

Okan Üniversitesi MYO

MUTK215

HAVACILIKTA İMALAT İŞLEMLERİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

DERS 3

Havacılıkta İmalat İşlemleri

Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

<http://okanuni.eren.xyz>

Web adresinden indirebilirsiniz.

Ders İçeriği

- Temel Malzeme Bilgisi
- Döküm Teknolojisi / Katılaştırma Yöntemleri
- Talaşlı Şekil Verme / Talaş Kaldırma Yöntemleri
- Form Verme (PŞV) / Kalıcı Deformasyon Yöntemleri
- Birleştirme Yöntemleri
- Eklemeli İmalat Yöntemleri
- Kompozit Malzemelerin İmalatı
- İmalat Teknik Resmi

İmal Usulleri

Döküm / Katılaştırma	Talaşlı Şekil Verme	Plastik Şekil Verme	Birleştirme
Demir Esaslı	Torna	Serbest Dövme ve Basma	Kaynak Tekniği
Demir Esaslı Olmayan <i>Kalıp Türüne Göre</i>	Freze	Kalıpta Dövme ve Basma	* TIG, MIG, Laser
	Matkap	Ekstrüzyon	* Elektrik ark
Kum Kalıba	Taşlama	Haddeleme	* Gaz altı, toz altı
Sürekli Kalıba	Vargel / Planya	Tel Çekme	* Oksi-asetilen
Basınçlı	Rayba	Ovalama (vida dişi açma)	* Sürtünme, ultrasonik
Santrifüj <i>Farklı Katılaştırma Yöntemleri</i>	Broş	Bükme, kıvrırma	Puntalama
	Lazer ve Su Jeti ile kesme	Presleme	Lehimleme
Plastik Enjeksiyon	Eğeleme / Zımparalama	Kesme (Punch)	Perçinleme
Silikon Kalıplama			Yapıştırma
Özel Yöntemler:	<i>EDM – Elektro Erozyon</i>	<i>Kompozit İmalat</i>	<i>Sinterleme</i>

Döküm / Katılaştırma / Kalıplama

Metal Malzemeye Göre	Kalıp Tipine Göre	Yönteme Göre	Metal Dışı Malzemeler
• Dökme Demir	➤ Kum Kalıba Döküm	❖ Santrifüj	<input type="checkbox"/> Plastik Enjeksiyon
• Çelik Döküm	➤ Sürekli Kalıba Döküm	❖ Basıncı	<input type="checkbox"/> Silikon Kalıp
• Temper Döküm	✓ Kokil	❖ Vakumla	
• Sfero Döküm	✓ Seramik	❖ Kontinü (Sürekli)	
	✓ Alçı	❖ Disamatik	
○ Alüminyum	➤ Çelik Kalıba Döküm	❖ Kaybolan Modelle	
○ Bakır ve Alaşımları	➤ Kabuk Kalıp	❖ Boşaltma	
○ Magnezyum	➤ Hassas Kalıp	❖ Bozulabilir Kalıp	
○ Çinko	➤ Kuyumcu Döküm	❖ Kalıcı Kalıp	

Döküm / Katılaştırma Teknolojisi

- ✓ Katılaştırma Yöntemleri
- ✓ Döküm Tekniğinin Üstün ve Zayıf Yönleri
- ✓ Dökümde Kalıp
- ✓ Kum Kalıp
- ✓ Yolluk, Besleyici, Çıkıcı
- ✓ Saf Metallerin Katılaşması
- ✓ Alaşımların Katılaşması
- ✓ Katılaşma Süresi
- ✓ Soğuma Esnasında Büzülme
- ✓ Çekme Payı
- ✓ Yönlenmiş Katılaşma

Önemli Başlıklar

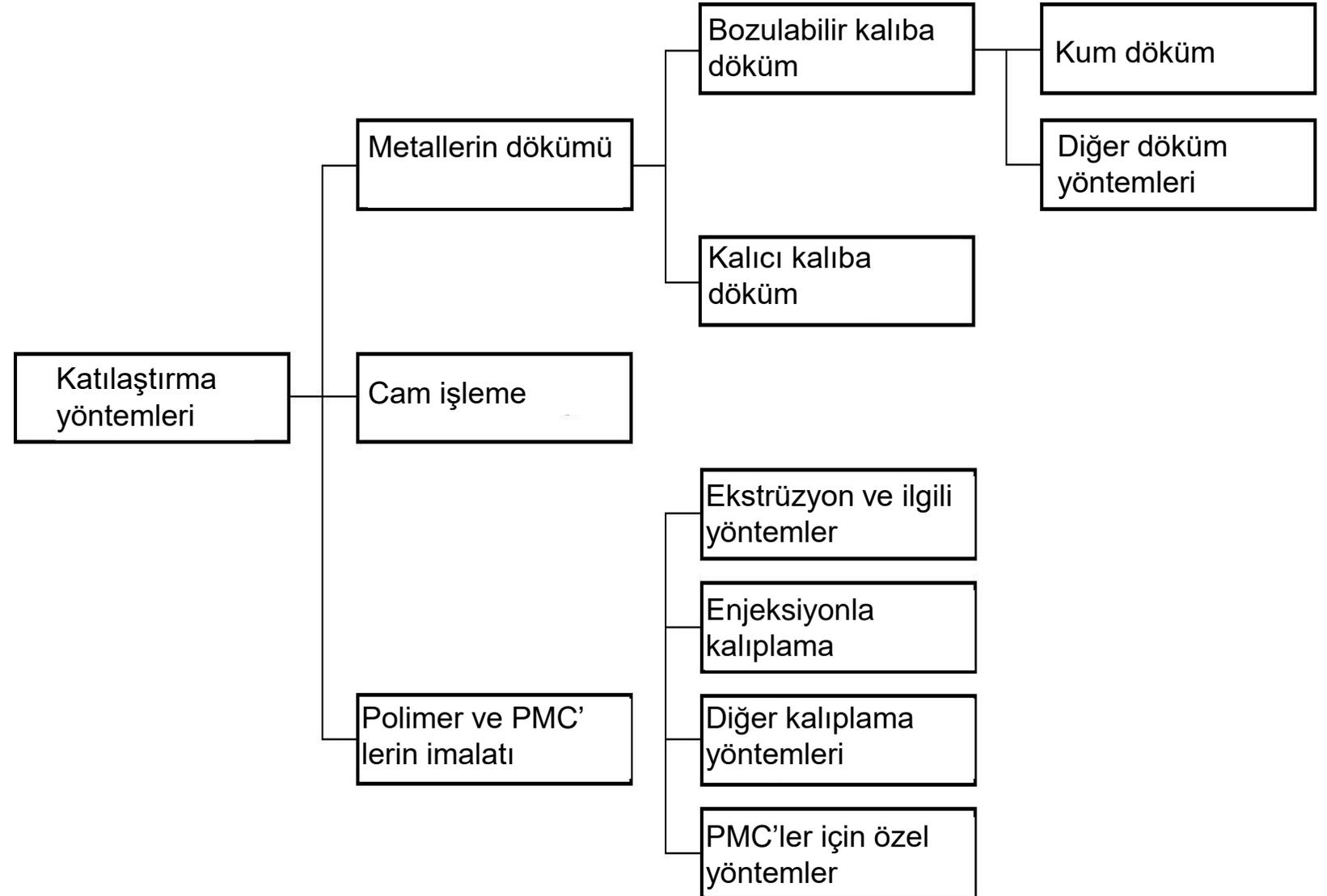
- ✓ Katılaştırma Yöntemleri
- ✓ Döküm Tekniğinin Üstün ve Zayıf Yönleri
- ✓ Dökümde Kalıp
- ✓ Kum Kalıp
- ✓ Yolluk, Besleyici, Çıkıcı
- ✓ Çekme Payı

Katılaştırma Yöntemleri

- Başlangıç malzemesi, ya **sıvı ya da yüksek derecede plastikleşmiş haldedir** ve malzemenin daha önceden hazırlanmış kalıp denen bir boşluğa doldurularak katılaştırılması sayesinde bir parça (iş parçacı veya yarı mamûl) oluşturulur.
- Katılaştırma yöntemleri, işlenen mühendislik malzemesine göre sınıflandırılabilir:
 - Metaller
 - Seramikler, özel camlar
 - Polimerler ve polimer matrisli karma malzemeler (PMC'ler / Kompozitler)

Katılaştırma

- **Katılaştırma Yöntemlerinin Sınıflandırılması**



Metal Dökümünün Esasları

1. Dökümhane
2. Ergitme ve Döküm
3. Katılaşma ve Soğuma

(Demir esaslı ve demir dışı tüm metal türleri dökülebilir.)

MUTK215 – Havacılıkta İmalat İşlemleri

TEMEL KAVRAMLAR

MALZEME BİLGİSİ

Malzeme Bilgisine Giriş *[Materials Science – A Crash Course]*

- **Malzeme**: Bir amacı gerçekleştirmek için kullanılan maddelere verilen genel ad.
- Günümüzde malzeme türleri çok fazladır, her bir malzemeyi ve özelliklerini tek tek açıklamak mümkün değildir. Bu nedenle, malzemeler benzer moleküler yapı ve özelliklerine göre gruplar halinde ele alınarak, bunların iç yapıları ve davranışları, bu davranışları etkileyen faktörler ve özellikleri açıklanmaktadır.

Malzemelerin Sınıflandırılması

- Mühendislikte malzeme kelimesi daha çok katı malzemeleri çağrıştırır.
- Katı malzemeler 4 ana grup altında toplanarak incelenebilir:
 - ***Metal Malzemeler***
 - ***Seramik Malzemeler***
 - ***Organik Malzemeler***
 - ***Kompozit Malzemeler***

Malzemelerin Sınıflandırılması

- **Metal Malzemeler;** demir, bakır, çinko, alüminyum gibi saf metallerle, bunların diğer elementlerle yaptığı alaşımlardır. Metaller sertliği fazla, dayanımı yüksek, sünekliği, elektrik ve ısı iletkenliği iyi malzemelerdir.
- **Seramik Malzemeler;** metaller ile metal olmayan elementlerin yaptığı inorganik bileşiklerden oluşan taş, tuğla, beton, cam, porselen gibi malzemelerdir. Korozyona ve yüksek sıcaklıklara karşı direnci çok iyi sertlik derecesi yüksek, kırılman, ısı ve elektrik yalıtkanlığı yüksek olan seramik malzemelerin uygulama alanı oldukça geniştir.
- **Organik Malzemeler;** karbonun hidrojen, oksijen, azot gibi metal olmayan elementlerle oluşturduğu büyük moleküllü bileşiklerdir. Ahşap, deri, reçine gibi doğal organiklerle, plastikler, polimerler (polikarbonat, poliamid, poliester, polivinilklorür) gibi yapay organiklerden oluşur. Isı ve elektrik yalıtkanlıkları yüksektir.
- **Kompozit Malzemeler;** çok farklı özelliklere sahip iki ya da daha çok malzemedan üretilen betonarme, kontraplak, cam lifi takviyeli plastik, emaye kaplamalı çelik, sinter gibi malzemelerdir. Kompozitlerde hafif, sağlam, sünek, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı malzemeler üretilmektedir.

Malzeme Bilgisine Giriş – Malzemelerin İç Yapısı

- Doğada bulunan **hammadeler** çeşitli bileşenler ve bunların karışımları halindedir. Hammaddeler önce fiziksel yöntemlerle **bileşiklere** (moleküller), bunlar da kimyasal yöntemlerle **elementlere** ayrıştırılır. Elementler aynı atom numaralarına sahip atomlardan oluşmaktadır. **Atomlar** malzemelerin temel taşı oluştururlar.

Atomlar arası Bağlar:

- Atomların birbirine bağlanması, valans elektronlarının (atomun en dış kabuğu) ortak kullanımı ya da aktarımı ile oluşur. Bu şekilde gerçekleşen bağlar (iyonik ve kovalent bağlar) oldukça güçlüdür. Diğer yandan elektronların ortak kullanımı ya da aktarımı olmaksızın, atomlar ya da moleküller arasında zayıf çekim kuvvetleri (Van der Waals bağları) de vardır.
- **Atomik bağ kuvveti güçlü olan malzemelerin biçimlendirme direnci ve ergime sıcaklığı yüksek, ısı genleşmesi ise düşüktür.**

Malzeme Bilgisine Giriş – Atomlar arası bağlar

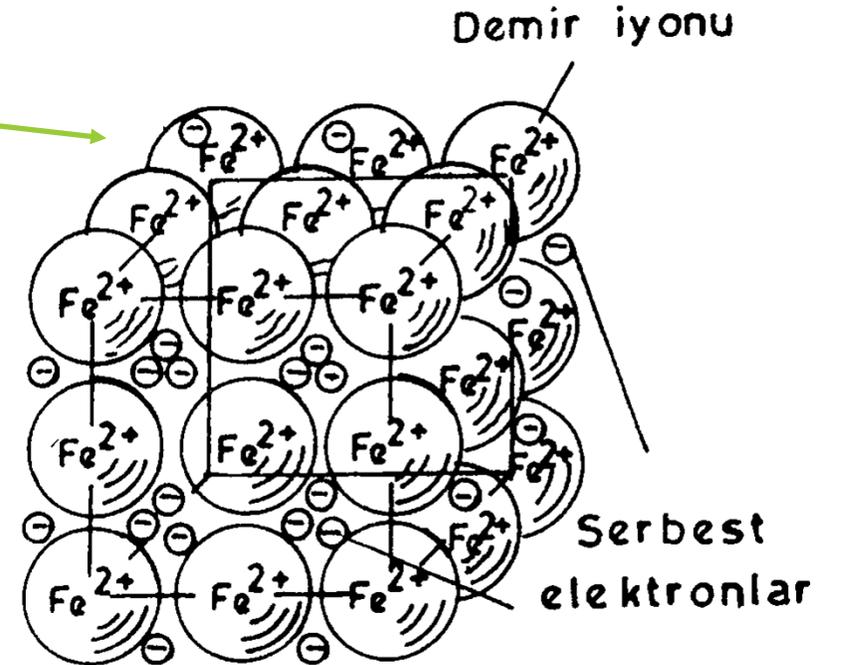
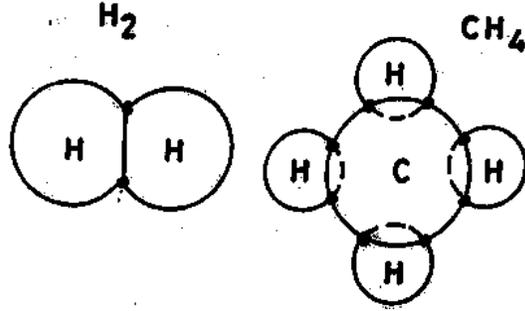
- **İyon Bağı** : Metal olmayan inorganik maddelerin çoğunluğunda bulunur. Valans elektronların yer değiştirmesi ile iyon duruma gelen atomların, zıt yüklerinin birbirini çekmesi ile oluşur. Elektron aktarımı ile oluşan bu bağda, elektron veren atom pozitif (+) yüklü ve katyon haline, elektron alan atom ise, negatif (-) yüklü ve anyon haline gelir. Böylece oluşan zıt yüklü iyonlar birbirini çekerler ve aralarında iyonik bağ oluşur.
- **Valans Bağı – Kovalent Bağ** : Bazı atomlar valans elektronlarını (*valence electron*) diğer bir ya da daha çok atomla paylaşarak ortaklaşa kullanırlar. Böylece, ikişer elektrondan oluşan köprüler yardımıyla dış yörüngelerini kararlı duruma getirirler. Paylaşılan (-) yüklü elektronlarla (+) yüklü atom çekirdekleri arasında valans bağı oluşur. Bu bağa hidrojen ve metan molekülü örnek verilebilir. Elmas valans bağına sahiptir.

Malzeme Bilgisine Giriş – Atomlar arası bağlar

- **Metalik Bağ:** Valans elektronlarının sayısı en çok üç olan metallerde, elektronlar çekirdeğe zayıf bağlı olduğundan kolayca çekirdekten ayrılırlar. Elektron bulutu (-) yüklü, çekirdekler (+) yüklü olduğundan atomlar kuvvetli olarak birbirlerine bağlanırlar. Metaller bu serbest elektronlardan dolayı elektriği ve ısıyı iyi iletirler.
- **Van der Waals bağı ya da ikincil bağ:** Van der Waals bağları, molekül ya da atom gruplarının zayıf elektrostatik çekimlerle birbirlerine bağlanmasında görülür. Bu moleküller içindeki atomlar ise, birbirlerine iyonik ya da kovalent bağı ile bağlıdırlar. Örneğin, su kaynama noktasına kadar ısıtılırsa Van der Waals bağları kopar ve su buharı haline gelir. Ancak hidrojen ve oksijen atomları arasındaki kovalent bağı koparmak için daha yüksek sıcaklıklara gerek vardır. Dolayısıyla, Van der Waals bağı ikincil bir bağ olarak tanımlanır.

Malzeme Bilgisine Giriş – Atomlar arası bağlar

- İyon Bağı
- Kovalent Bağ
- Metalik Bağ
- Van der Waals / İkincil Bağ

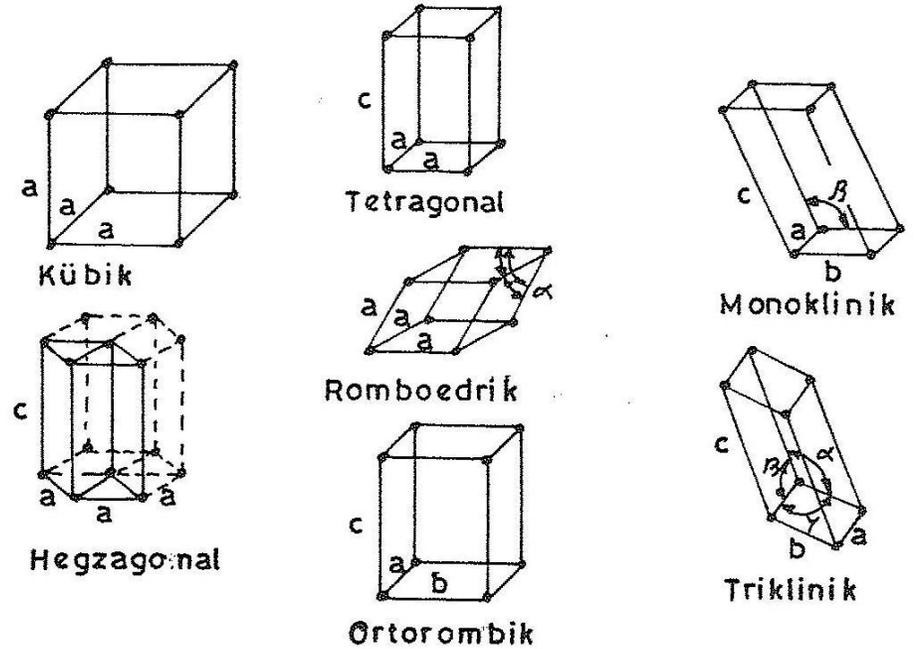


Malzeme Bilgisine Giriş – Atomların Dizilişi

- **Atomik diziliş**, malzemenin özelliklerini ve davranış biçimlerini belirlemede oldukça önemlidir.
- Atomların dizilişine göre, kristal, moleküler ve amorf olmak üzere 3 farklı yapı ortaya çıkmaktadır.

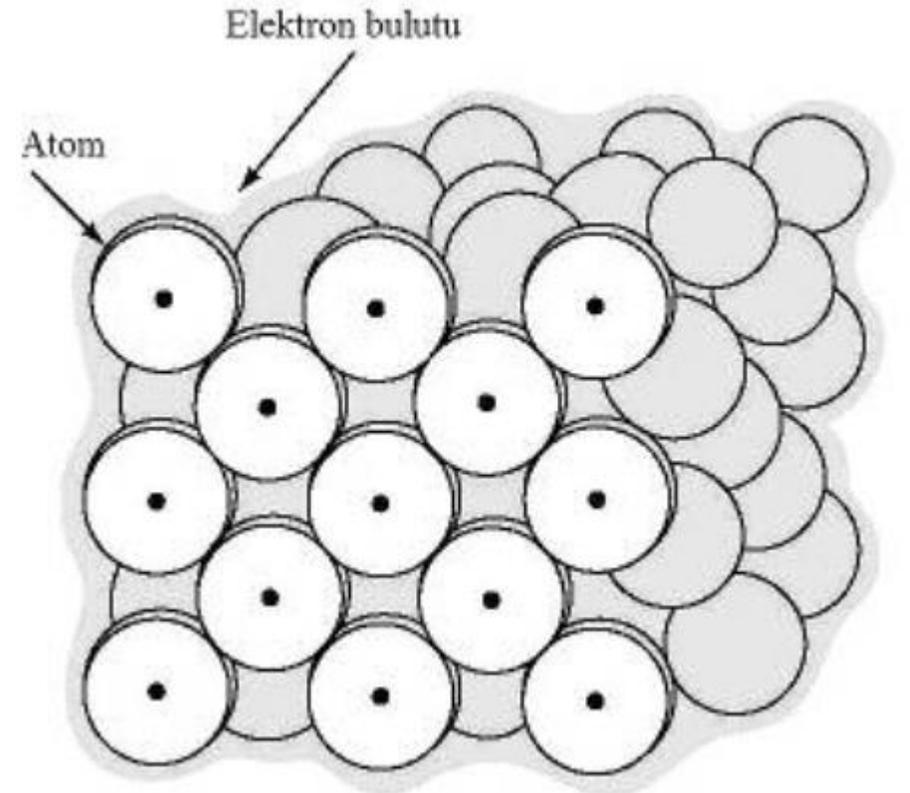
Kristal Yapı

- Katı malzemelerin bir bölümünde atomlar 3 boyutlu ve tekrarlanan bir dizilişe sahiptir. Buna kristal yapı denir. Tüm metaller, çoğu seramikler ve bazı plastikler kristal kafes yapısındadır.

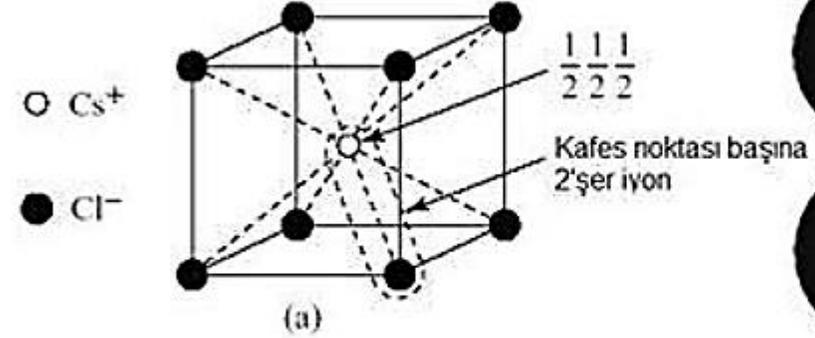
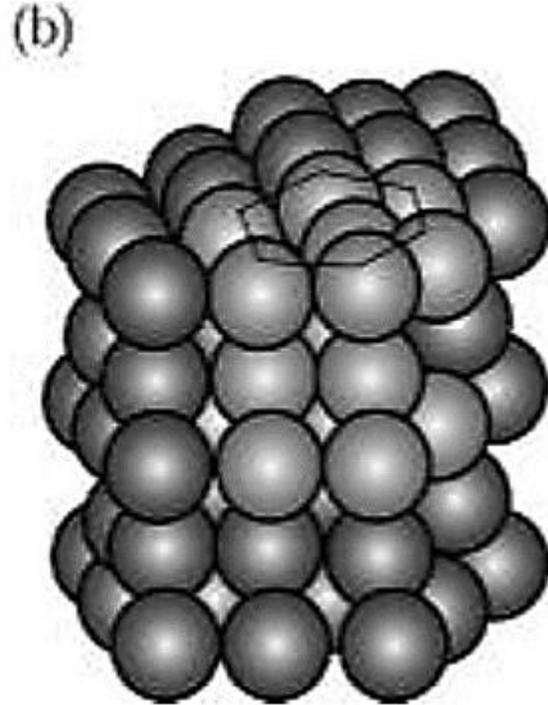
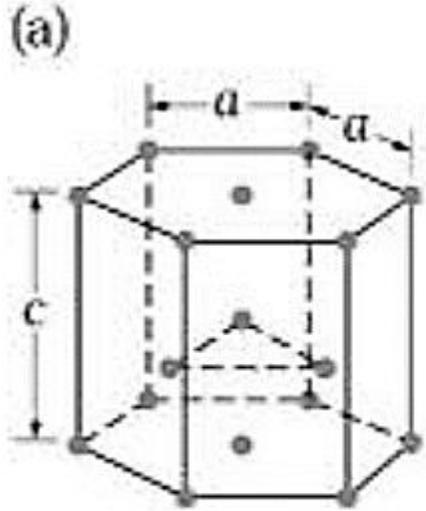


Malzeme Bilgisine Giriş – Atomların Dizilişi

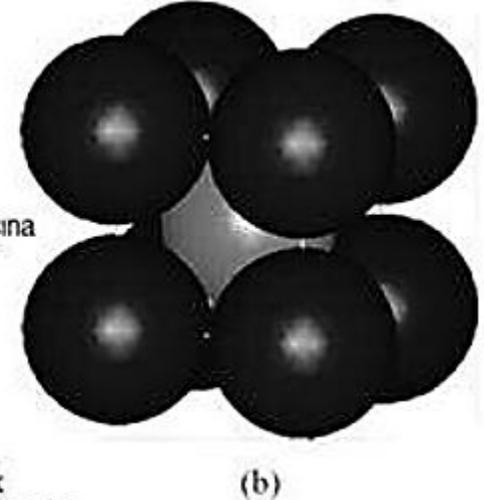
- Bütün kristal kafesler 14 farklı türden oluşmaktadır. Bunların ana türleri 7 adet olup; kübik, hekzagonal, ortorombik, romboedrik, tetragonal, monoklinik ve triklinikdir.
- Kristal yapıların sürekli olarak tekrarlanan en küçük hacimsel birimine 'birim hücre' adı verilir. Kristal yapıların birbirinden olan farkı, birim hücre kenarlarının boyutları ile kenarlar arasındaki açılardan oluşur.



Malzeme Bilgisine Giriş – Atomların Dizilişi



Yapı: CsCl tipi
Bravais Kafesi: Basit kübik
İyon/Birim Hücre: 1Cs⁺ + 1Cl⁻



Malzeme Bilgisine Giriş – Atomların Dizilişi

Moleküler yapı

- Birbirlerine valans ya da iyon bağı ile bağlanmış belirli sayıda atoma sahip olan gruplara molekül adı verilir. Küçük moleküllere **monomer** denir. Çok sayıda monomerin belirli koşullar altında birbirlerine bağlanmasıyla **polimer** elde edilir. Bunlar uygulamada **plastik** adı verilen malzemelerdir.

Amorf yapı

- Bu yapı, atomların tekrarlanan belirli bir biçimde olmadığı, yani düzensiz dizilişe sahip malzemelerde görülür. Bütün gaz ve sıvılarda, plastik malzemelerde ve aşırı hızlı soğutulmuş metallerde atomlar benzer durumdadır.
- Camlar, sıvı haldeki düzensiz yapısını aynen koruyarak katılaşır. Bu nedenle aşırı soğutulmuş sıvı adını alır. Ergimiş metal çok düşük sıcaklıkta bir yüzeye ince bir tabaka halinde dökülürse, cam metal adı verilen amorf yapı oluşur.

Yayınma – Difüzyon

- Atomların, iyonların ve diğer parçacıkların ısıya bağlı olarak yer değiştirmelerine yayınma adı verilir.
- Yayınma olayından, endüstride metallerin üretim ve ısı işlem aşamalarında yararlanır. Örneğin, kaynak, semantasyon ve galvanizleme işlemlerinde yayınma ilkesinden yararlanır.

Malzemelerin İç Yapı Oluşumu

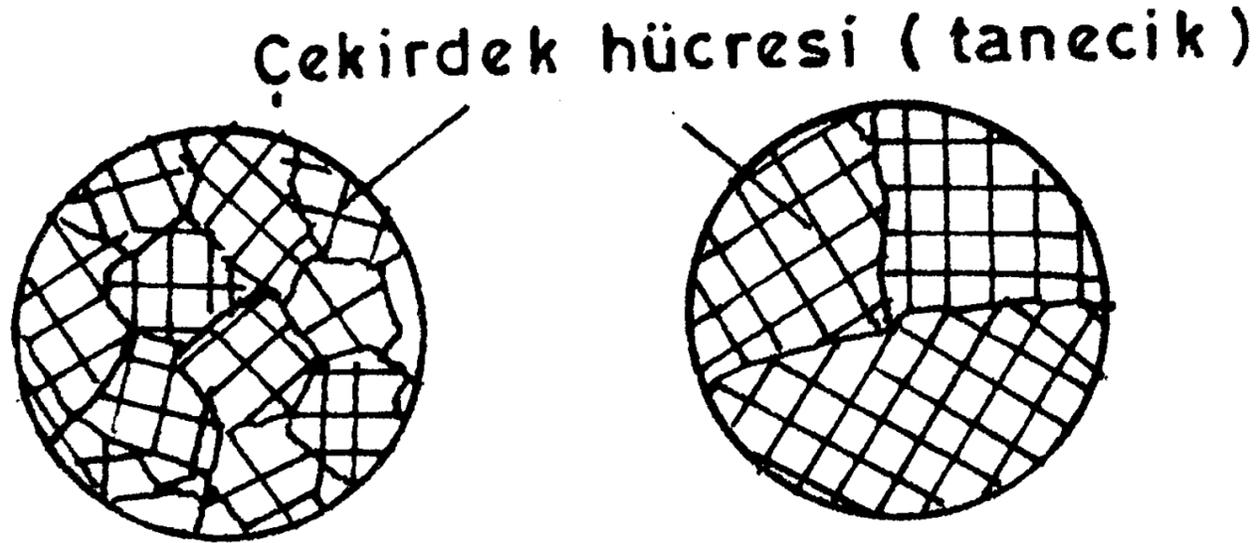
- Malzemelerde, belirli sınırlar içinde yapı ve özellikleri aynı olan homojen bölgelere faz adı verilir. Bu bölgelerde bulunan atom grupları düzenli dizilmiş ve denge halinde bulunurlar.

Faz Dönüşümü

- Bir fazı oluşturan denge koşulları değişirse atomlar yeni bir denge konumuna geçerler. Böylece bir denge yapısından, başka bir denge yapısına geçişe faz dönüşümü adı verilir. Faz, herhangi bir maddenin yalnızca katı, sıvı ya da gaz hali olmayıp, katı halde iken dahi birden fazla hali olabilir. Genel anlamda faz, belirli sınırlar içinde bulunan yapıları ve özellikleri aynı olan homojen bölgeler olarak tanımlanır.

Malzemelerin İç Yapı Oluşumu – Metallerin Tanecik Yapısı

- Metal malzemeler katılaştırken oluşan kristal gruplarının sayısına, soğuma hızı ve çekirdek sayısı etkili olmaktadır. Her bir kristal grubu, tanecik (gren) olarak adlandırılır. Soğuma hızı arttıkça tanecik sayısı da artar.



İnce ve kalın tanecikli yapı

Döküm Metalleri

- Çoğu ticari dökümler, saf metallerden ziyade alaşımlardan yapılır
 - Alaşımlar genelde kolay dökülür ve ürün özellikleri daha iyidir
- Dökme alaşımları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:
 - Demir esaslı
 - Dökme Demir
 - Çelik
 - Demir dışı
 - Alüminyum
 - Bakır Alaşımları
 - Çinko Alaşımları

Döküm Metalleri: Demir (*Iron*)



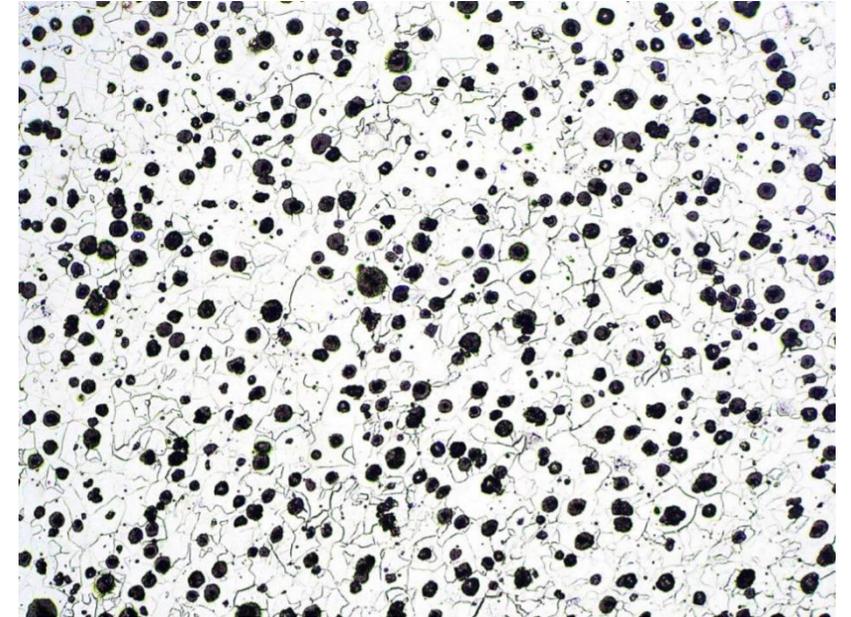
- Malzeme Özellikleri:
 - $T_m = 1538^{\circ}\text{C}$ (Demir [Fe] ergime noktası / *melting point*)
 - Yoğunluk = $7,87 \text{ g/cm}^3$
- Demir, dünya yüzeyinde en yaygın dördüncü mineral ve yerkabuğunda en çok bulunan metaldir. Demir metali, demir cevherlerinden elde edilir ve doğada nadiren saf element halinde bulunur. Metalik demir elde etmek için, cevherdeki safsızlıkların (*impurity*) kimyasal indirgenme yoluyla uzaklaştırılması gerekir.

Döküm Metalleri: Demir (*Iron*)

- Demir, aslında büyük ölçüde **karbonlu bir alaşım** olarak kabul edilebilecek olan **çelik** yapımında kullanılır.
- Demir, karbonla birlikte 1420–1470 °K sıcaklığa kadar ısıtıldığında oluşan sıvı eriyik %96,5 demir ve %3,5 karbon içeren bir alaşımdır ve **dökme demir** veya pik olarak adlandırılır. Bu ürün ince detaylı şekiller halinde dökülebilirse de, içerdiği karbonun çoğunu uzaklaştırmak amacıyla dekarbürize edilmediği sürece, işlenebilmek için fazlasıyla kırılgandır.

Döküm Metalleri: Dökme Demir (*Cast Iron*)

- Tüm döküm alaşımlarının en önemlisi
- Dökme demir dökümlerin toplam tonajı, çoğunlukla diğer tüm metallerinin toplamının birkaç katıdır.
- Bazı türleri:
 - (1) kır dökme demir,
 - (2) küresel grafitli dökme demir (sfero),
 - (3) beyaz dökme demir,
 - (4) temper dökme demir
 - (5) alaşımlı dökme demirler
- Tipik dökme sıcaklıkları $\sim 1400^{\circ}\text{C}$ (bileşime bağlıdır)



Döküm Metalleri: Çelikler (*Steels*)

- 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 $\sim 1650^{\circ}\text{C}$
 - Bu sıcaklıklarda çelik kolayca oksitlenir; bu nedenle erimiş metalin havadan izole edilmesi gerekir.
 - Erimiş çelik nispeten düşük akıcılığa sahiptir.



Döküm Metalleri: Alüminyum (*Aluminium*)

- Genellikle kolay dökülebilir olarak bilinir.
- Alüminyumun düşük erime sıcaklığı nedeniyle, dökme sıcaklıkları düşüktür.
 - $T_m = 660^\circ\text{C}$ (Alüminyum [Al] ergime noktası / *melting point*)
 - Yoğunluk = $2,7 \text{ g/cm}^3$
- Özellikleri:
 - Hafif yapı
 - Isıl işlemlerle dayanım özelliklerinin değiştirilebilmesi
 - Talaş kaldırma kolaylığı



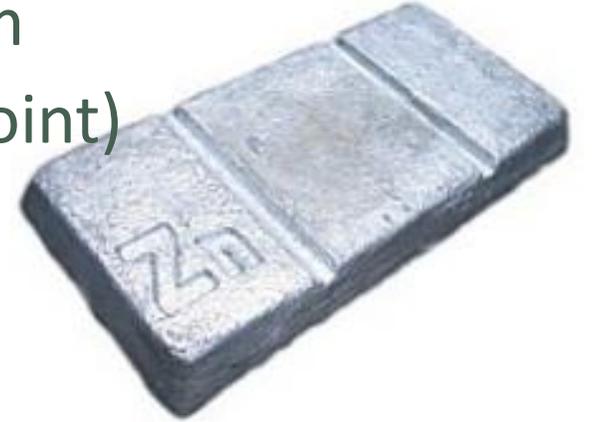
Döküm Metalleri: Bakır Alaşımları (*Copper Alloys*)

- Bronz, pirinç ve alüminyum bronzu türleri vardır.
 - $T_m = 1085^\circ\text{C}$ (Bakır [Cu] ergime noktası / *melting point*)
 - Yoğunluk = $8,96 \text{ g/cm}^3$
- Özellikleri:
 - Korozyon direnci, iyi görünüm
 - Yüksek yataklama kabiliyeti/kalitesi
 - Zayıflığı: Bakırın yüksek maliyeti
 - Uygulamaları: boru ek parçaları, tekne uskur kanatları, pompa elemanları, süs eşyaları



Döküm Metalleri: Çinko Alaşımları (*Zinc Alloys*)

- Yüksek dökülebilirlik, basınçlı dökümde yaygın kullanım
 - $T_m = 419,5^{\circ}\text{C}$ (Çinko [Zn] erime noktası / melting point)
 - Yoğunluk = $7,14 \text{ g/cm}^3$
- Özellikleri:
 - Döküm kolaylığı için iyi akıcılık
 - Düşük erime sıcaklığı
 - Düşük sürünme dayanımı, bu nedenle döküm parçaları uzun süreli yüksek gerilmelere maruz bırakılamaz



Malzemelerin İç Yapı Oluşumu – **Metal Alaşımlar**

- Mühendislik uygulamalarında kullanılan saf metallerin özellikleri ve kullanım alanları sınırlıdır. Metallerin özelliklerini ve kullanım alanlarını genişletmek amacıyla alaşımlar elde edilmiştir.

Bakır Alaşımı / Tunç = Bakır-Kalay [Cu – Sn]

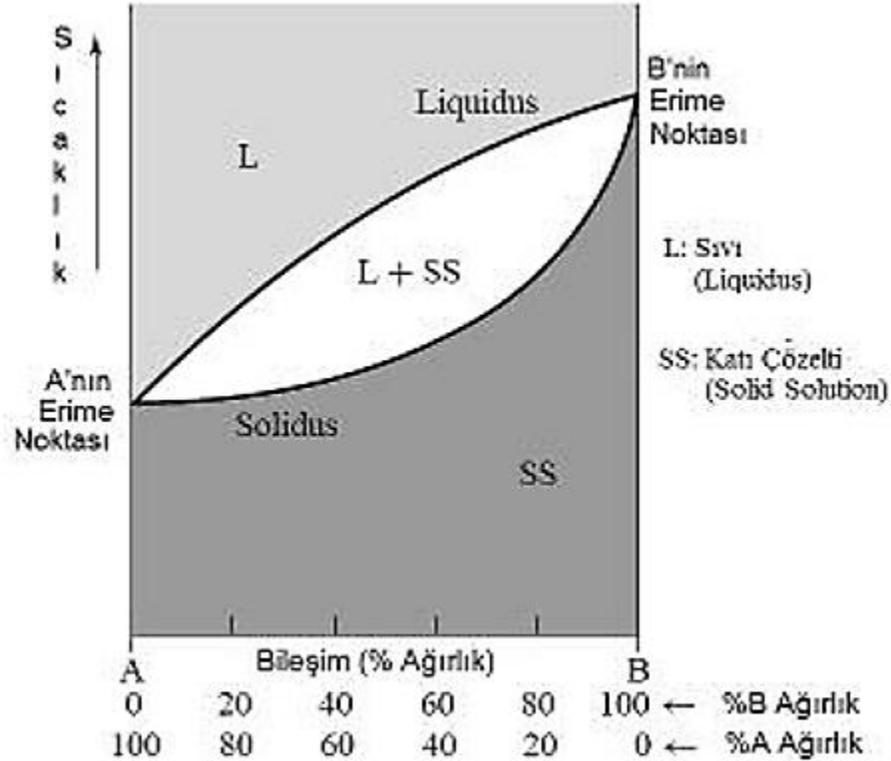
Bakır Alaşımı / Pirinç = Bakır-Çinko [Cu – Zn]

Demir Alaşımı / Paslanmaz Çelik = Demir-Krom-Karbon [Fe – Cr – C]

- Alaşımı oluşturan temel maddelere bileşen adı verilir. Alaşımlar bileşenlerin birlikte eritilmesi ile elde edilirler. Bir alaşımı oluşturan elementlerden en az biri metal olmalıdır. Alaşım için diğer önemli bir kural, eriyik halde iken bileşenler birbirinde tamamen çözünmelidir. Eriyiğin soğutulmasıyla elde edilen alaşımın iç yapısı katı eriyik ve ötektik olarak iki türe ayrılır.

Malzemelerin İç Yapı Oluşumu

Metal Alaşımlar

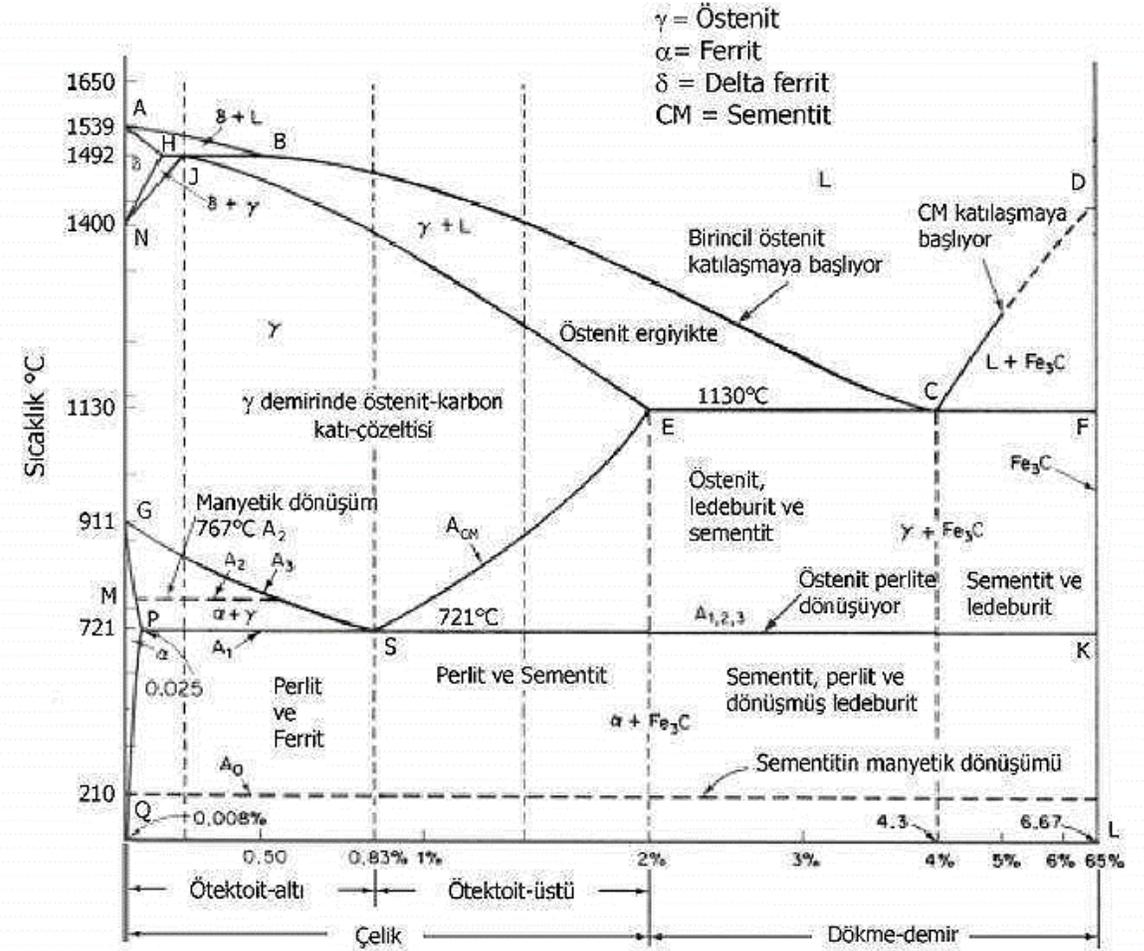


- Faz diyagramları

Malzemelerin İç Yapı Oluşumu

Demir Alaşımları

- Demir Karbon (Fe-C) Denge Diyagramı



Malzemelerin Özellikleri

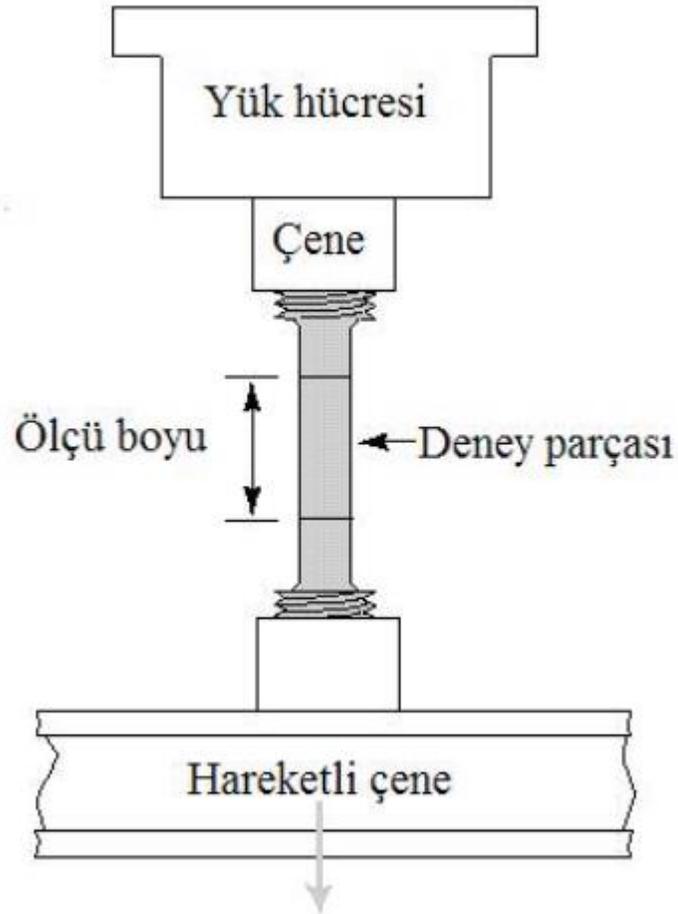
- *Mekanik Özellikler*
 - Elektriksel Özellikler
 - Manyetik Özellikler
 - Optik Özellikler
 - Isıl Özellikler
 - Fiziksel Özellikler
 - Birim Ağırlık
 - Geçirgenlik
 - Akustik Özellikler
 - Teknolojik Özellikler
 - Dökülebilirlik
 - Biçimlendirilebilirlik
 - Kaynak Edilebilirlik
 - Talaşlı İşlenebilirlik
-
- **Mekanik Özellikler**
 - Çekme Dayanımı
 - Basma Dayanımı
 - Sertlik
 - Çentik Darbe Tokluğu
 - Yorulma Dayanımı

Mekanik Davranış

- Katı bir cismin kendisine uygulanan dış kuvvetlere karşı gösterdiği tepkiye mekanik davranış adı verilir. Malzemelerin mekanik davranış biçimi **elastik**, **plastik** ve **viskoelastik** olmak üzere üç gruptur. Malzemelerin mekanik özellikleri, değişik yüklemeler altında deneysel olarak belirlenir. **Gerilme**, katı bir cisme etki eden kuvvetin etki yönündeki kesitine oranı olarak tanımlanır.
- **Elastik biçim değiştirme** geri dönüşlü bir olaydır. Gerilme artırılırsa cismin dayanım sınırları zorlanır ve plastik biçim değiştirme başlar. Malzeme iç yapısında plastik biçim değişimi oluşturan gerilme sınırına **dayanım (mukavemet)** adı verilir.
- Bir cisme sabit gerilme uygulandığında ani elastik uzama ve arkasından sürekli artan uzama görülüyorsa buna viskoelastik davranış adı verilir. Viskoelastik davranışta yükleme hızının, yükleme süresinin ve sıcaklığın da etkisi vardır.

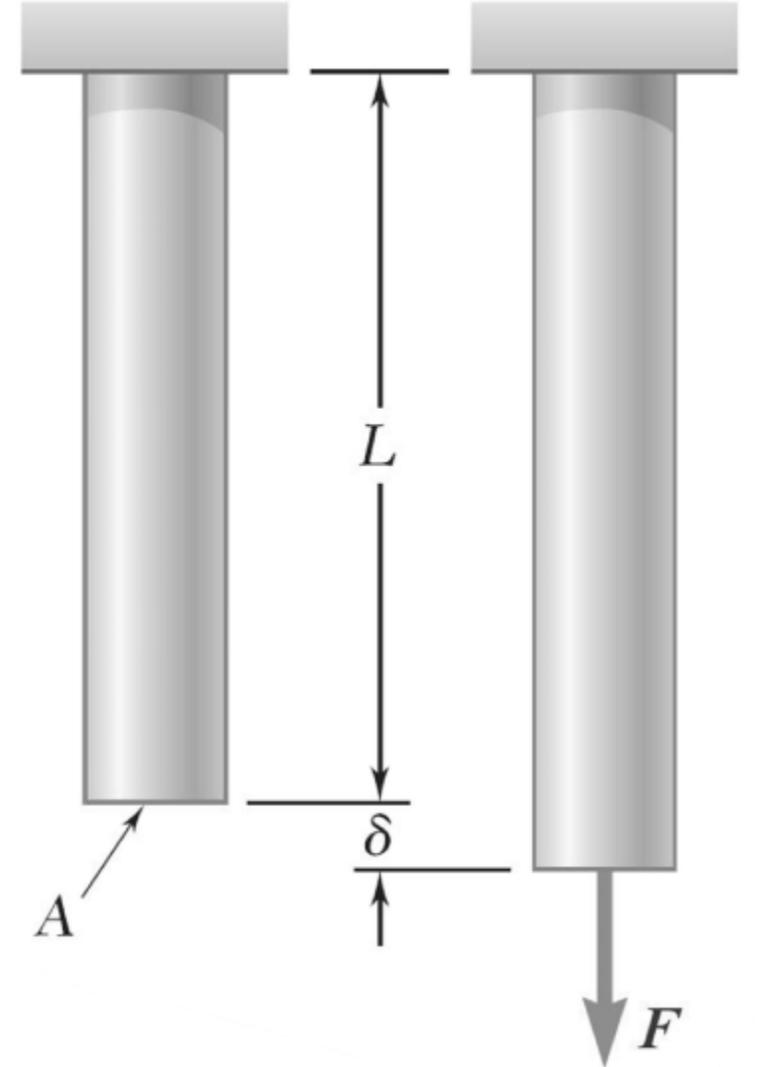
Mekanik Özellikler – Şekil Değişirme

Birim Uzama (*Strain*)



Gerilme altındaki uzamanın ilk boya oranı birim uzama olarak tariflenir.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{\Delta L}{L}$$



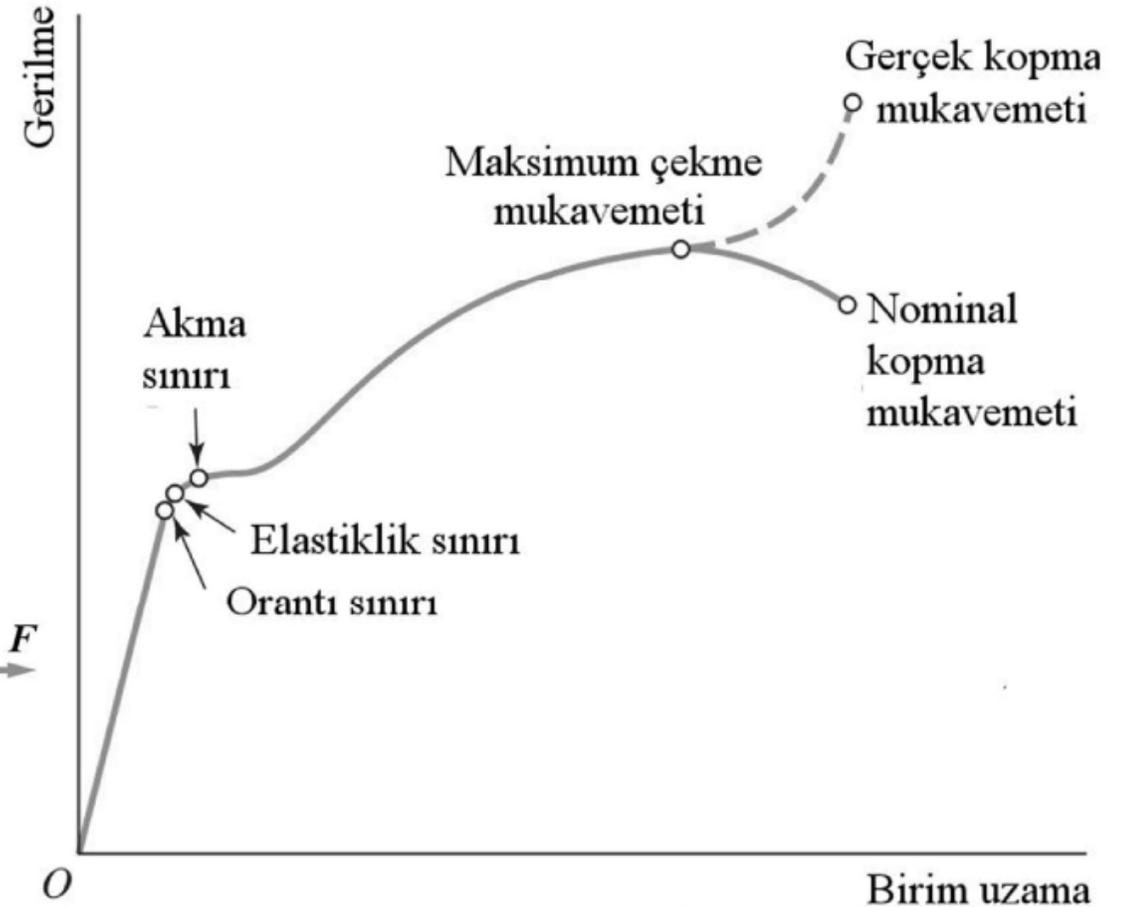
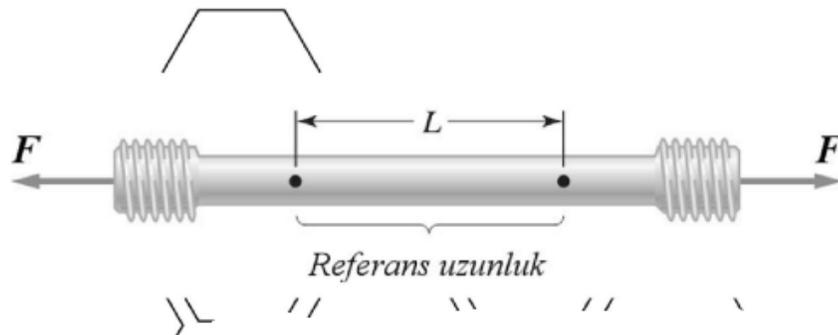
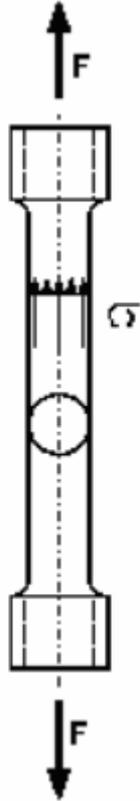
Mekanik Özellikler

Çekme Deneyi (*Tensile Testing*)

Standart bir parçaya, bir çekme makinasında hasar oluşana kadar aksenal kuvvet uygulanır. Test sırasında hem kuvvet, hem de uzama sürekli olarak ölçülür.

Orantı sınırı içinde gerilme uzama ile orantılıdır. Orantı sabiti Elastiklik modülü olarak adlandırılır. (Hooke kanunu)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$



MUTK215 – Havacılıkta İmalat İşlemleri

İmâl Usûlleri

DÖKÜM

Döküm

Erimiş metalin, elde edilecek parçanın şekline sahip bir kalıp boşluğuna, yerçekimi, kuvvet veya basınç uygulanarak doldurulup katılaştırıldığı yöntemdir.

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

Dökümlle Üretilebilen Parçalara Örnek:

- Büyük parçalar
 - Otomotivde motor blokları, silindir kafaları, piston, jant vb.
 - Makina gövdeleri, pompa gövdeleri, radyatör, vagon tekerlekleri (boji), borular, büyük heykeller...
- Küçük parçalar
 - Diş kaplamaları, mücevher, küçük heykeller, kızartma tavaları, vana gövdeleri, valf parçaları, kulplar...

Dökümlle İmal Edilmiş Parça Örnekleri

- *Örnek Görsel:*

Bir hava kompresörü çerçevesine ait, 680 kg ağırlığındaki, büyük boyutlu, bir kum kalıba döküm



Dökümlle İmal Edilmiş Parça Örnekleri

- *Örnek Görsel:*

Santrifüj pompa gövdesi, gri dökme demir, reçine kum kalıba döküm



Dökümlle İmal Edilmiş Parça Örnekleri

- *Örnek Görsel:*

Elektrik motoru gövdesi,
dökme demir [*Cast Iron (CI)*
casting]



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 / atölye / tesis.
- Döküm işini yapan işçiler *dökümcü* olarak adlandırılır.
- Dökümhaneler yaptıkları işin niteliğine göre sınıflandırılır:
 - Sipariş, seri, dahili, dökme demir, çelik, hassas döküm vs.

Döküm Tekniğinin Üstün Yönleri

- 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**'dır.
- Çok büyük ve çok küçük parçalar üretebilir.
- Bazı döküm yöntemleri seri üretime uygundur.
- Hemen tüm metallerin dökümü mümkündür.

Döküm Tekniğinin Zayıf Yönleri

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

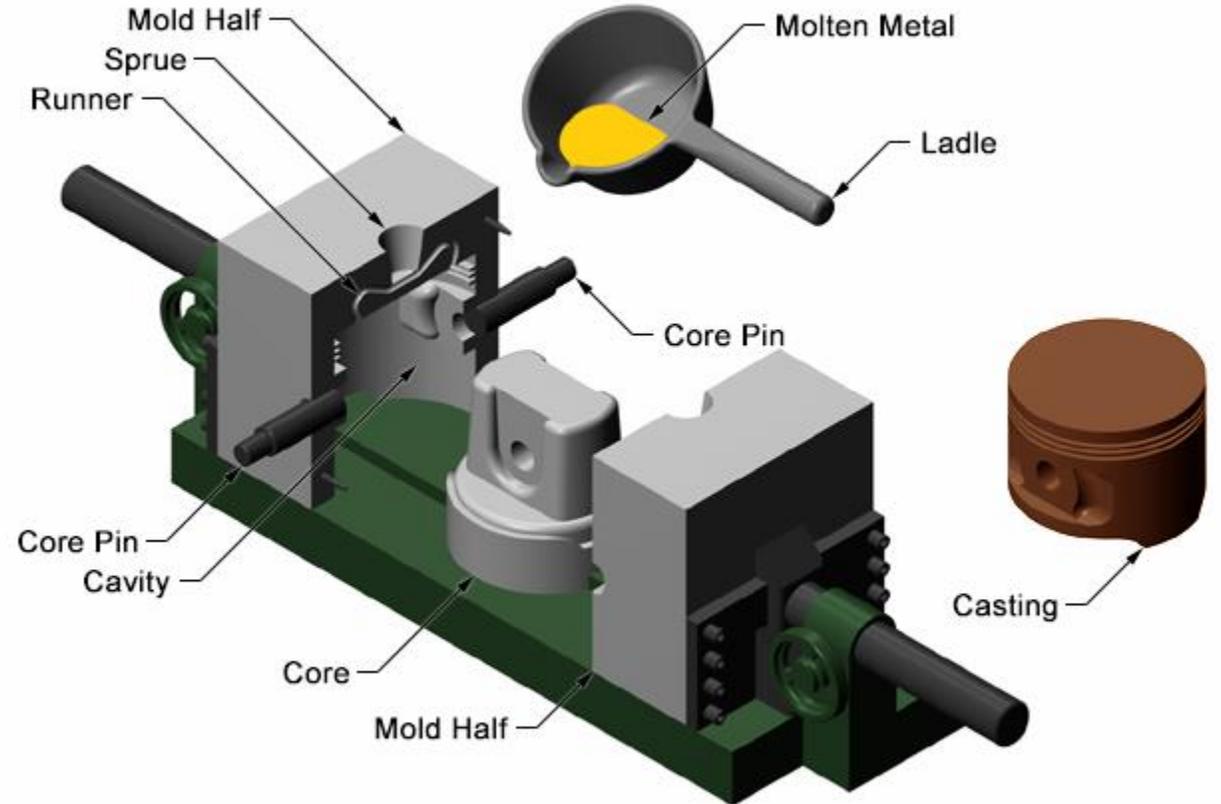
Dökümde Kalıp

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

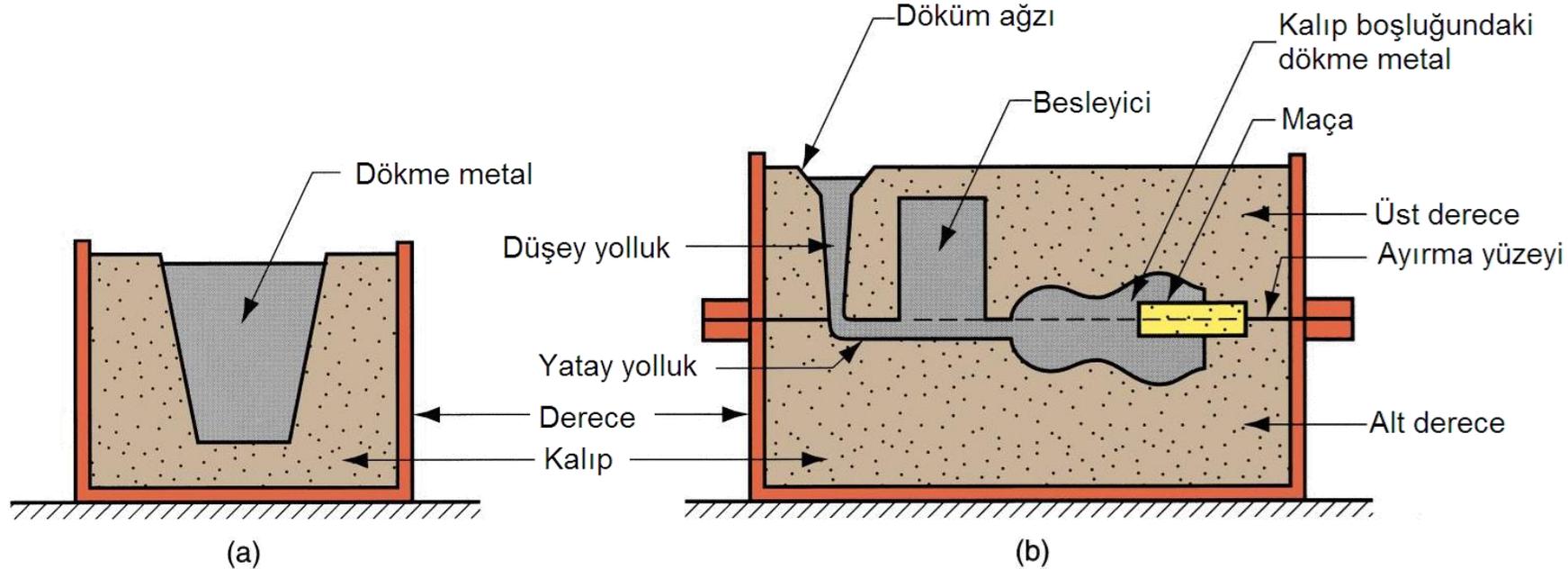
METAL DÖKÜM

Metal Döküm Kalıbı:

- *Casting*: Döküm (parçası)
- *Mold*: Kalıp
- *Molten Metal*: Eriyik metal
- *Ladle*: Pota
- *Cavity*: Boşluk
- *Core*: Maça
- *Core Pin*: Maça desteği
- *Runner*: Yatay yolluk
- *Sprue*: Düşey yolluk



Dökümde Kalıp: Açık Kalıplar ve Kapalı Kalıplar



- 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**

Dökümde Kalıp Yöntemlerine Göre Kategorizasyon

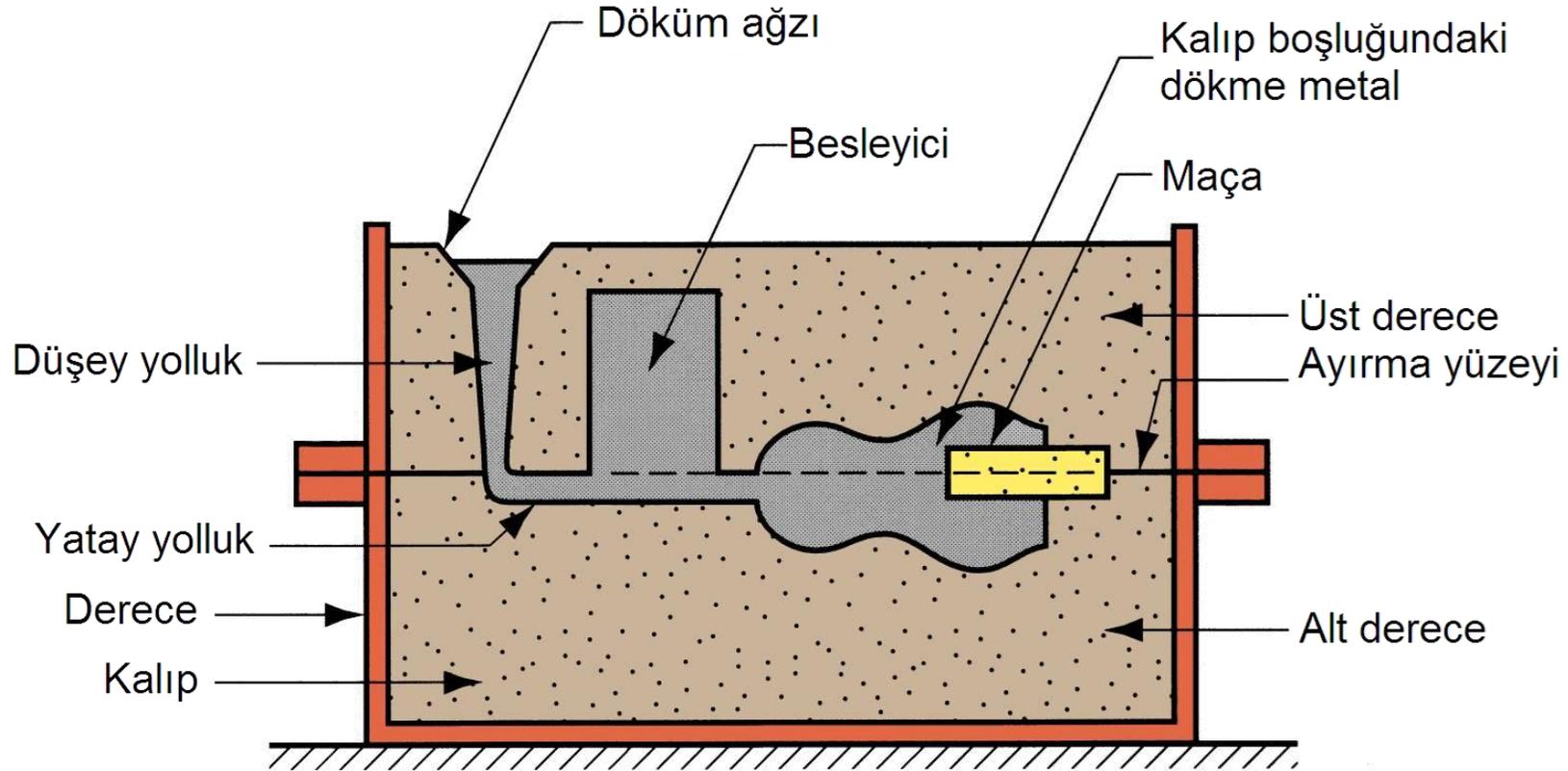
- 1. Bozulabilir kalıp yöntemleri* – katılaşma sonrası döküm parçayı çıkarmak için dağıtılması, bütünlüğünün bozulması gereken kalıp kullanılır.
 - Kalıp malzemeleri: Kum, alçı ve benzer malzemeler, ayrıca bağlayıcılar
- 2. Kalıcı kalıp yöntemleri* – çok sayıda döküm parçası üretmek için tekrar tekrar kullanılabilen dayanıklı malzemedan kalıcı kalıp kullanılır.
 - Metalden veya nadiren seramik bir refrakter malzemedan

Dökümde Kalıp:

Bozulabilir ve Kalıcı Kalıpların 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.

Dökümde Kalıp: Kum Kalıp

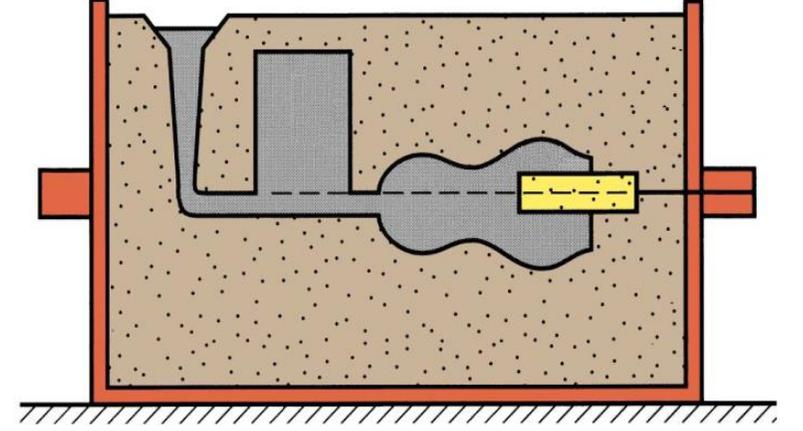


(b)

Kum döküm kalıbı

Döküm: Kum 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, levhalı, şablon,
- Yolluk sistemi, besleyici, iç soğutucu
- Maça, kalem maça, döküm boşluğu



Kum Kalıba Döküm: Kalıp Boşluğunun Oluşturulması

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

Kum Kalıba Döküm: Kalıp Boşluğunda Maça Kullanımı

- Parçanın ***iç geometrisini*** (parça içi boşluklar) belirleyecek şekilde, kalıp boşluğunun içine yerleştirilen parçalara ***maça*** denir. Maça ile parçanın iç yüzeyleri belirlenir.
- ***Kalıp boşluğu***, dökülecek parçanın ***dış yüzeyini*** oluşturur,
- 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 dayanıklıdırlar.
- Maçalar kalıp içinde ***maça başı*** denen özel boşluklara yerleştirilirler, gerektiğinde maça desteklerinden yararlanılarak yerlerinden oynamamaları sağlanır.

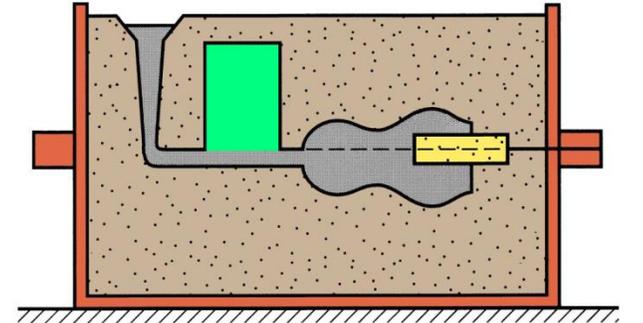
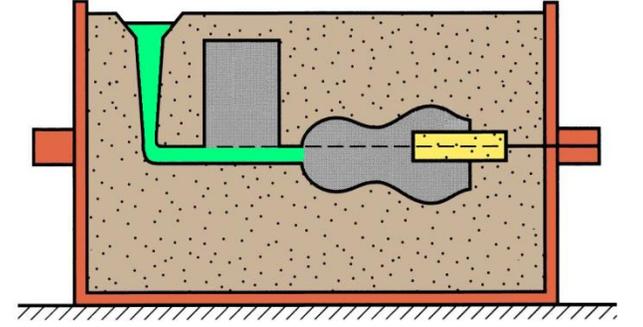
Kum Kalıba Döküm: Yolluk, Besleyici ve Çıkıcılar

Yolluk: 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 ağızı* 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 ya da ara yolluklarla döküm boşluğuna bağlantı yapılır.

Besleyici / Çıkıcı: Katılaşma sırasında parçanın büzülmesi sonucu oluşan hacim azalmasını karşılamak üzere bir sıvı metal kaynağı olan, kalıp içindeki depo

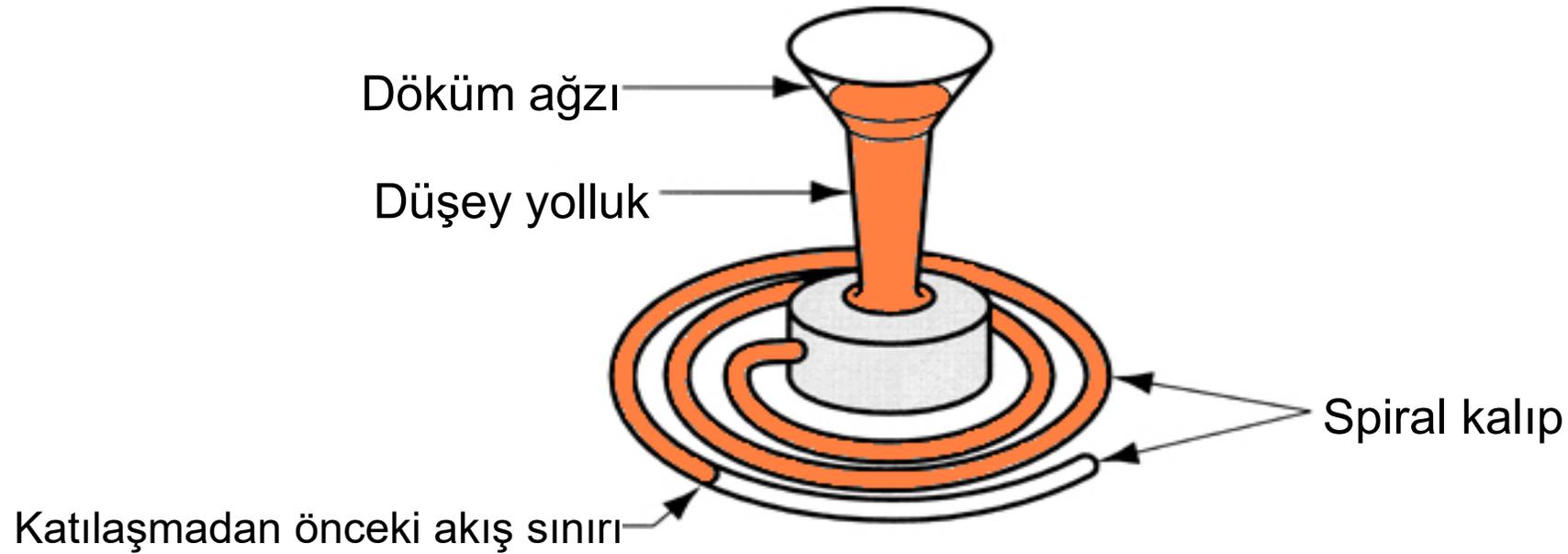
- Atmosfere kapalı olanları **besleyici** açık olanlarına **çıkıcı** denir.
- Besleyicinin fonksiyonunu yerine getirebilmesi için, esas parçadan sonra katılacak şekilde tasarlanmalıdır.



Metalin Ergitilmesi ve Sıvı Metalin Dökülmesi

- Ergitme fırınları, metali döküme yeterli sıcaklığa ulaşacak şekilde ısıtmada kullanılır. Gerekli ısı aşağıdakilerin toplamından oluşur:
 1. Sıcaklığı erime sıcaklığına yükseltecek ısı
 2. Katıyı sıvıya dönüştürecek eritme ısı
 3. Erimiş metali döküme uygun sıcaklığa yükseltecek ısı
- Bu aşamada başarılı olmak için, katılaşma başlamadan önce metalin kalıbın tüm bölgelerine, en önemlisi de kalıp boşluğuna sakın bir şekilde akarak dolması gerekir. Döküm işlemini etkileyen faktörler:
 - Döküm sıcaklığı
 - Döküm hızı
 - Türbülans (kalıp erozyonu, oksitlenme, gaz çözünmesi)
 - Sıvı metalin akıcılığı

Sıvı Metalin Akıcılık Testi (Spiral Döküm Testi)



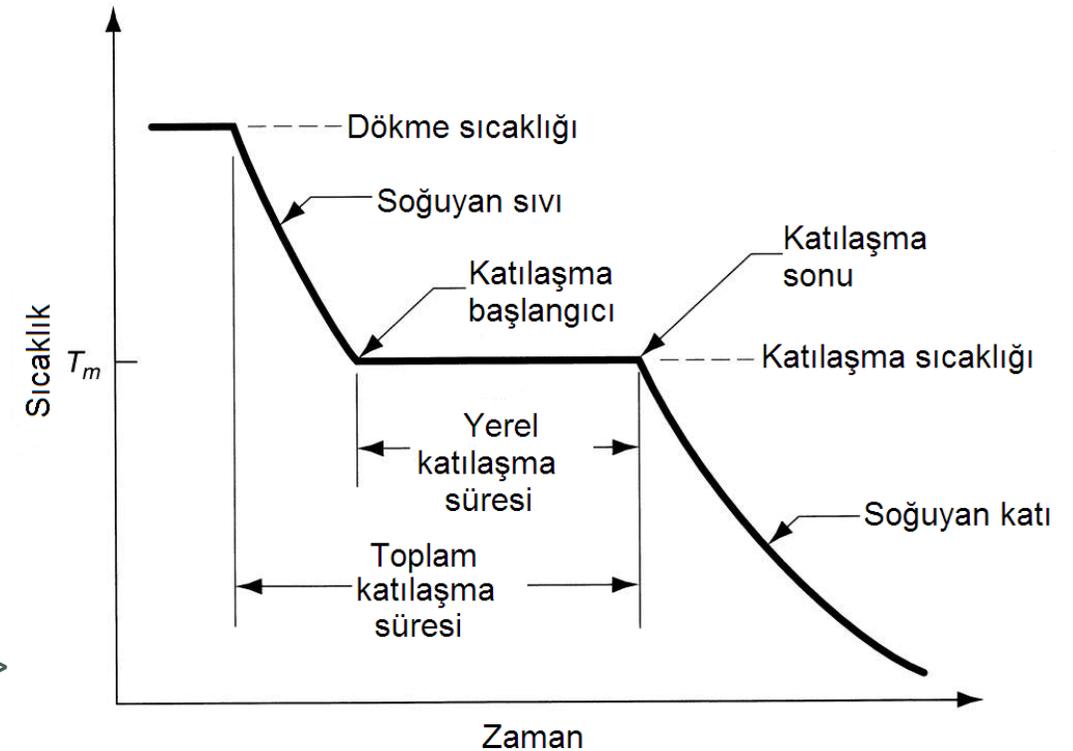
Sıvı metalin akıcılığının belirlenmesi için uygulanan spiral kalıba döküm testi (döküm kabiliyeti)

Akıcılık: döküm sıcaklığı, sıvı metalin bileşimi ve viskozitesi, çevreye olan ısı transferi, metalin erime gizli ısı, metal ve kalıp malzemesinin ısı kapasiteleri

Metalin Katılaşması ve Saf Bir Metalin Soğuma Eğrisi

Kalıp boşluğunu dolduran sıvı metalin soğuyarak tekrar katı hale dönüşümü:

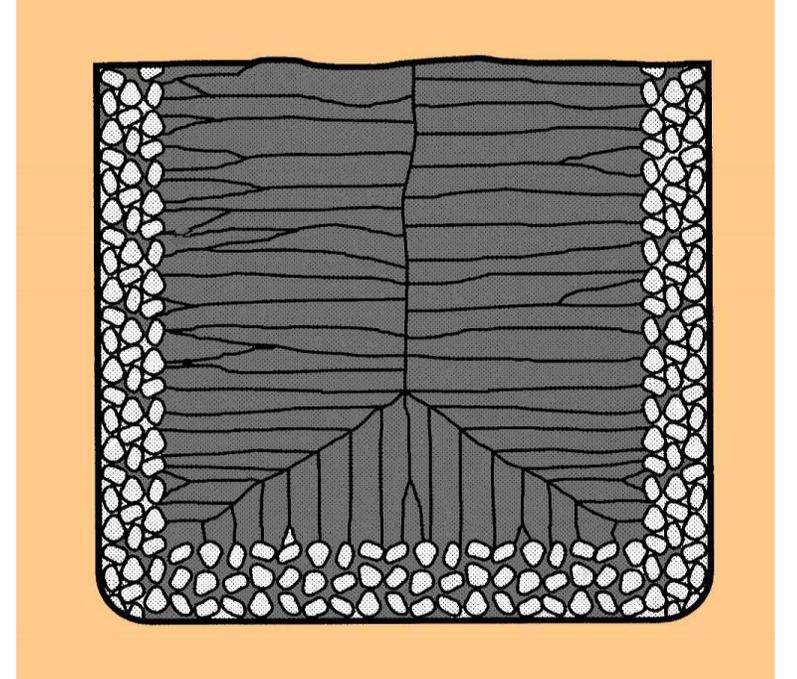
- Katılaşma, metalin durumuna bağlı olarak değişiklik gösterir (saf bir element veya bir alaşım).
- Katılaşma olayı **çekirdeklenme** ile başlar ve **oluşan çekirdeklere sıvıdan atomların eklenmesiyle tane büyümesiyle devam eder** (soğuma hızı).
(Sırayla: Döküm yapısı-birincil katılaşma > Homojen ve heterojen katılaşma > Aşılama)
- Saf bir metal katılaşma/erime sıcaklığına eşit sabit bir sıcaklıkta katılaşır.
 - Saf bir metalin katılaşma sırasındaki soğuma grafiği =>



Döküm Tekniği - Saf Metallerin Katılaşması

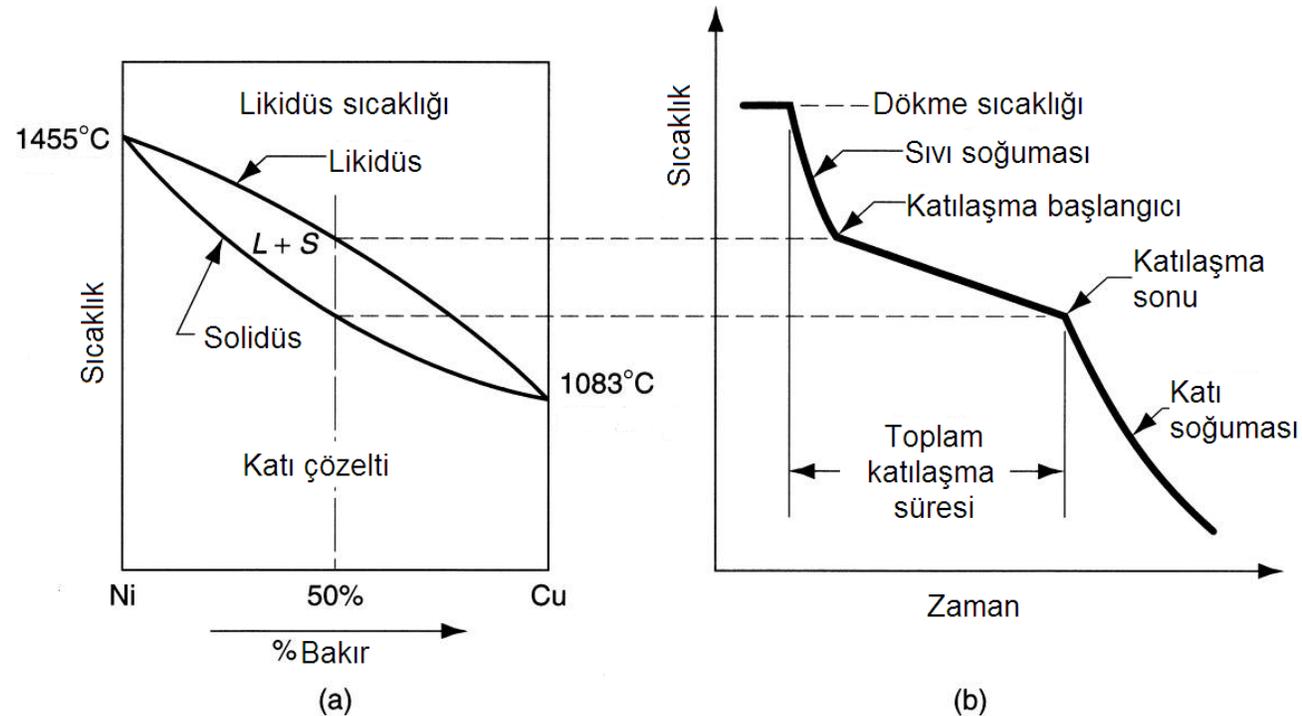
- Kalıp cidarının aşırı soğutma etkisi (*chilling*) nedeniyle, dökümden hemen sonra ara yüzeyde ince taneli bir katı metal filmi oluşur.
- Katılaşma sürerken film kalınlığı, erimiş metalin çevresinde bir kabuk oluşturacak şekilde artar.
- Katılaşma hızı, kalıba olan ısı transferine ve ayrıca metalin ısı özelliklerine bağlıdır.

Saf bir metalin dökümündeki karakteristik tane yapısı ==>>
Kalıp cidarı yakınında ince taneli yapı ve dökümün merkezine doğru yönelmiş büyük kolonsal (uzun) taneler



Döküm Tekniği - Alaşımların Katılaşması

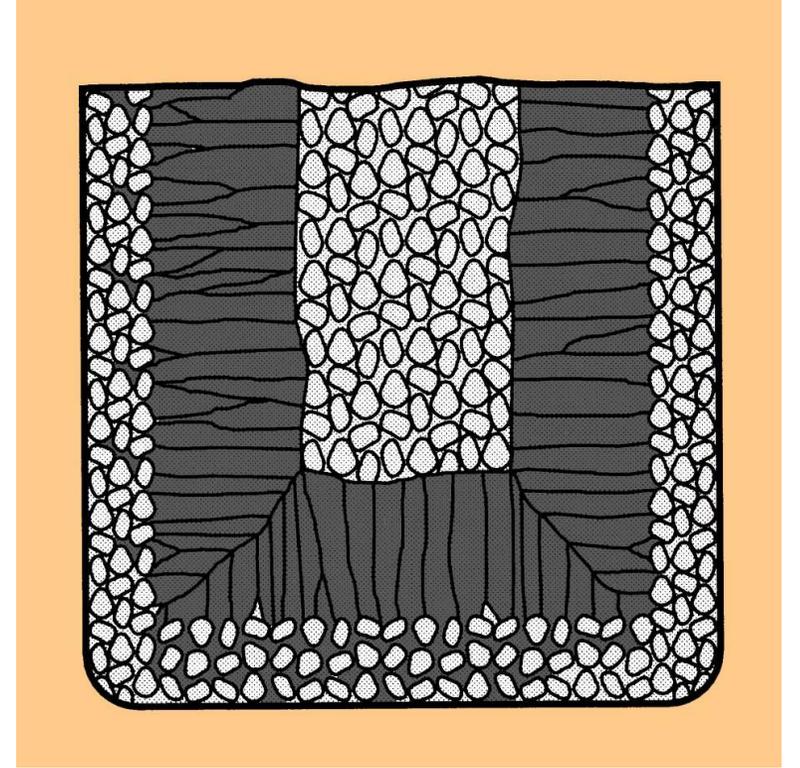
- Çoğu alaşım, sabit bir sıcaklık yerine bir sıcaklık aralığında katılaşır: Likidüs ve Solidus sıcaklıkları



Örnek: **(a)** Bir bakır-nikel alaşım sisteminin faz diyagramı; ve **(b)** döküm sırasında % 50 Ni - % 50 Cu bileşimindeki bir alaşımın soğuma eğrisi

Döküm Tekniği - Alaşımların Katılaşması

- Alaşımların çoğunda katılaşmanın bir sıcaklık aralığında oluşması sonucu, **dendritik** (ağaçsı, dallanmalı) tane yapısı, mikro ve makro **segregasyon** (ayrışma) oluşumu, **mikrogözeneklilik** ve belirgin **çekme boşluğu** oluşumu gerçekleşir.
- Bu olumsuz özellikler erime sıcaklıkları birbirinden farklı, katılaşma aralığı büyük ve hızlı soğuyan alaşımlarda daha bariz olarak ortaya çıkar.
- **Ötektik** bileşimli alaşımlar ise tek bir sıcaklıkta katılaştıklarından bu sorunlar yaşanmaz ve bu yüzden dökümcülükte tercih edilirler.



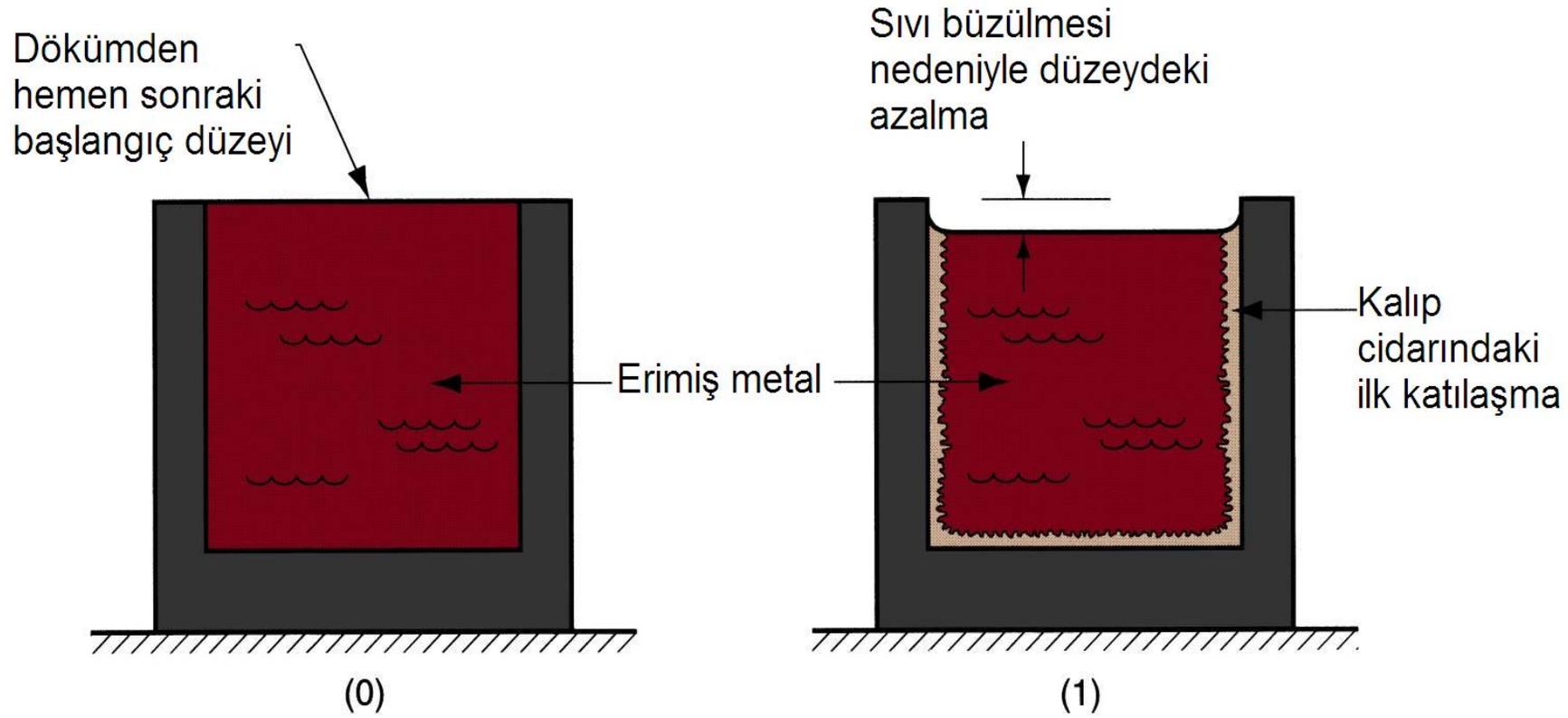
Döküm merkezinde alaşım elemanlarının segregasyonunu gösteren, bir alaşım dökümündeki karakteristik tane yapısı. =>

Döküm Tekniği – Katılma Süresi

- Kalıbın sıvı metalle dolmasından sonra gerçekleşen **Katılma** belirli bir süre alır.
- Toplam katılma süresi T_{TS} = dökümden sonra katılma için gerekli süredir, dökümün boyut ve şekline bağlıdır T_{TS} = toplam katılma süresi; V = dökümün hacmi; A = dökümün yüzey alanı; n = üstel sayı (tipik değeri = 2); ve C_m kalıp sabiti. (**Chvorinov Kuralı**)
- C_m kalıp sabiti aşağıdakilere bağlıdır:
 - Kalıp malzemesi
 - Döküm metalinin ısı özellikleri
 - Erime sıcaklığına oranla döküm sıcaklığı
- Belirli bir döküm işlemi için C_m değeri, parça şekli çok farklı olsa bile, aynı kalıp malzemesi, metal ve döküm sıcaklığı kullanılan önceki deneysel verilere dayanabilir.
- Daha yüksek bir **hacim/yüzey oranına** sahip bir döküm, düşük oranlı olana göre daha yavaş soğur
- Erimiş metali kalıp boşluğuna beslemek için, besleyicinin T_{TS} değerinin ana dökümün T_{TS} değerinden daha büyük olması gerekir. Bu tasarım, büzülmenin etkilerini en aza indirir.
- Besleyici ve dökümün kalıp sabitleri birbirine eşit olacağından, ana dökümün önce katılması için, besleyicinin daha büyük hacim/yüzey oranına sahip olacak şekilde tasarlanması gerekir.

$$T_{TS} = C_m \left(\frac{V}{A} \right)^n$$

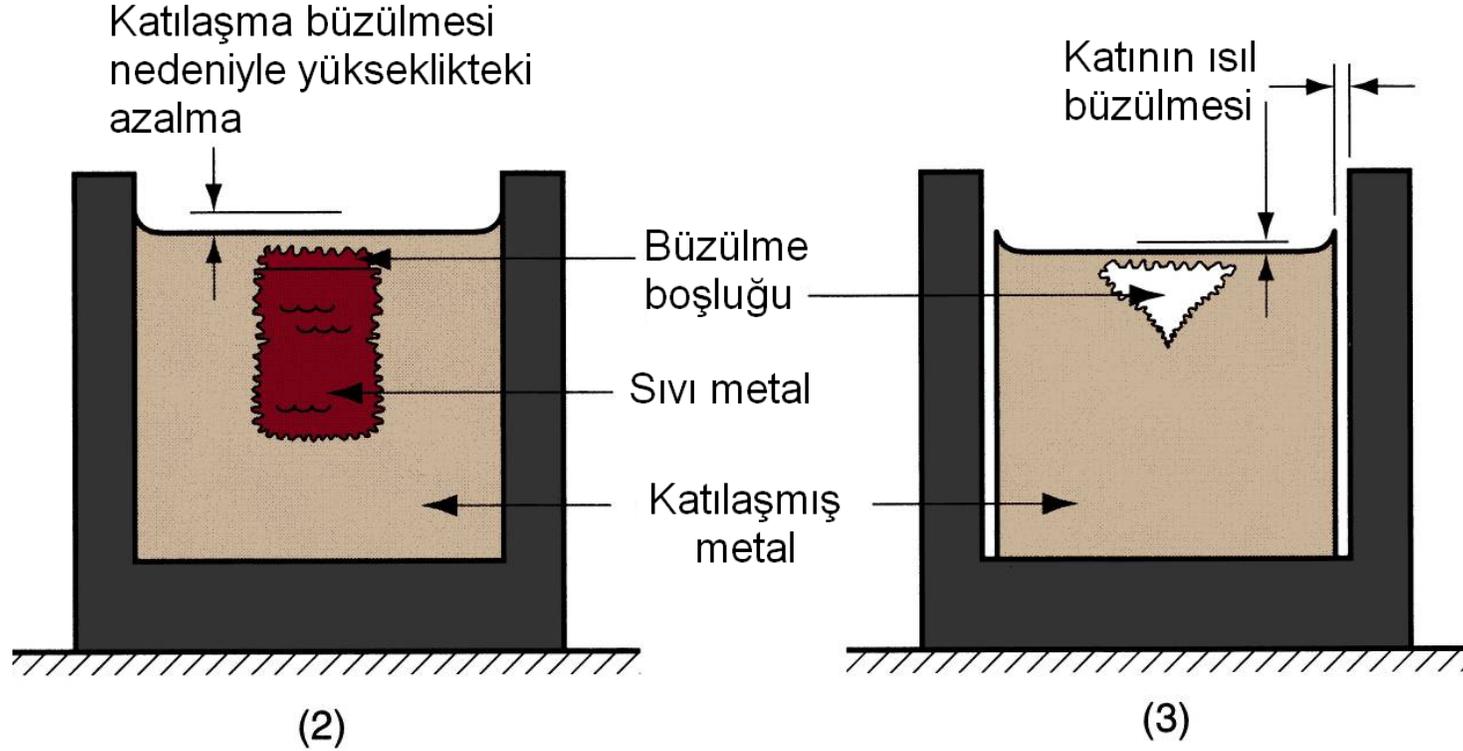
Katılaşma ve Soğuma Esnasında Büzülme



Silindirik bir dökümün katılaşma ve soğuma sırasındaki büzülmesi:

- (0) erimiş metalin dökümden hemen sonraki seviyesi;
- (1) soğuma sırasında sıvının kendini çekmesinin neden olduğu küçülme (boyutsal küçülmeler abartılarak gösterilmiştir).

Katılaşma ve Soğuma Esnasında Büzülme



- (2) Katılaşma büzülmesinin neden olduğu çekme boşluğunun oluşumu ve yükseklikteki azalma;
 (3) katı metalin soğuması sırasında ısıl kendini çekme (büzülme) nedeniyle yükseklik ve çaptaki ek küçülme (boyutsal küçülmeler abartılarak gösterilmiştir).

Katılaşma Büzülmesi

- Katı faz sıvı fazdan daha yüksek yoğunluğa sahip olduğundan, katılaşma büzülmesi (*shrinkage*) hemen tüm metallerde meydana gelir.
 - Katılaşma, birim metal ağırlığı başına hacimde bir küçülmeye neden olur.
- İstisna: Yüksek karbon (C) içerikli dökme demir
 - Katılaşmanın son aşamasındaki grafitleşme, faz dönüşümüyle ilgili hacimsel azalmanın aksine, genleşmeye neden olur
- Katılaşma büzülmesi sonunda;
 - Sıvı metal seviyesinde bir azalma meydana gelir,
 - Katılaşmanın ilerlemesi ile kalın kesitlerin ortasında yeterli sıvı kalmayacağından boşluk meydana gelir (çekme boşluğu).

Döküm Tekniği – Çekme Payı

- ⦿ Model yapımcıları, kalıp boşluğunun ölçüsünü büyük yaparak ***katılaşma büzülmesi*** ve erime sıcaklığından oda sıcaklığına soğuma esnasında oluşan ***ısı küçülmeyi*** hesaba katarlar.
- ⦿ Kalıbın son döküm boyutuna göre daha büyük yapılma miktarı, ***model çekme payı*** olarak adlandırılır.
 - ⦿ Döküm boyutları, lineer olarak belirtilir.
 - ⦿ Böylece toleranslar buna göre belirlenir.
 - ⦿ Sadece çekme payı değil buna ilaveten işleme payı,
 - ⦿ Modelin kolay sıyrılması için ayırma yüzeyine dik düzlemlere eğim ve
 - ⦿ Maça başı çıkıntıları ilave edilir.

Döküm Tekniği – Yönlendirilmiş Katılaşma

- Buzülmenin zararlı etkilerini en aza indirmek için, sıvı metalden en uzak döküm bölgelerinin ilk önce katılaşması ve katılaşmanın bu bölgelerden yolluğa ve besleyici(ler)e doğru ilerlemesi istenir.
 - Böylece, çekme boşluklarının önlenmesi için erimiş metal sürekli olarak, en son katılaşacak olan besleyiciden çekilebilir ve çekme boşluğu esas döküm parça yerine besleyicide (ya da çıkıcıda) meydana gelir.
 - *Yönlendirilmiş katılaşma* terimi, katılaşma kavramını ve bunun kontrol edildiği yöntemleri kapsar. Bu öncelikle uygun kalıp dizaynı ile yapılmaya çalışılmalıdır. Bu yolla gerçekleşmiyor ise uygun yerlerde besleyici veya yerine çıkıcı, iç ve dış soğutucular, yalıtım levhaları kullanılabilir.

Döküm Tekniği – Yönlendirilmiş Katılma

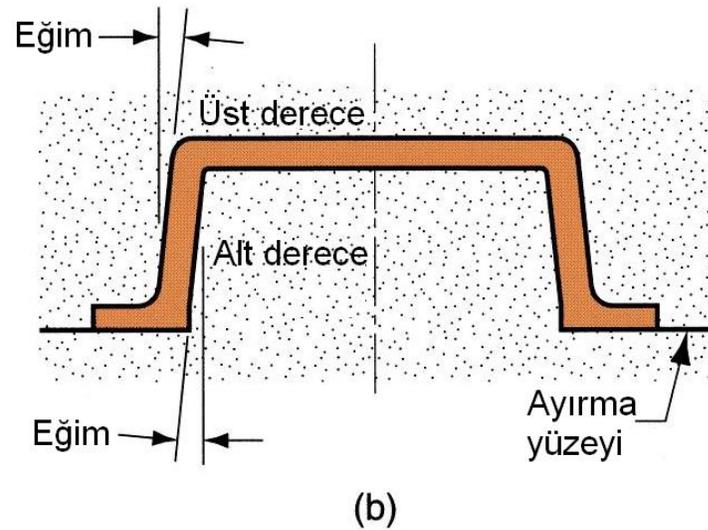
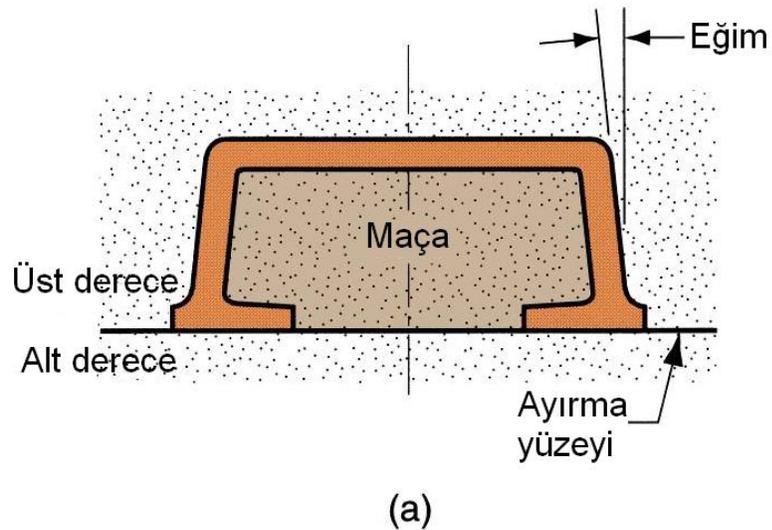
- ⦿ İstenen yönlendirilmiş katılma, dökümün kendisini, kalıbı, yönlendirilmesini ve bunu besleyen besleyici sistemini tasarlamak için Chvorinov kuralını kullanarak yapılır.
- ⦿ Dökümün küçük **V/A** oranına sahip kesitlerinin besleyiciden uzağa yerleştirilmesiyle, katılma ilk olarak bu bölgelerde başlar ve dökümün diğer bölgeleri için sıvı metalin önü açık kalır.
- ⦿ **Soğutucular:** Dökümün belirli bölgelerinde hızlı katılmayı sağlayan iç ve dış ısı emicilerdir.
- ⦿ **Çıkıcı:** Atmosfere açık besleyicilere çıkıcı denir.
- ⦿ **Besleyici:** Dökümden ayrılan ve sonraki dökümleri yapmak için yeniden eritilen bir atık metaldir.
 - Bir işlemde atık miktarını en aza indirmek için, besleyicideki metal hacminin en düşük değerde olması istenir.
 - Besleyici geometrisi genelde, **V/A** oranını en büyük yapacak şekilde seçildiğinden, bu durum besleyici hacminin mümkün olan en düşük değere indirilmesini sağlar.

Dökümde Ürün/Parça Tasarım İlkeleri

- Geometrik basitlik:
 - Döküm, karmaşık parça geometrilerinin oluşturulmasında kullanılabilmesine rağmen, parça tasarımında basitlik, genellikle dökülebilirliği artırır
 - Gereksiz karmaşıklıktan kaçınılması:
 - Kalıp yapımını basitleştirir
 - Maça ihtiyacını azaltır
 - Dökümün dayanımını artırır
- Döküm parçalardaki köşeler:
 - Gerilme odağı olduklarından ve sıcak yırtılma ve çatlamalara neden olabileceklerinden, keskin köşe ve açılardan kaçınılmalıdır
 - İç köşelerde büyük radyüslü (çaplı) köşe dolguları tasarlanmalı ve keskin kenarlar yuvarlaklaştırılmalıdır

Dökümde Ürün/Parça Tasarım İlkeleri

- Yüzeylerin eğimi
 - Genleşebilen kalıba dökümde yüzey eğimi, modelin kalıptan çıkarılmasını sağlar.
 - Eğim = 1° (kum döküm için)
 - Kalıcı kalıba dökümde amaç, parçanın kalıptan çıkarılmasına yardımcı olmaktır.
 - Eğim = 2° to 3° (kalıcı kalıba döküm yöntemleri için)
 - Eğer dolu maçalar kullanılıyorsa, benzer eğimler sağlanmalıdır.



Parça tasarımındaki küçük değişiklikler, maça ihtiyacını azaltabilir.

Dökümde Ürün/Parça Tasarım İlkeleri

- Boyut Toleransları ve Yüzey Kalitesi:
 - Yönteme bağlı olarak dökümde boyutsal doğruluklarda önemli farklılıklara ve yüzey kalitelerine ulaşılabilir:
 - Kum dökümde kötü boyutsal doğruluklar ve yüzey kalitesi
 - Basınçlı ve hassas dökümde yüksek boyutsal doğruluklar ve yüzey kalitesi
- Talaş Kaldırma Toleransları:
 - Kum dökümde gerekli boyutlara ve parça özelliklerine ulaşmak için hemen tüm dökümlerin talaşlı işlenmesi gerekir
 - Döküm üzerinde, talaş kaldırmanın gerekli olduğu tüm yüzeylerde, *Talaşlı işleme toleransı* olarak adlandırılan ilave malzeme bırakılır
 - Kum dökümler için tipik talaşlı işleme toleransları 1,5 ile 3 mm arasındadır

MUTK215 – Havacılıkta İmalat İşlemleri

İmâl Usûlleri / Döküm

Metal Döküm Yöntemleri

Bu dersin içeriği:

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

Önemli Başlıklar

- Kum Kalıba Döküm
- Diğer Bozulabilir Kalıba Döküm Yöntemleri
- Kalıcı Kalıba Döküm Yöntemleri
- Basınçlı Döküm
- Savurma Döküm

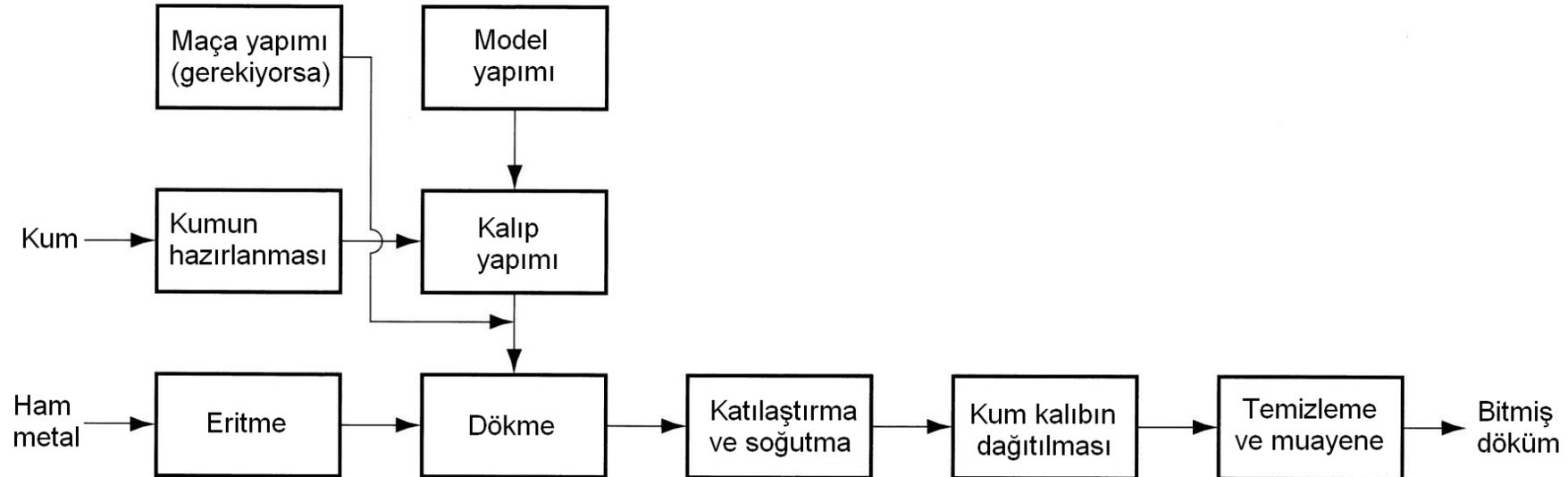
Döküm Yöntemlerinin İki Kategorisi

- 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 bozmadan açmak gerektiğinden geometriler sınırlıdır

Kum Kalıba Döküm

- 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

Aşamaları, sadece döküm işlemini değil, ayrıca model yapımını ve kalıp yapımını da içerir.

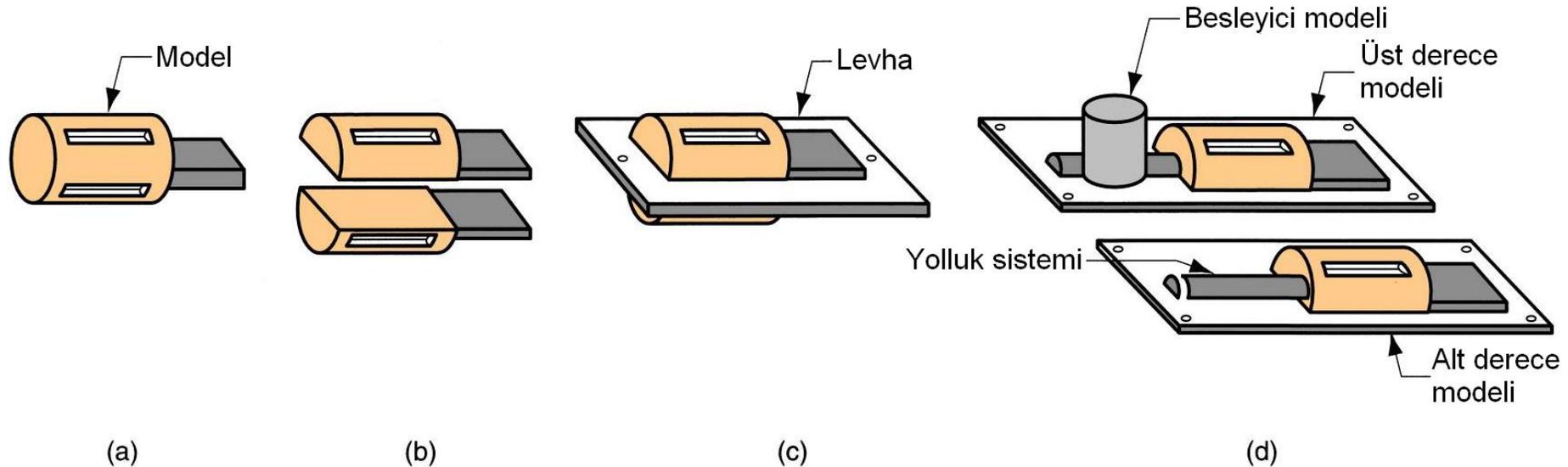


Döküm – Model Türleri

- 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

Kum kalıba dökümde kullanılan model türleri:

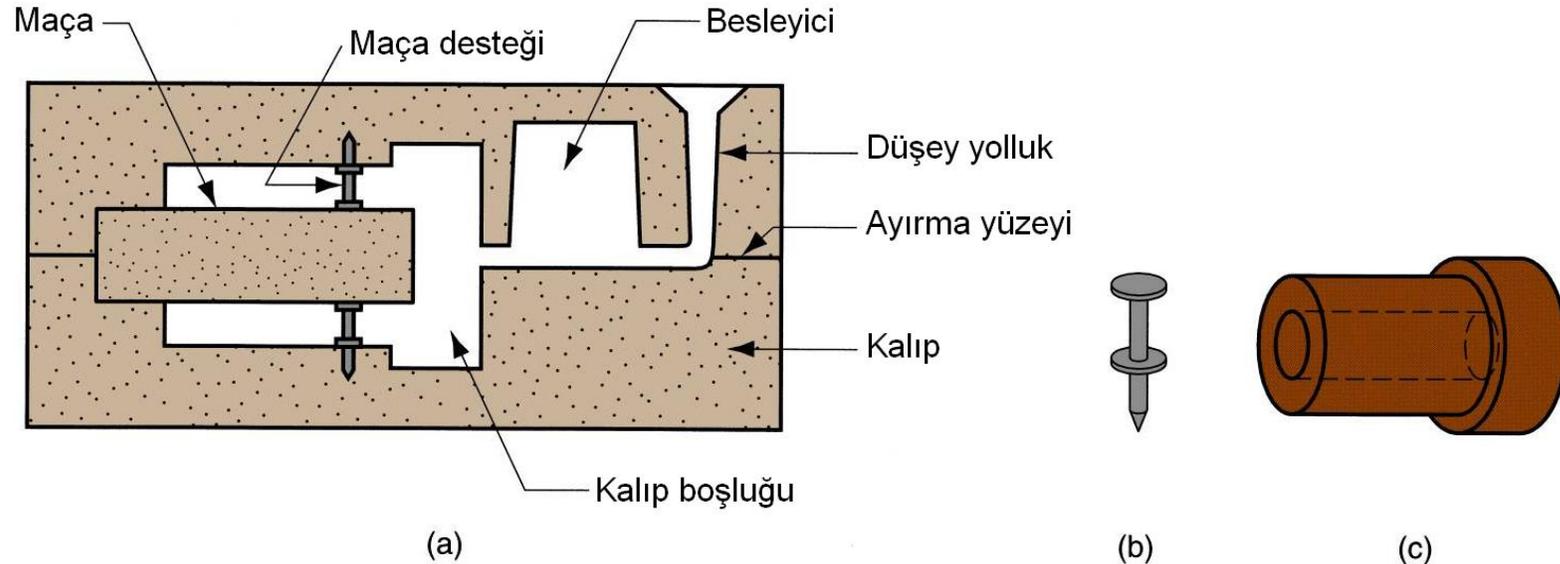
(a) Serbest model (b) Ayrık serbest model (c) Çift taraflı Levhalı model (d) Tek taraflı Levhalı modelleri



Döküm – Maça

Maça: Parçanın iç yüzeylerinin tam ölçekli modeli

- Dökmeden önce kalıp boşluğuna yerleştirilir. Dökme sırasında konumunun bozulmaması için *maça desteği* denilen parçalar gerekebilir.
- Sıvı metal, dökümün iç ve dış yüzeylerini oluşturmak üzere, kalıp cidarı ile maça arasına akar ve katılaştır
- 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 daha dayanıklı üretilirler.



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

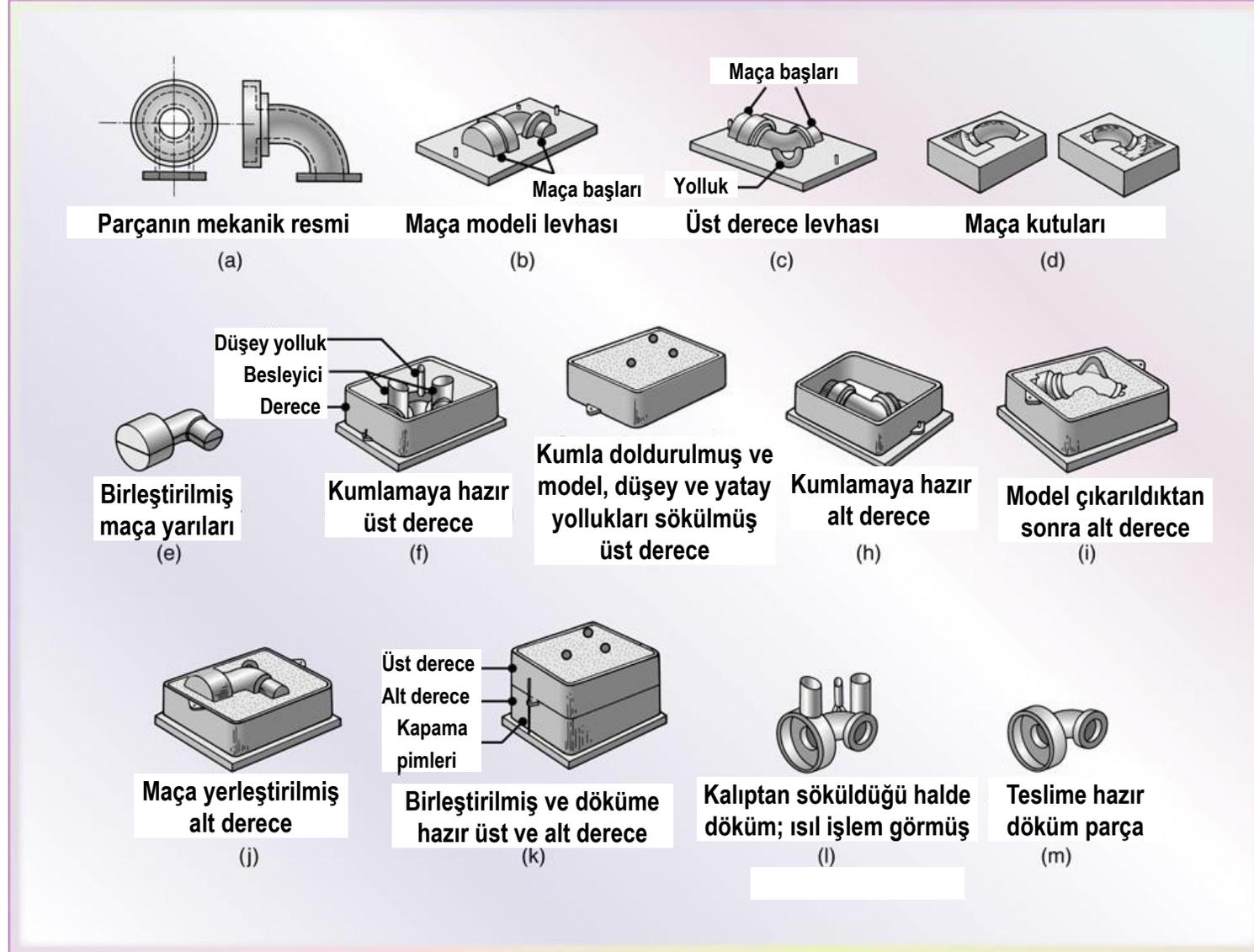
Döküm:

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 terk etmesine izin vermek, bağlayıcı, nem miktarı ve 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

Kum Dökümde İşlem Sırası

- Döküm Tekniğinde Aşamalar:



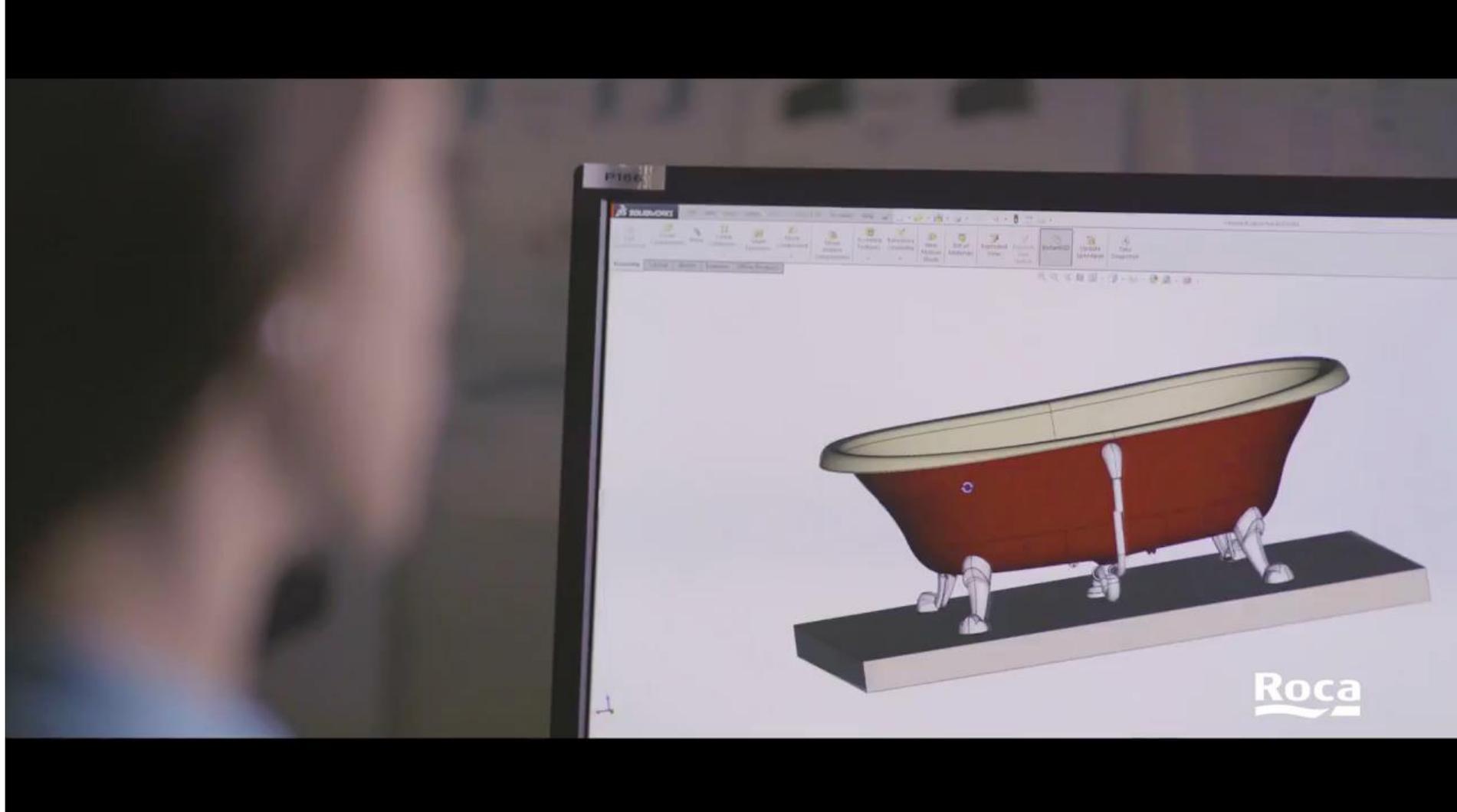
Demir Döküm Parça Örneği: Küvet

- Örnek Video:

Cast iron - Production processes | Roca

<https://www.youtube.com/watch?v=Bcdf5ziPr8Q>

Demir Döküm Parça Örneği: Küvet



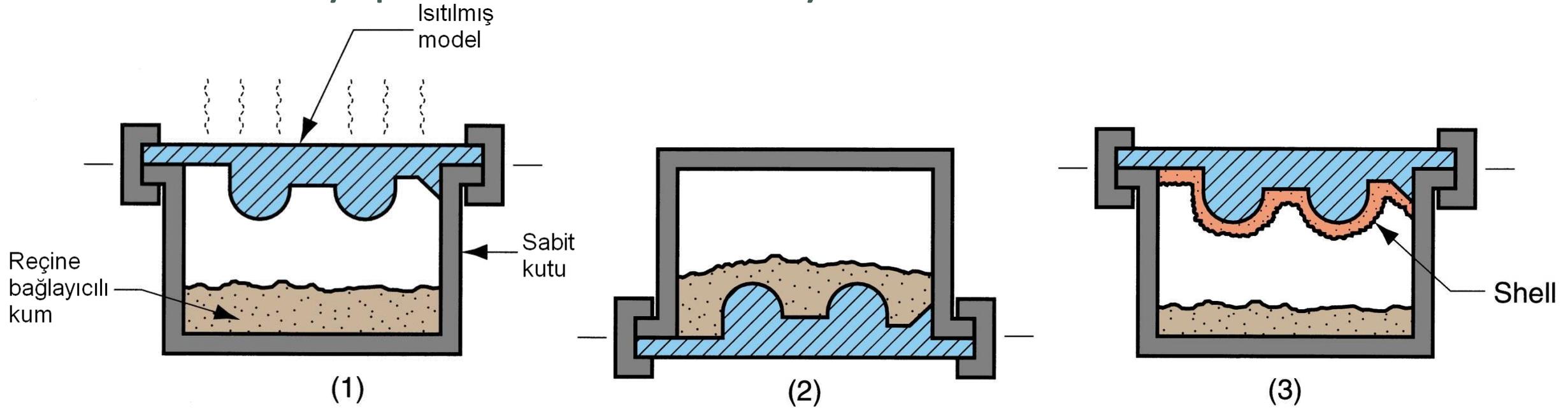
Döküm – Diğer Bozulabilir Kalıp Yöntemleri

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



Döküm – Kabuk Kalıplama

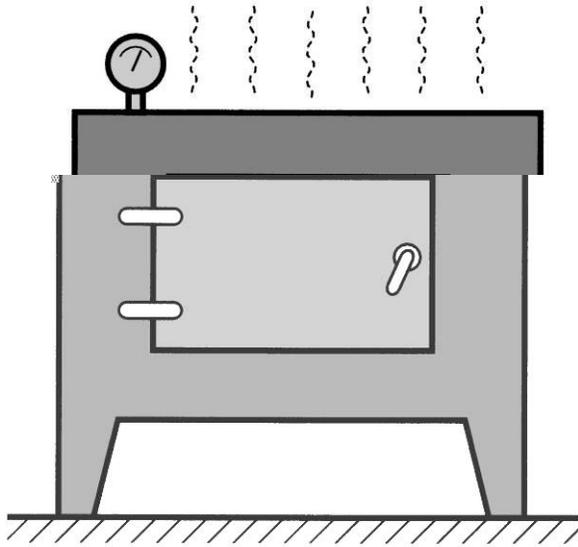
- Termoset reçine bağlayıcı ile birleştirilmiş ince kum dan oluşan kabuktan yapılan kalıba döküm yöntemi



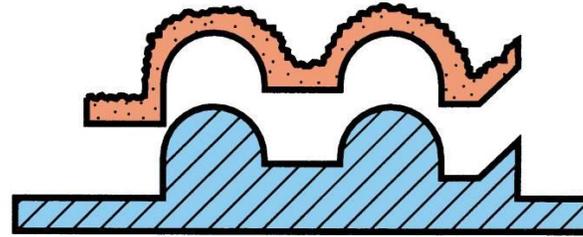
Kabuk kalıplamada aşamalar: (1) Bir metal levhalı model veya üst ve alt derece modeli ısıtılarak, termoset reçineli ince kum içeren bir kutu üzerine yerleştirilir. Kabuk kalıplamada aşamalar: (2) kum ve reçinenin sıcak model üzerine düşerek kısmen sertleşmiş, dayanıklı bir kabuk oluşturabilmesi için kutu ters çevrilir; (3) gevşek, sertleşmemiş tanelerin düşerek uzaklaşması için kutu eski haline getirilir;

Döküm – Kabuk Kalıplama

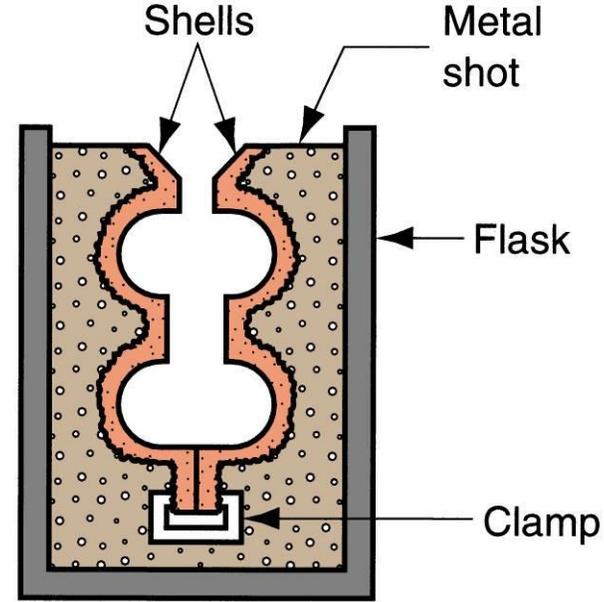
■ Kum Kalıplamada Aşamalar



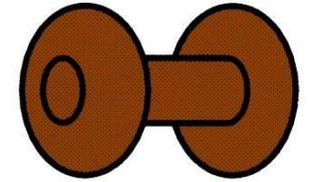
(4)



(5)



(6)



(7)

(4) kum kabuk, sertleştirme tamamlanana kadar fırın içinde birkaç dakika daha ısıtılır;

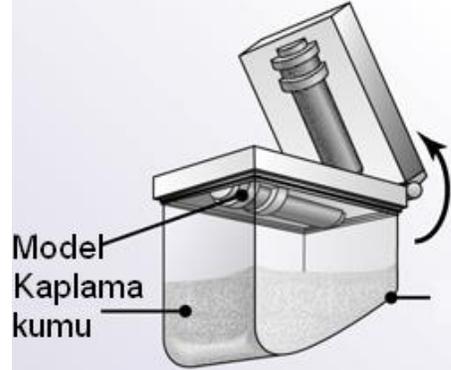
(5) kabuk kalıp modelden sıyrılır;

(6) Kabuk kalıbın iki yarısı, birleştirilir, bir kutu içinde çakıl veya metal bilyelerle desteklenir ve döküm gerçekleştirilir;

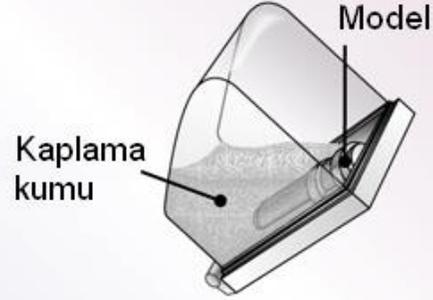
(7) Yolluklu bitmiş ürün döküm çıkarılır

Kabuk Kalıplamada İşlem Sırası

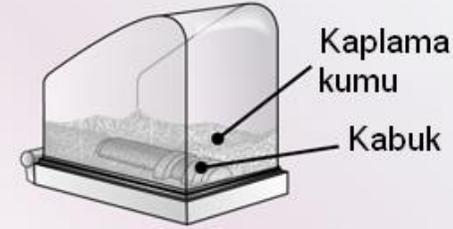
- Kabuk kalıplamada aşamalar



1. Model çevrilir ve kutuya tespit edilir



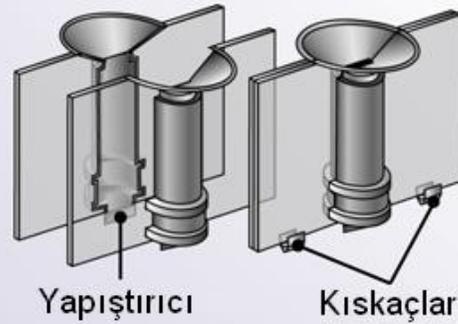
2. Model ve kutu çevrilir



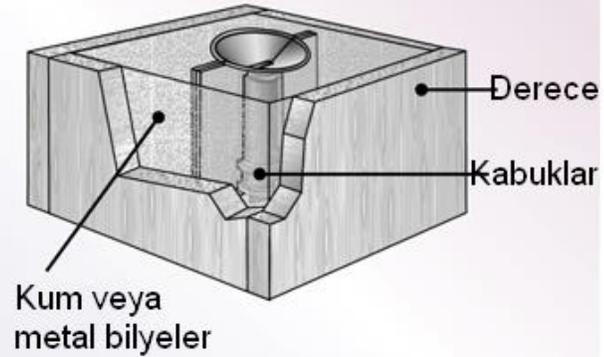
3. Model ve kutu, kabuk oluşturmak için gereken pozisyonda



4. Model ve kabuk kutudan çıkarılır



5. Kalıp yarıları birbirine yapıştırılır

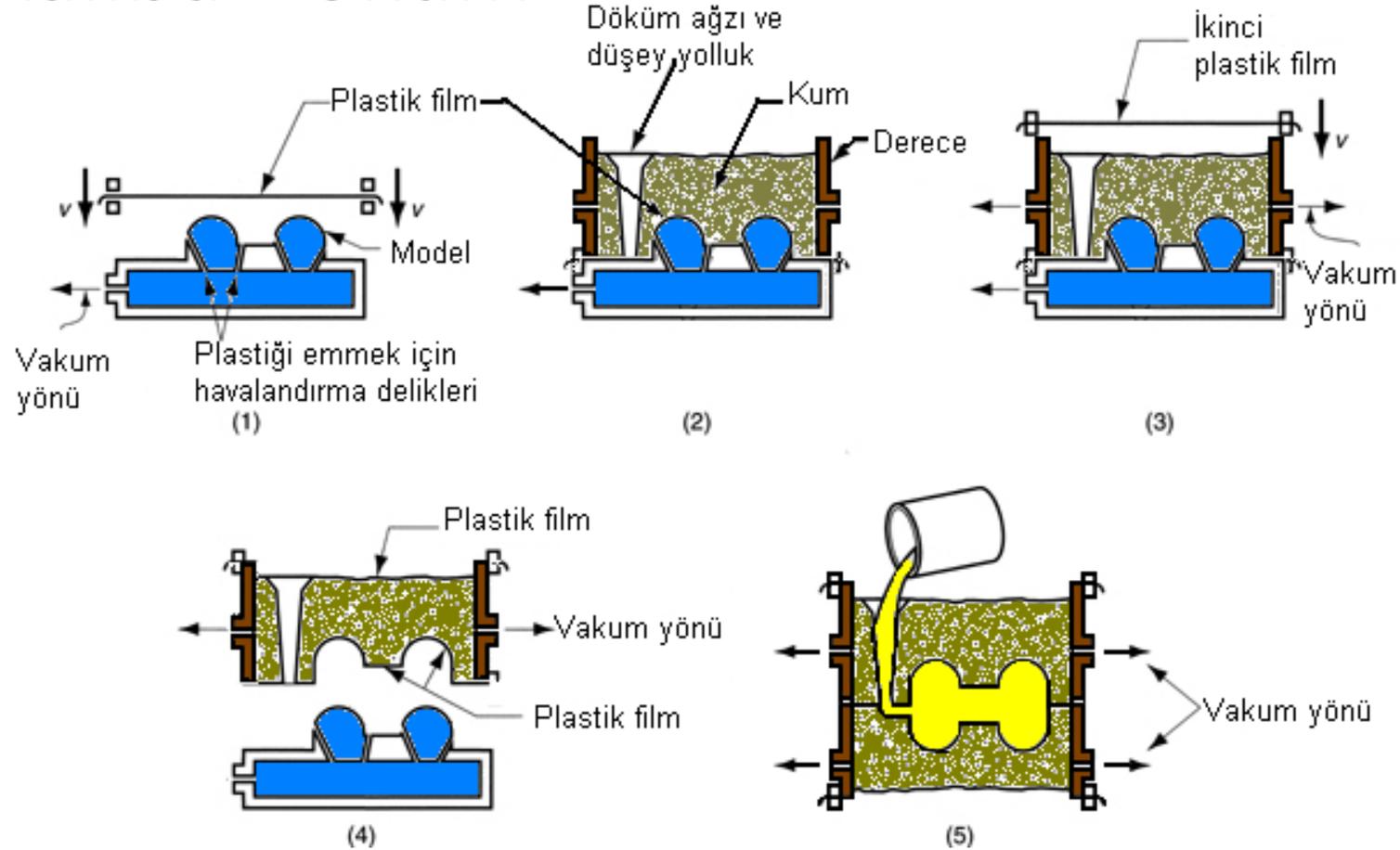


6. Kalıp kuma yerleştirilir ve döküm yapılır

Kabuk Kalıplama – Üstün ve Zayıf Yönleri

- 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

Vakum Kalıba Döküm



Vakum kalıplamada işlem aşamaları:

(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 yarılıarı aynı şekilde hazırlandıktan sonra birleştirilerek kalıp oluşturulur

Vakum Kalıba Döküm

Bozulabilir kalıpta, kimyasal bağ yerine vakum basıncıyla bir arada tutulan kum kullanılır.

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

Vakum kalıplamanın üstün ve zayıf yönleri:

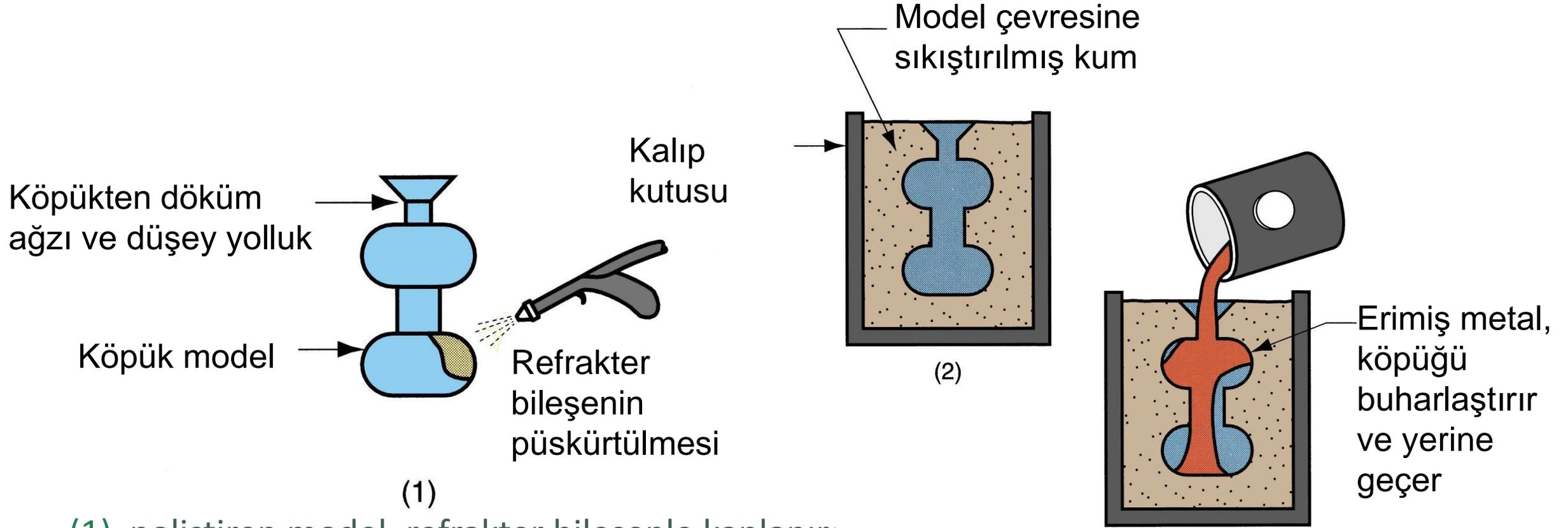
- **Üstünlükleri**
 - Bağlayıcı olmadığından, kum kolayca geri kazanılır, Kum, bağlayıcı kullanılan duruma göre mekanik yeniden şartlandırma gerektirmez
 - Kuma su karıştırılmadığından, nemle ilgili hatalar oluşmaz
 - İnce taneli kum ve folyo kullanımı sıvı metalin akıcılığı ile parça yüzey kalitesini olumlu etkiler
 - Gürültüsü az, çevreyi kirletmeyen ve vakumdan dolayı gaz boşluğu oluşmayan bir döküm
- **Zayıflıkları**
 - Görece yavaş proses
 - Mekanizasyona kolayca uyarlanamaz
 - Parça boyutu sınırlı

Genleşen Polistiren (Kaybolan Model) Yöntemi

Erimiş metal kalıba döküldüğünde buharlaşan bir polistiren (strafor) köpük model çevresine sıkıştırılmış kum kalıp kullanılır. **(Kapalı Kalıp)**

- Diğer isimleri: kayıp-köpük yöntemi, kayıp model yöntemi, kaybolan 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

Genleşen Polistiren (Kaybolan Model) Yöntemi - Kapalı Kalıp



- (1) polistiren model, refrakter bileşenle kaplanır;
- (2) köpük model bir kalıp kutusuna yerleştirilir ve modelin çevresine kum sıkıştırılır;
- (3) erimiş metal, modelin döküm ağzı ve düşey yolluğu oluşturan kısmına dökülür. Metal kalıba girdikçe, ilerleyen sıvının önündeki polistiren köpük buharlaşır, böylece kalıp boşluğu dolar

Genleşen Polistiren (Kaybolan Model) Kapalı Kalıp Yöntemi

- 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
- 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

Hassas Döküm (Kayıp Mum) Yöntemi

Kalıbı yapmak için mumdaki yapılan bir model, **refrakter malzeme**yle 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.
- Kuyumcu dökümü olarak da anılır, mücevher üretiminde çokça kullanılır.

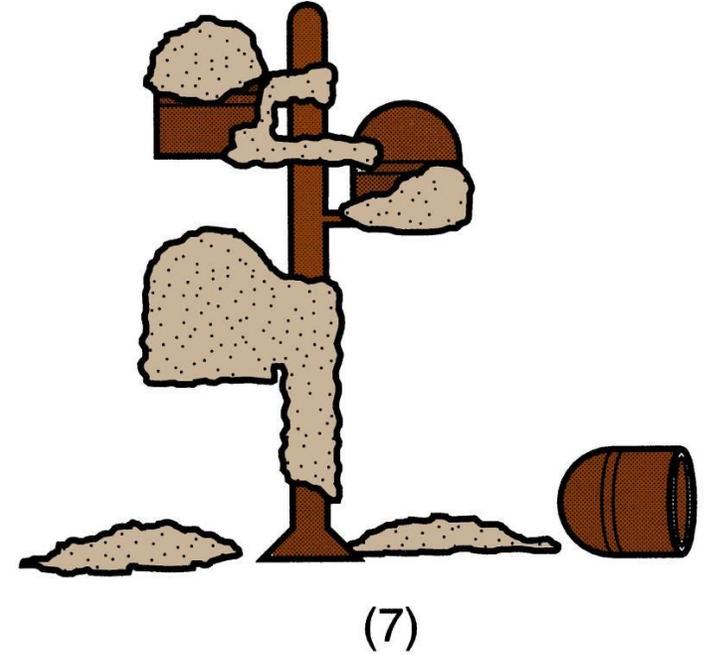
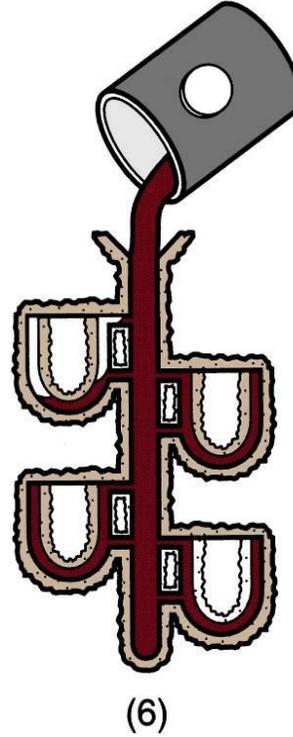
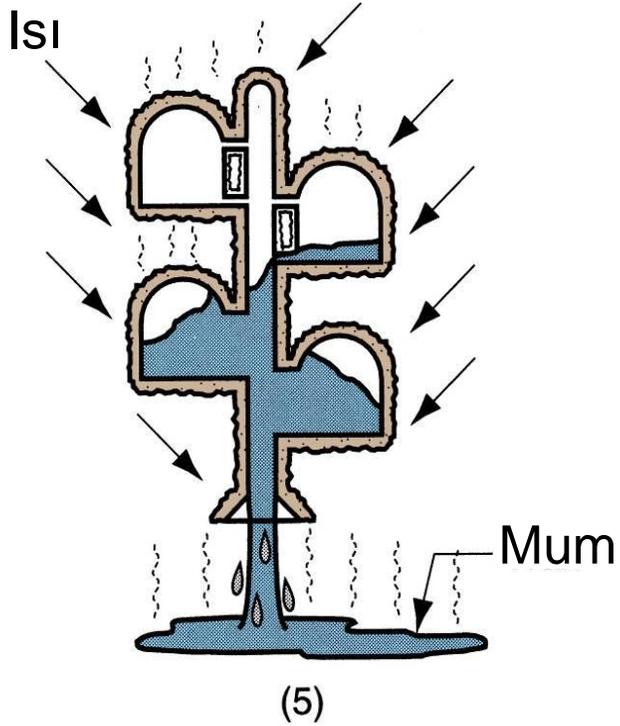


Hassas Dökümün Aşamaları



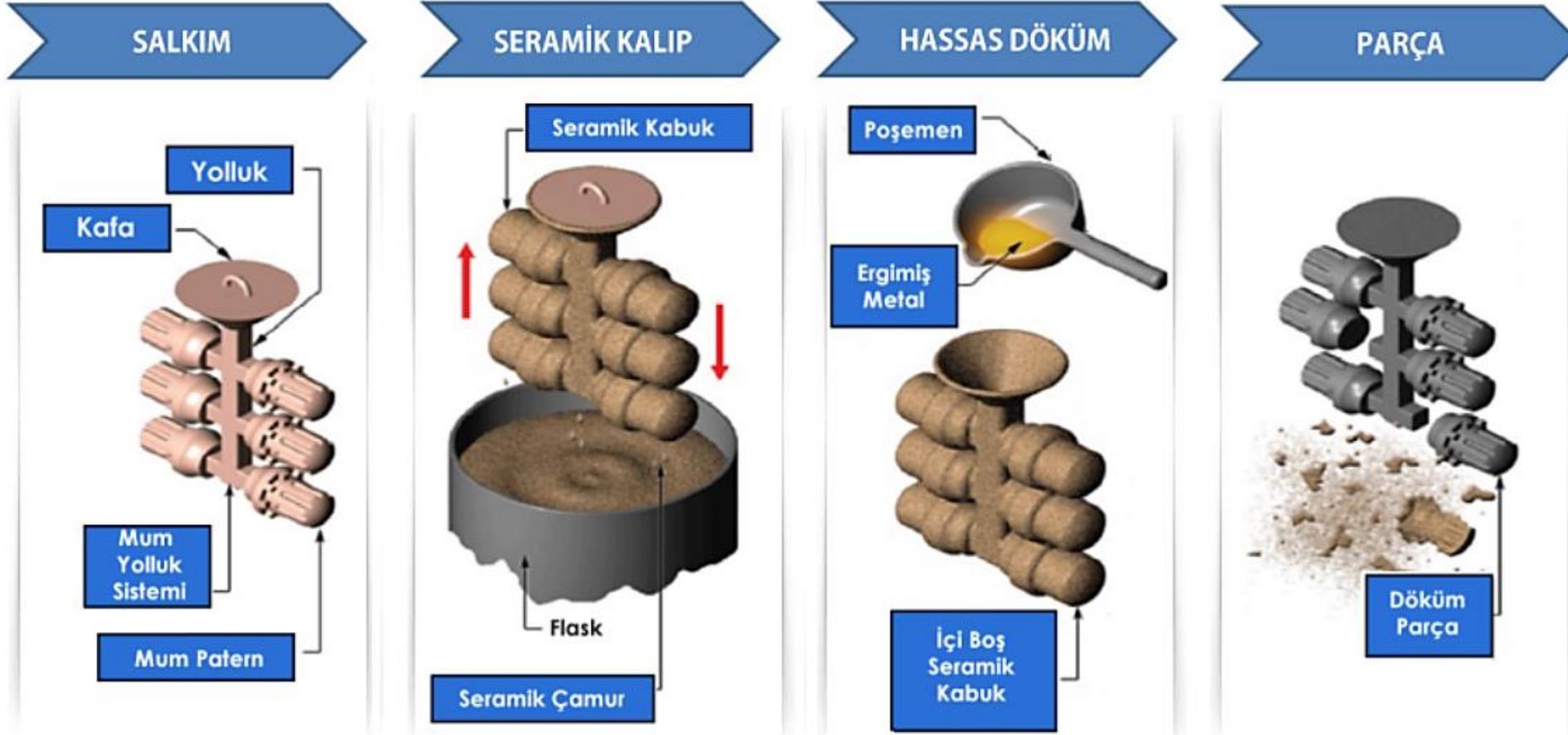
- (1) mum modeller oluşturulur
- (2) birkaç model, bir model salkımı (mum ağacı) oluşturmak üzere birbirine tutturulur
- (3) model salkımı, önce seramik çamuruna batırılır ardından seramik tozlarına tutulur
- (4) Yeterli kalınlığa gelene kadar işlem tekrarlanarak kurumaya bırakılır

Hassas Dökümün Aşamaları

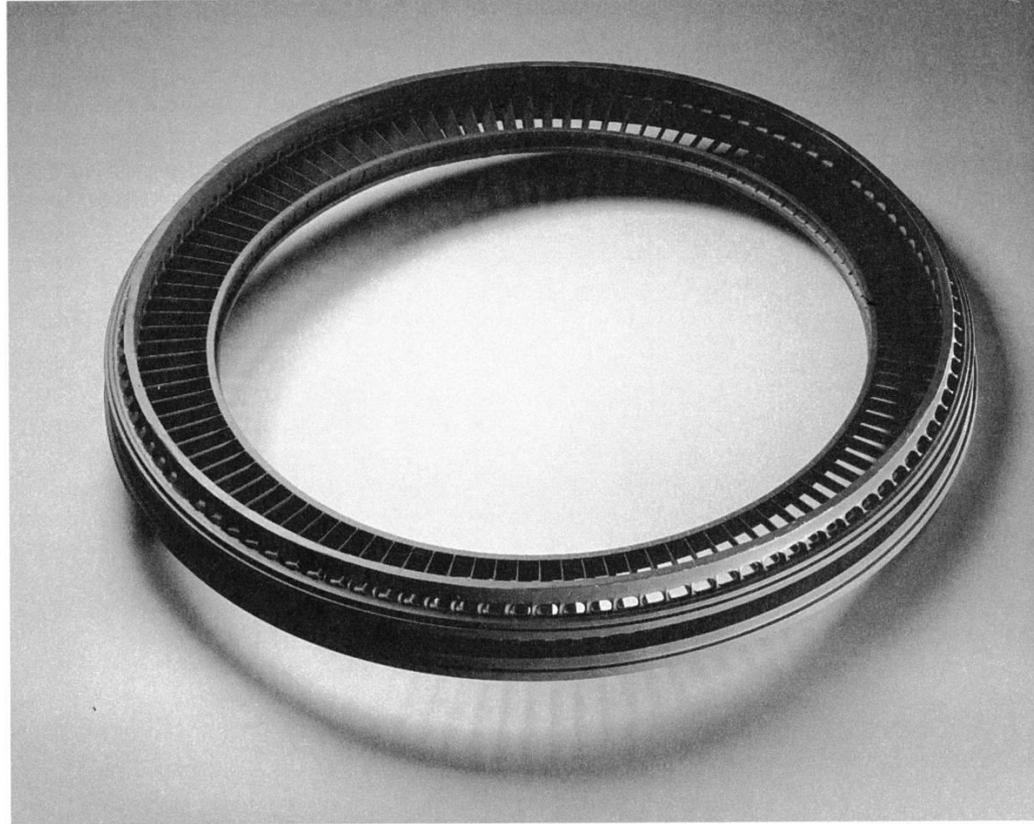


- (5) kalıp ters çevrilir ve mumun kalıp boşluğundan eriyerek akması için bir etüvde (fırın) ısıtılır,
- (6) kalıp, yüksek bir sıcaklığa ön tavlânır, erimiş metal dökülür ve katılaştır;
- (7) kalıp kırılarak bitmiş döküm çıkarılır ve parçalar yolluktan ayrılır

Hassas Döküm (Kayıp Mum) Yöntemi



Hassas Döküm Yöntemi – Örnekler



- Hassas dökümle elde edilmiş, 108 ayrı kanatçıklı yekpare (tek parça) bir kompresör statoru

Hassas Döküm Yöntemi – Örnekler



- Mum model salkımının refrakter malzeme (alçı, seramik vb.) ile kaplanması



- Salkım modeller

Hassas Döküm Yöntemi – Örnek Video

- Örnek Video:

Hassas Döküm - Serpa Hassas Döküm

<https://www.youtube.com/watch?v=0fBUGHaRvIE>

Hassas Döküm Yöntemi – Örnek Video



Hassas Dökümün Üstün ve Zayıf Yönleri

- **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 adımı gerekir. Yavaş bir prosestir.
- Nispeten pahalı bir yöntemdir.
- Mekanizasyonu nispeten zordur.
- Model mumu enjeksiyon kalıbı gibi gereksinimler vardır. (Genellikle alüminyum malzemedен ve yüksek basınçta mum enjeksiyonuna uygun olacak, çekme payları dikkate alınacaktır.)

Alçı Kalıba Döküm

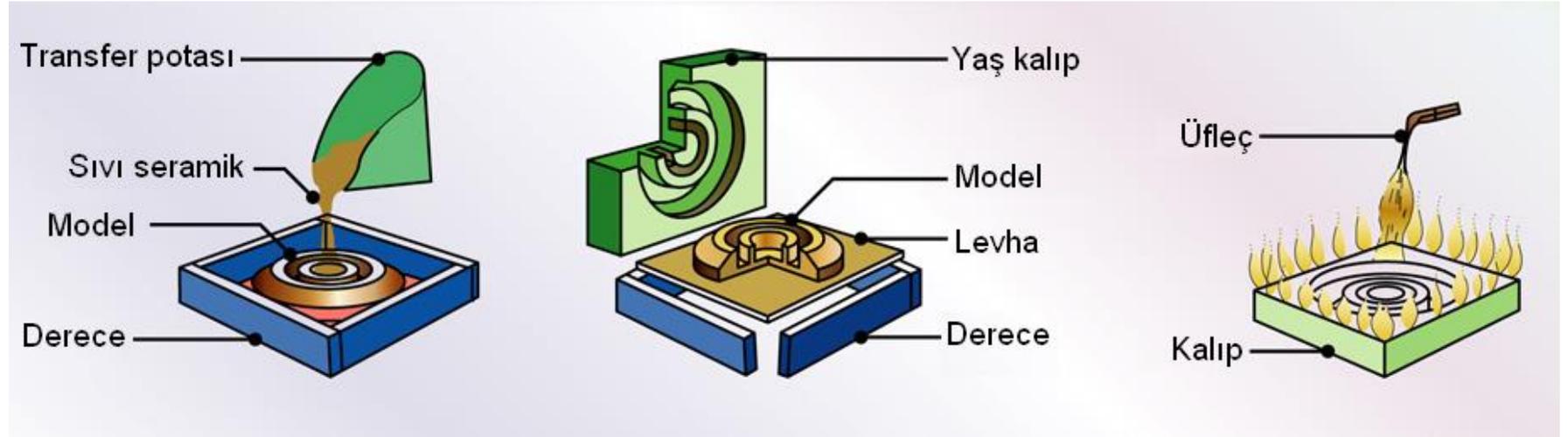
Kum kalıba benzer ancak kalıp alçıdan yapılır

- Kalıp yapımında alçı ve su karışımı, plastik veya metal modelin üzerine dökülür ve sertleşmesi beklenir. *(Ahşap modeller suyla temas ettiklerinde genleştiklerinden genellikle kullanılmaz)*
- Alçı karışımı, ince detayları ve yüksek yüzey kalitesi oluşturarak modelin çevresinde kolayca akar ve sıkıştırma gerekmediğinden narin (mum gibi) ve yumuşak model malzemeleri kullanılabilir.
- Alçı kalıba dökümün **üstünlükleri:**
 - Yüksek doğruluk ve yüzey kalitesi
 - İnce kesitlerin yapılabilmesi. Kesit farklılıkları sorun oluşturmaz
 - Yüzeyler çok düzgün çıkar
- Alçı kalıba dökümün **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)

Seramik Kalıba Döküm

Alçı kalıba döküme benzer; ancak kalıp, alçıya göre daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen refrakter seramik malzemedendir.

- 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) alçı kalıba benzerdir.
- Pahalıdır.



1. Sıvı seramiğin dökülmesi

2. Yaş kalıbın çıkarılması

3. Yakma / Fırın

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

Kokil (Metal) Kalıba Döküm Yöntemi

- Örnek Video:

KOKIL KALIBA PARÇA DÖKÜMÜ NASIL YAPILIR...

https://www.youtube.com/watch?v=VzyS_r1j6SM

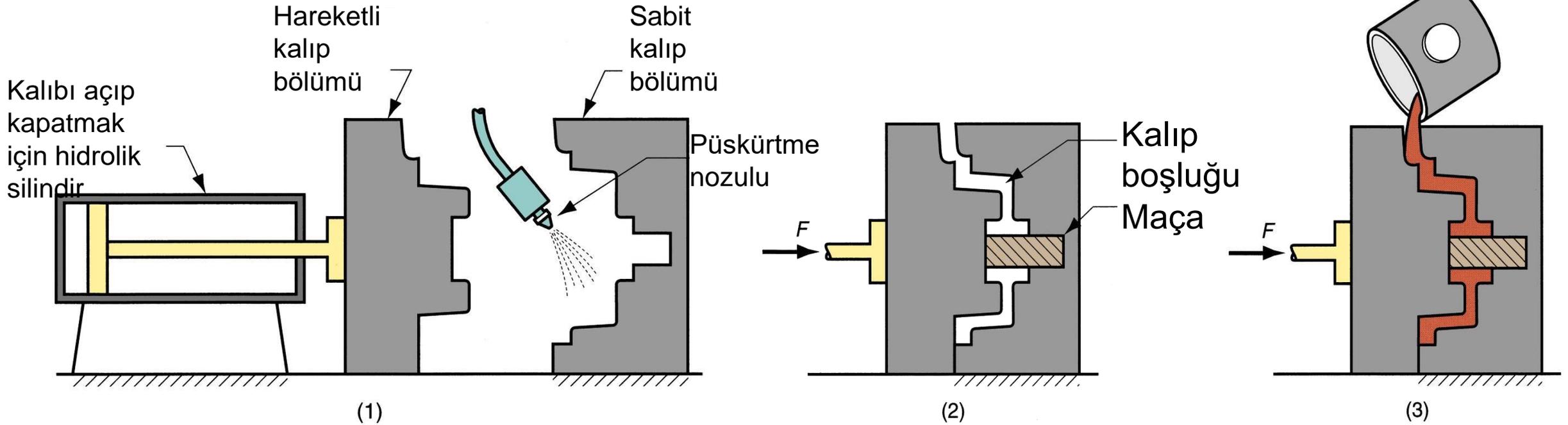
Kokil (Metal) Kalıba Döküm Yöntemi

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 malzemedен yapılmalıdır.



Kokil Kalıba Dökümde Aşamalar



- (1) kalıp ön tavlınır ve kalıp ayırıcı bir sıvı ile yağlanır
- (2) maçalar (kullanılıyorsa) yerleştirilir ve kalıp kapatılır
- (3) erimiş metal, içinde katılaşacağı kalıba dökülür

Kokil Kalıba Döküm – Üstün ve Zayıf Yönleri - Uygulamaları

- **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

Uygulamaları:

- Yüksek kalıp maliyeti nedeniyle, yöntem yüksek üretim miktarlarında ekonomik olur ve buna göre otomasyona uygun hale getirilebilir
- Tipik parçalar: otomotiv pistonları, pompa gövdeleri ve uçak parçası dökümleri
- Yaygın dökülebilen metaller: alüminyum, magnezyum, bakır esaslı alaşımlar ve dökme demir

Basınçlı Döküm

- Sıvı metal kalıp boşluğunu basınç altında doldurur. Ergiyik malzeme kalıp boşluğuna doğru itilerek zorlanırken, iki kalıp yarısını uygun şekilde yakın ve tam kapalı tutacak biçimde, makine ve kalıp tasarımı yapılır

İki temel basınçlı makine türü:

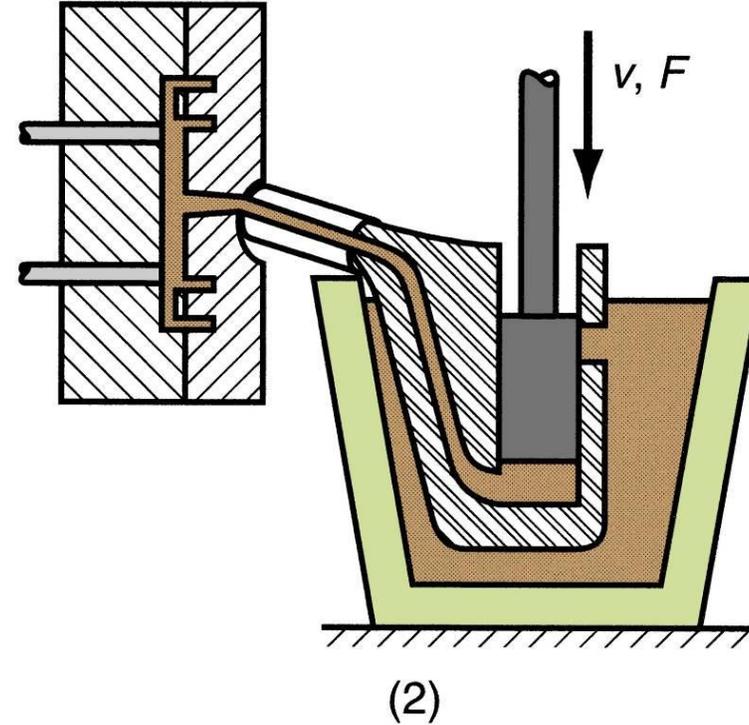
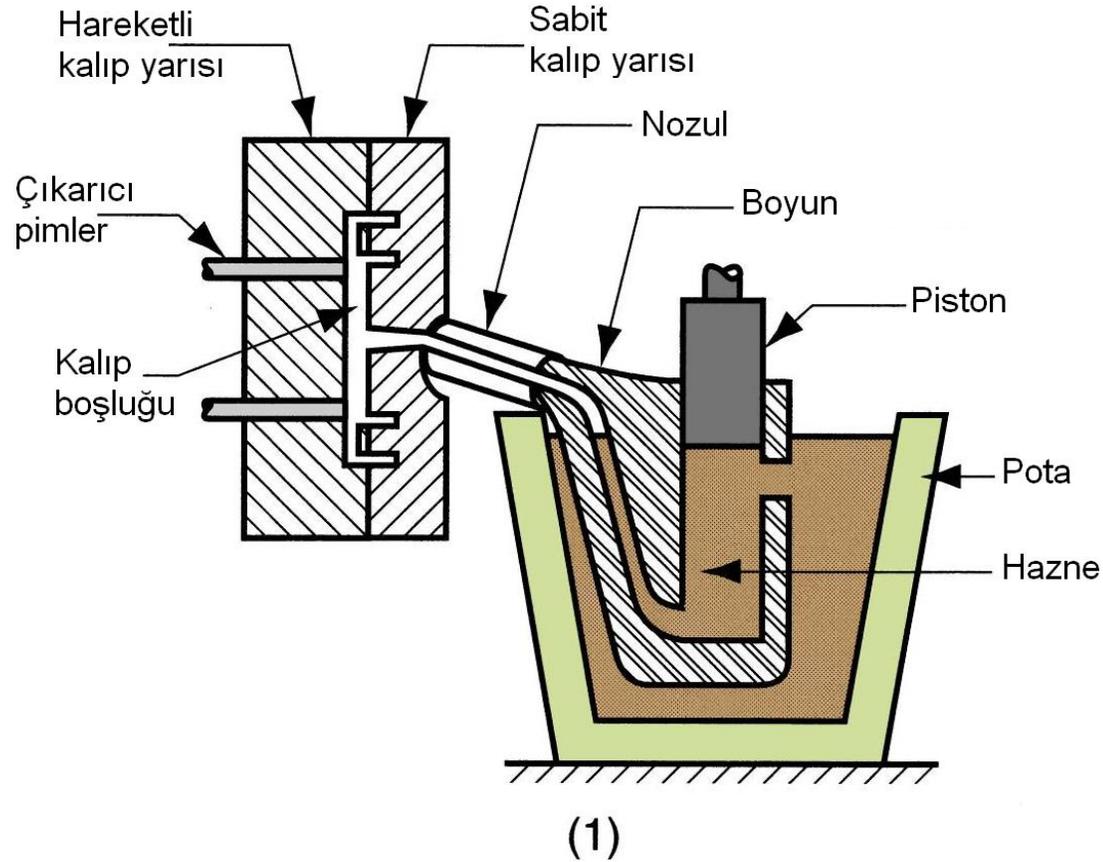
1. Sıcak hazneli makina
2. Soğuk hazneli makina

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-piston ikilisini ve diğer mekanik bileşenleri kimyasal olarak etkilemeyen, düşük sıcaklıkta eriyen metallerle sınırlıdır
- Döküm metalleri: çinko, kalay, kurşun ve magnezyum

Sıcak Hazneli Basıncı Döküm



Sıcak hazneli döküm çevrimi:

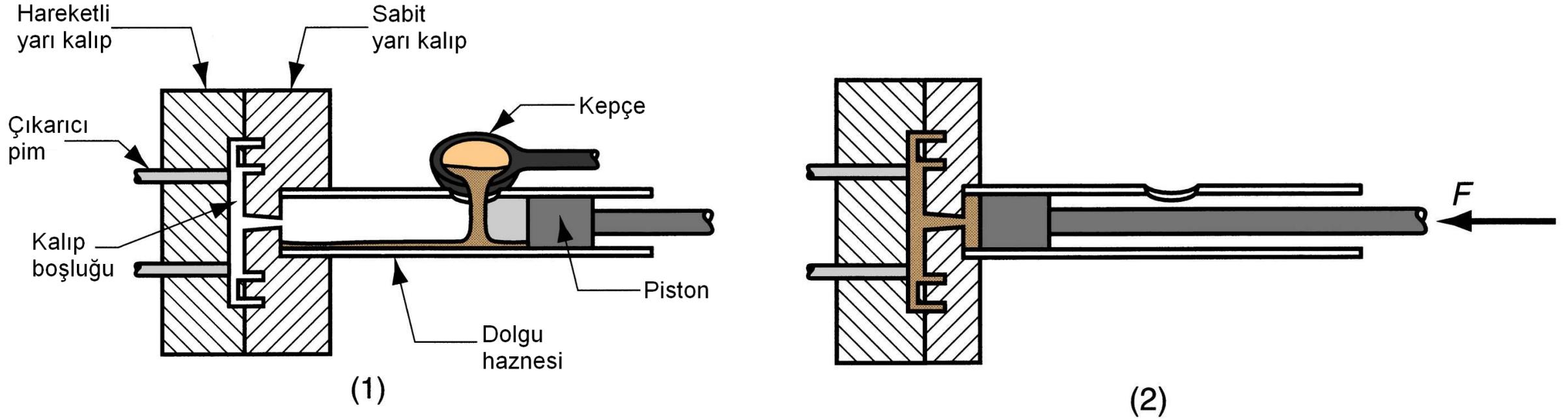
- (1) kalıp kapalı ve piston gerideyken, erimiş metal hazneye doğru akar
- (2) zımba haznedeki metali kalıbın içine akmaya zorlar ve soğuma ve katılaşma sırasında basıncı sürdürür

Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm

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 (iter, basar) 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).

Soğuk Hazneli Basıncılı Döküm



Soğuk hazneli basınçlı döküm çevrimi:

(1) kalıp kapalı ve piston gerideyken erimiş metal hazneye dökülür

(2) Piston hareket ettirilerek metali kalıp boşluğuna akmaya zorlarken soğuma ve katılaşma sırasında basıncı sürdürür

Basınçlı Döküm

Kalıpları,

- Genellikle takım çeliğinden, kalıp çeliğinden veya düşük karbonlu çelikten [*maraging steel*] yapılır
- Dökme çelik ve dökme demirin kalıplanması için Tungsten ve Molibdenli (yüksek refrakter özellik) 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.

• 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

Savurma (Santrifüj) Döküm

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

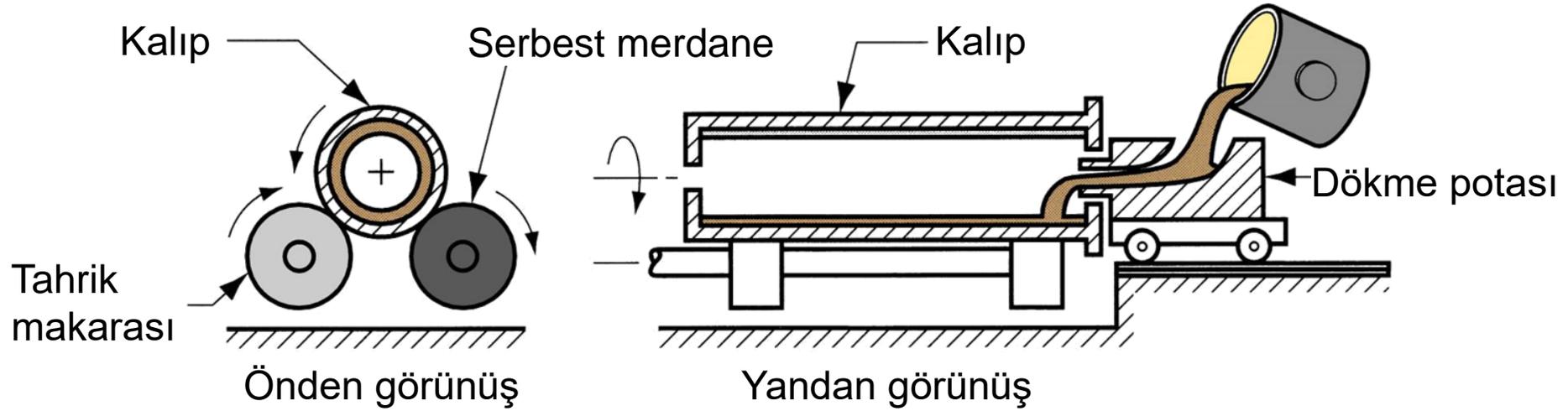
- Bu gruptaki yöntemler:
 - Gerçek savurma döküm
 - Yarı savurma döküm
 - Savurmalı döküm

Gerçek Savurma (Santrifüj) Döküm

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

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

Gerçek Savurma (Santrifüj) Döküm



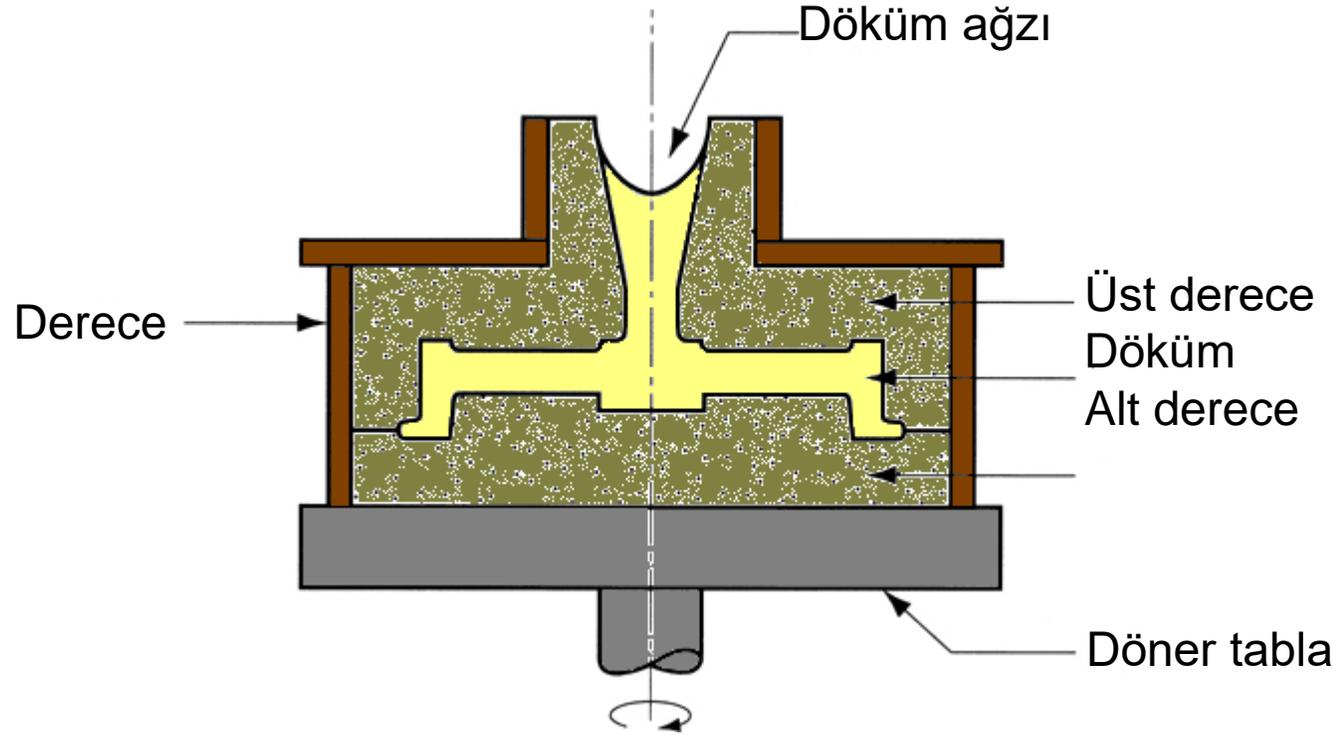
Gerçek savurma döküm yöntemi ile boru dökümü

Yarı Savurma Döküm

Savurma kuvveti, silindirik (boru benzeri) 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, kasnaklar, makaralar

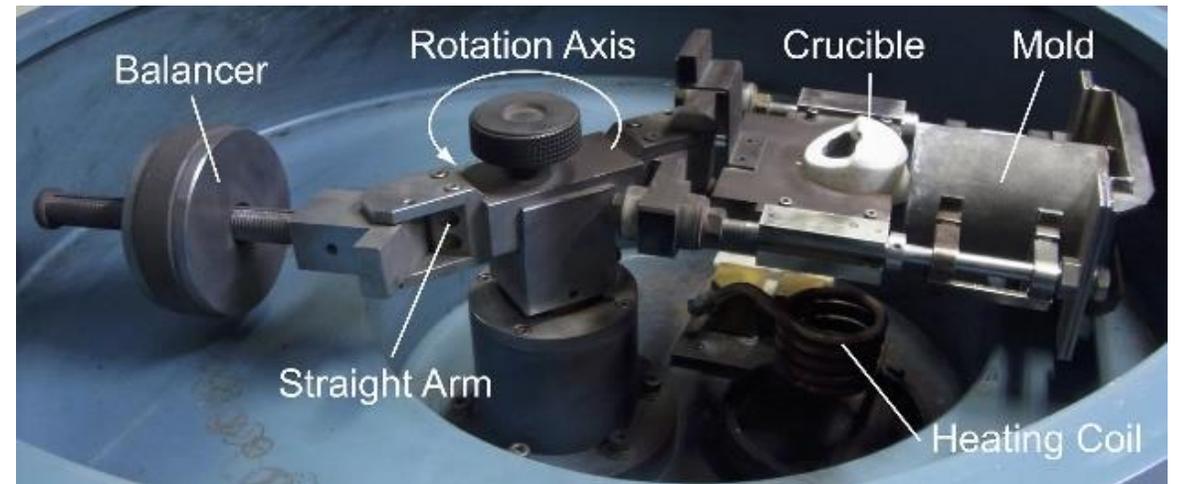
Yarı Savurma Döküm



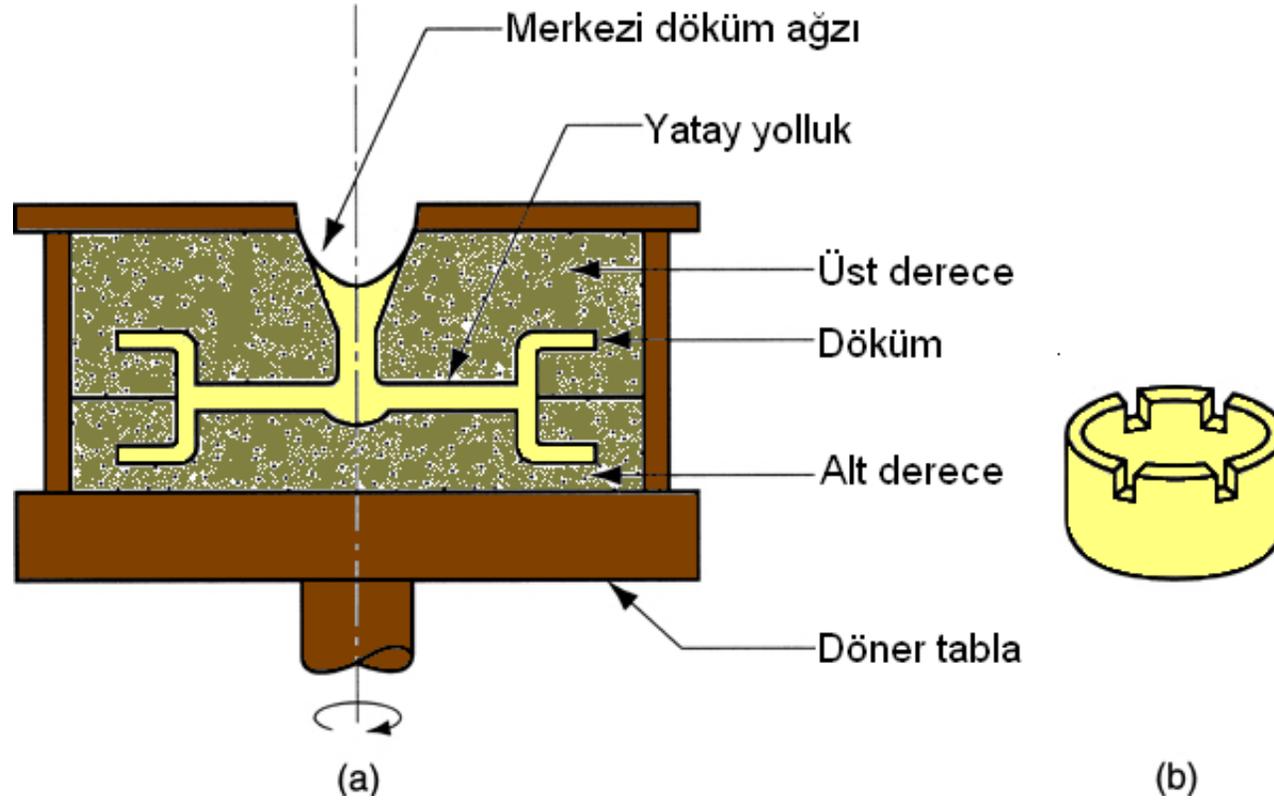
Yarı savurma döküm tekniğinde örnek kalıp kesit görünüşü

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.



Savurmalı Döküm



(a) Savurmalı döküm yöntemi – merkezkaç kuvveti metalin dönme ekseninden uzaklaşarak kalıp boşluklarına akmasına neden olur; (b) döküm (iş) parçası

Kaynak: Ders Notları (web)

- Prof. Dr. Ahmet Aran Ders Notları - Işık Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
 - <http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/dersnotlari.htm>
- Doç. Dr. Turgut Gülmez İmal Usulleri Ders Notları - İTÜ Makina Fakültesi
 - <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI.html>