

Kum kalıba dökümde sıkça karşılaşılan hatalar: (a) gaz boşluğu, (b) gaz gözenekleri, (c) kum erozyonu, (d) şişme, (e) sıvı metal penetrasyonu (sızması), (f) kayma, (g) maça yüzmesi ve (h) kalıp çatlaması

1.2. Diğer Bozulabilir Kalıba Döküm Yöntemleri

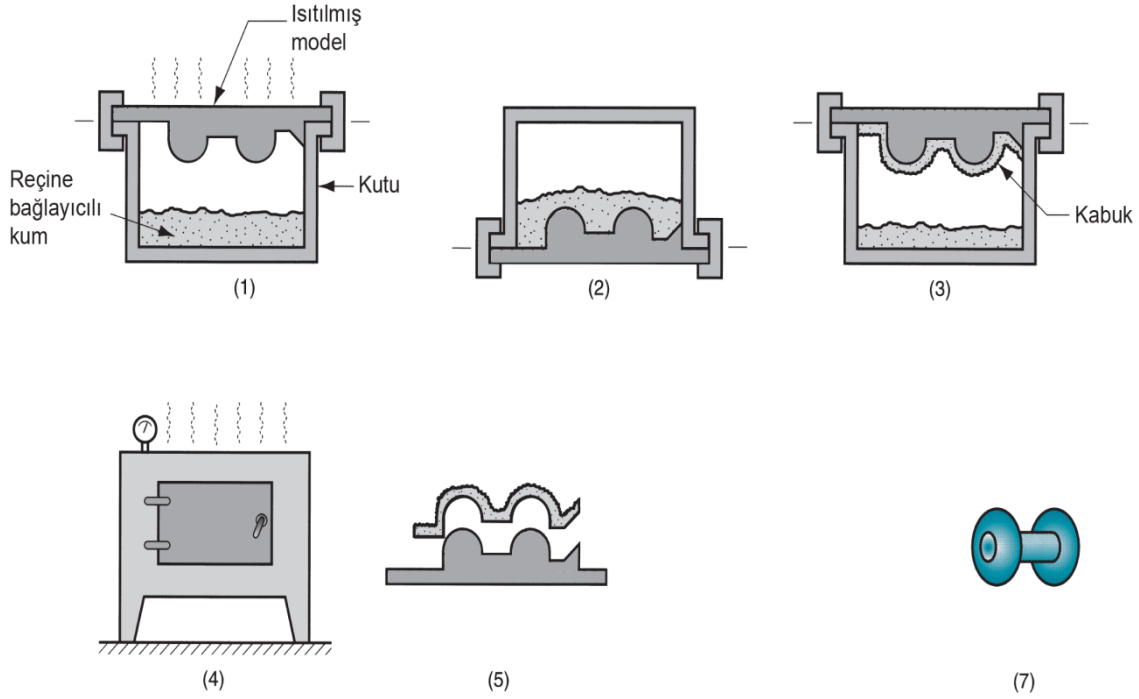
Özel gereksinimleri karşılamak üzere geliştirilmiş kum kalıp kadar çok yönlü (esnek) diğer döküm yöntemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemlerde, kullanılan kalıp malzemesinin farklı olması yanında kalıp veya model hazırlamada da farklılıklar bulunmaktadır.

1.2.1. Kabuk Kalıplama

Kabuk kalıplama, bağlayıcı olarak sıcaklıkla sertleşen bir termoset reçine karıştırılmış kumdan hazırlanan ve 9 mm kalınlığında kabuk şeklinde olan bir kalıba döküm işlemidir. Bu yöntem, 1940'lı yıllarda Almanya'da geliştirilen bir yöntemdir.

Kabuk kalıplamanın birçok avantajı bulunmaktadır. Kum kalıptan daha pürüzsüz yüzey elde edilir. Yüzey kalitesi daha iyidir. Kabuk kalıbın dağılıbilirliği genellikle iyi olup, döküm parçasının yırtılması veya çatlamasına yol açmayacak düzeydedir.

Bu yöntemin dezavantajları arasında aynı döküm parçası için yaş kum kalıpta kullanılan modele kıyasla daha pahalı metal model kullanımı gelmektedir. Bu, az sayıda parça üretiminde kabuk kalıplamanın ekonomik olmasını önler. Ancak yöntem seri üretim için otomasyona elverişli olup çok sayıda parça üretiminde oldukça ekonomiktir. Bu yöntemle dökülen parçalara örnek olarak dişliler, subap gövdeleri, burçlar ve kam milleri verilebilir.

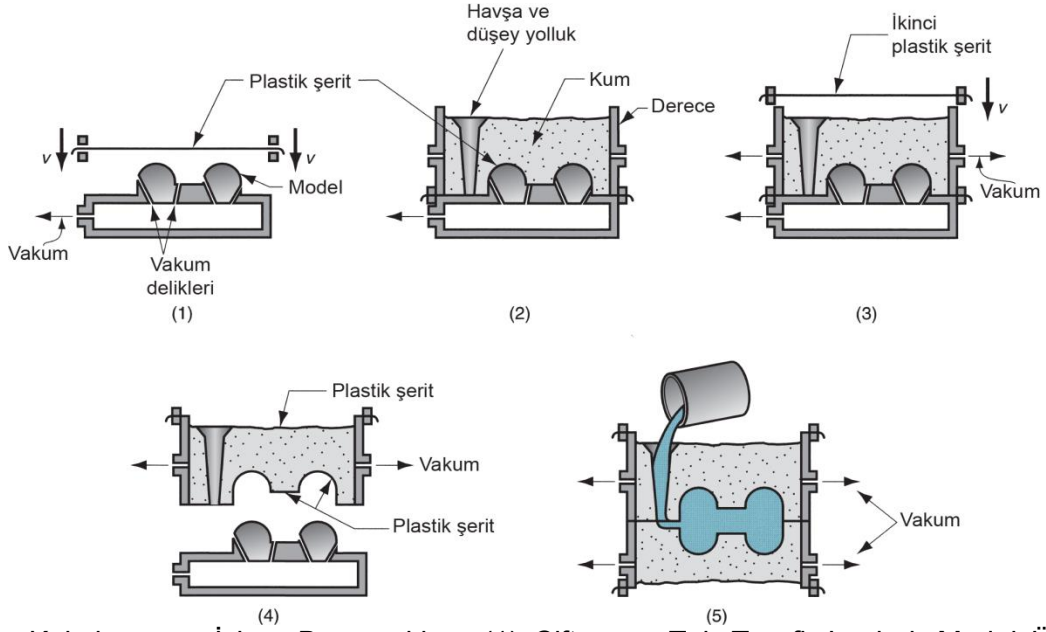


Kabuk kalıplamanın işlem basamakları: (1) çift veya tek taraflı levhalı model ısıtılır ve içerisinde sıcaklıkla sertleşen reçine ile karıştırılmış kum bulunan bir kutu üzerine yerleştirilir; (2) kutu ters çevrilerek kum-reçine karışımı sıcak model üzerine dökülür ve bir süre beklenerek model yüzeyinde sert bir kabuk oluşturulur; (3) kutu tekrar ilk haline döndürülerek sertleşmemiş ve bağlanmamış kum ayrılır; (4) kum kabuk bir fırında ısıtılarak sertleştirme işlemi tamamlanır; (5) kabuk kalıp modelden sıyrılarak ayrılır; (6) kalıbın iki parçasının montajı yapılır ve kum veya metal bilye dolu bir derece içerisine gömülerek desteklenir ve sıvı metalin dökümü yapılır; (7) döküm parçası kalıptan çıkarılır.

1.2.2. Vakum Kalıplama

Vakum yöntemi de denilen vakum kalıplama, 1970 yıllarında Japonya'da geliştirilmiştir. Yöntemde, kum taneleri bir kimyasal bağlayıcı yerine vakum basıncı ile sıkıştırılarak kalıp hazırlanır. Budan dolayı, yöntemdeki vakum ifadesi, döküm işlemi için değil kalıp yapımı için kullanılmaktadır.

Bağlayıcı kullanılmadığı için vakum kalıplamada döküm sonrası kumun yeniden kullanımı çok kolaydır. Bu yöntemde kullanılan kum, bağlayıcı kullanılarak kalıplanan kumların yeniden kullanımı için sıkça yapılan aşırı mekanik yenileme işlemleri gerektirmez. Yöntemde, kuma su karıştırılmadığından döküm parçasında rutubet, kaynaklı hatalar oluşturmaz. Vakum kalıplamanın dezavantajları ise oldukça yavaş olması ve otomasyona çok uygun olmamasıdır.

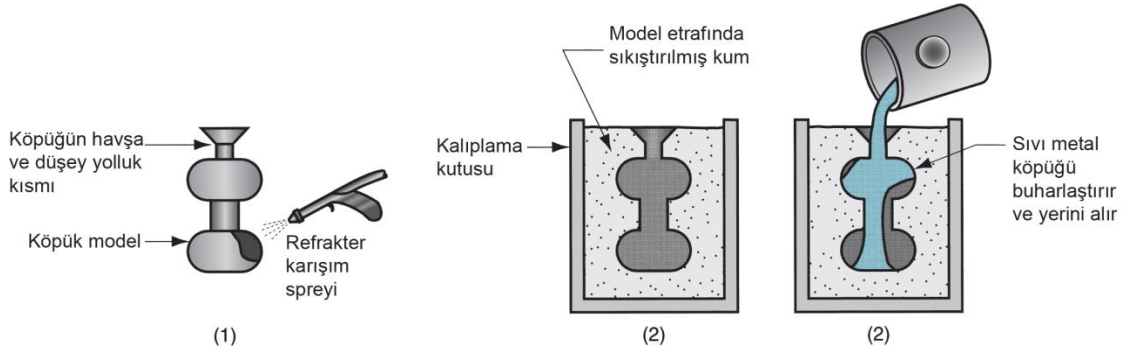


Vakum Kalıplamanın İşlem Basamakları: (1) Çift veya Tek Taraflı Levhali Model Üzerine Önceden Isıtılmış Bir Plastik Şerit Örtülür - Model Vakum ile Şekillendirilebilmesi için Küçük Vakum Delikleri İçermektedir; (2) Özel Olarak Tasarlanmış Bir Derece Model Üzerine Yerleştirilerek Kum ile Doldurulur ve Kum İçerisinde Havşa ve Düşey Yolluk Oluşturulur; (3) Derece Üzerine Bir Diğer İnce Plastik Şerit Yerleştirilir ve Vakum Uygulanarak Kum Taneleri Sıkıştırılarak Kalıp Sertleştirilir; (4) Model Üzerine Uygulanan Vakum Kesilerek Model Kalıptan Sıyrılır ve (5) Vakum Uygulaması Devam Ederken Alt ve Üst Kalıp Yarıları Kapatılarak Kalıp Hazırlama Tamamlanır ve Sıvı Metal Kalıp Boşluğuna Dökülür. Plastik Şerit Sıvı Metal İle Temas Eder Etmez Hızlı Bir Şekilde Yanarak Uzaklaşır. Katılaşma Sonrası, Vakum Kaldırılarak Kumun Neredeyse Tamamı Yeniden Kullanılabilir.

1.2.3. Köpük Polistren Yöntemi

Köpük polistiren kalıba döküm yönteminde, kum kalıp içerisinde sıvı metal ile temas ettiğinden buharlaşan köpük polistirenden yapılmış bir model kullanılır. Bu yöntem ve varyasyonları, kayıp köpük yöntemi, kayıp model yöntemi, buharlaşan köpük yöntemi ve ticari bir isim olan dolu kalıp yöntemi gibi değişik adlarla bilinmektedir. Köpük model, düşey yolluk, besleyici ve yolluk sistemi hep birlikte tek parça olarak polistren köpükten yapılır.

Bu yöntemin önemli bir avantajı, modelin kalıptan çıkarılması zorunluluğunun olmamasıdır. Bu, kalıp yapımını kolaylaştırır ve hızlandırır. Diğer taraftan geleneksel bir yaş kum kalıpta, uygun bir ayırma yüzeyine sahip iki kalıp parçası gerekmekte olup modele koniklik verilmeli, maçalar kullanılmalı ve bir yolluk-besleyici sistemi kalıba eklenmelidir. Köpük polistiren yönteminde, bu aşamaların hepsi model hazırlamada yapılır. Her bir döküm için yeni bir model gerekir. Dolayısıyla, köpük polistiren kalıba döküm yönteminin ekonomisi büyük ölçüde model yapım maliyetine bağlıdır. Yöntem, otomobil motor parçalarının seri üretiminde kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda, polistiren köpük modellerin kalıplanması için otomatik kalıplama sistemleri kullanılmaktadır.

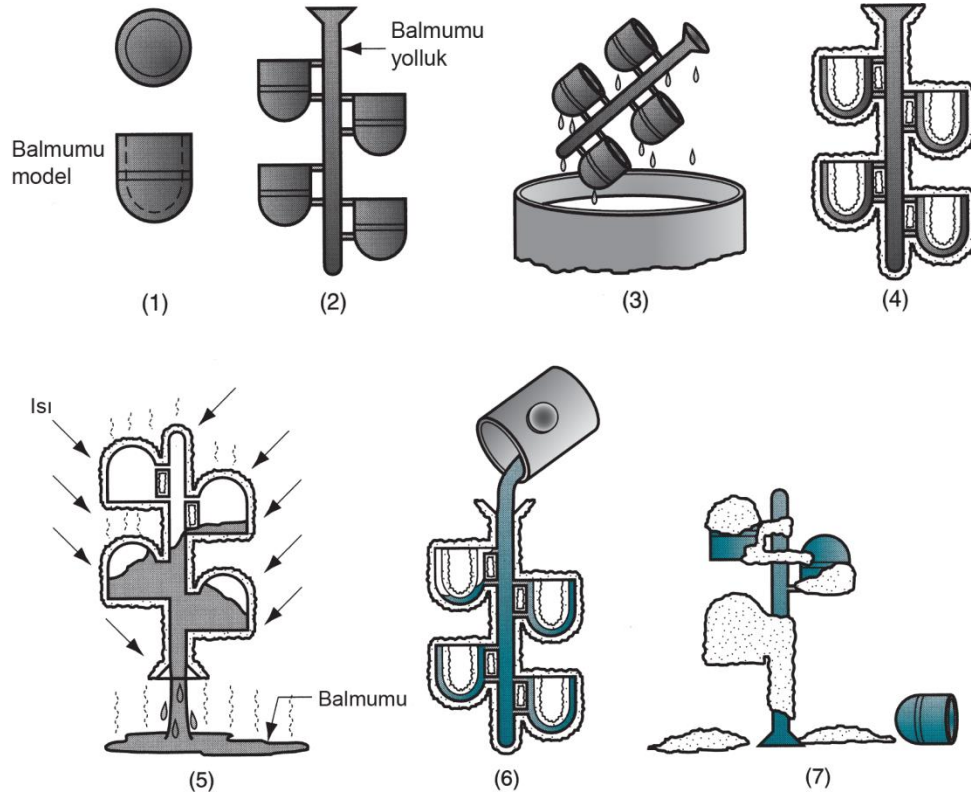


Köpük Polistiren Kalıba Döküm Yöntemi: (1) Köpük Polistiren Model Refrakter Bir Karışım ile Kaplanır; (2) Köpük Model Bir Kalıplama Kutusu İçerisine Yerleştirilir ve Model Etrafına Kum Doldurularak Sıkıştırılır ve (3) Sıvı Metal Köpük Modelin Havşa ve Düşey Yolluk Kısımını Oluşturan Bölümüne Dökülür. Sıvı Metal ile Temas Eden Köpük Plastik Model Buharlaşıp Sıvı Metalin Önünde Boşluk Oluşturur ve Sıvı Metal Kalıp Boşluğunu Doldurur.

1.2.4. Hassas Döküm

Hassas döküm (kayıp balmumu döküm) yönteminde, kalıp yapımında kullanmak üzere balmumundan yapılmış bir model, refrakter bir karışımla kaplanır. Sıvı metal, kalıba dökülmeden önce balmumu model eritilerek uzaklaştırılır. Yöntem, yüksek hassasiyetle parça dökümü ve karmaşık detayları imal etme kapasitesinden dolayı hassas bir döküm yöntemidir. Bu döküm yöntemi, balmumu model döküm öncesi kalıptan eritilerek atıldığı için kayıp balmumu döküm yöntemi olarak da bilinir.

Hassas dökümün avantajları şunlardır: (1) Karmaşık şekilli parçaların dökümü yapılabilir, (2) Boyut kontrolü çok iyidir, (3) Yüzey kalitesi çok yüksektir, (4) Balmumu tekrar kullanılabilir, (5) Döküm sonrası ek işleme genel olarak gerek yoktur. Çelikler, paslanmaz çelikler ve diğer yüksek sıcaklık alaşımları dahil tüm metaller hassas döküm yöntemi ile dökülebilir. Bu yöntemle dökülen parçalara karmaşık şekilli makine parçaları, türbin kanatları ve diğer türbin parçaları, takılar ve diş tedavisinde kullanılan bazı parçalar örnek olarak verilir.



Hassas dökümün işlem basamakları: (1) balmumu modeller üretilir; (2) çok sayıda model bir yolluğa bağlanarak model salkımı oluşturulur; (3) model salkımı refrakter çamura daldırılarak yüzeyinde ince bir tabaka oluşturulur; (4) Model salkımının etrafındaki seramik kabuk istenilen kalınlığa ulaşınca kadar refrakter malzeme ile kaplanır ve kalıp yeterli sertliğe ulaştırılır; (5) kalıp ters çevrilerek ısıtılır ve eriyen balmumu kalıptan boşaltılarak kalıp boşluğu oluşturulur; (6) kalıptaki tüm istenmeyen maddeleri uzaklaştırmak için kalıp yüksek bir sıcaklığa ısıtılır – ayrıca bu sayede sıvı metalin kalıp boşluğu detaylarına akması kolaylaşır; sıvı metal kalıp boşluğuna dökülür ve katılaşmaya bırakılır; (7) kalıp bozularak döküm parçaları çıkarılır. Döküm parçaları düşey yolluktan kesilerek ayrılır.

1.2.5. Alçı Kalıba ve Seramik Kalıba Döküm Yöntemleri

Alçı kalıba döküm, kalıp yapımında kum yerine alçı (alçı taşı- $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) kullanılması dışında kum kalıba döküm yöntemine benzer. Büzülme ve sertleşme süresini kontrol etmek, çatlamayı önlemek ve mukavemeti artırmak için alçıya talk (pudra) ve silis unu gibi katkı maddeleri karıştırılır. Kalıp oluşturmak için, bir kutu içerisine yerleştirilen plastik veya metalden bir model üzerine su ile karıştırılmış alçı karışımı dökülür ve sertleşmeye bırakılır. Ahşap modeller alçı karışımındaki su ile uzun süreli temas nedeniyle zarar göreceğinden tercih edilmezler. Alçı kalıba döküm yöntemiyle üretilen parçalar karmaşık şekilli ve yüksek yüzey kalitesine sahiptirler.

Bu yöntemin dezavantajlarından biri, özellikle yüksek üretim miktarlarında, alçı kalıbın sertleşmesinin gerekmesidir. Model kalıptan çıkarılmadan önce kalıbın yaklaşık 20 dk şeklini koruyacak kadar sertleştirilmesi gerekmektedir. Kalıp daha sonra birkaç saat kaçırılarak pişirilerek nemi giderilir. Alçı kalıbın bir başka dezavantajı, geçirgenliğinin çok düşük olması, bu nedenle de kalıp boşluğundaki gazların atılamamasıdır. Bu sorun birkaç şekilde giderilebilir. Bunlar; (1) Sıvı metal dökülmeden önce kalıp boşluğundaki havanın boşaltılması, (2) Döküm öncesi alçı harcına hava üflenerek ince gözenekli köpük haline getirilmesi ve (3) Antioch yöntemi olarak bilinen özel bir kalıp kompozisyonu ve işlem kullanılmasıdır. Antioch yönteminde, yaklaşık %50 kum ile karıştırılmış alçı kullanılır, kalıp bir otoklavda (aşırı ısıtılmış buhar ile ısıtma yapan fırın) ısıtılarak nemi giderilir ve daha sonra kurutulur. Bu şekilde üretilen kalıbın gaz geçirgenliği geleneksel alçı kalıbındakinden oldukça yüksektir.

Alçı kalıp, kum kalıbın dayandığı yüksek sıcaklıklara dayanıklı değildir. Bu yüzden bu yöntem, alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları gibi düşük erime dereceli alaşımların dökümü ile sınırlıdır.

Seramik kalıba döküm, alçı yerine yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı seramik malzemeden kalıp yapılması dışında alçı kalıba döküme benzer bir yöntemdir. Dolayısıyla, seramik kalıplama çelikler, dökme demirler ve diğer yüksek sıcaklık alaşımlarının dökümünde kullanılabilir. Bu yöntem de alçı kalıpta olduğu gibi yüksek yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti gibi avantajlara sahiptir.

1.3. Kalıcı Kalıba Döküm Yöntemleri

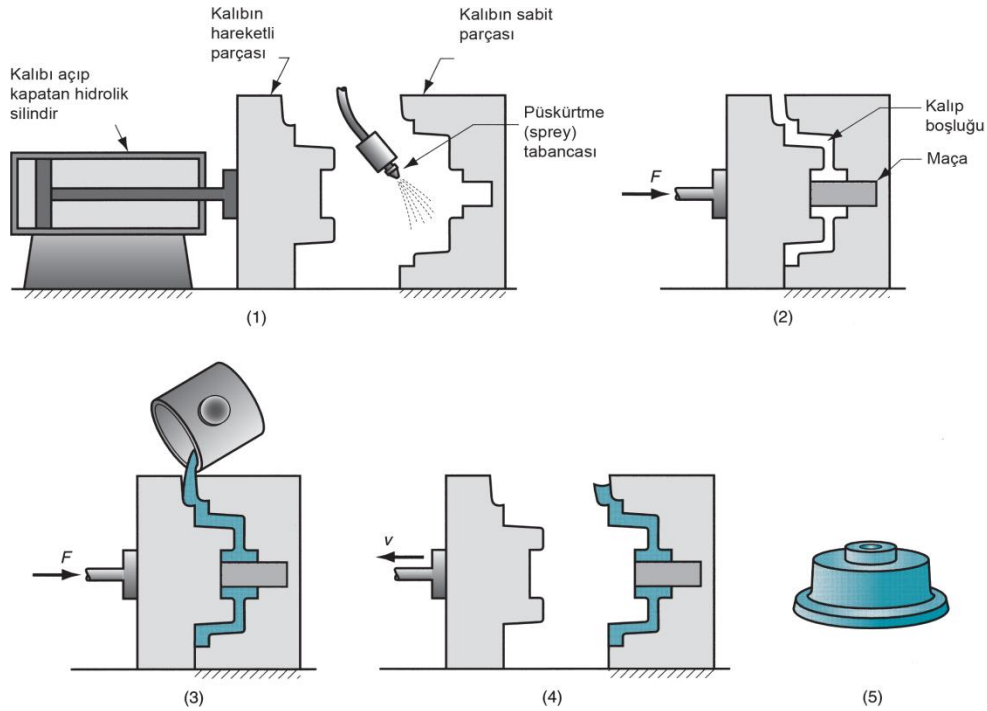
Tüm bozulabilir kalıba döküm yöntemlerinin ekonomik dezavantajı her döküm için yeni kalıp hazırlama zorunluluğudur. Kalıcı kalıba döküm işleminde ise, kalıp birçok döküm işleminde defalarca kullanılabilir. Bu bölümde, metal kalıba döküm (kokil döküm) yeniden kullanılabilir kalıp ile yapılan döküm işlemlerinin temel uygulaması olarak ele alınacaktır. Diğer kalıcı kalıba döküm yöntemleri arasında basınçlı döküm ve santrifüj (savurma) döküm bulunmaktadır.

1.3.1. Metal (Kokil) Kalıba Döküm Yöntemi

Kalıcı kalıba dökümde, kolay ve hassas bir şekilde açılıp kapanabilecek olarak tasarlanmış iki parçalı metal bir kalıp kullanılır. Bu kalıplar, genellikle çelik veya dökme demirden yapılır. Yolluk sistemini de bünyesinde bulunduran kalıp boşluğu bu iki kalıp parçasında işlenerek açılır. Bu yöntemde kullanılan metal kalıplar, yüksek yüzey hassasiyeti ve yüzey kalitesi sağlar. Kalıcı kalıpta yaygın olarak dökülen metaller; alüminyum, magnezyum, bakır alaşımları ve dökme demirlerdir. Ancak dökme demir 1250-1500 °C arasında yüksek döküm

sıcaklığı nedeniyle kalıplar seramik bir malzemeden yapılmadığı takdirde bu yöntem çeliklere uygun değildir.

Kalıcı kalıba dökümün avantajları arasında daha önce de belirtildiği gibi yüksek yüzey kalitesi ve hassas boyut kontrolü bulunmaktadır. Metal kalıplardaki yüksek soğuma hızları sayesinde daha ince taneli ve daha yüksek mukavemetli parçalar üretilir. Bu yöntem daha çok düşük erime dereceli malzemelerin dökümünde kullanılır. Kalıp maliyetinin yüksek olmasına karşın seri üretime uygundur. Bu yöntemle; otomobil pistonlarının, pompa gövdelerinin ve bazı uçak parçalarının dökümü yapılabilir.

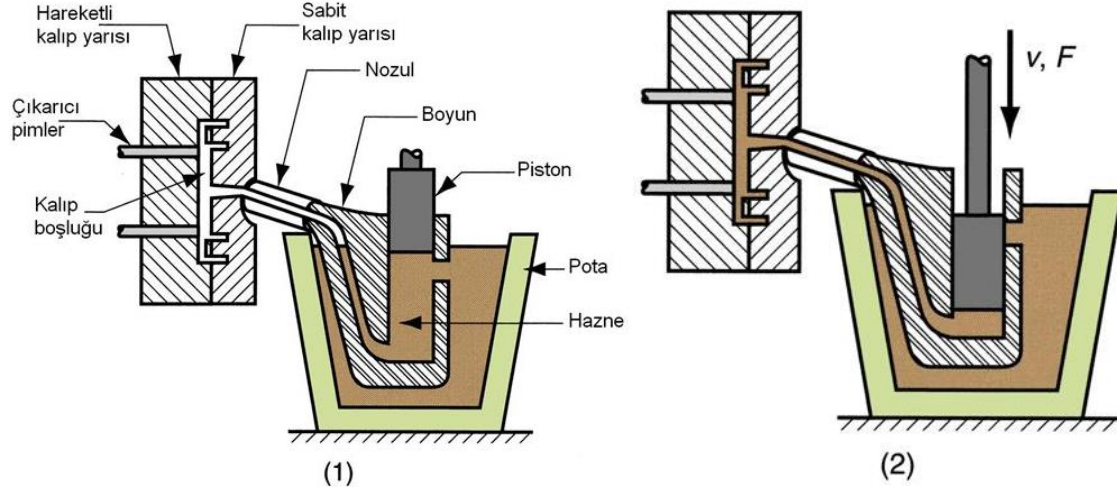


Metal (kokil) kalıba dökümün işlem basamakları: (1) kalıba ön ısıtma uygulanır ve yüzey kaplanır; (2) maçalar yerleştirilir (eğer kullanılıyorsa) ve kalıp kapatılır; (3) sıvı metal kalıba dökülür; (4) kalıp açılır ve (5) döküm parçası

1.3.2. Basıncılı Döküm

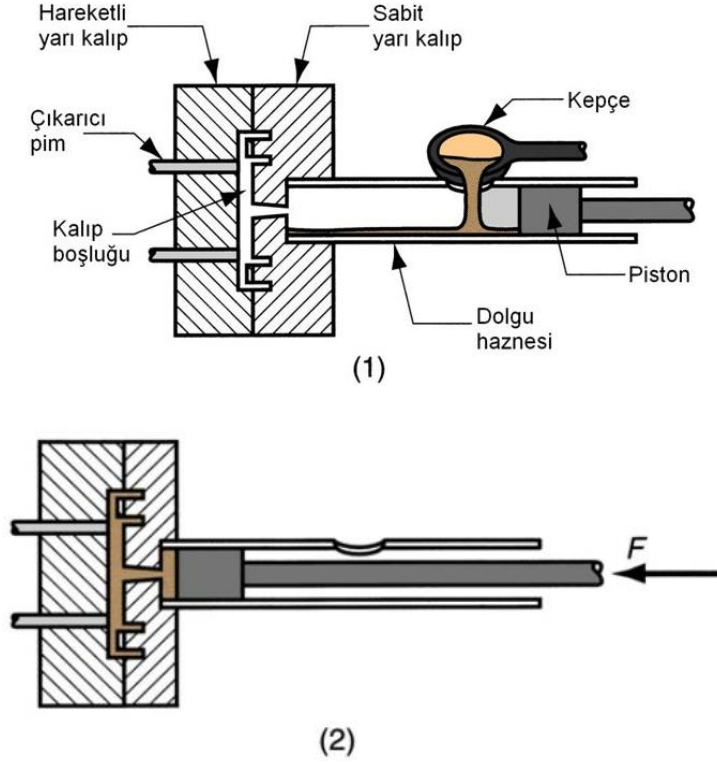
Basıncılı döküm, sıvı metalin kalıp boşluğuna yüksek basınçla enjekte edildiği bir kalıcı kalıba döküm yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan tipik basınçlar 7-350 MPa arasındadır. Basınç uygulamasına katılma esnasında devam edilir ve daha sonra kalıp açılarak döküm parçası çıkarılır. Bu yöntemdeki yüksek basınç kullanımı yöntemi, diğer kalıcı kalıba döküm yöntemlerinden ayırt eden en belirgin özelliktir. Basıncılı döküm makinesinin iki farklı türü mevcuttur. Bunlar; (1) Sıcak hazneli ve (2) Soğuk hazneli basıncılı döküm makineleridir. Bunlar arasındaki fark, sıvı metalin kalıp boşluğuna nasıl enjekte edildiğidir.

Sıcak hazneli basınçlı döküm makinelerinde, metal makineye bağlı bir pota içerisinde eritilir ve bir piston vasıtasıyla yüksek basınç kullanılarak kalıba enjekte edilir. Kullanılan tipik enjeksiyon basıncı 7-35 MPa arasındadır. Bu yöntemle saatte 500 parçaya kadar üretim hızlarına ulaşılabilir. Bu yöntemin uygulaması, dalma pistonu ve diğer mekanik parçalara kimyasal olarak daha az zararlı, düşük erime dereceli metallerin dökümü ile sınırlıdır. Dolayısıyla, bu yöntemle dökümü yapılan metaller; çinko, kalay, kurşun ve nadiren magnezyumdur.



Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm İşlemindeki Döküm Süreci: (1) Kalıp Kapanır ve Dalma Pistonu Yukarı Çekilerek Sıvı Metal Hazneye Doldurulur, (2) Haznedeki Sıvı Metal Pistonun Dalması ile Kalıp Boşluğuna Basılır, (3) Piston Geri Çekilir, Kalıp Açılır ve Katılaşmış Döküm Parçası İtilerek Çıkartılır

Soğuk hazneli basınçlı döküm makinelerinde, sıvı metal bir pota ile soğuk bir hazneye dökülür ve bir piston vasıtasıyla yüksek basınç altında kalıp boşluğuna enjekte edilir. Bu makinelerde kullanılan enjeksiyon basınçları tipik olarak 14-140 MPa arasındadır. Sıcak hazneli döküm makinelerine kıyasla bu yöntemin üretim hızı, dışarıdan bir potadan sıvı metalin bir kepçe ile hazneye boşaltılması gerektiğinden, daha düşüktür. Buna rağmen, bu yöntemin üretim hızı yüksektir. Soğuk hazneli döküm makineleri ile tipik olarak alüminyum, pirinç ve magnezyum alaşımlarının dökümü yapılır. Düşük erime dereceli alaşımlar (çinko, kalay ve kurşun) da soğuk hazneli makinelerde dökülebilir, ancak bu malzemelerin dökümü için sıcak hazneli makineler avantajlarından dolayı daha caziptir.



Soğuk Hazneli Basıncılı Döküm İşlemindeki Döküm Süreci: (1) Kalıp Kapanır ve Piston Çekili iken Sıvı Metal Bir Pota ile Hazneye Dökülür, (2) Piston Sıkıştırma Odasındaki Sıvı Metal Piston Vasıtasıyla Kalıba Basılır (Soğuma ve Katılaşma Esnasında Basınç Uygulamasına Devam Edilir) ve (3) Piston Geri Çekilir, Kalıp Açılır ve Döküm Parçası İtilerek Çıkarılır

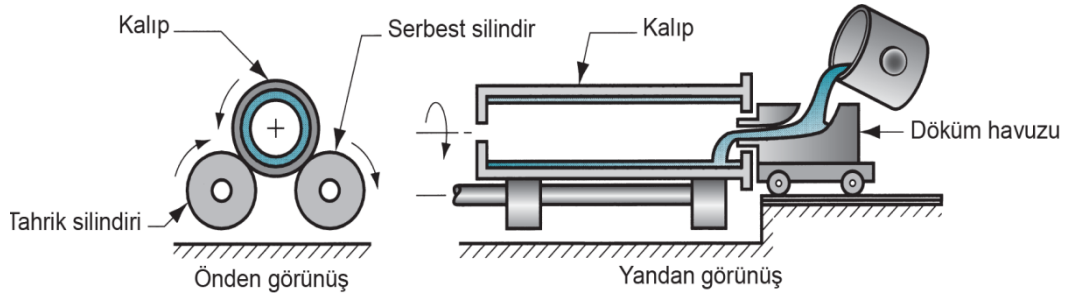
Basıncılı dökümün avantajları şunlardır: (1) Yüksek üretim hızları mümkündür, (2) Çok sayıda üretiminde ekonomiktir, (3) Sıkı boyut kontrolü mümkündür, (4) Yüzey kalitesi çok yüksektir, (5) 0.5 mm'ye kadar ince kesitli parçalar dökülebilir ve (6) Yüksek soğuma hızı sayesinde daha ince taneli, dolayısıyla daha yüksek mukavemetli parçalar üretilebilir. Diğer taraftan yöntemin dezavantajı dökülebilecek metallerin sayısındaki kısıtlamaya ek olarak dökülecek parça şekillerinin de sınırlı olmasıdır. Parça geometrisi, parçanın kalıptan çıkarılmasına müsaade etmelidir.

1.3.3. Santrifüj (Savurma) Döküm

Santrifüj (savurma) döküm, santrifüj kuvvetinin sıvı metali kalıp yüzeyine dağıtması için yüksek devirde döndürülen bir kalıp içerisine sıvı metali dökerek yapılan bir grup döküm yöntemidir. Bu döküm grubunda şu döküm yöntemleri vardır: (1) Gerçek savurma döküm, (2) Yarı savurma döküm ve (3) Savurmalı döküm.

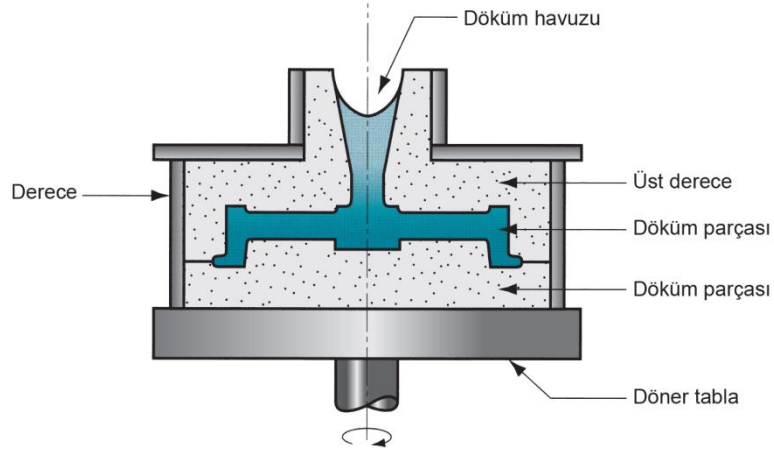
Gerçek savurma döküm: Gerçek savurma dökümde, erimiş metal boru şeklinde içi boş parçaların üretimi için bir eksen etrafında dönen bir kalıp içerisine dökülür. Bu yöntemle üretilen parçalara borular, tüpler, burçlar e halkalar örnek olarak verilebilir. Sıvı metal, yatay ekseninde dönen bir kalıbın bir ucuna dökülür. Bazı uygulamalarda, kalıbın döndürülmesine sıvı metal dökülmeden önce değil döküldükten sonra başlanır. Yüksek devirde dönme, sıvı metali kalıbın şeklini almaya zorlayan santrifüj kuvvetlerinin oluşmasına yol açar. Dolayısıyla, döküm parçalarının dış yüzeyi yuvarlak, sekizgen, altıgen ve benzeri olabilir. Ancak parçanın iç yüzeyi, döküm parçasına etkiyen radyal simetrik kuvvetler nedeniyle teorik olarak ideal yuvarlak şekilli olur.

Gerçek savurma döküm ile üretilen parçaların yoğunluğu, özellikle de santrifüj kuvvetinin en büyük olduğu parçanın dış kısımlarında, oldukça yüksektir. Santrifüj kuvveti, katılaşma esnasında sıvı metali sürekli kalıp cidarına doğru bastırdığı için, döküm parçasının dış yüzeyindeki büzülme bu yöntemde kritik değildir. Döküm parçasında oluşabilecek herhangi bir empürite (istenmeyen madde), düşük yoğunluklu bileşenlerin iç yüzeye doğru sürüklenmesinden dolayı, parçanın iç yüzeyinde olma eğilimi vardır. Döküm sonrası parçanın iç yüzeyindeki bu empüriteler talaşlı imalat yöntemleri ile rahatlıkla uzaklaştırılabilir.



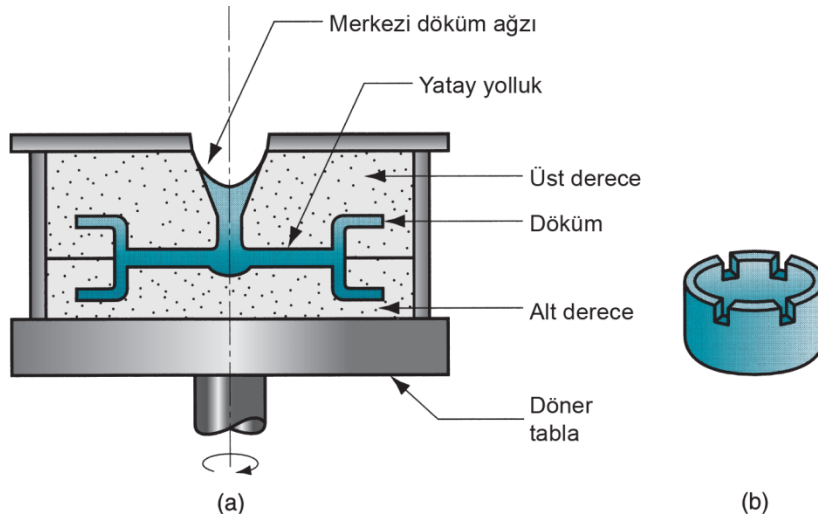
Gerçek savurma döküm yönteminin şematik gösterimi

Yarı savurma döküm: Bu yöntemde, boş boru şekilde parçalar yerine katı parçalar üretmek için santrifüj kuvvetinden yararlanılır. Yarı savurma dökümde, devir hızı G-faktörü yaklaşık 15 olacak şekilde ayarlanır ve sıvı metal takviyesi için kalıplar besleyici kalıbın ortasında olacak şekilde tasarlanır. Yöntem, genellikle iç kısımları talaşlı işlem ile işlenecek parçaların dökümünde kullanılır. Bu şekild, döküm parçasının en kalitesiz kısımları döküm sonrası uzaklaştırılmış olur. Bu yöntem ile üretilebilecek parçalar örnek olarak tekerlek ve kasnaklar verilebilir. Yöntemin şematik gösteriminden de görülebileceği üzere, yarı savurma dökümde sıkça bozulabilir kalıplar kullanılır.



-Yarı Savurma Döküm Yönteminin Şematik Gösterimi-

Savurmalı döküm: Savurmalı dökümde kalıp, döküm boşlukları dönme ekseninden uzakta olacak şekilde tasarlanır. Bu sayede, kalıba dökülen sıvı metal santrifüj kuvveti tarafından kalıp boşluklarına dağıtılır. Bu yöntem, küçük parçaların dökümünde kullanılır. Diğer iki savurma döküm uygulamasındaki dökülecek parçanın dönen (radyal) simetrik olma zorunluluğu bu yöntemde şart değildir.



(a) Savurmalı Dökümün Şematik Gösterimi-Sıvı Metal Santrifüj Kuvveti Sayesinde Dönme Ekseninden Kalıp Boşluklarına Doğru Akar ve (b) Döküm Parçası