarının değişik olması nedeniyle bazı problemler ortaya çıkabilir. Değişik cinsten mumların hacimsel genleşmeleri de değişik değerlerde olup mumun erimesine kadar %10 bir hacim artışına sebebiyet verebilir.

Bu genleşme esnasında meydana gelen basınç seramik kalıbın çatlayıp kırılmasına yol açabilmektedir.

Mum alma esnasında bu tür çatlamaları ve kırılmaları önlemek için iki değişik yöntem uygulanmaktadır.

1. Dışarıdan bir basınç tatbik ederek mumun seramik kalıp içinde yaratmış olduğu basıncı dengelemek
2. Seramik kalıbın iç cidarıyla temasta bulunan mum modelden ince bir tabakayı ani olarak eriterek (ısı veya kimyasal yolla) daha içeride genleşmekte olan mum basıncını karşılayarak bir asıltı sıvı teşkil etmek.

Endüstride ani eritme metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alanda birçok yöntem geliştirilmiştir. En çok kullanılanları çözündürme metodu, ısı şoku metodu ve otoklavda mum alma metodu şeklinde sıralayabiliriz.

Isı şoku yönteminde kalıp ve model ani bir sıcaklık dalgasına maruz bırakılır(800- 900°C). Ani sıcaklık değişimi ile seramik kalıp boyunca meydana gelen yüksek ısıl eğilceler modelin üst cidarında ani erimeye neden olur. Bu ön erime mum genleşmesi esnasındaki basıncı sıfıra düşürerek kırılmaları önler.

Otoklavda mum alma, üst ısıtılmış su buharı soğuk kabuk yüzeyinde yoğunlaşırken aniden serbest hale geçen enerji, kabuk kırılmaya vakit bulamadan mum alma için gerekli ısının elde edilmesini sağlar.

2.3.3 Kalıpların Pişirme ve Ön Isıtma İşlemleri

Hassas döküm yönteminde, mum alma işlemini takiben pişirme ve ön ısıtma yapılır. Bunun nedenleri ise,

1. Kalan mumu uzaklaştırmak
2. Soğuk kalıpta doldurma güçlüğü yaratacak ince kesitli kalıp bölgelerini ısıtmak
3. Besleyici boyutlarını küçültmek
4. Sıcak yırtılmayı azaltmaktır (ASM Handbook, 1992).

Otoklavda mumu alınmış kalıplarda pişirme ve ısıtma aynı işlemdir. Ön ısıtma tek yüklemeli veya sürekli yüklemeli ocaklarda yapılır. Organik malzemelerin tam olarak yanmasını sağlamak için oksitleyici bir atmosfer kullanılır.

Pişirme ve ön ısıtma işlemleri sürekli veya batch-tipi ısıtmalı fırınlarda yapılır. Bunlarda ısıtma gaz veya elektrikle olur. Her iki tip fırında da sıcaklık homojenliği çok önemli olup devamlı kontrol edilmesi gerekir. Bu tip fırınlarda oksitleyici bir atmosfer kullanımı, organik malzemelerin yanması için gereklidir. Bu fırınların ısıtma süreleri fırın ve kalıp cinsine göre değişir.

Kalıp ön ısıtma sıcaklıkları ise, dökülecek metalin bileşimine, döküm parçasının boyutlarına ve geometrik şekline bağlı olarak değişir (Kınıkoğlu vd., 1977).

2.3.4 Eritme, Döküm ve Kırma

Demir dışı alaşımlarda diğer döküm yöntemleri için kullanılan eritme yöntemi hassas döküm içinde kullanılır. Demir asıllı alaşımlarda hassas döküm genellikle dolaylı ark, indüksiyon veya vakum indüksiyon yöntemleridir. Döküm yöntemleri ise basınçsız, düşük basınçlı, basınçlı, vakumlu ve santrifüj döküm yöntemidir.

Güçerir kabuklu hassas döküm yönteminde döküm parçasının kalıptan ayrılması için kullanılan en ucuz yöntem, kalıp malzemesinin insan gücü kullanarak çekiç darbeleriyle dökümden ayrılmasıdır. Bu oldukça kalifiye elemana ihtiyaç gösteren bir işlem olup dikkat edilmediği takdirde bilhassa ince cidarlı karışık şekilli parçalarda zedelenmelere yol açabilir. Bu amaç için değişik firmalar vibrasyonlu veya pnömatik kırma aletleri geliştirmişlerdir. Dereceli hassas döküm yönteminde ise kalıp hidrolik bir pres ile dereceden çıkartılır. Döküm parçasından kalıp malzemesinin temizlenmesi titreşimli çekiçler veya basınçlı su püskürtme ile yapılır.

Her iki hassas döküm yönteminde de, maça kullanıldığında, maçalar basınçlı su püskürtme veya kimyasal yollarla temizlenir. Kimyasal temizleme için en çok kullanılan malzemeler kostik soda ve hidroflorik asididir.

Yolluklar ana parçadan testere veya taşlama diskleri ile kesilerek ayrılırlar(Kınıkoğlu vd, 1977).

2.4 Hassas Döküm Yönteminde Kullanılan Malzemeler

Her iki hassas döküm yönteminde model malzemesi olarak özel mumlar kullanılır. Bunun yanında plastik malzemeler ve civa da model imalatında kullanım sahaları bulmuştur.

Mumun en yaygın olarak kullanılanları, parafin mumları ve mikrokristalli mumlardır. Parafin mumlarının erime sıcaklığı 52-68°C arasında değişir, düşük maliyetlerine rağmen, kırılındırlar ve yüksek büzülme oranına sahiptirler.

Mikrokristalin mumlar genellikle parafinlerle birlikte kullanılırlar, yüksek yumuşama sıcaklığına ve yüksek tokluğa sahiptirler (Kınıkoğlu vd., 1977).

Model mumlar şu şekilde sınıflanır:

1. Doğal mumlar
2. Madeni mumlar
3. Petrol mumlar

Plastiklerde, en yaygın olarak kullanılanı polisitrendir. Yüksek imalat hızında en ince kesitler bile zarar görmeden şekillendirilebilirler. Çok ince kesitler tercih edildikleri kullanım yerleridir. Mumların aksine zamanla bozulmaya uğramadan çok uzun süre depolanabilirler. En büyük dezavantajları güççerir kabuklu dökümde model çıkarma sırasında kabuğu çatlatma eğilimleridir.

Bunların dışında katılaşma büzülmesini azaltmak için, plastikler ve dolgu malzemeleri, reçineler, çeşitli reçine türevleri, petrol reçineleri kullanılır (ASM Handbook, 1992).

Hassas döküm tekniğın önemli unsurunu seramik kalıpların hazırlığı teşkil eder. Dökümden istenilen hassas boyutsal ve yüzey toleransların elde edilmesi ve dökümün ekonomik olması için, kalıpta kullanılan hammaddelerin özelliklerinin iyi tanımlanması ve bunların sürekli kontrolü gerekmektedir.

Seramik malzemelerden yüksek sıcaklığa dayanım göstermeleri dışında, kullanılan toz malzemelerin asıltı halde mum kalıplarını homojen kaplamaları ve tozların kendi aralarında bağlanmalarını sağlaması istenir. Ayrıca seramik kalıbın, mum modellerin çıkarılması sırasında oluşan basınçlara dayanması, kalıpların dökümde sıvı metalin meydana getirdiği aşınma ve ısı şoka dayanım göstermeleri ve sıvı metal ile seramik malzeme arasında bir tepkime olmaması istenilen ve devamlı denetlenmesi gereken etmenlerdir. Hassas dökümde kullanılan seramik malzemeler güçerirlik özellikleri (ısıya dayanımı) yönünden üçe ayrılırlar:

1. Normal güçerirler: (ısıya dayanım 1580-1770°C): Kuvartz cam, yarı asidik alümina silikatlar, molakit, kaolin.
2. Yüksek güçerirler: (ısıya dayanım 1770-2000°C): Yüksek alüminalı güçerirler, suni mullit, spineller, koramit, fosterit ve sillimanit.
3. Süper güçerirler: (ısıya dayanım 2000°C): Zirkon, manyezit, krom-manyezit ve nadir elementlerin oksitleri.

Bu seramik malzemelerin döküme uygunluğu yapılacak alaşımın cinsine ve döküm sıcaklığına bağlıdır. Kalıpta tek bir güçerir malzeme kullanılabilmesine rağmen (mesela kuvartz cam tozları) genellikle her döküm cinsine göre geliştirilen bir karışım kullanılır. Bunun sebebi malzemelerin gösterdiği farklı ısı ve fiziksel özelliklerin dökümde kullanılan alaşımın içereceği şartlara en uygun şekilde harmanlanmasını sağlamaktır. Seramik malzemelerin ve kalıpların ısı genleşme karakteristikleri, ısı iletkenlik, tozların tane irilik dağılımı ve bunlar için uygun bağlayıcılık ortamının bulunması, kalıbın gaz geçirgenliği ve yüksek sıcaklıkta yük altında dayanıklılığı, seramik malzemelerde sürekli kontrolü gerektiren ısı ve fiziksel etmenlerdir(Kınıkoğlu vd., 1977).

2.5 Hassas Döküm Yönteminde Kullanılan Bağlayıcılar

Bağlayıcı, modeli ıslatmalı, modeli oluşturan öğeler ile tepkimeye girmemeli, uygun bir viskozitesi olmalı böylelikle asıltı içinde dibe çökmeyi engellemelidir. Kabuk oda sıcaklığında kurutulduğunda, toz tanelerini yapıştırıcı olmalıdır. Böylece kabuğa imkan dahilindeki en sert dayanıklılığı verir. Kabuk malzemesini yapıştırmak amacıyla bağlayıcı bir

güçerir oksit oluşturur. Metalin dökümü, katılaşması esnasında kabuk, metal sıcaklığına ısınırken dayanıklılığını ve kararlılığını sağlar. Bağlayıcı ve ana yapı düşük erimeli ötektik bileşiği oluşturmamalıdır ve eriyik haldeki alaşıma soy davranmalıdır (Shklennik, 1970).

Bu amaçla kullanılan kolloidal silika sol, basitçe su içinde asılı çok küçük silika parçacıkları diye tanımlanabilir. Silika sol ile bağlanmış malzeme kurumaya bırakılır. Su uçunca birbirleriyle temas haline gelen silika parçacıkları pelteleşerek bağlanırlar. Uzun kullanım ömrü vardır. Kaliteli ürün üretimine uygundur. Döküm sırasında metal-kalıp yüzeyleri arasındaki tepkime ile çok iyi bitmiş yüzey kalitesi verişli silika solü yüksek kromlu çeliklerin dökümünde ön plana çıkarmaktadır (Nechitailars vd., 1988).

Etil silikat, hem dereceli kalıp hem de güçerir kabuk yöntemlerinde yaygın olarak kullanılır. Genel olarak iki tür etil silikat kullanılmaktadır. Etil silikat bağlayıcı olarak kullanılmadan önce sulu ayrışma gerekir. Sodyum ve potasyum silikatlar düşük güçerirlik özellikleri sebebiyle sadece demir dışı metallerde sınırlı olarak kullanılır.

Bunların dışında, yüksek sıcaklık malzemeleri için kolloidal alümina ve kolloidal zirkonya tercih edilmesine karşın bu bağlayıcıların oda sıcaklığı dayanıklılığı düşüktür.

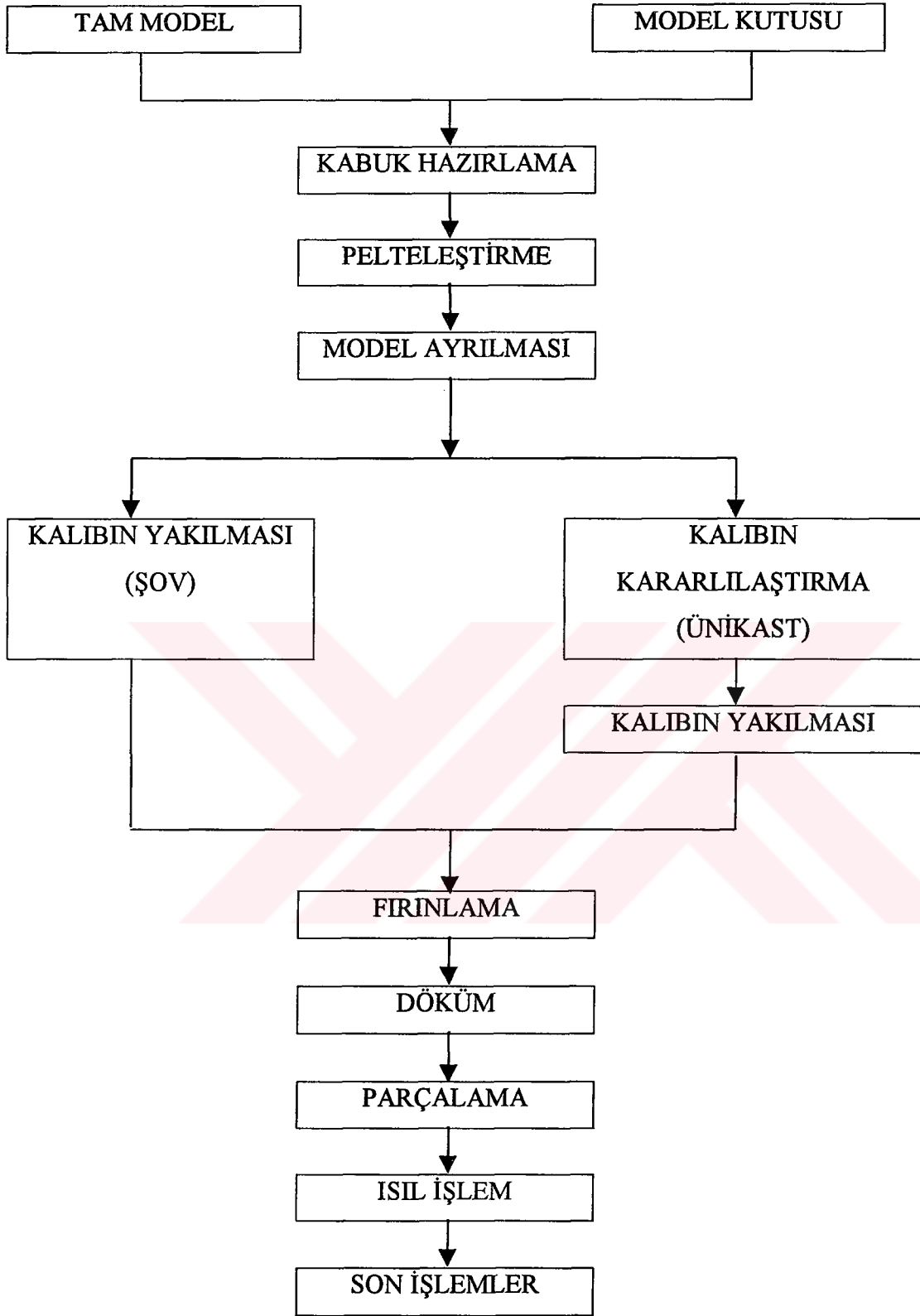
3. SERAMİK KALIBA DÖKÜM

Seramik kalıplama aşağıda anlatılan, patentlenmiş iki yöntemle yapılır. Seramik kalıplamada kalıcı modeller ince taneli zirkondan ve kavruk edilmiş yüksek alüminalı mullitten yapılmış bulamaç kullanılır. Seramik kalıplar da, hassas dökümde olduğu gibi dökümden sonra bozulur. Her iki yöntem de ince detaylı, çok temiz yüzeyli parçalar elde etmeye ve yüksek sıcaklıklarda eriyen çelik ve süper alaşımların dökümüne elverişlidir. Isıl kararlılıkları çok iyi olup metale yapışmazlar. Seramik kalıplamanın iki önemli uygulama alanı vardır. Birincisi, mum model kullanan hassas döküm yöntemiyle yapılmayacak kadar büyük ve salkım halinde elde tutulması zor parçaların kalıplanması, diğeri, dökülecek parça sayısının, metal kalıp yerine kalıcı model yapımını tercih ettirecek kadar az olduğu durumdur.

Seramik kalıplama sadece boyutsal toleransların ve yüzey temizliğinin önemli olduğu durumlarda değil, aynı zamanda bu yöntemle dökülen parçaların sağlamlığı ve metal olmayan kalıntıları içermediği için de tercih edilir. Kalıcı modeller mum modellerden daha iyi boyutsal toleranslara sahiptir ve işlem sırasında mum modellerden daha az çarpılma tehlikesine maruzdur. Başlangıçta seramik kalıplamanın en büyük dezavantajı malzeme maliyetiydi. Sonraları seramik yüzey maddesinin arkası ucuz güçerir ile desteklenerek, zirkon, mullit ve bağlayıcılara duyulan ihtiyaç azaltılmıştır. Diğer taraftan bu durumda destekleme malzemesinin %80-90'ı yeniden kullanılmak için kazanılabilmektedir.

Alüminyum, bakır (bilhassa berilyumlu bakır), titanyum ve nikel alaşımları ve demir asıllı alaşımlardan küresel grafitli dökme demirler, karbon çelikleri, düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler ve takım çelikleri bu yöntemle dökülebilirler.

Dökülebilecek parçaların cinsleri kullanılan alaşıma yakından bağlıdır. Örneğin takım çeliğinden dökülen parçalar için dövme kalıpları, pres kalıpları, darçıkım kalıpları gösterilebilir. Paslanmaz çeliklere örnek olarak gıda makina parçaları, kimya, ilaç ve petrol sanayi için vanalar, cam kalıpları, uçak parçaları verilebilir. Bakır alaşımları için gıda makinalarını ve deniz taşıtlarına ait parçaları gösterebiliriz. Özellikle cam malzeme kalıpları ve dövme-darçıkım kalıpları son yıllarda seramik kalıpta döküm yönteminin en başarılı ve yaygın olarak kullanıldığı alanlardır.(ASM Handbook, 1992)



Ŗekil 3.1 Seramik kalıp ile yapılan dökümün işlem sırası.

Seramik kalıba döküm Şekil 3.1.'de de görüldüğü gibi iki yöntemle yapılmaktadır.

Bunlar;

1. Ünikast(Unıcast) Yöntemi,
2. Şov(Shaw) Yöntemi

3.1 Ünikast Yöntemi

Ünikast yöntemini kalıp sertleştirildikten sonra kalıba daha yaşken uygulanan kararlaştırma işlemidir. İşlemin avantajları aşağıda verilmiştir;

1. Talaşlı şekillendirme ve diğer alternatif yöntemlere göre üretim maliyeti oldukça düşüktür.
2. Modeller ucuzdur ve kısa sürede hazırlanabilirler.
3. Modeller, dövme kalıplarından daha uzun ömürlüdür.
4. Talaşlı şekillendirme ile verilemeyecek yüzey detayları verilebilir.
5. Yöntem hem küçük hem büyük parçalarda kullanılabilir.

3.1.1 Ünikast Karma Kalıp

Ünikast karma kalıpların hazırlanmasındaki işlem sırası, ince yüzey seramiğinin dökülmesi ve iri taneli kum ile destek kalıbın hazırlanmasıdır.

Ünikast ve şov yöntemleri ile üretilen parçaların kaliteleri ve yüzey bitimleri benzerdir. Bu nedenle dökümhanelerin çoğu her iki yöntemi de kullanmaktadır. Küçük parçalarda tam kalıp kullanılmasına rağmen büyük parçalar ve çok sayıdaki parçalar karma kalıplarda dökülürler. Karma kalıplarda yüzey tabakası kalınlığı 6-13 mm arasındadır. Karma kalıplar seramik malzemeden tasarrufun yanında makineleşmiş üretime de daha yatkındırlar.

3.1.2 Dökülebilen Alaşımlar

Bu yöntemle, hem demir asıllı hem de demir dışı alaşımların dökümü 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.

3.1.3 Seramik Bulamaçlar

Ünikast yöntemindeki bulamaç ince toz halindeki zirkon ve sulu ayrışma etil silikat gibi bir organik bağlayıcı karışımıdır. Destek malzemesi ise kaba kum (güçerir) ve karbondioksitle sertleşen bir bağlayıcıdır.

Kalıp kararlaştırma, pelteleşmeden sonra kalıba uygulanan sertleştirme işlemidir. Bağlayıcının kimyasal tepkimesi aynı olmakla beraber şov ve ünikast 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.

Şov yönteminde pelteleşme sonrası alkolün bünyeden hızla uzaklaştırılması gerekir. Bu, bünyenin pelteleşme tepkimesinden hemen sonra bir üfleçle yakılması ile sağlanır. Yakma, model kalıptan ayrılır ayrılmaz yapılı ve havadaki rutubetin ivmelendirici rolü oynadığı aşırı moleküler büyümeyi önler. Optimum bağlayıcılık ve fazla çatlamları önlemek için tepkimeyi durdurmak şarttır.

Ünikast yönteminde pelteleşmiş kalıp bir sıvı sertleştirme banyosuna veya buhar atmosferine daldırılarak kalıbın yaşlanması, iç kararlılığı sağlanır. Kalıp bağlayıcısının bileşimine bağlı olarak çeşitli sertleştirme ortamı kullanılır. Örneğin etil silikat bağlayıcı için etil alkol kullanılır çünkü bağlayıcı sulu ayrışma 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.

Son sertleştirme pişirmesi, sertleştirme banyosunu takip eden ve 980°C'deki bir fırında yapılır. Fakat doğrudan alevle temas eden pişirme de uygulanabilir.

Şekil 3.1’de tipik bir işlem sırası verilmiştir. Model derece içerisine konur ve 5-10 µm kalınlığında ince taneli seramik bulamacı püskürtülerek model yüzeyine kaplanır. Kaplama hemen destek malzemesini taşıyacak sertliği alır. Yüzey tabakası üzerine ucuz bir destek malzemesi 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).

3.2 Şov Yöntemi

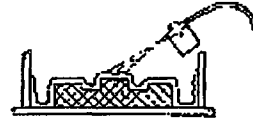
Şov yöntemi ile seramik kalıpların eldesi U.S. Patent 2,795,022’de şöyle tanımlanmaktadır; güçler özelliğine sahip seramik tozlar etil silikat ve asit karakterli ivmelendirici ile karıştırılır. Bu karışım model üzerine dökülür. Pelteleşme sonunda kalıp modelden sıyrılır ve süratle yakılarak mevcut uçucular bünyeden uzaklaştırılır. Kalıp alev aldıktan sonra uçucuların tamamı bünyeden uzaklaşana kadar kendi halinde yanmaya devam eder.

Yakılma sırasında bulamaçtaki alkolün hızla buharlaşmasının ve katı faz tepkimelerin etkisiyle yüzeyde üç boyutlu mikroçatlaklar oluşur. Mikroçatlaklar metalin giremeyeceği kadar küçük, fakat kalıptan hava ve diğer gazların çıkışını sağlayacak ve seramiğin genişlemesini karşılayacak kadar büyüktür. Mikroçatlaklar bu nedenle yüzey kalitesini bozmadan kalıba boyutsal kararlılığı verir.

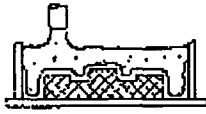
Şov yönteminde son kademe pişirme işlemidir. Bütün uçucular uzaklaşır ve sulu ayrışma etil silikat bağlayıcıdan arta kalan dağılmış haldeki silikanın oluşturduğu SiO₂ bağı, erime sıcaklığı olan 1710°C’ye kadar kararlı haldedir ve kalıba dökülen erimiş metalin yenim etkisine karşı duracak kadar bir dayanım verir. Bu özelliği verebilmek için pişirmenin

**Model pozisyonu**

Model şekilde görüldüğü gibi derece içine yerleştirilir ve sabitlenir.

Adım 1**Kaplama**

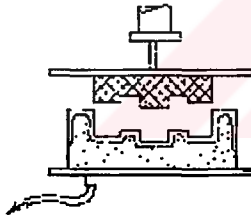
Model yüzeyine ince taneli seramik bulamaç kullanılarak ince seramik kaplama yapılır. Kaplama dökülür dökülmez yapışkan ve destek malzemesini almaya hazır hale gelir.

Adım 2**Destekleme**

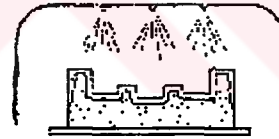
Seramik destek malzemesi kaplanmış yüzeyin üstüne derece dolana kadar doldurulur.

Adım 3**Kalıp**

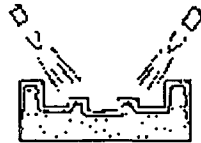
Derecenin çeperleri alınır, vakum tespit plakası şeklindeki gibi yerleştirilir. Bütün parça kalıp ayırma makinesine yerleştirilir.

Adım 4**Kalıp alma**

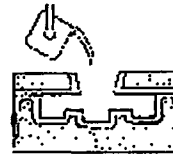
Kalıp vakum altında modelden ayrılır.

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 3.2 Ünikaş Yönteminin işlem sırası (ASM Handbook, 1992).

500°C'nin üzerinde yapılması gereklidir. Bazı dökümhaneler 800-1000°C arasındaki bir sıcaklık değerinde pişirme yapabilmektedir. İki tür pişirme yöntemi uygulanmaktadır. Birincisi yüzey ısıtılmasıdır ki bu uygulamada yüzey üfleç veya elektrik ile ısıtılır. Bu uygulama hızlı ve ekonomik olmasından dolayı tercih edilebilir ama her zaman arzu edilen sonuçları da verememektedir. İkinci yöntem ise kalıbın elektrik veya gazlı fırınlarda ısıtılması ile yapılabilmektedir. Avantajı ise sonradan malzeme yüzey kalitesini düşürebilecek uçucu ve rutubetin tamamen uzaklaştırabilmesidir. Normal pişirme süresi 4 ila 6 saat arasındadır. Pişirmeden sonra kalıplar döküme hazırdır ama kalıplara hemen döküm yapılmayacaksa kalıp mutlak olarak hava ile teması kesilecek bir ortamda depolanmalıdır.

Kalıpların üretimi aşamasında seramik toz olarak silika, alümina, zirkon, zirkonya ve seramik oksitler kullanılabilir. Hangi tip malzemenin seçileceği tamamen dökülecek olan metalin erime sıcaklığına bağlıdır.

Seramik kalıplamada kullanılan modeller; ağaç, epoksi, alüminyum, pirinç, takım çeliği veya dökme demir olabilir. En fazla kullanılanları ise ağaç, epoksi ve alüminyumdur.

Birbirinden farklı iki kalıplama yöntemi vardır. Tam seramik kalıp ve güçerir destekli seramik yüzeyli karma kalıp. Yöntemin seçimi, dökülecek parçanın boyutlarına ve kalıplama malzemesinin maliyetine göre belirlenir (ASM Handbook, 1992).

3.2.1 Seramik Kabuğun Hazırlanması

Seramik kabuğun ana maddeleri; kavruk (kalsine) mullit, toz zirkon veya bunların karışımıdır. Bunlarla beraber kaynaşık (fuse) silika, magnezyum, alümina, zirkonya ve güçerir oksitler veya silikatlar kullanılabilir. Hangi tip malzemenin seçileceği dökülecek olan metalin erime sıcaklığına bağlıdır (U.S. Patent, 2,795,022).

Örneksel bir bulamaç, %75 zirkon ve %25 kavruk mullitin sulu ayrışma etil silikat bağlayıcı ile karışımı sonucu elde edilir (1 kg. seramik toza 100 ml bağlayıcı). Hazırlanan karışımın belirlenen sürede katılaşması için küçük miktarda pelteleştirici katılır.

Hazırlanan bulamacın dökülmesi basınçsız bir işlemdir. Buna rağmen özellikle modelde ince ayrıntıların olması durumunda bulamacın modeli sarması, ince detayların ortaya çıkması ve

hava boşluklarının oluşmaması için titreşim veya vakum uygulaması yararlı olur(ASM Handbook, 1992).

3.2.2 Şov Tam Seramik Kalıp

Şov tam seramik kalıp, tamamıyla yüzey seramiğinden yapılır. Şov tam seramik kalıp üretim yöntemi Şekil 3.3'de verilmiştir.

Hazırlanan bulamaç, bir plaka üzerine konulmuş model etrafına bir derecenin yerleştirilmesinden sonra dökülür. Kimyasal pelteleşme tamamlandıktan sonra yaş kalıp modelden sıyrılır.

Kalıp yüzeyi bir üfleç ile ateşlenir ve uçucu maddeler yakılır. Yakılma sırasında bulamaçtaki alkolün hızla buharlaşması ve katı faz tepkimeleri ile yüzeyde üç boyutlu mikroçatlaklar oluşur. Oluşan üç boyutlu mikroçatlaklar döküm esnasında erimiş metalin giremeyeceği kadar küçük fakat kalıptan hava ve diğer gazların çıkmasını sağlayacak ve seramiğin genleşmesini karşılayacak kadar büyüktür.

Pişirme işlemi ise son kademedir. Kalıp içerisinde kalmış olan uçucular uzaklaştırılır. Oluşan SiO₂ bağları, erime sıcaklığı olan 1710°C'ye kadar kararlıdır. Kalıp 500°C üzerindeki bir sıcaklıkta pişirilir.

İki tür pişirme yöntemi uygulanmaktadır. Birinci yöntem yüzeyin üfleçle ısıtılması. Bir diğeri ise pişirmenin elektrikle veya gazlı fırınlarda yapılmasıdır. Pişirme zamanı 4-6 saat arasındadır. Pişirme işleminden sonra kalıp döküme hazır hale gelmiştir.

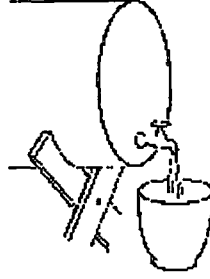
3.2.3 Şov Karma Seramik Kalıp

Şov karma seramik kalıpta destek, kum(güçerir) ve bağlayıcıdan ibarettir. Kum ve bağlayıcı bir değirmende karıştırılarak geniş model üzerine dökülür. Sertleştirme için CO₂ gazı verilir.

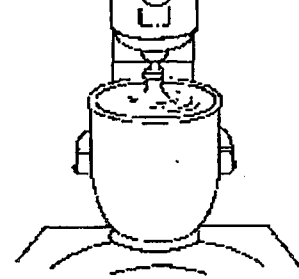
Hazırlanan kum destek ile kalıp maliyeti önemli oranda düşürülür. Karma kalıbın üretim yöntemi Şekil 3.4'te verilmiştir. Karma kalıbın yapılabilmesi için geniş model ve bitim modeline ihtiyaç vardır. Geniş model seramik yüzey malzemesinin doldurulabilmesi için 1-2

**Güçerir**

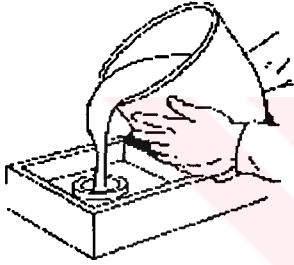
Özel karıştırılmış çeşitli güçerir tozları gruplarından oluşur.

Adım 1**Bağlayıcı**

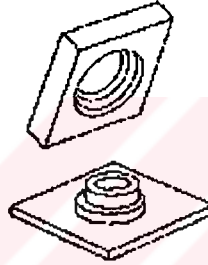
Etil silikat bazlı ve özel formüle edilmiş bağlayıcı karışımı kullanılır.

Adım 2**Karıştırma**

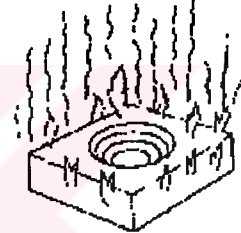
Ufak miktarda pelteleşme maddesi bağlayıcı karışımına katılır ve bulamaç üretimi için seramik tozla karıştırılır.

Adım 3**Model**

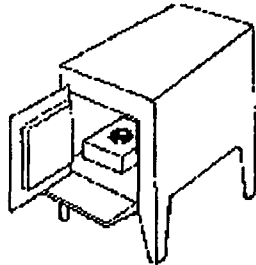
Bulamaç ahşap, metal, alçı, plastik veya benzeri malzemelerden yapılmış model üzerine dökülür. 2 – 3 dakika pelteleşmesi için beklenir.

Adım 4**Ayrırma**

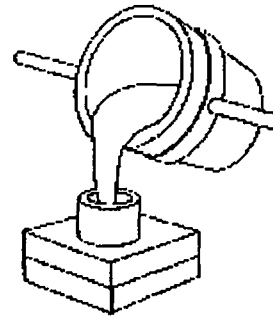
Pelteleşmiş güçerir modelden elle veya mekanizma yardımıyla ayrılır.

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 3.3 Tam seramik kalıba dökümün işlem sırası (ASM Handbook, 1992).

cm kadar daha büyüktür. Kum destek kalıp ile bitim modeli arasına hazırlanmış olan seramik bulamaç dökülür. Bulamaç bir taraftan modeli sararken diğer taraftan desteğin kaba yüzeylerinden içeri girerek kuvvetli bir mekanik bağ oluşturur. Bulamacın pelteleşmesinden sonra bitim modelinden karma kabuk sıyrılır ve kalıp yakılır. Üfleç ile yakılan kalıp 5-10 dak. içerisinde akkor haline gelir. Bu işlemten sonra kalıp döküm işlemine hazır hale gelmiştir.

3.2.4 Seramik Kalıba Döküm

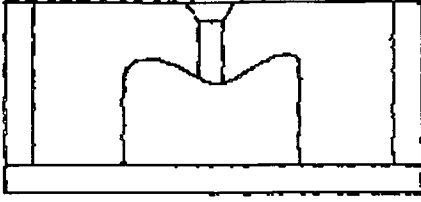
Döküm işleminden önce kalıpların temizlikleri ve sıcaklıkları kontrol edilir. Parça şekline ve alaşımına bağlı olarak kalıp sıcaklıkları dökümden önce 50-550°C arasındadır. Üst derece kapatıldıktan sonra ayırım çizgisinin etrafına çimento çekilir. Emniyet amacıyla ağır kalıplar çelik bir bantla sarılır. Son olarak seramik dikey yolluklar ve ısı verici veya yalıtkan besleyici bilezikler yerleştirilir.

Kalıp sıkı bir şekilde mandallandıktan sonra doğrudan ocaktan veya potadan döküm yapılır (ASM Handbook, 1992).

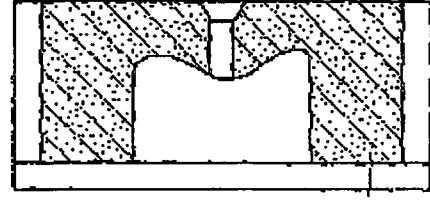
3.3 Seramik Kalıp Üretiminde Kullanılan Seramik Tozlar

İleri teknoloji seramiklerinin önemli bir bölümünü oksit seramikler teşkil etmektedir. Seramik oksitler, yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya uygun metal elementlerin oksijenle yaptıkları bileşiklerdir. Bir çok seramik oksitler iyonik bağlı olup, iyonik bağlı malzemelerin genel karakteristiklerine sahiptir. Bu özellikler, saydamlık, elektrik ve ısı iletimine direnç, ve kimyasal kararlılıktır. Bu özelliklerin yanısıra oksit seramikler, yüksek elastik modül, sertlik, gevreklik, güçerirlik, düşük ısı genleşme ve yenime karşı direnç gibi özellikler de göstermektedirler.

Oksitler, başlıca tek ve karmaşık olarak iki grupta toplanabilir. Tek oksitler, sadece bir metal element içerirler. Buna karşılık karmaşık oksitler, iki veya daha fazla metal içermektedir. Karmaşık oksitler, ya katı eriyik olarak tek faz halinde veya iki veya daha çok fazın mevcut bulunduğu oksit karışımlarını içerir (Geçginli, 1991).



Adım 1

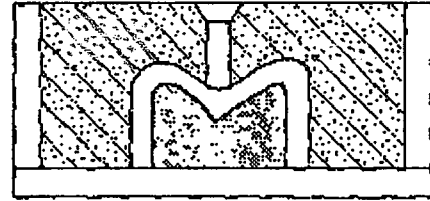


Karbon dioksit ile sertleşen sodyum silikat bağlı güçerir

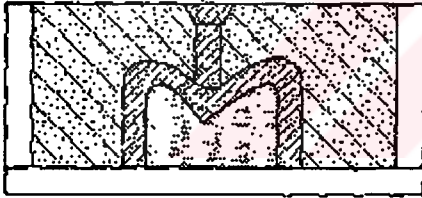
Adım 2



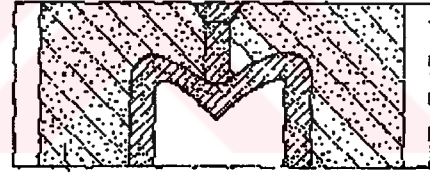
Adım 3



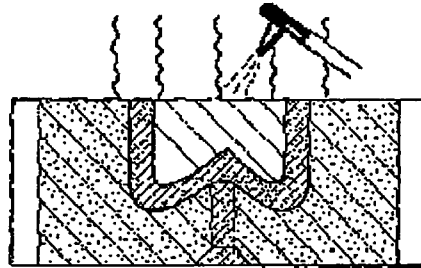
Adım 4



Adım 5



Adım 6



Seramik yüzeyinde mikroçatlaklar oluşur ve üfleçle yüzey kurutulur.

Adım 7

Şekil 3.4 Karma seramik kalıba dökümün işlem sırası (ASM Handbook, 1992).

Çizelge 3.1 de seramik kalıp üretimine uygun seramik tozların kimyasal bileşimi ve erime sıcaklığı verilmiştir.

Seramik tozun seçilmesinde şu kriterler göz önüne alınır.

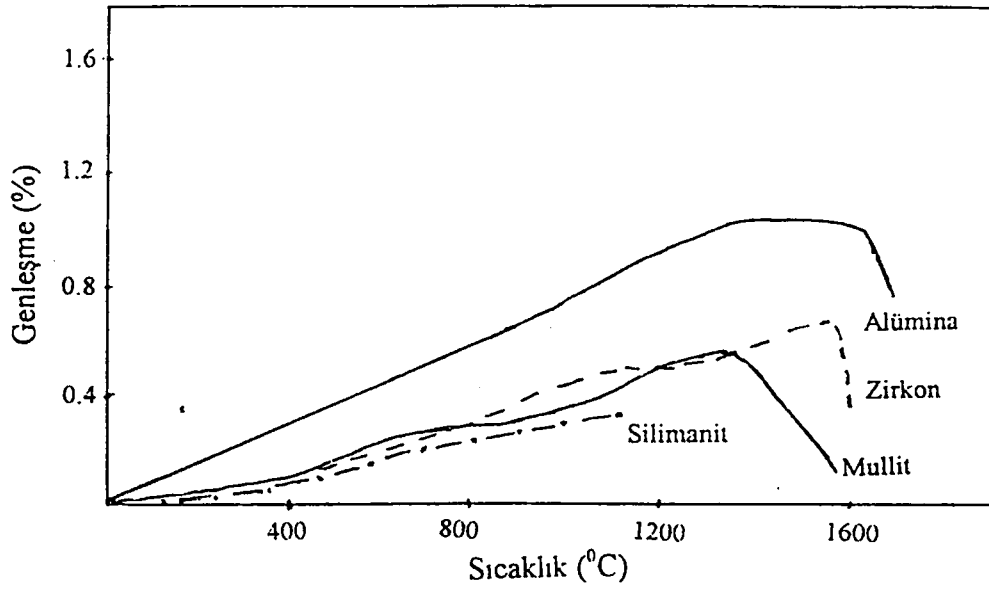
1. Saflık
2. Güçerirlik
3. Kararlılık
4. Isıl genleşme
5. Isıl iletkenlik
6. Tane boyutu ve dağılımı
7. Maliyet

Çizelge 3.1 Seramik kalıp üretimine uygun seramik toz malzemeler (Geçginli, 1991).

MALZEMELER	KİMYASAL FORMÜL	ERİME SICAKLIĞI(°C)
Magnezya	MgO	2800
Zirkonya	ZrO ₂	2677
Kalsiya	CaO	2600
Zirkon	ZrO ₂ .SiO ₂	2420
Kalsiyum Zirkonit	CaO.ZrO ₂	2345
Magnezya Spinel	MgO.Al ₂ O ₃	2135
Alümina	Al ₂ O ₃	2015
Mullit	3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	1830
Silika	SiO ₂	1723

Seçilen seramik toz denge göstermelidir, hidrasyona, kalıp veya metal ile tepkimeye girmemelidir. Isıl denge de oldukça önemlidir. Malzemede genleşme kaçınılmazdır, ısı denge bu genleşmenin daha önceden hesaplanmış veya tahmin edilmiş değerler arasında kalmasını sağlar. Ancak seramik tozlarda alkali metal tozları veya demir oksit gibi maddeler erime sıcaklığını düşürebilir. Şekil 3.5'te bazı seramik tozların genleşme değerleri verilmiştir.

Maliyet seramik toz malzemelerin seçiminde önemli bir etmendir. Saflık ve tane büyüklüğü gibi etmenlerden etkilenir.



Şekil 3.5 Seramik tozların sıcaklığa bağlı genleşme eğrileri (Geçginli, 1991).

Seramik kalıp yapımında en çok kullanılan seramik tozların yoğunluğu ve erime sıcaklığı Çizelge 3.2’de verilmiştir

Çizelge 3.2 Kalıp yapımında kullanılan seramik tozların yoğunluk ve erime sıcaklıkları (Geçginli, 1991)

SERAMİK MALZEMENİN ADI	YOĞUNLUK (gr/cm ³)	ERİME SICAKLIĞI (°C)
Zirkon	4.5	2200-2870
Mullit	3.1	1704-1815
Silimanit	3.0	1545

3.3.1 Zirkon

$ZrSiO_4$ veya $ZrO_2 \cdot SiO_2$ formülü ile gösterilen zirkon kumsallarda bolca bulunmakta ve en fazla Avustralya, Güney Afrika, Hindistan ve ABD’de üretilmektedir. Türkiye’de ise Şile bölgesindeki sahil kumlarında bolca bulunmaktadır. G.Önal, N. Acarkan, V. Gürkan, S.

Acarkan, B. İpekoğlu'nun yaptığı çalışmanın sonunda elde edilen zirkonun kimyasal bileşimi Çizelge 3.3 de verilmiştir. Elde edilen değerlere göre bu bölge önemli bir zirkon yatağıdır.

Çizelge 3.3 Seramik toz malzemelerinin alaşım oranları (Geçginli, 1991).

ELEMENTLER	ALAŞIMLAR(%)
ZrO ₂	53.71
SiO ₂	30.36
Al ₂ O ₃	0.11
CaO	0.15
Fe ₂ O ₃	3.2
MgO	0.83
TiO ₂	10.41
Na ₂ O	0.11

Zirkon genellikle sahil kumlarından rutil (TiO₂) ile birlikte bulunmaktadır. Zirkonlu kumlardan hafif elementler gravite yöntemiyle ayrılır.

Zirkonun erime noktası 2420⁰C olup alüminyum gibi bazı erimiş metallere karşı ıslatma direnci yüksektir. Ayrıca asidik kimyasal maddelere, cürufa ve cama karşı direnci yüksektir. Zirkonun genleşmesi çok düşük olduğu için ısı şok direnci fazladır. Isıl ile kristal yapısı değişmez fakat 1730⁰C'nin üzerinde parçalanır. Bu parçalanma zirkonun sıcaklıktaki ısı şok direncini olumsuz yönde etkiler. Zirkon suda, mineral asitlerinde ve alkalilerde çözünemez ve sülfürik aside karşı direnci mükemmeldir.

Zirkon, güçerir ve seramik endüstrisinde ve özellikle cam endüstrisinde, camın alkali tepkimelerine karşı dayanıklı olduğundan tankların iç yüzeyini kaplamada kullanılmaktadır. Zirkon, alümina ve magnezya ile karıştırıldığında yenim ve ısı şok dayanımı artırılmış güçerirler elde edilmektedir.

Dökümhanelerde güçerir kullanımı dışında, kalıp hazırlanmasında zirkon kumu ve zirkon unu kullanılmakta ve silika kalıplara göre daha iyi olduğu bildirilmektedir. Zirkonun ısı iletiminin silikadan daha iyi olması nedeni ile zirkon kumundan kalıba dökülen metal daha çabuk soğumaktadır.

Devamlı çelik dökümü yapan dökümhanelerde erimiş metalin aktığı memeler zirkondan yapılmaktadır. Çünkü zirkon yüksek aşınma dayanımına sahip olduğundan daha dengeli bir döküm hızı sağlamaktadır. Ayrıca kabuk kalıplama ve hassas döküm yöntemlerinde de kalıplar zirkon kumundan hazırlanmaktadır. Burada da zirkonun yüksek ısı iletimi, güçerlilik ve düşük ısıl genleşme gibi özelliklerinden yararlanılmaktadır.

Seramik endüstrisinde 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 nedenlerle sırlar yaygınlaşmıştır. Zirkon ayrıca bazı seramik boyaların (pembe renklerin bir kısmında) hazırlanmasında da kullanılmaktadır.

Zirkon doğada yaygın olarak bulunduğundan, zirkonya ve diğer zirkonyum bileşikleri zirkondan elde edilebilmektedir (Kınıkoğlu, 1992).

3.3.2 Mullit

Mullit, alüminasilikat seramiklerinde en çok bulunan fazlardan birisi olduğu halde, doğada çok az rastlanır. İlk olarak İskoçya'da Mull adasında bulunduğu için mullit adı verilmiştir. Düşük ısıl genleşme, yüksek erime noktası, sürünme dayanımı, kimyasal yansızlık gibi özellikleri mullitin son yıllarda yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilen malzemeler arasına girmesini sağlamıştır. Yapılan araştırmalar bu özelliklerin ancak bir kısmının normal üretim koşullarında elde edilebildiğini göstermiştir. Kuramsal yoğunlukta malzeme elde etmek için 1700°C'nin üzerinde uzun süreli sinterleme yapmak gerekmektedir. Bu yüzden mullitin kuramsal yoğunluğa yakın yoğunlukta ve tek fazlı bir malzeme olarak elde edilebilmesi güçtür. Bu nedenle çeşitli araştırmacılar sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, sol-jel üretimi gibi yöntemler kullanarak bu özellikleri optimize etmişlerdir.

Mullit kaolen tipi minerallerin ısıtılması ile oluştuğu gibi, alümina-silika karışımlarının tepkimesi sonucu da elde edilmektedir.

$Al_2O_3-SiO_2$ sistemi seramikte en önemli ikili sistemlerden birisi olup, bu sistemde oluşan tek ara bileşik mullittir. Dolayısıyla bu sistem basit görünmekle birlikte en çok incelenmiş olan konulardan birisidir.

Mullit ortorombik yapıda ve $3.16-3.22 \text{ g/cm}^3$ teorik yoğunluğa sahip bir alüminasilikat malzemedir. Sertliği Moh ölçeğinde 7.5 olup, erime sıcaklığı $\approx 1850^\circ\text{C}$ 'dir. Düşük ısı genleşmeye ($20^\circ-1000^\circ\text{C}$ arasında $5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) ve yüksek sürünme dayanımına sahip olduğundan yüksek sıcaklık özellikleri iyi olan malzemeler arasındadır. Kırılma tokluğu ve dayanımı oda sıcaklığında alüminadan düşük olmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda alüminadan daha iyidir (Kınıkoğlu, 1992).

3.3 Silimanit

Silimanit ve iki değişik şekli (Kyanit-Andalusit) ortorombik kristal yapıya sahiptirler ve mullitin yapısına benzerler. Pişirme sırasında değişik sıcaklıklarda mullit+sıvı fazlarına dönüşürler.

Silimanitin kimyasal bileşimi $\%35.7 \text{ SiO}_2$, $\%62.3 \text{ Al}_2\text{O}_3$, $\%1.7 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $\%0.2 \text{ TiO}_2$, $\%0.1 \text{ MgO}$ şeklindedir. Silimanit minerali atmosferik basınç altında yüksek sıcaklıkta (1545°C) mullit fazına dönüşür. Bu durumda hacmen genleşme $\% 5-6$ civarında olur.

Kyanit minerali ise $1350-1380^\circ\text{C}$ arasında $\%17$ genleşir. Onun için ancak kavruk edilerek kullanılabilir.

Andalusit minerali ise $1380-1400^\circ\text{C}$ 'de mullit dönüşümüne uğrar. $\%5-6$ hacimce genleşme gösterir. Genleşme derece derece meydana geldiği için kavruk edilmesine gerek yoktur (Geçginli, 1991).

3.4 Bağlayıcılar

Seramik kalıp üretiminde bağlayıcı olarak organik silikatlar kullanılmaktadır. Ancak ucuzluğu ve elde edilebilirliğinden dolayı etil silikat çokça tercih edilenidir. Kalıp üretiminde etil silikat kullanılmakta ise de alkolün sulu ayrışma ile kazanılan başka bir alkali silikat ta kullanılabilir (U.S. Patent 2,795,022).

Kullanılan bağlayıcıdan beklenen özellikler;

1. Modeli tam olarak ıslatabilmeli
2. Model üzerinde tahribat oluşturmamalı

3. Herhangi bir toz karışımının bünyesine alındığında yüzeye çıkmamalı veya karışıma katılan tozların dibe çökmesini engellemeli
4. Oda sıcaklığında karışıma katılan tozları yapıştırabilecek konumda olmalıdır(Shklennik, 1970)

Etil silikat yukarda sıralanmış olan özellikleri bünyesinde rahatlıkla yansıtabilen bir malzeme grubudur. Etil silikat içerisine farklı bileşimde tamamen birbirlerinden farklı özelliklere sahip katkıların katılımıyla, sunduğu özellikleri birbirlerinden farklı bağlayıcı tipleri elde edilebilir.

3.4.1 Etil silikat

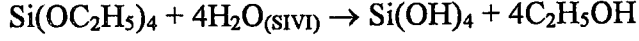
Silika, serbest formda ve metal oksitlerle birleşmiş halde, yeryüzü katı kabuğunun %60'ını oluşturmaktadır. Bu durum onun doğanın temel yapı malzemelerinden biri olmasını sağlar. Kimyagerler yaptıkları araştırmalar esnasında yeni ve daha üstün ürün ararken, sık sık aramış olduğu özelliklerin doğal malzemeler tarafından sunulduğunun farkına varmışlardır. Özellikle silika bu noktada ilginç özellikler taşır. Çünkü bu malzeme 1700°C üzerinde erir ve hidroklorik asit ve güçlü alkaliler dışında tüm kimyasal saldırılara dirençlidir.

Silikatlar üzerine yapılan tüm incelemelerde, silisyum atomu 4 oksijen atomu arasında yer aldığı görülmüştür. Bu düzenin evrensel olduğu görülmektedir. Bragg'a göre silisyum ile oksijen arasındaki bağlar güçlüdür ki 4 oksijen atomu her zaman tetrahedron köşelerinde bulunur. Sabit boyut ile muntazam şekli meydana getirirler. Silika da (SiO_2) her bir oksijen atomu, iki silisyum atomu arasında paylaşılmaktadır. (Cogan ve Setterstrom, 1946).

Bağlayıcılar oluşturdukları oksite göre asit, amfoter veya bazik olarak sınıflandırılmaktadır. Etil silikat bağlayıcılar asit oksit grubunu oluşturur ve kabuk içinde oluşan silikadan meydana gelir. Bunlar geniş kullanım alanına sahip bağlayıcılardır. Karbon çeliği, bakır ve alüminyum alaşım dökümlerinde dayanım verir. Ancak titanyum, krom ve yüksek alaşımlı krom manganez çeliklerinin döküm alaşımları ile reaktiftir. Bu alaşımların dökümlerinde silika içermeyen bağlayıcılar kullanılmalıdır.

Etil silikatın en önemli özelliği, sonsuz sayıda bağlayıcı çözeltilerin hazırlanabilmesidir. Her birinin farklı fiziko-kimyasal ve pratik özellikler vermesidir. Basitçe ilave edilen suyun miktarını, sulu ayrışma için kullanılan ivmelendirici veya çözeltideki silika miktarını değiştirerek çeşitlilik sağlanabilir (Shklennik, 1969).

Silikanın kontrollü biçimde seramik bünyelerine bağlayıcı olarak katılmasını yolu etil silikatın sulu ayrışma ile silisik asitin eldesi ve bu asit bünyesinde bulunan suyun uzaklaştırılması vasıtasıyla silikanın seramik yapısında kalması ile gerçekleştirilir. İşlemin tepkime denklemi şöyledir;



Etil silikat renksiz, ester benzeri yumuşak, kokulu sıvı bir maddedir. Buharlaşma sıcaklığı 168°C'dir. Donma sıcaklığı ise -77°C, alev alma noktası ise 125°C'dir. Etil silikat sulu ayrışma tepkimesine göz gezdirirsek suyun kullanımının zorunlu olduğu anlaşılır ama etil silikat özellik olarak su ile karışabilir bir malzeme değildir. Bu sebepten sulu ayrışma tepkimesi gerçekleşebilmesi etil veya metil alkol, aseton, izopril alkol tarzı malzemelerin kullanılır. I.N. Krivenko yaptığı çalışmada ise genel kabulün aksi bir yaklaşımla etil silikat bağlayıcısının hazırlanması aşamasında sulu ayrışma tepkimesine gerek duyulmayacağını öne sürmekte ve burada su ile etil silikatın karışımı benzen, toluene, ve xylene kullanımı ile gerçekleşebileceği yönündedir. Yalnız bu hususta diğer bilimsel yayınlarda herhangi bir destekleyici bilgiye ulaşamamıştır.

Etil silikat su ile karışabilir değildir. Sulu ayrışmanın çeşitli kullanımı vasıtasıyla, sulu ayrışma sulu bir ortamda içinde ilerlemektedir. Uygulamada etil silikatın çözücülerinden yararlanılmaktadır. Tepkimenin ilerleyebilmesi için kuvvetli bir kışkırtıcı çözücü ve ivmelendirici gereklidir. Bunlara örnek hidroklorik asittir. Bu nedenle endüstriyel kullanımda aseton veya etil alkol gibi çözücüler tercih edilir.

Etil silikatın sulu ayrışma işleminde esas olarak (OC_2H_5) etil grubu, (OH) ile yer değiştirmektedir.



Etil silikatın sulu ayrışmanın tarafsız çözelti içerisindeki tepkimesi oldukça yavaştır. Alkali malzemenin bu işlemde bulunması, tepkimenin şiddetli ve hızlı biçimde ilerlemesine ve pelte veya peltemsi çökeltilerin oluşmasına imkan verir. Mineral asitleri sisteme dahil edilirse, sulu

ayırışma daha yavaş olur. Bu sayede tepkimeyi kontrol etmek oldukça kolaylaşır. Genel uygulamada suyun asitlendirilmesi sulu ayırışmanın ilk basamağında yapılır. HCl asidi genel olarak suya ilave edilir. HCl yoğunluğu %0,3-5 değiştirir ki buradaki miktar donma hızının ne istendiği ve bitirilen ürünlerdeki kabul edilebilir asit miktarı ile seçilir. Diğer mineral asitler de kullanılabilir ama genelde hidroklorür en uygun olanıdır (Cogan ve Setterstrom, 1946).

Genellikle %1,0'lik HCl çözeltisinden toplam çözelti hacminin %0,03-0,1'i kadar katılır (Aluminum Casting Technology, 1986).

3.4.1.1 Etil Silikatın Sulu Ayırışma İşlemi

Etil silikat basit moleküllerden oluşmuş olup bağlayıcı gücü yoktur. Etil silikatın parçalanarak aktif silikanın serbest kalabilmesi için suya ihtiyaç vardır. Buna sulu ayırışma denir (Mills, vd. 1989).

İki tür sulu ayırışma işlemi vardır;

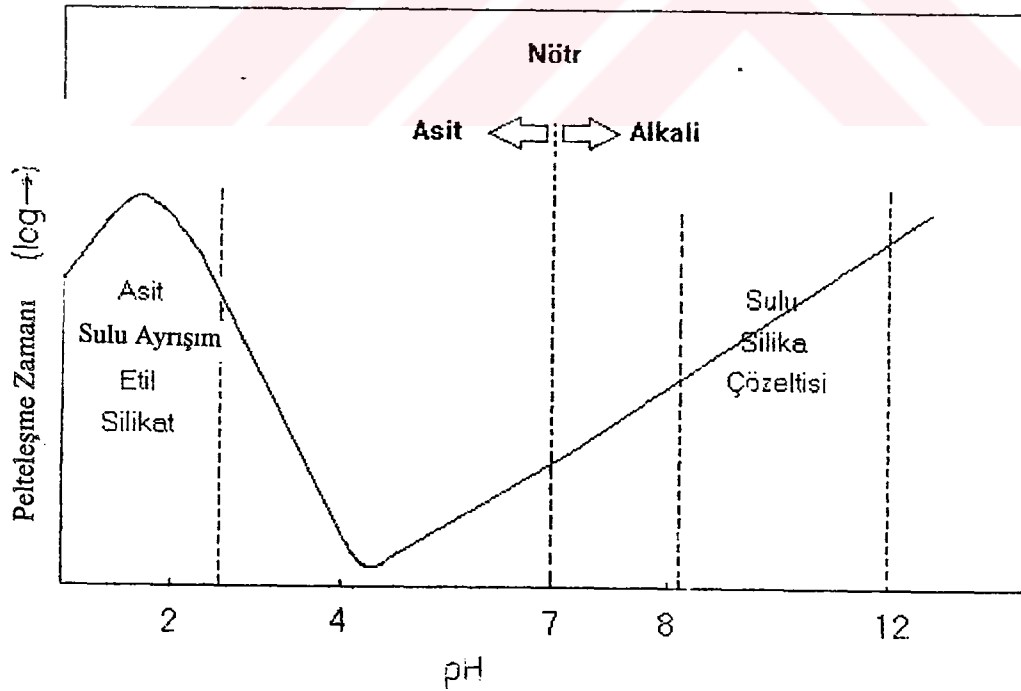
Tek basamaklı sulu ayırışmadan elde edilebilecek maksimum silika miktarı yaklaşık % 17,5 olup bunun sağlanmasında %35 çözücü %8 su ve %57 etil silikat kullanılmaktadır. Çeşitli uygulamalara uygun olmasına karşın iki dezavantajı vardır: Uzun süre kararlı kalamaması ve silika miktarının çok düşük olmasıdır.

Etil silikat çözeltisinde iki basamaklı hazırlama yöntemi yaygın olarak kullanılır. Çözelti eldesinde uygunluk sağlar ve tek basamak metodu ile hazırlanan çözeltilere göre daha fazla silika miktarlı çözelti eldesini sunar. İlk basamak etil silikat veya yoğunlaşmış etil silikatın esterinin kısmi sulu ayırışma çözeltisi ile hazırlanmasıdır. Karıştırma yapıldıktan sonra kısmi sulu ayırışma edilmiş çözelti en az 12 saat bekletilerek, ester ve suyun tepkimeye girmesine imkan verilir. Bu durumun devamında kısmi sulu ayırışma edilmiş çözelti içerisine su ilavesi ile tamamen sulu ayırışma çözeltisi hazırlanır. Tamamen sulu ayırışma edilmiş çözelti kullanımdan en az 8 saat önce hazırlanmalıdır. Çizelge 3.4'te etil silikatın çeşitli sulu ayırışma formülleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 Sulu ayırışma etil silikat formülleri (American Foundrymen's Society, 1986).

Silika içeriği (gm/100cc)	10	15	20
ES 40	23.5	35.0	47.0
Etil alkol %95'lik	76.5	62.8	48.2
Su + HCl	--	2.2	4.8
ES 28	37.8	56.6	75.5
Etil alkol %95'lik	59.0	36.0	12.9
Su + HCl	3.2	7.4	11.6

Şekil 3.6'da görüldüğü üzere sulu ayırışma yapılmış etil silikat, pH 1.7-2.2 aralığında kararlı olup, pH 5'te ise kararlı değildir. Pelteleşme ve pH arasındaki karakteristik ilişki, magnezya ilavesi ile yavaşlarken, doymuş amonyum asetat ilavesiyle pelteleşme hızlanır (Aluminum Casting Technology, 1986).



Şekil 3.6 pH'ın silika bağlayıcılarda pelteleşme zamanına etkisi (Aluminum Casting Technology, 1986)

Etil silikat kullanılan ortamlarda sağlık hususlarına da dikkat etmek gereklidir. Etil silikat göze direkt teması halinde ciddi bir tahribat oluşturmaz ama tüm organik çözücüler gibi etil silikatın buharı akciğerlerde tahribata sebep olabilmektedir. Ama endüstriyel deneyimler bu yönde bir bilgi yoktur. Yine de silikanın akciğerler için ölümcül bir hastalık olan silikosis'e sebep olduğuna dair derin şüpheler vardır. Bu konuda araştırmalar devam etmekte olup endüstriyel tesislerde gözetim altında tutulmaktadır.



4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler

4.1.1 Mullit

Adı: Sintered Mullite 73

Tane boyutu: 80 µm (0-0,08 mm)

Üretici Firma: Keith Ceramic Materials Ltd. U.K.

4.1.2 Zirkon

Adı: Silicato di Zirconio S Z6

Tane boyutu: ≤74 µm

Üretici Firma: Macina minerali SPA İNZAGO [MI]

4.1.3 Destek Kumu

Çizelge 4.1 Destek kumu elek analizi

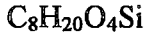
Elk Mm.	Elek Üstü	%
2000	--	--
1600	--	--
1000	1,047	2,094
0,710	7,470	14,940
0,500	21,990	43,980
0,355	16,347	32,694
0,250	1,967	3,934
0,180	0,960	1,920
0,125	0,219	0,438
00,90	--	--
00,63	--	--
TAVA	--	--

Çizelge 4.2 Destek kumu kimyasal bileşimi

Rutubet %	4
Kil %	0,13
SiO ₂ %	98
FeO ₃ %	--
Kireç %	--
Ateşe Dayanma °C	1650

Üretici Firma: ÇELİKTAŞ A.Ş. Şile/İstanbul

4.1.4 Etil Silikat



Kırılma mukavemeti	: (20°C 589nm) 1,3825
Buharlaşıma basıncı	: (20°C) < 100 hPa
Yoğunluk	: (20°C) 0,93 gr/cm ³ (0,932-0,934)
Patlayıcı limiti	: 1,3 – 23 Vol %
Alev alma sıcaklığı	: 38°C
Suda çözünürlük (karışabilirlik)	: (20°C) karışmıyor.
Molarite	: 208,33 gr/mol
Donma sıcaklığı	: -77°C
Kaynama sıcaklığı	: 169°C
Tutuşma sıcaklığı	: 270°C

Yanabilir, sağlığa zararlı, tahriş eder.

Üretici Firma: MERCK KgaA Germany

4.1.5 Karbofen (Carbophen 6168)

Özellikler : KARBOFEN 6168 CO₂ gazı ile sertleştirilen bir alkali fenolik reçinedir. Reçine çok düşük bir koku seviyesine sahiptir. Normal sodyum silikatlarla karşılaştırıldığında, kum karışımına çok iyi akışkanlık kazandırır. Karbofen 6168 ile üretilen maçalar rutubete karşı çok yüksek dayanım ve döküm sonrası çok iyi boşalma özellikleri gösterir.

Uygulamalar : Bilinen her tür metal dökümü için maçalar ve kalıpların üretimi.

Teknik veriler : Görünüm : Sarımtırak sıvı

Yoğunluk (20°C) : 1,305 g/cm³

Viskozite (20°C) : 340-400 mPa.s

pH değeri : 13

Saklama ömrü : Yaklaşık 3 ay (15-20°C)

Kullanma Yöntemi : Karbofen 6168 tek bileşenli bir bağlayıcıdır. Bağlayıcının karışım oranı kullanılan kumun kalitesine göre %2.5 ile %4 arasında değişir. Dökümün yüzey kalitesini arttırmak için alkol veya su bazlı bir boya tavsiye edilir.

Karışım:

100 kısım silika kumu AFS 52

2.7 kısım Karbofen 6168

Gaz basıncı: 1 Bar CO₂Eğme mukavemeti: N/cm²

Uygulanan gaz süresi	derhal	1 saat	24 saat	72 saat
15 saniye	70	140	160	180

Önlemler : Bu reçine kuvvetli bir alkali sıvıdır. Tüm sentetik reçineler gibi bu reçine de cilt tahrişine sebebiyet verebilir. Bu nedenle operatörler daima endüstriyel eldiven kullanmalıdırlar. Bununla birlikte gözler de sıçramalara karşı korunmalıdır. Kaza ile temas halinde, temasa maruz kalan bölgeler bol su ile yıkanmalıdır.

Üretici Firma: METKO-HÜTTENES ALBERTUS

4.2 Kullanılan Aletler**4.2.1 pH Metre**

İsim: pH 538, WTW

Standart Laboratuvar tipi, pH-mV-Sıcaklık-Ölçme, pH 538, WTW

Teknik Özellikleri:

Ölçüm Aralığı: pH : -2,00+16,00

mV : -1250....+1250

°C : -5+99,9

Hassasiyet : pH : ± 0,01 ± 1 basamak

mV : ± 2 mV ± 1 basamak

°C : ± 0,1 K ± 1 basamak

4.2.2 Karıştırıcı

İsim: Janke & Kunkel RW 20.n IKA-LTS

Teknik Özellikler:

Hız Kademeleri : 60-500 + 240 – 2000 dev/dak (dak⁻¹)

Motor Gücü : 70/30 Watt

4.2.3 Titreşimli Elek

İsim: Octagon 200, Endecotts Limited, London/ENGLAND

Teknik Özellikler:

Titreşim Aralığı : 0 – 10

Volt : 220 – 340

Frekans : 50

4.2.4 Kum Karıştırıcı

İsim: Ridsdale & Co Ltd., Middlesbrough/ENGLAND

Teknik Özellikler:

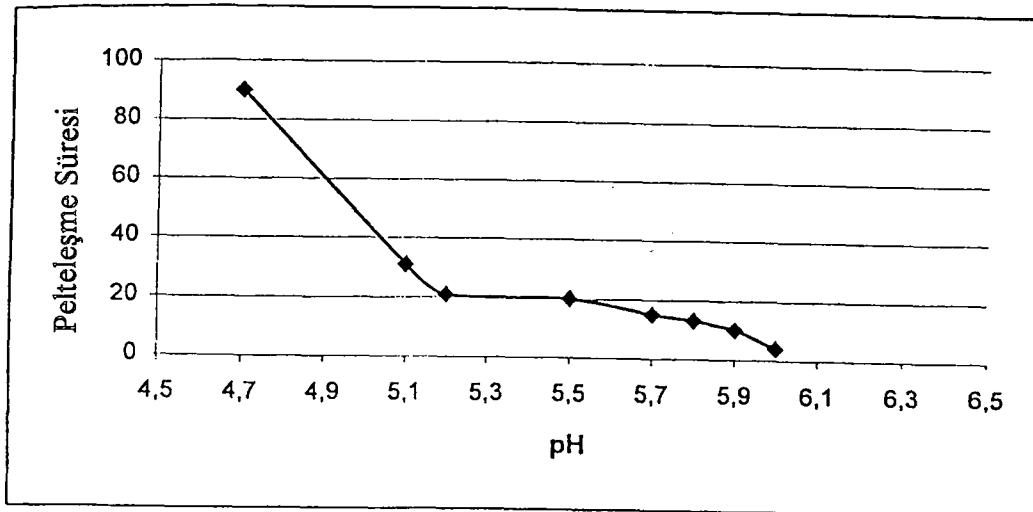
Hız : 36 dev/dak

Volt : 220

4.3 Bağlayıcının Pelteleşme Süresinin Belirlenmesi

Karma seramik kalıp yapımında kullanılacak olan bağlayıcıdan hazırlandı. Hazırlanan bağlayıcı %15,3 HCl, %49 etil alkol ve %35,7 etil silikattan oluşur.

Bağlayıcı içerisine farklı yüzdelerde doymuş amonyum asetat (pelteleştirici) konarak pH değerleri ölçüldü ve pelteleşme süreleri tespit edildi. Şekil 4.1.'de bu değerler verilmiştir.



Şekil 4.1 Pelteleşme süresi- pH bağıntısı.

4.4 Seramik Karma Kalıp Yapımı

4.4.1 Destek Kalıp Yapımı

4.4.1.1 Alt Destek Kalıp Yapımı

Alt destek kalıp için gerekli olan kum tartıldı (3000 gr.). Kum miktarının ağırlıkça %4 oranında karbofen reçine tartıldı. Kum ve reçine kum karıştırıcısına konuldu. Karıştırıcıda 15 dakika süre ile karıştırıldı. Bu esnada ahşap kum kalıp model silikon kalıp ayırıcı ile kaplandı. Karışım, ahşap kum kalıp model üzerine dökülerek, şişlendi. Sistem kapalı bir ortama alındı. Karbondioksit gazı, 3 atü basınç, 3 dk. süre ile verildi. Kalıp sertleştikten sonra ters çevrilerek modelden sıyrıldı.

4.1.1.2 Üst Destek Kalıp Yapımı

Üst destek kalıp yapımında, gerekli olan kum tartılıp (4000 gr.) bu miktarın ağırlıkça %4 oranında karbofen reçine alındı. Kum ve reçine kum karıştırıcısına konup, 15 dakika süre ile karıştırıldı. Ahşap üst destek kalıp model silikon kalıp ayırıcı ile kaplandı. Karışım model üzerine döküldü ve şişlendi. Kapalı ortam içine alınarak karbondioksit gazı 3 atü basınç ile 3 dakika süre ile verildi. Kalıp sertleştikten sonra modelden sıyrıldı.

4.4.2 Seramik Kalıp Yapımı

4.4.2.1 Alt Seramik Kalıp Yapımı

Alt seramik kalıp yapımında ilk olarak bağlayıcı hazırlandı. Bağlayıcı, tetra etilortosilikatın sulu ayrışma yani, %15,3 HCl, %49 etil alkol ve %35,7 etil silikat manyetik karıştırıcıda 6 hızda ve 5 dakika süre ile karıştırıldı.

Alt seramik kalıp modelin yüzeyi kalıp ayırıcı ile kaplandı. Titreşimli elek üzerine alt seramik kalıp modeli yerleştirildi. Model üzerine alt destek kalıp yerleştirilerek sabitlendi.

Zirkon (%75) ve mullitten (%25) oluşan seramik toz malzemeden 1200 gr. tartıldı. Toz miktarının %20'si oranında bağlayıcı ve bağlayıcının %3'ü oranında pelteleştirici (doymuş amonyum asetat) manyetik karıştırıcıda 8 hızda ve 15 sn süre ile karıştırıldı. Bu karışım

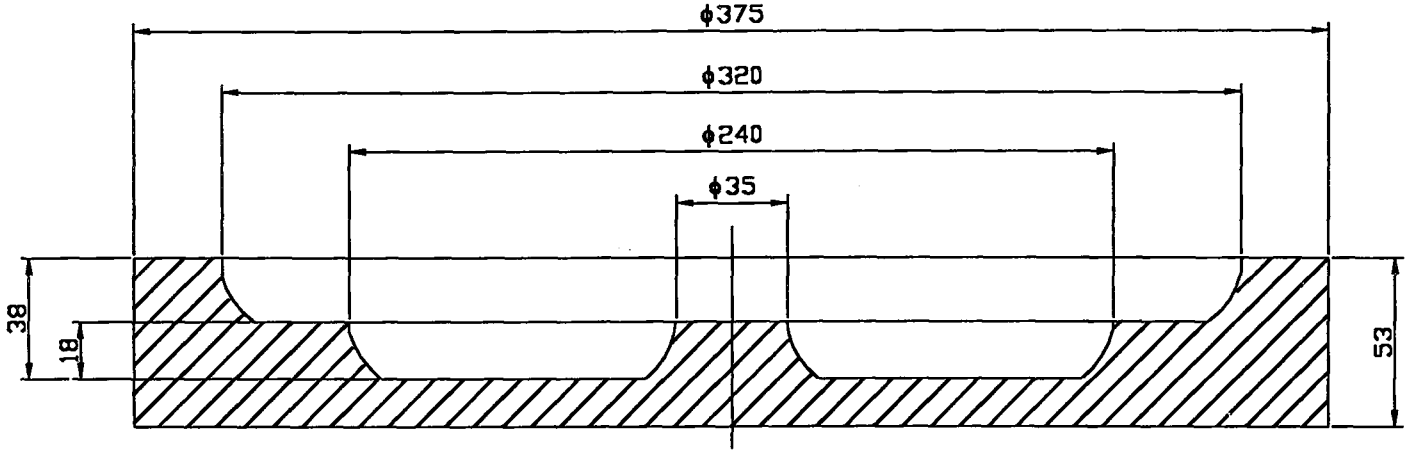
seramik tozun içerisine ilave edilerek, karıştırıcıda 400 dev/dak. hızla 1,5 dakika süre ile karıştırılarak seramik bulamaç hazırlandı.

Hazırlanan seramik bulamaç, destek kalıbın döküm ağızından döküldü. Bu işlemdede titreşim hızı: 4 ve süre 5 dakikadır. Titreşim kapatıldı. 25 dakika sonra karma seramik kalıp modelden sıyrıldı ve üfleç ile yakıldı. Yakma işlemi 25 dakika sürdü.

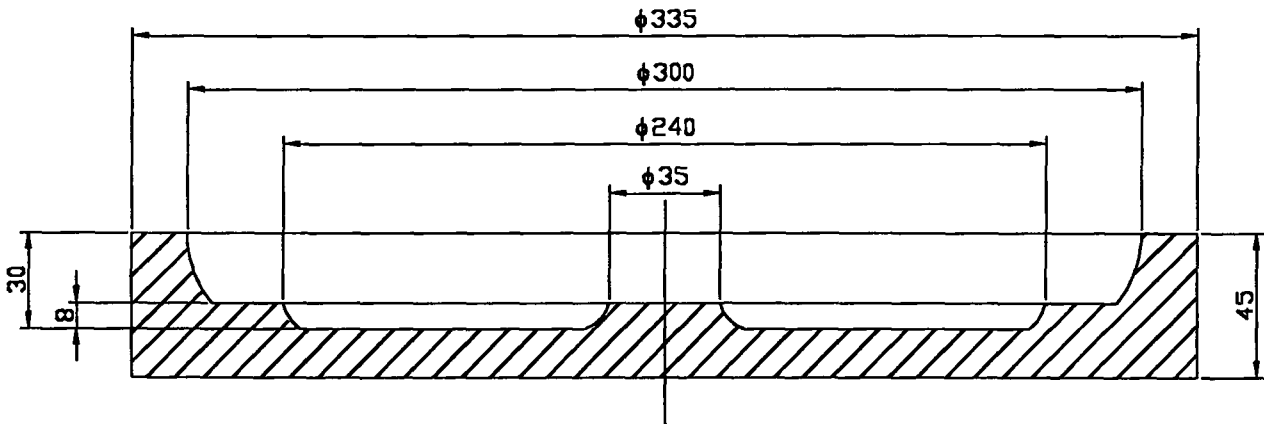
4.4.2.2 Üst Seramik Kalıp Yapımı

Alt seramik kalıp yapımında belirtilen hususlar üst seramik kalıp içinde geçerlidir. Aynı şekilde bağlayıcı hazırlandı. Üst seramik kalıp modele kalıp ayırıcı sürüldü. Modelin üzerine üst destek kalıp yerleştirilerek titreşimli elee sabitlendi.

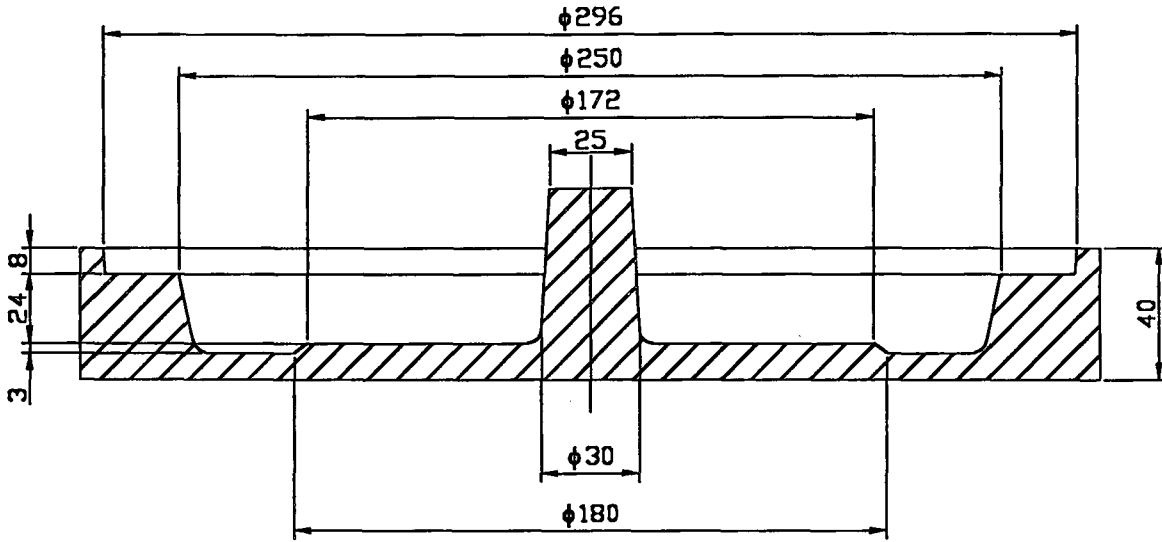
Seramik toz karışımından 1500 gr. alınarak, yine %20 bağlayıcı ve %3 pelteleştirici (bağlayıcının) karıştırılarak seramik bulamaç hazırlandı. Hazırlanan karışım destek kalıbın döküm ağızından model üzerine döküldü, pelteleşmeden sonra üst karma seramik kalıp modelden sıyrıldı ve üfleç ile yakıldı.



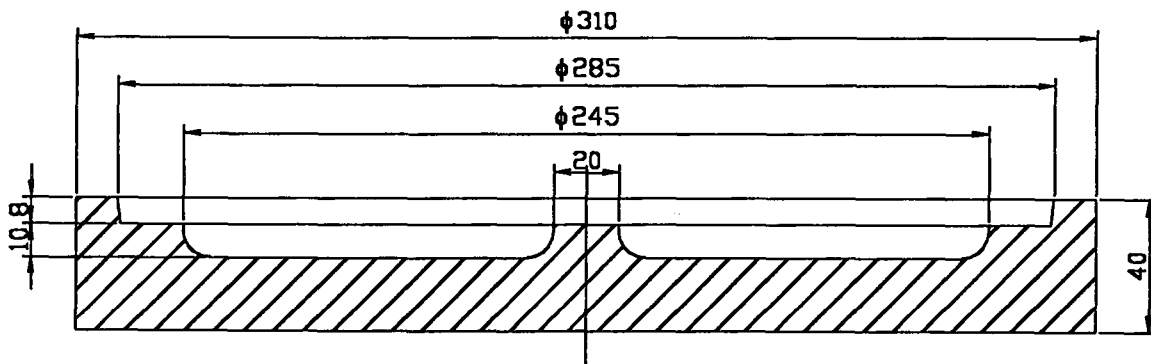
Şekil 4.2 Üst destek kalıp modeli.



Şekil 4.3 Alt destek kalıp modeli.



Şekil 4.4 Üst seramik kalıp modeli.



Şekil 4.5 Alt seramik kalıp modeli.



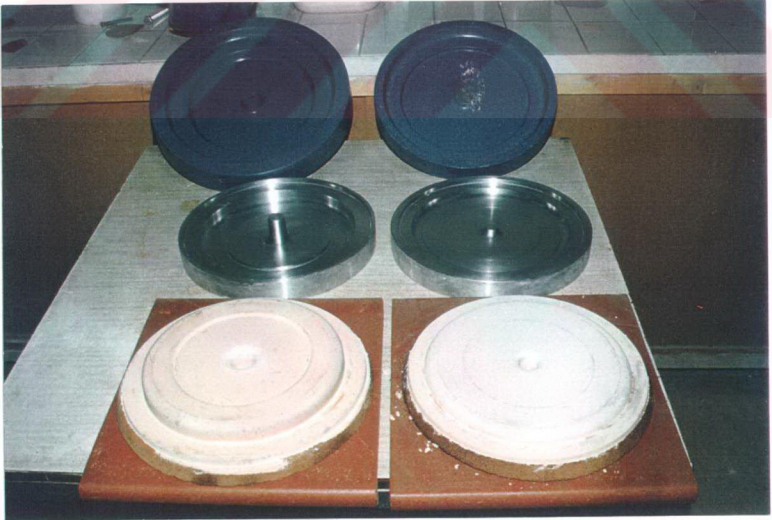
Şekil 4.6 Üst şov karma seramik kalıp



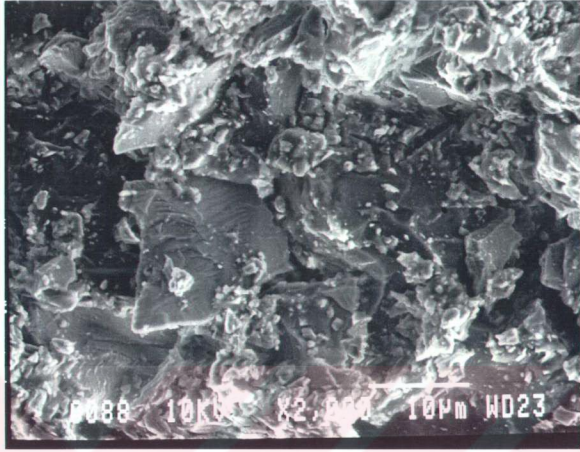
Şekil 4.7 Alt şov karma seramik kalıp



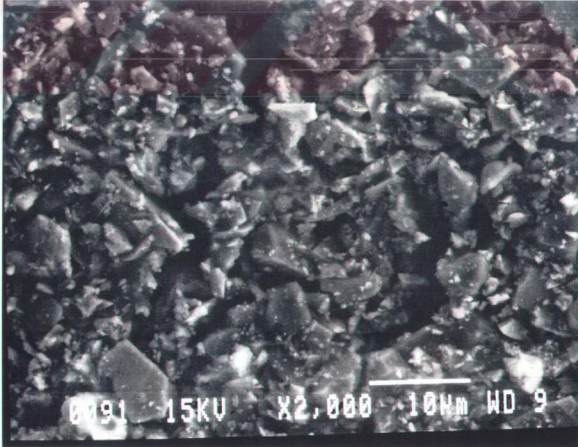
Şekil 4.8 Üst ve alt şov karma seramik kalıplar ve seramik kalıp modelleri



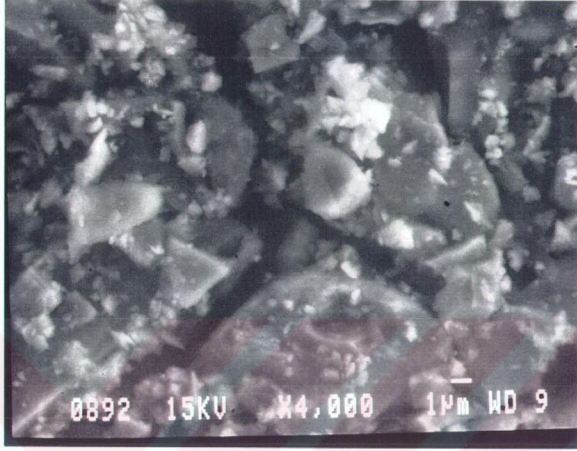
Şekil 4.9 Üst ve alt şov karma seramik kalıplar, modelleri ve destek kalıp modelleri



Şekil 4.10 Üfleçle yakılmamış seramik kalıp yüzeyinin SEM fotoğrafı



Şekil 4.11 Üfleçle yakılmış seramik kalıp yüzeyinin SEM fotoğrafı



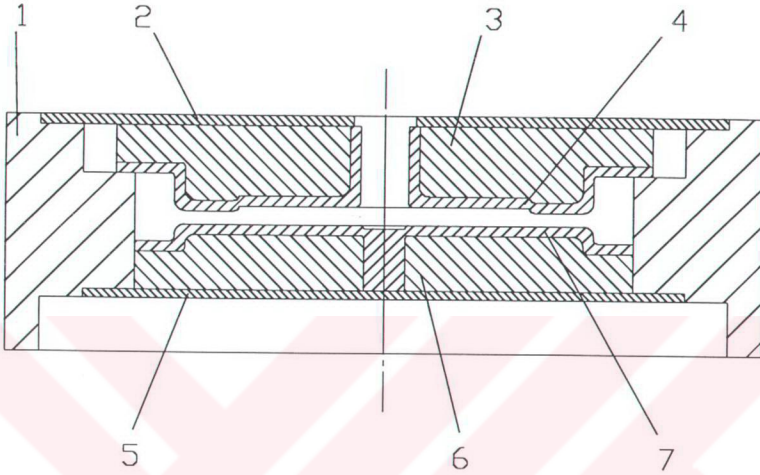
Şekil 4.12 Üfleçle yakılmış seramik kalıp yüzeyinin SEM fotoğrafı

4.5 Düşey Merkezkaç Döküm Yöntemi ile Karma Kalıpta Dışlı Dökümü:

Dışlı için dizayn edilmiş dökme demir metal kalıbın iç yüzeyleri bor nitrür ile kaplandı. Seramik karma kalıplar Şekil 4.13’de görülen ve düşey merkezkaç döküm makinası içerisinde bulunan metal kalıba yerleştirildi. Kuramsal hesaplama ile bulunan 3,960 kg alüminyum döküm için hazırlandı.

750°C’deki sıvı alüminyum, 1000 d/d hızla dönmekte olan önceden ısıtılmış (50°C) kalıba nozul yardımıyla 10 sn’de döküldü (Döküm başladıktan 3 sn sonra düşey merkezkaç döküm makinası durduruldu). Döküm işlemi sırasında karma kalıbın dış metal yüzeyi su ile soğutuldu.

Son olarak seramik kalıpların (Şekil 4.13) karma kalıp içerisinden çıkarılıp kırılması suretiyle alüminyum döküm parçası elde edildi.



1	Dökme demir malzemeden yapılmış metal kalıp
2	Üst kapak
3	Üst seramik karma kalıbın kum kısmı
4	Üst seramik karma kalıbın seramik kısmı
5	Alt kapak
6	Alt seramik karma kalıbın kum kısmı
7	Alt seramik karma kalıbın seramik kısmı

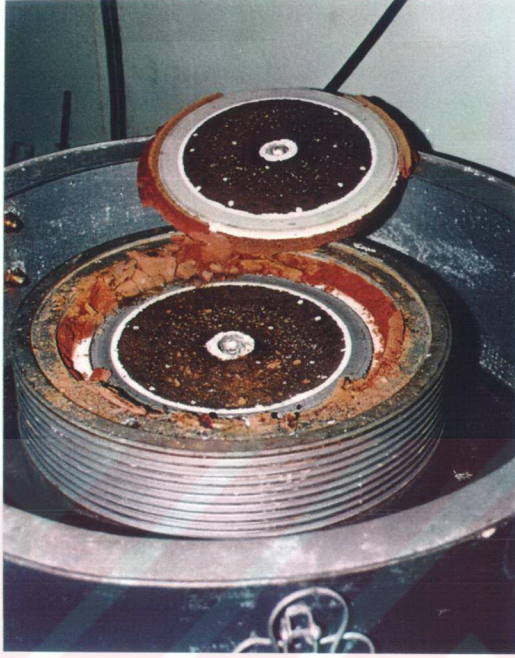
Şekil 4.13 Dişli karma kalıbı.



Şekil 4.14 Düşey merkezkaç döküm makinası.



Şekil 4.15 Karma kalıbın dökümden sonraki resmi.



Şekil 4.16 Döküm sonrası karma kalıpla birlikte döküm parçasının görünümü.



Şekil 4.17 Alüminyum dişli parçasının üstten görünüşü.

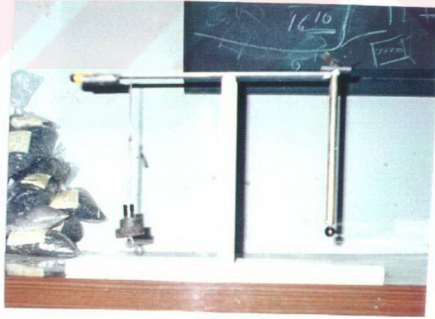


Şekil 4.18 Alüminyum dişli parçasının alttan görünüşü.

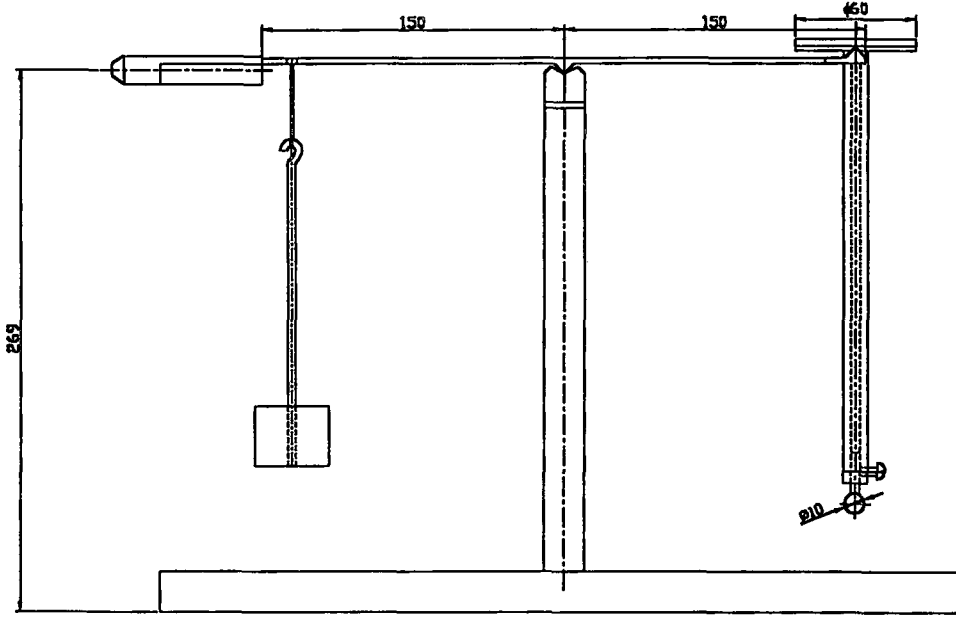
4.6 Seramik Malzemelerin Peltelik Durumunun Saptanması Deneyi:

Deneyde seramik malzeme çeşitli silika oranlarında hazırlanmış bağlayıcı ile pelteleştirici karıştırılır. Titreşim cihazında standart numune kaplarına dökülür.

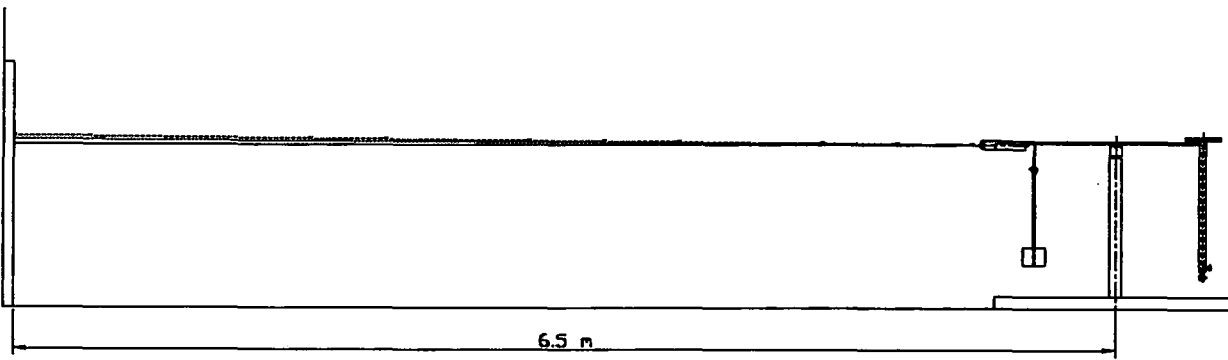
Şekil 4.20’de görülen deney cihazı denge konumundadır. Pelteleşme durumu tespiti için numune kapları çeşitli zaman aralıklarında 10 mm çapındaki bilyanın altına konur. Bilyanın yarısını seramik içerisine batmasını sağlayacak ağırlık miktarı tespit edilerek, bilyanın seramik malzemenin yüzeyine batar. Bu işlemden 30 sn sonra çizelgede “laser pointer”ın gösterdiği nokta işaretlenir. Ağırlık kaldırılır ve “laser pointer”ın gösterdiği yeni nokta tekrar işaretlenir. İşaretlenen iki nokta arasındaki fark alınarak zaman-peltenin bağıl esneklik-ağırlık eğrileri çizilir. Bu eğriden en uygun peltelik durumu belirlenir.



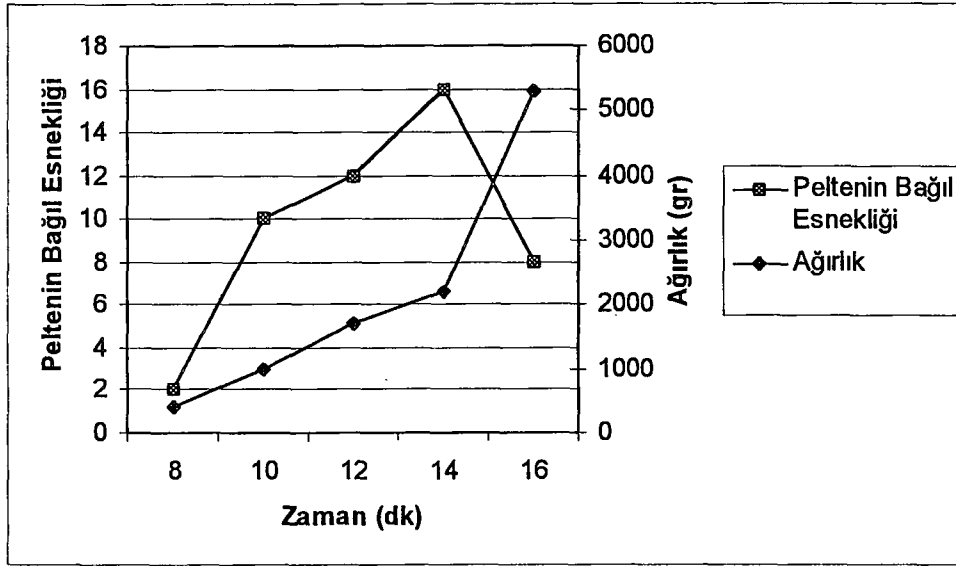
Şekil 4.19 Seramik malzemelerin peltelik durumunun saptanması deneyi cihazı.



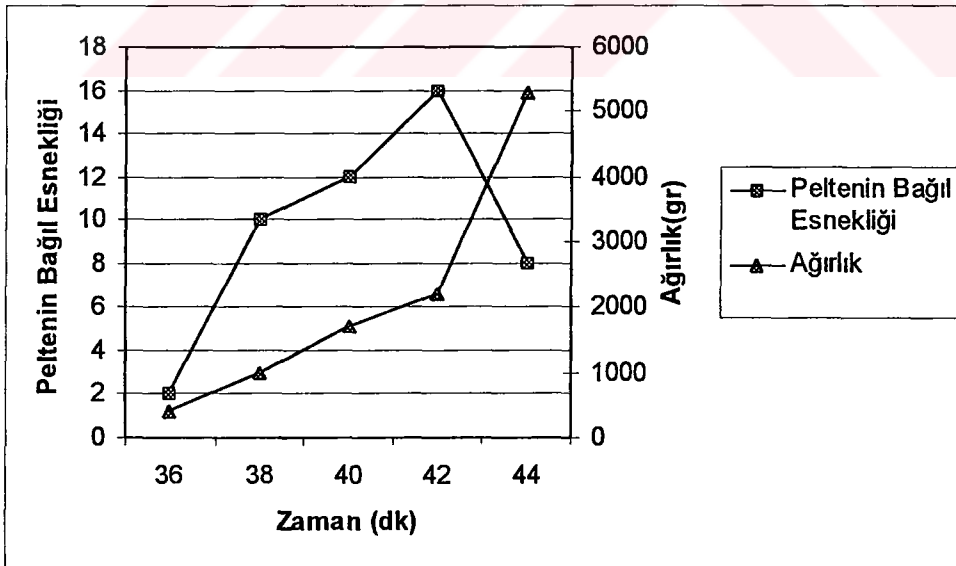
Şekil 4.20 Seramik malzemelerin peltelik durumunun saptanması deneyi cihazı.



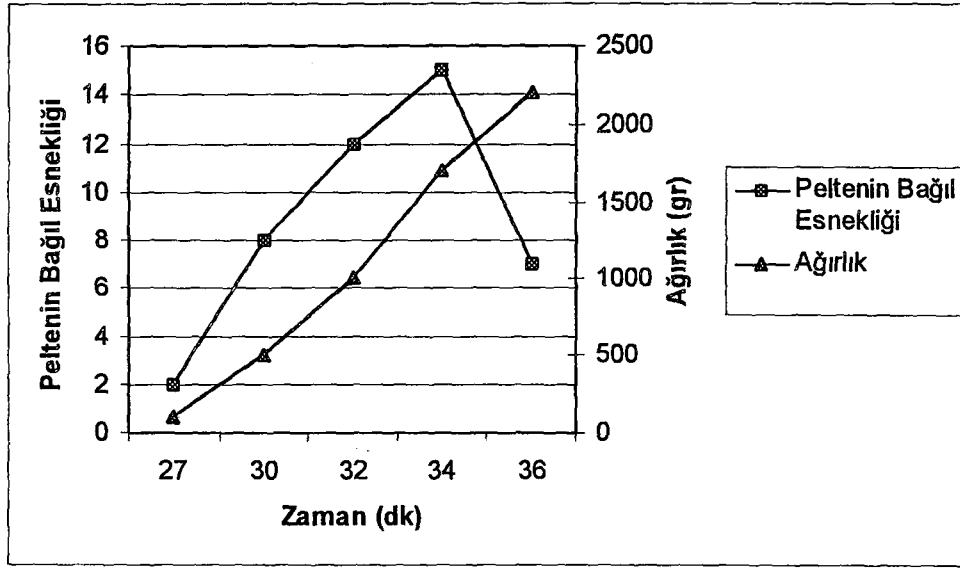
Şekil 4.21 Seramik malzemelerin peltelik durumunun saptanması deneyi cihazı.



Şekil 4.22 28°C ve %15 silika içeren seramik malzemenin zaman-peltenin bağlı esneklik-ağırlık eğrisi.



Şekil 4.23 21°C ve %15 silika içeren seramik malzemenin zaman-peltenin bağlı esneklik-ağırlık eğrisi.



Şekil 4.24 21°C ve %10 silika içeren seramik malzemenin zaman-peltenin bağıl esneklik-ağırlık eğrisi.

4.7 Gelecekte Yapılması Planlanan Çalışmalar

Bu projenin amacı vagon tekerleğinin dökümle üretimi için bir teknoloji geliştirmektir. Kalıp şeklinin ve döküm koşullarının düşük sıcaklıkta eriyebilen bir malzeme üzerinde belirlenmesinden sonra asıl parçaların dökümü küresel grafitli dökme demirden yapılacaktır.

Bu nedenle bu tezde alüminyum alaşımıyla yapılmış çalışmalar yer almıştır.

Seramiğin peltelik durumunun belirlenerek, seramiğin kalıptan sıyrılma zamanının belirlenecek ve seramik kalıp maliyetinin daha alt seviyelere çekilebilmesi için seramik kalıpta kullanılan bağlayıcı miktarının azaltılarak ve yeni bağlayıcı miktarı belirlenecektir.

Buradan elde edilen veriler küresel grafitli dökme demir vagon tekerleği dökümünde kullanılacaktır.



5. SONUÇLAR

1. Karma kalıpta kullanılacak olan seramik kalıpların üretimi için gerekli olan destek ve ana modellerin dizaynı ve üretimi yapılmıştır.
2. Destek kalıp için uygun tane boyutu ve bağlayıcı seçimi yapılmıştır.
3. Etil silikatın sulu ayrışma ve pelteleşme süreleri pH'a bağlı olarak incelenerek uygun bağlayıcı bileşimi hazırlanmıştır.
4. Alüminyum model ile seramik malzeme arasında yapışmayı önlemek için çeşitli kalıp ayırıcılar denenerek uygun kalıp ayırıcısı saptanmıştır.
5. Uygun bileşimdeki seramik çamur hazırlanarak önceden hazırlanmış olan destek kalıp üzerine döküm yapılmıştır.
6. Alüminyum modelden çıkarılan seramik kalıp, yüzeyini sertleştirmek için oksii-asetilen alevi ile pişirilerek seramik kalıpta makroçatlak oluşturmada n gerekli pişirme süresi saptanmıştır.
7. Elde edilen alt ve üst kalıplar karma kalıba yerleştirilerek düşey merkezkaç döküm makinasında belirlenen devirde alüminyum dökümü gerçekleştirilmiştir.
8. Döküm sonucunda seramik kalıpların alüminyum dökümüne elverişli olduğu saptanmıştır.
9. Seramiğin kalıptan ayrılabilmesi için peltelik durumunun zamana bağılı olarak tespiti önemlidir. Bu nedenle Şekil 4.16'da verilen cihaz tasarlanarak kullanılmıştır. Seramik malzemelerin pelteleşme durumu tespiti için standartlar ve yayınlarda bir yöntem bulunamadığından böyle bir cihazın geliştirilmiş olması önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Aluminium Casting Technology, (1986), American Foundrymen's Society, Inc., Des Plaines Illinois, 211-218.

A.S.M. Metals Handbook, (1992), 9th edition, vol.15.

Cogan, H.D., Setterstrom, C.A. (1946), "Properties of Ethyl Silicate", Chemical and Engineering News, 24(18): 2499-2501.

Çavuşoğlu, E., (1992), "Döküm Teknolojisi I" İ.T.Ü.

Kınıkoğlu, N., Silisan, A., Özcan, O.T., Tekin, A., (1977), "Hassas Döküm Tekniği ile Prototipler Geliştirme Projesi", TÜBİTAK., Gebze/Kocaeli.

Kınıkoğlu, S. (1992), "Mullit Zirkonya Seramik Kompozitlerin Reaksiyon Sinterlemesi Yöntemi ile Elde Edilmesi ve Stronsiyum Oksit Katkısının Etkisi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kuşkonmaz, N., (1994), "Seramik II. Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi.

Mills, D., (1989), "Understanding Silica Binders", Foundry Trade Journal, April 21 1989, 288-291.

Nechitailov, G.I., Vasil'eva, N.F., Vlasova, M.S., Kuçherenko, vs., (1988), "Study of Silica Sol as a Binder for Ceramic Shell Molds", Leteinoe Proizvodstvo:15-17.

Reed, J.S., (1988), "Introduction to the Principles of Ceramic Processing", John Wiley & Son 1988, U.S.A., 3-14.

Rigby, A.J., (1982), "The Microstructure and Properties of Ethyl Silicate Bonded Refrakteries", Master Thesis, Department of Ceramics, The University of Leeds.

Shklennik, Y.I., et. al., (1970), "Classification of Ethyl Silicate Binder Solutions", Russ. Cast. Product., 209-210.

U.S. Patent, 2,795,022, (1957), "Method of Making Moulds", June 11 1957.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Araştırma Görevlisi

Özel Seymen Lisesi
Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya-Metalurji Fakültesi
Metalurji Mühendisliği

1998 – Devam ediyor

Çalıştığı Kurum

Lisans

Lise

Doğum Yeri

Doğum Tarihi

ÖZGEÇMİŞ

: 1993-1997

: 1985-1992

: İzmit

: 09.11.1973