

Okan Üniversitesi MYO

MUTK215

HAVACILIKTA İMALAT İŞLEMLERİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoğlu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

DERS 4

Havacılıkta İmalat İşlemleri

Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

<http://okanuni.eren.xyz>

Web adresinden indirebilirsiniz.

Önemli Başlıklar

- Katılaşma sonrasındaki aşamalar
- Döküm hataları
- Metal dışı malzemelerin katılaştırılması
- Plastik Enjeksiyon
- Silikon Kalıplama

Döküm / Katılaştırma / Kalıplama

Metal Malzemeye Göre	Kalıp Tipine Göre	Yönteme Göre	Metal Dışı Malzemeler
• Dökme Demir	➤ Kum Kalıba Döküm	❖ Santrifüj	❑ Plastik Enjeksiyon
• Çelik Döküm	➤ Sürekli Kalıba Döküm	❖ Basıncılı	❑ 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	

MUTK215 – Havacılıkta İmalat İşlemleri

İmâl Usûlleri / Döküm

Metal Döküm Ocakları

Döküm İşlemlerinde Kullanılan Ocaklar

- Dökümhanelerde en yaygın kullanılan ocaklar (fırınlar):
 - Kupol ocakları (Cupola Furnace)
 - Potalı ocaklar (Crucible Furnace)
 - Elektrik ark ocakları (Electric Arc Furnace)
 - İndüksiyon ocakları (Induction Furnace)

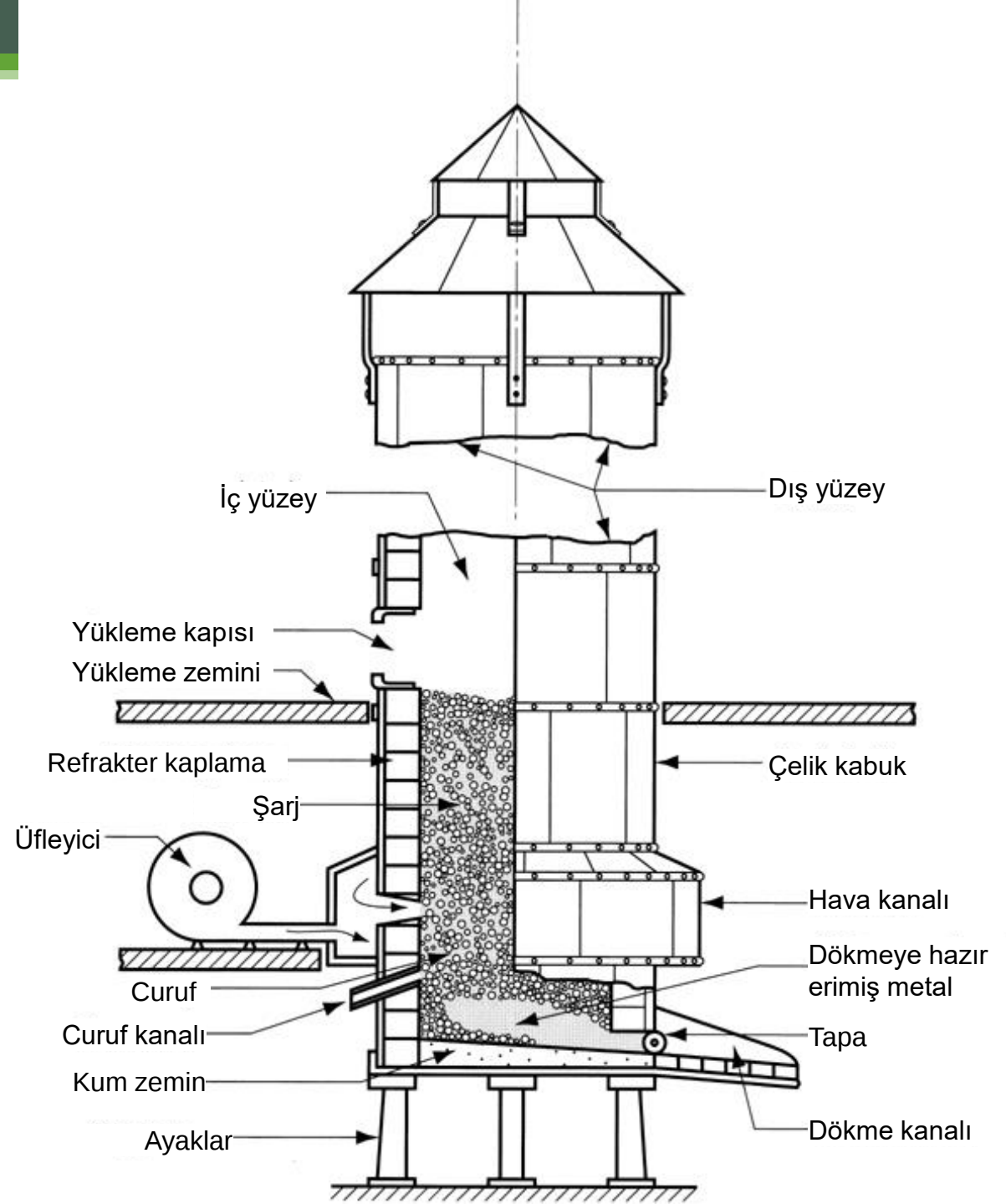
Metal Döküm / Kupol Ocakları

Tabanına yakın yerde döküm ağzı 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

Metal Döküm Kupol Ocakları

Kupol ocağının kesit görünüşü

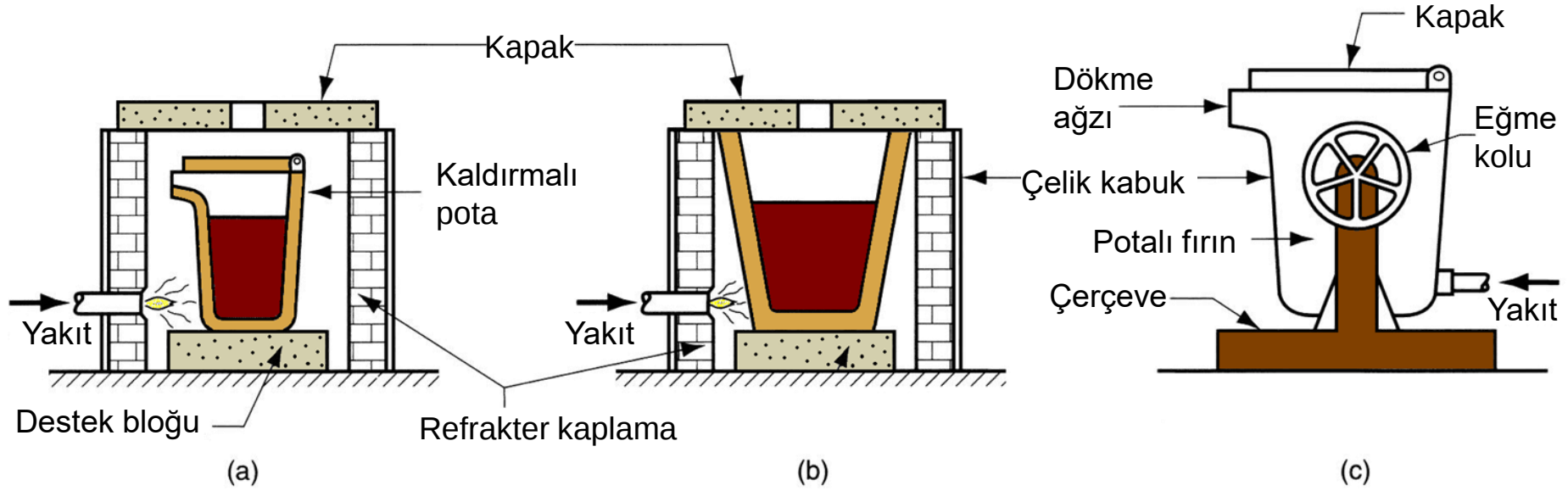


Metal Döküm / Potalı Ocaklar

Metal, yanan yakıt karışımı ile doğrudan temas etmeden erir

- Çok eskiden beri kullanılan basit yapılı ocaklardır
- Kap (pota), refrakter malzemedен veya yüksek alaşımlı çelikten yapılır
- Bronz, pirinç ve çinko ve alüminyum alaşımları gibi demir dışı metaller için kullanılır
- Dökümhanelerde üç türü kullanılır:
 - (a) Kaldırmalı tip
 - (b) Sabit tip
 - (c) Devrilebilen potalı ocak

Metal Döküm / Potalı Ocaklar



Potalı ocakların üç türü: **(a)** kaldırmalı pota, **(b)** erimiş metalin kepçeyle alınması gereken sabit tip ve **(c)** devrilen potalı ocak

Metal Döküm / Elektrik Ark Ocakları

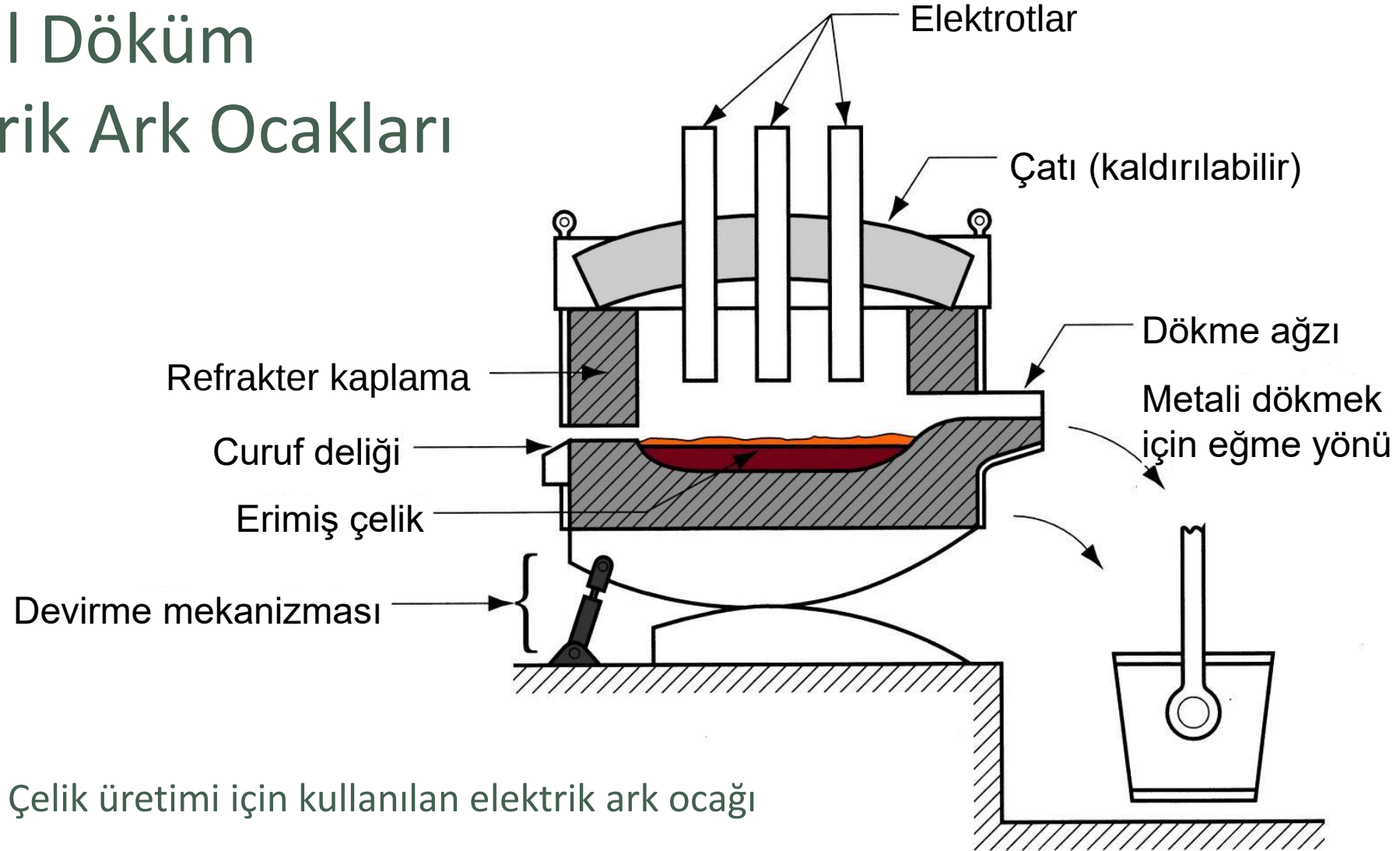
Şarj, bir elektrik arkının ürettiği ısı tarafından eritilir

- 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 mümkündür
- Temiz ve özelliklerin kontrolü kolaydır
- Yüksek sıcaklık (3000 °C)

*Şarj: Hammadde, demir, hurda, alaşımlar vb.

Metal Döküm

Elektrik Ark Ocakları

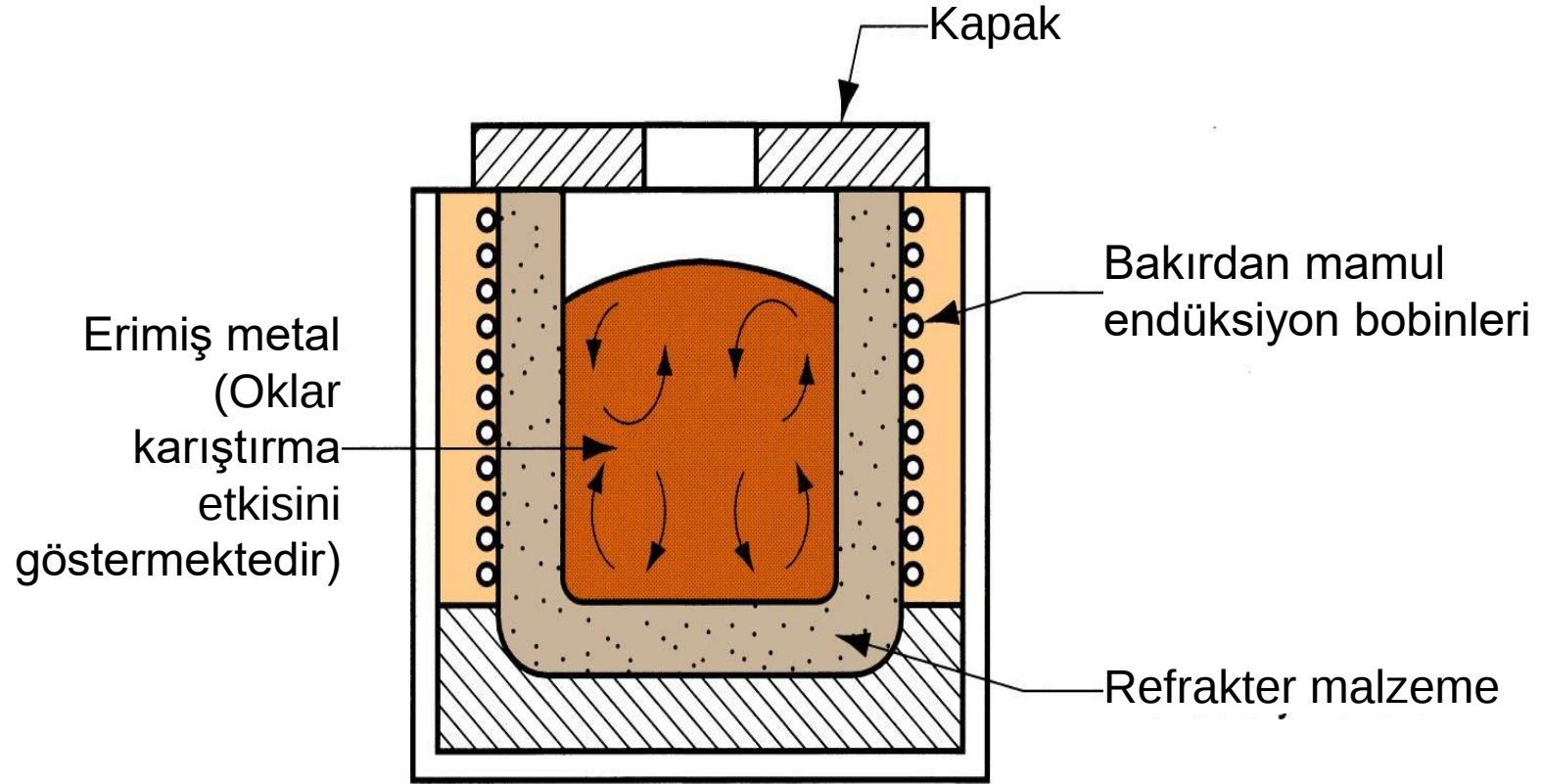


Metal Döküm / İndüksiyon Ocakları

Metal içinde manyetik alan oluşturmak için bir bobinden geçen alternatif akım kullanır

- İndüklenen 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 alaşımlarının dökümünde yaygın kullanılır

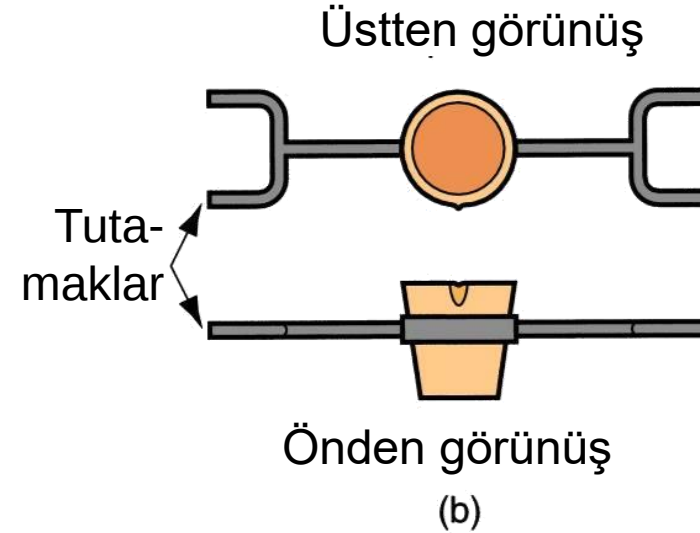
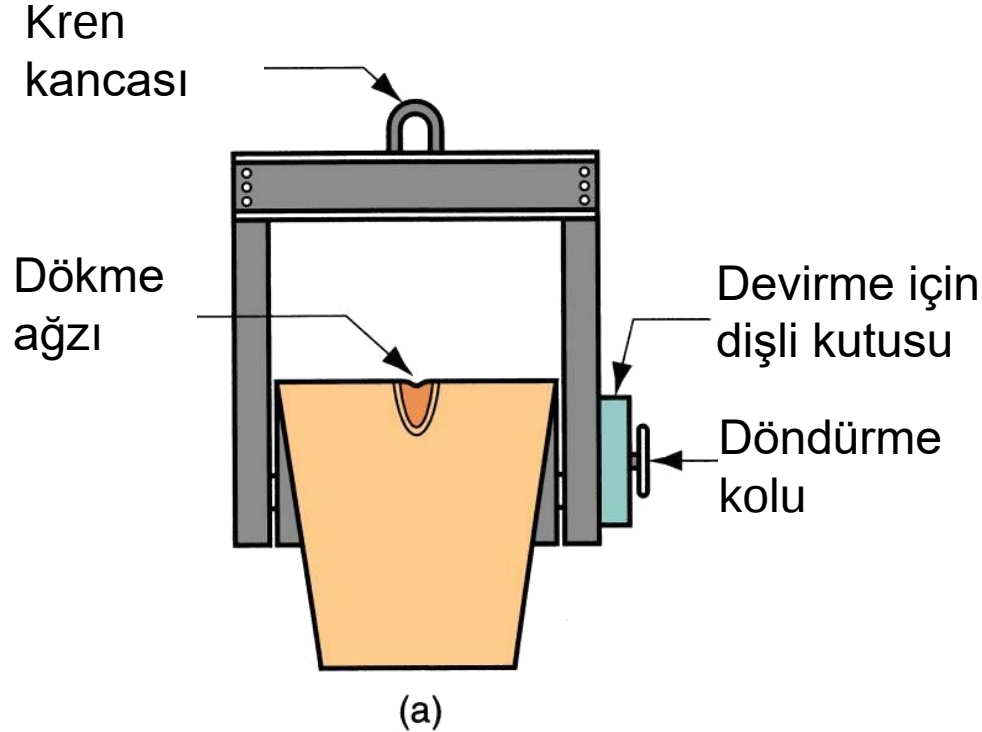
Metal Döküm / İndüksiyon Ocakları



İndüksiyon ocağı temsili kesit görünüşü

Metal Döküm / Kepçeler

- Erimiş metalin, eritme fırınından kalıba sevki, bazen döküm potaları kullanılarak; daha çok da, *kepçeler* yardımıyla yapılır
- İki yaygın kepçe türü: (a) kren kepçe ve (b) iki kişiyle taşınan kepçe



MUTK215 – Havacılıkta İmalat İşlemleri

İmâl Usûlleri / Döküm

Katılaşma Sonrası İşlemler

Metal Döküm / Katılaşmadan Sonraki Aşamalar

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



Metal Döküm / Katılaşmadan Sonraki Aşamalar

Budama:

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

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

Metal Döküm / Katılaşmadan Sonraki Aşamalar

Maçanın Çıkarılması:

Maça kullanılmışsa, bunların uzaklaştırılması gerekir

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

Metal Döküm / Katılaşmadan Sonraki Aşamalar

Yüzey Temizliği:

Döküm parçasının 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 kaçınılabılır
- Dökümde hatalar olabilir ve bunların varlığının ortaya çıkarılması için muayeneye gerek vardır

Metal Döküm / Katılaşmadan Sonraki Aşamalar

Isıl İşlem:

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

Döküm Parçalarının Muayene Yöntemleri

- Eksik dolgu, soğuk yapışma ve diğer ciddi yüzey hatalarının ortaya çıkarılması için ***görsel muayene***
- Toleransların karşılandığını görmek için ***boyut ölçümleri***
- Dökme metalin kalitesiyle ilgili, **metalurjik**, **kimyasal**, fiziksel ve diğer **testler**
- Döküm parçasının içinde kalan ve dışarıdan tespiti mümkün olmayan hataların muayenesi **X-ışını** (röntgen) ve **ultrasonografi** (ultrason) yöntemleri ile yapılabilir

MUTK215 – Havacılıkta İmalat İşlemleri

İmâl Usûlleri / Döküm

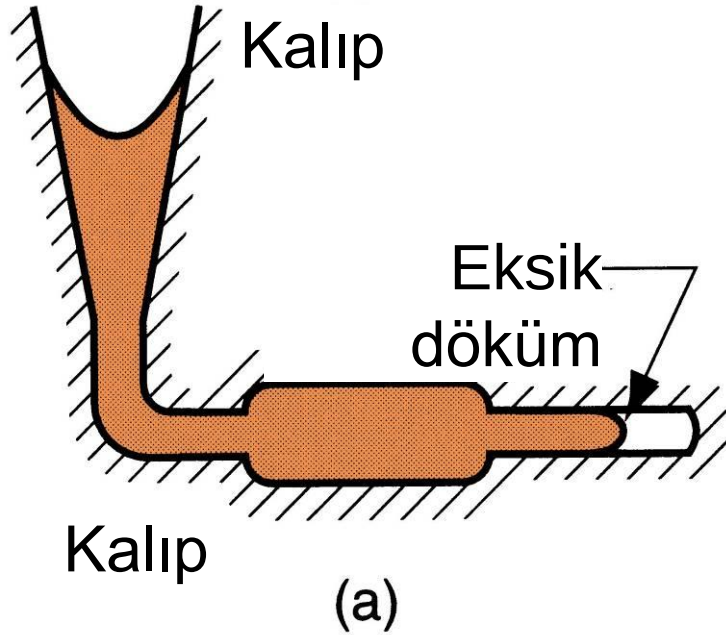
Döküm Hataları

Metal Döküm Kalitesi ve Hatalar

- Döküm işleminde, üründe/parçada kalite hatalarıyla sonuçlanacak pek çok yanlış işlemin yapılma olasılığı vardır
- Hatalar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir
 - Genel Hatalar: Tüm döküm yöntemlerinde görülebilecek yaygın hatalar
 - Kum döküm işlemiyle ilgili hatalar

Döküm Kalitesi / Genel Hatalar: Eksik Döküm

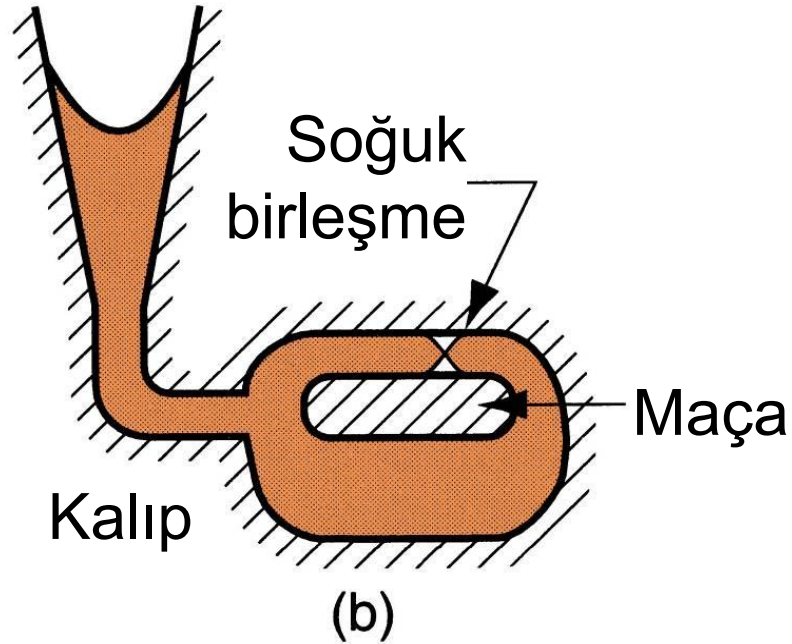
- Kalıp boşluğu tamamen dolmadan katılaşan döküm



Dökümdeki bazı yaygın hatalar: (a) eksik döküm

Döküm Kalitesi / Genel Hatalar: Soğuk Birleşme

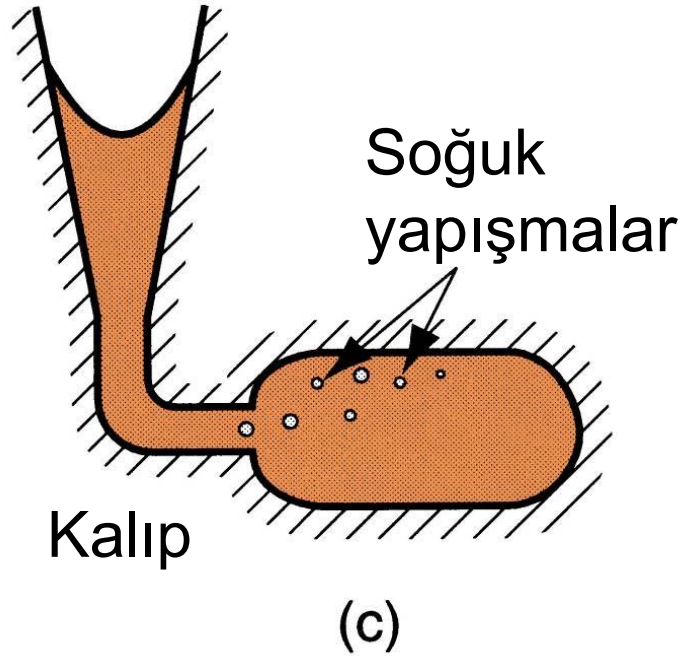
- Metalin iki parçası maça etrafında birlikte akar ancak erken katılaşma nedeniyle soğuk birleşme hatası oluşur



Dökümdeki bazı yaygın hatalar: (b) soğuk birleşme

Döküm Kalitesi / Genel Hatalar: Soğuk Yapışma

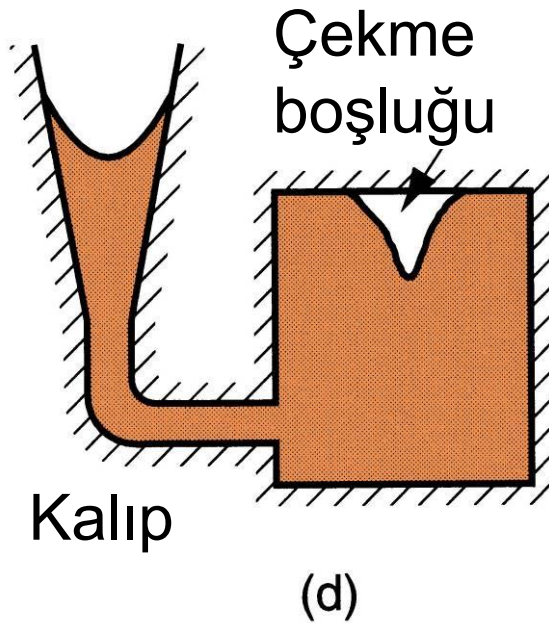
- Döküm sırasında metal zerrecikleri ve katı taneler oluşur, döküm içinde kalırlar



Dökümlerdeki bazı yaygın hatalar: (c) soğuk yapışma

Döküm Kalitesi / Genel Hatalar: Çekme Boşlukları

- Dökümün en son katılaşılan bölgesinde bulunabilecek sıvı metal miktarı azaldığından katılaşma büzülmesinin neden olduğu yüzey çökmesi veya iç boşluk



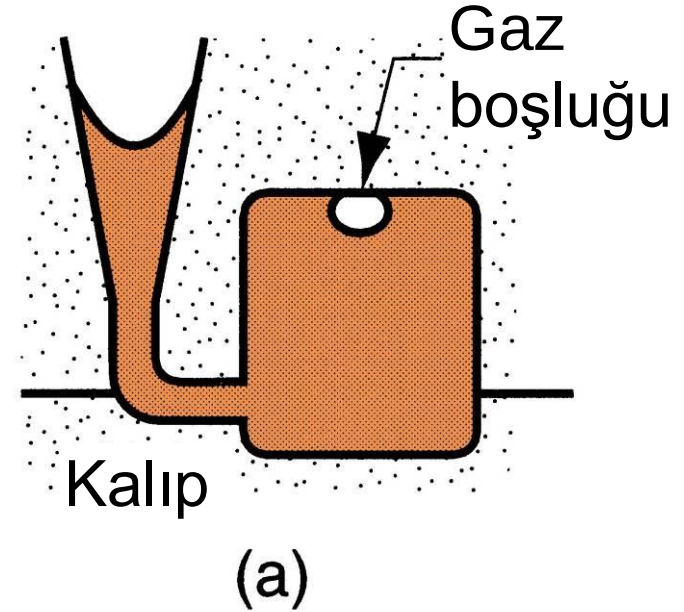
Dökümlerdeki bazı yaygın hatalar: (d) çekme boşluğu

Döküm Kalitesi / Kum Döküm Hataları

Gaz Boşluğu

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

Kum dökümlerdeki yaygın hatalar: (a) gaz boşluğu

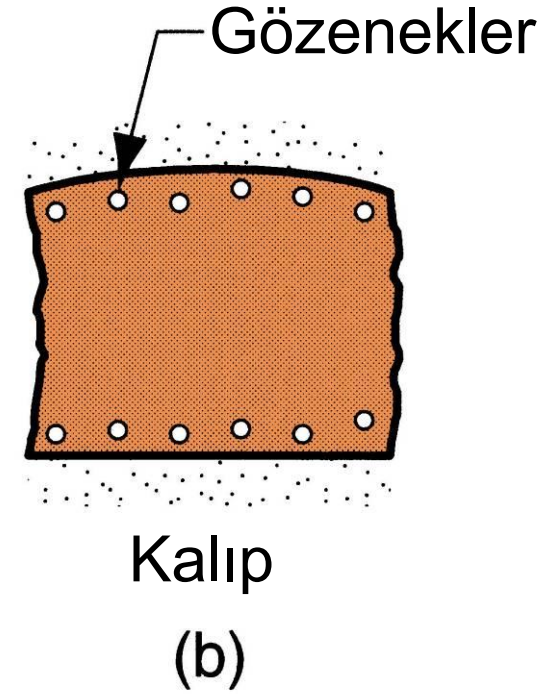


Döküm Kalitesi / Kum Döküm Hataları

Gözenekler

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

Kum dökümlerindeki yaygın hatalar: (b) gözenekler

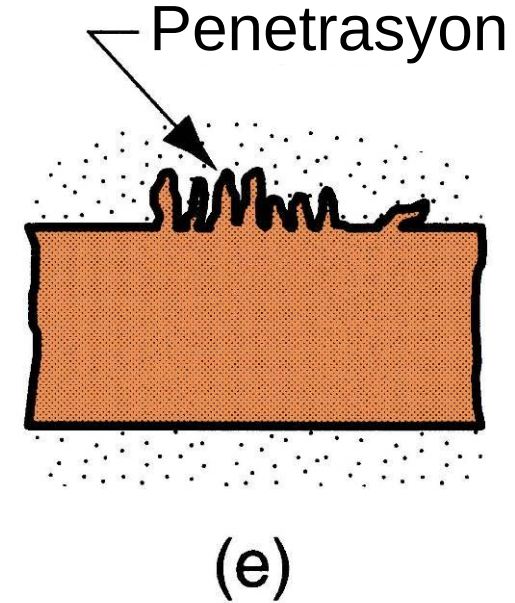


Döküm Kalitesi / Kum Döküm Hataları

Penetrasyon

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

Kum dökümlerdeki yaygın hatalar: (e) penetrasyon

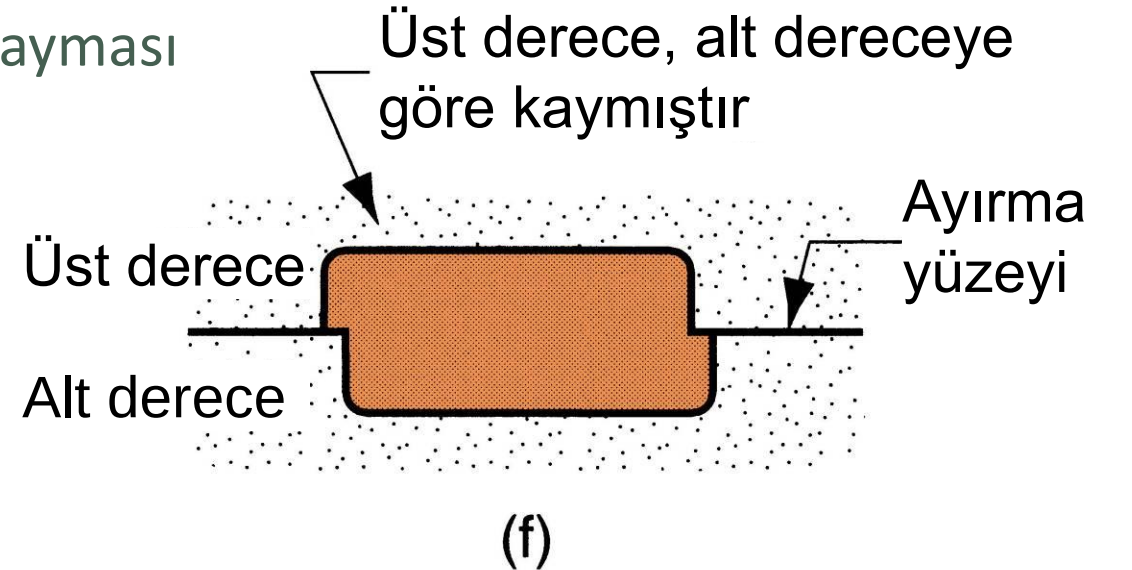


Döküm Kalitesi / Kum Döküm Hataları

Kalıp Kayması

- Üst ve alt derecelerin birbirine göre yana kaymasının neden olduğu, döküm parçasının ara yüzeyinde istenmeyen bir kademe oluşumu

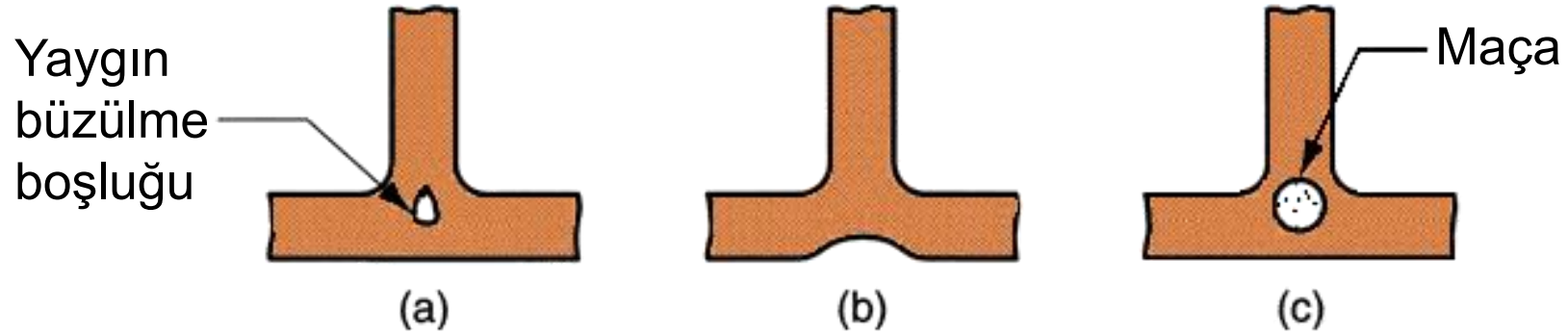
Kum dökümlerdeki yaygın hatalar: (f) kalıp kayması



Döküm Kalitesi / Kum Döküm Hataları

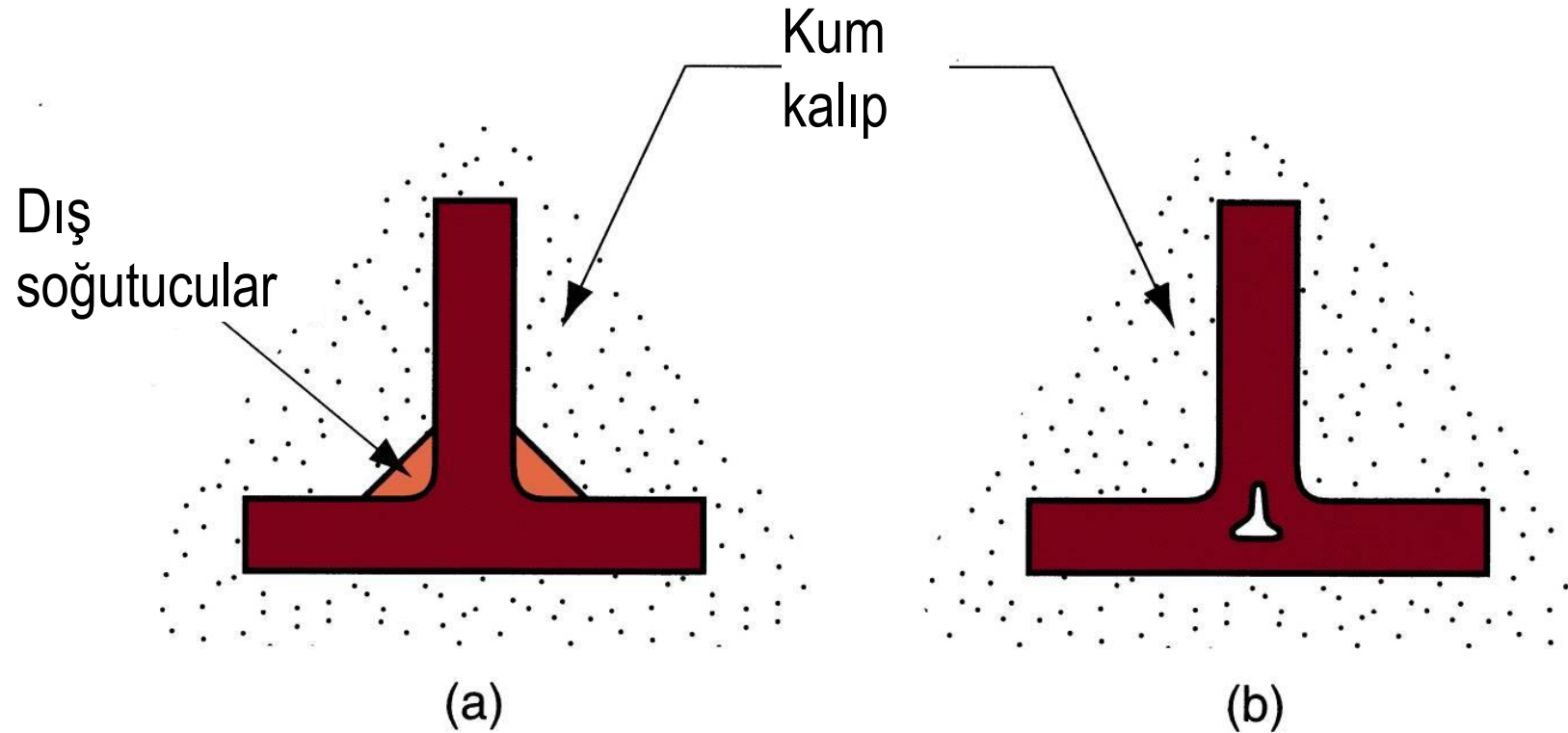
Çökme

- Kum dökümdeki çökme ve önlenmesi:
 - (a) yaygın görülen büzülme boşluğu,
 - (b) boşluğun olmaması halinde yüzeydeki çökme
 - (c) maça kullanımıyla çökmenin önlenmesi



Döküm Kalitesi / Kum Döküm Hataları: Çekme Boşlukları

Çözüm: Dış Soğutucular ile Yönlendirilmiş Katılaşma



- (a) Dökümün kalın kesitlerindeki erimiş metalin hızlı katılaşmasını desteklemek için dış soğutucu; ve (b) dış soğutucunun kullanılmaması durumundaki muhtemel sonuç

MUTK215 – Havacılıkta İmalat İşlemleri

KATILAŞTIRMA

Kalıplama Yöntemleri

Metal Dışı Malzemeler

İmal Usulleri

Döküm / Katılaştırma	Talaşlı Şekil Verme	Plastik Şekil Verme	Birleştirme
Demir Esaslı	Torna	Serbest Dövme ve Basma	Kaynak Tekniği
Demir Esaslı Olmayan	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	Broş	Bükme, kıvrırma	Puntalama
Plastik Enjeksiyon	Lazer / Su Jeti ile kesme	Presleme	Lehimleme
Silikon Kalıplama	Eğeleme / Zımparalama		Perçinleme
			Yapıştırma
<i>Özel Yöntemler:</i>	<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 (Savurma)	<u>KALIPLAMA YÖNTEMLERİ</u> ☐ Plastik Enjeksiyon ☐ Silikon Kalıp
• Çelik Döküm	➤ Sürekli Kalıba Döküm	❖ Basıncılı	
• Temper Döküm	✓ Kokil (Metal)	❖ 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	

Plastikleri (Polimer Malzemeleri) Şekillendirme Yöntemleri

- Ekstrüzyon
- **Enjeksiyon**
- **Kalıplama yöntemleri**
- Isıl şekillendirme (Termoforming)
- Haddeleme (Kalenderleme)
- **Döküm**
- Köpükleme Yöntemleri
- Talaşlı İmalat
- Birleştirme

Polimer Malzemeleri İşleme Yöntemleri

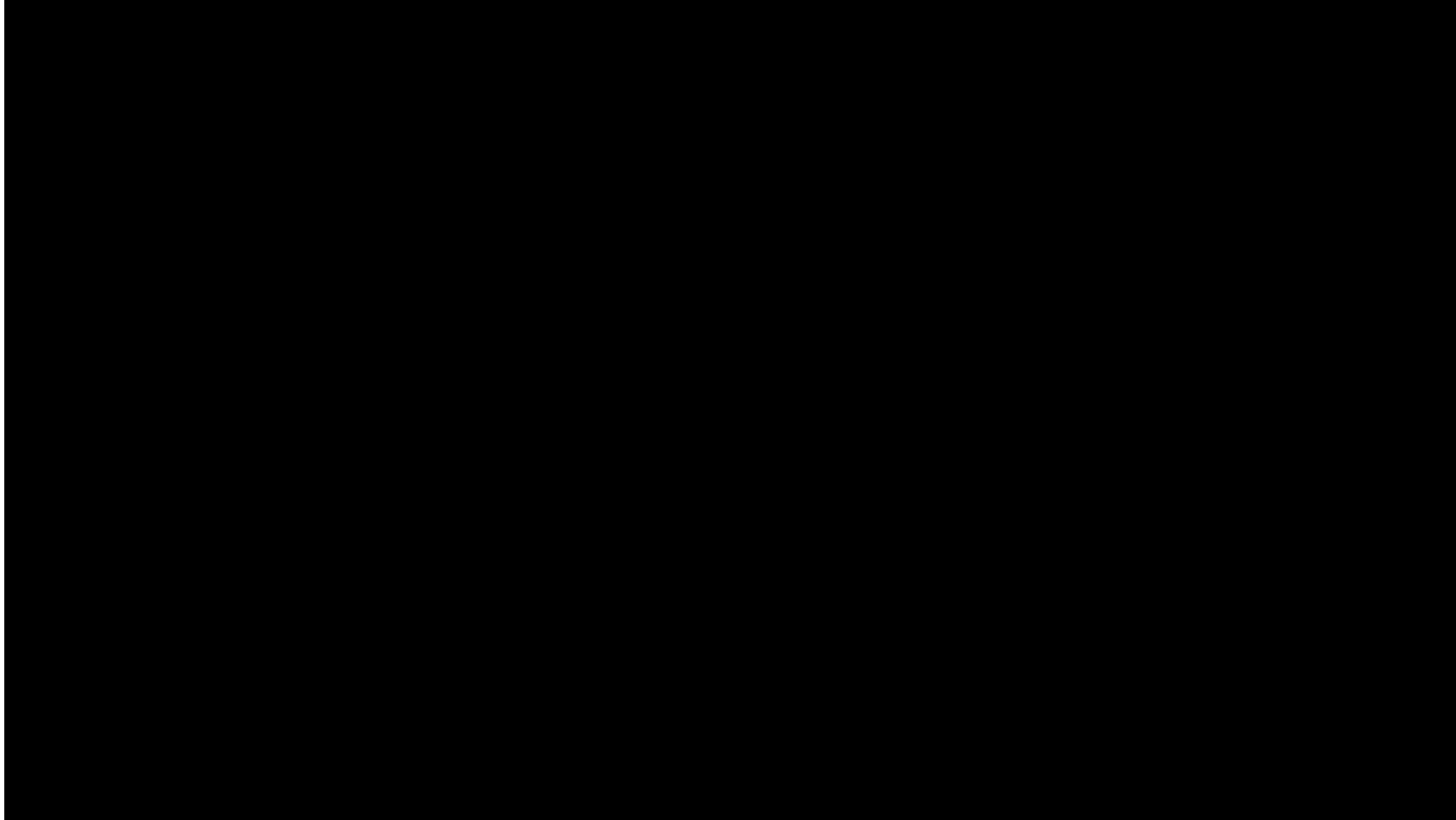
- **Örnek Video:**
Plastic Processing Overview

https://www.youtube.com/watch?v=qn16JtE_vLc

Polimer Malzemeleri İşleme Yöntemleri

Video: Polimer İşleme Yöntemleri

- Torba imalatı
- Enjeksiyon
- Şişe imalatı



Polimer / Plastik Türleri

1. Termoplastikler

- Isıtma ve biçimlendirme sırasında **kimyasal yapı değişmez**.
- Toplam plastik üretiminin %70 ini oluşturur, ticari bakımdan en önemli gruptur.

2. Termosetler

- Isıtma ve biçimlendirme sırasında uzun zincir moleküller çapraz bağlarla bağlanır ve üç boyutlu rijit bir yapı oluşur.
- İşlem sonrasında ısıtılarak **tekrar yumuşatılmaları veya eritilmeleri mümkün değildir**.

Katılaştırma / Kalıplama / Kalıba Basma Yöntemleri

[Molding / Moulding]

--

Plastik Enjeksiyon

Kalıplama Yöntemleri – Plastik Enjeksiyon

Plastik enjeksiyon, sıcaklık yardımı ile eritilmiş plastik hammaddenin (termoplastik) bir kalıp içine enjekte edilerek şekillendirilmesi ve soğutulularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat yöntemidir.

- Termoplastik: Isıtıldığında homojen bir sıvı haline gelen ve soğutulduğunda sertleşen polimer reçinelerinden üretilen bir plastik türüdür. Ancak termoplastik dondurulduğu zaman cama benzer ve çatlamaya elverişli bir hal alır. Malzemeye adını veren bu özellikler tersine çevrilebilir. İşte bu nedenle tekrar tekrar ısıtılabilir, şekillendirilebilir ve dondurulabilir. Termoplastikler, bu özellikleri nedeniyle geri dönüştürülebilmektedir. Her biri kristalin yapısı ve yoğunluğu farklı olan düzinelerce termoplastik türü mevcuttur. Günümüzde yaygın şekilde üretilen bazı türler arasında polipropilen, polietilen, polivinilklorür, polistiren, polietileneterftalat ve polikarbonat bulunur.

Enjeksiyonla Kalıplama

- Polimer ısıtılarak plastik şekil alabilir bir duruma getirilir ve yüksek basınç uygulanarak bir kalıp boşluğuna dolması sağlanır; burada katılaştan parça kalıptan çıkarılır.
- İstenilen son boyutlara çok yakın hassas parçalar üretmek mümkündür
- Kalıpta birden fazla boşluk bulunabilir ve her seferinde birden fazla parça üretilebilir.
- **Kalıp maliyeti çok yüksek** olduğundan ancak **büyük üretim sayıları için ekonomik** olur.

Enjeksiyonla Kalıplama

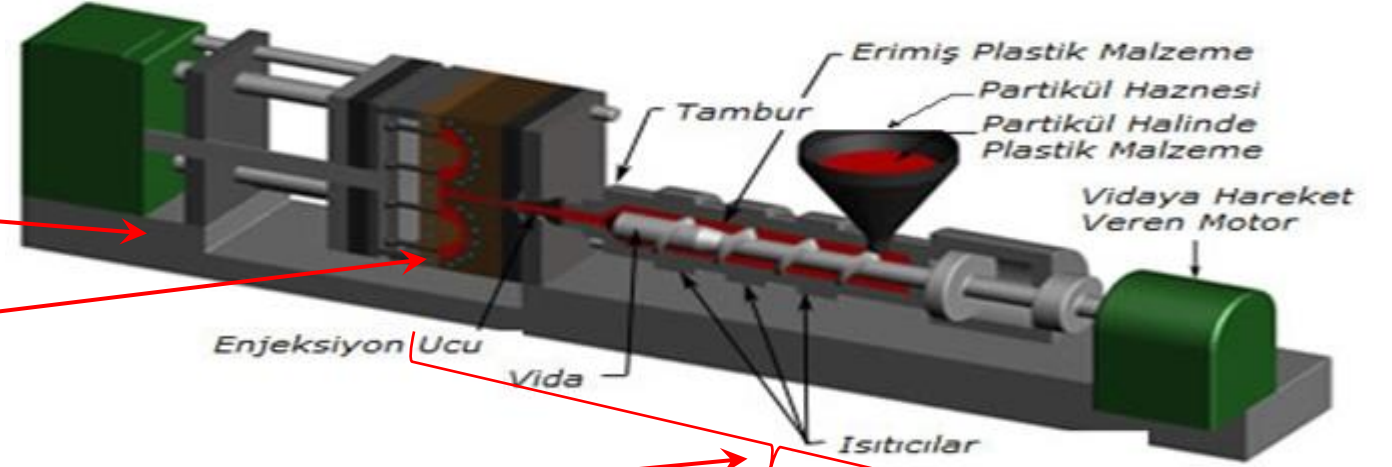
- Bir parça için üretim süresi ~10 ila 30 saniyedir, ancak bazı durumlarda bu süre 1 dakika veya daha yukarı çıkabilir.
- Karmaşık biçimler elde edilebilir.
- Biçim sınırları vardır: Biçim **kalıptan çıkabilir** olmalıdır.
- Parça büyüklüğü ~ 50 g dan ~25 kg a kadar olabilir, örneğin otomobil tamponları, sandalye, masa vb.
- Parça büyüklüğüne bağlı olarak enjeksiyon makinesinin kapama kuvvetinin büyümesi gerekir.

Plastik Enjeksiyon Makineleri (Enjeksiyon Presleri)

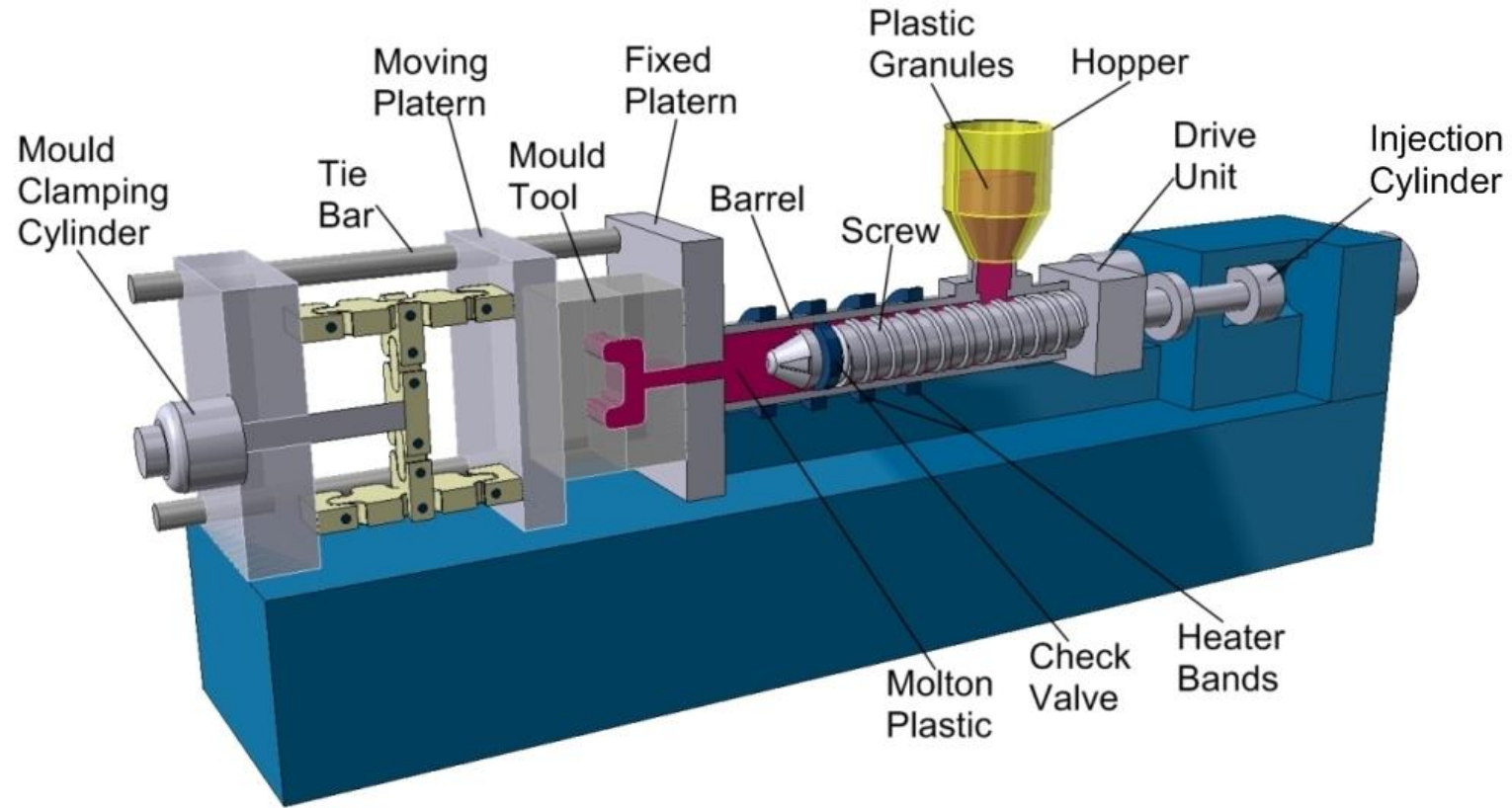
- Pres (kapama veya mengene)

- Kalıp

- Enjeksiyon



Plastik Enjeksiyon Makineleri



Screw: İletim vidası

Tie bar: Tij demiri

Barrel: Isıtma kovanı

Hopper: Besleme hunisi

Molten plastic: Eriyik polimer malzeme

Mould Clamping Cylinder: Kapama, pres silindiri

Plastik Enjeksiyon İşlem Aşamaları

Plastik Enjeksiyon ile üretim basit olarak incelendiğinde şu aşamalardan oluşur:

1. Kapama

Bir enjeksiyon makinesi üç ana parçadan oluşur: kapama ünitesi (mengene), enjeksiyon ünitesi ve kalıp. Kapama ünitesi, enjeksiyon ve soğutma esnasında kalıbı basınç altında tutan ünedir. Daha basit olarak enjeksiyon kalıbının iki tarafını (dişi ve erkek) birleştiren ve kuvvet uygulayarak bir arada tutan kısımdır.

2. Enjeksiyon

Enjeksiyon aşaması esnasında, granül halindeki plastik malzeme enjeksiyon ünitesi üzerindeki hazneye dökülür. Oradan rezistanslı ısıtıcılar ile ısıtılan silindir içine, elektrik motoru ile kumanda edilen bir vida vasıtası ile alınır. Vida sıkıştırma işlemi yaparak sıcaklık ve basınç altında eriyik hale gelen plastik malzemeyi silindirin sonuna kadar ilerletir. Vidanın önüne kalıbı doldurmak için yeterince malzeme alındığında enjeksiyon işlemi başlar. Erimiş plastik, makinenin ucundaki bir meme vasıtası ile kalıbın içine gönderilir. Bu işlem esnasındaki basınç ve hız hidrolik motor ile kontrol edilir.

Plastik Enjeksiyon İşlem Aşamaları

3. Ütüleme

Parçanın istenen ölçülerde olması ve görünümünde çeşitli hatalar (çöküntü, yamulma, eğilme vs.) olmaması için bu işlem uygulanır. Bu aşamada kalıp içine enjekte edilmiş olan plastik eriyiğin, basınç uygulanarak kalıp boşluğunu iyice doldurması sağlanır. Plastik, kalıp içinde katı hale gelinceye kadar işlem devam eder. Kullanılan hammaddenin özelliğine, parça ebatlarına ve ağırlığına bağlı olarak işlemin süresi değişkenlik gösterir.

4. Soğutma

Enjekte edilen eriyik hammaddenin, kalıbın içinde katılaşmasına/sertleşmesine neden olur. Kalıp içinde sertleşen plastik iş parçası kalıptan çıkarılarak endüstrinin hemen her alanında kullanılabilir. Kalıbın soğutulması genellikle kalıp içindeki su kanalları vasıtasıyla yapılır.

5. Kalıp açma

Kapama ünitesi kalıbın iki tarafı ayrılacak şekilde açılır.

6. Çıkarma

Kalıp tipine göre maçalar veya iticiler vasıtası ile bitmiş parça kalıptan çıkarılır.

Plastik Enjeksiyon

- **Örnek Video:**
Injection Molding Animation

<https://www.youtube.com/watch?v=b1U9W4iNDiQ>

Plastik Enjeksiyon

Video:
Plastik
Enjeksiyon
Kalıbı ve
Makinesi
3B
Animasyon



Plastik Enjeksiyon

- **Örnek Video:**

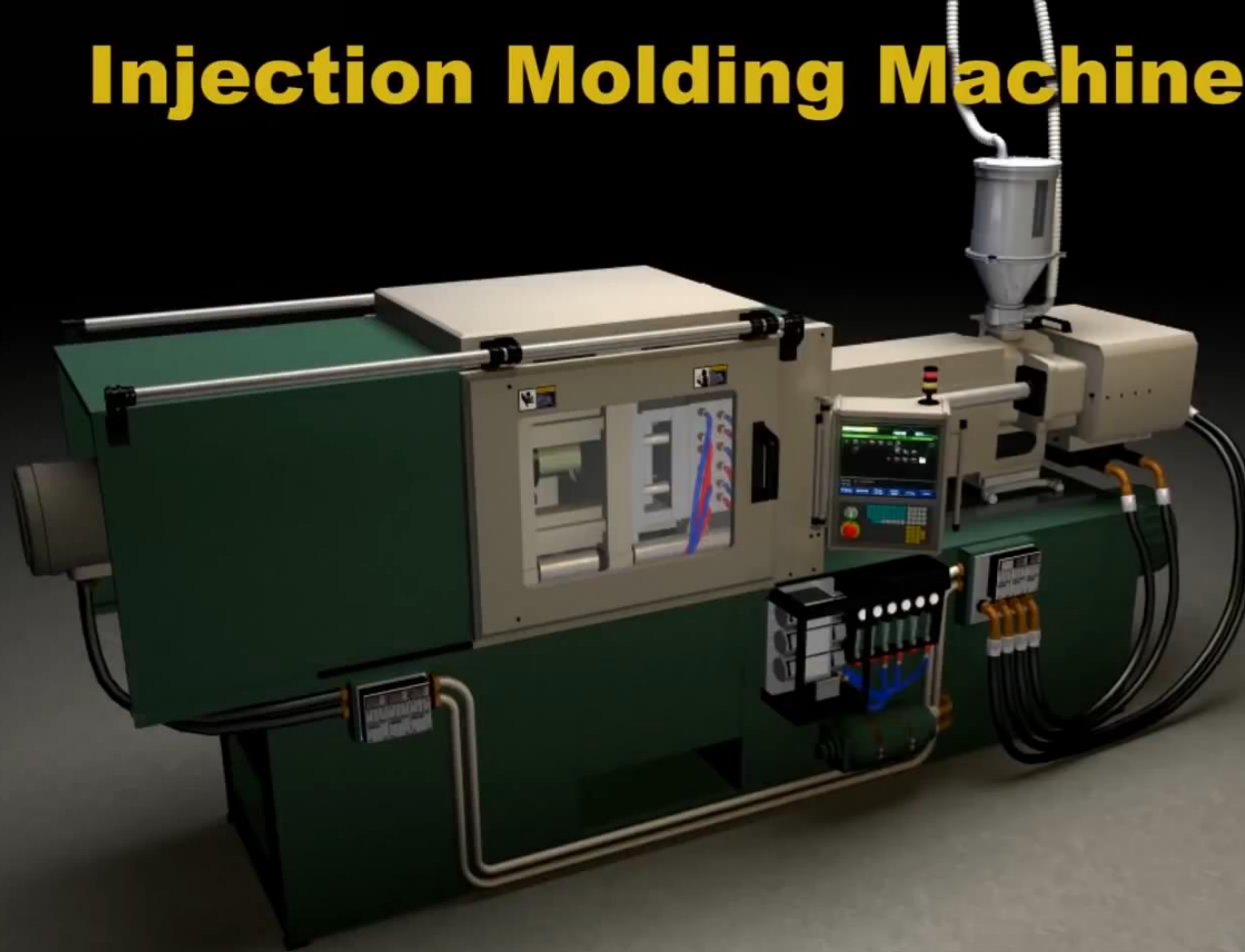
The Technology of Injection Molding 3-D Animations

<https://www.youtube.com/watch?v=a8HQG2PUPik>

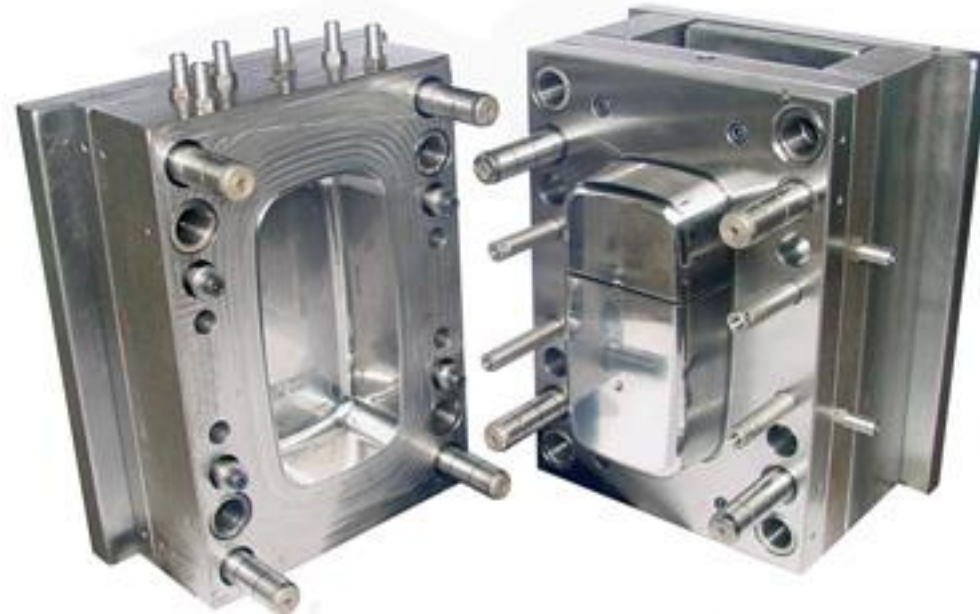
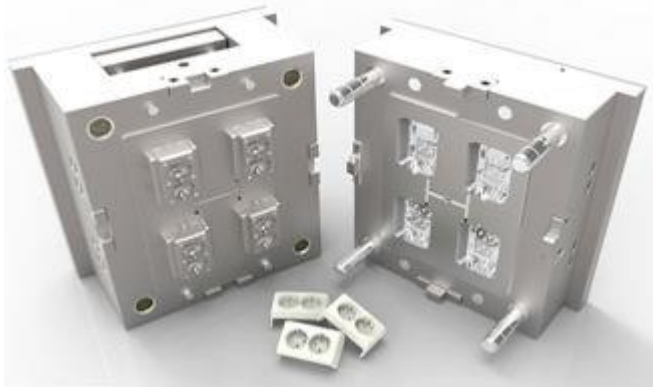
Plastik
Enjeksiyon

Video:
Plastik
Enjeksiyon
Makinesi

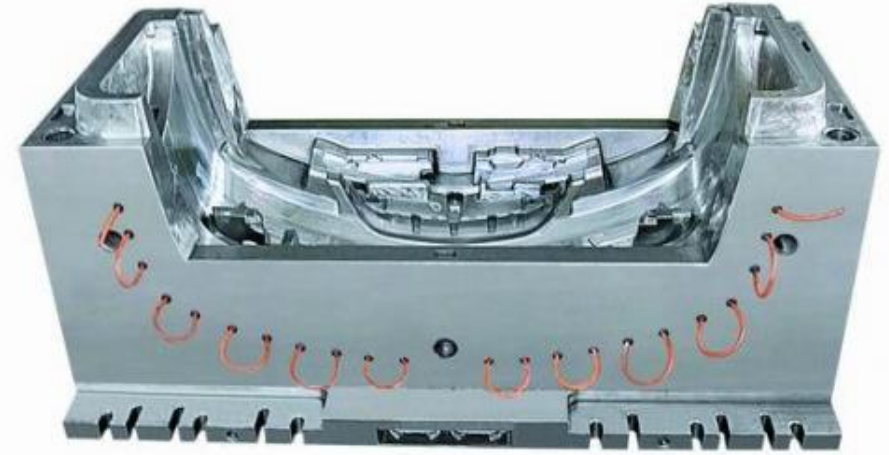
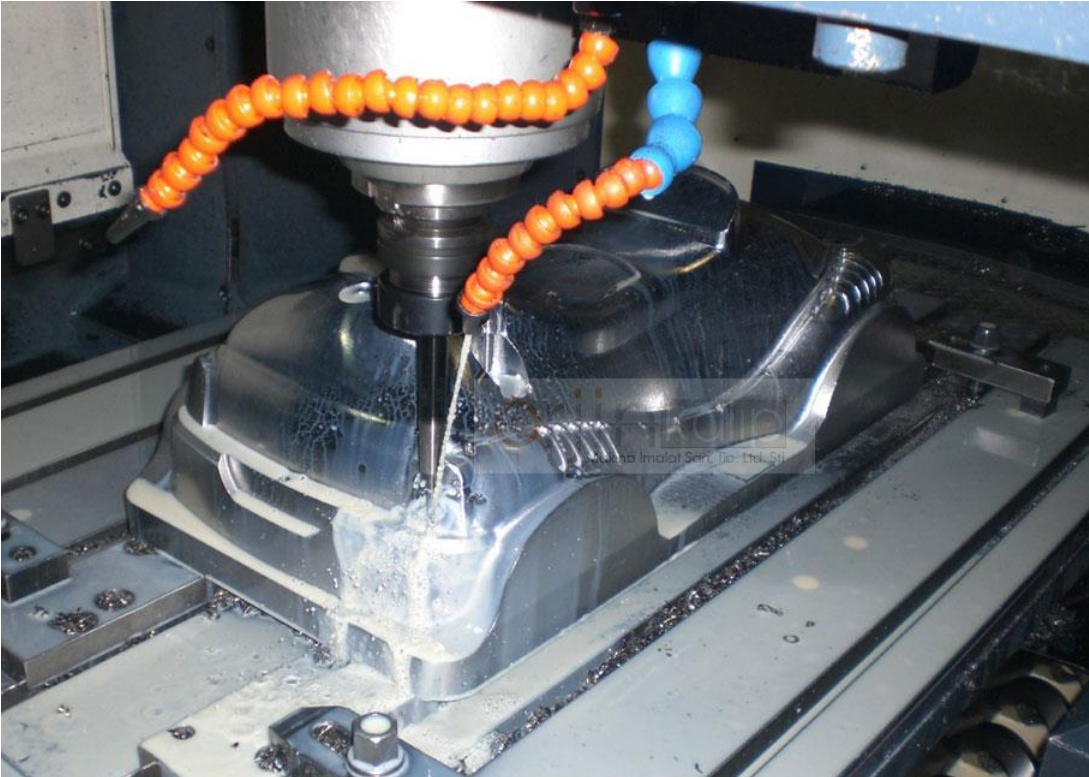
Injection Molding Machine



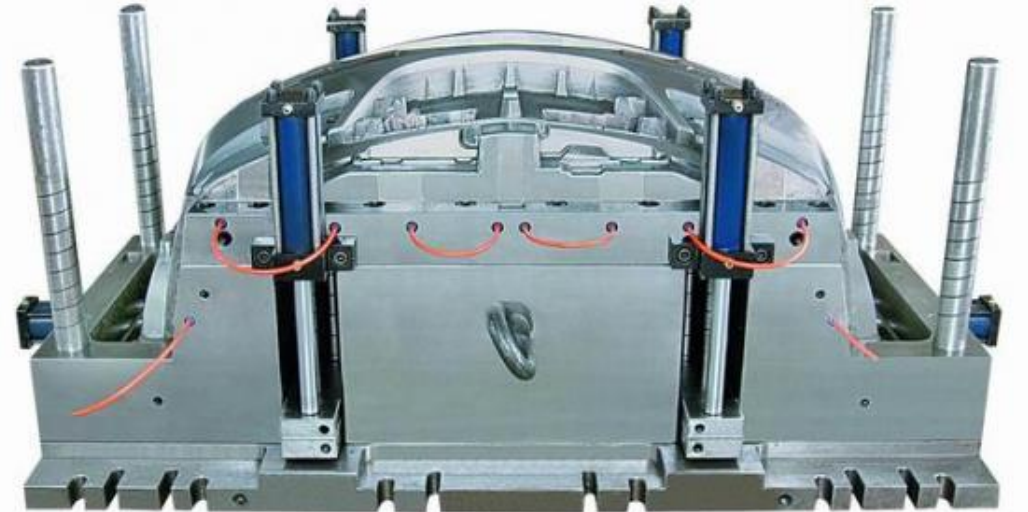
Plastik Enjeksiyon Kalıpları



Plastik Enjeksiyon Kalıpları



automould.en.alibaba.com



Plastik Enjeksiyon

- **Örnek Video:**

How Was it Made? The Panton Chair

<https://www.youtube.com/watch?v=xim1m2Bhvzc>

Plastik Enjeksiyon

- Sandalye İmalatı
(Panton Chair)

Plastik Enjeksiyon

- **Örnek Video:**
3kg Plastic molding machine making chair

<https://www.youtube.com/watch?v=USg7An6OIPE>

Plastik Enjeksiyon

- Plastik Enjeksiyon ile sandalye imalatı



Katılaştırma / Kalıplama Yöntemleri

--

Silikon Kalıp Yöntemi

Kalıplama Yöntemleri – Silikon Kalıplama (Vacuum Casting)

- Silikon kalıplama (Vacuum Casting – VC), kalıp malzemesi olarak silikonun kullanıldığı, kalıpları soğuk döküm ile imal edilen bir üretim yöntemidir.
- 1970'li yıllardan bu yana **düşük adetli seri üretim** ve model kopyalama amacıyla kullanılmaktadır.
- Çok hızlı bir şekilde kalıp üretimi gerçekleştiğinden, test ve deneme amaçlı **prototip imalat** (hızlı prototipleme) yöntemi olarak da kullanılmaktadır (**Rapid Prototyping**).
- Özellikle ters açılı parçaların alçı ve polyester gibi rijit malzemeden kalıplarla üretilemediği durumlarda esnek silikon malzemesi ile kalıplama kolay bir çözüm yoludur. **Esnek kalıp malzemesi (silikon), ters açılı ve/veya içbükey şekilli parçaların kalıptan rahatça çıkarılabilmesine olanak tanır.**

Silikon Kalıplama

- Silikon Kauçuk / RTV Silikon Nedir?

Silikon kauçuk, karbon, hidrojen ve oksijen ile birlikte silikon (silisyum) içeren, kendisi bir polimer olan **elastomer**dir (kauçuk benzeri malzeme). Silikon kauçuklar endüstride yaygın olarak kullanılır ve birden fazla formülasyonu vardır. Silikon kauçuk genellikle reaktif değildir, kararlıdır ve -55 ila 300 °C (-70 ila 570 °F) arasındaki aşırı ortamlara ve sıcaklıklara karşı dirençlidir ve yine de faydalı özelliklerini korur. Bu özellikleri ve üretim ve şekillendirme kolaylığı nedeniyle silikon kauçuk, voltaj hattı izolatörleri; otomotiv uygulamaları; pişirme, fırınlama ve gıda saklama ürünleri; iç giyim, spor giyim ve ayakkabı gibi giysiler; elektronik; tıbbi cihazlar ve implantlar; ve ev onarım ve donanımlarında, silikon dolgu macunları gibi ürünlerde dahil olmak üzere çok çeşitli ürünlerde bulunabilir. (https://tr.wikipedia.org/wiki/Silikon_kau%C3%A7uk)

Katılaştırma: Sertleştirilmemiş silikon kauçuk oldukça yapışkan jel veya sıvıdır. Katılaştırmak için sertleştirilmesi (kürlenmesi), vulkanize edilmesi veya katalize edilmesi gerekir. Bu, normal olarak, üretim noktasında istenen şekle sokulan iki aşamalı bir işlemde ve daha sonra uzun süreli bir kürleme sonrası işlemde gerçekleştirilir. Ayrıca enjeksiyonla kalıplanabilir.

Silikon kauçuk, platin katalizli kürleme sistemi, yoğunlaştırmalı kürleme sistemi, peroksit kürleme sistemi veya oksit kürleme sistemiyle sertleştirilebilir. Platin katalizli kür sistemi için kürleme işlemi ısı veya basınç eklenerek hızlandırılabilir.

Silikon Kalıplama

- RTV Silikon / Silikon Kauçuk Nedir?

RTV silikon (oda sıcaklığında vulkanize silikon / **room-temperature-vulcanizing** silicone), oda sıcaklığında kürlenene bir silikon kauçuk türüdür. Tek bileşenli bir ürün olarak veya iki bileşenli (bir baz ve iyileştirici) karıştırılarak mevcuttur. Üreticiler bunu çok yumuşak ile orta sertlikte sağlarlar - genellikle **15 - 40 Shore A**. RTV silikonları, platin veya dibütildin dilaurat gibi bir kalay bileşiminden oluşan bir katalizör ile kürlenebilir. Uygulamalar, düşük sıcaklıkta **over-molding**, çoğaltma için kalıp yapma ve bazı hassas optik lens uygulamalarını içerir. Aynı zamanda otomotiv endüstrisinde, örneğin yerinde contalar oluşturmak için bir yapıştırıcı/sızdırmazlık maddesi olarak yaygın kullanılır. (https://en.wikipedia.org/wiki/RTV_silicone)

Tek Bileşenli Silikonlar:

Tek bileşenli silikonlar, dışarıdan merkeze doğru kürlenmek için atmosferdeki nemden yararlanır. Sıcaklık, nem ve yüzey alanı/hacim oranındaki artışla kürlenme süresi azalacaktır.

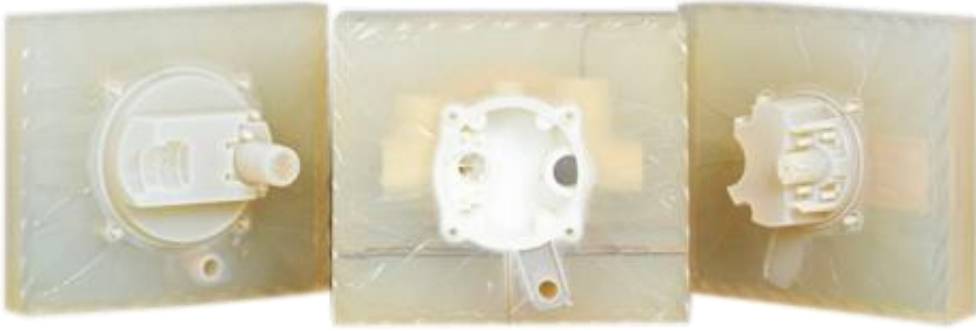
İki Bileşenli Silikonlar:

İki bileşenli silikonlar, yoğunlaştırma kürlenmesi adı verilen bir işlemde silikonu sertleştirmek için ikinci bileşende nemin yanı sıra aktif alkoks (alkoxy) gibi bir çapraz bağlayıcı kullanır. Bu silikonlar ayrıca bir "ilave" reaksiyonda platinle katalize edilebilir. Çapraz bağlanmayı kolaylaştıran diğer reaktif türler arasında asetoksi, amin, oktoat ve ketoksim bulunur.

Kalıplama Yöntemleri – Silikon Kalıplama (Vacuum Casting)

- Silikon malzemedan kalıplara **çift komponentli polimerik malzemeler** (epoksi, dökme naylon, **poliüretan** vb. *oda sıcaklığında dökülebilen malzemeler*) dökülerek parça üretimi yapılmaktadır.
- Silikon kalıplar düşük çekme değerleri (%0,1) ve yüksek detay yakalamaları sebebiyle tercih edilir.
- Silikon kalıplama diğer döküm kalıpçılığı yöntemleri gibi öncelikle bir **master model** imalatı ile başlamaktadır. Master modeller el işçiliği, CNC tezgâhları veya hızlı prototipleme (**Rapid Prototyping**) vb. çeşitli eklemeli imalat yöntemleriyle üretilebilir. Eğer kopyalama amacıyla kalıp alınacak ise örnek parça master model olarak kullanılabilir.
- Hassas dökümde mum model imalatı bu yöntemle gerçekleştirilebilir.

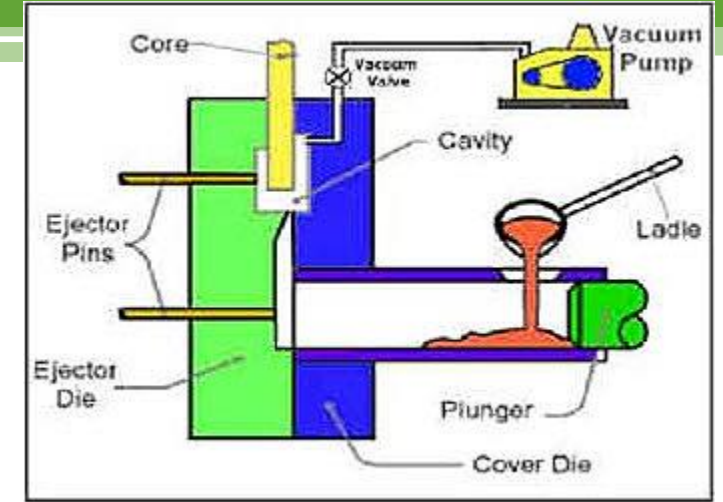
Kalıplama Yöntemleri – Silikon Kalıplama



- **Örnek Görseller:** Kalıplaması bitmiş silikon kalıp çıktıları

Silikon Kalıplama Aşamaları

- Model imalatı (master model)
- Silikon kalıp malzemesinin dökümü ve katılaşması (vakum altında yapılabilir)
- Modelin kalıptan çıkarılması
- Kalıp boşluğunun oluşturulması
- Sıvı haldeki malzemenin kalıp boşluğuna dökülmesi (vakum altında yapılabilir)
- Döküm sonrası katılaşma
- Parçanın kalıptan çıkarılması

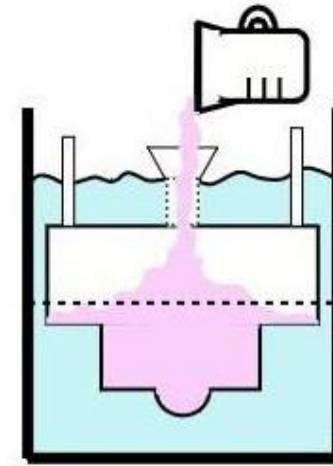
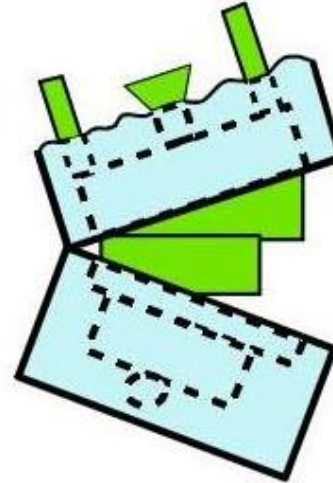
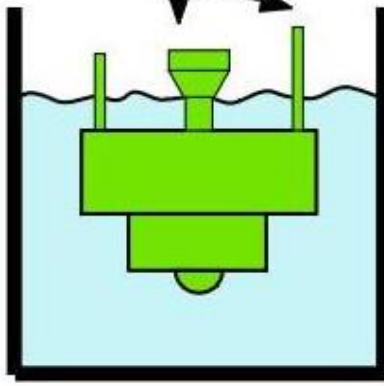


Silikon Kalıplama Aşamaları

- 1. Model imalatı
- 2. Silikon kalıp malzemesinin dökümü ve katılaşması
- 3. Modelin kalıptan çıkarılması
- 4. Kalıp boşluğunun oluşturulması

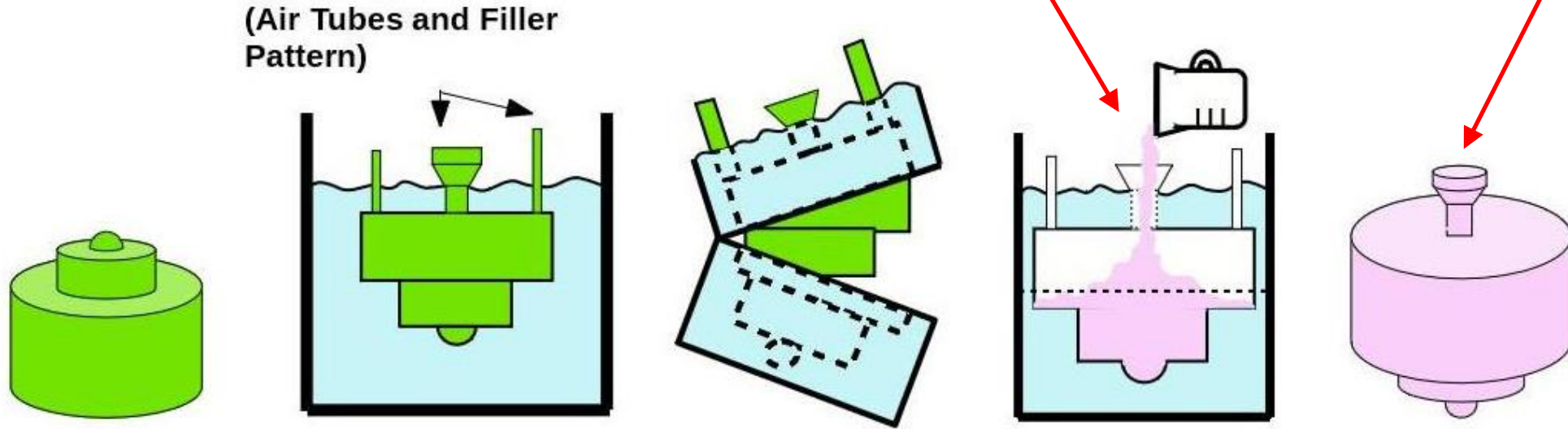


(Air Tubes and Filler Pattern)



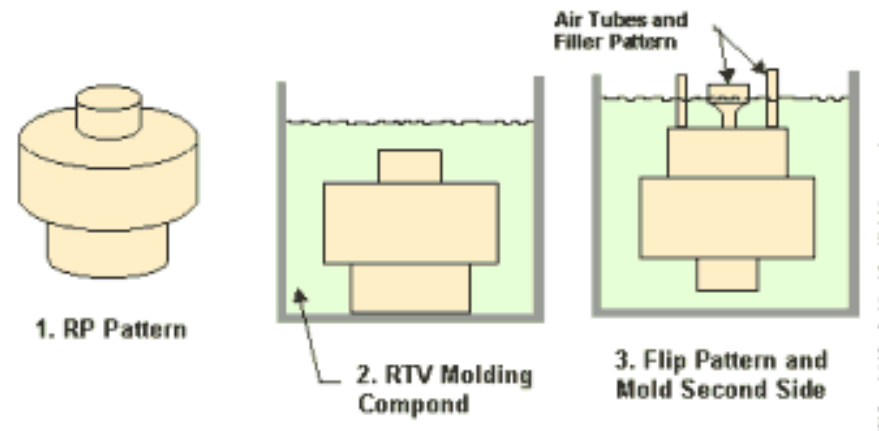
Silikon Kalıplama Aşamaları

- 5. Sıvı haldeki malzemenin kalıp boşluğuna dökülmesi
- 6. Döküm sonrası katılaşma
- 7. Parçanın kalıptan çıkarılması



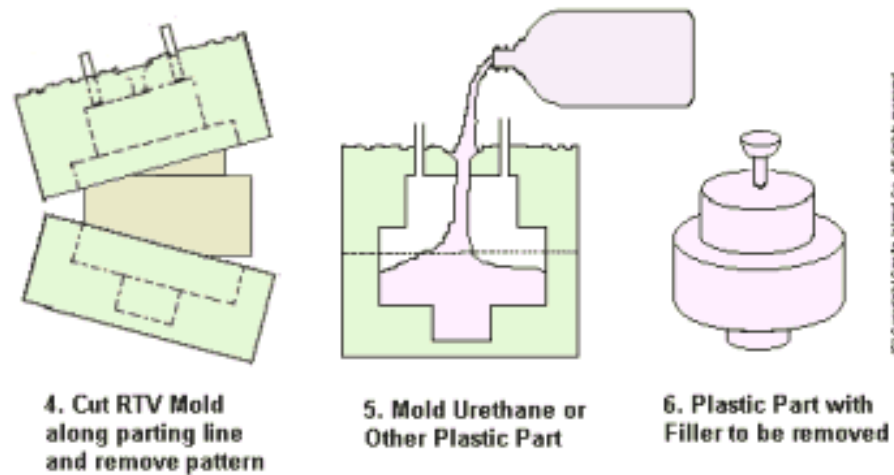
Silikon Kalıplama Aşamaları

1- Master bir model (**solda**) etrafına silikon dökülerek (**ortada**) oda sıcaklığında veya bir fırında daha yüksek sıcaklıklarda silikonun daha hızlı katılaşması (vulkanize olması) sağlanır. Silikonda hava kabarcığı kalmaması için bu işlem vakum altında yapılabilir. Model üzerine hava çıkış kanalları bu esnada bağlanır (**sağda**).



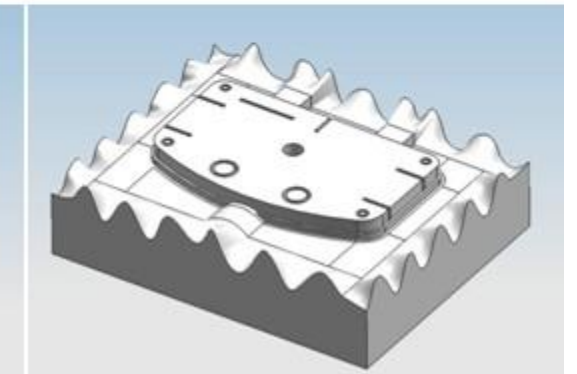
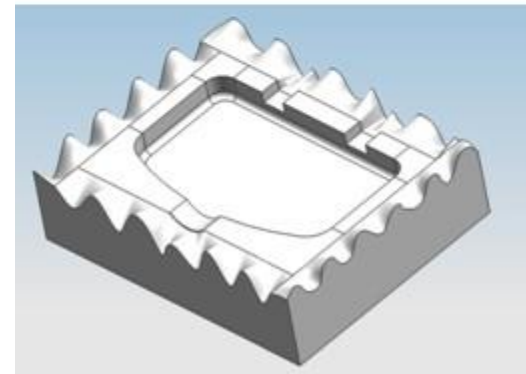
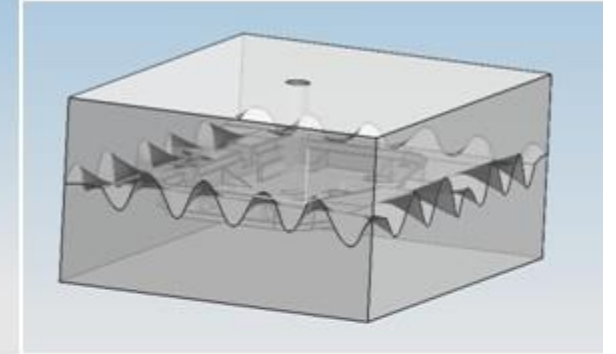
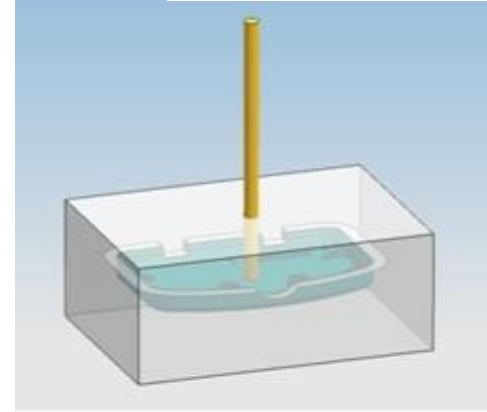
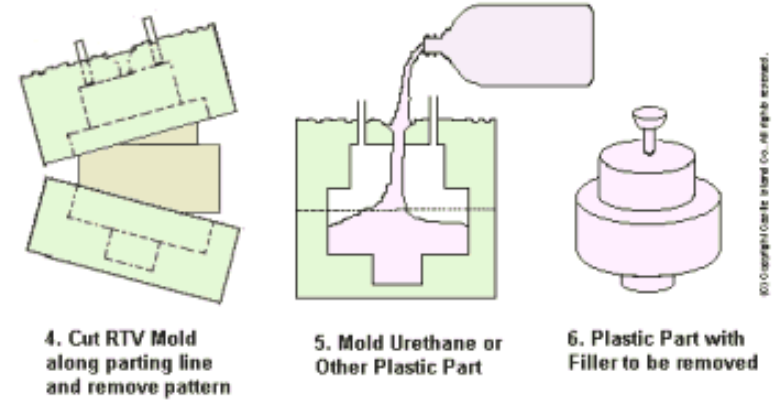
Silikon Kalıplama Aşamaları

2- Silikon kesilerek master model çıkarılır (**solda**). Modelin karmaşıklığına göre ikiden fazla silikon kalıp parçası oluşabilir. Yeniden silikon parçalar birleştirilerek kalıp boşluğu (modelin negatif geometrisi) oluşturulur. Sıvı haldeki silikonun her türlü detaya girmesi sayesinde model üzerindeki parmak izleri kadar küçük pürüzler bile mükemmel olarak kalıba yansır.



Silikon Kalıplama Aşamaları

3- Sıvı haldeki hammadde kalıp boşluğuna dökülür (**ortada**). Silikon esnek bir malzeme olmasına rağmen döküm çok düşük basınçlarda (genellikle sadece yerçekimi kuvveti altında) gerçekleştiği için kalıpta hassasiyete zarar verecek ölçüde bir esneme veya deformasyon olmaz. Döküm sonrası sertleşme kimyasal reaksiyonla veya (mum model imalatı örneğinde olduğu gibi) soğuma ile gerçekleşir. İkinci durumda, malzemenin erime sıcaklığının silikona zarar vermeyecek seviyede düşük olması gerekir.



Silikon Kalıplama Aşamaları

4- Silikon kalıp açılarak parça çıkarılır (**sağda**): Silikonun esnekliği sayesinde ters açığa sahip bile olsa silikon kalıp esnetilerek parçadan kolaylıkla ayrılabilir. Böylece maçalı bir metal kalıp ile üretilecek bir parçanın prototipi **maçasız** bir silikon kalıpla rahatlıkla üretilebilir. Ters açılı ve içbükey formların kalıptan çıkarılabilir olması, karmaşık geometrilerin imalatına imkan verir.



Silikon Kalıplama

- Örnek Video:
Vacuum Casting Process

<https://www.youtube.com/watch?v=zIBM3zAl5gY>

Silikon Kalıplama

Video:
Vakum
altındaki
silikon kalıba
poliüretan
malzeme
dökümü



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>