

MAK 351 İMAL USULLERİ

Doç.Dr. Turgut GÜLMEZ
İTÜ Makina Fakültesi

1

METAL DÖKÜMÜNÜN ESASLARI

1. Döküm Teknolojisine Genel Bakış
2. Ergitme ve Döküm
3. Katılaşma ve Soğuma

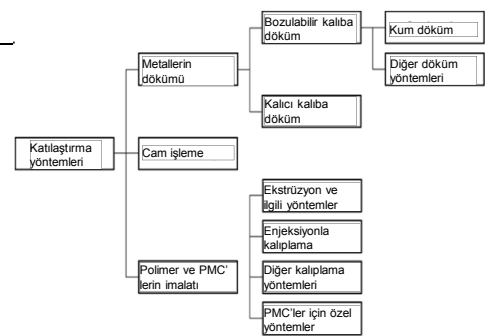
2

Katılaştırma Yöntemleri

Başlangıç malzemesi, ya bir sıvıdır ya da yüksek derecede plastikleştirilmiştir ve malzemenin daha önceden hazırlanmış kalıp denen bir boşluğa doldurularak katılaştırılması sayesinde bir parça oluşturulur

- Katılaştırma yöntemleri, işlenen mühendislik malzemesine göre sınıflandırılabilir:
 - Metaller
 - Seramikler, özel camlar
 - Polimerler ve polimer matrisli karma malzemeler (PMC'ler)

3



Şekil 10.1 Katılaştırma yöntemlerinin sınıflandırılması

4

Döküm

Erimiş metalin, elde edilecek parçanın şekline sahip bir kalıp boşluğuna, yerçekimi veya basınç uygulanarak doldurulup katılaştığı yöntem

- *Döküm* terimi yöntemle üretilen parçalar için de kullanılmaktadır
- Şekil dökümü-ingot dökümü
- Dökümdeki adımlar görece olarak basittir:
 1. Metalin ergitilmesi
 2. Kalıba dökülmesi
 3. Katılaşmaya bırakılması
 4. Kalıbın açılıp/bozulup parçanın alınması

5

Dökümün Üstünlükleri

- Karmaşık parça geometrileri kolaylıkla oluşturulabilir
- Hem iç (içi boş) hem de dış şekiller oluşturulabilir
- Bazı döküm yöntemleri *net şekil*'dir; bazıları ise *net şekle yakın*'dir.
- Çok büyük ve çok küçük parçalar üretebilir
- Bazı döküm yöntemleri seri üretime uygundur
- Hemen tüm metallerin dökümü mümkündür. (dökme demir)

6

Dökümün Zayıflıkları

- Farklı döküm yöntemlerinin farklı zayıflıkları vardır:
 - Mekanik özelliklerde sınırlamalar, porozite, segregasyonlar, kaba ve homojen olmayan tane yapısı
 - Çok ince kesitlerin elde edilmesi zor
 - Bazı yöntemlerde düşük boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesi; örn. Kum döküm
 - Sıcak erimiş metaller nedeniyle çalışanlara iş güvenliği sorunları
 - Çevre sorunları

7

Dökümle Üretilen Parçalar

- Büyük parçalar
 - Otomotiv araçları için motor blokları, silindir kafaları, piston, jant vs. ağaç yakma fırınları, makina gövdeleri, vagon tekerlekleri, borular, büyük heykeller, pompa gövdeleri, radyatör
- Küçük parçalar
 - Dış kaplamaları, mücevher, küçük heykeller, kızartma tavaları, vana, vs
- Demir esaslı ve demir dışı tüm metal türleri dökülebilir

8

Döküm Teknolojisine Genel Bakış

- Döküm genellikle dökümhane'de yapılır
Dökümhane = kalıpların ve maçaların yapılması, erimiş metalin eldesi ve taşınması, döküm işleminin yapılması ve kalıpların bozulması, bitmiş dökümlerin temizlenmesi için donatılan fabrika
- Döküm işini yapan işçiler *dökümcü* olarak adlandırılır
- Dökümhaneler yaptıkları işin niteliğine göre sınıflandırılır: Şipariş, dahili, dökme demir, çelik, hassas döküm vs.

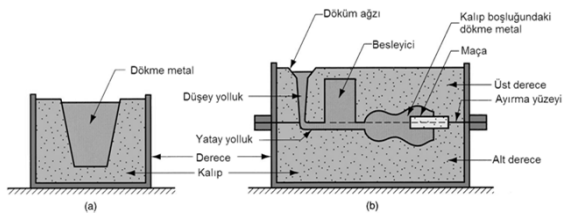
9

Dökümde Kalıp

- Geometrisi parça şeklinin aynı olan boşluklar içerir
 - Kalıp boşluğunun gerçek boyut ve şekli, katılaşma ve soğuma sırasında metalin büzülmesini karşılayacak kadar hafifçe daha büyük olmalıdır
 - Basit geometrilerde tek parçalı karmaşıklarda ise çok parçalı yapılır
 - Kalıplar, kum, alçı, seramik ve metal olmak üzere değişik refrakter malzemelerden yapılır
 - Üretilen döküm parçaların kalitesi kalıpların hazırlanmasında gösterilen özene bağlıdır.

10

Açık Kalıplar ve Kapalı Kalıplar



Şekil 10.2 İki kalıp türü: (a) sadece istenen parçanın şeklindeki bir kap olan açık kalıp; ve (b) kalıp geometrisinin daha karmaşık olduğu ve kalıp boşluğuna giden bir yolluk sistemi (geçiş yolları) gerektiren kalıp geometrisinin olduğu kapalı kalıp

11

Döküm Yöntemlerinin İki Kategorisi

1. *Bozulabilir kalıp yöntemleri* –katılaşma sonrası döküm parçayı çıkarmak için dağıtılması gereken bir kalıp kullanır
 - Kalıp malzemeleri: kum, alçı ve benzer malzemeler, ayrıca bağlayıcılar
2. *Kalıcı kalıp yöntemleri* – çok sayıda döküm üretmek için tekrar tekrar kullanılacak bir kalıcı kalıp kullanır
 - Metalden (veya, nadiren) seramik bir refrakter malzemeden yapılır

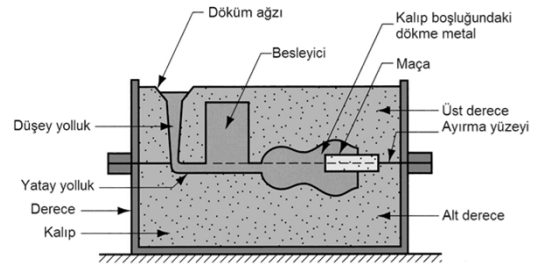
12

Üstünlükleri ve Eksiklikleri

- Bozulabilir kalıp yöntemleriyle daha karmaşık ve büyük geometriler oluşturulabilir
- Kalıcı kalıp yöntemlerindeki parça şekilleri, kalıbın açılması gerektiğinden sınırlıdır
- Kalıcı kalıp yöntemleri, yüksek hızlı ve seri üretim işlemlerinde daha ekonomiktir
- Kalıcı kalıp pahalıdır dizaynı ve üretilmesi zordur
- Kalıcı (metal) kalıplarda katılma hızı yüksek olduğundan daha ince taneli döküm parçalar üretilir.
- Yüksek ergime sıcaklığı olan metaller kalıcı kalıpta dökülemez

13

Kum Döküm Kalıbı

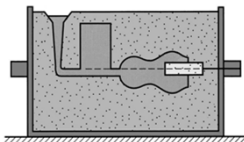


Şekil 10.2 (b) Kum döküm kalıbı.

14

Kum Döküm Kalıp Terimleri

- Kalıp iki yarıdan oluşur:
 - Üst derece, Alt derece
- Kalıp yarıları, derece denen bir kutunun içindedir
- İki yarı, ayırma yüzeyinde birbirinden ayrılır
- Model, serbest, levhali, şablon,
- Yolluk sistemi, Besleyici, iç soğutucu
- Maça, kalem maça, Döküm boşluğu



15

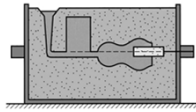
Kalıp Boşluğunun Oluşturulması

- Kalıp boşluğu, parçanın şekline sahip olan bir *model* çevresinde kumun sıkıştırılmasıyla oluşturulur, (elle yada makinalarla)
- Model çıkarıldığında, sıkıştırılmış kumda kalan boşluk, dökme parçanın istenen şekline sahiptir
- Model, katılma ve soğuma sırasında metalin büzülmesi ve ilave işleme payları kadar genellikle daha büyük yapılır
- Kalıp kumu nemlidir ve şeklini koruması için bir bağlayıcı içerir(kil)

16

Kalıp Boşluğunda Maça Kullanımı

- Kalıp boşluğu, dökülecek parçanın dış yüzeyini oluşturur
- Ek olarak parçanın iç geometrisini belirleyecek şekilde, kalıp boşluğunun içine yerleştirilen bir maça tarafından belirlenen iç yüzeylere de sahip olabilir,
- İç maçalar dışında kalıbın zayıf bölgeleri ile kalıplama zorluğu olan çıkıntı ve girintili kısımlarda da maça kullanılır
- Kum dökümde maçalar genellikle kumdan yapılır ancak bileşimleri ve üretim tekniklerindeki farklılıktan dolayı daha dayanıklıdır.
- Maçalar kalıp içinde maça başı denen özel boşluklara yerleştirilirler, gerektiğinde maça desteklerinden yararlanılarak yerlerinden oynamamaları sağlanır.

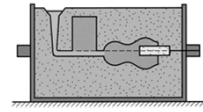


17

Yolluk Sistemi

Erimiş metalin kalıp dışından kalıp boşluğuna doğru aktığı kanal

- Düşey yolluğun üstünde, genellikle sıçramayı en aza indirecek ve metalin düşey yolluğa türbülanssız girmesini sağlayacak bir *döküm ağız* bulunur
- Metalin içinde akarak yatay yolluğa ulaştığı bir *düşey yolluk* içerir (huni), ucunda topuk bulunur ve bununla sıvı metalin hızı azaltılarak yatay yolluğa geçişi sağlanır yatay yolluk yada ara yolluklarla döküm boşluğuna bağlantı yapılır

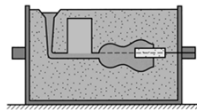


18

Besleyici ve Çıkıcılar

Katılma sırasında parçanın büzülmesi sonucu oluşan hacim azalmasını karşılamak üzere bir sıvı metal kaynağı olan, kalıp içindeki depo

- Atmosfere kapalı olanları besleyici açık olanlarına çıkıcı denir
- Besleyicinin fonksiyonunu yerine getirebilmesi için, esas parçadan sonra katılacak, şekilde tasarlanmalıdır



19

METAL DÖKÜM YÖNTEMLERİ

1. Kum Döküm
2. Diğer Bozulabilir Kalıba Döküm Yöntemleri
3. Kalıcı Kalıba Döküm Yöntemleri
4. Dökümhane Uygulamaları
5. Döküm Kalitesi
6. Dökülebilen Metaller
7. Döküm Parça Tasarım Prensipleri

20

Döküm Yöntemlerinin İki Kategorisi

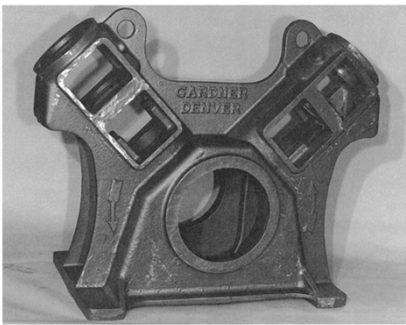
1. Bozulabilir kalıp yöntemleri – kalıp, parçayı çıkarmak için dağıtılır
 - Üstünlüğü: daha karmaşık şekiller mümkündür
 - Eksikliği: dökümün kendisinden çok kalıbı yapma süresinin uzunluğu nedeniyle üretim hızı genellikle düşüktür
2. Kalıcı kalıp yöntemleri – kalıp metalden yapılır ve çok sayıda döküm için kullanılabilir
 - Üstünlüğü: yüksek üretim hızları
 - Eksikliği: kalıbı açmak gerektiğinden geometriler sınırlıdır

21

Kum Döküme Genel Bakış

- Toplam döküm üretiminin önemli bir kısmını oluşturan, en yaygın kullanılan döküm yöntemi
- Çelik, nikel ve titanyum gibi yüksek sıcaklıkta eriyen hemen tüm alaşımlar kum kalıba dökülebilir
- Dökülen parça boyut aralığı, küçük boyuttan çok büyük boyutlara kadar uzanır
- Üretim miktarı bir adetten milyonlarca adede kadardır

22



Şekil 11.1 Bir hava kompresörü çerçevesine ait, 680 kg ağırlığındaki büyük bir kum döküm

23

Kum Dökümdeki Aşamalar

1. Erimiş metal kum kalıba dökülür
2. Metalin katılaşmasına yeterli süre beklenir
3. Dökümü çıkarmak için kalıp dağıtılır
4. Döküm temizlenir ve muayene edilir
 - Yolluk ve besleyici sistemi ayrılır
5. Metalurjik özelliklerini iyileştirmek için bazen döküme ısıtılma işlemi gerekir

24

Kum Kalıbın Yapılması

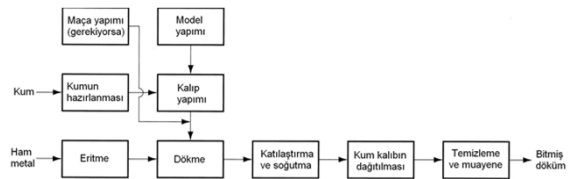
- Kum kalıptaki *boşluk*, bir model etrafında kumu sıkıştırarak ve ardından iki kalıp yarısını ayırıp modeli çıkararak oluşturulur
- Kalıp ayrıca *yolluk* ve *besleyici* sistemi içermelidir
- Eğer dökümde iç yüzeyler olması gerekiyorsa, kalıba bir *maça*'nın eklenmesi gerekir
- Üretilcek her parça için yeni bir kum kalıbın yapılması gerekir

25

Kum Döküm Üretim Sırası

Şekil 11.2 Kum dökümdeki işlem sırası aşamaları.

Bu aşamalar, sadece döküm işlemini değil, ayrıca model yapımını ve kalıp yapımını da içerir



26

Model

Dökümden sonraki soğuma esnasında meydana gelen büzülme ve işleme toleranslarını hesaba katmak için hafifçe büyütülmüş, parçanın şekli ile aynı, 3 boyutlu bir model gereklidir

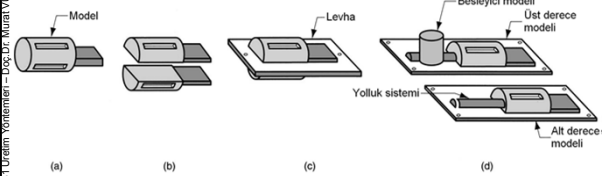
- Model malzemeleri:
 - Ahşap – işleme kolaylığı nedeniyle en yaygın malzeme, ancak deforme olabilir
 - Metal – yapması daha pahalı, ancak daha uzun ömürlü
 - Plastik – ahşap ve metal arasında özelliklere sahip

27

Model Türleri

Şekil 11.3 Kum dökümünde kullanılan model türleri:

- Serbest model
- Ayrık serbest model
- Çift taraflı Levhali model
- Tek taraflı Levhali modelleri



28

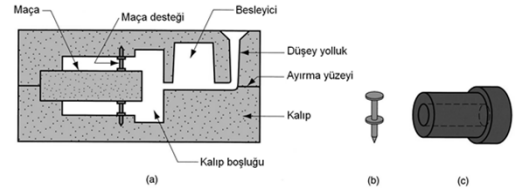
Maça

Parçanın iç yüzeylerinin tam ölçekli modeli

- Dökmeden önce kalıp boşluğuna yerleştirilir
- Sıvı metal, dökümün iç ve dış yüzeylerini oluşturmak üzere, kalıp cidarı ile maça arasına akar ve katılaşır
- Dökme sırasında konumunun bozulmaması için *maça desteği* denilen parçalar gerekebilir.
- Sadece iç boşluk oluşturmak için değil, kalıbın dayanım yönünden zayıf bölgeleri ile kalıplama zorluğu olan girinti ve çıkıntılı kısımlarda da maça kullanılır. Maçalar daha fazla bağlayıcı ile ve pişirme işlemi uygulanarak üretildiklerinden daha dayanıklıdır.

29

Kalıp içinde Maça



Şekil 11.4 (a) Maça, kalıp boşluğunda maça destekleriyle tutulur, (b) muhtemel maça tasarımı, (c) iç boşluklu döküm.

30

Kum Kalıplar ve Kum Maçalardan Beklenen Özellikler

- **Dayanım** - şeklini koruması ve sıvı metal erozyonuna direnmesi için-kum tane yapısı-bağlayıcı tipi ve miktarı vs
- **Geçirgenlik** - sıcak hava ve gazların, kumdaki boşluklardan geçerek kalıp boşluğunu kolayca terketmesine izin vermek-bağlayıcı-nem mik. tane yapısı
- **Isıl kararlılık** - kalıp cidarlarının sıvı metalle temasta kırılmaya çatlamaya ve erimeye dayanması
- **Genleşme** - döküm parça kalıp içinde soğurken çatlamadan serbestçe büzülmesine izin verme kabiliyeti
- **Tekrar kullanılabilirlik** - bozulan kalıptan çıkan kumların diğer kalıpların yapımında kullanılabilirliği

31

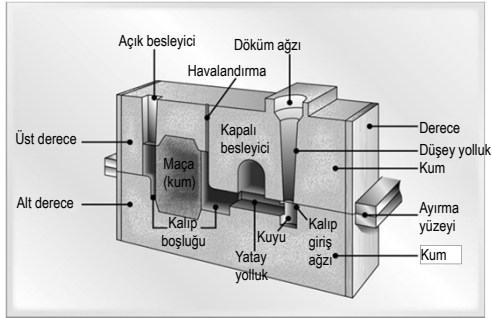
Döküm Kumları

Silika (SiO_2) veya diğer minerallerle karışmış silika

- Yüksek refrakter özellikler - yüksek sıcaklıklara dayanma kapasitesi, düşük ısıl genleşme özelliği
- Küçük tane boyutları, döküm parça üzerinde daha düzgün yüzey oluşturur
- Büyük tane boyutları, döküm sırasında gazların geçişine izin vererek, daha iyi geçirgenlik gösterir
- Yuvarlak tanelere göre düzensiz tane boyutları, ara kilitlemeler sayesinde kalıbın dayanımını yükseltir
 - Zayıflığı: ara kilitlemeler, geçirgenliği düşürür
 - Kumun tane biçimi, tane büyüklüğü ve dağılımı, geçirgenlik ve dayanımı belirler

32

Döküme Hazır Kum Kalıp



33

Döküm Kumlarıyla Kullanılan Bağlayıcılar

- Kum, su ve bağlayıcı kil karışımıyla birarada tutulur
 - Tipik karışım: % 90% kum, % 3% su ve % 7 kil
- Diğer bağlayıcılar da kum kalıplarda kullanılır:
 - Organik reçineler (örn. Fenolik reçineler)
 - İnorganik bağlayıcılar (örn. sodyum silikat ve fosfat)
- Dayanımı ve/veya geçirgenliği dışındaki özellikleri arttırmak için bazen karışıma katkılar ilave edilir, kömür tozu, kağıt talaşı, katran vb

34

Kum Kalıp Türleri

- Yaş-kum kalıpları – kum, kil ve su karışımı;
 - “Yaş” terimi, döküm sırasında nem içermesi anlamında dır Nem dökümde geçirgenliği kötüleştirerek ve ilave buhar oluşumuna neden olduğundan birtakım sorunlara neden olur (porozite)
- Kuru-kum kalıp – 350-400°C de bir fırında kurutulduktan sonra döküme geçilir. Yaş kum kalıplardaki nemin olumsuzlukları ortadan kalkar.
- Kuru kabuk kalıp – üfleç veya ısıtıcı lambalar kullanarak, yaş kum kalıbın yüzeyinden 10-25 mm derinliği kurutmak

35

Kum Dökümde Maça Yüzmesi

- Döküm sırasında dökümün hatalı olmasına neden olabilecek şekilde, sıvı metalin kaldırma kuvveti, maçaları yerinden oynatabilir
- Maçayı kaldırmaya çalışan kuvvet = Yer değiştiren sıvının ağırlığı - maçanın kendi ağırlığı

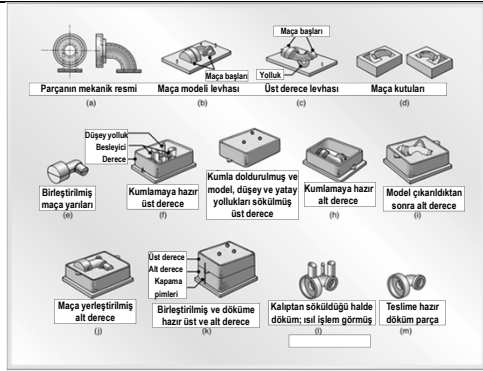
$$F_b = W_m - W_c$$

F_b = yüzdürme kuvveti; W_m = yer değiştiren erimiş metal ağırlığı; ve W_c = maça ağırlığı

Maça başı dizaynı, maça destekleri kullanımı ile maça yüzmesi önlenmeye çalışılır.

36

Kum Dökümde İşlem Sırası



37

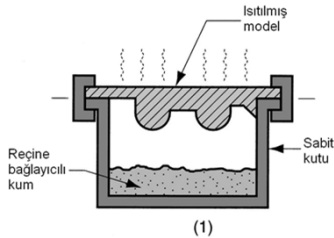
Diğer Bozulabilir Kalıp Yöntemleri

- Kabuk kalıba döküm
- Vakum kalıba döküm
- Kapalı kalıba döküm
- Hassas döküm
- Alçı kalıba döküm ve
- Seramik kalıba döküm

38

Kabuk Kalıplama

Termoset reçine bağlayıcı ile birleştirilmiş ince kum dan oluşan kabuktan yapılan kalıba döküm yöntemi

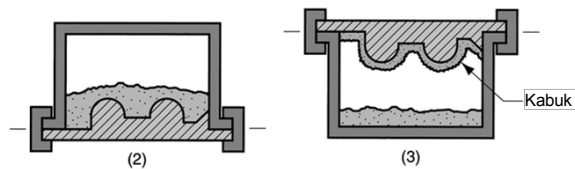


Şekil 11.5 Kabuk kalıplama aşamaları: (1) Bir metal levhali model veya üst ve alt derece modeli ısıtılarak, termoset reçineli ince kum içeren bir kutu üzerine yerleştirilir.

39

Kabuk Kalıplama

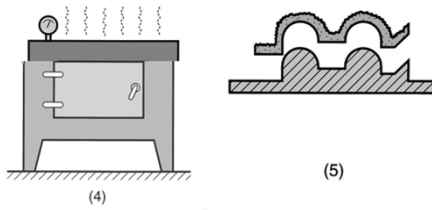
Şekil 11.5 Kabuk kalıplama aşamaları: (2) kum ve reçinenin sıcak model üzerine düşerek kısmen sertleşmiş, dayanıklı bir kabuk oluşturabilmesi için kutu ters çevrilir; (3) gevşek, sertleşmemiş tanelerin düşerek uzaklaşması için kutu eski haline getirilir;



40

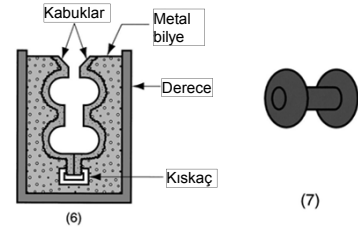
Kabuk Kalıplama

Şekil 11.5 Kabuk kalıplamada aşamalar: (4) kum kabuk, sertleştirme tamamlanana kadar fırın içinde birkaç dakika daha ısıtılır; (5) kabuk kalıp modelden sıyrılır;



41

Kabuk Kalıplama



Şekil 11.5 Kabuk kalıplamada aşamalar: (6) Kabuk kalıbın iki yarısı, birleştirilir, bir kutu içinde çakıl veya metal bilyelerle desteklenir ve döküm gerçekleştirilir; (7) Yolluklu bitmiş ürün döküm çıkarılır

42

Kabuk Kalıplama – Tüm işlemler



43

Üstünlükleri ve Zayıflıkları

- Kabuk kalıplamanın üstünlükleri:
 - İnce Kum-Pürüzsüz kalıp boşluğu yüzeyi, erimiş metalin daha kolay akmasını ve daha iyi yüzey kalitesi sağlar
 - Yüksek boyutsal doğruluk – genellikle talaş kaldırma gerekmez
 - Kalıbın kolay esneyebilir/genleşebilir oluşu, dökümdeki çatlakları en aza indirir
 - Seri üretim için mekanize edilebilir
- Zayıflıkları:
 - Daha pahalı metal model ve bağlayıcı
 - Az sayıda parça döküm için uygun değil
 - Parça büyüklüğü sınırlı

44

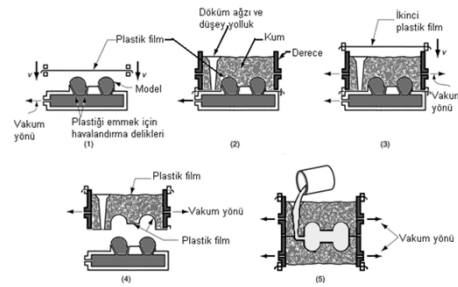
Vakum Kalıplama

Kimyasal bağ yerine vakum basıncıyla birarada tutulan kum kalıp kullanır

- “*Vakum*” terimi, döküm işleminin kendisinden çok kalıp yapımı anlamındadır
- 1970’lerde Japonya’da geliştirilmiştir
- Bu kalıplama türünde bağlayıcı kullanılmaz

45

Vakum Kalıplamada İşlem Aşamaları



Şekil 11.6 (1) Model yerleştirildikten sonra üzerine bir plastik film konur; (2) kum doldurulur; (3) en üste ikinci plastik film yerleştirilir; (4) iki plastik arasına vakum uygulanır; (5) alt ve üst kalıp yarıları aynı şekilde hazırlandıktan sonra birleştirilerek kalıp oluşturulur

46

Üstünlükleri ve Zayıflıkları

- Vakum kalıplamanın üstünlükleri:
 - Bağlayıcı olmadığından, kum kolayca geri kazanılır, Kum, bağlayıcı kullanılan duruma göre mekanik yeniden şartlandırma gerektirmez
 - Kuma su karıştırılmadığından, nemle ilgili hatalar oluşmaz
 - İnce taneli kum ve folyo kullanımı sıvı metalin akıcılığı ile parça yüzey kalitesini olumlu etkiler
 - Gürültüsü az, çevreyi kirliletmeyen ve vakumdan dolayı gaz boşluğu oluşmayan bir döküm

Zayıflıkları:

- Görece yavaş proses
- Mekanizasyona kolayca uyarlanamaz
- Parça boyutu sınırlı

47

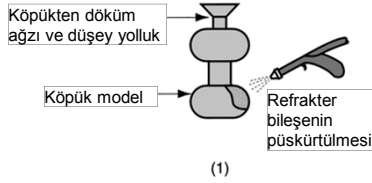
Genleşen Polistiren Yöntemi (Kapalı Kalıp)

Erimiş metal kalıba döküldüğünde buharlaşan bir polistiren köpük model çevresine sıkıştırılmış kum kalıp kullanır

- Diğer isimleri: kayıp-köpük yöntemi, kayıp model yöntemi, buharlaşan köpük yöntemi ve dolu kalıba döküm yöntemi
- Polistiren köpük model, düşey ve yatay yolluklar, besleyiciler ve (gerekirse) iç maçalardan oluşur
- Kalıbın alt ve üst derece kesitlerinin açılması gerekmez
- Daha serbest parça dizaynı
- Karmaşık model hem büyük hem küçük parça
- Az sayıda büyük parça dökümüne uygun

48

Genleşen Polistiren Yöntemi

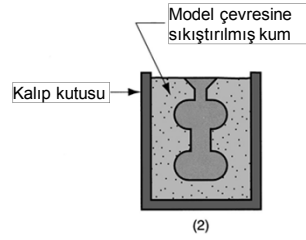


(1)

Şekil 11.7 Genleşen polistiren döküm yöntemi: (1) polistiren model, refrakter bileşenle kaplanır;

49

Genleşen Polistiren Yöntemi

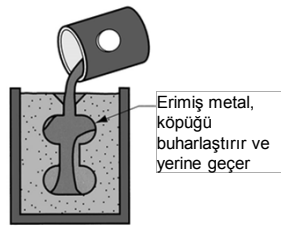


(2)

Şekil 11.7 Genleşen polistiren döküm yöntemi: (2) köpük model bir kalıp kutusuna yerleştirilir ve modelin çevresine kum sıkıştırılır

50

Genleşen Polistiren Yöntemi



Şekil 11.7 Genleşen polistiren yöntemi: (3) erimiş metal, modelin döküm ağız ve düşey yoluğu oluşturan kısmına dökülür. Metal kalıba girdikçe, ilerleyen sıvının önündeki polistiren köpük buharlaşır, böylece kalıp boşluğu dolar

51

Üstünlükleri ve Zayıflıkları

- Genleşen polistiren yönteminin üstünlükleri:
 - Modelin kalıptan çıkarılması gerekmez
 - Geleneksel yaş kum kalıptaki gibi iki yarı kalıp gerekmediğinden, kalıp yapımı basitleşir ve hızlanır
- Zayıflıkları:
 - Her döküm için yeni bir model gerekir
 - Yöntemin ekonomikliğı, büyük oranda model yapım maliyetine bağlıdır

52

Genleşen Polistiren Yöntemi

- Uygulamaları:
 - Otomobil motorlarının dökümünde seri üretim
 - Otomatikleştirilmiş ve entegre edilmiş imalat sistemlerinin kullanımında:
 1. Polistiren köpük numuneler kalıplanır ve daha sonra
 2. İlerleyen döküm işlemine doğru beslenir

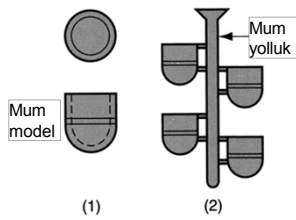
53

Hassas Döküm (Kayıp Mum Yöntemi)

- Kalıbı yapmak için mumdan yapılan bir model, refrakter malzemeyle kaplanır ve daha sonra erimiş metal dökülmeden önce eritilerek uzaklaştırılır
- "Hassas" kelimesi, mum modelin çevresine refrakter malzemenin kaplanmasını belirten, daha az kullanılan "tamamen kaplanmış" ifadesinin yerine geçmiştir
 - Yüksek doğruluğa ve kesin detaylara sahip dökümler üretebilir

54

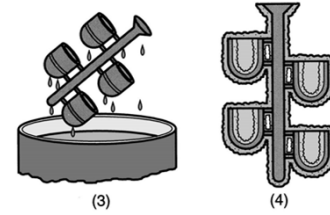
Hassas Döküm



Şekil 11.8 Hassas dökümün aşamaları: (1) mum modeller oluşturulur, (2) birkaç model, bir model salkımı oluşturmak üzere birbirine tutturulur

55

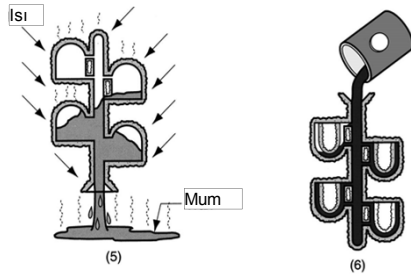
Hassas Döküm



Şekil 11.8 Hassas dökümün aşamaları: (3) model salkımı, önce seramik çamuruna batırılır ardından seramik tozlarına tutulur, (4) Yeterli kalınlığa gelene kadar işlem tekrarlanarak kurumaya bırakılır

56

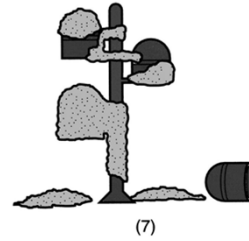
Hassas Döküm



Şekil 11.8 Hassas dökümün aşamaları: (5) kalıp ters çevrilir ve mumun kalıp boşluğundan eriyerek akması için bir etüvde ısıtılır, (6) kalıp, yüksek bir sıcaklığa ön tavlânır, erimiş metal dökülür ve katılaştır

57

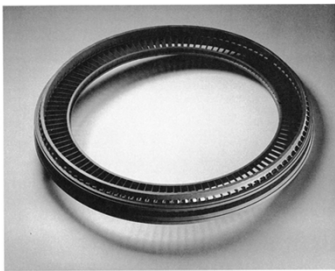
Hassas Döküm



Şekil 11.8 Hassas dökümün aşamaları: (7) kalıp kırılarak bitmiş döküm çıkarılır ve parçalar yolluktan ayrılır

58

Hassas Döküm



Şekil 11.9- Hassas dökümle elde edilmiş, 108 ayrı kanatçıklı yekpare bir kompresör statoru

59

Üstünlükleri ve Zayıflıkları

- Hassas dökümün üstünlükleri:
 - Yüksek derecede karmaşıklığa ve boyutsal doğruluğa sahip parçalar dökülebilir
 - Dar boyutsal toleranslar ve yüksek yüzey kalitesi
 - Mum genellikle tekrar kullanım için geri kazanılabilir
 - Normal olarak ilave talaş kaldırma gerekmez – bu yöntem bir net şekil yöntemidir
- Zayıflıkları
 - Çok sayıda işlem adımları gerekir. yavaş proses
 - Nisbeten pahalı yöntemdir
 - Mekanizasyonu zor

60

Alçı Kalıba Döküm

- Kum kalıba benzer ancak kalıp (alçı – Plaster of Paris $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)'den yapılır
- Kalıp yapımında, alçı ve su karışımı, plastik veya metal modelin üzerine dökülür ve sertleşmesi beklenir
 - Ahşap modelleri, suyla temas ettiklerinde genleştiklerinden genellikle kullanılmaz
 - Alçı karışımı, ince detayları ve yüksek yüzey kalitesi oluşturarak modelin çevresinde kolayca akar ve sıkıştırma gerekmediğinden narin (mum) ve yumuşak model malzemeleri kullanılabilir

61

Üstünlükleri ve Zayıflıkları

- Alçı kalıba dökümün **üstünlükleri**:
 - Yüksek doğruluk ve yüzey kalitesi
 - İnce kesitlerin yapılabilmesi Kesit farklılıkları sorun oluşturmaz
 - Yüzeyler çok düzgün
- Zayıflıkları**:
 - Döküm sırasında problem oluşturabilen nemin uzaklaştırılması için kalıbın kurutulması gerekir
 - Eğer aşırı kurutulursa kalıp dayanımı kaybolur
 - Alçı kalıplar yüksek sıcaklıklara dayanamaz, bu nedenle düşük erime sıcaklığına sahip alaşımlarla sınırlıdır (1200°C)

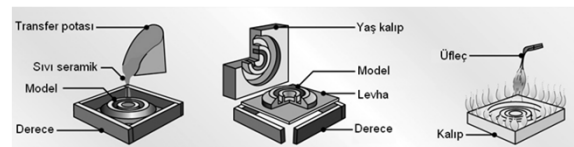
62

Seramik Kalıba Döküm

- Alçı kalıba döküme benzer; ancak kalıp, alçıya göre daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen refrakter seramik malzemeden yapılır
- Dökme çelik, dökme demir ve diğer yüksek sıcaklık alaşımlarının dökümünde kullanılabilir
 - Metal dökümü hariç, uygulamaları alçı kalıba döküme benzer
 - Üstünlükleri de (yüksek doğruluk ve yüzey kalitesi) benzerdir
 - Çok pahalıdır

63

Seramik Kalıba Döküm



1. Sıvı seramiğin dökülmesi 2. Yaş kalıbın çıkarılması 3. Yakma

64

Kalıcı Kalıba Döküm Yöntemleri

- Bozulabilir kalıba dökümün zayıflığı: her döküm için yeni bir kalıp gerekir
- Kalıcı kalıba dökümde, kalıp pek çok kez yeniden kullanılabilir
- Yöntem türleri:
 - Kokil (Metal) kalıba döküm
 - Basıncılı döküm
 - Savurma (santrifüj) döküm

65

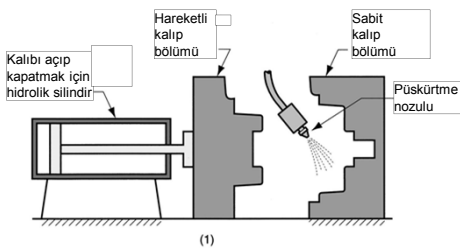
Kokil (Metal) Kalıba Döküm Yöntemi

Kolay ve hassas şekilde açılıp kapatılabilen biçimde tasarlanmış, iki parçalı bir metal kalıp kullanır

- Düşük erime sıcaklığına sahip alaşımların dökümünde kullanılan kalıplar genellikle çelik veya dökme demirden yapılır
- Çelik dökümü için kullanılan kalıplar, çok yüksek döküm sıcaklıkları nedeniyle refrakter malzemeden yapılmalıdır

66

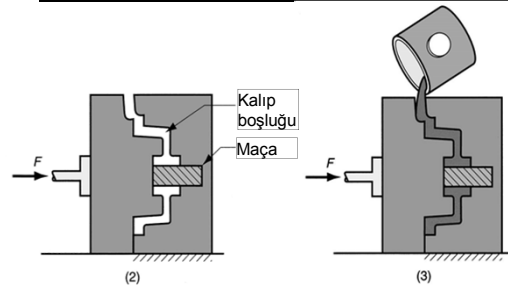
Kokil Kalıba Döküm



Şekil 11.10 Kokil kalıba dökümde aşamalar: (1) kalıp ön tavlama ve kalıp ayırıcı bir sıvı ile yağlanır

67

Kokil Kalıba Döküm



Şekil 11.10 Kokil kalıba dökümde aşamalar: (2) maçalar (kullanılıyorsa) yerleştirilir ve kalıp kapatılır, (3) erimiş metal, içinde katılaştıracığı kalıba dökülür.

68

Üstünlükleri ve Zayıflıkları

- Kokil kalıba dökümün üstünlükleri:
 - Yüksek boyutsal kontrol ve yüzey kalitesi
 - Soğuk metal kalıbın yol açtığı hızlı soğuma, ince taneli bir yapı oluşmasını sağlar, böylece dökümler daha dayanıklı olur
- Zayıflıkları:
 - Genel olarak düşük sıcaklıkta eriyen metallerle sınırlıdır
 - Kalıbın açılması gerektiğinden, kum döküme göre daha basit geometriler dökülebilir
 - Yüksek kalıp maliyeti

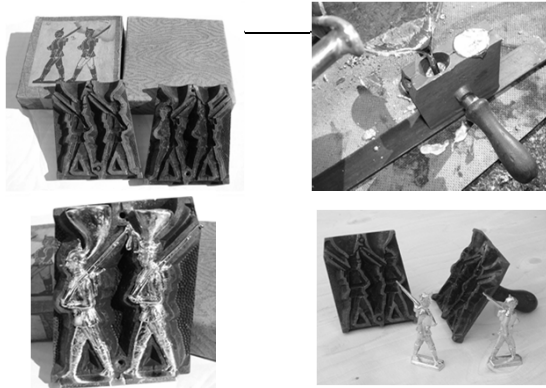
69

Kokil Kalıba Dökümün Uygulamaları

- Yüksek kalıp maliyeti nedeniyle, yöntem yüksek üretim miktarlarına ekonomik olur ve buna göre otomatize edilebilir
- Tipik parçalar: otomotiv pistonları, pompa gövdeleri ve belirli uçak ve roket dökümleri
- Yaygın dökülebilen metaller: alüminyum, magnezyum, bakır esaslı alaşımlar ve dökme demir

70

Basit bir kalıcı kalıp uygulaması



71



72

Basınçlı Döküm

Erimiş metalin yüksek basınç altında kalıp boşluğuna enjekte edildiği bir metal kalıba döküm yöntemi

- Basınç, katılaşma süresince devam eder ve ardından kalıp açılarak parça çıkarılır (7-140MPa)
- Bu döküm işlemindeki kalıplar *basınçlı döküm kalıbı (die)* olarak adlandırılır ve bu nedenle adı basınçlı dökümdür (die casting)
- Metali kalıp boşluğuna zorlamak için yüksek basınç kullanılması, bu yöntemi diğer kalıcı kalıba döküm yöntemlerinden ayırır ve bu sayede ince kesitler tam olarak dolar

73

Basınçlı Döküm Makinaları

- Sıvı metal kalıp boşluğuna zorlanırken, iki kalıp yarısını uygun şekilde yakın ve kapalı tutacak biçimde tasarlanırlar
- İki temel türü:
 1. Sıcak hazneli makina
 2. Soğuk hazneli makina

74

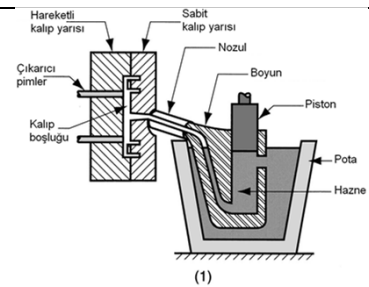
Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm

Metal, bir kap içinde eritilir ve bir piston, metali yüksek basınç altında metal kalıba enjekte eder

- Yüksek üretim hızları – Saatte 500 parça yapılması mümkündür
- Uygulamaları, silindir-pistonu ve diğer mekanik bileşenleri kimyasal olarak etkilemeyen, düşük sıcaklıkta eriyen metallerle sınırlıdır
- Döküm metalleri: çinko, kalay, kurşun ve magnezyum

75

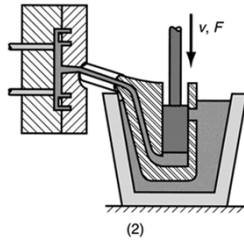
Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm



Şekil 11.13 Sıcak hazneli döküm çevrimi: (1) kalıp kapalı ve piston gerideyken, erimiş metal hazneye doğru akar

76

Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm



Şekil 11.13 Sıcak hazneli döküm çevrimi: (2) zımba haznedeki metali kalıbın içine akmaya zorlar ve soğuma ve katılaşma sırasında basıncı sürdürür

77

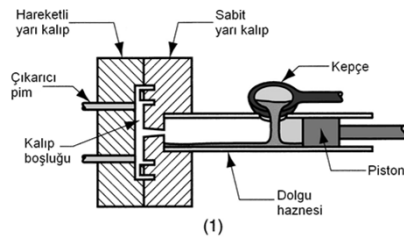
Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm Makinası

Erimiş metal, Bekletme potasından bir kepçe ile kalıp boşluğunu doldurmaya yetecek kadar alınıp ısıtılmamış hazneye dökülür ve bir piston metali yüksek basınç altında kalıp boşluğuna enjekte eder

- Dökümün elle yapılan aşamaları nedeniyle, genellikle sıcak hazneli makinalardaki kadar yüksek olmayan üretim hızı
- Döküm metalleri: alüminyum, pirinç ve magnezyum alaşımları
- Sıcak hazneli yöntemin avantajları, düşük erime sıcaklığına sahip alaşımlarla sınırlıdır (çinko, kalay, kurşun)

78

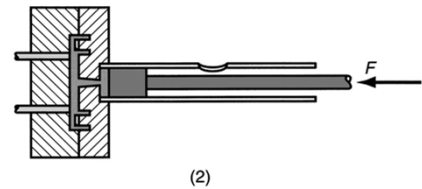
Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm



Şekil 11.14 Soğuk hazneli basınçlı döküm çevrimi: (1) kalıp kapalı ve piston gerideyken erimiş metal hazneye dökülür

79

Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm



Şekil 11.14 Soğuk hazneli dökümde çevrim: (2) Piston hareket ettirilerek metali kalıp boşluğuna akmaya zorlarken soğuma ve katılaşma sırasında basıncı sürdürür

80

Basınçlı Döküm Kalıpları

- Genellikle takım çeliğinden, kalıp çeliğinden veya maraging çeliğinden yapılır
- Dökme çelik ve dökme demirin kalıplanması için Tungsten ve Molibdenli (yüksek refrakter kaliteleri) kullanılır
- Açıldığında parçayı çıkarmak için çıkarıcı pimler gerekir
- Yapışmayı önlemek için kalıp boşluğuna yağlayıcıların püskürtülmesi gerekir
- Sabit sıcaklıkta çalışma için gerektiğinde ısıtılabilir yada suyla soğutulur.

81

Üstünlükleri ve Zayıflıkları

- Basınçlı dökümün üstünlükleri:
 - Yüksek üretim miktarları için ekonomik
 - Yüksek boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesi
 - İnce kesitlerin oluşturulması mümkün
 - Hızlı soğuma, döküme ince tane boyutu ve yüksek dayanım sağlar
- Zayıflıkları:
 - Genellikle düşük erime sıcaklığına sahip metallerle sınırlıdır
 - Parça geometrisinin dökülen parçanın kalıptan kolaylıkla çıkarılabilmesi gerektiğinden çok karmaşık olmaması gerekir

82

Savurma (Santrifüj) Döküm

Merkezkaç kuvvetinin erimiş metali metal kalıbın dış bölgelerine dağıtabilmesi için kalıbın yüksek hızla döndürüldüğü, yaygın bir döküm yöntemi

- Bu gruptaki yöntemler:
 - Gerçek savurma döküm
 - Yarı savurma döküm
 - Savurmalı döküm

83

Gerçek Savurma Döküm

Erimiş metal, boru benzeri dönel simetrik bir parça üretmek için dönen kalıbın içine dökülür

- Yüksek hızda dönmeyi sağladığı merkezkaç kuvvetler sıvı metalin kalıp iç cidarına homojen olarak dolmasını ve kalıbın iç şeklini almasını sağlar
- Parçalar: borular, tüpler, burçlar ve halkalar
- Dökümün dış yüzeyi yuvarlak, oktagon, hegzagonal vs. olabilir; ancak içi şekli, radyal simetrik kuvvetler nedeniyle (teorik olarak) mükemmel yuvarlaklıktadır
- Dönme eksenine göre paralel dik yada yatık olabilir

84

Gerçek Savurma Döküm

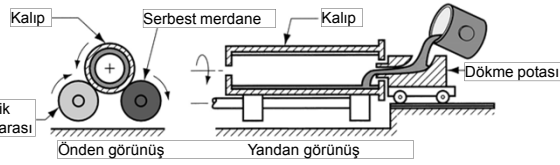


Figure 11.15 Gerçek savurma döküm ile boru döküm ekipmanı.

85

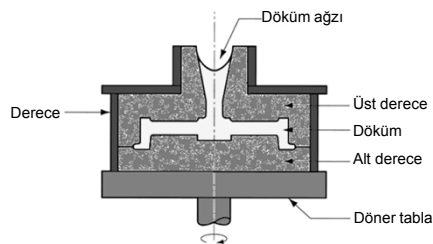
Yarı Savurma Döküm

Savurma kuvveti, borusal parçalar yerine dolu dökümler üretmek için kullanılır

- Kalıplar, merkezden metal besleyecek besleyicilerle birlikte tasarlanır
- Dökümdeki metalin yoğunluğu, dönüş merkezine oranla dış kesitlerde daha büyüktür
- Çoğunlukla, kalitenin en düşük olduğu kısım olan, dökümün merkezi talaşlı işlenerek uzaklaştırılan parçalarda kullanılır
- Örnekler: tekerlekler ve makara

86

Yarı Savurma Döküm



Şekil 11-16. Savurmalı döküm yöntemi

87

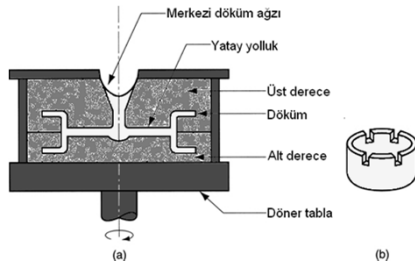
Savurmalı Döküm

Kalıplar, parça boşlukları dönme ekseninden uzak olacak şekilde tasarlanarak erimiş metalin merkezkaç kuvvetiyle bu kalıp boşluklarına dağıtılabileceği şekilde dökülür

- Küçük parçalar için kullanılır
- Diğer savurma döküm yöntemlerinde olduğu gibi parçanın radyal simetrik olması gerekmez

88

Savurmalı Döküm



Şekil 11-17. (a) Savurmalı döküm yöntemi – merkezkaç kuvveti metalin dönme ekseninden uzaklaşarak kalıp boşluklarına akmasına neden olur; (b) döküm parça

89

Döküm İşlemlerinde Kullanılan Ocaklar

- Dökümhanelerde en yaygın kullanılan ocaklar şunlardır:
 - Kupol ocakları
 - Doğrudan yakıt yakan ocaklar
 - Potalı ocaklar
 - Elektrik ark ocakları
 - Endüksiyon ocakları

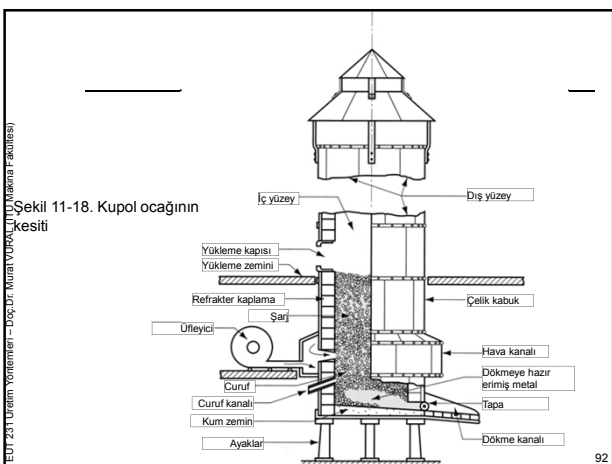
90

Kupol Ocakları

Tabanına yakın yerde döküm ağızı olan dikey silindirik ocaklardır

- Sadece dökme demir için kullanılırlar
 - Diğer ocaklar da kullanılmasına rağmen, en büyük tonajlı dökme demirler kupol ocağında eritilir
- Demir, kok kömürü, kireçtaşı ve diğer muhtemel alaşımları içeren "şarj", kupol yüksekliğinin yarısından daha aşağıya yerleştirilen bir şarj kapısından üst üste tabakalar halinde yüklenir
- Alt bölümde bulunan pencerelerden(tüyer) basınçlı hava üflenerek tutuşturulmuş kokun yanması hızlandırılır. Eriyerek kok yatağına süzülen sıvı demir belli aralıklarla dökme kanalından alınır

91



Şekil 11-18. Kupol ocağının kesiti

92

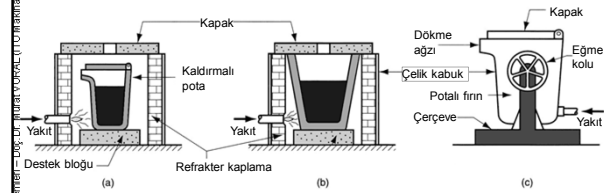
Potalı Ocaklar

Metal, yanan yakıt karışımı ile doğrudan temas etmeden erir

- Çık eskiden beri kullanılan basit yapılı ocaklardır
- Kap (pota), refrakter malzemeden (grafit SiC veya yüksek alaşımlı çelikten) yapılır
- Bronz, pirinç ve çinko ve alüminyum alaşımları gibi demirdışı metaller için kullanılır
- Dökümhanelerde üç türü kullanılır: (a) Kaldırmalı tip, (b) sabit, (c) Devrilebilen potalı ocak

93

Potalı Ocaklar



Şekil 11.19 Potalı ocakların üç türü: (a) kaldırmalı pota, (b) erimiş metalin kepçeyle alınması gereken sabit tip, ve (c) Devrilen potalı ocak.

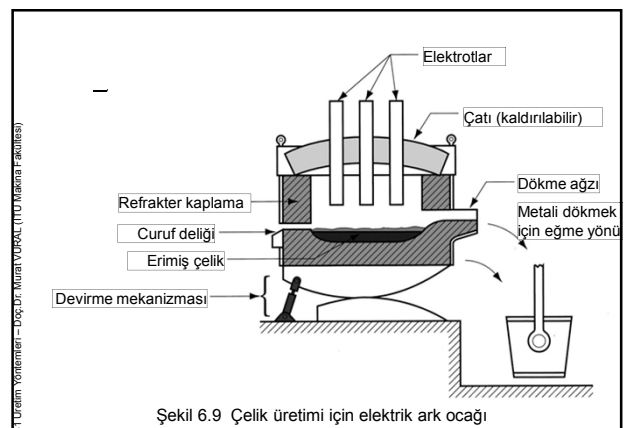
94

Elektrik Ark Ocakları

Şarj, bir elektrik arkının ürettiği ısı tarafından eritilir

- Yüksek güç tüketimi vardır,
- Elektrik ark ocakları yüksek eritme kapasiteleri için kullanılır (25-50 ton/saat)
- Öncelikle çelik eritme için kullanılır
- İki yada üç elektrotlu tipleri vardır
- Hemen her kapasitede bulmak mümkün
- Temiz ve özelliklerin kontrolü kolay
- Yüksek sıcaklık (3000 °C)

95



Şekil 6.9 Çelik üretimi için elektrik ark ocağı

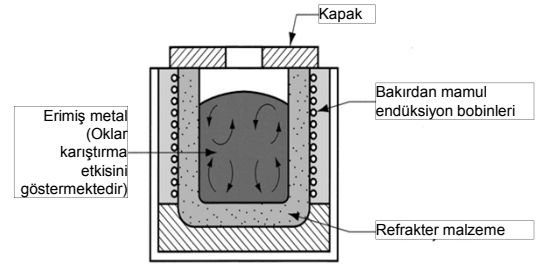
96

Endüksiyon Ocakları

- Metal içinde manyetik alan oluşturmak için bir bobinden geçen alternatif akım kullanır
- Endüklenen akım, hızlı ısıtma ve eritme sağlar
 - Elektromanyetik kuvvet alanı, ayrıca sıvı metalde karıştırma etkisi oluşturur
 - Metal, ısıtıcı elemanlarla temas halinde olmadığından, yüksek kalitede ve saflıkta erimiş metaller üretmek için ortam sıkı şekilde kontrol edilebilir
 - Erimiş çelik, dökme demir ve alüminyum alaşımları, döküm işlerindeki yaygın uygulamalardır

97

Endüksiyon Ocağı

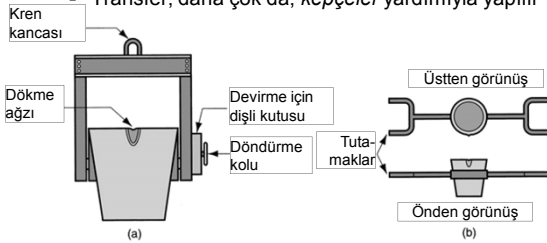


Şekil 11.20 Endüksiyon ocağı

98

Kepçeler

- Erimiş metalin, eritme fırınından kalıba sevkı, bazen potaları kullanarak yapılır
- Transfer, daha çok da, *kepçeler* yardımıyla yapılır



Şekil 11.21 İki yaygın kepçe türü: (a) kren kepçe ve (b) iki kişiyle taşınan kepçe

Katılaşmadan Sonraki İlave Aşamalar

- Budama
- Maçanın çıkarılması
- Yüzey temizliği
- Muayene
- Tamir (gerekirse)
- Isıl işlem

100

Budama

Düşey ve yatay yollukların, besleyicilerin, ayırma yüzeyi çapaklarının, maça desteklerinin ve diğer fazla metalin döküm parçadan uzaklaştırılması

- Gevrek döküm alaşımlarda ve kesiti nisbeten küçük olanlarda, fazlalıklar kırılarak uzaklaştırılabilir
- Aksi halde, çekiçleme, kesme, el testeresiyle kesme, bantlı testereyle kesme, taşlama ve değişik alevle kesme yöntemleri kullanılır

101

Maçanın Çıkarılması

Maça kullanılmışsa, bunların uzaklaştırılması gerekir

- Çoğu maça bağlayıcı içerir ve bağlayıcı tahrip olduğundan, dökümden dökülerek çıkarılır
- Bazı durumlarda, dökümü elle veya mekanik olarak sarsarak çıkarılabilir
- Nadiren de, maçalar, bağlayıcı maddeyi kimyasal olarak çözerek uzaklaştırılır
- Katı maçalar çekiçlenmeli veya presle itilmelidir

102

Yüzey Temizliği

Döküm yüzeyinden kumun temizlenmesi ve yüzey görünümünün iyileştirilmesi

- Temizleme yöntemleri: aşındırıcı içinde titreşim, kaba kum taneleri veya metal bilyelerle hava püskürtme, tel fırçalama, silme ve kimyasal dağlama
- Yüzey temizleme, kum döküm için çok önemlidir
 - Çoğu kalıcı kalıba dökümde bu adımdan kaçınılabilir
- Dökümde hatalar olabilir ve bunların varlığının ortaya çıkarılması için muayeneye gerek vardır

103

Isıl İşlem

- Özelliklerini geliştirmek için döküm parçalara genellikle ısıtılma uygulanır
- Bir döküme ısıtılma uygulama nedenleri:
 - Talaş kaldırma gibi sonraki işlemler için
 - Parçanın servisteki uygulaması için istenen özelliklerin kazandırılması için
 - İç yapısal bozuklukları gidermek

104

Döküm Kalitesi

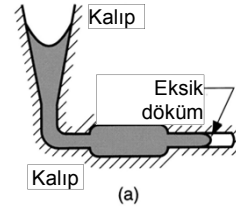
- Döküm işleminde, üründe kalite hatalarıyla sonuçlanacak pek çok yanlış şey yapma olasılığı vardır
- Hatalar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:
 - Tüm döküm yöntemlerinde görülebilecek yaygın hatalar
 - Kum döküm işlemiyle ilgili hatalar

EU 231 Üretim Yöntemleri - Doç.Dr. Murat VURAL (TÜM Makina Fakültesi)

105

Genel Hatalar: Eksik Döküm

Kalıp boşluğu tamamen dolmadan katılaştıran bir döküm



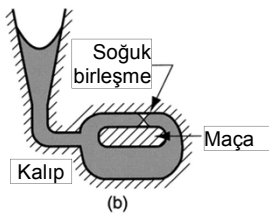
Şekil 11.22 Dökümdeki bazı yaygın hatalar: (a) eksik döküm

EU 231 Üretim Yöntemleri - Doç.Dr. Murat VURAL (TÜM Makina Fakültesi)

106

Genel Hatalar: Soğuk Birleşme

Metalin iki parçası birlikte akar ancak erken katılaşma nedeniyle soğuk birleşme hatası oluşur



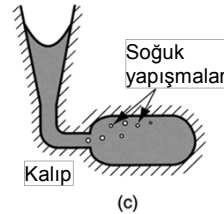
Şekil 11.22 Dökümlerdeki bazı yaygın hatalar: (b) soğuk birleşme

EU 231 Üretim Yöntemleri - Doç.Dr. Murat VURAL (TÜM Makina Fakültesi)

107

Genel Hatalar: Soğuk Yapışma

Döküm sırasında metal zerrecikleri ve katı taneler oluşur ve döküm içinde kalırlar



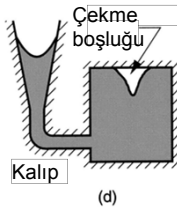
Şekil 11.22 Dökümlerdeki bazı yaygın hatalar: (c) soğuk yapışma

EU 231 Üretim Yöntemleri - Doç.Dr. Murat VURAL (TÜM Makina Fakültesi)

108

Genel Hatalar: Çekme Boşlukları

En son katılaşılan bölgede bulunabilecek sıvı metal miktarını azaldığından katılaşma büzülmesinin neden olduğu yüzey çökmesi veya iç boşluk

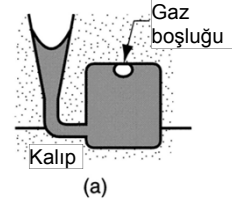


Şekil 11.22 Dökümlerdeki bazı yaygın hatalar: (d) çekme boşluğu

109

Kum Döküm Hataları: Gaz Boşluğu

Döküm sırasında döküm gazlarının çıkışının katılaşma başlamadan tamamlanmamasının neden olduğu balon şeklindeki gaz boşlukları

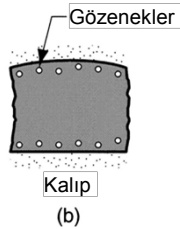


Şekil 11.23 Kum dökümlerdeki yaygın hatalar: (a) gaz boşluğu

110

Kum Döküm Hataları: Gözenekler

Döküm yüzeyinde veya yüzeyin hemen altında çok sayıda küçük gaz boşluğunun oluşumu

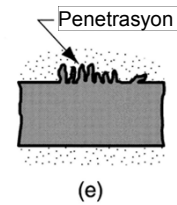


Şekil 11.23 Kum dökümlerdeki yaygın hatalar: (b) gözenekler

111

Kum Döküm Hataları: Penetrasyon

Sıvı metalin akıcılığı yüksek olduğunda, döküm yüzeyinin kum taneleri ve metal karışımı içermesine neden olacak şekilde, kum kalıp veya maçanın içine nüfuz edebilir

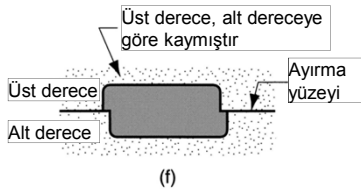


Şekil 11.23 Kum dökümlerdeki yaygın hatalar: (e) penetrasyon

112

Kum Döküm Hataları: Kalıp Kayması

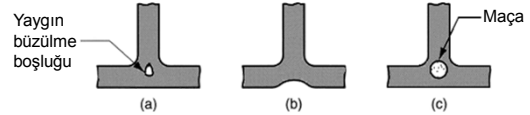
Üst ve alt derecelerin birbirine göre yana kaymasının neden olduğu, döküm parçanın ara yüzündeki bir kademe



Şekil 11.23 Kum dökümlerdeki yaygın hatalar: (f) kalıp kayması

113

Kum Döküm Hataları: Çökme



Şekil 11.24 Kum dökümlerdeki çökme ve önlenmesi: (a) yaygın görülen büzülme boşluğu, boşluğun olmaması halinde yüzeydeki çökme ve (c) maça kullanımıyla çökmenin önlenmesi

114

Dökümhanede Muayene Yöntemleri

- Eksik dolgu, soğuk yapışma ve diğer ciddi yüzey hatalarının ortaya çıkarılması için görsel muayene
- Toleransların karşılandığını göstermek için boyut ölçümleri
- Dökme metalin kalitesiyle ilgili, metalurjik, kimyasal, fiziksel ve diğer testler

115

Döküm Metalleri

- Çoğu ticari dökümler, saf metallere ziyade alaşımlardan yapılır
 - Alaşımlar genelde kolay dökülür ve ürün özellikleri daha iyidir
- Dökme alaşımları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:
 - Demir esaslı
 - Demir dışı

116

Demir Esaslı Döküm Alaşımları: Dökme Demir

- Tüm döküm alaşımlarının en önemlisi
- Dökme demir dökümlerin tonajı, çoğunlukla diğer tüm metallerin toplamının birkaç katıdır
- Bazı türleri: (1) kır dökme demir, (2) küresel dökme demir, (3) beyaz dökme demir, (4) temper dökme demir ve (5) alaşımlı dökme demirler
- Tipik dökme sıcaklıkları ~ 1400°C (bileşime bağlıdır)

117

Demir Esaslı Döküm Alaşımları: Çelikler

- Çeliğin mekanik özellikleri, onu aranan bir mühendislik malzemesi yapar
- Karmaşık geometrilerin oluşturulma kabiliyeti, dökümü çok kullanılan bir şekillendirme yöntemi haline getirmiştir
- Çeliğin dökümündeki zorluklar:
 - Çeliğin döküm sıcaklığı, diğer çoğu metalden daha yüksektir ~ 1650°C
 - Bu sıcaklıklarda çelik kolayca oksitlenir; bu nedenle erimiş metalin havadan izole edilmesi gerekir
 - Erimiş çelik nisbeten düşük akıcılığa sahiptir

118

Demirdışı Döküm Alaşımları: Alüminyum

- Genellikle kolay dökülebilir olarak bilinir
- Alüminyumun düşük erime sıcaklığı nedeniyle, dökme sıcaklıkları düşüktür
 - $T_m = 660^\circ\text{C}$
- Özellikleri:
 - Hafif yapı
 - Isıl işlemlerle dayanım özelliklerinin değiştirilebilmesi
 - Talaş kaldırma kolaylığı

119