

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

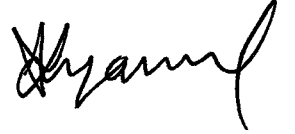
**KABUK KALIPLAMADA KALİTEYİ ETKİLEYEN
FAKTÖRLER**

Metalurji Müh. Cemil ÖZİLMEN

**FBE Metalurji Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cemalettin YAMAN (YTÜ)



Prof. Dr. Aysegül AKDOĞAN


Prof. Dr. C.S. Küçükkepör


**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 2002

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	ii
ÇİZELGE LİSTESİ	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
1 GİRİŞ	1
2 KABUK KALIPLAMA.....	3
2.1 Tarihçe ve temel ilkeler.....	3
2.1.1 Devirme (Dump-Box) yöntemi.....	3
2.1.2 Üfleme yöntemi	5
2.1.3 Üfleme+presleme yöntemi	5
2.2 Kabuk kalıplama yönteminin dökümcülükteki yeri ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması.....	7
2.3 Kabuk kalıplamada kullanılan malzemeler	9
2.3.1 Kum.....	9
2.3.1.1 Kumun tane dağılımı.....	11
2.3.1.2 Kumun tane boyutunun etkisi	11
2.3.1.3 Kumun tane şeklinin etkisi	12
2.3.1.4 Kabuk kalıplamada kullanılan silis kumu haricindeki diğer mineraller	13
2.3.2 Bağlayıcı.....	14
2.3.2.1 Reçine sarfiyatını azaltma metodları.....	17
2.3.3 Hekzametilentetramin	18
2.3.4 Yağlayıcı madde	19
2.3.5 Ayırıcı	20
2.3.6 Vinsol	20
2.3.7 Özel katkıları	20
2.4 Kum hazırlama.....	22
2.4.1 Kum-toz reçine karışımı.....	22
2.4.1.1 Kuru karıştırma metodu	23
2.4.2 Kumun reçine ile kaplanması	25
2.4.2.1 Soğuk kaplama	25
2.4.2.2 Ilık kaplama	27
2.4.2.3 Sıcak kaplama.....	28
2.4.3 Karıştırma zaman ve sıcaklığının karışım özelliklerine etkisi	30
2.5 Reçine kaolü kumun özelliklerinin kontrolü.....	31
2.6 Kabuk kalıpla döküm, yolluk ve besleyici sistemi	31
2.7 Kabuk kalıplama işlemi.....	32

2.8	Elektrikli ısıtma sistemleri.....	32
2.9	Kabuk kalıplamanın yapılması yöntemleri.....	34
2.9.1	Düşürme kutulu kalıplama makineleri.....	34
2.9.2	Maça makineleri	38
2.10	Kabukların kapatılması	39
2.11	Kabuk kalıp+maça için kaplanmış kum test yöntemleri.....	39
2.11.1	Reçine yüzdesi	39
2.11.2	Eğme mukavemeti	40
2.11.3	Eğme mukavemeti ve kürleşme süresi arasındaki bağıntı	40
2.11.4	Akışkanlık testi	40
2.11.5	Yüzey sertliği.....	41
2.11.6	Sıcak çekme mukavemeti.....	42
2.11.7	Sıcak deformasyon.....	42
2.11.8	Reçine erime noktası.....	43
2.12	Toz karışımlarında boşluk oranı	43
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	44
3.1	Shell kalıplarla hazırlanmış deney numunelerinin basma deneyi.....	44
4.	SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR.....		48
ÖZGEÇMİŞ.....		51

SİMGE LİSTESİ

CO	Karbonmonoksit
CH ₂ O	Formaldehit
CH ₃ OH	Metanol
C ₆ H ₅ OH	Fenol
(CH ₂) ₆ N ₄	Hekzametilentetramin
HCL	Hidroklorik asit
H ₂ SO ₄	Sülfirik asit
Fe ₂ O ₃	Hematit
Fe ₃ O ₄	Manyetit
ZrO ₂ .SiO ₂	Zirkon
NH ₃	Amonyak



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Kabuk dökümün basitleştirilmiş işlem sırası	4
Şekil 2.2	Kabuk dökümün iş akış şeması	5
Şekil 2.3	Kabuk ve kum kalıpta boyutsal duyarlılığın parça büyüklüğü ile değişimi	7
Şekil 2.4	Kumun tane boyutunun çekme mukavemetine etkisi.....	11
Şekil 2.5	Reçine kaplanmış çeşitli metal oksitlerinin çekme mukavemetleri	12
Şekil 2.6	Çeşitli kum minerallerinin zamanla genleşme eğrileri	13
Şekil 2.7	Fenol	14
Şekil 2.8	Fenol, formaldehit ve fenolik reçinenin üretim şeması	15
Şekil 2.9	Reçine katılarına göre hekza oranının sıcak çekme mukavemetine etkisi.....	18
Şekil 2.10	Heksa oranının değişiminin soğuk çekme mukavemetine etkisi	18
Şekil 2.11	Karışıma ilave edilen yağlayıcı maddenin çekme kuvveti ve yoğunluğa etkisi .	23
Şekil 2.12	Sıcak kaplama prosesinde kum sıcaklığının karışımın ergime noktasına etkisi .	30
Şekil 2.13	Kabuk kumu karışımının çekme mukavemeti üzerinde ön kaplama sıcaklığının etkisi	30
Şekil 2.14	Reçine kaplanmış kumun çeşitli yerlerinde sıcaklık zaman eğrileri	30
Şekil 2.15	Elektrikli ısıtıcılar	33
Şekil 2.16	Pişirme fırını.....	33
Şekil 2.17	Karışımın model üzerindeki yüksekliği.....	35
Şekil 2.18	Yağmurlama prensibinin uygulanması	35
Şekil 2.19	Düşürme kutusuna mandallanan modelin 180°çevrilmesi.....	36
Şekil 2.20	Model ve düşürme kutusu beraberce dairesel bir yolda ilerlerken ters konuma gelmesi.....	36
Şekil 2.21	Modelin düşürme kutusuna yükseltilerek karışımın boşaltılması	36
Şekil 2.22	Tek istasyonlu kabuk kalıplama makinesi	37
Şekil 2.23	Altan üflelemeli makinelerin çalışma prensibi	38
Şekil 2.24	Maça makinesi.....	38
Şekil 2.25	Yapıştırma presi	39
Şekil 2.26	Üç tip grog karışımında boşluk oranları	43
Şekil 3.1	Basma deneyleri yapılan numune.....	44
Şekil 3.2	Farklı reçine oranlarındaki deney parçalarının basma gerilmesi deneyleri	45
Şekil 3.3	Farklı reçine oranlarındaki deney parçalarının basma gerilmesi deneyleri	46

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Değişik birkaç alaşımdan döküm örneği için tipik kum reçine karışımları	24
Çizelge 2.2	Silis, zirkon ve kromit kabuk maçaların tipik yoğunlukları.....	41
Çizelge 3.1	Farklı reçine oranlarındaki 25 mm çaplı beş numunenin basma gerilmesi	45
Çizelge 3.2	Farklı reçine oranlarındaki 65 mm çaplı beş numunenin basma gerilmesi	45



ÖNSÖZ

“Kabuk Kalıplamada Kaliteyi Etkileyen Faktörler”konulu çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Cemalettin Yaman’a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen Körfez Döküm A.Ş.’deki iş arkadaşlarıma ve Meta Metalurji A.Ş.’ye de teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Kabuk kalıplamada döküme hazır kalıp meydana gelinceye kadar olan safhalardaki hatalar incelenmiştir. Dökümü yapılmış parçalardaki hatalar irdelenip giderilmesi için çalışmalar yürütülmüştür.

Kabuk kalınlığı arttıkça, kabuk kalıbın döküm sıcaklığında ısıl şoka direncinin ve toplam dayanma süresinin arttığı, gaz geçirgenliğinin, yüke karşı ve yüklerle birlikte deformasyonun azaldığı görülmüştür.

Yüzey kalitesi ve boyutsal duyarlılığın iyi olmasının istendiği parçaların üretiminde kullanılan çok önemli bir döküm yöntemidir.

Anahtar Kelimeler: Kabuk Kalıplama, Kabuk proses, boyutsal doğruluk



ABSTRACT

In the method of shell molding the casting mistakes until the mold being ready for casting has been studied.

The mistakes of cast parts has been examined and studied for solving.

With increasing of shell thickness; heat shock resistant and total resist time increases but aspiration, deformation against to load and deformation with load and second dilation decreases.

This method is important especially when surface quality and dimensional sensitivity is considerable.

Keywords: Shell Molding, Shell Process, accuracy



1.GİRİŞ

Döküm endüstrisindeki en son gelişmelerden biri olan kabuk kalıplama yöntemi 1944'ten beri giderek artan bir uygulama alanı bulmuştur. Kabuk kalıplama yöntemi en hızlı gelişmesini 1960-65yılları arasında göstermiş olup, bu zaman periyodunda A.B.D'de üretilen kabuk kalıplanmış çelik dökümlerin tonajı her yıl ortalama %33 artmıştır. Kabuk kalıplamada kullanılan reçine miktarı 1970' te 36.480.000 kg'a ulaşmıştır.

Hassas döküm yöntemleri içinde önemli bir yeri olan kabuk kalıplama yönteminin ülkemizde şimdiye kadar uygulanamamış olmasının bir nedeni de bu yöntem hakkındaki yayınların yetersiz oluşudur. Kabuk kalıplama yöntemini tanıtan yayınların ve yapılan çalışmaların ışığında bu yöntemin ülkemiz döküm endüstrisinde uygulanması için girişimlerin başlayacağı ümit edilmektedir.

Diğer adı Croning prosesi olan kabuk döküm ikinci dünya savaşı öncesi Alman Johannes Croning tarafından patentlenmiş bir kalıplama yöntemidir. ikinci dünya savaşı sonrası C.W. Fitko tarafından kuma yapılan akışkanlığı artırıcı ilaveler ve daha sonra 1952 yıllarında sıcak kaplama ile yöntem gelişmesini sürdürmüştür.

Kabuk kalıplama, kil bağlayıcılı yaş kum kalıplamaya oranla daha iyi yüzey kalitesi ve daha sıkı boyutsal toleranslarla şekilli parça dökümünün yapıldığı bir seri-imalat yöntemidir. Bu yolla üretilen döküm parçaların yukarıdaki özelliklerinden dolayı çok az işlenerek ya da işlenmeden, döküldüğü haliyle kullanılabilmesi, özellikle karmaşık şekilli, işlenmesi zor metallerden ve çok sayıda parça üretilmesi gereken durumlarda kabuk kalıplamanın önemini artırmaktadır.

Kabuk kalıplamanın uygulanmasını sınırlayan en önemli etken yöntemin maliyetidir.

Bağlayıcı olarak kullanılan fenol formaldehit reçinenin pahalı oluşu kabuk kalıp ve dolayısıyla kabuk kalıpla dökülen ürünün maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle reçine kullanımında yapılabilecek en küçük tasarruf bile yöntemin uygulanma şansını ve uygulama alanını artıracaktır. Türkiye'de kabuk kalıp uygulamasının son derece sınırlı olması yöntemin pahalı oluşu ve bu konuda belli düzeyde bir deneyim ve bilgi birikiminin bulunmayışından kaynaklanmaktadır. Kabuk kalıplamadan en iyi şekilde yararlanabilmek için yöntemin doğru alanlarda ve verimli bir biçimde uygulanması ilk koşuldur. İkinci ve en az birincisi kadar önemli koşul ise maliyetin, yöntemin avantajlarını azaltmayacak biçimde aşağı çekilmesidir. Ana girdi olan reçine kaplanmış kumun yurt dışından getirilmesi yöntemin mal iyetini hem

yükseltmekte hem de dışa bağımlılığa yol açmaktadır bu sorunun çözümlenebilmesi için yerli malzeme kullanılarak reçine kaplı kumun yurt içinde yapılması gerekir.

Kabuk kalıplama (shell molding) yönteminde kalıp ısıtılmış bir model etrafında oluşturulan ve kum+sıcaklıkla sertleşen (thermosetting) reçine bağlayıcı karışımdan meydana gelmiştir. Karışım belirtilen şekilde ısıtıldığında reçine ile bağlanan kum tanecikleri kalıbın yarısını meydana getiren oldukça sert bir kabuk oluştururlar. Kalıbın her iki yarısı hazırlandıktan sonra gerekiyorsa maçasıda yerine yerleştirilip, kabuk kalıp tamamlanır ve bir derece içine konup çevresi dolgu maddesi doldurulur. Bu şekilde kalıp sıvı metalin dökülmesine hazır durumdadır.

Kabuk kalıplama yöntemi, birkaç gramdan, yaklaşık 180 kg. ağırlığa kadar, hem demir dışı alaşımların seri dökümünde kullanılır.



2. KABUK KALIPLAMA

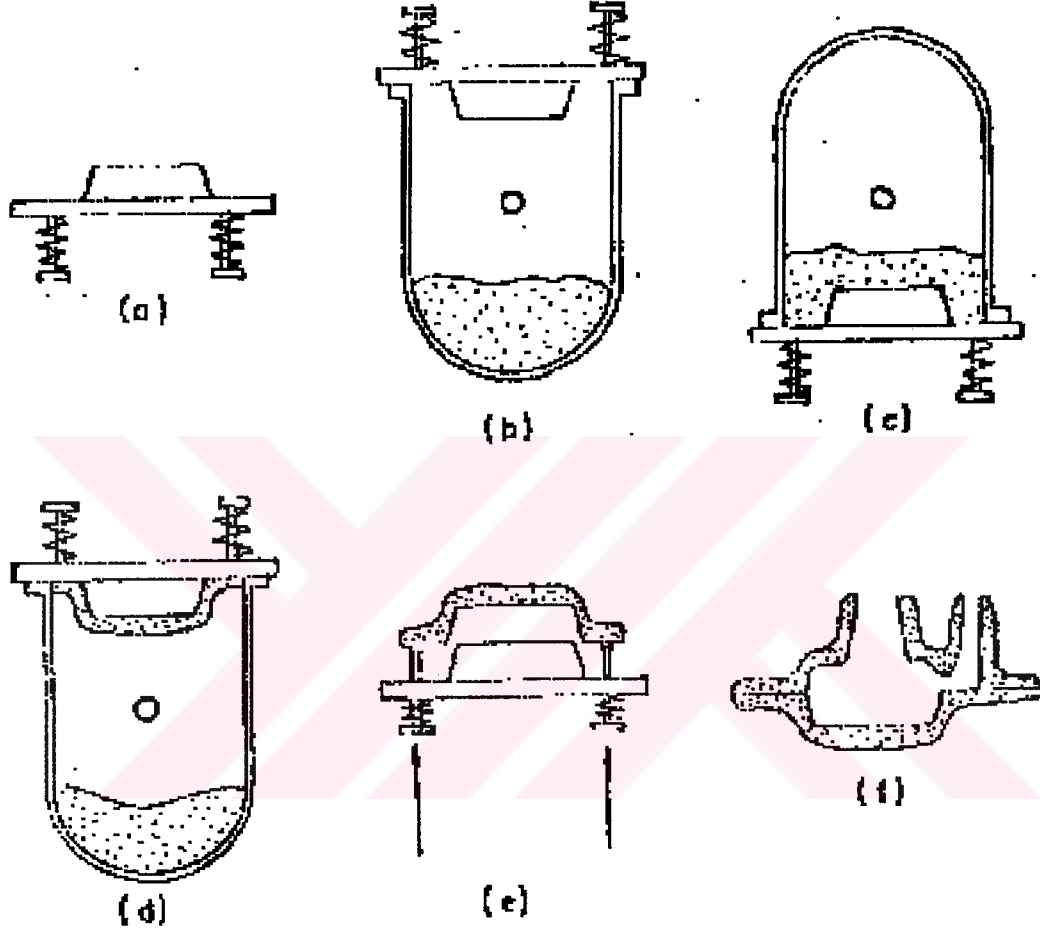
2 . 1 . Tarihçe ve temel ilkeler

Kabuk kalıplama yöntemi ikinci dünya savaşı yıllarında (1943) Almanya’da Dr. Johannes Carl Adolp Croning (1887-1957) tarafından geliştirilmiştir. Croning bu yöntemle ilgili patenti 1944 yılında aldı. Termoset fenol formaldehit reçine kullanarak akışkan, sertleşebilir bir reçine + kum karışımı yapmayla ilgili bu patent 1947’ ye kadar Alman patent bürosunda gizlenmiş, daha sonra A.B.D.hükümetine bağlı teknik servis tarafından ele geçirilerek varlığı açıklanmıştır. Yöntem bulucusunun adıyla Croning yöntemi veya kısaca C yöntemi olarak anılmaktaydı. Daha sonraları kalıbın kabuk görünümünde olması yüzünden kabuk kalıp yöntemi, (shell process) olarak ta adlandırılmıştır. Yöntem ilk haliyle toz halindeki reçinenin kumla karıştırılarak sıcak model üzerine bir hazne ile kapatılması ilkesine (dump-box) dayanmaktaydı. Bugün de en yaygın kullanılan kabuk kalıp makinaları bu ilkeye göre yapılmışlardır. Ancak kum + toz reçine karışım içinde segregasyonuna neden olduğu için sakınca yaratmaktadır. 1948 yılında toz reçinenin katalizörle birlikte bir çözücü içinde çözünerek kumla karıştırılması sonucu, reçinenin kum taneleri etrafına kaplanmasını sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir (soğuk kaplama). Bu yolla reçine kaplı kumun ısıtılmış maça sandıkları içine segregasyon tehlikesi olmadan üflenebilmesi sağlanmış ve yöntemin yaygınlaşması hızlandırılmıştır. Chester W. Fitco’nun reçine kaplı kumun akışkanlığını ve maça/kalıp yoğunluğunu artırıcı, yağlayıcı sabun kullanımı ile ilgili patenti alması gelişmeye hız vermiştir. 1952’de ılık kaplama yöntemi geliştirilmiştir. Ilık kaplamada reçinenin içinde çözündüğü çözücünün sıcak hava üflenerek daha hızlı uçması sağlanmıştır. 1955 yılında çözücü’nün ortadan kaldırıldığı ve halen en yaygın kaplama yöntemi olarak kullanılan sıcak kaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle katı reçineler sıcak kumla karıştırılarak kaplanmaktadır. Reçine kaplı kumla kabuk maça yapımı ve kullanımı bu tarihten sonra yaygınlaşmıştır. Kalıp/maça üretiminde geliştirilmiş belli başlı üç yöntem vardır.

2.1.1 Devirme (dump-box) Yöntemi

Reçine kaplı kum ısıtılmış metal model üzerine devrilir. Belli bir süre bekletilir, ısı etkisiyle kumun belirli kalınlıkta bir kısmı model üzerinde bir kabuk oluşturur. Model ve kum haznesi ters çevrilir, geri kalan kum hazneye dökülür. Modele yakın ve uzak kısımlar arasındaki ısı farklılığı dolayısıyla kabuk özelliklerindeki farklılığı gidermek için model üstündeki kabuk, bir fırın veya ısıtıcı kapak yardımıyla üstten de ısıtılır (kürleme). Homojen şekilde sertleşen kabuk, model üstündeki itici pimlerin itmesiyle modelden ayrılır. Özel yapıştırıcı ile iki parça

halindeki kabuk yapıştırılarak yolluk, çıkıcı ve besleyicisiyle birlikte bir bütün halinde döküme hazır hale gelir. Kabuk kalıp kalınlığı genellikle 10 mm. civarındadır (Gandt, 1974; Berndt, 1981)



Şekil 2. 1 Kabuk dökümünün basitleştirilmiş işlem sırası (Kınıkoğlu, 1985).

Şekil 2.1 (a,b) de görüldüğü gibi kabuk kalıp kum ve ısıtılabilir bağlayıcı karışımının ısıtılmış bir model etrafına çevrilmesi ile meydana gelir. Karışım ısıtıldığında reçine sertleşirken kum tanelerine birbirlerine yapıştırarak kalıbın yarısını oluşturan yarı kabuğu meydana getirir (c,d). Kabuk sertleştikten modelden ayrıldıktan ve maçalar yerleştirildikten sonra alt ve üst yarı kalıplar bir araya getirilerek bir derece içerisine yerleştirilir ve kumla desteklenir (e,f). Kalıp dökümü hazırdır. Şekil 2.2’de kabuk dökümünün iş akış şeması verilmiştir (Kınıkoğlu, 1985)

Son yıllarda yeni geliştirilen ve gazla sertleştirilen soğuk kutu reçinesi veya sodyum silikat kullanılan yöntemle de kabuk kalıp yapılmakta ve bu yöntemle soğuk kabuk kalıplama denilmektedir. Soğuk kabuk kalıplama ile Croning yönteminin başlıca farkı reçinenin sertleştirilmesi için ilkinde gaz, ikincisinde ısı kullanılmaktadır.

Kabuk maça olarak klasik yöntemlerle tek parça halinde üretilmeyen kompleks maçaların hazırlanmasında, maça yüzeyi önemli olan dökümler, basınçsız sürekli alüminyum dökümünde harcanmayan kalıp olarak kullanım alanı bulmaktadır(Ergin,1981).

Kabuk kalıplama yöntemini kullanmanın dökümhanelere sağladığı avantajlar şunlardır.

- 1-Yüksek üretim hızları mümkündür. Çok istasyonlu tam otomatik makinalarda saatte 340 kalıp üretilir. Halbuki yüksek üretim hızlı iki yaş kum kalıplama makinesi kullanıldığında saatte 30-40 kalıp üretilir.
- 2-Daha iyi döküm sonu yüzeyi ve çok dar boyutsal toleranslar ile çalışılabilir.
- 3-Temizleme ve çapak giderme maliyetleri düşüktür.
- 4-İşçi başına üretilen sağlam dökümlerin miktarı yaş kum yönteminden üç kat fazla olabilir.
- 5-Karışım ve kalıplar süresiz olarak stoklanabilir.
- 6-Kalıp kaplamalar (boyama v.s.) gerekli değildir.
- 7-Kabuk kalıplar sarsakta kolay kırılır.
- 8-Kabuk kalıplama karışımı mükemmel akabilirliğe sahip olduğundan dolayı çok iyi, kompakt kalıplar üretilir.
- 9-Maçaların içi boş olduğundan dolayı daha az gaz oluşur ve oluşan gaz kolaylıkla uzaklaşabilir.
- 10-Kalıp veya maça kurutucular gerekmez .

Dökümhanelere sağladığı avantajların yanında kabuk kalıplama yönteminin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

- 1-Maksimum döküm boyut ve ağırlığı sınırlıdır (max-180 kg).
- 2-Metal modelin maliyeti yüksektir .Dökme demirden modeller ağaç modellerden 3 kat daha pahalıdır.

3-Model pılakalarını ısıtmak, kalıp ve maçaları k rlemek için daha fazla ekipman ve kontrol cihazları gereklidir.

4-Yöntem bazı döküm hatalarına aşırı duyarlıdır.

5-Kötü kokular oluşmaktadır. Fakat basit havalandırma ekipmanıyla bu kusur giderilebilir.

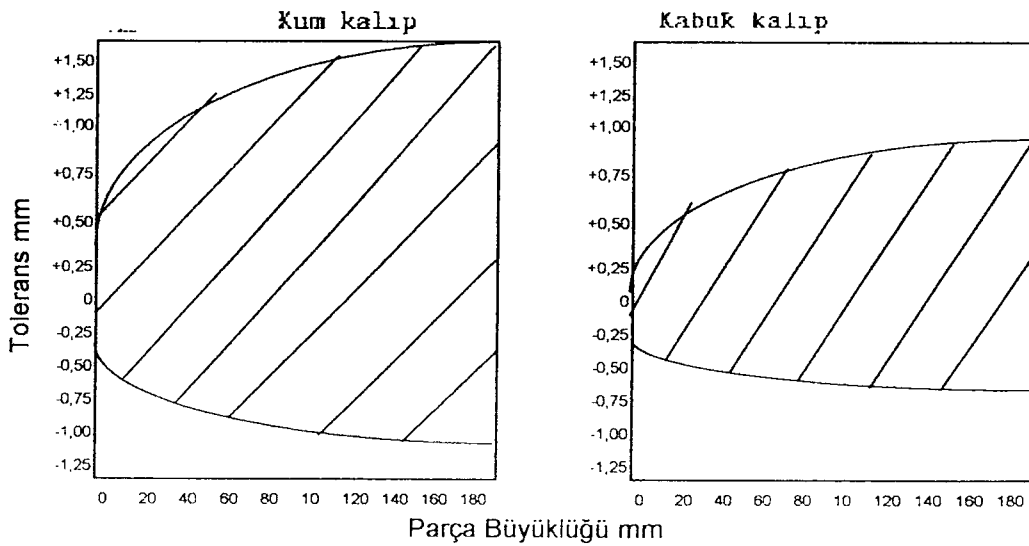
2.2. Kabuk Kalıplama Yönteminin D k mc l kteki Yeri ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Kabuk kalıplama yüzey kalitesi ve boyutsal duyarlılığın iyi olmasının istendiği parçaların üretiminde kullanılan, önemli kalıplama yöntemlerinden biridir. Bu yöntemle üretilmek istenen parçalar üç gruba ayrılabilir.

1-Döküm sonrası boyutsal duyarlılık ve yüzey kalitesi yönünden herhangi bir bitirme işlemine gerek kalmadan kullanılacak parçalar.

2-Yüzey kalitesi yönünden yeterli, boyutsal duyarlılık yönünden bir bitirme işlemi gerektiren parçalar,

3-D k lm   haldeki boyutsal duyarlılığı önemli olmayan ancak i  veya dış döküm yüzey kalitesinin önemli olduğu parçalar



Şekil 2. 3 Kabuk ve kum kalıpta boyutsal duyarlılığın parça b y kl   ile değişimi(Ba gut,1989)

Kabuk kalıplama yönteminin tüm avantajlarının kullanıldığı parçalar ilk gruba girmektedir. Bu gruba giren parçaların özellikleri hassas döküm (investment ceasting) ve basıncılı dökümle üretilen parça özelliklerine yaklaşmaktadır. Yüksek yüzey kalitesi yanında, dar boyutsal

toleransların sağlanabildiği parçalar şekil 2.3' den de anlaşılabilceği gibi daha çok küçük parçalar olmaktadır. İri cıvata ve somunlar bu gruptaki parçalar için ilginç bir örnektir. Kabuk kalıplama ikinci ve üçüncü gruptaki parçaların üretiminde yüksek yüzey kalitesi yönünden kullanılmaktadır. Boyutsal duyarlılık işleme maliyetlerini azaltıcı etki yapmaktadır.

Yüzey kalitesi yönünden kabuk kalıplama, kil bağlayıcı kum kalıplamadan iyi, basınçlı döküm, hassas döküm ve metal kalıba basınçsız dökümden daha kötüdür.

Yüzey pürüzlülüğü yüksek basınçlı dökümde 0,76 mikron, alçı kalıba dökümde 0,81 mikron, düşük basınçlı dökümde 1,27 mikron, hassas dökümde 1,53 mikron basınçsız (metal kalıba) dökümde 1,78 mikron, kabuk kalıba dökümde 3,18 mikron, kum kalıba dökümde 12,7 mikron düzeyindedir. Boyutsal doğruluk (accuracy) yönünden kabuk kalıplama 28 mm'den küçük parçalarda yüksek basınçlı döküm, hassas döküm, alçı kalıba döküm, düşük basınçlı ve basınçsız metal kalıba dökümden kötü; kum kalıba dökümden iyi sonuç verirken parça boyutu büyüyünce durum değişmektedir. 300 mm. den büyük parçalarda boyutsal doğruluk sıralaması iyiden kötüye doğru yüksek basınçlı döküm, alçı kalıba döküm, kabuk kalıba döküm, hassas döküm, düşük basınçlı döküm, kum kalıba döküm ve basınçsız metal kalıba döküm olmaktadır(Başgut,1989)

Karmaşık şekilli parçaların üretilmesine uygunluk sıralamasında kabuk kalıba döküm; hassas döküm; alçı kalıba döküm ve yüksek basınçlı dökümden sonra, düşük basınçlı döküm, kum kalıba döküm ve basınçsız metal kalıba dökümden önce gelmektedir. Dökülen parçanın sağlamlığı yönünden kabuk kalıba döküm, düşük basınçlı döküm dışında yukarıda sözü edilen yöntemlerin tümünde iyi sonuç vermektedir. Her cins metalin dökülebilmesi ise kabuk kalıbın, kum kalıp ve hassas dökümle birlikte diğer yöntemlere üstünlüğüdür. Maliyet açısından bir parçanın parçayı kullanacak kişiye maloluşunu model yapım maliyeti, birim parçanın döküm maliyeti, döküm sonrası işlemler ve işleme maliyeti olarak üçe ayırırsak, birim parça üretim maliyeti bakımından sıralama, en düşük maliyetten en yüksek maliyete doğru; yüksek basınçlı döküm, düşük basınçlı döküm, basınçsız metal kalıba döküm, kum kalıba döküm, kabuk kalıba döküm, hassas döküm ve alçı kalıba döküm şeklindedir. Model maliyeti bakımından sıralama ise en düşük maliyetten en yüksek maliyete doğru alçı kalıba döküm (ahşap modelle), kum kalıba döküm, kabuk kalıba döküm, hassas döküm, alçı kalıba döküm (metal modelle), basınçsız metal kalıba döküm, alçak basınçlı döküm ve yüksek basınçlı döküm şeklindedir (Le Serve, 1981)

2.3 Kabuk Kalıplamada Kullanılan Malzemeler

Kabuk kalıplama karışımlarında kum, reçine, hegzametilentetramin ve özel amaçlı çeşitli ilave maddeleri kullanılır.

2.3.1 Kum

Kabuk proses için uygun olan kumlar çok dar saflık, tane boyutu, tane yapısı ve dağılımı aralığına sahip olan silis, zirkon, kromit ve olivin kumlarıdır. Ayrıca bu kumların kimyasal analizi, sinterleşme noktaları, termal genleşmeleri ve reçine tarafından ıslatılabilirlikleri de son derece önemlidir.

Kabuk kalıplama yönteminde kullanılacak kumda organik maddeler ve kil'in düşük seviyede olması gerekir. Bu husus (gerekirse) yıkama yolu ile temin edilir. Organik maddeler ve kil miktarı gerekenden fazla olduğunda, kalıp için gerekli reçine sarfiyatı artmaktadır. Ayrıca kum tane inceliği arttıkça da (daha küçük taneli kum) reçine sarfiyatı artar. Dolayısı ile temiz yüzey elde etmede müsaade edilebilen en kalın kumun kullanmakta yarar vardır.

Kabuk kalıplama yöntemi için kullanılacak kum, genel olarak, yuvarlak, köşeli veya hafif köşeli tanelerden oluşabilir. Yuvarlak tane şekilli kumlar daha az reçine gerektirirler, daha yüksek geçirgenlik ve soğuk mukavemet değerleri gösterirler, buna mukabil sıcak mukavemetleri düşüktür. Bu özellikleri nedeniyle yuvarlak taneli kumlar, daha ziyade maça yapımından elverişlidir. Köşeli taneli kumlar, yüksek sıcak mukavemetleri nedeniyle kalıp yapımında uygundur. Hafif köşeli taneli kumların ise özellikleri ilk ikisinin arasında yer alır ve kalıp yapımında en çok kullanılan kum tipidirler (Çavuşoğlu, 1981).

Kabuk kalıplamada kullanılan başlıca refrakter malzeme silis kumudur. Silis kumunun refrakterliğinin yetersiz kaldığı erime sıcaklığı yüksek metallerin dökümünde, silis kumunun genleşme özelliğinin sorun yarattığı ve silis kumuyla bazı metallerin reaksiyona girdiği durumlarda daha yüksek refrakterlik, daha iyi ısı iletimi, daha düşük ısı genleşme özelliklerine sahip ve kimyasal olarak da metallere karşı daha dirençli oldukları için zirkon ($ZrO_2 \cdot SiO_2$), Kromit ve daha nadir olarak ta olivin kumları kullanılır (Powel, 1961; Mukherjee vd., 1975; Menzel, 1983)

Kumun taneleri inceldikçe döküm yüzey kalitesi artmakta ancak belli bir dayanıma ulaşmak için gerekli reçine oranı da artmaktadır. Kum taneleri inceldikçe aynı miktardaki kumun toplam yüzey alanı artar. Yüzey alanı kum tanelerinin çapının karesiyle ters orantılı olarak değişir. Bu da daha fazla reçine gereksinimine yol açar. 0,105 mm (140 mesh) tane

iriliğindeki kumun %3,5 oranında reçine ile sağladığı dayanıma, 0,09 mm (170 mesh) tane iriliğinde kum ile ulaşmak için %12 oranında reçine gerekmektedir. Zirkon kumu kullanılması halinde reçineden %30 tasarruf yapılabilir. Bunun nedeni zirkon kumunun yuvarlak tane yapısı, temiz tane yüzeyi ve yüksek paketlenme yoğunluğudur. Bu özellikler daha zayıf olarak kromit kumları için de geçerlidir. Ancak olivin kumları öğütülmüş cevherden üretildikleri için tane dağılımının kontrol edilemeyişi, yüzey kirliliği ve çok köşeli olmaları nedeniyle reçineyle kaplanmaları zordur. Belli bir dayanıma ulaşılması için yüksek oranda reçine gerekir. %6 oranında reçineyle kaplanan olivin kumlarından yapılan kalıpların bile oldukça zayıf olduğu gözlenmiştir. Reçineyle olivin kumu arasındaki zayıf yapışmanın en önemli nedeni kum tanelerinin yüzeylerinin temiz olmamasıdır. Yüzey kirliliği basınçlı havayla temizlenmiş Amerikan kaynaklı olivin kumlarıyla, eskiye oranla daha başarılı sonuçlar alınmıştır. Reçine kaplı zirkon kumlarının diğer kumlardan daha yüksek dayanım vermesinin önemli bir nedeni de reçinenin zirkon kumuna diğerlerinden daha kuvvetli yapışmasıdır.

Kabuk kalıplamada kullanılan kumlarda özellikle silika kumunda aranılan önemli özelliklerden biri şlam (kil, feldispat, mika) içeriğinin ve diğer katışkıların olabildiğince düşük olmasıdır. Şlam içeriğinin %0,5 ten yüksek olmaması gerekir. Yüksek şlam oranı gereksiz reçine tüketimine yol açar, Aynı dayanımı sağlamak için yüksek şlamlı kumlarda daha fazla reçine kullanmak gerekir (Metals Handbook 1970).

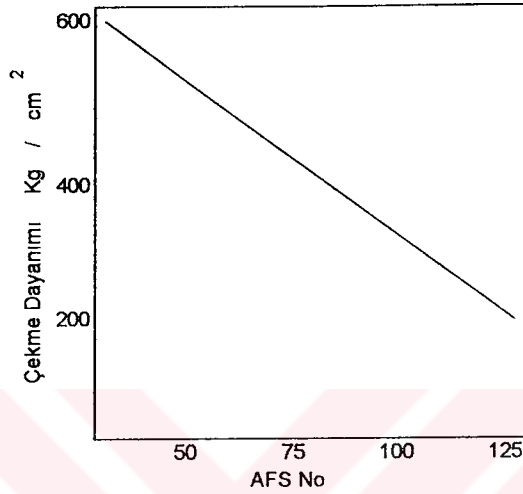
Kum tanelerinin yuvarlak olması tercih edilir. Yuvarlak taneli kumlar yüksek gaz geçirgenliği ve yüksek soğuk dayanım sağlarlar, ancak sıcak dayanımları düşüktür. Köşeli kumlar ise düşük gaz geçirgenliği ve düşük soğuk dayanım verirken, yüksek sıcak dayanım sağlarlar. Yuvarlak taneler, köşeli tanelere göre daha az reçine ile aynı soğuk dayanımı verirler (Başgut,1989).

Yuvarlak taneli kumların akışkanlığı ve sağladıkları döküm yüzeyi kalitesi daha yüksektir, ancak kabuk kalıbın çatlamasına, çarpılmasına ve boyutsal hatalara neden olabilecek ısı genleşme yuvarlak taneli kumlarda daha yüksektir. Yarı köşeli kumlar tüm bu özellikler arasında uygun bir uzlaşma sağlaması bakımından en uygun kumlardır. Kabuk kalıplamada kil bağlayıcılı kum kalıplamaya oranla daha ince kum kullanılmaktadır(Brautigam, 1981).

Kullanılan kumun tane dağılımı 3-5 elek arasındadır. Genellikle AFS tane incelik numarası 50-160 arası olan silis kumları kabuk kalıplama için uygundur(Metals Handbook,1970). Çelik dökümlerde 50-90, demir dökümde 80-130, bronz dökümlerde 90-160 AFS tane incelik nolu kumlar kullanılmaktadır. Kullanılan zirkon kumlarının AFS tane incelik nosu 100-150 civarındadır(Berndt,1981)

2.3.1.1 Kumun Tane Dağılımı

Kabuk kalıplama için %85'i bir elek üzerinde kalan (tane dağılımı aralığı çok dar olan) kumlar uygundur. Alüminyum dökümler için kullanılacak kum dört elek arasında dağılmış ve az köşeli olmalıdır(Ergin vd.,1990)



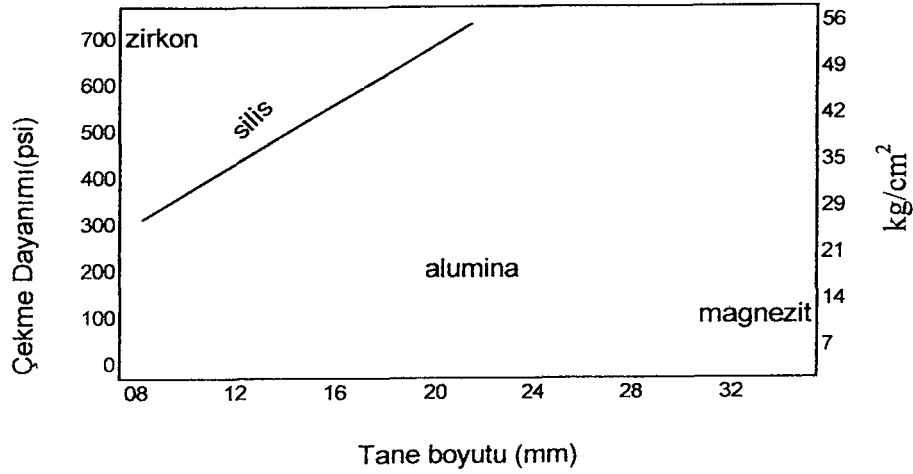
Şekil 2. 4 Kumun tane boyutunun çekme mukavemetine etkisi (Ergin vd.,1990).

2.3.1.2. Kumun Tane Boyutunun Etkisi

Kabuk kalıplamada genel olarak ince kumla iyi döküm yüzeyi sağlanmasına çalışılmalıdır. Kum tane boyutu bir kum kütlesinin refrakter özelliği üzerinde direkt bir etkiye sahiptir ve ince taneli bir kum kütlesinin refrakter özelliği azdır.

Refrakterlerde tane küçüldükçe refrakterlik düşer. Kabuk kumlarında yanmış bağlayıcı refrakterlik özelliğini artırdığından nisbeten daha ince silika kumlarının ergime noktasına ulaşmadan kullanılması mümkündür. Zirkon kumlarının inceliği yüksek ergime sıcaklıkları nedeniyle önemli değildir. Kumlar inceldikçe yüzey alanları artacağından tane büyüklüğü yaş ve kuru dayanıklılık üzerinde de etkilidir (Kınıkoğlu,1985).

Kum tane boyutu kalıp ve maçalarda istenilen mukavemet değerlerini sağlamak için gerekli reçine miktarı üzerinde direkt bir etkiye sahiptir. Bunun nedeni belirli bir kum kütlesinde taneler inceldikçe tane yüzey alanının artmasıdır(ERGİN vd.,1990).



Şekil 2. 5 Reçine kaplanmış çeşitli metal oksitlerinin çekme mukavemetleri (Ergin, 1981).

Kabuk maçadan gelen gazı azaltmanın en iyi yolu düşük reçine oranı ve/veya çok kaba kum kullanmaktır. Belirli bir reçine oranında, yüzey alanı daha fazla olduğundan dolayı daha ince kum daha düşük mukavemetler sağlayacaktır. Kumun tane boyutunun çekme mukavemetine olan etkisi Şekil 2.5.'de görülmektedir.

2.3.1.3. Kumun Tane Şeklinin Etkisi

Dökümhane amaçları için kum tane şekli yuvarlak, az köşeli olabilir. Reçineyle bağlandıklarında minimum temas alanına sahip olduklarından dolayı en büyük geçirgenlik yuvarlak taneli kumlar tarafından sağlanır. Yuvarlak taneli kumlar yüksek soğuk mukavemet için minimum reçine talep ederler, fakat sıcak mukavemetleri düşük ve termal genleşmeleri yüksektir. Ayrıca bu tip kumla iyi üflenebilirlik, akabilirlik ve maksimum yoğunluklu kalıpların üretilmesi mümkündür.

Bu özellikler ve düşük sıcak mukavemetleri onları bilhassa maça yapımına uygun hale getirir. Köşeli taneler yüksek sıcak mukavemetleri dolayısıyla kalıp yapımında tercih edilirler. Köşesiz kumlar yuvarlak tanelerle köşeli taneler arasında bir özelliğe sahiptirler ve daha çok kalıpyapımında kullanılırlar. Köşesiz kumlar iyi düşük reçine miktarı, orta soğuk dayanıklılık ve yüksek sıcak dayanıklılık özellikleri verirler. Metal tarafından süpürülme ve metal girmesine eğim göstermezler(Kınıkoğlu, 1985).

Reçineyle bağlandıklarında keskin köşeli kumlar en düşük geçirgenliğe, en düşük soğuk mukavemete ve en yüksek sıcak mukavemete sahiptirler.

Hafif köşeli kumlar ise bu iki tipin arasında özelliklere sahiptirler. (Ergin, 1981)

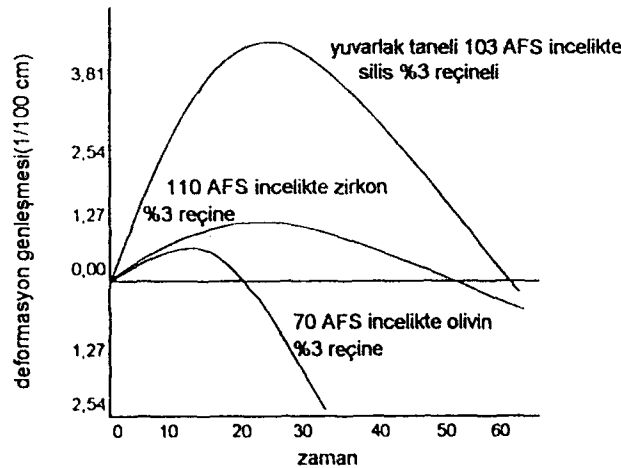
2.3.1.4. Kabuk Kalıplamada Kullanılan Silis Kumu Haricindeki Diğer Mineraller

Silis kumu en ucuz kumdur, ancak sadece yüksek yüzey kalitesi talep etmeyen dökümlerde kullanılır. Üretilen dökümlerin yüzey kalitesi daha düşük termal genleşme katsayısına ve daha büyük termal iletkenliğe sahip diğer kum tipleri kullanılarak iyileştirilebilir. Döküm yüzeylerinin zirkon olivin, kromit kumları kullanılarak iyileştirildiği tesbit edilmiştir, fakat bunlarında beraberlerinde getirdikleri bazı problemler vardır. Reçine bütün kum tiplerine aynı oranda yapışmaz. Tane yüzeyindeki elektrostatik karakteristikler reçinenin tane yüzeyine yapışmasında önemlidir.

Kabuk kalıplamada kullanılan kumların termal genleşmelerinin büyük önemi vardır ve Şekil 2.6' da görüldüğü gibi olivin kumlarının genleşmesi belirli bir zamanda silis ve zirkonunkinden daha azdır.

Yüksek akıtma sıcaklıklarına sahip metallerin dökümünde ve ağır kesitli parçaların dökümünde metal sızmasını önlemek için zirkon kumları kullanılır. Ticari zirkon kumlarının ergime noktası yaklaşık 2200 °C 'dir. Zirkon silis kumundan iki kere daha büyük termal iletkenliğe ve 1.3 daha az termal genleşmeye sahiptir. Ayrıca zirkon silisten iki kat hızlı olarak ve iki misli ısı absorblayabilir. Yoğunluğunun silisten ikik kere daha fazla olması nedeniyle oğucu içerisine silis kumu yerine aynı hacimde zirkon kum ukonulursa çok fazla zorlanmaya neden olunur ve aynı ağırlıktaki zirkon kumu ile yapılan kabukların sayısı silis kumu ile yapılanların yarısı kadardır.

Olivin kırılmış bir mineral olduğundan son derece köşeli olup, istenilen elek analizine sahiptir. Fakat daha fazla reçine gerektirir ve bu da hem maliyeti artırır, hem de Dökümde daha fazla gaz oluşumuna neden olur. Olivinin reçineyle kolayca bağlanamamasının nedeni tanelerin çok köşeli yapısı ve tane yüzeyi ile reçine arasındaki zayıf adhezyon kuvvetidir.

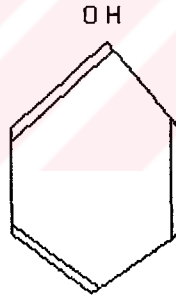


Şekil 2. 6 Çeşitli kum minerallerinin zamanla genleşme eğrileri(Ergin,1981)

Kromit kumu kabuk kalıplamada kullanıldığında mükemmel döküm yüzeyi vermesine rağmen, reçine ile kaplanması güçtür. Bu problemin kromit kumunu sulandırılmış asitle muamele edilerek yenilebileceği belirtilmesine rağmen kesin bir sonuç alınamamıştır (Ergin,1981).

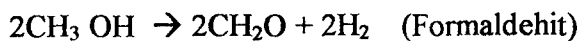
2.3.2. Bağlayıcı (Reçine)

Kabuk kalıplamada bağlayıcı olarak fenol formaldehit reçineleri kullanılır. Fenol formaldehit reçineler Novalak reçine olarak da bilinirler. Novalak reçineler fenol ile suda çözelti halindeki formaldehit'in asit bir katalizör yardımıyla reaksiyona girmesiyle elde edilir. Bu olaya kondenzasyon denir. Kondenzasyon 20-100 °C arasında bir çok aşamadan oluşur. Atmosferik basınç altında başlayan kondensasyonun sonunda, üretilen reçinenin sudan arındırılması için vakum uygulanır. Novalak reçinenin üretimi için gerekli hammaddelerin en önemlileri fenol ve formaldehit'tir. Fenol'ün kimyasal formülü C_6H_5OH 'tır. Açık olarak Şekil 2.7'deki gibi gösterilir. Fenol %99 oranında C_6H_5OH 'tan oluşur ve yaklaşık 41°C civarında erir(Başgut,1989).

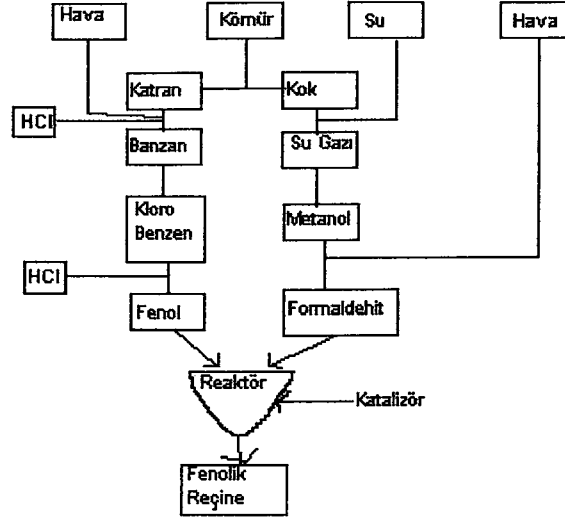


Şekil 2. 7 Fenol (Başgut,1989)

Taş kömürünün yüksek sıcaklıkta koklaştırılması ve katran elde edilmesiyle başlanır. Bu katrandan elde edilen benzenle fenol üretimi sürer. Öbür bileşen $HCHO$ formülüyle bilinen formaldehittir. Formaldehiti üretmek için kok kömürü sıcak halde iken su buharı ile reaksiyona sokulur ve önce metan gazı daha sonra bu metandan metil alkol elde edilir. Metil alkolün oksidasyonu ile da formaldehit üretilmiş olur. Metanolün oksidasyonunda gümüş katalizör olarak kullanılır.



Fenol ve formaldehitin elde edilişi şematik olarak Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2. 8. Fenol, formaldehit ve fenolik reçinenin üretim şeması (Başgut,1989)

Fenol-formaldehit reçineler bir aşamalı ve iki aşamalı fenol-formaldehit reçineleri olarak iki gruba ayrılır (Stephens,1980).

Bir aşamalı reçineler aynı zamanda termoset reçineler olarak da bilinirler. Bir aşamalı reçineler ısı etkisi ile sertleşen reçinelerdir. İki aşamalı reçineler ise ısı etkisiyle önce yumuşarlar ve plastik bir özellik gösterirler. Bu reçinelerin ısı etkisi ile sertleşebilmeleri için yeni katkı maddesi gereklidir.

Ancak bu katkı maddesi ilavesinden sonra ısı etkisi ile sertleşebilir hale geldiklerinden bunlara iki aşamalı reçineler denilmektedir (Başgut,1989).

Kabuk kalıplamada kullanılan reçineler iki aşamalı reçinelerdir. Fenol formaldehit reçinelerinde reçinenin bir ya da iki aşamalı olması üretim sırasında reaksiyona giren fenol ve formaldehitin mol oranlarına ve reaksiyonda kullanılan katalizörün asidik veya bazik karakterde olmasına bağlıdır. Reaksiyona giren fenol ve formaldehitin mol oranı 1 den küçük, yani formaldehit molekülleri, fenol moleküllerinden fazla ve kullanılan katalizörde bazik ise elde edilen reçine bir aşamalı reçinedir. Bu reçinelere Resol denir.

Fenol / formaldehit mol oranı 1 den büyük yani formaldehit molekülleri fenol moleküllerinden az ve kullanılan katalizörde asidik ise, elde edilen reçine iki aşamalıdır. Bu reçinelere novalak reçine denir. Bir aşamalı reçineler dökümcülükte sıcak kutu reçineleri olarak kullanılırken, iki aşamalı novalak reçineler kabuk kalıp ve maça yapımında kullanılır.

Formaldehit / fenol oranına reçinenin modülü de denir. Kabuk kalıplamada kullanılan reçinelerin modülü 0,5 – 0,9 arasında değişir. Tipik bir kabuk kalıp reçinesi ağırlıkça 100 ölçü

Fenol, 72 ölçü %37'lik formaldehit ve 0,5 ölçü oksalik asit (katalizör) ten meydana gelir. HCl, H₂SO₄'de katalizör olarak kullanılabilir(Berndt,1981)

Kabuk kalıplamada iki aşamalı novalak reçine kullanılması yöntemin bir gereğidir. Kabuk kalıp yapımında kullanılan kum önce reçine ile kaplanmalıdır. Bir başka deyişle reçine kum tanelerinin etrafını bir tabaka halinde sarmalıdır. (Yöntemin ilk uygulamaları sırasında toz reçine kumla karıştırılarak kullanılıyordu. Ancak bu uygulama bazı sakıncaları yüzünden terkedilmiştir.) Bunun yapılabilmesi için de reçinenin plastik hale gelebilmesi gereklidir. Bu nedenle termoplastik özellik gösteren iki aşamalı novalak reçine kullanılır ve ısı etkisi ile (sıcak kaplama), çözünme etkisiyle (soğuk kaplama) veya hem ısı hem de çözünme etkisiyle (ılık kaplama) plastik hale geçirilerek kum taneleri etrafına kaplanır.

Ancak bu reçine kaplı kum tanelerinin kalıbı oluşturabilmesi için reçinenin ısı etkisiyle sertleşmesi gerekir. Başka bir deyişle bu aşamada termo-set özellikli bir reçine gereklidir. Bu da reçinenin modülünü, yani formaldehit: fenol oranının yükseltmek için eksik olan formaldehiti vermekle sağlanır. Teorik olarak modülün 1'e çıkarılması yeterli ise de pratikte modülü 1'e çıkarmak için gerekli olandan daha fazla formaldehit kullanılır.

Bu amaçla termoplastik reçineye kum kaplama aşamasında ve düşük sıcaklıkta formaldehit taşıyıcı maddeler ilave edilir. Bu durumdaki reçine istenilen süre stoklanabilir. Novalak reçineye eksik formaldehiti sağlamak için en yaygın kullanılan madde "heksametilentetramin" dir. Kısaca heksamin veya hekza olarak bilinir. Heksamin 117°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısı etkisiyle formaldehit ve amonyak olarak ayrışır(Başgut,1989)

Yeterli miktarda formaldehitin heksaminle sağlanması ve ısı etkisi ile polimerlerin çapraz bağları tamamlanarak üç boyutlu yapı meydana gelir. Çapraz bağlar tamamlanırken viskozite hızla yükselir ve reçine (ısıtılmış model üzerinde kalıp malzemesi ile birlikte) katılaşır. Bu durumdaki reçine "Resit" adını alır(Başgut,1981)

Katı haldeki reçineler ısı etkisiyle önce yumuşarlar -117°C'de ayrışan heksadan sağlanan formaldehit ile sertleşme başlar. Heksametilen tetramin novalak reçinelerin çapraz bağlanmasında en yaygın kullanılan madde olmasına karşın kabuk kalıpta ikincil amin zincirleri halinde bir miktar azot bırakması çelik dökümlerde bazı gaz hatalarına neden olmaktadır. Bu nedenle azot gazı taşımayan formaldehit taşıyıcılar denenmiştir(Middleton,1981).

Novalak reçineler saf halde bağlayıcı kalıp malzemesi olarak kullanılmaya uygun değildirler. Saf novalak gevrek ve kırılgandır. Sağladığı dayanım da oldukça düşüktür. Bu dezavantajların

giderilerek novalak reçinenin bağlayıcı olarak uygun özellikler taşımalarını sağlamak için reçinenin kondenzasyon sürecinde veya daha sonra bazı maddelerle işlem görmesi gerekir. Bu olaya modifikasyon, reçineye ilave edilen maddelere de modifikatör denilir. Modifikatörler reçinenin kullanım amacına uygun olarak seçilen herhangi bir özelliğini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar. Değişik modifikatörler değişik özelliklerin iyileştirilmesini sağlar (Metals Handbook, 1970).

Novalak reçineler kabuk kalıplamada başlıca sıvı ve katı olmak üzere iki halde bulunurlar. Sıvı reçineler %60-70 katı reçine (geri kalanı alkol veya aseton) içeren novalak vernikler ve %75-80 katı reçine (%4 alkol, geri kalanı su) içeren sulu çözeltilerdir. Katı reçineler toz, topak granül ve pul şeklinde kullanılırlar. Sıvı reçinelerde reçine, alkol veya alkol-su karışımı içinde çözülmüş durumdadır. Kaplama sırasında bu alkol-su karışımı sıcak veya soğuk hava üflenerek buharlaştırılır. Novalak vernikler organik çözücülerde tamamen çözüldükleri halde suda çok az çözünürler. Sıvı reçineler ılık kaplamada kullanılırlar. Çözelti içindeki katı madde oranı arttıkça viskozite yükselir. En yüksek katı oranı %80'dir. Katı reçineler sıcak kaplamada kullanılır. Toz halde iken kumla karışım halinde de kullanılırlar. Katı reçineler de katı madde oranı %92-97 civarındadır (Metals Handbook, 1970).

Kabuk kalıplamada kullanılan fenolik reçineler yüksek sıcaklıklara dayanıklıdırlar. Kabuk reçineler yüksek sıcaklıklara dayanıklıdırlar. Kabuk kalıplama dart, kum aşınması ve kum yanması (burn-in) gibi hatalara dayanıklıdır. Genellikle boya kullanımı gereksizdir (Jonhson, 1984).

Kullanılan reçine, kabuk kalıp ve maçanın kullanma yerine göre %1,5 – 8,0 oranları arasında değişmektedir (Bunting, 1973; Stehlik, 1977).

2.3.2.1. Reçine Sarfiyatını Azaltma Metodları

a – Kum kil, organik madde gibi emprütelerden arındırılmalıdır.

b – Memnun edici döküm yüzeyi verecek en kaba kumla çalışılmalıdır.

c – Ön kaplama işlemlerinde kum taneleri reçine ile daha etkili olarak kaplandıklarından, toz reçine – kum karışımlarına göre daha az reçine kullanılabilir.

d – Kumun mekanik olarak paketlenmesine imkan veren üfleme – tip makinalarda kabuğun mukavemeti önemli oranda arttırılabilir ve reçineden %50'ye yakın tasarruf sağlanabilir.

e – Arkalama metodları kullanılarak daha ince kabuklara döküm yapılabilir.

f – Eğer kompozit kalıp yapmak için pratik bir metod uygulanabilirse; daha kaba, daha az reçine ihtivalı kumla desteklenen ince kumdan ince bir yüzey tabakasına sahip kompozit kalıpların kullanılması reçine sarfiyatını azaltır.

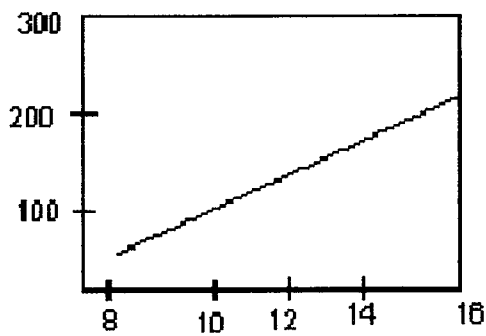
g – Kabuk mukavemetini arttıran ilavelerin kullanılması reçine sarfiyatını azaltır (Ergin vd.,1990).

2.3.3. Heksametilentetramin

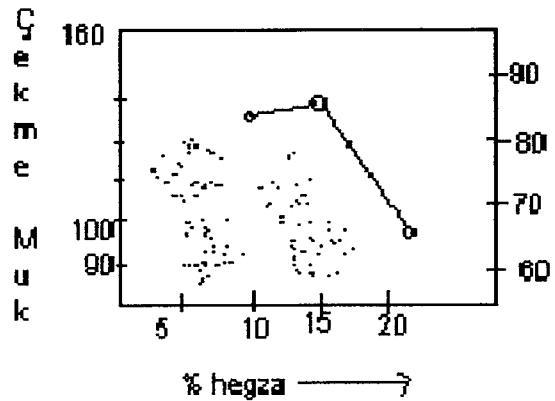
Kabuk kalıplamada aktivatör olarak en yaygın kullanılan malzeme; kullanımının kolay, fiyatının uygun oluşu nedeniyle heksametilentetramindir. Heksametilentetramin beyaz, kristalize ve suda çok kolay çözünebilen bir maddedir. Formaldehitte, amonyağın ekzotermik reaksiyonu ile elde edilir.



Heksametilentetramin kısaca “heksa” olarak bilindiği gibi “heksamin” ve “ürotropin” adlarıyla da tanınır. Molekül ağırlığı 140,2 yoğunluğu 1,331 gm/cm tür. Kabuk kalıplamada kullanılan heksaminin safiyeti %99-100, kül miktarı %0,02 nem miktarı %0,5 olmalıdır. Havanın neminden etkilendiği için kuru atmosferde veya kapalı plastik halden termo-set hale geçmesi için gerekli formaldehiti sağlamak amacıyla kullanılır. Genellikle reçine oranının %10-14’ü civarında kullanılır. Reçine kaplı kumun oda sıcaklığındaki çekme dayanımı %12 heksamin civarında en yüksek değerdedir. Heksa oranının arttırılması soğuk dayanımı daha fazla arttırmaz, ancak sıcak dayanım artmaya devam eder. Sıcak dayanım %18 civarında maksimum değere ulaşır.



Şekil 2. 9. Reçine katılarına göre heksa oranının sıcak çekme mukavemetine etkisi (Ergin vd.,1990)



Şekil 2. 10. Heksa oranının değişiminin soğuk çekme mukavemetine etkisi (Ergin vd.,1990)

Şekil.2.9. ve 2.10. da hegza ihtivasının sıcak ve soğuk çekme mukavemetlerine etkisi verilmiştir.

Hekza bağlayıcıya ısısartleşme özelliğı vermek için kullanılır. Kullanılma miktarı istenilen sertleşme süresine bağıdır. Katı reçinelere %14-16 katılması iyi sonuçlar verir. Bu hekza oranında hem sıcak hem de soğuk mukavemet yeterlidir ve kırılmalık fazla değildir.

Sıcak dayanıklılığı arttırmak ve sertleşme zamanını kısaltmak için bu miktar %20'ye kadar çıkartılabilirse de bu kabuğun soğuk dayanıklılığının düşmesine ve gevrekliğine sebep olacak ayrıca döküm sırasında çatlamalara yol açabilecektir. %20'den fazla hekza dolgu malzemesi gibi görev yapacağından sıcak dayanıklılığı düşürecekler(Kınıkoğlu,1985).

%6'dan daha az oranlarda heksamin hiçbir etki yapmaz. Yüksek heksamin miktarı sıcak dayanımı artırırken kırılmalığı da artırır. %6 civarında heksaminle tam sertleşme sağlanamadığı için kabuk kalıbın deformasyona uğrama tehlikesi vardır. Yüksek oranda heksamin ise yüksek sıcaklığa dayanıklı ilave bağ oluşumuna yol açtığı için kabuk dağılma özelliğini de kötüleştirir. Heksamin miktarı sertleşme (kabuklaşma) hızını da etkiler. Heksamin arttıkça optimum sertleşme daha çabuk olur. Ancak yüksek sertleşme hızı kabuk kalıbın sıcak kırılmalılığını çok artırır ve kalıp çatlamasına neden olur. Heksamin oranı yükseltilerek sertleşme zamanının kısaltılması kabuk dayanımında küçük bir azalmaya neden olur. Heksaminden başka, formaldehit verici olarak kullanılan diğer madde paraformaldehittir(Başgut,1989).

2.3.4. Yağlayıcı Madde

Kalsiyum stearat, çinko stearat ve karnaboa mumu gibi yağlar modelden sıyırma ve kumun akışkınılığını geliştirmek için karışıma ilave edilirler. Yağlayıcı ilave edilmiş karışım %20 daha fazla yoğun olduğundan dolayı, daha yüksek mukavemet özellikleri sağlar. Bunun nedeni yağlayıcı ilave edilmesiyle kum taneleri arasındaki sürtünme katsayısının azalması, böylece kumun daha sıkı paketlenmesi ve daha yüksek yoğunluk kazanmasıdır. Yağın miktarı arttıkça çekme mukavemeti önce artar ve son azalır. Yağlayıcı maddenin karışımın çekme mukavemetine etkisi Şekil.2.9'da verilmiştir (Ergin vd.,1990)

En yaygın kullanılan yağlayıcı madde kalsiyum stearattır. Kullanılacak yağlayıcı miktarı yağlayıcı cinsine göre değişir. Kalsiyum stearat için reçinenin ağırlıkça yüzedis olarak %2-6 oranları verilmektedir. Kalsiyum stearat yağlayıcılığı yanında modelden sıyrılmayı

kolaylaştırıcı (ayırıcı) etkide yapmaktadır. Bu nedenle kullanılacak kalıp ayırıcı gereksinimi ve k rlenmiş kabuk kalıbın sıyrılması için gerekli kuvvet azalmaktadır(Bunting,1973).

Modelde koniklik çok az, itici pimler düzensiz dağılmış ve yetersizse veya çok karmaşık bir maça yapılyorsa kalsiyum stearat oranı reçinenin %9'una kadar arttırılabilir(Metals Handbook,1970).

Kalsiyum stearat toz veya suda dağılmış halde verilebilir. Rengi beyazdır. Toz halde iken %9,4 kül, %2 nem içerir. 148-160  C arasında yumuşar, serbest yoğunluğu 1,03 g/cm³ , sıkışmış yoğunluğu 2,0 g/cm³ tür. Tanelerinin %99,9'u 0,045 mm.lik elekten geçmelidir. Sıvı halde %52 sulu karışım halinde, PH değeri 11,5 'dir (Berndt,1981)

2.3.5. Ayırıcı

Kabuk kalıp ve maçaların model ve maça sandığından kolayca sıyrılabilmeleri için model ve maça sandığının yüzünü yağlayacak ayırıcı maddelere gerek vardır. Bunların ticari olarak kullanılan başlıcaları silikon, stearat ve mumlardır. Yağlayıcı olarak en yaygın kullanılan kalsiyum stearatın ayırıcı etkisi de olmakla birlikte ayırıcı olarak genellikle silikon kullanılmaktadır(Ergin,1981)

2.3.6. Vinsol

Ağacın ana bileşenlerinden olan ligninin saflaştırılmış şeklidir. Reçine katılarının %8-12'si Vinsol ilavesi termal çatlamayı azaltır. Vinsol sıcak çekme dayanımını düşürür (Ergin vd.1990)

2.3.7. Özel Katkılar

Kumdan daha kaba taneli parçacıkların ilave miktarı %33'  aşınca a kadar döküm yüzeyi ve ge irėenlik olumsuz yönde etkilenmez. İnce taneli parçacık ilaveleri ise %15'i aşınca ge irėenliėi azalttıkları ve reçine sarfiyatını arttırdıklarından dolayı problem olmaktadır (Ergin vd.,1990)

Kabuk kalıp ve maçaların çeşitli özelliklerini ayarlamak ve dökülen parçada oluşan bazı hataları önlemek amacıyla kabuk kalıp kumuna özel bazı katkı maddeleri ilave edilir. Demir oksit hem Hematit Fe₂O₃ hem de, Manyetit Fe₃O₄ halde katkı malzemesi olarak kullanılır. Uygulamada Fe₃O₄ hadde tufalinden, Fe₂O₃ kabuk kalıbın sıcak dayanımını arttırdığı gibi ısı

çatlama direncini de artırır. Kullanılan demir oksitin ince taneli oluşu yüzünden ilave reçine kullanılması gerekir (Metals Handbook, 1970)

Aksi halde soğuk dayanım düşer. Fe_2O_3 %4 oranında ince kalsiyum karbonatla birlikte soğutucu etki yaparak pürüzlü döküm yüzeyini önlemede kullanılır (Başgut, 1981)

İngiltere’de üretilen reçine kaplı kumların çoğu bu nedenle %5 hadde tufalı içerir (Middleton, 1981)

Hadde tufalı kromit kumuyla kullanıldığında, %7,5 hadde tufalı ilavesiyle kabuk yapma hızı en düşük düzeye inmektedir. Hadde tufalı oranı %15’e çıkınca kabuk yapma hızı tekrar artmaktadır. Aynı durum basma dayanımı ve soğuk çekme dayanımı için de geçerlidir.

Çeşitli incelikte tozlar halinde bulunabilen hadde tufalı katkı maddesi olarak 0.104 mm nin altındaki boyutlarda kullanılmaktadır.

Kupol curufu, katran, ince odun talaşı sentonit, kömür tozu, mangandioksit, sodyum ve potasyum karbonatlar, potasyum-boroflorit, magnezyum ve amonyum silikafloritler ile alüminyum oksit kabuk kalıplamada kullanılan diğer katkı maddeleridir (Metals Handbook, 1970).

Kupol curufu 0,09 mm (180 mesh) nin altına öğütülerek kullanılır. Metalik katışkılardan tümüyle arınmış olmalıdır. Sıcak genleşmeyi azaltıcı etkisi için kullanılmaktadır.

Odun talaşı taneler arasında yastık etkisi yaparak deformasyonu arttırmak amacıyla 0,09 mm (180 mesh) nin altındaki tane boyutunda ve %0,25 – 1,0 oranlarında kullanılır. Bentonitte kalıp ve maçaların dağılma hızını düşürür ve demir asıllı metallerde döküm sonrası yüzey kalitesini artırır. Kömür tozu gri dökme demir, temper demir ve sfero dökme demir dökümlerde yüzey kalitesini arttırmak amacıyla kullanılır. Bentonit soğuk dayanımı düşürür.

Kurşundioksit ve sodyum karbonat, kalsiyum karbonat gibi karbonatlar reçine oranının %50’si oranında kullanıldıklarında çelik dökümlerin yüzey kalitesini iyileştirmede mangandioksitinkine benzer etki yapmaktadırlar (Powel, 1961).

Kalsiyum karbonat kalıptan gaz çıkışını artırıcı etki yapar. Kalsiyum karbonat ince demiroksitle birlikte %4 oranında kullanıldığında karbon çeliklerinde yüzey hatalarını önler. Sıvı metalin kalıp veya maçayla teması sırasında kalsiyumkarbonat kuvvetli bir oksit giderici rolü oynayarak yüzey gaz hatalarını en aza indirir (Andrew, 1960).

Magnezyumsilicaflorit karbon çeliklerinin dökümünde kalıp-metal reaksiyonunu önlediği ve döküm yüzey kalitesini yükselttiği için kullanılmaktadır (Andrew,1971).

İnce öğütülmüş silis unu kabuk kalıbın ısıl çatlak oluşturma eğilimini azaltmaktadır. Kükürtboroflorit ve potasyumboroflorit magnezyum alaşımlarının dökümünde magnezyum oksijen ve silika ile reaksiyona girmesini önler. %0,5 oranında amonyumborofloritte reçine-kum karışımına kuru toz halinde karıştırıldığında aynı reaksiyon önleyici etkiyi yapar (Andrew,1960)

2.4 Kum Hazırlama

Kabuk kalıplama için reçine-kum karışımı ya kuru karıştırma tekniği ile veya kumun reçine ile kaplanması suretiyle hazırlanır. Kaplanmış kum, merdaneli bir karıştırıcıda kum, uygun reçine, bir katalizör (Hexa) ve diğer ilaveler ile yağlayıcının, müştereken karıştırılması ile hazırlanır. Bazı alaşım grupları için tipik reçine – kum karışımları Tablo 2.1. de özetlenmiştir (Çavuşoğlu,1981).

2.4.1 Kum – Toz Reçine Karışımı

Kabuk kalıplamada reçinenin ilk kullanımı, toz halinde reçine ve katkıların oda sıcaklığında kuru kumla karıştırılmasıyla elde edilen reçine – kum karışımlarıdır. Kabuk kalıplamanın ilk uygulanmaya başlandığı yıllardan, 1955 yıllarına kadar bu karışımlar kullanılmıştır (Pohl,1970)

Toz reçine heksamin ve yağlayıcı ile karıştırılmış halde imal edilir ve bu hali ile kuru kumla karıştırılır. Ayrıca toz önleyici olarak parafin, gaz yağı veya ince yağlar kullanılır. İstenilen incelikteki kuru kum, kum karıştırıcıya konulduktan sonra %0,2 gaz yağı veya %0,3 – 0,5 parafin ilave edilerek, kum içinde dağılana kadar 30-60 sn arasında karıştırılır. %5-8 civarında reçine ilave edildikten sonra karıştırıcının tipine ve hızına bağlı olarak 5-20 dakika daha karıştırılır. Az veya çok karıştırma kumun sağladığı dayanımın düşmesine neden olur. Fazla karıştırma kumun ısınmasına ve reçinenin bu ısıyla yumuşayıp topaklanmasına da neden olur. Bu da sonuçta reçine dağılımının bozulmasına ve dayanımın düşmesine yol açar. Karıştırma ve kalıp yapma sırasında oluşan toz önemli bir dezavantajdır. Toz oluşumunu önlemek için ilave edilen katkılar da dayanımın düşmesine neden olur. Kalıp ve maça yapımı sırasında reçine segregasyona uğrayarak, genellikle model yüzeyine yakın bölgelerde, reçine bakımından zengin bölgeler oluşturur. Bu da döküm sırasında gaz hatalarına ve kalıbın modelden sıyrılırken yapışmasına yol açar. Kum-toz reçine karışımlarındaki reçine

segregasyonu, özellikle üfleme yöntemiyle maça veya kalıp yapımında, ciddi sorunlara neden olur. Bu yüzden kum-toz reçine karışımlarının üfleme yöntemiyle kalıp maça yapımında kullanılması çok zor, hatta imkansızdır. Bağ oluşumunun verimsizliği yüzünden fazla reçine kullanılması zorunludur bu da maliyetin yükselmesine neden olur.

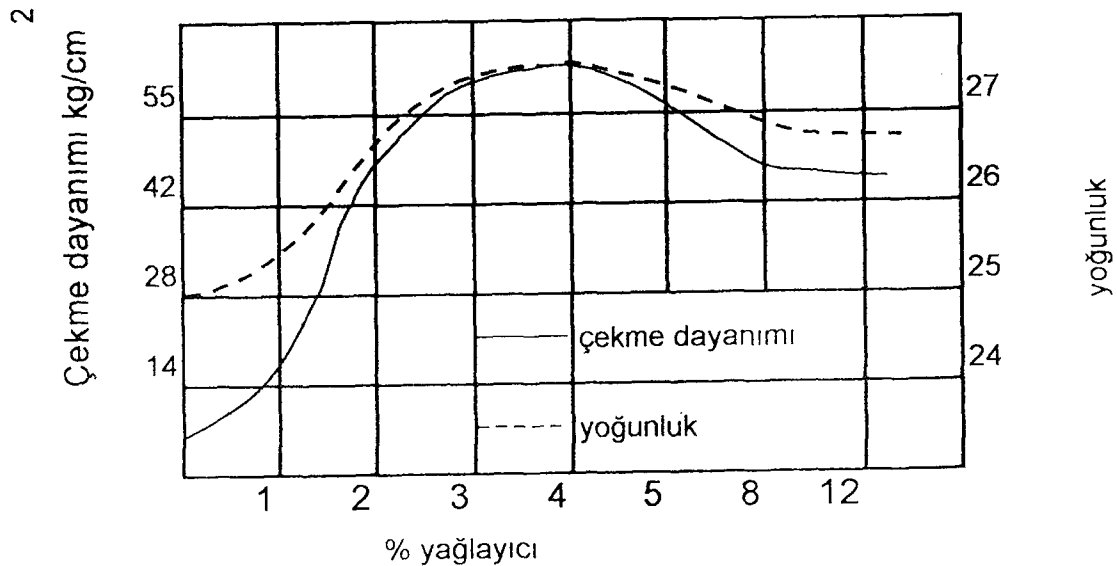
Bu yöntemle kum hazırlamanın yatırım maliyetinin düşük olması ve bazı durumlarda çelik ve bronz dökümlerde daha iyi yüzey sağlaması yöntemin avantajlı yanlarıdır (Başgut,1989).

2.4.1.1 Kuru Karıştırma Metodu

İlk zamanlarda kabuk kalıplama karışımları toz reçine ve kumun mekanik olarak harmanlamasıyla hazırlanmıştır. Buna “C – Prosesi” de denilmektedir. Temiz silis kumu kuru karıştırma için %5-7 reçine talep eder. Karıştırma prosedürü şöyledir :

Önce kuru kum karıştırıcıya yüklenir ve %0,2 kerosen ilave edilerek dağılıncaya kadar (30-60 sn) karıştırılır. Sonra reçine ilave edilir ve 15-20 dak. Karıştırılır. Bu işlem dikey tekerlekli karıştırıcılarda 7-9 dak. dır. Tozlanmayı önlemek için bazen yağlayıcı ve nemlendirici ilavesi yapılmaktadır.

Kuru reçine – kum karışımları segregasyon ve tozlanmaya neden olduklarından üfleme tip kabuk kalıplama makinaları için uygun değildirler (Ergin vd:1990).



Şekil 2. 11 Karışıma ilave edilen yağlayıcı maddenin çekme kuvveti ve yoğunluğu etkisi (Ergin vd.,1990)

Çizelge 2. 1 Değişik birkaç Alaşımdan döküm örneği için tipik kum-reçine karışımları

Kum- Reçine Bileşimi	Döküm Boyutu	Bazı tipik Uygulama alanları
63 kısım silis kumu (AFS 140) 30 kısım zirkon kumu % 5 reçine % 2 silis unu	Az karbonlu ve az Alışımli çalikle	Valf gövdeleri pompa yatak gövdeleri krankşaftlar vb
60 kısım zirkon kumu (AFS 108) 40 kısım zirkon kumu (AFS 113) % 3 reçine % 0,75 Mangenez dioksit Tozu % 0,5 kalsiyum stearat	Orta ve yüksek Karbonlu çelikler	dişli piyonları, kranklar, burçlar vb.
60 kısım silis kumu (AFS 108) 35 kısım silis kumu (AFS 113) % 4 reçine % 2 bentonit % 1 Kalsiyum Steeret	Gri dökme demir	dişli tekerleri pinyonlar, irtibat çubukları vb.
60 kısım silis kumu (AFS 141) 35 kısım silis kumu (AFS 108) % 4 Reçine% 1.5 Demiroksit % 1.5 Kalsiyum stearat	Küresel Grafitli dökme	Braket, taşıma kolonları, krankşaft, kramşaft, dişli tekeri vb.
60 kısım silis kumu(AFS 108) 35 kısım silis kumu(AFS 83) % 4 Reçine% 2 Odun tozu% 1.5 kalsiyum Stearat	Aluminyum Alışımli	silindir kafaları pistonlar çeşitli teker vb.

2.4.2 Kumun Reçine ile Kaplanması

1950'li yılların ortalarından sonra kum – toz reçine karışımları yerine reçinenin ince bir film halinde kum tanelerinin etrafına kaplandığı, reçine kaplı kumlar kullanılmaya başladı. Reçine kaplama yöntemiyle, toz reçine – kum karışımlarıyla sağlanan dayanım yarı yarıya daha az reçine kullanılarak sağlanmaya başladı. Reçine kaplı kumların en önemli avantajı kum – toz reçine karışımları gibi segregasyona uğramamalarıdır. Bu yüzden, kullanımı yalnızca devirme yöntemiyle sınırlı kum – toz reçine karışımlarının aksine, reçine kaplı kumlar her yöntemle kalıp ve maça yapımında kullanılmaktadırlar. Reçine kaplı kum kullanımıyla maliyetin düşmesinin yanı sıra, segregasyon dolayısıyla düzensiz reçine dağılımı ve bunun neden olduğu gaz hataları da önlenmiştir. Yarı yarıya az reçine kullanılması nedeniyle döküm sırasında kalıptan daha az gaz çıkması model ve maça sındığından kolay sıyrılabilmesi yüzünden pahalı ayırıcı kullanımında azalma sağlanması, otomatik makinalarla kalıp yapımına uygunluk, akışkınlığın artması ve toz sorununun ortadan kalkmasıyla tozun getirdiği sağlık sorunlarının çözülmesi diğer önemli avantajlardır. Reçine kaplı kumun yüksek ısıl genleşmesi ve bunun sonucu olan yüksel ısıl çatlama eğilimi reçine kaplı kumun en önemli dezavantajlarıdır (Başgut,1989)

Reçine kaplanmış kumu hazırlamada kullanılan ve birbirine benzer görülebilen önkaplama yöntemleri şunlardır : (Ergin vd.,1990).

- a – Soğuk kaplama,
- b – Ilık kaplama,
- c – Sıcak kaplama.

2.4.2.1 Soğuk Kaplama

Soğuk kaplamada oda sıcaklığındaki kum %60-70 oranında katı madde içeren sıvı reçine ile kaplanmaktadır. Sıvı reçine, alkol su karışımı içinde çözünmüş novalak reçineden oluşmaktadır. Kullanılan alkoller metil, etil ve izopropil alkollerdir. Sıvı reçine yerine toz reçine kullanılıp, kum reçine karışımına, alkol – su karışımını daha sonra ilave etmekte mümkündür. Önce kuma hekmamin ve yağlayıcı (kalsiyum stearat) ilave edilerek 30 – 60 sn. karıştırılır. Daha sonra sıvı reçine bu karışıma ilave edilir ve kum tanelerinin tümüyle ıslanacağı kadar bir süre (2 – 3 dk) karıştırılır. Sıvı reçine böylece kum taneleri etrafına sıvandıktan sonra alkol ve suyun uçurulması için soğuk hava üflenir. Alkol ve su karışımından alındıkça reçine – kum karışımı topak hamur görünümünü alır. Karıştırma ve

alkolün uçurulması devam ettikçe kum topağı ualanarak taneler ayrılır ve kum akışkan bir hal alır. Kaplama süresi reçine tipine, karıştırıcı hızına ve üflenene hava miktarına bağı olarak değışir. Toplam soğuk kaplama süresi 6 – 15 dakika arasında değışir. Kaplamadan sonra kum elenerek küçük topaklar ayıklanır. Soğuk kaplama yöntemiyle hazırlanmış kumlarda az miktarda çözücü alkol kalır. Bu çözücü, depolama sırasında reçinenin yapışmasına ve topaklanmasına neden olur. Bu sakıncanın önlenmesi için kumun hava üflenerek çok iyi kurutulması gerekir (Pohl,1970).

Soğuk kaplama metodunun dezavantajları şunlardır

- a – Sisteme fazla miktarda sıvı yüklenmesi kaplama zamanını arttırır.
- b – Karışımda reçine çözücüsü kalma ihtimali yüksektir. Bu stoklamada topak oluşturma meylini arttırır.

Soğuk kaplanmış kum kullanılmadan önce tamamiyle kurutulmuş olmalıdır. Bu oda sıcaklığından karışımı sürekli karıştırıcılarda karıştırmak ve karıştırma odasına büyük miktarlarda hava vermekle sağlanır. Hava kullanılan reçineye ve istenilen çevrim süresine bağı olarak soğuk, ılık veya sıcak olabilir. Hava ısındıkça çevrim süresi kısalır. Reçine – kum karışımını tam kurutmak için gerekli zaman hava sıcaklığına (optimum 230°C) ve karıştırıcıya verilen havanın miktarına (optimum 50 kg kum için dakikada 3,6 metre küp) bağı olarak değışir. Havanın karıştırıcıdan çıkışısının hızı da süreyi etkilemektedir (Kınıkoğlu,1985)

Kaplanmış kumun yetersiz kurutulması aşağıdaki problemlerden bazısına yol açabilir:

- 1 – Kum taneleri arasında düşük ergime noktalı bağı
- 2 – Düşük sıcak çekme dayanımlı kalıp
- 3 – Kaplanmış kumun depo olukları ve kalıplama makinelerinde tıkanmalara yol açması
- 4 – Kalıp kabuklarının sırtlarında düzensizlikler

Fazla kurutma ve fazla karıştırmanın ise şu sakıncaları vardır:

- 1 – Kum taneler arasında yüksek ergime noktalı bağı
- 2 – Düşük sıcak ve soğuk çekme dayanımına sahip kalıp
- 3 – Kalıplamada kabuk oluşumunun yavaşlaması

4 – Sızıntılara ve diğer kalıp kusurlarına sebep olan zayıf kalıplar.

Alkol veya alkol – su ile çözülmüş reçinelerle kaplamada şu emniyet tedbirlerini almak yerinde olur :

- 1 – Karıştırma değirmeninin yanında sigara içilmemeli ve çıplak ısıtık bulunmamalı
- 2 – Karıştırıcıda otomatik olarak gazı süpüren bir sistem olmalı
- 3 – Hava sirkülasyonu durunca hava ısıtıcısı otomatik olarak kapatılabilmesi

2.4.2.2 Ilık Kaplama

Ilık kaplama yöntemi iki değişik şekilde uygulanmaktadır. Bir uygulamaya göre kaplama, soğuk kaplamada olduğu gibi yapılmakta ve soğuk kum kullanılmakta ancak çözücü alkol – su karışımının ortamdan alınması için soğuk hava yerine 120 – 250 °C civarında sıcak hava kullanılmaktadır. Diğer uygulamaya göre 65 – 105 °C civarında ısıtılmış kum kullanılmakta, alkol – su karışımını uçurmak için de sıcak hava üflenmektedir. Yalnızca ısıtılmış kum kullanarak, soğuk hava üflemek de mümkündür (Başgut,1989)

Soğuk kaplamayla karşılaştırıldığında ılık kaplama toplam işlem zamanı %50 – 70 daha azdır ve daha az miktarda kalan çözücü nedeniyle ılık kaplanmış kumun topaklanma meyli daha azdır (Ergin vd.,1990)

Ancak kum ve hava sıcaklıkları alkolün parlamasına veya reçine heksamın reaksiyonuna neden olmayacak ölçüde düşük tutulmalıdır. Ilık kaplamada da soğuk kaplamada olduğu gibi sıvı reçine kullanılmakta, heksamın ve kalsiyum stearat ise toz halinde verilmektedir. Sıcak kum ve sıcak havanın kullanıldığı tipik bir ılık kaplama şu şekilde yapılır.

75 – 90 °C civarında ısıtılmış kum karıştırıcıya konulur. Heksamin ve yağlayıcı ilave edilir. 30 sn. karıştırılır. 30 sn. sonra sıvı reçine ilave edilir. 70 – 90 °C civarında sıcak hava üflenerek karıştırma yaklaşık 3 dakika daha sürdürülür. Bu süre içinde alkol – su karışımı buharlaşarak karışımdan alınır. Kum önce hamur görünümüne ulaşır, ardından topak ufalanmaya başlar. Bu aşamada karıştırıcıdan alınan kum elenir ve soğutulur. Soğutma işlemlerinden sonra kaplanmış kum sıcaklığının 45°C'nin altına inmiş olması gereklidir. Ilık kaplamada alkol – su karışımının alınması daha hızlı ve kolay olduğu için kaplama sonrası kumdaki çözücü oranı, dolayısıyla kumun topaklanma eğilimi soğuk kaplamaya göre daha düşüktür. Ancak bu sakınca tümüyle önlenememiştir. Her kaplama işlemi sırasında önemli

miktarda alkol ve suyun ortamdan buharlaştırılarak alınmasının sorunlu olması ve parlayıcı alkolle çalışması yöntemin dezavantajlarıdır.

2.4.2.3 Sıcak Kaplama

Sıcak kaplamanın soğuk ve ılık kaplamadan en büyük farkı kullanılan reçinenin katı olmasıdır. Çözücü alkol – su karışımının kullanılmaması hem kaplama süresini kısaltmakta, hem de alkolden kaynaklanan sakıncaları ortadan kaldırmaktadır (Berndt,1981).

Katı reçine toz, granül ve pul halinde kullanılabilir. Alkol kullanımının ortadan kalkması reçine maliyetini de düşürdüğünden ticari açıdan elverişli duruma geçen yöntem günümüzde en yaygın kullanılan kaplama yöntemidir. Sıcak kaplamada suda çözülmüş reçine de kullanılabilir. Ancak bu reçinelerde az da olsa alkol bulunması bu yöntemin gerektirdiği yüksek sıcaklıklarda parlama riskini arttırdığından sakıncalıdır. Katı reçine kullanılması halinde bile reçine bileşimindeki fenolün açığa çıkması yüzünden yine de parlama tehlikesi vardır. Bu nedenle kaplama sırasında, kaplama bölgesinde çıplak alev tehlikelidir. Ancak bu tehlike soğuk ve ılık kaplama ile karşılaştırıldığında çok küçüktür (Metals Handbook,1970).

Kaplama katı reçinenin sıcak kumun ısıyla eriyerek kum tanelerinin etrafını kaplaması ilkesine dayanmaktadır. Kum sıcaklığı reçine tipine göre 115 – 200°C aralığındadır. Kum sıcaklığının, reçinenin erime sıcaklığının 60 – 80°C üstünde olması istenir. Reçine ilave edilinceye kadar meydana gelecek ısı kaybı gözönünde tutulmalıdır. Reçine karıştırıcıdaki sıcak kuma ilave edilince termoplastik özelliği nedeniyle erir ve karıştırma etkisiyle kum tanelerinin etrafını kaplar. Reçine ilave edildikten sonra heksamin ve soğutma suyu verilene kadarki karıştırmaya ıslak karıştırma (wet mulling) denir. Islak karıştırma süresi reçine miktarı ve karıştırıcı tipine göre 35 – 120 sn. civarındadır. Reçine, termoplastik özelliğinden yararlanılarak kum taneleri etrafına iyice kaplandıktan sonra termoset hale getirilmek için heksamin ilavesi yapılması gerekir (Pohl,1970). Ancak heksamin ilavesi soğuk ve ılık kaplamadaki gibi doğrudan yapılamaz. Bunun nedeni sıcak kaplamada kum sıcaklığının heksamin reçine reaksiyonunu başlatacak kadar yüksek olmasıdır. Islak karıştırma sonunda karışımın sıcaklığı 100 – 110°C civarındadır. Bu durumda reçinenin kalıp yapımı sırasında olması gereken sertliği olması yani kısmen veya tamamen “resit” haline geçmesi tehlikesi vardır. Bunu önlemek için, diğer kaplama yöntemlerinden farklı olarak soğutma suyu kullanılır. Soğutma suyu oranı, kum miktarının %1 – 20’si civarındadır ve heksamin bu suyun içinde çözülerek verilir. Soğutma suyu sıcak kumla temas eder etmez buharlaşmaya başlar,

buharlaşma için gerekli ısının emişmesiyle kum soğur. Soğutmayı hızlandırmak için soğuk hava da üflenebilir. Soğuma zamanı reçinenin erime noktasına kum sıcaklığına, karıştırıcı tipine ve soğutma suyu miktarına bağlı olarak 15 – 70 sn. arasında değişir. Soğutma süresi sonunda kum sıcaklığı 70 – 90°C’ye düşer. Soğutma suyu içinde eritilerek verilen heksamın, böylece reçine ile reaksiyona girmez. Reçinenin heksamın ile reaksiyona girmesi için karışımın sıcaklığının 93°C’nin üstünde olması gerekir. Heksaminin su ile birlikte verilmesi karışımın her tarafına homojen bir biçimde dağılmasını da sağlar. Soğutma suyunun az verilmesi reçinenin kısmen resit hale geçmesine neden olurken, fazla su da tamamen buharlaşamayı olarak karışımın içinde kalır ve reçinenin yumuşamasına yol açar. %2’den fazla soğutma suyu kum etrafına kaplanmış reçine filminin soyulmasına yol açar. Kum, karıştırıcıdan alınmadan önce kalsiyum – stearat verilir. Kalsiyum stearat heksamın – su karışımıyla birlikte de verilebilir. Kalsiyum stearat miktarı reçinenin %5’i civarındadır. Kum topakları dağılmaya başlarken karıştırıcıdan alınan kum elenir, soğutulur ve depolanır. Heksamin + soğutma suyu ilavesinden sonra, karışımın topak halden, ufalanmaya başlamasına kadar geçen süredeki karıştırmaya “Kuru Karıştırma” (dry mulling) denir. Toplam karıştırma süresi karıştırıcı tipine, hızına ve kaplanan kum miktarına bağlı olarak 2 – 10 dak. arasında değişir (Başgut,1989).

Sıcak kaplama metodunun avantajları şunlardır (Ergin vd.,1990)

- 1 – Alev alabilir bir çözücünün bulunmayışı nedeniyle alev tehlikesi azdır.
- 2 – Kum taneleri etrafındaki reçine filmi tam serttir ve aşınmaya duyarsızdır.
- 3 – İstenilen yapışma noktaları elde edilebilir.
- 4 – Sıcak kaplanmış kum toz yapmaz.
- 5 – En hızlı kum kaplama prosesidir.
- 6 – Sıcak kaplanmış kum stoklamada topraklanmaya en az meyillidir.

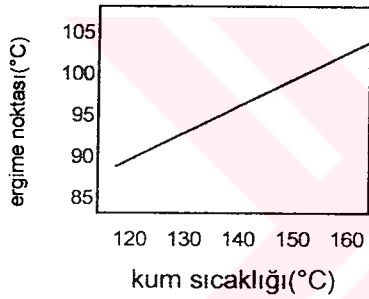
Sıcak kaplama metodunun dezavantajları şunlardır.

- 1 – Kumun ısıtılması gerekmektedir.
- 2 – alışılan yüksek sıcaklıklar daha düşük mukavemet özelliklerinde ve daha yüksek yapışma noktalarında sonuçlanan reinesel maddelerin aşırı kaybına neden olur.
- 3 – İşlem esnasında karışım kolayca aşırı oğulabilir.

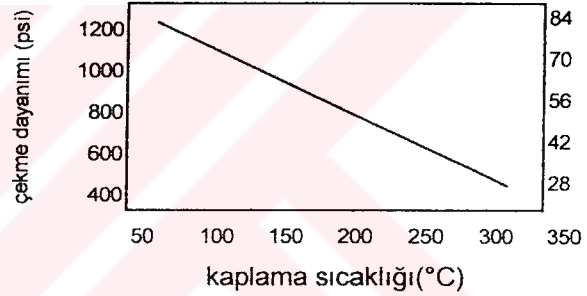
2.4.3 Karıştırma Zaman ve Sıcaklığının Karışım Özelliklerine Etkisi

Önkaplama işlemi esnasında meydana gelen reaksiyonlar çalışma zaman ve sıcaklıklarından etkilenir. Örneğin daha yüksek kum sıcaklıkları kullanıldığında kaplama zamanı azalır, reaksiyon daha hızlı ilerler, çözücü daha etkili olarak uzaklaştırılır, optimum oluşma zamanı azalır ve ergime noktası birkaç derece artar.

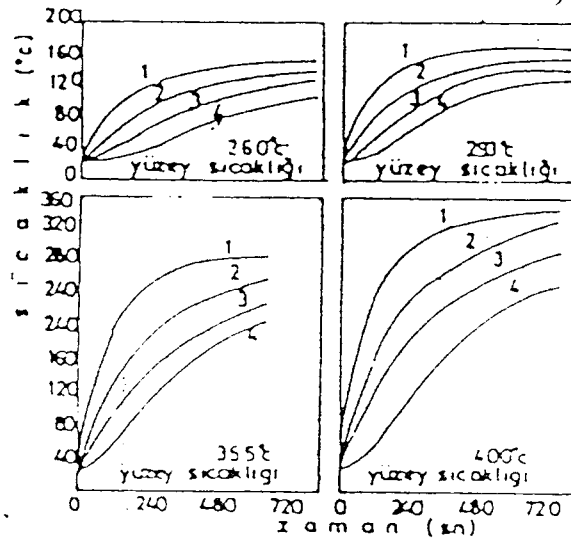
Karıştırma sıcaklığı arttıkça karışımın ergime (yapışma) noktası da artar. Şekil 2.12 Sıcak kaplama prosesinde kum sıcaklığındaki artmayla karışımın yapışma noktasındaki artışı gösterir. Karışımın yapışma noktası arttıkça oluşacak kabuk kalınlığı da çok az azalacaktır. Kum sıcaklığının artması karışımın mukavemet özelliğini azaltmaktadır. Bu da Şekil 2.13'de görülmektedir (Ergin vd.,1990)



Şekil 2. 12 Sıcak kaplama prosesinde kum sıcaklığının karışımın ergime noktasına etkisi(Ergin vd., 1981)



Şekil 2. 13 Kabuk kumu karışımının çekme mukavemeti üzerinde ön kaplama sıcaklığının etkisi(Ergin vd., 1981)



Şekil 2. 14 Reçine kaplanmış kumun çeşitli yerlerinde sıcaklık zaman eğrileri. Ara yüzeyden uzaklıklar : 1 – 10 mm, 2 – 13 mm, 3 – 16 mm, 4 – 20 mm. (Ergin vd., 1981)

2.5 Reçine Kaplı Kumun Özelliklerinin Kontrolü

Reçine kaplı kumların ve bu kumlarla yapılan kabuk kalıp ve maçaların özellikleri oda sıcaklığında (soğuk özellikler), oda sıcaklığının üstünde ve kalıp maça yapım sıcaklıklarında 30 – 400°C (sıcak özellikler), döküm sıcaklıklarında 700 – 1600°C (yüksek sıcaklık özellikleri) olmak üzere üç ana grupta toplanabilir.

Soğuk özellikleri belirleyen deneylerin başlıcaları: akma özelliği, soğuk çekme dayanımı, soğuk eğme dayanımı, gaz geçirgenliği, maça aşınma dayanımı ve soğuk esneme deneyleridir. Sıcak özellikleri belirleyen deneyler: sıcak çekme dayanımı, sıcak eğme dayanımı, soyulma, kabuklaşma oranı, sıcak delme kuvveti ve erime noktası deneyleridir. Yüksek sıcaklık özelliklerini belirleyen başlıca deneyler ise: ısı şok direnci, sıcak deformasyon, gaz miktarı ve dağılabilme deneyleridir (Başgut,1989)

2.6 Kabuk Kalıpla Döküm, Yolluk ve Besleyici Sistemi

Kabuk kalıplar yatay veya dikey dökülebildikleri gibi, kabuk kalınlığına, dökülen parçanın et kalınlığına ve büyüklüğüne, dökülen metal cinsine bağlı olarak kum, çelik bilye gibi malzemelerle dışarıdan desteklenerek veya hiçbir destekleme yapılmaksızın dökülebirlirler. Destekleme yapılıp, yapılmaması ve desteklemede kullanılan malzemenin cinsi kabuk kalıbın mekanik dayanımını, döküm sırasında uğradığı deformasyon miktarını ve metalin katılaşma hızını, dolayısıyla fiziksel özelliklerini doğrudan etkiler. Bu nedenle kabuk kalıba destekleme yapılıp yapılmaması veya hangi malzeme ile destekleme yapılması konularında karar verilirken, kabuk kalıbın fiziksel özellikleri ve dökülecek metalin katılaşma davranışının da incelenmesi gereklidir (Jishnu,1980; Rao vd.,1984; Company Profile,1985).

Kabuk kalıp dayanımının yüksel oluşu yüzünden karmaşık yolluk sistemlerinin uygulanabilişi, yolluktan kum koparma ve sürüklenme sorununun olmayışı, yolluk sisteminin model üzerinde bulundurulması sonucu kalıp yapımı sırasında yollukla ilgili işçilik hatalarının önlenmesi kabuk kalıplama yolluk sisteminin avantajlı yanlarıdır. Ancak yolluk sisteminin boyut ve tasarım bakımından metalin kalıp içine düşük hızla girişini sağlayacak şekilde tasarlanması zorunludur. Aksi halde döküm yüzeyinin pürüzlü olması önlenemez. Yolluk ve besleyici sisteminin doğru uygulanması boyutsal duyarlılık yönünden de gereklidir (Khan ve Murthy,1985; Murthy,1982)

2.7 Kabuk Kalıplama İşlemi

Kabuk kalıplama yöntemi ile kalıp ve maça yapımı makinalarda gerçekleştirilir. Otomasyon derecesine göre makinalar ve çalışma detayları farklılıklar gösterir. Makinanın otomasyon derecesi ve tipi göz önüne alınmadan bu yöntemle kalıp ve maça yapımının başlıca beş kademesi vardır (Çavuşoğlu,1981)

- 1 – Kum – reçine karışımı herhangi bir yöntemle ısıtılmış ($\sim 230^{\circ}\text{C}$) model üzerine konur. Model ile temasta olan reçine ergiyerek karışımın modele yapışmasını sağlar ve kabuk oluşur.
- 2 – İstenen kabuk kalınlığı elde edildiğinde model ters çevrilir ve fazla reçine + kum karışımı geriye kap içine dökülür.
- 3 – Model üzerinde bulunmakta olan kabuğun son sertleşmesi bir fırın içinde tamamlanır. (400°C)
- 4 – Sertleşme tamamlandıktan sonra kabuk modelden sıyrılır.
- 5 – Son kademede, kalıbın iki parçası birbirine bir yapışkanla birleştirilir ve kalıp döküme hazır hale getirilir. Kabuk kalıplamanın gerçekleştirilişinde kullanılan üç değişik sistem şekil 6.3’de verilmektedir.

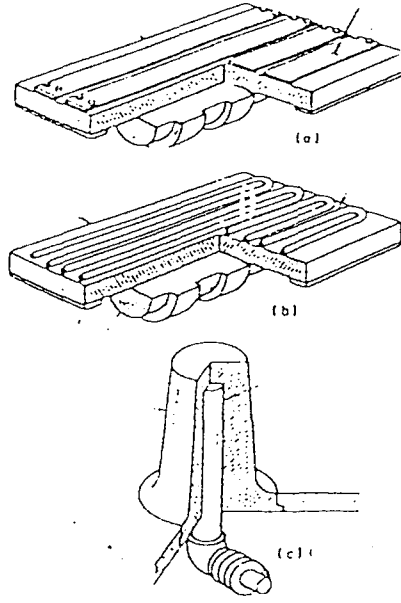
Modellerin ısıtılması, kabuk kalıplama makinesinde ki elektrikli veya gazlı ısıtıcılar ile gerçekleştirilir. Modelin ısıtılacağı sıcaklık, model şeklinin karmaşıklık derecesine, istenen kalıbın ağırlığına ve kullanılan kum + reçine karışımının tipine bağlı olarak seçilir (Çavuşoğlu,1981)

Genellikle sıcaklık değerleri 200°C ’tan 350°C ’ta kadar değişebilmektedir. Küçük modellerde sıcaklık, modelin her yerinde ($\pm 10^{\circ}\text{C}$ Max. Farklılıkta) aynı olmalıdır. Daha büyük modeller için bu değer 240°C ’a yükselebilir.

2.8 Elektrikli Isıtma Sistemleri

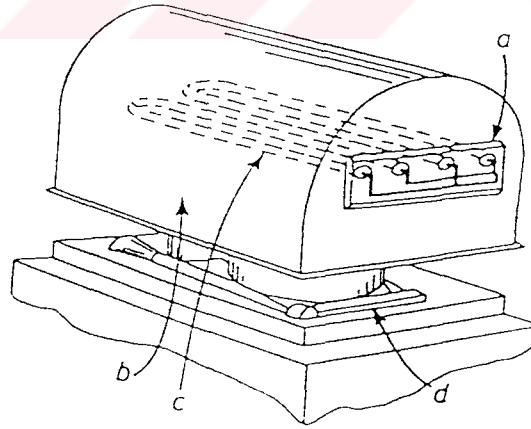
Elektrikli ısıtma modelin ısıtılması, şerit ve tüp dirençli ısıtıcılar (a), (b) ve kartuşlu ısıtıcılarla (c) pişirme için fırınlarda yapılır. (Şekil 2.16)

Kartuş ısıtıcılar modele ve plakaya açılan deliklere yerleştirilir. Kartuş kullanmakla ısıtmanın tam istenilen yere verilmesi sağlanmış olur fakat pahalı ve dökümhane koşullarında bakımı güçtür (Kınıkoğlu,1985)



Şekil 2. 15 Elektrikli ısıtıcılar (a)Şerit Dirençler (b)Tüp Dirençler (c) Kartuş
(Kınıkoğlu, 1985)

Dirençli ısıtıcılar genellikle kalıplama makinesinin parçasıdır, watt yoğunluklarının düşüklüğü nedeniyle ısıtmada desteklenmeyi gerektirebilirler. Bakır, nikel – gümüş, krom – çelik, inconel ve quartz kaplı plakalar sırasıyla 175, 400, 540, 800 ve 1080°C'ta kullanılabilirler.



- a) Bağlantılar
- b) Parlatılmış paslanmaz çelik reflektör
- c) Saç inceliğinde elektrikli ısıtıcı elemanlar
- d) Model

Şekil 2.16 Pişirme Fırını(Andrews, 1971)

Elektrikle ısıtmada karşılaşılan bazı problemler nedeniyle kabuk kalıplamada gaz daha yaygın kullanılır. Bu problemler:

- 1 – Plaka yüzeyinin elektrikli ısıtma ünitesinin tam bir teması için yassı bir yüzeyi gerektirmesi
- 2 – Modellerin üzerindeki derin girintilerin modelin geri kalan kısmını aşırı ısıtmadan ısıtılmasının güçlüğü
- 3 – bilhassa yolluk ve besleyici yakınlarındaki yanan ısıtma elementlerinin değiştirilmelerinin zaman alması
- 4 – Isıtma elementlerinin sıyırma pimlerinin yerlerinin tasarımını güçleştirmeleri.

Bütün bunlara rağmen $\pm 1^{\circ}\text{C}$ gibi dar bir alanda sıcaklık kontrolü sağlanabilmesi ve iyi bir yalıtıma imkan vermesi nedenleriyle elektrikli ısıtma sıkça kullanılır. Aslında kabuk kalıplarda modelin $+ / - 10^{\circ}\text{C}$ arasında kontrolü mükemmel sonuç almak için yeterlidir ve bu bir aç – kapa sıcaklık denetim sistemiyle kolayca sağlanabilmektedir.

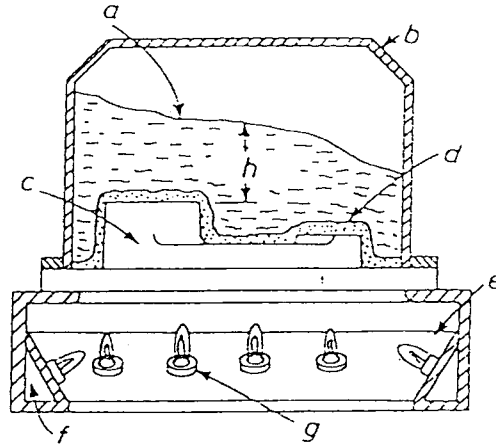
2.9 Kabuk Kalıplamanın Yapılması Yöntemleri

2.9.1 Düşürme Kutulu Kalıplama Makineleri

Düşürme kutulu kalıplama yöntemi kum – reçine karışımını model üzerine kaplamada üfleme yönteminden daha yaygın olarak kullanılır. Düşürme kutu yönteminin üfleme yöntemine avantajları şunlardır :

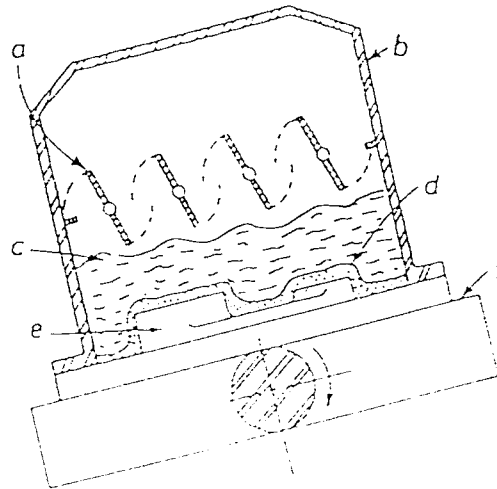
- 1 – İşlemin basitliği
- 2 – Daha düşük takım maliyeti
- 3 – Daha az kabuk hurdası
- 4 – Kalıp sertliğinin daha iyi kontrolü
- 5 – Demir oksit, kalsiyum karbonat, mangan dioksit gibi katkıların katılması halinde en az ayrışım.

Çeşitli tasarımlardaki düşürme kutu makineleri 30x60 – 75x90 cm'lik boyutlarda olabilmektedir. Bir teknikte düşürme kutusuna mandallanan model düşürme kutusu beraberce 180° döndürülür. Bu tekniğin dezavantajları boşluklar ve soyulmadır. Bir diğer teknikte model ve düşürme kutusu sürekli ve hızlı bir şekilde dairesel bir yol üzerinde hareket ettirilerek baş aşağı çevrilir. (Şekil 2.20) Bir diğer teknikte Model düşürme kutusu içine yükseltilerek karışım çekilen bir sürgü ile model üzerine düşürülür.



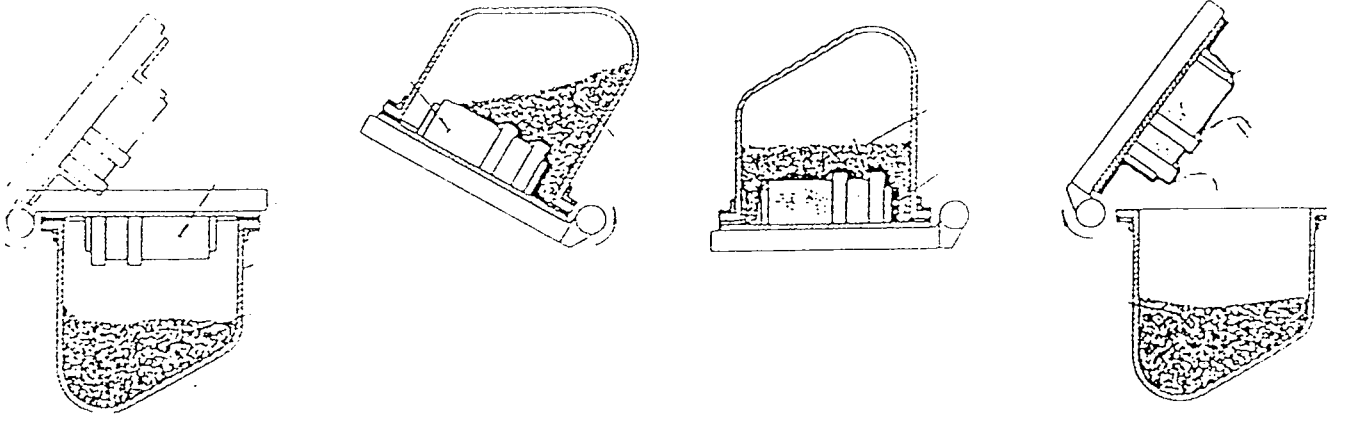
- a) Malzeme
- b) Koruyucu kap
- c) Model
- d) Kısmen sertleştirilmiş maske kalıbı
- e) Ateşleme odası
- f) Yanma için boru sistemi
- g) Meme yada başka yanıcılar

Şekil 2. 17 Karışımın model üzerindeki yüksekliği(Andrews, 1971)

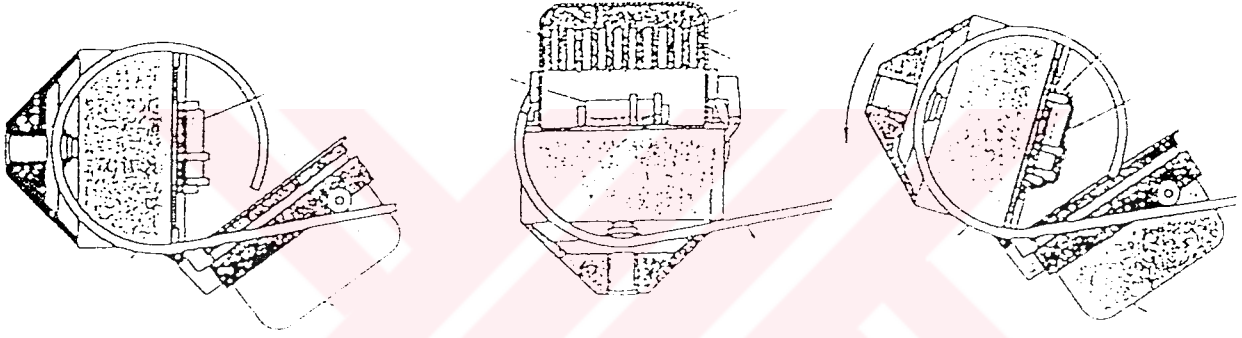


- a) Panjurlar açık
- b) Koruyucu kap
- c) Kalıp malzemesi
- d) Kısmen sertleştirilmiş maske kalıp
- e) Model
- f) Ateşleme odası

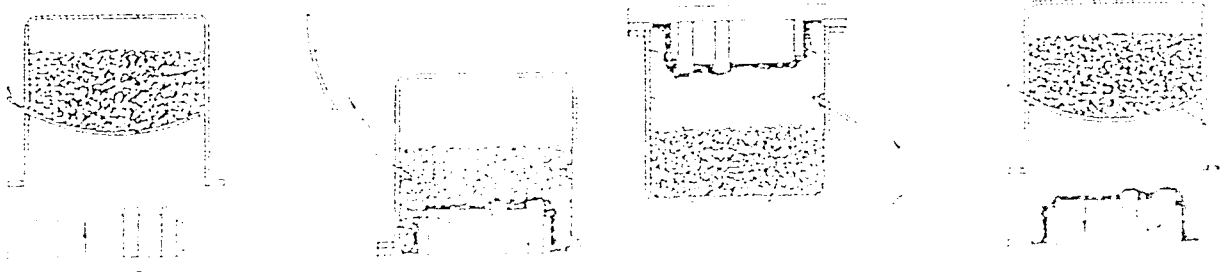
Şekil 2. 18 Yağmurlama Prensibinin uygulaması(Andrews, 1971)



ŞEKİL 2. 19 Düşürme kutusuna mandallanan modelin 180° çevrilmesi. (Kınıkoğlu, 1985)



Şekil 2. 20 Model ve düşürme kutusu beraberce dairesel bir yolda ilerlerken ters konuma gelir (Kınıkoğlu, 1985)



Şekil 2. 21 Model düşürme kutusuna yükseltilerek karışım boşaltılır (Kınıkoğlu, 1985)

Şekil 2.18’de görülen yağmurlamalı düşürme kutuları karışımın model üzerinde kaymasını önlerler. Bu yöntemde kanatçıklar üzerindeki kum kanatçıkların açılmasıyla bir çok noktadan birden model üzerine akarak yukarıdaki problemleri kısmen de olsa ortadan kaldırır. Fakat yine modeli iyi bir kaplama için kanatların yerinin model şekliyle uyumuna dikkat

edilmelidir. Çevirmenin hızı modelin karışıklığı ile yakından ilgilidir çok hızlı çevirme kabukta hava boşluklarının kalmasına yavaş çevirme ise kabuk kalınlığında farklılıklara neden olur.

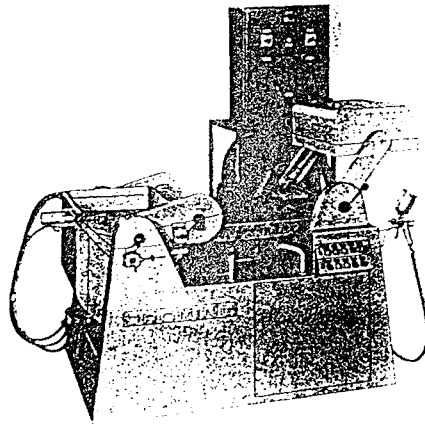
Önce düşen bir karışım üzerine bir süre sonra yeniden karışımın düşmesi gölge etkisi (shadow effect) diye adlandırılır kalıpta ısı çatlamalara yol açar. Boşluklar ve yoğunluk düşüklükleri kalıba metal girmesine ve yüzey pürüzlülüğüne yol açarlar. Derin dik yüzeyleri olan modellerde ne yapılırsa yapılsın eşit olmayan kabuk kalınlıklarına rastlanılacaktır.

Model üzerine düşen kum yaklaşık 30 cm yüksekliğinde olmalıdır. (Şekil 2.17)

Şekil 2.13'daki teknikte kum model üzerine çapraz olarak kayar. Modelin keskin kenarlı çıkıntıları olması halinde dönmenin aksi yöndeki köşelerde boşluklar ve gevşeklikler meydana gelebilir. (Şekil 2.19) Model kabuktan çıkartılırken boşluklar kabuğun bir kısmının düşmesine yol açar. Soyulma denen bu olay (Şekil 2.19) tekniğin en önemli dezavantajıdır.

Model ve düşürme kutusunun beraberce hareket ettikleri Şekil 2.20'deki teknikte hareket o kadar hızlıdır ki kum model tam ters konuma gelene kadar kutu üzerinde kalır. (Şekil 2.20) Karışım bundan sonra model üzerine düşer. Kutunun içindeki kanatlar kumun model üzerine eşit olarak dağılımını sağlarlar. Bu durum ve verilen bir ters dönüş (Şekil 2.20) boşlukları ve gevşeklikleri önler.

Üçüncü cins düşürme kutusu tekniğinde kum bir sürgü yardımıyla kutunun yukarı kısmında tutulur. Model dikey olarak düşürme kutusuna yükseltilir. (Şekil 2.21) Kabuk oluştuktan sonra sürgü açık konumdayken sistem ters çevrilerek artan kum kutunun üst kısmına alınır. (Şekil 2.21) Kalıp tekrar eski konumuna getirilerek model aşağı çekilir. (Şekil 2.21) (Kınıkoğlu,1985)



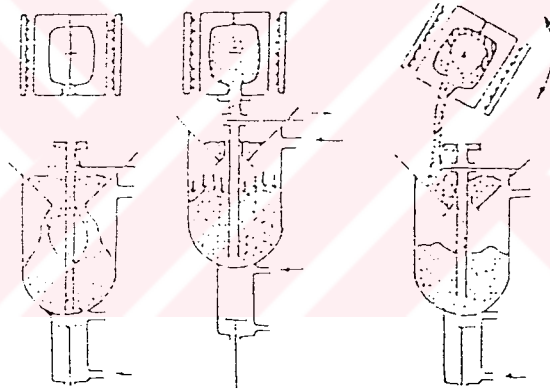
Şekil 2. 22 Tek istasyonlu kabuk kalıplama makinesi (Andrews,1971)

2.9.2 Maça Makinaları

Kabuk maça yönteminde genelde iki tip makine kullanılır. Alttan üflelemeli makinalarda fazla kum kendi akışıyla alınır (Şekil 2.24). üstten üflelemeli makinalarda fazla kumu almak için maça sandığı ters çevrilir.

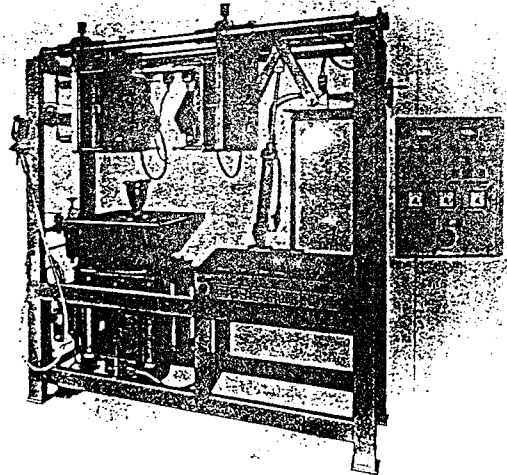
Alttan üflelemeli bir makine için işlem sırası şöyle verilebilir.

- a-Maça sandığı püskürtme borusu üzerine yerleştirilir.
- b-Kum haznesi iyice kapatılarak hava sızdırması önlenir.
- c-Kum yukarı doğru üflenir ve kabuk maça oluşana kadar üfleme basıncı sabit tutulur.
- d- Üfleme borusu çekilerek fazla kumun hazneye akması sağlanır.
- e- Maça kutusu alınarak maça alınır.



Şekil 2. 23 Alttan üflelemeli makinaların çalışma prensibi (Döküm San. Der, 1996)

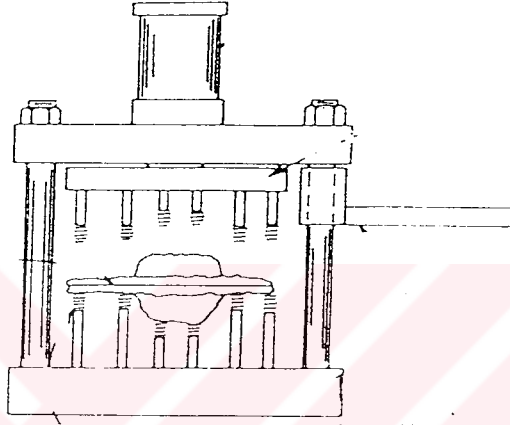
Yukarıdan püskürtme normal maça yapımı gibidir, ancak kabuk oluşma süresinden sonra maça sandığı ters çevrilerek fazla kum boşaltılır. Bu yöntem büyük maçalar için üflemez olarak da kullanılabilir.



Şekil 2. 24 Maça Makinesi (Andrews, 1971)

2.10 Kabukların Kapatılması

Hemen her durumda iki yarım kalıp bir yapıştırıcıyla birbirlerine yapıştırılır. Bu işlemde değişik imalatçılarca üretilen sıcak yapıştırıcı kullanılmaktadır. Sıcak yapıştırıcı kalıplar modelden alındıktan hemen sonra uygulanmakta ve kalıpların kendi ısısı yapışmayı çabuklaştırmaktadır. Kalıpta tutturulacak maçalar genelde kalıp soğuduktan sonra uygulanmaktadır. İşlem için sertleşen yapıştırıcılar ideal sonuçlar vermektedir.



Şekil 2. 25 Yapıştırma Presi (Andrews,1971)

2.11 Kabuk Kalıp + Maça için Kaplanmış Kum Test Yöntemleri

Kaplanmış kumun uygun olup olmadığını anlamak için çeşitli test yöntemleri bulunmasına karşın, geçmişte kullanılan pek çok yöntem terkedilmiştir. Özel hazırlanmış bir test parçası ile, üretilmiş bir kalıp ya da maçadan parça alarak ya da gerçek bir maça kullanılarak çeşitli testler yapmak mümkün olmasına rağmen, sonuçların değerlendirilmesi çok güç olabilir. Böyle bir test yöntemi kullanılan prosesin iyi maça (kalıp) üretip üretmeyeceğini saptamakta kullanılabilir, ancak düşük üfleme basıncı, zayıf sıkıştırma, yanlış sandık sıcaklığı, yanlış pişirme süresi gibi hataları saptamak mümkün olmayacaktır. Kontrollü üretilcek test parçalarıyla hatanın kaynağı daha kolay saptanacaktır. Bunun için önerilen test yöntemleri şunlardır.

2.11.1 Reçine Yüzdesi

Bu en önemli noktadır. Çünkü partiler halinde üretimde mukavemet özellikle ancak sabit reçine katkısı temelinde kıyaslanabilir. Kaplanmış kumda reçine miktarı yanma kaybının saptanmasıyla belirlenebilir. Elde edilecek değer yalnızca reçine kaybını göstermez, örneğin

stearatlar gibi diğer yanabilen maddelerde ölçülebilen toplam miktarın içindedir, ancak bu sonuçlar denetleme amacına uygundur.

Kaplanmış kumlar önceden belli bir reçine katkısı aralığında üretilirler. Ekonomik nedenlerle düşük reçine katkılı kum kullanımı seçilir, genel olarak reçine katkısı kalıplarda % 4-6, maçalarda %2.5-4 arındadır.

2.11.2 Eğme Mukavemeti

Laboratuvar çalışmaları sonucundaki deneyimler, eş özellikli eğme mukavemeti test parçası yapmanın çekme mukavemeti test parçası yapmaktan daha kolay ve sonuçlarının tekrarlanabilirliğinin daha iyi olduğunu göstermiştir. Test parçası üretmenin çok çeşitli yolları vardır, genel kabul gören parça boyutları 22.4 mm x 22.4mm x70 mm'dir.

2.11.3 Eğme Mukavemeti ve Kürleşme Süresi Arasındaki Bağını

Yapımında çeşitli oranlarda kürleştirici kullanılmış eğme ve çekme mukavemeti test parçalarını hazırlarken değiştirilen kürleşme sürelerine bağlı olarak elde edilen sonuçları mukavemet zaman grafiğine çizerek gereken optimum sertleştirici miktarı saptanabilir. Seçilen zaman aralıkları daraldıkça, sonuçların gerçeğe yakınlığı o kadar artar.

Düşük sıcaklıklar ve uzun zaman aralıkları da belli bir reçine karışımında kürleşme karakteristiği hakkında doğru bilgi sağlayabilir. 200°C maça sandığı sıcaklığı, 400°C fırın sıcaklığı 10 dakikalık bir zaman aralığı güvenilir sonuçlar için seçilebilir.

2.11.4 Akışkanlık Testi

Kürleşmiş kabuk maçanın ve kürleşmemiş kaplanmış kumun yoğunlukları birbirine çok yakındır. Böyle bir malzeme için akışkanlık katsayısının 1.0 olduğu söylenebilir. Sağlam bir kabuk elde etmek için kumun akışkan olmasını gerektirir, böylece daha akışkan malzemeye daha sağlam kalıp/maçalar elde edilir.

Hassas olarak ölçülendirilen ve tartılan bir test parçasının yoğunluğu ölçülebilir ve soğuk kürleştirilmemiş kaplanmış kumla karşılaştırılabilir. "Akışkanlık Katsayısı" ndaki herhangi bir sapma reçine özelliklerindeki değişikliklerin ve dolayısıyla zayıf maça üretiminin de bir göstergesi olabilecektir.

Çizelge 2. 2 Silis, Zirkon ve Kromit kabuk maçaların tipik yoğunlukları

%4 REÇİNELİ	KÜRLEŞMEMİŞ HALDEKİ YOĞUNLUK	KÜRLEŞMİŞ HALDEKİ YOĞUNLUK
SİLİS KUMU	1.54-1.58	1.46-1.56
ZİRKON KUMU	2.9	3.0
KROMİT KUMU	2.62	2.57

Uygulamada düzenli olarak alınacak numunelerin tartılması kabuk kalınlığı ya da yoğunluktaki değişimleri gösterecektir.

2.11.5 Yüzey Sertliği

Bir kabuk maça yada kalıbın yüzey sertliği taşıma, stoklama ve döküm sırasında sıvı metalin yarattığı erozyon açısından önemlidir. Tırnakla kazıyarak yüzey sertliği hakkında fikir edinmek mümkünse de bu işi için hazırlanmış bir araç kullanmak daha doğru olacaktır.

Yüksek Sıcaklık Testleri:

- a- Kürleşme hızı.
- b- Kabuk kalınlığı
- c- Peel-Back
- d- Sıcak çekme mukavemeti
- e- Kırılmaya karşı direnç
- f- Sıcak deformasyon
- g- Reçine erime noktası,

gibi parametreleri tespit etmekte kullanılan bir çok sıcak test yöntemi bulunur. İlk üç yöntemde 250°C sıcaklıkta kontrol edilebilen ve ortasından geçen bir mille ters çevrilebilen bir plaka kullanılır. 450 gr kum numunesi tartıldıktan sonra sıcak plakanın üstüne düşmesi sağlanır. 15 sn sonra plaka ters çevrilir ve aşağıya düşen kum tartılır. Plaka 10 sn kadar bu halde bırakılır, daha sonra ilk pozisyonuna çevrilir. Numune topağı plakanın üstünden alınır ve tartılır, ölçülen kalınlığı kürleşme hızını ve kabuk kalınlığını verecektir.

$$\text{Kürleşme Hızı, \%} = \frac{450 - (\text{ilk düşen kum ağırlığı})}{450} \times 100$$

Kabuklaşma = Kum kabuğun ölçülen kalınlığı

$$\text{Dökülme, \%} = \frac{\text{Kürleşen Ağırlık - "Kum Kütlesinin Ağırlığı"}}{450} \times 100$$

Bu testler gerçek üretim sırasında gerçekleşmesi beklenen kum kalınlığı hakkında ve "peel-back" (kabuk soyulması) oluşup oluşmayacağı hakkında bir fikir vermektedir. Peel-Back'in şiddeti Dökülme Yüzdesi ile belirlenir ve genellikle Peel-Back olduğu durumlarda, kabuk kalınlığı iki ayrı değerdir; ilk kalınlık ve kabuk soyulması olduktan sonra ki kalınlık.

2.11.6 Sıcak Çekme Mukavemeti

Köpek kemiği maçası kullanılarak yapılan bu testte, numune kürleştikten belli bir süre geçtikten sonra kürleşme sıcaklığında kırılır. Sonuçlar kabuktaki mukavemet yükselmesini gösterir, böylece optimum üfleme zamanı ve sıcak kabuğun olağan dışı mukavemet düşüklükleri saptanabilir.

2.11.7 Sıcak Deformasyon.

Sıcak çekme mukavemeti maçanın modelden hemen sıyrılmasından sonra mukavemetler hakkında oldukça iyi bir gösterge olmasına rağmen, döküm sırasında maça/kalıbın aniden ısınması sonucu oluşan plastik deformasyonu göstermez. Kürleşme sırasında termoplastikliği gittikçe azalan bağlar oluşur. Son aşamada biraz termoplastiklik teorik olarak kalır. Normal kabuk maça döküm sırasında kum taneleri genişlemesinden kaynaklanan stresler yüzünden kırılacaktır. Termoplastikliğin miktarı, döküm sırasında oluşan çarpılmalar(distortion) ve olası kalıp ve maça kırılmaları açısından önemlidir. Bu yüzden sıcak deformasyon ölçümleri gerekebilir.

Bunun için standart bir test yoktur, ama genel olarak kaplanmış kumdan hazırlanan ve karşılıklı kuvvetler altında bırakılan bir plaka, yüksek sıcaklıkta belli bir süre bırakıldıktan sonra maksimum eğilme saptanır ve yüzde olarak hesaplanır. Sıcak deformasyon testlerinin sonuçları, kaplanmış kumdan yapılan maça/kalıbın uygulamadaki davranışlarıyla ve aynı zamanda kullanılan reçine miktarı, kum tipi, kürleştirici miktarı ile doğrudan ilişkilidir.

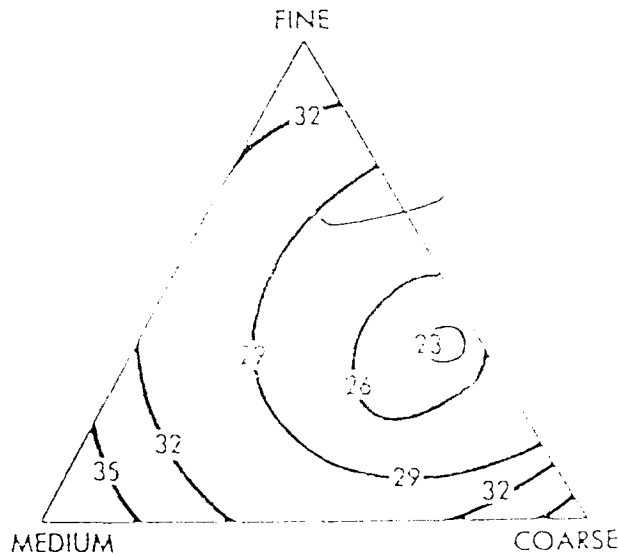
2.11.8 Reçine Erime Noktası

Kumun reçineyle kaplanması işlemi sırasında kaplama karışımının eridiği ve ısıtılmış metal bir çubuğa yapıştığı sıcaklık reçinenin erime noktası olarak tanımlanmaktadır. Bu test üretim sırasında reçine özelliklerindeki değişiklikleri hemen gösterebilir. Düşük bir erime noktası kalın kabuk maça ve “Peel-Back” a neden olurken, yüksek erime noktalı reçineyle üretilen kaplanmış kumla ince kabuklu maçalar elde edilecektir(Türkiye Döküm San. Derneği,1996)

2.12 Toz Karışımlarında Boşluk Oranı

Boksit, kil, kaolin gibi refrakter hammaddeler pişirildikten hemen sonra hızla soğutulur. Daha sonra kırılıp öğütülerek sınıflara ayrılır. Kil ve kaolinde teorik olarak % 14 kristal bağlı su vardır ve yaklaşık 350-700 C arasında bünyeden uzaklaşır. Bu sırada ve daha yüksek sıcaklıklarda pişme küçülmesi olur. Kuruma ve pişme küçülmesini en aza indirmek için yapılan işleme kalsinasyon denir. Sınıflara ayrılanlara grog adı verilmektedir. Tek tip groglar arasında %45 oranında boşluk vardır. Grog tanelerinin içinde ayrıca gözenek vardır ve bu boşluklar %45 boşluk oranına dahil değildir. Grog şekilleri düzgün değildir ve en ideal karışım %82 kaba %18 ince tane karışımıdır.

Yaklaşık %10'a kadar orta tane gözenek oranını etkilemez. Ticari uygulamalarda gözenek oranının aynı olmasını isteriz. Bu nedenle üçlü diyagram kullanılır. İzopar eğrilerinden birinin üzerinde üretim yapmak gerekir. Ticari uygulamada 3 tip grog karıştırılarak en düşük poroziteye erişilir.



Şekil 2.26 Üç tip grog karışımında boşluk oranları (Yaman,1990)

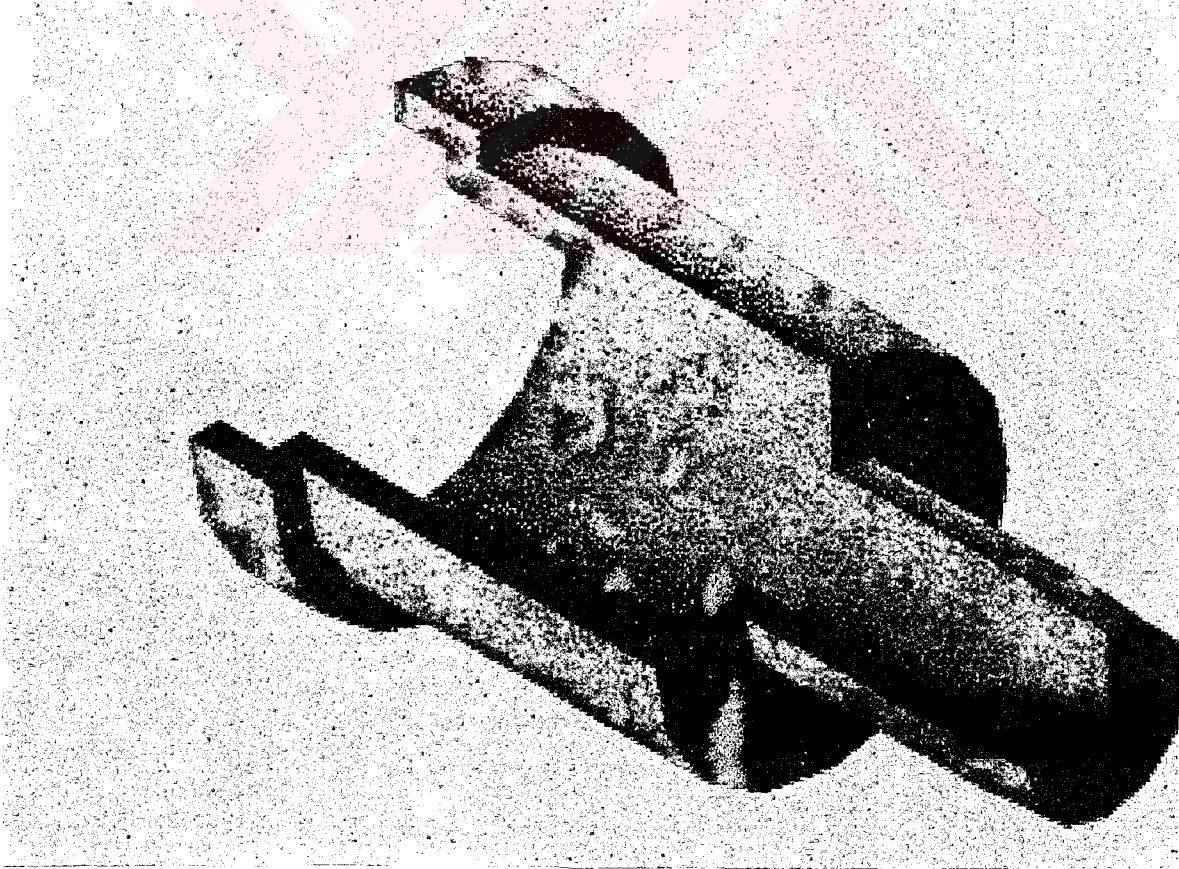
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Shell Kalıplarla Hazırlanmış Deney Numunelerinin Basma Deneyi

Değişik reçine oranlarında shell kumundan hazırlanan kalıplarla basma deneyleri yapılmıştır. Shell kumu içersindeki silis kumu, fenol formaldehit reçine, heksametilentetramin, kalsiyum stearat bulunmaktadır.

1. Silis Kumu	Refrakter Malzeme
2. Fenol formaldehit Reçine	Bağlayıcı
3. Heksametilentetramin	Aktivatör
4. Kalsiyum Stearat	Yağlayıcı

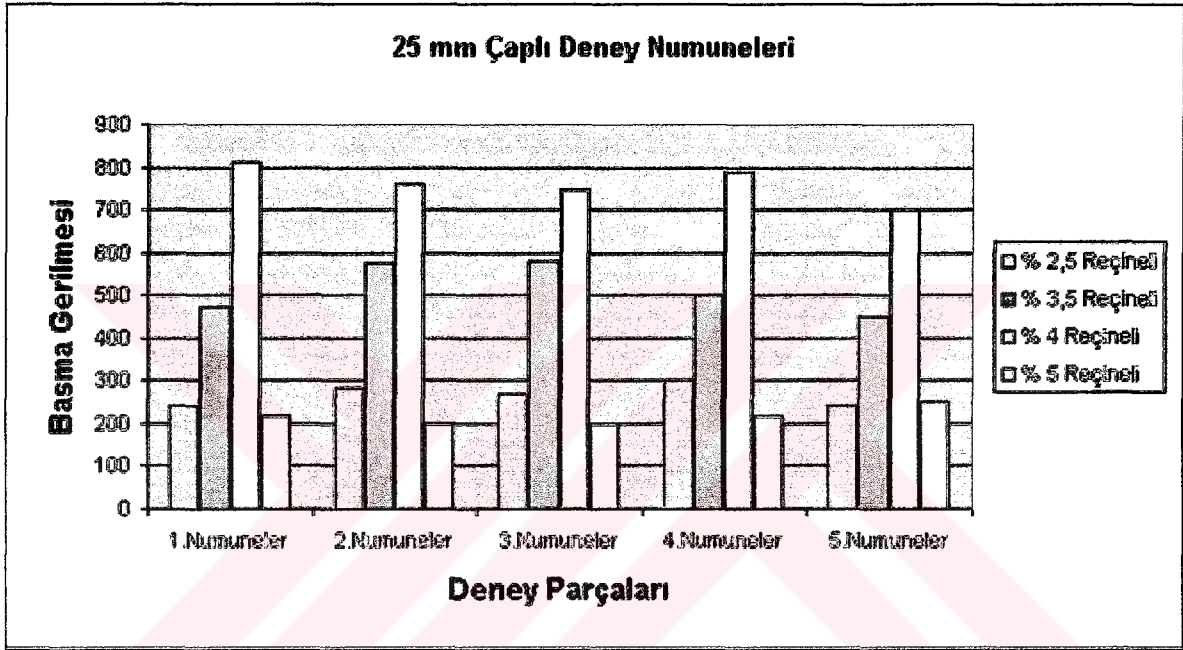
Shell kum malzemelerinden silis kumu, heksametilentetramin, kalsiyum stearat oranları sabit kalıp sadece fenolformaldehit miktarında değişiklik yapıp basma deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan shell kumların tane boyutları 60-65 AFS'dir.



Şekil 3.1 Basma deneyleri yapılan numune

Çizelge 3.1 Farklı reçine oranlarındaki 25 mm çaplı beş numunenin basma gerilmesi sonuçları

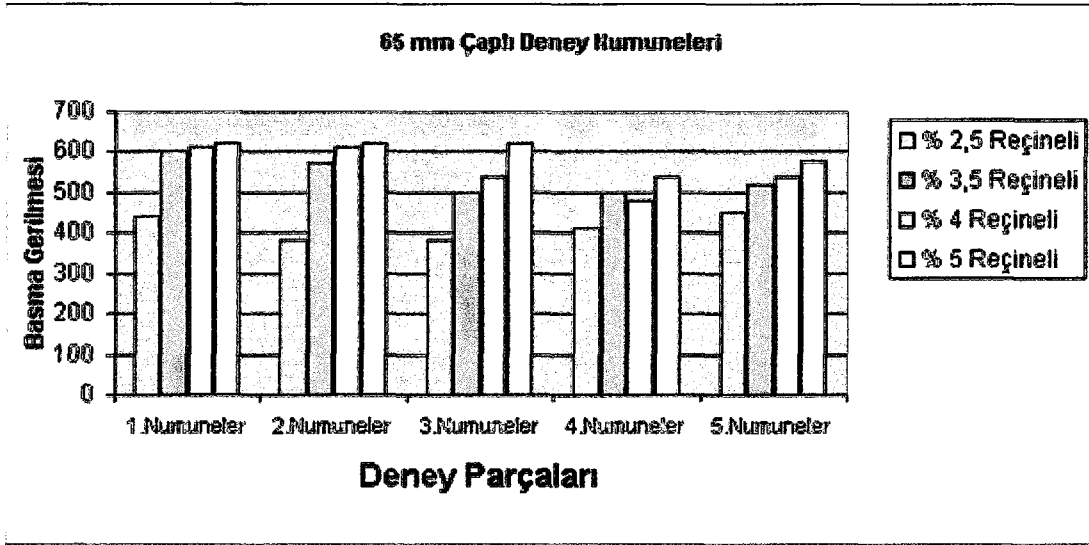
BASMA GERİLMESİ				
	% 2,5 Reçineli	% 3,5 Reçineli	% 4 Reçineli	% 5 Reçineli
1.Numuneler	240	475	810	220
2.Numuneler	284	575	760	200
3.Numuneler	270	580	745	200
4.Numuneler	300	500	790	220
5.Numuneler	240	450	700	250



Şekil 3.2 Farklı reçine oranlarındaki deney parçalarının basma gerilmesi değerleri

Çizelge 3.2 Farklı reçine oranlarındaki 65 mm çaplı beş numunenin basma gerilmesi sonuçları

BASMA GERİLMESİ				
	% 2,5 Reçineli	% 3,5 Reçineli	% 4 Reçineli	% 5 Reçineli
1.Numuneler	440	600	610	620
2.Numuneler	380	575	610	620
3.Numuneler	380	500	540	620
4.Numuneler	410	500	480	540
5.Numuneler	450	520	540	580



Şekil 3.3 Farklı reçine oranlarındaki deney parçalarının basma gerilmesi değerleri

Her farklı reçineden 5 adet numune yapılarak deneyler yapılmıştır. Çapı 27 mm olan deney numunelerinin %4 reçine oranına kadar basma gerilmesinde artış gözlenmiştir. Ancak %5 reçine oranı olan deney numunesinin basma deney sonuçları, diğer numunelerin basma deney sonuçlarından daha düşük çıkmıştır. 27 mm çaplı deney numunelerinin kabuk oluşumunda içleri komple dolu olarak çıkmasına rağmen % 5 reçineli deney numunesinde bir kabuk oluşmuş ve dolayısıyla diğer deney numunelerine göre çeneler arasında basma yüzeyi alanı azalmıştır. Böylece basma gerilmesinde düşüş meydana gelmiştir.

Çapı 65 mm olan deney numunelerinde ise kabuk oluşumu tüm reçine oranlarında tam olarak gerçekleştiğinden dolayı basma gerilmelerinde önemli sapmalar meydana gelmemiştir. Yani artan reçine oranları ile birlikte deney numunelerinin basma gerilmelerinde de artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak deney numunelerinin çapları değişse bile artan reçine oranları ile beraber basma gerilmelerinin de arttığı görülmüştür.

65 mm çaplı deney numunelerinin basma gerilmeleri sonuçları Çizelge 3.4’de verildiği gibidir. Bu çizelgede de görüldüğü gibi reçine miktarı %2,5 oranından %5 oranına çıktıkça basma gerilmelerinde de artış meydana gelmiştir. Bu deney numunelerinde kabuk kalınlıkları uygun şekilde oluşmuş, kalıp homojen olarak ısıtıldığı için kabuk oluşumlarında bir problem yaşanmamıştır. Dolayısıyla basma gerilmeleri ölçümlerinde önemli sapmalar oluşmamıştır. Deney numunelerinin kalıpları 200-220°C civarında bir sıcaklıkta pişirilmiştir.

4. SONUÇLAR

Reçine miktarı arttıkça, reçine kaplanmış kumun soğuk çekme dayanımı ve sıcak çekme dayanımı artmaktadır. Reçine miktarının artması kaplanmış kumların tane büyüklüklerini arttırmaktadır. Ayrıca çıkardıkları gaz miktarları ve gaz geçirgenliği reçine oranları arttıkça artmaktadır.

Kabuk kalınlığı arttıkça kabuk kalıbın döküm sıcaklığında ısıl şoka direnci ve toplam dayanma süresi artmakta, gaz geçirgenliği ve ikincil genleşmesi ile yüke karşı deformasyonu azalmaktadır.

Reçine oranı artıp kabuk kalınlığı azaldıkça gaz geçirgenliğinde artma meydana gelmektedir. Bu koşulda kum oranı azalmakta heksamin, reçine ve kalsiyum stearat oranları önce azalmakta sonra tekrar artmaktadır.

Reçine oranı ve kabuk kalınlığı, kabuk kalıp maliyetini belirleyen ana etkenin, kullanılan malzeme miktarındaki değişim olduğunu göstermektedir. Özellikle reçinenin çok pahalı olması reçine sarfiyatını azaltmamız gerektiğini göstermektedir.

Yapılan çalışmalar sonunda görülmüştür ki reçine miktarını azaltmanın en uygun yolu kumun yuvarlak veya az köşeli olmasıdır. Bu sayede kum tanelerinin reçine ile kaplanan yüzeyleri en aza inmekte ve kabuk kalıplamadaki maliyeti en çok olan reçine miktarı böylece azaltılabilmektedir. Ayrıca mümkün olduğunca tane boyutları birbirlerinden çok farklı olmayan (arka arkaya gelen iki elekteki kum) kumlar kullanılmalıdır.

Yaptığımız çalışmalar sonucunda kumdaki reçine miktarlarının artmasıyla beraber basma gerilmelerinde de düzenli bir artış meydana gelmiştir. Çapları farklı olan iki tip deney numunesinde ve dört farklı reçine oranında deneyler yapılmıştır. %2,5-%4 reçine oranı olan deney numunelerinin basma gerilmelerinde sürekli artış görülmüştür. %5 reçine oranı olan deney numunesinin basma gerilmesinde ise ani bir düşüş görülmüştür. Bunun iki nedeni olabilir. İlki deney numunesinin hazırlanması esnasında olabilecek üretim hataları dolayısıyla basma gerilmesinin düşük çıkmasıdır. İkincisi ise reçine oranı belli bir yüzdenin üzerine çıktıkça mukavemetinde ani bir düşüş olabilir.

KAYNAKLAR

- Andrew, R.S.L.,(1971) , Praxis des Maskenform-Verfahrens, Giesserei Verlag G.m.b.H., Düsseldorf.
- Andrew, R.S.L., (1960) , Producing Shell Cores, Foundry, Düsseldorf
- Aranguren, M.I., Borrajo, J., Williams, R.J.J.,(1984) “Study of the Formation of Shell Sand Parts Used in the Shell molding Process”, Sampe Journal, 20(3):18-23.
- Başgut, R.,(1989) “Kabuk Kalıplama Yönteminin ve Kabuk Kalıp Kalitesini Belirleyen Parametrelerin Yerli Hammaddeler Dikkate Alınarak İncelenmesi”Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Doktora Tezi, Mal-130, Gebze.
- Berndt, H.,(1981) , Formstoffe und Technologie des Maskenformver – fahrens, Fiessler – Verlag G.m.b.H., Düsseldorf.
- Brautigam, P.D.,(1981) “A New Automated Cold Shell Molding Process”, AFS Transactions, 89: 107 – 112.
- Bunting, C.R. Carr, J.C.,(1973) “Using CalciumStearate In Shell Process Sands” Foundry, 101(12):46 – 49.
- Company Profile, (1985)“Lec Refrigeration”, The British Foundryman, 78(4): 98 – 101,
- Çavuşoğlu, E.N., (1981) , Döküm Teknolojisi 1 , İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Ergin, S. (1981) , Kabuk Kalıp Yöntemine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi ve Kabuk Kalıp Özelliklerinin Kontrolü , İTÜ Metalurji Fakültesi MMLS Tezi, İstanbul.
- Ergin, S., Eruslu, N. Çavuşoğlu, E. (1990)“Kabuk Kalıp Yöntemine Etki eden parametrelerin İncelenmesi ve Kabuk Özelliklerinin Kontrolü”, 1:120-129.
- Foundry Profile,(1985) “RSM Casting Make it with Shell”, Foundry Trade Journal, 75(5):460-470.
- Gandt, H., (1974) “Herstellung von Gussstücken nach dem Maskenform – Verfahren in einer Schweizerischen Eisengiesserei”, Giesserei, 61(10):294-299.
- Jishnu, T., Murthy, K.S.S., (1980) Seshardi, M.R., “Thermal Behavior of Shell Molds”, AFS Transactions, 88:331-341.
- Johnson, C.K., (1984) “Advances in Shell and Hotbox Processes Offer Many Advantages”, Modern Casting, 15:25-27.
- Khan, R.H., Murthy, K.S.S., (1978) “Feeder Design for Shell-moulded Casting”, Foundry Trade Journal, 8:1267-1278.
- Kınıkoğlu, N., (1998) , Özel Döküm Yöntemleri , YTÜ FBE Lisans Ders Notları (yayımlanmamış).
- Le Serve, F.L., (1981) “Shell Moulding Maintain Status as Leading Precision Sandcasting Technique”, Foundry Trade Journal, 10:707-715.
- Menzel, A.H., (1983) “Genauguss aus Masmenformen mit Harz umhülltem Zirkonsilikatsand, Werkstatt und Betrieb”, 116:303-305

- Metals Handbook., (1970) "Forging and Casting", Eighth edition, ASM, pp. 181 – 202.
- Middleton, J.M., (1981) "Shell – Moulding of Steel Casting – a Critical Assesment", Foundry Trade Journal, 25: 481 – 719.
- Michelson, A., (1984) "Process and Equipment for Heatless, High – Speed Production of Thin – Walled Foundry Shell Cores and Moulds", AFS Transactions, 92: 7 – 16.
- Mukherjee, D., Mukherjee, A., Chakrabarti, A.K., (1975) Das, P.P., "Shell Moulding with Chromite Sand", Transactions of indian Institute of Metals, 28:(5): 419 – 421.
- Murthy, K.S., Hareesha, J., (1982) "Feeding of Cu-Base Alloys in Shell Molds", AFS Transactions, 90: 691 – 699.
- Pohl, P., (1970) "Die Herstellung von Harz umhüllten Sand für die fertigung von Maskenkernen und Formen", Giesserei, 57(21):675 – 681.
- Powel, G.R., Taylor, H.F., (1961) "Shell Lomding Process", Foundry, 89:88 – 92.
- Rao, M.V., Murthy, K.S.S., Seshadri, M.R., (1984) "Studies on Solidification of Nodular Iron in Shell Molds", AFS Transactions, 92: 561 – 572.
- Richards, G., (1979) "Precision Casting", The British Foundryman, 72(7):162 – 167.
- Schneider, G., (1987) "Mechanisierung in der Kernmacherei, Inbesondere Unter dem Gesichtpunkt der Rationalisierungsmöglichkeiten in Kundengiessereien", Giesserei, 74(12):375 – 382.
- Stehlik, H. (1981)"Shell Moulding at Kohlswa Jernverks AB", Foundry Trade Journal, 10:721 – 724.
- Stehlik, H., Mast, E.J., Scheffler, E., (1977) "Untersuchungen zur Formwandbewegung von Maskenformen mit Hilfe der Statistischen Versuchplanung – Teil 1", Gressereitechnik, 23:129 – 160.
- Stephens, H.A., (1980)"The Development of Moulding Metarials, The British Foundryman", 73(4):81 – 87.
- Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği, (1996) "Kabuk Kalıp + Maça için Kaplanmış Kum Test Yöntemleri", Metal Dünyası, 44:35-36.
- Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği, (1996) "Kabuk Kalıp ve Maça Yapımında Kaplanmış Kum", 44:69-74
- Yaman C., (1990) "Toz Karışımlarda Boşluk Oranı",YTÜ FBE Yüksek Lisans Ders Notları(yayımlanmamış)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	20.06.1975	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1989-1992	Haydarpaşa Lisesi
Lisans	1993-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurumlar

1998-1999	Cihan Metal – Nil Çelik
2000-2001	Akman Döküm
2001-Devam ediyor	Körfez Döküm